ระบบจำลองการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้ากำลัง

นายณรงฤทธิ์ บุญคง

นายภูริน ราคำก่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2567

CONTRIBUTION

ระบบจำลองการควบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้ากำลัง

นายเชาวฤทธิ์ บุญตา

นายสุทิน ทาคำห่อ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2547

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงาน	**ระบบจำลองการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้ากำลัง**
ผู้ดำเนินงาน	นายเชาวฤทธิ์ บุญตา B4408611
	นายสุทิน ทาคำห่อ B4407164
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	2/2547

บทคัดย่อ

การสื่อสารข้อมูลนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ แบ่งตามชนิดตัวกลางการส่งข้อมูล คือ แบบใช้สายนำสัญญาณ (Wireline) และแบบไม่ใช้สายนำสัญญาณ (Wireless) ตัวอย่างหนึ่งของการสื่อสารข้อมูลแบบใช้สายนำสัญญาณ ได้แก่ การสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้ากำลัง (Powerline Communication) ซึ่งมีข้อดีตรงที่ประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องการวางระบบเนื่องจากสายไฟฟ้ากำลังได้ถูกติดตั้งไว้ทั่วไปอยู่แล้วตามที่อยู่อาศัย และอาคารต่างๆ

โครงงานนี้ทำการจำลองระบบการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้ากำลังโดยการประยุกต์ใช้สัญญาณความถี่ DTMF จากระบบโทรศัพท์เป็นสัญญาณข้อมูลทำการมอดูเลตกับความถี่ 50 Hz จากระบบจำลองสายไฟฟ้ากำลังแล้วที่ปลายทางมีอุปกรณ์ถอดสัญญาณ DTMF เป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อเป็นรหัสควบคุมการทำงานการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไป ซึ่งในส่วนของการควบคุมการทำงานทั้งหมดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S8252

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงงานระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้ากำลังในครั้งนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ลงได้ ก็เพราะด้วยความกรุณาของบุคคลหลายท่าน ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ในการทำโครงงานครั้งนี้ซึ่งประกอบด้วยอาจารย์ ดร. ชาญชัย ทองโสภา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานผู้เปิดโอกาสให้ผู้จัดทำได้สัมผัสและรู้จักกับการทำโครงงานนี้เป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมทั้งให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเกี่ยวกับโครงงาน ผศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้ซึ่งมีความเมตตาคอยให้ความช่วยเหลือในทุกเรื่อง รวมทั้งคอยให้คำแนะนำปรึกษาที่ดี

ขอขอบคุณ คุณประพล จาระตะคุ ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการเกี่ยวกับงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินโครงการ คุณวิชัย ศรีสุรักษ์และคุณสมิง เติมพรหมราชที่ช่วยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการเขียนโปรแกรมเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโทรคมนาคม ห้องปฏิบัติการไมโครโปรเซสเซอร์ ห้องปฏิบัติการวงจรและอุปกรณ์ทุกท่านที่ให้ความช่วย เหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ รวมทั้งเพื่อนๆทุกคนสำหรับความช่วยเหลือที่ดีและกำลัง ใจที่มอบให้ตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของผู้จัดทำผู้ให้โอกาสทางการศึกษาและคอยสนับสนุนด้วยดีตลอดมารวมทั้งกำลังใจที่คอยมอบให้ผู้จัดทำอย่างหาที่เปรียบมิได้

เชาวฤทธิ์ บุญตา

สุทิน ทาคำห่อ

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.10 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51	41
3.11 การกำหนดค่าของไทม์เมอร์เพื่อเลือกอัตราบอด	43
3.12 การเขียนหรือส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม	45
3.13 การอ่านหรือรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม	46
บทที่4 การออกแบบระบบ	**47**
4.1 กล่าวนำ	47
4.2 ภาคส่งสัญญาณ DTMF (Dual Tone Multifrequency)	48
4.3 ภาครับสัญญาณ DTMF (DTMF Receiver)	53
4.4 ภาคถอดสัญญาณ DTMF	55
4.5 ภาคควบคุมการทำงานของวงจร (Microcontroller)	56
4.6 อุปกรณ์แสดงผล	57
บทที่ 5 การออกแบบโปรแกรม	**58**
5.1 กล่าวนำ	58
5.2 โปรแกรมหลักภาครับข้อมูล	58
5.3 สรุป	60
บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง	**87**
6.1 วงจรรับสัญญาณ DTMF	61
6.2 วงจรขยายสัญญาณ	62
4.3 วงจรหม้อแปลง	63
6.4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	64
6.5 ทดสอบการส่งสัญญาณ DTMF	64
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	**96**
7.1 สรุปผลการออกแบบโครงงาน	70
7.2 การพัฒนาโครงงานในอนาคต	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.3 ข้อเสนอแนะ	70
7.4 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	71
7.5 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข	72
บรรณานุกรม	**73**
ภาคผนวก ก วงจรใช้งาน ลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์ และภาพถ่ายชุดโครงงาน	74
ภาคผนวก ข โปรแกรม	90
ภาคผนวก ค data sheet	95
ประวัติผู้เขียน	**121**

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ระบบควบคุมระยะไกลแบบมีสายสัญญาณ 4

ภาพที่ 2.2 ลักษณะของพัลส์ดิจิตอล 5

ภาพที่ 2.3 ข้อมูลในหนึ่งเฟรมของ X-10 Protocol 6

ภาพที่ 2.4 การทำงานของระบบควบคุมระยะไกลผ่านสายไฟฟ้ากำลัง 10

ภาพที่ 2.5 โครงสร้างหน้าที่ภายในของ MT8870 11

ภาพที่ 2.6 การจัดขาของ MT8870 12

ภาพที่ 2.7วงจรภายในเครื่องโทรศัพท์และการเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น 15

ภาพที่ 2.8 แถบความถี่ (พลังงาน) ของเสียงพูด 17

ภาพที่ 2.9 สัญญาณต่าง ๆ ที่อยู่ทั้งในและนอกย่านความถี่เสียง 18

ภาพที่ 2.10 วงจรอย่างง่ายในการอธิบายกำลังของสัญญาณ 19

ภาพที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของโทรศัพท์ 20

ภาพที่ 2.12 แป้นกดหมายเลขและค่าความถี่ในแนวนอนและแนวตั้งของ
หมายเลขนั้น ๆ 22

ภาพที่ 2.13 รูปสัญญาณของระบบ DTMF 24

ภาพที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของระบบ DTMF 25

ภาพที่ 2.15 ชนิดของปุ่มกดและรูปสัญญาณ 26

ภาพที่ 2.16 ความถี่ของระบบ DTMF และผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ 27

ภาพที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx 32

ภาพที่ 3.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx 33

ภาพที่ 3.3 การจัดขาของ AT89S8252 34

ภาพที่ 3.4 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 40

ภาพที่ 4.1 โครงสร้างโดยรวมของระบบ 46

ภาพที่ 4.2 ระบบส่งสัญญาณ DTMF 47

ภาพที่ 4.3 การต่อสายสัญญาณโทรศัพท์ 47

ภาพที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณ DTMF 48

ภาพที่ 4.5 วงจรการเชื่อมต่อสายไฟฟ้ากำลัง 49

ภาพที่4.6 Function Generator 51

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.7 สายคู่ตีเกลียว(Twisted pair line) 52

ภาพที่ 4.8 โครงสร้างโดยรวมภาครับสัญญาณ DTMF 53

ภาพที่ 4.9 การใช้งานไอซีถอดสัญญาณ DTMF เบอร์MT8870 54

ภาพที่ 4.10 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับรับสัญญาณ
ดิจิตอลขนาด 4 บิต 56

ภาพที่ 4.11 แผนผังแสดงการต่อใช้งานอุปกรณ์แสดงผล 57

ภาพที่ 5.1 แสดงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมหลักภาครับข้อมูล 58

ภาพที่ 6.1 สัญญาณอินพุทของวงจรขยายสัญญาณ 62

ภาพที่ 6.2 สัญญาณเอาท์พุทวงจรของขยายสัญญาณ 62

ภาพที่ 6.3 สัญญาณขาเข้าวงจรหม้อแปลง 63

ภาพที่ 6.4 สัญญาณขาออกของวงจรหม้อแปลง 63

ภาพที่ 6.5 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 1 64

ภาพที่ 6.6 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 2 64

ภาพที่ 6.7 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 3 65

ภาพที่ 6.8 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 4 65

ภาพที่ 6.9 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 5 65

ภาพที่ 6.10 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 6 66

ภาพที่ 6.11 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 7 66

ภาพที่ 6.12 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 8 66

ภาพที่ 6.13 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 9 67

ภาพที่ 6.14 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 0 67

ภาพที่ 6.15 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดปุ่ม * 67

ภาพที่ 6.16 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดปุ่ม # 68

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 รหัสสั่งงานแบบ X-10 7

ตารางที่2.2 รายละเอียดการจัดขาและหน้าที่ของMT8870 12

ตารางที่ 2.3 หน้าที่ภาครับ ภาคส่งข้อมูลไอซีถอดสัญญาณ DTMF MT8870 14

ตารางที่ 2.4 แสดงความถี่ที่มอดูเลตกันเมื่อกดหมายเลข 16

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดโดยสรุปบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แบบแฟลชที่ Atmel ผลิตขึ้นและใช้ในการอ้างอิงในรายงานนี้ 33

ตาราง ที่ 3.2 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Atmel 37

ตารางที่ 3.3 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 44

ตารางที่ 4.1 การถอดสัญญาณของ MT8870 55

ตารางที่ 6.1 ผลจากการถอดรหัส DTMF 61

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองเมื่อทำการส่งสัญญาณ DTMF เข้าไปในระบบ 68

บทที่1
บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาโครงงาน

นับจากอดีตมนุษย์พยายามพัฒนาความรู้ความสามารถรวมทั้งเทคโนโลยีให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้มีชีวิตความเป็นอยู่ที่สุขสบายขึ้น อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างถูกพัฒนาปรับปรุงเรื่อยมา จากเครื่องไม้เครื่องมือธรรมดาตามธรรมชาติ มาเป็นเครื่องจักรกล จนมาเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้า จากหลอดไฟธรรมดา เริ่มมี มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องจักรไฟฟ้า พัดลม เตารีด ซึ่งในปัจจุบันล้วนแต่ต้องใช้ไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าทั้งสิ้น ที่ทำการเปลี่ยนพลังงานอื่นมาเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วแจกจ่ายไปตามสายไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ที่กระจายอยู่ทั่วไป แม้ในเรื่องการสื่อสารเองก็มีพัฒนาการที่ก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว จากการส่งเสียง มาเป็นการส่งภาษาในรูปการเขียน จนมาเป็นการนำไฟฟ้ามาช่วยในการส่งโทรเลข พัฒนามาเป็นโทรศัพท์ตามสาย และการส่งสัญญาณทางอากาศ คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ จนปัจจุบัน เป็นการสื่อสารผ่านดาวเทียม เคเบิ้ลใยแก้วนำแสง และอื่นๆ อีกมากมาย

จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีการสื่อสารพัฒนาแบบคู่ขนานไปกับเทคโนโลยีเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป ปัจจุบันชีวิตประจำวันของมนุษย์เริ่มจะมีความซับซ้อนและยุ่งยากมากยิ่งขึ้น อุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมากติดตั้งอยู่ ณ อีกที่ซึ่งไกลออกไป ทำให้ผู้ใช้เกิดความไม่สะดวกและเสียเวลาอย่างมาก ไม่สามารถความคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างต้องการได้ จึงได้มีการใช้เทคโนโลยีสื่อสารในการส่งสัญญาณควบคุมไปตามสื่อสัญญาณต่างๆเพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ปลายทาง เทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกคิดค้นขึ้นก็คือ การส่งสัญญาณควบคุมไปตามสายไฟฟ้ากำลัง (220V) ซึ่งเมื่อเทียบกับการส่งสัญญาณควบคุมทางอื่นแล้วมีข้อดีตรงที่ประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องการวางระบบเพราะสายไฟฟ้านั้นมีอยู่แล้วตามสถานที่ทั่วไปและทั้งยังสามารถนำมาปรับใช้ได้อย่างง่ายดายแต่อย่างไรก็ตามการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยวิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในเรื่องของกำลังในการส่ง ความเร็วในการส่งข้อมูล, ความทนทานต่อสัญญาณรบกวน อีกทั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังไม่มีการรองรับกับวิธีการควบคุมแบบนี้เลย โดยเฉพาะภายในประเทศของเรา

โครงการวิจัยนี้จะทำการพัฒนาเครื่องควบคุมระยะไกลที่ส่งสัญญาณควบคุมไปตามสายไฟฟ้าโดยการจำลองระบบของสายไฟฟ้าซึ่งมีความถี่ 50 Hzแล้วทำการส่งสัญญาณ DTMF

(Dual Tone Multifrequency) เข้าไปในระบบดังกล่าวพร้อมกันนี้ทางด้านเครื่องรับปลายทางจะทำการถอดสัญญาณ DTMFเพื่อให้ได้สัญญาณดิจิตอลสำหรับการนำไปควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไปกำลังสำหรับภาคควบคุมได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์AT89S8252 มาทำการประมวลผลการาทำงานทั้งหมด

1.2 วัตถุประสงค์โครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้ากำลัง(Powerline Communication)

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

1.2.3 เพื่อเรียนรู้การประยุกต์ใช้งานและการเขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

1.2.4 เพื่อศึกษาเรียนรู้และประยุกต์ใช้งานสัญญาณ DTMF (Dual Tone Multifrequency)

1.2.5 เพื่อศึกษาเรียนรู้และประยุกต์ใช้งานไอซีถอดสัญญาณ DTMF (Dual Tone Multifrequency)

1.2.6 เพื่อเรียนรู้การประยุกต์ใช้งานและการเขียนโปรแกรมออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และลายทองแดงพิมพ์ด้วยโปรแกรม Protel 99SE

1.3 ขอบเขตโครงงาน

1.3.1 ออกแบบและสร้างวงจร ระบบเชื่อมต่อสายไฟฟ้ากำลัง (Powerline Network)

1.3.2 ออกแบบและสร้างวงจรส่งสัญญาณและวงจรถอดสัญญาณ DTMF(Dual Tone Multifrequency)

1.3.3 ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการเปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้า

1.3.4 ออกแบบและสร้างระบบจำลองการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้ากำลัง

1.3.5 เขียนโปรแกรมภาษาแอสแซมบลี้ เพื่อทำการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับภาครับ

บทที่2
ระบบควบคุมระยะไกล

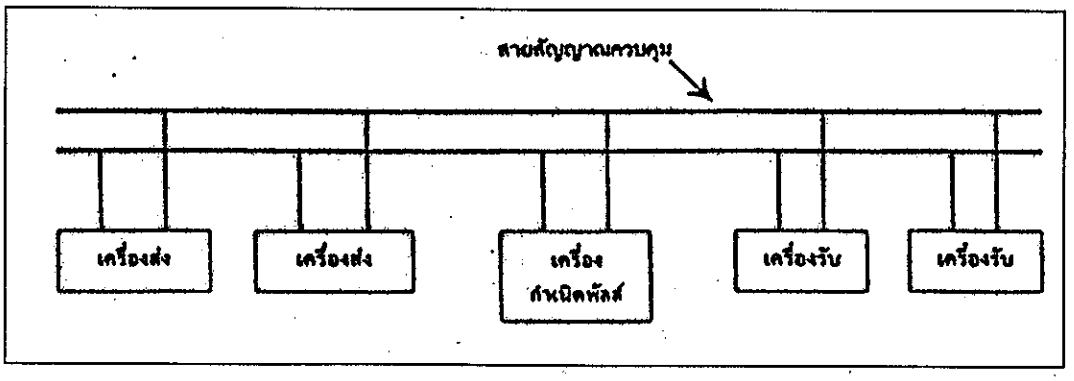
2.1 ประเภทของระบบควบคุมระยะไกล แบ่งเป็น3 อย่างคือ

2.1.1 ระบบควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย

สัญญาณควบคุมที่ต้องการส่งไปยังเครื่องรับจะนำมาเข้ารหัสที่เครื่องรับ – ส่งเข้าใจตรงกันว่าเป็นรหัสควบคุมแบบใดหลังจากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสง สัญญาณวิทยุ หรือ สัญญาณเสียงขึ้นอยู่กับประเภทของระบบนั้นๆแล้วส่งไปยังเครื่องรับทำการถอดรหัสสัญญาณควบคุมปัญหาที่พบมากสำหรับการควบคุมระยะไกลแบบนี้คือหากมีวัตถุมากีดขวางการส่งสัญญาณอาจเกิดความผิดพลาดได้ และระยะทางของการรับ – ส่ง ไม่สูงมาก การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุมระยะไกลแบบไร้สายอาจทำได้โดยการเพิ่มกำลังส่งให้สูงขึ้น ซึ่งวงจรเครื่องรับ – ส่งก็จะมีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้น

2.1.2 ระบบควบคุมระยะไกลแบบมีสายสัญญาณ

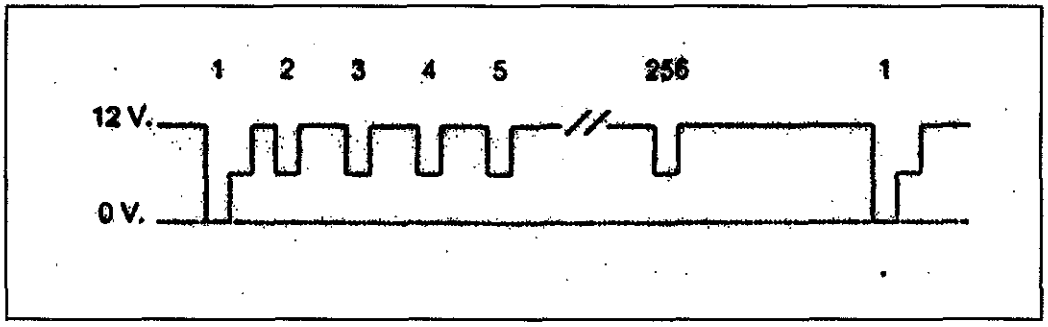
ระบบควบคุมระยะไกลแบบมีสายสัญญาณนิยมใช้สายโคแอ็กเซียล(Coaxial) หรือสายส่งสัญญาณคู่ (Two – Wires Transmission Line) เป็นตัวกลางของการส่งสัญญาณควบคุม ระบบนี้จะประกอบด้วยเครื่องส่ง (Transmitter) เครื่องรับ (Receiver) และเครื่องกำเนิดพัลส์ดิจิตอล (Digital Pulse Generator) การส่งสัญญาณควบคุมจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับสามารถทำการควบคุมได้ทั้งสัญญาณควบคุมแบบดิจิตอล (เปิด – ปิด) และสัญญาณควบคุมแบบปรับค่าได้ต่อเนื่อง ภาพที่ 2.1 แสดงถึงระบบควบคุมระยะไกลแบบมีสายสัญญาณ



ภาพที่ 2.1 ระบบควบคุมระยะไกลแบบมีสายสัญญาณ

เครื่องกำเนิดพัลส์ดิจิตอลจะสร้างพัลส์ขึ้นมาบนสายสัญญาณควบคุมเท่ากับจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุม (เลือกได้สูงสุด 256 พัลส์) เครื่องรับ – ส่ง แต่ละคู่จะมีแอดเดรสขนาด 8 บิต เป็นของตัวเองเป็นการระบุการมีสิทธิใช้งานพัลส์ดิจิตอลตำแหน่งต่าง ๆ ทำให้เครื่องรับ – ส่ง แต่ละคู่ไม่ส่งสัญญาณควบคุมรบกวนซึ่งกันและกัน

ตัวอย่างการส่งสัญญาณควบคุมอย่างง่ายคือเมื่อเครื่องส่งแอดเดรสที่ 1 ต้องการสั่งให้อุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 1 ของเครื่องรับที่ 1 ทำงาน เครื่องส่งที่ 1 จะส่งสัญญาณไปทำให้พัลส์ดิจิตอลพัลส์ที่ 1 มีความกว้างเพิ่มขึ้น เมื่อเครื่องรับที่ 1 ตรวจสบพบก็จะสั่งงานให้อุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 1 ทำงานตามคำสั่ง ลักษณะของพัลส์ดิจิตอลแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของพัลส์ดิจิตอล

เนื่องจากเครื่องรับ – ส่งสัญญาณควบคุมทุกตัวจะต้องติดตั้งคู่บนสายสัญญาณคู่เดียวกัน ฉะนั้นจะต้องติดตั้งสายสัญญาณคู่นี้ไปทุกจุด ที่ติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าไว้ อาจเกิดความไม่สะดวก และจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมถูกจำกัดด้วยพัลส์ดิจิตอล

2.1.3ระบบควบคุมระยะไกลผ่านสายไฟฟ้ากำลัง

สัญญาณควบคุมจากเครื่องส่งจะถูกเข้ารหัสแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณความถี่สูงส่งผ่านสายไฟฟ้าตามบ้านไปยังเครื่องรับ ตัวอย่างของระบบควบคุมระยะไกลแบบนี้คือ ระบบควบคุมผ่านสายไฟฟ้ากำลังแบบ X-10

X –10 Protocol ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1978 เป็นโปรโตคอลที่ใช้ส่งข้อมูลที่เป็นสัญญาณควบคุมจากตัวส่ง (Transmitter Module) ไปยังตัวรับ (Receiver Module) โดยใช้สายไฟฟ้า (Power Line)เป็นตัวกลางหรือที่เรียกว่าระบบ Power Line Carrier

รูปแบบของ X – 10 Protocol

4-bit Header	4-bit House Code	5-bit Device / Function Code
1110	H8$\overline{H8}$H4$\overline{H4}$H2$\overline{H2}$H1$\overline{H1}$	D8$\overline{D8}$D4$\overline{D4}$D2$\overline{D2}$D1$\overline{D1}$F$\overline{F}$

ภาพที่ 2.3 ข้อมูลในหนึ่งเฟรมของ X-10 Protocol

ข้อมูลหนึ่งเฟรมแสดงในภาพที่ 2.3 ประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมด 13 บิต แบ่งออกเป็นHeader ขนาด 4 บิต คือ 1 1 1 0 ทำหน้าที่บอกอุปกรณ์ ต่างๆ ที่อยู่ในระบบว่าเป็นการเริ่มต้นการส่งข้อมูล และจะมีข้อมูลตามมา

House code ทำหน้าที่ระบุให้ตัวรับตัวใดพร้อมรับข้อมูลที่จะตามมา

Device / function code ขนาด 5 บิต แบ่งเป็น

- Device code ขนาด 4 บิต ทำหน้าที่ระบุให้ตัวรับตัวใดทำงาน หรือระบุว่าให้ตัวรับทำงานหน้าที่ใดขึ้นอยู่กับ บิต Function code ด้วย

- Function code (F) ขนาด 1 บิต ทำหน้าที่ระบุว่า Device code ที่ ส่งมาก่อนหน้านี้เป็น Device code หรือเป็น function code ถ้า บิต F=0 หมายถึง Device code ที่ส่งมาเป็น Device code ที่บอกว่าให้ตัวรับตัวใดทำงาน แต่ถ้า บิต F = 1 จะหมายถึง Device code ที่ส่งมาด้วย เป็นการระบุหน้าที่ที่จะให้ตัวรับทำงาน ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

House Codes					Unit/Function Codes						
	H	H	H	H		D	D	D	D	F	
	8	4	2	1		8	4	2	1		
A	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	
B	1	1	1	0	2	1	1	1	0	0	
C	0	0	1	0	3	0	0	1	0	0	
D	1	0	1	0	4	1	0	1	0	0	
E	0	0	0	1	5	0	0	0	1	0	
F	1	0	0	1	6	1	0	0	1	0	
G	0	1	0	1	7	0	1	0	1	0	
H	1	1	0	1	8	1	1	0	1	0	
I	0	1	1	1	9	0	1	1	1	0	
J	1	1	1	1	10	1	1	1	1	0	
K	0	0	1	1	11	0	0	1	1	0	
L	1	0	1	1	12	1	0	1	1	0	
M	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	
N	1	0	0	0	14	1	0	0	0	0	
O	0	1	0	0	15	0	1	0	0	0	
P	1	1	0	0	16	1	1	0	0	0	
					All Units Off	0	0	0	0	1	
					All Units On	0	0	0	1	1	
					On	0	0	1	0	1	
					Off	0	0	1	1	1	
					Dim	0	1	0	0	1	
					Bright	0	1	0	1	1	
					All Lights O	0	1	1	0	1	
					Extended Code	0	1	1	1	1	
					Hail Request	1	0	0	0	1	Note 1
					Hail Acknowledge	1	0	0	1	1	
					Pre-Set Di	1	0	1	X	1	Note 2
					Extended Data	1	1	0	0	1	Note 3
					Status is On	1	1	0	1	1	
					Status is Off	1	1	1	0	1	
					Status request	1	1	1	1	1	Note 4

ตารางที่ 2.1 รหัสสั่งงานแบบ X-10

Note 1 : Hail Request จะถูกส่งเพื่อตรวจสอบว่ามีตัวส่ง X – 10 ใดอยู่ในระยะที่สามารถติดต่อได้บ้าง

Note 2 : การทำงานในโหมด Pre – set Dim function บิต D1 ใช้เป็นบิตสำคัญสูง (Most significant bit) ของระดับการปรับค่า DIM ส่วน 4 บิตของ House code จะใช้แทนบิตสำคัญต่ำ (Least significant bit)

Note 3 : สามารถส่งข้อมูลขนาด 8 บิตได้เมื่อส่ง Extended data ไปก่อนโดยไม่ต้องเว้นระยะห่างระหว่างเฟรม

Note 4 : อุปกรณ์ X – 10 บางชนิด จะเป็นอุปกรณ์แบบสองทาง (Two way module) เมื่อมีสัญญาณ Status Request ส่งมา มันสามารถจะส่งสานะของตัวเองที่ทำงานอยู่กลับไปได้

การส่งข้อมูล

การส่งข้อมูลผ่านเข้าไปในสายไฟฟ้า (AC Power Line) จะทำโดย

บิต 1

การส่งสัญญาณ Pulse code modulated ที่มีความถี่ 120 kHz ช่างเวลา 1 ms เข้าไปที่สาย Power ณ จุดตัดศูนย์ (Zero crossing) ของสัญญาณไฟฟ้าปกติ การที่ทำเช่นนี้จะทำให้อัตราส่วนสัญญาณรบกวน (Signal to noise Ratio) มีค่าสูง เป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพของการส่งข้อมูล

บิต 0

จะไม่ส่งสัญญาณใด ๆ เข้าไปในสาย Power

2.2 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Power Line ในบ้าน

2.2.1 Power Line Carrier (PLC)

การสื่อสารทางสายไฟฟ้ากำลัง นำมาใช้ครั้งแรกในปี 1970 นั่นคือ X-10 (60 bps) ถูกใช้ในอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างง่ายเนื่องจากมีความสามารถต่ำเกินไป มี package ใช้งานที่ไม่เป็น

ที่ยอมรับและไม่สามารถผ่านสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่ได้ แต่อย่างไรก็ตามเทคโนโลยี X-10 ก็ง่ายในการนำมาใช้งานดังนั้นตลาดสินค้า ก็ยังพุ่งเป้าหมายไปที่การใช้งาน X-10 ร่วมกับการสื่อสารประเภทอื่น เช่นการสื่อสารแบบไร้สาย(wireless) หรือที่เรียกว่า co-exist with X-10 signaling โดยมีบริษัท ITRAN communication ได้ออกผลิตภัณฑ์อย่าง IT5000 IT800 และ ITM1 มาแล้ว

มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันคือ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ดี แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องความเร็วข้อมูลและการเชื่อมต่อการสื่อสาร ที่ความเร็ว 6.6 kbps CEBus สามารถทำงานเช่นการควบคุมแสง ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างง่ายและการทำงาน บางอย่าง ในที่อยู่อาศัย แต่ยังไม่ถึงขั้นการทำงานแบบ"control-plus application" เช่นการควบคุมเสียง การตรวจจับภาพ ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ซึ่งต้องการ PLC chip ที่ทำงานที่ความเร็ว 50 kbps ขึ้นไป ซึ่งบริษัท ITRANได้มีผลิตภัณฑ์ออกมาแล้วคือ IT5000 ทำงานที่ความเร็ว 50 kbps

การทำงานแบบ home networking ก็คือการทำงานร่วมกันระหว่าง อุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ และ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะเป็นการโอนย้ายข้อมูลจำนวนมหาศาล และเทคโนโลยีที่มารองรับต้องมีช่วงของช่องสัญญาณ 1 Mbps มีความทนทานสูง ราคาต่ำ และนำไปใช้งานง่าย

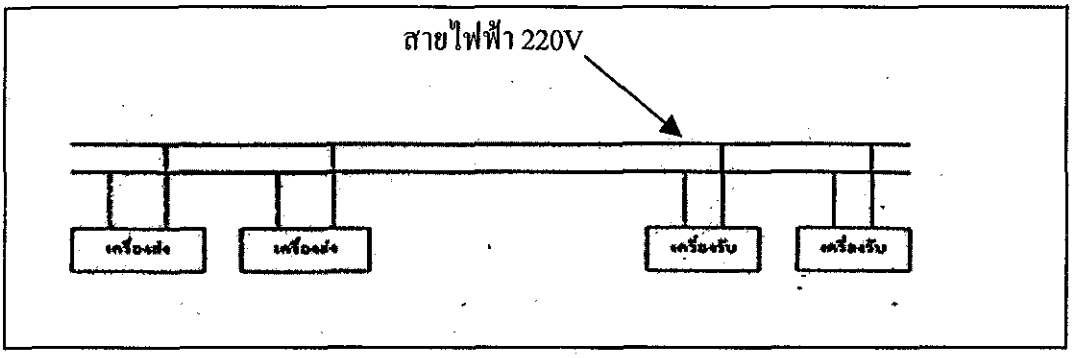
สำหรับการทำงานแบบ Home Network Power Line Modem ต้องทำงานที่ความเร็วอย่างน้อย 1.5 Mbps ทั้งนี้เนื่องจาก

1) เป็นความเร็วต่ำสุดในการจะทำงานเกี่ยวกับภาพ หรือ การติดต่อทาง USB port

2) ที่ความเร็วระดับนี้จะสามารถทำงานร่วมกับสื่อสัญญาณแบบอื่นได้ เช่น โทรศัพท์โดยความเร็วข้อมูลไม่ตก ซึ่งบริษัท ITRAN ได้นำเสนอ Power Line Modem รุ่น ITM1 ที่ความเร็ว1.5 Mbps ในปี 1999

หลักการของ เครือข่ายการติดต่อสื่อสารแบบ Power Line ในบ้านที่ดีโดยสรุปแล้วคือ ต้องมีความทนทานเพียงพอต่อการถูกรบกวนของสื่อสัญญาณ มีความเร็วข้อมูลสูง (ไม่ต่ำกว่า 1.5 Mbps) ราคาคุ้มค่า ทำงานกับระบบโทรศัพท์ หรือ สัญญาณวิทยุได้ ทั้งหมดนี้เพื่อรองรับการใช้งานทางด้าน ในปัจจุบันซึ่งกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว

2.2.2 หลักการทำงานของระบบควบคุมระยะไกลผ่านสายไฟฟ้ากำลัง



ภาพที่ 2.4 การทำงานของระบบควบคุมระยะไกลผ่านสายไฟฟ้ากำลัง

จากภาพที่ 2.4 เครื่องส่งสัญญาณควบคุมจะส่งสัญญาณควบคุมไปตามสายไฟฟ้าให้กับเครื่องรับสัญญาณที่ตั้งแอดเดรสไว้ตรงกนเพื่อเป็นการสั่งเปิด – ปิดโหลด (อุปกรณ์ไฟฟ้า) โดยที่ไม่ต้องเดินสายสัญญาณควบคุมเพิ่มเติม ในระบบหนึ่งจะมีเครื่องรับ – ส่งสัญญาณควบคุมได้ 256 คู่

แต่ละคู่ควบคุมโหลดแบบเปิด – ปิดได้ 8 โหลด เพราะฉะนั้นจะทำการควบคุมโหลดได้สูงสุด 2048 โหลด

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าระบบควบคุมผ่านสายไฟฟ้ากำลังแบบ X – 10 จะส่งสัญญาณควบคุมที่จุดตัดศูนย์ของแรงดันไฟฟ้ากำลัง เพื่อให้ค่าของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N ratio) สูงที่สุด แต่อัตราเร็วจะต่ำ เครื่องรับ – ส่งสัญญาณควบคุมที่จะสร้างขึ้นนี้จะส่งสัญญาณควบคุมผ่านสายไฟฟ้ากำลังได้ตลอดเวลาโดยการออกแบบเพิ่มอัตราเร็วของการส่งสัญญาณควบคุม

วงจรของเครื่องรับ – ส่งสัญญาณควบคุมจะมีส่วนที่เหมือนกันคือ วงจรรับ – ส่ง ข้อมูลดิจิตอล วงจรมอดูเลต / ดีมอดูเลต วงจรเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมกับสายไฟฟ้ากำลังสิ่งที่ต่างกันคือเครื่องส่งสัญญาณควบคุมจะรับอินพุตจากสวิทช์เปิด – ปิด ส่วนเครื่องรับ สัญญาณควบคุมจะส่งเอาท์พุตออกไปขับโหลด

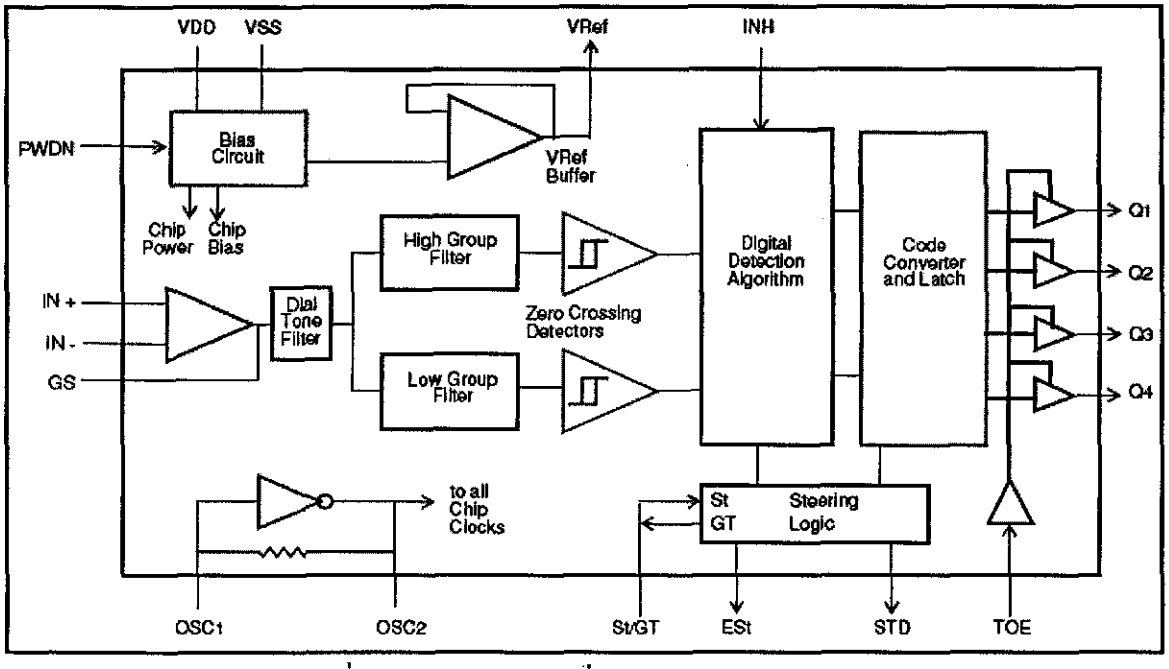
2.3 ไอซีถอดรหัสสัญญาณ DTMF เบอร์ MT8870

2.3.1คุณสมบัติของMT8870

- เป็นตัวรับและถอดรหัสความถี่(DTMF Receiver)
- กินไฟน้อย ใช้ไฟเลี้ยงระดับเดียวกับ TTL
- สามารถตั้งอัตราขยายภายในตัวไอซีได้
- สามารถปรับการ์ดไทม์(Guard time)
- เป็นไอซีคุณภาพสูง

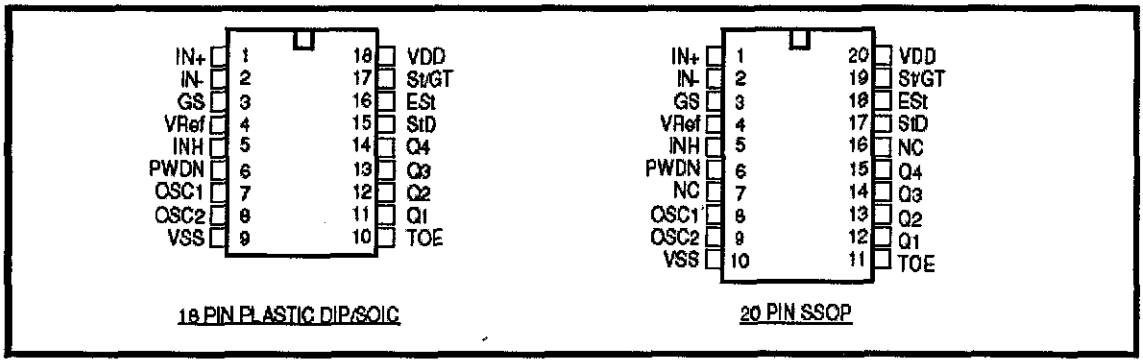
2.3.2โครงสร้างของ MT8870

โครงสร้างภายในของ MT8870 ประกอบไปด้วนวงจรกรองความถี่และวงจรถอดรหัสฟังก์ชั่นทางดิจิตอล เป็นไอซีที่สร้างโดยใช้เทคโนโลยี ISO-CMOS ในส่วนของวงจรกรองความถี่ใช้เทคนิคของสวิตซ์คาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์สำหรับกรองความถี่ต่ำและสูง ส่วนของวงจรถอดรหัสใช้เทคนิคการนับทางดิจิตอลเพื่อตรวจจับและถอดรหัสทั้ง16ความถี่ออกมาเป็นเลขฐานสองขนาด4บิต และเช็คช่วงเวลาที่สัญญาณเข้ามา ส่วนภาคอินพุทเป็นออปแอมป์ที่สามารถปรับอัตราขยายได้โดยการต่ออุปกรณ์ภายนอก เอาท์พุทเป็นวงจรแลตซ์ 3สถานะ



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างหน้าที่ภายในของ MT8870

2.3.3 การจัดขา



ภาพที่2.6 การจัดขาของ MT8870

ลำดับขา	ชื่อ	รายละเอียด
1	IN+	เป็นขา นอน-อินเวอร์ตติ้ง อินพุท
2	IN-	เป็นขา อินเวอร์ตติ้ง อินพุท
3	GS	เป็นขาปรับอัตราขยาย(gain)
4	VRef	เป็นขาอ้างอิงแรงดันเอาท์พุท
5	INH	เป็นขา อินพุทที่มีการต่อพูลดาวน์ภายใน เพื่อควบคู่กับการดีเทค โทน
6	PWDN	เป็นขา อินพุทที่มีการต่อพูลดาวน์ภายใน เป็นขาเพาเวอร์ดาวน์
7	OSC1	เป็นขาคริสตอล กำเนิดสัญญาณนาฬิกา (อินพุท)
8	OSC2	เป็นขาคริสตอล กำเนิดสัญญาณนาฬิกา (เอาท์พุท) ต้องต่อ คริสตอล ขนาด 3.579545 เมกกะเฮิร์ตด้วย
9	VSS	เป็นขากราวด์
10	TOE	เป็นขาลอจิกประกอบกับเอาท์พุท Q1-Q4 มีการต่อพูลอัพภายใน
11-14	Q1-Q4	เป็นขาเอาท์พุทสัญญาณ 4 บิตที่ผ่านการถอดรหัสแล้ว
15	StD	ขาดีเลย์สเตียริง เอาท์พุท เมื่อได้รับสัญญาณโทนจะมีสถานะเป็นลอจิกสูง และจะกลับไปเป็นลอจิกต่ำเมื่อระดับแรงดันบนขา St/GTต่ำกว่าค่า Vtst
16	ESt	ขาเออริ สเตียริงเอาท์พุท จะมีสถานะเป็นลอจิกสูงอีกครั้งเมื่อสัญญาณโทน

		ถูกดีเทคเรียบร้อยแล้ว หรือถ้ามีการขาดหายของสัญญาณ ขานี้จะกลับสู่สถานะลอจิกต่ำ
17	St/GT	ขานี้ทำหน้าที่ 2 ทิศทางคือเป็นทั้งสเตียริงอินพุทและเป็นการ์ดไทม์เอาท์พุท
18	VDD	ขาป้อนไฟเลี้ยง +5v

ตาราง2.2 รายละเอียดการจัดขาและหน้าที่ของMT8870

2.3.4 ฟังก์ชั่นการทำงานภายในของMT8870

ภายในMT8870 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วนคือ

1. ภาคกรองสัญญาณความถี่

ในส่วนนี้จะแยกสัญญาณDTMF ที่เข้ามาออกเป็น 2 กลุ่มความถี่ คือกลุ่มความถี่สูงและความถี่ต่ำโดยใช้วงจรกรองแถบความถี่อันดับ 6 ชนิดสวิตซ์คาปาซิเตอร์(six-order switched capacitor band pass filter)

2.ภาคถอดรหัส

สัญญาณความถี่DTMFที่ถูกกรองเรียบร้อยแล้วจะผ่านเข้าวงจรถอดรหัสความถี่ออกเป็นตัวเลขโดยใช้เทคนิคการนับแบบดิจิตอล และมีการตรวจความถี่ว่าเป็นความถี่มาตรฐานDTMF หรือไม่ เพื่อป้องกันความถี่อื่นเข้ามาผสม เมื่อตรวจสอบความถี่นั้นถูกต้องแล้ว สัญญาณที่ขา Est(Early steering) ก็จะแอกทีฟ

3.ภาคตรวจสอบสัญญาณ

ก่อนที่จะมีการถอดรหัสความถี่ออกไปที่เอาท์พุท จะมีการตรวจสอบว่าช่วงความถี่ที่เข้ามามีระยะเวลาตามที่กำหนดหรือไม่ โดยสังเกตจากระยะเวลาการกดปุ่มโทรศัพท์ ซึ่งต้องกดปุ่มให้มีความถี่ออกมาเป็นช่วงเวลาพอสมควรมิฉะนั้นวงจรนี้จะไม่รับ โดยจะถือว่าสัญญาณนั้นไม่ถูกต้อง ส่วนช่วงเวลายาวเท่าใดสามารถตั้งได้โดยใช้RCต่อภายนอก สัญญาณทีขาEstจะเป็นลอจิกสูง นานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่มีความถี่DTMFเข้ามา เมื่อขาEst เป็นลอจิกสูง ทำให้Vcc สูงขึ้น ตัวเก็บประจุC คายประจุ ทำให้แรงดันVcc สูงขึ้นจนถึงค่าเทรชโฮลด์ วงจรถอดรหัสจึงจะถอดรหัสออกเป็นตัวเลขขนาด 4 บิต สำหรับคำว่าการ์ดไทม์ (guard time)นั้นหมายถึงช่วงคาบเวลาของความถี่ที่เข้ามา ซึ่งจะต้องนานเท่ากับหรือมากกว่าช่วงเวลาที่เราตั้งไว้ จึงจะถือได้ว่าเป็นสัญญาณที่มีความถูกต้อง แต่ถ้าช่วงเวลามีความสั้นกว่าก็จะไม่มีการถอดรหัสเป็นตัวเลขออกไป

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.ภาคขยายความแตกต่าง

วงจรส่วนอินพุทของMT8870 เป็นภาคขยายออปแอมป์ที่สามารถปรับอัตราขยายโดยต่อวงจรภายนอกเพิ่มเข้าไป

5.ภาคกำเนิดความถี่

ในภาคนี้ภายในไอซีจะมีวงจรเวลาอยู่ภายในเพียงแต่ต่อคริสตอลขนาด 3.579 ก็สามารถใช้งานได้ทันที

ภาคการรับข้อมูล (Receive)	ภาคการส่งข้อมูล (Transmit)
สำหรับในภาครับนี้สัญญาณที่จะเข้ามาใน MT8870 จะต้องมีความแรงอย่างน้อยคือ -34 dBm ไอซีเบอร์นี้จึงจะสามารถ detect สัญญาณได้ ถ้าน้อยกว่านี้ถือว่าใช้งานไม่ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกค่าความต้านทานทางด้านอินพุทเพราะมีผลต่อการลดทอนของสัญญาณ	ในส่วนของการส่งข้อมูลเมื่อ MT8870 ได้รับสัญญาณที่มีความแรงที่เหมาะสม(มากกว่าหรือเท่ากับ -34 dBm) แล้วจะทำการ Decode สัญญาณให้เป็นเลขไบนารี 4 หลัก ตัวอย่าง เช่น - เมื่อทำการกดหมายเลข 1 จะได้สัญญาณเอาท์พุท เป็น 0 0 0 1 - เมื่อทำการกดหมายเลข 7 จะได้สัญญาณเอาท์พุท เป็น 0 1 1 1 เราสามารถนำ Code ที่ได้ ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

ตาราง2.3 หน้าที่ภาครับ ภาคส่งข้อมูลไอซีถอดสัญญาณ DTMF MT8870

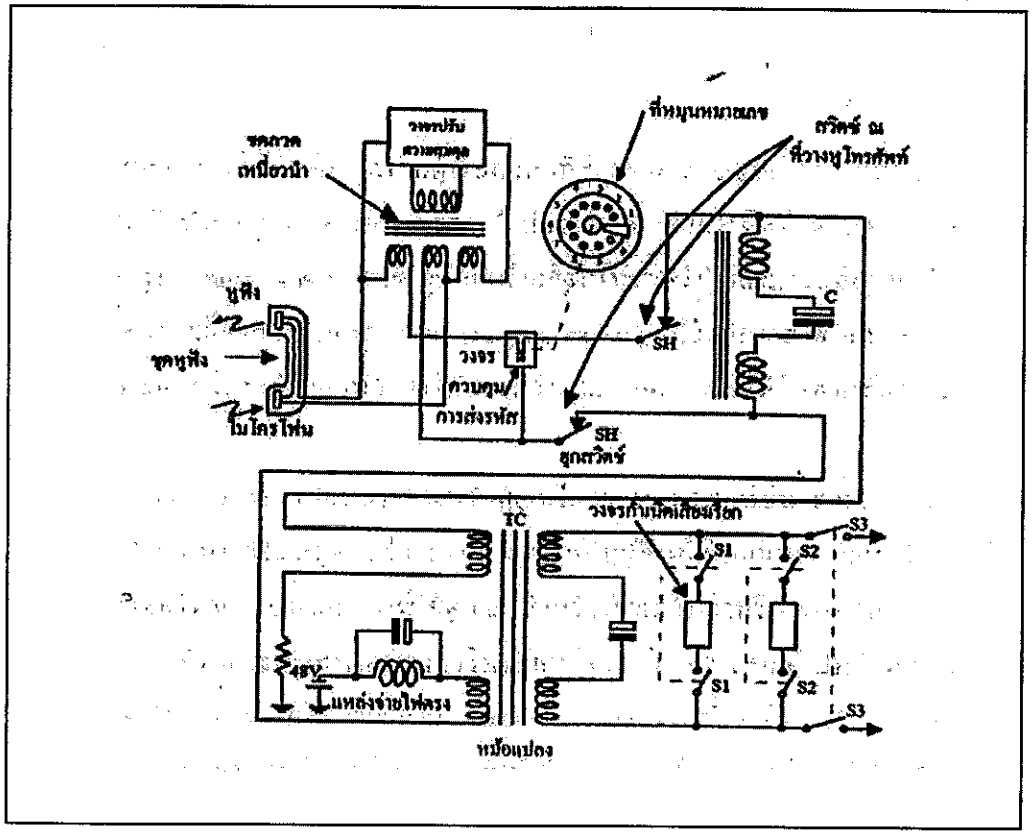
2.4 ระบบโทรศัพท์

ปัจจุบันนี้การสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในชีวิตประจำวัน เรียกได้ว่าจะต้องมีการติดต่อสื่อสารกันตลอดเวลาก็ว่าได้ และระบบโทรศัพท์ก็จัดว่าเป็นระบบสื่อสารที่ใกล้ตัวเรามากที่เดียวเชื่อว่าทุกคนต้องเคยใช้โทรศัพท์ในการติดต่อสื่อสารกันมาแล้ว

คราวนี้จะมาดูกันว่าโทรศัพท์ที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ ต้องมีขั้นตอนอย่างไรกันบ้าง ถึงทำให้เราสามารถพูดคุยกันได้

2.4.1 กลไกการเชื่อมต่อวงจร

คราวนี้จะมาดูกันถึงวงจรพื้นฐานภายในรวมทั้งการเชื่อมต่อกับชุมสายเบื้องต้นกันเลยตามภาพที่2.7 จะเห็นว่าโทรศัพท์จะเชื่อมต่อกับชุมสายด้วยสาย 2 เส้นคือ T(TIP) และ R(RING) เมื่อผู้ใช้ยกหูโทรศัพท์ขึ้นแหล่งจ่ายไฟตรงของชุมสาย (48 โวลต์) ก็จะถูกต่อเข้ากับวงจรของเครื่องโทรศัพท์โดย ฮุกสวิตซ์ (hook switch) ในส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างหูฟัง กับสายโทรศัพท์ก็จะต้องมีหม้อแปลงอัตโนมัติ (auto transformer) ทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ของหูฟังและสายโทรศัพท์ ให้สมดุลกัน เพื่อให้การรับส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพที่สุด รวมไปถึงการทำให้ผู้พูดได้ยินเสียงที่ตัวเองพูดไป (side tone) ในระดับที่เหมาะสมด้วย



ภาพที่2.7วงจรภายในเครื่องโทรศัพท์และการเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น

สำหรับการหมุนหมายเลขโทรศัพท์ ก็คือ การส่งสัญญาณพัลซ์ (pulse train) ตั้งแต่ 1 ถึง 10 พัลส์ เช่น ถ้ามีการส่ง 1 พัลส์ ก็หมายถึงการหมุนหมายเลขศูนย์ ส่ง 2 พัลส์ ก็หมายถึงเลขหนึ่งดังนั้น ถ้าหมุนหมายเลข 9 ก็จะมีการส่งพัลส์จำนวน 10 พัลส์นั้นเอง และความเร็วในการส่งก็คือ 10 พัลส์ต่อนาที

สำหรับโทรศัพท์ที่ใช้การกดปุ่มนั้นก็จะเป็นการส่งสัญญาณที่มีค่าความถี่ที่แตกต่างกันออกไป สำหรับแต่ละหมายเลขที่มีอยู่ 10 ตัว ความถี่ที่ส่งออกไปเป็นความถี่ที่อยู่ในย่านความถี่เสียงเพียง แต่ว่าในการกดครั้งหนึ่งจะมีสัญญาณเสียงที่มอดูเลตแล้วถูกส่งออกไป 2 ความถี่

ความถี่(Hz)	รหัสหรือหมายเลข			
697	1	2	3	
770	4	5	6	
825	7	8	9	
941	*	0	#	
	1209	1336	1477	ความถี่(Hz)

ตาราง2.4 แสดงความถี่ที่มอดูเลตกันเมื่อกดหมายเลข

ทางชุมสายเมื่อได้รับข้อมูลจากผู้เรียกแล้วก็จะแปลงสัญญาณที่ได้รับมาสั่งให้อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งทำงานเพื่อทำการต่อสายให้กับผู้เรียก ถ้าปลายสายที่ต้องการติดต่อด้วยไม่ว่าง ชุมสายก็จะส่งสัญญาณไม่ว่าง (busy tone) ไปยังผู้เรียกเพื่อแจ้งให้ทราบว่าไม่สามารถต่อวงจรให้ได้ แต่ถ้าปลายสายว่าง ชุมสายก็จะส่งสัญญาณ เรียก (ringing signal) ไปยังปลายสาย และส่งสัญญาณเรียกกลับ (ring back tone) ไปยังผู้เรียกเพื่อแจ้งให้ทราบว่าสามารถต่อวงจรให้ได้ตามต้องการแล้ว

2.4.2 การสนทนา

เมื่อปลายทางหรือผู้ถูกเรียกยกหูโทรศัพท์ขึ้น การทำงานในส่วนควบคุมของสายโทรศัพท์ก็จะหยุด เพื่อจะรอทำงานให้กับผู้อื่นที่เรียกเข้ามา แต่หน้าที่ของชุมสายตอนนี้ก็คือให้มิเตอร์ทำการบันทึกเวลาที่ใช้คู่สาย สำหรับเรียกเก็บค่าบริการต่อไป

ในระหว่างที่ทำการสนทนาอยู่เครื่องโทรศัพท์ก็จะทำงาน 2 โหมดไปพร้อม ๆ กัน คือ แปลงจากสัญญาณไฟฟ้าให้เป็น สัญญาณเสียง (acoustic energy) ซึ่งจะเรียกว่า โหมดรับสัญญาณ (receiver mode) และในทางกลับกันโหมดที่ทำหน้าที่แปลงจากสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าจะเรียกว่า โหมดส่งสัญญาณ (transmitter mode) ในโหมดนี้เองที่มีเรื่องของการป้อนกลับของสัญญาณเข้ามาเกี่ยวข้อง นั่นก็คือ การที่ผู้พูดสามารถได้ยินเสียงของตนเองจากหูฟังได้ด้วย เรียกว่า

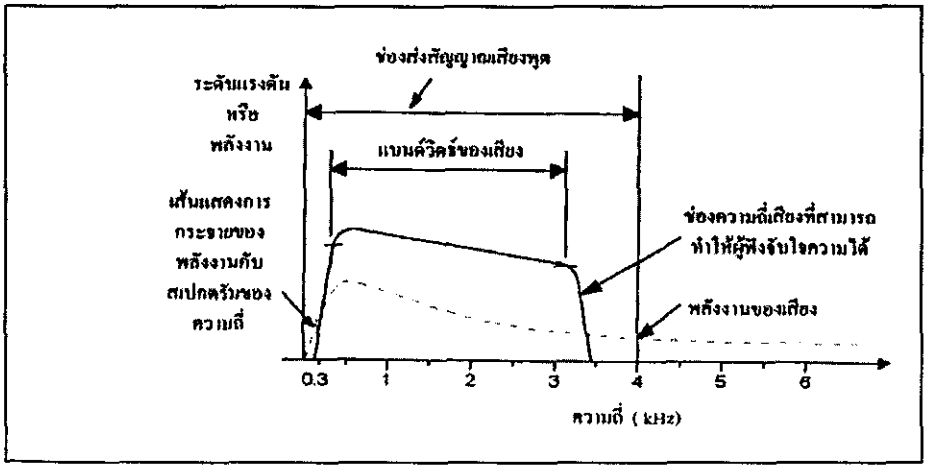
เสียง side tone ซึ่งจำเป็นอย่างมากที่จะต้องป้อนกลับมา เพราะไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถรู้ได้เลยว่าควรพูดให้มีเสียงระดับใดจึงจะพอเหมาะที่คู่สนทนา ได้ยินเสียงพูดของผู้เรียกอย่างชัดเจนเมื่อสิ้นสุดการสนทนาทั้ง 2 ฝ่าย สัญญาณจากยุกสวิตซ์ก็จะบอกให้ชุมสายทำการเปิดวงจรที่ทำการติดต่ออยู่ออก อุปกรณ์ต่าง ๆ ก็จะว่างและพร้อมสำหรับการติดต่อครั้งต่อไป

2.4.3 ระบบการส่งสัญญาณในสายส่ง

ตอนนี้มาดูกันว่าในสายส่งโทรศัพท์นั้นมีสัญญาณอะไรบ้างที่เข้ามาเกี่ยวข้องจนทำให้เรามารถพูดกันในระยะทางไกล ๆ ได้ สัญญาณที่จะปรากฏในสายส่งจะสามารถแยกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ สัญญาณเสียงที่พูดคุยกันและอีกสัญญาณก็คือ สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมระบบสวิตซ์ชิ่ง ซึ่งใช้ในการเชื่อมต่อวงจรระหว่างผู้เรียกกับผู้ถูกเรียกนั่นเองรวมทั้งสัญญาณเรียกกลับ สัญญาณบอกไม่ว่าง

สัญญาณควบคุมที่ว่านี้ก็อาจจะเป็นได้ทั้งสัญญาณอะนาลอกหรือสัญญาณดิจิตอลก็ได้ อย่าลืมว่าโทรศัพท์แบบหมุนกับแบบกดปุ่มมีการส่งรหัสคนละแบบกัน

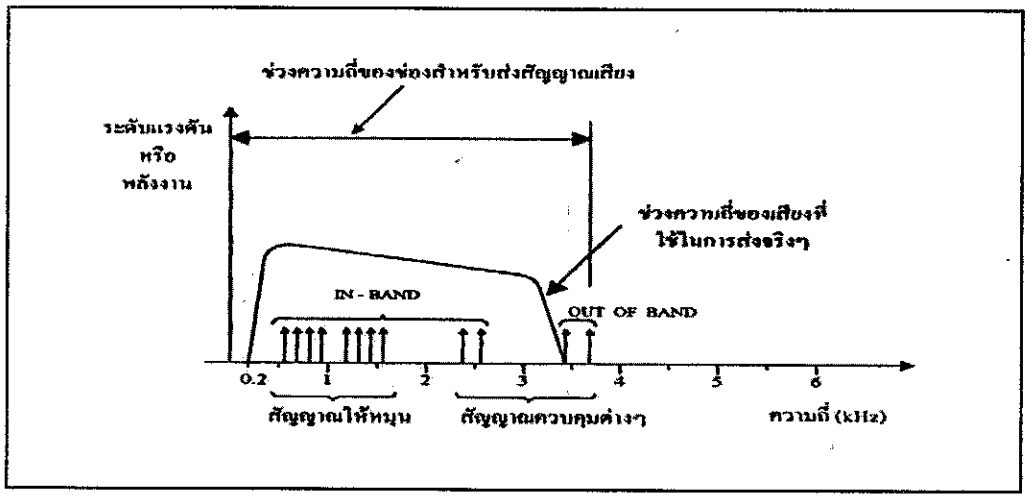
ดังนั้นในการส่งสัญญาณออกไปในสายส่งบางครั้งอาจจะมีการส่งทั้งสัญญาณดิจิตอล และสัญญาณอะนาลอกไปพร้อม ๆ กันก็ได้ มาลองดูรายละเอียดของแต่ละสัญญาณกัน



ภาพที่2.8 แถบความถี่ (พลังงาน) ของเสียงพูด

1) สัญญาณเสียงพูด สัญญาณเสียงพูดจัดเป็นสัญญาณอะนาลอก ถ้าดูจากภาพที่ 2.8 จะเห็นว่าเสียงพูดมีแบนด์วิดธ์ตั้งแต่ 100 เฮิรตซ์ไปจนถึง 6 กิโลเฮิรตซ์ แต่จริง ๆ แล้วเสียงพูดที่ทำให้คนสามารถฟังแล้วจับใจความได้สบาย ๆ จะอยู่ในช่วง 200-400 เฮิรตซ์เท่า

นั้น วงจรกรองความถี่จึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันสัญญาณที่ไม่ต้องการเข้ามาภายในระบบได้และความถี่ย่านนี้ก็มีชื่อเรียกว่า ช่องสัญญาณเสียงพูด (voice channel) หรือ VF channel แต่อย่างไรก็ตาม แบนด์วิดธ์ของเสียงพูดในการส่งจริงจะอยู่ในช่วง 300-3000 เฮิรตซ์เท่านั้น ไม่ได้ มีการใช้ช่องสัญญาณในการส่งเต็มย่านความถี่



ภาพที่2.9 สัญญาณต่าง ๆ ที่อยู่ทั้งในและนอกย่านความถี่เสียง

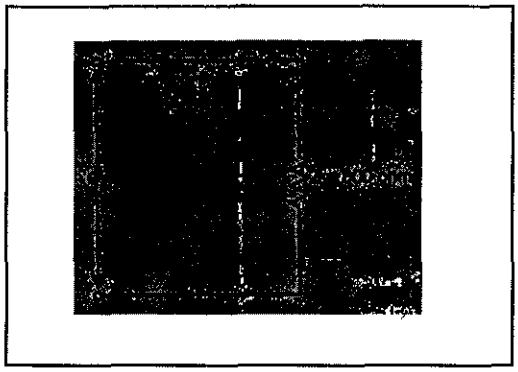
จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่าในช่วงความถี่ 300-300 Hz ประกอบไปด้วยสัญญาณต่าง ๆ หลายสัญญาณ ไม่ว่าจะเป็น สัญญาณหมุน (dial tone) หรือสัญญาณควบคุมต่าง ๆ ก็จะถูกส่งไปในช่วงความถี่นี้ทั้งสิ้น

เมื่อกล่าวถึงระดับความดังของเสียงที่ได้ยิน นั่นก็คือ ขนาดแอมปลิจูดของสัญญาณ ซึ่งสามารถอธิบายให้เห็นภาพพจน์ได้ดียิ่งขึ้น โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยอธิบายในรูปของพลังงานที่ปรากฏที่โหลด ดังรูปที่ 2.10 เช่น สายโทรศัพท์คู่หนึ่งมีอิมพีแดนซ์ 600 โอห์ม พลังงานที่ปรากฏที่โหลดก็คือ

$$P_{load} = \frac{e^2_s}{600}$$

โดย P_{load} คือกำลังที่ตกคร่อมโหลด (วัตต์)

Es คือระดับแรงดันของสัญญาณที่ส่งไป (โวลต์)



ภาพที่2.10วงจรอย่างง่ายในการอธิบายกำลังของสัญญาณ

แต่ในระบบโทรศัพท์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยงข้องกับเสียงแล้ว มักจะใช้การเปรียบเทียบกับกำลังขนาด 1 มิลลิวัตต์อยู่เสมอ โดยอยู่ในรูปของเดซิเบล ซึ่งมีสมการดังนี้

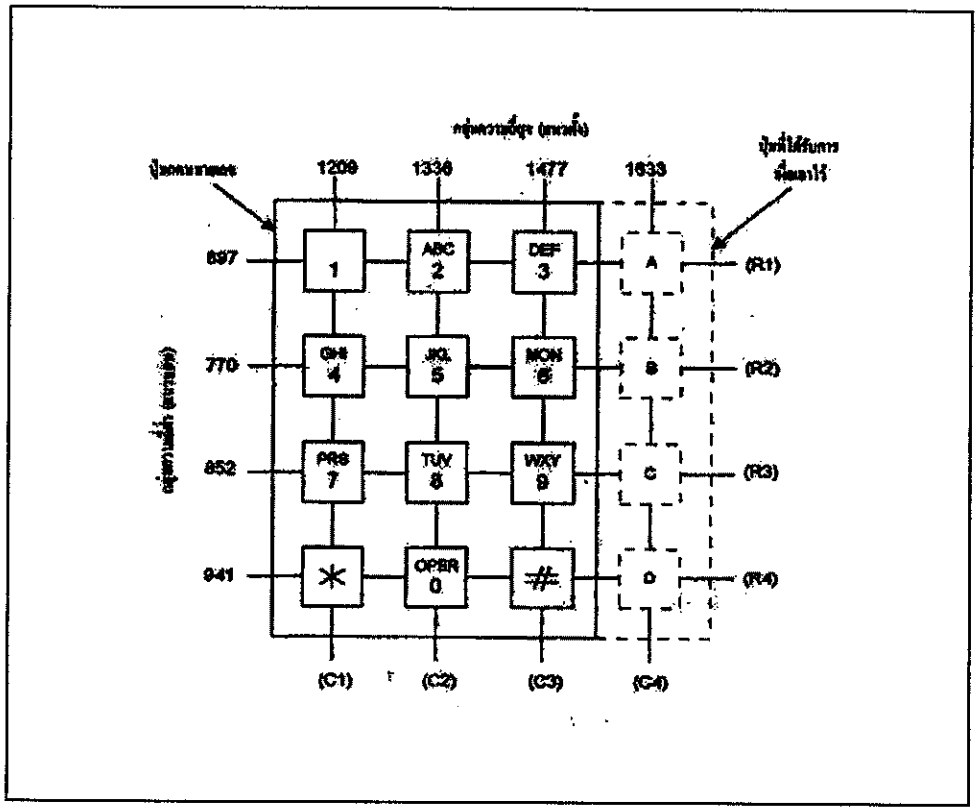
$$dB = 10\log_{10}(p1/p2)$$

แต่เนื่องจากมักจะใช้ค่า 1 มิลลิวัตต์เป็นค่าเปรียบเทียบ (ค่า $P2 = 1$ มิลลิวัตต์ ในสมการนั่นเอง) ดังนั้นก็จะใช้สัญลักษณ์เป็น dBm แทนซึ่งความหมายจริง ๆ แล้วก็คือ การเปรียบเทียบกำลังที่จุดใด ๆ กับกำลังขนาด 1 มิลลิวัตต์นั่นเอง

ในระบบโทรศัพท์ที่ใช้กันจริง ๆ นะมีการกำหนดจุด ๆ หนึ่งในสายส่งให้มีค่า dBm = 0 ซึ่งเรียกจุดนี้ว่า zero level transmission point (zero LPT) ซึ่งประโยชน์ที่จะได้รับจากการกำหนดจุด ๆ นี้ขึ้นมาก็คือ สามารถทำให้ทราบว่าที่ระยะต่าง ๆ ที่ห่างจากจุด zero LTP มีค่ากำลังของสัญญาณกี่ dBm เมื่อทราบเพียงค่าแรงดันจากการวัดที่ระยะนั้น ๆ

2) สัญญาณรบกวน ในระบบใด ๆ ของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ย่อมจะต้องมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ อาจจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยน (distort) ของสัญญาณเสียงพูดได้ และสิ่งที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นก็เป็นสิ่งแวดล้อม รอบ ๆ ข้างนี่เอง เช่น ความร้อน การสวิตซ์ของอุปกรณ์ไทริสเตอร์ สายไฟฟ้ากำลังสูงที่อยู่ใกล้ ๆ กับสายส่งสัญญาณ หรือแม้แต่ข้อต่อของสายที่บกพร่อง สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่มีผลให้ประสิทธิภาพของสัญญาณโทรศัพท์ด้อยลงทั้งสิ้น นอกจากนั้นยังมีสัญญาณรบกวนอีกชนิดหนึ่งคือ

เสียงสะท้อน (echo) ในสายโทรศัพท์ สาเหตุของการเกิดเสียงสะท้อนก็คือ เกิดการไม่สมดุลกัน (mismatching) ระหว่างอิมพีแดนซ์ของสายส่งกับอุปกรณ์ทางด้านเอาท์พุท



ภาพที่2.11 บล็อกไดอะแกรมของโทรศัพท์

2.4.4 รู้จักกับโทรศัพท์กันก่อน

วงจรแรกที่เชื่อมต่อระหว่างวงจรภายในเครื่องโทรศัพท์กับอุปกรณ์ของชุมสายก็คือ วงจรกำเนิดเสียงเรียก (ringer) ซึ่งจะส่งสัญญาณเรียก (ringing signal) เมื่อมีการติดต่อมาจากผู้อื่น เหตุผลประการสำคัญที่ต้องนำวงจรส่วนนี้มาเชื่อมต่อกับชุมสายโดยตรงก็คือ เมื่อวางหูโทรศัพท์ไว้กับที่วางตามปกติ ฮุกสวิตซ์ (switch hook) จะถูกเปิดวงจรออกทำให้ไม่มีแรงดันจากชุมสายผ่านไปยังวงจรส่วนที่อยู่หลังสวิตซ์ได้ ดังนั้นถ้าวงจรกำเนิดสัญญาณเรียกอยู่หลังจากฮุกสวิตซ์ก็จะไม่สามารถสร้างสัญญาณเรียกได้ในเวลาที่มีผู้ติดต่อเข้ามา

เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ขึ้น ฮุกสวิตซ์ก็จะปิดวงจรทำให้มีกระแสจากชุมสายไหลครบวงจรผ่านเครื่องโทรศัพท์ได้ ในขณะเดียวกันกระแสค่าเดียวกันนี้ก็จะไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ที่ชุมสายด้วย ก็จะทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ที่ชุมสายปิดลง เพื่อที่จะให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในชุมสายพร้อมที่จะ

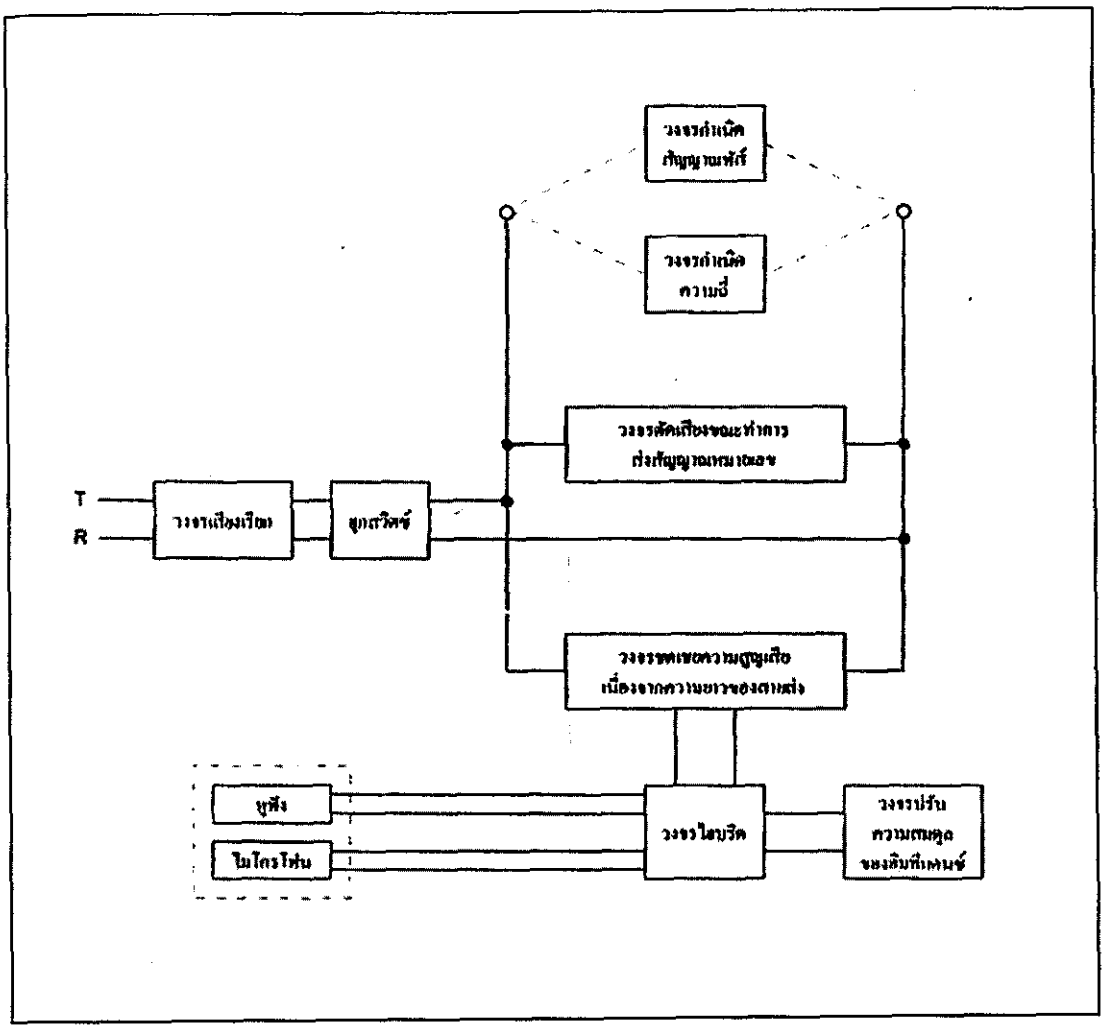
ทำการติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ได้ จากนั้นชุมสายก็จะส่งสัญญาณหมุน (dial tone) ไปยังผู้ที่ยกหูโทรศัพท์ เพื่อให้ผู้นั้นส่งหมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่ต้องการจะติดต่อด้วยมายังชุมสาย หลังจากที่ชุมสายได้รับหมายเลขแรกที่ถูกส่งมาแล้ว ชุมสายก็จะเลิกส่งสัญญาณหมุน ซึ่งกระบวนการตอนนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.4.5 ความเพี้ยนของสัญญาณเนื่องจากอุปกรณ์แฝง

ตามปกติในสายส่งสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างชุมสายกับเครื่องโทรศัพท์จะมีค่าความต้านทาน ตัวเก็บประจุ และขดลวดเหนี่ยวนำแฝงอยู่ โดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ ระยะทาง 1 ไมล์ ที่เพิ่มขึ้นของสายส่ง จะเสมือนว่ามีตัวเก็บประจุต่อคร่อมอยู่ระหว่างสายส่ง มีค่าประมาณ 0.07 ไมโครฟารัดและมีตัวต้านทานกับขดลวดเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกันอยู่ โดยจะมีค่าประมาณ 42 โอห์ม และ 1 มิลลิเฮนรี่ ตามลำดับ ซึ่งอุปกรณ์แฝงพวกนี้จะมีผลทำให้สัญญาณ pulse ที่ถูกส่งไปตามสายส่งเกิดความผิดเพี้ยนทั้งขนาด (amplitude) และคาบเวลา (period) ดังนั้น ชุมสายจึงจำเป็นต้องมีวงจรที่สามารถจะรับรู้สัญญาณที่ผิดเพี้ยนเหล่านี้ไว้ และไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการติดต่อ

2.4.6 ระบบโทรศัพท์แบบส่งสัญญาณความถี่คู่ (dual tone multi frequency type)

เป็นระบบการส่งสัญญาณอีกแบบหนึ่งซึ่งจะพบได้มากกว่าระบบการส่งเป็นสัญญาณพัลส์ ระบบนี้หรือเรียกชื่อย่อว่า DTMF มีวิธีการส่งหมายเลขของผู้ที่ต้องการจะติดต่อด้วย โดยการส่งสัญญาณความถี่ 2 ความถี่มอดูเลตกันไป ซึ่งจะเป็นตัวแทนของหมายเลขที่กด ซึ่งความถี่ส่งออกไปจะอยู่ในย่านความถี่ของเสียงพูด (0-4 กิโลเฮิรตซ์) ซึ่งค่าความถี่ที่ต่ำกว่าจะเป็นความถี่ที่แสดงในแนวนอนและอีกค่าหนึ่งก็จะเป็นความถี่ในแนวตั้ง ซึ่งค่าต่าง ๆ จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.27 ตัวอย่าง เช่น เมื่อมีการกดหมายเลข 5 ก็จะมีความถี่ 770 เฮิรตซ์ และ 1336 เฮิรตซ์ มอดเลตกันออกมา



ภาพที่2.12 แป้นกดหมายเลขและค่าความถี่ในแนวนอนและแนวตั้งของหมายเลขนั้น ๆ

2.4.7 ข้อควรคำนึงในการเชื่อมต่อระบบ DTMF กับสายส่งสัญญาณ

- ระดับแรงดันและกระแสลูปจะต้องรักษาให้คงที่ตลอดระยะทางของสายส่งสัญญาณ
- ความถี่ที่ถูกผลิตขึ้นจะต้องไม่มีความผิดเพี้ยนทั้งคาบและขนาดของสัญญาณ
- วงจรออสซิลเลเตอร์จะต้องมีอิมพีแดนซ์ที่สมดุล (matching) กับสายส่งสัญญาณ

ซึ่งจากข้อสรุปข้างบน ถ้าจะแยกรายละเอียดของแต่ละหัวข้อก็จะมีพารามิเตอร์ที่ต้องคำนึงถึงดังต่อไปนี้

1) ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ สำหรับข้อกำหนดของความผิดเพี้ยนของสัญญาณมีดังต่อไปนี้ คือ สัญญาณอื่นที่แทรกสอดเข้ามาในสายส่งสัญญาณรวมกันแล้วจะต้องน้อยกว่าระดับของสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจริงอย่างน้อย 20 dB และ สำหรับสัญญาณที่แทรกสอดเข้ามาจะต้องมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

ก) ต้องมีค่าไม่มากกว่า -33 dBm ในช่วง 300 ถึง 3400 เฮิรตซ์

ข) ที่ความถี่สูงกว่า 3400 เฮิรตซ์ สัญญาณแทรกสอดจะต้องลดลง 12 dB ต่อออกเตฟไปจนถึงความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์

ค) ต้องมีระดับสัญญาณไม่มากกว่า -80 dB ที่ความถี่ที่สูงกว่า 50 กิโลเฮิรตซ์โดยที่ความผิดเพี้ยนถ้าถูกกำหนดในรูปของเดซิเบลคือ

$$\text{ความเพี้ยน} = 20\log\frac{\sqrt{V_1^{\,2} + V_2^{\,2} .. + V_n^{\,2}}}{\sqrt{V_L^{\,2} + V_H^{\,2}}}$$

โดยที่ V_1 ถึง V_n คือ ระดับแรงดันของสัญญาณที่แทรกสอดเข้ามา

V_L คือ ระดับแรงดันของสัญญาณความถี่ต่ำกว่า

V_H คือ ระดับแรงดันของสัญญาณความถี่สูงกว่า

2) ไดนามิกอิมพีแดนซ์ วงจรกำเนิดความถี่สำหรับระบบ DTMF จะต้องมีอิมพีแดนซ์อย่างน้อย 900 โอห์มขณะที่ทำการผลิตความถี่ออกมา และต้องมีอิมพีแดนซ์ ให้ต่ำที่สุดขณะที่ไม่ทำการผลิตสัญญาณ

3) ความสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนกลับของสัญญาณ (return loss) ก็เป็นพารามิเตอร์อีกตัวที่จะต้องควบคุม โดยกำหนดค่าความสูญเสียในการสะท้อนกลับของสัญญาณหรือ RL ด้วยสมการ

$$RL = 20\log\frac{Z_L + Z_g}{Z_L - Z_g}$$

โดยที่ Z_L คือ อิมพีแดนซ์ของสายสัญญาณ

Z_g คือ อิมพีแดนซ์ของเครื่องโทรศัพท์

ค่ามาตรฐานสำหรับ RL จะต้องมากกว่า 14 dB ในช่วงความถี่ระหว่าง 300 ถึง 3400 Hz และมากกว่า 10 dB ในช่วงความถี่ 50 ถึง 300 เฮิรตซ์ และ 3400 ถึง 20000 เฮิรตซ์

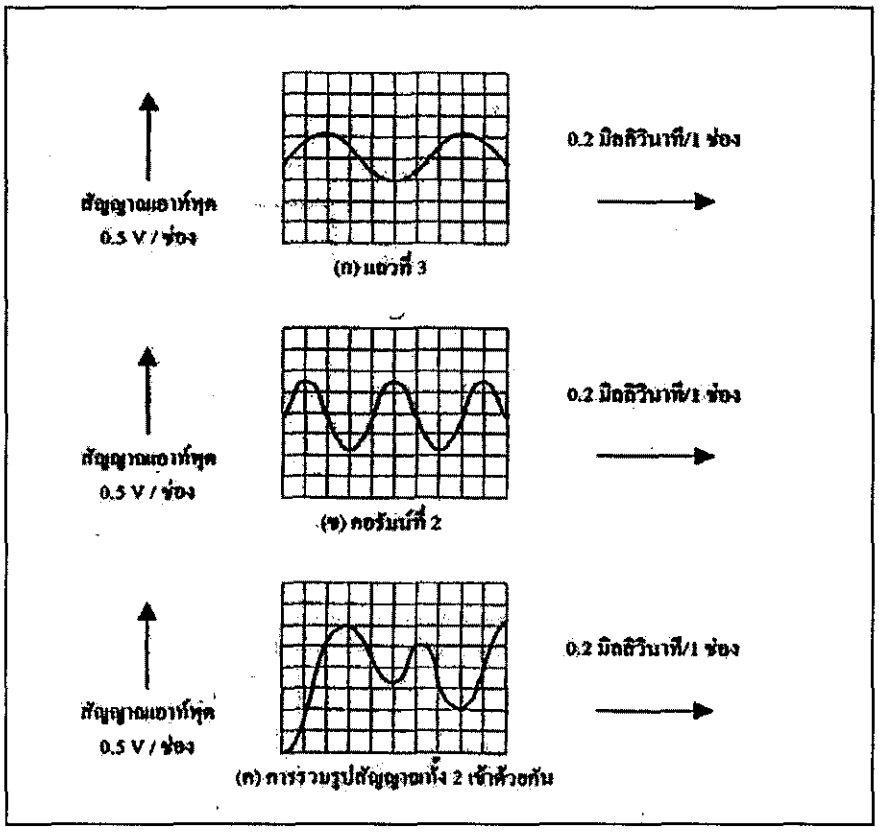
2.4.8 ข้อดีสำหรับระบบการส่งสัญญาณแบบ DTMF

จากข้อมูลทั้งหมดสามารถสรุปถึงข้อดีของระบบ DTMF ได้คือ

- ลดระยะเวลาในการส่งหมายเลขโทรศัพท์ไปยังชุมสาย
- สามารถใช้วงจรที่ใช้อุปกรณ์โซลิดสเตตได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความประหยัดและสะดวก
- ลดอุปกรณ์จำพวกหน่วยความจำที่ใช้ภายในชุมสาย
- สามารถนำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายในชุมสายอย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.9 การส่งสัญญาณแบบ DTMF

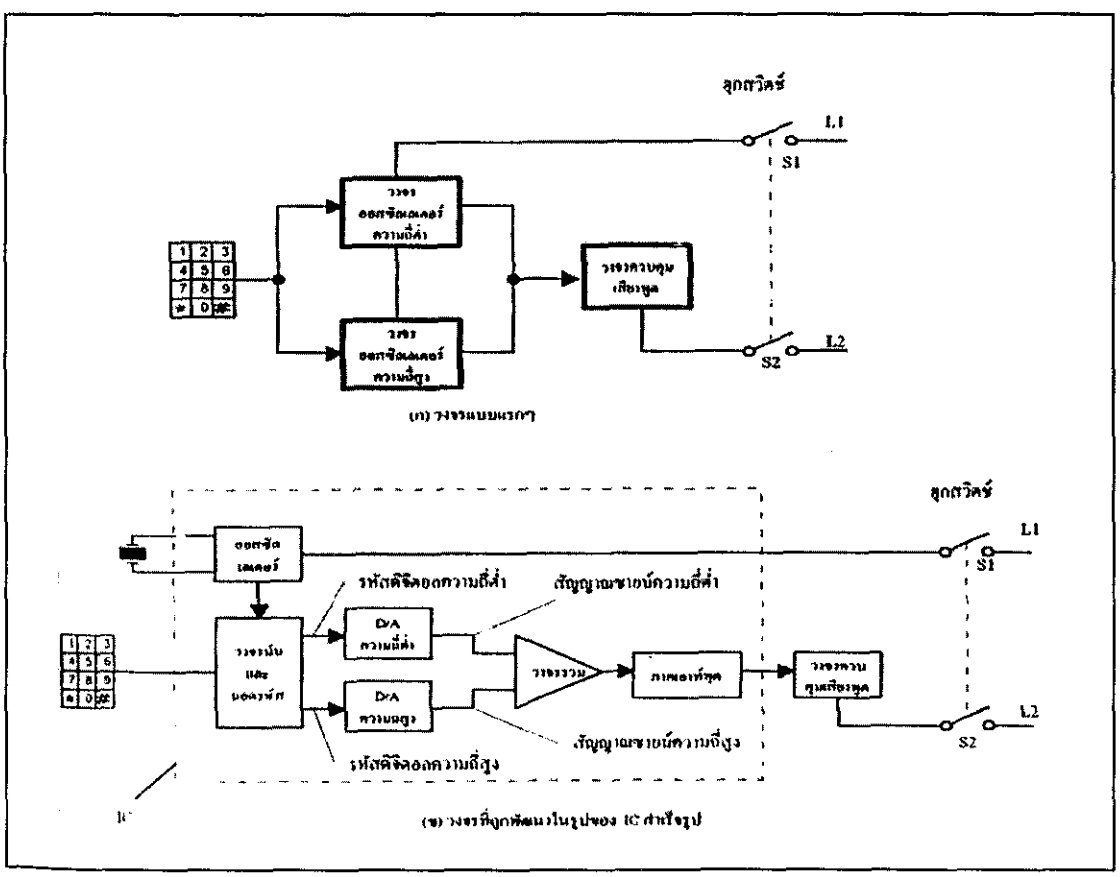
การส่งสัญญาณแบบ DTMF ด้วยการใช้ไอซีสำเร็จรูปในปัจจุบันดูจะเหมาะสมมากกว่าการนำอุปกรณ์มาต่อกันในการผลิตสัญญาณที่มีความถี่ต่าง ๆ เพื่อแทนรหัสหมายเลขของผู้ที่ต้องการจะติดต่อด้วย หลักการทำงานของไอซีพวกนี้ย่อมต้องมีหลักการเช่นเดียวนั่นก็คือ การนำความถี่ที่มีค่าแตกต่างกัน 2 ความถี่ซึ่งเกิดจากการดีโค้ดปุ่มกดหมายเลขให้เป็นสัญญาณความถี่ที่เกิดจากการถอดรหัสได้ในแนวแถวและแนวคอลัมน์จากนั้นก็นำสัญญาณทั้ง 2 มามอดูเลตกันแล้วจึงจะถูกส่งไปยังชุมสายต่อไป ตอนนี้ก็มาดูรายละเอียดการทำงานของไอซีตัวนี้



ภาพที่2.13 รูปสัญญาณของระบบ DTMF

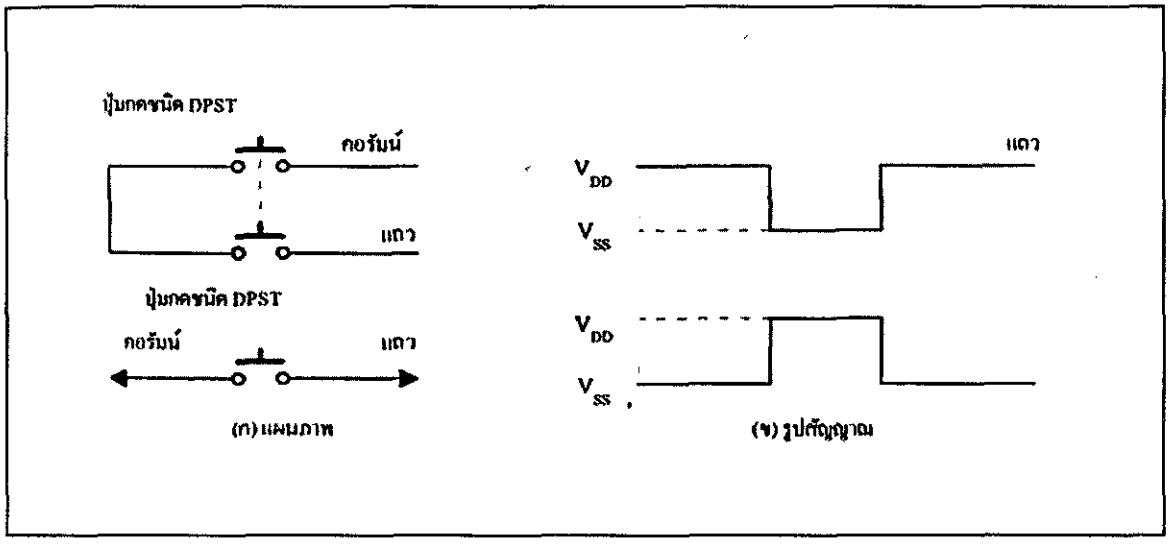
ภาพที่2.13 (ก) เป็นบล็อกไดอะแกรมของการส่งสัญญาณแบบ DTMF ซึ่งในระบบนี้ยังคงต้องใช้อุปกรณ์ จำพวกพาสซีฟ (passive element) ในการนำมาสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งแน่นอนว่าปัญหาที่จะพบสำหรับวงจรที่ใช้อุปกรณ์เหล่านี้จะมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไปและอายุการใช้งาน ซึ่งผลที่จะตามมาก็คือความถี่ที่ผลิตออกมาย่อมมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย

ภาพที่2.13 (ข) เป็นบล็อกไดอะแกรมของไอซีที่นำมาใช้สร้างสัญญาณในระบบ DTMF เมื่อทำการถอดรหัสจากการกดได้แล้วก็นำค่าในแนวแถวและแนวคอลัมน์ไปหารจากค่าความถี่หลักสัญญาณที่ออกจากวงจรนับและถอดรหัสก็จะได้สัญญาณดิจิตอล 2 สัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกัน จากนั้นก็นำทั้ง 2 สัญญาณไปผ่านวงจรแปลงสัญญาณจากดิจิตอลไปเป็นอะนาลอก (D/A converter) และนำมารวมกันโดยการนำไปผ่านวงจรรวมและขยายสัญญาณ (summing amp) แล้วจึงถูกส่งผ่านไปยังวงจรควบคุมเสียงพูด (speech network) และผ่านต่อไปยังชุมสายโทรศัพท์ในที่สุด



ภาพที่2.14 บล็อกไดอะแกรมของระบบ DTMF

ไอซีอาจจะถูกออกแบบมาใช้ร่วมกับแป้นปุ่มหมายเลข (key pad) ชนิด DPST (dualpole single throw) ซึ่งจะมีหน้าสัมผัส 2 หน้า หรืออาจจะเป็นชนิด SPST (single thorw) ก็ได้ในภาพที่ 2.21 เป็นแผนภาพและรูปของสัญญาณเมื่อมีการกดปุ่มหมายเลขใด ๆ จะสังเกตว่าในการดีโค้ต ของแนวแถวจะแอกทีฟที่ลอจิก "0" แต่ในแนวคอลัมน์นี้จะแอกทีฟที่ลอจิก "0"



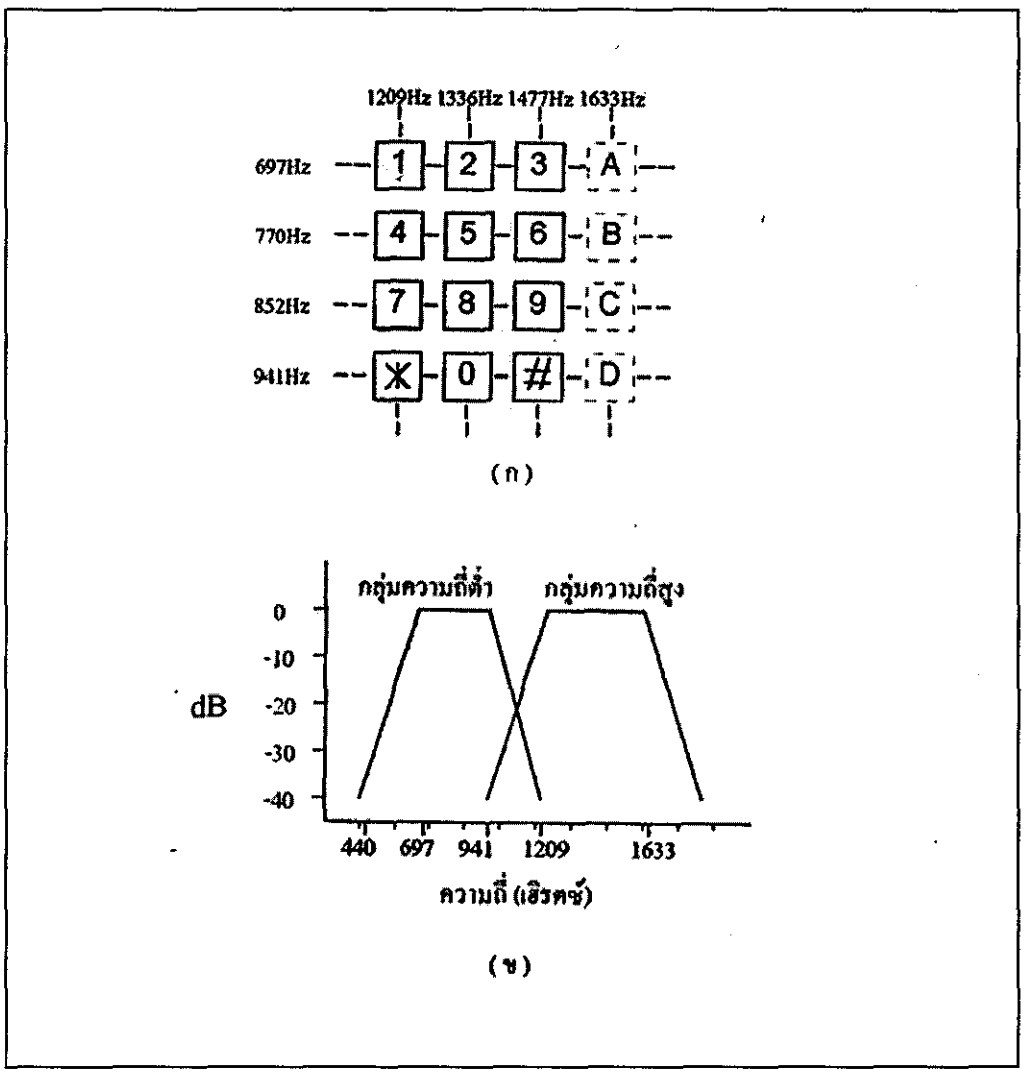
ภาพที่2.15 ชนิดของปุ่มกดและรูปสัญญาณ

2.4.10 วงจรถอดรหัสหมายเลข DTMF

วงจรที่ทำหน้าที่ถอดรหัสหมายเลขที่ส่งมาแบบ DTMF (DTMF receiver) ในช่วงแรก จะใช้วงจรถอดรหัส 1 วงจรต่อ 1 คู่สาย เมื่อมีการขยายการใช้งานโทรศัพท์กันมากขึ้น ชุมสายก็มีขนาดใหญ่ขึ้น ภายในชุมสายจะมีคู่สายภายใต้การควบคุมเป็นจำนวนมาก การใช้ของวงจรถอดรหัสหมายเลขแบบ DTMF จึงเปลี่ยนมาเป็นลักษณะของการใช้งานร่วมกันระหว่างหลาย ๆ คู่สาย ดังนั้นจึงเกิดความซับซ้อนในการสร้างวงจรในลักษณะเช่นนี้ แต่ในปัจจุบัน มีวงจรถอดรหัสที่อยู่ในรูปไอซีสำเร็จรูป ซึ่งมีราคาถูกและง่ายต่อการใช้งานจึงไม่เป็นการลงทุนที่สูงจนเกินไปในการที่จะหันกลับมาใช้วงจรถอดรหัส 1 วงจรต่อ 1 คู่สาย

สัญญาณ DTMF ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณที่มีความถี่ต่างกัน 2 สัญญาณ ตามตำแหน่งคอลัมน์และแถวของปุ่มกดหมายเลข และทำการมอดูเลตเข้าด้วยกันก่อนที่จะทำการส่งออกไปในภาพที่2.22(ก) จะเป็นค่าความถี่ต่าง ๆ ในคอลัมน์และโรว์ ซึ่งจะเป็นค่าที่กำหนดไว้เป็นค่ามาตรฐานของระบบการเข้ารหัสแบบ DTMF อยู่แล้วส่วนในภาพที่2.22(ข) จะเป็นกราฟที่เป็นผลตอบสนอง

ความถี่ของวงจรกรองความถี่ภายในวงจรถอดรหัสซึ่งที่ชุมสายหลังจากที่รับสัญญาณ DTMF มาแล้วก็จะนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ที่มีผลตอบสนองตามรูปนี้ เมื่อสัญญาณ DTMF ผ่านวงจรกรองความถี่มาแล้ว ก็จะได้สัญญาณความถี่ 2 ค่า ซึ่งก็เป็นความถี่เดียวกับความถี่มาตรฐานก่อนที่จะทำการมอดูเลตนั่นเอง



ภาพที่2.16 ความถี่ของระบบ DTMF และผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่

ก่อนที่จะเข้าไปถึงรายละเอียดของวงจรถอดรหัสแบบ DTMF มาดูถึงข้อกำหนดต่าง ๆที่จำเป็น เพื่อที่จะไม่ทำให้การถอดรหัสสัญญาณ DTMF เกิดความผิดพลาดขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) วงจรจะยังคงสามารถถอดรหัสได้อย่างถูกต้อง ถึงแม้สัญญาณที่รับเข้ามาจะมีความถี่ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานแต่ต้องไม่เกิน+2%ไปจากค่าที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน แต่ต้องไม่เกิน +2% และจะไม่ยอมให้สัญญาณที่มีค่าเบี่ยงเบนมากกว่า +3% จากค่ามาตรฐาน ผ่านวงกรองความถี่ไปได้

2) วงจรถอดรหัสจะสามารถถอดรหัสได้ ก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณเข้ามามีระยะเวลาอย่างน้อย 40 มิลลิวินาที

3) วงจรถอดรหัสจะทำการถอดรหัสได้ถูกต้อง ก็ต่อเมื่อสัญญาณ DTMF ที่รับเข้ามาในวงจรจะต้องมีช่วงเวลาที่ห่างกับสัญญาณ DTMF ที่รับเข้ามาก่อนหน้านี้ เป็นเวลาอย่างน้อย 35 มิลลิวินาที

4) วงจรถอดรหัสจะต้องสามารถถอดรหัสสัญญาณ DTMF ที่มีไดนามิกเรนจ์สูงกว่า 27.5 dB ได้โดยไม่เกิดความผิดพลาด และยังสามารถทำงานได้ในกรณีที่สัญญาณทั้ง 2 ความถี่ที่ประกอบกันขึ้นเป็นสัญญาณ DTMF มีแอมปลิจูดแตกต่างกันมากกว่า 6 dB

5) วงจรถอดรหัสยังคงทำงานได้ตลอดเวลาไม่ว่าขณะนั้น จะปรากฏเสียงพูดหรือมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามายังวงจรถอดรหัส ก็ไม่ทำให้การถอดรหัสผิดพลาด

ทั้งหมดก็คือ ข้อกำหนดของวงจรถอดรหัสหมายเลขแบบ DTMF ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบวงจรจะต้องคำนึงถึงเสมอก่อนที่จะทำการสร้างวงจรสำหรับการนำไปใช้งานในระบบโทรศัพท์จริงต่อไปมาดูหลักการของวงจรถอดรหัสหมายเลขแบบ DTMF โดยพิจารณาจากบล็อกไดอะแกรมซึ่งนำไปสร้างวงจรที่ใช้งานกันจริง ๆ

2.4.11 วงจรกรองความถี่และวงจรตรวจจับ (filtering and detector)

ในภาพที่2.16 (ข) จะเห็นว่าวงจรกรองความถี่เป็นส่วนสำคัญของวงจรถอดรหัส จากรูปกราฟที่แสดงผลตอบสนองความถี่วงจรกรองความถี่ชนิดที่ใช้สำหรับการทำงานให้ได้ผลตอบสนองตามภาพที่2.16 (ข) จะต้องใช้เวลากรองความถี่ชนิดแยกความถี่ (bandsplit filter) ดังนั้นสัญญาณ DTMF ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ออกมาแล้วก็จะแยกได้เป็นกลุ่มความถี่ที่สูง (hogh group) กับกลุ่มความถี่ต่ำ (low grup) ส่วนสัญญาณความถี่ที่อยู่นอกเหนือย่านนี้ ซึ่งไม่ตรงกับค่าความถี่มาตรฐานหรือมีค่าเบี่ยงเบนเกิน 2% ก็จะไม่สามารถผ่านวงจรกรองความถี่นี้ไปได้

จากนั้นสัญญาณความถี่ที่ผ่านออกมาก็จะถูกนำไปผ่านวงจรตรวจจับ (detector) เพื่อที่จะทำการประมวลต่อไปในภาพที่2.16 เป็นบล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองความถี่และวงจรตรวจจับซึ่งในปัจจุบันทั้ง 2 วงจรได้ถูกผลิตไว้ให้อยู่ในรูปไอซีเพียงตัวเดียว

สำหรับการทำงานของวงจรตรวจจับความถี่ตามภาพที่2.16 นั้น เมื่อสัญญาณความถี่ทั้ง 2

ย่าน ที่ผ่านมาจากวงจรกรองความแล้ว ก็จะถูกนำไปผ่านวงจรสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (squaring circuits) เพื่อทำให้เป็นสัญญาณในระบบดิจิตอลเสียก่อน จากนั้นวงจรตรวจจับก็จะทำการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งก็จะใช้วิธีการนับจำนวนพัลส์ ซึ่งมาจากวงจรออสซิลเลเตอร์หลัก โดยจะทำการนับจำนวนพัลส์ภายใน 1 คาบ สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมนั่นเอง วิธีการเช่นนี้จะทำให้วงจรตรวจจับความถี่สามารถหาค่าความถี่ของสัญญาณที่เข้ามาได้ ซึ่งก็จะทำให้ทราบ ถึงค่าของความถี่ที่ประกอบกันขึ้นเป็นสัญญาณ DTMF ได้ และทำการถอดรหัสออกมาเป็นหมายเลขโทรศัพท์ได้ในที่สุด

แต่ปัญหาประการสำคัญของผู้ออกแบบวงจรก็คือ การที่มีเสียงพูดเข้ามาในวงจร ซึ่งไม่ใช่ความถี่ DTMF ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการถอดรหัสหมายเลขได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดระยะเวลาในการประมวลผลแต่ละครั้งไว้ประมาณ 10 มิลลิวินาที ซึ่งถ้าเวลาในการประมวลผลน้อยกว่านี้จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการถอดรหัสได้

บทที่ 3
ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่รวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาท์พุต หน่วยความจำ วงจรการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำรวมกันคือ “ไมโคร” (micro) ซึ่งหมายถึง ไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็ก ภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือ ซีพียู (CPU : Central Processing Unit) หน่วยความจำทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmatic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ และวงจรสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือคำว่า “คอนโทรลเลอร์”(controller) หมายถึงอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่มารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

3.2 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่ใช้ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมสำหรับโครงงานนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (flash memory) ของ Atmel Coporation มีเบอร์ขึ้นต้นด้วย AT89 เหตุผลที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนี้ในเขียนโปรแกรมสำหรับใช้งาน มีด้วยกันหลายประการดังนี้

1. หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาท์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

2. ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมากเนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอีมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม

3. บริษัทผู้ผลิตได้ทำการผลิตไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูลนี้ออกมาหลายเบอร์ และมีความสามารถแตกต่างกันไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง

4. ด้วยการใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี

5. ในบางเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดย Atmel สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมได้โดยไม่ต้องถอดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่ หรือเรียกว่า การโปรแกรมในวงจร หรือในระบบ (In-system programming) ทำให้การพัฒนาหรือการซ่อมบำรุง ตลอดจนการปรับปรุงหรืออัปเกรดข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมทำได้อย่างสะดวก ภายใต้งบประมาณที่ไม่สูงมากนัก

6. ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของผู้ผลิตอื่น ไม่ว่าจะเป็นอินเทล, ซีเมนส์ หรือ ดัลลัส

3.3 สมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx

1)เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต

2)ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง

หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม

3)ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

4)มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์

5)ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว

6)สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปได้ 6 ประเภท

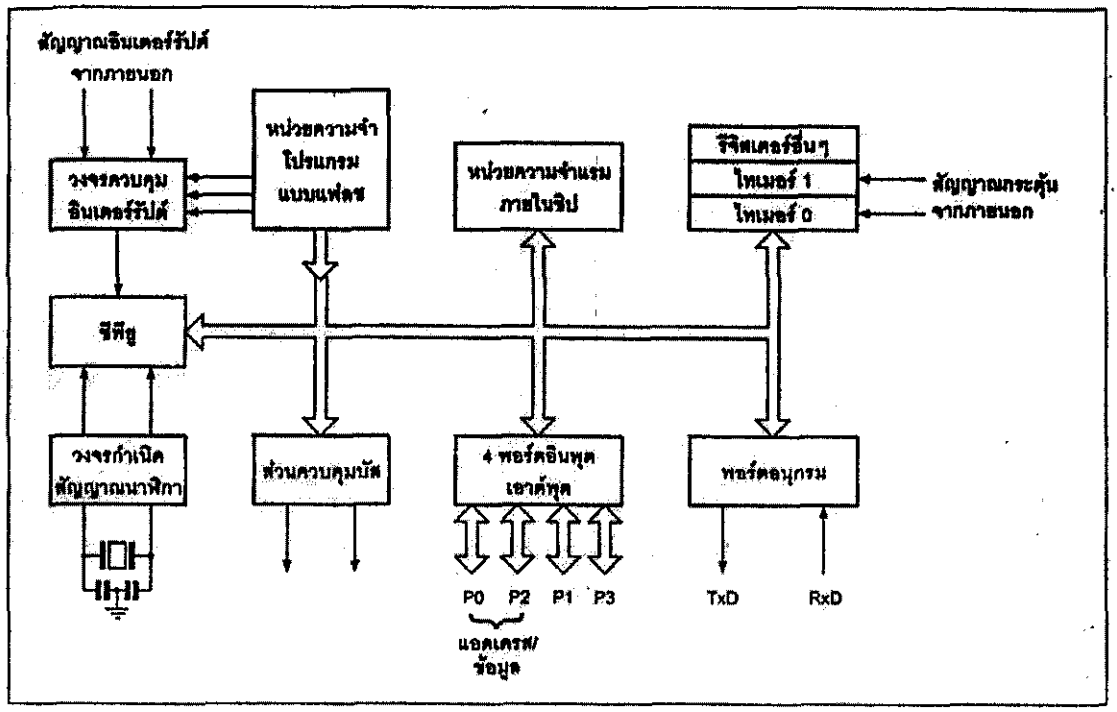
7)สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

8)มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป

9)มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx

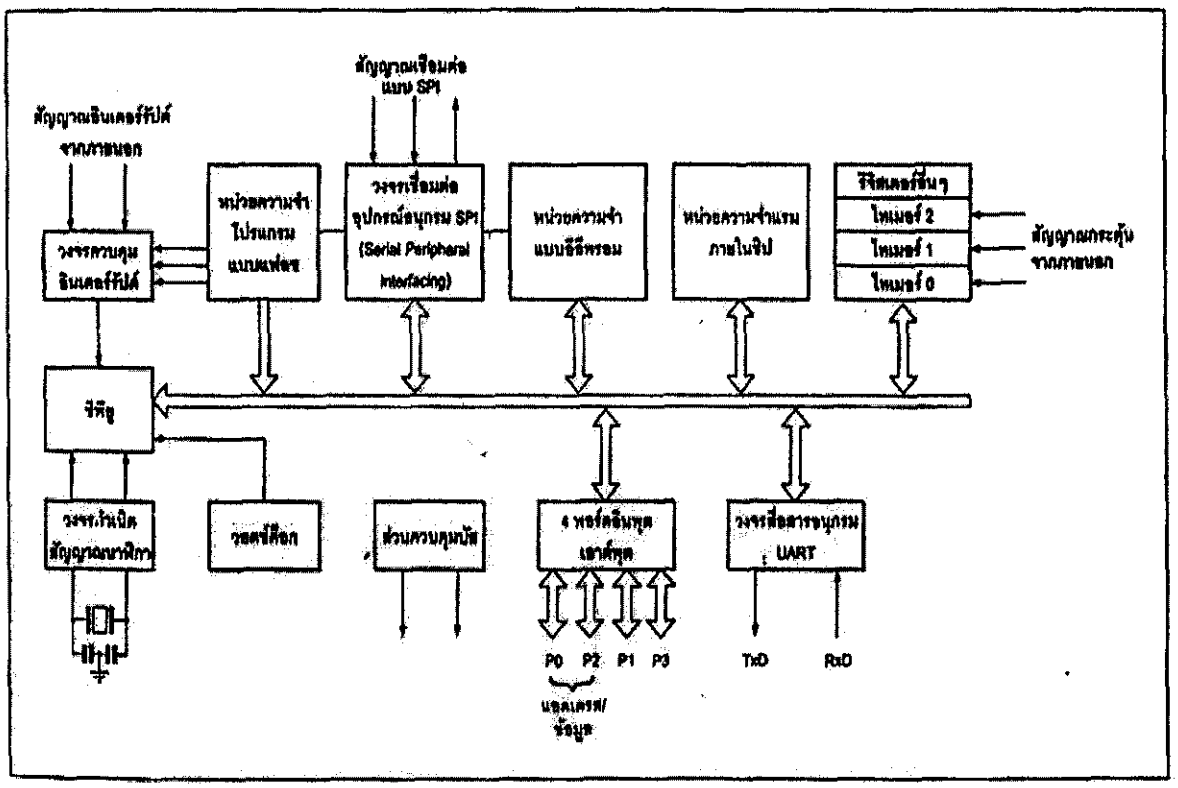
10)มีวอตช์ด็อกไทเมอร์ในตัว สำหรับในอนุกรม AT89Sxx

ในภาพที่3.1 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของ AT89Cxx จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 พื้นฐาน หากแต่แตกต่างกันเฉพาะหน่วยความจำแบบแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามา หากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม 87xx หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะเป็นแบบอีพรอม และบางเบอร์สามารถโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx

สำหรับภาพที่ 3.2 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของอนุกรม AT89Sxx จะเห็นได้ว่ามีส่วนประกอบที่เพิ่มเติมแตกต่างจาก AT89Cxx อยู่หลายส่วน อาทิ วงจรเชื่อมต่ออนุกรมแบบ SPI ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมนี้จะใช้ในการเขียนข้อมูลวงในหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอดตัวชิปออกไปจากระบบหรือเรียกว่าการโปรแกรมในวงจร ไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตที่เพิ่มเติมเข้ามาอีกหนึ่งตัวเป็นไทม์เมอร์ 2 และวงจรวอตช์ด็อกที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานผิดพลาดของซีพียู



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx

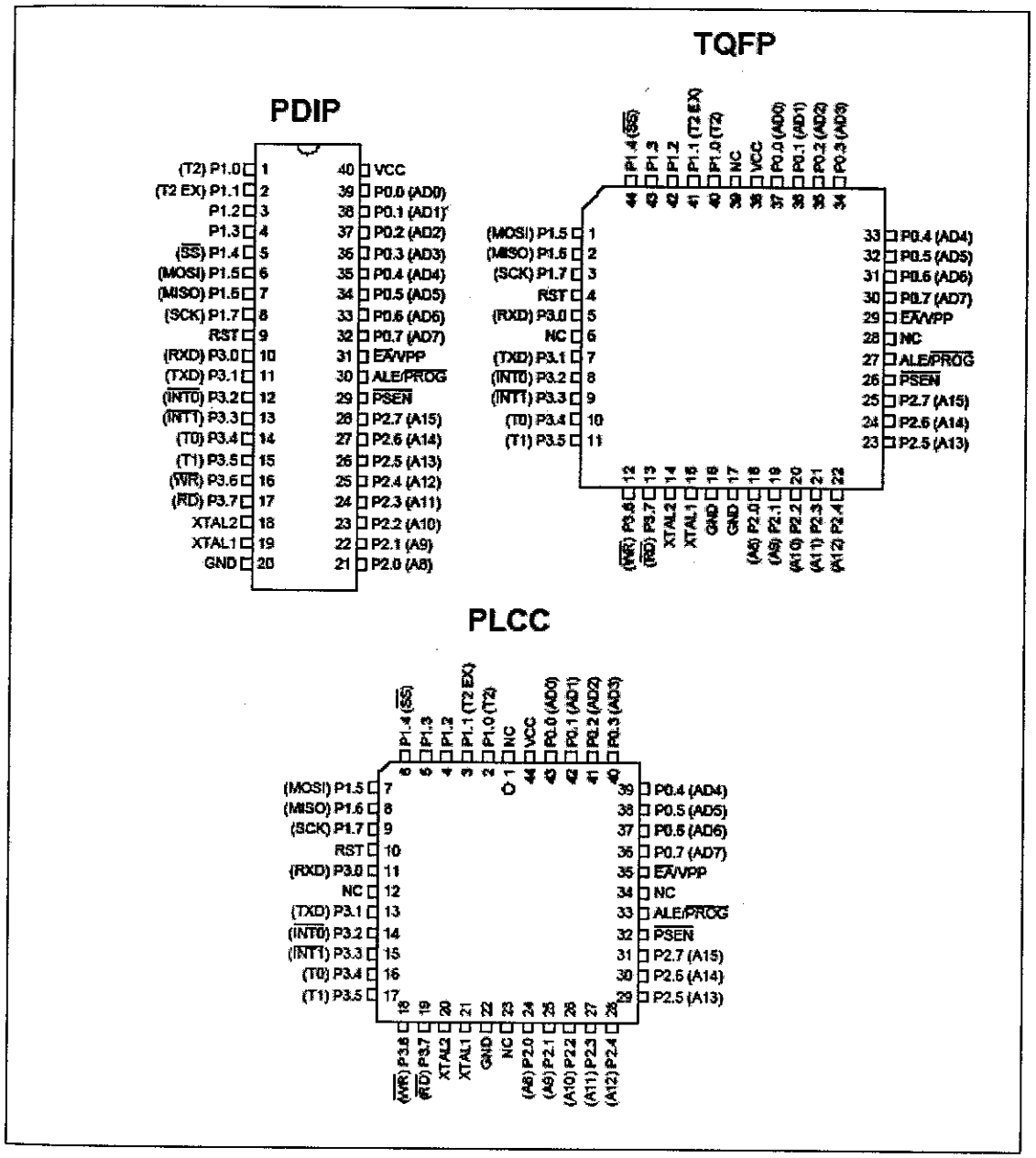
ในตารางที่ 3-1แสดงรายละเอียดบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ตะกูล MCS-51 แต่ละเบอร์ที่ Atmel ผลิตขึ้น และมีใช้งานในปัจจุบัน

เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำโปรแกรม	หน่วยความจำข้อมูล	จำนวนไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต
AT89C1051	แบบแฟลช ขนาด 1 กิโลไบต์	แรม 64 ไบต์	1
AT89C2051	แบบแฟลช ขนาด 2 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C51	แบบแฟลช ขนาด 4 กิโลไบต์	แรม 256ไบต์	2
AT89C52	แบบแฟลช ขนาด 6 กิโลไบต์	แรม 256ไบต์	3
AT89C55	แบบแฟลช ขนาด 20 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89S8252	แบบแฟลช ขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์ อีอีพรอม 2 กิโลไบต์	3
AT89S53	แบบแฟลช ขนาด 12 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดโดยสรุปบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แบบแฟลชที่ Atmel ผลิตขึ้น

3.4 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงภาพที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3.3 การจัดขาของ AT89S8252

ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานเป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนั้นในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทม์เมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทม์เมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4-P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นต่อไปนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปจากภายนอกช่อง 0 หรือขา $\overline{\text{INT0}}$

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปจากภายนอกช่อง 1 หรือขา $\overline{\text{INT1}}$

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณ ไทม์เมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปจากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซตสถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

ขา $\overline{\text{ALE}}$/PROG (Address Latch Enable/Prigram pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำแบบอีพรอม

ขา $\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเกิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใด ๆ ออกมา

ขา $\overline{\text{EA}}$/Vpp (External Access enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น "0" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น "1" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการ

โปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12V

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับติดต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.5 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ขา	เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
P1.0	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2 เป็นขาอินพุตนับค่าของไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 2 และเป็นขา
P1.1	AT89C52/AT89Sxx	และควบคุมทิศทางของสัญญาณ
P1.4	AT89Sxx	ขา SS (Slave Select) เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟ ในระบบการติดต่อแบบ SPI
P1.5	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data output, Slave data input) ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.6	AT89Sxx	ขา MISO (Master data input, Slave data output) ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.7	AT89Sxx	ขา SCK (Master clock output) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการติดต่อกับพอร์ต SPI

ตาราง 3.2 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Atmel

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล "1" มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟตที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้น ๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัพภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น "1" สามารถรับสัญญาณลอจิก "0" จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอจิก "0" จะดีและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แบบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก "0" แล้ว)

3.6 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล "0" ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังวงจรแลตช์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปขับเฟต ทำให้เฟตทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก "0" ขึ้น ในทางตรงข้ามหากต้องส่งข้อมูล "1" ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล "1" ไปยังวงจรแลตช์ วงจรขับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัปภายในเกิดเป็นลอจิก "1" ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีการอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต แต่ละขา (หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส (source current) ได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 และ 15 mA สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาท์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

3.7 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตได้ 2 ลักษณะคือ อ่านจากขาพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรแลตช์ของแต่ละพอร์ต

ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นต่อลงกราวด์ หากมีการส่งข้อมูล "1" ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น "0" เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ จะเสมือนว่าขาพอร์ตนั้นถูกต่อลงกราวด์ ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรแลตช์ จะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้น ในการอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตจึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

3.8 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

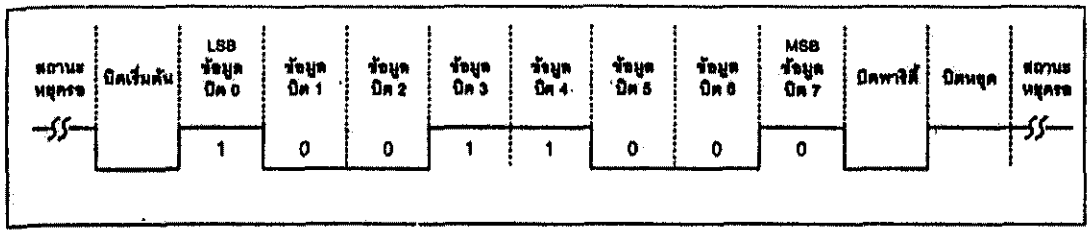
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรการสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึง วงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือ ขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยวงจรการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัส ปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐานของ RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้ว โดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณการสื่อสารดังกล่าว

3.9 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือ บอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต



ภาพที่ 3.4 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

ในภาพที่ 3.4 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา DATA จะมีสถานะลอจิก "1" เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก "0" ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วยบิตพาริตี้ (parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้ายหรือ บิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก "1" อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต, 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสอัตราบอดหรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ตั้งแต่ 110 ถึง 19200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอดคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่าข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์ จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd), แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ พาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่แสดงถึงจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมบิตพาริตี้ว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก "1" จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตี้เป็นคู่ ค่าของบิตพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น "0" แต่ถ้ากำหนดพาริตี้เป็นคี่ ค่าของบิตพาริตี้จะต้องเป็น "1" เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้เป็นคี่

บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูลอนุกรม) ซึ่งทางภาครับต้องกำหนดการตรวจสอบพาริตี้ที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตี้คี่หรือคู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก "1" ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อเมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้เป็น NONE นั้นทั้งภาครับและส่งจะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

3.10 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัวดังนี้

3.10.1 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial data buffer register)

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษหรือ SFR มีขนาด 8 บิต แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรับข้อมูล (receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

3.10.2 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial port Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

SM0-SM1 (Serial port mode bit 0-1) : ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

SM2 : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์ (multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ถ้าบิตนี้เป็น "1" บิต RI จะไม่แอกตีฟถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น "0" (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ที่บิต RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิต RI จะไม่แอกตีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

REN (Enable serial reception) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

TB8 : ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RB8 : ใช้สำหรับรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น "0" ข้อมูลที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด (STOP bit) สำหรับในการทำงานโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งาน บิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TI (Transmit Interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RI (Receive Interrupt flag) : ใช้แสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีสามารถรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้ว ยกเว้นในกรณีที่บิต SM2 มีการเซต บิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

3.11 การกำหนดค่าของไทม์เมอร์เพื่อเลือกอัตราบอด

ในการใช้งานพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 สิ่งที่ต้องให้ความสนใจมากที่สุดประการหนึ่งคือ อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ อัตราบอด ซึ่งการกำหนดอัตราบอดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเป็นหลัก สำหรับโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมที่สามารถเลือกอัตราบอดได้อย่างอิสระคือในโหมด 1 และ 3 โดยกำหนดได้จากอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของไทม์เมอร์ 1 ถ้าหากไทม์เมอร์ 1 มีการเกิดโอเวอร์โฟลวในอัตราที่สูงมากเท่าใด อัตราบอดก็จะมีค่าสูงมากขึ้นตาม นั่นหมายความว่า อัตราในการถ่ายทอดข้อมูลจะสูงมาก สามารถถ่ายทอดข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

ในการใช้ไทม์เมอร์ 1 เพื่อกำหนดอัตราบอดในโหมด 1 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมจะต้องกำหนดให้ไทม์เมอร์ 1 ทำงานในโหมด 2 หรือ โหมด 8 บิตแบบตั้งค่าการนับอัตโนมัติ และการกำหนดค่ารีโหลดให้แก่รีจิสเตอร์ TH1 จึงเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดให้แก่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เริ่มต้นด้วยการเคลียร์บิต SMOD ซึ่งเป็นบิต 7 ของรีจิสเตอร์ PCON ให้เป็น “0” ค่าของการรีโหลดให้แก่ TH1 สามารถคำนวณได้จาก

TH1 = 256 – ((ค่าความถี่ของคริสตอล/384)/อัตราบอด)

แต่ถ้าบิต SMOD เกิดการเซต จะเป็นการเอ็นเอเบิลการทวีคูณของอัตราบอด ดังนั้นการกำหนดค่าให้แก่ TH1 จึงต้องคำนวณจาก

TH1 = 256 – ((ค่าความถี่ของคริสตอล/192)/อัตราบอด)

ยกตัวอย่าง ถ้าหากในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 ใช้คริสตอล 11.0592 MHz ต้องการกำหนดอัตราบอดของพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ไว้ที่ 19200 บิตต่อวินาที ในกรณีที่ไม่เอ็นเอเบิลการทวีคูณของอัตรบอด ค่ารีโหลดของไมโครคอนโทรลเลอร์จะเท่ากับ

TH1 = 256 – ((ค่าความถี่ของคริสตอล/384)/อัตราบอด)

= 256 – ((11059200/384)/19200)

= 256 – (28800/19200)

= 256 – 1.5 = 254.5

เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าที่ไม่ใช่จำนวนเต็ม ถ้าหากกำหนดค่าของ TH1 เป็น 254 เมื่อทำการแทนค่าเพื่อคำนวณหาอัตราบอด จะได้อัตราบอดเท่ากับ 14400 บิตต่อวินาที และถ้าหาก

กำหนดค่าของ TH1 เป็น 255 อัตราบอดจะมีค่าเท่ากับ 28800 บิตต่อวินาที ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าของ TH1 ที่ไม่เป็นจำนวนเต็มจะไม่สามารถทำให้เกิดอัตราบอดตามที่ต้องการได้

ทางแก้ไขคือ ให้ทำการเอ็นเอเบิลทวีคูณอัตราบอด โดยการเซตบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ให้เป็น "1" จากนั้นแทนค่าลงในสมการหาค่า TH1 เมื่อมีการเซตบิต SMOD ได้ผลดังนี้

TH1 = 256 – ((ค่าความถี่ของคริสตอล/192)/อัตราบอด)

= 256 – ((11059200/192)/19200)

= 256 – (57600/19200)

= 256-3 = 253

นำค่าของ TH1 ที่ได้ทำการแทนค่าคำนวณหาค่าอัตราบอดจะได้เท่ากับ 19200 บิตต่อวินาที สามารถสรุปขั้นตอนในการเลือกอัตราบอดโดยการกำหนดค่าของไทม์เมอร์ 1 ได้ดังนี้

อัตราบอด (บิตต่อวินาที :bps)	ความถี่ สัญญาณนาฬิกา	SMOD	ไทม์เมอร์ 1		
			C/T	โหมด	ค่ารีโหลด
โหมด 0: สูงสุด 1 MHz	12MHz	X	X	X	X
โหมด 2: สูงสุด 375 K	12MHz	1	X	X	X
โหมด 1,3 : 62.5K	12MHz	1	0	2	FFD
19.2K (19200)	11.0592 MHZ	1	0	2	FDH
9.6K (9600)	11.0592 MHZ	0	0	2	FDH
4.8K (4800)	11.0592 MHZ	0	0	2	FAH
2.4K (2400)	11.0592 MHZ	0	0	2	F4H
1.2K (1200)	11.0592 MHZ	0	0	2	E8H
137.5	11.0592 MHZ	0	0	2	1DH
110	6 MHz	0	0	2	72H
110	12 MHz	0	0	1	FEEBH

ตารางที่ 3.3 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

3.12 การเขียนหรือส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม

ข้อมูลที่ต้องการส่งออกทุกค่าต้องนำไปเก็บไว้รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรม ซึ่งก็คือ รีจิสเตอร์ SBUF ดังตัวอย่าง

```
MOV   SBUF, # 'A'
```

จากคำสั่งข้างต้นเป็นการส่งข้อมูลของตัวอักษร A ออกไปยังพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ อย่างไรก็ตามก่อนทำการส่งข้อมูลทุกครั้ง ต้องแน่ใจว่าบิต TI เคลียร์หรือมีค่าเป็น "0" และเมื่อทำการส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ก็จะเกิดการเซตบิต TI เพื่อแจ้งให้ทราบ ดังตัวอย่างโปรแกรมต่อไปนี้

```
CLR   TI          ; เคลียร์บิต TI เพื่อเตรียมการส่งข้อมูล
MOV   SBUF, # 'A' ; ส่งข้อมูลของตัวอักษร A ไปยังพอร์ตอนุกรม
JNB   TI, $       ; รอการเซตของบิต TI เพื่อแจ้งการส่งข้อมูลที่เสร็จสมบูรณ์
```

3.13 การอ่านหรือรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม

การรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมสามารถกระทำได้ง่ายมาก เพียงทำการตรวจสอบว่าบิต RI เกิดการเซตขึ้นหรือไม่ ถ้าพบว่ามีการเซตเกิดขึ้นแล้ว ให้ทำการอ่านค่าจากรีจิสเตอร์ SBUF โดยต้องทำการโอนย้ายข้อมูลผ่านทางแอกคิวมูเลเตอร์หรือรีจิสเตอร์ A ดังตัวอย่าง

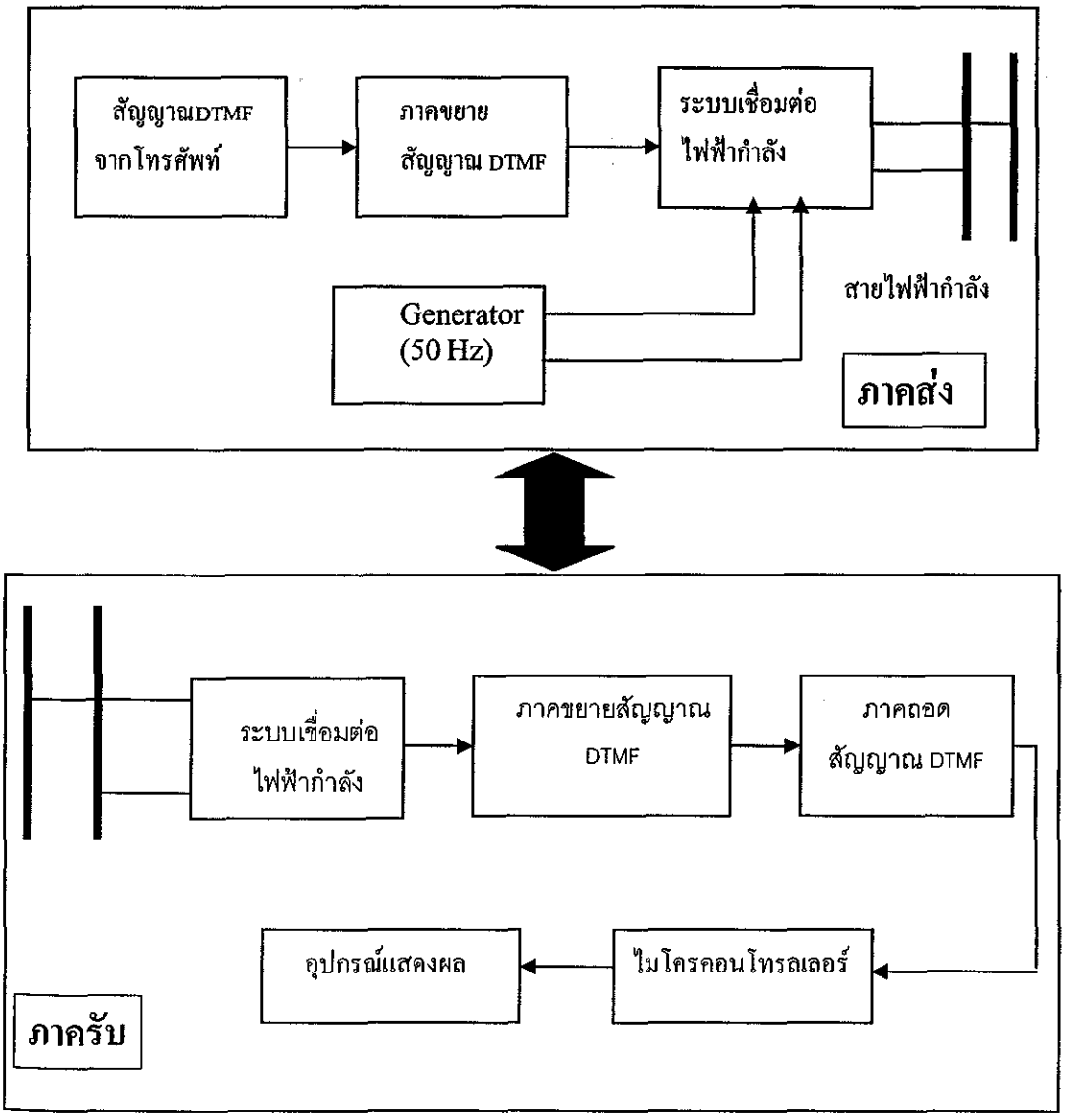
```
CLR   RI          ; เคลียร์บิต RI เพื่อเตรียมการรับข้อมูล
JNB   RI, $       ; รอคอยการเซตของบิต RI อันเป็นการแจ้งให้ทราบว่า การรับ
                    ข้อมูลเสร็จสมบูรณ์และมีข้อมูลเกิดขึ้นที่รีจิสเตอร์ SBUF
MOV   A, SBUF     ; อ่านค่าจากรีจิสเตอร์ โดยการโอนย้ายข้อมูลผ่านทางรีจิสเตอร์
                    A
CLR   RI          ; หลังจากทำการอ่านข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิต RI
```

บทที่4

การออกแบบระบบ

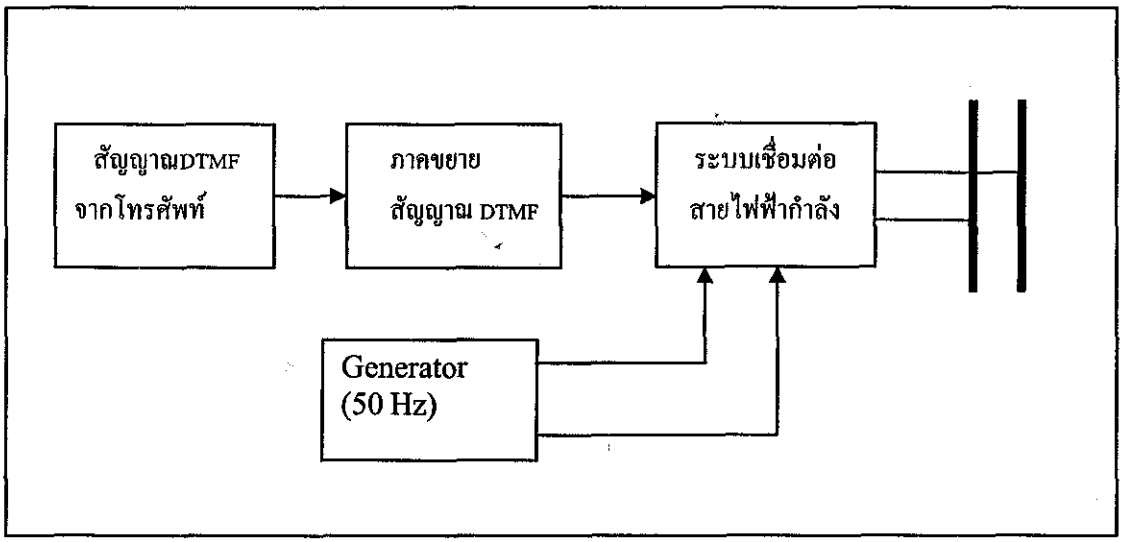
4.1 กล่าวนำ

ระบบโดยรวมมีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วนใหญ่ๆด้วยกันคือ ภาคส่งสัญญาณ DTMF และส่วนที่2 คือภาครับและถอดรหัสสัญญาณ DTMF ดังแสดงในภาพที่4.1 โครงสร้างโดยรวมของระบบ



ภาพที่4.1 โครงสร้างโดยรวมของระบบ

4.2 ภาคส่งสัญญาณ DTMF (Dual Tone Multifrequency)

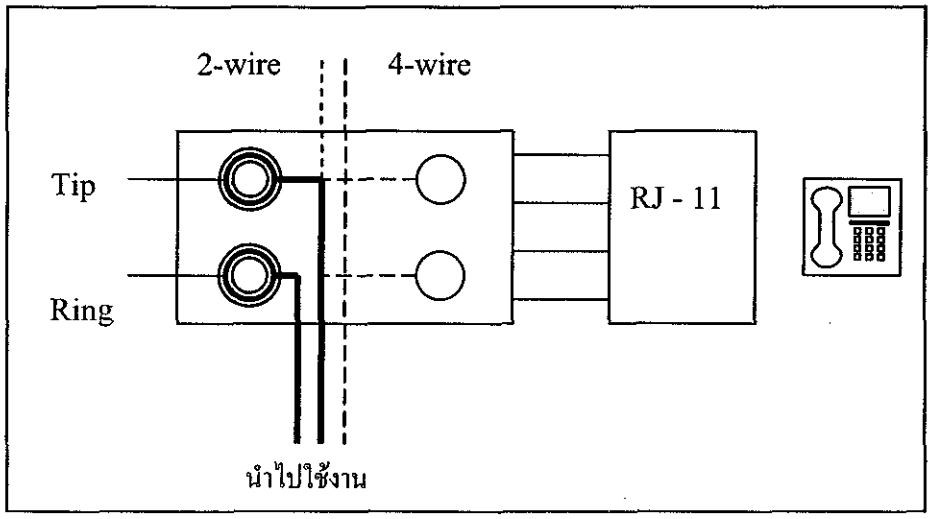


ภาพที่ 4.2 ระบบส่งสัญญาณ DTMF

การออกแบบระบบส่งสัญญาณ DTMF จะประกอบไปด้วย 5 องค์ประกอบด้วยกัน คือ

4.2.1 สัญญาณ DTMF (Dual Tone Multifrequency)

การนำสัญญาณ DTMF จากคู่สายโทรศัพท์มาเป็นสัญญาณอินพุตจะทำการต่อสายสัญญาณแบบขนานดังภาพที่4.2

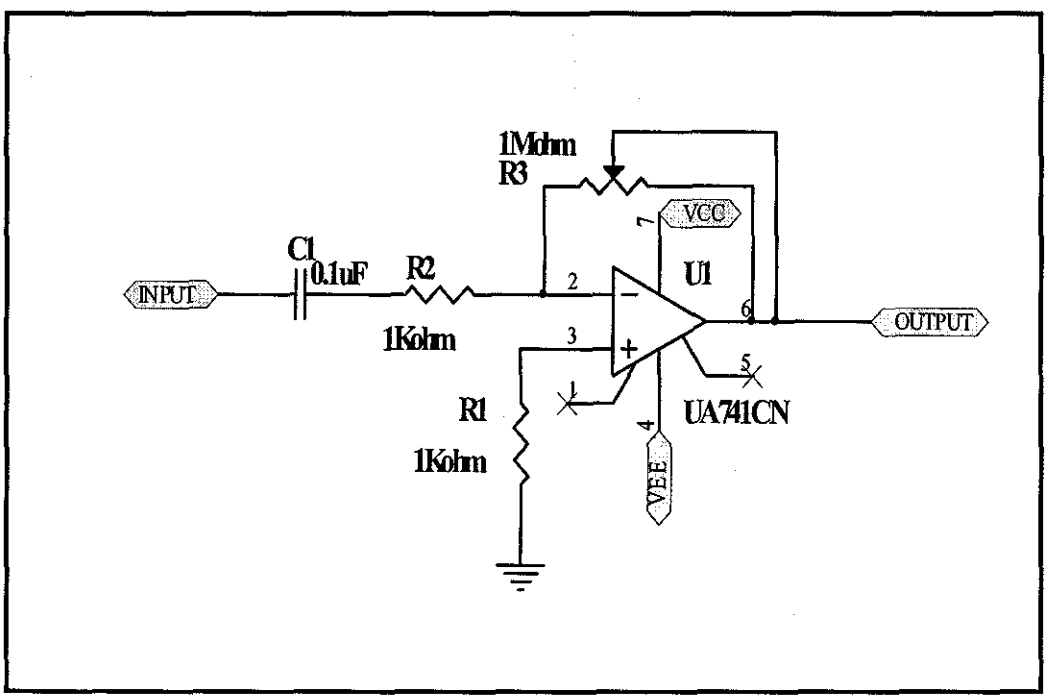


ภาพที่ 4.3 การต่อสายสัญญาณโทรศัพท์

4.2.2 ภาคขยายสัญญาณ DTMF

ในระบบจะต้องทำการต่อภาคขยายสัญญาณด้วยเพราะในระบบสายส่งใน ๆ จะมีการลดทอนของสัญญาณเสมอ ดังนั้นเราต้องทำการขยายสัญญาณเพื่อให้สัญญาณ DTMF ที่ส่งไปกับสายสัญญาณมีความแรงพอที่จะถึงภาครับสัญญาณและภาครับสัญญาณสามารถที่จะถอดสัญญาณได้

การออกแบบภาคขยายสัญญาณจะใช้ไอซี ออปแอมป์ เบอร์ UA 747CN (รายละเอียดการใช้งานในภาคผนวก) มาสร้างวงจรขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ติ้ง ดังแสดงในภาพที่4.4



ภาพที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณ DTMF

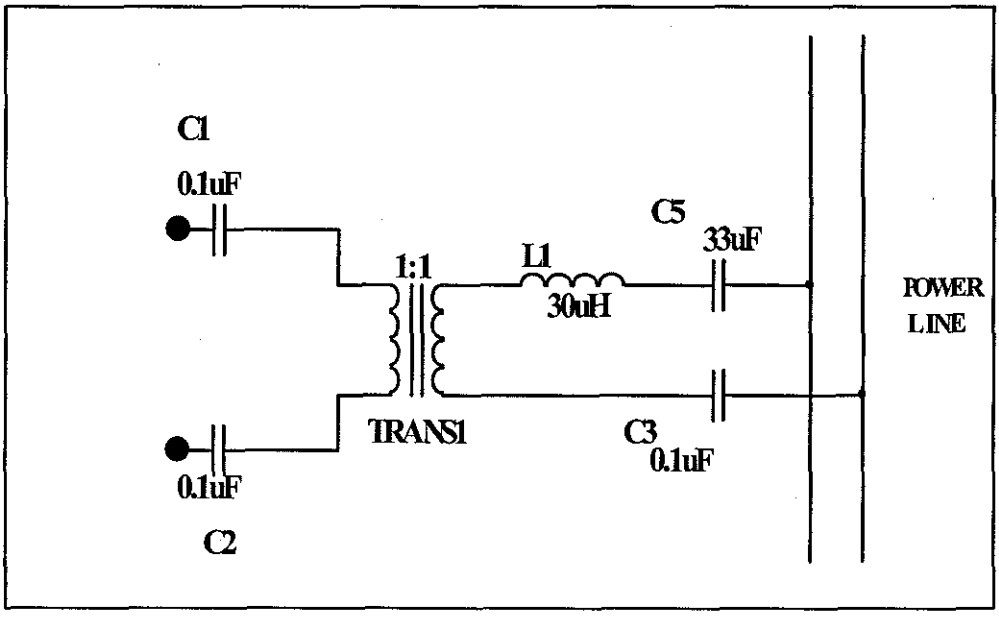
ในภาพที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณ DTMF เป็นวงจรขยายสัญญาณที่สามารถปรับอัตราขายได้โดยการใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ขนาด 1 เมกะโอห์มเป็นตัวปรับระดับอัตราขยาย ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการขยายของวงจรขยายสัญญาณแบบอินเวอร์ติ้งใน ภาพที่4.4ได้ดังสมการ

$$\text{อัตราขยาย(gain)} = \frac{R3}{R2}$$

ถึงอย่างไรก็ตามระดับอัตราการขยายจะสามารถปรับค่าได้ แต่ก็ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันVCCและ VEE ด้วย ทั้งนี้ VCCและVEE ต้องไม่มากกว่า +18Vdc และ-18Vdc ตามลำดับ

การใช้งานในส่วนของภาคขยายสัญญาณจะใช้ในกรณีระดับสัญญาณ DTMF ในสายส่งมีความแรงของสัญญาณไม่เพียงพอที่วงจรถอดสัญญาณจะถอดได้

4.2.3 ระบบเชื่อมต่อสายไฟฟ้ากำลัง



ภาพที่ 4.5 วงจรการเชื่อมต่อสายไฟฟ้ากำลัง

ระบบเชื่อมต่อสายไฟฟ้ากำลังเป็นส่วนที่สำคัญมากที่สุดส่วนหนึ่งหากการออกแบบส่วนนี้ไม่ดีพอผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น อันตรายจากระบบไฟฟ้ากำลัง 220V 50 Hz อันตรายที่จะเกิดขึ้นทั้งกับผู้ใช้งานวงจร การออกแบบส่วนนี้จะต้องไม่ให้ระดับแรงดันเข้ามามากกว่าระดับแรงดัน TTL หรือเกินกว่าที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือไอซีต่าง ๆ จะรับได้ อีกอย่างหนึ่งคือความถี่ระดับ 50 Hz ไม่สามารถผ่านส่วนเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังนี้ได้แต่ระบบนี้สามารถที่จะให้ความถี่

ในช่วงความถี่ 500-2000Hz ผ่านได้ เพราะว่าจุดประสงค์ของเราคือส่งสัญญาณ DTMF เข้าไปในสายส่ง ซึ่งช่วงความถี่ของสัญญาณ DTMF อยู่ในช่วงความถี่ดังกล่าว

ภาพที่ 4.5 ระบบเชื่อมต่อไฟฟ้ากำลัง C_1 และ C_2 เป็นตัวเก็บประจุขนาด 0.1 ไมโครฟารัด การต่อ C_1 และ C_2 ทางด้านขดลวดทุติยะภูมิของหม้อแปลงขนาด 1 ต่อ 1 เพื่อทำหน้าที่กรองสัญญาณในองค์ประกอบทางดีซี (DC component) รวมทั้งกรองสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกสอดอื่นๆ ที่เราไม่ต้องการนอกจากสัญญาณข้อมูลของเรา

สำหรับอุปกรณ์ประกอบทางด้านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง 1 ต่อ 1 ซึ่งได้แก่ L_1ขนาด 30 ไมโครเฮนรี C_3ตัวเก็บประจุขนาด 33 ไมโครฟารัด และ C_3 เป็นตัวเก็บประจุขนาด 0.1 ไมโครฟารัด เป็นการต่อเพื่อจำกัดระกับแรงดันไม่ให้เข้ามาภายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เกินระดับทีทีแอล อีกทั้ง C_1, C_5 และ C_3 ยังทำหน้าที่เป็นวงจรกรองสัญญาณอีกด้วย

การคำนวณผลตอบสนองทางความถี่ของตัวเก็บประและตัวเหนี่ยวนำ เป็นไปตามสมการ

<u>สำหรับตัวเก็บประจุ</u>

$$X_C = \frac{1}{j\omega c} \qquad ;\omega = 2\pi f$$

โดยที่ X_C คือ ความต้านทางเชิงซ้อนของตัวเก็บประจุ

C คือ ค่าความจุของตัวเก็บประจุ

f = ความถี่

<u>สำหรับตัวเหนี่ยวนำ</u>

$$X_L = 2\pi fL \qquad ;\omega = 2\pi f$$

โดยที่ X_C คือ ความต้านทางเชิงซ้อนของตัวเก็บประจุ

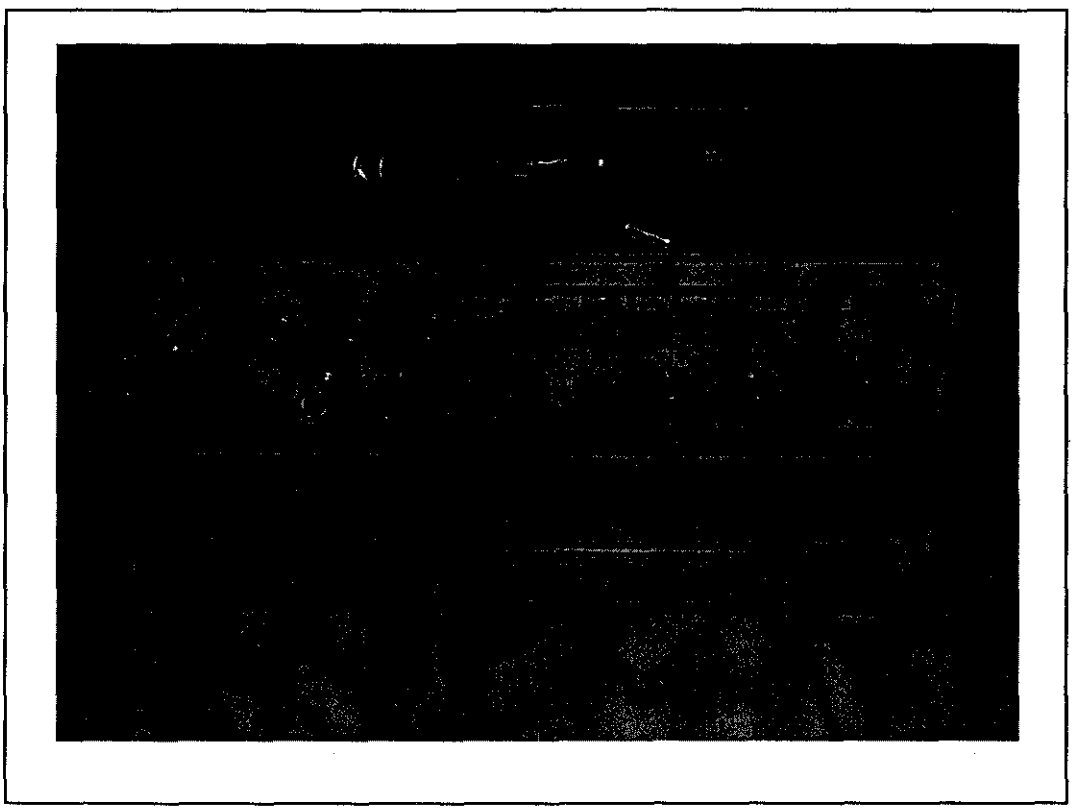
L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ

f = ความถี่

4.2.4 แหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่ (Function Generator)

การจำลองระบบของสายส่งไฟฟ้ากำลัง จะทำการมอดูเลตสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่ 50 Hz ขนาดแรงดัน ประมาณ 20Vp-p รวมกับสัญญาณ DTMF แล้วทำการส่งเข้าไปในสายส่งสัญญาณ

สำหรับการสร้างสัญญาณรูปไซน์ มีความถี่ 50 Hz ขนาดแรงดัน ประมาณ 20Vp-p สามารถทำได้โดยใช้ Function Generator ดังแสดงในภาพที่4.6

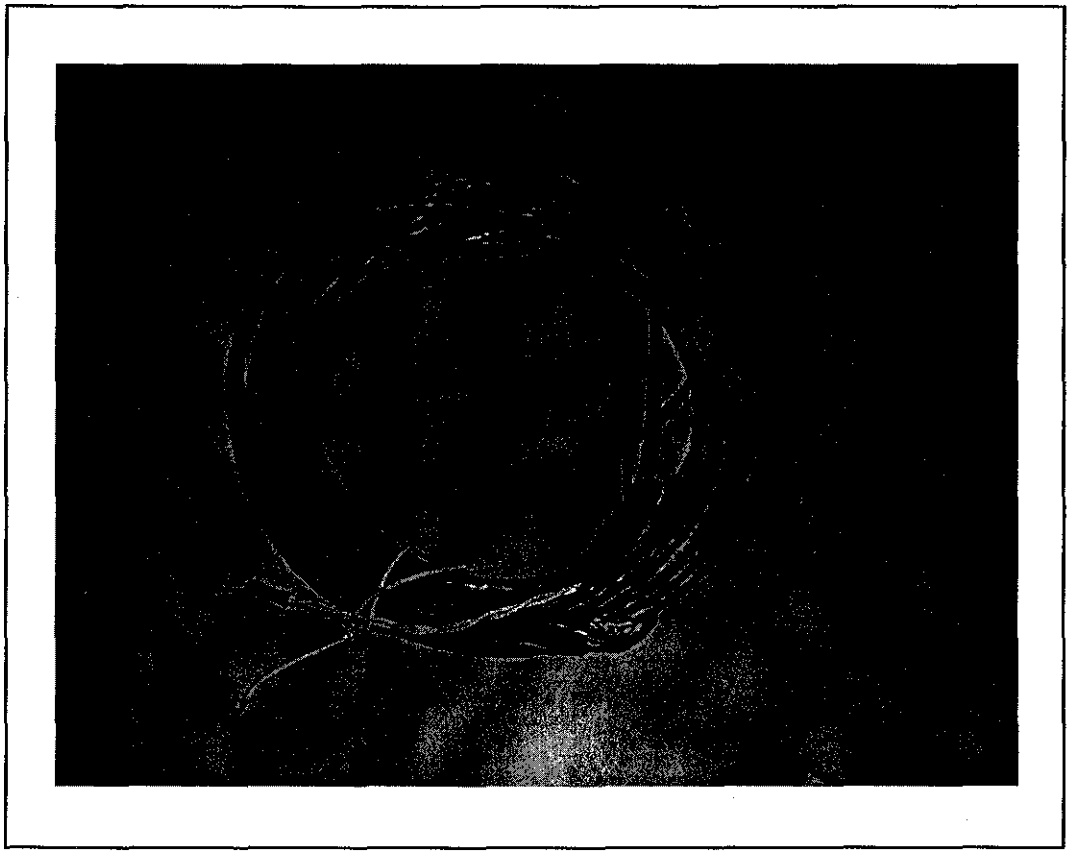


ภาพที่4.6 Function Generator

4.2.5 สายส่งสัญญาณ

ในการจำลองระบบสายส่งไฟฟ้ากำลัง ได้ใช้สายคู่ตีเกลียว(Twisted pair line)ที่มีความยาวประมาณ 8 เมตรสำหรับเป็นตัวกลางส่งข้อมูล

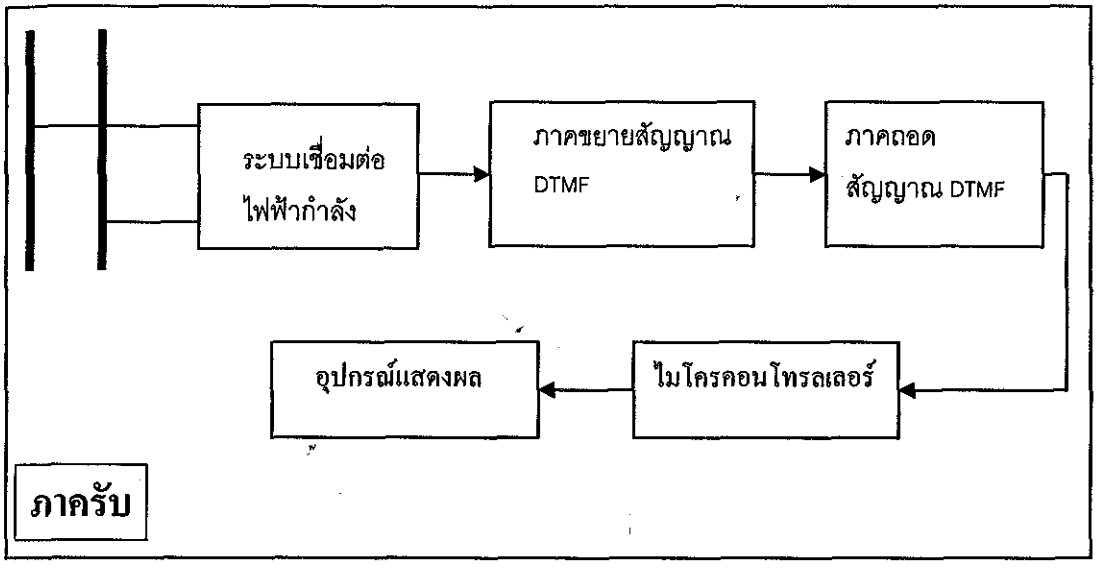
ภาพที่4.7 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของสายส่งชนิดสายคู่ตีเกลียว(Twisted pair line)



ภาพที่4.7 สายคู่ตีเกลียว(Twisted pair line)

4.3 ภาครับสัญญาณ DTMF (DTMF Receiver)

องค์ประกอบของภาครับสัญญาณ DTMF ประกอบด้วยส่วนประกอบย่อย 5 ส่วน ซึ่งได้แก่ ส่วนเชื่อมต่อไฟฟ้ากำลัง ภาคขยายสัญญาณ DTMF ส่วนถอดสัญญาณ DTMF วงจรควบคุมการทำงานของระบบ และอุปกรณ์แสดงผล(รีเลย์) ดังแสดงในภาพที่ 4.8

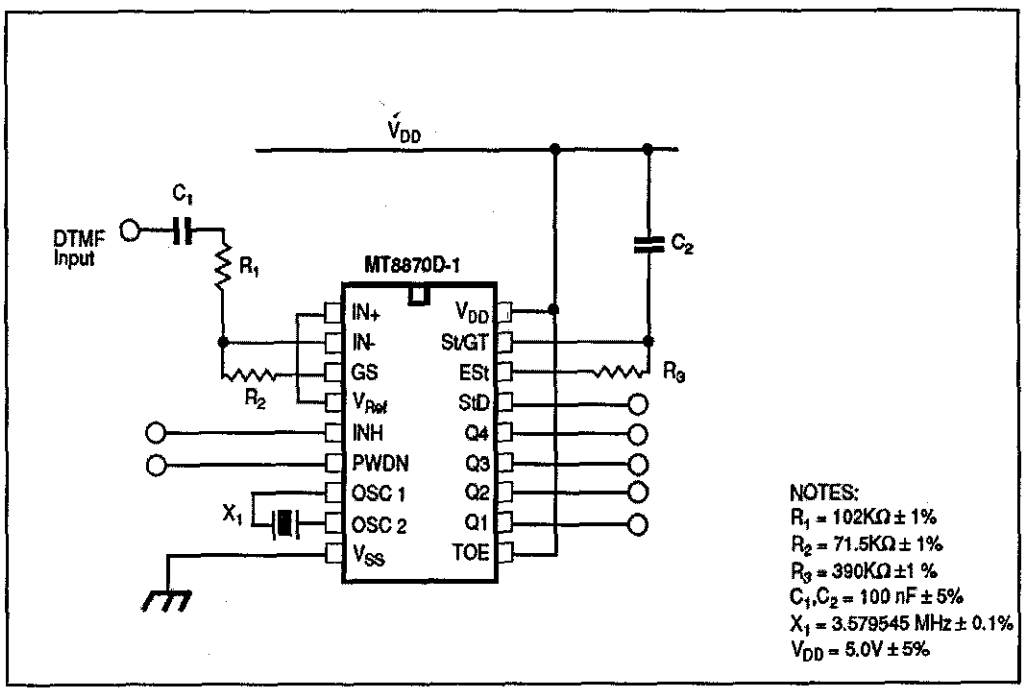


ภาพที่4.8 โครงสร้างโดยรวมภาครับสัญญาณ DTMF

จากภาพที่4.8 เป็นโครงสร้างโดยรวมของภาครับสัญญาณDTMF สำหรับระบบเชื่อมต่อไฟฟ้ากำลัง และภาคขยายสัญญาณ DTMF เป็นระบบที่ใช้วงจรชนิดเดียวกันกับวงจรในภาคส่งสัญญาณ DTMFดังนั้นเราสามารถที่จะใช้วงจรในรูปแบบที่เหมือนกันได้

4.4 ภาคถอดสัญญาณ DTMF

วงจรภาคถอดสัญญาณ ความถี่ DTMF ได้นำไอซีเบอร์ MT8870DE (DTMF Decoder) มาใช้ในการรับสัญญาณ DTMF จากสายส่งสัญญาณ แล้วทำการเปลี่ยนจากสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณดิจิตอล ขนาด 4 บิต การต่อใช้งานไอซี MT8870DE แสดงได้ดังในภาพที่4.7



ภาพที่4.9 การใช้งานไอซีถอดสัญญาณ DTMF เบอร์MT8870

ภาพที่4.9 เป็นการใช้งานไอซีถอดสัญญาณ DTMF(Dual Tone Multifrequency) จากภาพตรงส่วนของ DTMF input จะเป็นขาที่ต่อกับสายโทรศัพท์โดยการต่อแบบขนานกัน ขา OSC1และOSC2 ทำการต่อคริสตอลจากภายนอกขนาด 11.0592MHz สำหรับขา Q1-Q4 เอาท์พุทดิจิตอล ขนาด4บิต ที่ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์(P1.0-P1.3) เพื่อเป็นอินพุทควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่อไป

สำหรับการกดคีย์ต่างๆบนปุ่มกดของโทรศัพท์ การถอดสัญญาณเป็นรหัสดิจิตอลแสดงได้ดังตาราง

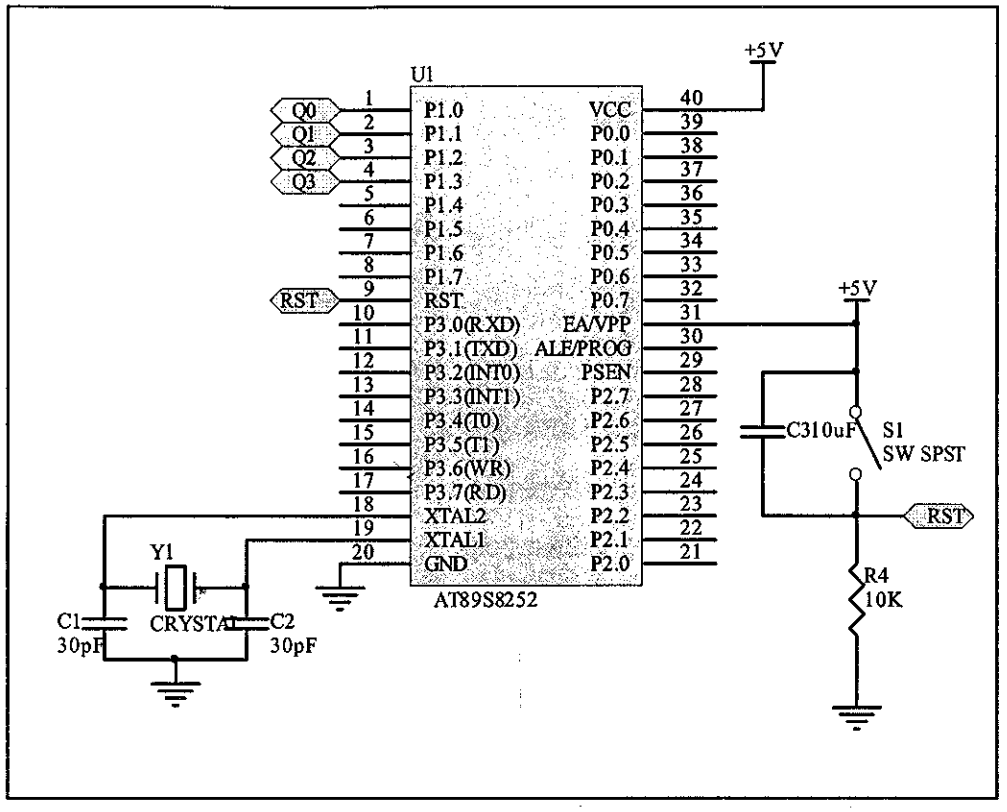
ตาราง4.1 การถอดสัญญาณของ MT8870

Digit	TOE	INH	ESt	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1
ANY	L	X	H	Z	Z	Z	Z
1	H	X	H	0	0	0	1
2	H	X	H	0	0	1	0
3	H	X	H	0	0	1	1
4	H	X	H	0	1	0	0
5	H	X	H	0	1	0	1
6	H	X	H	0	1	1	0
7	H	X	H	0	1	1	1
8	H	X	H	1	0	0	0
9	H	X	H	1	0	0	1
0	H	X	H	1	0	1	0
*	H	X	H	1	0	1	1
#	H	X	H	1	1	0	0
A	H	L	H	1	1	0	1
B	H	L	H	1	1	1	0
C	H	L	H	1	1	1	1
D	H	L	H	0	0	0	0
A	H	H	L	undetected, the output code will remain the same as the previous detected code			
B	H	H	L				
C	H	H	L				
D	H	H	L				

4.5 ภาคควบคุมการทำงานของวงจร (Microcontroller)

ในการควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมดได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ AT89S8252 มาควบคุมการทำงานทั้งหมด

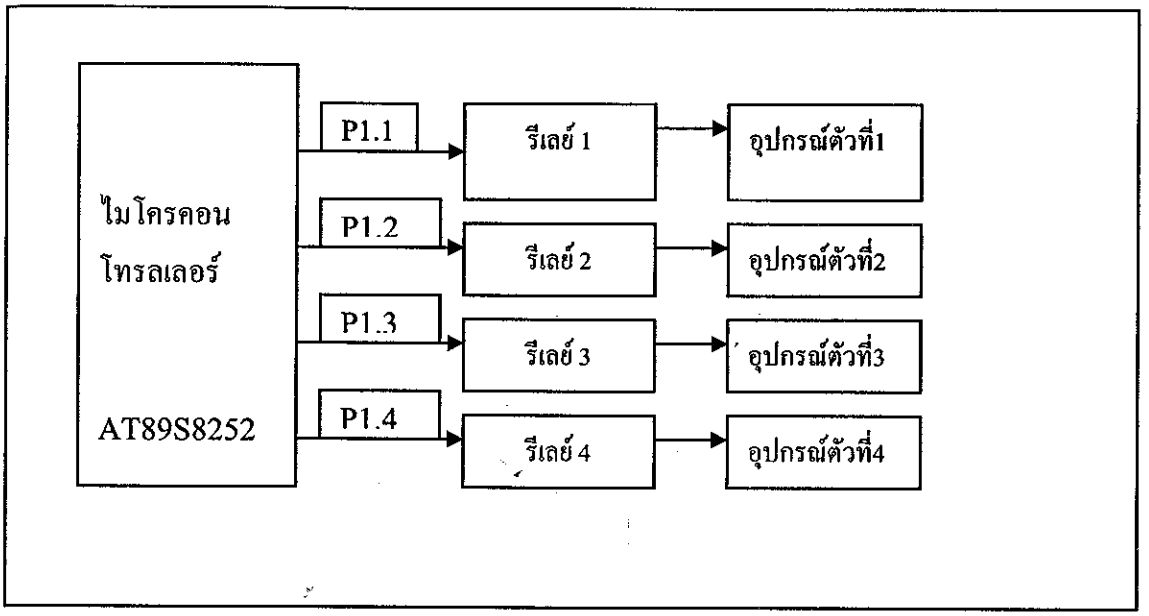
ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับอินพุทสัญญาณดิจิตอลขนาด 4 บิตจากเอาท์พุทของวงจรถอดสัญญาณ DTMF ดังแสดงในภาพที่4.10



ภาพที่4.10 วงจรใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับรับสัญญาณดิจิตอลขนาด 4 บิต

4.6อุปกรณ์แสดงผล

อุปกรณ์แสดงผลสำหรับภาครับสัญญาณDTMF จะเป็นรีเลย์ เพื่อทำหน้าที่ในการเปิด ปิด วงจรของเครื่องใช้ไฟฟ้า การออกแบบวงจรขับรีเลย์สามารถรองรับอุปกรณ์ทั้งหมด 4 ตัวด้วยกัน ในภาพที่ 4.11 แสดงโครงสร้างการเชื่อมส่วนควบคุมกับอุปกรณ์แสดงผล



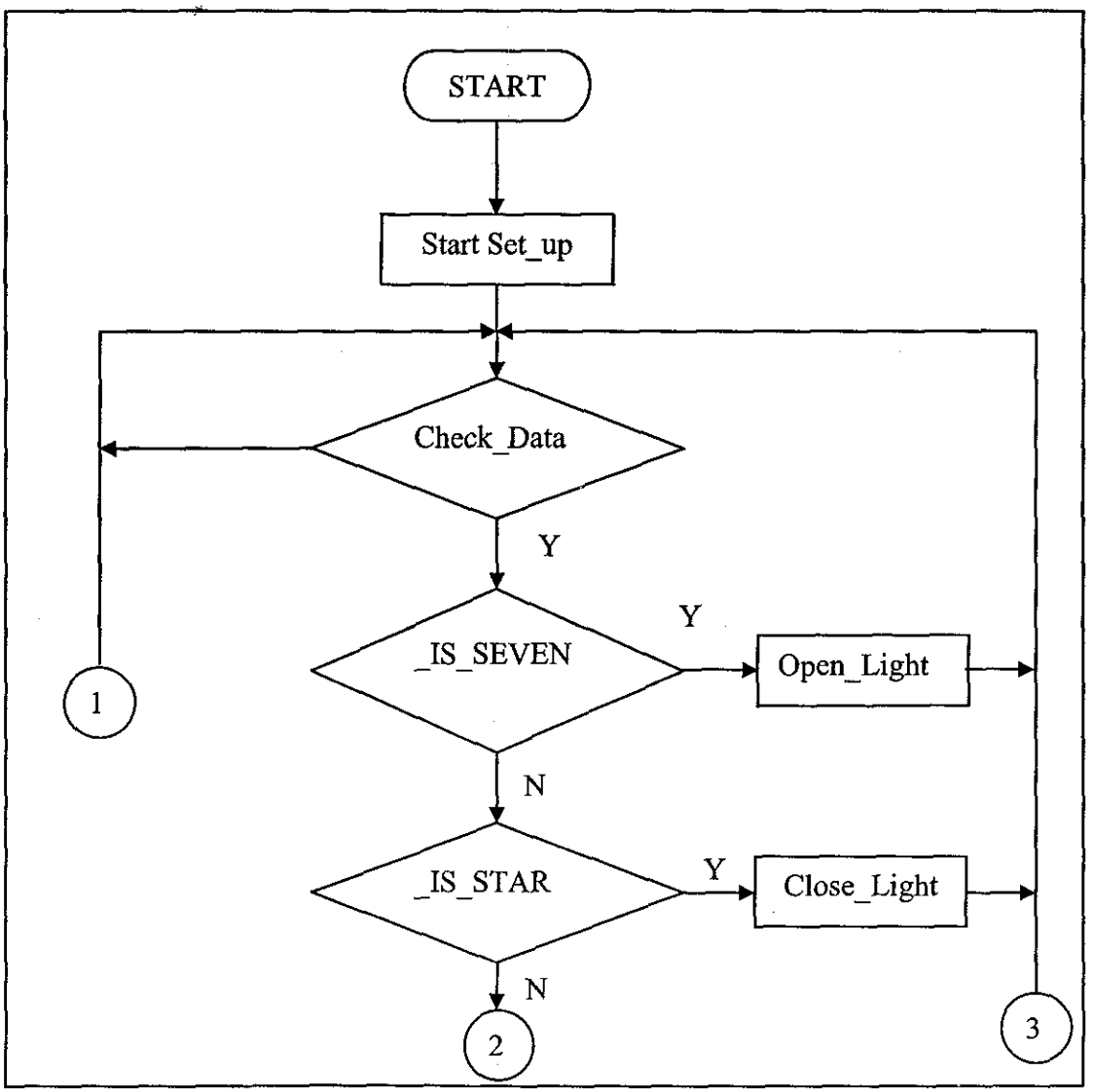
ภาพที่4.11 แผนผังแสดงการต่อใช้งานอุปกรณ์แสดงผล

บทที่ 5
การออกแบบโปรแกรม

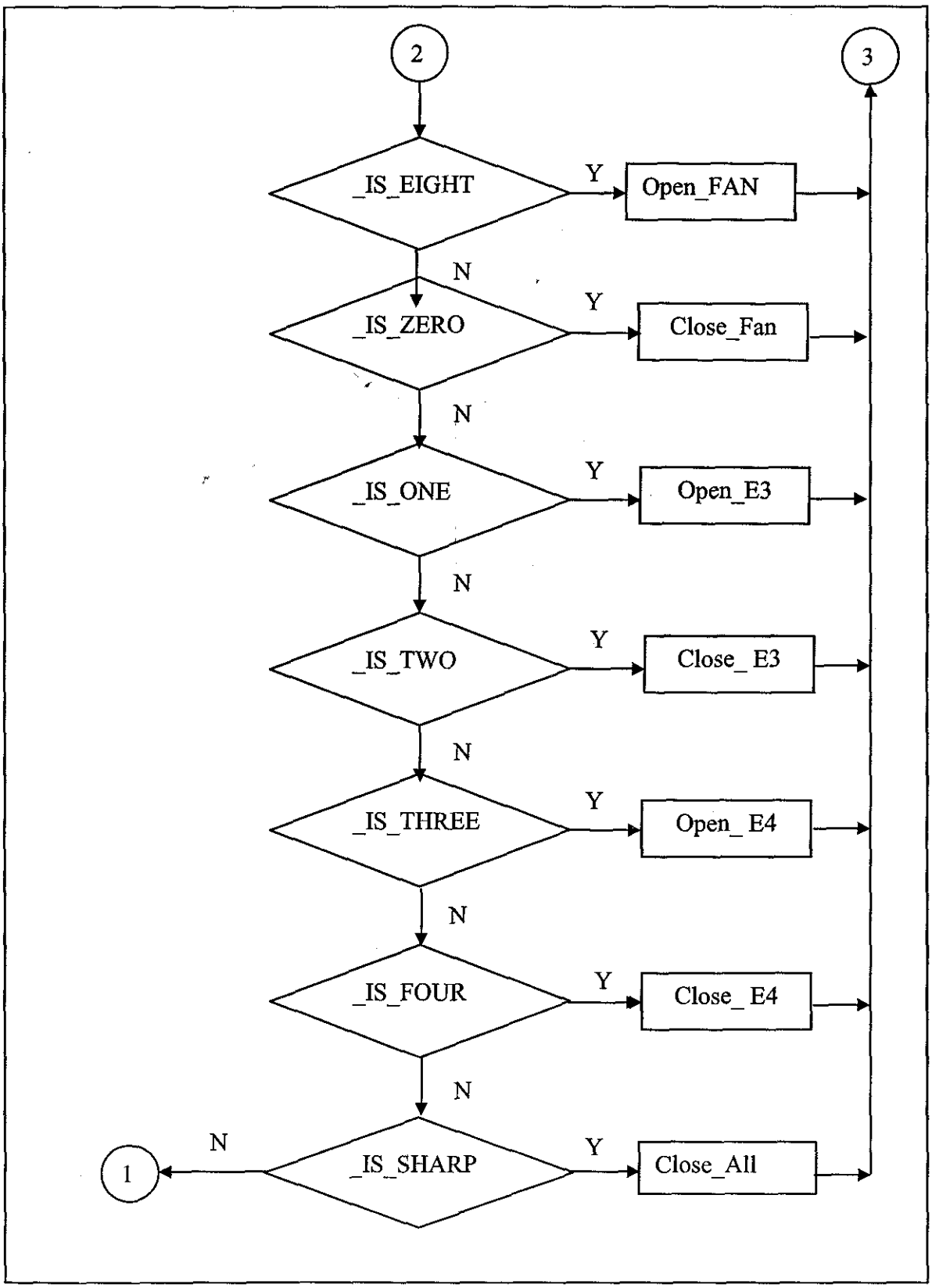
5.1 กล่าวนำ

เนื่องจากระบบในภาครับต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลสัญญาณจากวงจรถอดรหัส ถอดรหัส DTMF จากนั้นก็จะนำข้อมูลที่ได้ไปควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้

5.2 โปรแกรมหลักภาครับข้อมูล



ภาพที่ 5.1 แสดงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมหลักภาครับข้อมูล



ภาพที่ 5.1 แสดงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมหลักภาครับข้อมูล (ต่อ)

5.2.1 Main Loop

ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ภาคเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ต้องทำงานตลอด เพราะว่าต้องการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา จากภาพที่ 5.1 ซึ่งแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก รับข้อมูล เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่ามีข้อมูลจากตัวถอดรหัส DTMF (MT8870) เข้ามาหรือไม่ ถ้ามีข้อมูลเข้ามา โปรแกรมก็จะทำการตรวจสอบข้อมูลว่าเป็นข้อมูลจากการกดปุ่มใด โดย

ปุ่มหมายเลข 7 ควบคุมการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 1 (หลอดไฟ)
ปุ่ม * ควบคุมการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 1 (หลอดไฟ)
ปุ่มหมายเลข 8 ควบคุมการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 2 (พัดลม)
ปุ่มหมายเลข 0 ควบคุมการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 2 (พัดลม)
ปุ่มหมายเลข 1 ควบคุมการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 3 (E1)
ปุ่มหมายเลข 2 ควบคุมการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 3 (E1)
ปุ่มหมายเลข 3 ควบคุมการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 4 (E2)
ปุ่มหมายเลข 4 ควบคุมการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 4 (E2)
ปุ่ม # ควบคุมการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 1 ตัวที่ 2 ตัวที่ 3 และตัวที่ 4

เมื่อทำการตรวจสอบหมายเลขแล้ว โปรแกรมก็จะทำงานตามที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นโปรแกรมก็จะทำการตรวจสอบว่ามีข้อมูลเข้ามาอีกหรือไม่ ซึ่งจะวนลูปอยู่เช่นนี้เรื่อยไป

5.3 สรุป

โปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งหมดจะเริ่มจากการรอรับข้อมูลมาจากชุดถอดรหัส DTMF (โดย MT8870) เมื่อได้รับข้อมูลแล้วโปรแกรมจะทำการตรวจสอบข้อมูลว่าเป็นข้อมูลจากการกดปุ่มโทรศัพท์ใด จากนั้นก็จะทำงานตามคำสั่งของโปรแกรมที่เขียนไว้ ซึ่งจากการทดสอบการใช้งานของโปรแกรมผลปรากฏว่าสามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ถูกต้องตามโปรแกรมที่ได้เขียนไว้

บทที่ 6
การทดลองและผลการทดลอง

6.1 วงจรรับสัญญาณ DTMF

การทดสอบและการทดลองของโครงงานชุดนี้สิ่งแรกที่ต้องทำก็คือ วงจรถอดรหัส DTMF เพราะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก ถ้าหากถอดรหัส DTMF ผิด ก็จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลผิดพลาดไปด้วย เพราะฉะนั้นวงจรที่ใช้ถอดรหัสสัญญาณ DTMF จะต้องมีความถูกต้องแม่นยำในตอนแรกเราจะทำการทดสอบโดยการนำวงจรถอดรหัส DTMF ไปต่อขนานกับคู่สายโทรศัพท์ที่มีเครื่องโทรศัพท์ต่ออยู่ด้วย จากนั้นก็ทำการทดลองโดยการยกหูโทรศัพท์ขึ้นมา แล้วทำการกดปุ่มต่างๆ บนโทรศัพท์ได้ผลจากการถอดรหัส ดังตารางที่ 6.1

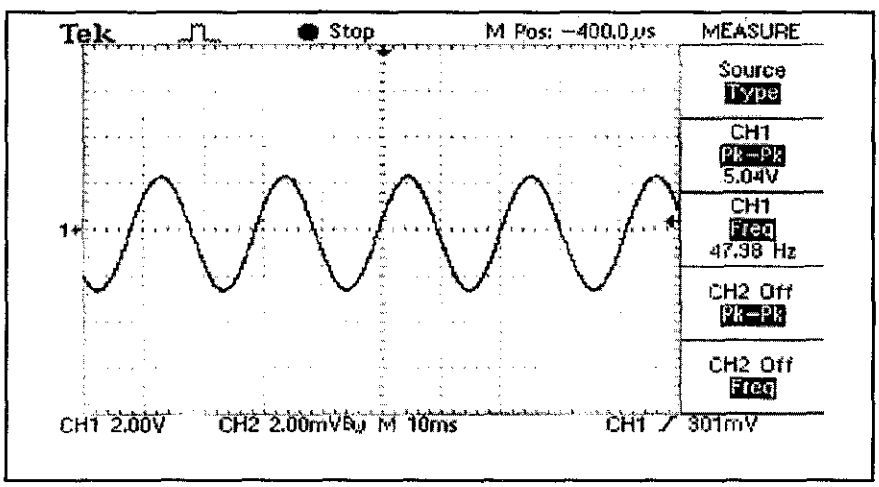
ปุ่มที่กด	รหัสที่ถอดได้ MT8870			
	D3	D2	D1	D0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
0	1	0	1	0
#	1	0	1	1
*	1	1	0	0

ตารางที่ 6.1 ผลจากการถอดรหัส DTMF

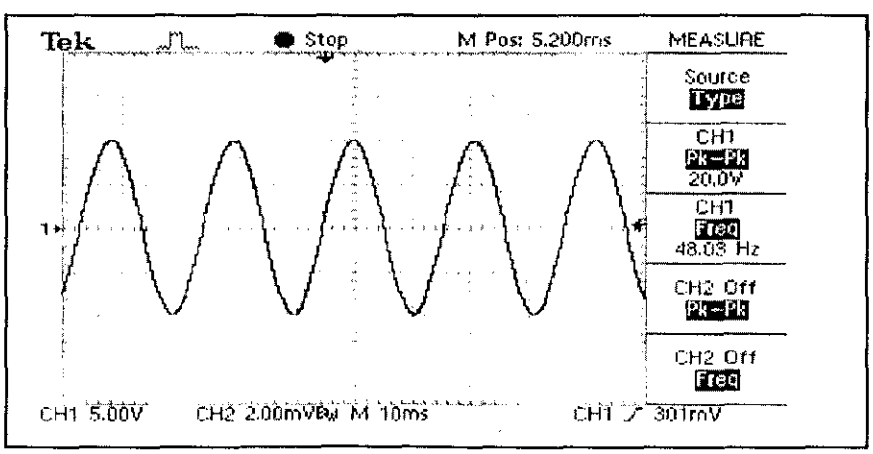
จากผลที่ได้ในตารางเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับคู่มือไอซี MT8870 ผลที่ได้ถูกต้องไม่ผิดเพี้ยน ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไป

6.2 วงจรขยายสัญญาณ

หลังจากที่กดปุ่มโทรศัพท์เพื่อส่งสัญญาณ DTMF จะต้องมีชุดขยายสัญญาณเพื่อให้สัญญาณส่งได้ถูกต้องแม่นยำขึ้น ซึ่งในการทดลองได้ทำการตรวจสอบความสามารถในการขยายสัญญาณของวงจรผลปรากฏว่าสามารถขยายสัญญาณได้ 4 เท่า ดังรูปที่ 6.2 นอกจากนั้นยังใช้วงจรนี้เพื่อขยายสัญญาณ DTMF ก่อนที่จะเข้าวงจรรับสัญญาณ DTMF ซึ่งวงจรนี้สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี



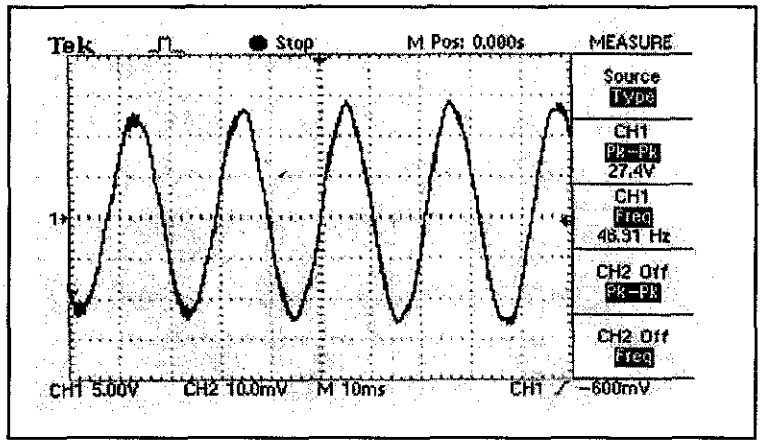
ภาพที่ 6.1 สัญญาณอินพุทของวงจรขยายสัญญาณ



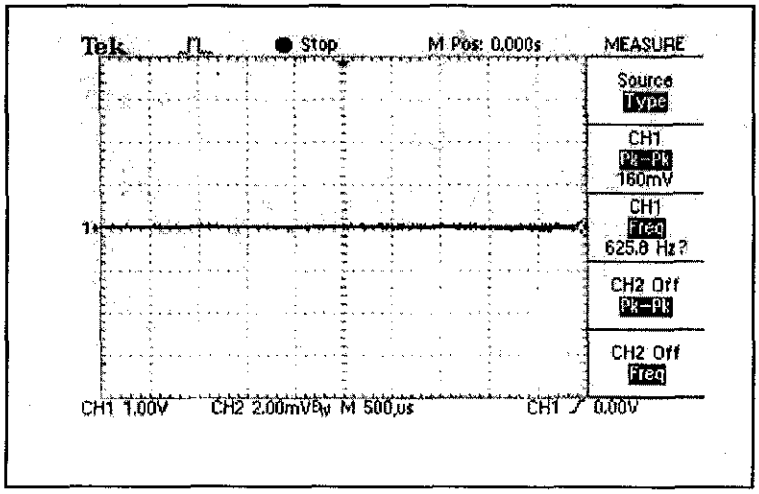
ภาพที่ 6.2 สัญญาณเอาท์พุทวงจรของขยายสัญญาณ

4.3 วงจรหม้อแปลง

การทดลองวงจรนี้ทำโดยการใส่สัญญาณที่มีขนาดแรงดัน 20 V_{p-p} ความถี่ 50 Hz ดังรูปที่ 6.3 ให้เป็นสัญญาณขาเข้าจากนั้นก็วัดสัญญาณขาออกผลปรากฏว่าแรงดัน 20 V_{p-p} ความถี่ 50 Hz ไม่สามารถผ่านเข้าไปในระบบทั้งภาคส่งและภาครับแสดงว่าใช้ได้ผลจริง ดังรูปที่ 6ง



ภาพที่ 6.3 สัญญาณขาเข้าวงจรหม้อแปลง



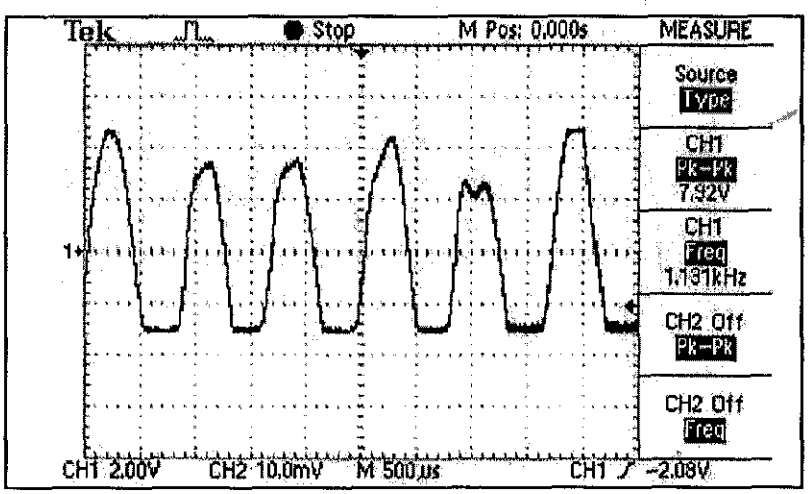
ภาพที่ 6.4 สัญญาณขาออกของวงจรหม้อแปลง

6.4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

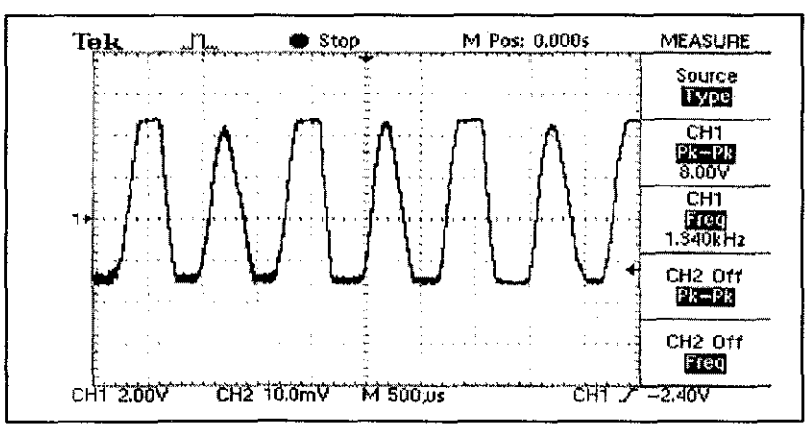
ในการทดลองได้ทำการกดปุ่มต่างๆ จากหมายเลขโทรศัพท์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลซึ่งประมวลผลจากรหัสดิจิตอล 4 บิต ที่ได้จากชุดถอดรหัส DTMF แล้วทำงานตามโปรแกรมที่เขียนไว้ผลปรากฏว่า สามารถใช้งานได้ตามคำสั่งต่างๆ ที่เขียนไว้

6.5 ทดสอบการส่งสัญญาณ DTMF

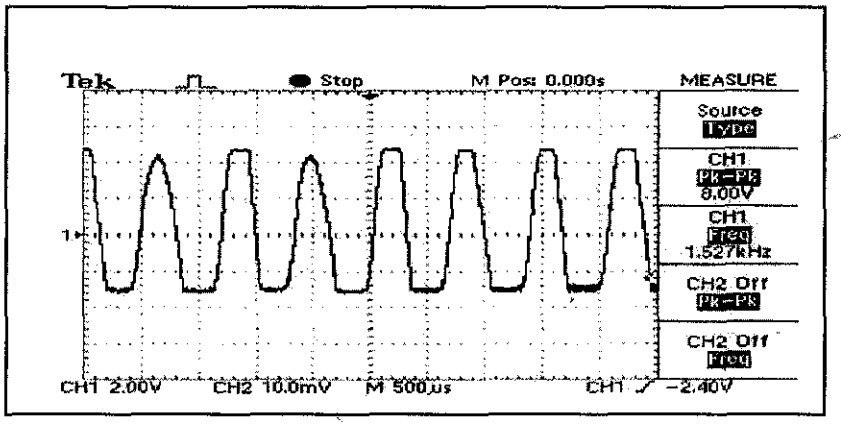
ในการส่งสัญญาณ DTMF ผ่านเข้าไปในระบบ ซึ่งใช้สายไฟคู่ตีเกลียวยาว 7 เมตรเพื่อจำลองระบบไฟฟ้า 220 โวลต์ ที่มีความถี่ 50 เฮิร์ต โดยการใส่สัญญาณที่มีขนาด แรงดัน 20 V_{p-p} ความถี่ 50 Hz เข้าไปในระบบเมื่อกดหมายเลขต่างๆ ลักษณะของสัญญาณ DTMF แสดงดังรูปที่ 6จ ถึง 6ฒ ผลปรากฏว่าชุดถอดรหัส DTMF สามารถถอดได้ถูกต้องในบางปุ่ม ดังตารางที่ 6.2



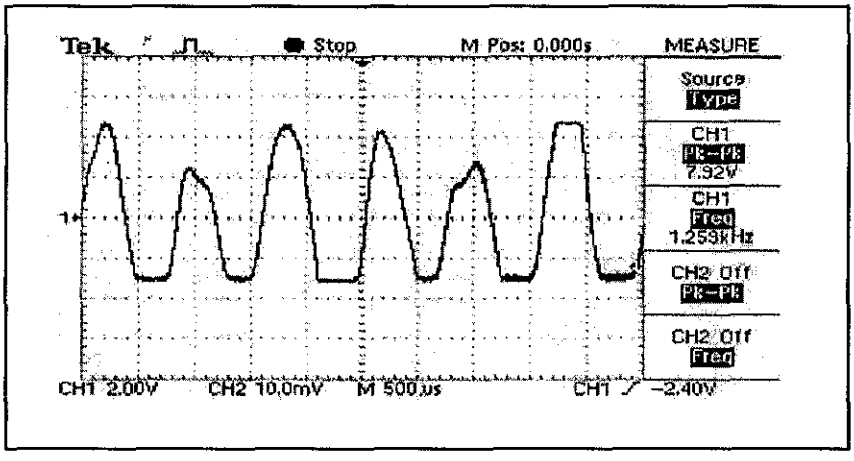
ภาพที่ 6.5 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 1



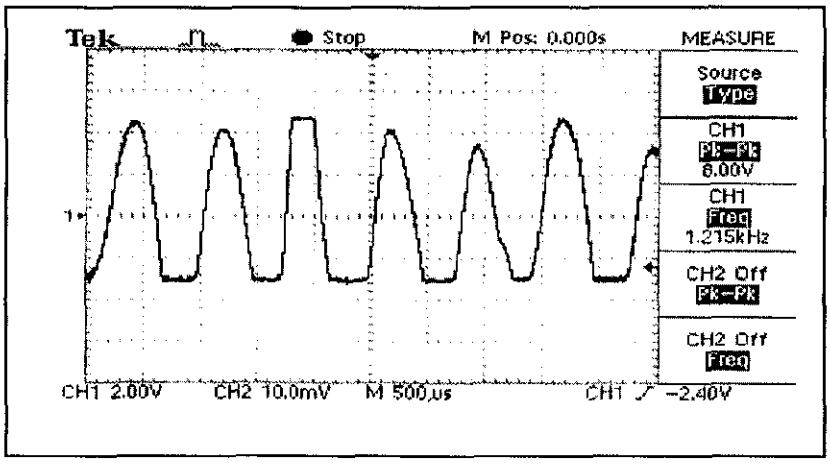
ภาพที่ 6.6 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 2



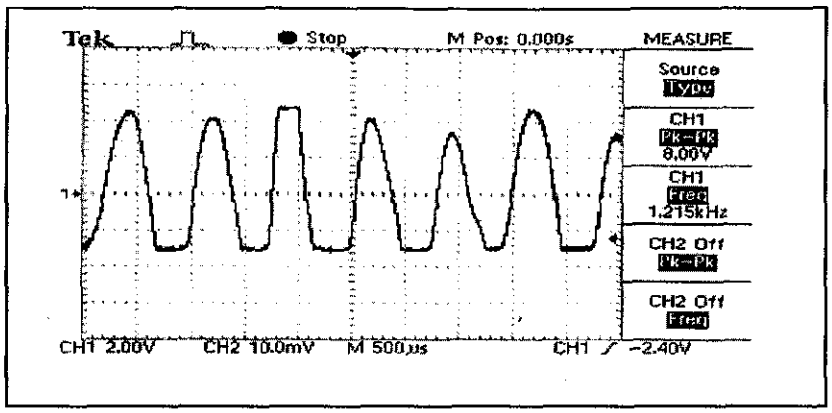
ภาพที่ 6.7 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 3



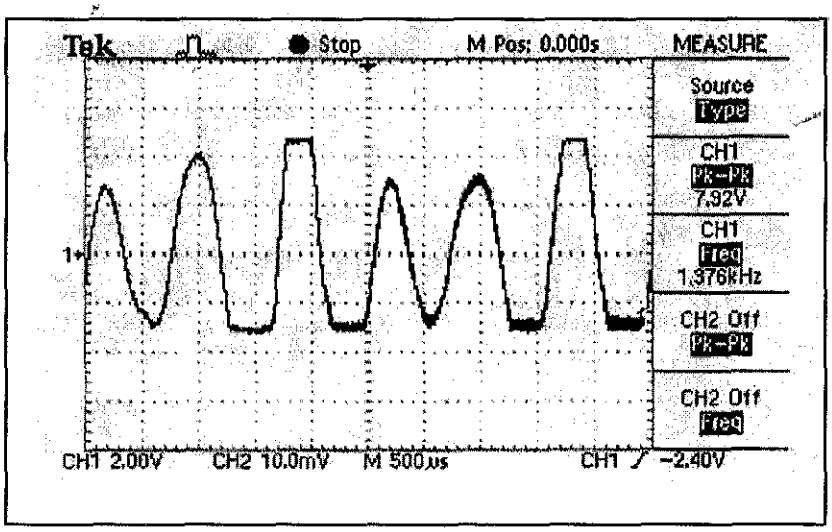
ภาพที่ 6.8 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 4



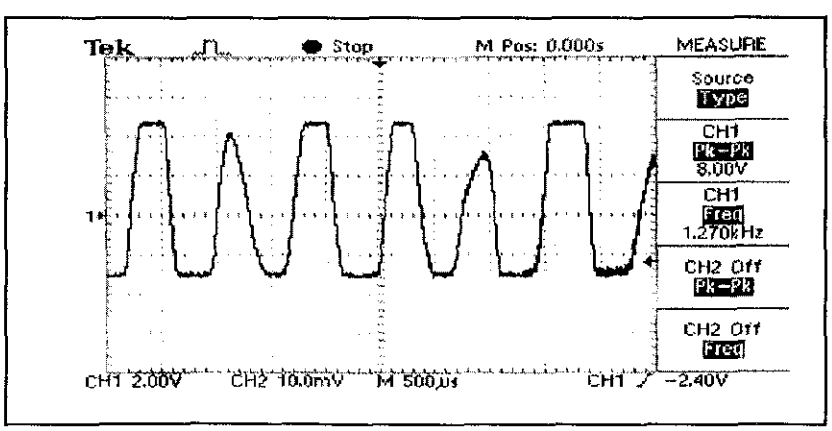
ภาพที่ 6.9 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 5



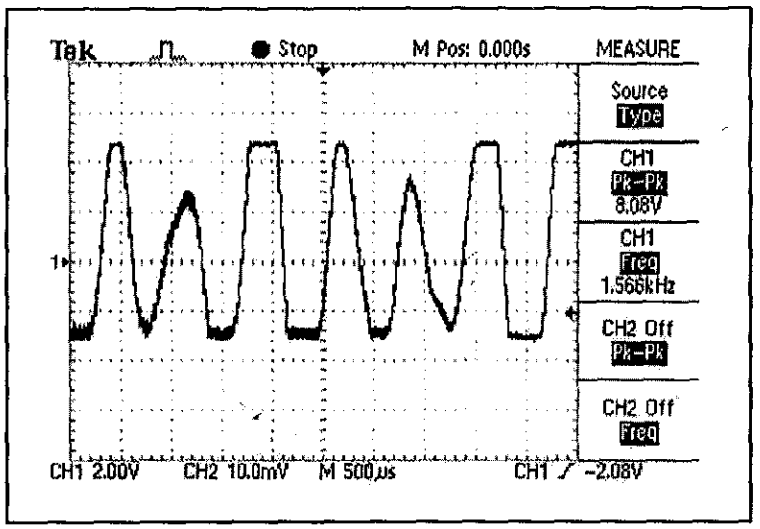
ภาพที่ 6.10 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 6



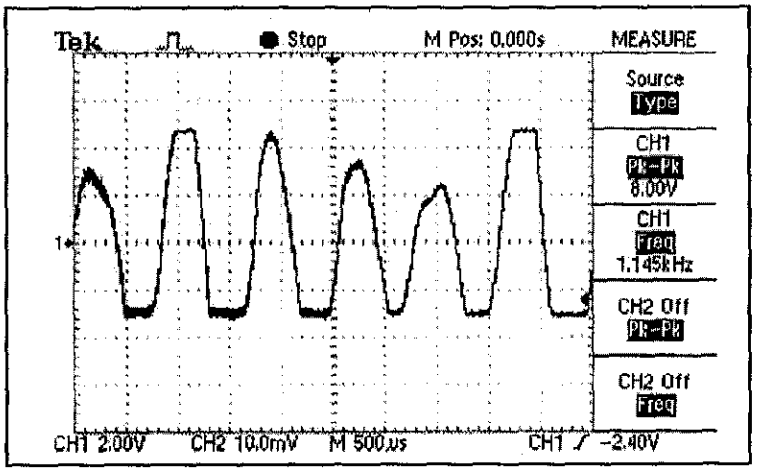
ภาพที่ 6.11 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 7



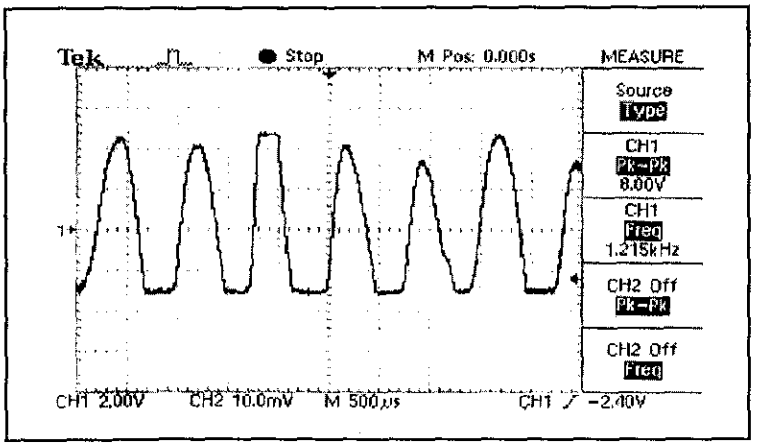
ภาพที่ 6.12 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 8



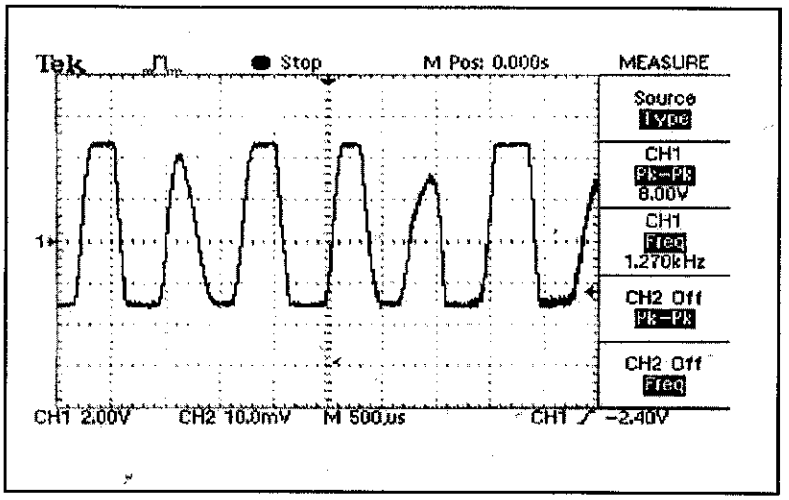
ภาพที่ 6.13 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 9



ภาพที่ 6.14 สัญญาณอินพุทของวงจรรับสัญญาณ DTMF เมื่อกดหมายเลข 0



ภาพที่ 6.15 แสดงสัญญาณอินพุทของวงจรรับและส่งสัญญาณ DTMF เมื่อปุ่ม *



ภาพที่ 6.16 แสดงสัญญาณอินพุทของวงจรรับและส่งสัญญาณ DTMF เมื่อปุ่ม #

ปุ่มที่กด	ผลการถอดรหัส DTMF
1	ไม่ได้
2	ไม่ได้
3	ไม่ได้
4	ไม่ได้
5	ไม่ได้
6	ไม่ได้
7	ได้
8	ได้
9	ไม่ได้
0	ได้
#	ได้
*	ได้

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองเมื่อทำการส่งสัญญาณ DTMF เข้าไปในระบบ

จากผลการทดลองนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อได้รหัสที่ถูกต้องก็จะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งโปรแกรมได้ออกแบบให้การกดปุ่มต่างๆ ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

ปุ่มหมายเลข 7 ควบคุมการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 1 (หลอดไฟ)

ปุ่ม * ควบคุมการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 1 (หลอดไฟ)

ปุ่มหมายเลข 8 ควบคุมการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 2 (พัดลม)

ปุ่มหมายเลข 0 ควบคุมการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 2 (พัดลม)

ปุ่ม # ควบคุมการปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่ 1 ตัวที่ 2 ตัวที่ 3 และตัวที่ 4 ซึ่งผลสามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ

บทที่ 7
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการออกแบบโครงงาน

โครงงานชุดนี้เป็นการนำสัญญาณ DTMF ที่ได้จากโทรศัพท์ผ่านไปยังวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้ได้ขนาดสัญญาณที่เหมาะสมแล้วส่งสัญญาณผ่านวงจรหม้อแปลงอินเตอร์เฟสเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน และการเสียหายของอุปกรณ์ชุดขยายสัญญาณในภาคส่ง จากนั้นสัญญาณ DTMF จะผ่านไปยังชุดสายไฟที่มีขนาดแรงดัน 20 V_{p-p} ความถี่ 50 Hz เพื่อจำลองการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจริง ซึ่งใช้ไฟที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และมีความถี่ 50 เฮิร์ต แล้วสัญญาณจะผ่านเข้าไปวงจรหม้อแปลงอินเตอร์เฟส ชุดขยายสัญญาณ และวงจรรับสัญญาณ DTMF จะทำการ Decode สัญญาณ โดย MT8870 เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลซึ่งผลจากการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ผลที่ได้จากการประมวลผลาสามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ถูกต้องตามที่ต้องการ

7.2 การพัฒนาโครงงานในอนาคต

1. พัฒนาเครื่องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้าที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 20 V_{p-p} ความถี่ 50 Hz ให้สามารถเปลี่ยนเป็นให้ใช้งานได้กับไฟฟ้าที่มี ขนาดแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และมีความถี่ 50 เฮิร์ตได้
2. สามารถนำระบบนี้พัฒนาไปเป็นระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านโทรศัพท์ PSTN ผ่านโทรศัพท์มือถือ และผ่านอินเตอร์เน็ตได้

7.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายตัวถึงแม้ว่าแป้นกดของโทรศัพท์จะมีเพียง 2 ปุ่ม โดยการใช้การเขียนโปรแกรมเข้าช่วย
2. ควรใช้วิธีส่งสัญญาณลงไปในสายไฟฟ้า 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตที่ดีกว่านี้อย่างเช่น การใช้โมเด็มที่สามารถมอดูเลต และดีมอดูเลตได้ในตัวเพราะสามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าสัญญาณ DTMF อย่างเช่น การมอดูเลตแบบ ASK และ FSK เป็นต้น

3. ในการต่อหม้อแปลงเพื่อวัตถุประสงค์ในการไอโซเลตเท่านั้นควรต่อตัวเก็บประจุที่มีความเหมาะสมเข้าไปก่อนจะต่อกับหม้อแปลงเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับหม้อแปลง

7.4 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

ปัญหาที่พบในโครงงานชุดนี้ก็คือ

1. ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน

เนื่องจากระบบที่ทำการทดสอบเป็นระบบจำลองการทำงานผ่านสายไฟฟ้ากำลังซึ่งมีความถี่ 50 Hz โดยทำการส่งสัญญาณ DTMF (Dual Tone Multifrequency) ซึ่งมีย่านความถี่อยู่ที่ประมาณ 500 – 1300 Hz ดังนั้น จึงเป็นการส่งสัญญาณที่มีหลายความถี่เข้าไปในสายส่ง

ความถี่ของสัญญาณรบกวนอาจจะอยู่ในช่วงความถี่ของข้อมูลดังกล่าว ดังนั้นระบบจึงไม่สามารถจะแยกออกได้ว่าสัญญาณความถี่ใดเป็นของข้อมูลและสัญญาณความถี่ใดเป็นสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้ภาครับไม่สามารถถอดรหัสสัญญาณได้

2. ปัญหาเรื่องการหน่วงเวลา

ระบบทดสอบเป็นส่งสัญญาณ DTMF (Dual Tone Multifrequency) ในภาครับต้องใช้ไอซีถอดรหัสสัญญาณ DTMF (Dual Tone Multifrequency) เป็นสัญญาณดิจิตอล (DTMF Decoder) เบอร์ MT8870 ซึ่งเป็นไอซีที่มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ

3. ปัญหาเรื่องระดับความแรงของสัญญาณ

ในการส่งข้อมูลผ่านตัวกลางใดๆ ย่อมเกิดการลดทอน (attenuation) เสมอ สำหรับตัวกลางที่ใช้ทดสอบส่งข้อมูลในระบบเป็นสายคู่ตีเกลียวที่มีความยาวประมาณ 8 เมตร

ดังนั้นเราต้องทำการปรับระดับขนาดของสัญญาณในตัวกลางด้วยการปรับอัตราขยายในภาคขยายของวงจรรับและวงจรส่งข้อมูล

4. ไอซี MT8870 ไม่สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องทุกตัว

5. ในการพันหม้อแปลงในตอนแรกหม้อแปลงพังหลายตัวเพราะขาดความเข้าใจในเรื่องเกี่ยวกับตัวเก็บประจุ

6. การต่อวงจรไม่ถูกต้องเป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์เสียหายได้

7. ไม่สามารถอ่านคู่มือของไอซีที่เป็นภาษาอังกฤษ และทำความเข้าใจได้อย่างถูกต้องทั้งหมด

7.5 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

1. พัฒนาวงจรกรองสัญญาณให้ดียิ่งขึ้น

วงจรกรองความถี่ถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของระบบนี้เพราะว่าข้อมูลที่ทำการส่งเป็นสัญญาณความถี่ DTMF หากวงจรกรองไม่ดีพอจะทำให้สัญญาณรบกวนเข้าไปรบกวนสัญญาณข้อมูลในระบบ

2. พัฒนาวงจรถอดสัญญาณ DTMF

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวงจรถอดสัญญาณ DTMF คือปัญหาเรื่องการหน่วงเวลา เนื่องจากคุณสมบัติของไอซีถอดรหัสสัญญาณความถี่ DTMF เป็นสัญญาณดิจิตอลมี Baud rate ที่ค่อนข้างต่ำ แนวทางปรับปรุงแก้ไข คือ ใช้อุปกรณ์ไอซีถอดรหัสที่มีอัตราบอดสูงกว่าเบอร์ MT8870 หรืออีกแนวทางหนึ่ง คือ พัฒนาเทคนิคการมอดูเลตที่มีประสิทธิภาพกว่าเดิม เช่น ใช้อุปกรณ์จำพวกโมเด็มที่สามารถมอดูเลตและดีมอดูเลตด้วยเทคนิค FSK (Frequency Shift Keying) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพทนต่อสัญญาณรบกวน

3. พัฒนาการออกแบบหม้อแปลง เชื่อมต่อระบบส่งสัญญาณและระบบรับสัญญาณให้ดียิ่งขึ้น การออกแบบหม้อแปลงที่ดีสำหรับระบบนี้ก็คือ ออกแบบให้ความถี่สามารถผ่านได้ในช่วงผ่านความถี่ของสัญญาณ DTMF ผ่านไปได้แต่ความถี่ 50 Hz จากระบบสายไฟฟ้ากำลัง และความถี่สูงซึ่งอาจเป็นสัญญาณรบกวนไม่สามารถผ่านได้

4. ควรอ่านคู่มือของไอซีนั้นๆ ให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ก่อนจะลงมือต่อวงจรตามคู่มือที่ให้มา (ควรอ่านภาษาอังกฤษให้เข้าใจ) ถ้าไม่เข้าใจควรถามอาจารย์ที่ปรึกษาหรือผู้รู้

5. ควรศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวงจรแต่ละชนิดให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ก่อนที่จะสร้างวงจรนั้นขึ้นมาแล้วทำการทดลอง

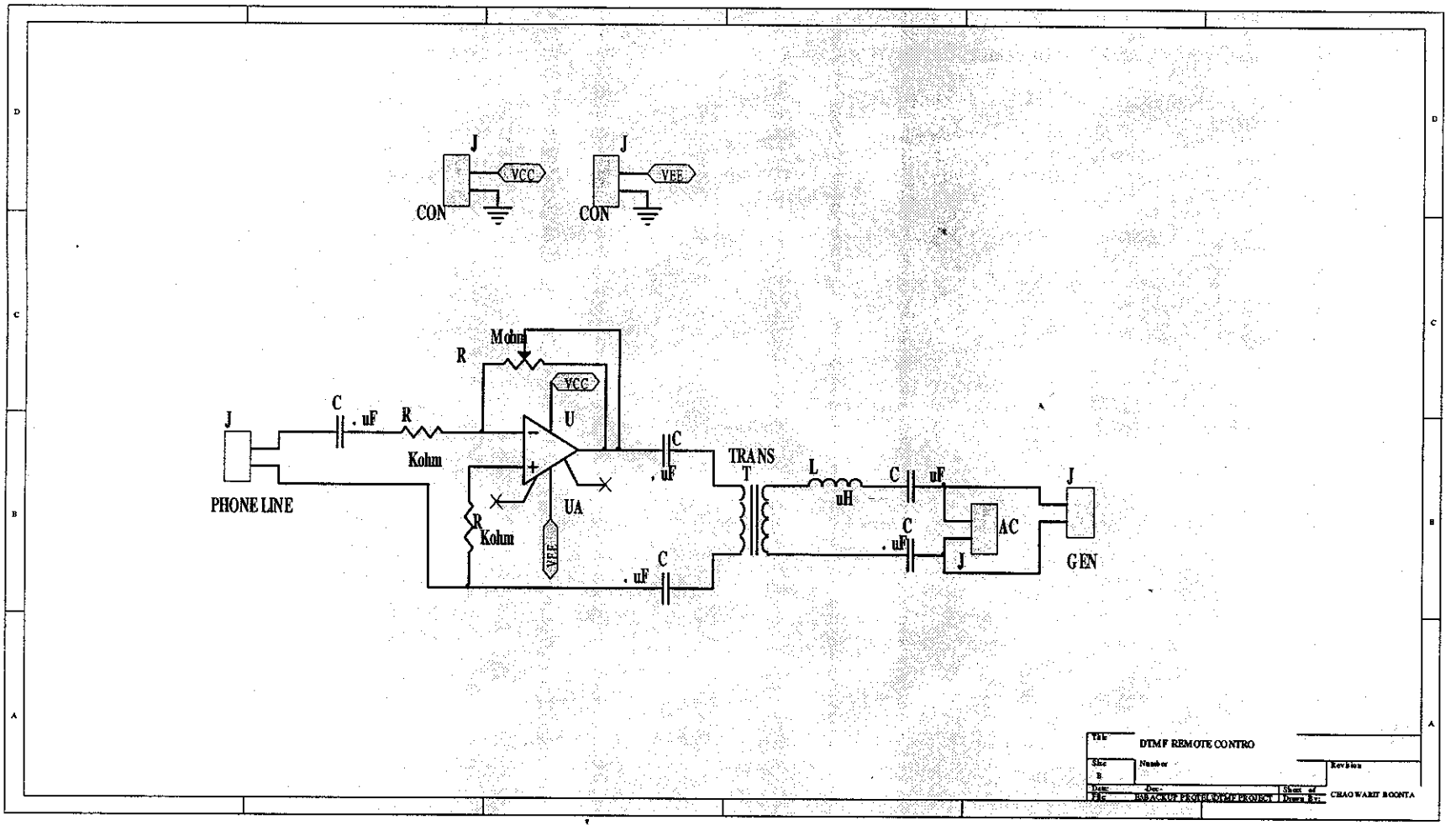
6. ในการทดสอบต้องใช้ไอซี MT8870 หลายตัวเพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าไอซีตัวที่ใช้อยู่สามารถถอดรหัสได้ถูกต้อง โดยการนำไปทดสอบกับวงจรชุดถอดรหัส

บรรณานุกรม

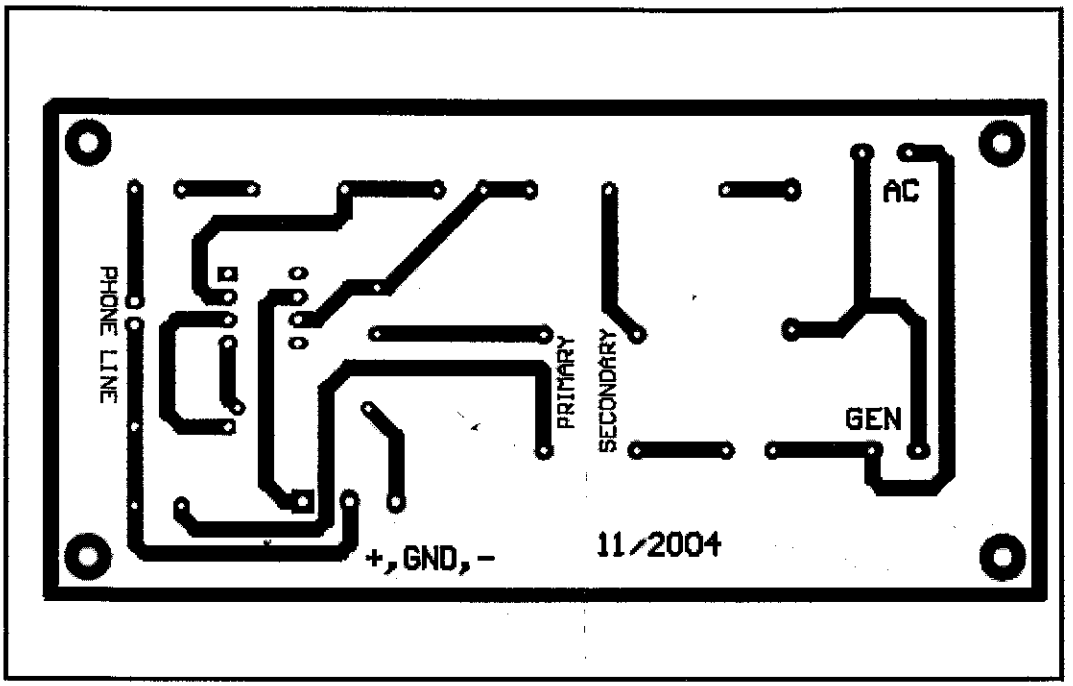
1. เชาวลิต แจ้งไชย และวิชัย ศรีสุรักษ์. 2540 . **ระบบควบคุมการสูบจ่ายน้ำอัตโนมัติผ่านคลื่นวิทยุ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,นครราชสีมา.
2. พนม ปริญญา. 2542. **อุปกรณ์ควบคุมระยะไกลแบบ 2 สายรุ่น PowerLine(พัฒนาต่อ).** วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพฯ.
3. บัณฑิต จามรภูติ .2544. **คู่มือการใช้งาน Protel 99** . สำนักพิมพ์ บัณฑิต , เชียงใหม่.
4. สุนทร วิทูสุรพจน์, **การเขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี ตระกูล 8051**, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540.
5. สุนทร วิทูสุรพจน์, **การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051**, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540.
6. สุทธินันท์ พรศิริกุล,"**ลึกอีกนิดกับโทรศัพท์ ตอนที่ 1**", **เซมิคอนดัคเตอร์ อิเลคทรอนิคส์,** ฉบับที่ 120 (กันยายน 2535) 90-94.
7. สุทธินันท์ พรศิริกุล,"**ลึกอีกนิดกับโทรศัพท์ ตอนที่ 1**", **เซมิคอนดัคเตอร์ อิเลคทรอนิคส์,** ฉบับที่ 121 (กันยายน 2535) 108-116.
8. สุทธินันท์ พรศิริกุล,"**ลึกอีกนิดกับโทรศัพท์ ตอนที่ 1**", **เซมิคอนดัคเตอร์ อิเลคทรอนิคส์,** ฉบับที่ 122 (กันยายน 2535) 52-60.
9. สุทธินันท์ พรศิริกุล,"**ลึกอีกนิดกับโทรศัพท์ ตอนที่ 1**", **เซมิคอนดัคเตอร์ อิเลคทรอนิคส์,** ฉบับที่ 127 (กันยายน 2535) 117-120.

ภาคผนวก ก

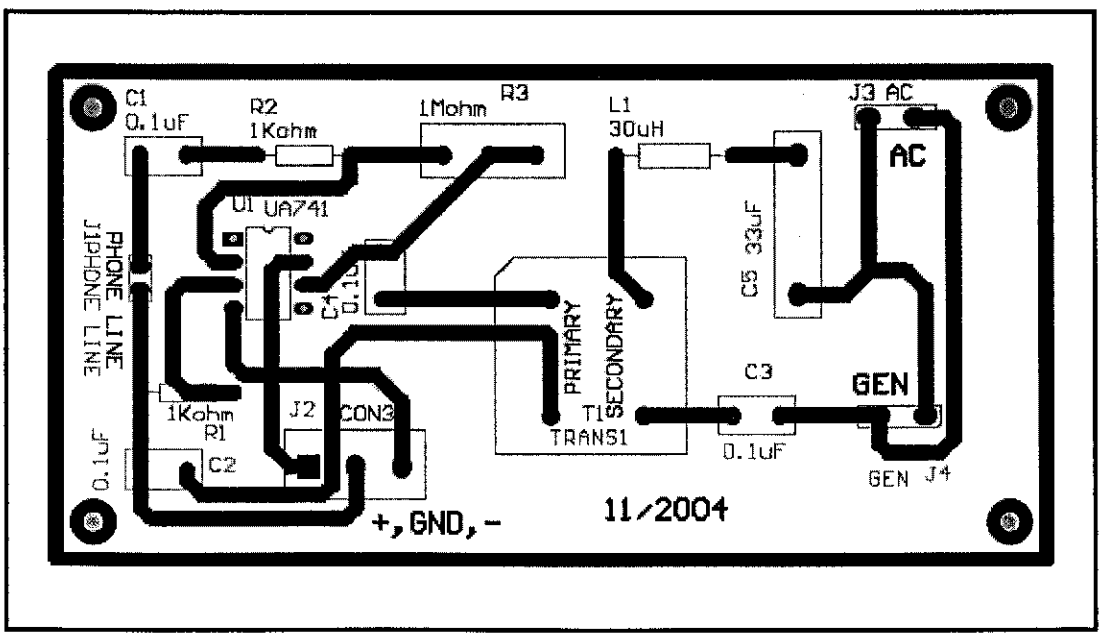
วงจรใช้งาน ลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์ และภาพถ่ายชุดโครงงาน



ภาพที่ ก.1วงจรส่งผ่านสัญญาณ DTMF



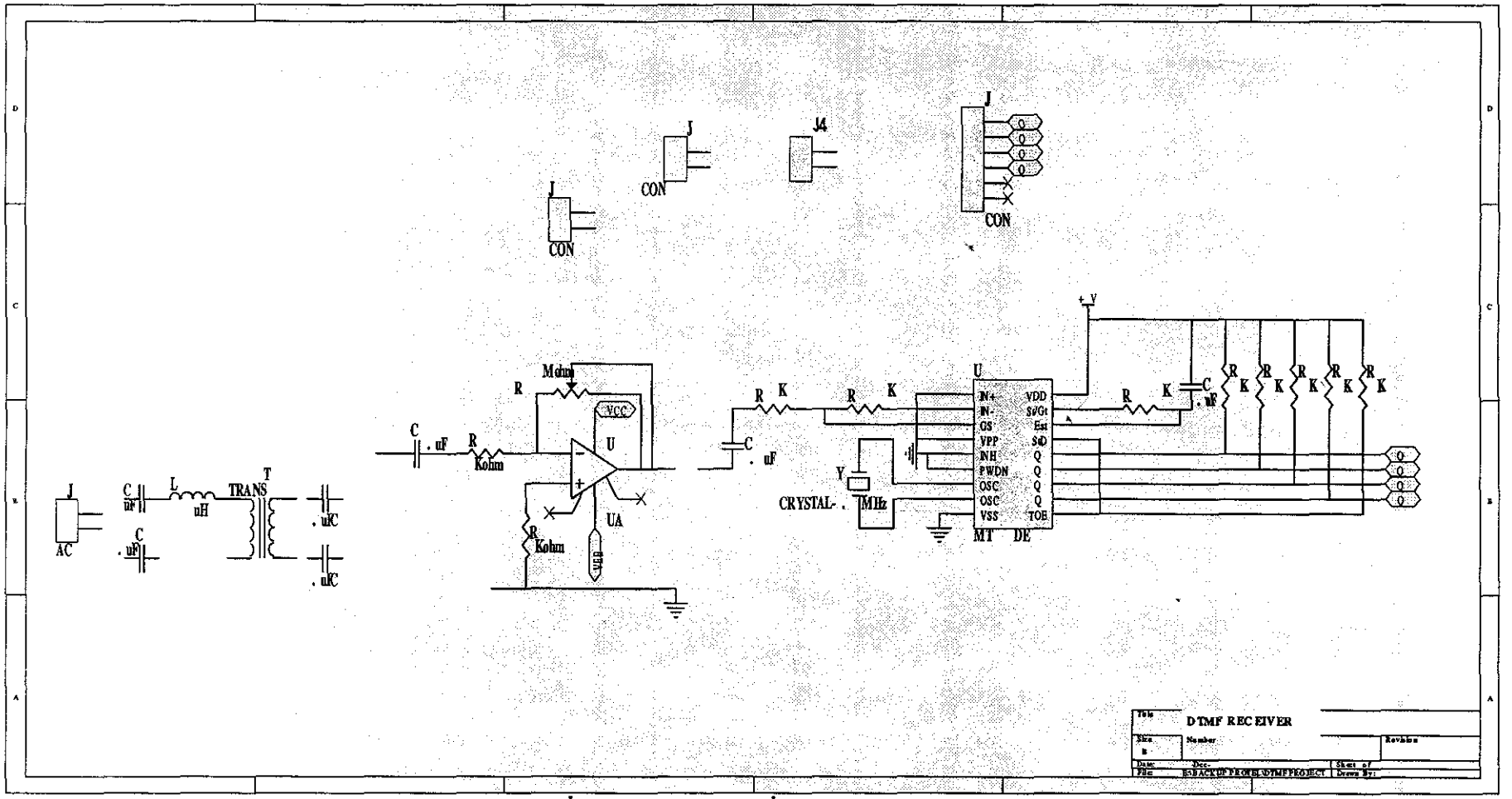
ภาพที่ ก.2 ลายทองแดงแผ่นวงจรพิมพ์วงจรส่งผ่านสัญญาณ DTMF



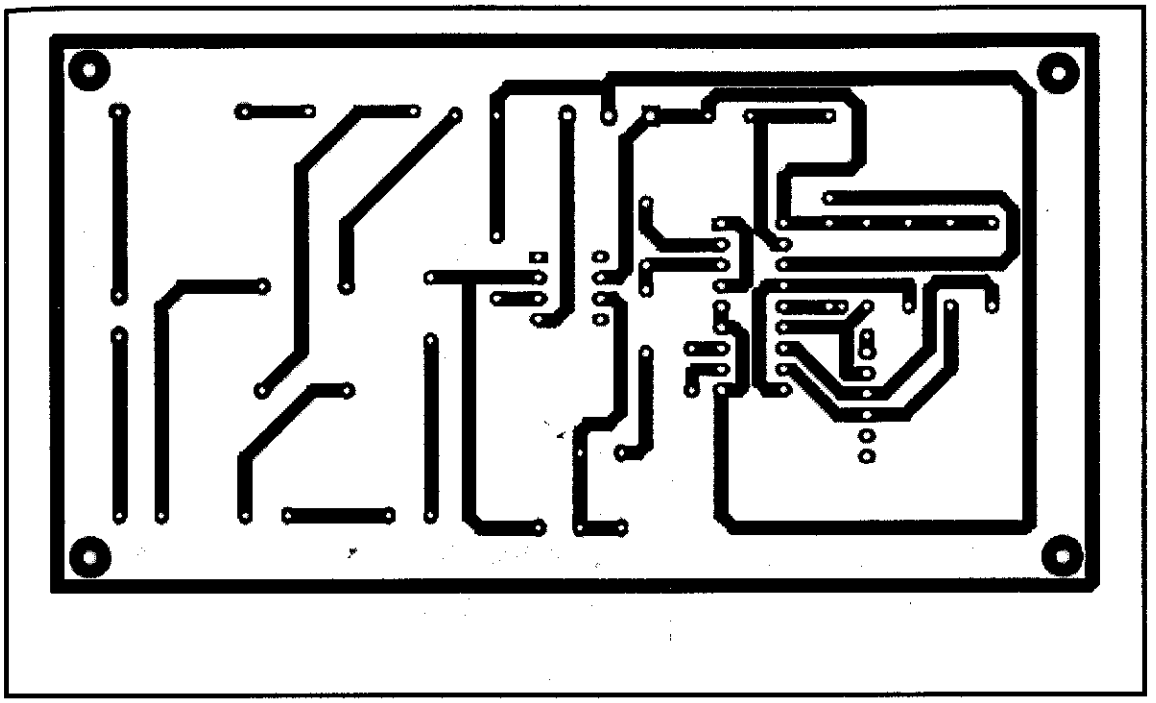
ภาพที่ ก.3 ลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์ชุดส่งสัญญาณ DTMF

Part Type	Designator	Footprint
0.1uF	C4	RAD01
0.1uF	C2	RAD01
0.1uF	C3	RAD01
0.1uF	C1	RAD01
1Kohm	R2	AXIAL-0.3
1Kohm	R1	AXIAL-0.3
1Mohm	R3	POT
30uH	L1	AXIAL-0.3
33uF	C5	C33
AC	J2	HDR1X2B
CON2	J5	HDR1X2B
CON2	J4	HDR1X2B
GEN	J3	HDR1X2B
PHONE LINE	J1	HDR1X2B
TRANS1	T1	TTT
UA741	U1	DIP8

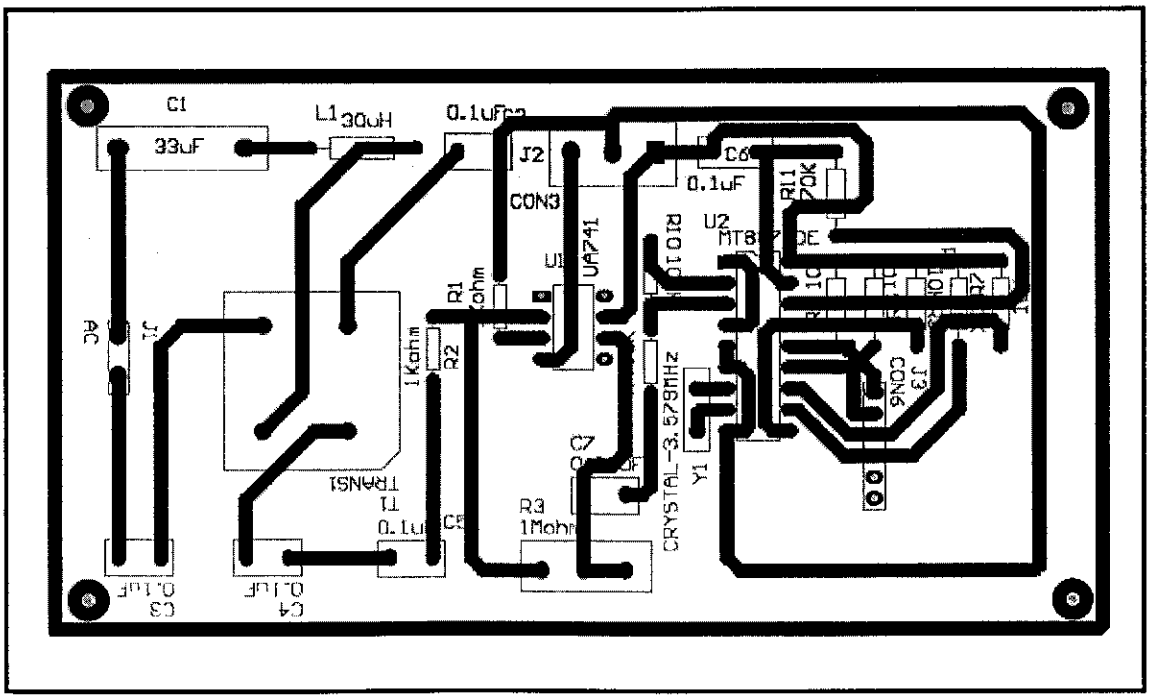
ตารางที่ ก.1 รายการอุปกรณ์และแบบขาบนลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์สำหรับวงจรส่งผ่านสัญญาณ DTMF



ภาพที่ ก.4 วงจรสมบูรณ์เครื่องรับสัญญาณ DTMF



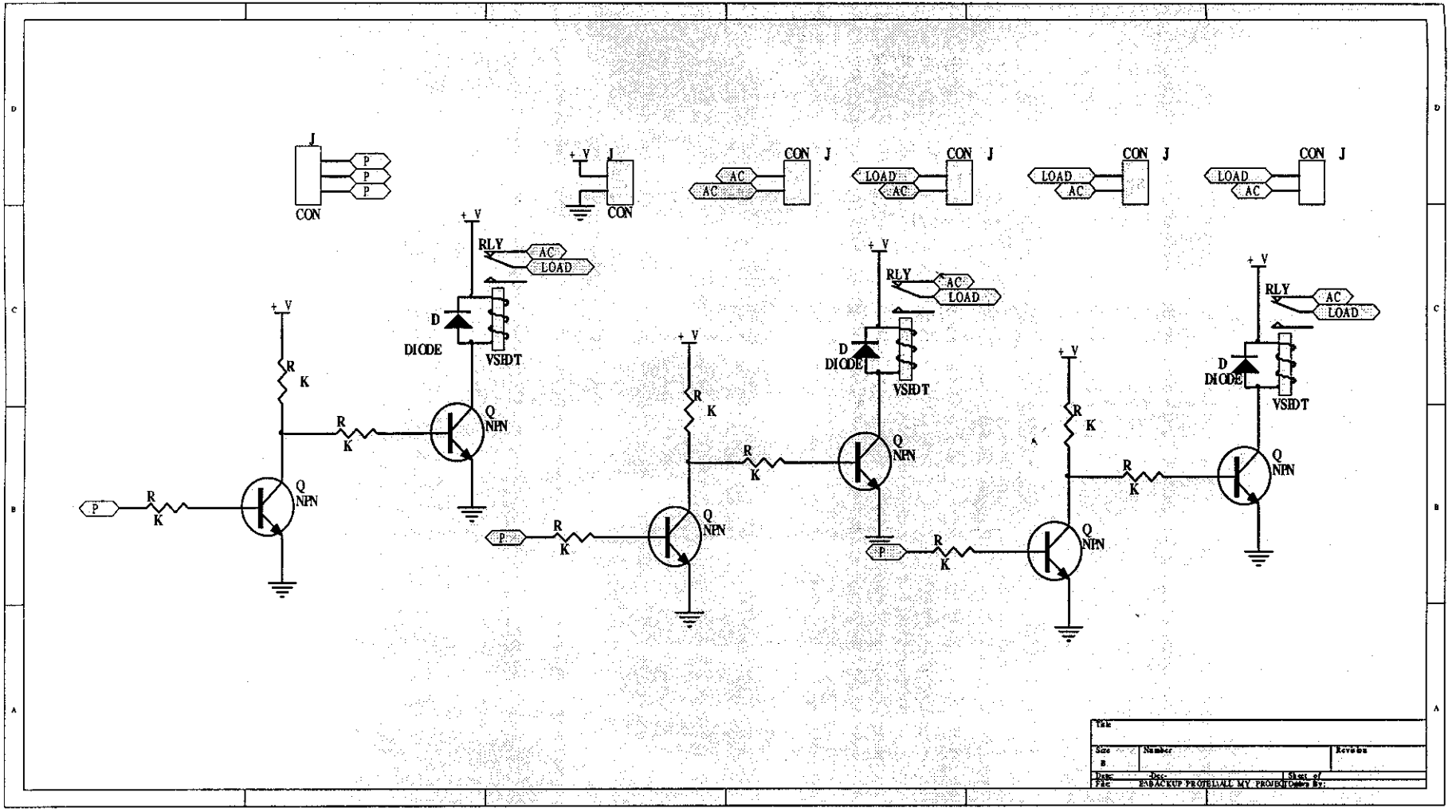
ภาพที่ ก.5 ลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์ชุดรับสัญญาณ DTMF



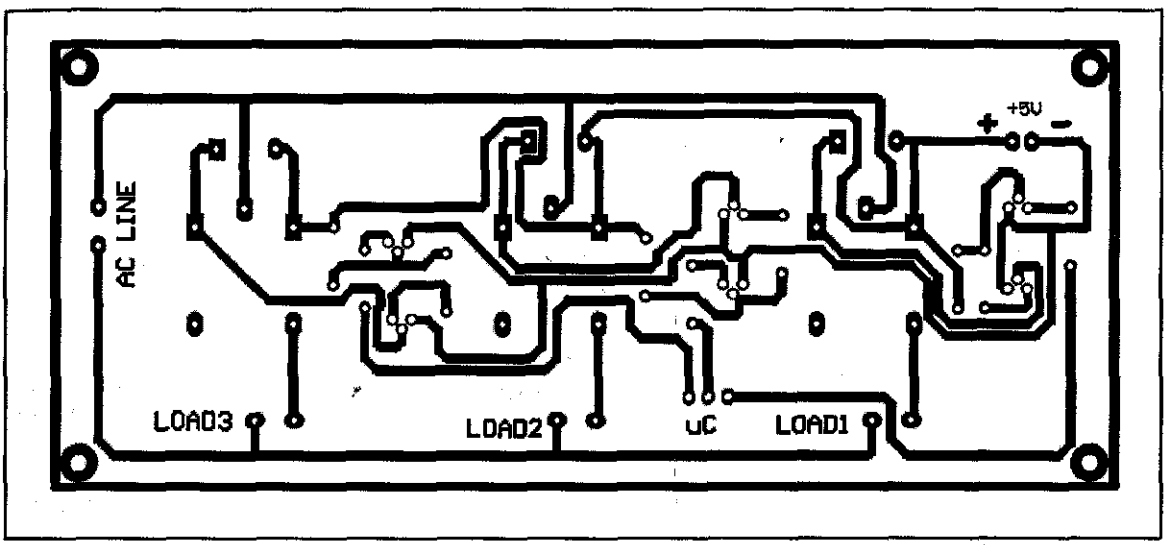
ภาพที่ ก.6 การลงอุปกรณ์บนลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์ชุดรับสัญญาณ DTMF

Part Type	Designator	Footprint
0.1uF	C5	RAD01
0.1uF	C3	RAD01
0.1uF	C2	RAD01
0.1uF	C4	RAD01
0.1uF	C6	RAD-0.2
0.03uF	C7	RAD-0.2
1Kohm	R1	AXIAL-0.3
1Kohm	R2	AXIAL-0.3
1Mohm	R3	POT
10K	R7	AXIAL-0.3
10K	R6	AXIAL-0.3
10K	R4	AXIAL-0.3
10K	R9	AXIAL-0.3
10K	R8	AXIAL-0.3
10K	R5	AXIAL-0.3
30uH	L1	AXIAL-0.3
33uF	C1	C33
100K	R10	AXIAL-0.3
270K	R11	AXIAL-0.3
AC	J1	HDR1X2B
CON2	J2	HDR1X2B
CON2	J3	HDR1X2B
CON2	J4	HDR1X2B
CON6	J5	HDR1X6B
CRYSTAL-3.579MHz	Y1	XTAL-1
MT8870DE	U2	DIP18
TRANS1	T1	TTT
UA741	U1	DIP8

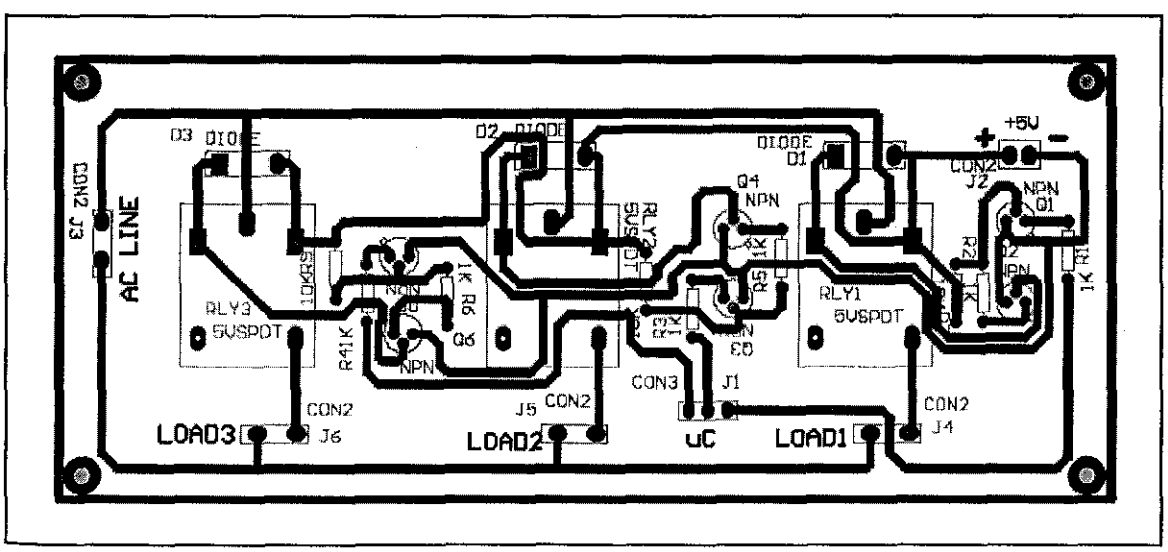
ตารางที่ ก.2 รายการอุปกรณ์และแบบขาบนลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์สำหรับชุดรับสัญญาณ DTMF



ภาพ ก.7 วงจรสมบูรณ์ขับรีเลย์



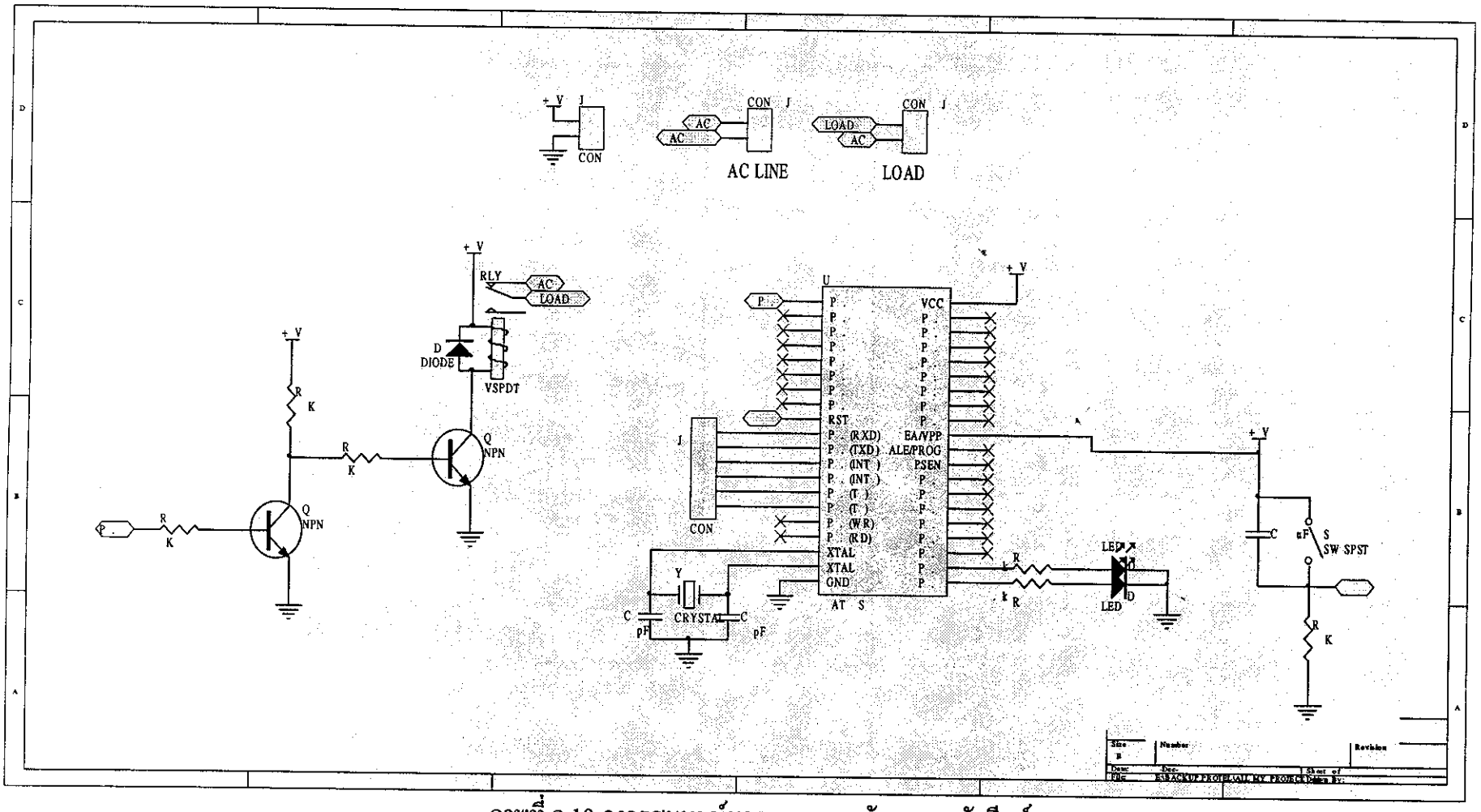
ภาพที่ ก.8 ลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์ชุดขับรีเลย์



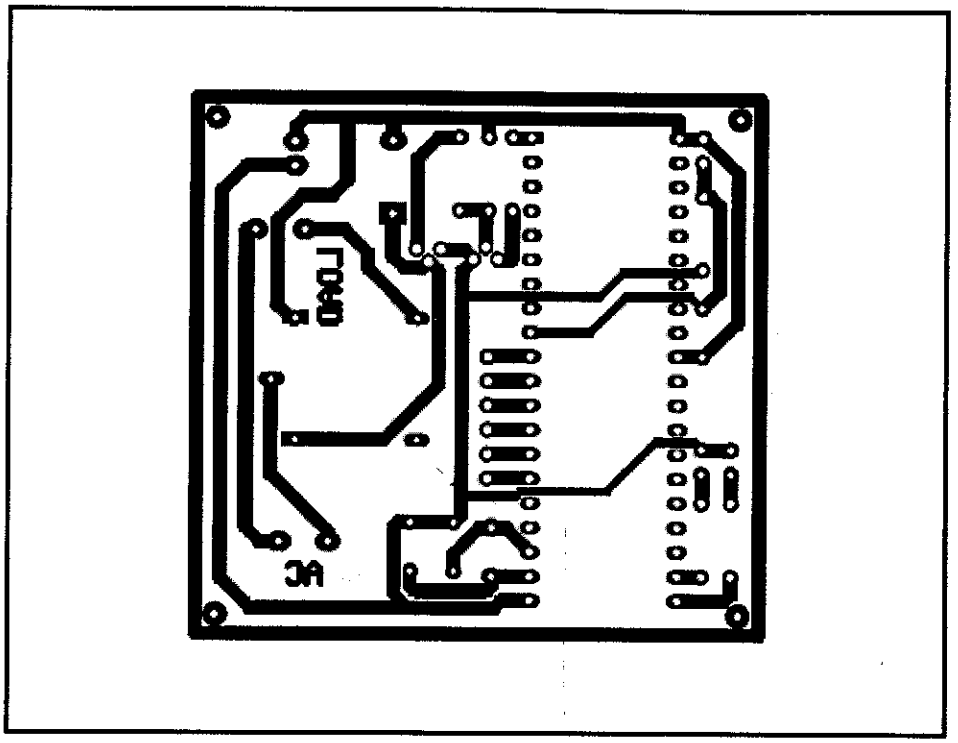
ภาพที่ ก.9 การลงอุปกรณ์บนลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์ชุดรับสัญญาณ DTMF

Part Type	[illegible]	Footprint
1K	R5	AXIAL-0.3
1K	R3	AXIAL-0.3
1K	R6	AXIAL-0.3
1K	R4	AXIAL-0.3
1K	R2	AXIAL-0.3
1K	R1	AXIAL-0.3
5VSPDT	RLY2	RELAY-5V
5VSPDT	RLY1	RELAY-5V
5VSPDT	RLY3	RELAY-5V
10K	R9	AXIAL-0.3
10K	R8	AXIAL-0.3
10K	R7	AXIAL-0.3
CON2	J5	CON
CON2	J6	CON
CON2	J3	CON
CON2	J4	CON
CON2	J2	CON2
CON3	J1	HDR1X3B
DIODE	D3	DIODE-300
DIODE	D2	DIODE-300
DIODE	D1	DIODE-300
NPN	Q1	TO18
NPN	Q2	TO18
NPN	Q3	TO18
NPN	Q6	TO18
NPN	Q5	TO18
NPN	Q4	TO18

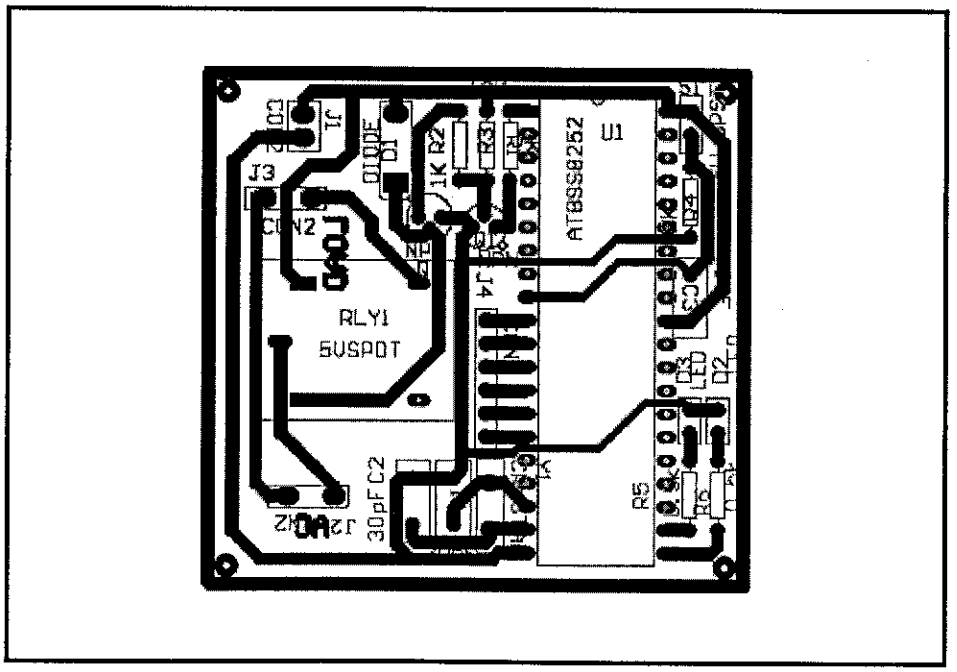
ตารางที่ ก.3 รายการอุปกรณ์และแบบขาลงบนลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์สำหรับชุดรับสัญญาณ DTMF



ภาพที่ ก.10 วงจรสมบูรณ์ชุดควบคุมภาครับและชุดขับรีเลย์



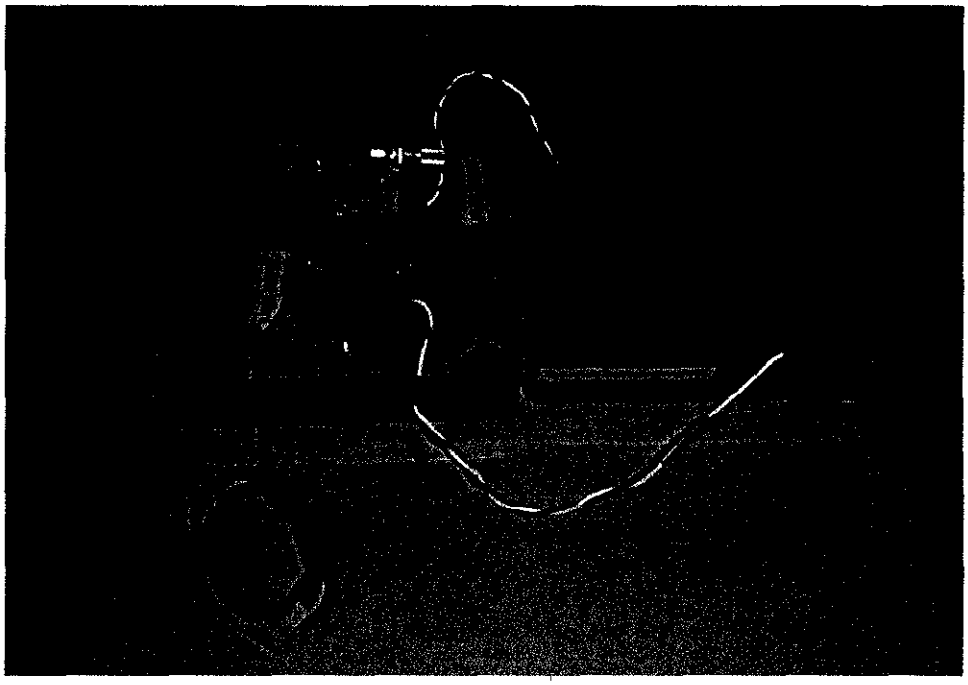
ภาพที่ ก.11ลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์ชุดควบคุมภาครับและชุดขับรีเลย์



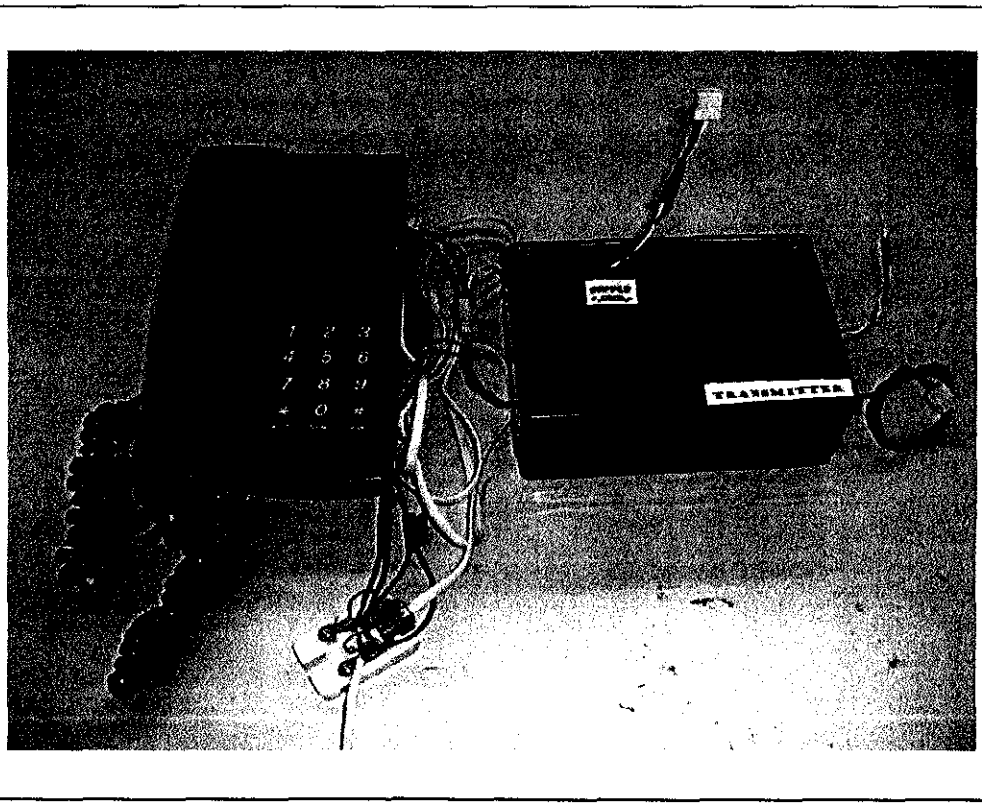
ภาพที่ ก.12 การลงอุปกรณ์บนลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์ชุดควบคุมภาครับและชุดขับรีเลย์

Part Type		Footprint
0.5k	R5	AXIAL-0.3
0.5k	R6	AXIAL-0.3
1K	R2	AXIAL-0.3
1K	R1	AXIAL-0.3
5VSPDT	RLY1	RELAY-5V
10K	R4	AXIAL-0.3
10K	R3	AXIAL-0.3
10uF	C3	RAD-0.2
30pF	C2	RAD-0.2
30pF	C1	RAD-0.2
AT89S8252	U1	DIP40
CON2	J3	CON
CON2	J2	CON
CON2	J1	CON2
CON6	J4	HDR1X6
CRYSTAL	Y1	XTAL-1
DIODE	D1	DIODE-300
LED	D3	RAD-0.1
LED	D2	RAD-0.1
NPN	Q1	TO18
NPN	Q2	TO18
SW SPST	S1	SSW2S

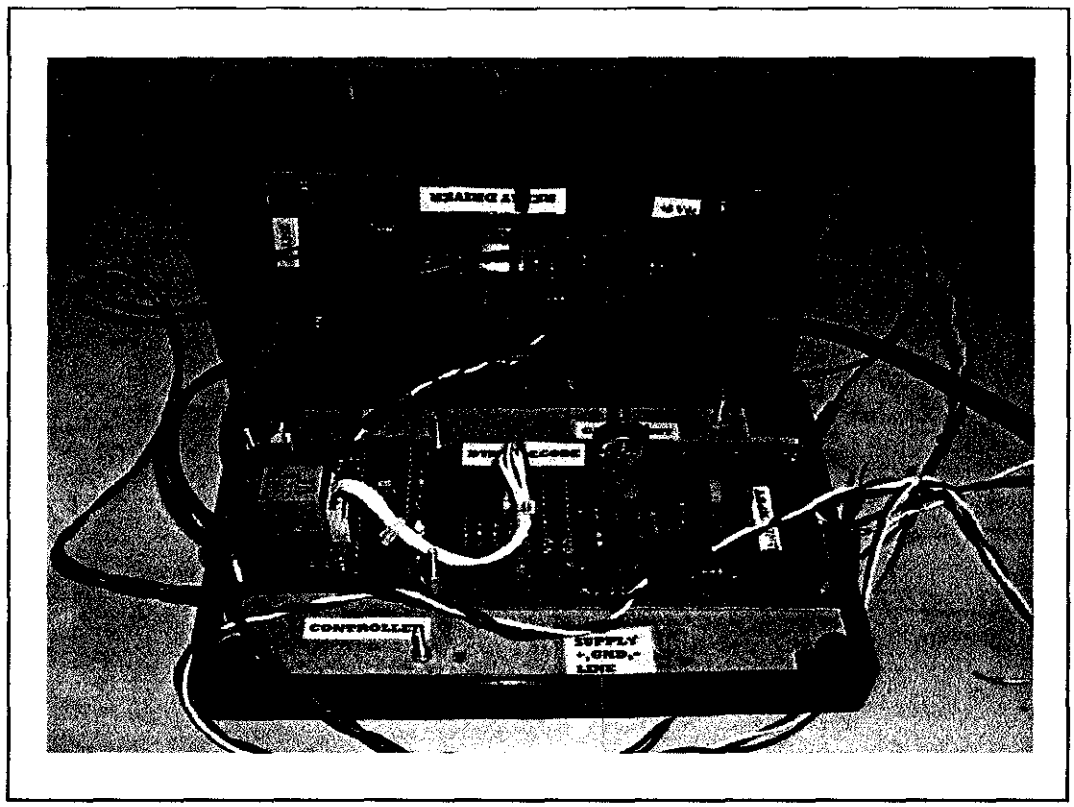
ตารางที่ ก.4รายการอุปกรณ์และแบบขาลงบนลายวงจรแผ่นทองแดงพิมพ์สำหรับชุดควบคุมภาครับและชุดขับรีเลย์



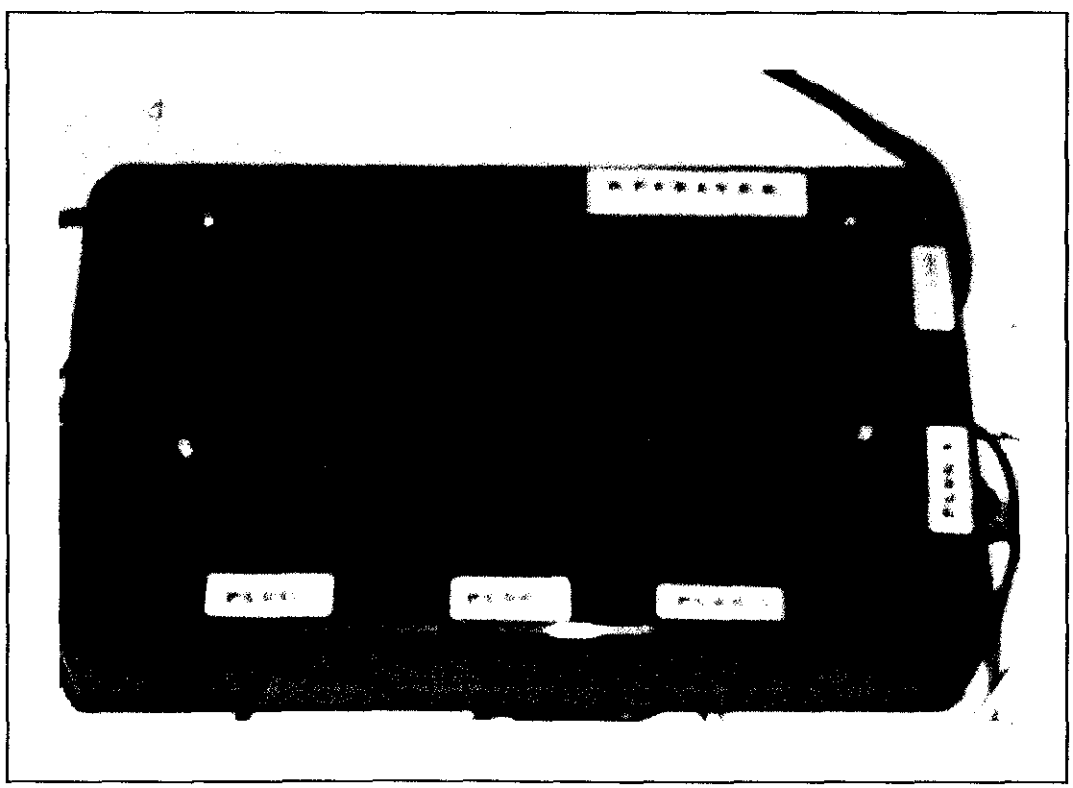
ภาพที่ ก.13 ภาพถ่ายโครงสร้างภายในเครื่องส่งสัญญาณDTMF



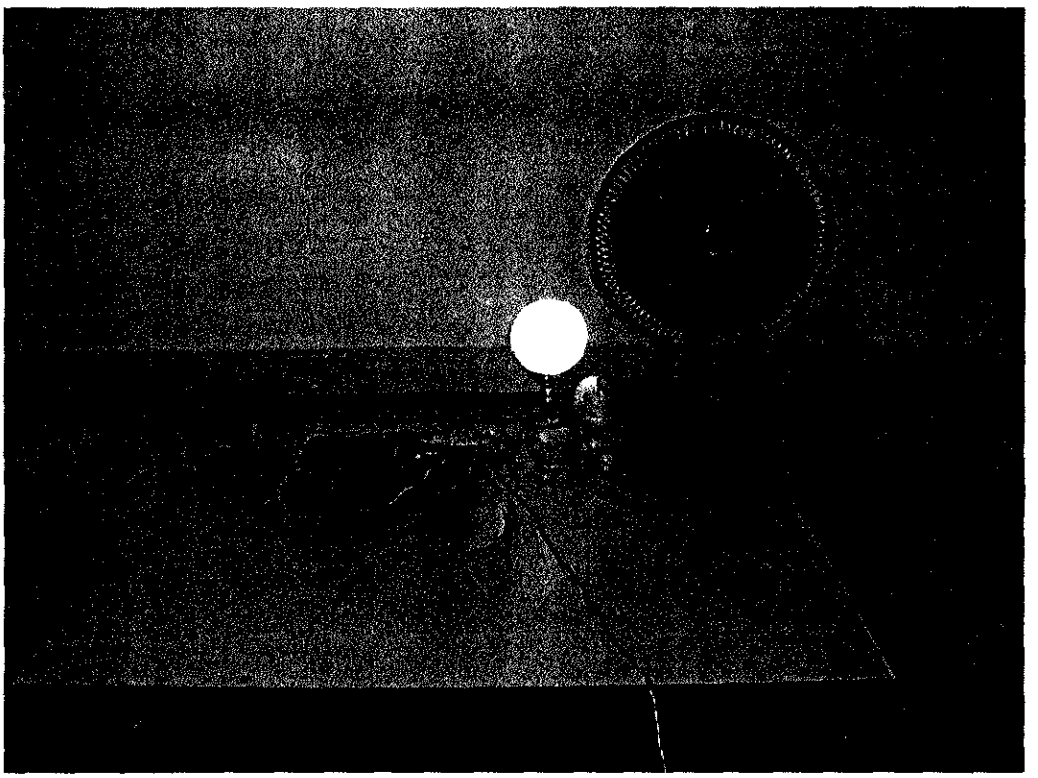
ภาพที่ ก.14 ภาพถ่ายชุดเครื่องส่งสัญญาณDTMF



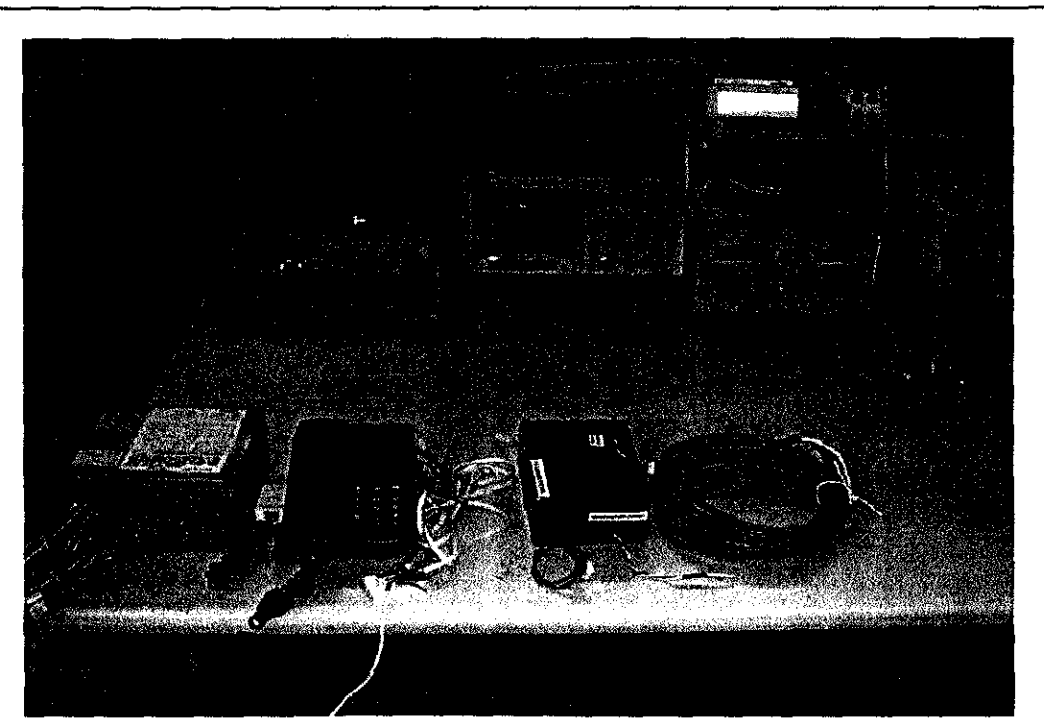
ภาพที่ ก.15 ภาพถ่ายโครงสร้างภายในเครื่องรับสัญญาณDTMF



ภาพที่ ก.16 ภาพถ่ายชุดเครื่องรับสัญญาณDTMF



ภาพที่ ก.17 ภาพถ่ายการทดสอบระบบควบคุม



ภาพที่ ก.18 ภาพถ่ายชุดอุปกรณ์ทดสอบระบบควบคุม

ภาคผนวก ข
โปรแกรม

```
        ORG     000H
        JMP     MAIN
        ORG     0100H

MAIN:MOV    P3,#11111111B
        SETB    P1.1
        SETB    P1.2
        SETB    P1.3
        SETB    P1.4
        CLR     P2.0
        CLR     P2.1


MAIN2:
        MOV     P3,#11111111B
        MOV     A,P3
        ANL     A,#00001111B
        MOV     B,A
        XRL     A,#00001111B
        JNZ     _IS_SEVEN
        SJMP    MAIN2

_IS_SEVEN:
        MOV     A,B
        XRL     A,#00000111B
        JNZ     _IS_STAR
        CLR     P1.1            ;OPEN THE LIGHT
        SETB    P2.0
        CLR     P2.1
        CLR     A
        JMP     MAIN2


_IS_STAR:
        MOV     A,B
        XRL     A,#00001011B
        JNZ     _IS_EIGHT
        SETB    P1.1            ;CLOSE THE LIGHT
        CLR     P2.0
        CLR     P2.1
        CLR     A
```

```
        JMP     MAIN2

_IS_EIGHT:
        MOV     A,B
        XRL     A,#00001000B
        JNZ     _IS_ZERO
        CLR     P1.2            ;OPEN THE LIGHT
        SETB    P2.1
        CLR     A
        JMP     MAIN2

_IS_ZERO:
        MOV     A,B
        XRL     A,#00001010B
        JNZ     _IS_ONE
        SETB    P1.2            ;CLOSE THE LIGHT
        CLR     P2.1
        JMP     MAIN2

_IS_ONE:
        MOV     A,B
        XRL     A,#00000001B
        JNZ     _IS_TWO
        CLR     P1.3            ;OPEN THE LIGHT
        SETB    P2.1
        CLR     A
        JMP     MAIN2

_IS_TWO:
        MOV     A,B
        XRL     A,#00000010B
        JNZ     _IS_THREE
        SETB    P1.3            ;CLOSE THE LIGHT
        CLR     P2.1
        JMP     MAIN2

_IS_THREE:
        MOV     A,B
        XRL     A,#00000011B
        JNZ     _IS_FOUR
        CLR     P1.4            ;CLOSE THE LIGHT
        SETB    P1.2            ;CLOSE THE LIGHT
```

```
        CLR     P2.0
        CLR     P2.1
        CLR     A
        JMP     MAIN2

_IS_FOUR:
        MOV     A,B
        XRL     A,#00000100B
        JNZ     CLOSE
        SETB    P1.4            ;CLOSE THE LIGHT
        SETB    P1.2            ;CLOSE THE LIGHT
        CLR     P2.0
        CLR     P2.1
        CLR     A
        JMP     MAIN2

CLOSE:  SETB    P1.1
        SETB    P1.2
        SETB    P1.3
        SETB    P1.4
        CLR     P2.0
        CLR     P2.1
        CLR     A
        JMP     MAIN2

;-----------------------------------------------
;       DELAY_PROGRAMM      XTAL 11.0592 MHz
;-----------------------------------------------
DELAY_1Sec:PUSH     05H
           MOV      R5,#100         ; Do 100 times
DELAY_1s_1: ACALL       DELAY_10ms
           DJNZ     R5,DELAY_1s_1
           POP      05H
           RET

DELAY_100mS:    PUSH    07H
           PUSH     06H
           MOV      R7,#100         ; Do 100 times
DELAY_100mS_1:  MOV     R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_100mS_2:  NOP
```

```
            NOP
            DJNZ        R6,DELAY_100mS_2
            DJNZ        R7,DELAY_100mS_1
            POP         06H
            POP         07H
            RET

DELAY_10mS:     PUSH        07H
            PUSH        06H
            MOV         R7,#010             ; Do 10 times
DELAY_10mS_1:   MOV         R6,#0E6H            ; Each loop = 1 ms
DELAY_10mS_2:   NOP
            NOP
            DJNZ        R6,DELAY_10mS_2
            DJNZ        R7,DELAY_10mS_1
            POP         06H
            POP         07H
            RET

DELAY_4mS:  ACALL   DELAY_1mS
      ACALL     DELAY_1mS
      ACALL             DELAY_1mS
            ACALL       DELAY_1mS
      RET
;----------------------------------------
DELAY_1mS:  ACALL   DELAY_250uS
      ACALL     DELAY_250uS
      ACALL     DELAY_250uS
      ACALL     DELAY_250uS
      RET
;----------------------------------------
DELAY_250uS:
      MOV       R0,#82D         ;250 uS delay
DELAY_250uS_1:
      DJNZ      R0,DELAY_250uS_1
      RET

            END
```

ภาคผนวก ค

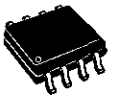
data sheet

UA741

GENERAL PURPOSE SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIER

- LARGE INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP
- HIGH GAIN
- SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- NO FREQUENCY COMPENSATION
- REQUIRED
- SAME PIN CONFIGURATION AS THE UA709

N
DIP8
(Plastic Package)



D
SO8
(Plastic Micropackage)

DESCRIPTION

The UA741 is a high performance monolithic operational amplifier constructed on a single silicon chip. It is intented for a wide range of analog applications.

- Summing amplifier
- Voltage follower
- Integrator
- Active filter
- Function generator

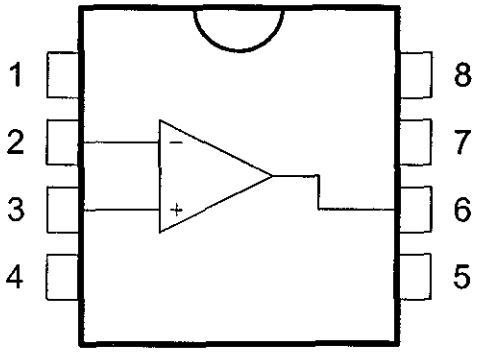
The high gain and wide range of operating voltages provide superior performances in integrator, summing amplifier and general feedback applications. The internal compensation network (6dB/octave) insures stability in closed loop circuits.

ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
UA741C	0°C, +70°C	•	•
UA741I	-40°C, +105°C	•	•
UA741M	-55°C, +125°C	•	•
Example : UA741CN			

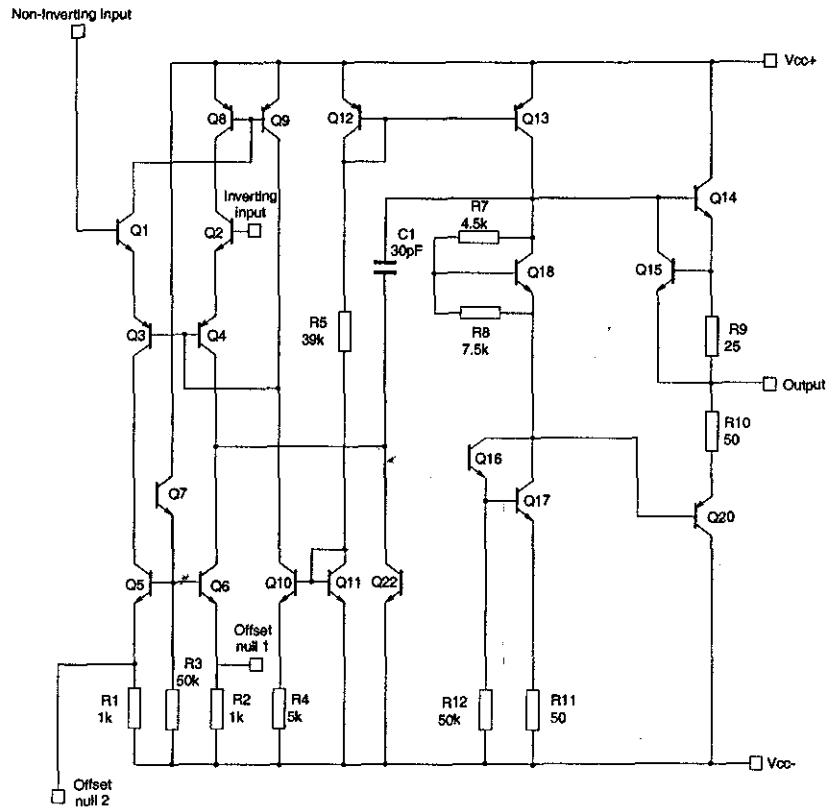
N = Dual In Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

PIN CONNECTIONS (top view)



1 - Offset null 1
2 - Inverting input
3 - Non-inverting input
4 - V_{CC}^-
5 - Offset null 2
6 - Output
7 - V_{CC}^+
8 - N.C.

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	UA741M	UA741I	UA741C	Unit
V_{CC}	Supply voltage	±22			V
V_{id}	Differential Input Voltage	±30			V
V_i	Input Voltage	±15			V
P_{tot}	Power Dissipation [1]	500			mW
	Output Short-circuit Duration	Infinite			
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (Tj) is not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = ±15V, T_{amb} = +25°C (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_s \leq 10k\Omega$) T_{amb} = +25°C $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		 1	 5 6	mV
I_{io}	Input Offset Current T_{amb} = +25°C $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		 2	 30 70	nA
I_{ib}	Input Bias Current T_{amb} = +25°C $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		 10	 100 200	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain (V_o = ±10V, R_L = 2kΩ) T_{amb} = +25°C $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	 50 25	 200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) T_{amb} = +25°C $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	 77 77	 90		dB
I_{CC}	Supply Current, no load T_{amb} = +25°C $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		 1.7	 2.8 3.3	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range T_{amb} = +25°C $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	 ±12 ±12			V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) T_{amb} = +25°C $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	 70 70	 90		dB
I_{OS}	Output short Circuit Current	10	25	40	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing T_{amb} = +25°C R_L = 10kΩ R_L = 2kΩ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ R_L = 10kΩ R_L = 2kΩ	 12 10 12 10	 14 13		V
SR	Slew Rate V_i = ±10V, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, unity Gain	0.25	0.5		V/µs
t_r	Rise Time V_i = ±20mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, unity Gain		0.3		µs
K_{ov}	Overshoot V_i = 20mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, unity Gain		5		%
R_i	Input Resistance	0.3	2		MΩ
GBP	Gain Bandwith Product V_i = 10mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, f =100kHz	0.7	1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion f = 1kHz, A_v = 20dB, R_L = 2kΩ, V_o = $2V_{pp}$, C_L = 100pF, T_{amb} = +25°C		0.06		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage f = 1kHz, R_s = 100Ω		23		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
Øm	Phase Margin		50		Degrees

ıtures

- ımpatible with MCS®51 Products
- Bytes of In-System Reprogrammable Downloadable Flash Memory
  - SPI Serial Interface for Program Downloading
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Bytes EEPROM
  - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
- to 6V Operating Range
- lly Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- ree-level Program Memory Lock
- ; x 8-bit Internal RAM
- Programmable I/O Lines
- ee 16-bit Timer/Counters
- ıe Interrupt Sources
- ıgrammable UART Serial Channel
- I Serial Interface
- v-power Idle and Power-down Modes
- ırrupt Recovery from Power-down
- grammable Watchdog Timer
- ıl Data Pointer
- ver-off Flag

cription

T89S8252 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 8K of downloadable Flash programmable and erasable read-only memory and 2K of EEPROM. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile ıry technology and is compatible with the industry-standard 80C51 instruction ıd pinout. The on-chip downloadable Flash allows the program memory to be ıgrammed In-System through an SPI serial interface or by a conventional nonvol- nemory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with downloadable on a monolithic chip, the Atmel AT89S8252 is a powerful microcontroller, which les a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control ations.

T89S8252 provides the following standard features: 8K bytes of downloadable 2K bytes of EEPROM, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, programmable watchdog two data pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt ıcture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, 89S8252 is designed with static logic for operation down to zero frequency and ts two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU llowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue ning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, ıg all other chip functions until the next external interrupt or hardware reset.

ıwnloadable Flash can be changed a single byte at a time and is accessible ı the SPI serial interface. Holding RESET active forces the SPI bus into a serial ıming interface and allows the program memory to be written to or read from lock bits have been activated.

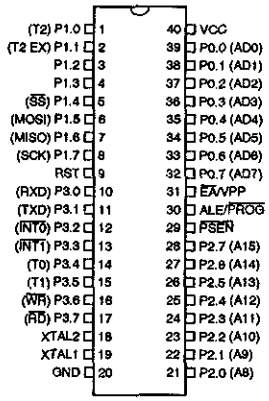
8-bit Microcontroller with 8K Bytes Flash

AT89S8252

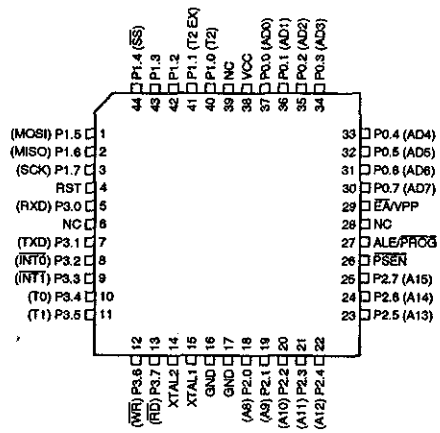
0401F–MICRO–11/03

Configurations

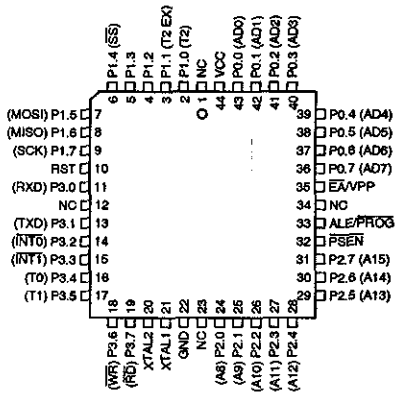
PDIP



TQFP



PLCC



Description

Supply voltage.

Ground.

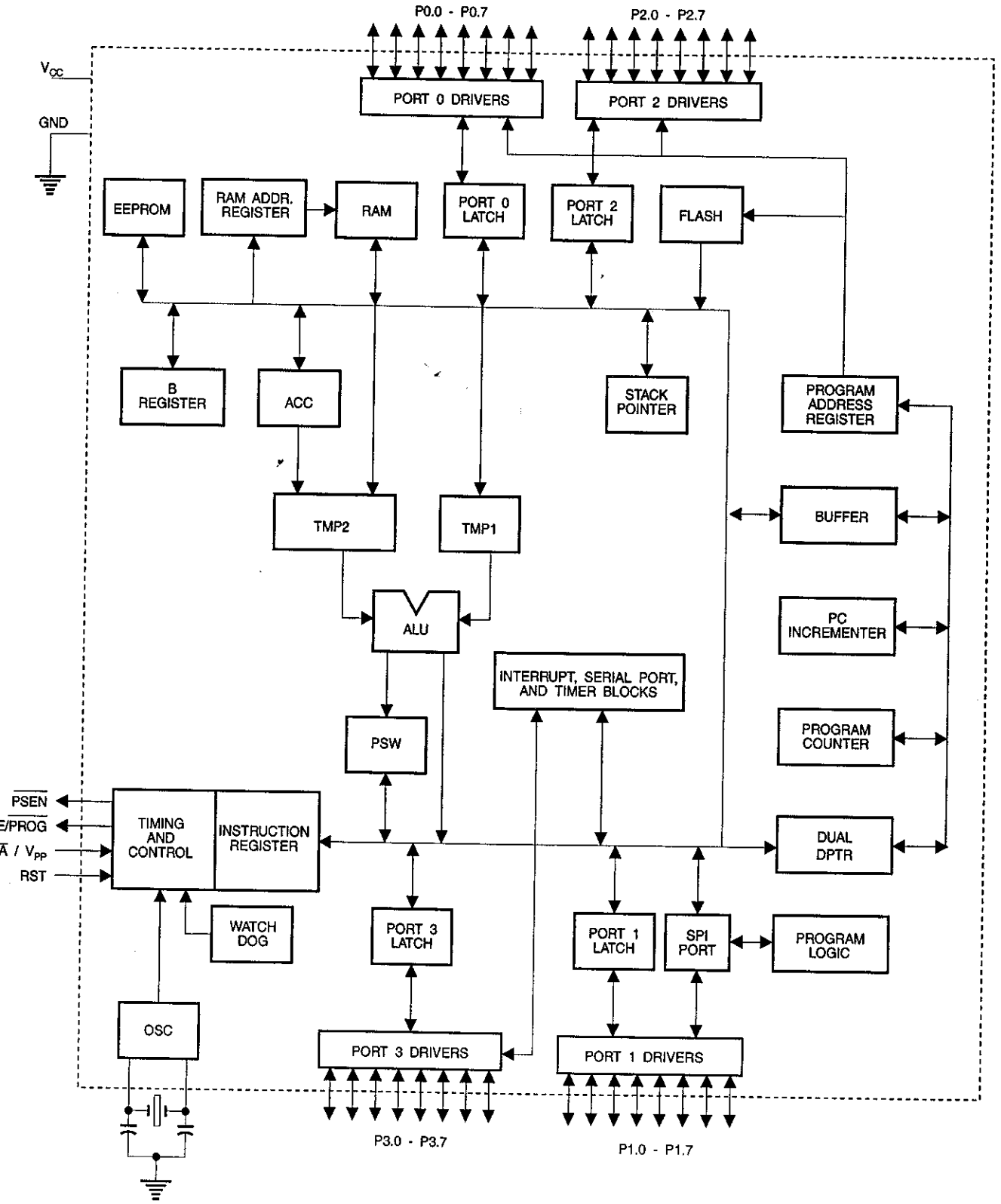
Port 0 is an 8-bit open drain bi-didirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

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

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

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

ck Diagram


P0.0 - P0.7
P2.0 - P2.7
V_{CC}
GND
PORT 0 DRIVERS
PORT 2 DRIVERS
EEPROM
RAM ADDR. REGISTER
RAM
PORT 0 LATCH
PORT 2 LATCH
FLASH
B REGISTER
ACC
STACK POINTER
PROGRAM ADDRESS REGISTER
TMP2
TMP1
BUFFER
ALU
PC INCREMENTER
INTERRUPT, SERIAL PORT, AND TIMER BLOCKS
PSW
PROGRAM COUNTER
PSEN
E/PROG
A / V_{PP}
RST
TIMING AND CONTROL
INSTRUCTION REGISTER
DUAL DPTR
WATCH DOG
PORT 3 LATCH
PORT 1 LATCH
SPI PORT
PROGRAM LOGIC
OSC
PORT 3 DRIVERS
PORT 1 DRIVERS
P3.0 - P3.7
P1.0 - P1.7

Some Port 1 pins provide additional functions. P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively.

Furthermore, P1.4, P1.5, P1.6, and P1.7 can be configured as the SPI slave port select, data input/output and shift clock input/output pins as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)
P1.4	$\overline{SS}$ (Slave port select input)
P1.5	MOSI (Master data output, slave data input pin for SPI channel)
P1.6	MISO (Master data input, slave data output pin for SPI channel)
P1.7	SCK (Master clock output, slave clock input pin for SPI channel)

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

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

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

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

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

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

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S8252, as shown in the following table.

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

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

$\overline{PROG}$

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

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

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

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

When the AT89S8252 is executing code from external program memory, $\overline{PSEN}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{PSEN}$ activations are skipped during each access to external data memory.

'P

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

$\overline{EA}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions. This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

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

Output from the inverting oscillator amplifier.

cial Function isters

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

Timer 2 Registers Control and status bits are contained in registers T2CON (shown in Table 2) and T2MOD (shown in Table 9) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16-bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

l. AT89S8252 SFR Map and Reset Values

								0FFH
B 00000000								0F7H
								0EFH
ACC 00000000								0E7H
								0DF H
PSW 00000000					SPCR 000001XX			0D7H
T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000			0CF H
								0C7H
IP XX000000								0BFH
P3 11111111								0B7H
IE 0X000000		SPSR 00XXXXXX						0AFH
P2 11111111								0A7H
SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX							9FH
P1 11111111						WMCON 00000010		97H
TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000			8FH
P0 11111111	SP 00000111	DP0L 00000000	DP0H 00000000	DP1L 00000000	DP1H 00000000	SPDR XXXXXXXX	PCON 0XXX0000	87H

2. T2CON – Timer/Counter 2 Control Register

N Address = 0C8H — Reset Value = 0000 0000B

ldressable

TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/$\overline{T2}$	CP/$\overline{RL2}$
7	6	5	4	3	2	1	0

ol	Function
	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.
	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software. EXF2 does not cause an interrupt in up/down counter mode (DCEN = 1).
	Receive clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in serial port Modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the receive clock.
	Transmit clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in serial port Modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
2	Timer 2 external enable. When set, allows a capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at T2EX.
	Start/Stop control for Timer 2. TR2 = 1 starts the timer.
	Timer or counter select for Timer 2. C/$\overline{T2}$ = 0 for timer function. C/$\overline{T2}$ = 1 for external event counter (falling edge triggered).
$\overline{2}$	Capture/Reload select. CP/$\overline{RL2}$ = 1 causes captures to occur on negative transitions at T2EX if EXEN2 = 1. CP/$\overline{RL2}$ = 0 causes automatic reloads to occur when Timer 2 overflows or negative transitions occur at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

;hdog and Memory Control Register The WMCON register contains control bits for the Watchdog Timer (shown ir
e 3). The EEMEN and EEMWE bits are used to select the 2K bytes on-chip EEPROM, and to enable byte-write. The
bit selects one of two DPTR registers available.

e 3. WMCON—Watchdog and Memory Control Register

CON Address = 96H Reset Value = 0000 0010B

PS2	PS1	PS0	EEMWE	EEMEN	DPS	WDTRST	WDTEN
7	6	5	4	3	2	1	0

ibol	Function
	Prescaler Bits for the Watchdog Timer. When all three bits are set to "0", the watchdog timer has a nominal period of 16 ms. When all three bits are set to "1", the nominal period is 2048 ms.
WE	EEPROM Data Memory Write Enable Bit. Set this bit to "1" before initiating byte write to on-chip EEPROM with the MOVX instruction. User software should set this bit to "0" after EEPROM write is completed.
EN	Internal EEPROM Access Enable. When EEMEN = 1, the MOVX instruction with DPTR will access on-chip EEPROM instead of external data memory. When EEMEN = 0, MOVX with DPTR accesses external data memory.
	Data Pointer Register Select. DPS = 0 selects the first bank of Data Pointer Register, DP0, and DPS = 1 selects the second bank, DP1
RST $\overline{BSY}$	Watchdog Timer Reset and EEPROM Ready/$\overline{Busy}$ Flag. Each time this bit is set to "1" by user software, a pulse is generated to reset the watchdog timer. The WDTRST bit is then automatically reset to "0" in the next instruction cycle. The WDTRST bit is Write-Only. This bit also serves as the RDY/$\overline{BSY}$ flag in a Read-Only mode during EEPROM write. RDY/$\overline{BSY}$ = 1 means that the EEPROM is ready to be programmed. While programming operations are being executed, the RDY/$\overline{BSY}$ bit equals "0" and is automatically reset to "1" when programming is completed.
EN	Watchdog Timer Enable Bit. WDTEN = 1 enables the watchdog timer and WDTEN = 0 disables the watchdog timer.

SPI Registers Control and status bits for the Serial Peripheral Interface are contained in registers SPCR (shown in Table 4) and SPSR (shown in Table 5). The SPI data bits are contained in the SPDR register. Writing the SPI data register during serial data transfer sets the Write Collision bit, WCOL, in the SPSR register. The SPDR is double buffered for writing and the values in SPDR are not changed by Reset.

Interrupt Registers The global interrupt enable bit and the individual interrupt enable bits are in the IE register. In addition, the individual interrupt enable bit for the SPI is in the SPCR register. Two priorities can be set for each of the six interrupt sources in the IP register.

Dual Data Pointer Registers To facilitate accessing both internal EEPROM and external data memory, two banks of 16-bit Data Pointer Registers are provided: DP0 at SFR address locations 82H-83H and DP1 at 84H-85H. Bit DPS = 0 in SFR WMCON selects DP0 and DPS = 1 selects DP1. The user should **ALWAYS** initialize the DPS bit to the appropriate value before accessing the respective Data Pointer Register.

Power Off Flag The Power Off Flag (POF) is located at bit_4 (PCON.4) in the PCON SFR. POF is set to "1" during power up. It can be set and reset under software control and is not affected by RESET.

l. SPCR – SPI Control Register

Address = D5H Reset Value = 0000 01XXB

SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0
7	6	5	4	3	2	1	0

ol	Function
	SPI Interrupt Enable. This bit, in conjunction with the ES bit in the IE register, enables SPI interrupts: SPIE = 1 and ES = 1 enable SPI interrupts. SPIE = 0 disables SPI interrupts.
	SPI Enable. SPI = 1 enables the SPI channel and connects $\overline{SS}$, MOSI, MISO and SCK to pins P1.4, P1.5, P1.6, and P1.7. SPI = 0 disables the SPI channel.
	Data Order. DORD = 1 selects LSB first data transmission. DORD = 0 selects MSB first data transmission.
	Master/Slave Select. MSTR = 1 selects Master SPI mode. MSTR = 0 selects Slave SPI mode.
	Clock Polarity. When CPOL = 1, SCK is high when idle. When CPOL = 0, SCK of the master device is low when not transmitting. Please refer to figure on SPI Clock Phase and Polarity Control.
	Clock Phase. The CPHA bit together with the CPOL bit controls the clock and data relationship between master and slave. Please refer to figure on SPI Clock Phase and Polarity Control.
	SPI Clock Rate Select. These two bits control the SCK rate of the device configured as master. SPR1 and SPR0 have no effect on the slave. The relationship between SCK and the oscillator frequency, $F_{osc.}$, is as follows: SPR1 SPR0 SCK = $F_{osc.}$ divided by 0 0 4 0 1 16 1 0 64 1 1 128

5. SPSR – SPI Status Register

I Address = AAH — Reset Value = 00XX XXXXB

SPIF	WCOL	–	–	–	–	–	–
7	6	5	4	3	2	1	0

ol	Function
	SPI Interrupt Flag. When a serial transfer is complete, the SPIF bit is set and an interrupt is generated if SPIE = 1 and ES = 1. The SPIF bit is cleared by reading the SPI status register with SPIF and WCOL bits set, and then reading/writing the SPI data register.
-	Write Collision Flag. The WCOL bit is set if the SPI data register is written during a data transfer. During data transfer, the result of reading the SPDR register may be incorrect, and writing to it has no effect. The WCOL bit (and the SPIF bit) are cleared by reading the SPI status register with SPIF and WCOL set, and then accessing the SPI data register.

i. SPDR – SPI Data Register

Address = 86H — Reset Value = unchanged

SPD7	SPD6	SPD5	SPD4	SPD3	SPD2	SPD1	SPD0
7	6	5	4	3	2	1	0

Memory – ROM and RAM

The AT89S8252 implements 2K bytes of on-chip EEPROM for data storage and 256 bytes of RAM. The upper 128 bytes of RAM occupy a parallel space to the Special Function Registers. That means the upper 128 bytes have the same addresses as the SFR space but are physically separate from SFR space.

When an instruction accesses an internal location above address 7FH, the address mode used in the instruction specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

For example, the following direct addressing instruction accesses the SFR at location 0A0H (which is P2).

```
MOV 0A0H, #data
```

Instructions that use indirect addressing access the upper 128 bytes of RAM. For example, the following indirect addressing instruction, where R0 contains 0A0H, accesses the data byte at address 0A0H, rather than P2 (whose address is 0A0H).

```
MOV @R0, #data
```

Note that stack operations are examples of indirect addressing, so the upper 128 bytes of data RAM are available as stack space.

The on-chip EEPROM data memory is selected by setting the EEMEN bit in the WMCON register at SFR address location 96H. The EEPROM address range is from 000H to 7FFH. The MOVX instructions are used to access the EEPROM. To access off-chip data memory with the MOVX instructions, the EEMEN bit needs to be set to "0".

The EEMWE bit in the WMCON register needs to be set to "1" before any byte location in the EEPROM can be written. User software should reset EEMWE bit to "0" if no further EEPROM write is required. EEPROM write cycles in the serial programming mode are self-timed and typically take 2.5 ms. The progress of EEPROM write can be monitored by reading the RDY/$\overline{BSY}$ bit (read-only) in SFR WMCON. RDY/$\overline{BSY}$ = 0 means

programming is still in progress and RDY/$\overline{BSY}$ = 1 means EEPROM write cycle is completed and another write cycle can be initiated.

In addition, during EEPROM programming, an attempted read from the EEPROM will fetch the byte being written with the MSB complemented. Once the write cycle is completed, true data are valid at all bit locations.

rammable hdog Timer

The programmable Watchdog Timer (WDT) operates from an independent internal oscillator. The prescaler bits, PS0, PS1 and PS2 in SFR WMCON are used to set the period of the Watchdog Timer from 16 ms to 2048 ms. The available timer periods are shown in the following table and the actual timer periods (at V_{CC} = 5V) are within ±30% of the nominal.

The WDT is disabled by Power-on Reset and during Power-down. It is enabled by setting the WDTEN bit in SFR WMCON (address = 96H). The WDT is reset by setting the WDTRST bit in WMCON. When the WDT times out without being reset or disabled, an internal RST pulse is generated to reset the CPU.

Table 7. Watchdog Timer Period Selection

WDT Prescaler Bits			
PS2	PS1	PS0	Period (nominal)
0	0	0	16 ms
0	0	1	32 ms
0	1	0	64 ms
0	1	1	128 ms
1	0	0	256 ms
1	0	1	512 ms
1	1	0	1024 ms
1	1	1	2048 ms

0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89S8252 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51 and AT89C52. For further information on the timers' operation, refer to the Atmel web site (http://www.atmel.com). From the home page, select "Products", then "Microcontrollers, then "8051-Architecture". Click on "Documentation", then on "Other Documents". Open the document "AT89 Series Hardware Description".

2

Timer 2 is a 16-bit Timer/Counter that can operate as either a timer or an event counter. The type of operation is selected by bit C/$\overline{T2}$ in the SFR T2CON (shown in Table 2). Timer 2 has three operating modes: capture, auto-reload (up or down counting), and baud rate generator. The modes are selected by bits in T2CON, as shown in Table 8.

Timer 2 consists of two 8-bit registers, TH2 and TL2. In the Timer function, the TL2 register is incremented every machine cycle. Since a machine cycle consists of 12 oscillator periods, the count rate is 1/12 of the oscillator frequency.

In the Counter function, the register is incremented in response to a 1-to-0 transition at its corresponding external input pin, T2. In this function, the external input is sampled during S5P2 of every machine cycle. When the samples show a high in one cycle and a low in the next cycle, the count is incremented. The new count value appears in the register during S3P1 of the cycle following the one in which the transition was detected.

ZARLINK SEMICONDUCTOR

ISO²-CMOS MT8870D/MT8870D-1
Integrated DTMF Receiver

ISSUE 5 March 1997

Features

- Complete DTMF Receiver
- Low power consumption
- Internal gain setting amplifier
- Adjustable guard time
- Central office quality
- Power-down mode
- Inhibit mode
- Backward compatible with MT8870C/MT8870C-1

Applications

- Receiver system for British Telecom (BT) or CEPT Spec (MT8870D-1)
- Paging systems
- Repeater systems/mobile radio
- Credit card systems
- Remote control
- Personal computers
- Telephone answering machine

Ordering Information

MT8870DE/DE-1	18 Pin Plastic DIP
MT8870DS/DS-1	18 Pin SOIC
MT8870DN/DN-1	20 Pin SSOP

-40 °C to +85 °C

Description

The MT8870D/MT8870D-1 is a complete DTMF receiver integrating both the bandsplit filter and digital decoder functions. The filter section uses switched capacitor techniques for high and low group filters; the decoder uses digital counting techniques to detect and decode all 16 DTMF tone-pairs into a 4-bit code. External component count is minimized by on chip provision of a differential input amplifier, clock oscillator and latched three-state bus interface.

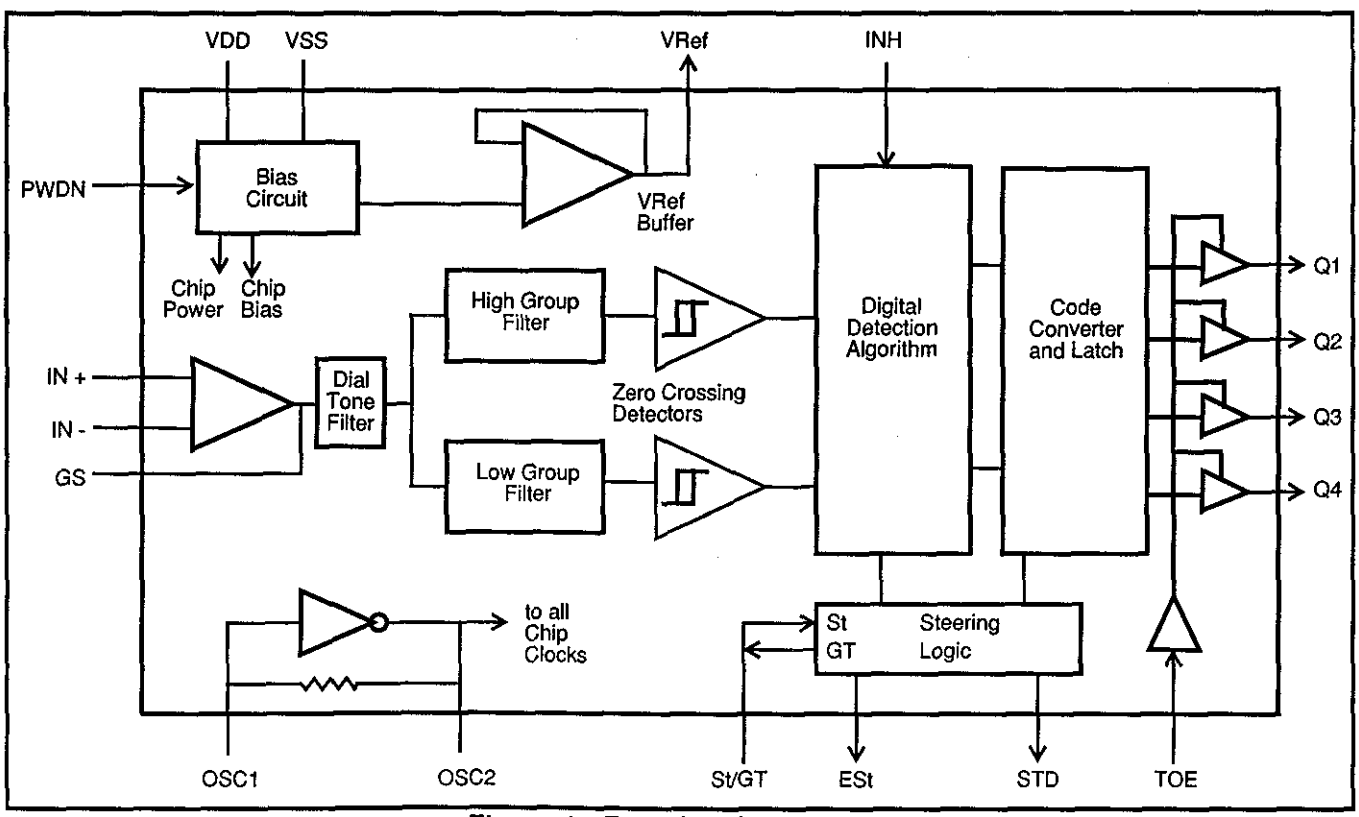


Figure 1 - Functional Block Diagram

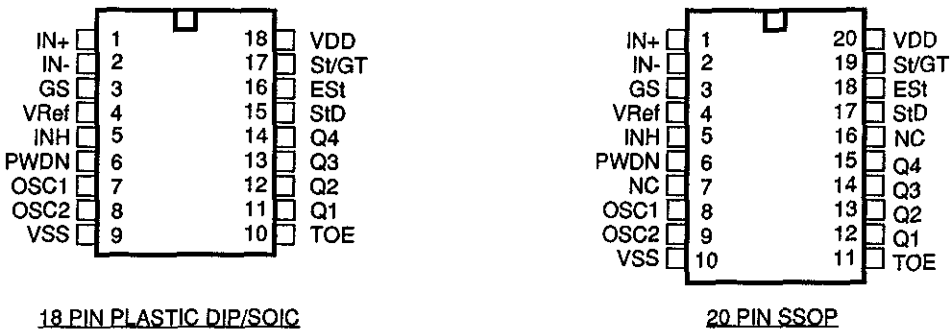


Figure 2 - Pin Connections

)escription

# 20	Name	Description
1	IN+	**Non-Inverting Op-Amp (Input).**
2	IN-	**Inverting Op-Amp (Input).**
3	GS	**Gain Select.** Gives access to output of front end differential amplifier for connection of feedback resistor.
4	V_{Ref}	**Reference Voltage (Output).** Nominally $V_{DD}/2$ is used to bias inputs at mid-rail (see Fig. 6 and Fig. 10).
5	INH	**Inhibit (Input).** Logic high inhibits the detection of tones representing characters A, B, C and D. This pin input is internally pulled down.
6	PWDN	**Power Down (Input).** Active high. Powers down the device and inhibits the oscillator. This pin input is internally pulled down.
8	OSC1	**Clock (Input).**
9	OSC2	**Clock (Output).** A 3.579545 MHz crystal connected between pins OSC1 and OSC2 completes the internal oscillator circuit.
0	V_{SS}	**Ground (Input).** 0V typical.
1	TOE	**Three State Output Enable (Input).** Logic high enables the outputs Q1-Q4. This pin is pulled up internally.
2-5	Q1-Q4	**Three State Data (Output).** When enabled by TOE, provide the code corresponding to the last valid tone-pair received (see Table 1). When TOE is logic low, the data outputs are high impedance.
7	StD	**Delayed Steering (Output).**Presents a logic high when a received tone-pair has been registered and the output latch updated; returns to logic low when the voltage on St/GT falls below V_{TSt}.
8	ESt	**Early Steering (Output).** Presents a logic high once the digital algorithm has detected a valid tone pair (signal condition). Any momentary loss of signal condition will cause ESt to return to a logic low.
9	St/GT	**Steering Input/Guard time (Output) Bidirectional.** A voltage greater than V_{TSt} detected at St causes the device to register the detected tone pair and update the output latch. A voltage less than V_{TSt} frees the device to accept a new tone pair. The GT output acts to reset the external steering time-constant; its state is a function of ESt and the voltage on St.
0	V_{DD}	**Positive power supply (Input).** +5V typical.
3	NC	No Connection.

Functional Description

The MT8870D/MT8870D-1 monolithic DTMF receiver offers small size, low power consumption and high performance. Its architecture consists of a bandsplit filter section, which separates the high and low group tones, followed by a digital counting section which verifies the frequency and duration of the received tones before passing the corresponding code to the output bus.

Filter Section

Separation of the low-group and high group tones is achieved by applying the DTMF signal to the inputs of two sixth-order switched capacitor bandpass filters, the bandwidths of which correspond to the low and high group frequencies. The filter section also incorporates notches at 350 and 440 Hz for exceptional dial tone rejection (see Figure 3). Each filter output is followed by a single order switched capacitor filter section which smooths the signals prior to limiting. Limiting is performed by high-gain comparators which are provided with hysteresis to prevent detection of unwanted low-level signals. The outputs of the comparators provide full rail logic swings at the frequencies of the incoming DTMF signals.

Decoder Section

Following the filter section is a decoder employing digital counting techniques to determine the frequencies of the incoming tones and to verify that they correspond to standard DTMF frequencies. A complex averaging algorithm protects against tone simulation by extraneous signals such as voice while

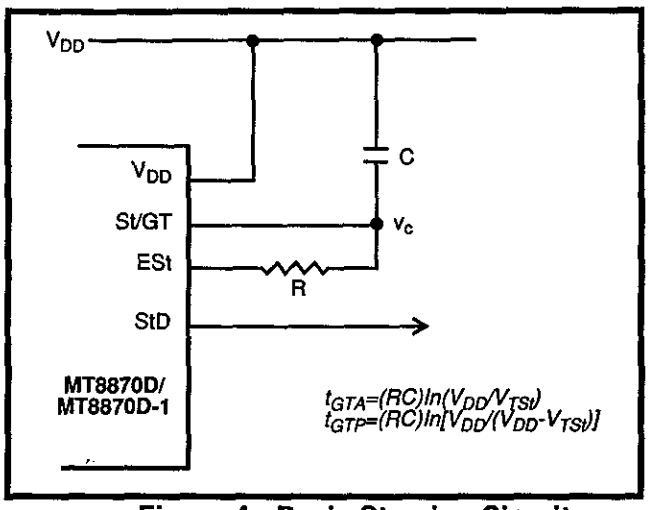


Figure 4 - Basic Steering Circuit

providing tolerance to small frequency deviations and variations. This averaging algorithm has been developed to ensure an optimum combination of immunity to talk-off and tolerance to the presence of interfering frequencies (third tones) and noise. When the detector recognizes the presence of two valid tones (this is referred to as the "signal condition" in some industry specifications) the "Early Steering" (ESt) output will go to an active state. Any subsequent loss of signal condition will cause ESt to assume an inactive state (see "Steering Circuit").

Steering Circuit

Before registration of a decoded tone pair, the receiver checks for a valid signal duration (referred to as character recognition condition). This check is performed by an external RC time constant driven by ESt. A logic high on ESt causes v_c (see Figure 4) to rise as the capacitor discharges. Provided signal

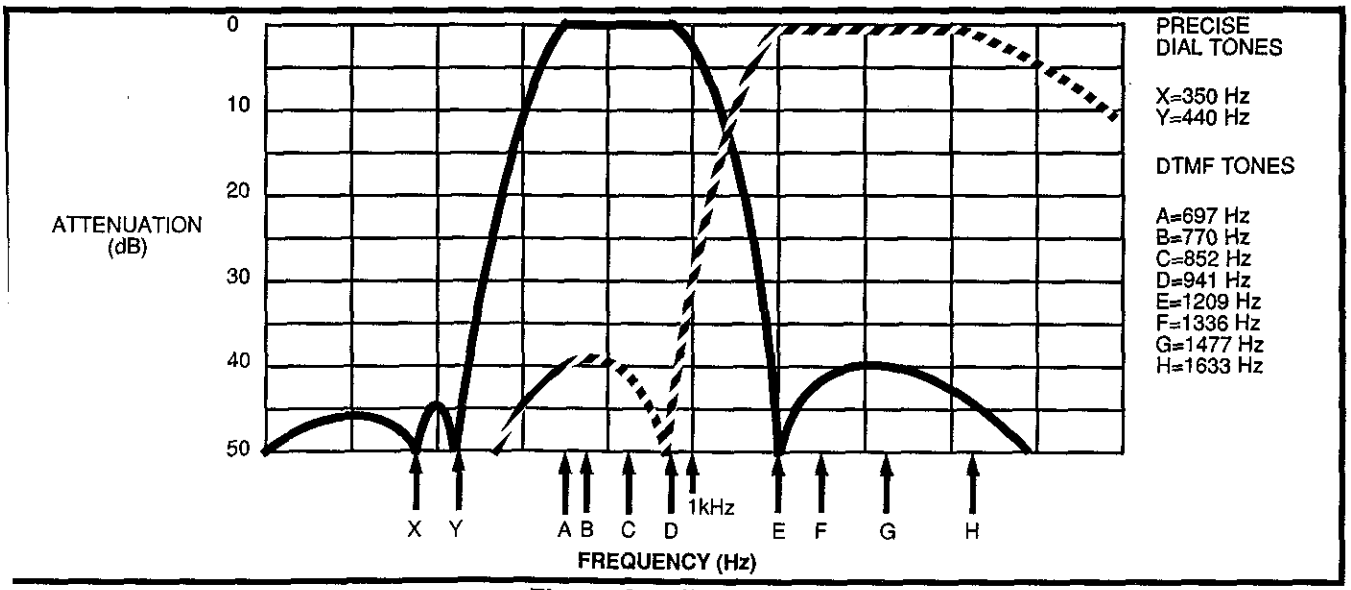


Figure 3 - Filter Response

on is maintained (ESt remains high) for the ion period (t_{GTP}), v_c reaches the threshold of the steering logic to register the tone pair, g its corresponding 4-bit code (see Table 1) e output latch. At this point the GT output is ed and drives v_c to V_{DD}. GT continues to drive s long as ESt remains high. Finally, after a delay to allow the output latch to settle, the d steering output flag (StD) goes high, ing that a received tone pair has been red. The contents of the output latch are made le on the 4-bit output bus by raising the three control input (TOE) to a logic high. The g circuit works in reverse to validate the git pause between signals. Thus, as well as ig signals too short to be considered valid, the r will tolerate signal interruptions (dropout) rt to be considered a valid pause. This facility, er with the capability of selecting the steering onstants externally, allows the designer to erformance to meet a wide variety of system ments.

Digit	TOE	INH	ESt	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1
ANY	L	X	H	Z	Z	Z	Z
1	H	X	H	0	0	0	1
2	H	X	H	0	0	1	0
3	H	X	H	0	0	1	1
4	H	X	H	0	1	0	0
5	H	X	H	0	1	0	1
6	H	X	H	0	1	1	0
7	H	X	H	0	1	1	1
8	H	X	H	1	0	0	0
9	H	X	H	1	0	0	1
0	H	X	H	1	0	1	0
*	H	X	H	1	0	1	1
#	H	X	H	1	1	0	0
A	H	L	H	1	1	0	1
B	H	L	H	1	1	1	0
C	H	L	H	1	1	1	1
D	H	L	H	0	0	0	0
A	H	H	L	undetected, the output code will remain the same as the previous detected code			
B	H	H	L				
C	H	H	L				
D	H	H	L				

Table 1. Functional Decode Table

L=LOGIC LOW, H=LOGIC HIGH, Z=HIGH IMPEDANCE
X = DON'T CARE

Time Adjustment

ıy situations not requiring selection of tone n and interdigital pause, the simple steering shown in Figure 4 is applicable. Component are chosen according to the formula:

$$t_{REC}=t_{DP}+t_{GTP}$$

$$t_{ID}=t_{DA}+t_{GTA}$$

lue of t_{DP} is a device parameter (see Figure d t_{REC} is the minimum signal duration to be zed by the receiver. A value for C of 0.1 µF is recommended for most applications, leaving R to be selected by the designer.

Different steering arrangements may be used to select independently the guard times for tone present (t_{GTP}) and tone absent (t_{GTA}). This may be necessary to meet system specifications which place both accept and reject limits on both tone duration and interdigital pause. Guard time adjustment also allows the designer to tailor system parameters such as talk off and noise immunity. Increasing t_{REC} improves talk-off performance since it reduces the probability that tones simulated by speech will maintain signal condition long enough to be registered. Alternatively, a relatively short t_{REC} with a long t_{DO} would be appropriate for extremely noisy environments where fast acquisition time and immunity to tone drop-outs are required. Design information for guard time adjustment is shown in Figure 5.

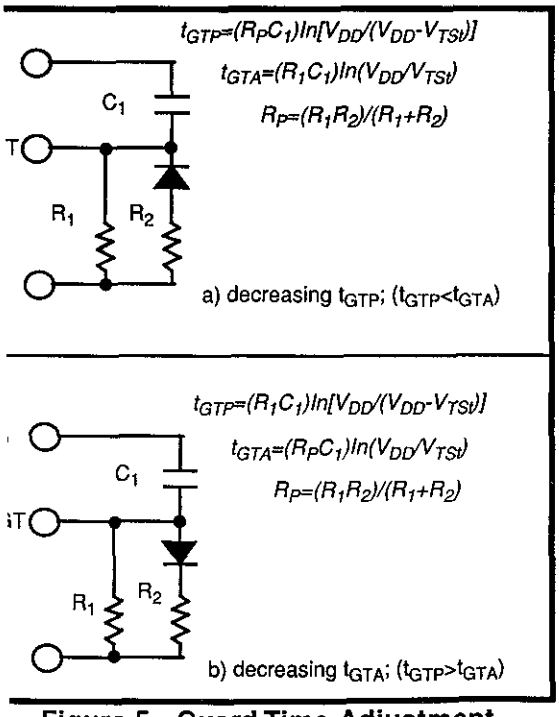


Figure 5 - Guard Time Adjustment

Power-down and Inhibit Mode

A logic high applied to pin 6 (PWDN) will power down the device to minimize the power consumption in a standby mode. It stops the oscillator and the functions of the filters.

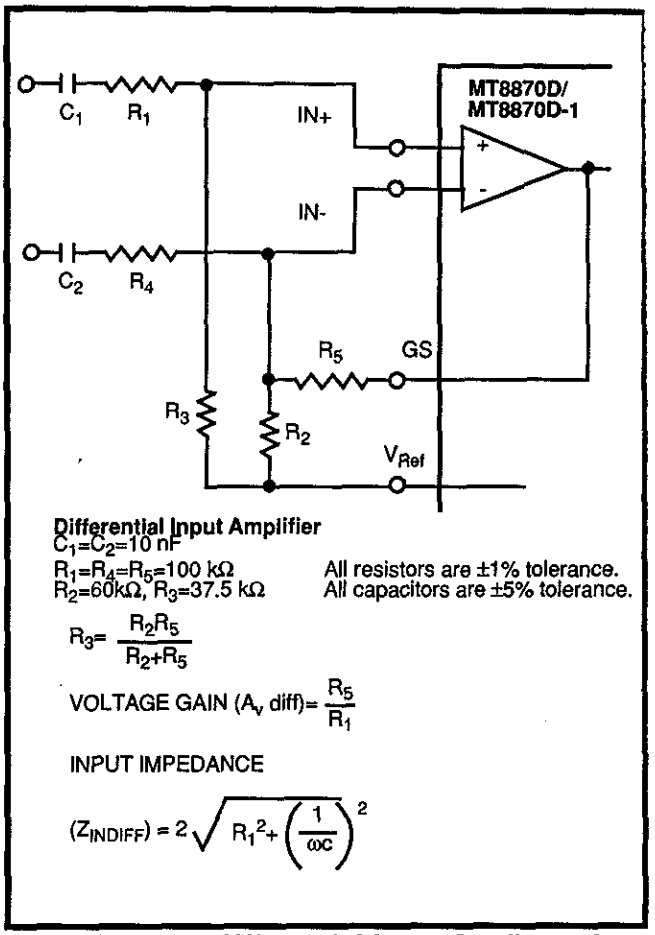
Inhibit mode is enabled by a logic high input to the pin 5 (INH). It inhibits the detection of tones representing characters A, B, C, and D. The output code will remain the same as the previous detected code (see Table 1).

Differential Input Configuration

The input arrangement of the MT8870D/MT8870D-1 provides a differential-input operational amplifier as well as a bias source (V_{Ref}) which is used to bias the inputs at mid-rail. Provision is made for connection of a feedback resistor to the op-amp output (GS) for adjustment of gain. In a single-ended configuration, the input pins are connected as shown in Figure 10 with the op-amp connected for unity gain and V_{Ref} biasing the input at $^1/_2V_{DD}$. Figure 6 shows the differential configuration, which permits the adjustment of gain with the feedback resistor R_5.

Crystal Oscillator

The internal clock circuit is completed with the addition of an external 3.579545 MHz crystal and is normally connected as shown in Figure 10 (Single-Ended Input Configuration). However, it is possible to configure several MT8870D/MT8870D-1 devices employing only a single oscillator crystal. The oscillator output of the first device in the chain is coupled through a 30 pF capacitor to the oscillator input (OSC1) of the next device. Subsequent devices are connected in a similar fashion. Refer to Figure 7 for details. The problems associated with unbalanced loading are not a concern with the arrangement shown, i.e., precision balancing capacitors are not required.



Differential Input Amplifier
$C_1=C_2=10$ nF
$R_1=R_4=R_5=100$ kΩ
$R_2=60$kΩ, $R_3=37.5$ kΩ
All resistors are ±1% tolerance.
All capacitors are ±5% tolerance.

$$R_3=\frac{R_2R_5}{R_2+R_5}$$

VOLTAGE GAIN (A_v diff)= $\frac{R_5}{R_1}$

INPUT IMPEDANCE

$$(Z_{INDIFF}) = 2\sqrt{R_1^2+\left(\frac{1}{\omega c}\right)^2}$$

Figure 6 - Differential Input Configuration

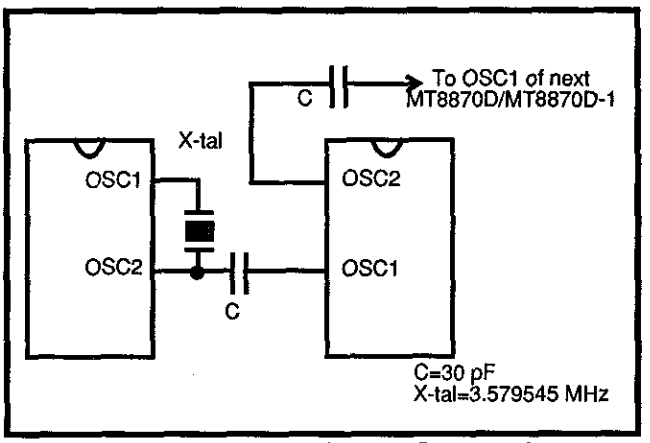


Figure 7 - Oscillator Connection

Parameter	Unit	Resonator
R1	Ohms	10.752
L1	mH	.432
C1	pF	4.984
C0	pF	37.915
Qm	-	896.37
Δf	%	±0.2%

Table 2. Recommended Resonator Specifications
Note: Qm=quality factor of RLC model, i.e., $1/2\Pi fR1C1$.

ications

IVER SYSTEM FOR BRITISH TELECOM POR 1151

ircuit shown in Fig. 9 illustrates the use of 70D-1 device in a typical receiver system. BT defines the input signals less than -34 dBm as n-operate level. This condition can be attained posing a suitable values of R_1 and R_2 to e 3 dB attenuation, such that -34 dBm input will correspond to -37 dBm at the gain setting of MT8870D-1. As shown in the diagram, the nent values of R_3 and C_2 are the guard time ments when the total component tolerance is or better performance, it is recommended to e non-symmetric guard time circuit in Fig. 8.

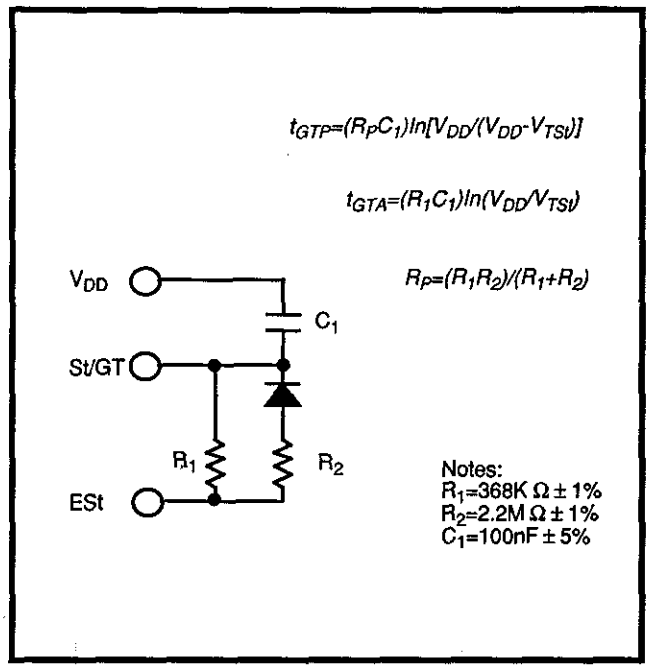
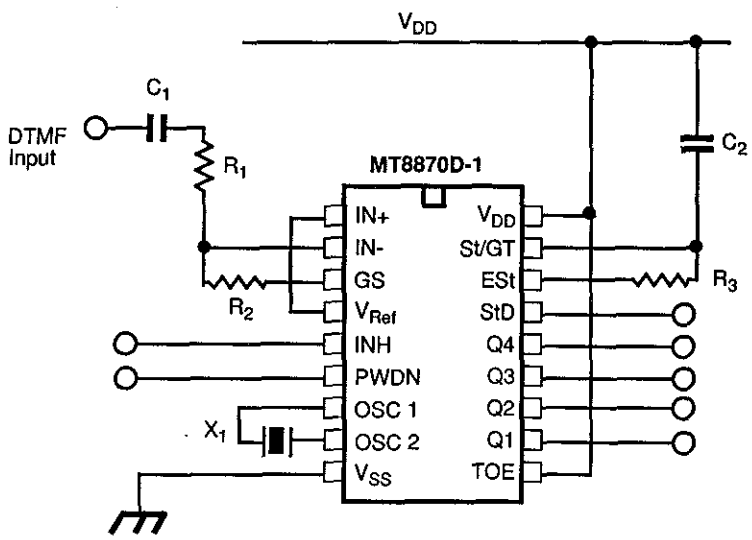


Figure 8 - Non-Symmetric Guard Time Circuit



NOTES:
R_1 = 102KΩ ± 1%
R_2 = 71.5KΩ ± 1%
R_3 = 390KΩ ±1 %
C_1,C_2 = 100 nF ± 5%
X_1 = 3.579545 MHz ± 0.1%
V_{DD} = 5.0V ± 5%

Figure 9 - Single-Ended Input Configuration for BT or CEPT Spec

Absolute Maximum Ratings†

	Parameter	Symbol	Min	Max	Units
1	DC Power Supply Voltage	V_{DD}		7	V
2	Voltage on any pin	V_I	V_{SS}-0.3	V_{DD}+0.3	V
3	Current at any pin (other than supply)	I_I		10	mA
4	Storage temperature	T_{STG}	-65	+150	°C
5	Package power dissipation	P_D		500	mW

† Exceeding these values may cause permanent damage. Functional operation under these conditions is not implied.
Derate above 75 °C at 16 mW / °C. All leads soldered to board.

Recommended Operating Conditions - Voltages are with respect to ground (V_{SS}) unless otherwise stated.

	Parameter	Sym	Min	Typ‡	Max	Units	Test Conditions
1	DC Power Supply Voltage	V_{DD}	4.75	5.0	5.25	V	
2	Operating Temperature	T_O	-40		+85	°C	
3	Crystal/Clock Frequency	fc		3.579545		MHz	
4	Crystal/Clock Freq.Tolerance	Δfc		±0.1		%	

‡ Typical figures are at 25°C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

DC Electrical Characteristics - V_{DD}=5.0V± 5%, V_{SS}=0V, -40°C ≤ T_O ≤ +85°C, unless otherwise stated.

		Characteristics	Sym	Min	Typ‡	Max	Units	Test Conditions
1	SUPPLY	Standby supply current	I_{DDQ}		10	25	µA	PWDN=V_{DD}
2	SUPPLY	Operating supply current	I_{DD}		3.0	9.0	mA	
3	SUPPLY	Power consumption	P_O		15		mW	fc=3.579545 MHz
4	INPUTS	High level input	V_{IH}	3.5			V	V_{DD}=5.0V
5	INPUTS	Low level input voltage	V_{IL}			1.5	V	V_{DD}=5.0V
6	INPUTS	Input leakage current	I_{IH}/I_{IL}		0.1		µA	V_{IN}=V_{SS} or V_{DD}
7	INPUTS	Pull up (source) current	I_{SO}		7.5	20	µA	TOE (pin 10)=0, V_{DD}=5.0V
8	INPUTS	Pull down (sink) current	I_{SI}		15	45	µA	INH=5.0V, PWDN=5.0V, V_{DD}=5.0V
9	INPUTS	Input impedance (IN+, IN-)	R_{IN}		10		MΩ	@ 1 kHz
10	INPUTS	Steering threshold voltage	V_{TSt}	2.2	2.4	2.5	V	V_{DD} = 5.0V
11	OUTPUTS	Low level output voltage	V_{OL}			V_{SS}+0.03	V	No load
12	OUTPUTS	High level output voltage	V_{OH}	V_{DD}-0.03			V	No load
13	OUTPUTS	Output low (sink) current	I_{OL}	1.0	2.5		mA	V_{OUT}=0.4 V
14	OUTPUTS	Output high (source) current	I_{OH}	0.4	0.8		mA	V_{OUT}=4.6 V
15	OUTPUTS	V_{Ref} output voltage	V_{Ref}	2.3	2.5	2.7	V	No load, V_{DD} = 5.0V
16	OUTPUTS	V_{Ref} output resistance	R_{OR}		1		kΩ	

‡ Typical figures are at 25°C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

rating Characteristics - V_{DD}=5.0V±5%, V_{SS}=0V, -40°C ≤ T_O ≤ +85°C ,unless otherwise stated.

Setting Amplifier

Characteristics	Sym	Min	Typ‡	Max	Units	Test Conditions
Input leakage current	I_{IN}			100	nA	$V_{SS} \le V_{IN} \le V_{DD}$
Input resistance	R_{IN}	10			MΩ	
Input offset voltage	V_{OS}			25	mV	
Power supply rejection	PSRR	50			dB	1 kHz
Common mode rejection	CMRR	40			dB	0.75 V ≤ V_{IN} ≤ 4.25 V biased at V_{Ref} =2.5 V
DC open loop voltage gain	A_{VOL}	32			dB	
Unity gain bandwidth	f_C	0.30			MHz	
Output voltage swing	V_O	4.0			V_{pp}	Load ≥ 100 kΩ to V_{SS} @ GS
Maximum capacitive load (GS)	C_L			100	pF	
Resistive load (GS)	R_L			50	kΩ	
Common mode range	V_{CM}	2.5			V_{pp}	No Load

870D AC Electrical Characteristics - V_{DD}=5.0V ±5%, V_{SS}=0V, -40°C ≤ T_O ≤ +85°C , using Test Circuit shown in Figure 10.

Characteristics	Sym	Min	Typ‡	Max	Units	Notes*
Valid input signal levels (each one of composite signal)		-29		+1	dBm	1,2,3,5,6,9
		27.5		869	mV_{RMS}	1,2,3,5,6,9
Negative twist accept				8	dB	2,3,6,9,12
Positive twist accept				8	dB	2,3,6,9,12
Frequency deviation accept		±1.5% ± 2 Hz				2,3,5,9
Frequency deviation reject		±3.5%				2,3,5,9
Third tone tolerance			-16		dB	2,3,4,5,9,10
Noise tolerance			-12		dB	2,3,4,5,7,9,10
Dial tone tolerance			+22		dB	2,3,4,5,8,9,11

All figures are at 25 °C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

*
- decibels above or below a reference power of 1 mW into a 600 ohm load.
- sequence consists of all DTMF tones.
- duration= 40 ms, tone pause= 40 ms.
- all condition consists of nominal DTMF frequencies.
- tones in composite signal have an equal amplitude.
- pair is deviated by ±1.5 %± 2 Hz.
- width limited (3 kHz) Gaussian noise.
- precise dial tone frequencies are (350 Hz and 440 Hz) ± 2 %.
- an error rate of better than 1 in 10,000.
- referenced to lowest level frequency component in DTMF signal.
- referenced to the minimum valid accept level.
- guaranteed by design and characterization.

MT8870D-1 AC Electrical Characteristics - V_{DD}=5.0V±5%, V_{SS}=0V, -40°C ≤ T_O ≤ +85°C , using Test Circuit shown in Figure 10.

	Characteristics	Sym	Min	Typ‡	Max	Units	Notes*
1	Valid input signal levels (each tone of composite signal)		-31		+1	dBm	Tested at V_{DD}=5.0V 1,2,3,5,6,9
			21.8		869	mV_{RMS}	
2	Input Signal Level Reject		-37			dBm	Tested at V_{DD}=5.0V 1,2,3,5,6,9
			10.9			mV_{RMS}	
3	Negative twist accept				8	dB	2,3,6,9,13
4	Positive twist accept				8	dB	2,3,6,9,13
5	Frequency deviation accept		±1.5%± 2 Hz				2,3,5,9
6	Frequency deviation reject		±3.5%				2,3,5,9
7	Third zone tolerance			-18.5		dB	2,3,4,5,9,12
8	Noise tolerance			-12		dB	2,3,4,5,7,9,10
9	Dial tone tolerance			+22		dB	2,3,4,5,8,9,11

‡ Typical figures are at 25 °C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

*NOTES
1. dBm= decibels above or below a reference power of 1 mW into a 600 ohm load.
2. Digit sequence consists of all DTMF tones.
3. Tone duration= 40 ms, tone pause= 40 ms.
4. Signal condition consists of nominal DTMF frequencies.
5. Both tones in composite signal have an equal amplitude.
6. Tone pair is deviated by ±1.5 %± 2 Hz.
7. Bandwidth limited (3 kHz) Gaussian noise.
8. The precise dial tone frequencies are (350 Hz and 440 Hz) ± 2 %.
9. For an error rate of better than 1 in 10,000.
10. Referenced to lowest level frequency component in DTMF signal.
11. Referenced to the minimum valid accept level.
12. Referenced to Fig. 10 input DTMF tone level at -25dBm (-28dBm at GS Pin) interference frequency range between 480-3400Hz.
13. Guaranteed by design and characterization.

Electrical Characteristics - V_{DD}=5.0V±5%, V_{SS}=0V, -40°C ≤ To ≤ +85°C , using Test Circuit shown in Figure 10.

	Characteristics	Sym	Min	Typ‡	Max	Units	Conditions
TIMING	Tone present detect time	t_{DP}	5	11	14	ms	Note 1
	Tone absent detect time	t_{DA}	0.5	4	8.5	ms	Note 1
	Tone duration accept	t_{REC}			40	ms	Note 2
	Tone duration reject	$t_{\overline{REC}}$	20			ms	Note 2
	Interdigit pause accept	t_{ID}			40	ms	Note 2
	Interdigit pause reject	t_{DO}	20			ms	Note 2
OUTPUTS	Propagation delay (St to Q)	t_{PQ}		8	11	µs	TOE=V_{DD}
	Propagation delay (St to StD)	t_{PStD}		12	16	µs	TOE=V_{DD}
	Output data set up (Q to StD)	t_{QStD}		3.4		µs	TOE=V_{DD}
	Propagation delay (TOE to Q ENABLE)	t_{PTE}		50		ns	load of 10 kΩ, 50 pF
	Propagation delay (TOE to Q DISABLE)	t_{PTD}		300		ns	load of 10 kΩ, 50 pF
PDWN	Power-up time	t_{PU}		30		ms	Note 3
	Power-down time	t_{PD}		20		ms	
CLOCK	Crystal/clock frequency	f_C	3.5759	3.5795	3.5831	MHz	
	Clock input rise time	t_{LHCL}			110	ns	Ext. clock
	Clock input fall time	t_{HLCL}			110	ns	Ext. clock
	Clock input duty cycle	DC_{CL}	40	50	60	%	Ext. clock
	Capacitive load (OSC2)	C_{LO}			30	pF	

figures are at 25°C and are for design aid only: not guaranteed and not subject to production testing.

sed for guard-time calculation purposes only.
hese, user adjustable parameters, are not device specifications. The adjustable settings of these minimums and maximums
e recommendations based upon network requirements.
ith valid tone present at input, t_{PU} equals time from PDWN going low until ESt going high.

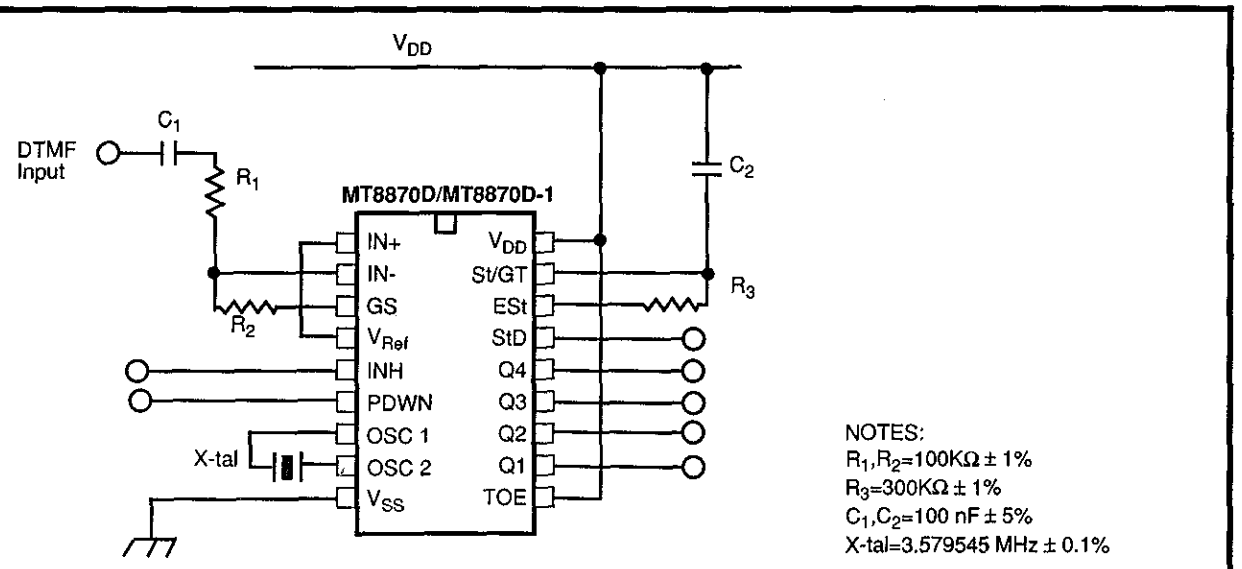
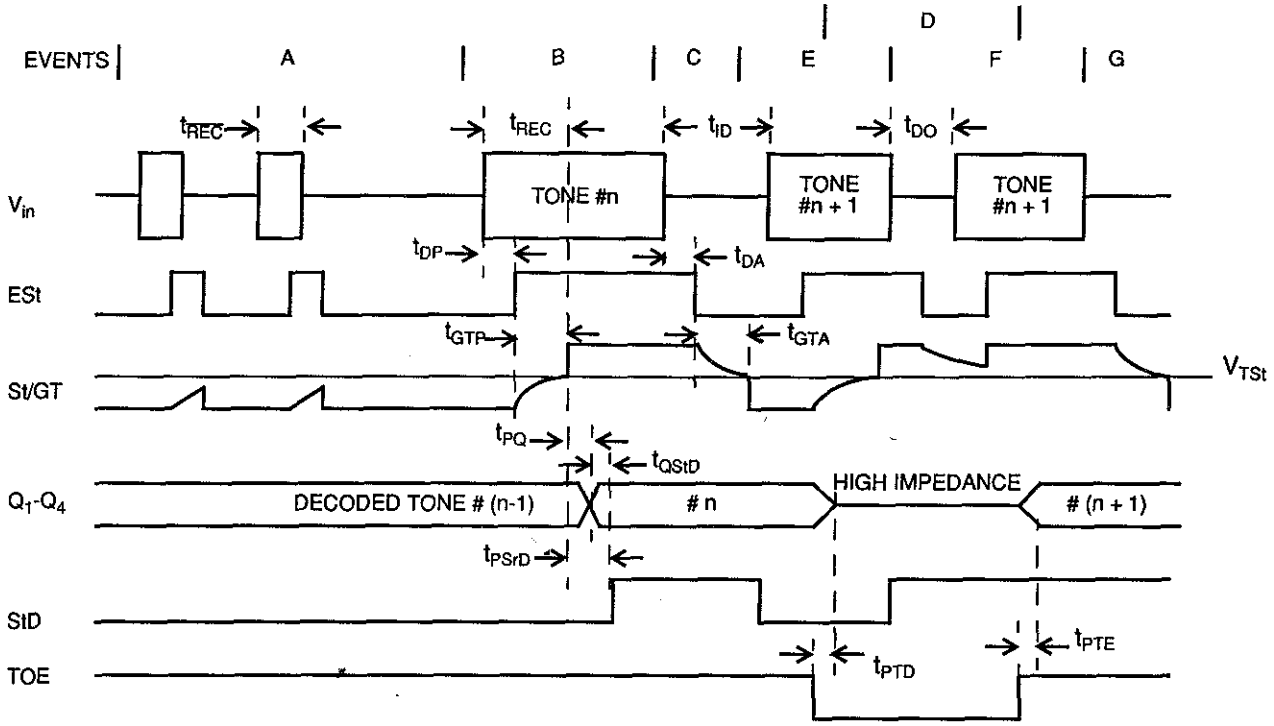


Figure 10 - Single-Ended Input Configuration



EXPLANATION OF EVENTS

A) TONE BURSTS DETECTED, TONE DURATION INVALID, OUTPUTS NOT UPDATED.

B) TONE #n DETECTED, TONE DURATION VALID, TONE DECODED AND LATCHED IN OUTPUTS

C) END OF TONE #n DETECTED, TONE ABSENT DURATION VALID, OUTPUTS REMIAN LATCHED UNTIL NEXT VALID TONE.

D) OUTPUTS SWITCHED TO HIGH IMPEDANCE STATE.

E) TONE #n + 1 DETECTED, TONE DURATION VALID, TONE DECODED AND LATCHED IN OUTPUTS (CURRENTLY HIGH IMPEDANCE).

F) ACCEPTABLE DROPOUT OF TONE #n + 1, TONE ABSENT DURATION INVALID, OUTPUTS REMAIN LATCHED.

G) END OF TONE #n + 1 DETECTED, TONE ABSENT DURATION VALID, OUTPUTS REMAIN LATCHED UNTIL NEXT VALID TONE.

EXPLANATION OF SYMBOLS

V_{in} DTMF COMPOSITE INPUT SIGNAL.

ESt EARLY STEERING OUTPUT. INDICATES DETECTION OF VALID TONE FREQUENCIES.

St/GT STEERING INPUT/GUARD TIME OUTPUT. DRIVES EXTERNAL RC TIMING CIRCUIT.

Q_1-Q_4 4-BIT DECODED TONE OUTPUT.

StD DELAYED STEERING OUTPUT. INDICATES THAT VALID FREQUENCIES HAVE BEEN PRESENT/ABSENT FOR THE REQUIRED GUARD TIME THUS CONSTITUTING A VALID SIGNAL.

TOE TONE OUTPUT ENABLE (INPUT). A LOW LEVEL SHIFTS Q_1-Q_4 TO ITS HIGH IMPEDANCE STATE.

$t_{\overline{REC}}$ MAXIMUM DTMF SIGNAL DURATION NOT DETECED AS VALID

t_{REC} MINIMUM DTMF SIGNAL DURATION REQUIRED FOR VALID RECOGNITION

t_{ID} MAXIMUM TIME BETWEEN VALID DTMF SIGNALS.

t_{DO} MAXIMUM ALLOWABLE DROP OUT DURING VALID DTMF SIGNAL.

t_{DP} TIME TO DETECT THE PRESENCE OF VALID DTMF SIGNALS.

t_{DA} TIME TO DETECT THE ABSENCE OF VALID DTMF SIGNALS.

t_{GTP} GUARD TIME, TONE PRESENT.

t_{GTA} GUARD TIME, TONE ABSENT.

Figure 11 - Timing Diagram

ประวัติผู้เขียน

นายเชาวฤทธิ์ บุญตา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนศรีคูณวิทยบัลลังก์ ต. จานลาน อ.พนา จ. อำนาจเจริญ เมื่อ ปีการศึกษา 2543 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับอุดมศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา

นายสุทิน ทาคำห่อ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนศรีน้ำคำศึกษา ต.เตย อ.ม่วงสามสิบ จ. อุบลราชธานี เมื่อ ปีการศึกษา 2543 ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับอุดมศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี