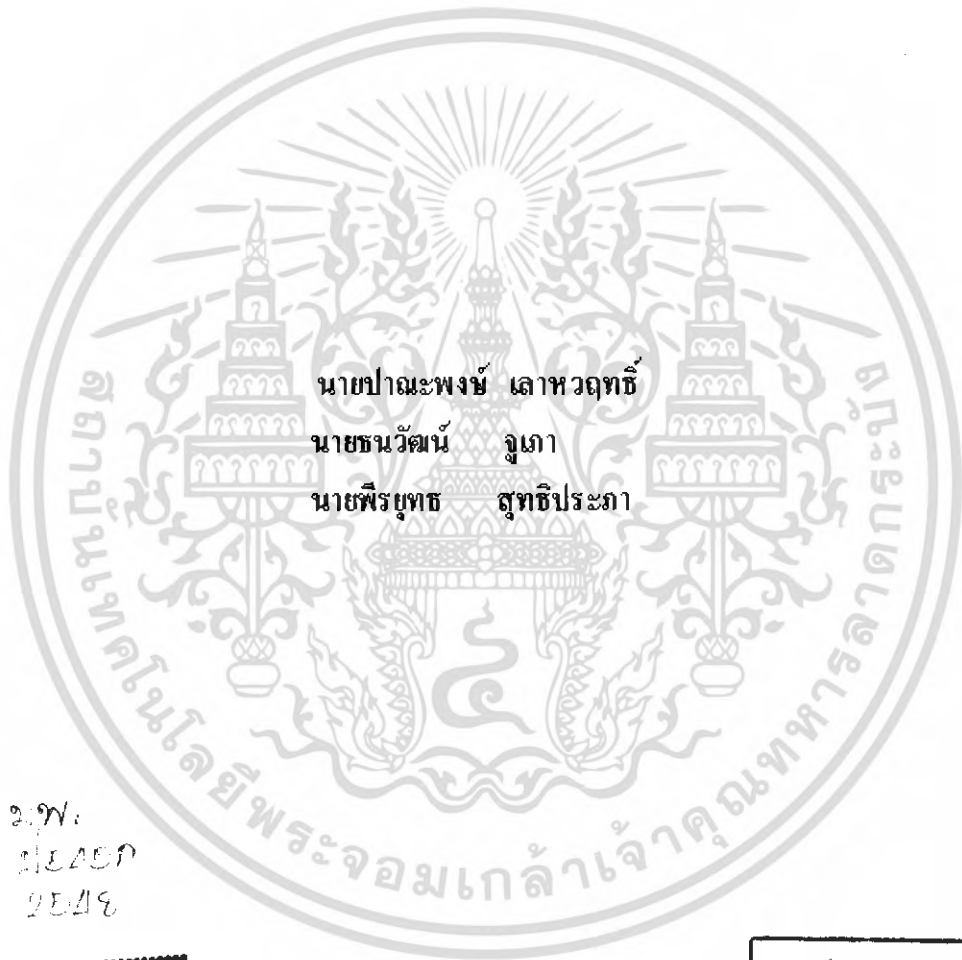


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาและพัฒนาเครื่องตรวจหาตำแหน่งของรากฟัน



ร.พ.  
11616945  
2548

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี..... 8 ส.ค. 2549

b. 11616945  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา พ.ศ. 2548  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Study and development of a Root Canal Apex Locator**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor  
of Science**

**Department of Applied Physics**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of technology Ladkrabang**

**Academic Year 2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง**

การศึกษาและพัฒนาเครื่องตรวจหาตำแหน่งของปลายคลอง

รากฟัน

**นักศึกษา**

นายปานะพงษ์ เลาหวฤทธิ

นายธนวัฒน์ จูเภา

นายพีรยุทธ สุทธิประภา

**ภาควิชา**

ฟิสิกส์ประยุกต์

**สาขาวิชา**


ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

**อาจารย์ที่ปรึกษา**

รศ. อนุพงศ์ สรงประภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้ โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาคณะหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ. วิฑูรย์ ยินดีสุข	
กรรมการ	อ. ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์	
กรรมการ	อ. ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ. อนุพงศ์ สรงประภา	

  
.....  
(รองศาสตราจารย์วิชาญ เชาขีศรีระ)  
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง	การศึกษาและพัฒนาเครื่องตรวจหาค่าแรงของปลายคลองรากฟัน
นักศึกษา	นายปณัฒพงษ์ เลาทวฤทธิ นายธนวัฒน์ จูณา นายพิรุยุทธ สุทธิประภา
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. อนุพงษ์ สรงประภา

#### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการออกแบบสร้างคั้นแบบเครื่องตรวจหาค่าแรงของปลายคลองรากฟันด้วยหลักการวัดค่าอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 800 เฮิรตซ์และ 4000 เฮิรตซ์หลังจากที่ได้ทำการขยายและกรองสัญญาณแรงคั้นทางไฟฟ้าที่ตอบสนองต่อสัญญาณกระแส ซึ่งกระตุ้นก็ทำการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัทฟิลิปส์เบอร์ P89LPC938 การทดสอบวัดค่าสำหรับฟันที่สภาพภายนอกช่องปากในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 2.5 พบว่าค่าผลหารและผลต่างของค่าอิมพีแดนซ์ที่สองความถี่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วสัมพันธ์กับระยะทางที่ปลายลวดไฟล์หัววัดเข้าใกล้ตำแหน่งปลายรากฟัน ค่าอัตราส่วนผลต่างของอิมพีแดนซ์ที่ได้มีความเหมาะสมกว่าที่สิ้นตัวของระยะทาง โดยได้มีการแสดงผลแสดงผลเป็นระดับของแถบมีคบนจอแสดงผลแอลซีดี ซึ่งปรับการวางตัวอักษรในแนวตั้งฉากกับแนวปกติ

**Special Project Title** Study and development of a Root Canal Apex Locator  
**Name** Mr. Panapong Laohawarit  
Mr. Thanawat Juphao  
Mr. Peerayutt Suthipabhar  
**Department** Applied Physics  
**Program** Applied Physics  
**Academic Year** 2548  
**Special Project Advisor** Assoc.Prof. Anupong Srongprapa

### ABSTRACT

A root canal apex locator based on impedance measuring at frequency of 800 Hz and 400 Hz was constructed. The two voltage signals responded to the generated square wave current signals, after amplification and filtering, were processed by Philips P89LPC 938 microcontroller. Vitro study for various tooth which was submerged in 2.5% NaOCl solution revealed that the ratio and difference of impedance both decreased rapidly when the file tip approached the apical section. The ratio of the impedance was more appropriated to represent the approach distance which was shown by bar level on LCD programmed to display row of character perpendicular to the canal one.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความสนับสนุนช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

รศ.อนุพงศ์ ธรรมประภา

ผู้ซึ่งถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งทางด้านกระบวนการความคิด วิชาการ และคำปรึกษาแนะนำต่าง ๆ ในการทำงานเป็น อย่างดีตลอดมาจนโครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี

ศ.ทพย. ละอองทอง วัชรภักย์

ผู้ซึ่งถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งทางด้านพันธุกรรม

พพญ. ขวัญใจ จันทร์โต

ผู้ซึ่งถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งทางด้านพันธุกรรมและวิธี การวัดผลออกจนคุณสมบัติต่างๆ ของพืช

บิดา - มารดา

ผู้ซึ่งให้กำเนิด เลี้ยงดู อบรม และให้โอกาสทางการศึกษา ตลอดมา จนสามารถสำเร็จการศึกษาได้

บริษัท Philips Thailand

ที่สนับสนุนเงินทุน ซัพ และบอร์ดเรียนรู้

พี่อ้น พี่ชุม พี่อ็อค พี่ต้อง และพี่ๆทุกคน

ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

ยามหน้าศึกวิทย์

ที่อยู่เป็นเพื่อนกันตลอดคืน

แม่บ้านชั้น 3 คีตวิทย์

ที่ช่วยทำความสะอาดห้องให้ทุกวัน

เพื่อนภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ รุ่น 21

ผู้ซึ่งคอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณบุคคลต่างที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา

### คณะผู้จัดทำ

นายธนวัฒน์ ภูภา	45050827
นายปณณะพงษ์ เล้าหวดฤทธิ์	45050844
นายพิรุฑูทร สุทธิประภา	45050849

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อ โครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของ โครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขั้นตอนการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การรักษารากฟัน	
2.1.1 องค์ประกอบของรากฟัน	5
2.1.2 ลักษณะของฟันผุแบ่งตามชั้นของฟัน	
2.1.3 ขั้นตอนการรักษารากฟัน	7
2.1.4 วิธีวัดความยาวคลองรากฟัน	9
2.1.4.1 วิธีการหาค่าแห่งปลายคลองรากฟันด้วยไดเร็กต์จิกคอลเรติโอกราฟ	9
2.1.4.2 วิธีการหาค่าแห่งปลายคลองรากฟันด้วยเท็ก ไทล์เซนส์	10
2.1.4.3 วิธีการหาค่าแห่งปลายคลองรากฟันด้วย	
เอพิคอล เพอร์รี ไอคอนทอลเซนซิทีวิตี	10
2.1.4.4 วิธีการหาค่าแห่งปลายคลองรากฟันด้วยวิธีการวัดแบบเปอร์พอดด์	11
2.1.4.5 วิธีการหาค่าแห่งปลายคลองรากฟัน ด้วยวิธีการทางไฟฟ้า	12
2.2 วิธีวัดความยาวรากฟันแบบ 2 ความถี่	
2.2.1 การทำงานของวิธีฟันแบบ Electronics แบบ 2 ความถี่	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
<b>บทที่ 3 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของระบบ</b>	
<b>3.1 ส่วนอนาล็อก</b>	
3.1.1 วงจรเปลี่ยนผลค่าให้เป็นกระแส	19
3.1.2 วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ	19
3.1.3 วงจรรวมสัญญาณ	20
<b>3.2 ส่วนดิจิทัล</b>	
3.2.1 การทำงานในส่วนฮาร์ดแวร์	
3.2.1.1 สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และการใช้งาน	22
3.2.1.1.1 พอร์ต	23
3.2.1.1.2 ส่วน analog to digital	25
3.2.1.1.3 TIMER0 และ TIMER1	26
3.2.1.2 ส่วนประกอบหลักของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	
3.2.1.2.1 การจัดเรียงขาพอร์คของไมโครคอนโทรลเลอร์	26
3.2.1.2.2 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 3.3 โวลต์	27
3.2.1.2.3 วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย RS-222	27
3.2.1.2.4 วงจรติดต่อกับ LCD ขนาด 16x2	28
3.2.2 การทำงานในส่วน software	29
<b>บทที่ 4 ระบบโดยรวมและผลการทำงาน</b>	
4.1 ผลจากการทำงานในส่วนของ analog	34
4.1.1 สัญญาณที่ออกจากวงจรLow pass	34
4.1.2 สัญญาณที่ออกจากวงจรรวมสัญญาณ	36
4.2 ผลของการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งาน	37
4.2.1 การนำ A/D ของไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งาน	38
4.2.2 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณออสซิลเลเตอร์	39
4.2.3 การสร้างอักษรใหม่บน LCD ที่มีขนาด 5x8 จุด	40
4.2.4 การแปลงสัญญาณสองความถี่	41
4.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ของ Apical section กับค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณสองความถี่	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.3.1 ผลการทดลองของค่าผลหารและผลต่างของ สัญญาสองความถี่ของพินิจที่ 1	45
4.3.2 ผลการทดลองของค่าผลหารและผลต่างของ สัญญาสองความถี่ของพินิจที่ 2	48
4.3.3 ผลการทดลองของค่าผลหารและผลต่างของ สัญญาสองความถี่ของพินิจที่ 3	51
4.3.4 ผลการทดลองของค่าผลหารและผลต่างของ สัญญาสองความถี่ของพินิจที่ 4	53
บทที่ 5 สรุปผลค่าเนนการและการทดลอง แนวทางพัฒนา	56
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
เอกสารอ้างอิง	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 เครื่อง Root ZX และอุปกรณ์ที่ใช้	2
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของฟัน	4
รูปที่ 2.2 แสดงระดับฟันผุ	5
รูปที่ 2.3 แสดงบริเวณฟันผุ	6
รูปที่ 2.4 แสดงเงาดำกลมๆที่ปลายรากฟัน	6
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะฟันตาย	7
รูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการรักษา รากฟัน	8
รูปที่ 2.7 แสดงวิธีการวัดแบบ ไคเรคคิจิตอลเรดิโอกราฟ	9
รูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแบบเปเปอร์พอยต์	11
รูปที่ 2.9(ก) แสดงถึงวงจรการกระตุ้นระหว่างลวดไฟลัมกับขั้วอ้างอิง ด้วยแหล่งสัญญาณไฟฟ้าสลับ	13
รูปที่ 2.9(ข) แสดงถึงวงจรสมมูลที่ใช้ในการวัด	13
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความถี่และตำแหน่งที่วัดใน root canal	14
รูปที่ 3.1 แสดง Block diagram หลักการทำงานของสิ่งประดิษฐ์	18
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเปลี่ยนผลต่างให้เป็นกระแส	19
รูปที่ 3.3 วงจรกรองเอาเฉพาะความถี่ต่ำ 800Hz	20
รูปที่ 3.4 วงจรกรองเอาเฉพาะความถี่ต่ำ 4 KHz	20
รูปที่ 3.5 วงจรรวมสัญญาณ	21
รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบภายในของชิพ	22
รูปที่ 3.7 แสดง โครงสร้างการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	25
รูปที่ 3.8(ก) แสดงการจัดเรียงพอร์ทของ ไมโครคอนโทรลเลอร์	26
รูปที่ 3.8(ข) แสดงวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 3.3 โวลต์	27
รูปที่ 3.8(ค) แสดงวงจรคิวดักกับคอมพิวเตอร์ด้วย RS 232	27
รูปที่ 3.8(ง) แสดงวงจรคิวดักกับ LCD ขนาด 16x2	28
รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของจอแสดง	30
รูปที่ 3.10 Flow chart โปรแกรมหลักที่ใช้	31
รูปที่ 3.11 Flow chart ส่วนแสดงผล	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 4.1 แสดงรูปตัวเครื่อง	33
รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบทั้งหมดของวงจร	34
รูปที่ 4.3(ก) แสดงสัญญาณความถี่ 800 Hz ที่ก่อนออกจากวงจร Low pass	34
รูปที่ 4.3(ข) แสดงสัญญาณความถี่ 800 Hz ที่ออกจากวงจร Low pass	35
รูปที่ 4.3(ค) แสดงสัญญาณความถี่ 4 KHz ที่ออกจากวงจร Low pass	35
รูปที่ 4.4 สัญญาณความถี่จากวงจรรวมสัญญาณขนาดเปลี่ยนจาก 800 Hz เป็น 4 KHz	36
รูปที่ 4.5 บอร์ดพัฒนา โปรแกรม	37
รูปที่ 4.6 แสดงการทดลอง A/D	38
รูปที่ 4.7(ก) ทดสอบจับสัญญาณด้วยคิซคอลลอสซิลโลสโคป	39
รูปที่ 4.7(ข) แสดงความถี่ 4 KHz ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์	39
รูปที่ 4.7(ค) แสดงความถี่ 800 Hz ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์	39
รูปที่ 4.8(ก) แสดงตัวอย่างอักษรที่สร้าง	40
รูปที่ 4.8(ข) แสดงอักษรที่เป็นชื่อเครื่อง	41
รูปที่ 4.8(ค) แสดงขีดบอกสถานะ	41
รูปที่ 4.9(ก) แสดงลักษณะการเกิดสภาวะ	42
รูปที่ 4.9(ข) แสดง transient คอนเปลี่ยนสัญญาณจาก 800 Hz เป็น 4 KHz	42
รูปที่ 4.9(ค) แสดง transient คอนเปลี่ยนสัญญาณจาก 4 KHz เป็น 800 Hz	43
รูปที่ 4.9(ง) แสดงการทำงานของ A/D เพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะ transient	43
รูปที่ 4.10 แสดงพินชี้ทั้ง 4 ชี้	44
รูปที่ 4.11 แสดงการเตรียมการทดลอง	45
รูปที่ 4.12(ก) แสดงกราฟผลหารของพินชี้ที่ 1	46
รูปที่ 4.12(ข) แสดงกราฟผลต่างของพินชี้ที่ 1	48
รูปที่ 4.13(ก) แสดงกราฟผลหารของพินชี้ที่ 2	49
รูปที่ 4.13(ข) แสดงกราฟผลต่างของพินชี้ที่ 2	50
รูปที่ 4.14(ก) แสดงกราฟผลหารของพินชี้ที่ 3	52
รูปที่ 4.14(ข) แสดงกราฟผลต่างของพินชี้ที่ 3	53
รูปที่ 4.15(ก) แสดงกราฟผลหารของพินชี้ที่ 4	54
รูปที่ 4.15(ข) แสดงกราฟผลต่างของพินชี้ที่ 4	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สารบัญตาราง**

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความแตกต่างระหว่างขนาดของอิมพีแดนซ์ ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่า R	15
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงอัตราส่วนระหว่างขนาดของอิมพีแดนซ์ ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่า R	16
ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบการคั้งค่า register ของพอร์ท	23
ตารางที่ 4.1(ก) ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลหารของ สัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 1	45
ตารางที่ 4.1(ข) ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลต่างของ สัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 1	47
ตารางที่ 4.2(ก) ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลหารของ สัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 2	48
ตารางที่ 4.2(ข) ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลต่างของ สัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 2	49
ตารางที่ 4.3(ก) ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลหารของ สัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 3	51
ตารางที่ 4.3(ข) ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลต่างของ สัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 3	52
ตารางที่ 4.4(ก) ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลหารของ สัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 4	53
ตารางที่ 4.4(ข) ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลต่างของ สัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 4	55

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันประชากรของประเทศส่วนใหญ่ยังประสบปัญหาด้านสุขภาพอย่างมากทั้งนี้ เนื่องจากการขาดความรู้ที่ถูกต้องในการดูแลตนเอง การมีจำนวนแพทย์ พยาบาลและสถานพยาบาล ไม่เพียงพอ สุขภาพในช่องปากก็เป็นอีกปัญหาที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการมีอาการฟันผุหรือฟัน ที่อุดด้วยวัสดุอุดฟันหลุดหรือชำรุด แล้วคนไข้ทิ้งระยะเวลาจนอาจมีการปวดฟันซึ่งเป็นสาเหตุ มาจากเนื้อฟันบางส่วนถูกทำลายจนถึงประสาทฟันทำให้มีอาการปวดและติดเชื้อในโพรงประสาท ฟันขึ้น ถ้าเป็นฟันน้ำนมอาจจะทำการรักษาด้วยการถอนได้ แต่ถ้าเป็นฟันแท้ การถอนอาจทำไม่ได้ เพราะ คนไข้จะสูญเสียฟัน ไปอย่างถาวร แพทย์จึงใช้วิธีการรักษารากฟันเพื่อให้คนไข้สามารถที่จะ คงฟันเดิมไว้ได้โดยไม่ต้องถอนแล้วใส่ฟันปลอม

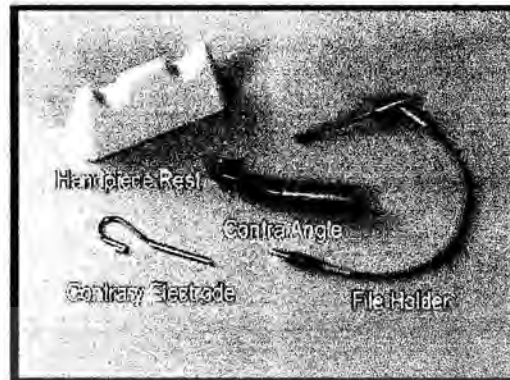
เมื่อคนไข้มีความจำเป็นต้องทำการรักษารากฟัน ทันตแพทย์จึงทำลายโพรงประสาทฟันที่มี การติดเชื้อออกให้หมด แล้วใส่วัสดุอุดฟันลงไป ในคลองรากฟันแทนที่โพรงประสาทฟัน

การวัดหาค่าแรงของรากฟันจะต้องทำการวัดให้แม่นยำก่อนที่จะใส่วัสดุอุดฟันลงใน คลองรากฟัน ซึ่งจะมีการเจาะเพื่อขยายขนาดของคลองรากฟัน การเจาะขยายจนเกินตำแหน่งปลาย รากฟัน จะทำให้ฟันซี่นั้นตายทำให้ไม่สามารถรักษารากฟันได้ซึ่งจะต้องทำการวัดให้แม่นยำ

การวัดรากฟันแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การวัดโดยรังสี และการวัดโดยใช้หลักการทางไฟฟ้า ของอิเล็กทรอนิกส์ การวัดด้วยรังสีเป็นหลักการในยุคแรกๆ ของการตรวจหาค่าแรงปลายคลอง รากฟัน โดย ทำด้วยการค่อยๆ สอดลวด ไฟล์ (file) ลงไปในรากฟัน จากนั้นจึงทำการฉายรังสี X เพื่อ ตรวจหาค่าแรงของลวดไฟล์ ว่าใกล้กับปลายรากฟันหรือยังเมื่อสุดแล้วจึงถอดลวดไฟล์มาวัด ระยะ วิธีการนี้เป็นวิธีที่ล่าช้าและไม่สะดวก ถึงสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ การฉายรังสีให้กับคนไข้ซ้ำ ๆ ก็จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพคนไข้ได้

การวัดความต้านทานของกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าในคลองรากฟันกับขั้วไฟฟ้าที่อยู่ ในเนื้อช่องปาก มี 3 วิธีคือ

1. วัดด้วยไฟฟ้ากระแสตรง(DC)
2. กระแสสลับความถี่เดียว
3. กระแสสลับแบบสัดส่วน 2 ความถี่



### รูปที่ 1.1 เครื่อง Root ZX และอุปกรณ์ที่ใช้

ตัวอย่างของเครื่องมือพร้อมอุปกรณ์ประกอบต่างๆที่ใช้หลักการ 2 ความถี่คือ Root ZX โดยบริษัท MORITA มีลักษณะดังรูปที่ 1.1

โดยการทำงานของเครื่องมือ เมื่อนำปลายลวด ไฟล์สอดลึกเข้าไปในคลองฟันบนหน้าจอ ก็ปรากฏแถบไล่ระดับขึ้นจนถึง Apex แสดงว่าปลายลวด (file) ถึงปลายคลองรากฟันแล้ว

ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่ได้มีการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือตรวจหาตำแหน่งรากฟัน ด้วยเหตุนี้ทำให้ต้องนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศเป็นจำนวนมากซึ่งเครื่องที่ยอมรับมีราคาสูงกว่า ประมาณ 40,000 บาท เพื่อจะลดการนำเข้าและใช้วัสดุคุณภาพดีในประเทศ จึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือตรวจหาตำแหน่งของปลายคลองรากฟันที่ทำงานบนพื้นฐานของการใช้ความถี่สองความถี่ ซึ่งสอดคล้องกับเครื่องมือที่ใช้กันอยู่แพร่หลายในปัจจุบัน

### 1.2 วัตถุประสงค์การใช้งาน

1. ใช้ในการตรวจหาตำแหน่งของปลายคลองรากฟัน
2. ช่วยลดการฉายรังสีกับคนไข้ในการหาค่าตำแหน่งปลายคลองรากฟันซึ่งการฉายรังสีเป็นวิธีที่ช้าและอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพ
3. สามารถใช้กับวัสดุจำลองเพื่อให้นักศึกษาแพทย์คุ้นเคยกับการวัดด้วยเครื่องซึ่งเมื่อใช้ในการวัดแล้วจะให้ผลแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของฟันและรากฟันที่เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นของการวัด
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการวัดรากฟัน โดยใช้วิธีวัดแบบ 2 ความถี่
3. ศึกษาและทำการสร้างเครื่องตรวจตำแหน่งของปลายคลองรากฟันแบบ 2 ความถี่ที่วัดบนสารละลายตัวอย่างเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับเครื่องวัดรากฟันแบบ 2 ความถี่ที่ได้มาตรฐานจากต่างประเทศ
4. วิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากการทดลอง

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดการวัดด้วยวิธีการทางรังสีซึ่งอาจมีผลต่อสุขภาพ
2. สามารถลดความเจ็บปวดของคนไข้ได้เพราะใช้กระแสไฟฟ้าที่น้อย
3. ใช้วัดได้ทั้งในวัสดุจำลองและภายในฟันจริง
4. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษารากฟัน
5. สามารถวัดได้ในคลองฟันที่มีความชันและแหว่ง
6. สามารถลดการนำเข้าอุปกรณ์การแพทย์จากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

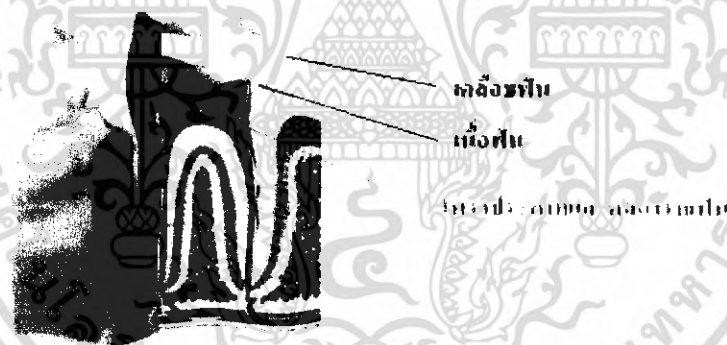
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การรักษารากฟัน

##### 2.1.1 องค์ประกอบของฟัน

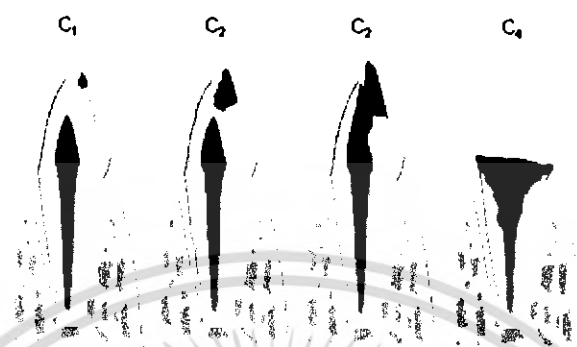
องค์ประกอบของฟันมีลักษณะดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ผิวเคลือบฟัน ซึ่งอยู่ชั้นนอกสุด ถัดเข้าไปเรียกว่า ชั้นเนื้อฟัน และชั้นในสุด คือ โพรงประสาทฟันในส่วนบนและคลองรากฟันในส่วนล่าง ซึ่งล้วนเต็มไปด้วยเนื้อเยื่อประสาทฟันที่มีเส้นเลือดและเส้นประสาทรับความรู้สึกจำนวนมาก ดังนั้นเมื่อฟันผุลุกลามถึงโพรงประสาทฟัน ผู้ป่วยจะเริ่มมีอาการปวดฟัน เนื่องมาจากเส้นประสาทรับความรู้สึกเหล่านี้ ที่ตำแหน่งปลายสุดของคลองรากฟันจะมีรูเปิดเล็กๆ เพื่อให้มีการหมุนเวียนของเส้นโลหิตและเส้นประสาทกับวงจรต่างๆ ของร่างกาย



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบฟัน

## 2.1.2 ลักษณะฟันผุแบ่งตามชั้นของฟัน

ระดับความรุนแรงของการผุของฟันดูได้จากตัวอย่างในรูปที่ 2.2 โดยที่



รูปที่ 2.2 แสดงระดับของฟันผุ

**C1** คือฟันผุที่ชั้นเคลือบฟัน ถ้าเกิดขึ้นที่บริเวณที่เห็นได้ง่ายตัวอย่างเช่นรูปที่ 2.3 เช่น ฟันหลังล่างด้านบดเคี้ยว ถ้ามาพบทันตแพทย์ก็จะได้อุดตั้งแต่เนิ่นๆ แต่ถ้าเกิดขึ้นบริเวณที่เห็นได้ยาก เช่นด้านประชิดของฟัน ก็จะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ยกเว้นเห็นจาก x-ray

**C2** คือฟันผุที่ชั้นเนื้อฟัน ลักษณะที่สังเกตได้คือ ฟันเป็นโพรง หรือ มีสีคล้ำในเนื้อฟัน อาจมีอาการเช่น เสียวฟันเวลาทานน้ำเย็น หรือ เมื่อมีเศษอาหารติดตามซอกฟัน ถ้าฟันผุถึงขั้นนี้ ทันตแพทย์จะสามารถสังเกตเห็นได้ และแนะนำให้ควรรีบอุดก่อนที่จะลุกลามมากกว่านี้ ขณะอุดฟันอาจมีอาการเสียวฟัน มักต้องใช้ยาชาร่วมด้วย

**C3** คือฟันผุทะลุโพรงประสาทฟัน มักมีอาการปวดร่วมด้วย ถ้าผุถึงขั้นนี้จะไม่สามารถอุดฟันได้ ต้องรักษารากฟันก่อน

**C4** คือฟันผุเป็นเวลานานมากๆ แล้วคนไข้ละเลยจนฟันเหลือแต่ราก กรณีนี้ ต้องถอนเท่านั้น ไม่สามารถรักษาไว้ได้ กรณีที่ฟันผุลึกมากจนทะลุโพรงประสาทฟันเป็นรูเล็กๆทำรูเข็ม และคนไข้ไม่มีอาการปวด ทันตแพทย์อาจพิจารณาอุดให้ ถ้ามีอาการปวด จะต้องรักษารากฟัน กรณีที่ฟันผุใน 2 ชั้นแรก เชื่อโรคจะอยู่เฉพาะบริเวณนั้นๆ ทันตแพทย์จะกรอเอาส่วนที่ผุออก แล้วอุด ฟันแทนส่วนที่กรอออกไปด้วยวัสดุอุด แต่ถ้าฟันผุจนทะลุโพรงประสาทฟัน เชื่อโรคจะลามลงไปตามคลอง รากฟันถึงปลายราก ถึงกระดูก และทำลายกระดูก จนบางครั้งเราจะเห็นภาพฉายรังสีเป็นเงาดำกลมๆที่ปลายรากฟันดังตัวอย่างซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4



บริเวณที่พินผุ

รูปที่ 2.3 แสดงบริเวณพินผุ



รูปที่ 2.4 แสดงเงาดำกลมๆที่ปลายรากพิน

- การรักษารากพินมีความจำเป็นสำหรับกรณีต่อไปนี้
  1. พินผุตามกาลเวลาลูกกลมๆทะลุ โพรงประสาทพิน สามารถสังเกตได้จาก
    - พินผุเป็นโพรงใหญ่
    - มักมีอาการปวดร่วมด้วย
    - มีหนอง, รูเปิดหนอง สังเกตจากมีอาการบวม
  2. พินตาย เกิดจาก มีการกระทบกระเทือนที่พินมาก เช่น หกล้มพินกระแทก อาจมีอาการปวดหรือไม่ปวดก็ได้ บางครั้งคนไข้อาจรู้สึกเจ็บๆร้าวตามบริเวณพินชิ้นนั้น บางครั้ง พินจะค่อยๆมีสีคล้ำลงมีลักษณะเป็นเช่นรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะพินตาย

3. พินหักหรือบิ่นจากการกระแทกเปิดเผยถึง โพรงประสาทพิน
4. เพื่อการใส่พินปลอม เช่น กรณีพินหักจากการกระแทก ซึ่งไม่เผยถึง โพรงประสาทพิน ไม่มีอาการปวด แต่จำเป็นต้องทำเดือยพินเพื่อครอบพินที่ชำรุด

### 2.1.3 ขั้นตอนรักษารากพิน

การรักษารากพินต้องมาทำหลายครั้งเนื่องจากมีหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีความละเอียดมาก ประกอบด้วย

1. การเปิด โพรงประสาทพินเพื่อดึงประสาทพินออก

ทันตแพทย์ใส่ยาชา กรอเอาพินส่วนที่ผุออกให้หมด และกรอพินส่วนที่จำเป็นเพื่อให้เห็นคลองรากพินชัดๆ และใช้เครื่องมือดึงเอาประสาทพินออก

2. การใส่ยาในโพรงประสาทพิน

เนื่องจากการรักษารากพินแต่ละขั้นตอนต้องใช้เวลาาน ทันตแพทย์จะแบ่งการทำงานเป็นขั้นๆ เพื่อไม่ให้คนไข้ต้องอ้าปากนานเกินไป เพราะฉะนั้น เมื่อจบขั้นตอนที่เหมาะสม ทันตแพทย์จะใส่ยาลงในคลองรากพิน และอุดพินชั่วคราว ก่อนที่นัดมาทำต่อ ยานี้มีหลายชนิด นอกจากจะช่วยลดอาการปวด ยังช่วยฆ่าเชื้อโรคในคลองรากพินได้ด้วย

3. การวัดความยาวคลองรากพิน

คลองรากพินมีลักษณะเหมือนท่อเล็กๆ ความยาว และจำนวนไม่เท่ากัน เช่น ในพินหน้าส่วนมากจะมี 1 ราก พินกรามน้อยมี 1-2 ราก พินกรามใหญ่มี 3-4 ราก ทันตแพทย์จะต้องหาคลองรากจนครบ และ ใช้ไฟล์ใส่เข้าไปในคลองรากพิน ถ่ายภาพรังสีเพื่อดูว่ารากพินยาวขนาดไหน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่ต้องวัดความยาวรากฟันหลายๆราก จะได้มั่นใจว่า ขึ้นต่อไป ทันตแพทย์จะทำความสะอาดคลองรากฟันจนสะอาด ไม่เหลือแม่แต่ระยะ 1 มิลลิเมตรเป็นที่อยู่ของเชื้อโรค

#### 4. การทำความสะอาดคลองรากฟัน

ถึงแม้จะดึงเอาโพรงประสาทฟันออกแล้ว แต่เชื้อโรคก็จะยังคงอยู่ในคลองรากฟัน ทันตแพทย์จะใช้ตะไบขนาดเล็ก ค่อยๆตะไบจนคลองรากฟันสะอาด

#### 5. การอุดคลองรากฟัน

หลังจากที่คนไข้ไม่มีอาการปวดใดๆ ก็จะมาถึงขั้นตอนสุดท้ายของการรักษารากฟัน ทันตแพทย์จะใช้วัสดุอุดคลองราก และซีเมนต์ค่อยๆอุดจนแน่นเต็มคลองราก เพื่อไม่ให้เชื้อโรคเข้าไปในคลองรากได้อีก



รูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนรักษารากฟัน

#### ข้อดีของการรักษารากฟัน

1. เก็บฟันไว้ได้ ไม่ต้องถอนฟัน เนื่องจากการถอนฟันไปเพียง 1 ซี่ จะมีผลเสียตามมาอีกมาก
2. รักษาสภาพฟันในช่องปากให้เหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

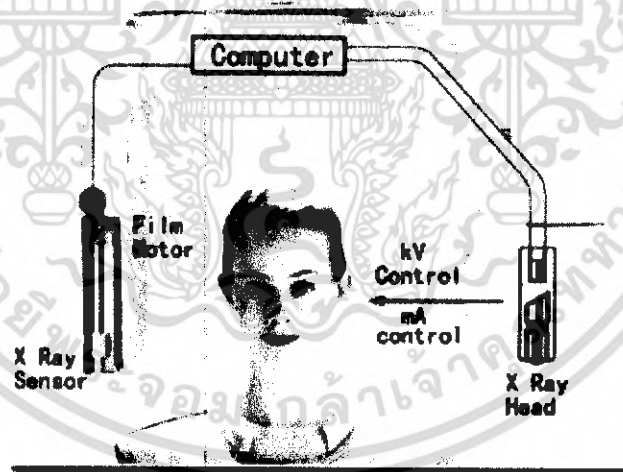
### ข้อเสีย

1. ค่าใช้จ่ายสูงกว่าการถอน แต่ถ้าจะถอนแล้วจะใส่ฟันปลอมแบบติดแน่น ไม่ถอดเข้าถอดออก การรักษารากฟันจะประหยัดกว่า และดีกว่า
2. ต้องมาหลายครั้ง

### 2.1.4 วิธีการวัดความยาวคลองรากฟัน

#### 2.1.4.1 วิธีการหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันด้วยไดเรคดิจิตอลเรดิโอกราฟ(Direct Digital Radiograph) หรือซีโรเรดิโอกราฟฟี (Xeroradiography)

เป็นวิธีการวัดโดยดูจากภาพฉายรังสีเอกซ์ ซึ่งมีซีซีดี(CCD)เป็นส่วนรับภาพ มีการศึกษาอย่างหลากหลาย เพื่อหาข้อได้เปรียบของไดเรคดิจิตอลเรดิโอกราฟ หรือ ซีโรเรดิโอกราฟฟีในการหาตำแหน่งปลายคลองรากฟัน ผลจากการศึกษาพบว่าความแม่นยำที่ได้นั้นไม่แตกต่างกันกับวิธีเอกซ์เรย์ทั่ว ๆ ไปที่ใช้แผ่นฟิล์ม แต่จะได้ภาพที่รวดเร็วกว่าและประหยัดเวลาในการฉายรังสี วิธีนี้จึงมีข้อได้เปรียบคือจะสามารถแสดงภาพบนหน้าจอของเครื่องได้เลยไม่ต้องนำฟิล์มไปล้าง ตัวอย่างของเครื่องมือมีลักษณะเป็นเช่นรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงวิธีการวัดแบบไดเรคดิจิตอลเรดิโอกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.1.4.2 วิธีการหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันด้วยแทคไทล์เซนส์

##### ( Tactile Sense)

ถ้าส่วนโค้งของคลองฟันไม่มีลักษณะบิบบแคบ ทันตแพทย์ที่มีประสบการณ์อาจจะตรวจหาตำแหน่งปลายคลองรากฟัน โดยอาศัย การเพิ่มขึ้นของค่าความผิดในช่วงของการดันลวดไฟล์เข้าไปใกล้ปลายรากฟัน 2-3 mm การตรวจสอบเช่นนี้เรียกว่าแทคไทล์เซนส์ (Tactile Sense) ในช่วงนี้คลองรากฟันส่วนใหญ่จะมีขนาดแคบลงก่อนที่จะทะลุออกจากรากฟันในการศึกษาในรากฟันจริง พบว่าการตรวจหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันได้อย่างถูกต้องโดยใช้ แทคไทล์เซนส์ มีค่าเพียง 25% จากคลองฟันที่ทำการศึกษาทั้งหมด

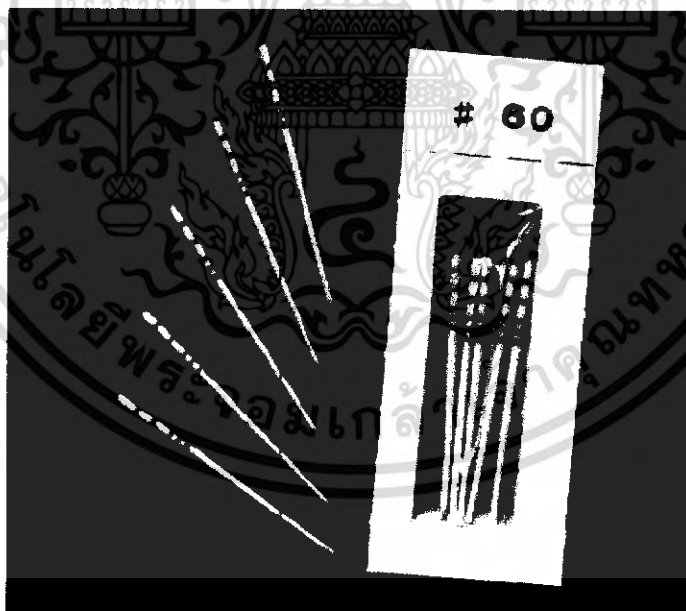
วิธีนี้มีความผิดพลาดสูงและไม่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดเนื่องจากใช้ความรู้สึกของทันตแพทย์ผู้ตรวจ ซึ่งถ้าคลองฟันมีลักษณะบิบบแคบหรือมีความโค้งมากเกินไป การตรวจวัดด้วยวิธีนี้ควรทำการเอ็กซเรย์ (X-ray) ควบคู่ไปด้วย

#### 2.1.4.3 วิธีการหาตำแหน่งปลายคลองรากฟัน ด้วยวิธีเอพิคอด เพอร์ริโอคอนทอล เซนซิวิตี (Apical Periodontal Sensitivity)

เป็นวิธีซึ่งต้องอาศัยการสังเกตอาการความเจ็บปวดของคนไข้เพราะจะไม่ฉีดยาชาขณะที่แหย่ลวดไฟล์ลงไป ในคลองรากฟันสู่บริเวณที่มีการอักเสบ แรงดันน้ำที่เกิดขึ้นภายในคลองรากฟัน อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ได้รับความเจ็บปวดระดับปานกลางถึงรุนแรงมากได้ ในตำแหน่งที่เกิดความเจ็บปวดจะสังเกตเห็นว่าลวดไฟล์อาจอยู่ห่างปลายรากฟันหลายมิลลิเมตร วิธีนี้จะทำให้ทันตแพทย์ได้ข้อมูลที่จำเป็นพอสมควรในการหาตำแหน่งปลายคลองรากฟัน หรืออีกกรณีคือเมื่อลวดไฟล์ผ่านปลายคลองรากฟันไปแล้วอาจมีความรู้สึกเจ็บเล็กน้อยหรือไม่มีเลยก็ได้ เพราะว่าบริเวณเหล่านั้นเหลือเส้นประสาทน้อยลง การตรวจด้วยวิธีนี้จะปรากฏในลักษณะของผู้ป่วยมีอาการชาหรือหน้าผากย่น ซึ่งทำให้เรามั่นใจได้ว่าได้มาถึงตำแหน่งรากฟันแล้ว อย่างไรก็ตามก็จะต้องทำให้เกิดความเจ็บปวดแก่ผู้ป่วยน้อยที่สุด เพราะถ้าคนไข้เกิดความเจ็บปวดจะทำให้เกิดความหวาดกลัวที่จะเข้ารับการรักษา

#### 2.1.4.4 วิธีการหาตำแหน่งปลายคลองรากฟัน ด้วยวิธีการวัดแบบเปเปอร์พอยต์( Paper Point Measurement)

ในคลองรากฟัน ที่มีปลายรากฟันไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควรซึ่งปลายรากฟันจะมีช่องเปิดขนาดใหญ่ จะใช้วิธีการหาตำแหน่งปลายคลองรากฟัน โดยวิธีที่พอจะเชื่อถือได้คือ จะต้องทำคลองรากฟัน ให้แห้งและค่อยๆ ใส่ปลายค้ำของก้านเปเปอร์พอยต์แสดงดังรูปที่ 2.8 ลงไปในคลองรากฟัน หลังจากที่ยาชาได้ออกฤทธิ์ไปแล้ว สภาพความชื้นหรือเลือดบนเส้นแบ่งของก้านเปเปอร์พอยต์ที่ได้ทะลุผ่านปลายรากฟันไปแล้วจะถูกนำมาหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันหรือรอยต่อระหว่างปลายรากฟันและกระดูก ในกรณีที่หารากฟันไม่พบเนื่องมาจากการสลายของตัวคลองรากฟัน หรือการเจาะรูต่างๆภายในคลองรากฟัน เมื่อเร็วๆนี้ ได้มีการเพิ่มขีดที่เป็นหน่วยมิลลิเมตรเพื่อช่วยบอกระยะบนก้านเปเปอร์พอยต์โดยจะมีขีดอยู่ที่ 18, 19, 20, 22 และ 24 จากตำแหน่งปลาย สามารถนำมาใช้หาตำแหน่งที่ก้านเปเปอร์พอยต์ผ่านออกไปจากปลายรากฟัน และตัวก้านเปเปอร์พอยต์นี้ได้ถูกออกแบบเพื่อให้เหมาะแก่การสอดเข้าไปได้จนถึงตำแหน่งของปลายคลองรากฟันได้อย่างพอดี โดยแสดงดังรูปที่ 2.8 ความแม่นยำที่ได้จากขีดนี้ควรจะนำไปเทียบกับ millimeter ruler อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแบบเปเปอร์พอยต์

#### 2.1.4.5 วิธีการวัดการหาตำแหน่งปลายคลองรากฟัน ด้วยวิธีการทางไฟฟ้า

ในทางไฟฟ้าการจำแนกชนิดของเครื่องตรวจหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันจะแบ่งตามประเภทของกระแส และการต้านทานการไหลของกระแส ขณะเดียวกันก็จะใช้จำนวนความถี่ของสัญญาณกระตุ้นมาพิจารณาด้วย

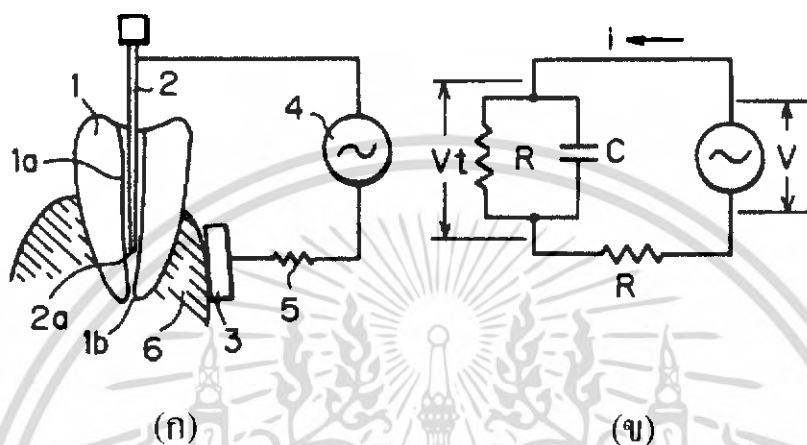
เครื่องตรวจหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันยุคแรก รู้จักกันในนามของ Resistance Apex Locators จะวัดการต้านทานการไหลของไฟกระแสตรง หรือ ความต้านทานระหว่างจุดที่อยู่ภายในคลองรากฟันกับจุดที่อยู่ตรงเหนือก้านนอก เมื่อลวดไฟถึงปลายรากฟันความต้านทานจะมีค่า  $6.5 \text{ k}\Omega$  (กระแส 40 mA) ตัวอย่างเช่นเครื่อง Sono Explorer ปัจจุบันเครื่องรุ่นนี้ไม่มีขายตามท้องตลาดแล้ว

เครื่องตรวจหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันยุคที่สอง รู้จักกันในนามของ Impedance Apex Locators จะวัดการต้านทานการไหลของไฟกระแสสลับหรืออิมพีแดนซ์ ข้อเสียหลักของเครื่องในรุ่นนี้คือ คลองรากฟันควรจะไม่มีสารนำไฟฟ้า เพื่อที่จะวัดค่าได้ถูกต้องมากขึ้น และลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพการนำไฟฟ้าภายในคลองรากฟัน เช่น สภาพเนื้อเยื่อ สภาพนำไฟฟ้าในคลองรากฟันทำให้ผล การวัดความยาวรากฟันจะสั้นกว่าค่าจริง คลองรากฟันที่ทำการวัดควรจะมีการทำความสะอาดแต่อยู่ในสภาพที่แห้งสนิท ตัวอย่างเครื่องมือในรุ่นนี้ เช่น The Apex Finder, Endo Analyzer Digipex เป็นต้น

เครื่องตรวจหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันยุคที่สาม ใช้หลักการทำงานจากลักษณะสมบัติการนำไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจะไหลผ่านไปได้ง่ายกว่าไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นการวัดแบบสองความถี่ ดังนั้นจึงสามารถเรียกเครื่องมือนี้ได้ว่า "Comparative impedance" ตัวอย่างเครื่องมือในรุ่นนี้ เช่น Endex ถ้าอยู่ในยุโรป หรือ เอเชีย เรียกว่า APIT, Neosono Ultima Ez, APEX FINDER A.F.A และ Root ZX

## 2.2 วิธีวัดความยาวรากฟันแบบ 2 ความถี่

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบหาตำแหน่งของปลายคลองรากฟันที่มีความแม่นยำที่สุด และอาศัยสมบัติของความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับของเนื้อเยื่อและวัสดุต่างๆภายในและรอบๆ คลองรากฟัน



รูปที่ 2.9 ก แสดงถึงวงจรการกระตุ้นระหว่างลวดไฟล์กับขั้วอ้างอิงด้านแหล่งสัญญาณไฟฟ้าสลับ ข แสดงถึงวงจรสมมูลที่ใช้ในการวัด

### 2.2.1 ลักษณะการนำไฟฟ้าของรากฟัน

พิจารณาระบบในการวัดในรูป 2.9 (ก) เมื่อทำการป้อนป้อนไฟฟ้ากระแสสลับ (4) ซึ่งมีแรงดัน  $V$  โวลต์และความถี่  $f$  เฮิทซ์ (ความเร็วเชิงมุม  $\omega = 2\pi f$ ) คล่อมระหว่างขั้วไฟฟ้าลวดไฟล์ (2) ที่สอดเข้าไปในคลองรากฟัน (1a) กับขั้วไฟฟ้า (3) ที่สัมผัสอยู่กับเหงือกด้านนอก (6) พฤติกรรมในการนำไฟฟ้าจะเทียบได้กับวงจรสมมูลรูปที่ 2.9 (ข) โดยที่

$R$  : เป็นค่าความต้านทานของส่วนคลองรากฟันที่มีลักษณะเปลี่ยนไปตามตัวแปรที่สำคัญคือความเปียกชื้นภายในคลองรากฟัน

$C$  : เป็นค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่เกิดจากความเป็นฉนวนของฟัน (1) ซึ่งสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเนื้อฟันออกไปสู่เหงือกได้โดยที่

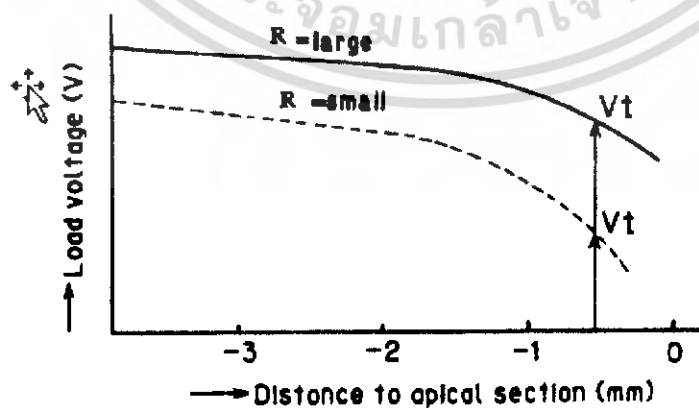
- ก) ที่ตำแหน่งของลวดไฟล์ที่อยู่ไกลจากตำแหน่งปลายคลองรากฟัน (1b) ค่า  $C$  จะมีค่ามากกว่าที่ตำแหน่งที่ลวดไฟล์อยู่ใกล้ตำแหน่งปลายคลองรากฟัน เนื่องจากความหนาของเนื้อฟันมีค่าลดลงเมื่อระยะทางเข้าใกล้ปลายรากฟันสำหรับค่าสัมประสิทธิ์  $R$  ที่ตำแหน่งนี้จะมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์  $R$  ในคลองรากฟัน ดังนั้นค่า  $R$  ในช่วงนี้จะมีค่ามากเนื่องจากระยะทางระหว่างลวดไฟล์กับขั้วไฟฟ้า (3) มีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข) เมื่อสอคลวดไฟล้เข้าไปใกล้ตำแหน่งปลายคลองรากฟันค่า  $C$  จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเอ็กโพเนนเชียล (exponential) และค่า  $R$  จะมีค่าลดลง
- ค) ที่ตำแหน่งปลายคลองรากฟันจะประมาณค่า  $C = C_0 = 50 \text{ nF}$  และค่า  $R$  มีค่า  $= 6.5 \text{ k}\Omega$
- ง) ความต้านทาน  $R$  ยังมีผลแปรตามสภาพแวดล้อมภายในคลองรากฟันเช่น สารละลาย และ เลือด ถ้าในคลองรากฟันเต็มไปด้วยสารละลายนำไฟฟ้า ค่า  $R$  จะมีค่าลดลงถ้าคลองรากฟันแห้ง ค่า  $R$  จะมีค่ามาก การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด (error) นอกจากนี้ ค่า  $R$  ยังคงจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่ง ที่ทำการวัดในคลองรากฟัน

โดยธรรมชาติแล้วเมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้ไหลผ่านเนื้อเยื่อบริเวณปลายคลองรากฟัน (Apical mucous membrane) และเนื้อเยื่อบริเวณกระพุ้งแก้ม (Oral membrane) พบว่ากระแสที่วัดได้จะมีค่าคงที่ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการนำไฟฟ้าของคลองรากฟันนั้นเกิดจากเนื้อเยื่อบริเวณปลายคลองรากฟัน (Apical mucous membrane) และเนื้อเยื่อบริเวณกระพุ้งแก้ม (Oral membrane) นั้นมีความต้านทานไฟฟ้าคงที่ และด้วยคุณสมบัตินี้เองเราจึงนำมาใช้ตรวจสอบหาตำแหน่งของปลายรากฟัน

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ และตำแหน่งที่วัดในคลองรากฟันจากปลายลวดไฟล้ของลวดไฟล้ไปยังตำแหน่งปลายคลองรากฟัน เส้นทึบแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า  $V_t$  เมื่อ  $R$  มีค่ามากและเส้นประแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า  $V_t$  เมื่อ  $R$  มีค่าน้อย ที่ตำแหน่งการวัดเข้าใกล้ปลายคลองรากฟัน จะพบความแตกต่างกันมากระหว่างเส้นทึบและเส้นประซึ่งจะเป็นตัวบอกว่าค่าความต่างศักย์ที่ได้ ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดจะเข้าใกล้ ตำแหน่งปลายรากฟันไม่สามารถใช้เป็นค่าตรวจหาตำแหน่งปลายรากฟันได้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ และตำแหน่งที่วัดใน Root Canal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบค่าความแตกต่างระหว่างค่าอิมพีแดนซ์(impedance) โดยใช้สัญญาณ 2 ความถี่ กำหนดให้

ถ้าให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้จากการป้อนสัญญาณความถี่  $\omega$  มีค่า

$$Z_1 = R/(j\omega C + 1)$$

และค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดได้จากการป้อนสัญญาณความถี่  $5\omega$  มีค่า

$$Z_2 = R/(5j\omega C + 1)$$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} Z_1 - Z_2 &= (R/(j\omega C + 1)) - (R/(5j\omega C + 1)) \\ &= (1/(j\omega C + 1/R)) - (1/(5j\omega C + 1/R)) \end{aligned} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อปลายของลวดไฟล้อยู่ใกล้ตำแหน่งของปลายคลองรากพื้นซึ่งมี  $C = C_0$  และเลือกป้อนสัญญาณความถี่สูงมากๆจะพบว่า

เมื่อ  $\omega C_0 \gg 1/R$  ปัจจัยของค่าความต้านทานก็จะมีผลต่อค่าความแตกต่างระหว่างขนาดของค่าอิมพีแดนซ์

ตัวอย่างเช่น  $C_0 = 100 \text{ nF}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$  ถึง  $10 \text{ k}\Omega$ ,  $f = 1 \text{ kHz}$  (ค่าที่กำหนดเป็นค่าที่มีความใกล้เคียงกับค่าความต้านทานไฟฟ้าจริง)เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 1 จะได้ค่าความแตกต่างระหว่างขนาดของค่าอิมพีแดนซ์ดังตารางที่ 2.1

R	1 k $\Omega$	2 k $\Omega$	3 k $\Omega$	4 k $\Omega$	5 k $\Omega$	6 k $\Omega$	7 k $\Omega$	8 k $\Omega$	9 k $\Omega$	10 k $\Omega$
Z <sub>1</sub> - Z <sub>2</sub>	0.688	0.903	1.191	1.505	1.83	2.16	2.50	2.80	3.18	3.52

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าความแตกต่างระหว่างขนาดของค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่า R

จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างระหว่างขนาดของค่าอิมพีแดนซ์ที่สองความถี่ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ลักษณะความเปียกหรือแห้งของพื้น แต่สำหรับกรณีที่พิจารณาผลหารของ  $Z_1$  และ  $Z_2$  จะได้ว่า

$$\begin{aligned} Z_1 / Z_2 &= (R/(j\omega C + 1)) - (R/(5j\omega C + 1)) \\ &= (5j\omega C + 1) / (j\omega C + 1) \\ &= (5j\omega C + 1/R) / (j\omega C + 1/R) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีตัวอย่างเดิมคือ  $C_0 = 100 \text{ nF}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$  ถึง  $10 \text{ k}\Omega$ ,  $f = 1 \text{ kHz}$  แทนค่าลงในสมการที่ 1 จะได้ค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดของค่าอิมพีแดนซ์จะแสดงดังตารางที่ 2.2

R	1 k $\Omega$	2 k $\Omega$	3 k $\Omega$	4 k $\Omega$	5 k $\Omega$	6 k $\Omega$	7 k $\Omega$	8 k $\Omega$	9 k $\Omega$	10 k $\Omega$
$ Z_1 / Z_2 $	2.79	3.96	4.44	4.66	4.77	4.83	4.88	4.90	4.98	4.94

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงอัตราส่วนระหว่างขนาดของค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่า R

ค่าอัตราส่วนค่อนข้างจะไม่เปลี่ยนแปลงไปกับค่า R ซึ่งจะหมายความว่าผลกระทบที่เกิดจากสภาพแวดล้อมที่อยู่ภายในรากฟัน สามารถหักล้างได้โดยอัตโนมัติ ผลที่ได้วิธีนี้จึงไม่จำเป็นที่จะต้องทำการ ปรับเทียบในการวัดรากฟันแต่ละอัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

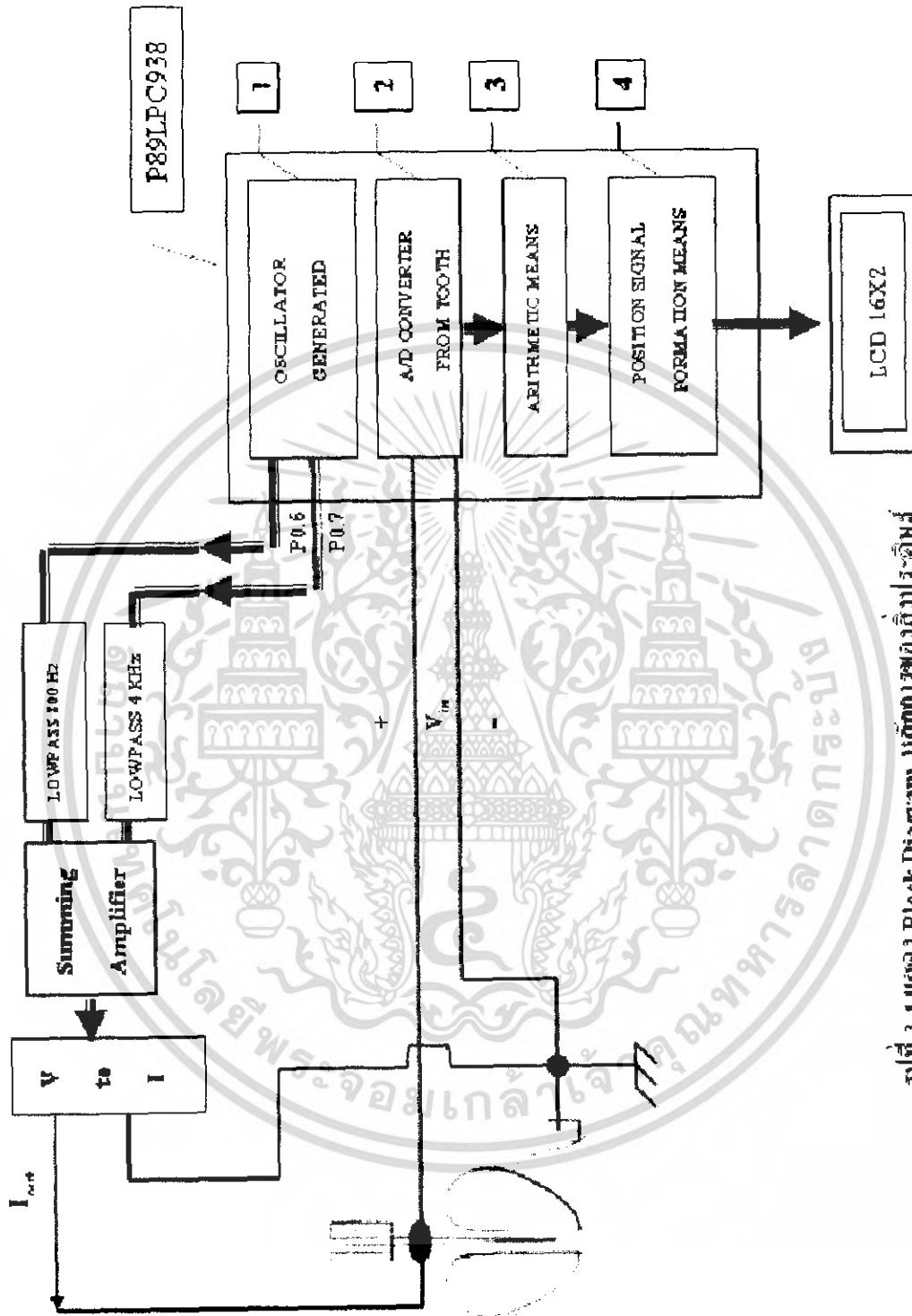
## ส่วนประกอบและหลักการทำงานของระบบ

จากทฤษฎีที่ใช้ในการวัดความยาวของปลายคลองรากฟัน โดยวัดขนาดของ Impedance ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการป้อนค่าของสัญญาณกระแสสลับที่มี Amplitude ของกระแสคงที่ (Current Source) พบว่าจาก

$$V = IZ$$

Voltage ที่ตกคร่อมระหว่างขั้วลวด ไฟล์และแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ไตรคจะมีค่าแปรตาม Impedance ที่เปลี่ยนไป จึงนำ Voltage ที่ได้มาพิจารณา

Block Diagram รูปที่ 3.1 จะแสดงหลักการทำงานของระบบ คือ ส่วนของสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณที่สร้างขึ้นจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัทฟิลลิปส์ รุ่น P89LPC93x ซึ่งจะออกเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาดของแอมพลิจูด (Amplitude) เท่ากันแต่ต่างกันที่ความถี่ คือ สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 800 Hz และ 4,000 Hz ถูกส่งออกจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ทาง port 0.6 และ port 0.7 ตามลำดับ รูปแบบของสัญญาณทั้ง 2 จะถูกสร้างขึ้นในเวลา 100 ms. หลังจากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็จะหยุดสร้างสัญญาณเป็นเวลาอีก 100 ms. สลับกันแบบนี้ไปเรื่อยๆ นำสัญญาณที่คิดคับอย่างนี้ทั้ง 2 สัญญาณ ไปทำการกรองสัญญาณด้วยวงจร วงจรกรองความถี่ต่ำ ที่ทำการเปลี่ยนสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมให้เป็นสัญญาณรูปไซน์ (sine) เมื่อมีสัญญาณสองสัญญาณ จึงจำเป็นต้องใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) สองวงจร เพื่อกรองเอาสัญญาณที่ต่ำกว่า 800 Hz และ 4,000 Hz ออก จึงได้สัญญาณรูปไซน์ ที่คิดคับ 2 สัญญาณ จากนั้นจะต้องทำการรวมสัญญาณทั้งสองให้เป็นสัญญาณเดียว คือ ที่ 100 ms. แรก จะเป็นสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 800 Hz จากนั้น 100 ms. ค่อไปจะเป็นสัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 4,000 Hz (วงจรนี้ทำการรวมสัญญาณ 2 สัญญาณให้เป็นสัญญาณเดียว) เมื่อได้สัญญาณที่ทำการรวมกันแล้วจึงทำการส่งสัญญาณที่รวมกันนี้เข้าสู่วงจรเปลี่ยนความต่างศักย์ให้เป็นกระแส (V TO Converter) เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบของความต่างศักย์ให้เป็น กระแสไฟฟ้านำสัญญาณที่ได้ ซึ่งมีค่ากระแสคงที่เข้าไปที่หัววัด แล้วส่งเข้าไปที่ฟัน ผ่านหัววัด และรับสัญญาณความต่างศักย์ตกคร่อมปลายคลองรากฟันออกมาว่ามีค่าเท่าไร ส่งสัญญาณนี้ไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณผลทางคณิตศาสตร์ต่อไป โดยจะอธิบายเป็นหัวข้อต่างๆดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดง Block Diagram กับการวัดฟัน

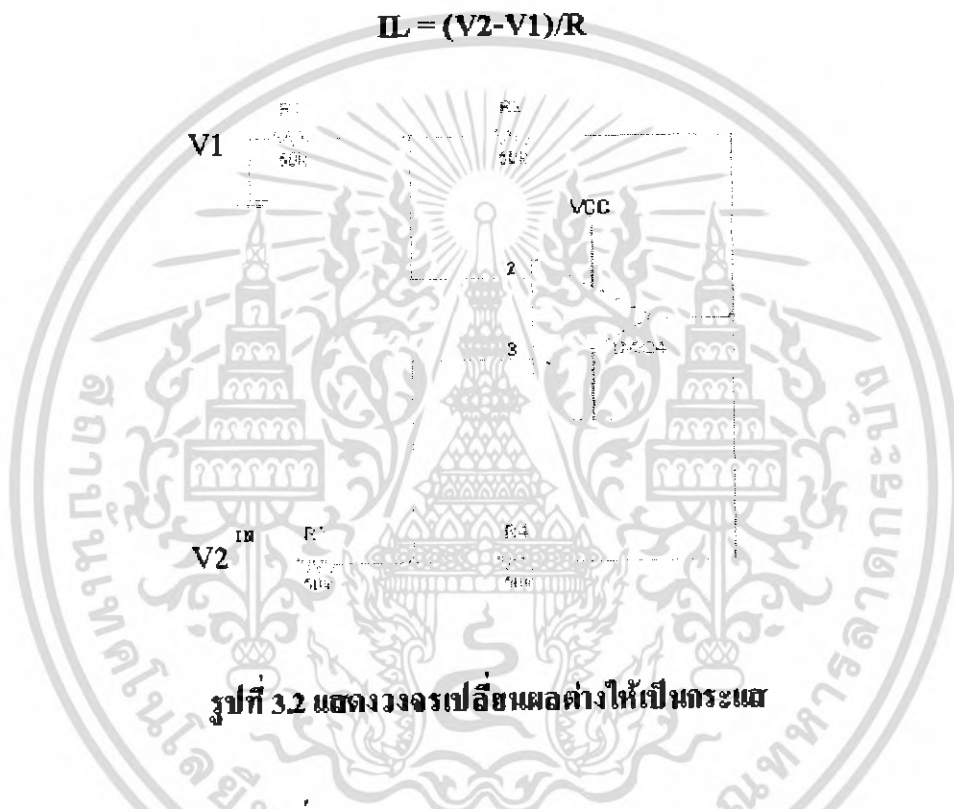
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 ส่วนนอก

#### 3.1.1 วงจรเปลี่ยนผลต่างให้เป็นกระแส (Differential Voltage-to-Current Converter)

จากวงจรพื้นฐานดังรูป เมื่อป้อนแรงดัน  $V_1$  เข้าที่  $R_1$  และป้อนแรงดัน  $V_2$  เข้าที่  $R_3$  จะทำให้แรงอินพุทของวงจรกรณีนี้เป็นแบบผลต่าง ( $V_2 - V_1$ ) หรือเรียกววงจร V-I แบบนี้ว่า “วงจรเปลี่ยนแรงดันอินพุทผลต่างให้กระแส” จะให้ โหลดของวงจรเท่ากับ

$$I_L = (V_2 - V_1) / R$$



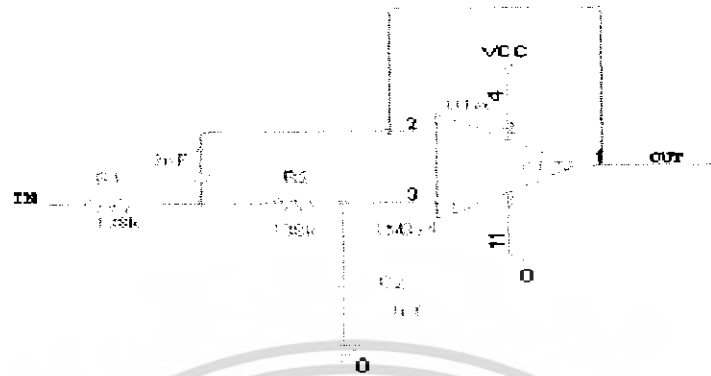
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรเปลี่ยนผลต่างให้เป็นกระแส

#### 3.1.2 วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ (Active Filter)

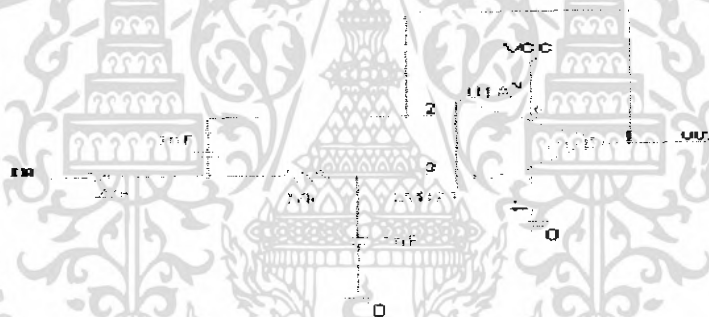
วงจรกรองความถี่หรือวงจรฟิลเตอร์มีหน้าที่สำคัญคือยอมให้สัญญาณของความถี่ผ่านไปได้ ในขณะที่เดียวกันก็จะกำจัด ลดทอนความถี่อื่นใดนอกเหนือจากความถี่ที่ต้องการ โดยได้นำอุปกรณ์ประเภท แอคทีฟคือ อี้อปแอมป์ (op-amp) มาใช้งาน วงจรกรองความถี่ต่ำ ที่ใช้จะกรองความถี่ 2 ค่า คือ

1. วงจรกรองความถี่ต่ำ 300Hz
2. วงจรกรองความถี่ต่ำ 4000Hz

ลักษณะของวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟที่ใช้มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.3 วงจรกรองความถี่ต่ำ 800Hz



รูปที่ 3.4 วงจรกรองความถี่ต่ำ 4 KHz

### 3.1.3 วงจรรวมสัญญาณ

วงจรรวมสัญญาณ วงจรนี้จะมีอินพุตมากกว่า 2 สัญญาณขึ้นไป และมีเอาต์พุตข้อเดียว ในรูปที่ 3.5 จะแสดงตัวอย่างวงจรรวมสัญญาณซึ่งมี 3 อินพุต แรงดัน  $V_1, V_2, V_3$  จะทำให้เกิดกระแส  $I_1, I_2, I_3$  ผ่านตัวต้านทาน  $R_1, R_2, R_3$  ตามลำดับ กระแส  $I_1, I_2, I_3$  นี้จะไหลเข้าอินพุตขั้วลบของอ็อปแอมป์ไม่ได้จึงไหลผ่าน  $R_T$  ทั้งหมด ดังนั้น  $IF$  ก็จะมีค่าเท่ากับ  $I_1 + I_2 + I_3$  โปรดสังเกตด้วยว่าวงจรนี้คือวงจรขยายแบบอินเวอร์ตจึงแค้มป์หลายอินพุตเท่านั้น อินพุตขั้วลบก็ยังคงทำหน้าที่เป็นกราวด์เสมือนทำให้เอาต์พุตเท่ากับศูนย์ โวลต์ก็จะหาค่า

$$I_1 + I_2 + I_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ดังนี้

$$I_1 = V_1/R_1, \quad I_2 = V_2/R_2, \quad I_3 = V_3/R_3$$

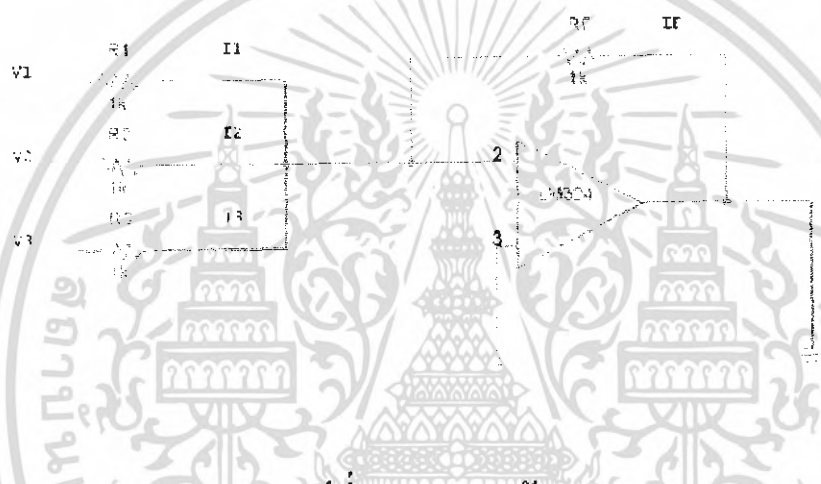
และหาค่า  $I_F$  ได้ดังนี้

$$I_F = -V_0/R_F$$

นั่นคือ  $-V_0/R_F = V_1/R_1 + V_2/R_2 + V_3/R_3$

จัดรูปสมการ

$$V_0 = -R_F (V_1/R_1 + V_2/R_2 + V_3/R_3)$$



รูปที่ 3.5 วงจรรวมสัญญาณ

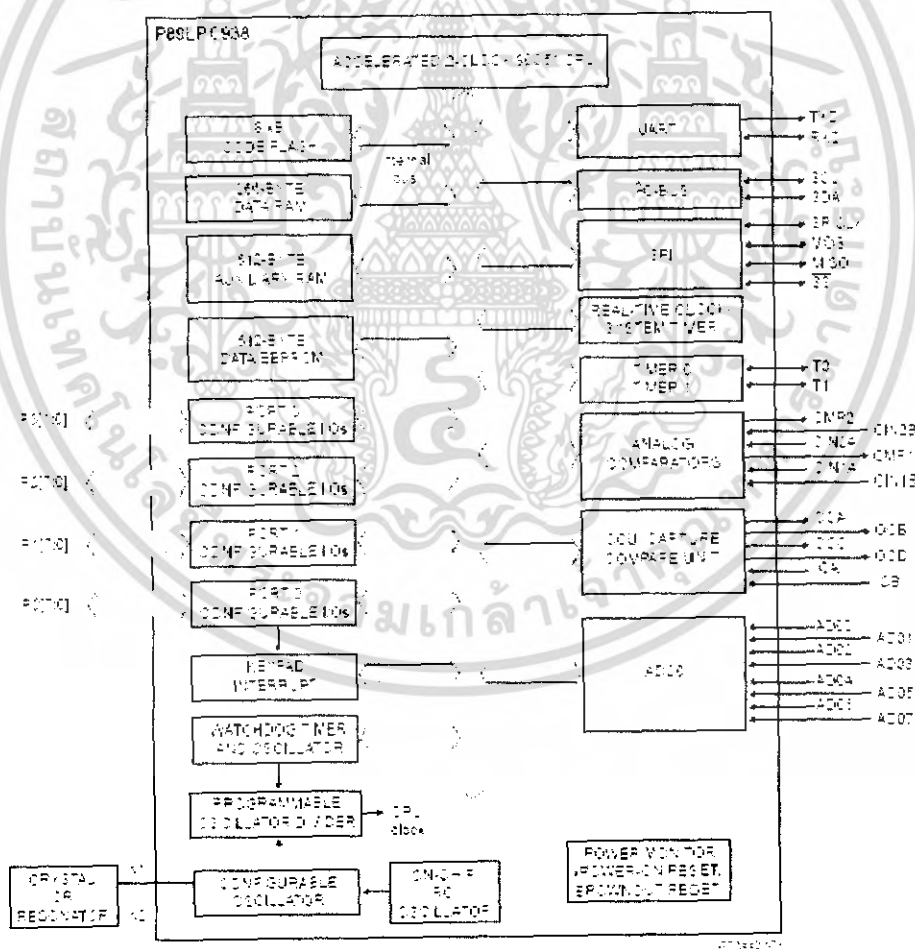
จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าแรงดันเอาต์พุตจะขยายสัญญาณอินพุตแต่ละสัญญาณขึ้นมาแล้วมารวมกัน แต่มีทิศทาง การเปลี่ยนแปลงแรงดันตรงข้าม (แสดง โดยเครื่องหมายลบ) กับผลรวมนี้ สัญญาณแต่ละตัวจะถูกขยายขึ้นมาอย่างน้อยเพียงใดขึ้นเท่ากับ  $R_1, R_2, R_3$  และ  $R_F$  อินพุตอิมพีแดนซ์ที่สัญญาณที่สัญญาณ  $V_1, V_2, V_3$  มองเห็นจะเท่ากับค่า  $R_1, R_2, R_3$  ตามลำดับ

### 3.1 ส่วนเสถียร

#### 3.2.1 การทำงานในส่วน Hardware

##### 3.2.1.1 สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และการใช้งาน

เนื่องจากการส่งประกวดสิ่งประดิษฐ์ของบริษัทฟิลิปส์ได้กำหนดให้เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล P89LP93x ที่เหมาะสมกับการใช้งาน เมื่อได้พิจารณาจากไดอะแกรมเบื้องต้นของเครื่องมือพบว่าจุดสำคัญจะมีการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนและความจำเป็นในการพัฒนาเครื่องให้มีขนาดกะทัดรัดเป็นปัจจัยหลักจึงได้เลือกใช้ชิพรุ่น P89LPC938 ที่มี A/D ภายในและมีความละเอียดขนาด 10 บิตซึ่งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับรุ่นอื่นๆ จากรูปที่ 3.6 แสดงถึงส่วนประกอบภายในที่มีของชิพ ซึ่งสามารถอธิบายส่วนที่นำมาใช้งานได้ดังนี้



รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบภายในของชิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสำคัญคือขนาดความจุ โปรแกรมยังมีมากก็ยังสามารถเขียน โปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้มากขึ้น โดยควมจุมีความจุ 8 kB CODE FLASH เป็นขนาดความจุของ โปรแกรมที่สามารถอัปเดตโปรแกรมลงไปได้ การติดต่อคอมพิวเตอร์ผ่าน UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter) คือส่วนทำหน้าที่แปลงจากข้อมูลที่เป็นแบบขนาน ให้เป็นข้อมูลที่เป็นแบบอนุกรม ซึ่งการทำงานจะคล้ายกับว่า เป็น PISO (Parallel In, Serial Out) ถ้าเราต้องการใช้งาน RS-232 ก็เพียงต่อไอซีDriver เช่น DS275, MAX232 เท่านั้นก็จะสามารถใช้งานได้ หน่วยความจำภายใน 256-BYTE DATA RAM คือ ส่วนสำหรับเก็บค่าตัวแปรต่างๆสามารถแบ่งการอ้างอิงได้เป็น DATA คือ การอ้างอิง โดยตรงมีขนาด 128 ไบต์และการอ้างอิง โดยอ้อมเป็น IDATA ซึ่งจะสามารถอ้างอิงได้เต็มความจุของDATA RAM คือ 256ไบต์ และส่วน 512-BYTE AUXILIARY RAM คือแรมที่ต้องอ้างอิงข้อมูล โดยผ่านตัวแอดเดรสพอยเตอร์ (Address pointer) เรียกส่วนนี้ให้เข้าใจง่ายขึ้นว่า XDATA (External data ram) การเข้าถึงข้อมูลที่ยังที่ก้อยู่ภายใน XDATA นี้จะช้ากว่าข้อมูลที่ยังที่ก้อยู่ใน 256-BYTE DATA RAM

### 3.2.1.1.1 พอร์ต(PORT)

พอร์ต มีอยู่ทั้งหมด 4 พอร์ตคือ พอร์ต 0 พอร์ต 1 พอร์ต 2 และพอร์ต 3 โดยแต่ละพอร์ตสามารถที่จะปรับแต่งให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ถึง 4 แบบ โดยกำหนดที่รีจิสเตอร์ (REGISTER) PxM1.y และ PxM2.y ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบการตั้งค่ารีจิสเตอร์ของพอร์ต

PxM1.y	0	0	1	1
PxM2.y	0	1	0	1
Port Output Mode	Quasi-Bidirectional	Push-Pull	Input Only (High Impedance)	Open Drain

- Quasi-Bidirectional คือ สามารถใช้พอร์ตเป็นทั้งอินพุต (Input) และเอาต์พุต (Output) ได้
- Push-Pull คือ สามารถใช้พอร์ตเป็นทั้งอินพุตและ เอาต์พุตได้แต่ว่าจะใช้เมื่อต้องการต่อพอร์ตเป็นเอาต์พุตที่ต้องการกระแสออกมาจากพอร์ตมากขึ้น
- Input only คือ ใช้พอร์ตเป็นอินพุตอย่างเดียว
- Open Drain คือ สามารถใช้พอร์ตเป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุตไม่ใช่ตัวอินเทอร์เนอลพูลอัพ (Internal pull-ups) จะใช้เพียงพูลดาวน์ ทรานซิสเตอร์ (Pull-downs transistor) เมื่อพอร์ตมีสถานะเป็นลอจิกศูนย์

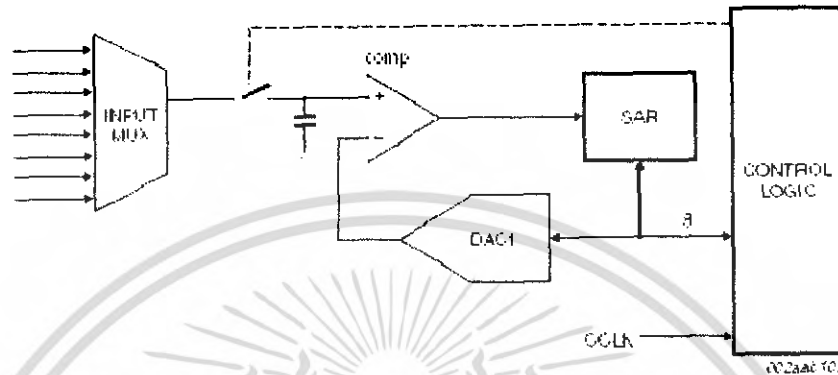
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการตั้งค่าพอร์ทและการนำมาใช้งานกับเครื่องตรวจหาค่าแห่งปลาย  
รากฟัน โดยเรียงลำดับจาก พอร์ท 3 ไปหา พอร์ท 0 สามารถจำแนกได้ดังนี้

- PORT 3.0และ3.1 ถ้าไม่มีการต่อออสซิลเลเตอร์ภายนอกสามารถใช้เป็นพอร์ท  
อินพุท/เอาต์พุทได้
- PORT 2.0 ถึง 2.7 ใช้เป็น Quasi-Bidirectional สำหรับต่อเข้ากับLCD
- PORT 1.0 ถึง 1.1 ใช้เป็น Quasi-Bidirectional สำหรับการส่งข้อมูลแบบอนุกรม (serial)
- PORT 1.2 ถึง 1.3 ไม่ได้นำมาใช้งานแต่ถูกกำหนดไว้เป็น Quasi-Bidirectional
- PORT 1.4 ถึง 1.5 เป็นพอร์ทที่สามารถกำหนดเป็น Input only อย่างเดียวเท่านั้น  
(อิงจากดาตาชีท) พอร์ท1.4 ไม่ได้ใช้งาน พอร์ท1.5 ใช้สำหรับต่อวงจรรีเซ็ต (Reset)
- PORT 1.6 ถึง 1.7 ไม่ได้นำมาใช้งานแต่ถูกกำหนดไว้เป็น Quasi-Bidirectional
- PORT 0.1 กำหนดเป็น input only เพราะถูกใช้เป็นที่ขาสำหรับรับสัญญาณอนาล็อก  
ช่องที่0 (AD00)
- PORT 0.2 ถึง 0.5 ไม่ได้นำมาใช้งานแต่ถูกกำหนดไว้เป็น Quasi-Bidirectional
- PORT 0.6 ถึง 0.7 กำหนดไว้เป็นQuasi-Bidirectional เป็นขาสำหรับสัญญาณ 4000Hz  
และ 800Hz ตามลำดับ อีกทั้งส่วนสัญญาณนาฬิกาของชิพจะมีส่วน CONFIGURABLE  
OSCILLATOR คือ ส่วนที่เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาว่าจะใช้จากภายในหรือภายใน  
นอก แต่เราเลือกให้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากภายในที่เป็นตัว  
RC OSCILLATORจึงต้องสั่งให้เลือกให้แหล่งกำเนิดผ่าน โปรแกรม Flash Magic และสั่ง  
กำหนดค่าต่างๆของ RC OSCILLATOR ใน Special Function Register (SFR) ที่ชื่อว่า  
TRIM (On-Chip RC oscillator trim register) ฉะนั้น จะมี ส่วน PROGRAMABLE  
OSCILLATOR DIVIDER คือ ส่วนที่สามารถหารความถี่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา  
โดยกำหนดได้จาก SFRชื่อ DIVM ค่ามาตรฐานคือจะหารด้วยหนึ่ง

### 3.2.1.1.2 ส่วน Analog to Digital Converter (ADC)

เป็นสำคัญหลักคือส่วนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลมีโครงสร้างการทำงาน ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

โดยมีความละเอียดขนาด 10 บิต สามารถเลือกช่องสัญญาณได้ 8 ช่อง เป็นแบบ Successive approximation มีรีจิสเตอร์ในการเก็บค่าทั้งหมด 8 บิต สามารถเลือกการทำงานได้ 6 แบบ

- กำหนดช่องสัญญาณ, มีการแปลงสัญญาณเพียงหนึ่งครั้ง
- กำหนดช่องสัญญาณ, มีการแปลงสัญญาณแบบต่อเนื่อง
- หาช่องสัญญาณอัตโนมัติ, มีการแปลงสัญญาณเพียงหนึ่งครั้ง
- หาช่องสัญญาณอัตโนมัติ, มีการแปลงสัญญาณแบบต่อเนื่อง
- ช่องสัญญาณคู่, มีการแปลงสัญญาณแบบต่อเนื่อง
- แบบ Single Step

สามารถสั่งการทำงานของ A/D ได้ 3 แบบ

- แบบกระตุ้นด้วยเวลา
- เริ่มทันที
- กระตุ้นด้วยขอบ

ส่วนการใช้งานในเครื่องมือจะเลือกการทำงานเป็นแบบ กำหนดช่องสัญญาณ, มีการแปลงสัญญาณแบบต่อเนื่องและสั่งการทำงานของ A/D แบบเริ่มทันที

### 3.2.1.1.3 TIMER0 และ TIMER1

TIMER 0 และ TIMER 1 จะมีรูปแบบการทำงาน 6 แบบ คือ Mode 0, 1, 2, 3 และ 6 โดยมีรายละเอียดการทำงานแต่ละแบบดังนี้

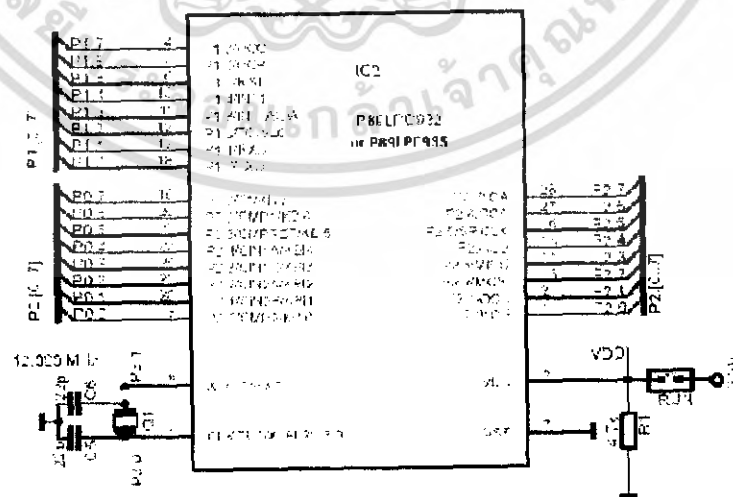
- Mode 0 จะเป็น Timer/Counter ขนาด 13 บิต โดยใช้ 8 บิตบนมาจาก THx และ 5 บิตล่างมาจาก 5 บิตล่างของ TLx
- Mode 1 Timer/Counter ขนาด 16 บิต โดยใช้ 8 บิตบนมาจาก THx และ 8 บิตล่างมาจาก 8 บิตของ TLx
- Mode 2 Timer/Counter ขนาด 8 บิต โดยจะใช้ TLx ในการนับจนกระทั่งเกิดการ Over Flow ก็จะไปเอาค่า (Reloaded) จาก THx ไปยัง TLx แล้วเริ่มค่นนับต่อไป
- Mode 3 การทำงานของ Timer0 และ Timer1 จะแยกกัน
- Mode 6 ทำงานเป็น PWM (Pulse width modulation)

สำหรับการนำมาใช้งานจะใช้ TIMER 0 และ TIMER 1 ใน Mode 2 โดย TIMER 0 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณความถี่ทั้ง 800Hz และ 4000 Hz ส่วน TIMER 1 ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการทำงานของระบบ

### 3.2.1.2 ส่วนประกอบหลักของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 3.2.1.2.1 การจัดเรียงขาพอร์ทของไมโครคอนโทรลเลอร์

การจัดขาพอร์ทให้มารวมเป็นชุดๆสามารถทำให้การต่อใช้งานทำได้ง่ายขึ้นจึงจัดเรียงพอร์ทของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็น พอร์ท 0 พอร์ท 1 พอร์ท 2 และพอร์ท 3 ซึ่งที่พอร์ท 3 สามารถต่อออสซิลเลเตอร์ภายนอกเสริมได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.8ก

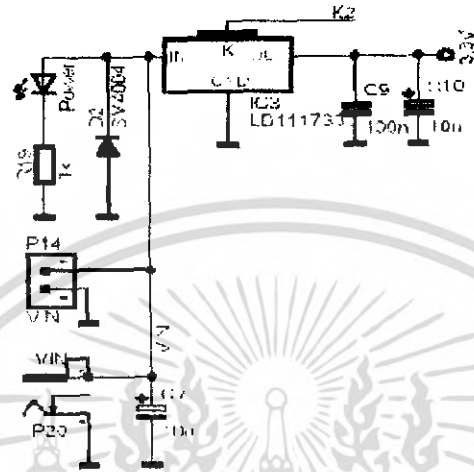


รูปที่ 3.8ก แสดงการจัดเรียงพอร์ทของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2.1.2.2 วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 3.3 โวลต์**

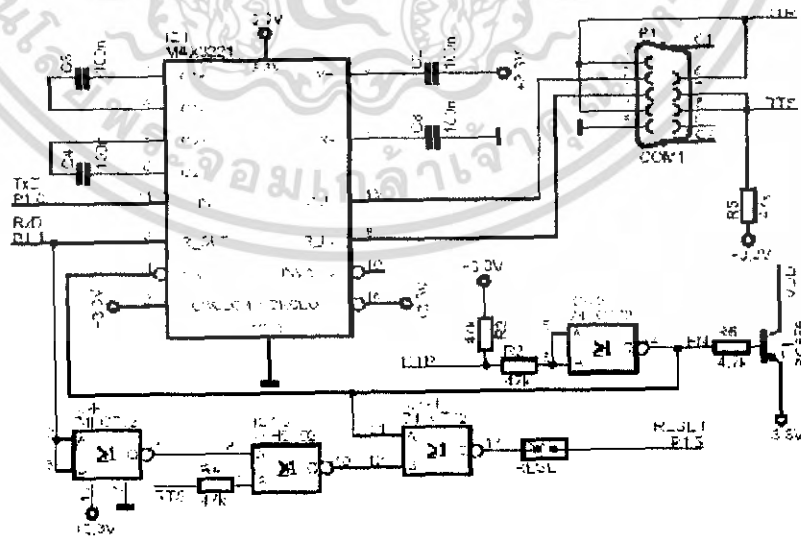
เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้เป็นแบบใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 3.3 โวลต์ จึงต้องมีวงจรจ่ายไฟปรับแรงดันให้ได้ตามที่ระบุไว้ ดังรูปที่ 3.8



**รูปที่ 3.8 แสดงวงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดัน 3.3 โวลต์**

**3.2.1.2.3 วงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย RS-232**

เพราะการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต COM1 ด้วยสายอนุกรม (Serial) ต้องใช้การติดต่อแบบ RS-232 ดังนั้นจึงต้องมีวงจรปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นระดับของการส่งข้อมูลแบบ RS-232 ดังแสดงดัง รูปที่ 3.8ค

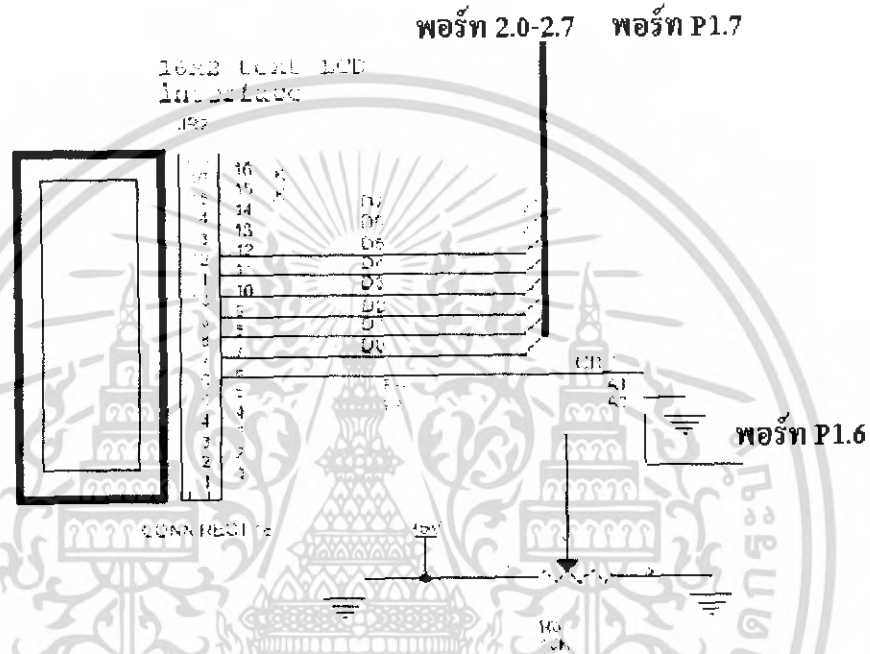


**รูปที่ 3.8ค แสดงวงจรติดต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย RS-232**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.2.4 วงจรที่ติดต่อกับLCDขนาด16x2

เป็นส่วนแสดงผลของคิวเครื่อง โดยมีการเชื่อมต่อข้อมูลแสดงผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ต 2 ตั้งการทำงานของ LCD ผ่านพอร์ต 1.6 และควบคุมการแสดงผลผลด้วยพอร์ต1.7 ดังรูปที่ 3.8ง



รูปที่ 3.8ง แสดงวงจรที่ติดต่อกับLCD ขนาด16x2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การทำงานในส่วน Software แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ

#### 1. การสร้างสัญญาณ 2 ความถี่

เมื่อเริ่ม โปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกสั่งให้สร้างสัญญาณความถี่ 800 Hz ออกมาเป็นเวลา 100ms โดยควบคุมจากตัวแปร tick ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นทุกๆ 10ms ถ้า tick เพิ่มครบ 10 ครั้งก็จะเปลี่ยนมาสร้างสัญญาณ 4000 Hz สลับกันไปตลอดการทำงาน

#### 2. การแปลงสัญญาณ 2 ความถี่

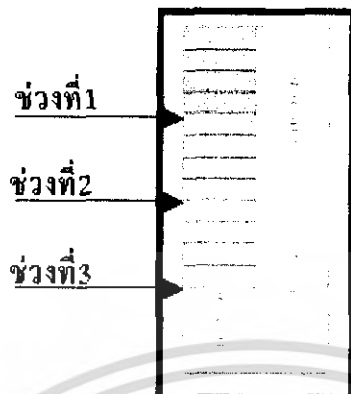
การแปลงสัญญาณจะใช้เวลาในการแปลงทั้งหมด 70 ms สามารถทำได้ โดยกำหนดการเปิด-ปิดของ A/D ผ่านตัวแปร tick โดย A/D จะทำงานเมื่อเวลาเท่ากับ 20ms และจะทำการแปลงสัญญาณไปจนถึงเวลาที่ 90ms จากนั้น A/D ก็จะหยุดทำงาน ลักษณะการทำงานเช่นนี้ก็เพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะ Transient ของสัญญาณที่ออกมาจาวจรกรองความถี่ในช่วงเวลาแรกๆ และช่วงเวลาที่ก่อนที่สัญญาณที่ กำลังจะเปลี่ยนไปอีกความถี่หนึ่ง

#### 3. การประมวลผลสัญญาณ

ค่าที่แปลงได้จาก A/D ซึ่งเป็นการแปลงสัญญาณอนาล็อกรูปไซน์ จะถูกนำมาหาค่า max และนำมาหาผลหารระหว่างค่า max ของแต่ละความถี่ ถ้าผลหารที่หาได้ของทั้ง 2 ความถี่ 800Hz และ 4000Hz มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0.2 mV ก็จะได้แสดงผลว่าถึงตำแหน่งปลายรากฟัน

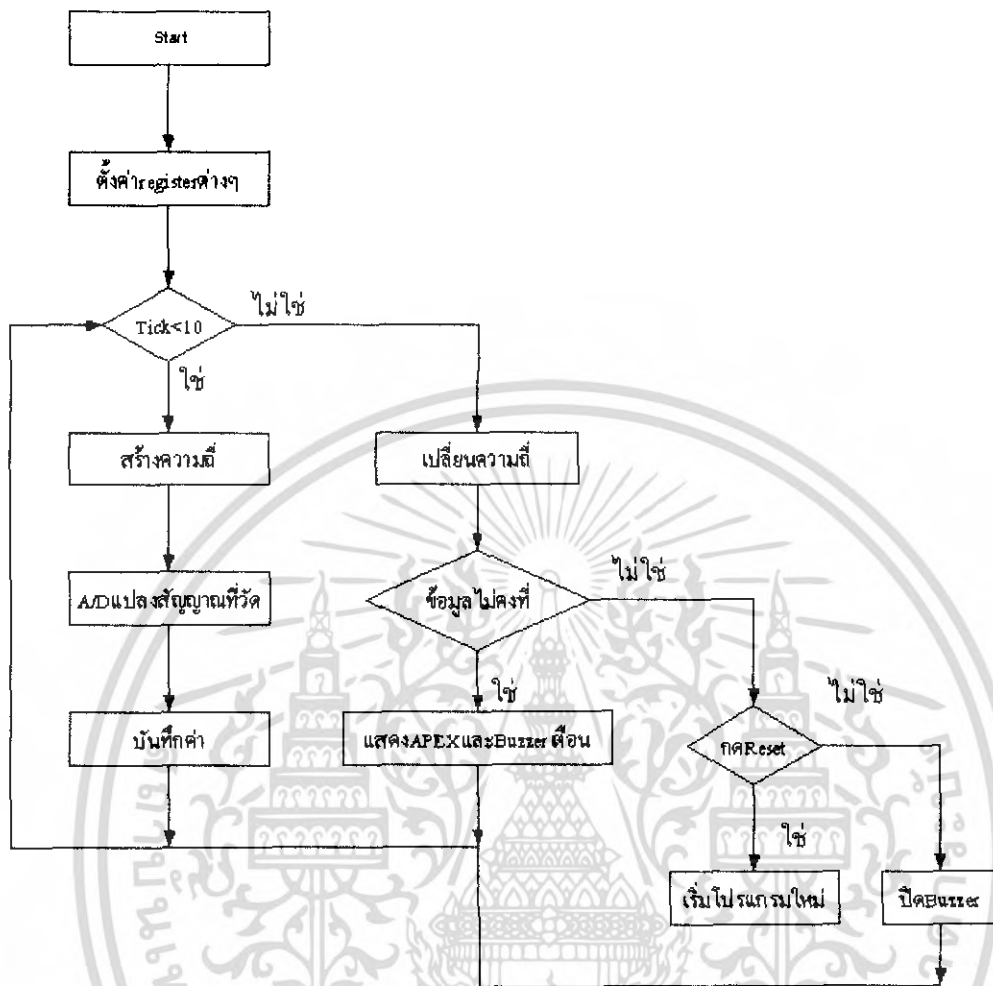
#### 4. การแสดงผล

จะมีรายละเอียดทั้งหมด 3 อย่างบนหน้าจอ LCD ขนาด 16x2 โดยด้านขวาจะแสดงชื่อเครื่อง ด้านซ้ายจะเป็นขีดบอกสถานะ (Bar) เมื่อถึงตำแหน่งของปลายรากฟันจะแสดงคำว่า 'APEX' พร้อมกับมีเสียงเตือน



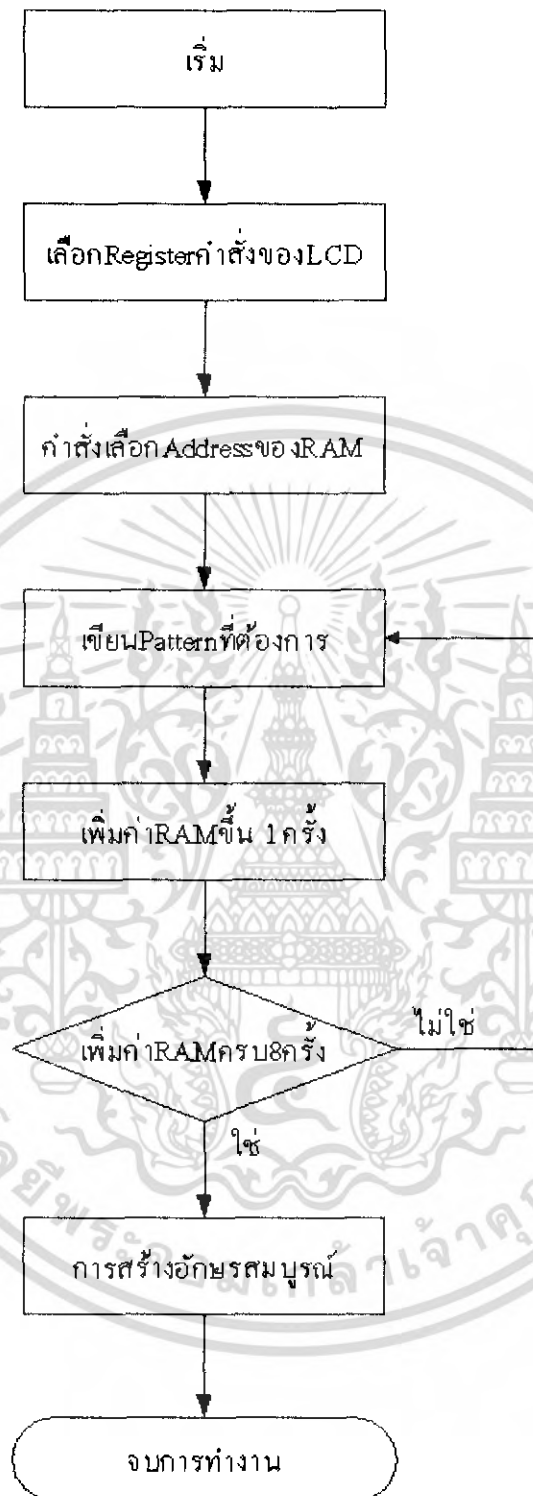
รูปที่3.9 แสดงลักษณะของจอแสดง

หลักในการแสดงขีดสถานะ ขีดสถานะจะถูกแบ่งออกเป็น 12 ช่อง โดยมีการแสดงผล 3 ช่วงๆละ 4 ช่อง ช่วงที่1 สถานะ 4 ช่องแรกบอกถึงตำแหน่งลวดไฟลั้ขณะที่อยู่บน คลองรากฟันอ้างอิงการแสดงผลจากค่าของA/D ที่อยู่ในช่วง 0.5mV ขึ้นไป ช่วงที่2สถานะ 4 ช่องกลาง บอกถึงตำแหน่งลวดไฟลั้ที่เริ่มเข้ามาถึงภายในคลองรากฟัน ค่าA/D อยู่ในช่วง 0.5-0.3mV ช่วงที่3 สถานะ 4 ช่องสุดท้าย บอกถึงตำแหน่งลวดไฟลั้ที่เริ่มเข้าใกล้ปลาย คลองรากฟัน ค่าA/D อยู่ในช่วง 0.3-0.2mV ข้อความ 'APEX' ที่ปรากฏด้านล่างซ้ายของจอ แสดงสถานะว่าลวดไฟลั้อยู่ที่ตำแหน่งปลายรากฟันแล้ว จากนั้นจะมีเสียงเตือนจากBuzzer



รูปที่ 3.10 Flowchart โปรแกรมหลักที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



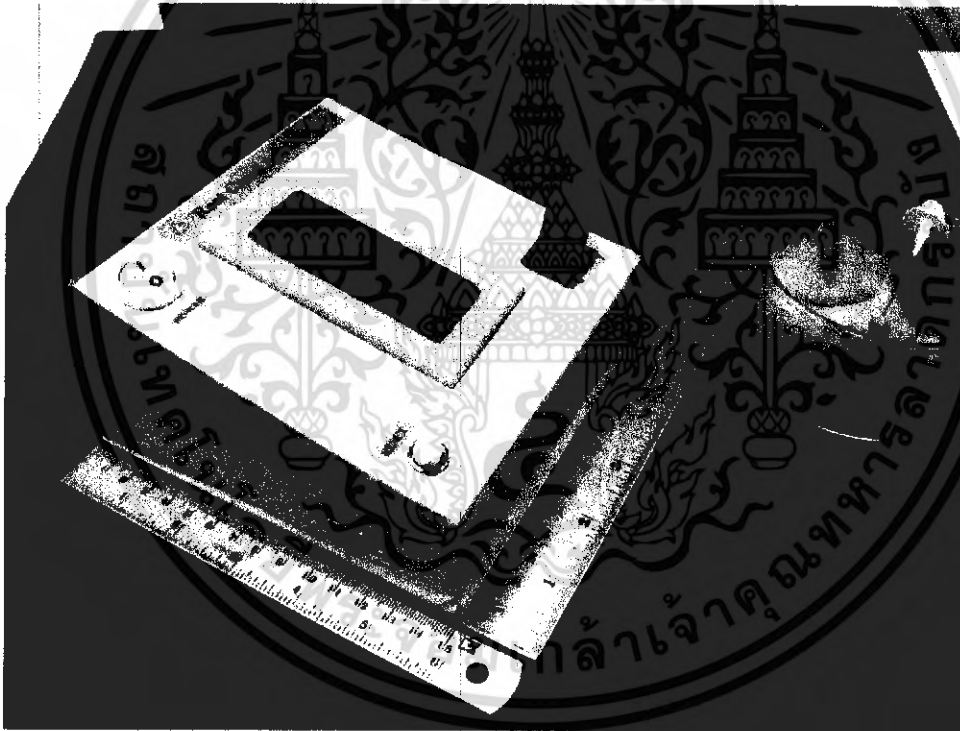
รูปที่ 3.11 Flowchart ชั่วแฉงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ระบบโดยรวมและผลการทำงาน

เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้งาน โดยทันตแพทย์เครื่องวัดตำแหน่งปลายคลองรากฟันจึงมักมีการสร้างขึ้นมาให้มีขนาดกะทัดรัดพกพาสะดวก องค์ประกอบของชิ้นงานและวงจรจึงควรมีขนาดเล็กซึ่งเป็นปัญหาอีกประการหนึ่งของการออกแบบ ในปัจจุบันมักใช้เทคโนโลยีเซอร์เฟสเมท (Surface mount) เนื่องจากโครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาและออกแบบพัฒนาต้นแบบโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป จึงมีข้อจำกัดของขนาดของวงจร อย่างไรก็ตามก็คิดเครื่องมือที่ทำการประกอบสำเร็จแล้วก็มีขนาดที่จัดว่ายอมรับได้โดยมีลักษณะดังรูปที่ 4.1 ซึ่งในที่นี้จะได้พิจารณาทดสอบการทำงานของแต่ละส่วนและผลการทดลองในการนำไปใช้วัดตำแหน่งปลายคลองรากฟันตัวอย่าง



รูปที่ 4.1 แสดงรูปตัวเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 ผลจากการทำงานในส่วนอนาล็อก

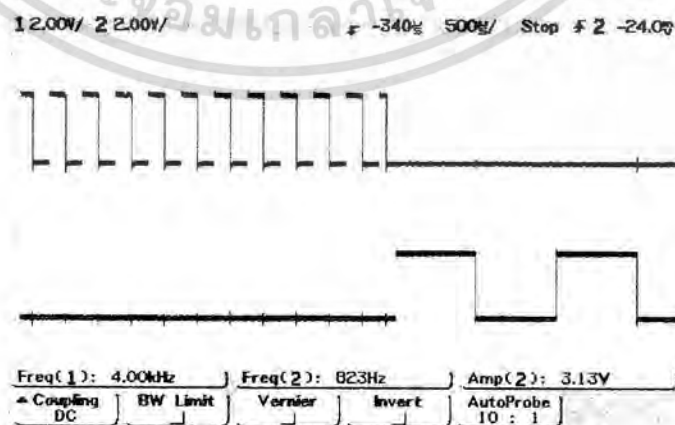
ในการนำส่วนของวงจรมาใช้งานซึ่งได้เลือกใช้ชิพ LM324 ซึ่งเป็นชิพที่มีโอปแอมภายในสี่ตัวจึงนำมาใช้เป็นส่วนประกอบทั้งหมดซึ่งจะกินไฟช่วง 0 – 5 Volts เท่านั้นทำให้ประหยัดพลังงานแสดงดังรูปที่4.2 ได้ผลการทดลองของส่วนต่างๆดังนี้



รูปที่4.2 ส่วนประกอบทั้งหมดของวงจร

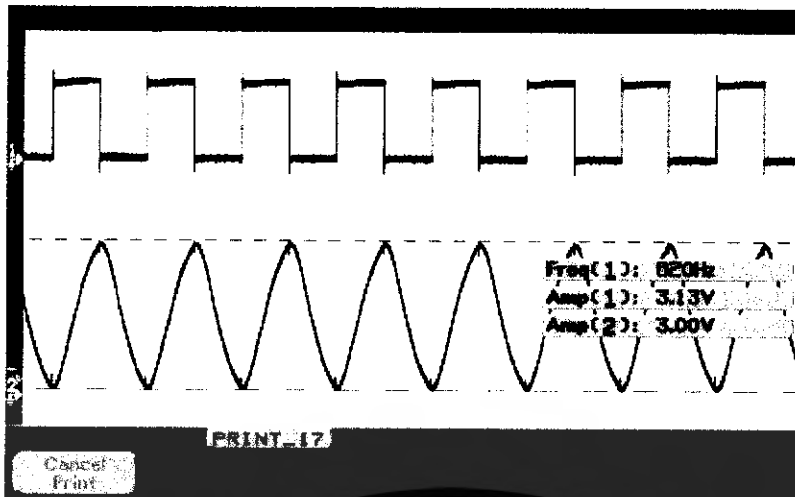
##### 4.1.1 สัญญาณที่ออกจากวงจร Low pass

ทำการทดสอบ โดยป้อนสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเป็นอินพุตของวงจรดังรูปที่ 4.3ก เพื่อดูการตอบสนองการทำงานของวงจร โดยที่วงจรจะยอมให้ฮาร์โมนิก (Harmonic) ที่หนึ่งของสัญญาณทางอินพุตผ่านไปได้ จึงจำเป็นที่จะต้องใช่วงจร Low pass filter 2 วงจร เมื่อพิจารณาสัญญาณทางเอาต์พุตพบว่าจะได้สัญญาณรูปซายน์ที่มีขนาดของแอมพลิจูด และมีความถี่เท่ากับฮาร์โมนิกที่หนึ่งของสัญญาณอินพุต โดยแสดงดังรูปที่4.3ข ที่ความถี่ 800 Hz และรูปที่4.3ค ที่ความถี่ 4.000Hz

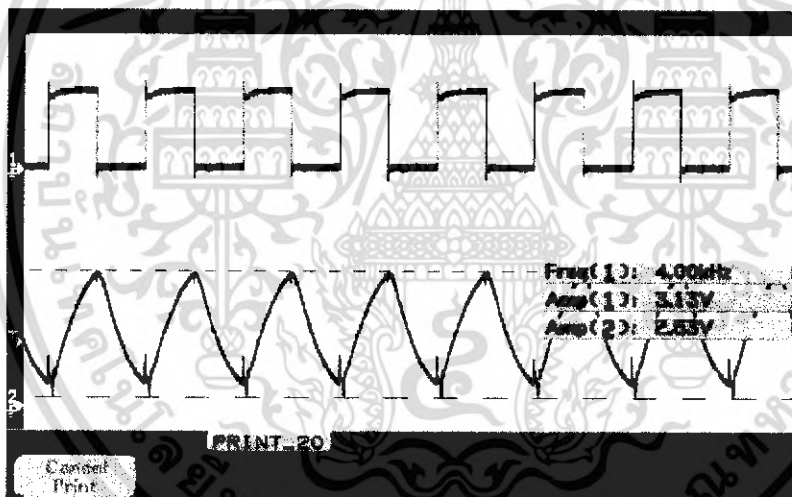


รูปที่ 4.3ก แสดงสัญญาณความถี่ 800Hzที่ก่อนออกจากวงจร Low pass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ข แสดงสัญญาณความถี่ 800 Hz ที่ออกจากวงจร Low pass

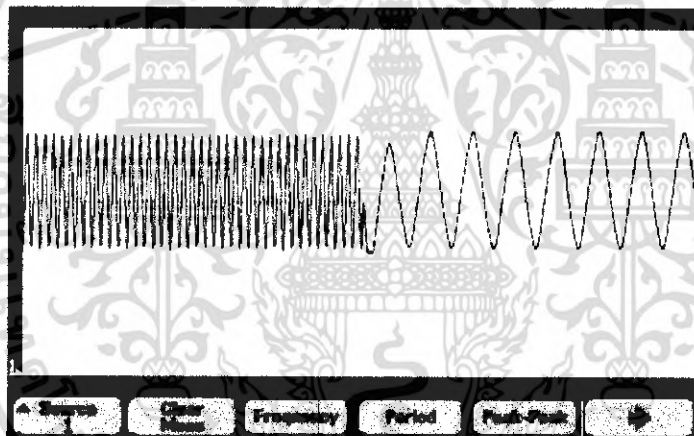


รูปที่ 4.3 ค แสดงสัญญาณความถี่ 4 KHz ที่ออกจากวงจร Low pass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 สัญญาณที่ออกจากวงจรรวมสัญญาณที่มีความถี่ 800 Hz และ 4 KHz

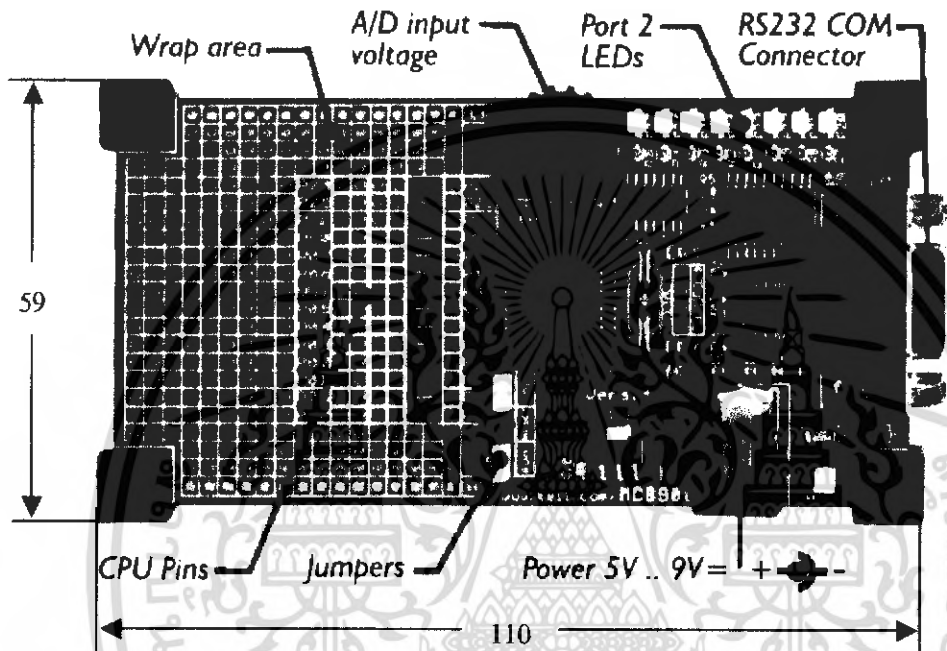
เมื่อจำเป็นที่จะต้องทำการรวมสัญญาณ 2 สัญญาณ คือ สัญญาณติดดับของความถี่ 800 Hz และ 4,000 Hz จึงจำเป็นต้องใช้วงจรรวมสัญญาณ (Summing Amplifier) เพื่อทำการรวมสัญญาณ เพื่อป้อนสัญญาณทั้งสองเข้าไปในออปแอมป์จะทำการรวมสัญญาณ โดยที่เมื่อมีสัญญาณความถี่ 800 Hz เข้ามา จะนำเอาแอมพลิจูดของ 800 Hz มาบวกกับแอมพลิจูดของ 4,000 Hz ที่มีค่าเท่ากับ 0 พิจารณาสัญญาณเอาต์พุตพบว่า สัญญาณที่ได้มีความถี่ 800 Hz และมีขนาด 3.3 V. เมื่อเวลาผ่าน ออปแอมป์ ไป 100 ms พิจารณาสัญญาณอินพุต เมื่อสัญญาณ 800 Hz แอมพลิจูดเท่ากับ 0 และ 4,000 Hz เท่ากับ 3.3 V. ออปแอมป์จะนำแอมพลิจูดของ 2 ความถี่มาบวกกัน เหมือนกับที่ 100 ms แรกเมื่อพิจารณาสัญญาณเอาต์พุต จะพบว่า จะมีความถี่ 4,000 Hz และมี แอมพลิจูดเท่ากับ 3.3 V. รูปสัญญาณทางด้านเอาต์พุตจะเปลี่ยนจาก 800 Hz ไปเป็น 4,000 ของทุก ๆ 100 ms โดยมีแอมพลิจูดเท่ากัน โดยแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สัญญาณความถี่จากวงจรรวมสัญญาณขณะเปลี่ยนจาก 800 Hz ไปเป็น 4 KHz

#### 4.2 ผลของการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งาน

การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งานด้วยบอร์ดพัฒนาโปรแกรมรุ่น MCB900 ของบริษัท KEIL เป็นบอร์ดพัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8bits ตระกูล 8051ของบริษัทฟิลิปส์ รหัส P89LPC938 ทำเขียนโปรแกรมด้วยโปรแกรม Keil UVision เวอร์ชัน 3 ซึ่งเป็นภาษาC และทำการอัปเดตโปรแกรมด้วยโปรแกรม Flash magic บอร์ดมีขนาด กว้าง 59 มิลลิเมตร ยาว 110 มิลลิเมตร ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังรูปที่ 4.5



รูปที่4.5 บอร์ดพัฒนาโปรแกรม

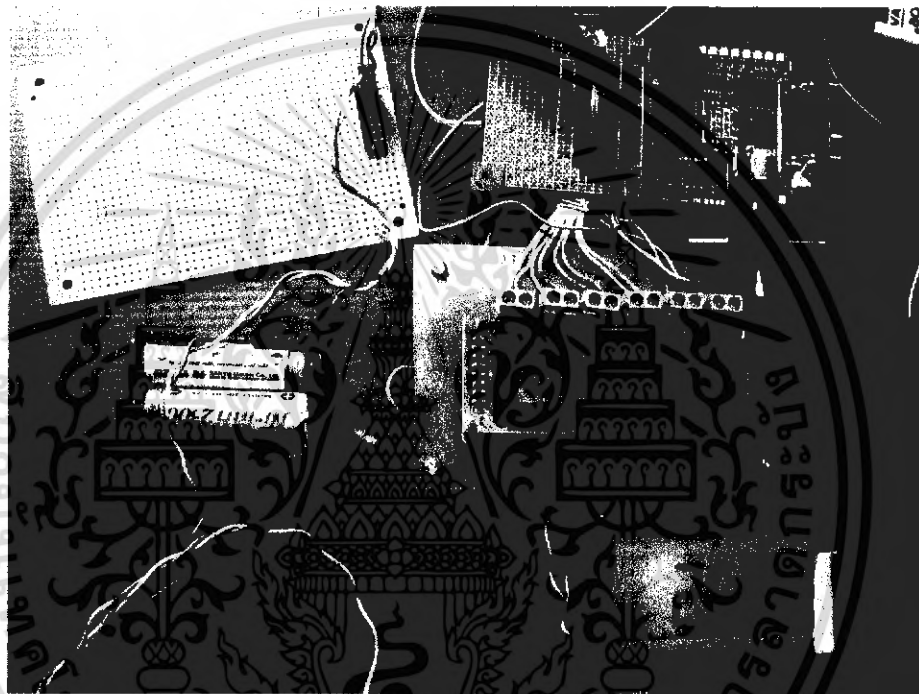
อุปกรณ์บนบอร์ดประกอบด้วย

- วงจรจ่ายไฟขนาดแรงดัน3.3โวลต์
- วงจรติดต่อคอมพิวเตอร์ด้วยRS-232
- ไฟ LED ต่ออยู่กับ P2.0-2.7 สำหรับทดสอบโปรแกรม
- ตัวต้านทานปรับค่าได้ต่ออยู่ที่ P0.3 (AD02) เลือกใช้โดยการเปลี่ยน Jumper สำหรับทดสอบการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล
- พื้นที่สำหรับบัดกรีวงจรอิเล็กทรอนิกส์และขา jumper ที่ต่ออยู่กับ Port ต่างๆ
- มีจุดบัดกรีสำหรับการต่อออสซิลเลเตอร์ภายนอก เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงานของชิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 การนำA/Dนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งาน

ค่าความต่างศักย์ที่วัดจากถ่านขนาดAAด้วย มัลติมิเตอร์มีค่า 2.65 โวลต์ จากนั้นจึงทดลองต่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ที่P0.1 (AD00) แล้วทำการแปลงค่าพบว่าถูกต้อง A/DทำงานในMode single conversion ดังรูปที่4.6

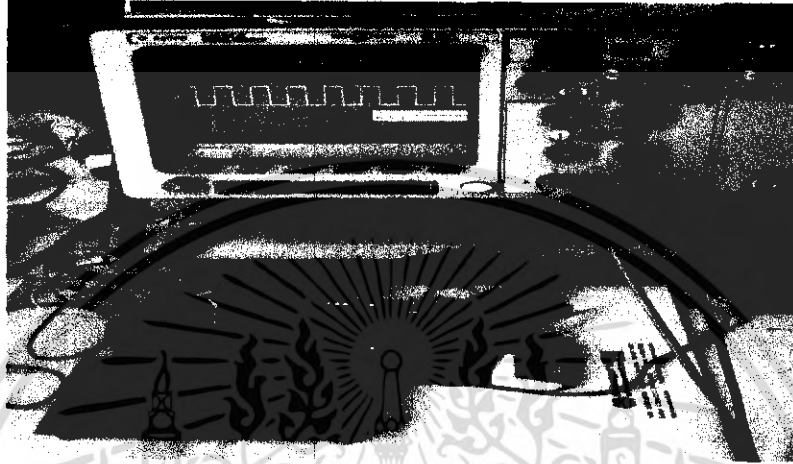


รูปที่4.6 แสดงการทดลองA/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณออสซิลเลเตอร์

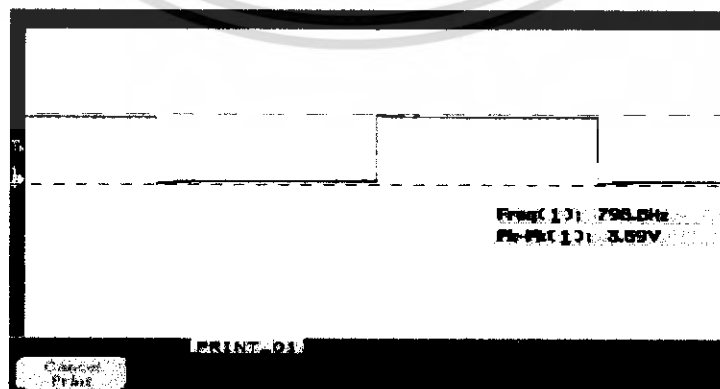
ทดสอบสร้างสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยTimer0 ทั้งสองความถี่ 4KHz และ 800 Hz ตามลำดับแล้วทดสอบจับสัญญาณด้วย Digital Oscilloscope ดังรูป4.7กและ ได้ผลดังรูปที่4.7ข และ 4.7ค



รูปที่ 4.7ก ทดสอบจับสัญญาณด้วย Digital Oscilloscope



รูปที่4.7ข แสดงความถี่ 4KHzที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่4.7ค แสดงความถี่ 800 Hzที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 การสร้างอักษรใหม่บนLCDที่มีขนาด 5x8 จุด

ปกติแล้วLCDจะถูกออกแบบมาให้ใช้งานในแวนอนแต่เนื่องจากการนำมาใช้งานในการแสดงผลให้เหมาะสมกับการแสดงตำแหน่งปลายคลองรากฟันซึ่งต้องปรับให้LCDแสดงผลในแนวตั้งและความจำเป็นที่จะต้องแสดงผลชื่อเครื่องกับคำว่า'APEX'จึงทำให้ต้องสร้างตัวอักษรขึ้นใหม่ในแนวตั้งโดยมีวิธีการสร้างดังต่อไปนี้

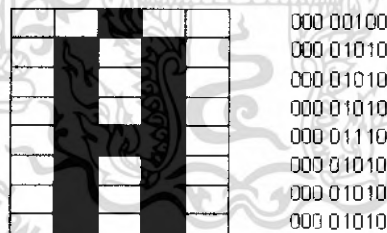
1. สั่งให้LCDรับข้อมูลแล้วเขียนลงในรีจิสเตอร์คำสั่ง
2. โดยแอดเดรสที่จะเริ่มเขียนคือแอดเดรสที่ 00H
3. จากนั้นเขียนแพทเทิร์น (Pattern) ที่ต้องการลงแอดเดรสที่กำหนด
4. ถ้าต้องการให้จุดตำแหน่งใดติดให้กำหนดจุดนั้นเป็น 1 ดังรูป



5. จากรูปจะได้ค่าแพทเทิร์นเพื่อเขียนลงแอดเดรส 00H คือ 00001010 หรือ 0AH
6. เปลี่ยนตำแหน่งแอดเดรสถัดไป
7. และเขียนแพทเทิร์นที่ต้องการลงไปเรื่อยๆจนครบ8ครั้งก็จะสร้างตัวอักษรได้แล้ว

จากการทดลองแสดงผลบนจอ LCD จะเห็นว่าด้านขวาจะแสดงชื่อเครื่องดังรูปที่ 4.8ข ด้านซ้ายจะเป็นขีดบอกสถานะ (Bar) เมื่อถึงตำแหน่งของปลายรากฟันจะแสดงคำว่า 'APEX' ดังรูปที่

4.8ค



รูปที่4.8ก แสดงตัวอย่างอักษรที่สร้าง



รูปที่ 4.8ข แสดงอักษรที่เป็นแสดงชื่อเครื่อง

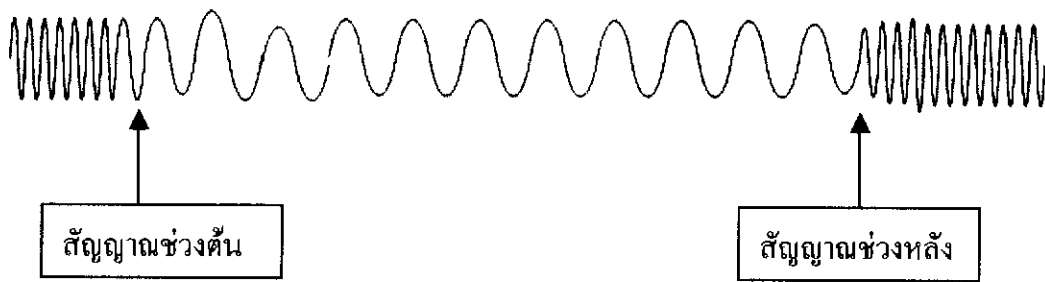


รูปที่ 4.8ค แสดงขีดบอกสถานะ (Bar) เมื่อถึงตำแหน่งของปลายรากฟัน

#### 4.2.4 การแปลงสัญญาณ 2 ความถี่

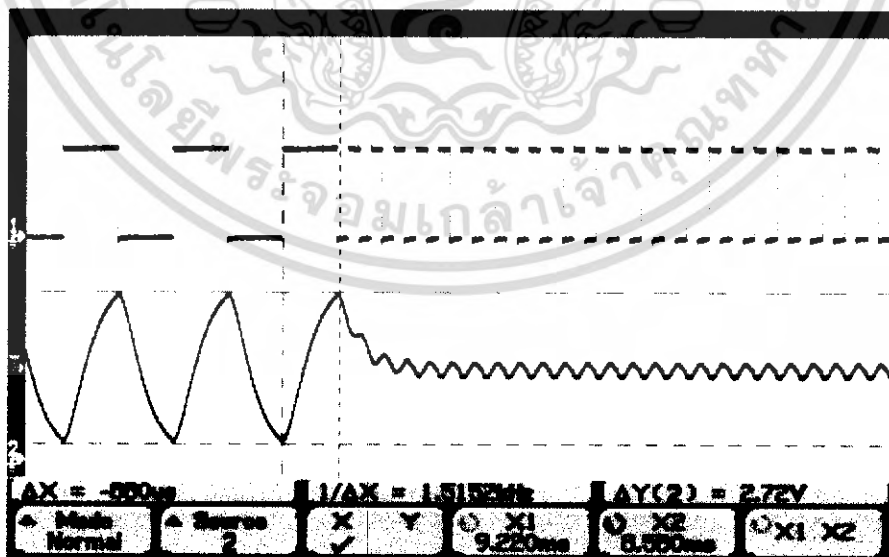
การแปลงสัญญาณจะใช้เวลาในการแปลงทั้งหมด 70 ms สามารถทำได้โดยกำหนดคาบเปิด-ปิดของ A/D ผ่านตัวแปร tick โดย A/D จะทำงานเมื่อเวลาเท่ากับ 20ms และจะทำการแปลงสัญญาณไปจนถึงเวลาที่ 90ms จากนั้น A/D ก็จะหยุดทำงาน ลักษณะการทำงานเช่นนี้ก็เพื่อหลีกเลี่ยงสถานะ Transient ของสัญญาณที่เกิดจากการสร้างสัญญาณรูปไซน์ผ่านวงจรกรองความถี่ที่สามารถเกิดสถานะ Transient ได้สองลักษณะคือ ตอนเปลี่ยนสัญญาณช่วงต้น และ ตอนเปลี่ยนสัญญาณช่วงหลังดังรูปที่ 4.9ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



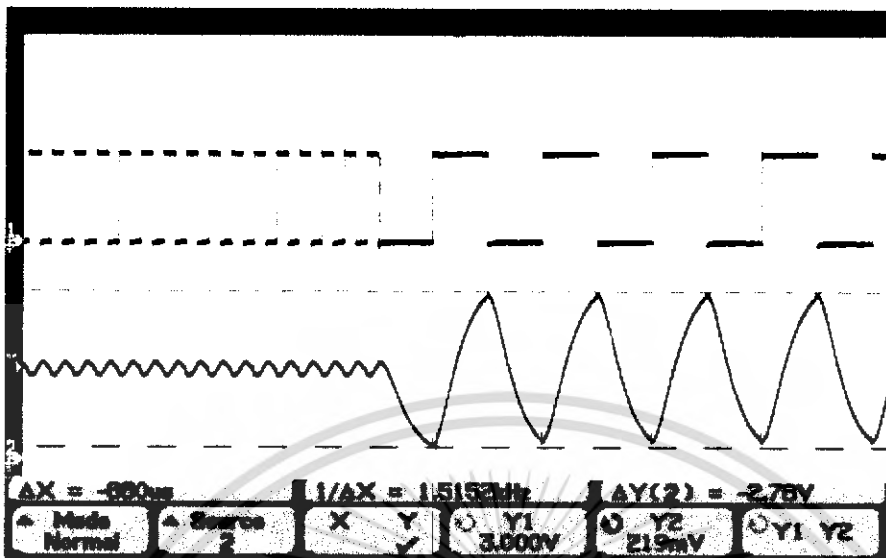
รูปที่ 4.9ก แสดงลักษณะการเกิดสภาวะ

จากการทดลองพบว่าตอนเปลี่ยนสัญญาณช่วงแรกมีโอกาสเกิดสภาวะ Transient นานกว่าตอนเปลี่ยนสัญญาณช่วงหลัง โดยทดลองวิเคราะห์เวลาการเกิด transient ด้วย Digital Oscilloscope ดังรูปที่ 4.9ข และ 4.9ค ดังนั้นการเขียน โปรแกรมจึงต้องสั่งให้ A/D ทำงานหลังจากพ้นสภาวะ transient ไปแล้ว โดยกำหนดว่าเมื่อเกิดเปลี่ยนสัญญาณช่วงแรก ให้ปล่อยเวลาผ่านไป 20ms ก่อนจากนั้นจึงสั่ง A/D ให้ทำงานและเมื่อเวลามีค่าเท่ากับ 90ms แล้วจึงสั่งให้ A/D หยุดทำงาน สามารถสรุปการหลีกเลี่ยงสภาวะ Transient ด้วย โปรแกรมได้ ดังรูป 4.9ง

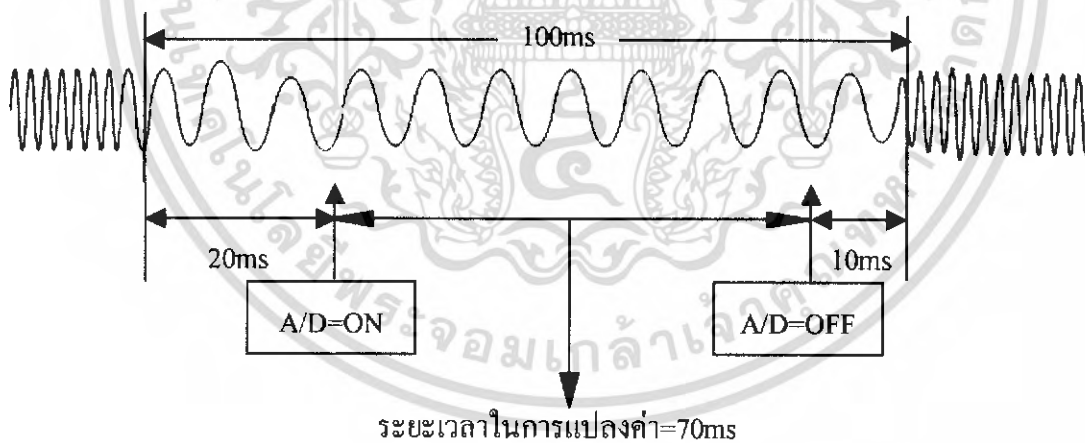


รูปที่ 4.9ข แสดง Transient ตอนเปลี่ยนสัญญาณจาก 800Hz เป็น 4,000Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9ก แสดง Transient ตอนเปลี่ยนสัญญาณจาก 4,000Hz เป็น 800Hz

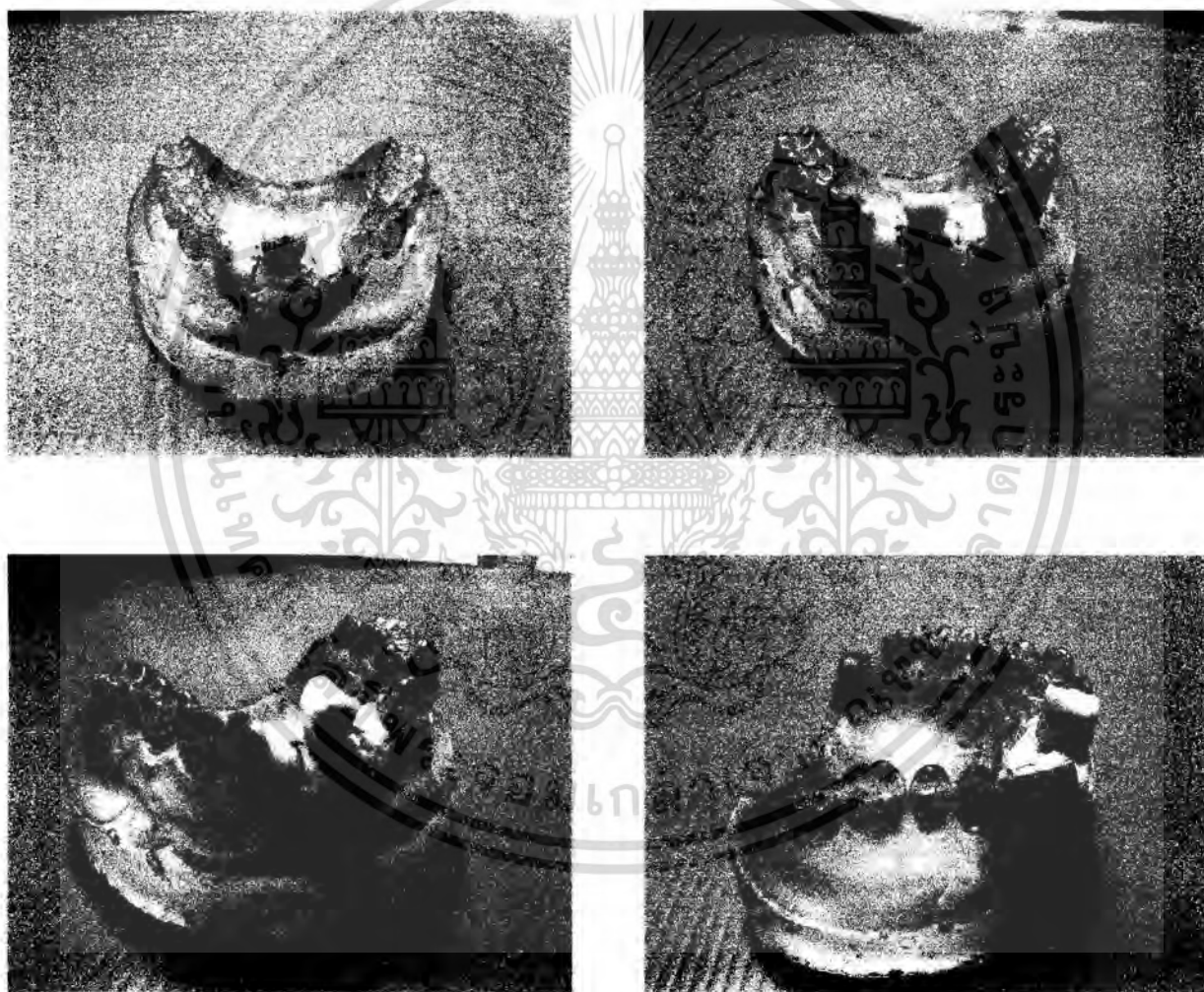


รูปที่ 4.9ง แสดงการทำงานของ A/D เพื่อหลีกเลี่ยงสถานะ Transient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ของ Apical section กับค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณสองความถี่

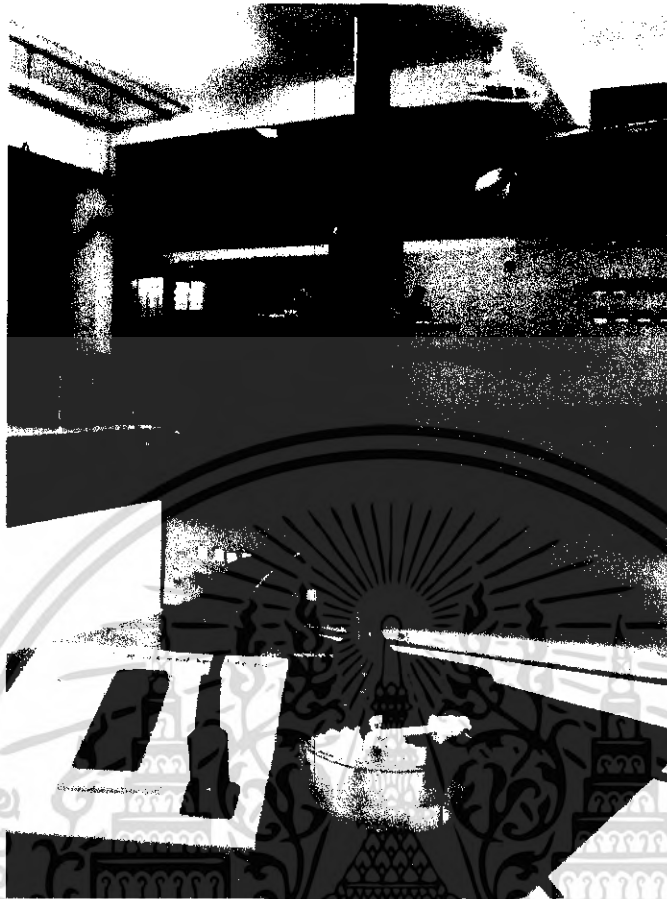
ในการทดลองวิจัยโครงการนี้เมื่อทำการประกอบวงจรต่างจนเป็นตู้เครื่องเสร็จแล้วทำการเก็บผลค่า ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลต่างและผลหารของสัญญาณ Peak to Peak ระหว่างสัญญาณสองความถี่ สำหรับพื้นตัวอย่างทั้ง 4 คือ 1 เป็นพื้นหน้าล่าง , 2 เป็นพื้นหน้าล่าง , 3 เป็นพื้นกรามล่าง , 4 เป็นพื้นกรามบน ซึ่งมีลักษณะดังรูป 4.10 จะกระทำในสารละลาย NaOCl เข้มข้น 2.5 %w/w โดยเตรียมการทดลองดังรูป 4.11



รูปที่ 4.10 แสดงฟันทั้ง 4 ซี่

(1 เป็นพื้นหน้าล่าง , 2 เป็นพื้นหน้าล่าง , 3 เป็นพื้นกรามล่าง , 4 เป็นพื้นกรามบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงการเตรียมการทดลอง

#### 4.3.1 ผลการทดลองค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 1

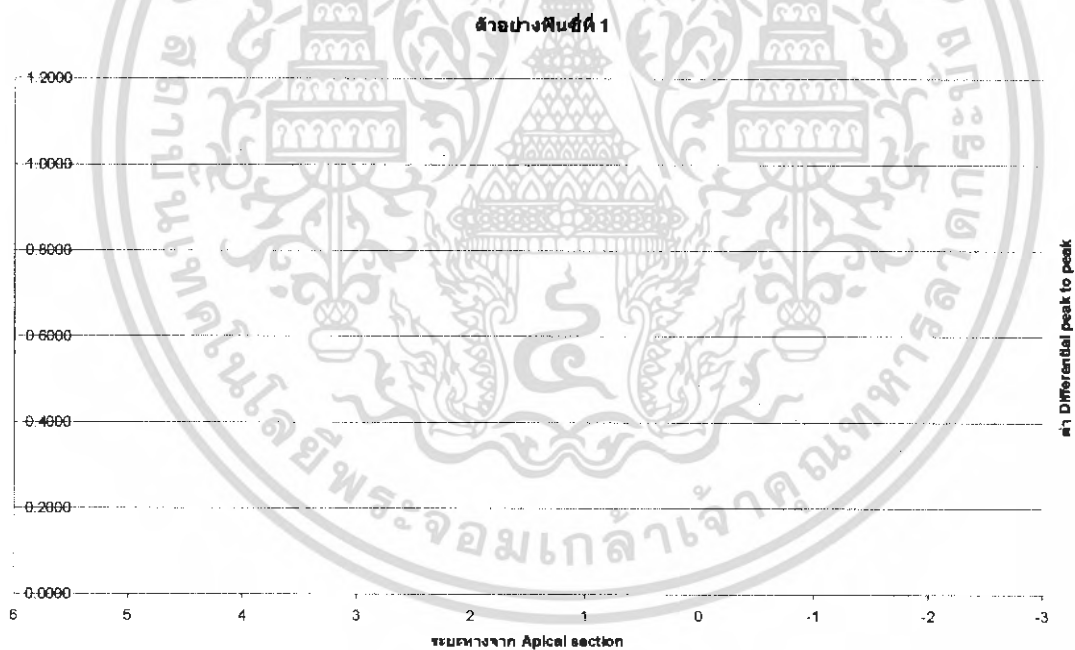
ค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณ Peak to Peak ระหว่างสัญญาณสองความถี่ สำหรับฟันตัวอย่างซี่ที่ 1 กระทำในสารละลาย NaOCl เข้มข้น 2.5 %w/w จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1ก และ 4.1ข นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.12ก และ 4.12ข ตามลำดับ

#### ตารางที่ 4.1ก ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลหารของสัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 1

ระยะทาง(mm)	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	1.037	1.036	1.037	1.0367
4.75	1.028	1.033	1.036	1.0323
4.5	1.020	1.039	1.037	1.0320
4.25	1.024	1.031	1.032	1.0290
4	1.028	1.033	1.031	1.0307
3.75	1.024	1.025	1.027	1.0253
3.5	1.022	1.023	1.029	1.0247
3.25	1.021	1.024	1.030	1.0250
3	1.021	1.023	1.032	1.0253

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.75	1.021	1.031	1.031	1.0277
2.5	1.033	1.025	1.025	1.0277
2.25	1.022	1.023	1.021	1.0220
2	1.018	1.021	1.014	1.0177
1.75	1.009	1.003	1.008	1.0067
1.5	1.000	0.999	0.989	0.9960
1.25	1.000	0.989	0.921	0.9700
1	0.875	0.789	0.777	0.8137
0.75	0.702	0.697	0.699	0.6993
0.5	0.663	0.633	0.645	0.6470
0.25	0.566	0.513	0.519	0.5327
0	0.470	0.489	0.499	0.4860
-0.25	0.488	0.456	0.465	0.4697
-0.5	0.444	0.450	0.451	0.4483
-0.75	0.407	0.411	0.435	0.4177
-1	0.377	0.391	0.391	0.3863
-1.25	0.359	0.365	0.366	0.3633
-1.5	0.350	0.345	0.353	0.3493
-1.75	0.340	0.334	0.333	0.3357
-2	0.331	0.331	0.299	0.3203



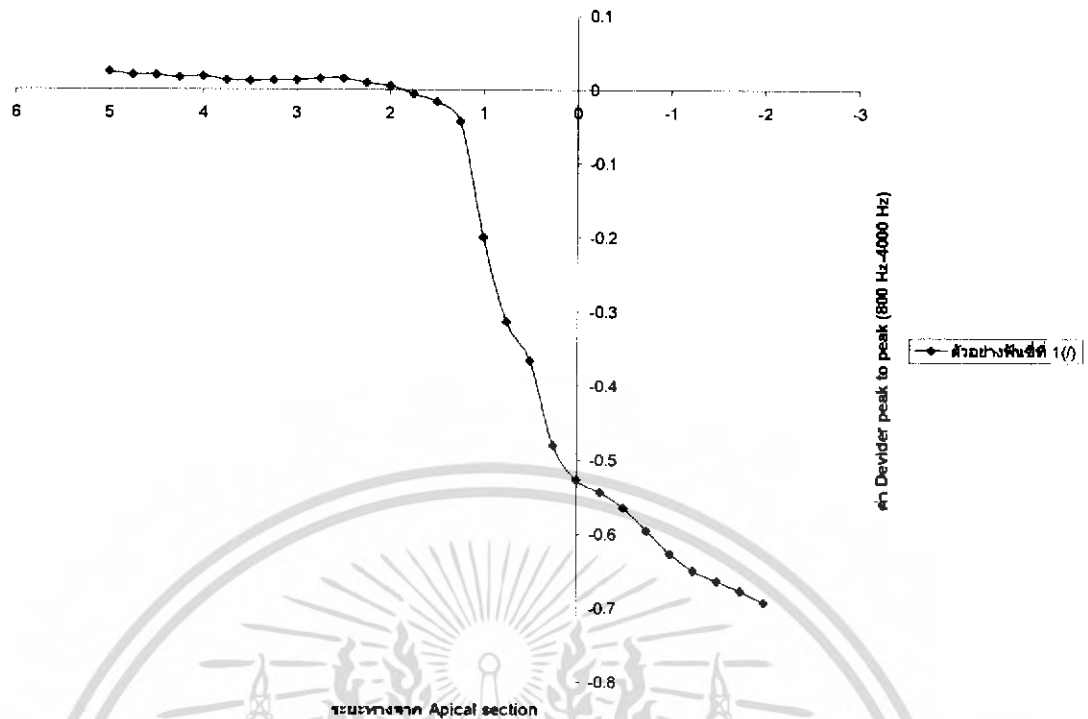
รูปที่ 4.12ก แสดงกราฟผลหารของฟันซี่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1x ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลต่างของสัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 1

ระยะทาง(mm)	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	0.024	0.023	0.024	0.023667
4.75	0.015	0.020	0.023	0.019333
4.5	0.007	0.026	0.024	0.019
4.25	0.011	0.018	0.019	0.016
4	0.015	0.020	0.018	0.017667
3.75	0.011	0.012	0.014	0.012333
3.5	0.009	0.010	0.016	0.011667
3.25	0.008	0.011	0.017	0.012
3	0.008	0.010	0.019	0.012333
2.75	0.008	0.018	0.018	0.014667
2.5	0.020	0.012	0.012	0.014667
2.25	0.009	0.010	0.008	0.009
2	0.005	0.008	0.001	0.004667
1.75	-0.004	-0.010	-0.005	-0.00633
1.5	-0.013	-0.014	-0.024	-0.017
1.25	-0.013	-0.024	-0.092	-0.043
1	-0.138	-0.224	-0.236	-0.19933
0.75	-0.311	-0.316	-0.314	-0.31367
0.5	-0.350	-0.380	-0.368	-0.366
0.25	-0.447	-0.500	-0.494	-0.48033
0	-0.543	-0.524	-0.514	-0.527
-0.25	-0.525	-0.557	-0.548	-0.54333
-0.5	-0.569	-0.563	-0.562	-0.56467
-0.75	-0.606	-0.602	-0.578	-0.59533
-1	-0.636	-0.622	-0.622	-0.62667
-1.25	-0.654	-0.648	-0.647	-0.64967
-1.5	-0.663	-0.668	-0.660	-0.66367
-1.75	-0.673	-0.679	-0.680	-0.67733
-2	-0.682	-0.682	-0.714	-0.69267

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12ข แสดงกราฟผลต่างของฟันซี่ที่ 1

#### 4.3.2 ผลการทดลองค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 2

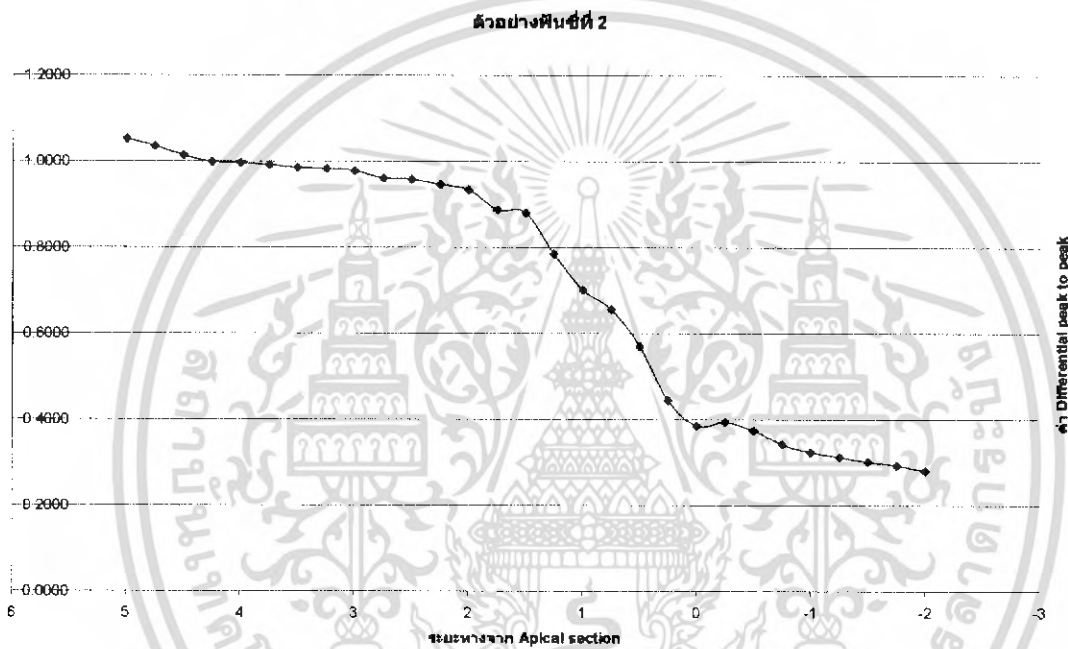
ค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณ Peak to Peak ระหว่างสัญญาณสองความถี่ สำหรับฟันตัวอย่างซี่ที่ 2 กระทำในสารละลาย NaOCl เข้มข้น 2.5 %w/w จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2ก และ 4.2ข นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.13a และ 4.13b ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2ก ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลหารของสัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 2

ระยะทาง(mm)	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	0.905	1.230	1.020	1.0517
4.75	0.905	1.180	1.019	1.0347
4.5	0.905	1.100	1.034	1.0130
4.25	0.905	1.050	1.039	0.9980
4	0.905	1.040	1.041	0.9953
3.75	0.905	1.023	1.044	0.9907
3.5	0.905	1.006	1.043	0.9847
3.25	0.903	0.999	1.043	0.9817
3	0.900	0.995	1.036	0.9770
2.75	0.896	0.982	1.002	0.9600
2.5	0.890	0.979	1.003	0.9573
2.25	0.886	0.950	1.000	0.9453
2	0.880	0.909	1.009	0.9327
1.75	0.820	0.860	0.982	0.8873
1.5	0.818	0.877	0.946	0.8803
1.25	0.707	0.810	0.836	0.7843

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำมาใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นเป็นประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	0.654	0.686	0.763	0.7010
0.75	0.572	0.675	0.722	0.6563
0.5	0.557	0.559	0.590	0.5687
0.25	0.445	0.455	0.432	0.4440
0	0.405	0.387	0.360	0.3840
-0.25	0.392	0.394	0.393	0.3930
-0.5	0.370	0.369	0.380	0.3730
-0.75	0.338	0.333	0.354	0.3417
-1	0.322	0.318	0.329	0.3230
-1.25	0.309	0.310	0.317	0.3120
-1.5	0.295	0.303	0.304	0.3007
-1.75	0.288	0.296	0.291	0.2917
-2	0.270	0.285	0.282	0.2790



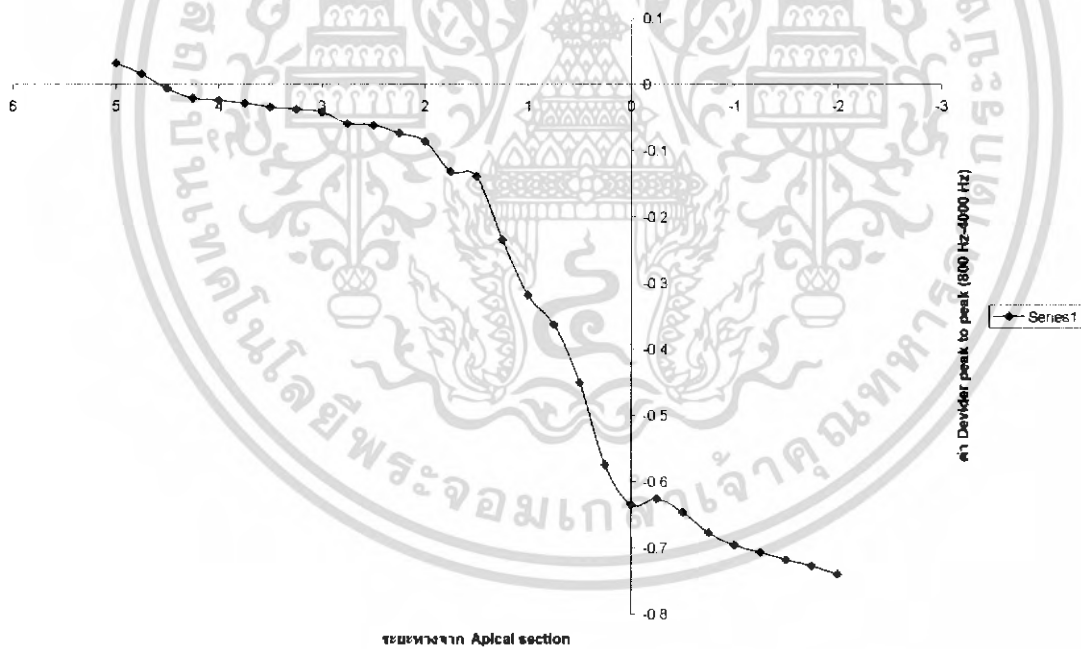
รูปที่ 4.13ก แสดงกราฟผลหารของฟันซี่ 2

ตารางที่ 4.2ก ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลต่างของสัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 2

ระยะทาง(mm)	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	-0.114	0.211	0.001	0.032667
4.75	-0.114	0.161	0.000	0.015667
4.5	-0.114	0.081	0.015	-0.006
4.25	-0.114	0.031	0.020	-0.021
4	-0.114	0.021	0.022	-0.02367
3.75	-0.114	0.004	0.025	-0.02833
3.5	-0.114	-0.013	0.024	-0.03433
3.25	-0.116	-0.020	0.024	-0.03733
3	-0.119	-0.024	0.017	-0.042
2.75	-0.123	-0.037	-0.017	-0.059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5	-0.129	-0.040	-0.016	-0.06167
2.25	-0.133	-0.069	-0.019	-0.07367
2	-0.139	-0.110	-0.010	-0.08633
1.75	-0.199	-0.159	-0.037	-0.13167
1.5	-0.201	-0.142	-0.073	-0.13867
1.25	-0.312	-0.209	-0.183	-0.23467
1	-0.365	-0.333	-0.256	-0.318
0.75	-0.447	-0.344	-0.297	-0.36267
0.5	-0.462	-0.460	-0.429	-0.45033
0.25	-0.574	-0.564	-0.587	-0.575
0	-0.614	-0.632	-0.659	-0.635
-0.25	-0.627	-0.625	-0.626	-0.626
-0.5	-0.649	-0.650	-0.639	-0.646
-0.75	-0.681	-0.686	-0.665	-0.67733
-1	-0.697	-0.701	-0.690	-0.696
-1.25	-0.710	-0.709	-0.702	-0.707
-1.5	-0.724	-0.716	-0.715	-0.71833
-1.75	-0.731	-0.723	-0.728	-0.72733
-2	-0.749	-0.734	-0.737	-0.74



รูปที่ 4.13 ข แสดงกราฟผลต่างของฟันซี่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 ผลการทดลองค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 3

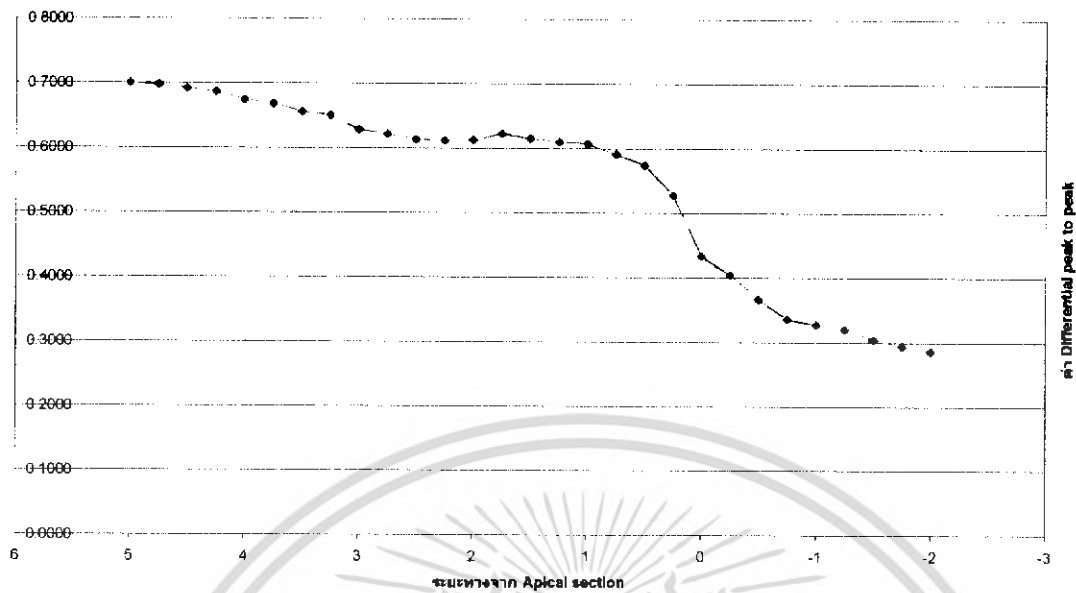
ค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณ Peak to Peak ระหว่างสัญญาณสองความถี่ สำหรับฟันตัวอย่างซี่ที่ 3 กระทำในสารละลาย NaOCl เข้มข้น 2.5 %w/w จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3ก และ 4.3ข นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.14ก และ 4.14ข ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3ก ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลหารของสัญญาณ Peak to Peak ฟันซี่ที่ 3

ระยะทาง(mm)	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	0.688	0.705	0.707	0.7000
4.75	0.682	0.703	0.706	0.6970
4.5	0.681	0.704	0.689	0.6913
4.25	0.681	0.698	0.681	0.6867
4	0.676	0.669	0.677	0.6740
3.75	0.659	0.664	0.681	0.6680
3.5	0.648	0.646	0.674	0.6560
3.25	0.651	0.636	0.664	0.6503
3	0.600	0.634	0.650	0.6280
2.75	0.600	0.625	0.640	0.6217
2.5	0.600	0.610	0.630	0.6133
2.25	0.600	0.609	0.627	0.6120
2	0.600	0.623	0.615	0.6127
1.75	0.621	0.630	0.617	0.6227
1.5	0.610	0.620	0.616	0.6153
1.25	0.606	0.613	0.614	0.6110
1	0.593	0.616	0.612	0.6070
0.75	0.580	0.583	0.610	0.5910
0.5	0.570	0.562	0.590	0.5740
0.25	0.447	0.555	0.580	0.5273
0	0.403	0.452	0.445	0.4333
-0.25	0.387	0.414	0.410	0.4037
-0.5	0.354	0.379	0.366	0.3663
-0.75	0.323	0.351	0.333	0.3357
-1	0.320	0.332	0.329	0.3270
-1.25	0.318	0.322	0.321	0.3203
-1.5	0.307	0.300	0.305	0.3040
-1.75	0.294	0.290	0.299	0.2943
-2	0.280	0.287	0.290	0.2857

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างฟันซี่ที่ 3



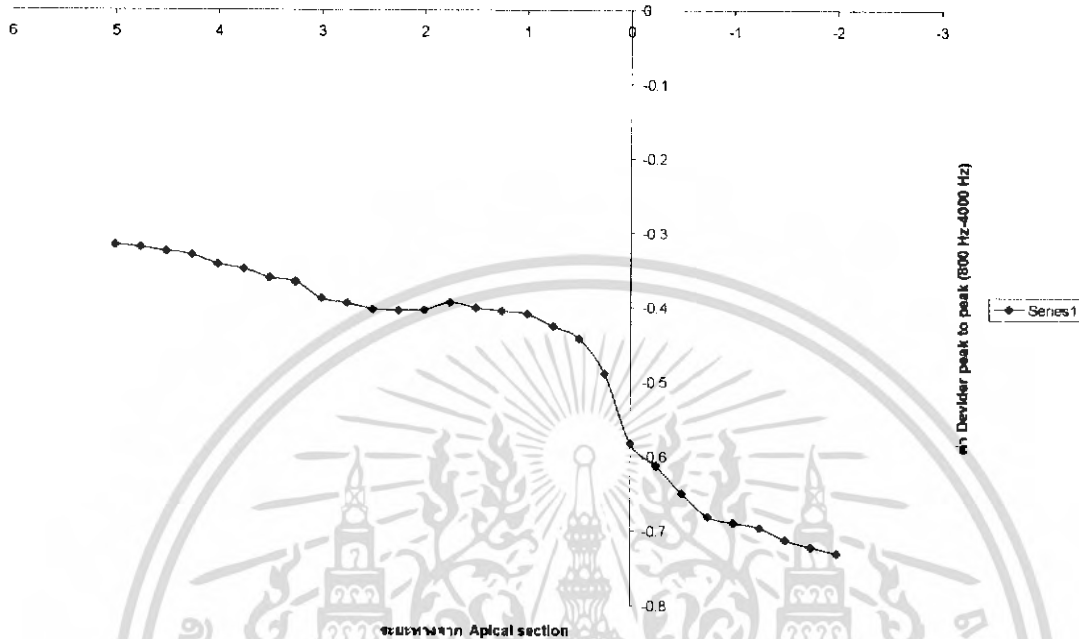
รูปที่ 4.14ก แสดงกราฟผลหารของฟันซี่ที่ 3

ตารางที่ 4.3ข ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลต่างของสัญญาณ Peak to Peak ฟันซี่ที่ 3

ระยะทาง(mm)	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	-0.328	-0.311	-0.309	-0.316
4.75	-0.334	-0.313	-0.310	-0.319
4.5	-0.335	-0.312	-0.327	-0.32467
4.25	-0.335	-0.318	-0.335	-0.32933
4	-0.340	-0.347	-0.339	-0.342
3.75	-0.357	-0.352	-0.335	-0.348
3.5	-0.368	-0.370	-0.342	-0.36
3.25	-0.365	-0.380	-0.352	-0.36567
3	-0.416	-0.382	-0.366	-0.388
2.75	-0.416	-0.391	-0.376	-0.39433
2.5	-0.416	-0.406	-0.386	-0.40267
2.25	-0.416	-0.407	-0.389	-0.404
2	-0.416	-0.393	-0.401	-0.40333
1.75	-0.395	-0.386	-0.399	-0.39333
1.5	-0.406	-0.396	-0.400	-0.40067
1.25	-0.410	-0.403	-0.402	-0.405
1	-0.423	-0.400	-0.404	-0.409
0.75	-0.436	-0.433	-0.406	-0.425
0.5	-0.446	-0.454	-0.426	-0.442
0.25	-0.569	-0.461	-0.436	-0.48867
0	-0.613	-0.564	-0.571	-0.58267
-0.25	-0.629	-0.602	-0.606	-0.61233
-0.5	-0.662	-0.637	-0.650	-0.64967
-0.75	-0.693	-0.665	-0.683	-0.68033
-1	-0.696	-0.684	-0.687	-0.689

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-1.25	-0.698	-0.694	-0.695	-0.69567
-1.5	-0.709	-0.716	-0.711	-0.712
-1.75	-0.722	-0.726	-0.717	-0.72167
-2	-0.736	-0.729	-0.726	-0.73033



รูปที่ 4.14x แสดงกราฟผลต่างของฟันซี่ที่ 3

#### 4.3.4 ผลการทดลองค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณสองความถี่ของฟันซี่ที่ 4

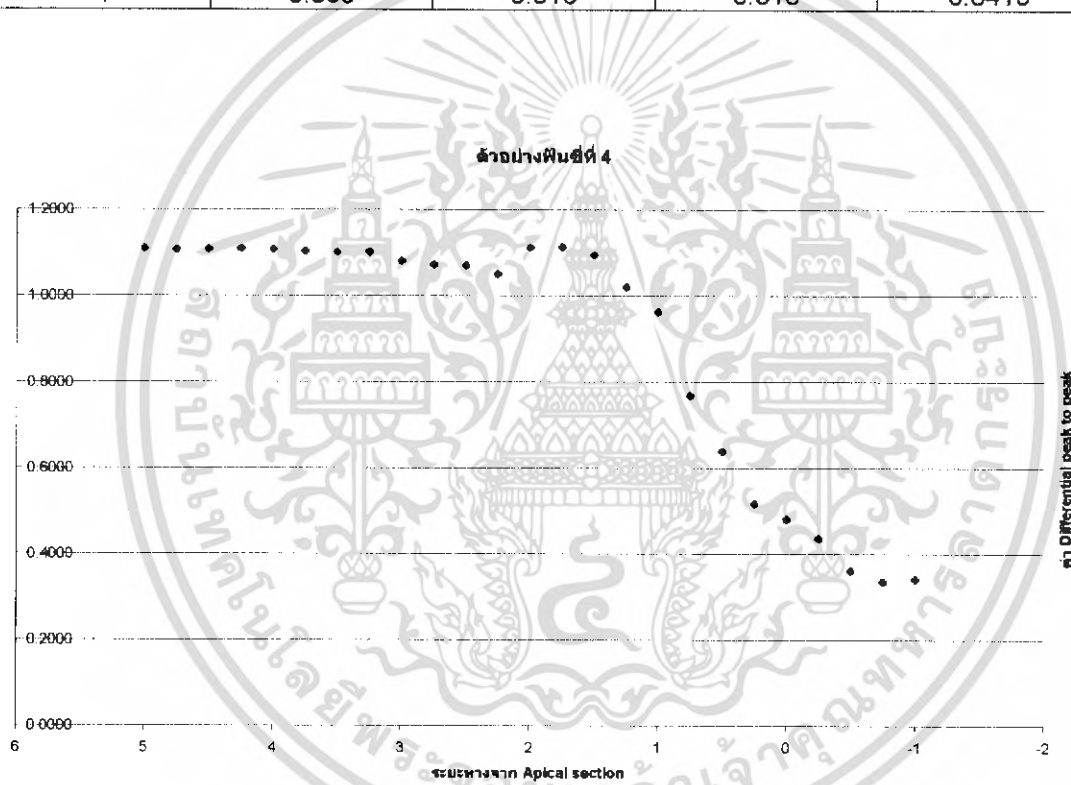
ค่าผลหารและผลต่างของสัญญาณ Peak to Peak ระหว่างสัญญาณสองความถี่ สำหรับฟันตัวอย่างซี่ที่ 4 กระทำในสารละลาย NaOCl เข้มข้น 2.5 %w/w จะ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4ก และ 4.4ข นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.15ก และ 4.15ข ตามลำดับ

#### ตารางที่ 4.4ก ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลหารของสัญญาณ Peak to Peak ฟันซี่ที่ 4

ระยะทาง(mm)	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	1.099	1.114	1.119	1.1107
4.75	1.099	1.113	1.112	1.1080
4.5	1.111	1.108	1.109	1.1093
4.25	1.109	1.112	1.110	1.1103
4	1.097	1.114	1.115	1.1087
3.75	1.085	1.115	1.112	1.1040
3.5	1.080	1.113	1.111	1.1013
3.25	1.080	1.114	1.113	1.1023
3	1.070	1.085	1.085	1.0800
2.75	1.060	1.080	1.079	1.0730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5	1.053	1.079	1.081	1.0710
2.25	1.030	1.088	1.034	1.0507
2	1.125	1.093	1.122	1.1133
1.75	1.132	1.100	1.110	1.1140
1.5	1.095	1.098	1.092	1.0950
1.25	1.093	0.888	1.081	1.0207
1	1.070	0.832	0.990	0.9640
0.75	0.835	0.588	0.881	0.7680
0.5	0.595	0.531	0.789	0.6383
0.25	0.512	0.452	0.587	0.5170
0	0.489	0.437	0.517	0.4810
-0.25	0.410	0.400	0.497	0.4357
-0.5	0.364	0.354	0.366	0.3613
-0.75	0.339	0.336	0.331	0.3353
-1	0.389	0.316	0.318	0.3410

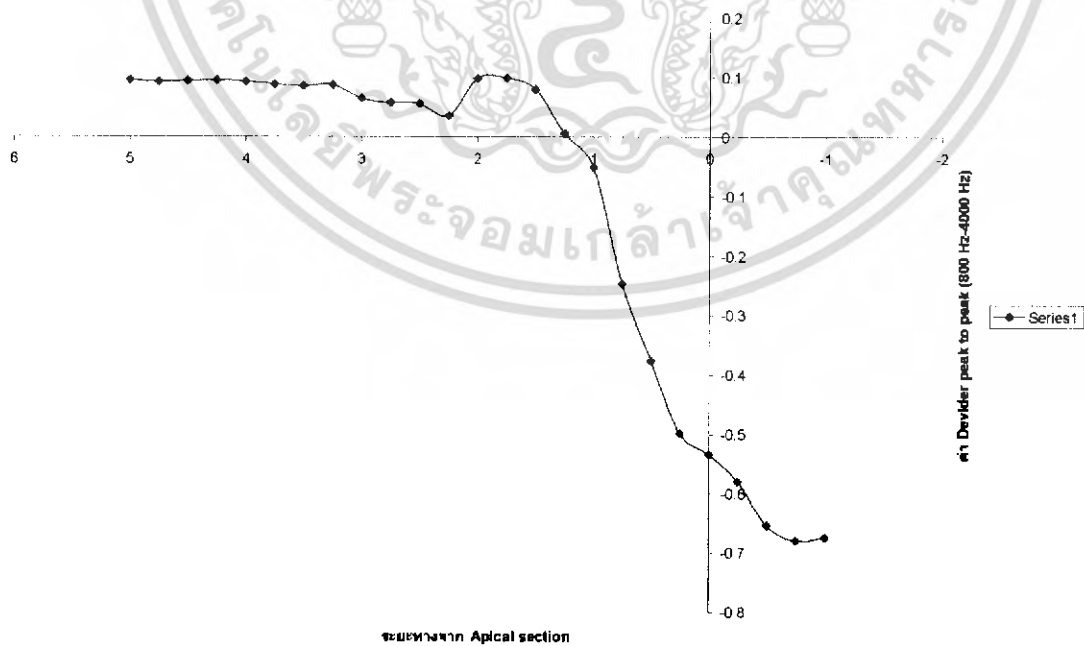


รูปที่ 4.15ก แสดงกราฟของผลหารพื้นที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4x ระยะทางจาก Apical section กับค่าผลต่างของสัญญาณ Peak to Peak ฟันซี่ที่ 4

ระยะทาง(mm)	ผลครั้งที่ 1	ผลครั้งที่ 2	ผลครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	0.084	0.099	0.104	0.095667
4.75	0.084	0.098	0.097	0.093
4.5	0.096	0.093	0.094	0.094333
4.25	0.094	0.097	0.095	0.095333
4	0.082	0.099	0.100	0.093667
3.75	0.070	0.100	0.097	0.089
3.5	0.065	0.098	0.096	0.086333
3.25	0.065	0.099	0.098	0.087333
3	0.055	0.070	0.070	0.065
2.75	0.045	0.065	0.064	0.058
2.5	0.038	0.064	0.066	0.056
2.25	0.015	0.073	0.019	0.035667
2	0.110	0.078	0.107	0.098333
1.75	0.117	0.085	0.095	0.099
1.5	0.080	0.083	0.077	0.08
1.25	0.078	-0.127	0.066	0.005667
1	0.055	-0.183	-0.025	-0.051
0.75	-0.180	-0.427	-0.134	-0.247
0.5	-0.420	-0.484	-0.226	-0.37667
0.25	-0.503	-0.563	-0.428	-0.498
0	-0.526	-0.578	-0.498	-0.534
-0.25	-0.605	-0.615	-0.518	-0.57933
-0.5	-0.651	-0.661	-0.649	-0.65367
-0.75	-0.676	-0.679	-0.684	-0.67967
-1	-0.626	-0.699	-0.697	-0.674



รูปที่ 4.15x แสดงกราฟของผลต่างฟันซี่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลดำเนินการและการทดลอง

จากการที่ได้ทำการศึกษาพัฒนาเครื่องตรวจหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันสามารถแยกส่วนประกอบของเครื่องออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. อนุาลอก
2. คีจิตอล

โดยในหัวข้อหลักๆนี้ยังสามารถจำแนกหน่วยย่อยๆของแต่ละส่วนออกได้เป็น

#### 5.1 ในส่วนของอนุาลอกจะประกอบด้วยส่วนหลักๆคือ

1. วงจรขยายสัญญาณความถี่ต่ำ 2 วงจร ที่สามารถกรองสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำกว่า 800 Hz และ 4000 Hz จากสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณ
2. วงจรเปลี่ยนแรงดันให้เป็นกระแส จะทำการเป็นสัญญาณที่ผ่านการกรองแล้วจากวงจรกรองสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบของกระแส เพื่อส่งไปคลอกลงพื้นที่มีอินพีแคนซ์อยู่ในตำแหน่งคลองรากฟัน

ในส่วนของ ฮาร์ดแวร์ ได้เลือกใช้ Chip LM324 ซึ่งเป็น Chip ที่ประหยัดพลังงาน และกินไฟช่วง 0 – 5 Volts เท่านั้น

#### 5.2 ในส่วนของคีจิตอลประกอบด้วย 2 ส่วน

1. โปรแกรมกำเนิดสัญญาณ 2 ความถี่ที่ประกอบด้วยความถี่ 800Hz และ 4000Hz ซึ่งจะใช้ Timer0 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานใน mode 0 เป็นคิกกำเนิดสัญญาณ ไปยัง พอร์ต 0.6 และ พอร์ต 0.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์สลับกันช่วงละ 100ms

2. โปรแกรมคำนวณและแปลงสัญญาณไฟฟ้า โดยโปรแกรมแปลงสัญญาณไฟฟ้าจะส่งให้คิก Analog to Digital Converter ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมด (Mode) แปลงสัญญาณแบบต่อเนื่องเพื่อแปลงค่าที่ได้จากการวัดซึ่งจะหาค่าแมกซ์ิมัม (Maximum) ของสัญญาณรูปไซน์หรือค่าพีค (Peak) นั้นเองด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าสูงสุดของรีจิสเตอร์ที่มีอยู่ 8 คิวซึ่งแต่ละคิวเป็นรีจิสเตอร์ที่มีขนาด 10 บิตที่บรรจุข้อมูลที่ถูกแปลงมาจากสัญญาณอนุาลอกตลอดช่วงเวลา 70ms ซึ่งได้ทำการหลีกเลี่ยงสภาวะ transient แล้ว จากนั้นนำค่าสูงสุดของแต่ละสัญญาณที่ได้ทั้ง 800Hz และ 4000Hz มาเข้าสู่โปรแกรมคำนวณหาอัตราส่วน และนำค่าที่ได้ออกมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ได้จากการทดลองเพื่อแสดงตำแหน่งของปลายคลองรากฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การศึกษารับตอนในการวัดรากฟัน

เมื่อปลายของลวดไฟล์ เคลื่อนที่เข้าใกล้ตำแหน่งของปลายรากฟัน เมื่อวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากอิมพีแดนซ์ ของคลองรากฟัน ค่าของผลหารและผลต่างที่วัดได้มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อลวดไฟล์เคลื่อนที่ทะลุออกมาพ้นปลายรากฟัน สัญญาณที่ได้จะเริ่มคงที่คล้ายกับตอนที่ลวดไฟล์ยังอยู่ใกล้ตำแหน่งปลายรากฟัน สามารถหาตำแหน่งของปลายคลองรากฟันได้จาการลดลงอย่างรวดเร็วของผลหารหรือผลต่างของค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากอิมพีแดนซ์ของคลองรากฟันนี้ โดยจะเจอตำแหน่งปลายคลองรากฟันในช่วง 0-1 mm

### 5.4 การทดลองเครื่องกับฟันจริงบนวัสดุจำลอง

พบว่าเครื่องสามารถตรวจหาตำแหน่งของปลายคลองรากฟันได้จริง คมทฤษฎี โดยที่ฟันที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 4 ซี่ ซึ่งเป็นฟันคนละชนิดกัน ได้ทำการสังเกตฟันทั้ง 4 ซี่ พบว่า มีสภาพปลายคลองรากฟันที่ต่างกัน คือ มีทั้งปลายคลองรากฟันที่กว้างมากกว่าปกติ และมีสภาพความชื้นปลายคลองรากฟันไม่เท่ากัน พบว่า

1. ถ้าสภาพของปลายคลองรากฟันมีขนาดใหญ่กว่าปกติ ผลจากการวัดที่ได้ จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย คือ ที่ตำแหน่งปลายคลองรากฟัน จะมีเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ค่อนข้างน้อย ฉะนั้น สามารถสรุปได้ว่า ถ้าสภาพปลายคลองรากฟัน มีขนาดใหญ่กว่าปกติ เครื่องจะค่อนข้างจับสัญญาณที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ได้ยาก

2. ถ้าสภาพของคลองรากฟันมีความชื้นสูง ผลที่ได้จะค่อนข้างคล้ายกับสภาพของปลายคลองรากฟันที่มีขนาดใหญ่กว่าปกติ คือ เครื่องจะค่อนข้างจับสัญญาณได้ยาก จากการทดลองบนฟันทั้ง 4 ซี่ เครื่องสามารถหาตำแหน่งปลายคลองรากฟันได้อย่างละเอียด และสามารถใช้ได้กับฟันได้ทุกซี่ ทุกสภาพ

### 5.5 แนวทางการพัฒนา

1. เพิ่มความละเอียดของ A/D ให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัดสัญญาณ โดยอาจจะใช้การเชื่อมต่อ A/D จากภายนอกที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า A/D ที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพิ่มการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงกราฟที่ได้จากการวัดและบันทึกผลเก็บไว้เพื่อเป็นฐานข้อมูลที่จะเป็นค่อค้นคแพทย์ในการเก็บประวัติผู้ป่วยที่อาจจะต้องกลับมารักษากันอีกครั้ง
3. ลดขนาดของเครื่องลง โดยการใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และเพิ่มความสามารถของการแสดงผลที่ละเอียดและสวยงามมากขึ้น

## บรรณานุกรม

- ละอองทอง วัชรภักข. 2540. ความสัมพันธ์ระหว่างการวัดความยาวคลองรากด้วยเครื่องวัดไฟฟ้า และภาพรังสี. **วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์**. ปีที่ 48 (ฉบับที่47): หน้า 241-246.
- วรพจน์ กรแก้ววัฒนากุล และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตวิไล. [ม.ป.ป.] **เรียนรู้และปฏิบัติการ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51**. กรุงเทพฯ: บริษัท อิน โนเวตีฟอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด.
- วิจิต ศิริโชค. 2544. **ไมโครคอนโทรลเลอร์ภาษาC**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท แอนาติจิดกรุ๊ป จำกัด.
- Heraud, R : Method and improved device for measuring and locating a tooth apex.  
**US patent** 6221031, 2001
- Kobayashi, C. and Matoba, K. : Apparatus and method for detecting an apical position.  
**US patent** 5096419, 1992
- Kobayashi, C and Matoba, K. : Root canal meter. **US patent** 5211556, 1993
- Kobayashi, C. and Sunada, H. : New electronic canal measuring device base on the ratio method.  
**J Endod** 20: 111-4, 1994
- Kumar, SS., Chacko, Y. and Lakshminarayanan L. : A simple model to demonstrate the working of electronics apex locator. **Endod** 16, 2004
- Kuttler, Y. : Microscopic Investigation of Root Apexes. **JADA** 50 : 544-52 , 1955
- Lee, C. : Fixture and method for training and use of apical position locator.  
**US patent** 6520775, 2003
- Periodontal ligament. **Orban's oral histology and embryology**, 182-201
- Reifman, M., Taub, A. and Yakoby M. : Method and device for detection of a tooth root apex.  
**US patent** 6425875, 2002
- Saito, T. and Yamaoka M. : Dental system for treating a root canal. **US patent** 5017134, 1991
- Sunada, I. : New Method for Measuring the Length of the Root canal. **J.Dent. Res.** 41 : 376-387, 1962
- Tianz, A. C., Alaçam, T. and Topuz, Ö. : A simple model to demonstrate the electronic apex locator. **International Endod** 35: 940-945, 2002
- Ushiyama, J. : Device and method for detecting apical constriction in root canal of tooth.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**US patent 4447206, 1984**

<http://www.dentahouse.com/repair.htm>

<http://www.sciencedirect.com/>

<http://www.freepatentsonline.com/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <reg938.h>
#include <lcdf.h>
```

```
//=====DeclareVariable=====
```

```
bit signal=P0^6; //Port0.6 4KHz
sbit signal1=P0^7; //Port1.1 800Hz
sbit buzzer=P0^4;
sbit reset=P1^5;
unsigned int
num,num1,num2,Max,min=0xFFFF,avr[8],avrmin[8],avr_Max,avr_Min,diff;
unsigned char sw=0,tick=0;
unsigned char xdata root[]="ratio=";
unsigned char xdata title[]="Apex Locator";
unsigned char xdata ap[]="APEX";
unsigned int num3,avr1[10],avr2[10],dat800,dat4k,sum,sum1;
```

```
//=====Declare function=====
```

```
void init();
void timers_init(void);
void timers_isr0(void);
void timers_isr1(void);

unsigned int chkmax(unsigned int dat,unsigned int dat1);
unsigned int chkmin(unsigned int min,unsigned int mindat);
void hex2lcd(unsigned char addr_lcd,unsigned char dat);
```

```
//=====Function routine=====
```

```
void timers_init(void)
```

```
{
// configure timer 0
TMOD &= 0xF0;
TMOD |= 0x01;
TAMOD &= 0xFE;
```

```
// timer values
```

```
TH0 = 0xF6;
TL0 = 0xFF;
```

```
// set timer 0 isr priority to 0
```

```
IP0 &= 0xFD;
IPOH &= 0xFD;
```

```
// enable timer 0 interrupt
```

```
ET0 = 1;
```

```
// start timer 0
```

```
TR0 = 1;
```

```
/****** Timer1 for multiplex *****/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// configure timer 1
TMOD &= 0x0F;
TMOD |= 0x10;
TAMOD &= 0xEF;

// timer values
TH1 = 0x6F;
TL1 = 0xFF;

// set timer 1 isr priority to 0
IP0 &= 0xF7;
IP0H &= 0xF7;

// enable timer 1 interrupt
ET1 = 1;

// start timer 1
TR1 = 1;
} // timers_init

void timers_isr0(void) interrupt 1 using 1
{
// reinitialize
if(sw==0xFF)
{
    TH0 = 0xFE;           // 4000 Hz
    TL0 = 0x33;
    signal^=1;           // P0.0 toggle
}
else
{
    TH0 = 0xF6;           // 800 Hz
    TL0 = 0xFF;
    signal^=1;           // P0.0 toggle
}
}

void timers_isr1(void) interrupt 3 using 2
{
// reinitialize
tick++;
TH1 = 0x6F;
TL1 = 0xFF;
} // timers_isr1

```

**unsigned int chkmax(unsigned int chkdat, unsigned int chkdat1)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    unsigned int admax;
    if(chkdat>chkdat1)
    {
        admax=chkdat;
        return(admax);
    }
    else
    {
        return (chkdat1);          //return Max
    }
}

```

```

unsigned int chkmin(unsigned int min,unsigned int mindat)

```

```

{
    unsigned int admin;
    if(min<mindat)
    {
        admin=min;
        return (admin);
    }
    else
    {
        return (mindat);
    }
}

void hex2lcd(unsigned char addr_lcd,unsigned char dat)
{
    unsigned char convert;
    convert = dat & 0x0f;
    if(convert>0x09)
    convert= (convert-9) | 0x40;
    else convert = convert | 0x30;
    lcd_jumporigin();          // ton modified
    lcd_command(addr_lcd);    // ton modified
    lcd_text(convert);
}

```

```

void init()

```

```

{
    P0M1=0x0f;                // Set P0.0-0.3 to input
only
    P0M2=0x00;
    P1M1=0x00;
    P1M2=0x00;
    P2M1=0x00;
    P2M2=0x00;

    SCON=0x52;
    BRGR0 = 0xF0;            // set up baudrate generator 9600

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BRGR1 = 0x02;
BRGCON = 0x03;           // start baudrate generator

AD0CON = 0x44;          // Enable AD
ADMODB = 0xE0;          // divide clock by 1
}

```

```
void main()
```

```

{
    unsigned int m=0,n=0,p;
    init();
    lcd_init();
    EA=1;
    timers_init();
    font();

    lcd_command(0x82);
    lcd_text(0x00);       //A
    lcd_command(0x83);
    lcd_text(0x01);       //P
    lcd_command(0x84);
    lcd_text(0x02);       //E
    lcd_command(0x85);
    lcd_text(0x03);       //X

    lcd_command(0x86);
    lcd_text(' ');

    lcd_command(0x87);    //L
    lcd_text(0x04);
    lcd_command(0x88);    //O
    lcd_text(0x05);

    lcd_command(0x89);    //C
    lcd_text(0x06);

    lcd_command(0x8a);    //A
    lcd_text(0x00);
    lcd_command(0x8b);    //T
    lcd_text(0x07);
    lcd_command(0x8c);    //E
    lcd_text(0x02);

    P2=0x00;

```

```
while(1)
```

```
// loop forever
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
while(tick<10) // timing control 100 ms
{
if(2<tick<9) // to avoid transient.Will convert only 20-80ms duration
{
do
{
AD0INS = 0x01; // P0.1 AD00

ADMODA =0x20; // Continous conversion
AD0CON |=0x01; // start immediately
num = AD0DAT0R; // LSB
num1 = AD0DAT0L; // MSB
num1&=0xc0; // clear bit 0-5 of AD0DAT0L
num1=num1<<2; // shift left 2 bits
num2=num1|num; // combine num1 with num
Max=chkmax(num2,Max);
min=chkmin(num2,min);
avr[0]=Max;
avrmin[0]=min;

num = AD0DAT1R;

num1 = AD0DAT1L;
num1&=0xc0;

num1=num1<<2;

num2=num1|num;
Max=chkmax(num2,Max);
min=chkmin(num2,min);

avr[1]=Max;
avrmin[1]=min;

num = AD0DAT2R;

num1 = AD0DAT2L;
num1&=0xc0;

num1=num1<<2;

num2=num1|num;
Max=chkmax(num2,Max);

avr[2]=Max;
avrmin[2]=min;
}
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
num = AD0DAT3R;
```

```
num1 = AD0DAT3L;  
num1&=0xc0;
```

```
num1=num1<<2;
```

```
num2=num1|num;  
Max=chkmax(num2,Max);  
min=chkmin(num2,min);
```

```
avr[3]=Max;  
avrmin[3]=min;
```

```
num = AD0DAT4R;
```

```
num1 = AD0DAT4L;  
num1&=0xc0;
```

```
num1=num1<<2;
```

```
num2=num1|num;  
Max=chkmax(num2,Max);  
min=chkmin(num2,min);
```

```
avr[4]=Max;  
avrmin[4]=min;
```

```
num = AD0DAT5R;
```

```
num1 = AD0DAT5L;  
num1&=0xc0;
```

```
num1=num1<<2;
```

```
num2=num1|num;  
Max=chkmax(num2,Max);  
min=chkmin(num2,min);
```

```
avr[5]=Max;  
avrmin[5]=min;
```

```
num = AD0DAT6R;
```

```
num1 = AD0DAT6L;  
num1&=0xc0;
```

```
num1=num1<<2;
```

```
num2=num1|num;  
Max=chkmax(num2,Max);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

min=chkmin(num2,min);

avr[6]=Max;
avrmin[6]=min;

num = AD0DAT7R;

num1 = AD0DAT7L;
num1&=0xc0;

num1=num1<<2;

num2=num1|num;
Max=chkmax(num2,Max);
min=chkmin(num2,min);
avr[7]=Max;
avrmin[7]=min;

avr_Max=(avr[0]+avr[1]+avr[2]+avr[3]+avr[4]+avr[5]+avr[6]+avr[7])/8;
avr_Min=(avrmin[0]+avrmin[1]+avrmin[2]+avrmin[3]+avrmin[4]+avrmin[5]
+avrmin[6]+avrmin[7])/8;

}while(!(AD0CON & 0x08)); /* ADCI=0 do nothing
ADCI=1 exit*/
AD0CON &=~0x08; //clear ADCI
avr1[m]=avr_Max;
avr2[m]=avr_Min;
m++;
if(m==10)
{
m=0;
sum=(avr1[0]+avr1[1]+avr1[2]+avr1[3]+avr1[4]
+avr1[5]+avr1[6]+avr1[7]+avr1[8]+avr1[9])/10;
sum1=(avr2[0]+avr2[1]+avr2[2]+avr2[3]+avr2[4]
+avr2[5]+avr2[6]+avr2[7]+avr2[8]+avr2[9])/10;
}

diff=sum-sum1;

if(sw==0xFF)
{
dat4k=diff;
}
else
{
dat800=diff;
}
//Max=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }//if 2<tick<9
}//loop tick<10
sw^=0xFF;
Max=0;
min=0xFFFF;
signal1=0;
signal=0;

```

```

/***** show scales on LCD *****/

```

```

    if(sum==1023)
    {
        lcd_command(0xc0);
        for(n=0; n<12; n++)
            lcd_text(' ');
    }
    else
    {
        if(800<sum<1010)
        {
            lcd_command(0xc0);
            for(n=0; n<4; n++)
            {
                lcd_text(0xff);
                p++;
            }
        }
        if(500<sum<800)
        {
            lcd_command(0xc4);
            for(n=0; n<4; n++)
                lcd_text(0xff);
        }
        if(0<diff<250)
        {
            lcd_command(0xc8);
            for(n=0; n<4; n++)
                lcd_text(0xff);
        }
    }

```

```

}//else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/***** CHeckApical *****/
if(((dat800<=161)&&(dat4k<=207))&&(buzzer==1))
{
    lcd_command(0xcc);
    lcd_text(0x00);
    lcd_command(0xcd);
    lcd_text(0x01);
    lcd_command(0xce);
    lcd_text(0x02);
    lcd_command(0xcf);
    lcd_text(0x03);

    buzzer=0;           // Indicated APEX found!
}

/**** For clear 'APEX & off buzzer when file depart from apical section' *****/

if(((dat800>161&dat4k>207))&&(buzzer==0))
{
    lcd_command(0xcc);
    for(n=0; n<4; n++)
    {
        lcd_text(' ');
    }
    buzzer=1;           // Off buzzer
}

/***** Reset function *****/
if(reset==0)
{
    AUXR1|=0x08;       //software reset
    AUXR1&=~0x08;
    buzzer=1;
}
tick=0;

} //loop while(1)

} //main program

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ก**  
**โปรแกรมการทำงาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <reg938.h>
#include <lcdf.h>
```

```
//=====DeclareVariable=====
```

```
bit signal=P0^6; //Port0.6 4KHz
sbit signal1=P0^7; //Port1.1 800Hz
sbit buzzer=P0^4;
sbit reset=P1^5;
unsigned int
num,num1,num2,Max,min=0xFFFF,avr[8],avrmin[8],avr_Max,avr_Min,diff;
unsigned char sw=0,tick=0;
unsigned char xdata root[]="ratio=";
unsigned char xdata title[]="Apex Locator";
unsigned char xdata ap[]="APEX";
unsigned int num3,avr1[10],avr2[10],dat800,dat4k,sum,sum1;
```

```
//=====Declare function=====
```

```
void init();
void timers_init(void);
void timers_isr0(void);
void timers_isr1(void);

unsigned int chkmax(unsigned int dat,unsigned int dat1);
unsigned int chkmin(unsigned int min,unsigned int mindat);
void hex2lcd(unsigned char addr_lcd,unsigned char dat);
```

```
//=====Function routine=====
```

```
void timers_init(void)
{
// configure timer 0
TMOD &= 0xF0;
TMOD |= 0x01;
TAMOD &= 0xFE;

// timer values
TH0 = 0xF6;
TL0 = 0xFF;

// set timer 0 isr priority to 0
IPO &= 0xFD;
IPOH &= 0xFD;

// enable timer 0 interrupt
ETO = 1;
// start timer 0
TR0 = 1;
```

```
/****** Timer1 for multiplex *****/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// configure timer 1
TMOD &= 0x0F;
TMOD |= 0x10;
TAMOD &= 0xEF;

// timer values
TH1 = 0x6F;
TL1 = 0xFF;

// set timer 1 isr priority to 0
IP0 &= 0xF7;
IP0H &= 0xF7;

// enable timer 1 interrupt
ET1 = 1;

// start timer 1
TR1 = 1;
} // timers_init

void timers_isr0(void) interrupt 1 using 1
{
// reinitialize
if(sw==0xFF)
{
    TH0 = 0xFE; // 4000 Hz
    TL0 = 0x33;
    signal^=1; // P0.0 toggle
}
else
{
    TH0 = 0xF6; // 800 Hz
    TL0 = 0xFF;
    signal1^=1; // P0.0 toggle
}
}

void timers_isr1(void) interrupt 3 using 2
{
// reinitialize
tick++;
TH1 = 0x6F;
TL1 = 0xFF;
} // timers_isr1

```

**unsigned int chkmax(unsigned int chkdat, unsigned int chkdat1)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    unsigned int admax;
    if(chkdat>chkdat1)
    {
        admax=chkdat;
        return(admax);
    }
    else
    {
        return (chkdat1);           //return Max
    }
}

```

```

unsigned int chkmin(unsigned int min,unsigned int mindat)

```

```

{
    unsigned int admin;
    if(min<mindat)
    {
        admin=min;
        return (admin);
    }
    else
    {
        return (mindat);
    }
}

```

```

void hex2lcd(unsigned char addr_lcd,unsigned char dat)

```

```

{
    unsigned char convert;
    convert = dat & 0x0f;
    if(convert>0x09)
    convert= (convert-9) | 0x40;
    else convert = convert | 0x30;
    lcd_jumporigin();           // ton modified
    lcd_command(addr_lcd);     // ton modified
    lcd_text(convert);
}

```

```

void init()

```

```

{
    P0M1=0x0f;                 // Set P0.0-0.3 to input
only
    P0M2=0x00;
    P1M1=0x00;
    P1M2=0x00;
    P2M1=0x00;
    P2M2=0x00;

    SCON=0x52;
    BRGR0 = 0xF0;             // set up baudrate generator 9600
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BRGR1 = 0x02;
BRGCON = 0x03;           // start baudrate generator

AD0CON = 0x44;           // Enable AD
ADMODB = 0xE0;           // divide clock by 1
}

```

```
void main()
```

```

{
    unsigned int m=0,n=0,p;
    init();
    lcd_init();
    EA=1;
    timers_init();
    font();

    lcd_command(0x82);
    lcd_text(0x00);        //A
    lcd_command(0x83);
    lcd_text(0x01);        //P
    lcd_command(0x84);
    lcd_text(0x02);        //E
    lcd_command(0x85);
    lcd_text(0x03);        //X

    lcd_command(0x86);
    lcd_text(' ');

    lcd_command(0x87);    //L
    lcd_text(0x04);
    lcd_command(0x88);    //O
    lcd_text(0x05);

    lcd_command(0x89);    //C
    lcd_text(0x06);

    lcd_command(0x8a);    //A
    lcd_text(0x00);
    lcd_command(0x8b);    //T
    lcd_text(0x07);
    lcd_command(0x8c);    //E
    lcd_text(0x02);

    P2=0x00;

```

```
while(1)
```

```
// loop forever
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
while(tick<10) // timing control 100 ms
{
if(2<tick<9) // to avoid transient.Will convert only 20-80ms duration
{
do
{
AD0INS = 0x01; // P0.1 AD00

ADMODA =0x20; // Continous conversion
AD0CON |=0x01; // start immediatly
num = AD0DAT0R; // LSB
num1 = AD0DAT0L; // MSB
num1&=0xc0; // clear bit 0-5 of AD0DAT0L
num1=num1<<2; // shift left 2 bits
num2=num1|num; // combine num1 with num
Max=chkmax(num2,Max);
min=chkmin(num2,min);
avr[0]=Max;
avrmin[0]=min;

num = AD0DAT1R;

num1 = AD0DAT1L;
num1&=0xc0;

num1=num1<<2;

num2=num1|num;
Max=chkmax(num2,Max);
min=chkmin(num2,min);

avr[1]=Max;
avrmin[1]=min;

num = AD0DAT2R;

num1 = AD0DAT2L;
num1&=0xc0;

num1=num1<<2;

num2=num1|num;
Max=chkmax(num2,Max);

avr[2]=Max;
avrmin[2]=min;
}
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
num = AD0DAT3R;
```

```
num1 = AD0DAT3L;  
num1&=0xc0;
```

```
num1=num1<<2;
```

```
num2=num1|num;  
Max=chkmax(num2,Max);  
min=chkmin(num2,min);
```

```
avr[3]=Max;  
avrmin[3]=min;
```

```
num = AD0DAT4R;
```

```
num1 = AD0DAT4L;  
num1&=0xc0;
```

```
num1=num1<<2;
```

```
num2=num1|num;  
Max=chkmax(num2,Max);  
min=chkmin(num2,min);
```

```
avr[4]=Max;  
avrmin[4]=min;
```

```
num = AD0DAT5R;
```

```
num1 = AD0DAT5L;  
num1&=0xc0;
```

```
num1=num1<<2;
```

```
num2=num1|num;  
Max=chkmax(num2,Max);  
min=chkmin(num2,min);
```

```
avr[5]=Max;  
avrmin[5]=min;
```

```
num = AD0DAT6R;
```

```
num1 = AD0DAT6L;  
num1&=0xc0;
```

```
num1=num1<<2;
```

```
num2=num1|num;  
Max=chkmax(num2,Max);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

min=chkmin(num2,min);

avr[6]=Max;
avrmin[6]=min;

num = AD0DAT7R;

num1 = AD0DAT7L;
num1&=0xc0;

num1=num1<<2;

num2=num1|num;
Max=chkmax(num2,Max);
min=chkmin(num2,min);
avr[7]=Max;
avrmin[7]=min;

avr_Max=(avr[0]+avr[1]+avr[2]+avr[3]+avr[4]+avr[5]+avr[6]+avr[7])/8;
avr_Min=(avrmin[0]+avrmin[1]+avrmin[2]+avrmin[3]+avrmin[4]+avrmin[5]
+avrmin[6]+avrmin[7])/8;

}while(!(AD0CON & 0x08)); /* ADCI=0 do nothing
ADCI=1 exit*/
AD0CON &=~0x08; //clear ADCI
avr1[m]=avr_Max;
avr2[m]=avr_Min;
m++;
if(m==10)
{
m=0;
sum=(avr1[0]+avr1[1]+avr1[2]+avr1[3]+avr1[4]
+avr1[5]+avr1[6]+avr1[7]+avr1[8]+avr1[9])/10;
sum1=(avr2[0]+avr2[1]+avr2[2]+avr2[3]+avr2[4]
+avr2[5]+avr2[6]+avr2[7]+avr2[8]+avr2[9])/10;
}

diff=sum-sum1;

if(sw==0xFF)
{
dat4k=diff;
}
else
{
dat800=diff;
}
//Max=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }//if 2<tick<9
}//loop tick<10
sw^=0xFF;
Max=0;
min=0xFFFF;
signal1=0;
signal=0;

```

```

/***** show scales on LCD *****/

```

```

    if(sum==1023)
    {
        lcd_command(0xc0);
        for(n=0; n<12; n++)
            lcd_text(' ');
    }
    else
    {
        if(800<sum<1010)
        {
            lcd_command(0xc0);
            for(n=0; n<4; n++)
            {
                lcd_text(0xff);
                p++;
            }
        }
        if(500<sum<800)
        {
            lcd_command(0xc4);
            for(n=0; n<4; n++)
                lcd_text(0xff);
        }
        if(0<diff<250)
        {
            lcd_command(0xc8);
            for(n=0; n<4; n++)
                lcd_text(0xff);
        }
    }

```

```

}//else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/***** CHeckApical *****/
if(((dat800<=161)&&(dat4k<=207))&&(buzzer==1))
{
    lcd_command(0xcc);
    lcd_text(0x00);
    lcd_command(0xcd);
    lcd_text(0x01);
    lcd_command(0xce);
    lcd_text(0x02);
    lcd_command(0xcf);
    lcd_text(0x03);

    buzzer=0;           // Indicated APEX found!
}

/**** For clear 'APEX & off buzzer when file depart from apical section' ****/

if(((dat800>161&dat4k>207))&&(buzzer==0))
{
    lcd_command(0xcc);
    for(n=0; n<4; n++)
    {
        lcd_text(' ');
    }
    buzzer=1;           // Off buzzer
}

/**** Reset function *****/
if(reset==0)
{
    AUXR1|=0x08;       //software reset
    AUXR1&=~0x08;
    buzzer=1;
}
tick=0;

} //loop while(1)

} //main program

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

---

# HD44780U (LCD-II)

(Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver)

## HITACHI

ADE-207-272(Z)

'99.9

Rev. 0.0

---

### Description

The HD44780U dot-matrix liquid crystal display controller and driver LSI displays alphanumerics, Japanese kana characters, and symbols. It can be configured to drive a dot-matrix liquid crystal display under the control of a 4- or 8-bit microprocessor. Since all the functions such as display RAM, character generator, and liquid crystal driver, required for driving a dot-matrix liquid crystal display are internally provided on one chip, a minimal system can be interfaced with this controller/driver.

A single HD44780U can display up to one 8-character line or two 8-character lines.

The HD44780U has pin function compatibility with the HD44780S which allows the user to easily replace an LCD-II with an HD44780U. The HD44780U character generator ROM is extended to generate 208  $5 \times 8$  dot character fonts and 32  $5 \times 10$  dot character fonts for a total of 240 different character fonts.

The low power supply (2.7V to 5.5V) of the HD44780U is suitable for any portable battery-driven product requiring low power dissipation.

### Features

- $5 \times 8$  and  $5 \times 10$  dot matrix possible
- Low power operation support:
  - 2.7 to 5.5V
- Wide range of liquid crystal display driver power
  - 3.0 to 11V
- Liquid crystal drive waveform
  - A (One line frequency AC waveform)
- Correspond to high speed MPU bus interface
  - 2 MHz (when  $V_{CC} = 5V$ )
- 4-bit or 8-bit MPU interface enabled
- 80  $\times$  8-bit display RAM (80 characters max.)
- 9,920-bit character generator ROM for a total of 240 character fonts
  - 208 character fonts ( $5 \times 8$  dot)
  - 32 character fonts ( $5 \times 10$  dot)

HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

---

## HD44780U

---

- 64 × 8-bit character generator RAM
  - 8 character fonts (5 × 8 dot)
  - 4 character fonts (5 × 10 dot)
- 16-common × 40-segment liquid crystal display driver
- Programmable duty cycles
  - 1/8 for one line of 5 × 8 dots with cursor
  - 1/11 for one line of 5 × 10 dots with cursor
  - 1/16 for two lines of 5 × 8 dots with cursor
- Wide range of instruction functions:
  - Display clear, cursor home, display on/off, cursor on/off, display character blink, cursor shift, display shift
- Pin function compatibility with HD44780S
- Automatic reset circuit that initializes the controller/driver after power on
- Internal oscillator with external resistors
- Low power consumption

### Ordering Information

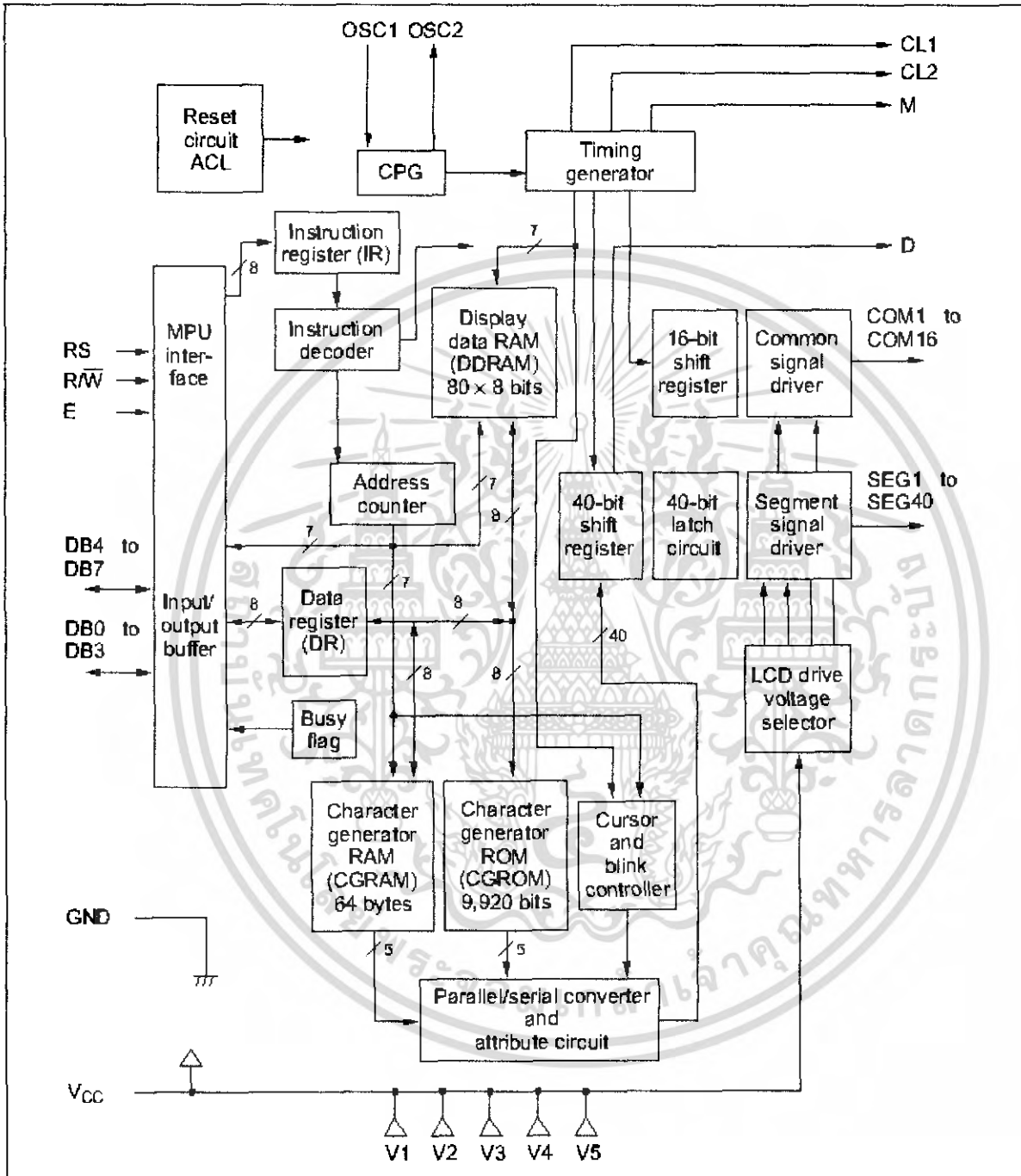
Type No.	Package	CGROM
HD44780UA00FS	FP-80B	Japanese standard font
HCD44780UA00	Chip	
HD44780UA00TF	TFP-80F	
HD44780UA02FS	FP-80B	European standard font
HCD44780UA02	Chip	
HD44780UA02TF	TFP-80F	
HD44780UBxxFS	FP-80B	Custom font
HCD44780UBxx	Chip	
HD44780UBxxTF	TFP-80F	

Note: xx: ROM code No.

## HITACHI

- 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HD44780U Block Diagram

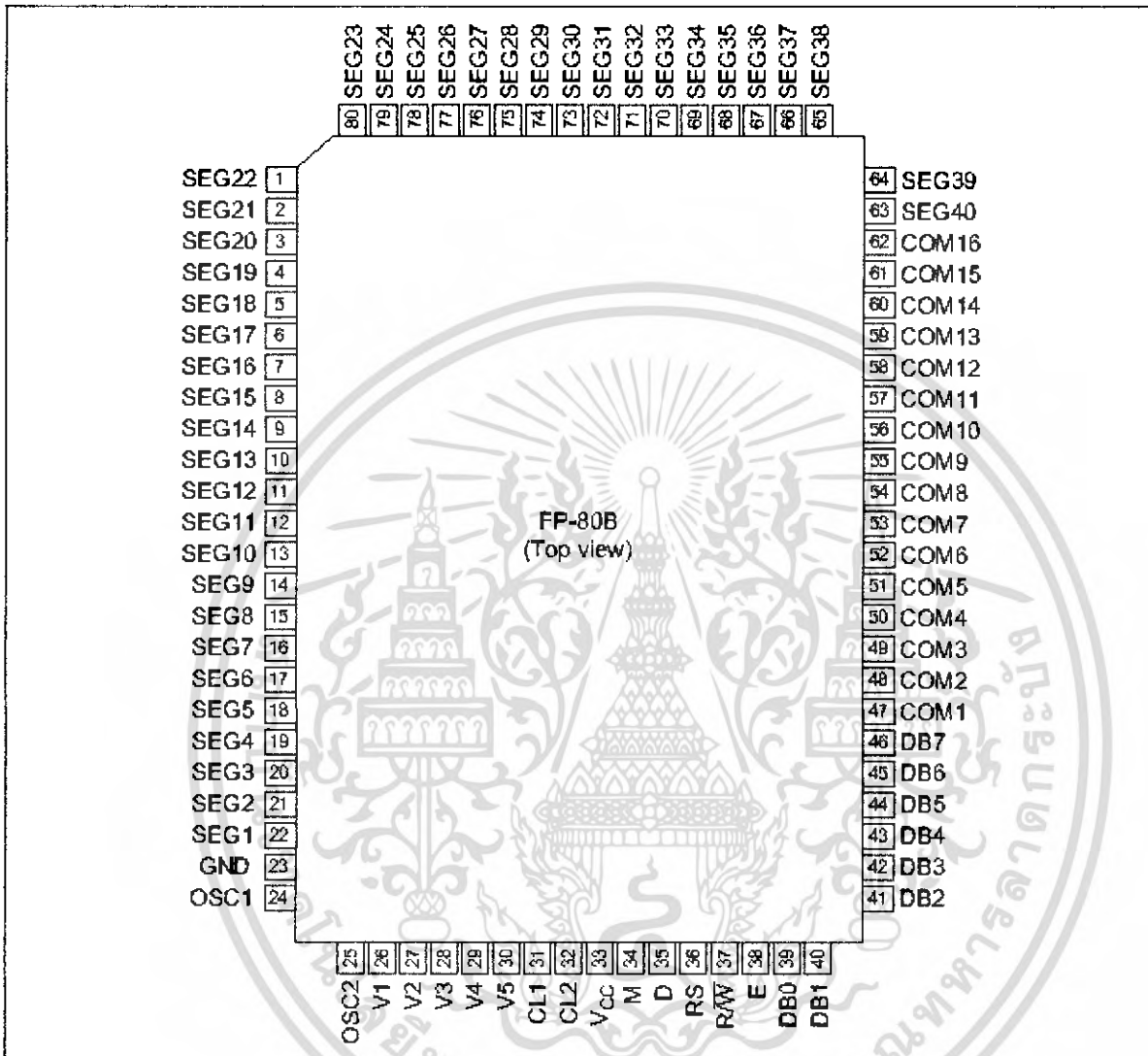


HITACHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HD44780U

## HD44780U Pin Arrangement (FP-80B)



**HITACHI**

4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM1117/LM1117I

## 800mA Low-Dropout Linear Regulator

### General Description

The LM1117 is a series of low dropout voltage regulators with a dropout of 1.2V at 800mA of load current. It has the same pin-out as National Semiconductor's industry standard LM317.

The LM1117 is available in an adjustable version, which can set the output voltage from 1.25V to 13.8V with only two external resistors. In addition, it is also available in five fixed voltages, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V, and 5V.

The LM1117 offers current limiting and thermal shutdown. Its circuit includes a zener trimmed bandgap reference to assure output voltage accuracy to within  $\pm 1\%$ .

The LM1117 series is available in LLP, TO-263, SOT-223, TO-220, and TO-252 D-PAK packages. A minimum of 10 $\mu$ F tantalum capacitor is required at the output to improve the transient response and stability.

### Features

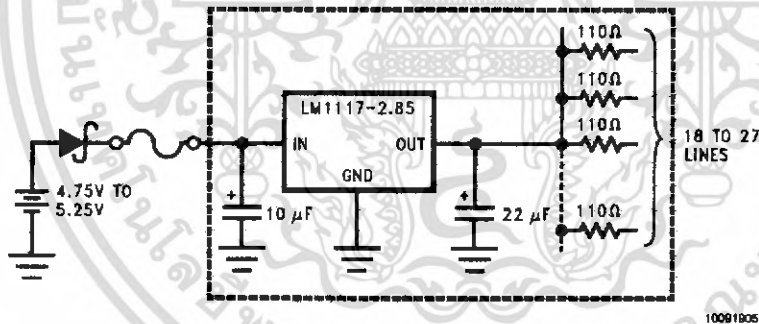
- Available in 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V, 5V, and Adjustable Versions
- Space Saving SOT-223 and LLP Packages
- Current Limiting and Thermal Protection
- Output Current 800mA
- Line Regulation 0.2% (Max)
- Load Regulation 0.4% (Max)
- Temperature Range
  - LM1117 0°C to 125°C
  - LM1117I -40°C to 125°C

### Applications

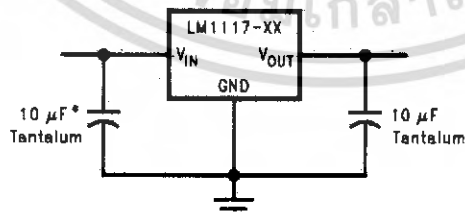
- 2.85V Model for SCSI-2 Active Termination
- Post Regulator for Switching DC/DC Converter
- High Efficiency Linear Regulators
- Battery Charger
- Battery Powered Instrumentation

### Typical Application

#### Active Terminator for SCSI-2 Bus



#### Fixed Output Regulator



\* Required if the regulator is located far from the power supply filter.

10091828

## LM1117 Electrical Characteristics

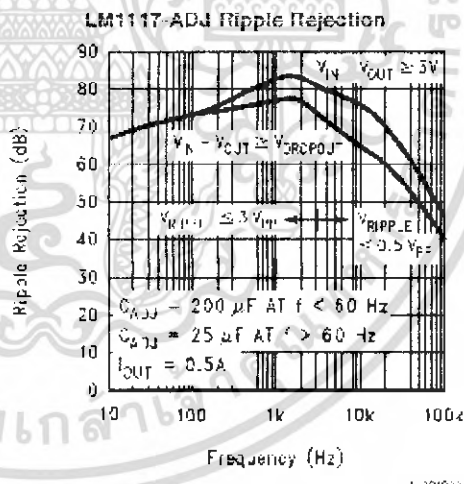
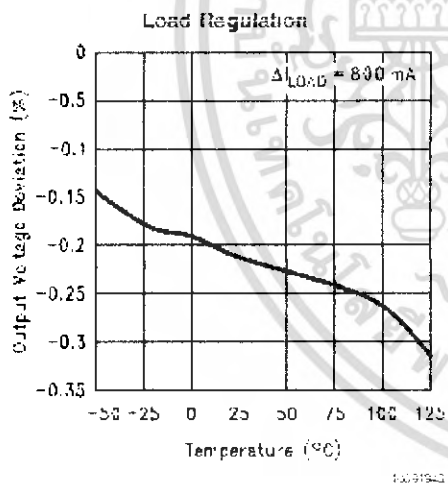
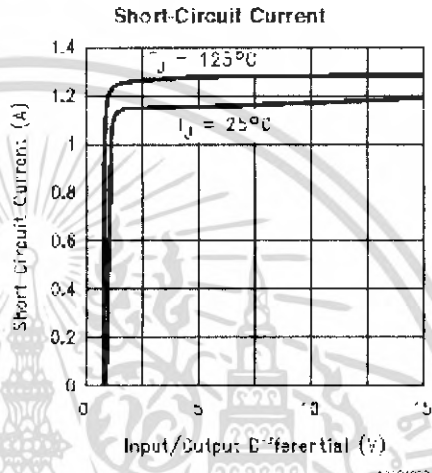
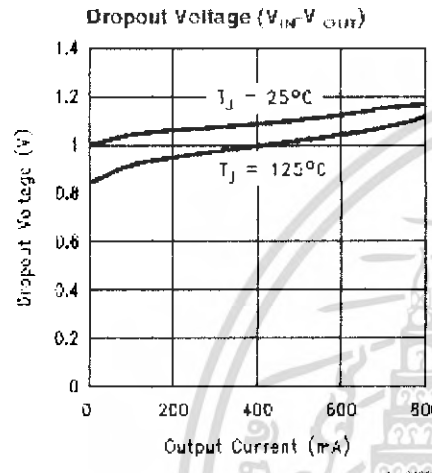
Typicals and limits appearing in normal type apply for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ . Limits appearing in **Boldface** type apply over the entire junction temperature range for operation,  $-40^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$ .

Symbol	Parameter	Conditions	Min (Note 5)	Typ (Note 4)	Max (Note 5)	Units
$V_{\text{REF}}$	Reference Voltage	LM1117-ADJ $I_{\text{OUT}} = 10\text{mA}$ , $V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} = 2\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$	1.238	1.250	1.262	V
		$10\text{mA} \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$ , $1.4\text{V} \leq V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} \leq 10\text{V}$	<b>1.200</b>	1.250	<b>1.290</b>	V
$V_{\text{OUT}}$	Output Voltage	LM1117-3.3 $I_{\text{OUT}} = 10\text{mA}$ , $V_{\text{IN}} = 5\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$	3.267	3.300	3.333	V
		$0 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$ , $4.75\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 10\text{V}$	<b>3.168</b>	3.300	<b>3.432</b>	V
		LM1117-5.0 $I_{\text{OUT}} = 10\text{mA}$ , $V_{\text{IN}} = 7\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$	4.950	5.000	5.050	V
		$0 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$ , $6.5\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 12\text{V}$	<b>4.800</b>	5.000	<b>5.200</b>	V
$\Delta V_{\text{OUT}}$	Line Regulation (Note 6)	LM1117-ADJ $I_{\text{OUT}} = 10\text{mA}$ , $1.5\text{V} \leq V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} \leq 13.75\text{V}$		0.035	0.3	%
		LM1117-3.3 $I_{\text{OUT}} = 0\text{mA}$ , $4.75\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 15\text{V}$		1	10	mV
		LM1117-5.0 $I_{\text{OUT}} = 0\text{mA}$ , $6.5\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 15\text{V}$		1	15	mV
$\Delta V_{\text{OUT}}$	Load Regulation (Note 6)	LM1117-ADJ $V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} = 3\text{V}$ , $10 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$		0.2	0.5	%
		LM1117-3.3 $V_{\text{IN}} = 4.75\text{V}$ , $0 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$		1	15	mV
		LM1117-5.0 $V_{\text{IN}} = 6.5\text{V}$ , $0 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$		1	20	mV
$V_{\text{DQ}} - V_{\text{OUT}}$	Dropout Voltage (Note 7)	$I_{\text{OUT}} = 100\text{mA}$		1.10	1.30	V
		$I_{\text{OUT}} = 500\text{mA}$		1.15	1.35	V
		$I_{\text{OUT}} = 800\text{mA}$		1.20	1.40	V
$I_{\text{LIMIT}}$	Current Limit	$V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} = 5\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$	300	1200	1500	mA
	Minimum Load Current (Note 8)	LM1117-ADJ $V_{\text{IN}} = 15\text{V}$		1.7	5	mA
	Quiescent Current	LM1117-3.3 $V_{\text{IN}} \leq 15\text{V}$		5	15	mA
		LM1117-5.0 $V_{\text{IN}} \leq 15\text{V}$		5	15	mA
	Thermal Regulation	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , 30ms Pulse		0.01	0.1	%/AV
	Ripple Regulation	$f_{\text{RIPPLE}} = 120\text{Hz}$ , $V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} = 3\text{V}$ , $V_{\text{RIPPLE}} = 1\text{V}_{\text{PP}}$	60	75		dB
	Adjust Pin Current			60	120	$\mu\text{A}$
	Adjust Pin Current Change	$10 \leq I_{\text{OUT}} \leq 800\text{mA}$ $1.4\text{V} \leq V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}} \leq 10\text{V}$		0.2	10	$\mu\text{A}$
	Temperature Stability			0.5		%
	Long Term Stability	$T_A = 125^\circ\text{C}$ , 1000Hrs		0.3		%
RMS Output Noise	(% of $V_{\text{OUT}}$ ), 10Hz $\leq f < 10\text{kHz}$		0.003		%	
Thermal Resistance Junction-to-Case	3-Lead SO <sup>T</sup> -295			15.0		$^\circ\text{C/W}$
	3-Lead TO-252			11		$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance Junction-to-Ambient (No air flow)	3-Lead SO <sup>T</sup> -228 (No heat sink)			26		$^\circ\text{C/W}$
	3-Lead TO-252 (No heat sink)(Note 9)			96		$^\circ\text{C/W}$
	3-Lead LLP (Note 10)			41		$^\circ\text{C/W}$

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not guaranteed. For guaranteed specifications and the test conditions, see the Electrical Characteristics.

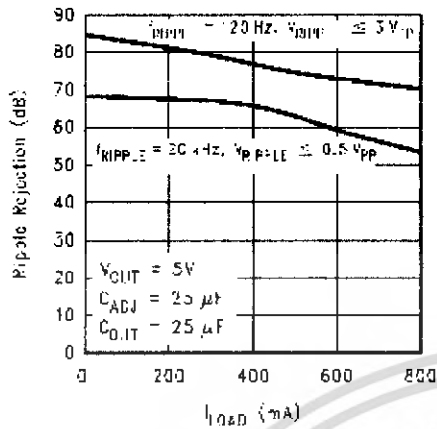
- Note 2:** The maximum power dissipation is a function of  $T_{J(max)}$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is  $P_{D(max)} = (T_{J(max)} - T_A) / \theta_{JA}$ . All limits apply for packages soldered directly into a PC board.
- Note 3:** For testing purposes, ESD was applied using human body model, 1.5k $\Omega$  in series with 100nF.
- Note 4:** Typical Values represent the most likely parametric distribution.
- Note 5:** All limits are guaranteed by testing or statistical analysis.
- Note 6:** Load and line regulation are measured at constant junction room temperature.
- Note 7:** The dropout voltage is the input/output differential at which the circuit ceases to regulate against further reduction in input voltage. It is measured when the output voltage has dropped 100mV from the nominal value obtained at  $V_{IN} = V_{OUT} + 1.5V$ .
- Note 8:** The minimum output current required to maintain regulation.
- Note 9:** Minimum pad size of 0.089in<sup>2</sup>.
- Note 10:** Thermal Performance for the LLP was obtained using JEDEC147 board with six vias and an ambient temperature of 25°C. For information about improved thermal performance and power dissipation for the LLP refer to Application Note AN-187.

## Typical Performance Characteristics

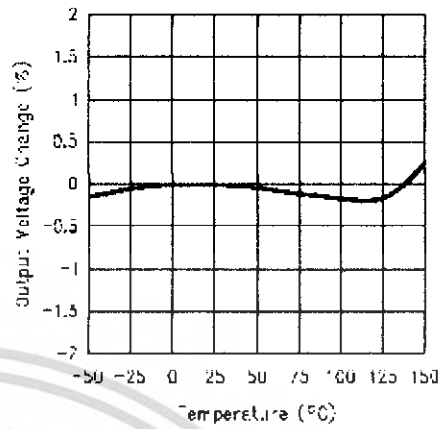


Typical Performance Characteristics (Continued)

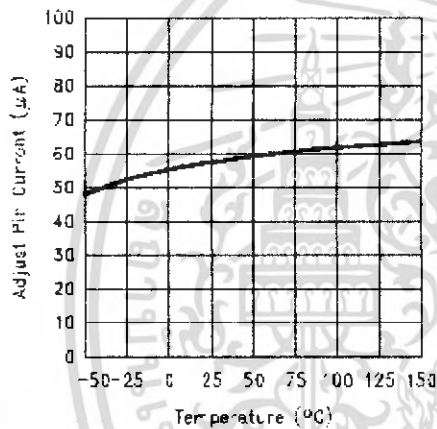
LM1117-ADJ Ripple Rejection vs. Current



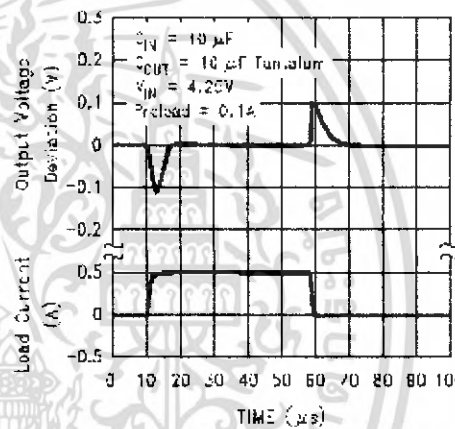
Temperature Stability



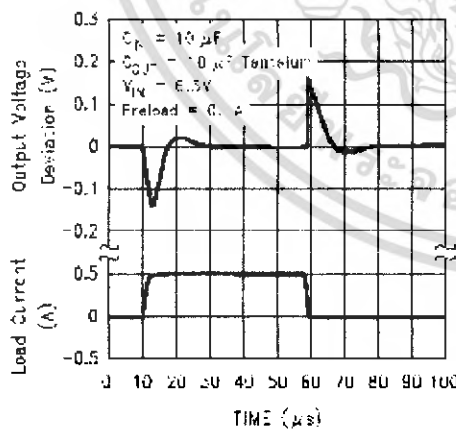
Adjust Pin Current



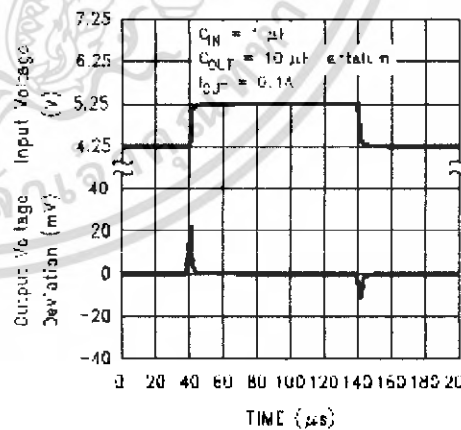
LM1117-2.85 Load Transient Response



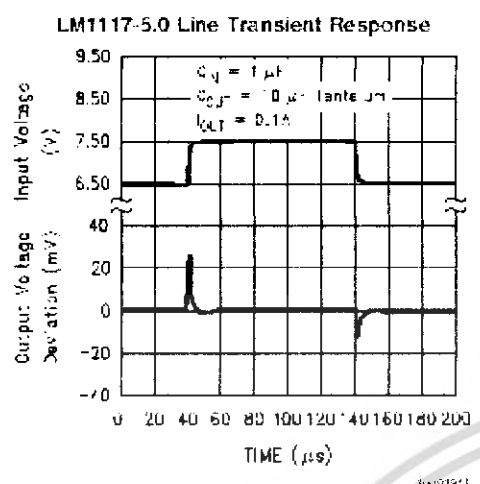
LM1117-5.0 Load Transient Response



LM1117-2.85 Line Transient Response



## Typical Performance Characteristics (Continued)



### Application Note

#### 1.0 External Capacitors/Stability

##### 1.1 Input Bypass Capacitor

An input capacitor is recommended. A 10 μF tantalum on the input is a suitable input bypassing for almost all applications.

##### 1.2 Adjust Terminal Bypass Capacitor

The adjust terminal can be bypassed to ground with a bypass capacitor ( $C_{ADJ}$ ) to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. At any ripple frequency, the impedance of the  $C_{ADJ}$  should be less than  $R1$  to prevent the ripple from being amplified:

$$1/(2\pi f_{RIPPLE} C_{ADJ}) < R1$$

The  $R1$  is the resistor between the output and the adjust pin. Its value is normally in the range of 100-200 Ω. For example, with  $R1 = 124 \Omega$  and  $f_{RIPPLE} = 120\text{Hz}$ , the  $C_{ADJ}$  should be  $> 11 \mu\text{F}$ .

##### 1.3 Output Capacitor

The output capacitor is critical in maintaining regulator stability, and must meet the required conditions for both minimum amount of capacitance and ESR (Equivalent Series Resistance). The minimum output capacitance required by the LM1117 is 10 μF if a tantalum capacitor is used. Any increase of the output capacitance will merely improve the loop stability and transient response. The ESR of the output capacitor should range between 0.3 Ω - 22 Ω. In the case of the adjustable regulator, when the  $C_{ADJ}$  is used, a larger output capacitance (22 μF tantalum) is required.

#### 2.0 Output Voltage

The LM1117 adjustable version develops a 1.25V reference voltage,  $V_{REF}$ , between the output and the adjust terminal. As shown in Figure 1, this voltage is applied across resistor  $R1$  to generate a constant current  $I1$ . The current  $I_{ADJ}$  from the adjust terminal could introduce error to the output. But since it is very small (50 μA) compared with the  $I1$  and very constant with line and load changes, the error can be ignored. The constant current  $I1$  then flows through the output set resistor  $R2$  and sets the output voltage to the desired level.

For fixed voltage devices,  $R1$  and  $R2$  are integrated inside the devices.

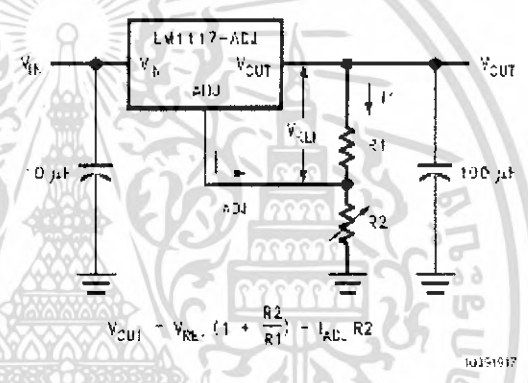


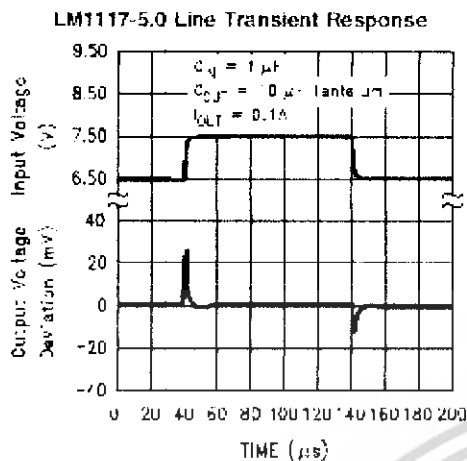
FIGURE 1. Basic Adjustable Regulator

#### 3.0 Load Regulation

The LM1117 regulates the voltage that appears between its output and ground pins, or between its output and adjust pins. In some cases, line resistances can introduce errors to the voltage across the load. To obtain the best load regulation, a few precautions are needed.

Figure 2 shows a typical application using a fixed output regulator. The  $R11$  and  $R12$  are the line resistances. It is obvious that the  $V_{LOAD}$  is less than the  $V_{OUT}$  by the sum of the voltage drops along the line resistances. In this case, the load regulation seen at the  $R_{LOAD}$  would be degraded from the data sheet specification. To improve this, the load should be tied directly to the output terminal on the positive side and directly tied to the ground terminal on the negative side.

## Typical Performance Characteristics (Continued)



## Application Note

### 1.0 External Capacitors/Stability

#### 1.1 Input Bypass Capacitor

An input capacitor is recommended. A 10 $\mu F$  tantalum on the input is a suitable input bypassing for almost all applications.

#### 1.2 Adjust Terminal Bypass Capacitor

The adjust terminal can be bypassed to ground with a bypass capacitor ( $C_{ADJ}$ ) to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. At any ripple frequency, the impedance of the  $C_{ADJ}$  should be less than  $R1$  to prevent the ripple from being amplified:

$$1/(2\pi f_{ripple} C_{ADJ}) < R1$$

The  $R1$  is the resistor between the output and the adjust pin. Its value is normally in the range of 100-200 $\Omega$ . For example, with  $R1 = 124\Omega$  and  $f_{ripple} = 120\text{Hz}$ , the  $C_{ADJ}$  should be  $> 11\mu F$ .

#### 1.3 Output Capacitor

The output capacitor is critical in maintaining regulator stability, and must meet the required conditions for both minimum amount of capacitance and ESR (Equivalent Series Resistance). The minimum output capacitance required by the LM1117 is 10 $\mu F$  if a tantalum capacitor is used. Any increase of the output capacitance will merely improve the loop stability and transient response. The ESR of the output capacitor should range between 0.3 $\Omega$  - 22 $\Omega$ . In the case of the adjustable regulator, when the  $C_{ADJ}$  is used, a larger output capacitance (22 $\mu F$  tantalum) is required.

### 2.0 Output Voltage

The LM1117 adjustable version develops a 1.25V reference voltage,  $V_{REF}$ , between the output and the adjust terminal. As shown in Figure 1, this voltage is applied across resistor  $R1$  to generate a constant current  $I1$ . The current  $I_{ADJ}$  from the adjust terminal could introduce error to the output. But since it is very small (50 $\mu A$ ) compared with the  $I1$  and very constant with line and load changes, the error can be ignored. The constant current  $I1$  then flows through the output set resistor  $R2$  and sets the output voltage to the desired level.

For fixed voltage devices,  $R1$  and  $R2$  are integrated inside the devices.

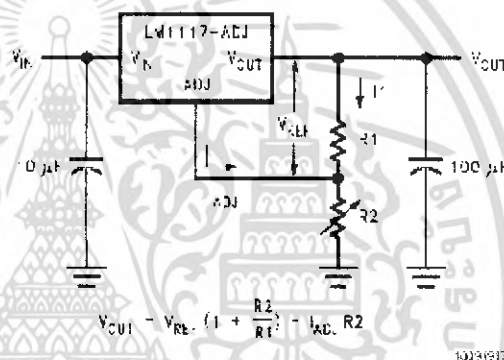


FIGURE 1. Basic Adjustable Regulator

### 3.0 Load Regulation

The LM1117 regulates the voltage that appears between its output and ground pins, or between its output and adjust pins. In some cases, line resistances can introduce errors to the voltage across the load. To obtain the best load regulation, a few precautions are needed.

Figure 2, shows a typical application using a fixed output regulator. The  $R1$  and  $R2$  are the line resistances. It is obvious that the  $V_{LOAD}$  is less than the  $V_{OUT}$  by the sum of the voltage drops along the line resistances. In this case, the load regulation seen at the  $R_{LOAD}$  would be degraded from the data sheet specification. To improve this, the load should be tied directly to the output terminal on the positive side and directly tied to the ground terminal on the negative side.



# LM124, LM124A, LM224, LM224A, LM324, LM324A, LM2902, LM2902V, LM224K, LM224KA, LM324K, LM324KA, LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV

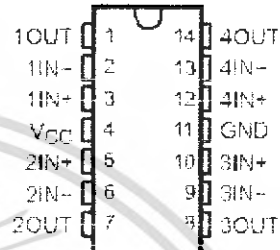
## QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLO3066R – SEPTEMBER 1975 – REVISED JANUARY 2005

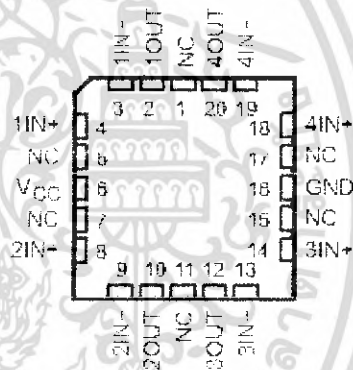
- 2-kV ESD Protection for:
  - LM224K, LM224KA
  - LM324K, LM324KA
  - LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV
- Wide Supply Ranges
  - Single Supply . . . 3 V to 32 V  
(26 V for LM2902)
  - Dual Supplies . . .  $\pm 1.5$  V to  $\pm 16$  V  
( $\pm 13$  V for LM2902)
- Low Supply-Current Drain Independent of Supply Voltage . . . 0.8 mA Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground
- Low Input Bias and Offset Parameters
  - Input Offset Voltage . . . 3 mV Typ  
A Versions . . . 2 mV Typ
  - Input Offset Current . . . 2 nA Typ
  - Input Bias Current . . . 20 nA Typ  
A Versions . . . 15 nA Typ
- Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage . . . 32 V  
(26 V for LM2902)
- Open-Loop Differential Voltage Amplification . . . 100 V/mV Typ
- Internal Frequency Compensation

LM124 . . . D, J, OR W PACKAGE  
LM124A . . . J PACKAGE  
LM224, LM224A, LM224K, LM224KA . . . D OR N PACKAGE  
LM324, LM324K . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE  
LM324A . . . D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE  
LM324KA . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE  
LM2902 . . . D, N, NS, OR PW PACKAGE  
LM2902K . . . D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE  
LM2902KV, LM2902KAV . . . D OR PW PACKAGE

(TOP VIEW)



LM124, LM124A . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

### description/ordering information

These devices consist of four independent high-gain frequency-compensated operational amplifiers that are designed specifically to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies also is possible if the difference between the two supplies is 3 V to 32 V (3 V to 26 V for the LM2902), and  $V_{CC}$  is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply-current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, dc amplification blocks, and all the conventional operational-amplifier circuits that now can be more easily implemented in single-supply-voltage systems. For example, the LM124 can be operated directly from the standard 5-V supply that is used in digital systems and provides the required interface electronics, without requiring additional  $\pm 15$ -V supplies.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not include guaranteed testing of all parameters.



Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated. All rights reserved. This product is covered by one or more patents. All trademarks are the property of their respective owners. All other trademarks are the property of their respective owners.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวงจรตัวอย่างเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM124, LM124A, LM224, LM224A, LM324, LM324A, LM2902, LM2902V,  
LM224K, LM224KA, LM324K, LM324KA, LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV**  
**QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLO5066P – SEPTEMBER 1975 – REVISED JANUARY 2005

description/ordering information (continued)

**ORDERING INFORMATION**

TA	V <sub>IO</sub> max AT 25°C	MAX TESTED V <sub>CC</sub>	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	7 mV	30 V	PDIP (N)	Tube of 25	LM324N	LM324N
				LM324KN	LM324KN	
			SOIC (D)	Tube of 50	LM324D	LM324
				Reel of 2500	LM324DR	
				Tube of 50	LM324K(D)	LM324K
				Reel of 2500	LM324K(DR)	
			SOP (NS)	Reel of 2000	LM324NSR	LM324
				Tube of 50	LM324KNS	LM324K
			TSSOP (PW)	Reel of 2000	LM324KNSR	
				Tube of 90	LM324PW	L324
				Reel of 2000	LM324PWR	
				Tube of 90	LM324KPW	L324K
Reel of 2000	LM324KPWR					
0°C to 70°C	3 mV	30 V	PDIP (N)	Tube of 25	LM324AN	LM324AN
				LM324KAN	LM324KAN	
			SOIC (D)	Tube of 50	LM324AD	LM324A
				Reel of 2500	LM324ADR	
				Tube of 50	LM324KAD	LM324KA
				Reel of 2500	LM324KADR	
			SOP (NS)	Reel of 2000	LM324ANSR	LM324A
				Tube of 50	LM324KANS	LM324KA
			SSOP (DB)	Reel of 2000	LM324KANSR	
				Reel of 2000	LM324ADBR	LM324A
				Tube of 90	LM324APW	L324A
				Reel of 2000	LM324APWR	
TSSOP (PW)	Tube of 90	LM324KAPW	L324KA			
	Reel of 2000	LM324KAPWR				
-25°C to 85°C	5 mV	30 V	PDIP (N)	Tube of 25	LM224N	LM224N
				LM224KN	LM224KN	
			SOIC (D)	Tube of 50	LM224D	LM224
				Reel of 2500	LM224DR	
				Tube of 50	LM224KD	LM224K
				Reel of 2500	LM224KDR	
	3 mV	30 V	PDIP (N)	Tube of 25	LM224AN	LM224AN
				LM224KAN	LM224KAN	
			SOIC (D)	Tube of 50	LM224AD	LM224A
				Reel of 2500	LM224ADR	
				Tube of 50	LM224KAD	LM224KA
				Reel of 2500	LM224KADR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM124, LM124A, LM224, LM224A, LM324, LM324A, LM2902, LM2902V,  
LM224K, LM224KA, LM324K, LM324KA, LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV**  
**QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**

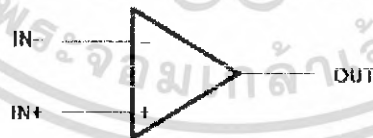
SLOS066R - SEPTEMBER 1975 - REVISED JANUARY 2005

**ORDERING INFORMATION (CONTINUED)**

TA	V <sub>ID</sub> max AT 25°C	MAX TESTED V <sub>CC</sub>	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
40°C to 125°C	7 mV	26 V	PDIP (N)	Tube of 25	LM2902N	LM2902N
				Tube of 25	LM2902KN	LM2902KN
			SOIC (D)	Tube of 50	LM2902D	LM2902
				Reel of 2500	LM2902DR	
				Tube of 50	LM2902KD	LM2902K
				Reel of 2500	LM2902KDR	
			SOP (NS)	Reel of 2000	LM2902NSR	LM2902
				Tube of 50	LM2902KNS	LM2902K
			SSOP (DB)	Reel of 2000	LM2902KNSR	
				Tube of 80	LM2902KDB	
			TSSOP (PW)	Tube of 90	LM2902PW	L2902
				Reel of 2000	LM2902PWR	
	Tube of 90	LM2902KPW		L2902K		
	Reel of 2000	LM2902KPWR				
	32 V	SOIC (D)	Reel of 2500	LM2902KVQDR	L2902KV	
		TSSOP (PW)	Reel of 2000	LM2902KVQPWR	L2902KV	
2 mV	32 V	SOIC (D)	Reel of 2500	LM2902KAVQDR	L2902KA	
		TSSOP (PW)	Reel of 2000	LM2902KAVQPWR	L2902KA	
-50°C to 125°C	5 mV	30 V	CDIP (J)	Tube of 25	LM124J	LM124J
			CFP (W)	Tube of 25	LM124W	LM124W
			LCCC (FK)	Tube of 55	LM124FK	LM124FK
				Tube of 50	LM124D	LM124
	SOIC (D)	Reel of 2000	LM124DR			
	2 mV	30 V	CDIP (J)	Tube of 25	LM124AJ	LM124AJ
LCCC (FK)			Tube of 55	LM124AFK	LM124AFK	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package)

symbol (each amplifier)



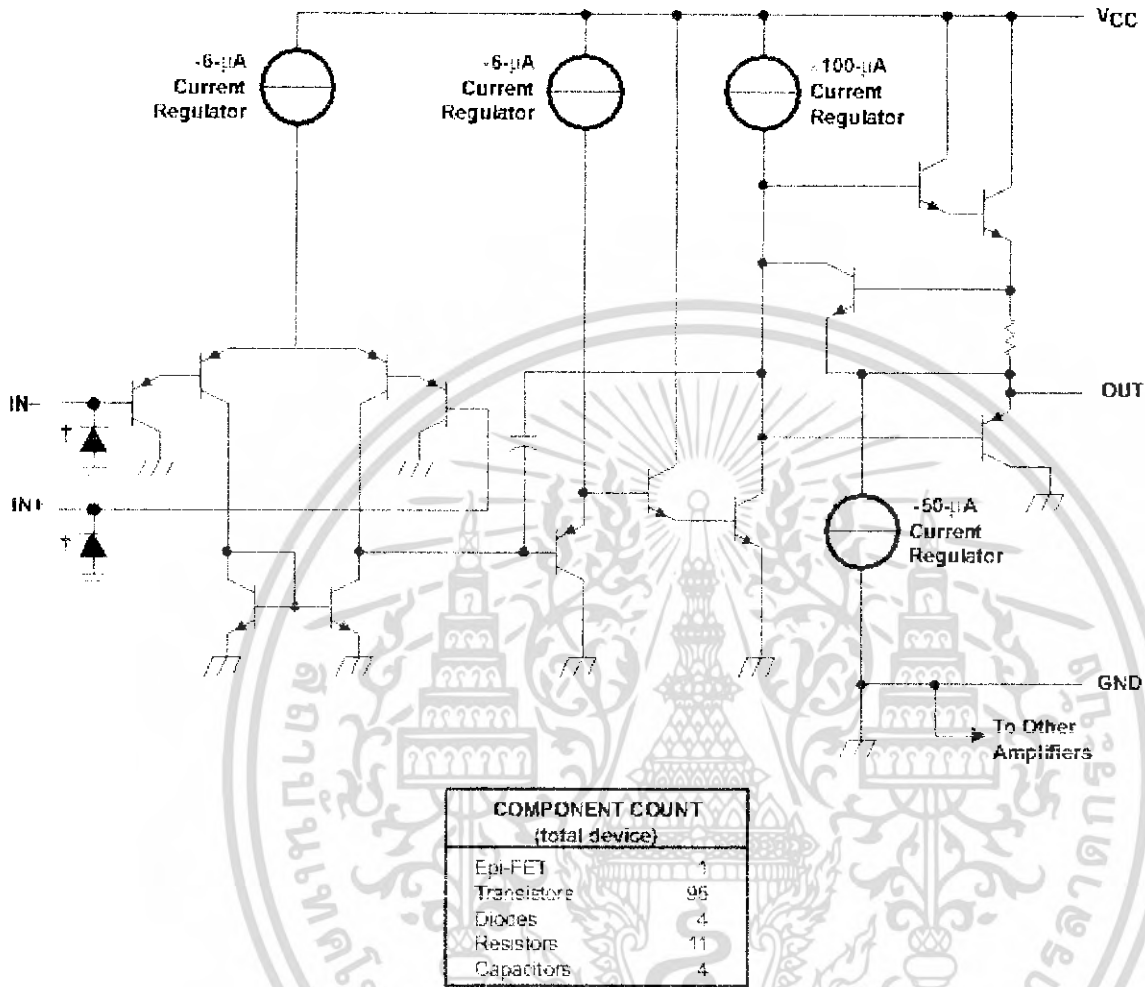
**TEXAS  
INSTRUMENTS**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM124, LM124A, LM224, LM224A, LM324, LM324A, LM2902, LM2902V,  
LM224K, LM224KA, LM324K, LM324KA, LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV**  
**QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**

CLDS066R - SEPTEMBER 1975 - REVISED JANUARY 2005

schematic (each amplifier)



† ESD protection cells - available on LM324K and LM324KA only



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM124, LM124A, LM224, LM224A, LM324, LM324A, LM2902, LM2902V,  
LM224K, LM224KA, LM324K, LM324KA, LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV**  
**QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS068F – SEPTEMBER 1975 – REVISED JANUARY 2005

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†**

	LM2902	ALL OTHER DEVICES	UNIT
Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1)	±13 or 26	±16 or 32	V
Differential input voltage, $V_{ID}$ (see Note 2)	±26	±32	V
Input voltage, $V_I$ (either input)	-0.3 to 26	-0.3 to 32	V
Duration of output short circuit (one amplifier) to ground at (or below) $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $V_{CC} \leq 15\text{ V}$ (see Note 3)	Unlimited	Unlimited	
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Notes 4 and 5)	D package	86	°C/W
	DB package	96	
	N package	80	
	NS package	76	
	PW package	113	
Package thermal impedance, $\theta_{JC}$ (see Notes 5 and 7)	FK package	5.61	°C/W
	J package	18.06	
	W package	14.65	
Operating virtual junction temperature, $T_J$	150	150	°C
Case temperature for 50 seconds	FK package	260	°C
Lead temperature, 1.6 mm (1/16 inch) from case for 50 seconds	J or W package	300	°C
Storage temperature range, $T_{STG}$	-65 to 150	-65 to 150	°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES
1. All voltage values (except differential voltages and  $V_{CC}$  specified for the measurement of  $I_{OS}$ ) are with respect to the network GND.
  2. Differential voltages are at IN1, with respect to IN4.
  3. Short circuits from outputs to  $V_{CC}$  can cause excessive heating and eventual destruction.
  4. Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\text{max})$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150°C can affect reliability.
  5. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.
  6. Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\text{max})$ ,  $\theta_{JC}$ , and  $T_C$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is  $P_D = (T_J(\text{max}) - T_C)/\theta_{JC}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150°C can affect reliability.
  7. The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.

**ESD protection**

	TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
Human Body Model	LM224K, LM224KA, LM324K, LM324KA, LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV	±2	kV



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM124, LM124A, LM224, LM224A, LM324, LM324A, LM2902, LM2902V,  
LM224K, LM224KA, LM324K, LM324KA, LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV**  
**QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLDS066SR - SEPTEMBER 1975 - REVISED JANUARY 2005

electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC} = 5\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T <sub>A</sub> ‡	LM124 LM224			LM324 LM324K			UNIT	
			MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX		
V <sub>IO</sub>	Input offset voltage V <sub>CC</sub> = 5 V to MAX, V <sub>ICM</sub> = V <sub>ICMRHR</sub> , V <sub>O</sub> = 1.4 V	25°C		3	5		3	7	mV	
		Full range			7			9		
I <sub>IO</sub>	Input offset current V <sub>O</sub> = 1.4 V	25°C		7	30		2	50	nA	
		Full range			100			150		
I <sub>IB</sub>	Input bias current V <sub>O</sub> = 1.4 V	25°C		20	-150		-20	-250	nA	
		Full range			-500			-500		
V <sub>ICR</sub>	Common-mode input voltage range V <sub>CC</sub> = 5 V to MAX	25°C	0 to V <sub>CC</sub> - 1.5			0 to V <sub>CC</sub> - 1.5			V	
		Full range	0 to V <sub>CC</sub> - 2			0 to V <sub>CC</sub> - 2				
V <sub>OH</sub>	High-level output voltage R <sub>L</sub> = 2 kΩ V <sub>CC</sub> = MAX	25°C	26			26			V	
		Full range	26			26				
		25°C	27			27				
		Full range	27			28				
V <sub>OL</sub>	Low-level output voltage R <sub>L</sub> = 10 kΩ	25°C	5			5			mV	
		Full range	5			20				
A <sub>VD</sub>	Large-signal differential voltage amplification V <sub>CC</sub> = 15 V, V <sub>O</sub> = 1 V to 11 V, R <sub>L</sub> = 2 kΩ	25°C	50			25			V/mV	
		Full range	20			15				
CMRR	Common-mode rejection ratio V <sub>O</sub> = V <sub>ICRHR</sub>	25°C	70			65			dB	
kgv <sub>SR</sub>	Supply-voltage rejection ratio (V <sub>CC</sub> )/V <sub>ICM</sub>	25°C	65			65			dB	
V <sub>DI</sub> /V <sub>O2</sub>	Crosstalk attenuation f = 1 kHz to 20 kHz	25°C	120			120			dB	
I <sub>O</sub>	Output current V <sub>CC</sub> = 15 V, V <sub>IO</sub> = 1 V, V <sub>O</sub> = 0	Source	25°C	-20			-20			mA
			Full range	-10			-10			
		Sink	25°C	10			10			
			Full range	5			5			
I <sub>OC</sub>	Short-circuit output current V <sub>CC</sub> at 5 V, V <sub>O</sub> at -0.5 V	25°C	12			12			mA	
		Full range	30			30				
I <sub>SC</sub>	Supply current (per amplifier) V <sub>O</sub> = 2.5 V, No load	25°C	1.4			1.4			mA	
		Full range	3			3				

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V<sub>CC</sub> for testing purposes is 26 V for LM2902 and 30 V for the others.

‡ Full range is -55°C to 125°C for LM124, -25°C to 85°C for LM224, and 0°C to 70°C for LM324.

§ All typical values are at T<sub>A</sub> = 25°C.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM124, LM124A, LM224, LM224A, LM324, LM324A, LM2902, LM2902V,  
LM224K, LM224KA, LM324K, LM324KA, LM2902K, LM2902KV, LM2902KAV**  
**QUADRUPLE OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS066R – SEPTEMBER 1975 – REVISED JANUARY 2005

**electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC} = 5\text{ V}$  (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS†		$T_A$ ‡	LM2902			LM2902V			UNIT	
				MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX		
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$ $V_{IC} = V_{IC(min)}$ $V_O = 1.4\text{ V}$	Non-A-suffix devices	25°C		2	7		3	7	mV	
			Full range			10		10			
		A-suffix devices	25°C				1	2			
			Full range					4			
$\Delta V_{IO}/\Delta T$ Input offset voltage temperature drift	$R_G = 0\ \Omega$		Full range				7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		
$I_{IO}$ Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$		25°C		2	50		2	50	nA	
			Full range			300		150			
$\Delta I_{IO}/\Delta T$ Input offset current temperature drift			Full range				10		$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$		
$I_{IB}$ Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$		25°C		-20	-250		-20	-250	nA	
			Full range			-500		-500			
$V_{ICR}$ Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$		25°C		0 to $V_{CC} - 1.5$		0 to $V_{CC} - 1.5$		V		
			Full range		0 to $V_{CC} - 2$		0 to $V_{CC} - 2$				
$V_{OH}$ High-level output voltage	$R_L = 2\text{ k}\Omega$ $R_L = 10\text{ k}\Omega$		25°C						V		
			25°C		$V_{CC} - 1.5$		$V_{CC} - 1.5$				
			Full range	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	22	26					
				$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	23	24	27				
$V_{OL}$ Low-level output voltage	$R_L = 10\text{ k}\Omega$		Full range		5	20	5	20	mV		
$A_{VD}$ Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$ , $V_O = 10\text{ to }11\text{ V}$ $R_L = 2\text{ k}\Omega$		25°C		35	100		25	100	V/mV	
			Full range			15		15			
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{IC(min)}$		25°C		50	80		60	80	dB	
$k_{SVR}$ Supply-voltage rejection ratio ( $\Delta V_{IC}/\Delta V_{IC}$ )			25°C		50	100		60	100	dB	
$V_{OD}/V_{CC}$ Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$		25°C			120		120		dB	
$I_O$ Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}$ $V_{ID} = 1\text{ V}$ $V_O = 0$	Source	25°C		-20	-30	-60	-20	-30	-60	mA
			Full range			-10		-10			
	Sink	25°C		10	20		10	20			
		Full range			5		5				
$I_{OS}$ Short-circuit output current	$V_{CC}$ at 5 V GND at -5 V $V_O = 0$		25°C		-40	-60		-40	-60	mA	
			Full range								
$I_{CC}$ Supply current (four amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V}$ $V_{CC} = \text{MAX}$ $V_O = 0.5 V_{CC}$	No load	Full range		0.7	1.2		0.7	1.2	mA	
		No load	Full range		1.4	3		1.4	3		

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX  $V_{CC}$  for testing purposes is 26 V for LM2902 and 32 V for LM2902V.

‡ Full range is -40°C to 125°C for LM2902.

§ All typical values are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น • ขอสงวนสิทธิ์ในชื่อ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## P89LPC938

The P89LPC938 is a single-chip microcontroller, available in low cost packages, based on a high performance processor architecture that executes instructions in two to four clocks, six times the rate of standard 80C51 devices. Many system-level functions have been incorporated into the P89LPC938 in order to reduce component count, board space, and system cost.

### Key features include:

The P89LPC938 is a single-chip microcontroller, available in low cost packages, based on a high performance processor architecture that executes instructions in two to four clocks, six times the rate of standard 80C51 devices. Many system-level functions have been incorporated into the P89LPC938 in order to reduce component count, board space, and system cost.

### Key features:

- 8 kB byte-erasable Flash code memory organized into 1 kB sectors and 64-byte pages. Single-byte erasing allows any byte(s) to be used as non-volatile data storage.
- 256-byte RAM data memory and a 512-byte auxiliary on-chip RAM.
- 512-byte customer Data EEPROM on chip allows serialization of devices, storage of set-up parameters, etc.
- 8-input multiplexed 10-bit A/D converter. Two analog comparators with selectable inputs and reference source.
- Two 16-bit counter/timers (each may be configured to toggle a port output upon timer overflow or to become a PWM output) and a 23-bit system timer that can also be used as a RTC.
- Enhanced UART with fractional baud rate generator, break detect, framing error detection, and automatic address detection; 400 kHz byte-wide I<sup>2</sup>C-bus communication port and SPI communication port.
- CCU provides PWM, input capture, and output compare functions.
- High-accuracy internal RC oscillator option allows operation without external oscillator components. The RC oscillator option is selectable and fine tunable.
- 2.4 V to 3.6 V V<sub>DD</sub> operating range. I/O pins are 5 V tolerant (may be pulled up or driven to 5.5 V).
- 28-pin TSSOP, PLCC, and HVQFN packages with 23 I/O pins minimum and up to 26 I/O pins while using on-chip oscillator and reset options.

## คู่มือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อขยู่ใช้ให้มาโดยไม่มีเงื่อนไขหรือค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3. Pin configuration information

#### 3.1 Pin configuration information

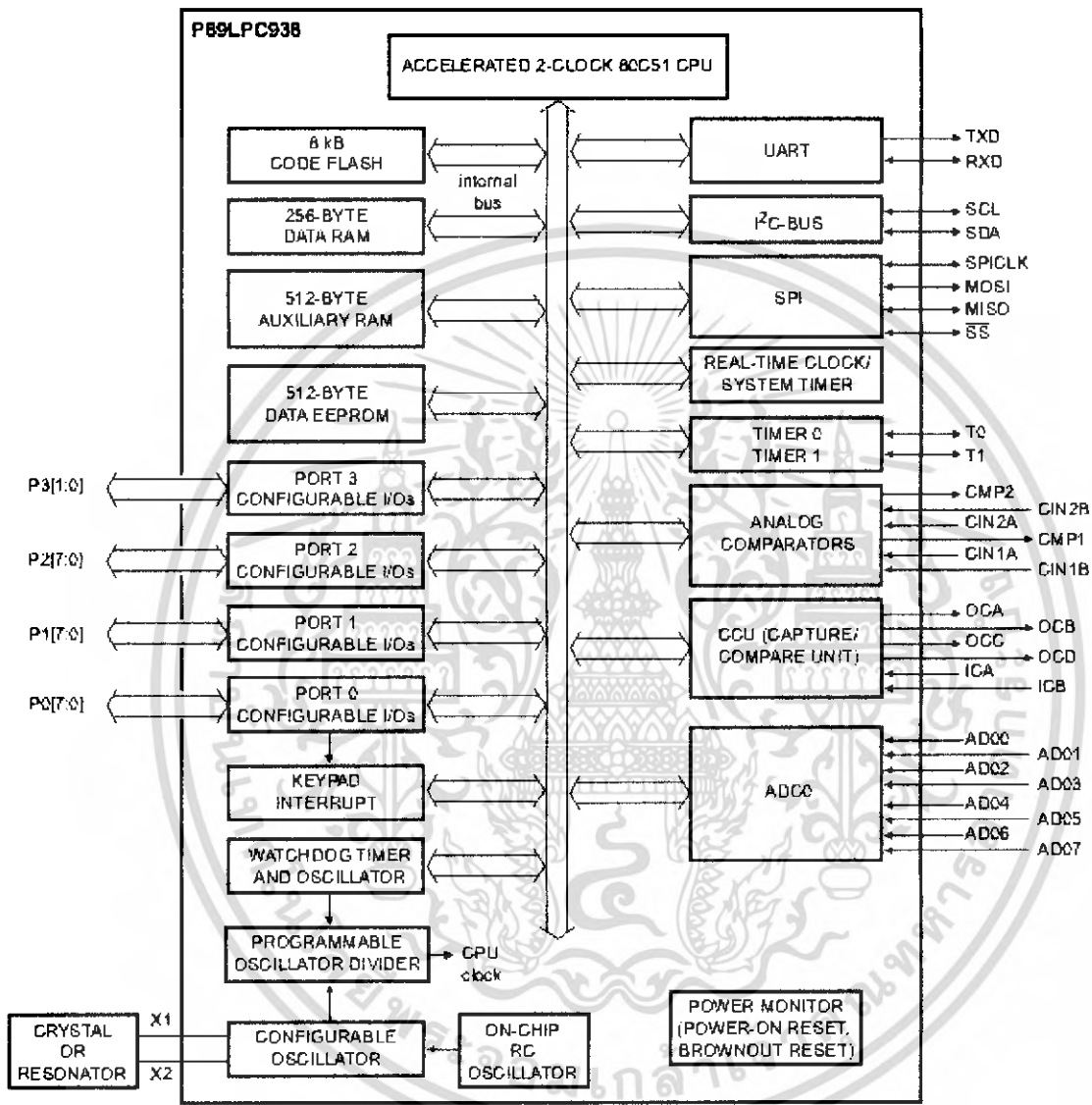
Type number	Package		Version
	Name	Description	
P89LPC938FA	PLCC28	plastic leaded chip carrier; 28 leads	SOT261-2
P89LPC938FDH	TSSOP28	plastic thin shrink small outline package; 28 leads; body width 4.4 mm	SOT361-1
P89LPC938FHN	HVQFN28	plastic thermal enhanced very thin quad flat package; no leads; 28 terminals; body 6 × 6 × 0.85 mm	SOT788-1

#### 3.2 Pin configuration information

##### 3.2.1 Pin configuration information

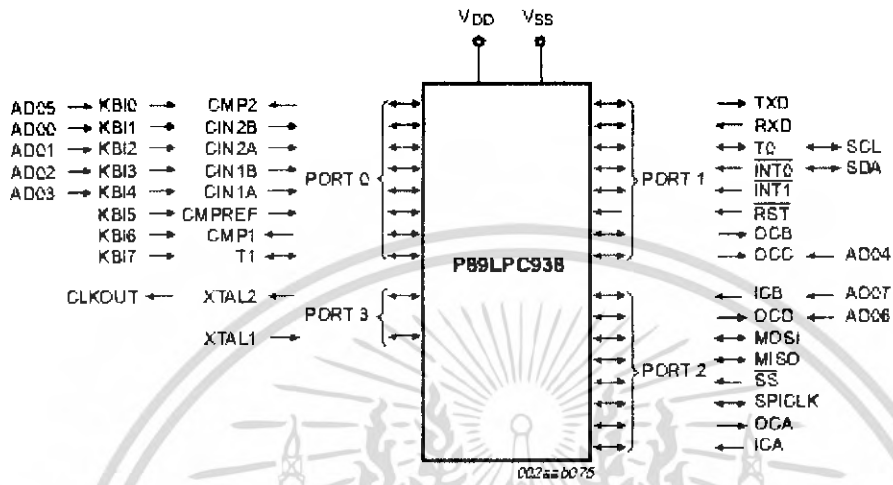
Type number	Flash memory	Temperature range	Frequency
P89LPC938FA	8 kB	-40 °C to +85 °C	0 MHz to 18 MHz
P89LPC938FDH	8 kB	-40 °C to +85 °C	0 MHz to 18 MHz
P89LPC938FHN	8 kB	-40 °C to +85 °C	0 MHz to 18 MHz

Block Diagram



# P89LPC938

www.kechins.com

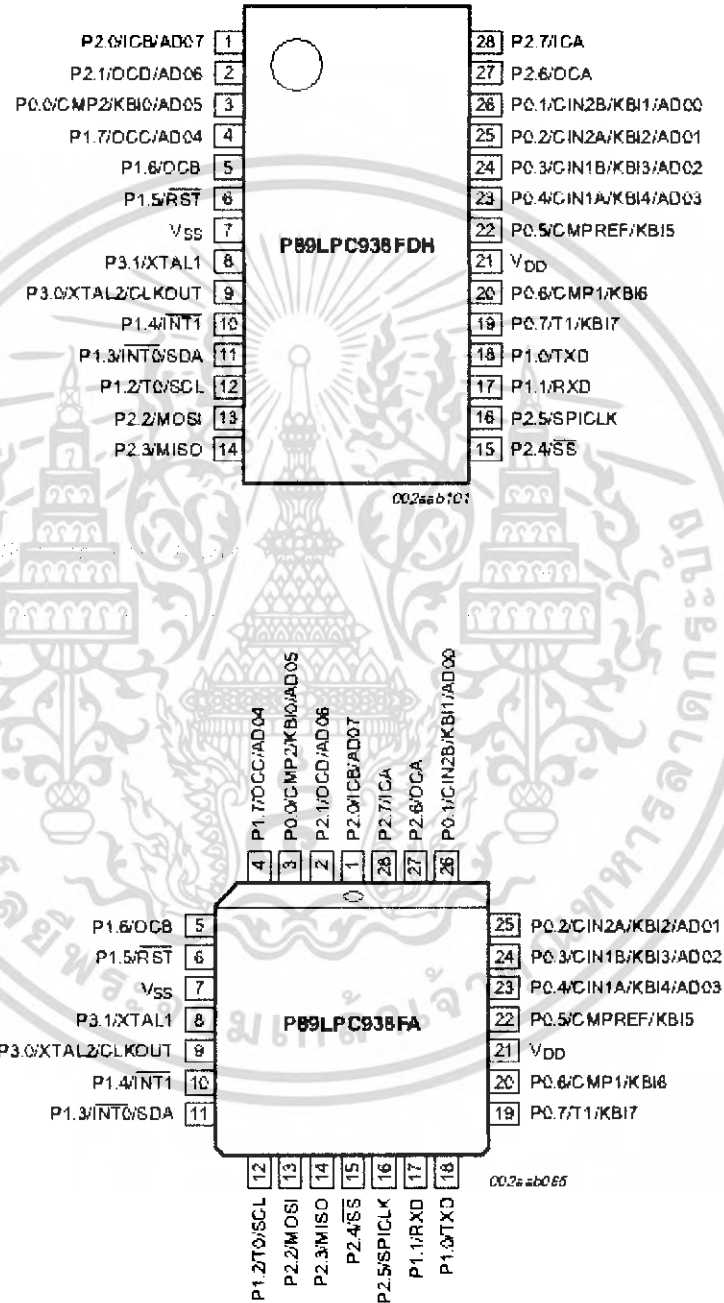


# P89LPC933F

8-Bit 8051-Compatible CMOS Microcontroller

## 5. Pin Configuration Information

Table 1. Pin Configurations



# MC78XX/LM78XX/MC78XXA

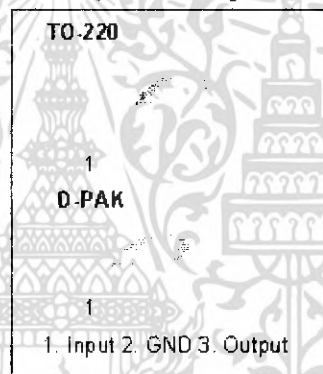
## 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

### Features

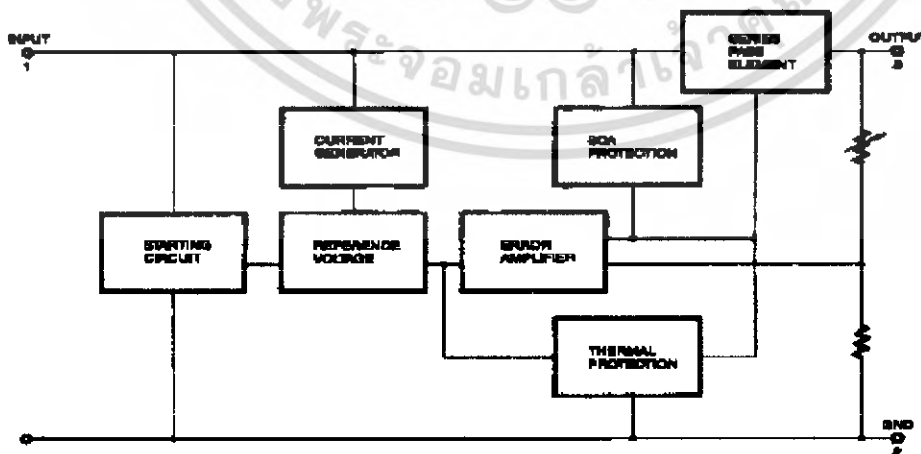
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

### Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



### Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$ ) (for $V_O = 24V$ )	$V_I$	35	V
	$V_I$	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	$T_{OPR}$	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	$T_{STG}$	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

## Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ,  $I_O = 500mA$ ,  $V_I = 10V$ ,  $C_1 = 0.33\mu F$ ,  $C_O = 0.1\mu F$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$ , $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note 1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note 1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10Hz$ to $100kHz$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{Drop}$	$I_O = 1A$ , $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1kHz$	-	15	-	$m\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35V$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

## Electrical Characteristics (MC7806)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\mu\text{A}$ ,  $V_I = 11\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7806			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.75	6.0	6.25	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8.0\text{V to } 21\text{V}$	5.7	6.0	6.3		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	-	5	120	mV
			$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	-	1.5	60	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	120	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	3	60	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	-	-	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	45	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 9\text{V to } 19\text{V}$	59	75	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	19	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.