บทที่ 5
วงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารพื้นฐานของตู้ชุมสายโทรศัพท์

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารที่สำคัญ และจำเป็นต่อหน้าที่การทำงานเป็นชุมสายโทรศัพท์โดยทั่วไป ได้แก่วงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และวงจรเชื่อมโยงสายนอก อันจัดว่าเป็นอุปกรณ์สื่อสารภายนอกตู้ชุมสายโทรศัพท์ และวงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF ซึ่งเป็นอุปกรณ์สื่อสารสำหรับรับข้อมูลอย่างเดียวอยู่ภายในตู้ชุมสายโทรศัพท์ รวมทั้งวงจรกำเนิดสัญญาณเสียงต่าง ๆ ในระบบตู้ชุมสายอันได้แก่ Call Progress Tone และ สัญญาณเสียง DTMF ซึ่งใช้หลักการกำเนิดเสียงเหมือนกันดังจะกล่าวถึงในรายละเอียดภายในบทนี้ต่อไป

สิ่งที่น่าสนใจคือ หน่วยควบคุมย่อยสำหรับวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และวงจรเชื่อมโยงสายนอกนั้น มีลักษณะโครงสร้างในรายละเอียดของฮาร์ดแวร์เหมือนกันทุกประการ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบโมดุลของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และวงจรเชื่อมสายนอกให้มีขนาด และมาตรฐานขาคอนเนกเตอร์เหมือนกันทุกประการ ทั้งคอนเนกเตอร์แหล่งจ่ายไฟ คอนเนกเตอร์ควบคุม และคอนเนกเตอร์ข่าวสาร จะมีแตกต่างกันแต่เพียงหน้าที่ของคอนเนกเตอร์ควบคุมอยู่ 2 ขา ซึ่งเป็นคอนเนกเตอร์สำหรับสัญญาณอินพุท 1 ขา และสัญญาณเอาท์พุทอีก 1 ขา ดังนี้

พอร์ต	วงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน	วงจรเชื่อมโยงสายนอก
อินพุท	RING_ENABLE	HOOK_SWITCH
เอาท์พุท	HOOK_STATUS	RING_DETECT

เมื่อเป็นเช่นนี้แล้ว ส่วนของการ์ดสำหรับหน่วยควบคุมย่อยของวงจรเชื่อมโยงทั้งสองนี้ จึงสามารถใช้แทนกันได้โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงส่วนใดส่วนหนึ่งทางฮาร์ดแวร์เลย การใช้งานทำเพียงแต่เปลี่ยนโปรแกรมควบคุมเท่านั้น จึงเห็นได้ว่า เป็นการสะดวกต่อการเตรียมแผงวงจรอะไหล่ และเป็นการลดต้นทุนในการผลิตลงได้ด้วย

ประโยชน์ประการที่สำคัญต่อไปในอนาคตสำหรับการออกแบบในลักษณะนี้ คือ ถ้าผู้

พัฒนาสามารถเขียนโปรแกรมที่มีความสามารถพอ ฮาร์ดแวร์ในส่วนนี้จะสามารถทำการควบคุมวงจรเชื่อมโยงได้ทั้งสองชนิดบนแผงวงจรหน่วยควบคุมย่อยแผงเดียวกัน เป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นของระบบให้มากขึ้นได้

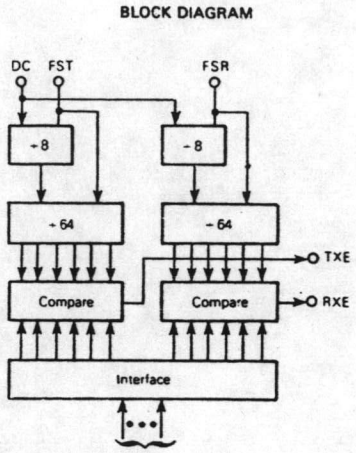
สำหรับหน่วยควบคุมย่อยสำหรับควบคุมวงจรรับสัญญาณ DTMF นี้ ได้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปจากหน่วยควบคุมย่อยสำหรับวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน/สายนอก บ้างเล็กน้อย คือในส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกา และส่วนวงจรลอจิกสำหรับการถอดรหัสต่าง ๆ ได้ยุบลงไปอยู่ในวงจรรวมตระกูล PAL ทำให้ขนาดวงจรหน่วยควบคุมย่อยมีขนาดเล็กลง ซึ่งจะทำให้กระบวนการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ การประกอบ และการตรวจซ่อมกระทำได้สะดวกขึ้น แต่หมายเลขพอร์ตสำคัญ ๆ ยังคงเป็นเช่นเดิม ทำให้ส่วนของโปรแกรมที่ต้องมีเหมือนกับหน่วยควบคุมย่อยสำหรับโทรศัพท์ภายใน หรือสายนอก สามารถใช้โปรแกรมเดียวกันได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงในรายละเอียด โปรแกรมดังกล่าวได้แก่ โปรแกรมในส่วนบริการอินเตอร์รัพท์ที่ใช้สำหรับติดต่อกับหน่วยควบคุมหลัก หรือหน่วยโปรแกรมวงจรจัดช่องเวลา เป็นต้น

ก่อนจะอธิบายถึงรายละเอียด และการทำงานของวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารทั้งสามแบบ ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมานี้ จะขออธิบายถึงรายละเอียดการทำงานของวงจรรวมสำเร็จรูป ที่จำเป็นต่อการออกแบบวงจรเชื่อมโยงทั้งสามก่อน 2 วงจรรวมด้วยกันคือ วงจรรวมสำหรับกำหนดช่องเวลา (TSAC) เบอร์ MC14416 และวงจรรวมสำหรับสุ่มและแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐานของ CCITT (CODEC) เบอร์ MC14403 ของบริษัทโมโตโรล่า

5.1 Time Slot Assigner (TSAC MC14416)

วงจรรวมนี้มีความสามารถในการสร้างสัญญาณประจำช่องเวลา เพื่อเป็นสัญญาณกระตุ้นให้ส่วนอื่น ๆ ของวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารใดใด เริ่มทำงานส่งสัญญาณข้อมูลข่าวสารให้กับระบบ วงจรรวมตัวหนึ่ง ๆ จะมีวงจรสำหรับสร้างสัญญาณประจำช่องเวลาดังกล่าวถึง 2 วงจร เพื่อใช้เป็นตัวสร้างสัญญาณสำหรับส่ง และรับข่าวสารอย่างละวงจร การโปรแกรมช่องเวลาที่ต้องการให้วงจรรวมนี้ส่งสัญญาณออกมา สามารถกระทำได้โดยอิสระจากกันทั้ง 2 วงจร พอร์ตสำหรับการโปรแกรมจะเป็นพอร์ตแบบอนุกรม และมีขา CHIP_SELECT เพื่อระบุตัวที่จะทำการโปรแกรม จึงทำให้ใช้สายสัญญาณสำหรับการโปรแกรม TSAC ร่วมกันได้หลาย ๆ ตัว

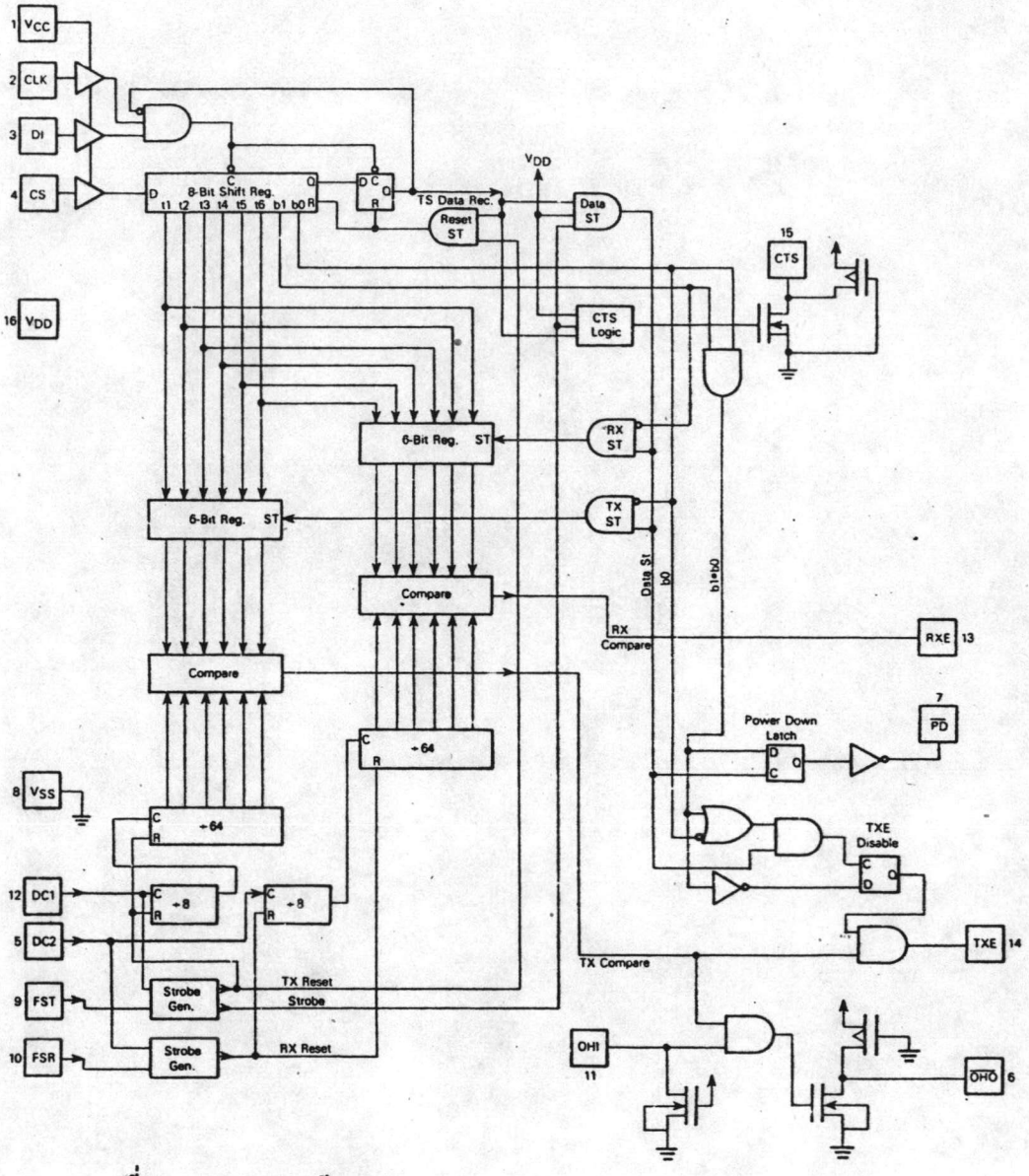
ไดอะแกรมโครงสร้างของ TSAC แสดงดังในรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่ามีส่วนที่เป็นวงจรนับช่องเวลาอยู่ 2 วงจร แต่ละวงจรจะถูกนับด้วย PCM_CK และจะถูกรีเซ็ตด้วย FST และ FSR ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 โครงสร้างภายในวงจรรวม Time Slot Assigner

สำหรับในส่วนอินเตอร์เฟสจะมีโครงสร้างเป็นวงจรเลื่อนทะเบียน 8 บิต อันประกอบไปด้วยขาอินพุท DI CLK และ CS ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ขา DI จะเป็นขารับข้อมูลที่ต้องการโปรแกรม ขา CLK ใช้กำเนิดขอบสำหรับการเลื่อนข้อมูลของการโปรแกรม ส่วนสัญญาณ CS นั้นมีไว้อีนาเบิ้ล สัญญาณอินพุททั้งสอง เมื่อกระบวนการโปรแกรมสิ้นสุดสามารถทราบได้จากสัญญาณเอาท์พุทขา CTS ซึ่งมีลักษณะเอาท์พุทแบบ OPEN-DRAIN จึงทำให้สามารถต่อขา CTS นี้จากทุก ๆ TSAC เข้าด้วยกันโดยตรง

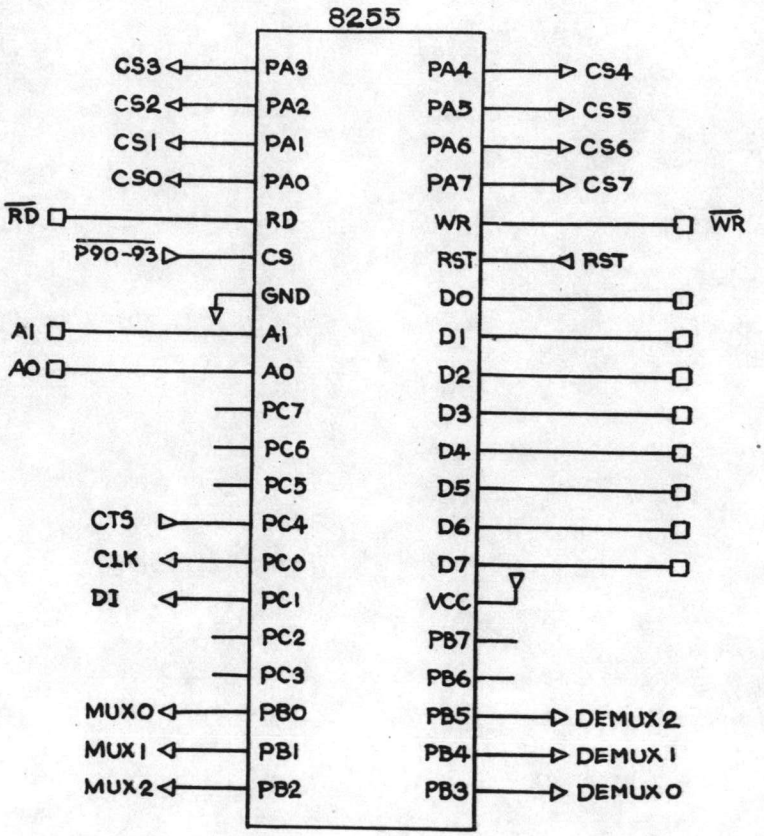
หน่วยควบคุมย่อยที่ออกแบบขึ้นมา ไม่ว่าจะเป็นหน่วยควบคุมย่อยสำหรับควบคุมวงจรใดก็ตาม ถ้ามีวงจรกำหนดช่องเวลาที่ใช้ TSAC นี้ จะมีลักษณะของพอร์ตสำหรับโปรแกรมเดียวกันหมด ซึ่งจะทำให้ส่วนของโปรแกรมย่อยที่ทำหน้าที่โปรแกรม TSAC นี้ใช้ด้วยกันโดยไม่ต้องเปลี่ยนรายละเอียดของหมายเลขพอร์ตเลย ในที่นี้ได้ใช้ I/O พอร์ต เบอร์ 8255 ของบริษัทอินเทล ซึ่งเป็น I/O พอร์ตที่สามารถโปรแกรมการเป็นอินพุท เอาท์พุทของแต่ละพอร์ตซึ่งมีอยู่ 3 พอร์ตได้ โดยเฉพาะพอร์ต C นั้นสามารถแบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มละ 4 บิต โดยที่แต่ละกลุ่มสามารถกำหนดการเป็นอินพุท เอาท์พุทได้ โดยอิสระต่อกัน รูปวงจรการใช้พอร์ต 8255 สำหรับโปรแกรม TSAC แสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 รายละเอียดภายในวงจรรวม Time Slot Assigner

พอร์ต A ของ 8255 ใช้สำหรับเลือกชี้ TSAC ที่ต้องการโปรแกรมช่องเวลา (CS0 - CS7) การเขียนพอร์ต A นี้จะเขียนให้เป็น 1 ได้ทีละบิตเท่านั้น เพราะขาทั้ง 8 ของพอร์ตนี้ถูกเชื่อมโยงกับ TSAC โดยตรงทั้ง 8 ตัว

พอร์ต C จะโปรแกรมให้ 4 บิตบนทำงานเป็นอินพุทพอร์ตคอยรับสัญญาณจาก CTS ของ TSAC ที่ต่อร่วมกันอยู่ 8 ตัวเข้ามาทาง บิต 4 ของพอร์ตนี้ ส่วนสัญญาณ DI และ CLK จะเป็นสัญญาณเอาท์พุทจากบิต 1 และบิต 0 ตามลำดับ กระบวนการโปรแกรม TSAC ทั้ง 8 ตัวนั้น จะเป็นไปตามกระบวนการดังนี้



รูปที่ 5.3 วงจรที่ใช้ในการโปรแกรม Time Slot Assigner

1. เลือก TSAC ที่ต้องการโปรแกรมโดยการเขียนพอร์ต A ด้วยข้อมูลที่เป็น "1" เฉพาะบิตที่ต่อกับ TSAC ตัวที่ต้องการ

2. สร้างขบวนข้อมูลอนุกรม โดยเริ่มจากการเขียนพอร์ต C โดยให้บิต 1 ของพอร์ต เป็นข้อมูลบิตแรกที่ต้องการเขียน ส่วนบิต 0 ให้เป็น "0"

3. หน่วงเวลาเล็กน้อยก่อนที่จะเขียนพอร์ต C ทับลงไปโดยให้บิต 1 คงเดิม แต่ให้บิต 0 เปลี่ยนเป็น "1"

4. ทำซ้ำกระบวนการข้อ 2 และข้อ 3 สำหรับข้อมูลที่ต้องการโปรแกรมบิตต่อ ๆ ไปจนครบ 8 บิต

5. คอยตรวจสัญญาณ CTS โดยการอ่านพอร์ต C มาดูบิต 4 ถ้าพบว่ามีสัญญาณเป็น "1" ก็ให้เคลียร์พอร์ต A ให้เป็น "0" ทั้งหมด

สำหรับข้อมูลสำหรับการโปรแกรม TSAC ทั้ง 8 บิตนั้นมีความหมายดังนี้ คือ ข้อมูล 6 บิตล่าง จะใช้ระบุช่องเวลาที่ต้องการได้ถึง 64 ช่องเวลา แต่เราใช้เพียง 32 ช่องเวลา เพราะจะมีสัญญาณ FST หรือ FSR มาทำการเคลียร์วงจรนับภายในอยู่แล้วเมื่อครบ 32 ช่องเวลา

ส่วนข้อมูล 2 บิตบนนั้น เป็นโหมดที่ต้องการให้ทำงาน โดยมีความหมายดังนี้

บิตบนสุด(b0)	บิตถัดมา(b1)	ความหมาย
0	0	ตั้งค่าช่องเวลาสำหรับรับ และส่ง
0	1	ตั้งค่าช่องเวลาสำหรับรับ
1	0	ตั้งค่าช่องเวลาสำหรับส่ง
1	1	ให้ TSAC อยู่ในสภาวะเฉื่อยงาน

การเลื่อนข้อมูลสำหรับโปรแกรม TSAC นี้จะเริ่มจากบิต b0 ก่อน

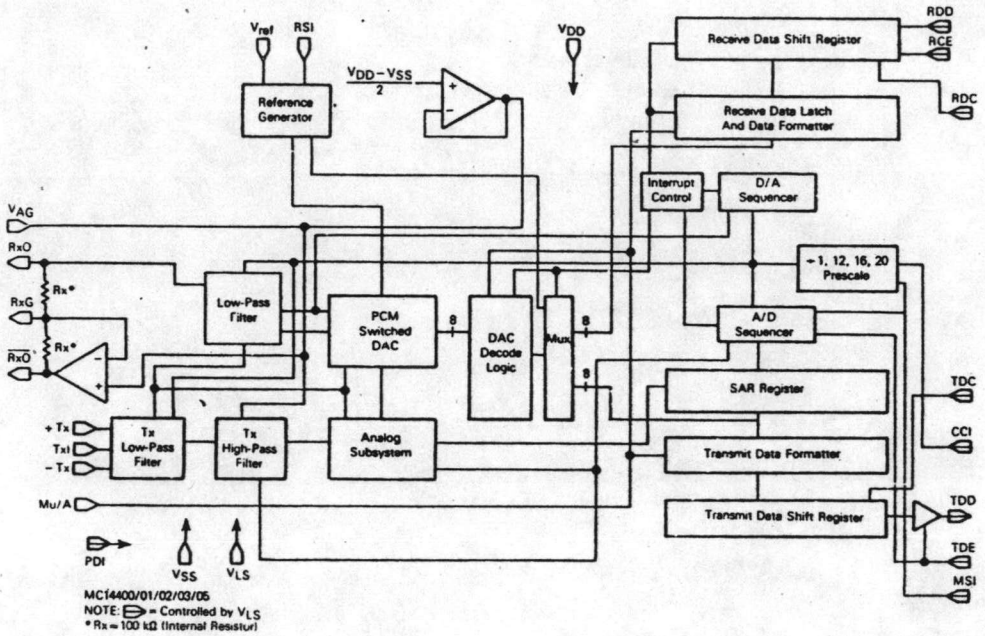
นอกจากใช้สำหรับโปรแกรม TSAC แล้ว พอร์ต 8255 นี้ยังใช้สำหรับการเลือกเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับ และส่งด้วย โดยใช้พอร์ต B ที่ถูกโปรแกรมให้เป็นเอาท์พุท บิต 0 ถึง บิต 2 ใช้ชี้ไปยังวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณระบุถึงเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับข่าวสาร ในขณะที่เอาท์พุทบิต 3 ถึงบิต 5 ใช้ชี้วงจรดีมัลติเพล็กซ์ให้ส่งสัญญาณข่าวสารไปยังเส้นสัญญาณร่วมสำหรับส่งที่ต้องการ

5.2 CODEC

การออกแบบวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารชนิดอนาลอกทุกวงจรในโครงงานนี้ ได้ใช้วงจรรวม CODEC เบอร์ MC14403 ของบริษัทโมโตโรล่า ซึ่งมีความสามารถในการแปลงสัญญาณจากภาคอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิตอลพร้อมที่จะส่งไปยังเส้นสัญญาณร่วมของระบบ และกระทำในกระบวนการกลับกัน คือรับสัญญาณดิจิตอลเข้ามาเพื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาลอกส่งต่อให้กับวงจรในภาคอนาลอกต่อไป โครงสร้างภายในของวงจรรวมนี้แสดงดังในรูปที่ 5.4

การทำงานของ CODEC จะทำหน้าที่ทางภาคส่งตั้งแต่ การสุ่มสัญญาณตามจังหวะที่ให้ซึ่งก็คือ สัญญาณ 8 KHz ซึ่งมาจากวงจรที่ทำหน้าที่กำหนดช่องเวลา (TSAC) นั่นเอง จากนั้นก็เอาระดับสัญญาณที่สุ่มได้มาทำการควอนไตซ์ และแปลงเป็นสัญญาณข้อมูลได้ทั้งมาตรฐาน

μ-LAW และ A-LAW ซึ่งกำหนดได้จากขา V_{LS} เท่านั้น ข้อมูลที่ได้รับการแปลงแล้วนี้จะถูกส่งไปยังวงจรเลื่อนทะเบียนสำหรับส่งออกทางขา TDD ในช่องเวลาที่กำหนดตามสัญญาณที่เข้ามาทางขา TDE ด้วยสัญญาณ PCM_CK จากขา TDC



รูปที่ 5.4 โครงสร้างภายในวงจรรวม CODEC

ส่วนการทำงานในภาครับของ CODEC นั้น สัญญาณข้อมูลข่าวสารแบบดิจิตอลจะถูกเลื่อนทะเบียนเข้ามาทางขา RDD ด้วยสัญญาณ PCM_CK จากขา RDC ในช่องเวลาที่กำหนดตามสัญญาณทางขา RDE จนครบ 8 บิต แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ไปแปลงให้อยู่ในรูปพัลส์ทางอนาลอก ก่อนจะส่งไปยังวงจรฟิลเตอร์ที่มีอยู่ภายในวงจรรวมนี้ด้วย แปลงสัญญาณจากขบวนสัญญาณ PAM ให้เป็นสัญญาณอนาลอกที่ต่อเนื่องก่อนจะส่งออกไปยังวงจรอนาลอกภายนอกต่อไป

เนื่องจากหน้าที่การจัดการสัญญาณต่าง ๆ มีอยู่ในวงจรรวม CODEC นี้แล้ว การออกแบบโดยใช้วงจรรวมนี้ จึงทำให้ขนาดของวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ มีขนาดเล็ก โมดุลของวงจรเชื่อมโยงทั้ง 3 แบบที่ได้ทดลองออกแบบและสร้างขึ้นมานี้ มีขนาดเพียง 1" X 3.5" เท่านั้น

5.3 วงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน

หน้าที่ของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน มีดังนี้คือ

1. ป้อนกระแสไฟตรงให้กับเครื่องรับโทรศัพท์ของผู้ใช้บริการ
2. ตรวจสภาวะการยกหู วางหูของเครื่องรับโทรศัพท์นั้น
3. ส่งสัญญาณกระดิ่งไปสู่เครื่องโทรศัพท์
4. แปลงสัญญาณระหว่างทางด้านอนาลอก และข้อมูลข่าวสารในรูปดิจิตอลของระบบ

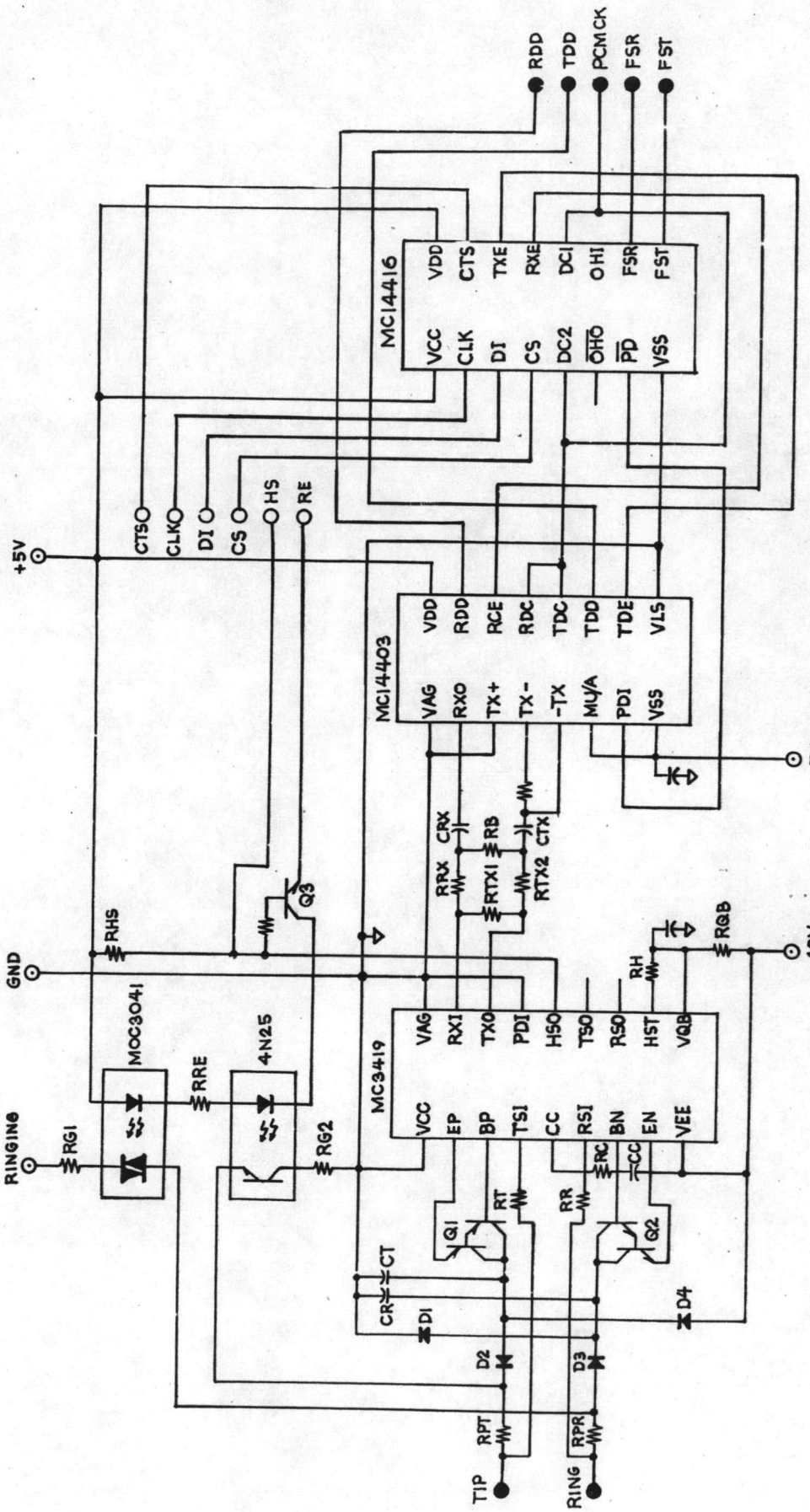
ในการออกแบบโมดุลวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในนี้ จะใช้รูปแบบใดก็ได้ เพียงแต่ให้ทำงานตามหน้าที่ที่วางไว้ และมีขาต่อออกจากโมดุลตามที่กำหนดไว้บน หน่วยควบคุมย่อยเท่านั้น ดังนั้นจะเห็นว่าเราสามารถเปลี่ยนแปลงวงจรในส่วนนี้ได้ โดยไม่ต้องแก้ไขแผงวงจรของหน่วยควบคุมย่อยเลยก็ได้

สำหรับวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในที่สร้างเป็นเครื่องต้นแบบขึ้นมานี้ ได้ใช้วงจรรวมเบอร์ MC3419-1L (SLIC) ของบริษัทโมโตโรล่า เป็นตัวอินเตอร์เฟสกับโทรศัพท์ซึ่งจะบริการสัญญาณต่าง ๆ ให้กับเครื่องโทรศัพท์ตามมาตรฐานได้เป็นอย่างดี วงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในที่ออกแบบขึ้นมานี้แสดงได้ดังในรูปที่ 5.5

วงจรรวม MC3419-1L จะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟตรงให้กับโทรศัพท์ผ่าน ทรานซิสเตอร์ดาร์ลิงตันทั้งสองตัว สัญญาณเสียงตามสายโทรศัพท์จะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสที่ขา TSI และ RSI ผ่าน R_T และ R_R ตามลำดับ สัญญาณกระแสทั้งสองนี้จะถูกแปลงโดยวงจรภายใน SLIC ไปเป็นแรงดันที่ขาอนาลอกเอาท์พุท TXO ในขณะเดียวกันสัญญาณอินพุทจากขา RXI ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสซ้อนทับไปบนสายโทรศัพท์

เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ จะทำให้อิมพีแดนซ์ของสายลดลง วงจร SLIC สามารถตรวจจับและส่งสัญญาณการยกหูดังกล่าวได้ทางขา HSO ซึ่งสัญญาณดังกล่าวนี้จะถูกอ่านได้โดยหน่วยควบคุมย่อย และในขณะเดียวกันก็จะทำหน้าที่หยุดสัญญาณกระดิ่งด้วย

การแทรกสัญญาณกระดิ่งกระทำผ่าน วงจรออปโต ทั้งสองโดยสัญญาณจากหน่วยควบคุมย่อย RE (RING_ENABLE) จะทำหน้าที่จุด LED ภายในตัวออปโตคับเปิ้ล ทำให้ไตรแอคและทรานซิสเตอร์ภายในนำกระแสสัญญาณกระดิ่ง ส่งไปยังเครื่องโทรศัพท์ โดยมีไดโอด 2 ตัวทำหน้าที่ป้องกันกระแสนี้เข้าสู่วงจร SLIC



รูปที่ 5.5 วงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน

การจุด LED ภายในออปโตคัปเปิ้ลกระทำโดยใช้สัญญาณ RE ดึงขาอีมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กลงกราวน์ ซึ่งขาเบสของทรานซิสเตอร์ตัวนี้ถูกไบแอสด้วยสัญญาณ HSO จากวงจร SLIC เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ ทรานซิสเตอร์ตัวนี้จะหยุดนำกระแสได้ทันที จึงเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับโทรศัพท์ภายใน อันเกิดจากหน่วยควบคุมย่อยมาหยุดสัญญาณกระดิ่งนี้ไม่ทัน

สัญญาณอนาลอกอินพุท และเอาท์พุทของ SLIC จะเชื่อมโยงกับวงจร CODEC ซึ่งถูกควบคุมด้วย TSAC อีกทีหนึ่ง จึงทำให้ CODEC ทำการแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณอนาลอกของ SLIC กับสัญญาณดิจิตอลที่เชื่อมต่อกับวงจร มัลติเพล็กซ์ และ ดีมัลติเพล็กซ์ บนหน่วยควบคุมย่อยเพื่อรับส่งสัญญาณดิจิตอลนี้ กับเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับ และส่งไปยังหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาอีกต่อหนึ่ง

จากวงจรจะเห็นว่ามีคอนเนกเตอร์อยู่ 3 ชุด ชุดหนึ่งคือชุดไฟเลี้ยงซึ่งไม่ได้เขียนรวมเป็นกลุ่มไว้ให้เห็น ประกอบไปด้วย ไฟเลี้ยง +5V, GND, -5V, -48V, และสัญญาณกระดิ่งซึ่งเป็นสัญญาณไฟสลับ 50 Hz ขนาด 70 Vrms ซ้อนทับบน -48V

คอนเนกเตอร์อีกชุดหนึ่งเป็นชุดคอนเนกเตอร์ ที่ต่อเชื่อมอยู่กับหน่วยควบคุมย่อย อันประกอบไปด้วย

CTS เป็นสัญญาณบอกหน่วยควบคุมย่อยว่ากระบวนการโปรแกรม TSAC สิ้นสุดแล้ว

CLK ใช้ในการเลื่อนทะเบียนข้อมูลสำหรับการโปรแกรม TSAC

DI เป็นขาเข้าของสัญญาณข้อมูลการโปรแกรม TSAC

CS เป็นขาอีนาเบิ้ลการโปรแกรม TSAC

HS เป็นขาสัญญาณบอกสถานะการยกหูโทรศัพท์ สัญญาณ HS จากวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในทั้ง 8 วงจร บนแผงวงจรจะประกอบเป็นสัญญาณสำหรับอินพุทพอร์ตที่สามารถอ่านได้โดยหน่วยควบคุมย่อยเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

RE เป็นสัญญาณจากหน่วยควบคุมย่อย ใช้สำหรับกระตุ้นการแทรกสัญญาณกระดิ่งให้กับวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์นี้ สัญญาณ RE ของแต่ละวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในนี้ได้มาจากแต่ละบิตของเอาท์พุทพอร์ตของหน่วยควบคุมย่อย

คอนเนกเตอร์ชุดสุดท้ายของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในนี้คือ ชุดที่ใช้เป็นทางเดินของสัญญาณต่าง ๆ ที่ใช้นำสัญญาณข่าวสารทั้งอนาลอก และดิจิตอล สัญญาณดังกล่าวนี้ประกอบไปด้วย

RDD เป็นขาสัญญาณที่ใช้รับสัญญาณดิจิตอลมาจากวงจรมัลติเพล็กซ์ ที่ใช้เลือกข่าวสารจากเส้นสัญญาณร่วมสำหรับรับ

TDD เป็นขาสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลข่าวสารไปยังวงจรดีมัลติเพล็กซ์ เพื่อส่งออกไปยังเส้นสัญญาณร่วมสำหรับส่ง

PCM_CK สัญญาณ PCM_CK จากแผงวงจรด้านหลังซึ่งผ่านบัฟเฟอร์อีกชั้นหนึ่งแล้ว

FSR สัญญาณ FSR ซึ่งผ่านบัฟเฟอร์แล้ว

FST สัญญาณ FST ซึ่งผ่านบัฟเฟอร์แล้ว

TIP และ RING ซึ่งเป็นสัญญาณแบบ 2 สายสำหรับโทรศัพท์ สัญญาณทั้งสองเส้นนี้จากทุกวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในทั้ง 8 วงจร จะต่อไปยังคอนเนกเตอร์ด้านหลังอีกชุดหนึ่งของแผงวงจรหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน/สายนอก เพื่อต่อออกภายนอกผ่าน MAIN DISTRIBUTION FRAME ต่อไป

5.4 วงจรเชื่อมโยงสายนอก

วงจรเชื่อมโยงสายนอกจะทำหน้าที่ รับส่งสัญญาณต่าง ๆ ทั้งสัญญาณการขอติดต่อและสัญญาณเสียง กับสายโทรศัพท์จากองค์การโทรศัพท์ ซึ่งสายจากองค์การโทรศัพท์นี้จะมาจากสาย TIP กับ RING ของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในขององค์การโทรศัพท์นั่นเอง ดังนั้น หน้าที่ของวงจรเชื่อมโยงสายนอกจึงต้องทำการจำลองสถานะต่าง ๆ ของเครื่องโทรศัพท์มาตรฐาน เพื่อเชื่อมโยงกับสายโทรศัพท์ขององค์การโทรศัพท์ สถานะดังกล่าวได้แก่ การยกหู การวางหู การส่งสัญญาณหมุนในรูปพัลส์ รวมทั้งการตรวจจับสัญญาณกระดิ่งที่จะมีการเรียกมาจากสายนอกด้วย บางวงจรเชื่อมโยงสายนอกอาจมีการสร้างสัญญาณ DTMF ในวงจรเลย แต่ในโครงงานที่ออกแบบขึ้นมานี้ไม่ได้มีการสร้างสัญญาณ DTMF ด้วยตนเอง

การยกหู วางหู และการส่งพัลส์ มีหลักการง่าย ๆ คือ การยกหูจะมีการเปลี่ยนอิมพีแดนซ์ของวงจรเชื่อมโยงนั่นคือ การเพิ่มโหลดทางไฟตรงให้กับ สายนอก นั่นเอง สำหรับการส่งพัลส์นั้น ก็คือการยกหูขึ้นมาสักระยะหนึ่ง (เป็นการบอกให้สายนอกรับรู้ และเตรียมตัวรับพัลส์ได้) จากนั้นก็ทำการวางหู และยกหูอย่างรวดเร็ว 1 รอบถือเป็นพัลส์หมายเลข "1" ถ้าทำลักษณะนี้ติดต่อกันกี่รอบก็ตาม จะถือเป็นพัลส์หมายเลขนั้น เมื่อส่งพัลส์หมายเลขแรกไปแล้วต้องการส่งต่ออีก ก็ให้เว้นช่วงระหว่างหมายเลขสักระยะหนึ่งก่อนส่ง พัลส์หมายเลขถัดไป การเปลี่ยนแปลงโหลดทางไฟฟ้าให้แก่วงจรนี้ ทำได้โดยวิธีง่าย ๆ คือใช้รีเลย์ในการสวิทช์โหลดให้ต่อกับคู่สายเท่านั้นเอง

ส่วนการตรวจจับสัญญาณกระดิ่งนั้น อธิบายได้ดังนี้ ตามปกติขณะวางหูอยู่ คอนแทคของรีเลย์จะสวิทช์ไปยังส่วนตรวจจับสัญญาณกระดิ่งนี้ ในโทรศัพท์ธรรมดา ส่วนตรวจจับนี้อาจเป็นเพียงกระดิ่งทางกลที่จะสั่น เมื่อมีกำลังไฟฟ้าขนาดของสัญญาณกระดิ่งเข้ามา หรืออาจเป็นวงจรอิเลคทรอนิกส์ที่คอยตรวจจับสัญญาณไฟฟ้านี้ แล้วไปกระตุ้นวงจรสร้างเสียงขึ้นมาอีกต่อหนึ่งก็ได้ โดยมีข้อแม้ว่าส่วนของวงจรนี้ จะต้องไม่เป็นโหลดไฟตรงเพื่อไม่ให้วงจรเชื่อมโยงขององค์การโทรศัพท์เข้าใจว่าเป็นการยกหู และเมื่อมีการยกหูขึ้นมาแล้ววงจรส่วนนี้ต้องถูกตัดขาดจากโหลดของสัญญาณเสียง หรือมีอิมพีแดนซ์สูงมากเมื่อเทียบกับโหลดของสัญญาณเสียง

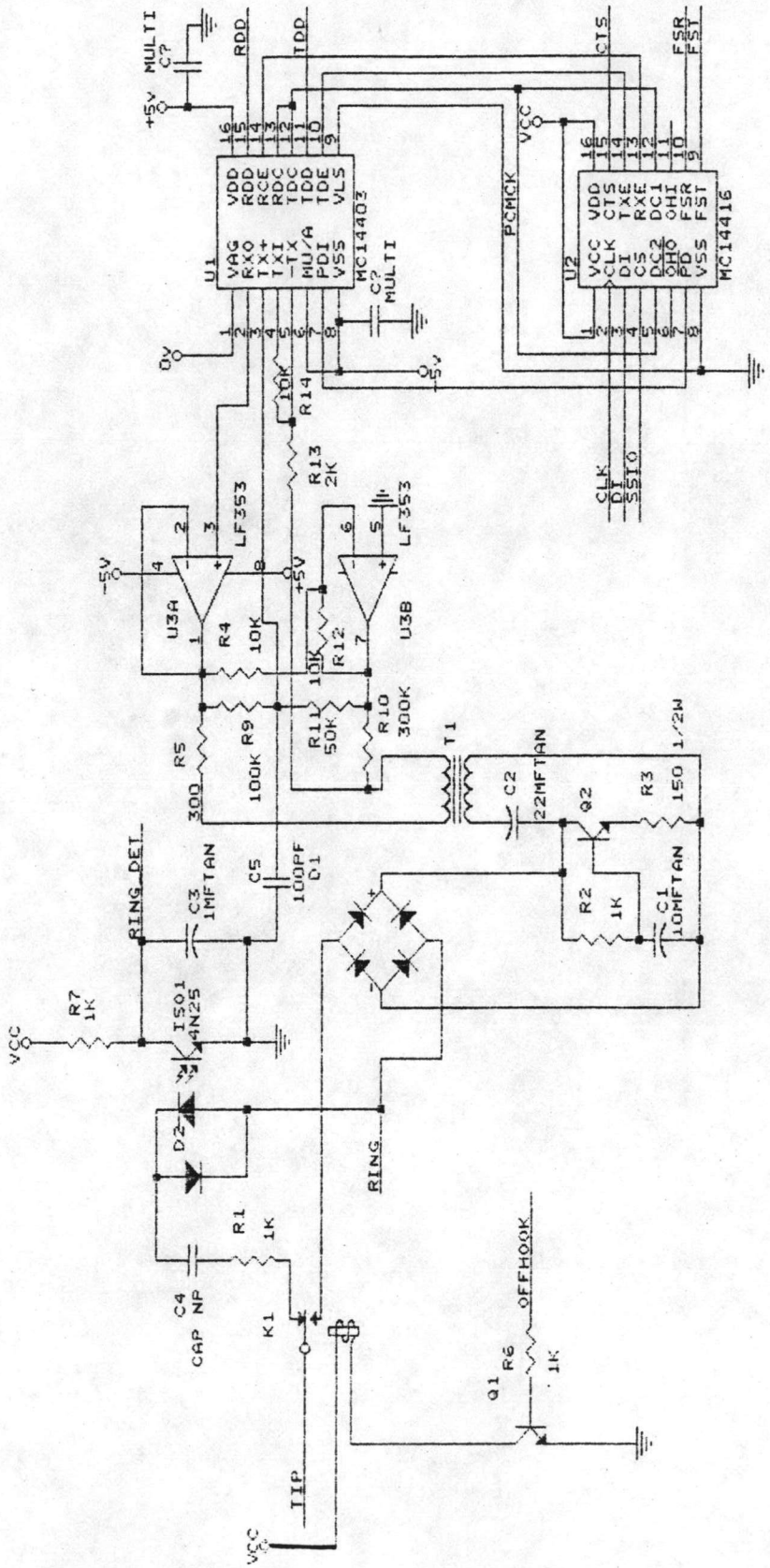
ส่วนที่ทำหน้าที่คอยตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง บนวงจรเชื่อมโยงสายนอกที่ออกแบบขึ้นมานี้ เป็นวงจรอิเลคทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ดังกล่าว และสัญญาณที่จับได้ แทนที่จะไปกระตุ้นวงจรกำเนิดเสียง ก็จะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่อยู่ในระดับที่วงจร TTL จะยอมรับได้แทน เพื่อให้หน่วยควบคุมย่อยประจำตัวมันมาคอยอ่านสัญญาณดังกล่าวต่อไป รายละเอียดของวงจรเชื่อมโยงสายนอกทั้งหมดซึ่งได้ออกแบบขึ้น แสดงได้ดังในรูปที่ 5.6

โหลดของวงจรเชื่อมโยงสายนอกนี้ เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ความถี่เสียง ทำการแปลงสัญญาณแบบบาลานซ์ 2 สาย ให้เป็นสัญญาณที่มีระดับกราวด์ จากนั้นสัญญาณดังกล่าว จะถูกส่งไปยังวงจรไฮบริด เพื่อทำหน้าที่แยกสัญญาณรับ และส่งออกจากกัน ก่อนที่จะส่งไปยังวงจร CODEC ซึ่งถูกควบคุมการแปลงสัญญาณด้วย วงจร TSAC เหมือนกับของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในทุกประการ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ตำแหน่งขาคอนเนกเตอร์ที่ต่อออกจากโมดุลของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และสายนอกจะเหมือนกัน ยกเว้นเพียง 2 ตำแหน่งซึ่งจะมีรายละเอียดหน้าที่ของมันดังนี้

HSW จะอยู่ในตำแหน่งของ RE ของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน สัญญาณที่เข้าที่ขานี้ จะทำหน้าที่ อีนาเบิ้ลรีเลย์จำลองการยกหู วางหูของวงจรเชื่อมโยงสายนอก

RDT จะอยู่ในตำแหน่งของ HS ของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน ทำหน้าที่เป็นเอาท์พุทเพื่อแสดงว่า มีสัญญาณกระดิ่งส่งเข้ามาตามสายโทรศัพท์จากองค์การโทรศัพท์



รูปที่ 5.6 วงจรเชื่อมโยงสายนอก

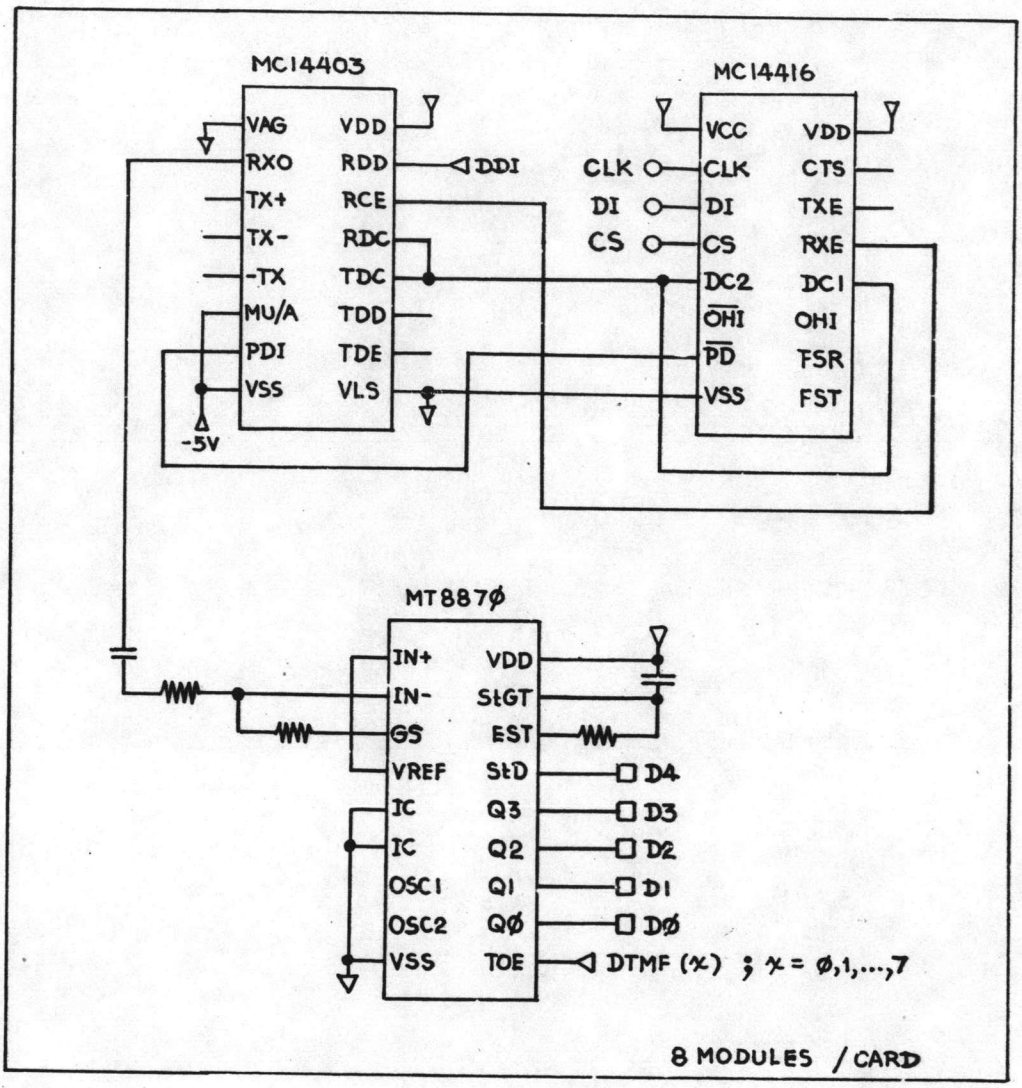
5.5 วงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF

วงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF นี้ ทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงโทนจากการกดปุ่มบนหน้าปัดโทรศัพท์ เมื่อแรกยกหูโทรศัพท์ขึ้นเพื่อทำการขอใช้บริการของตู้ชุมสายโทรศัพท์ โดยปกติแล้ววงจร ถอดรหัสสัญญาณ DTMF นี้จะมีน้อยกว่า จำนวนของโทรศัพท์ภายในตู้ชุมสายโทรศัพท์ ทั้งนี้เนื่องจากเวลาที่ต้องการใช้งานวงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF นี้มีน้อยมากต่อการติดต่อหนึ่งครั้ง ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ขึ้นเพื่อขอใช้บริการจากตู้ชุมสายโทรศัพท์ ทางตู้ชุมสายโทรศัพท์จะมีการกำหนดวงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF นี้ให้เข้าบริการการรับเลขหมายภายในเวลาที่จำกัดค่าหนึ่ง จึงไม่จำเป็นต้องมีวงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF นี้จำนวนมาก ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองทั้งในด้านต้นทุน การผลิต และในบางโครงสร้าง เช่นในโครงงานที่ออกแบบนี้ ยังเป็นการสิ้นเปลืองช่องเวลาที่ใช้เป็นช่องทางการสื่อสารด้วย

หลักการของวงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF ในตู้ชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติระบบดิจิตอลนี้ มีทั้งการจัดการข้อมูลในรูปสัญญาณทางดิจิตอล และการจัดการกับสัญญาณทางอนาลอกที่ได้รับการแปลงมาจากสัญญาณดิจิตอลแล้ว ซึ่งในโครงงานที่ได้ออกแบบขึ้นมานี้ เลือกใช้หลักการจัดการกับสัญญาณในแบบหลัง เพราะกระทำได้อย่างตรงไปตรงมา และสะดวกต่อการเขียนโปรแกรมควบคุมบนหน่วยควบคุมย่อยเพื่อจัดการกับสัญญาณดังกล่าว วงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF แสดงได้ดังรูปที่ 5.7

จากวงจรจะเห็นว่า ในส่วนการแปลงข้อมูลทางดิจิตอลเป็นอนาลอกนั้น มีลักษณะเหมือนกับทั้งของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และวงจรเชื่อมโยงสายนอก ถึงแม้ว่าการแปลงข้อมูลนี้จะใช้เพียงครั้งเดียวก็ตาม เพราะวงจรดังที่ได้ออกแบบมาแล้วใช้อุปกรณ์ที่เป็นวงจรรวมขนาดเล็ก สะดวกต่อการสร้าง ข้อมูลทางดิจิตอลซึ่งได้รับการแปลงแล้ว จะถูกส่งเข้าวงจรซึ่งทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณ DTMF ซึ่งใช้ วงจรรวมเบอร์ MT8870 ของบริษัท ไมเทล ซึ่งมีรายละเอียดในการทำงานดังนี้

สัญญาณเสียงซึ่งถูกป้อนเข้าสู่ MT8870 จะถูกดักสัญญาณเสียงโทนความถี่ที่เป็น DTMF ซึ่งมีทั้งหมด 8 ความถี่ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มความถี่สูง และกลุ่มความถี่ต่ำ กลุ่มละ 4 ความถี่ สัญญาณเสียงจากทั้งสองกลุ่ม ๆ ละ 1 ความถี่เมื่อมาผสมกัน จะได้เป็นสัญญาณเสียงหนึ่งของ DTMF ซึ่งจะมีทั้งหมด 16 เสียง เมื่อเสียงใดเสียงหนึ่งของทั้ง 16 เสียงนี้ถูกพบโดย MT8870 ก็จะมีสัญญาณจากขา StD ออกมาเป็นสัญญาณบอกคือ สัญญาณออกที่ขานี้จะเป็น "1" พร้อมทั้งจะให้ค่าของหมายเลขเสียงออกมาทาง Q0 - Q3 ซึ่งเอาท์พุททั้ง 4 นี้จะถูกควบคุมโดยสัญญาณ TOE ถ้าสัญญาณนี้เป็น "0" ขาเอาท์พุททั้ง 4 จะอยู่ในสภาวะลอย



รูปที่ 5.7 วงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF

ในการสร้างโมดุลของวงจรถอดรหัสสัญญาณ DTMF นี้ ได้สร้างขึ้นโดยออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีขนาดเท่ากับของวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน แต่ขาคอนเนกเตอร์สำหรับเชื่อมโยงกับหน่วยควบคุมย่อยมีจำนวนมากกว่า โดยมีขาเพิ่มเติมที่พอจะอธิบายได้ดังนี้

TOE ใช้สำหรับเป็นตัวเลือกในการอ่านข้อมูลของวงจรรวมเบอร์ MT8870 ตัวใดตัวหนึ่งในบรรดา 8 ตัวที่อยู่ในความควบคุมของหน่วยควบคุมย่อย

D0 - D4 เป็นสัญญาณที่จะต่อเข้ากับบัสข้อมูล ของหน่วยควบคุมย่อยมีหน้าที่เป็นตัว

บอกถึงสภาวะต่าง ๆ ของสัญญาณเสียงที่เข้ามาถอดรหัส ดังได้อธิบายไปแล้วข้างต้น

สำหรับหน่วยควบคุมย่อยสำหรับควบคุมวงจรถอดรหัส DTMF นี้ ได้มีการดัดแปลงเพิ่มเติมจากของเดิมคือ หน่วยควบคุมย่อยสำหรับควบคุมโทรศัพท์ภายใน/สายนอก ซึ่งได้มีการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ไปแล้ว และเนื่องจากโปรแกรมควบคุมบางอย่างต้องมีการใช้ร่วมกัน ดังนั้นหน่วยควบคุมย่อยที่ได้ออกแบบมาใหม่จึงต้องมีหมายเลขพอร์ต ต่าง ๆ เหมือนของเดิม การออกแบบใหม่เพียงแต่เปลี่ยนรูปแบบของวงจรเท่านั้น รูปแบบที่ได้เปลี่ยนไปคือ

- ส่วนกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ พวกคริสตัลออสซิลเลเตอร์
- ส่วนของวงจรถอดรหัสต่าง ๆ เปลี่ยนมาใช้วงจร PAL

ซึ่งรูปแบบใหม่ของวงจรหน่วยควบคุมย่อยนี้ สามารถใช้เป็นวงจรควบคุมสำหรับโทรศัพท์ภายใน และสายนอกก็ได้ แต่ในการทดลองโครงงานยังใช้ของเดิมอยู่ก่อน เพราะมีการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ และประกอบไปบ้างแล้ว

5.6 วงจรกำเนิดสัญญาณเสียง

หน่วยกำเนิดสัญญาณเสียงนี้ ทำหน้าที่สร้างเสียงรายคาบต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อกระบวนการโต้ตอบกับผู้ใช้บริการของตู้ชุมสายโทรศัพท์อยู่ คือ Call Progress Tone และสัญญาณเสียง DTMF หน่วยกำเนิดสัญญาณเสียงนี้ จะทำหน้าที่เพียงสร้างเสียงความถี่ดังกล่าวขึ้นอย่างต่อเนื่องเท่านั้น มิได้รวมไปถึงการสร้างจังหวะการเปิดปิดของเสียง (ตัวอย่างเช่น Busy Tone มีจังหวะการเปิด และปิดเป็น 0.5 วินาที เป็นต้น) หน้าที่การสร้างจังหวะการเปิดปิดนี้จะทำโดย หน่วยควบคุมย่อยสั่งให้หน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาส่งข่าวสารจากช่องเวลาที่โทนเสียงอยู่ สลับกับช่องเวลาที่ Null Tone อยู่ ไปยังช่องเวลาที่ต้องการ ซึ่งเมื่อต้องการสร้างสัญญาณอื่น ๆ ที่มีรูปแบบแตกต่างกันไป ก็อาจจะใช้เสียงเหล่านี้มากำหนดจังหวะใหม่ก็ได้

หลักการทำงานของหน่วยกำเนิดสัญญาณเสียงคือ ทำการสร้างขบวนข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ 125 ไมโครวินาที โดยที่ข้อมูลดังกล่าวคือ ข้อมูลที่เหมือนกับข้อมูลที่ได้จากการ

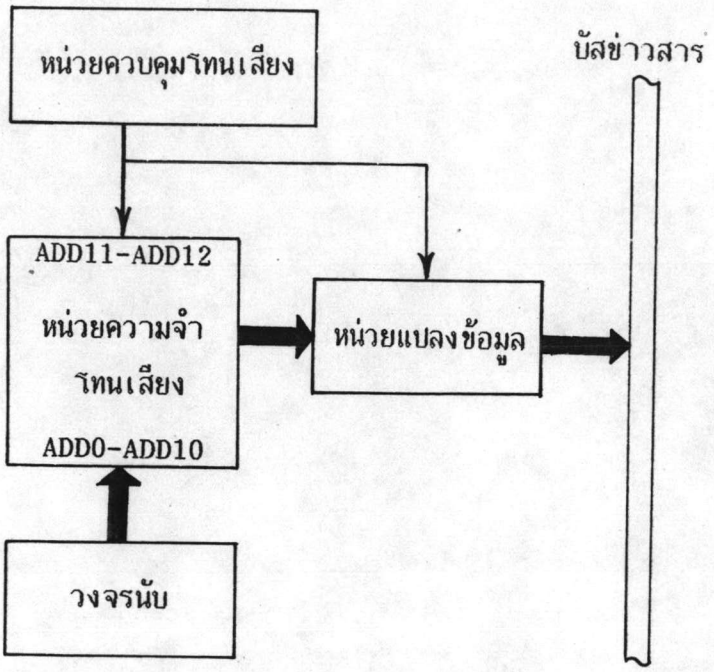
สุ่มสัญญาณเสียงของเสียงจริง ๆ นั่นเอง และเนื่องจากสัญญาณเสียงนี้เป็นสัญญาณรายคาบซึ่งมีสมการทางคณิตศาสตร์ที่แน่นอนอยู่ ดังนั้นเราจึงไม่จำเป็นต้องสร้างสัญญาณอนาลอกจริง ๆ ขึ้นมาเพื่อสุ่มสัญญาณ แต่จะทำการคำนวณค่าเหล่านี้ออกมาโดยใช้คอมพิวเตอร์คำนวณจากสมการ ค่าเหล่านี้จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำแบบ EPROM เรียงลำดับ แอดเดรสกันไป

ความถี่ของสัญญาณ Call Progress Tone และ สัญญาน DTMF มีดังนี้

	ความถี่มาตรฐาน(Hz)	ความถี่ที่ใช้(Hz)
NULL	0	0
DIAL	350,440	350,440
RINGBACK	440,480	440,480
BUSY	480,620	480,620
DTMF_1	697,1209	696,1208
DTMF_2	697,1336	696,1336
DTMF_3	697,1477	696,1476
DTMF_4	770,1209	770,1210
DTMF_5	770,1336	770,1338
DTMF_6	770,1477	770,1478
DTMF_7	852,1209	852,1208
DTMF_8	852,1336	852,1336
DTMF_9	852,1477	852,1476
DTMF_*	941,1209	940,1208
DTMF_0	941,1336	940,1336
DTMF_#	941,1477	940,1476
DTMF_A	697,1633	696,1632
DTMF_B	770,1633	770,1634
DTMF_C	852,1633	852,1632
DTMF_D	941,1633	940,1632

จะเห็นว่า ความถี่ของสัญญาณทั้งหมดที่ถูกปรับแล้ว จะมีคาบเวลาที่ลงตัวตรงกันทุก

ๆ ครั้งวินาที ดังนั้นหน่วยความจำสำหรับเก็บรหัสของเสียงต่าง ๆ จะตั้งไว้ให้เพียงพอกับจำนวนของรหัสที่ต้องสร้างขึ้นมาใน 0.5 วินาที คือเป็นจำนวน 4000 ไบต์ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้ส่วนของวงจรนับสำหรับอ่านรหัสออกมาแต่ละเสียงสามารถใช้วงจรเดียวกันได้



รูปที่ 5.8 โครงสร้างของหน่วยกำเนิดสัญญาณเสียง

โครงสร้างของหน่วยกำเนิดสัญญาณเสียงแสดงดังในรูปที่ 5.8 โครงสร้างนี้จะแบ่งออกเป็นองค์ประกอบย่อย ดังจะได้อธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วงจรนับสำหรับกำเนิดสัญญาณเสียง (Tone Counter) เป็นวงจรนับขึ้นขนาด 12 บิต ซึ่งจะถูกนับทุก ๆ 125 uS โดยขอบขึ้นของสัญญาณ FST และจะถูกเคลียร์เมื่อนับถึง 4000 โดยส่วนถอดรหัสจะคอยดักจับสัญญาณ FA0h จากวงจรนับ เพื่อสร้างสัญญาณสำหรับเคลียร์วงจรนับนี้

2. หน่วยความจำสัญญาณเสียง (Tone EPROM) ดังที่กล่าวแล้วว่า ส่วนนี้จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ใช้จำลองสัญญาณเสียงต่าง ๆ การเปลี่ยนความถี่ หรือความดังของเสียงสามารถ ทำได้โดยเปลี่ยนข้อมูลใน EPROM นี้เท่านั้น หน่วยความจำสัญญาณเสียงนี้ จะถูกระบุ

ตำแหน่งโดยวงจรนับที่ได้กล่าวถึงแล้ว 12 บิต และอีก 2 บิตบนนั้น จะมาจากหน่วยควบคุมสัญญาณเสียง ดังจะได้อธิบายต่อไป

3. หน่วยแปลงสัญญาณข้อมูลจากแบบขนานเป็นแบบอนุกรม โครงสร้างในหน่วยนี้เป็นวงจรเลื่อนทะเบียน ซึ่งสามารถกระตุ้นในมีการโหลดข้อมูลแบบขนาน และมีเส้นสัญญาณออกแบบอนุกรม โดยที่สัญญาณการกระตุ้นจะได้มาจากหน่วยควบคุมสัญญาณเสียง ในส่วนของวงจรเลือกช่องเวลา และจะเริ่มทำการเลื่อนทะเบียนข้อมูลต่อไปจนครบทั้ง 8 บิต หลังจากนั้น วงจรเลื่อนทะเบียนดังกล่าวก็จะกลับไปสู่สภาพเฉื่อยอย่างเคย

4. หน่วยควบคุมสัญญาณเสียง วงจรในส่วนนี้ จะทำหน้าที่กำหนดช่องเวลาที่สัญญาณเสียงต่าง ๆ จะใช้งาน จะเห็นว่าสัญญาณเสียงทั้งหมดของระบบ มีจำนวน 20 เสียงคือ Call Progress Tone 4 เสียง และสัญญาณเสียง DTMF อีก 16 เสียง ในโครงงานที่ออกแบบขึ้นนี้ ได้ให้สัญญาณเสียงต่าง ๆ เหล่านี้ ใช้ช่องเวลาที่ 0 ถึงช่องเวลาที่ 19 บนเส้นสัญญาณร่วมเส้นที่ 7 นอกจากนี้ ในช่องเวลาที่ 20 ได้ทำการใส่เสียง ดนตรี ไว้สำหรับใช้ส่งให้คู่สนทนาที่ถูก Hold อยู่ แต่การส่งเสียงดนตรีนี้ ใช้วิธีการกำเนิดเป็นสัญญาณอนาลอกก่อนแล้วจึงใช้วงจร CODEC แปลงให้เป็นรหัส PCM อีกต่อหนึ่ง

ดังนั้นจึงมีช่องเวลาที่ถูกสงวนไว้ใช้ส่งสัญญาณโดยระบบ อยู่ 21 ช่องเวลา ในการเขียนโปรแกรมสำหรับกำหนดช่องเวลาสำหรับรับให้วงจรรับสัญญาณ DTMF จึงควรโปรแกรมให้อยู่ในช่องเวลาต่าง ๆ เหล่านี้ จึงจะทำให้ระบบใช้ช่องเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในภาคผนวก จ จะแสดงรายละเอียดของหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และสายนอก ภาคผนวก ฉ แสดงรายละเอียดของหน่วยเชื่อมโยงวงจรถอดรหัส DTMF และในภาคผนวก ช จะแสดงถึงรายละเอียดของวงจรกำเนิดสัญญาณเสียง