

ผ่านหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบโอห์มมิเตอร์โดยใช้ตัวจับเวลา

DESIGN OF OHMMETER USING TIMER



นายรัชฎูเทพ บุญคลัง

นายธีระพล ปิยะสุวรรณ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 95159
วัน,เดือน,ปี..... 21 พ.ค. 2552

b. 12076340
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อปีการศึกษา 2550 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF OHMMETER USING TIMER



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING**


เอกสารนี้เป็นเอกสารของ **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** ซึ่งดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ **2007** อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การออกแบบโอห์มมิเตอร์โดยใช้ตัวจับเวลา
DESIGN OF OHMMETER USING TIMER

นักศึกษาผู้จัดทำ นายรัชฎเทพ บุญคลัง รหัสนักศึกษา 47012058
นายนายธีระพล ปิยะสุวรรณ รหัสนักศึกษา 47012060

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. อัมพวัน จุลเสวีวงศ์ รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบโอห์มมิเตอร์โดยใช้ตัวจับเวลา
DESIGN OF OHMMETER USING TIMER

นักศึกษาผู้จัดทำ นาย รัชฎเทพ บุญคลัง รหัสนักศึกษา 47012058

นาย ชีระพล ปิยะสุวรรณ รหัสนักศึกษา 47012060

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อัมพวัน จุลเสวีวงศ์

รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอโอห์มมิเตอร์ที่ใช้ตัวจับเวลา ค่าความ-
ต้านทานที่วัดได้จะแบ่งออกเป็น 3ย่านการวัดคือ $0-999.99\Omega$ $1k\Omega-999.99k\Omega$ และ $1M\Omega-200M\Omega$
เทคนิคการออกแบบที่ใช้ อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ในท้องตลาด จะประกอบด้วย ไอซีเบอร์ LM555
ตัวเก็บประจุ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 และส่วนแสดงผลแบบ LCD โดยใช้ไอซีเบอร์ LM555
ที่คู่ร่วมกับตัวต้านทานที่ไม่ทราบค่าและตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ ในการสร้างสัญญาณโมโนพัลส์
ขึ้นมา ช่วงเวลาที่สัญญาณ โมโนพัลส์มีสถานะ ON จะถูกตรวจจับโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของ
ARM7 เพื่อวิเคราะห์หาค่าความต้านทานที่ต้องการวัด เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของการทำงาน
ของโอห์มมิเตอร์ที่ใช้ตัวจับเวลาที่น่าสนใจได้แนบรายงานการสอบเทียบจาก
ห้องปฏิบัติการการสอบเทียบ สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ด้วย

Thesis Title	Design of Ohmmeter Using Timer	
Authors	Mr. Tanyathep	Boonklung
	Mr. Thirapol	Piyasuwan
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Amphawan	Julsereewong
	Assoc.Prof. Prasit	Julsereewong
Year	2007	

ABSTRACT

The goal of this article is to present an ohmmeter using timer. The measured resistance falls into 3 ranges: $0-999.99\Omega$, $1k\Omega-999.99k\Omega$, and $1M\Omega-200M\Omega$. The design technique based on the use of commercially available devices consists of LM555 integrated circuit (IC), capacitors, ARM7 microcontroller, and LCD display part. The LM555 IC connected with the unknown resistor and fixed capacitor employs to generate the mono-pulse. The ON period of the mono-pulse is detected by using the ARM7 microcontroller to determine the unknown resistance. To verify the performances of the proposed ohmmeter, the calibration report issued by the Electrical and Electronics Institute Calibration Laboratory is also included in this article.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คงจะไม่สามารถสำเร็จได้ถ้าหากขาดผู้ให้การแนะนำและช่วยเหลือทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบคุณพระคุณ รศ.ประสิทธิ์ จตุเทวีวงศ์ และ ผศ.ดร. อัมพวัน จตุเทวีวงศ์ ผู้ที่คอยให้คำแนะนำในการเริ่มทำโครงการ และแนวคิดเพื่อเป็นแนวทางในการทำโครงการนี้ และขอขอบคุณ คุณเกริกชัย กิตมาติ Engineering Manager (Utility and Central workshop) บ.ปูนี สิวเออร์ไทยโฮลดิ้งส์ จำกัด ผู้ซึ่งคอยให้คำแนะนำเรื่องเครื่องมือควรวัดต่าง ๆ และคอยสนับสนุนอุปกรณ์ในการทดลองที่นักศึกษาไม่สามารถจัดหาได้ และขอขอบคุณ คุณวิภาส อุ่นสมัย Leader Operation บ. Alliance Refiling ผู้ซึ่งคอยให้คำแนะนำในการใช้งานโปรแกรมต่าง ๆ สุดท้ายนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ บุคลากรภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	1
1.4 ชั้นตอนการศึกษา.....	1
1.5 รายละเอียดของปริญญาโท.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับตัวต้านทานไฟฟ้าและโอห์มมิเตอร์.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 ตัวต้านทานไฟฟ้า.....	3
2.2.1 ตัวต้านทานแบ่งตามลักษณะการใช้งาน.....	3
2.2.2 ตัวต้านทานแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ.....	6
2.3 การอ่านค่าตัวต้านทาน.....	7
2.4 กฎของโอห์ม.....	9
2.5 สภาพความต้านทาน.....	10
2.6 วงจรอนุกรม และวงจรขนาน.....	10
2.7 หลักการพื้นฐานของโอห์มมิเตอร์.....	12
2.7.1 ส่วนประกอบของโอห์มมิเตอร์.....	12
2.7.2 การวัดค่าความต้านทานของตัวต้านทาน.....	14
2.7.3 ข้อควรระวังในการใช้งานโอห์มมิเตอร์.....	17
2.8 บทสรุป.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3	การออกแบบโอห์มมิเตอร์โดยใช้ตัวจับเวลา.....	19
3.1	บทนำ.....	19
3.2	แนวคิดในการออกแบบโอห์มมิเตอร์.....	19
3.3	การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์.....	19
3.3.1	IC ชนิดLM555.....	19
3.3.2	ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7.....	22
3.3.3	การแสดงผลของ LCD.....	23
3.3.4	การสร้างโอห์มมิเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์.....	24
3.3	การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์.....	26
3.4	ผลการทดลอง.....	31
3.5	ผลการสอบเทียบ.....	33
3.6	บทสรุป.....	36
บทที่ 4	สรุปผลและวิจารณ์.....	37
4.1	บทนำ.....	37
4.2	ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข.....	37
4.3	แนวทางการพัฒนาต่อไป.....	37
4.4	บทสรุป.....	38
เอกสารอ้างอิง.....	39	
ภาคผนวก.....	40	
ก.	Datasheet ของ LM555	
ข.	Datasheet ของ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลARM7	
ค.	Datasheet ของ Philips LPC2106	
ง.	Source Code ของโปรแกรม Keil ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคำสั่งให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลARM7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2.1 แสดงค่าของรหัสที่ตามมาตรา EIA EIA-RS- 279.....	8
3.1 ตารางผลการคำนวณจากสมการที่ (3.1).....	31
3.2 ผลการสอบเทียบกับเครื่อง Fluke 5500A Multi-Product Calibrator.....	33
3.3 แสดง Tolerance Limit ของโอห์มมิเตอร์ที่ออกแบบ.....	34



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่.....	3
2.2 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้.....	4
2.3 โครงสร้างภายในของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้.....	4
2.4 ตัวต้านทานแบบรีโอสตัส.....	5
2.5 ตัวต้านทานแบบเทอร์มิสเตอร์.....	5
2.6 ตัวต้านทานแบบแอลคิออร์.....	6
2.7 ตัวอย่างตัวต้านทานแบบถ่าน.....	6
2.8 ตัวต้านทานแบบทวคพื้น.....	7
2.9 ตัวต้านทานแบบฟิล์ม.....	7
2.10 วงจรที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกฎของ โอห์ม.....	9
2.11 ความสัมพันธ์ของความต้านทาน พื้นที่หน้าตัด และความยาว.....	10
2.12 วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม.....	11
2.13 วงจรไฟฟ้าแบบขนาน.....	12
2.14 วงจรไฟฟ้าแบบขนานและแบบอนุกรมรวมกัน.....	12
2.15 วงจร โอห์มมิเตอร์แบบอันดับ.....	13
2.16 วงจร โอห์มมิเตอร์แบบขนาน.....	13
2.17 การปรับแต่ง โอห์มมิเตอร์ก่อนใช้งาน.....	15
2.18 การวัดตัวต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์.....	15
2.19 รูปร่างสัญลักษณ์และตำแหน่งขาของตัวต้านทานปรับค่าได้.....	16
2.20 การวัดหาค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้.....	16
2.21 การวัดการสัมผัสกันของตัวต้านทานปรับค่าได้.....	16
3.1 บล็อกโคจรแอมป์ของ โอห์มมิเตอร์ที่ออกแบบ โดยใช้ตัวจับเวลา.....	19
3.2 IC เบอร์ LM555.....	20
3.3 วงจร โม โนสเตเบิล.....	20
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และ C.....	21
3.5 โครงสร้างบอร์ด ET-ARM BASE2103/2106.....	23
3.6 ภาพหน้าจอแสดงผล LCD.....	23
3.7 การต่อวงจรกับไมโครคอนโทรลเลอร์LPC2148.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 ตำแหน่งอุปกรณ์ในวงจร โมโนสเตเบิล.....	25
3.9 ชิ้นงานที่ได้ทำการต่อวงจร Monostable ของ LM555.....	25
3.10 วงจรสวิตช์เลือก Range.....	25
3.11 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 ที่ใช้ทำโอห์มมิเตอร์.....	26
3.12 การต่อเชื่อมอุปกรณ์ LCD.....	26
3.13 Flow Chart แสดงการเขียนโปรแกรมช่วงที่ 1.....	27
3.14 รายละเอียดการเขียน โปรแกรมช่วงที่ 1 ตอนที่ 1.....	28
3.15 รายละเอียดการเขียน โปรแกรมช่วงที่ 1 ตอนที่ 2.....	28
3.16 Flow Chart แสดงการเขียน โปรแกรมช่วงที่ 2.....	29
3.17 รายละเอียดการเขียน โปรแกรมช่วงที่ 2.....	29
3.18 Flow Chart แสดงการเขียน โปรแกรมช่วงที่ 3.....	30
3.19 รายละเอียดการเขียน โปรแกรมช่วงที่ 3.....	30
3.20 หน้าจอแสดงผลการวัดความต้านทาน 800Ω.....	31
3.21 ผลการจับเวลาของความต้านทาน 800Ω.....	31
3.22 หน้าจอแสดงผลการวัดความต้านทาน 820Ω.....	32
3.23 ผลการจับเวลาของความต้านทาน 820Ω.....	32
3.24 หน้าจอแสดงผลการวัดความต้านทาน 100MΩ.....	32
3.25 ผลการจัดเวลาของความต้านทาน 100MΩ.....	32
3.26 คำนวณ และ อุปกรณ์ภายใน Ohmmeter using timer.....	33
3.27 ผลการสอบเทียบ.....	35

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) ในปัจจุบันนี้ผู้ผลิตจะผลิตโอห์มมิเตอร์ที่มีราคาถูกและมีขนาดเล็กซึ่งส่วนใหญ่จะผลิตจากประเทศที่มีต้นทุนค่าแรงถูก ซึ่งคุณภาพและความคงทนจะลดน้อยลงไปด้วย ซึ่งโอห์มมิเตอร์ราคาถูกคุณภาพต่ำที่มีวางขายในท้องตลาดในประเทศไทยนั้น จะมีย่านการวัดที่แคบและสามารถวัดค่าความต้านทานได้ต่ำ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะสามารถวัดค่าความต้านทานได้ไม่เกิน $10M\Omega$ และมีความไวในการอ่านค่าความต้านทานได้ช้า ดังนั้นหากสามารถออกแบบและสร้างโอห์มมิเตอร์ที่มีราคาถูก และมีย่านการวัดที่กว้างกว่าโอห์มมิเตอร์ราคาถูกในท้องตลาดจะช่วยให้อ่านค่าใช้ง่ายในการจัดซื้อโอห์มมิเตอร์ และซ่อมบำรุงเมื่อเกิดความเสียหายได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาโครงสร้างการทำงานของโอห์มมิเตอร์
2. ศึกษาการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7
3. ศึกษาหลักการการทำงานของ IC เบอร์ LM555 ซึ่งใช้เป็นตัวจับเวลา (Timer)
4. สามารถออกแบบและสร้างโอห์มมิเตอร์โดยใช้ตัวจับเวลาได้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ประยุกต์ใช้ IC เบอร์ LM555 ในการสร้างโอห์มมิเตอร์
2. สามารถนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 มาตรวจจับค่าสัญญาณ เอาต์พุตที่เป็นโมโนพัลส์ (Mono Pulse) ของ IC เบอร์ LM555 ได้
3. สามารถสร้างโอห์มมิเตอร์ที่มีความสามารถในการวัดค่าความต้านทานได้สูงถึง $200M\Omega$

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาโครงสร้างและหลักการการทำงาน โดยทั่วไปของโอห์มมิเตอร์
2. ศึกษาหลักการการทำงานของ IC เบอร์ LM555
3. ศึกษาหลักการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7
4. ศึกษาการแสดงผลด้วยจอ LCD
5. ออกแบบวงจรที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

1.5 รายละเอียดของปริิญาานิพนธ์

ในปริิญาานิพนธ์นี้ ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท เอกสารอ้างอิง และภาคผนวก โดยเนื้อหาแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาของปริิญาานิพนธ์ตลอดจนวัตถุประสงค์ และขอบเขต ของปริิญาานิพนธ์ พร้อมทั้งรายละเอียดของปริิญาานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับโอห์มมิเตอร์และตัวต้านทานไฟฟ้า โดยอธิบายเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานของโอห์มมิเตอร์ และตัวต้านทานไฟฟ้าแบบต่าง ๆ รวมถึงวิธีการอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้า และกฎของโอห์ม

บทที่ 3 เป็นการออกแบบโอห์มมิเตอร์ โดยใช้ตัวจับเวลาที่นำเสนอในปริิญาานิพนธ์นี้ ซึ่งมีย่านการวัด 3 ช่วงคือ $0-999\Omega$, $1k\Omega-999k\Omega$, $1M\Omega-200M\Omega$ โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วนคือ ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) โดยในส่วนของฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย IC เบอร์ LM555 ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณโมโนพัลส์ (Mono Pulse) ซึ่งค่าความกว้างของพัลส์นั้นจะแปรเปลี่ยนตามค่าความต้านทานที่ต้องการวัด และค่าของตัวเก็บประจุ วงจรที่นำมาใช้ในการวัดค่าความต้านทาน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลา โดยจะวัดช่วงเวลาที สัญญาณโมโนพัลส์อยู่ในสถานะ on ตลอดจนการแสดงผลด้วยจอ LCD และในส่วน ของซอฟต์แวร์เป็นการเขียน โปรแกรมให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้โปรแกรม Keil และคำอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดของโปรแกรม Keil ที่ใช้งานในการออกแบบโอห์มมิเตอร์ อีกทั้งยังอธิบายการสร้างโอห์มมิเตอร์ และย่านการวัดต่าง ๆ รวมถึงการทดลองและผลการทดลอง รวมทั้ง ผลการสอบเทียบโอห์มมิเตอร์โดยใช้ตัวจับเวลาที่ได้ทำการออกแบบ

บทที่ 4 การสรุปผลและวิจารณ์ โดยจะกล่าวถึงปัญหาที่ได้พบ และแนวทางวิธีการแก้ไข และแนวทางการพัฒนาโอห์มมิเตอร์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง แหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้อย่างอิงในปริิญาานิพนธ์ฉบับนี้

ภาคผนวก แบ่งออกเป็น 4 ภาคผนวก ดังนี้

ก. Source Code ของโปรแกรม Keil ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคำสั่งเพื่อป้อนข้อมูลให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลARM7

ข. Datasheet ของ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลARM7

ค. Datasheet ของ Philips LPC2106

ง. Datasheet ของ LM555

บทที่ 2

ไฟฟ้าทฤษฎีเกี่ยวกับตัวต้านทานและโอห์มมิเตอร์

2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับตัวต้านทานไฟฟ้า โดยชนิดของตัวต้านทานจะมีวิธีแบ่งออกได้ 2 วิธี คือ แบ่งตามลักษณะการใช้งานและแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ และได้อธิบายถึงวิธีการอ่านค่าความต้านทานแบบแถบสีหลักการพื้นฐานของโอห์มมิเตอร์ โดยแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลัก ๆ คือ แบบอนุกรมและแบบขนาน ซึ่งจะนี้เป็นพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างโอห์มมิเตอร์แบบต่าง ๆ ได้ รวมถึงวงจรในการต่อค่าความต้านทานและกฎของโอห์ม

2.2 ตัวต้านทานไฟฟ้า

ตัวต้านทานไฟฟ้า (Resistor) [1]-[5] คือ อุปกรณ์ที่นักวิทยาศาสตร์ประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อต่อร่วมกับวงจรในการบังคับให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเปลี่ยนแปลงตามต้องการ ตัวต้านทานทำมาจากวัสดุที่ข้อมให้อิเล็กตรอนหลุดจากตัวมันได้น้อย ความต้านทานไฟฟ้าจะมีหน่วยเป็น โอห์ม (Ohm) ซึ่งเป็นนามของ George Simon Ohm ชนิดตัวต้านทานไฟฟ้ามีการผลิตออกมาหลายแบบถ้าแบ่งตามลักษณะการใช้งานและแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ จะสามารถแบ่งได้

2.2.1 ตัวต้านทานแบ่งตามลักษณะการใช้งาน

ถ้าแบ่งชนิดของตัวต้านทานตามลักษณะการใช้งานจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือชนิดค่าคงที่ (Fixed Resistor) ชนิดปรับค่าได้ (Adjustable Resistor) และชนิดพิเศษ (Special Resistor) โดยแต่ละชนิดมีเนื้อหาโดยย่อดังต่อไปนี้ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.1 เป็นตัวต้านทานที่มีความต้านทานคงที่โดยจะกำหนดค่าความต้านทานเป็นรหัส เช่น ตัวเลข โค้ดสีจะพบเห็นได้ในวงจรทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 2.1 ตัวอย่างตัวต้านทานชนิดค่าคงที่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีในการผลิตตัวต้านทานชนิดคงที่มีด้วยกันหลายวิธีตามแต่ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำ ตัวต้านทาน เช่นการใช้ลวดพันรอบโครงสร้างของตัวต้านทาน แล้วยึดออกมาใช้งาน

ตัวต้านทานปรับค่าได้ หรือรีซิสเตอร์แบบแทป (Tap Resistor) เป็นตัวต้านทานที่ใช้กับงาน ที่มีกำลังวัตต์สูง ๆ และงานที่ต้องการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอยู่บ่อย ๆ สามารถเลือกค่าได้ค่า หนึ่ง โดยปกติจะมี 1 ขั้วหรือมากกว่านั้นแยกออกมาเพื่อเลือกนำไปใช้งานเพื่อให้การทำงาน เป็นไป ตามวัตถุประสงค์ ส่วนในตัวต้านทานปรับค่าได้จะมีอยู่หลายประเภท เช่น แบบหมุนซึ่งมีทั้งแบบ ธรรมดาที่หมุนได้รอบเดียวที่ใช้กันทั่วไป และแบบพิเศษที่สามารถหมุนได้หลายรอบ (Trimmer- Potentiometer) และแบบสไลด์ ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าความต้านทานได้อย่างต่อเนื่องในช่วง ค่าความต้านทานที่กำหนดไว้จะใช้ในงานที่ต้องการปรับค่าความต้านทานบ่อย ๆ ตัวต้านทานชนิดนี้ จะมีหน้าคอนแทกสำหรับใช้ในการหมุนเลื่อนหน้าคอนแทก ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 2.2 และ 2.3 ซึ่งเป็นแบบโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)



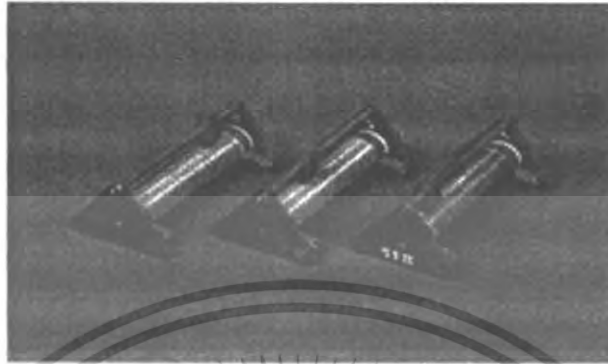
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างตัวต้านทานแบบปรับค่าได้แบบโพเทนชิโอมิเตอร์



รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) ตัวต้านทานชนิดนี้ มีลักษณะเป็นแผ่นโค้ง ส่วนใหญ่จะมีหน้าสัมผัสเป็นแบบถ่าน (Carbon) ดังนั้นจะใช้กับงานที่มีกระแสค่อนข้างน้อย ๆ เช่น เป็นตัวควบคุมระดับความดังของเสียง



รูปที่ 2.4 ตัวต้านทานแบบรีโอสแตต

รีโอสแตต (Reostat) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4 ตัวต้านทานชนิดนี้มีลักษณะเป็นขดลวดพันรอบแกนเป็นหน้าสัมผัส ในกรณีที่ต้องการใช้งานตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ในงานที่มีกระแสค่อนข้างน้อย ๆ เช่น ใช้ปรับกระแสหรือแรงดันในเครื่องแหล่งจ่ายไฟ จะใช้ตัวต้านทานแบบรีโอสแตต

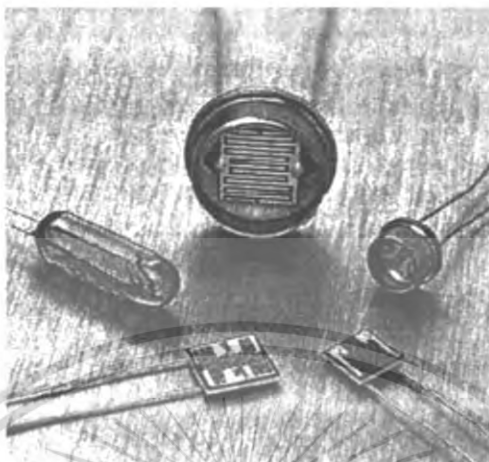


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์

ตัวต้านทานชนิดพิเศษ เป็นตัวต้านทานที่มีลักษณะพิเศษสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิ หรือเทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) ตัวต้านทานชนิดนี้ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิแวดล้อม ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.5 ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับขดเชยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวงจร หรือใช้เป็นตัวเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

นอกจากนี้ประเภทที่เปลี่ยนตามความสว่าง หรือแอลดีอาร์ (Light Dependent Resistor - LDR) ตัวต้านทานชนิดนี้จะเป็นตัวต้านทานที่ไวต่อแสง เนื้อหาโดยค่าความต้านทานจะลดลงเมื่อความเข้มของแสงที่

ตกกระทบมีค่ามากส่วนใหญ่ จะใช้เป็นตัวเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า
 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแอตคัวร์

2.2.2 ตัวต้านทานแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ

ถ้าแบ่งชนิดของตัวต้านทานตามวัสดุที่ใช้ทำจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือตัวต้านทานแบบถ่าน (Carbon Composition Resistor) ตัวต้านทานแบบทวดพัน (Wire Wound Resistor) แบบฟิล์ม (Film-Type Resistor) โดยตัวต้านทานแต่ละแบบมีเนื้อหา โดยย่อ ดังนี้

ตัวต้านทานแบบถ่านดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.7 จะทำมาจากผงคาร์บอน โดยนำมาอัดให้เป็นแท่งแล้วหุ้มตัวด้วยฉนวน โดยปกติจะมีค่าความต้านทานตั้งแต่ค่าต่ำ ๆ จนถึงค่า 20MW และมีค่าทนกำลังงานขนาด 1/8 , 1/4 , 1/2 , 1 และ 2 วัตต์ ตัวต้านทานแบบนี้ถ้ากำลังวัตต์ค่าตัวต้านทานจะมีขนาดเล็ก และถ้ากำลังวัตต์มากตัวต้านทานก็จะมีขนาดใหญ่



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างตัวต้านทานแบบถ่าน

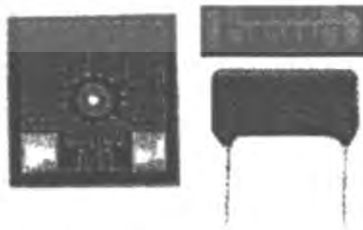
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ
 เป็นส่วนผสมจากนิกเกิล - โครเมียม (Nickel - Chromium) หรือส่วนผสมจากทองแดง - นิกเกิล

(Copper-Nickel) ลวดนี้จะพันรอบแกนฉนวนที่ทำจากเซรามิก แล้วเคลือบด้วยฉนวนอีกทีหนึ่งตัว ด้านทานชนิดนี้ จะใช้ความยาวของขดลวด และค่าความต้านทานจำเพาะเป็นตัวกำหนดค่าความต้านทาน โดยจะมีค่าตั้งแต่เศษส่วนของโอห์มจนถึงหลายพันโอห์ม และมีกำลังตั้งแต่ 3 วัตต์ จนถึงหลายพันวัตต์ ดังนั้นส่วนใหญ่จะพบมากในตัวต้านทานชนิดเลือกค่าได้ และจะใช้งานในงานที่มีกระแสสูงๆ และทนกำลังงานได้สูง



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างตัวต้านทานแบบลวดพัน

ตัวต้านทานแบบฟิล์ม ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.9 ตัวต้านทานชนิดนี้จะทำจากฟิล์มบาง ๆ ของแก้วและโลหะหลอมเข้าด้วยกัน แล้วนำไปเคลือบแกนที่ทำมาจากผลึกของเซรามิก และให้ค่าความต้านทานอยู่ในช่วงเดียวกับตัวต้านทานแบบถ่าน จะเห็นได้ว่า คุณสมบัติความหนาของฟิล์มบาง ๆ เป็นสิ่งที่ควบคุมได้ง่าย ดังนั้นค่าความต้านทานที่ได้จึงมีค่าแน่นอน ไม่เหมือนกับแบบถ่าน เพราะจะควบคุมที่ส่วนผสมของถ่านคาร์บอน ทำให้ค่าความต้านทานไม่แน่นอน ดังนั้นตัวต้านทานชนิดฟิล์มนี้จึงมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำ ซึ่งจะนำไปใช้งานทางเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าต่าง ๆ



รูปที่ 2.9 ตัวต้านทานแบบฟิล์ม

2.3 การอ่านค่าตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับองค์กรที่ออกเอกสารนี้เท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในโครงการอื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร
ตัวต้านทานแบบ 4 แถบสีนั้นเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด โดยจะมีแถบสีระบุเป็นเส้น 4 แถบรอบตัวต้านทาน โดยค่าตัวเลขของ 2 แถบแรกจะเป็นค่าสองหลักแรกของความต้านทาน แถบที่

3 เป็นตัวคูณ และแถบที่ 4 เป็นค่าขอบเขตความเบี่ยงเบน ซึ่งมีค่าเป็น 2%, 5% หรือ 10% ค่าของรหัสสีตามมาตรฐาน EIA EIA-RS- 279 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าของรหัสสีตามมาตรฐาน EIAEIA-RS-279

Color	1 st	2 nd	Multiplier	Resistance Tolerance
ดำ	0	0	1000	-
เหลือง	4	4	10000	-
เขียว	5	5	100000	-
น้ำเงิน	6	6	1000000	-
ม่วง	7	7	10000000	-
ขาว	9	9	100000000	-
ทอง	-	0.1	-	5% (J)
เงิน	-	0.01	-	10% (K)
ไม่มีสี	-	-	-	20% (M)

หมายเหตุ : สีแดง ถึง ม่วง เป็นสีรุ่ง โดยที่สีแดงเป็นสีพลังงานต่ำ และสีม่วงเป็นสีพลังงานสูง

ตัวต้านทานมาตรฐานที่ผลิตมีค่าตั้งแต่มิลลิโอห์ม (mΩ) จนถึงกิกะโอห์ม (GΩ) ซึ่งในช่วงนี้จะมีเพียงบางค่าที่เรียกว่า “ค่าที่พึงประสงค์” เท่านั้นที่ถูกผลิต และตัวต้านทานที่เป็นอุปกรณ์แยกในท้องตลาดเหล่านั้นนั้น ในทางปฏิบัติแล้วไม่ได้มีค่าตามอุดมคติ ดังนั้นจึงมีการระบุขอบเขตของความเบี่ยงเบนจากค่าที่ระบุไว้ โดยการใส่แถบสีแถบสุดท้าย

ตัวต้านทานแบบมี 5 แถบสีนั้น ปกติใช้สำหรับตัวต้านทานที่มีความแม่นยำสูง (โดยมีค่าขอบเขตของความเบี่ยงเบน 1%, 0.5%, 0.25%, 0.1%) แถบสี 3 แถบแรกนั้นใช้ระบุค่าความต้านทาน แถบที่ 4 ใช้ระบุค่าตัวคูณ และแถบที่ 5 ใช้ระบุขอบเขตของความเบี่ยงเบน ส่วนตัวต้านทานแบบ 5 แถบสีที่มีความแม่นยำปกติ มีพบได้ในตัวต้านทานรุ่นเก่า หรือตัวต้านทานแบบพิเศษ ซึ่งค่าขอบเขตของความเบี่ยงเบนจะอยู่ในตำแหน่งปกติคือ แถบที่ 4 ส่วนแถบที่ 5 นั้นใช้บอกค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ ตัวต้านทานแบบ SMT หรือตัวต้านทานแบบประกบผิวหน้า ระบุค่าความต้านทานด้วย

เอกสารนี้จัดทำโดยวิศวกรอาวุโสของศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) สวทช. ภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สนวช.) และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)

ไม่มีการกล่าวถึงชื่อของหน่วยงานต้นสังกัดและผลิตภัณฑ์ 3 คือค่าเลขยกกำลังของ 10 ตัวอย่างเช่น "472" ใช้

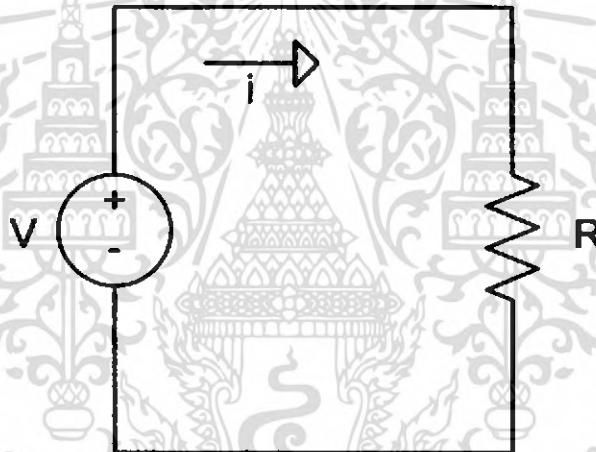
หมายถึง "47" เป็นค่าสองหลักแรกของค่าความต้านทาน คูณด้วย 10 ยกกำลังสอง $47 \times 10^2 = 47 \times 100 = 4700$ โอห์ม ส่วนตัวต้านทาน SMT ความแม่นยำสูง จะใช้รหัสเลข 4 หลัก โดยที่ 3 หลักแรกบอกค่าตามหลักแรกของความต้านทาน และหลักที่ 4 คือค่าเลขยกกำลังของ 10

2.4 กฎของโอห์ม

กฎของโอห์ม (Ohm's Law) ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และความต้านทาน (R) ในวงจรไฟฟ้าง่ายรูปที่ 2.10 กล่าวคือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานใด ๆ จะแปรผันตรงกับความต่างศักย์(แรงดันไฟฟ้าหรือแรงดันตกคร่อม)และแปรผกผันกับความต้านทานระหว่างสองจุดนั้นที่กระแสไหลผ่านในสูตรสมการทางคณิตศาสตร์ เขียนได้ดังนี้

$$V = IR$$

(2.1)



รูปที่ 2.10 วงจรที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกฎของโอห์ม

โดยที่ (V) คือ ความต่างศักย์มีหน่วยเป็น โวลต์, (I) คือกระแสในวงจรมีหน่วยเป็นแอมแปร์ และ (R) คือความต้านทานในวงจรมีหน่วยเป็น โอห์ม

กฎของโอห์มตั้งชื่อเป็นเกียรติให้กับ เกออร์ก โอห์ม (George Simon Ohm) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ผู้ที่ตีพิมพ์ผลงานในปี พ.ศ. 2370 (ค.ศ. 1827) บรรยายการทดลองวัดค่าแรงดันและกระแสผ่านลวดความยาวต่าง ๆ กัน และอธิบายผลด้วยสมการ ซึ่งซับซ้อนกว่าสมการที่ (2.1) เล็กน้อย

ค่าความต้านทาน (Resistance) ของอุปกรณ์ต้านทาน เช่น ตัวต้านทานมีค่าคงที่ ๆ กระแสและแรงดันช่วงที่กว้าง เมื่อตัวต้านทานถูกนำมาใช้ในเงื่อนไขดังกล่าว เรียกตัวต้านทานนั้นว่า อุปกรณ์โอห์มิก (Ohmic Device) เพราะเพียงค่าความต้านทานค่าเดียว สามารถใช้อธิบายคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้นได้ แต่ถ้าป้อนแรงดันที่สูงมาก อุปกรณ์ดังกล่าวจะสูญเสียคุณสมบัติโอห์มิกไป ซึ่งค่าความต้านทานมักสูงกว่าความต้านทานในสภาวะปกติ

2.5 สภาพความต้านทาน

สภาพความต้านทาน (Resistivity) เป็นความสามารถของวัสดุในการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าค่าของควาต้านทาน ขึ้นอยู่กับสภาพต้านทานของสารที่เป็นส่วนประกอบของของวัสดุ และรูปร่างของวัสดุ หน่วยของความต้านทานคือโอห์มเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในวัตถุจะชนอะตอม และถ่ายพลังงานให้ทำให้วัตถุร้อน เป็นการนำพลังงานจากแหล่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าความสัพันซ์ ดังรูปที่ 2.11 เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

เมื่อ ρ คือ สภาพต้านทาน (Resistivity) ($\Omega \cdot m$)

L คือ ความยาวของตัวนำ (m)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (m^2)



รูปที่ 2.11 ความสัพันซ์ของความต้านทาน พื้นที่หน้าตัด และความยาว

สภาพความต้านทาน เป็นความสามารถของสารในการต้านทานกระแสไฟฟ้า ตัวนำที่มีค่าสภาพต้านทานต่ำ ฉนวนมีสภาพความต้านทานสูง สภาพความต้านทานแปรผกผันกับสภาพนำของสาร และมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ

2.6 วงจรอนุกรม และวงจรขนาน

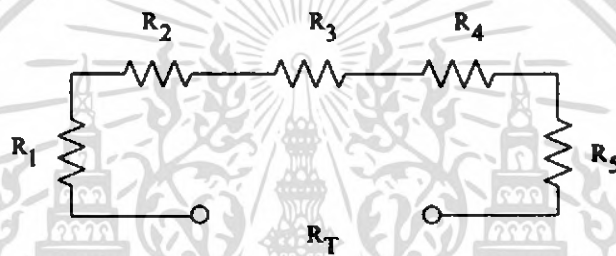
วงจรอนุกรม (Series Circuit) หมายถึง การนำเอาอุปกรณ์ทางไฟฟ้า มาต่อกันในลักษณะที่ปลายด้านหนึ่งของอุปกรณ์ตัวที่ 1 ต่อเข้ากับอุปกรณ์ตัวที่ 2 จากนั้นนำปลายที่เหลือของอุปกรณ์ตัวที่ 2 ไปต่อกับอุปกรณ์ตัวที่ 3 และจะต่อลักษณะนี้ไปเรื่อย ๆ ซึ่งการต่อแบบนี้จะทำให้กระแสไฟฟ้า ไหลผ่านทุกชิ้น ทุกส่วน อีกทั้งห้ามมีโหนดตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลไปในทิศทางเดียวกระแสไฟฟ้าภายในวงจรอนุกรม จะมีค่าเท่ากันทุก ๆ จุด ค่าความต้านทานรวมของวงจรอนุกรมนั้นคือการนำเอาค่าความต้านทานทั้งหมดนำมาบวกกัน ส่วนแรงดันไฟฟ้าในวงจรอนุกรมนั้นแรงดันจะปรากฏพร้อมค่าความต้านทานทุกตัวที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าไม่เท่ากัน โดยสามารถคำนวณหาได้จากกฎของโอห์ม

สูตรหาค่าความต้านทานรวมของวงจรอนุกรม R_T คือ

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (2.3)$$

เมื่อ R_j คือ ความต้านทานของตัวต้านทานลำดับที่ j



รูปที่ 2.12 วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

จากรูปที่ 2.12 เมื่อ $n=5$ จะได้ค่าความต้านทานรวม R_T คือ

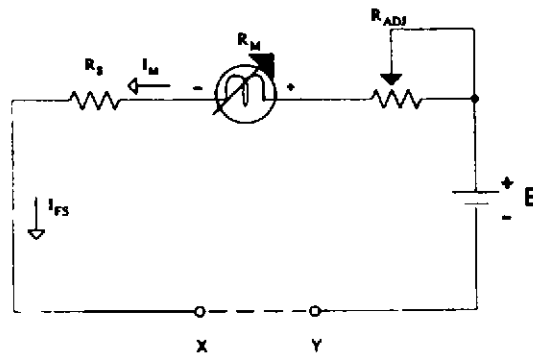
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad (2.4)$$

วงจรขนาน (Parallel Circuit) คือ วงจรที่เกิดจากการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปให้ขนานกับแหล่งจ่ายไฟ มีผลทำให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน ส่วนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะมีตั้งแต่ 2 ทิศทางขึ้นไป คุณสมบัติของสาขาของวงจรส่วนค่าความต้านทานรวมภายในวงจรขนาน จะมีค่าความต้านทานเท่ากับผลรวมของส่วนกลับของค่าความต้านทานทุกตัวรวมกัน ซึ่งค่าความต้านทานรวมภายในวงจรไฟฟ้าแบบขนาน จะมีค่าน้อยกว่าค่าความต้านทานภายในสาขาที่มีค่าน้อยที่สุด และค่าแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานไฟฟ้าแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนของแหล่งจ่าย

สูตรหาค่าความต้านทานรวมของวงจรขนานคือ

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



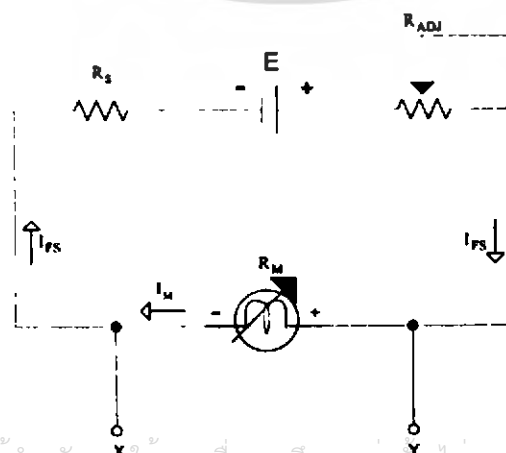
รูปที่ 2.15 วงจรโอห์มมิเตอร์แบบอันดับ

โอห์มมิเตอร์แบบอันดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 คือ โอห์มมิเตอร์ที่มีตัวต้านทานไม่ทราบค่าที่ต้องการวัดต่อเป็นอันดับกับขดลวดเคลื่อนที่ของมิเตอร์ สถานะการบายเบนของเข็มมิเตอร์จะขึ้นอยู่กับขนาดของความต้านทานที่ไม่ทราบค่า ถ้าขนาดความต้านทานไม่ทราบค่าสูงจะจำกัดกระแสให้ผ่านขดลวดเคลื่อนที่น้อย ถ้าขนาดความต้านทานไม่ทราบค่าต่ำจะจำกัดกระแสให้ผ่านขดลวดเคลื่อนที่มาก ผลดังกล่าวเข็มมิเตอร์จะชี้ค่าความต้านทานออกมา การเปลี่ยนสเกลหน้าปัดของมิเตอร์ให้หน้าปัดของมิเตอร์เป็นสเกลของโอห์มมิเตอร์ทำได้ โดยใช้ตัวต้านทานมีค่าความต้านทานต่าง ๆ แทนค่าลงในสมการดังต่อไปนี้

$$I_{FS} = I_M = \frac{E}{R_S + R_M + R_{ADJ}} \quad (2.8)$$

$$I_X = \frac{E}{R_S + R_M + R_{ADJ} + R_X} \quad (2.9)$$

คำนวณค่าออกมาเป็นกระแสในค่าต่าง ๆ กำหนดค่าความต้านทานตามกระแสที่คำนวณได้ ก็จะได้สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบอันดับตามที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก ำใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ด ำรูปที่ 2.16 วงจรโอห์มมิเตอร์แบบขนานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอห์มมิเตอร์แบบขนาน ดังแสดงในรูปที่ 2.16 เป็นโอห์มมิเตอร์ที่วัดค่าความต้านทานต่ำ ๆ ได้ดี จากผลของการต่อความต้านทานไม่ทราบค่าขนานกับมิเตอร์นั่นเอง ในทำนองเดียวกันการต่อตัวต้านทานทราบค่าต่ำ ๆ ขนานกับมิเตอร์ ก็สามารถนำโอห์มมิเตอร์ไปวัดค่าความต้านทานต่ำได้เช่นกัน และสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานของมิเตอร์ได้ ทำให้สามารถวัดค่าความต้านทานได้กว้างเรียกโอห์มมิเตอร์แบบนี้ว่า “โอห์มมิเตอร์แบบปรับแรงดัน” โดยอาศัยตัวต้านทานขนานค่าต่ำที่ต่อร่วมกับตัวต้านทานที่ต้องการวัดค่า โดยต่อร่วมเป็นวงจรแบ่งแรงดัน ผลการแบ่งแรงดันจะทำให้มีแรงดันไฟตรงตกคร่อมขดลวดเคลื่อนที่ของมิเตอร์เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่เปลี่ยนไปเกิดการบ่ายเบนที่เปลี่ยนแปลง เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสเกลหน้าปัดให้เป็นสเกลโอห์มมิเตอร์ ก็สามารถอ่านค่าความต้านทานที่ทำการวัดได้ สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบขนานจะตรงข้ามกับสเกลของโอห์มมิเตอร์แบบอันดับคือ มี 0 โอห์มอยู่ทางซ้ายมือ และมีอินฟินิตี้ (∞) โอห์มอยู่ทางขวามือ โอห์มมิเตอร์แบบขนานมี สมการดังต่อไปนี้

$$I_{FS} = I_M = \frac{E}{R_S + R_M + R_{ADJ}} \quad (2.10)$$

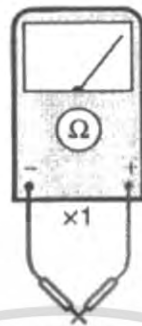
$$I_O = \frac{E}{R_S + R_{ADJ} + R_{XY}} \times \frac{R_{XY}}{R_M} \quad (2.11)$$

นอกจากนั้นยังมีโอห์มมิเตอร์อีกหลายแบบ ซึ่งจะนำหลักการของโอห์มมิเตอร์แบบอันดับและโอห์มมิเตอร์แบบขนาน มาประยุกต์คิดแปลงขึ้นใหม่ เช่น โอห์มมิเตอร์แบบปรับแบ่งแรงดันหรือโอห์มมิเตอร์แบบหลายย่านวัด โดยโอห์มมิเตอร์แบบปรับแบ่งแรงดันจะมีโครงสร้างมาจากโอห์มมิเตอร์แบบอันดับ โดยทำการคิดแปลงส่วนประกอบวงจรคือเพิ่มตัวต้านทานค่าต่ำขนานกับมิเตอร์ ดังนั้นสเกลของโอห์มมิเตอร์แบบนี้จะมีสเกลเหมือนกับโอห์มมิเตอร์แบบอันดับคือ 0 โอห์มจะอยู่ทางขวามือ และอินฟินิตี้ จะอยู่ทางซ้ายมือ ส่วนโอห์มมิเตอร์แบบหลายย่านวัด คือโอห์มมิเตอร์ที่วัดค่าความต้านทานได้กว้าง ตั้งแต่ค่าต่ำไปหาค่าสูง โดยอาศัยหลักการของโอห์มมิเตอร์แบบปรับแรงดันย่านวัดถูกสร้างให้เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ 1 เท่า 10 เท่า 100 เท่า หรือ 1,000 เท่า เป็นชิ้นส่วนสำคัญของโอห์มมิเตอร์หลายย่านวัดคือ จะต้องใช้สเกลการวัดค่าเพียงสเกลเดียว การกำหนดค่าสเกลจะต้องมองที่ขั้วกลางสเกลของ โอห์มมิเตอร์ย่านต่ำสุด

2.7.2 การวัดค่าความต้านทานของตัวต้านทาน

การวัดตัวต้านทานนั้นก่อนการวัดค่าทุกครั้ง ต้องทำการปรับแต่งโอห์มมิเตอร์ให้พร้อมใช้งาน โดยขอร์ดปลายเข็มวัดของโอห์มมิเตอร์เข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 และทำการปรับแต่งปุ่มปรับ 0Ω ADJ. ที่หน้าปัดมิเตอร์ให้เข็มชี้ของมิเตอร์เคลื่อน ไปชี้ที่ตำแหน่ง 0Ω พอดี ที่สเกลโอห์ม และการเปลี่ยนย่านวัดของโอห์มมิเตอร์ทุกย่าน จะต้องทำการปรับแต่งโอห์มมิเตอร์ใหม่ทุกครั้ง

เมื่อปรับแต่ง โอห์มมิเตอร์พร้อมใช้งานเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถนำโอห์มมิเตอร์ไปวัดความต้านทานได้ตามต้องการ



รูปที่ 2.17 การปรับแต่งโอห์มมิเตอร์ก่อนใช้งาน



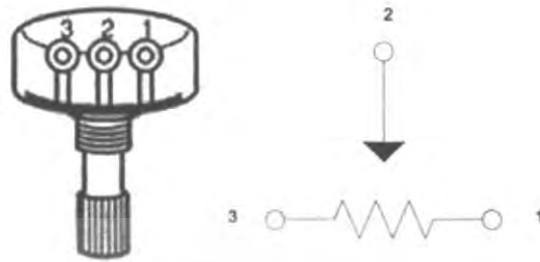
รูปที่ 2.18 การวัดตัวต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์

การวัดตัวต้านทานแบบคงที่ ถ้าตัวต้านทานที่จะนำมาวัดเป็นชนิดค่าคงที่ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.18 ซึ่งก่อนการวัดค่าจะต้องทำการอ่านค่าความต้านทานที่บอกไว้อาจเป็นรหัสสี หรือตัวเลขกำกับไว้ เมื่อทราบค่าแล้ว ก็ตั้ง โอห์มมิเตอร์ ในย่านใกล้เคียงที่จะวัดได้ เช่น ตัวต้านทานมีค่า $5,000\Omega$ ก็ตั้ง โอห์มมิเตอร์ที่ย่าน $R \times 100$ หรือตัวต้านทานที่ค่า $250k\Omega$ ก็ตั้ง โอห์มมิเตอร์ที่ย่าน $R \times 10k$ เป็นต้น และอย่าลืมปรับแต่ง โอห์มมิเตอร์ก่อนการใช้งานทุกครั้งจึงจะสามารถนำโอห์มมิเตอร์ไปวัดค่าตัวต้านทานนั้น ๆ ได้

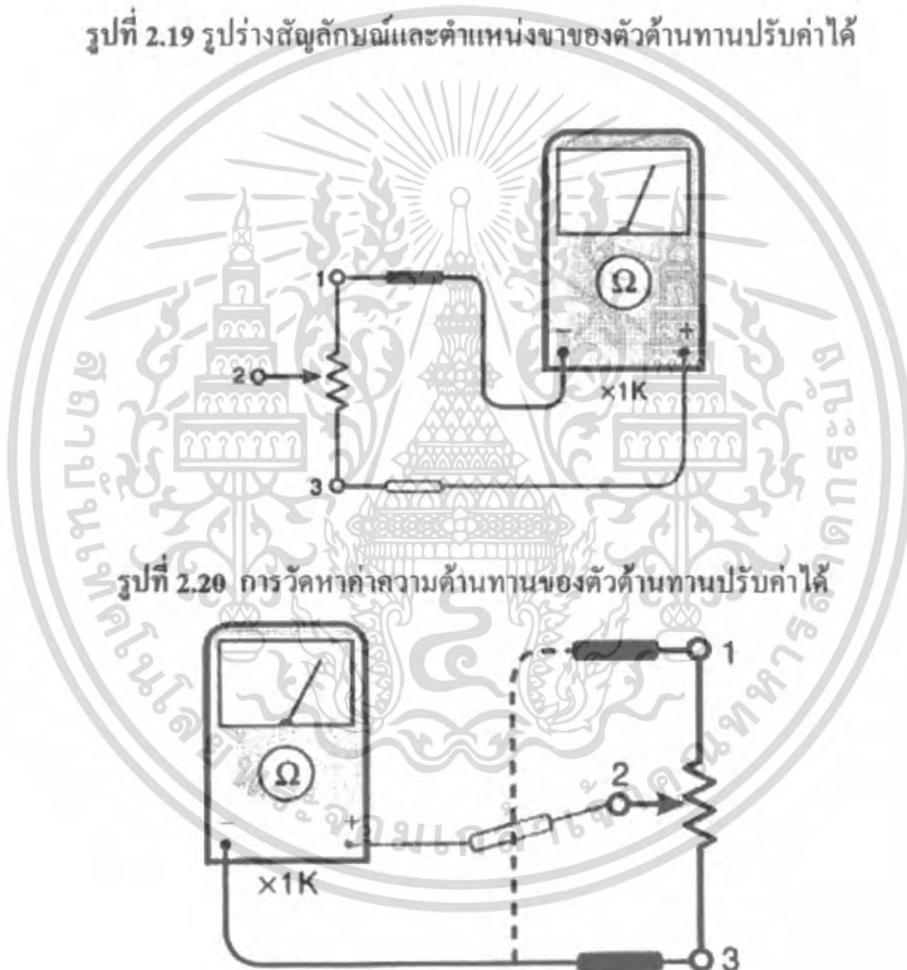
การอ่านค่าความต้านทานให้อ่านที่สเกลโอห์ม ที่หน้าปัดมิเตอร์ค่าที่อ่านได้เท่าไร นำมาคูณเข้ากับย่านที่ตั้งวัดของโอห์มมิเตอร์ เช่น ตั้งย่านวัดโอห์มมิเตอร์ไว้ที่ $R \times 100$ เข็มมิเตอร์ชี้หน้าปัดมิเตอร์ที่เลข 8 จะอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานได้เท่ากับ 800Ω ($8 \times 100 = 800\Omega$) หรือตั้งย่านวัดโอห์มมิเตอร์ไว้ที่ $R \times 10k$ เข็มมิเตอร์ชี้หน้าปัดมิเตอร์ที่เลข 50 จะอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานได้เท่ากับ $500k\Omega$ ($50 \times 10k = 500k\Omega$) เป็นต้น

การวัดตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ ในกรณีที่วัดตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ชนิดปกคิซึ่งมี 3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ขาดังแสดงในรูปที่ 2.19 ขกกลาง (ขา 2) จะเป็นขาที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนได้ ตามการปรับแต่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผู้วัดส่วนริมทั้ง 2 ขา (ขา 1 และ 3) จะเป็นค่าความต้านทานคงที่ ที่บอกค่าไว้ที่ตัวถังด้านนอกของตัวต้านทานปรับค่าได้นั้น ๆ



รูปที่ 2.19 รูปร่างสัญลักษณ์และตำแหน่งขาของตัวต้านทานปรับค่าได้



รูปที่ 2.20 การวัดค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้

รูปที่ 2.21 การวัดการสัมผัสกันของตัวต้านทานปรับค่าได้

เมื่อต้องการจะวัดค่าความต้านทานทั้งหมดของตัวต้านทานปรับค่าได้ให้ใช้โอห์มมิเตอร์วัดคร่อมขา 1 และขา 3 ของตัวต้านทานปรับค่าได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ก็จะได้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ตัวนั้น ถ้าต้องการตรวจสอบสถานะการเปลี่ยนค่าได้ หรือต้องการตรวจสอบ

สภาพดี - เสียของตัวต้านทานปรับค่าได้ จะต้องใช้โอห์มมิเตอร์วัดตัวต้านทานปรับค่าได้ ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ขกกลางและขาริมขาใดขาหนึ่ง (วัดขา 2 กับขา 1 หรือขา 3 ขาใดขาหนึ่ง) ดังแสดงในรูปที่ 2.21 และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับป้อนปรับของตัวต้านทานเปลี่ยนค่าได้ไปมา โดยปรับให้ไปสุดด้านหนึ่งและปรับย้อนกลับมาสุดอีกด้านหนึ่งสลับไปสลับมา ขณะปรับป้อนอยู่ให้ดูเข็มชี้ของโอห์มมิเตอร์ด้วย เข็มจะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงขึ้นลง ตามการปรับนั้นอย่างเนื่อง ไม่สะดุดหรือตกไปสุดสเกลซ้ายมือด้านโอห์มสูง (∞) แสดงว่าตัวต้านทานปรับค่าได้ตัวนั้นดี ถ้าการปรับป้อนไม่ว่าคอนใดก็ตามเข็มชี้ของโอห์มมิเตอร์มีการสะดุด หรือตกไปสุดสเกลด้านซ้ายมือด้านโอห์มสูง (∞) แสดงว่าตัวต้านทานปรับค่าได้ตัวนั้นเสีย

2.7.3 ข้อควรระวังในการใช้งานโอห์มมิเตอร์

ข้อควรระวังในการใช้งานโอห์มมิเตอร์ โดยทั่วไปสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใช้โอห์มมิเตอร์วัดตัวต้านทาน ไม่ควรทำการวัดในขณะที่ตัวต้านทานยังมีแรงดันตกคร่อมอยู่ เพราะจะทำให้โอห์มมิเตอร์เสียได้ และการวัดตัวต้านทานในวงจร ถึงแม้ว่าสามารถอ่านค่าได้แต่ค่าที่อ่านได้นั้นอาจไม่ถูกต้อง เพราะตัวต้านทานอาจจะต่อร่วมกับอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ อีก ดังนั้นถ้าจะวัดตัวต้านทานในวงจร จึงจำเป็นต้องปลดตัวต้านทานนั้นออกจากวงจรหนึ่งก่อนทำการวัดด้วยโอห์มมิเตอร์

2. การใช้โอห์มมิเตอร์ตั้งแต่ย่าน Rx1k ขึ้นไป (Rx1k, Rx10k) ควรวัดตัวต้านทาน หรือ อุปกรณ์อื่น ๆ ห้ามใช้มือของผู้วัดจับปลายเข็มวัดทั้งสองสาย ของโอห์มมิเตอร์ด้วยมือทั้งสองข้าง เพราะเข็มมิเตอร์จะกระดิกขึ้น เนื่องจากมีกระแสจากไหลผ่านตัวผู้วัดทำให้การวัดค่าผิดพลาด แต่ถ้าจับปลายเข็มวัดสายเดียวด้วยมือข้างเดียวไม่เป็นไร

3. อาการเสียของตัวต้านทาน ถ้าเป็นตัวต้านทานคงที่จะพบบ่อยคือความต้านทานมีค่าเกินหรือขาด ถ้าเป็นตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ที่พบบ่อยคือ ปรับค่าความต้านทานแล้วสะดุดบางช่วงและขาดหากเป็นตัวต้านทานปรับค่าแบบคาร์บอนอาการดังกล่าว อาจเกิดจากการสึกกร่อนของผงคาร์บอนที่ฉาบไว้ และหากเป็นตัวต้านทานปรับค่าได้แบบ (Wire Wound Resistor) อาการดังกล่าวจะเกิดจากการขาดของขดลวดที่พันไว้บางจุด

4. การเปลี่ยนตัวต้านทาน ควรจะเปลี่ยนตัวต้านทานให้มีทั้งค่าความต้านทาน และค่าทนกำลังไฟฟ้าเท่าเดิม ไม่ควรใช้ค่ามากหรือน้อยกว่าเดิม เพราะอาจจะทำให้ตัวต้านทานนั้นไม่ทนทานหรืออาจทำให้วงจรนั้น ๆ ทำงานผิดพลาด จนอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ตัวอื่น ๆ จำรงเสียหายได้

2.8 บทสรุป

ตัวต้านทานไฟฟ้าแบ่งได้ 2 วิธีแบ่งเป็นตามลักษณะการใช้งาน และแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ วัสดุของโอห์มเป็นวัสดุที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้าสภาพความต้านทานเป็นความสามารถของวัตถุในการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าค่าของความต้านทานขึ้นอยู่กับสภาพความต้านทานของสารที่เป็นส่วนประกอบของวัตถุ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทรัพย์สินขององค์กร หน่วยงานของหน่วยงานคือ โอห์ม และวงจรไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ วงจรไม่รวมใคร ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้

อนุกรม และ วงจรขนาน และ โอห์มมิเตอร์แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบอันดับซึ่งเป็นชนิดที่มี
โครงสร้างง่ายที่สุด และแบบขนานโดยแบบขนานนี้จะเหมาะสำหรับวัดค่าความต้านทานต่ำ ๆ ได้ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

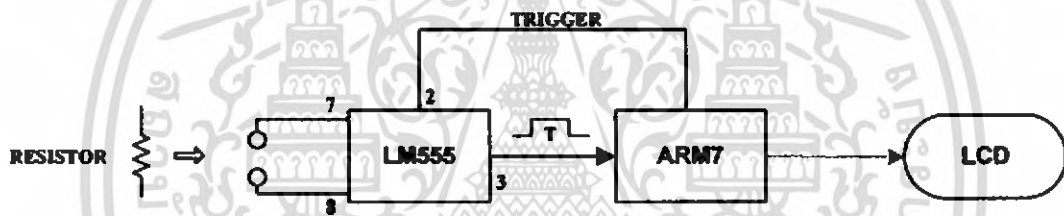
บทที่ 3

การออกแบบโอห์มมิเตอร์และผลการทดลอง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและหลักการออกแบบโอห์มมิเตอร์ โดยใช้หลักการของ ตัวจับเวลา ซึ่งจะประกอบไปด้วย IC เบอร์ LM555 และ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 และ ส่วนแสดงผลด้วยจอ LCD การออกแบบโอห์มมิเตอร์ที่นำเสนอจะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์และส่วนของซอฟต์แวร์เพื่อใช้วัดค่าความต้านทานในย่านการวัด 0-999Ω, 1kΩ-999kΩ และ 1MΩ-200MΩ พร้อมทั้งแสดงผลการวัดที่ได้จากการทดลองและผลการสอบเทียบ

3.2 แนวคิดในการออกแบบโอห์มมิเตอร์



รูปที่ 3.1 บล็อกโคอะแกรมของโอห์มมิเตอร์ที่ออกแบบโดยใช้ตัวจับเวลา

ในรูปที่ 3.1 แสดงบล็อกโคอะแกรม ของโอห์มมิเตอร์ ที่ออกแบบโดยใช้หลักการของ ตัวจับเวลาซึ่งประกอบด้วย IC เบอร์ LM555 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 และส่วนแสดงผล LCD โดยใช้ LM555 ในการสร้างสัญญาณ ไมโนพัลส์ ซึ่งมีความกว้างของพัลส์แปรเปลี่ยนตาม ค่าความต้านทานที่ต้องการวัดและค่าความจุของตัวเก็บประจุ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 จะนำมา ใช้เป็นตัวจับเวลา โดยวัดช่วงเวลาที่สัญญาณเอาต์พุตของ IC เบอร์ LM555 อยู่ในสถานะ on ซึ่งค่าที่ วัดได้นี้ จะสัมพันธ์กับความกว้างของ ไมโนพัลส์ ถ้าเราทราบค่าความกว้างของพัลส์ และค่าความจุ จะสามารถคำนวณหาค่าตัวต้านทานได้ จึงนำแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ โอห์มมิเตอร์ ที่นำเสนอในปริญาานิพนธ์นี้

3.3 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

3.3.1 IC เบอร์ LM555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต
IC เบอร์ LM555 (ภาคผนวก ก) เป็นไอซีที่นิยมใช้กันมากในการนำไปสร้างสัญญาณรูปคลื่น แบบต่าง ๆ เช่น สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) สัญญาณพัลส์ สัญญาณ (Ramp) และวงจรตั้ง

เวลา IC เบอร์ LM555 เป็นวงจรรวมที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ อยู่ภายใน และมีส่วนที่ต้องต่อภายนอกเพื่อควบคุมการทำงาน และใช้งานเป็นลักษณะต่างๆ ซึ่งง่ายต่อการออกแบบ และง่ายในการสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ต่างๆ อีกทั้งยังสามารถเข้าใจหลักการทำงานได้ง่ายนอกจาก IC เบอร์ LM555 แล้ว ยังมี IC เบอร์ LM556 ที่เป็นแบบ Dual Timer ประกอบด้วย IC เบอร์ LM555 จำนวน 2 ตัว อยู่ภายในแพ็คเกจเดียวกัน เพื่อใช้เป็นวงจรถัดเวลา และสะดวกในการออกแบบวงจรที่ต้องใช้ IC เบอร์ LM555 หลาย ๆ ตัว

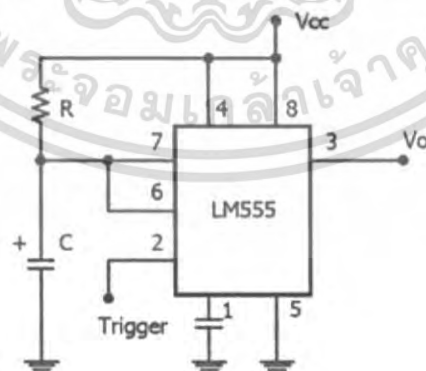


รูปที่ 3.2 IC เบอร์ LM555

โอห์มมิเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบ จะอาศัยหลักการของ วงจร โมโนสเตเบิล (Monostable Multivibrator) โดยใช้ IC เบอร์ LM555 ค่อดังรูปที่ 3.3 ในการสร้างสัญญาณแบบโมโนพัลส์ที่ขา 3 เมื่อมีสัญญาณ Trigger เข้ามาที่ขา 2 LM555 จะสร้างสัญญาณเอาต์พุต V_o ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยความกว้างของสัญญาณโมโนพัลส์ จะแปรตามค่าความต้านทาน R_A และตัวเก็บประจุ (C) โดยค่าความต้านทาน R_A จะเป็นค่าความต้านทานที่ต้องการวัดค่าความกว้างของพัลส์ V_o หรือค่าเวลา T สามารถ คำนวณได้

$$T = 1.1RC$$

(3.1)



รูปที่ 3.3 วงจร โมโนสเตเบิล

หลักการทำงาน

ขณะที่ไม่มีสัญญาณ Trigger ที่ขา 2 $V_{\text{Trigger}} = V_{\text{CC}}$ แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุเป็นศูนย์ เพราะว่า V_{CC}

จะมีกระแสไหลผ่าน R_A ผ่าน T_A ลงกราวด์ได้ $V_o = 0$ เมื่อมีสัญญาณ Trigger ที่ขา 2 คือ $V_{\text{Trigger}} = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่าการแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตบแต่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ประมาณ $2V_{CC}/3$ ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่าน T_R ขณะที่ตัวเก็บประจุคายประจุ เอาต์พุต จะเป็น logic "1" ได้ $V_o = V_{CC}$

การทำงานของ LM555 จะแบ่งช่วงการทำงานเป็น 4 ช่วง

ช่วงที่ 1 ขณะที่ $V_{Trigger} = V_{CC}$ Comparator (2) (ดูรายละเอียดใน Datasheet ของ LM555 ประกอบในภาคผนวก) ตัวล่างจะทำให้เอาต์พุตเป็น "0" (ขาลบมีศักดาสูงกว่าขาบวก) Comparator (1) ตัวบนจะทำให้เอาต์พุตเป็น "1" เพราะว่าขา 6 ต่อกับขา 7 ผ่าน T_R ลง GND ทำให้ T_R "ON" ได้เอาต์พุตของ NAND gate เป็น "0" เพราะอินพุตทั้งคู่เป็น "1" ดังนั้น $R=0, S=0$ จะทำให้ Q และ Q' ไม่เปลี่ยนแปลงคือ $Q="0", Q'="1"$ ถ้า $Q'="1"$ T_R จะ "ON" ตัวเก็บประจุ จะไม่มีการเก็บประจุ เนื่องจากกระแสจาก V_{CC} จะไหลผ่าน R และ T_R ลง GND

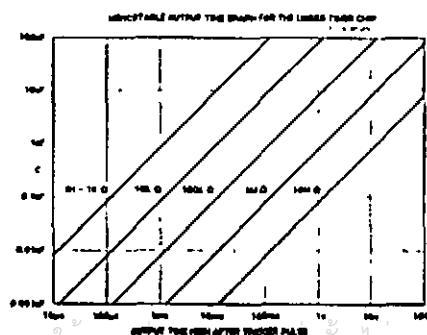
ช่วงที่ 2 ขณะที่ Trigger ด้วย $V_{Trigger} = 0$ V_{output} ของ Comparator (2) ตัวล่างจะเปลี่ยนจาก "0" เป็น "1" ส่วนเอาต์พุตตัว Comparator (1) ตัวบนยังคงเหมือนเดิมดังนั้นก็วงจร F/F ขา R = "0", S = "1" จะเป็นการ Set F/F ได้ $Q="1"$ และ $Q'="0"$ เมื่อ $Q'="0"$ ทำให้ T_R เกิดการ "Off" ส่งผลให้ตัวเก็บประจุจะทำการเก็บประจุ

ช่วงที่ 3 เมื่อสัญญาณ Trigger กลับเป็น V_{CC} อีกครั้งเอาต์พุตของ Comparator (2) ตัวล่างจะเปลี่ยนจาก "1" เป็น "0" ทำให้เอาต์พุตของ Comparator ที่ส่ง ไปให้วงจร F/F ไม่เปลี่ยนแปลง

ช่วงที่ 4 เมื่อตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุจนกระทั่ง V_c มีค่าเท่ากับ $2/3V_{CC}$ หรือมากกว่านั้น ส่งผลให้เอาต์พุตของ Comparator (1) ตัวบนเปลี่ยนจาก "1" เป็น "0" ทำให้เอาต์พุตของ NAND gate = "1" ที่วงจร F/F ขา R = "1" และ S = "0" ดังนั้น $Q="0", Q'="1"$ ทำให้ T_R "ON" อีกครั้ง ตัวเก็บประจุจะทำการคายประจุออกผ่าน T_R ลง GND กลับสู่สภาพเดิม

จากหลักการทำงานทั้ง 4 ช่วงเอาต์พุตที่ได้ออกมาจากขา 3 ของ LM555 จะสามารถจับเวลาที่ เอาต์พุต ปลดปล่อยออกมาได้ ดังสมการที่ (3.1)

จากสมการที่ (3.1) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และ C ผลดังรูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และ C

จากรูปที่ 3.4 เราสามารถที่จะเลือกตัวเก็บประจุให้เหมาะสมกับ ค่าความต้านทานที่ต้องการ วัด โดยออกแบบย่านการวัดให้เหมาะสม โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ย่าน ดังนี้

ย่าน 0-999Ω จะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 1000μF

ย่าน 1kΩ-999kΩ จะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 10μF

ย่าน 1MΩ-200MΩ จะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 0.1μF

3.3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 ที่ใช้ในปริญญาบัตรนี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-ARM Base2106 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ 16/32-Bit ขนาด 48 Pin แบบใช้พลังงานต่ำเป็น MCU ประจําบอร์ด ซึ่งบอร์ดนี้เลือกใช้ MCU เบอร์ LPC2103/2106 ของ Philips โดยการออกแบบโครงสร้างของบอร์ดนั้นจะเน้นเรื่องการจัดวางบอร์ดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้ ย้ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยได้นำ MCU มาจัดวางร่วมกับอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นและ จัดเรียง Port แบบ 10 PIN ของ ETT ตัวบอร์ดใช้ไฟ +5V นอกจากนั้น GPIO ยังสามารถรองรับ สัญญาณที่เป็น 5V ได้มี Connector UART0 (RS-232) จำนวน 2 Port สำหรับทำการ Download Hex File และใช้งานในการสื่อสาร RS232 ในโปรแกรม Application ที่เขียนขึ้นเอง [6]-[8]

คุณสมบัติของบอร์ดในกรณีใช้ LPC2106

1. ใช้ MCU ตระกูล ARM7TDMI-S เบอร์ LPC2106 ของ Philips ซึ่งเป็น MCU ขนาด 16/32-Bit
2. ใช้ Crystal 19.6608 MHz โดย MCU สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 58.9824 MHz เมื่อใช้งานร่วมกับ Phase-Locked Loop (PLL) ภายในตัว MCU เอง
3. รองรับการโปรแกรมแบบ In - System Programming (ISP) และ In-Application Programming (IAP) ผ่านทาง On-Chip Boot-Loader Software ทางพอร์ต RS232-1
4. พอร์ต JTAG 20PIN สำหรับ Real Time Debugging จำนวน 1 พอร์ต
5. พอร์ต LCD มาตรฐาน ETT 14PIN จำนวน 1 พอร์ต
6. พอร์ต GPIO ขนาด 10PIN จำนวน 4 พอร์ต มาตรฐาน ETT
7. หน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash 128KB และ RAM 64KB
8. ใช้แหล่งจ่ายไฟ +5V Power Supply
9. จำนวน GPIO สูงสุดถึง 32 I/O Pins (เฉพาะ GPIO รองรับสัญญาณที่เป็น 5V ได้)

ซึ่งขาดสัญญาณ

GPIO จะมีการใช้งานร่วมกันของ Function อื่นๆอีกดังนี้

SPI จำนวน 1 ช่อง

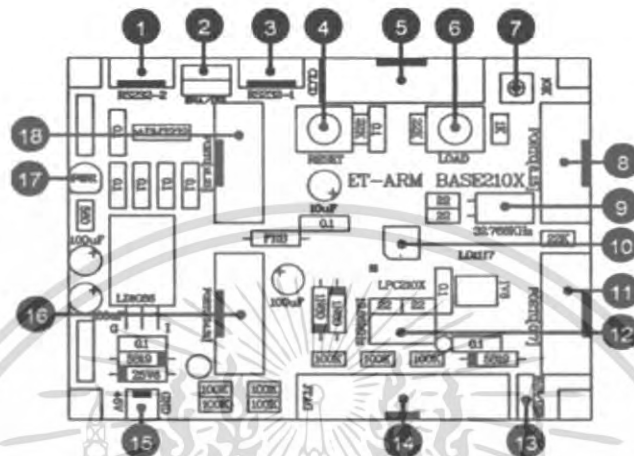
เอกสารนี้เป็นเอกสารประกอบการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ UART แบบ Full-Duplex จำนวน 2 ช่อง คือ RS232-1, RS232-2 มาตรฐาน 4 Pin ETT ไปใช้

Timer 32-bit จำนวน 1 ช่อง (7 Input Capture / 7 Output Compare)

Watchdog Timer

Real Time Clock

PWM Output 6 Output

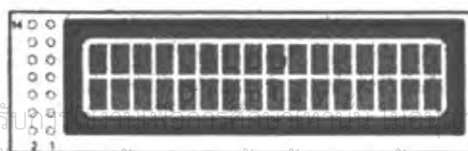


รูปที่ 3.5 โครงสร้างบอร์ด ET-ARM BASE2103/2106

ในการออกแบบโอห์มมิเตอร์ จะนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM7 มาทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลาที่ สัญญาณโมโนพัลส์ซึ่งสร้างมาจาก LM555 อยู่ในสถานะ on แล้วนำค่าเวลาที่ตรวจจับได้มาประมวลผลเพื่อคำนวณหา ค่าความต้านทานที่ โอห์มมิเตอร์ กำลังตรวจวัดอยู่ในขณะนั้น โดยที่รายละเอียดของการเขียนโปรแกรมจะแสดงอยู่ในหัวข้อการออกแบบซอฟต์แวร์

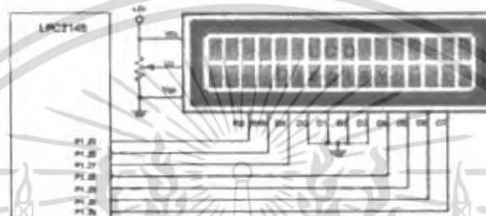
3.3.3 การแสดงผลของ LCD

การแสดงผลของ LCD เป็นแบบตัวอักษรที่มีชิป ความคุมการทำงานภายในของเบอร์ HD44780 ของบริษัท Hitachi จอแสดงผล LCD นี้บางที่เรียกว่า LCD โมดูลเนื่องจากภายในประกอบด้วย ชิพที่มีรีจิสเตอร์คำสั่ง มีหน่วยความจำรวมตัวอักษร (Character Generator ROM: CGROM) มีหน่วยความจำแรมแสดงผล (Display Data RAM:DDRAM) การสั่งให้จอแสดงผล LCD แสดงตัวอักษรทำได้โดยการส่งรหัสควบคุมการทำงาน และส่งตัวอักษรที่ต้องการแสดงไปให้ตัวควบคุมภายในของจอแสดงผล LCD จะนำข้อมูลคำสั่งและตัวอักษรไปประมวลผลเองและแสดงตัวอักษรออกที่หน้าจอ โดยที่หน้าจอ โดยที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ต้องส่งงานอีก ในรูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างภาพหน้าจอแสดงผล LCD



รูปที่ 3.6 ภาพหน้าจอแสดงผล LCD

สำหรับจอแสดงผล LCD ที่แสดงผลจะแสดงผลบรรทัดละไม่เกิน 80 ตัวอักษร จะมีขาที่ต่อกับจอแสดงผล LCD จำนวน 14 ขา ดังแสดงในรูปการทำงานของจอแสดงผล LCD มีโหมดการทำงานหลัก 2 โหมดคือ โหมด 8 บิตที่ใช้ขา D0-D7 ในการรับคำสั่งหรือข้อมูลจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ โหมด 4 บิต ซึ่งจะใช้ขา D4-D7 ในการรับคำสั่งหรือข้อมูล การทำงานในโหมด 4 บิตจะประหยัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการติดต่อแต่จะทำงานช้ากว่าเนื่องจากต้องแบ่งข้อมูลขนาด 8 บิตออกเป็น 4 บิต 2 ชุดแล้วส่งสองครั้ง ในการทดลองนี้เป็นการต่อให้จอแสดงผล LCD ทำงานในโหมด 4 บิต โดยมีการจัดวงจรการต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC2148 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 3.7 การต่อวงจรกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC2148

ในการควบคุมจอแสดงผล LCD แสดงตัวอักษร เริ่มต้นต้องเขียนคำสั่งควบคุมการทำงานก่อนเพื่อกำหนดรูปแบบการแสดงผล จากนั้นก็ส่งคำสั่งรหัสตัวอักษรตามรหัส ASCII ให้จอแสดงผล LCD เพื่อนำไปแสดงผลบนหน้าจอ ในการเขียนคำสั่งควบคุมจอแสดงผล LCD จะต้องให้ขา RS (Reset) และ R/W (Read/Write) มีค่าลอจิกเป็น 0 ทั้งคู่ ในการส่งคำสั่งรหัสตัวอักษรให้จอแสดงผล LCD จะต้องให้ขา RS มีค่าลอจิกเป็น 1 และขา R/W มีค่าลอจิกเป็น 0 เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้จอแสดงผล LCD วงจรภายในจะกำหนดค่าการติดต่อเป็นแบบ 8 บิต โดยในช่วงแรกจอแสดงผล LCD จะติดต่อกับผู้ใช้แค่ 4 บิต (DB7-DB4) ก่อนในช่วงนี้เราต้องกำหนดโหมด การทำงานก่อนว่าจะติดต่อแบบ 8 บิตหรือ 4 บิต การส่งคำสั่งให้กับจอแสดงผล LCD ทำได้โดยให้ขา RS และ R/W มีค่าเป็น 0 แล้วส่งข้อมูลไปให้จอแสดงผล LCD ผ่านทางขา D7-D0

3.3.4 การสร้างโอห์มมิเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์

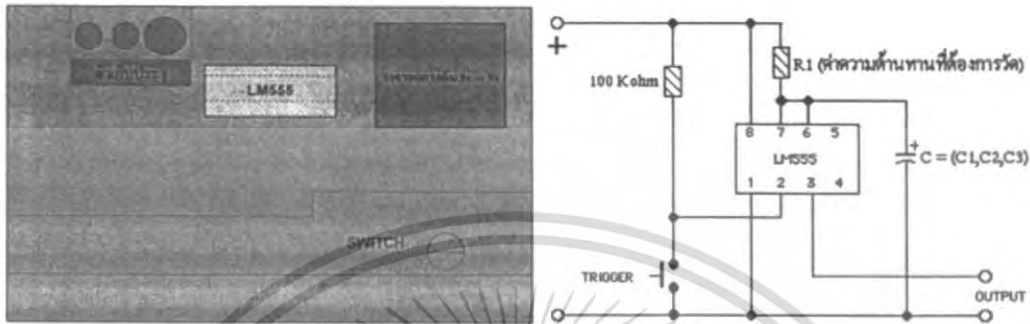
อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างโอห์มมิเตอร์ทางด้านฮาร์ดแวร์นั้น ประกอบไปด้วย

1. IC เบอร์ LM555 1ตัว
2. IC เบอร์ L7805 1ตัว
3. ตัวเก็บประจุ ขนาด 1,000 μ F 1ตัว (C_1)
4. ตัวเก็บประจุ ขนาด 10 μ F 1ตัว (C_2)
5. ตัวเก็บประจุ ขนาด 0.1 μ F 1ตัว (C_3)
6. ตัวเก็บประจุ ขนาด 100 μ F 2ตัว (C_4, C_5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 7. ค่าความต้านทานขนาด 100k Ω 5ตัว ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8. จอ LCD ขนาด 16x2
- 9. บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ARM7
- 10. สวิตช์แบบ 2 Action

โดยอุปกรณ์ต่างๆข้างต้น นำมาจัดวางลงบนแผ่นพรีนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

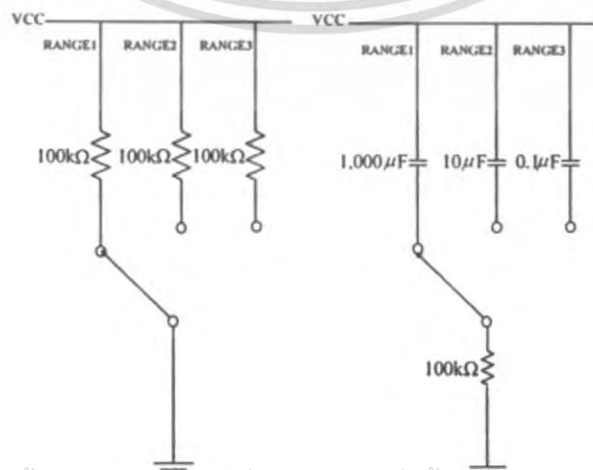


(ก) ตำแหน่งอุปกรณ์ในวงจร โมโนสเตเบิล (ข) วงจร LM555 ที่ใช้กับอุปกรณ์รูปที่ 3.8 ตำแหน่งอุปกรณ์และวงจร โมโนสเตเบิล ที่ใช้กับอุปกรณ์ขั้นตอนการประกอบไอทม์มิเตอร์

1. เมื่อทำการต่อวงจรตามรูปที่ 3.8 จะได้รูปวงจรจริงดังรูปที่ 3.9



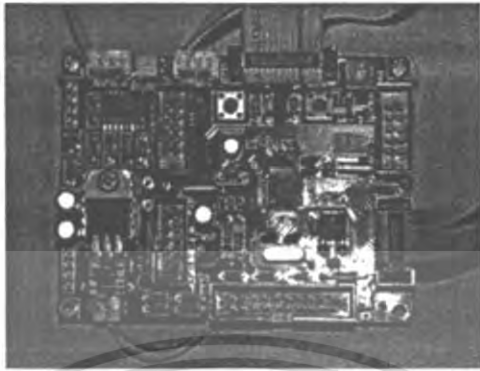
รูปที่ 3.9 ชิ้นงานที่ได้ทำการต่อวงจร Monostable ของ LM555



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 วงจรสวิตช์เลือก Range

2. ทำการต่อสวิทช์เลือก Range ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งจะทำหน้าที่เลือกย่านการวัดจะต่อพ่วงกับบอร์ด-ไมโครคอนโทรเลอร์ ARM7 และทำหน้าที่เปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุตามย่านการวัดนั้น ๆ



รูปที่ 3.11 บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ARM7 ที่ใช้ทำโอห์มมิเตอร์

3. ต่อบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ARM7 เพื่อทำการจับค่าเอาต์พุตจากขา 3 ของ LM555 โดยที่ต่อเข้ากับตำแหน่งที่ 8 หรือ 11 ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.12 การต่อเชื่อมอุปกรณ์LCD

4. นำ LCD มาเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ARM7 ที่จุด 5 (LCD Connector 14 PIN) ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3.3 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์

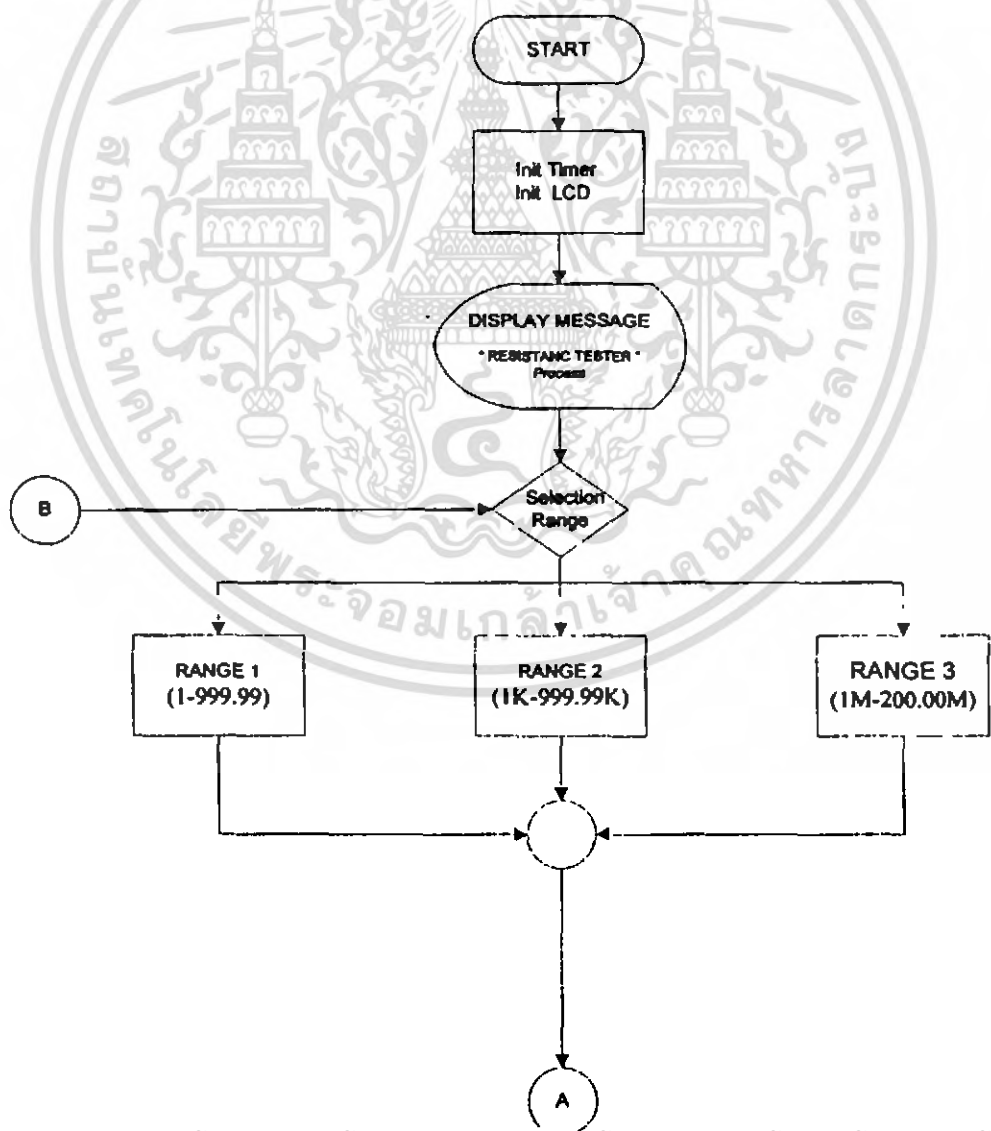
ในการออกแบบโอห์มมิเตอร์โดยใช้ตัวจับเวลานั้น ได้นำบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูล ARM7 มาทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลา และประมวลผลเพื่อแสดงผลออกทางจอ LCD ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมให้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ARM7 นั้น จึงได้นำโปรแกรม uVision2 หรือที่เรียกว่า “Keil” มาใช้ในการเขียนโปรแกรมให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ uVision2 หรือที่เรียกว่า “Keil” นั้นได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากสำหรับการเขียนโปรแกรมต่างๆ เพื่อลง Controller ซึ่งมีความสะดวกสบายอย่างมาก เพราะการเขียนด้วยภาษา C นั้นเป็นภาษาที่เข้าใจได้ง่ายแก้ไขได้ไม่ยากอย่างสะดวก จึงทำให้โปรแกรมนี้น่าเป็นที่นิยมมากในผู้ใช้ Microcontroller ในตระกูล MCS-51 โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Keil C51 นี้ เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นโดย บริษัท Keil Software ซึ่ง โปรแกรมนี้จะมีชื่อว่า uVision 2 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เอาไว้ช่วยในการเขียนโปรแกรม C51 ซึ่งสามารถแปลง เป็น HEX ไฟล์ ได้เลย ซึ่งมีไอซี MicroController ให้เลือกมากมายหลายแบบ [6-8]

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมสำหรับ ไอเอ็มมิเตอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3ช่วง ดังต่อไปนี้

ช่วงที่ 1 จากรูปที่ 3.13-3.15 คือการเขียนโปรแกรมเพื่อ ให้คอมพิวเตอร์นำเพิ่มข้อมูลมารวมในการคอมไพล์โปรแกรมแล้วแสดงผลคำว่า "RESISTANC TESTER" ในบรรทัดที่ 1 และ "Process" ในบรรทัดที่ 2 แสดงผลออกทาง LCD แล้วทำการเลือก RANGE ว่าอยู่ในช่วงไหนโดยมีทั้งหมด 3ช่วง คือ 1-999.99Ω , 1kΩ-999.99KΩ และ 1MΩ-200MΩ และเมื่อเลือกแล้วจะแสดงในบรรทัดที่ 1 ของจอ LCD ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3.13 Flow Chart แสดงการเขียน โปรแกรมช่วงที่ 1

```

125 /* Main Program Start Here */
126 int main(void)
127 {
128     unsigned char str[30],range=0,old_range=1;
129
130     init_timer();
131     lcd_init(); // Initial LCD
132     IODIR |= RESET;
133     goto_cursor(LINE1); // Set Cursor Line-1
134     lcd_print("RESISTANC TESTER"); // Display LCD Line-1
135     goto_cursor(LINE2); // Set Cursor = Line-2
136     lcd_print("Process "); // Display LCD Line-2
137     delay_ms(2000); // Display Delay
138     range = 1;
139     old_range = 0;
140     // init_serial_0();
141     // sprintf(str,"Online!\r\n");
142     // puts(str);
143     // Loop Print Message to LCD16 x 2 //
144     while(1) // Loop Continue
145     {
146
147         if ((IOPIN & RANGE_1) == 0)
148         {
149             range = 1;
150         }
151         delay_ms(10);
152         if ((IOPIN & RANGE_2) == 0)
153         {
154             range = 2;
155
156             range = 2;
157             delay_ms(10);
158             if ((IOPIN & RANGE_3) == 0)
159             {
160                 range = 3;
161             }
162             delay_ms(10);
163             if ((IOPIN & RANGE_4) == 0)
164             {
165                 range = 4;
166             }
167             delay_ms(10);
168             if (range != old_range)
169             {
170                 old_range = range;
171                 switch (range)
172                 {
173                     case 1:
174                         goto_cursor(LINE1); // Set Cursor Line-1
175                         lcd_print("Rang 1-999.99 "); // Display LCD Line-1
176                         break;
177                     case 2:
178                         goto_cursor(LINE1); // Set Cursor Line-1
179                         lcd_print("Rang 1K-999.99K "); // Display LCD Line-1
180                         break;
181                     case 3:
182                         goto_cursor(LINE1); // Set Cursor Line-1
183                         lcd_print("Rang 1M-200.00M "); // Display LCD Line-1
184                         break;

```

รูปที่ 3.14 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมช่วงที่ 1 ตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังใช้ในชั้นเรียนของนักศึกษาในวิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรีครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมช่วงที่ 1 ตอนที่ 2

ช่วงที่ 2 เมื่อทำการเลือกย่านวัดได้แล้ว บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-ARM7LPC2106 จะทำการสั่งให้ LM555 เริ่มทำการปล่อยสัญญาณพัลส์ที่มีค่า 5V และทำการตรวจนับเวลาจนกว่าสัญญาณจะหมด (Pulse = 0) แล้วนำช่วงเวลาที่ทำการตรวจนับมาทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าความต้านทานต่อไป



รูปที่ 3.16 Flow Chart แสดงการเขียน โปรแกรมช่วงที่ 2

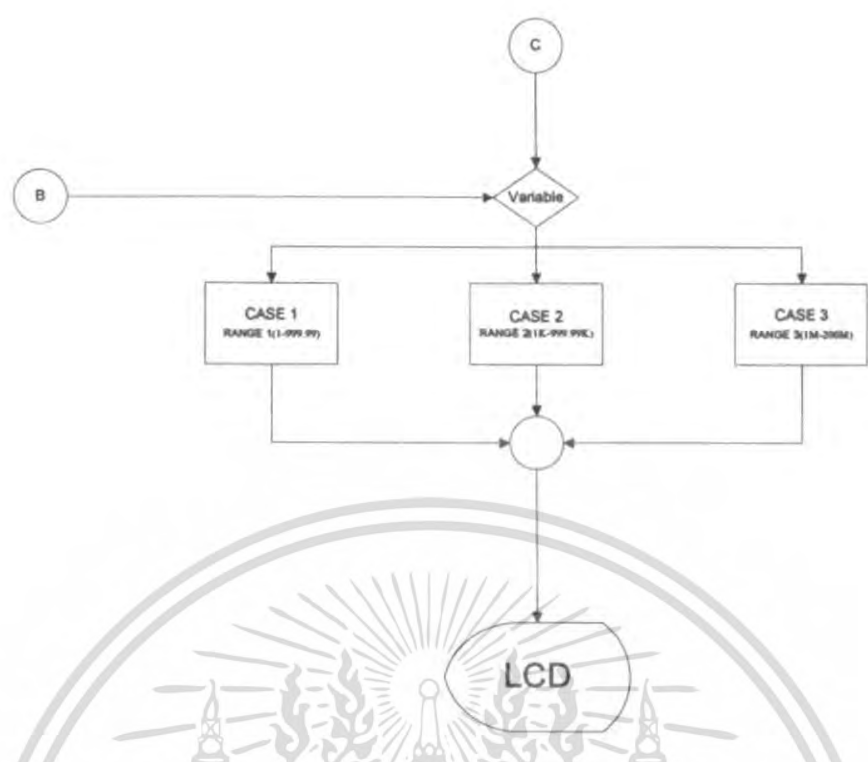
```

190 // delay_ms(100);
191 // sprintf(str, "Wait Q!\r\n");
192 // puts(str);
193 IODIR &= 0xFFFFF7F;
194 IOCLR = RESET;
195 delay_ms(10);
196 IOSET = RESET;
197 // delay_ms(1);
198 current_tsc = 0;
199 TOTCR = 1; /* enable timer0 */
200 while((IOPIN & PULSE) != 0)
201 {
202 //TOTCR = 1;
203 }
204 TOTCR = 0; /* disable timer0 */
205
switch (range)
206

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 รายละเอียดการเขียน โปรแกรมช่วงที่ 2



รูปที่ 3.18 Flow Chart แสดงการเขียนโปรแกรมช่วงที่ 3

```

206 switch (range)
207 {
208     case 1:
209         goto cursor(LINE1); // Set Cursor Line-1
210         lcd_print("Rang 1-999.99 "); // Display LCD Line-1
211         goto cursor(LINE2); // Set Cursor = Line-2
212         sprintf(str, "%3.2f ohm",current_tsc*0.8833624454);
213         lcd_print(str); // Display LCD Line-2
214         break;
215     case 2:
216         goto cursor(LINE1); // Set Cursor Line-1
217         lcd_print("Rang 1K-999.99K "); // Display LCD Line-1
218         goto cursor(LINE2); // Set Cursor = Line-2
219         sprintf(str, "%3.2f Kohm ",current_tsc*0.85518);
220         lcd_print(str); // Display LCD Line-2
221         break;
222     case 3:
223         goto cursor(LINE1); // Set Cursor Line-1
224         lcd_print("Rang 1M-999.99M "); // Display LCD Line-1
225         goto cursor(LINE2); // Set Cursor = Line-2
226         sprintf(str, "%3.2f Mohm",current_tsc/9.9);
227         lcd_print(str); // Display LCD Line-2
228         break;
229     case 4:
230         goto cursor(LINE1); // Set Cursor Line-1
231         lcd_print("Not use "); // Display LCD Line-1
232         goto cursor(LINE2); // Set Cursor = Line-2
233         sprintf(str, "Result %4d Mohm",current_tsc/1.0);
234         lcd_print(str); // Display LCD Line-2
235         break;
  
```

รูปที่ 3.19 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมช่วงที่ 3

ช่วงที่ 3 เมื่อนำช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจจับได้ตั้งแต่เริ่มปล่อยจนถึงสิ้นสุด และนำค่าที่ได้มาคำนวณกับค่าคงที่ในแต่ละย่านที่เราได้ทำการเลือกไว้ในตอนแรก โดยที่ระยะเวลาที่ LM555 ปล่อยสัญญาณพัลส์ออกมานั้นจะมีค่าผิดพลาดไปจากสมการที่ 3.1 บ้างจึงต้องมีการ Calibrate โดยจะมีค่าผิดพลาดไปจากสมการที่ 3.1 บ้างแต่สามารถปรับแต่งให้อุปกรณ์เที่ยงตรงได้โดยทำการ

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 โดยช่วง 1-999.99Ω จะนำช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจจับได้นำมาคูณกับ 0.8833624454

โดยช่วง $1k\Omega$ - $999.99k\Omega$ จะนำช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจนับได้นำมาคูณกับ 0.83518

โดยช่วง $1M\Omega$ - $200M\Omega$ จะนำช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจนับได้นำมาหารกับ 9.9

โดยค่าทั้ง 3 ได้มาจากการทำการ Calibrate เครื่องมือวัดกับอุปกรณ์สอบเทียบ ยี่ห้อ Fluke 5500A Multi-Product Calibrator

3.4 ผลการทดลอง

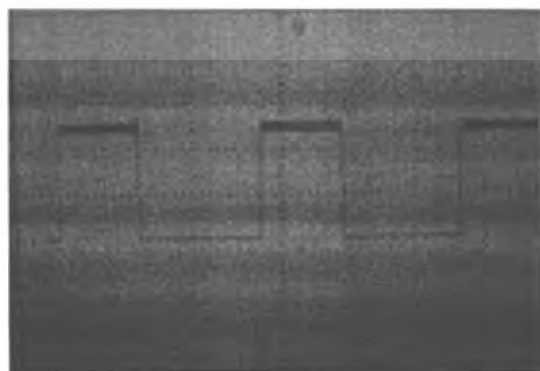
เมื่อทำการวัดผลการทดลองของ วงจร โมโนสเตเบิล (Monostable) ดังรูปที่ 3.10 จะทำการทดลองวัด สัญญาณเอาต์พุต V_o ที่ขา 3 ของ LM555 ว่าเป็น สัญญาณ โมโนพัลส์ หรือไม่ และทำการตรวจจับเวลาที่ช่วงสัญญาณ โมโนพัลส์อยู่ในสถานะ on ว่ามีเวลานานเท่าไร โดยในการทดลองนี้ ได้ใช้ค่าความต้านทานซึ่งมีค่าผิดพลาด 1% และทำการจับเวลาด้วยสโคป จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.19-3.24 โดยเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ใช้วัดค่า 800Ω , $820k\Omega$ และ $100M\Omega$ ตามลำดับจากการคำนวณในสมการที่ (3.1) เมื่อใช้ตัวเก็บประจุจะได้ค่าเวลาดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางผลการคำนวณจากสมการที่ (3.1)

R	เวลา (วินาที)
800	0.88
820k Ω	9.02
100M Ω	1.1



รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงผลการวัดความต้านทาน 800Ω



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.21 ผลการจับเวลาของความต้านทาน 800Ω มาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



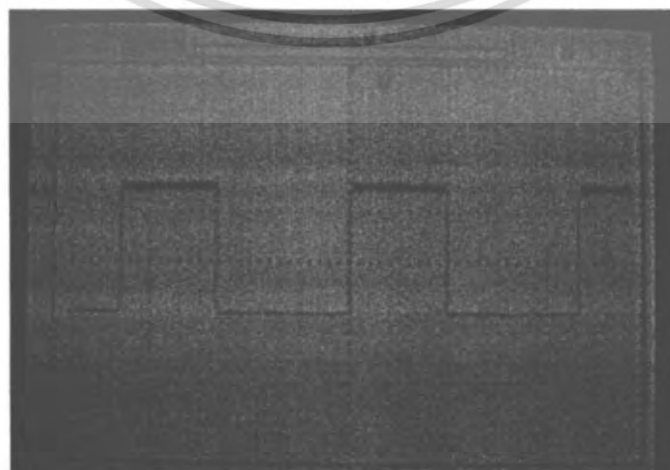
รูปที่ 3.22 หน้าจอแสดงผลการวัดความต้านทาน 820kΩ



รูปที่ 3.23 ผลการจับเวลาของความต้านทาน 820kΩ



รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงผลการวัดความต้านทาน 100MΩ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตของเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25 ผลการจับเวลาของความต้านทาน 100MΩ

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งหมดประกอบเข้าด้วยกันเป็น โอห์มมิเตอร์แล้ว จึงทำการปรับตั้งค่าให้มีความเที่ยงตรง โดยทำการทดลองปรับตั้งค่ากับเครื่องมือมาตรฐานยี่ห้อ Fluke 5500A Multi-Product Calibrator โดยปรับตั้งให้อุปกรณ์มีความเที่ยงตรงสูงสุดที่ประมาณ 80% ของย่านวัดนั้น ๆ



(ก) ด้านหน้า

(ข) ภายใน

รูปที่ 3.26 ด้านหน้าและอุปกรณ์ภายใน Ohmmeter using timer

3.5 ผลการสอบเทียบ

ผลการทดลองสอบเทียบกับเครื่อง Fluke 5500A Multi-Product Calibrator สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการสอบเทียบกับเครื่อง Fluke 5500A Multi-Product Calibrator

Range ที่ทำการวัด	Fluke 5500A	Ohmmeter Using Timer					Mean	Error
0-999.99Ω	0Ω	0	0	0	0	0	0	0
	250Ω	204.82	203.52	205.39	201.88	200.98	203.32Ω	-46.68Ω
	500Ω	485.23	484.85	487.92	485.55	483.28	485.37Ω	-14.63Ω
	750Ω	748.11	742.89	742.59	745.88	747.40	745.37Ω	-4.63Ω
	999Ω	995.21	994.97	994.29	995.60	998.05	995.64Ω	-4.36Ω
1kΩ-999.99kΩ	1kΩ	0.99k	0.98k	0.99k	0.99k	0.99k	0.99kΩ	-0.01kΩ
	250kΩ	238.85k	238.12k	237.82k	237.98k	238.29k	238.21kΩ	-11.79kΩ
	500kΩ	491.01k	492.52k	492.10k	490.90k	491.78k	491.66kΩ	-8.34kΩ
	750kΩ	748.29k	749.51k	749.95k	746.69k	748.85k	748.66kΩ	-1.34kΩ
	999kΩ	990.28k	989.35k	989.56k	988.98k	987.09k	989.05kΩ	-10.95kΩ
1MΩ-200 MΩ	1MΩ	1.91M	1.69M	1.52M	1.29M	1.02M	1.49MΩ	0.49MΩ
	50MΩ	52.38M	51.76M	52.07M	52.80M	51.96M	52.19MΩ	2.19MΩ
	100MΩ	105.45M	105.19M	104.82M	104.88M	104.49M	104.97MΩ	4.97MΩ
	150MΩ	168.55M	168.01M	166.42M	166.84M	166.09M	167.18MΩ	17.18MΩ
	200MΩ	222.92M	222.49M	221.21M	221.87M	221.08M	221.91MΩ	21.91MΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานวิจัยที่จัดทำขึ้นโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

จากผลการสอบเทียบในตารางที่ 3.2 จะสามารถทราบค่า Accuracy ได้จึงสามารถนำมาหาค่า Tolerance Limit ของ โหห์มมิเตอร์ที่ออกแบบในปริญาณิพนธ์ ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 3.3 Tolerance Limit ของโหห์มมิเตอร์ที่ออกแบบ

Range	Applied	Accuracy (% of Span)	Tolerance Limit
1-999.99Ω	800Ω	± 7.80%	722.01-877.99Ω
1kΩ-999.99kΩ	820kΩ	± 1.35%	806.51-833.49kΩ
1MΩ-200MΩ	160MΩ	± 25.13%	109.99-210.01MΩ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการสอบเทียบจาก ห้องปฏิบัติการการสอบเทียบของสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 3.26 จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดในการวัดของ โห้หมมิเตอร์ที่ได้ออกแบบจะมีค่าสูงในช่วงต่ำกว่า 80% ของย่านวัด แต่ค่าความผิดพลาดนี้จะลดลงในช่วงประมาณ 80% ของย่านวัด



Electrical and Electronics Institute
Calibration Laboratory



Certificate No. 0049EL09

Calibration Report

Equipment: Ohmmeter using timer

Manufacturer: -

Model: -

Serial No.: JS47-1

ID No.: -

Ambient Temperature: (23 +/- 2) °C

Relative Humidity: (45 +/- 15) %

Method of Calibration :-

The method of calibration is based on the procedure CC-EL005 as a guide.

Reference Multimeter

Condition of this result of calibration

1. Equipment Standards Used :-

Instrument	Model	Serial No.	Cert. No.	Due Date
Multi-Product Calibrator	6520A	8900001	EL-0185/08	22 September 2009

2. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only.

3. This certification is traceable to the international system of unit maintained at :-

- The National Institute of Metrology (NMI)

Result of Calibration:-

1. Resistance measurement

Range	Standard		UUC		Uncertainty (±)
	Setting	Reading	Reading	Error	
1 kΩ	0 Ω	0.000 Ω	0.000 Ω	0.000 Ω	13 mΩ
	100 Ω	22.084 Ω	22.084 Ω	-77.916 Ω	4.9 mΩ
	500 Ω	479.999 Ω	479.999 Ω	-20.004 Ω	1.1 Ω
	900 Ω	893.609 Ω	893.609 Ω	-6.391 Ω	0.61 Ω
1 MΩ	100 kΩ	89.384 kΩ	89.384 kΩ	-10.636 kΩ	3.9 Ω
	500 kΩ	486.576 kΩ	486.576 kΩ	-13.424 kΩ	0.61 kΩ
	750 kΩ	738.983 kΩ	738.983 kΩ	-13.037 kΩ	0.58 kΩ
	900 kΩ	887.796 kΩ	887.796 kΩ	-12.204 kΩ	36 Ω
1 MΩ	20 MΩ	21.212 MΩ	21.212 MΩ	1.212 MΩ	0.17 MΩ
	100 MΩ	110.990 MΩ	110.990 MΩ	10.990 MΩ	3.2 MΩ
	150 MΩ	173.458 MΩ	173.458 MΩ	23.458 MΩ	0.72 MΩ
	180 MΩ	230.828 MΩ	230.828 MΩ	60.828 MΩ	5.3 MΩ

UUC . Unit Under Calibration

-- End of Report --

3.6 บทสรุป

ไอห้มมิเตอร์ ที่ได้นำเสนอมานั้นอาศัยหลักการทํางานโดยนำหลักการ Timer ของ IC เบอร์ LM555 โดยที่ค่าความต้านทานที่วัดได้จะมีผลกับเวลาที่ LM555 ปล่อยเอาต์พุตแบบโมโนสเตเบิลออกมาจากขา 3 ซึ่งเวลาในการปล่อยเอาต์พุตนั้นจะแปรตามค่าของตัวเก็บประจุ (C) ซึ่งถ้าหากมีค่าน้อยระยะเวลาที่ปล่อยเอาต์พุตออกมาจะน้อยตามเช่นกัน และเมื่อ LM555 ปล่อยเอาต์พุตออกมาแล้วจึงนำ ARM7 มาจับเวลาเพื่อประมวลผลและแสดงผลออกจอ LCD ต่อไป โดยที่อุปกรณ์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีย่านการวัดแบ่งออกเป็น 3 ย่าน ได้แก่ 0-999Ω, 1kΩ -999kΩ และ 1MΩ-200MΩ โดยทำการทดลองและปรับตั้งอุปกรณ์ให้มีความเที่ยงตรงสูงสุด ด้วยเครื่องมือมาตรฐาน และเมื่อทำการปรับแต่งเรียบร้อยแล้วได้ทำการส่งไอห้มมิเตอร์ไปสอบเทียบกับห้องสอบเทียบของสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์



บทที่ 4

สรุปผลและวิจารณ์

4.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขอุปกรณ์และแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ให้มีความสามารถมากขึ้นต่อไปปัญหาที่พบนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการขาดความรู้และความชำนาญในการใช้อุปกรณ์และการเขียนโปรแกรมจึงทำให้ต้องเสียเวลาในการศึกษาและแก้ไขเป็นเวลานาน แนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ในอนาคตนั้น ยังสามารถที่จะพัฒนาโดยยึดหลักการของ LM555 แต่อาจจะเปลี่ยนจากการจับเวลาของสัญญาณ โมโนพัลส์ เป็นการนำเอาความถี่ที่ LM555 ปลดปล่อยออกมาโดยใช้วงจรอะสเตเบิล (Astable Multivibrator) ได้

4.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

จากการจัดทำปริิญาณิพนธ์ในเรื่องนี้มีปัญหาที่พบดังนี้

1. การเขียนโปรแกรม Keil นั้นเนื่องจาก Keil เป็นโปรแกรมที่ต้องใช้พื้นฐานของการใช้ภาษา C และมีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย และการเขียนคุณสมบัติต่าง ๆ นั้นต้องใช้ความรู้ความสามารถและความชำนาญจึงสามารถเขียนโปรแกรมได้
2. การออกแบบ เนื่องจากขาดประสบการณ์ในการออกแบบและสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการออกแบบวงจรจับเวลาที่นำมาประยุกต์ ใช้ทำโอห์มมิเตอร์ อีกทั้งยังเกิดข้อผิดพลาด ทั้งจากเหตุบังเอิญ และความไม่รู้หลายครั้งทำให้ผลการทดลองออกมาไม่ได้ตามทฤษฎีทำให้ต้องมีการแก้ไขหลายครั้ง อีกทั้งวงจรที่ได้ทำขึ้น มีความเปราะบางทำให้ในช่วงแรกเกิดความเสียหายอยู่หลายครั้งจึงทำให้เสียเวลาไปมาก
3. การประกอบและติดตั้งวงจรไฟฟ้าในเครื่องมือ ต้องอาศัยความละเอียดสูงควรจะให้มิจุดเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด จะทำให้ค่าผิดพลาดลดลงได้มาก
4. การหาเครื่องมือมาตรฐานที่จะนำมาทำการสอบเทียบ โอห์มมิเตอร์ทำได้ยากจึงใช้วิธีการส่งบริษัทสอบเทียบเครื่องวัดทางไฟฟ้า
5. แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากถ่าน มีผลกับเครื่องมือวัดมากจึงควรใช้ถ่านแอลคาร์บอน

4.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

โครงการนี้มีแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาได้อีกมาก ยกตัวอย่าง เช่นสามารถนำหลักการของการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ LM555 แบบวงจรอะสเตเบิล (Astable Multivibrator) มาประยุกต์ใช้ในการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าซึ่งน่าจะให้ความเที่ยงตรงได้มากกว่า วงจร โมโนสเตเบิลที่ใช้ในโครงการนี้อีกทั้งยังสามารถขยายงานการวัดและความสามารถในการวัดค่าความต้านทานที่มีค่ามากขึ้น และสามารถปรับปรุงเครื่องมือวัดให้มีความเชื่อถือและก้าวไปสู่มาตรฐานเป็นต้น

4.4 บทสรุป

โครงการนี้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่บ้าง ซึ่งเกิดจากตัวชิ้นงานเอง และความชำนาญของผู้จัดทำ โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในส่วนของ ซอฟต์แวร์ เนื่องจากขาดประสบการณ์และความรู้ความเข้าใจ ถึงทำให้เสียเวลาในการศึกษาและหาวิธีแก้ปัญหาอยู่นาน และโครงการนี้ยังสามารถพัฒนาต่อได้ โดยอาจจะทำการประยุกต์ตัดแปลงเพื่อจะนำวงจรอะตเตเบ็ค มาใช้เพื่อตรวจวัดค่าความต้านแทนได้ โดยเปลี่ยนจากการจับสัญญาณ โมโนพัลส์ มาเป็นจับค่าความถี่ที่ปล่อยออกมาจาก LMS55 ซึ่งน่าจะทำให้โอห์มมิเตอร์มีความเที่ยงตรงมากขึ้นต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.elec26.th.gs>
- [2] <http://th.wikipedia.org>
- [3] <http://www.electoday.com>
- [4] www.physicsforums.com
- [5] www.rmutphysics.com
- [6] หนังสือไมโครคอนโทรลเลอร์ Keil C51 ประจิม พลังสินดิกุล และคณะ
- [7] หนังสือไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 LPC2148 นคร ภัทติชาติ และคณะ
- [8] A 10-week course, using C by Michael J. Pont University of Leicester
- [9] www.alldatasheet.com
- [10] <http://home.cogeco.ca/~rpaisley4/LM555.html#2>
- [11] <http://www.pantip.com/cafe/wahkor/>
- [12] <http://my.dek-d.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM555 Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

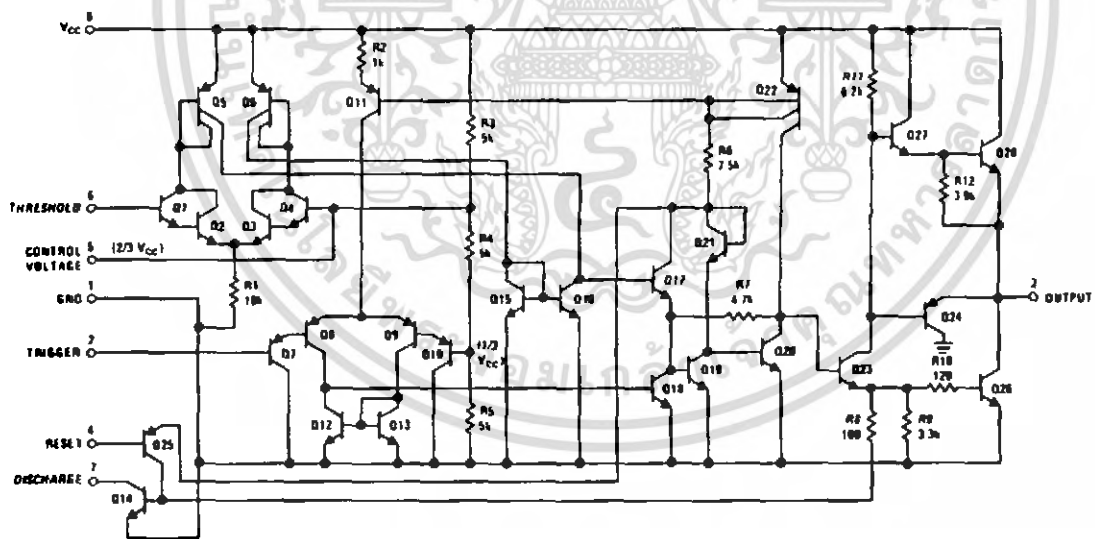
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

Applications

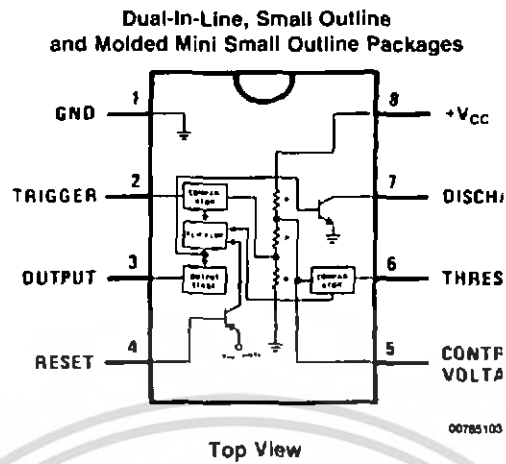
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



00785101

Connection Diagram



Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Rails	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDIP	LM555CN	LM555CN	Rails	N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	260°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices	

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1		%
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5		%
Drift with Supply			0.1		%/V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		%
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		5 1.67		V V
Trigger Current			0.5	0.9	μA
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25	μA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$, $I_7 = 15\text{mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I_7 = 4.5\text{mA}$		80	200	mV

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)(T_A = 25°C, V_{CC} = +5V to +15V, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	V _{CC} = 15V				
	I _{SINK} = 10mA		0.1	0.25	V
	I _{SINK} = 50mA		0.4	0.75	V
	I _{SINK} = 100mA		2	2.5	V
	I _{SINK} = 200mA		2.5		V
	V _{CC} = 5V				
Output Voltage Drop (High)	I _{SOURCE} = 200mA, V _{CC} = 15V		12.5		V
	I _{SOURCE} = 100mA, V _{CC} = 15V	12.75	13.3		V
	V _{CC} = 5V	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

Note 1 All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2 Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 3 For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a +150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (DIP), 170°C/W (SO-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.

Note 4 Supply current when output high typically 1 mA less at V_{CC} = 5V.

Note 5 Tested at V_{CC} = 5V and V_{CC} = 15V.

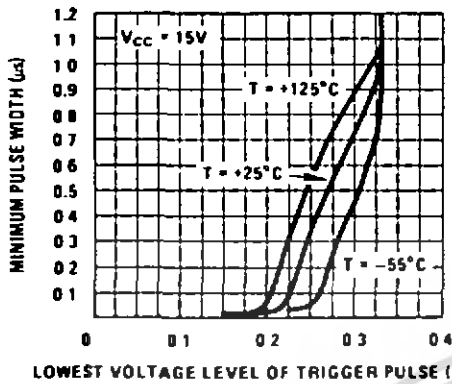
Note 6 This will determine the maximum value of R_A + R_B for 15V operation. The maximum total (R_A + R_B) is 20MΩ.

Note 7 No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

Note 8 Refer to RET555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

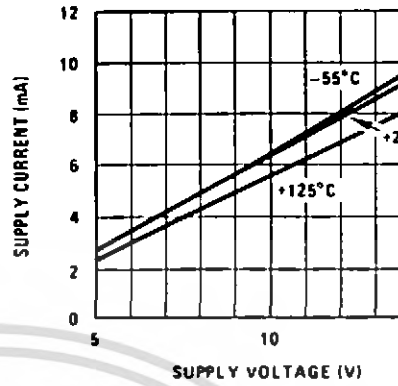
Typical Performance Characteristics

Minimum Pulse Width Required for Triggering



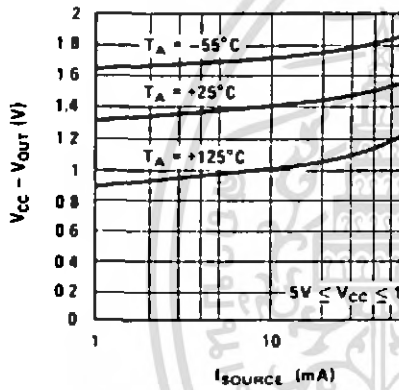
00785104

Supply Current vs. Supply Voltage



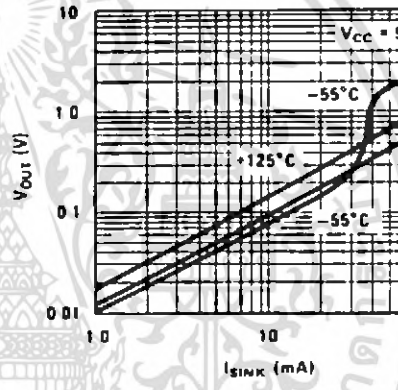
00785119

High Output Voltage vs. Output Source Current



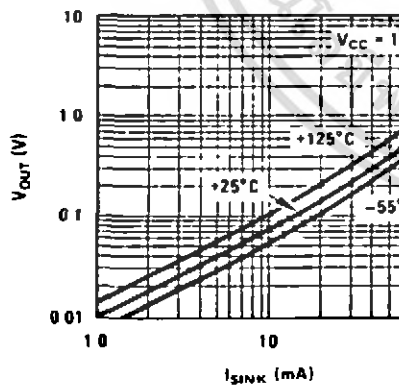
00785120

Low Output Voltage vs. Output Sink Current



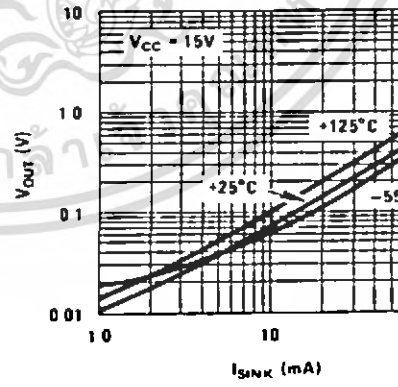
00785121

Low Output Voltage vs. Output Sink Current



00785122

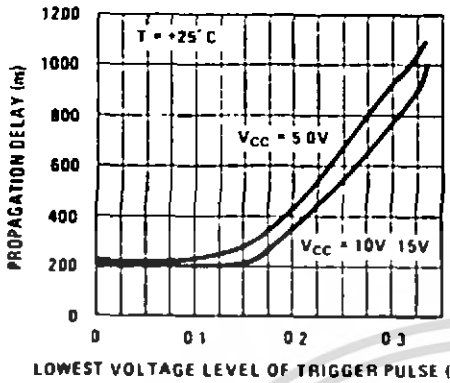
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



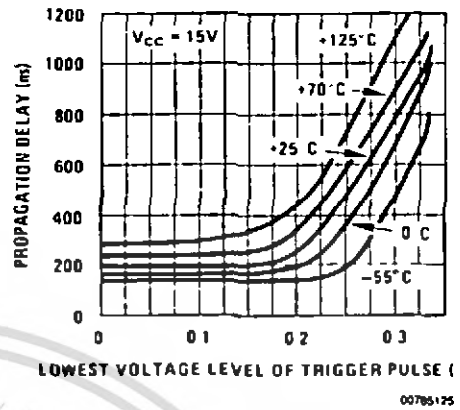
00785123

Typical Performance Characteristics (Continued)

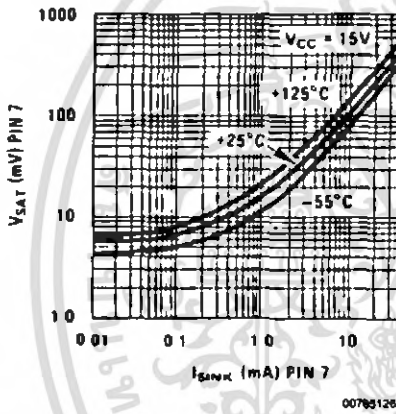
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



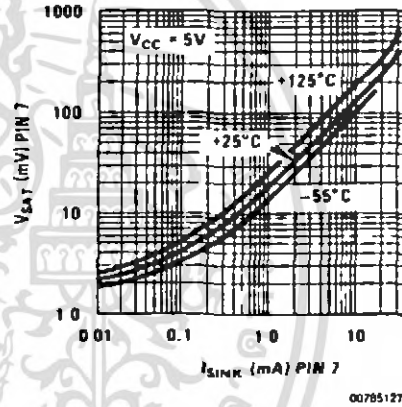
Output Propagation Delay vs. Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Discharge Transistor (Pin 7) Voltage vs. Sink Current



Applications Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 1). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_{CC}$ to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high

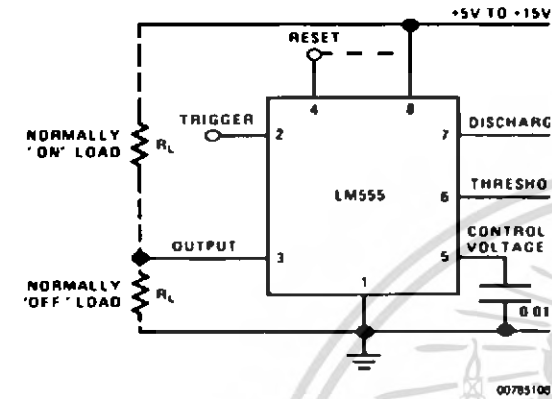
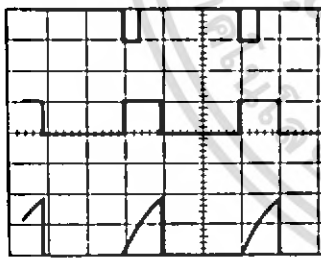


FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1 R_A C$, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_{CC}$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. Figure 2 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$
 TIME = 0.1 ms/DIV
 $R_A = 8.1k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 2. Monostable Waveforms

During the timing cycle when the output is high, the further application of a trigger pulse will not effect the circuit so long as the trigger input is returned high at least $10\mu s$ before the end of the timing interval. However the circuit can be reset

during this time by the application of a negative pulse to the reset terminal (pin 4). The output will then remain in the low state until a trigger pulse is again applied

When the reset function is not in use, it is recommended that it be connected to V_{CC} to avoid any possibility of false triggering

Figure 3 is a nomograph for easy determination of R, C values for various time delays

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle

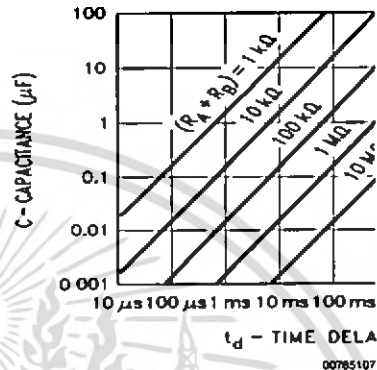


FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 4 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

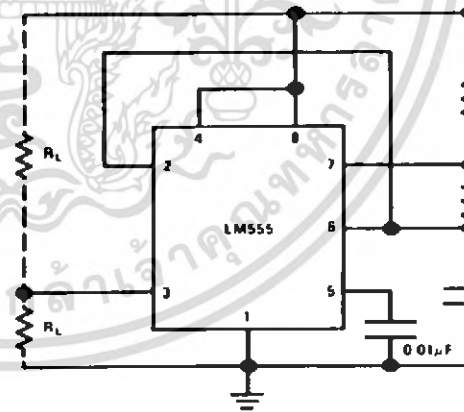
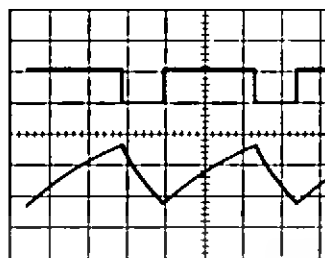


FIGURE 4. Astable

In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.

Applications Information (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation



00785109
 $V_{CC} = 5V$ Top Trace Output 5V/Div
 TIME = 20 μ s/DIV Bottom Trace Capacitor Voltage 1V/Div
 $R_A = 3.9k\Omega$
 $R_B = 3k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 5. Astable Waveforms

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

The frequency of oscillation is

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

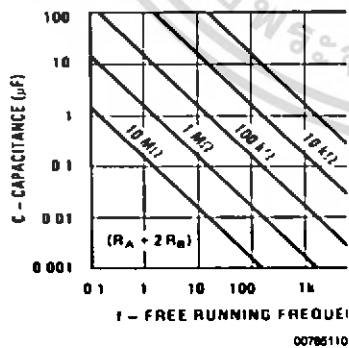
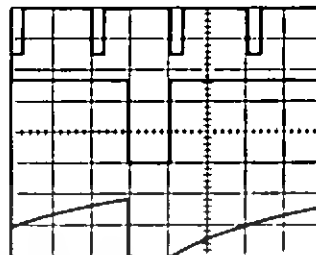


FIGURE 6. Free Running Frequency

FREQUENCY DIVIDER

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit



00785111
 $V_{CC} = 5V$ Top Trace Input 4V/Div
 TIME = 20 μ s/DIV Middle Trace Output 2V/Div
 $R_A = 9.1k\Omega$ Bottom Trace Capacitor 2V/Div
 $C = 0.01\mu F$

FIGURE 7. Frequency Divider

PULSE WIDTH MODULATOR

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples

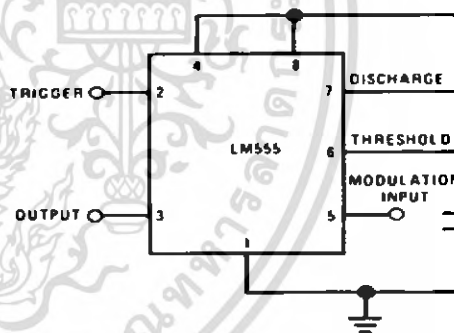
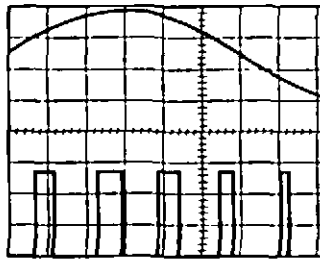


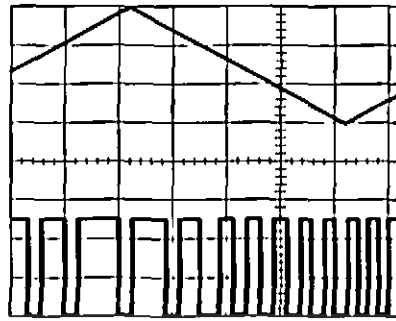
FIGURE 8. Pulse Width Modulator

Applications Information (Continued)



V_{CC} = 5V
 TIME = 0.2 ms/DIV
 R_A = 9.1kΩ
 C = 0.01μF

FIGURE 9. Pulse Width Modulator



V_{CC} = 5V
 TIME = 0.1 ms/DIV.
 R_A = 3.9kΩ
 R_B = 3kΩ
 C = 0.01μF

FIGURE 11. Pulse Position Modulator

PULSE POSITION MODULATOR

This application uses the timer connected for astable operation, as in Figure 10, with a modulating signal again applied to the control voltage terminal. The pulse position varies with the modulating signal, since the threshold voltage and hence the time delay is varied. Figure 11 shows the waveforms generated for a triangle wave modulation signal.

LINEAR RAMP

When the pullup resistor, R_A, in the monostable circuit is replaced by a constant current source, a linear ramp is generated. Figure 12 shows a circuit configuration that will perform this function.

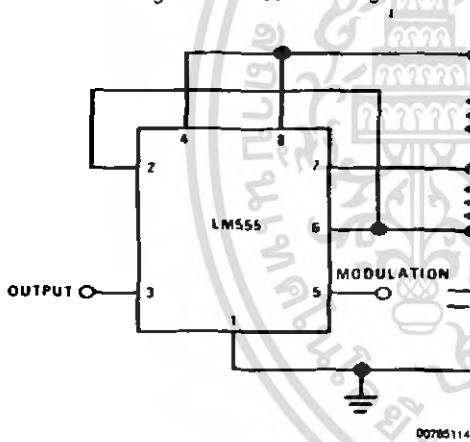


FIGURE 10. Pulse Position Modulator

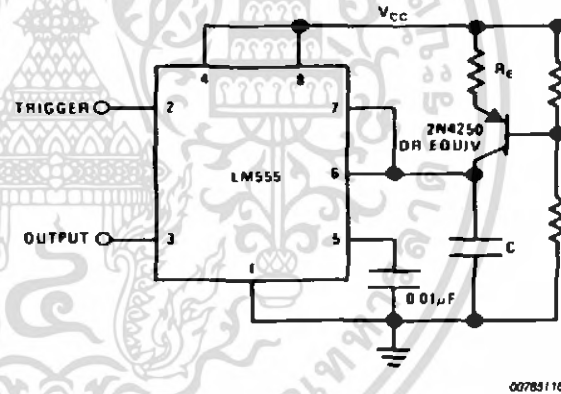


FIGURE 12.

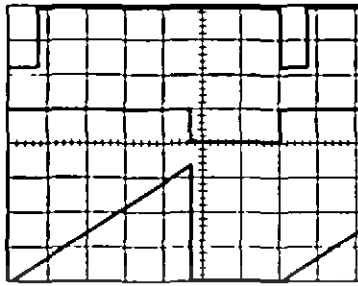
Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp. The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)}$$

$$V_{BE} \approx 0.6V$$

$$V_{BE} = 0.6V$$

Applications Information (Continued)



00785117

V_{CC} = 5V
 TIME = 20µs/DIV. Middle Trace Output 5V/Div
 R₁ = 47kΩ Bottom Trace Capacitor Voltage 1V/Div
 R₂ = 100kΩ
 R_E = 2.7 kΩ
 C = 0.01 µF

FIGURE 13. Linear Ramp

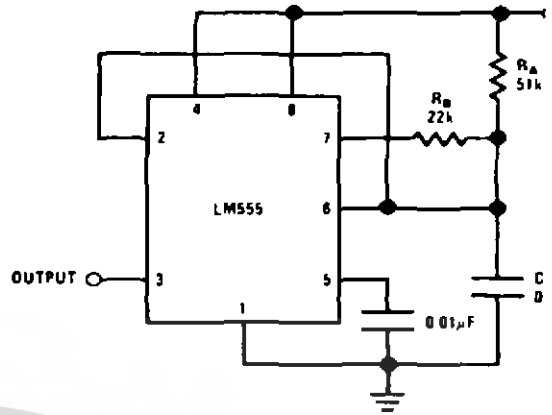
50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in Figure 14. The time period for the output high is the same as previous, t₁ = 0.693 R_A C. For the output low it is t₂ =

$$\left[\frac{R_A R_B}{R_A + R_B} \right] C \ln \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2}$$



00785118

FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than 1/2 R_A because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to 1/3 V_{CC} and trigger the lower comparator

ADDITIONAL INFORMATION

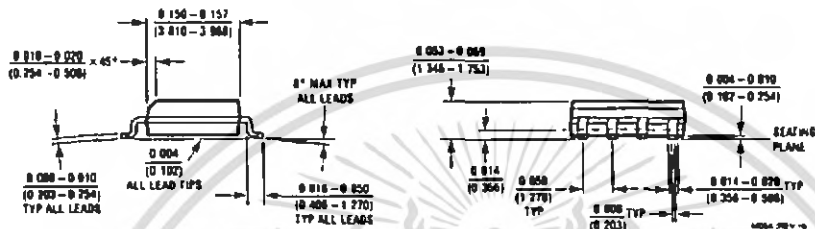
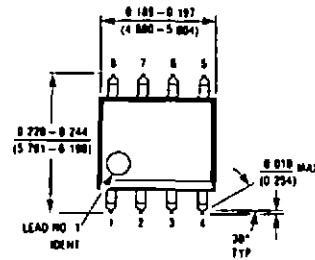
Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is 0.1µF in parallel with 1µF electrolytic

Lower comparator storage time can be as long as 10µs when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to 10µs minimum

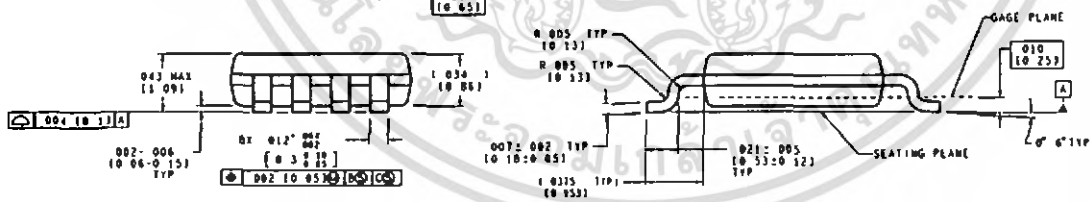
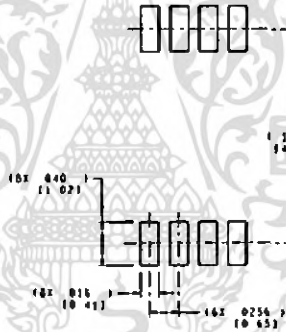
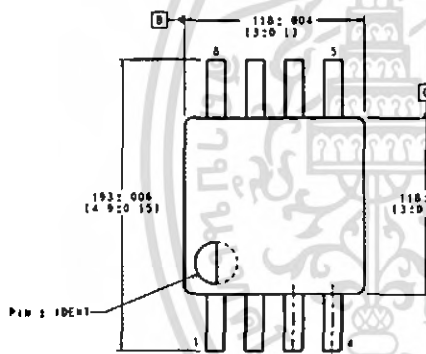
Delay time reset to output is 0.47µs typical. Minimum reset pulse width must be 0.3µs, typical

Pin 7 current switches within 30ns of the output (pin 3) voltage.

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Small Outline Package (M)
NS Package Number M08A



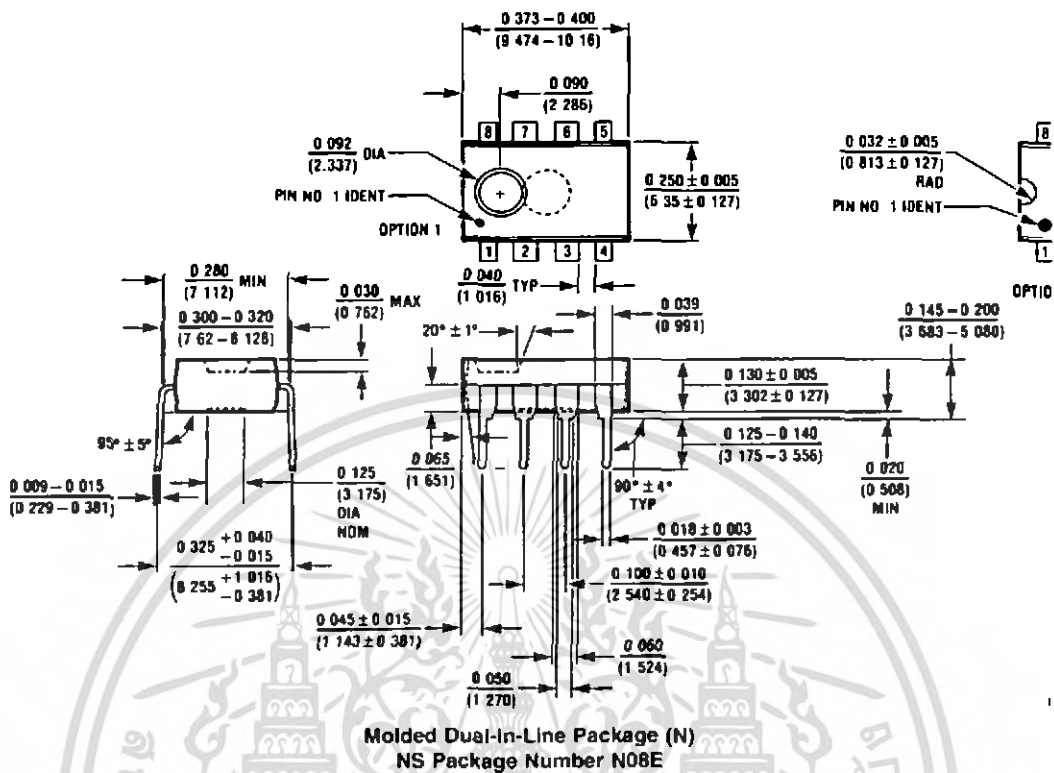
CONTROLLING DIMENSION IS INCH
VALUES IN [] ARE MILLIMETERS

MUA08A (Rev E)

8-Lead (0.118" Wide) Molded Mini Small Outline Package
NS Package Number MUA08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.
For the most current product information visit us at www.national.com.


LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION As used herein

- Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user
- A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness

BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE

National Semiconductor follows the provisions of the Product Stewardship Guide for Customers (CSP-9-111C2) and Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) for regulatory environmental compliance Details may be found at www.national.com/quality/green
Lead free products are RoHS compliant

 <p>National Semiconductor Americas Customer Support Center Email new.feedback@nsc.com Tel 1-800-272-9959</p>	<p>National Semiconductor Europe Customer Support Center Fax +49 (0) 180-530 85 86 Email europe.support@nsc.com Deutsch Tel +49 (0) 69 9508 6208 English Tel +44 (0) 870 24 0 2171 Français Tel +33 (0) 1 41 91 8790</p>	<p>National Semiconductor Asia Pacific Customer Support Center Email ap.support@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Japan Customer Support Center Fax 81-3-5639 7507 Email jp.feedback@nsc.com Tel 81-3-5639-7560</p>
--	--	---	--

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ET-ARM BASE2103/2106

ET-ARM BASE2103 which is Board Microcontroller ARM7TDMI-S Core family uses Microcontroller 16/32-Bit 48 Pin low power type to be permanent MCU on board and uses MCU No.LPC2103/2106 from Philips. Board is designed a small size and easy to apply for various project works. MCU is arranged with necessary components as ETT Port 10PIN and uses Power Supply as +5V. Moreover, GPIO can support signal 5V. There is Connector UART0 (RS-232) 2 Ports for Download Hex File and using as RS232 Serial Port Communication for Program Application.

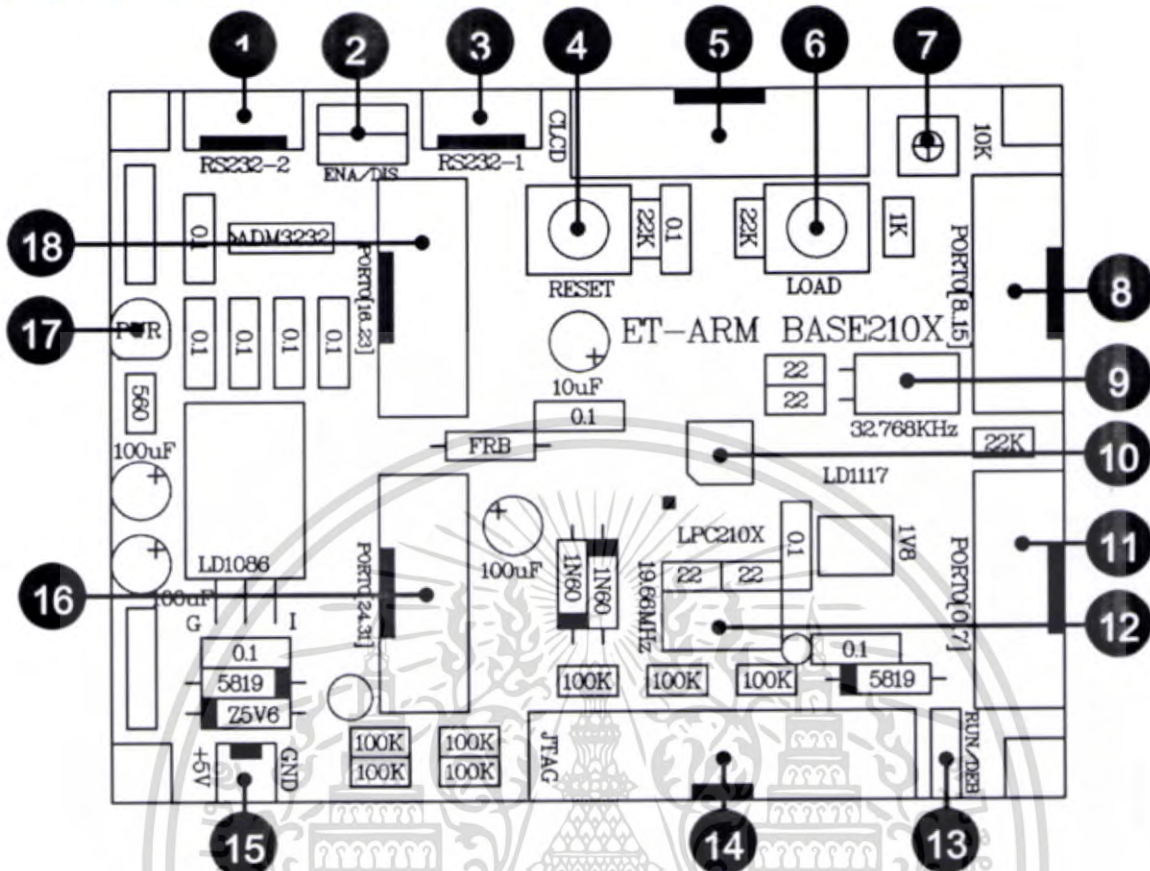
Specifications of Board if using LPC2106

- 16/32-Bit MCU ARM7TDMI-S family No.LPC2106 from Philips
- Crystal 19.6608 MHz; MCU can collect data maximum high speed 58.9824 MHz if using with Phase-Locked Loop (PLL) internal MCU
- Support In-System Programming (ISP) and In-Application Programming (IAP) through On-Chip Boot-Loader Software of Port RS232-1
- 1 Port JTAG 20PIN for Real Time Debugging
- 1 Port LCD standard ETT 14PIN
- 4 Port GPIO 10PIN standard ETT
- 128KB Flash Memory and 64KB RAM
- +5V Power Supply
- Maximum 32 I/O Pins GPIO (only GPIO supports signal 5V) Pin GPIO can be used with other functions as following;
 - ❖ SPI 1 Channel
 - ❖ I2C 1 Channel
 - ❖ UART Full-Duplex 2 Channel; RS232-1 and RS232-2 standard 4 Pin ETT
 - ❖ Timer 32-bit 1 Channel (7 Input Capture / 7 Output Compare)
 - ❖ Watchdog Timer
 - ❖ Real Time Clock
 - ❖ PWM Output 6 Output

Specifications of Board if using LPC2103

- 16/32-Bit MCU ARM7TDMI-S family No.LPC2103 from Philips
- Crystal 19.6608 MHz; MCU can collect data maximum high speed 58.9824 MHz if using with Phase-Locked Loop (PLL) internal MCU
- Support In-System Programming (ISP) and In-Application Programming (IAP) through On-Chip Boot-Loader Software of Port RS232-1
- 1 Port JTAG 20PIN for Real Time Debugging
- 1 Port LCD standard ETT 14PIN
- 4 Port GPIO 10PIN standard ETT
- 32KB Flash Memory and 8KB RAM
- RTC (Real Time Clock) 32.768KHz with Battery Backup +3V
- +5V Power Supply
- maximum 32 I/O Pins GPIO (only GPIO support signal 5V) Pins GPIO can be used with other Functions as following:
 - ❖ SPI 2 Channel
 - ❖ I2C 2 Channel
 - ❖ 8-Channel 10 Bit A/D Converter
 - ❖ UART Full-Duplex 2 Channel; RS232-1 and RS232-2 standard 4 Pin ETT
 - ❖ Timer 32-bit 2 Channel (7 Input Capture / 7 Output Compare)
 - ❖ Timer 16-bit 2 Channel (3 Input Capture / 7 Output Compare)
 - ❖ Watchdog Timer, PWM Output

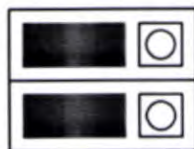
Structure of Board ET-ARM BASE2103/2106



No. 1 and 3 is Port Communication RS232-2 and RS232-1 respectively.



- No. 2 is Set Jumper as Enable or Disable signal GPIO of P0.8 and P0.9 to be RS232-2 or GPIO.



ENA/DIS

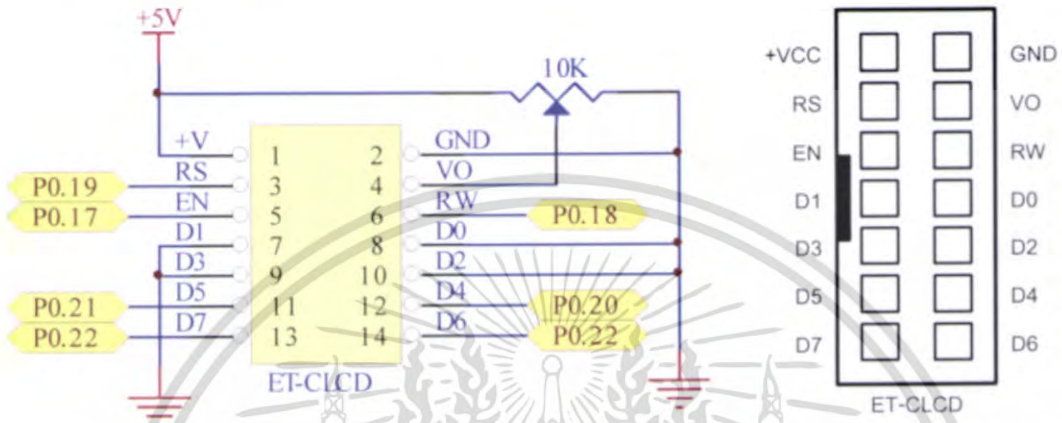
Select Jumper For RS232-2



ENA/DIS

Select Jumper For GPIO

- No. 4 and 6 is Switch RESET and LOAD respectively.
- No. 5 and 7 is LCD Connector 14PIN and VR-10K for contrasting the brightness of LCD Monitor respectively. Circuit and Signal is arranged as following;



- No. 8, 11, 16, and 18 is GPIO0 is divided into 4 Ports and has 8 Bit per Port, totally 32Bit (only GPIO can support Signal 3.3V and 5V).

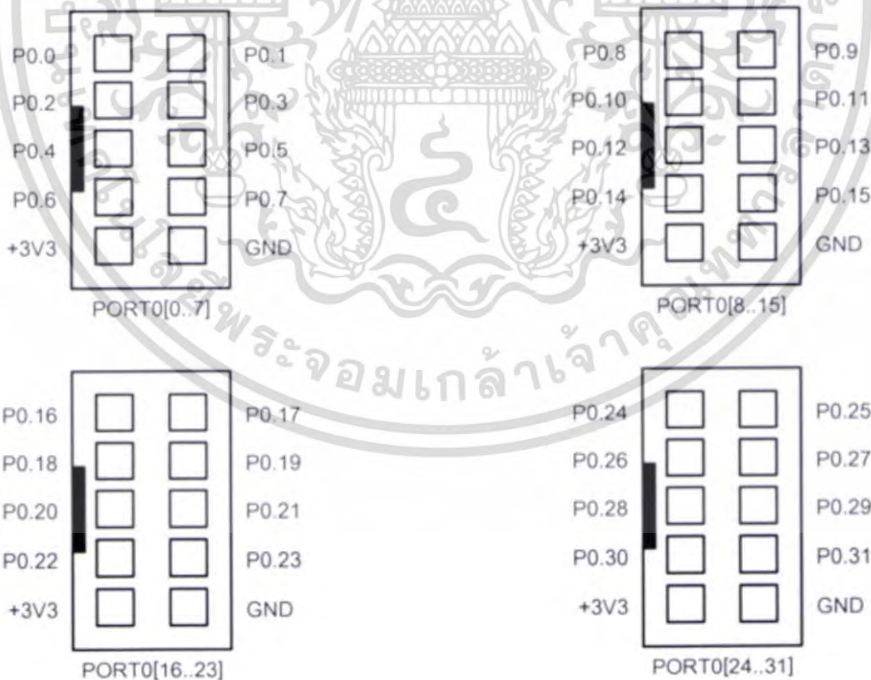


Figure displays the Signal GPIO arrangement of all 4 sets.

- No. 9 is Crystal Oscillator 32.768 KHz for RTC (only version LPC2103).
- No. 10 is MCU ARM7TDMI-S LPC2103 or LPC2106 from Philips.
- No.12 is Crystal 19.6608 MHz for MCU .
- No. 13 is Set Jumper for selecting RUN Mode or Debugging Mode



RUN/DEB

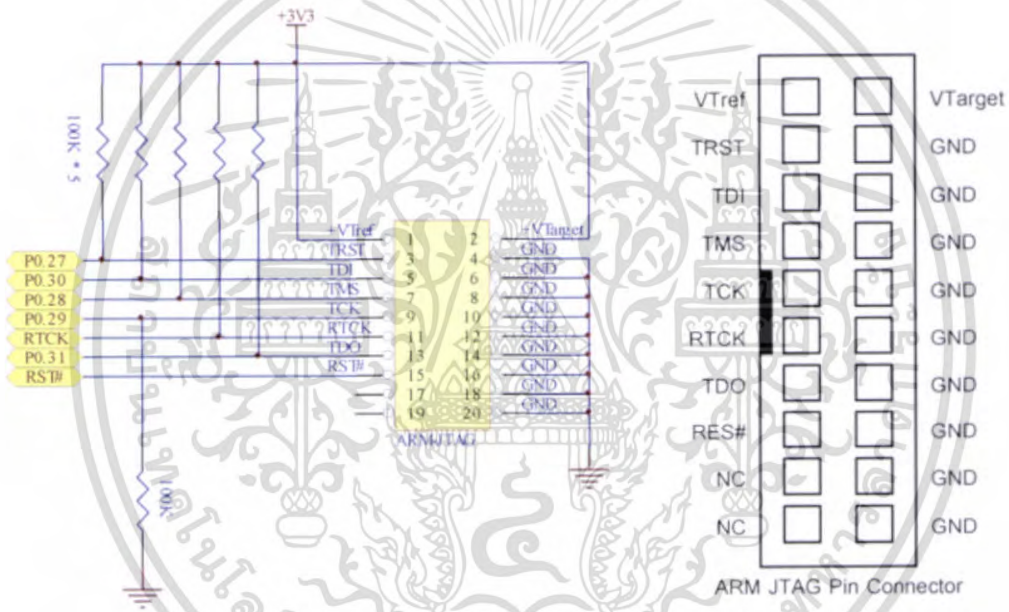
Set Jumper as Run Mode



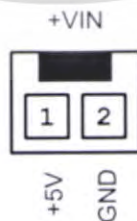
RUN/DEB

Set Jumper as Debug Mode

- No. 14 is JTAG Connector 20PIN for Interfacing with JTAG Debugger. Circuit and Signal are arranged as following;



- No.15 is Connecting Point of Power Supply +5V and GND for supplying only DG+5V into Board. The Connector is arranged as the picture below.



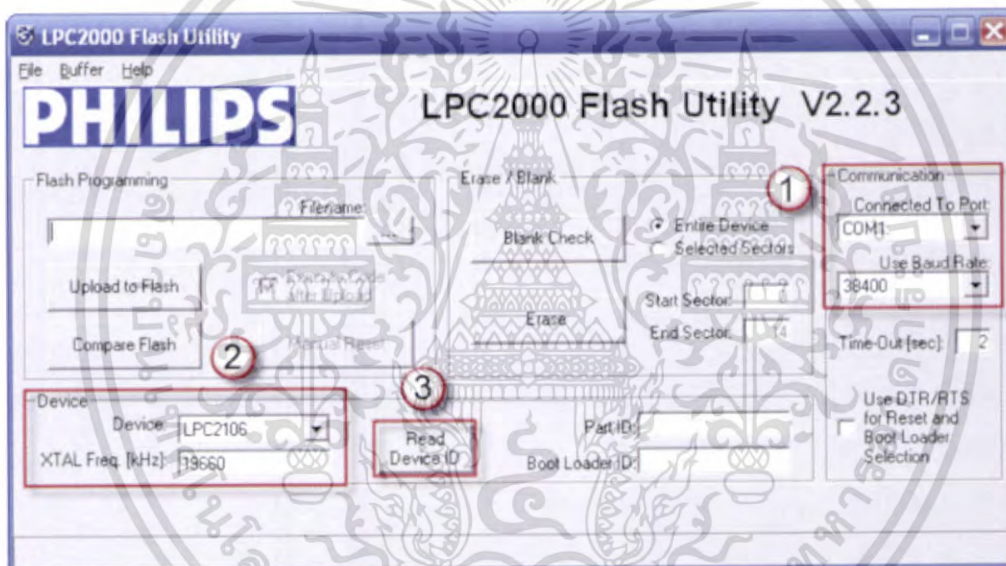
- No. 17 is red LED to display status operation of Power Supply.

To Download Hex File into MCU of Board

We use program "LPC2000 Flash Utility V2.3.3" of Philips to Download Hex File into Flash Memory of MCU internal board and we can download this Program free without any charge from www.semiconductors.philips.com. In this case, it communicates with MCU through Serial Port of computer PC.

The procedure to Download HEX File into MCU

1. Interface Cable RS232 from RS232 Serial Port of PC with Board RS232-1.
2. Supply Power +5V into Board and we can see red LED (PWR) is in status ON.
3. Run Program LPC2000 Flash Utility of Philips and it will display window as in the picture below.
4. Set configurations of program into Board ET-ARM BASE210x from ETT as shown in the picture below.

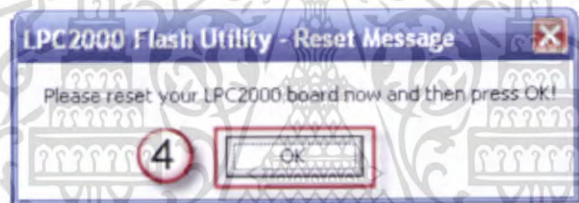


- 1) Select number of COM Port is corresponding with the truly usage, for example, select number as COM1.
- 2) Set Baud Rate value as 4800 - 38400 or setting the standard speed as 9600.
- 3) We can not select MCU in the Device blank; Program will display number of LPC2103 or LPC2106 automatically. (depend on the permanent MCU on Board) when we command **Read Device ID** successfully.
- 4) Set Crystal Oscillator value to be corresponding with the truly usage internal Board, use KHz to be unit of value and do not set more than 5 units. In this case, we set it as 19.6608MHz that equals 19660.

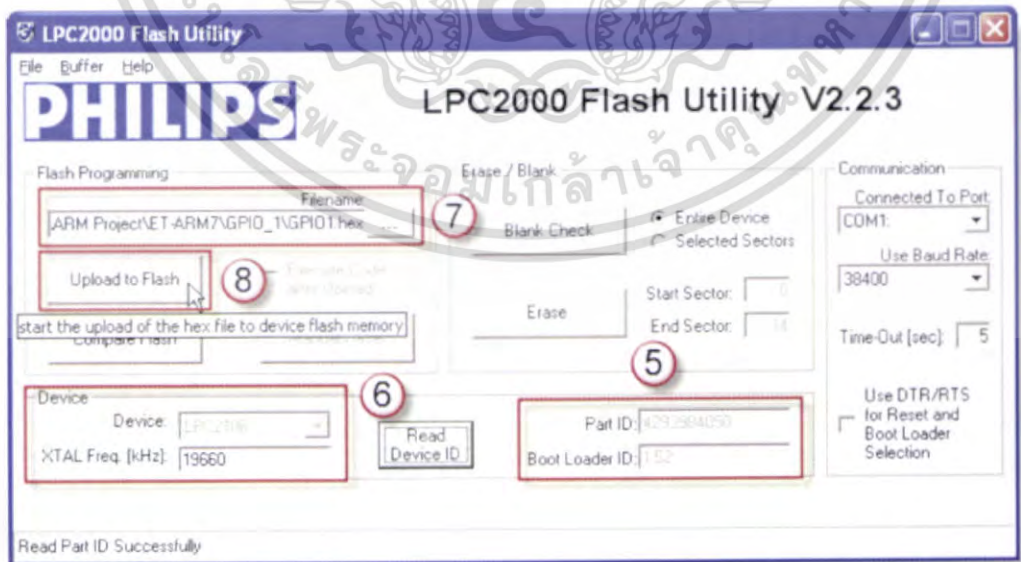
- 5) Click Button **Read Device ID** to communicate with CPU and it will display message to welcome to Boot Mode as in the picture.



- 6) Press Switch RESET and LOAD on Board ET-ARM BASE210X to Reset MCU running in Mode Boot Loader as following;
 - Press Switch LOAD for a while.
 - Press Switch RESET and Switch Load remains pressing.
 - Release Switch RESET but Switch Load remains pressing.
 - Finally, Release Switch LOAD and then click "OK".

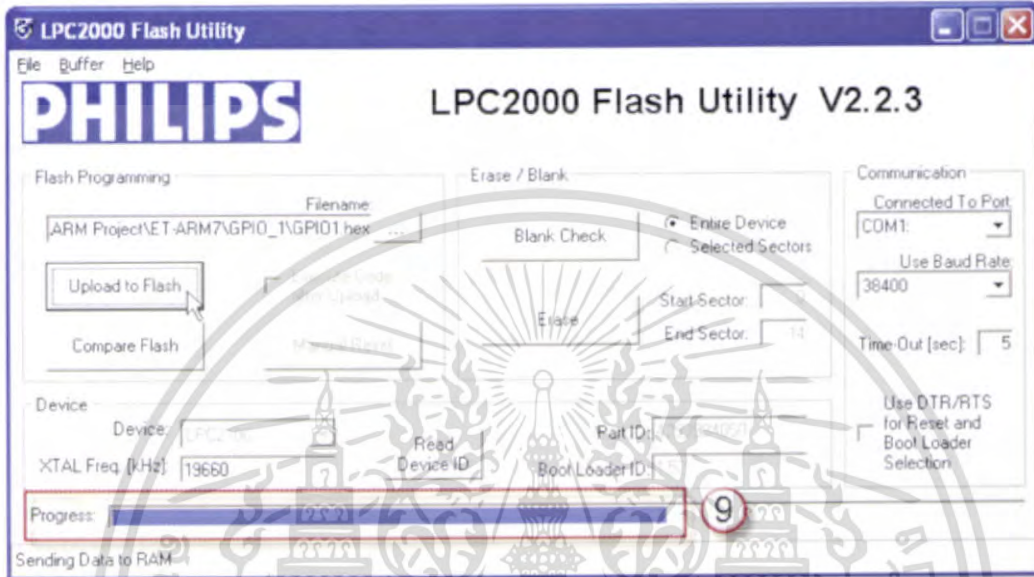


- 7) When we can communicate with CPU successfully, it will display window that shows the information of Part ID and Boot Loader ID as in the picture below.



- 8) Select HEX File that we want to program into MCU.

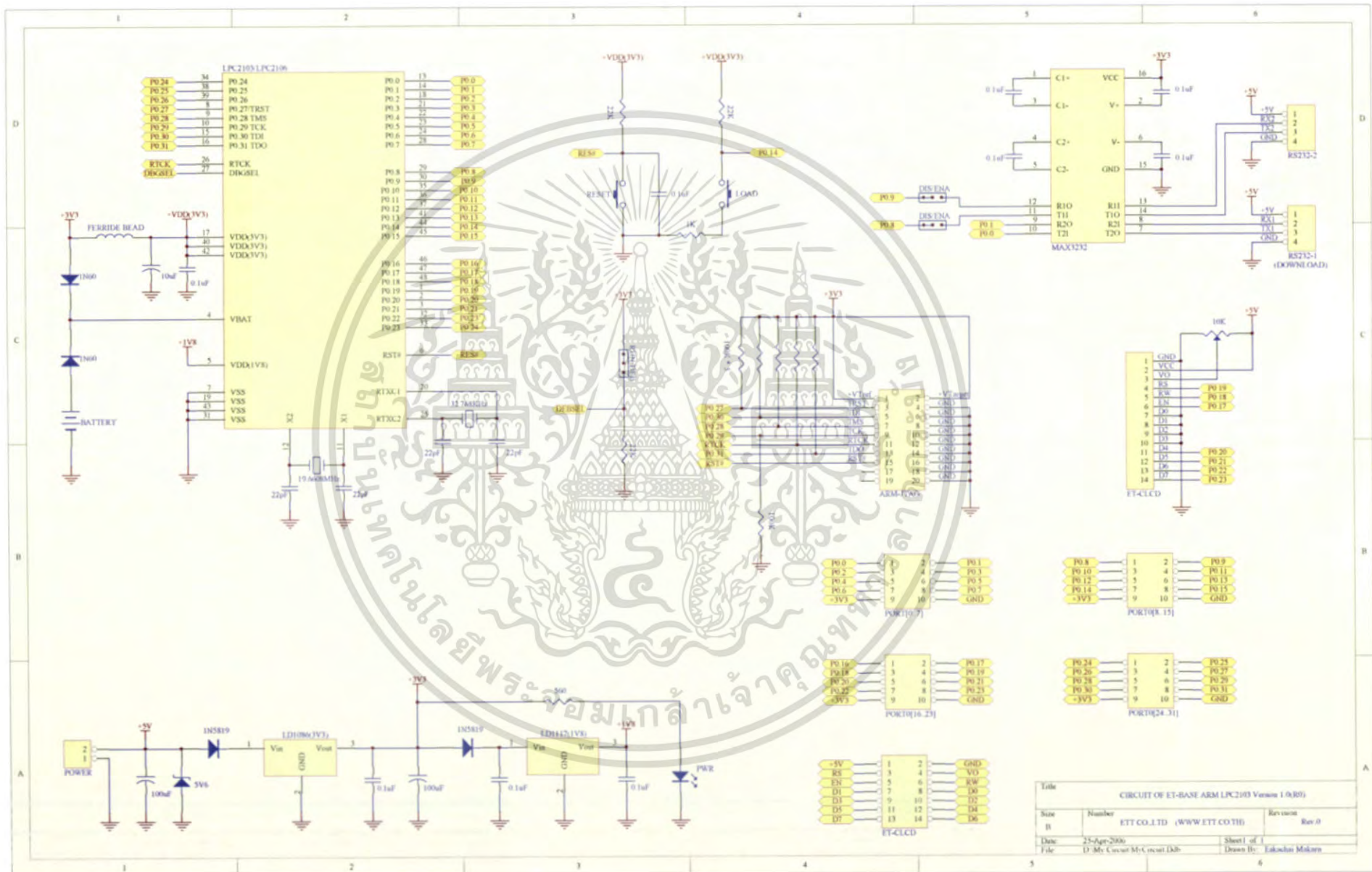
- 9) Click "Upload to Flash" and Program LPC2000 starts Download data into MCU instantly and we can notice at Status "Uploading to LPC2000 RAM and Copying to Flash Memory" as in the picture below. In this step, we must wait for the operation of program is completely and we can notice at Status "File Upload Successfully Completed"



when operation of Program is completely, press Switch Reset on board and MCU starts run as the downloaded program instantly

ETT CO., LTD
 1112/96-98 Sukhumvit Rd., Phrakanong,
 Bangkok 10110 THAILAND
 Tel : (662) 712-1120 Fax : (662) 3917216
 E-Mail : sale@etteam.com
 Website : www.ett.co.th, www.etteam.com

ETT
www.ett.co.th



Title			
CIRCUIT OF ET-BASE ARM LPC2103 Verion 1.0(R0)			
Size	Number	ETT CO.,LTD (WWW.ETT.CO.TH)	Revision Rev.0
Date	25-Apr-2006	Sheet1 of 1	
File	D:\Mr.Cuscut\MyCuscut\Del	Drawn By:	Eakachai Molakorn



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LPC2104/2105/2106

Single-chip 32-bit microcontrollers; 128 kB ISP/IAP Flash with 64 kB/32 kB/16 kB RAM

Rev. 05 □ 22 December 2004

Product data

1. General description

The LPC2104/2105/2106 are based on a 16/32 bit ARM7TDMI-S[®] CPU with real-time emulation and embedded trace support, together with 128 kbytes (kB) of embedded high speed flash memory. A 128 bit wide memory interface and a unique accelerator architecture enable 32 bit code execution at maximum clock rate. For critical code size applications, the alternative 16-bit Thumb[™] Mode reduces code by more than 30 % with minimal performance penalty.

Due to their tiny size and low power consumption, these microcontrollers are ideal for applications where miniaturization is a key requirement, such as access control and point-of-sale. With a wide range of serial communications interfaces and on-chip SRAM options up to 64 kB, they are very well suited for communication gateways and protocol converters, soft modems, voice recognition and low end imaging, providing both large buffer size and high processing power. Various 32 bit timers, PWM channels and 32 GPIO lines make these microcontrollers particularly suitable for industrial control and medical systems.

2. Features

2.1 Key features

- 16/32 bit ARM7TDMI-S processor.
- 16/32/64 kB on-chip Static RAM.
- 128 kB on-chip Flash Program Memory. 128 bit wide interface/accelerator enables high speed 60 MHz operation.
- In-System Programming (ISP) and In-Application Programming (IAP) via on-chip boot-loader software. Flash programming takes 1 ms per 512 byte line. Single sector or full chip erase takes 400 ms.
- Vectored Interrupt Controller with configurable priorities and vector addresses.
- Embedded ICE-RT interface enables breakpoints and watch points. Interrupt service routines can continue to execute whilst the foreground task is debugged with the on-chip RealMonitor[™] software.
- Embedded Trace Macrocell enables non-intrusive high speed real-time tracing of instruction execution.
- Multiple serial interfaces including two UARTs (16C550), Fast I²C (400 kbits/s) and SPI[™].
- Two 32-bit timers (7 capture/compare channels), PWM unit (6 outputs), Real Time Clock and Watchdog.
- Up to thirty-two 5 V tolerant general purpose I/O pins in a tiny LQFP48 (7 × 7 mm²) package.



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าตีพิมพ์ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 60 MHz maximum CPU clock available from programmable on-chip Phase-Locked Loop with settling time of 100 μ s.
- On-chip crystal oscillator with an operating range of 1 MHz to 30 MHz.
- Two low power modes, Idle and Power-down.
- Processor wake-up from Power-down mode via external interrupt.
- Individual enable/disable of peripheral functions for power optimization.
- Dual power supply:
 - ◆ CPU operating voltage range of 1.65 V to 1.95 V ($1.8 \text{ V} \pm 8.3 \%$).
 - ◆ I/O power supply range of 3.0 V to 3.6 V ($3.3 \text{ V} \pm 10 \%$) with 5 V tolerant I/O pads.

3. Ordering information

Table 1: Ordering information

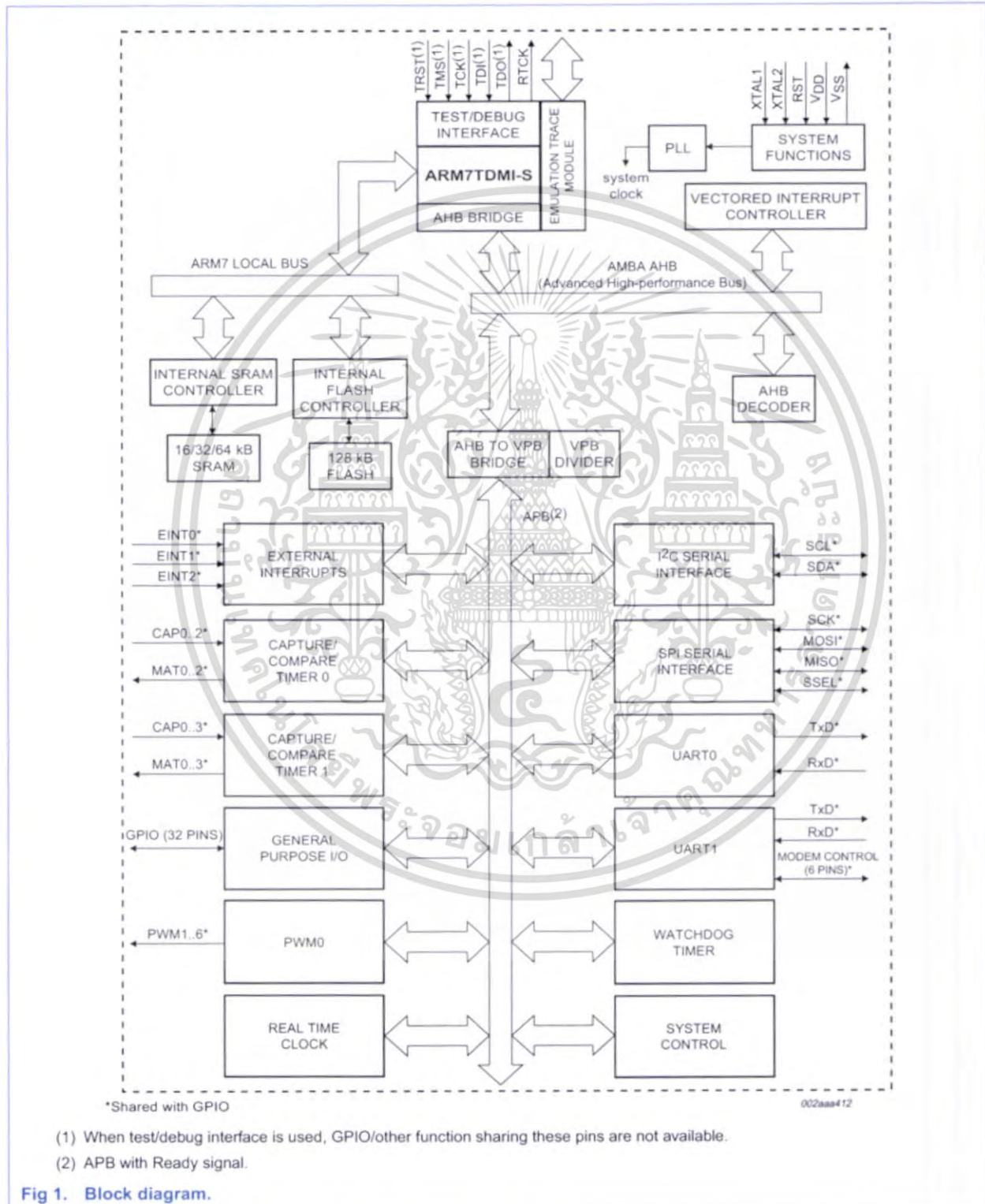
Type number	Package		Version
	Name	Description	
LPC2104BBD48	LQFP48	plastic low profile quad flat package; 48 leads; body 7 × 7 × 1.4 mm	SOT313-2
LPC2105BBD48	LQFP48	plastic low profile quad flat package; 48 leads; body 7 × 7 × 1.4 mm	SOT313-2
LPC2106FBD48	LQFP48	plastic low profile quad flat package; 48 leads; body 7 × 7 × 1.4 mm	SOT313-2
LPC2106FHN48	HVQFN48	plastic thermal enhanced very thin quad flat package; no leads; 48 terminals; body 7 × 7 × 0.85 mm	SOT619-1

3.1 Ordering options

Table 2: Part options

Type number	Flash memory	RAM	Temperature range
LPC2104BBD48	128 kB	16 kB	0 to +70, LQFP
LPC2105BBD48	128 kB	32 kB	0 to +70, LQFP
LPC2106FBD48	128 kB	64 kB	40 to +85, LQFP
LPC2106FHN48	128 kB	64 kB	40 to +85, HVQFN

4. Block diagram



5. Pinning information

5.1 Pinning



Fig 2. Pinning.

5.2 Pin description

Table 3: Pin description

Symbol	Pin	Type	Description
P0.0 to P0.31		I/O	Port 0: Port 0 is a 32-bit bi-directional I/O port with individual direction controls for each bit. The operation of port 0 pins depends upon the pin function selected via the Pin Connect Block.
	13	I/O O O	P0.0 □ Port 0 bit 0. TxD0 □ Transmitter output for UART 0. PWM1 □ Pulse Width Modulator output 1.
	14	I/O I O	P0.1 □ Port 0 bit 1. RxD0 □ Receiver input for UART 0. PWM3 □ Pulse Width Modulator output 3.
	18	I/O I/O I	P0.2 □ Port 0 bit 2. SCL □ I ² C clock input/output. Open drain output (for I ² C compliance). CAP0.0 □ Capture input for Timer 0, channel 0.
	21	I/O I/O O	P0.3 □ Port 0 bit 3. SDA □ I ² C data input/output. Open drain output (for I ² C compliance). MAT0.0 □ Match output for Timer 0, channel 0.
	22	I/O I/O I	P0.4 □ Port 0 bit 4. SCK □ Serial clock. SPI clock output from master or input to slave. CAP0.1 □ Capture input for Timer 0, channel 1.
	23	I/O I/O O	P0.5 □ Port 0 bit 5. MISO □ Master In Slave Out. Data input to SPI master or data output from SPI slave. MAT0.1 □ Match output for Timer 0, channel 1.
	24	I/O I/O I	P0.6 □ Port 0 bit 6. MOSI □ Master Out Slave In. Data output from SPI master or data input to SPI slave. CAP0.2 □ Capture input for Timer 0, channel 2.
	28	I/O I O	P0.7 □ Port 0 bit 7. SSEL □ Slave Select. Selects the SPI interface as a slave. PWM2 □ Pulse Width Modulator output 2.
	29	I/O O O	P0.8 □ Port 0 bit 8. TxD1 □ Transmitter output for UART 1. PWM4 □ Pulse Width Modulator output 4.
	30	I/O I O	P0.9 □ Port 0 bit 9. RxD1 □ Receiver input for UART 1. PWM6 □ Pulse Width Modulator output 6.

Table 3: Pin description *continued*

Symbol	Pin	Type	Description
	35	I/O	P0.10 □ Port 0 bit 10.
		O	RTS1 □ Request to Send output for UART 1.
		I	CAP1.0 □ Capture input for Timer 1, channel 0.
	36	I/O	P0.11 □ Port 0 bit 11.
		I	CTS1 □ Clear to Send input for UART 1.
		I	CAP1.1 □ Capture input for Timer 1, channel 1.
	37	I/O	P0.12 □ Port 0 bit 12.
		I	DSR1 □ Data Set Ready input for UART 1.
		O	MAT1.0 □ Match output for Timer 1, channel 0.
	41	I/O	P0.13 □ Port 0 bit 13.
		O	DTR1 □ Data Terminal Ready output for UART 1.
		O	MAT1.1 □ Match output for Timer 1, channel 1.
	44	I/O	P0.14 □ Port 0 bit 14.
		I	DCD1 □ Data Carrier Detect input for UART 1.
		I	EINT1 □ External interrupt 1 input.
	45	I/O	P0.15 □ Port 0 bit 15.
		I	RI1 □ Ring Indicator input for UART 1.
		O	EINT2 □ External interrupt 2 input.
	46	I/O	P0.16 □ Port 0 bit 16.
		I	EINT0 □ External interrupt 0 input.
		O	MAT0.2 □ Match output for Timer 0, channel 2.
	47	I/O	P0.17 □ Port 0 bit 17.
		I	CAP1.2 □ Capture input for Timer 1, channel 2.
		I	TRST □ Test Reset for JTAG interface, primary JTAG pin group.
	48	I/O	P0.18 □ Port 0 bit 18.
		I	CAP1.3 □ Capture input for Timer 1, channel 3.
		I	TMS □ Test Mode Select for JTAG interface, primary JTAG pin group.
	1	I/O	P0.19 □ Port 0 bit 19.
		O	MAT1.2 □ Match output for Timer 1, channel 2.
		I	TCK □ Test Clock for JTAG interface, primary JTAG pin group.
	2	I/O	P0.20 □ Port 0 bit 20.
		O	MAT1.3 □ Match output for Timer 1, channel 3.
		I	TDI □ Test Data In for JTAG interface, primary JTAG pin group
	3	I/O	P0.21 □ Port 0 bit 21.
		O	PWM5 □ Pulse Width Modulator output 5.
		O	TDO □ Test Data Out for JTAG interface, primary JTAG pin group.
	32	I/O	P0.22 □ Port 0 bit 22.
		O	TRACECLK □ Trace Clock. Standard I/O port with internal pull-up.
	33	I/O	P0.23 □ Port 0 bit 23.
		O	PIPESTAT0 □ Pipeline Status, bit 0. Standard I/O port with internal pull-up.
	34	I/O	P0.24 □ Port 0 bit 24.

Table 3: Pin description *continued*

Symbol	Pin	Type	Description
		O	PIPESTAT1 □ Pipeline Status, bit 1. Standard I/O port with internal pull-up.
	38	I/O	P0.25 □ Port 0 bit 25.
		O	PIPESTAT2 □ Pipeline Status, bit 2. Standard I/O port with internal pull-up.
	39	I/O	P0.26 □ Port 0 bit 26.
		O	TRACESYNC □ Trace Synchronization Standard I/O port with internal pull-up.
	8	I/O	P0.27 □ Port 0 bit 27.
		O	TRACEPKT0 □ Trace Packet, bit 0. Standard I/O port with internal pull-up.
		I	TRST □ Test Reset for JTAG interface, secondary JTAG pin group.
	9	I/O	P0.28 □ Port 0 bit 28.
		O	TRACEPKT1 □ Trace Packet, bit 1. Standard I/O port with internal pull-up.
		I	TMS □ Test Mode Select for JTAG interface, secondary JTAG pin group
	10	I/O	P0.29 □ Port 0 bit 29.
		O	TRACEPKT2 □ Trace Packet, bit 2. Standard I/O port with internal pull-up.
		I	TCK □ Test Clock for JTAG interface, secondary JTAG pin group.
	15	I/O	P0.30 □ Port 0 bit 30.
		O	TRACEPKT3 □ Trace Packet, bit 3. Standard I/O port with internal pull-up.
		I	TDI □ Test Data In for JTAG interface, secondary JTAG pin group.
	16	I/O	P0.31 □ Port 0 bit 31.
		I	EXTIN0 □ External Trigger Input. Standard I/O port with internal pull-up.
		O	TDO □ Test Data out for JTAG interface, secondary JTAG pin group.
RTCK	26	I/O	Returned Test Clock output: Extra signal added to the JTAG port. Assists debugger synchronization when processor frequency varies. Also used during debug mode entry to select primary or secondary JTAG pins with the 48-pin package. Bi-directional pin with internal pull-up.
DBGSEL	27	I	Debug Select: When LOW, the part operates normally. When HIGH, debug mode is entered. Input pin with internal pull-down.
RST	6	I	External Reset input: A LOW on this pin resets the device, causing I/O ports and peripherals to take on their default states, and processor execution to begin at address 0.
X1	11	I	Input to the oscillator circuit and internal clock generator circuits.
X2	12	O	Output from the oscillator amplifier.
V _{SS1} - V _{SS4}	7, 19, 31, 43	I	Ground: 0 V reference.
V _{DD1.8}	5	I	1.8 V Core Power Supply: This is the power supply voltage for internal circuitry.
V _{DD3}	17, 40	I	3.3 V Pad Power Supply: This is the power supply voltage for the I/O ports.
NC	4, 20, 25, 42	-	Not Connected: These pins are not connected in the 48 pin package.

6. Functional description

6.1 Architectural overview

The ARM7TDMI-S is a general purpose 32-bit microprocessor, which offers high performance and very low power consumption. The ARM[®] architecture is based on Reduced Instruction Set Computer (RISC) principles, and the instruction set and related decode mechanism are much simpler than those of microprogrammed Complex Instruction Set Computers. This simplicity results in a high instruction throughput and impressive real-time interrupt response from a small and cost-effective processor core.

Pipeline techniques are employed so that all parts of the processing and memory systems can operate continuously. Typically, while one instruction is being executed, its successor is being decoded, and a third instruction is being fetched from memory.

The ARM7TDMI-S processor also employs a unique architectural strategy known as Thumb, which makes it ideally suited to high-volume applications with memory restrictions, or applications where code density is an issue.

The key idea behind Thumb is that of a super-reduced instruction set. Essentially, the ARM7TDMI-S processor has two instruction sets:

- ✦ The standard 32-bit ARM set.

- ✦ A 16-bit Thumb set.

The Thumb set's 16-bit instruction length allows it to approach twice the density of standard ARM code while retaining most of the ARM's performance advantage over a traditional 16-bit processor using 16-bit registers. This is possible because Thumb code operates on the same 32-bit register set as ARM code.

Thumb code is able to provide up to 65 % of the code size of ARM, and 160 % of the performance of an equivalent ARM processor connected to a 16-bit memory system.

6.2 On-Chip Flash program memory

The LPC2104/2105/2106 incorporate a 128 kB Flash memory system. This memory may be used for both code and data storage. Programming of the Flash memory may be accomplished in several ways. It may be programmed In System via the serial port. The application program may also erase and/or program the Flash while the application is running, allowing a great degree of flexibility for data storage field firmware upgrades, etc. When on-chip bootloader is used, 120 kB of Flash memory is available for user code.

The LPC2104/2105/2106 Flash memory provides a minimum of 100,000 erase/write cycles and 20 years of data retention.

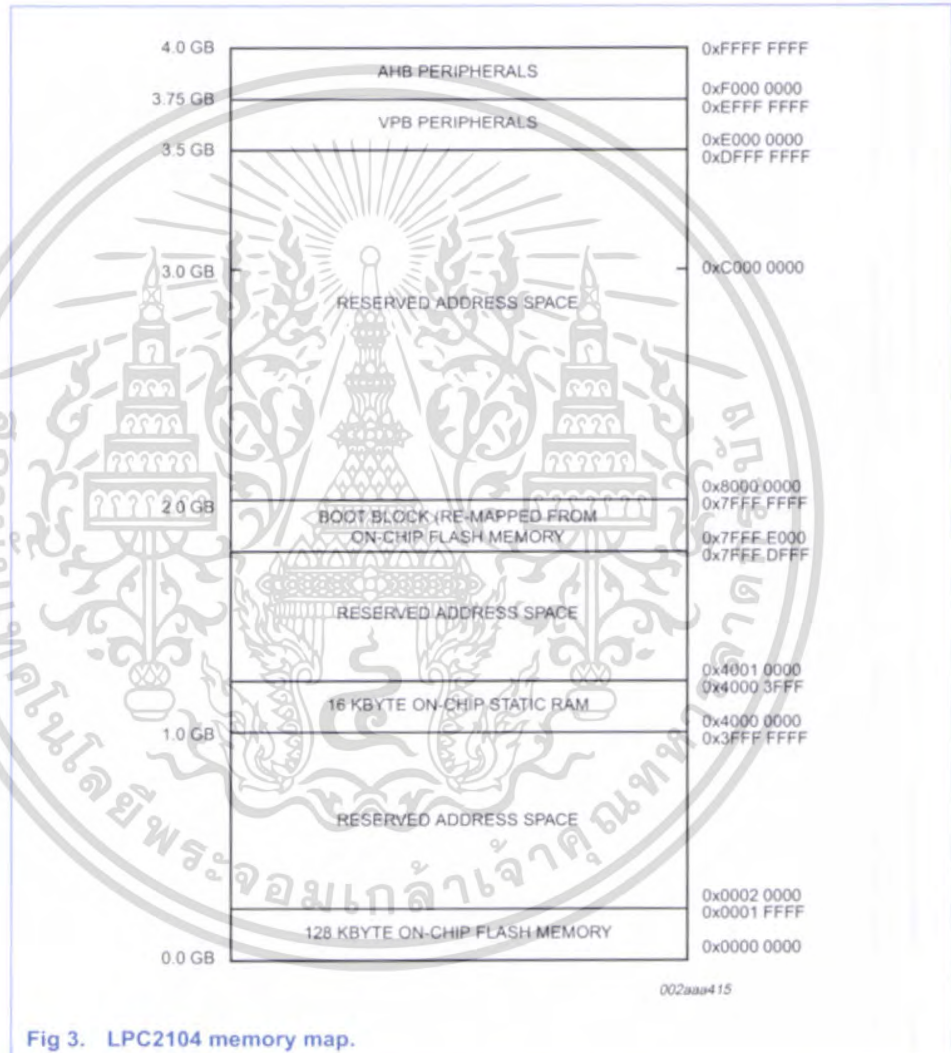
6.3 On-Chip static RAM

On-Chip static RAM may be used for code and/or data storage. The SRAM may be accessed as 8-bits, 16-bits, and 32-bits. The LPC2104 provides a 16 kB static RAM, the LPC2105 provides a 32 kB static RAM, and the LPC2106 provides a 64 kB static RAM.

6.4 Memory map

The LPC2104, LPC2105 and LPC2106 memory maps incorporate several distinct regions, as shown in the following figures.

In addition, the CPU interrupt vectors may be re-mapped to allow them to reside in either Flash memory (the default) or on-chip static RAM. This is described in [Section 6.17 System control](#).



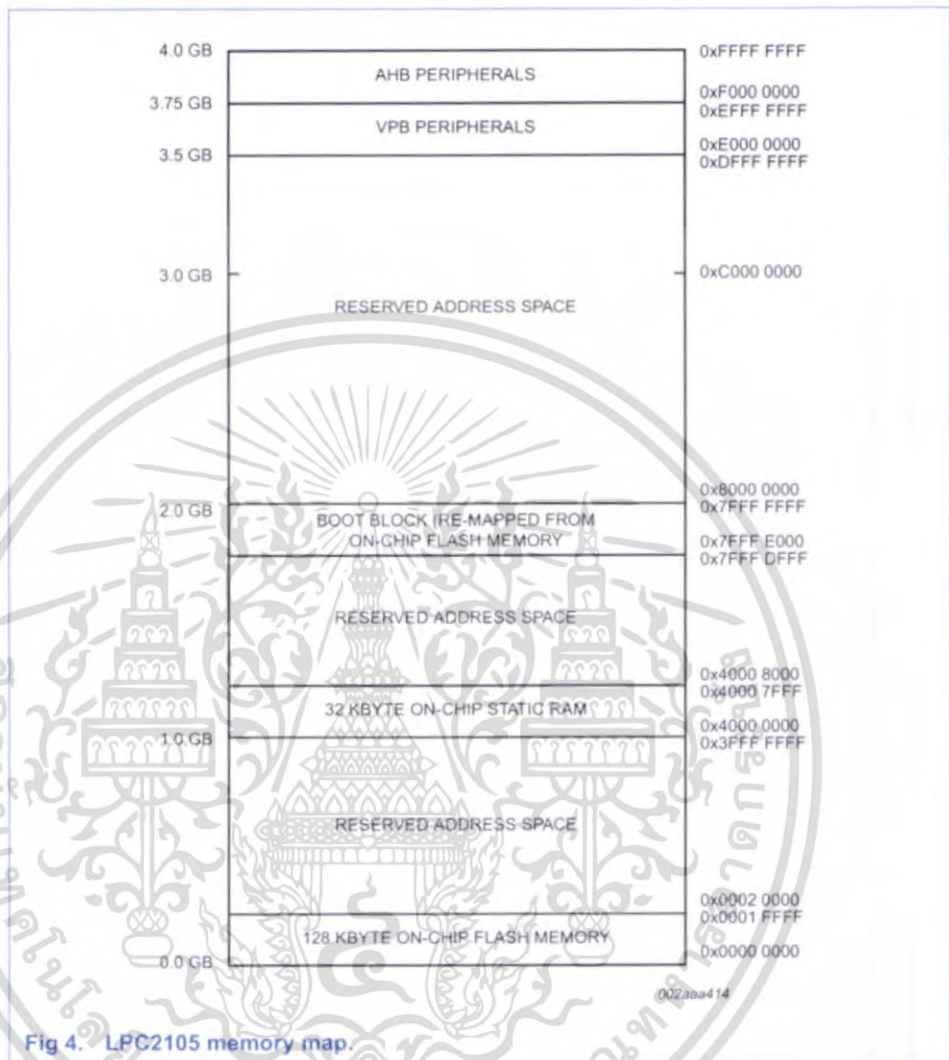


Fig 4. LPC2105 memory map.

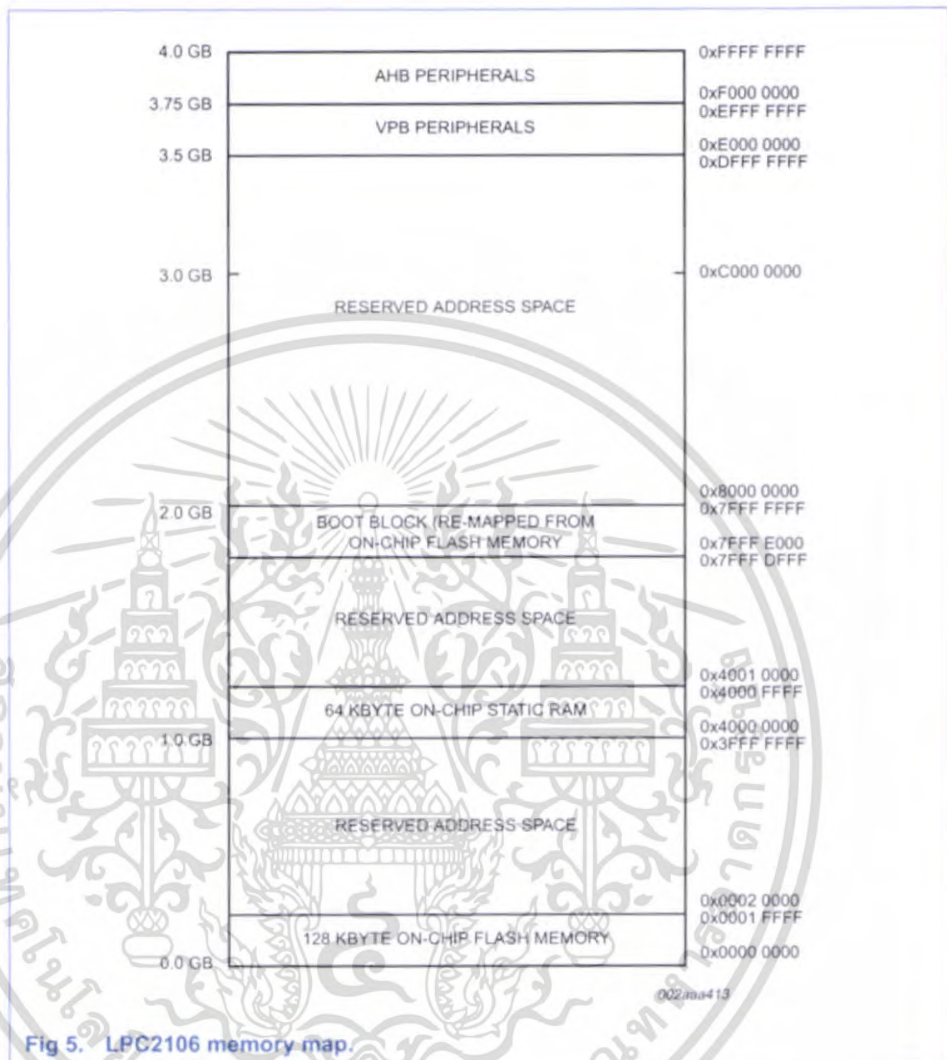


Fig 5. LPC2106 memory map.

6.5 Interrupt controller

The Vectored Interrupt Controller (VIC) accepts all of the interrupt request inputs and categorizes, them as FIQ, vectored IRQ, and non-vectored IRQ as defined by programmable settings. The programmable assignment scheme means that priorities of interrupts from the various peripherals can be dynamically assigned and adjusted.

Fast Interrupt reQuest (FIQ) has the highest priority. If more than one request is assigned to FIQ, the VIC combines the requests to produce the FIQ signal to the ARM processor. The fastest possible FIQ latency is achieved when only one request is classified as FIQ, because then the FIQ service routine can simply start dealing with that device. But if more than one request is assigned to the FIQ class, the FIQ service routine can read a word from the VIC that identifies which FIQ source(s) is (are) requesting an interrupt.

Vectored IRQs have the middle priority. Sixteen of the interrupt requests can be assigned to this category. Any of the interrupt requests can be assigned to any of the 16 vectored IRQ slots, among which slot 0 has the highest priority and slot 15 has the lowest.

Non-vectored IRQs have the lowest priority.

The VIC combines the requests from all the vectored and non-vectored IRQs to produce the IRQ signal to the ARM processor. The IRQ service routine can start by reading a register from the VIC and jumping there. If any of the vectored IRQs are requesting, the VIC provides the address of the highest-priority requesting IRQs service routine, otherwise it provides the address of a default routine that is shared by all the non-vectored IRQs. The default routine can read another VIC register to see what IRQs are active.

6.5.1 Interrupt sources

Table 4 lists the interrupt sources for each peripheral function. Each peripheral device has one interrupt line connected to the Vectored Interrupt Controller, but may have several internal interrupt flags. Individual interrupt flags may also represent more than one interrupt source.

Table 4: Interrupt sources

Block	Flag(s)	VIC channel #
WDT	Watchdog Interrupt (WDINT)	0
-	Reserved for software interrupts only	1
ARM Core	Embedded ICE, DbgCommRx	2
ARM Core	Embedded ICE, DbgCommTx	3
Timer 0	Match 0 to 3 (MR0, MR1, MR2, MR3)	4
	Capture 0 to 3 (CR0, CR1, CR2, CR3)	
Timer 1	Match 0 to 3 (MR0, MR1, MR2, MR3)	5
	Capture 0 to 3 (CR0, CR1, CR2, CR3)	
UART 0	Rx Line Status (RLS)	6
	Transmit Holding Register empty (THRE)	
	Rx Data Available (RDA)	
	Character Time-out Indicator (CTI)	
UART 1	Rx Line Status (RLS)	7
	Transmit Holding Register empty (THRE)	
	Rx Data Available (RDA)	
	Character Time-out Indicator (CTI)	
	Modem Status Interrupt (MSI)	
PWM0	Match 0 to 6 (MR0, MR1, MR2, MR3, MR4, MR5, MR6)	8
I ² C	SI (state change)	9
SPI	SPIF, MODF	10
-	reserved	11
PLL	PLL Lock (PLOCK)	12
RTC	RTCCIF (Counter Increment), RTCALF (Alarm)	13

Table 4: Interrupt sources *continued*

Block	Flag(s)	VIC channel #
System Control	External Interrupt 0 (EINT0)	14
System Control	External Interrupt 1 (EINT1)	15
System Control	External Interrupt 2 (EINT2)	16

6.6 Pin connect block

The pin connect block allows selected pins of the microcontroller to have more than one function. Configuration registers control the multiplexers to allow connection between the pin and the on chip peripherals. Peripherals should be connected to the appropriate pins prior to being activated, and prior to any related interrupt(s) being enabled. Activity of any enabled peripheral function that is not mapped to a related pin should be considered undefined.

The Pin Control Module contains two registers as shown in Table 5.

Table 5:

Address	Name	Description	Access
0xE002C000	PINSEL0	Pin function select register 0	Read/Write
0xE002C004	PINSEL1	Pin function select register 1	Read/Write

6.7 Pin function select register 0 (PINSEL0 - 0xE002C000)

The PINSEL0 register controls the functions of the pins as per the settings listed in Table 6. The direction control bit in the IODIR register is effective only when the GPIO function is selected for a pin. For other functions, direction is controlled automatically. Settings other than those shown in Table 6 are reserved, and should not be used.

Table 6: Pin function select register 0 (PINSEL0 - 0xE002C000)

PINSEL0	Pin name	Value	Function	Value after Reset
1:0	P0.0	0	GPIO Port 0.0	0
		0	TxD (UART 0)	
		1	PWM1	
3:2	P0.1	0	GPIO Port 0.1	0
		0	RxD (UART 0)	
		1	PWM3	
5:4	P0.2	0	GPIO Port 0.2	0
		0	SCL (I ² C)	
		1	Capture 0.0 (Timer 0)	
7:6	P0.3	0	GPIO Port 0.3	0
		0	SDA (I ² C)	
		1	Match 0.0 (Timer 0)	
9:8	P0.4	0	GPIO Port 0.4	0
		0	SCK (SPI)	
		1	Capture 0.1 (Timer 0)	

Table 6: Pin function select register 0 (PINSEL0 - 0xE002C000) *continued*

PINSEL0	Pin name	Value	Value	Function	Value after Reset
11:10	P0.5	0	0	GPIO Port 0.5	0
		0	1	MISO (SPI)	
		1	0	Match 0.1 (Timer 0)	
13:12	P0.6	0	0	GPIO Port 0.6	0
		0	1	MOSI (SPI)	
		1	0	Capture 0.2 (Timer 0)	
15:14	P0.7	0	0	GPIO Port 0.7	0
		0	1	SSEL (SPI)	
		1	0	PWM2	
17:16	P0.8	0	0	GPIO Port 0.8	0
		0	1	TxD UART 1	
		1	0	PWM4	
19:18	P0.9	0	0	GPIO Port 0.9	0
		0	1	RxD (UART 1)	
		1	0	PWM6	
21:20	P0.10	0	0	GPIO Port 0.10	0
		0	1	RTS (UART 1)	
		1	0	Capture 1.0 (Timer 1)	
23:22	P0.11	0	0	GPIO Port 0.11	0
		0	1	CTS (UART 1)	
		1	0	Capture 1.1 (Timer 1)	
25:24	P0.12	0	0	GPIO Port 0.12	0
		0	1	DSR (UART 1)	
		1	0	Match 1.0 (Timer 1)	
27:26	P0.13	0	0	GPIO Port 0.13	0
		0	1	DTR (UART 1)	
		1	0	Match 1.1 (Timer 1)	
29:28	P0.14	0	0	GPIO Port 0.14	0
		0	1	CD (UART 1)	
		1	0	EINT1	
31:30	P0.15	0	0	GPIO Port 0.15	0
		0	1	RI (UART 1)	
		1	0	EINT2	

6.8 Pin function select register 1 (PINSEL1 - 0xE002C004)

The PINSEL1 register controls the functions of the pins as per the settings listed in Table 7. The direction control bit in the IODIR register is effective only when the GPIO function is selected for a pin. For other functions direction is controlled automatically. Function control for the pins P0.17 - P0.31 is effective only when the DBGSEL input is pulled LOW during RESET.

Table 7: Pin function select register 1 (PINSEL1 - 0xE002C004)

PINSEL1	Pin Name	Value	Function	Value after Reset
1:0	P0.16	0	GPIO Port 0.16	0
		0	EINT0	
		1	Match 0.2 (Timer 0)	
3:2	P0.17	0	GPIO Port 0.17	0
		0	Capture 1.2 (Timer 1)	
5:4	P0.18	0	GPIO Port 0.18	0
		0	Capture 1.3 (Timer 1)	
7:6	P0.19	0	GPIO Port 0.19	0
		0	Match 1.2 (Timer 1)	
9:8	P0.20	0	GPIO Port 0.20	0
		0	Match 1.3 (Timer 1)	
11:10	P0.21	0	GPIO Port 0.21	0
		0	PWM5	
13:12	P0.22	0	GPIO Port 0.22	0
15:14	P0.23	0	GPIO Port 0.23	0
17:16	P0.24	0	GPIO Port 0.24	0
19:18	P0.25	0	GPIO Port 0.25	0
21:20	P0.26	0	GPIO Port 0.26	0
23:22	P0.27	0	GPIO Port 0.27	0
		0	TRST	
25:24	P0.28	0	GPIO Port 0.28	0
		0	TMS	
27:26	P0.29	0	GPIO Port 0.29	0
		0	TCK	
29:28	P0.30	0	GPIO Port 0.30	0
		0	TDI	
31:30	P0.31	0	GPIO Port 0.31	0
		0	TDO	

6.9 General purpose parallel I/O

Device pins that are not connected to a specific peripheral function are controlled by the GPIO registers. Pins may be dynamically configured as inputs or outputs. Separate registers allow setting or clearing any number of outputs simultaneously. The value of the output register may be read back, as well as the current state of the port pins.

6.9.1 Features

- ✘ Direction control of individual bits.
- ✘ Separate control of output set and clear.
- ✘ All I/O default to inputs after reset.

6.10 UARTs

The LPC2104, LPC2105 and LPC2106 each contain two UARTs. One UART provides a full modem control handshake interface, the other provides only transmit and receive data lines.

6.10.1 Features

- ✘ 16 byte Receive and Transmit FIFOs.
- ✘ Register locations conform to 1550 industry standard.
- ✘ Receiver FIFO trigger points at 1, 4, 8, and 14 bytes
- ✘ Built-in baud rate generator.
- ✘ Standard modem interface signals included on UART 1.

6.11 I²C serial I/O controller

I²C is a bi-directional bus for inter-IC control using only two wires: a serial clock line (SCL), and a serial data line (SDA). Each device is recognized by a unique address and can operate as either a receiver-only device (e.g. an LCD driver or a transmitter with the capability to both receive and send information (such as memory).

Transmitters and/or receivers can operate in either master or slave mode, depending on whether the chip has to initiate a data transfer or is only addressed. I²C is a multi-master bus, it can be controlled by more than one bus master connected to it.

I²C implemented in LPC2104, LPC2105 and LPC2106 supports bit rate up to 400 kbit/s (Fast I²C).

6.11.1 Features

- ✘ Standard I²C compliant bus interface.
- ✘ Easy to configure as Master, Slave, or Master/Slave.
- ✘ Programmable clocks allow versatile rate control.
- ✘ Bidirectional data transfer between masters and slaves.
- ✘ Multi-master bus (no central master).
- ✘ Arbitration between simultaneously transmitting masters without corruption of serial data on the bus.
- ✘ Serial clock synchronization allows devices with different bit rates to communicate via one serial bus.
- ✘ Serial clock synchronization can be used as a handshake mechanism to suspend and resume serial transfer.
- ✘ The I²C bus may be used for test and diagnostic purposes.

6.12 SPI serial I/O controller

The SPI is a full duplex serial interface, designed to be able to handle multiple masters and slaves connected to a given bus. Only a single master and a single slave can communicate on the interface during a given data transfer. During a data transfer the master always sends a byte of data to the slave, and the slave always sends a byte of data to the master.

6.12.1 Features

- ✘ Compliant with Serial Peripheral Interface (SPI) specification.
- ✘ Synchronous, Serial, Full Duplex, Communication.
- ✘ Combined SPI master and slave.
- ✘ Maximum data bit rate of one eighth of the input clock rate.

6.13 General purpose timers

The Timer is designed to count cycles of the peripheral clock (PCLK) and optionally generate interrupts or perform other actions at specified timer values, based on four match registers. It also includes four capture inputs to trap the timer value when an input signal transitions, optionally generating an interrupt.

6.13.1 Features

- ✘ A 32-bit Timer/Counter with a programmable 32-bit Prescaler.
- ✘ Up to four (Timer 1) and three (Timer 0) 32-bit capture channels, that can take a snapshot of the timer value when an input signal transitions. A capture event may also optionally generate an interrupt.
- ✘ Four 32-bit match registers that allow:
 - Continuous operation with optional interrupt generation on match.
 - Stop timer on match with optional interrupt generation.
 - Reset timer on match with optional interrupt generation.
- ✘ Up to four (Timer 1) and three (Timer 0) external outputs corresponding to match registers, with the following capabilities:
 - Set LOW on match.
 - Set HIGH on match.
 - Toggle on match.
 - Do nothing on match.

6.14 Watchdog timer

The purpose of the Watchdog is to reset the microcontroller within a reasonable amount of time if it enters an erroneous state. When enabled, the Watchdog will generate a system reset if the user program fails to feed (or reload) the Watchdog within a predetermined amount of time.

6.14.1 Features

- ✘ Internally resets chip if not periodically reloaded.
- ✘ Debug mode.
- ✘ Enabled by software but requires a hardware reset or a Watchdog reset/interrupt to be disabled.
- ✘ Incorrect/Incomplete feed sequence causes reset/interrupt if enabled.
- ✘ Flag to indicate Watchdog reset.
- ✘ Programmable 32-bit timer with internal pre-scaler.
- ✘ Selectable time period from $(t_{pclk} \cdot 256 \cdot 4)$ to $(t_{pclk} \cdot 2^{32} \cdot 4)$ in multiples of $t_{pclk} \cdot 4$.

6.15 Real time clock

The Real Time Clock (RTC) is designed to provide a set of counters to measure time when normal or idle operating mode is selected. The RTC has been designed to use little power, making it suitable for battery powered systems where the CPU is not running continuously (Idle mode).

6.15.1 Features

- ✘ Measures the passage of time to maintain a calendar and clock.
- ✘ Ultra Low Power design to support battery powered systems.
- ✘ Provides Seconds, Minutes, Hours, Day of Month, Month, Year, Day of Week, and Day of Year.
- ✘ Programmable Reference Clock Divider allows adjustment of the RTC to match various crystal frequencies.

6.16 Pulse width modulator

The PWM is based on the standard Timer block and inherits all of its features, although only the PWM function is pinned out on the LPC2104, LPC2105 and LPC2106. The Timer is designed to count cycles of the peripheral clock (PCLK) and optionally generate interrupts or perform other actions when specified timer values occur, based on seven match registers. It also includes four capture inputs to save the timer value when an input signal transitions, and optionally generate an interrupt when those events occur. The PWM function is in addition to these features, and is based on match register events.

The ability to separately control rising and falling edge locations allows the PWM to be used for more applications. For instance, multi-phase motor control typically requires three non-overlapping PWM outputs with individual control of all three pulse widths and positions.

Two match registers can be used to provide a single edge controlled PWM output. One match register (MR0) controls the PWM cycle rate, by resetting the count upon match. The other match register controls the PWM edge position. Additional single

edge controlled PWM outputs require only one match register each, since the repetition rate is the same for all PWM outputs. Multiple single edge controlled PWM outputs will all have a rising edge at the beginning of each PWM cycle, when an MR0 match occurs.

Three match registers can be used to provide a PWM output with both edges controlled. Again, the MR0 match register controls the PWM cycle rate. The other match registers control the two PWM edge positions. Additional double edge controlled PWM outputs require only two match registers each, since the repetition rate is the same for all PWM outputs.

With double edge controlled PWM outputs, specific match registers control the rising and falling edge of the output. This allows both positive going PWM pulses (when the rising edge occurs prior to the falling edge), and negative going PWM pulses (when the falling edge occurs prior to the rising edge).

6.16.1 Features

- ✖ Seven match registers allow up to six single edge controlled or three double edge controlled PWM outputs, or a mix of both types.
- ✖ The match registers also allow:
 - Continuous operation with optional interrupt generation on match.
 - Stop timer on match with optional interrupt generation.
 - Reset timer on match with optional interrupt generation.
- ✖ Supports single edge controlled and/or double edge controlled PWM outputs. Single edge controlled PWM outputs all go HIGH at the beginning of each cycle unless the output is a constant LOW. Double edge controlled PWM outputs can have either edge occur at any position within a cycle. This allows for both positive going and negative going pulses.
- ✖ Pulse period and width can be any number of timer counts. This allows complete flexibility in the trade-off between resolution and repetition rate. All PWM outputs will occur at the same repetition rate.
- ✖ Double edge controlled PWM outputs can be programmed to be either positive going or negative going pulses.
- ✖ Match register updates are synchronized with pulse outputs to prevent generation of erroneous pulses. Software must release new match values before they can become effective.
- ✖ May be used as a standard timer if the PWM mode is not enabled.
- ✖ A 32-bit Timer/Counter with a programmable 32-bit Prescaler.

6.17 System control

6.17.1 Crystal oscillator

The oscillator supports crystals in the range of 1 MHz to 30 MHz. The oscillator output frequency is called FOSC and the ARM processor clock frequency is referred to as cclk for purposes of rate equations, etc. FOSC and cclk are the same value unless the PLL is running and connected. Refer to [Section 6.17.2 PLL](#) for additional information.

6.17.2 PLL

The PLL accepts an input clock frequency in the range of 10 MHz to 25 MHz. The input frequency is multiplied up into the range of 10 MHz to 60 MHz with a Current Controlled Oscillator (CCO). The multiplier can be an integer value from 1 to 32 (in practice, the multiplier value cannot be higher than 6 on this family of microcontrollers due to the upper frequency limit of the CPU). The CCO operates in the range of 156 MHz to 320 MHz, so there is an additional divider in the loop to keep the CCO within its frequency range while the PLL is providing the desired output frequency. The output divider may be set to divide by 2, 4, 8, or 16 to produce the output clock. Since the minimum output divider value is 2, it is insured that the PLL output has a 50 % duty cycle. The PLL is turned off and bypassed following a chip Reset and may be enabled by software. The program must configure and activate the PLL, wait for the PLL to Lock, then connect to the PLL as a clock source. The PLL settling time is 100 μ s.

6.17.3 Reset and wake-up timer

Reset has two sources on the LPC2104, LPC2105 and LPC2106: the \overline{RST} pin and Watchdog Reset. The \overline{RST} pin is a Schmitt trigger input pin with an additional glitch filter. Assertion of chip Reset by any source starts the Wake-up Timer (see Wake-up Timer description below), causing the internal chip reset to remain asserted until the external Reset is de-asserted, the oscillator is running, a fixed number of clocks have passed, and the on-chip Flash controller has completed its initialization.

When the internal Reset is removed, the processor begins executing at address 0, which is the Reset vector. At that point, all of the processor and peripheral registers have been initialized to predetermined values.

The wake-up timer ensures that the oscillator and other analog functions required for chip operation are fully functional before the processor is allowed to execute instructions. This is important at power on, all types of Reset, and whenever any of the aforementioned functions are turned off for any reason. Since the oscillator and other functions are turned off during Power-down mode, any wake-up of the processor from Power-down mode makes use of the Wake-up Timer.

The Wake-up Timer monitors the crystal oscillator as the means of checking whether it is safe to begin code execution. When power is applied to the chip, or some event caused the chip to exit Power-down mode, some time is required for the oscillator to produce a signal of sufficient amplitude to drive the clock logic. The amount of time depends on many factors, including the rate of V_{DD} ramp (in the case of power on), the type of crystal and its electrical characteristics (if a quartz crystal is used), as well as any other external circuitry (e.g. capacitors), and the characteristics of the oscillator itself under the existing ambient conditions.

6.17.4 External interrupt inputs

The LPC2104, LPC2105 and LPC2106 include three External Interrupt Inputs as selectable pin functions. The External Interrupt Inputs can optionally be used to wake up the processor from Power-down mode.

6.17.5 Memory Mapping Control

The Memory Mapping Control alters the mapping of the interrupt vectors that appear beginning at address 0x00000000. Vectors may be mapped to the bottom of the on-chip Flash memory, or to the on-chip static RAM. This allows code running in different memory spaces to have control of the interrupts.

6.17.6 Power Control

The LPC2104, LPC2105 and LPC2106 support two reduced power modes: Idle mode and Power-down mode. In Idle mode, execution of instructions is suspended until either a Reset or interrupt occurs. Peripheral functions continue operation during Idle mode and may generate interrupts to cause the processor to resume execution. Idle mode eliminates power used by the processor itself, memory systems and related controllers, and internal buses.

In Power-down mode, the oscillator is shut down and the chip receives no internal clocks. The processor state and registers, peripheral registers, and internal SRAM values are preserved throughout Power-down mode and the logic levels of chip output pins remain static. The Power-down mode can be terminated and normal operation resumed by either a Reset or certain specific interrupts that are able to function without clocks. Since all dynamic operation of the chip is suspended, Power-down mode reduces chip power consumption to nearly zero.

A Power Control for Peripherals feature allows individual peripherals to be turned off if they are not needed in the application, resulting in additional power savings.

6.17.7 VPB bus

The VPB divider determines the relationship between the processor clock (CCLK) and the clock used by peripheral devices (PCLK). The VPB divider serves two purposes. The first is to provide peripherals with the desired PCLK via VPB bus so that they can operate at the speed chosen for the ARM processor. In order to achieve this, the VPB bus may be slowed down to $\frac{1}{2}$ to $\frac{1}{4}$ of the processor clock rate. Because the VPB bus must work properly at power-up (and its timing cannot be altered if it does not work since the VPB divider control registers reside on the VPB bus), the default condition at reset is for the VPB bus to run at $\frac{1}{4}$ of the processor clock rate. The second purpose of the VPB divider is to allow power savings when an application does not require any peripherals to run at the full processor rate. Because the VPB divider is connected to the PLL output, the PLL remains active (if it was running) during Idle mode.

6.18 Emulation and debugging

The LPC2104, LPC2105 and LPC2106 support emulation and debugging via a JTAG serial port. A trace port allows tracing program execution. Each of these functions requires a trade-off of debugging features versus device pins. Because the LPC2104,

LPC2105 and LPC2106 are provided in a small package, there is no room for permanently assigned JTAG or Trace pins. An alternate JTAG port allows an option to debug functions assigned to the pins used by the primary JTAG port.

6.18.1 Embedded ICE

Standard ARM EmbeddedICE™ logic provides on-chip debug support. The debugging of the target system requires a host computer running the debugger software and an EmbeddedICE protocol convertor. EmbeddedICE protocol convertor converts the Remote Debug Protocol commands to the JTAG data needed to access the ARM core.

The ARM core has a Debug Communication Channel function in-built. The debug communication channel allows a program running on the target to communicate with the host debugger or another separate host without stopping the program flow or even entering the debug state. The debug communication channel is accessed as a co-processor 14 by the program running on the ARM7TDMI-S core. The debug communication channel allows the JTAG port to be used for sending and receiving data without affecting the normal program flow. The debug communication channel data and control registers are mapped in to addresses in the EmbeddedICE logic.

6.18.2 Embedded trace

Since the LPC2104, LPC2105 and LPC2106 have significant amounts of on-chip memory, it is not possible to determine how the processor core is operating simply by observing the external pins. The Embedded Trace Macrocell provides real-time trace capability for deeply embedded processor cores. It outputs information about processor execution to the trace port.

The ETM is connected directly to the ARM core and not to the main AMBA system bus. It compresses the trace information and exports it through a narrow trace port. An external trace port analyzer must capture the trace information under software debugger control. Instruction trace (or PC trace) shows the flow of execution of the processor and provides a list of all the instructions that were executed. Instruction trace is significantly compressed by only broadcasting branch addresses as well as a set of status signals that indicate the pipeline status on a cycle by cycle basis. Trace information generation can be controlled by selecting the trigger resource. Trigger resources include address comparators, counters and sequencers. Since trace information is compressed the software debugger requires a static image of the code being executed. Self-modifying code can not be traced because of this restriction.

6.18.3 RealMonitor™

RealMonitor is a configurable software module, developed by ARM Inc., which enables real time debug. It is a lightweight debug monitor that runs in the background while users debug their foreground application. It communicates with the host using the DCC (Debug Communications Channel), which is present in the EmbeddedICE logic. The LPC2104, LPC2105 and LPC2106 contain a specific configuration of RealMonitor software programmed into the on-chip Flash memory.

7. Limiting values

Table 8: Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).^[1]

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V _{DD1,8}	Supply voltage, internal rail		0.5	+2.5	V
V _{DD3}	Supply voltage, external rail		0.5	+3.6	V
V _I	DC input voltage, 5 V tolerant I/O pins ^{[2][3]}		0.5	6.0	V
V _I	DC input voltage, other I/O pins ^{[4][2]}		0.5	V _{DD3} + 0.5	V
I	DC supply current per supply pin ^[5]		-	100	mA
I	DC ground current per ground pin ^[5]		-	100	mA
T _{stg}	Storage temperature ^[6]		65	150	°C
P	Power dissipation (based on package heat transfer, not device power consumption)		1.5	-	W

[1] The following applies to the Limiting values:

- a) Stresses above those listed under Limiting values may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any conditions other than those described in **Section 8: Static characteristics**, and **Section 9: Dynamic characteristics** of this specification is not implied.
- b) This product includes circuitry specially designed for the protection of its internal devices from the damaging effects of excessive static charge. Nonetheless, it is suggested that conventional precautions be taken to avoid applying greater than the rated maximum.
- c) Parameters are valid over operating temperature range unless otherwise specified. All voltages are with respect to V_{SS} unless otherwise noted.

[2] Including voltage on outputs in 3-state mode.

[3] Only valid when the V_{DD3} supply voltage is present.

[4] Not to exceed 4.6 V.

[5] The peak current is limited to 25 times the corresponding maximum current.

[6] Dependent on package type.

8. Static characteristics

Table 9: Static characteristics

$T_{amb} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ for commercial, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ ^[1]	Max	Unit
$V_{DD1.8}$	Supply voltage		1.65	1.8	1.95	V
V_{DD3}	External rail supply voltage		3.0	3.3	3.6	V

Standard Port pins, RST, RTCK, and DBGSEL

I_{IL}	LOW level input current, no pull-up	$V_i = 0$	-	-	3	A
I_{IH}	HIGH level input current, no pull down	$V_i = V_{DD3}$	-	-	3	A
I_{OZ}	3-state output leakage, no pull-up/down	$V_o = 0, V_o = V_{DD3}$	-	-	3	A
$I_{latchup}$	I/O latch-up current	$(0.5 V_{DD3}) < V < (1.5 V_{DD3})$ $T_j < 125\text{ }^{\circ}\text{C}$	100	-	-	mA
V_i	Input voltage ^{[2][3][4]}		0	-	5.5	V
V_o	Output voltage, output active		0	-	V_{DD3}	V
V_{IH}	HIGH level input voltage		2.0	-	-	V
V_{IL}	LOW level input voltage		-	-	0.8	V
V_{hys}	Hysteresis voltage		-	0.4	-	V
V_{OH}	HIGH level output voltage ^[5]	$I_{OH} = 4\text{ mA}$	V_{DD3}	0.4	-	V
V_{OL}	LOW level output voltage ^[5]	$I_{OL} = 4\text{ mA}$	-	-	0.4	V
I_{OH}	HIGH level output current ^[5]	$V_{OH} = V_{DD3} - 0.4\text{ V}$	4	-	-	mA
I_{OL}	LOW level output current ^[5]	$V_{OL} = 0.4\text{ V}$	4	-	-	mA
I_{OH}	HIGH level short circuit current ^[6]	$V_{OH} = 0$	-	-	45	mA
I_{OL}	LOW level short circuit current ^[6]	$V_{OL} = V_{DD3}$	-	-	50	mA
I_{PD}	Pull-down current (applies to DBGSEL)	$V_i = 5\text{ V}$ ^[7]	20	50	100	A
I_{PU}	Pull-up current (applies to P0.22 - P0.31)	$V_i = 0$ $V_{DD3} < V_i < 5\text{ V}$ ^[7]	25 0	50 0	65 0	A A
$I_{DD1.8}$	Active Mode	$V_{DD1.8} = 1.8\text{ V}$, cclk = 60 MHz, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, code while(1){ executed from FLASH, no active peripherals	-	30	-	mA
	Power-down Mode	$V_{DD1.8} = 1.8\text{ V}$, $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{DD1.8} = 1.8\text{ V}$, $T_{amb} = +85\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	10 50	- 500	A A

I²C pins

V_{IH}	HIGH level input voltage	V_{TOL} is from 4.5 V to 5.5 V	0.7 V_{TOL}	-	-	V
V_{IL}	LOW level input voltage	V_{TOL} is from 4.5 V to 5.5 V	-	-	0.3 V_{TOL}	V
V_{hys}	Hysteresis voltage	V_{TOL} is from 4.5 V to 5.5 V	-	0.5 V_{TOL}	-	V
V_{OL}	LOW level output voltage ^[5]	$I_{OL} = 3\text{ mA}$	-	-	0.4	V

9. Dynamic characteristics

Table 10: Characteristics

$T_{amb} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ for commercial, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ for industrial, $V_{DD1,8}$, V_{DD3} over specified ranges ^[1]

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ ^[1]	Max	Unit
External Clock						
f_{osc}	Oscillator frequency supplied by an external oscillator (signal generator)		1	-	50	MHz
	External clock frequency supplied by an external crystal oscillator		1	-	30	MHz
	External clock frequency if on-chip PLL is used		10	-	25	MHz
	External clock frequency if ISP is used for initial code download		10	-	25	MHz
t_c	External oscillator clock period		20	-	1000	ns
t_{CHCX}	Clock HIGH time	t_c 0.4	-	-	-	ns
t_{CLCX}	Clock LOW time	t_c 0.4	-	-	-	ns
t_{CLCH}	Clock rise time		-	-	5	ns
t_{CHCL}	Clock fall time		-	-	5	ns
Port Pins						
t_{RISE}	Port output rise time (except P0.2, P0.3)		-	-	-	ns
t_{FALL}	Port output fall time (except P0.2, P0.3)		-	-	-	ns
I²C pins						
t_f	Output fall time from V_{IH} to V_{IL}		20 + 0.1 C_b ^[2]	-	-	ns

[1] Parameters are valid over operating temperature range unless otherwise specified.

[2] Bus capacitance C_b in pF, from 10 pF to 400 pF.

9.1 Timing

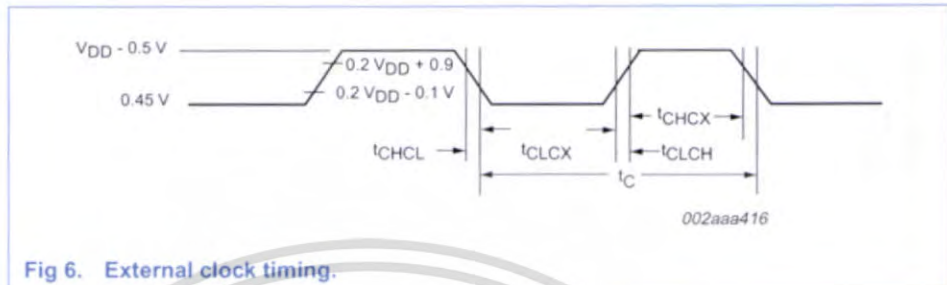


Fig 6. External clock timing.



10. Package outline

LQFP48: plastic low profile quad flat package; 48 leads; body 7 x 7 x 1.4 mm

SOT313-2

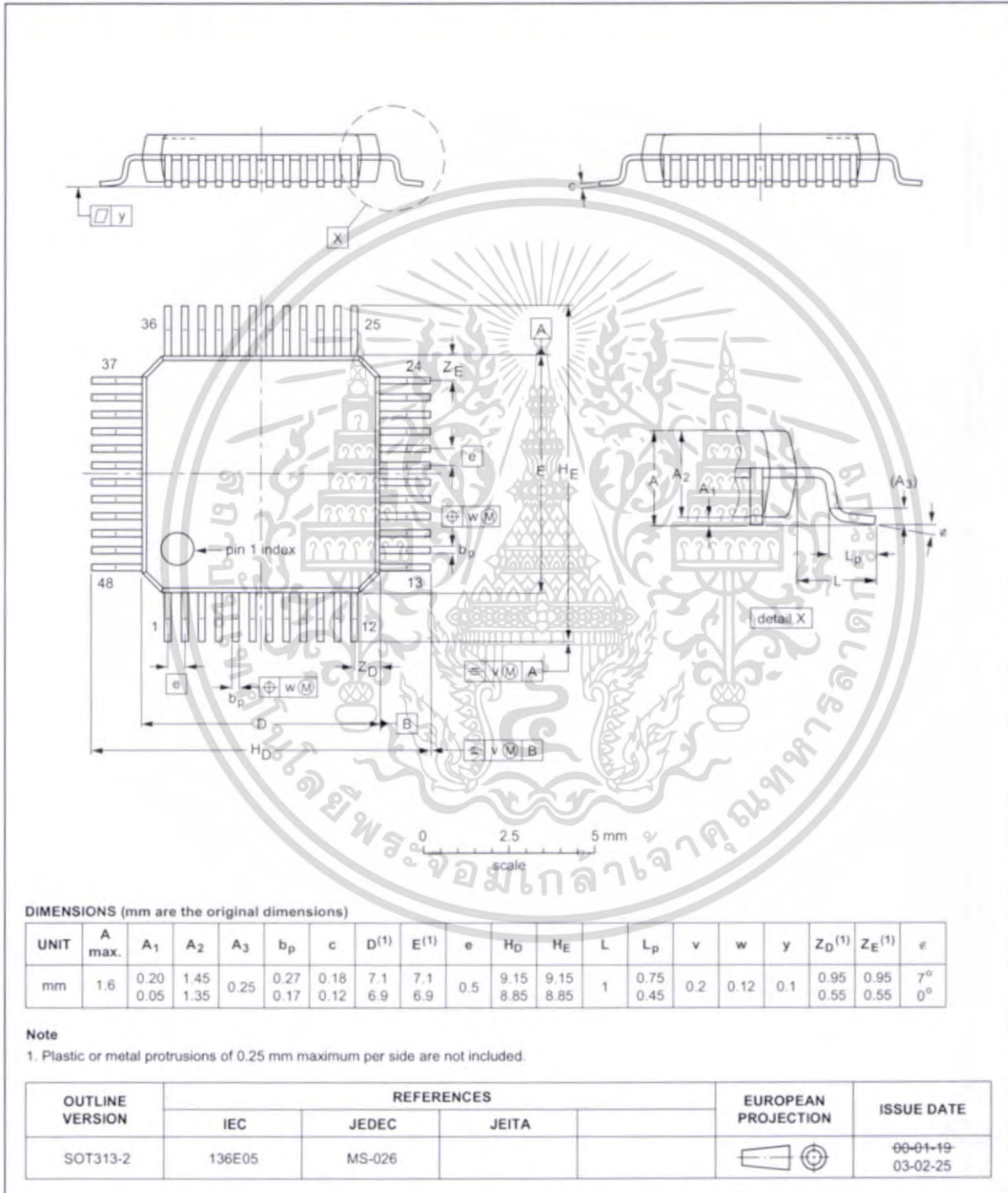


Fig 7. SOT313-2 (LQFP48).

HVQFN48: plastic thermal enhanced very thin quad flat package; no leads;
48 terminals; body 7 x 7 x 0.85 mm

SOT619-1

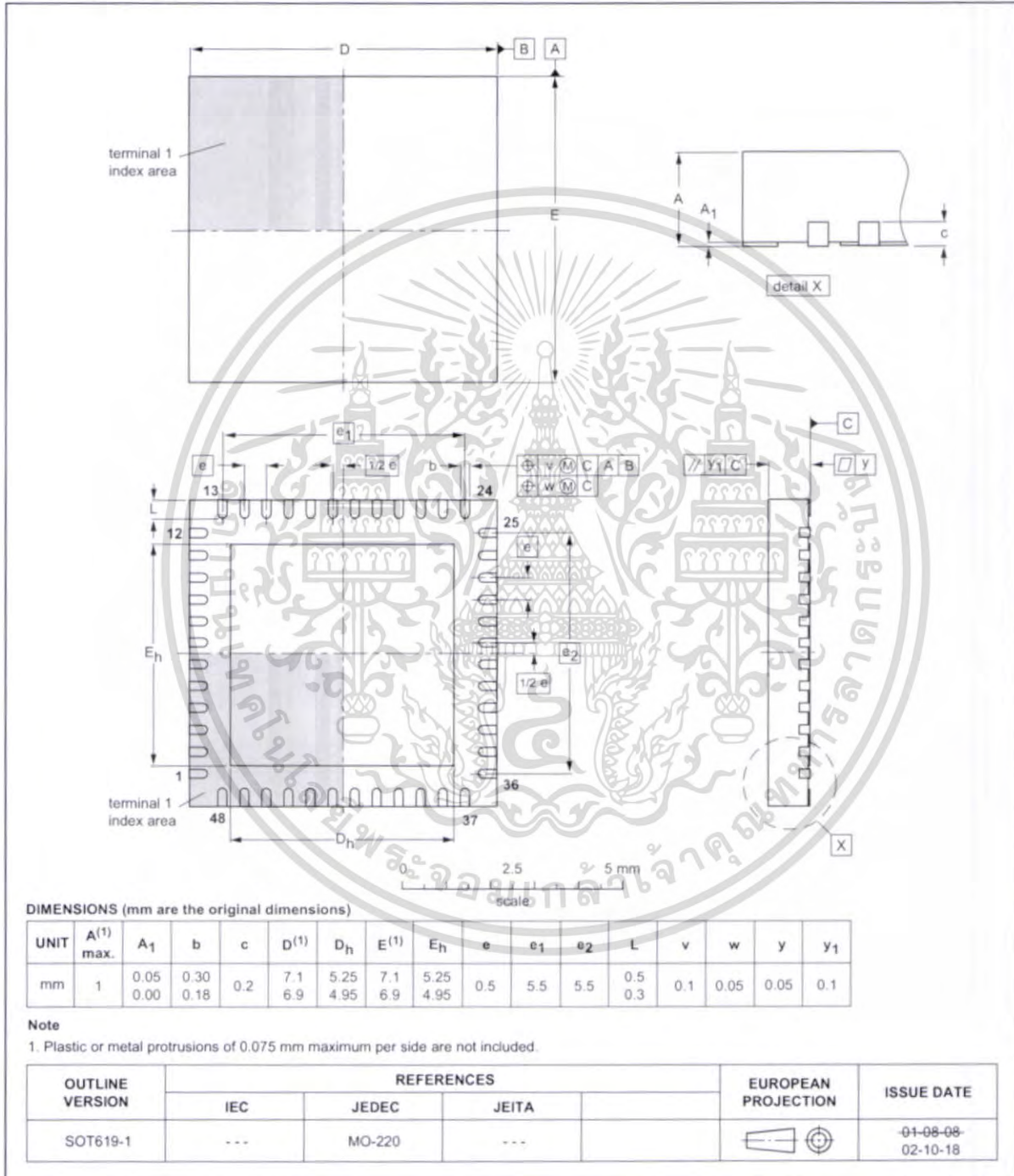


Fig 8. SOT619-1 (HVQFN48).

11. Revision history

Table 11: Revision history

Rev	Date	CPCN	Description
05	20041222	-	Product data (9397 750 14476) Modifications: <ul style="list-style-type: none"> ✖ Added new device LPC2106FBD48, removed device LPC2106BBD48. ✖ Section 6.2 'On-Chip Flash program memory' on page 8; updated text. ✖ Section 6.17.2 'PLL' on page 20; updated text. ✖ Section 6.17.7 'VPB bus' on page 21; updated text. ✖ Table 8 'Limiting values' on page 23; updated text. ✖ Table 9 'Static characteristics' on page 24; added On-chip Flash program memory specs.
04	20040205	-	Product data (9397 750 12792); 853-2425 ECN 01-A15458f of 28 January 2004
03	20031007	-	Product data (9397 750 12142); ECN 853-2425 30389 of 30 September 2003
02	20030611	-	Product data (9397 750 11499); ECN 853-2425 29919 of 09 May 2003
01	20030425	-	Product data (9397 750 11414); ECN 853-2425 29855 of 22 April 2003

12. Data sheet status

Level	Data sheet status ^[1]	Product status ^{[2],[3]}	Definition
I	Objective data	Development	This data sheet contains data from the objective specification for product development. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification in any manner without notice.
II	Preliminary data	Qualification	This data sheet contains data from the preliminary specification. Supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification without notice, in order to improve the design and supply the best possible product.
III	Product data	Production	This data sheet contains data from the product specification. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time in order to improve the design, manufacturing and supply. Relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN).

[1] Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.

[2] The product status of the device(s) described in this data sheet may have changed since this data sheet was published. The latest information is available on the Internet at URL <http://www.semiconductors.philips.com>.

[3] For data sheets describing multiple type numbers, the highest-level product status determines the data sheet status.

13. Definitions

Short-form specification □ The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition □ Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information □ Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors make no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

14. Disclaimers

Life support □ These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes □ Philips Semiconductors reserves the right to make changes in the products - including circuits, standard cells, and/or software - described or contained herein in order to improve design and/or

performance. When the product is in full production (status (Production)), relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN). Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no licence or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

15. Licenses

Purchase of Philips I²C components



Purchase of Philips I²C components conveys a license under the Philips I²C patent to use the components in the I²C system provided the system conforms to the I²C specification defined by Philips. This specification can be ordered using the code 9398 393 40011.

16. Trademarks

ARM □ is a registered trademark of ARM, Inc.
ARM7TDMI-S □ is a trademark of ARM, Inc.
EmbeddedICE □ is a trademark of ARM, Inc.
Embedded Trace Macrocell □ is a trademark of ARM, Inc.
RealMonitor □ is a trademark of ARM, Inc.
SPI □ is a trademark of Motorola, Inc.
Thumb □ is a trademark of ARM, Inc.

Contact information

For additional information, please visit <http://www.semiconductors.philips.com>.

For sales office addresses, send e-mail to: sales.addresses@www.semiconductors.philips.com.

Fax: +31 40 27 24825

9397 750 14476

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contents

1	General description	1	7	Limiting values	23
2	Features	1	8	Static characteristics	24
2.1	Key features	1	9	Dynamic characteristics	26
3	Ordering information	2	9.1	Timing	27
3.1	Ordering options	2	10	Package outline	28
4	Block diagram	3	11	Revision history	30
5	Pinning information	4	12	Data sheet status	31
5.1	Pinning	4	13	Definitions	31
5.2	Pin description	5	14	Disclaimers	31
6	Functional description	8	15	Licenses	31
6.1	Architectural overview	8	16	Trademarks	31
6.2	On-Chip Flash program memory	8			
6.3	On-Chip static RAM	8			
6.4	Memory map	9			
6.5	Interrupt controller	11			
6.5.1	Interrupt sources	12			
6.6	Pin connect block	13			
6.7	Pin function select register 0 (PINSEL0 - 0xE002C000)	13			
6.8	Pin function select register 1 (PINSEL1 - 0xE002C004)	14			
6.9	General purpose parallel I/O	15			
6.9.1	Features	15			
6.10	UARTs	16			
6.10.1	Features	16			
6.11	I ² C serial I/O controller	16			
6.11.1	Features	16			
6.12	SPI serial I/O controller	17			
6.12.1	Features	17			
6.13	General purpose timers	17			
6.13.1	Features	17			
6.14	Watchdog timer	17			
6.14.1	Features	18			
6.15	Real time clock	18			
6.15.1	Features	18			
6.16	Pulse width modulator	18			
6.16.1	Features	19			
6.17	System control	20			
6.17.1	Crystal oscillator	20			
6.17.2	PLL	20			
6.17.3	Reset and wake-up timer	20			
6.17.4	External interrupt inputs	21			
6.17.5	Memory Mapping Control	21			
6.17.6	Power Control	21			
6.17.7	VPB bus	21			
6.18	Emulation and debugging	21			
6.18.1	Embedded ICE	22			
6.18.2	Embedded trace	22			
6.18.3	RealMonitor [®]	22			

* Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004.
Printed in the U.S.A.

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Date of release: 22 December 2004

Document order number: 9397 750 14476



PHILIPS

Let's make things better.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/* Examples Program For "ET-ARM7 BASE LPC2106" Board */
/* Target MCU : Philips ARM7-LPC2106 */
/* : X-TAL : 19.6608 MHz */
/* : Run Speed 58.9824MHz (With PLL) */
/* Keil Editor : uVision3 V3.03a */
/* Compiler : Keil CARM V2.50a */
/* Create By : Eakachai Makarn (WWW.ETT.CO.TH) */
/* Last Update : 17/April/2006 */
/* Function : Example Use Character LCD 16x2 */
*****/
// LCD Routines for "ET-ARM7 BASE 210x"
// Character 16x2 4-Bit Mode Interface
// EN = P0.17
// RW = P0.18
// RS = P0.19
// D4 = P0.20
// D5 = P0.21
// D6 = P0.22
// D7 = P0.23

/* Warning Pull-Up 10K on EN_LCD Pin
   -> Pin GPIO0.17 (LCD_EN)
   LCD Not Stable(Not Work) if Not Pull-Up
*/

#include <LPC210x.H> // LPC2106 MPU Register
#include <stdio.h>
#include "timer.h"
#include "uart.h"
#define LINE1 0x00
#define LINE2 0x40

/*
#define RESET 0x00000100 // P0.8 (0000 0000 0000 0000 00
00 00x 0000 0000)
#define PULSE 0x00004000 // P0.9 (0000 0000 0000 0000 00
00 00x 0000 0000)
// #define PULSE 0x00000080 // P0.9 (0000 0000 0000 0000 00
00 00x 0000 0000)
#define RANGE_1 0x00000400 // P0.10(0000 0000 0000 0000 00
00 0x00 0000 0000)
#define RANGE_2 0x00000800 // P0.11(0000 0000 0000 0000 0000 x
000 0000 0000)
#define RANGE_3 0x00001000 // P0.12(0000 0000 0000 0000 00
0x 0000 0000 0000)
#define RANGE_4 0x00002000 // P0.13(0000 0000 0000 0000 00
x0 0000 0000 0000)
*/

#define RESET 0x00000001 // P0.8 (0000 0000 0000 0000 00
00 00x 0000 0000)
#define PULSE 0x00000040 // P0.9 (0000 0000 0000 0000 00
00 00x 0000 0000)
#define RANGE_1 0x00000004 // P0.10(0000 0000 0000 0000 00
00 0x00 0000 0000)
#define RANGE_2 0x00000008 // P0.11(0000 0000 0000 0000 0000 x
000 0000 0000)
#define RANGE_3 0x00000010 // P0.12(0000 0000 0000 0000 00
0x 0000 0000 0000)
#define RANGE_4 0x00000020 // P0.13(0000 0000 0000 0000 00
00 00x 0000 0000)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x0 0000 0000 0000)

// Define LCD PinIO Mask
#define LCD_EN      0x00020000          // PO.17(0000 0000 0000 00x0 00
00 0000 0000 0000)
#define LCD_RW      0x00040000          // PO.18(0000 0000 0000 0x00 00
00 0000 0000 0000)
#define LCD_RS      0x00080000          // PO.19(0000 0000 0000 x000 00
00 0000 0000 0000)
#define LCD_D4      0x00100000          // PO.20(0000 0000 000x 0000 00
00 0000 0000 0000)
#define LCD_D5      0x00200000          // PO.21(0000 0000 00x0 0000 00
00 0000 0000 0000)
#define LCD_D6      0x00400000          // PO.22(0000 0000 0x00 0000 00
00 0000 0000 0000)
#define LCD_D7      0x00800000          // PO.23(0000 0000 x000 0000 00
00 0000 0000 0000)

#define LCD_DATA    (LCD_D7|LCD_D6|LCD_D5|LCD_D4)
#define LCD_IOALL   (LCD_D7|LCD_D6|LCD_D5|LCD_D4|LCD_RS|LCD_RW|LCD_EN)

#define lcd_rs_set() IOSET = LCD_RS      // RS = 1 (Select Instruction)
#define lcd_rs_clr() IOCLR = LCD_RS      // RS = 0 (Select Data)
#define lcd_rw_set() IOSET = LCD_RW      // RW = 1 (Read)
#define lcd_rw_clr() IOCLR = LCD_RW      // RW = 0 (Write)
#define lcd_en_set() IOSET = LCD_EN      // EN = 1 (Enable)
#define lcd_en_clr() IOCLR = LCD_EN      // EN = 0 (Disable)

// 0000 0000 xxxx xxx0 0000 0000 0000 0000
#define lcd_dir_write() IODIR |= 0x00FE0000 // LCD Data Bus = Write
#define lcd_dir_read() IODIR &= 0xFF0EFFFF // LCD Data Bus = Read

#define lcd_clear()      lcd_write_control(0x01) // Clear Display
#define lcd_cursor_home() lcd_write_control(0x02) // Set Cursor = 0
#define lcd_display_on() lcd_write_control(0x0E) // LCD Display Enable
#define lcd_display_off() lcd_write_control(0x08) // LCD Display Disable
#define lcd_cursor_blink() lcd_write_control(0x0F) // Set Cursor = Blink
#define lcd_cursor_on() lcd_write_control(0x0E) // Enable LCD Cursor
#define lcd_cursor_off() lcd_write_control(0x0C) // Disable LCD Cursor
#define lcd_cursor_left() lcd_write_control(0x10) // Shift Left Cursor
#define lcd_cursor_right() lcd_write_control(0x14) // Shift Right Cursor
#define lcd_display_sleft() lcd_write_control(0x18) // Shift Left Display
#define lcd_display_sright() lcd_write_control(0x1C) // Shift Right Display

/* prototype section */
void lcd_init(); // Initial LCD
void lcd_out_data4(unsigned char); // Strobe 4-Bit Data to LCD
void lcd_write_byte(unsigned char); // Write 1 Byte Data to LCD
void lcd_write_control(unsigned char); // Write Instruction
void lcd_write_ascii(unsigned char); // Write LCD Display(ASCII)
void goto_cursor(unsigned char); // Set Position Cursor LCD
void lcd_print(unsigned char*); // Print Display to LCD
char busy_lcd(void); // Read Busy LCD Status
void enable_lcd(void); // Enable Pulse
void delay(unsigned long int); // Delay Function

// Delay Time
void delay_ms(long int TimeDelay)
{
    long int i,j;
    for (i=0; i<TimeDelay;i++)

```

C:\Project\METER_V23\main.c

```
    for (j=0; j<6530;j++);
}

void delay_us(long int TimeDelay)
{
    long int i,j;
    for (i=0; i<TimeDelay;i++)
        for (j=0; j<9;j++);
}

void putss(unsigned char *s)
{
    while(*s)
    {
        sendchar_pc(*s);
        s++;
    }
}

/* Main Program Start Here */
int main(void)
{
    unsigned char str[30],range=0,old_range=1;

    init_timer();
    lcd_init(); // Initial LCD
    IODIR |= RESET;
    goto_cursor(LINE1); // Set Cursor Line-1
    lcd_print("RESISTANC TESTER"); // Display LCD Line-1
    goto_cursor(LINE2); // Set Cursor = Line-2
    lcd_print("Process "); // Display LCD Line-2
    delay_ms(2000); // Display Delay
    range = 1;
    old_range = 0;
    // init_serial_0();
    // sprintf(str,"Online!\r\n");
    // putss(str);
    // Loop Print Message to LCD16 x 2 //
    while(1) // Loop Continue
    {
        if ((IOPIN & RANGE_1) == 0)
        {
            range = 1;
        }
        delay_ms(10);
        if ((IOPIN & RANGE_2) == 0)
        {
            range = 2;
        }
        delay_ms(10);
        if ((IOPIN & RANGE_3) == 0)
        {
            range = 3;
        }
        delay_ms(10);
        if ((IOPIN & RANGE_4) == 0)
        {
            range = 4;
        }
        delay_ms(10);
    }
}
```

Page: 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (range != old_range)
{
    old_range = range;
    switch (range)
    {
        case 1:
            goto_cursor(LINE1); // Set Cursor L
ine-1      lcd_print("Rang 1-999.99 "); // Display LCD
Line-1      break;
        case 2:
            goto_cursor(LINE1); // Set Cursor L
ine-1      lcd_print("Rang 1K-999.99K "); // Display LCD
Line-1      break;
        case 3:
            goto_cursor(LINE1); // Set Cursor L
ine-1      lcd_print("Rang 1M-200.00M "); // Display LCD
Line-1      break;
        case 4:
            goto_cursor(LINE1); // Set Cursor L
ine-1      lcd_print("Not use "); // Display LCD
Line-1      break;
    }
}
// delay_ms(100);
// sprintf(str,"Wait Q!\r\n");
// putss(str);
IODIR &= 0xFFFFF7F;
IOCLR = RESET;
delay_ms(10);
IOSET = RESET;
// delay_ms(1);
current_tsc = 0;
TOTCR = 1; /* enable timer0 */
while((IOPIN & PULSE) != 0)
{
    //TOTCR = 1;
}
TOTCR = 0; /* disable timer0 */

switch (range)
{
    case 1:
        goto_cursor(LINE1); // Set Cursor L
ine-1      lcd_print("Rang 1-999.99 "); // Display LCD
Line-1      goto_cursor(LINE2); // Set Cursor =
Line-2      sprintf(str," %3.3f ohm",current_tsc*0.8833624454);
            lcd_print(str); // Display LCD Line-2
            break;
    case 2:
        goto_cursor(LINE1); // Set Cursor L
ine-1

```

```

Line-1         lcd_print("Rang 1K-999.99K ");           // Display LCD
Line-2         goto_cursor(LINE2);                     // Set Cursor =
Line-2         sprintf(str," %3.3f Kohm ",current_tsc*0.83518);
                lcd_print(str);                       // Display LCD Line-2
                break;
        case 3:
Line-1         goto_cursor(LINE1);                     // Set Cursor L
Line-1         lcd_print("Rang 1M-200.00M ");         // Display LCD
Line-2         goto_cursor(LINE2);                     // Set Cursor =
Line-2         sprintf(str," %3.3f Mohm",current_tsc/9.9);
                lcd_print(str);                       // Display LCD Line-2
                break;
        case 4:
Line-1         goto_cursor(LINE1);                     // Set Cursor L
Line-1         lcd_print("Not use ");                 // Display LCD
Line-2         goto_cursor(LINE2);                     // Set Cursor =
Line-2         sprintf(str,"Result %4ld Mohm",current_tsc/1.0);
                lcd_print(str);                       // Display LCD Line-2
                break;
    }
    putss(str);
    delay_ms(1000);
}
}

/*****/
/* Strobe 4-Bit Data to LCD */
/*****/
void lcd_out_data4(unsigned char val)
{
    IOCLR = (LCD_DATA);           // Reset 4-Bit Pin Data
    IOSET = (val<<20);           // 0000:0000:dddd:RS,RW,EN,0:00
    00:0000:0000:0000
}

/*****/
/* Write Data 1 Byte to LCD */
/*****/
void lcd_write_byte(unsigned char val)
{
    lcd_out_data4((val>>4)&0x0F); // Strobe 4-Bit High-Nibble to
LCD
    enable_lcd();                 // Enable Pulse
    lcd_out_data4(val&0x0F);     // Strobe 4-Bit Low-Nibble to L
CD
    enable_lcd();                 // Enable Pulse

    delay_ms(5);
}

```

```

/*****
/* Write Instruction to LCD */
/*****
void lcd_write_control(unsigned char val)
{
    lcd_rs_clr(); // RS = 0 = Instruction Select
    lcd_write_byte(val); // Strobe Command Byte
}

/*****
/* Write Data(ASCII) to LCD */
/*****
void lcd_write_ascii(unsigned char c)
{
    lcd_rs_set(); // RS = 1 = Data Select
    lcd_write_byte(c); // Strobe 1 Byte to LCD
}

/*****
/* Initial 4-Bit LCD Interface */
/*****
void lcd_init()
{
    unsigned int i; // Delay Count

    PINSEL0 = 0x00000000; // GPIO0 = I/O Function
    PINSEL1 = 0x00000000;
    IODIR = 0x00FE0000; // P0[23..17] = Output

    //for (i=0;i<50000;i++); // Power-On Delay (15 mS)
    delay_ms(15);

    IOCLR = (LCD_IOALL); // Reset (RS,RW,EN,4-Bit Data)
Pin
    IOSET = (LCD_D5|LCD_D4); // 0000:0000:(0,RS,RW,EN:0011):
0000:0000:0000:0000
    enable_lcd(); // Enable Pulse
    //for (i=0;i<10000;i++); // Delay 4.1mS
    delay_ms(5);

    IOCLR = (LCD_IOALL); // Reset (RS,RW,EN,4-Bit Data)
Pin
    IOSET = (LCD_D5|LCD_D4); // 0000:0000:(0,RS,RW,EN:0011):
0000:0000:0000:0000
    enable_lcd(); // Enable Pulse
    // for (i=0;i<100;i++); // delay 100uS
    delay_ms(5);

    IOCLR = (LCD_IOALL); // Reset (RS,RW,EN,4-Bit Data)
Pin
    IOSET = (LCD_D5|LCD_D4); // 0000:0000:(0,RS,RW,EN:0011):
0000:0000:0000:0000
    enable_lcd(); // Enable Pulse
    while(busy_lcd()); // Wait LCD Execute Complete

    IOCLR = (LCD_IOALL); // Reset (RS,RW,EN,4-Bit Data)
Pin
    IOSET = (LCD_D5); // 0000:0000:(0,RS,RW,EN:0011):
0000:0000:0000:0000
    enable_lcd(); // Enable Pulse
    while(busy_lcd()); // Wait LCD Execute Complete
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd_write_control(0x28); // Function Set (DL=0 4-Bit,N=1
2 Line,F=0 5X7)
lcd_write_control(0x0C); // Display on/off Control (Entr
y Display,Cursor off,Cursor not Blink)
lcd_write_control(0x06); // Entry Mode Set (I/D=1 Increm
ent,S=0 Cursor Shift)
lcd_write_control(0x01); // Clear Display (Clear Displa
y,Set DD RAM Address=0)
for (i=0;i<100000;i++); // Wait Command Ready
}

/*****/
/* Set LCD Position Cursor */
/*****/
void goto_cursor(unsigned char i)
{
i |= 0x80; // Set DD-RAM Address Command
lcd_write_control(i);
}

/*****/
/* Print Display Data(ASCII) to LCD */
/*****/
void lcd_print(unsigned char* str)
{
int i;
for (i=0;i<16 && str[i]!='\0';i++) // 16 Character Print
{
lcd_write_ascii(str[i]); // Print Byte to LCD
delay_ms(5);
}
}

/*****/
/* Wait LCD Ready */
/*****/
char busy_lcd(void)
{
unsigned long busy_status; // Busy Status Read
unsigned int i; // Delay Count
lcd_dir_read(); // LCD Data Bus = Read
lcd_rs_clr(); // Instruction Select
lcd_rw_set(); // Read Direction
lcd_en_set(); // Start Read Busy

for (i=0;i<100;i++); // Delay Before Read
busy_status = (IOPIN & 0x00800000); // Read LCD Data(0000:0000:dddd
:RS,RW,EN,0:0000:0000:0000:0000)

if(busy_status == 0x00800000) // Read & Check Busy Flag
{
lcd_en_clr(); // Disable Read
lcd_rw_clr(); // Default = Write Direction
lcd_dir_write(); // LCD Data Bus = Write
return 1; // LCD Busy Status
}
else
{
lcd_en_clr(); // Disable Read
lcd_rw_clr(); // Default = Write Direction
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C:\Project\METER_V23\main.c

```
    lcd_dir_write();           // LCD Data Bus = Write
    return 0;                 // LCD Ready Status
}

/*****/
/* Enable Pulse to LCD */
/*****/
void enable_lcd(void)        // Enable Pulse
{
    lcd_en_set();           // Enable ON
    delay_us(1);           // Enable OFF
    lcd_en_clr();
}

/*****/
/* Delay Time Function */
/* 1-4294967296 */
/*****/
void delay(unsigned long int count1)
{
    while(count1 > 0) {count1--;} // Loop Decrease Counter
}
```

