บทที่ 8

การทดสอบ และสรุปผลโครงงาน

การสร้างเครื่องต้นแบบ ตู้ชุมสายโทรศัพท์ที่ได้ออกแบบขึ้นมานี้ ได้สร้างโครงราง (Rack) และมีคอนเนกเตอร์บนแผงวงจรด้านหลัง (Backplane) สำหรับรองรับแผงวงจรในส่วนต่าง ๆ ของตู้ชุมสาย ขนาด 8" X 10" ได้ 16 แผง โดยสงวนไว้สำหรับหน่วยควบคุมหลัก 1 ช่อง จึงเหลือสำหรับส่วนต่าง ๆ ของตู้ชุมสาย 15 ช่อง แต่ในการสร้างเครื่องต้นแบบนี้ ในส่วนต่าง ๆ ของตู้ชุมสาย เช่น หน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาและกำเนิดโทนเสียง หน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์ถอดรหัส DTMF ขนาด 8 วงจร หน่วยเชื่อมโยงโอเปอเรเตอร์ และหน่วยเชื่อมโยงระบบเมนทีแนนซ์ ได้ทดลองสร้างขึ้นโดยใช้การพันสาย (Wire Wrap) ดังนั้นจึงมีการกินเนื้อที่บนโครงรางเป็น 2 ช่อง ต่อ 1 แผงวงจร

สำหรับหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และหน่วยเชื่อมโยงสายนอกนั้น ได้ใช้แผงวงจรแบบเดียวกัน และได้ออกแบบลายวงจรของแผ่นวงจรพิมพ์แล้ว ทำให้หน่วยเชื่อมโยงพวกนี้จะกินเนื้อที่บนโครงราง แผงวงจรละ 1 ช่อง อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในและสายนอก โดยเฉพาะ CODEC นั้น มีราคาสูงมาก จึงได้สร้างวงจรเหล่านี้ขึ้นมาโดยใช้ซ็อกเก็ตว่างลงแทนที่อุปกรณ์เหล่านี้ก่อน สำหรับผู้ต้องการทดสอบฮาร์ดแวร์ต่อไปนั้น จะสามารถสร้างวงจรเชื่อมโยงเหล่านี้เพิ่มเติมได้โดยการซื้ออุปกรณ์มาเสียบบนซ็อกเก็ตได้ทันที

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การควบคุมระบบนั้นได้ใช้การทำงานแบบมัลติโปรเซสเซอร์ โดยมีหน่วยควบคุมหลัก 1 หน่วย และหน่วยควบคุมย่อย แบบ Preprocessor สำหรับทำงานในการบริการอุปกรณ์ต่าง ๆ บนแผงวงจรของมัน ซึ่งโครงสร้างเช่นนี้ ทำให้เราสามารถทดสอบโปรแกรมการทำงานภายในสำหรับแผงวงจรต่าง ๆ ได้ทันที รวมทั้งทดสอบการทำงานของโปรแกรมการติดต่อระหว่างหน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมย่อยได้บางส่วน แต่สำหรับในการทำงานโดยส่วนรวมของหน่วยควบคุมหลัก เช่น กระบวนการจัดบริการสำหรับตอบสนองสัญญาณเรียกจากหน่วยควบคุมย่อย การจัดช่องการสื่อสาร และการจัดการเกี่ยวกับการดูแลและบำรุงรักษานั้น เป็นขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรมหลักต่อไป ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มิได้ครอบคลุมไปถึงขั้นนั้น

สำหรับการทดสอบฮาร์ดแวร์ที่ได้ออกแบบขึ้นในแต่ละส่วนนั้น ทำโดยการเขียนส่วนของโปรแกรมเพื่อให้หน่วยควบคุมย่อย จัดการกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในความควบคุมของมัน รวม

ทั้งมีการรายงานผลโดยผ่านทางส่วนโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ เพื่อแสดงผลการทำงานต่าง ๆ ไปยังหน่วยควบคุมหลัก ซึ่งจะนำไปแสดงบนจอมอนิเตอร์เพื่อตรวจสอบต่อไป

การทดสอบเริ่มจากวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุม ซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นต่อการทำงานแบบ มัลติโปรเซสเซอร์ โดยกำหนดรูปแบบกระบวนการของการติดต่อ และทดสอบผลลัพท์ของการติดต่อนั้น รวมถึง เวลาที่ใช้ในการติดต่อ เพื่อสรุปผลความเป็นไปได้ของกระบวนการที่ใช้

จากนั้นก็จะเริ่มทดสอบฮาร์ดแวร์ของหน่วยเชื่อมโยงต่าง ๆ อันมี หน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน หน่วยเชื่อมโยงสายนอก หน่วยแลกเปลี่ยนข่าวสารและกำเนิดโทนเสียง หน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์ถอดรหัส DTMF หน่วยเชื่อมโยงโอเปอเรเตอร์ โอเปอเรเตอร์คอนโซล และหน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ตามลำดับ ส่วนหน่วยเชื่อมโยงระบบเมนทีแนนซ์และแอดมินนิสเตรชั่นนั้น เนื่องจากมีโครงสร้างเดียวกับหน่วยเชื่อมโยงโอเปอเรเตอร์ จึงได้กล่าวถึงผลการทดสอบร่วมกับของหน่วยเชื่อมโยงโอเปอเรเตอร์เลย

8.1 การทดสอบวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุม

การทดสอบวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมนี้ ทำได้โดยการเขียนโปรแกรมบนหน่วยควบคุมหลักสำหรับติดต่อกับหน่วยควบคุมย่อยในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อวัดประสิทธิภาพในการติดต่อ โดยโปรแกรมบนหน่วยควบคุมหลัก จะเขียนโดยภาษา C เพราะมีความรวดเร็วในการทำงาน อีกทั้งยังยืดหยุ่นสำหรับฮาร์ดแวร์อื่นในการออกแบบในส่วนหน่วยควบคุมจริงต่อไปในอนาคต

สำหรับหน่วยควบคุมย่อยซึ่งมีรูปแบบฮาร์ดแวร์ที่แน่นอนแล้ว คือ เป็นไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ Z80 ได้เขียนส่วนของโปรแกรมการติดต่อนี้เป็นโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์เป็นภาษา แอสเซมบลี้ บน Z80

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อระหว่างหน่วยควบคุมนั้น กำหนดให้ข้อมูลในไบท์แรกสำหรับการเขียนหลังจากการรีเซ็ตวงจรนับแอดเดรส เป็นตัวชี้ข้อมูลว่าจะมีทั้งหมดกี่ไบท์ และข้อมูลที่ตามมาจะจัดเป็นบล็อกบล็อกละ 3 ไบท์ แต่ละบล็อกจะบรรจุข่าวสาร หรือคำสั่งอย่างละ 1 หน่วย สำหรับข่าวสารที่ไม่จำเป็นต้องใช้ทั้ง 3 ไบท์ก็ให้ต่อให้ครบด้วยข้อมูล "0" ซึ่งการกำหนดเช่นนี้จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเวลาขึ้นบ้าง อย่างไรก็ตามในอนาคตหากพบว่ารูปแบบของข้อมูลเช่นนี้มีข้อจำกัด ก็อาจเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลเป็นรูปแบบอื่นได้

8.1.1 ฟังก์ชั่นการทดสอบวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุม

โปรแกรมที่เขียนขึ้นบนหน่วยควบคุมหลัก จะเขียนฟังก์ชั่นการทดสอบออกเป็น 7 ฟังก์ชั่นดังต่อไปนี้

1. การทดสอบ หน่วยความจำสื่อสาร บนวงจรเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสาร : การทดสอบการทำงานของหน่วยความจำสื่อสารนี้ ทำได้โดยการเขียนข้อมูลสำหรับทดสอบ คือ 1,2, 4,8,16,32,64 และ 128 ตามลำดับ ลงบนหน่วยความจำสื่อสารจำนวน 2 กิโลไบท์ แล้วอ่านกลับมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เขียนเข้าไปทั้งหมด

2. การทดสอบการส่งข้อมูลจากหน่วยควบคุมหลัก ไปยังหน่วยควบคุมย่อย : การทดสอบนี้จะทำการอ่านข้อมูลจากคีย์บอร์ดของเครื่อง IBM เองได้ตั้งแต่ 3 ไบท์ จนถึง 240 ไบท์ เพื่อส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังหน่วยควบคุมย่อย ซึ่งบนหน่วยควบคุมย่อยจะเขียนข้อมูลสำหรับการอ่านข้อมูลดังกล่าว และทำการเขียนข้อมูลเดิมส่งกลับมาทั้งหมด

3. การทดสอบการรับข้อมูลที่ส่งมาจากหน่วยควบคุมย่อย : การทดสอบนี้จะทำการอ่านข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดในหน่วยความจำสื่อสาร โดยพิจารณาได้จากไบท์แรกว่าต้องอ่านข้อมูลอีกกี่ไบท์ การทดสอบนี้ใช้ร่วมกับการทดสอบที่ 2 เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดของช่องการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุม

4. การทดสอบการสอบถามหมายเลขอุปกรณ์ของหน่วยควบคุมย่อย : การทดสอบนี้ทำโดยการกำหนดรหัสสำหรับการสอบถามหมายเลขอุปกรณ์ของหน่วยควบคุมย่อย เพื่อส่งไปถามกับหน่วยควบคุมย่อยแต่ละตัว สำหรับทางฝั่งหน่วยควบคุมย่อยนั้น ในโปรแกรมที่มีการใช้งานจริงก็ต้องมีส่วนสำหรับวิเคราะห์คำสั่งต่าง ๆ ที่มาจากหน่วยควบคุมหลัก สำหรับคำสั่งที่ใช้สอบถามหมายเลขอุปกรณ์นี้ จะสามารถใช้ได้กับหน่วยควบคุมย่อยทุกชนิด แต่การตอบกลับนั้นข้อมูลจะเปลี่ยนไปตามชนิดของหน่วยควบคุมย่อยนั้น ๆ การทดสอบนี้จะรวมถึงการคอยรับหมายเลขของหน่วยควบคุมย่อยแล้วนำมาแสดงผลบนมอนิเตอร์เพื่อตรวจสอบต่อไป

5. การทดสอบการรีเซ็ต หน่วยควบคุมย่อยโดยหน่วยควบคุมหลัก : การรีเซ็ตหน่วยควบคุมย่อยแต่ละตัวนี้ สามารถทำได้โดยการเขียนพอร์ตเลือกหน่วยควบคุมย่อยที่ต้องการรีเซ็ต จากนั้นก็เขียนพอร์ตแฮนด์เชคให้บิต RST_PPU เป็น "0" ชั่วขณะหนึ่งก่อน จะเซ็ตบิต RST_PPU กลับเป็น "1" ใหม่

6. การทดสอบการเขียน และอ่านข้อมูลเป็นจำนวนมาก ๆ : การทดสอบนี้หน่วยควบคุมหลัก ทำการเขียนข้อมูลเรียงลำดับจำนวน 240 ไบท์ลงในหน่วยความจำสื่อสาร เมื่อหน่วยควบคุมย่อยทำการรับข้อมูลแล้ว ก็จะเขียนคืนกลับมาในลักษณะเดียวกับการ ทดสอบที่ 2 และ 3 ซึ่งเมื่อหน่วยควบคุมหลักรับกลับมาก็จะทำการตรวจสอบข้อมูลนั้น ถ้าถูกต้องก็จะส่งออก

ไปอีกที ถ้ามีข้อมูลที่ผิดพลาดก็จะทำการแสดงผลบนจอ การเขียนข้อมูลจะทำทั้งหมด 1024 ครั้งต่อ 1 บล็อก และจะมีการนับเวลาการทำงานทั้งหมด พร้อมทั้งแสดงผลออกมาให้ดูด้วย

7. การทดสอบการรับส่งหมายเลขอุปกรณ์จำนวน 2048 ครั้ง : การทดสอบนี้ จะทำการจับเวลากระบวนการถามหมายเลขของหน่วยควบคุมหลักเหมือนในการทดสอบที่ 4 แต่จะไม่มีการแสดงผล โดยจะทำซ้ำ ๆ เป็นจำนวน 2048 ครั้งเพื่อจับเวลาการทำงาน

8.1.2 โปรแกรมควบคุมการติดต่อบนหน่วยควบคุมย่อย

การทดสอบวงจรเชื่อมโยงการติดต่อจะต้องเขียนโปรแกรมควบคุมบนหน่วยควบคุมย่อยด้วย เพื่อจัดการทำงานให้ครบรอบ การเขียนโปรแกรมบนหน่วยควบคุมย่อยนี้ เขียนโดยใช้ภาษา แอสเซมบลี้ ของ Z80 เพราะได้กำหนดแล้วว่าหน่วยควบคุมย่อยนี้จะมีลักษณะเดียวกันทั้งระบบ แม้แต่เลขพอร์ตที่ใช้สำหรับวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมก็จะเหมือนกันทุกประการ โปรแกรมที่เขียนนี้จึงสามารถใช้ทดสอบกับหน่วยควบคุมย่อยได้ทุกตัวที่ออกแบบขึ้นมาบนระบบ

โปรแกรมสำหรับการติดต่อกับหน่วยควบคุมหลักนี้ จะเขียนเป็นโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพท์ ซึ่งสัญญาณการอินเตอร์รัพท์นี้จะเกิดจากหน่วยควบคุมหลักขอติดต่อมา โดยการส่งสัญญาณ PPU_EN ซึ่งจะต้องเกิดขึ้นพร้อมกับสัญญาณในการเลือกหน่วยควบคุมย่อย สัญญาณอินเตอร์รัพท์นี้จะต่อเข้ากับขา INT ของ ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80 โดยตรง

ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80 จะถูกโปรแกรมให้ตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ในโหมด 1 คือเมื่อมีสัญญาณอินเตอร์รัพท์เกิดขึ้น Z80 จะกระโดดไปทำงานที่ตำแหน่งแอดเดรส 038h ซึ่งจะเป็นส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อดังกล่าว

8.1.3 ผลการทดสอบวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุม

เมื่อทดสอบวงจรเชื่อมโยงหน่วยควบคุมแล้ว ได้พบข้อบกพร่องบางประการ ซึ่งได้ทำการแก้ไขจนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ส่วนที่ได้มีการปรับปรุงขึ้นจากเดิมคือ ส่วนของพอร์ตแฮนด์เชค PPU_EN ซึ่งแต่เดิมเป็นเอาท์พุทบนหน่วยควบคุมหลัก เช่นเดียวกับเอาท์พุทแฮนด์เชคเส้นอื่น ๆ การยกเลิก PPU_EN จะกระทำโดยการเขียนพอร์ตทับโดยให้บิต PPU_EN เป็น "1" ซึ่งเกิดปัญหาคือ ถ้าหน่วยควบคุมหลักสั่งยกเลิกช้า หน่วยควบคุมย่อยจะเสียเวลารอการยกเลิกดังกล่าว ทำให้เกิดความล่าช้าในการติดต่อขึ้น การแก้ไขทำได้โดยให้ PPU_EN เป็นพอร์ตต่างหากและสามารถถูกยกเลิกได้โดย DAT_RDY ที่มาจากหน่วยควบคุมย่อยทันที หลังจากที่

ได้ทำการแก้ไขแล้วผลการทดสอบทั้ง 7 การทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหน่วยความจำสื่อสาร สามารถเขียน และอ่านข้อมูลได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด

2. การทดสอบการส่งข้อมูลจาก หน่วยควบคุมหลัก ไปหน่วยควบคุมย่อย ในตอนต้นได้ประสบปัญหาการส่งข้อมูลผิดพลาด เนื่องจากสายแพที่ต่อระหว่างแผงวงจรที่เสียบบน IBM PC และโครงรางของตู้ชุมสายมีความยาวมาก และระดับกราวน์มีความแตกต่างกัน จึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น เมื่อแก้ไขโดยเพิ่มสายกราวน์มากขึ้น ก็สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดนี้ได้

3. การทดสอบการรับข้อมูลจาก หน่วยควบคุมย่อย นี้ได้ทดสอบพร้อมกับการทดสอบการส่งควบคู่กันไป ผลปรากฏว่าสามารถรับข้อมูลได้โดยไม่มีข้อผิดพลาดเช่นกัน

4. การทดสอบการสอบถามหมายเลขหน่วยควบคุมย่อย สามารถได้หมายเลขของหน่วยควบคุมย่อยกลับมา ตามที่ตั้งไว้

5. การทดสอบการรีเซ็ตโดยหน่วยควบคุมหลัก สามารถเลือกรีเซ็ตหน่วยควบคุมย่อยได้ตามต้องการ โดยไม่กระทบกระเทือนต่อหน่วยควบคุมย่อยตัวอื่น ๆ

6. การทดสอบการเขียน และอ่านข้อมูลจำนวนมาก ได้ทดสอบเขียนข้อมูลในการรับส่งเป็นจำนวนบล็อกต่าง ๆ ซึ่งได้จับเวลาเฉลี่ยออกมาได้ บล็อกละ 28 วินาที ซึ่งเป็นที่น่าพอใจ

7. การทดสอบการสอบถามหมายเลขของหน่วยควบคุมย่อยจำนวน 2048 ครั้ง ปรากฏว่าสามารถทำได้ภายใน 22 วินาที

เวลาที่ใช้ในกระบวนการติดต่อที่ได้กำหนดขึ้นมานี้ เห็นได้ว่าถ้านำมาใช้ในโปรแกรมแล้ว ยังเป็นเวลาที่ไม่น่าพอใจ เพราะถ้าหน่วยควบคุมย่อยมีความต้องการจะติดต่อทุกครั้งที่หน่วยควบคุมหลักเรียกถาม ก็อาจทำให้การบริการล่าช้า อย่างไรก็ดี ตามปกติความต้องการติดต่อจะไม่เกิดขึ้นบ่อยมากถ้าคิดเทียบต่อการกวาดถามหนึ่งครั้ง โดยเฉพาะหน่วยควบคุมย่อยบางตัวในระบบอาจไม่มีการขอติดต่อเลย เช่นหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลา หรือหน่วยกำเนิดโทนเสียง ดังนั้นจึงได้มีการทดสอบจำนวนครั้งของการกวาดถามสัญญาณ REQ ดูซึ่งก็ปรากฏว่า ภายใน 100 ms หน่วยควบคุมหลักสามารถกวาดถามได้ถึง 681 ครั้ง ซึ่งในการใช้งานของระบบเต็มจะมีหน่วยควบคุมย่อยอยู่ไม่เกิน 64 ตัว จึงนับได้ว่าเป็นเวลาที่ดีพอควร อย่างไรก็ตามหากในการพัฒนาโปรแกรมจริงเกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นมา ก็จะมีทางแก้ได้โดยเปลี่ยนกระบวนการติดต่อทางข้อมูล ซึ่งอาจจะให้ความยาวของคำสั่งมีขนาดสั้นลงก็ได้ เช่นการติดต่อ

กับหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ การบอกสภาพการเปลี่ยนสถานะของโทรศัพท์จากหน่วยควบคุมย่อย อาจใช้เพียง 1 ไบท์ก็สามารถแทนสภาวะการเปลี่ยนสถานะของวงจรโทรศัพท์ทั้ง 8 ได้

8.2 <u>การทดสอบหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน</u>

การทดสอบหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในนั้น ได้ทดสอบฟังก์ชั่นการทำงานต่าง ๆ เช่นการยกหู การหมุนเลขหมาย การแทรกสัญญาณกระดิ่ง ซึ่งฟังก์ชั่นดังกล่าวนี้ สามารถทดสอบได้โดยลำพัง นอกจากนี้ยังทดสอบการให้บริการผู้ใช้บริการภายในแผงวงจรเดียวกัน คือ ทดลองเขียนโปรแกรมให้วิเคราะห์เลขหมายที่หมุน 1 หลัก ก่อนที่จะส่งสัญญาณกระดิ่งไปเรียกโทรศัพท์ปลายทางให้ พร้อมกับโปรแกรมช่องเวลาให้รับ และส่งสัญญาณเสียงกันได้ ซึ่งฟังก์ชั่นนี้ต้องใช้ร่วมกับหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาที่จะได้กล่าวถึงต่อไป

ปรากฏว่าแผงวงจรที่ได้ออกแบบและสร้าง สามารถทำงานได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตามหน้าที่ของการวิเคราะห์ และส่งสัญญาณกระดิ่งเพื่อเรียกโทรศัพท์ปลายทาง มิใช่หน้าที่โดยตรงของหน่วยควบคุมย่อย หน่วยควบคุมย่อยจะต้องทำการส่งสภาพการยกหู หรือหมุนเลขหมายไปยังหน่วยควบคุมหลัก และในทำนองเดียวกัน การตัดสินว่าจะให้ส่งสัญญาณกระดิ่งเรียกโทรศัพท์เครื่องใดนั้น จะเป็นของหน่วยควบคุมหลักด้วย สำหรับหน่วยควบคุมย่อยจะมีหน้าที่จัดการกับสัญญาณพื้นฐานเท่านั้น แต่ที่เขียนโปรแกรมให้มีความสามารถขนาดนี้ เพื่อใช้ในการทดสอบส่วนอื่น ๆ ของตู้ชุมสายที่จะสร้างขึ้นมาต่อไป

นอกจากนั้นส่วนของการตัดสินใจเลือกช่องทางข้อมูลสื่อสารนั้น ก็ไม่ได้เป็นหน้าที่ของหน่วยควบคุมย่อย ซึ่งมีหน้าที่เพียงโปรแกรมช่องเวลา และเส้นสัญญาณร่วมในตอนเริ่มโปรแกรม ตามคำสั่งที่ได้รับมาจากหน่วยควบคุมหลักอีกต่อหนึ่ง

หน่วยควบคุมหลัก จำเป็นต้องทราบถึงสภาวะของโทรศัพท์ในหน่วยเชื่อมโยงตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของโทรศัพท์ที่เชื่อมโยงอยู่เครื่องใดเครื่องหนึ่ง หน่วยควบคุมย่อยจำเป็นต้องส่งข้อมูลเหล่านี้ ไปยังหน่วยควบคุมหลัก ซึ่งก็ได้กำหนดรหัสของข่าวสารเหล่านี้ขึ้น และได้ทดลองส่งไปยังหน่วยควบคุมหลัก และหน่วยควบคุมหลัก ก็จะนำข่าวสารดังกล่าวมาตีความ และส่งเป็นข้อความขึ้นทางหน้าจอมอนิเตอร์ ซึ่งก็ปรากฏว่าสามารถส่งสภาพการเปลี่ยนสถานะของโทรศัพท์ที่เชื่อมโยงอยู่ได้

นอกจากนี้หน่วยควบคุมหลัก จะมีหน้าที่สั่งงานต่าง ๆ ที่ต้องการปฏิบัติบนวงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ไปยังหน่วยควบคุมย่อย ซึ่งคำสั่งเหล่านี้ก็จะอยู่ในรูปรหัสของข่าวสารจะส่งมายังหน่วยควบคุมย่อยทางวงจรเชื่อมโยง คำสั่งต่าง ๆ นี้ ได้แก่ การสั่งให้ส่งสัญญาณกระดิ่งไปยัง

วงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์วงจรในวงจรหนึ่ง การสั่งให้โปรแกรมช่องเวลา และเส้นสัญญาณร่วมที่เลือกใช้ ซึ่งได้ทดสอบการทำงานของหน่วยควบคุมย่อยที่เขียนโปรแกรมสำหรับตอบสนองข่าวสารเหล่านี้แล้ว ปรากฏว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

ข้อบกพร่องประการหนึ่งของหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในที่ได้ออกแบบขึ้นมา คือ การใช้แหล่งจ่ายไฟ สำหรับวงจรรวม CODEC กับของวงจร TTL ในระบบทั้งหมดร่วมกัน การออกแบบเช่นนี้ ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่วงจรเสียง ทั้งที่วงจร TTL ยังสามารถทำงานได้โดยไม่ผิดพลาด การแก้ไขควรมีการเปลี่ยนระบบแหล่งจ่ายไฟใหม่ทั้งหมด โดยการแยกแหล่งจ่ายไฟในภาคอนาลอกของ CODEC กับแหล่งจ่ายไฟของตัวระบบออกจากกัน ซึ่งจะทำให้สัญญาณรบกวนจากการทำงานของระบบ ไม่เข้าไปรบกวนวงจรอนาลอก แต่ในเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมาแล้วไม่สามารถทำได้เพราะจะเสียเวลา และเงินทุนอีกเป็นอย่างมาก จึงได้แก้ไขโดยการตัดลายวงจรที่เชื่อมแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์ออก แล้วแทรกด้วยวงจรกรองความถี่สูงแบบง่าย ๆ เข้าไป ก็ปรากฏว่า สัญญาณรบกวนที่มีอยู่สามารถลดลงไปได้บ้าง จึงขอใช้วิธีการเช่นนี้ กับ หน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และสายนอกทั้งหมดของระบบ ซึ่งอาจทำให้ได้คุณภาพของเสียงไม่ดีเท่าที่ควร

8.3 การทดสอบหน่วยเชื่อมโยงสายนอก

สำหรับหน่วยเชื่อมโยงสายนอกนั้น ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าใช้หน่วยควบคุมย่อยเช่นเดียวกับ หน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในทุกประการ แม้กระทั่งแผ่นลายวงจรที่เป็นส่วนของหน่วยควบคุมย่อย ดังนั้นหลักของการทดสอบการติดต่อกับหน่วยควบคุมหลักจึงผ่านไปได้

โปรแกรมการทำงานของหน่วยควบคุมวงจรเชื่อมโยงสายนอก ที่ได้ทดลองเขียนขึ้นในส่วนที่แตกต่างจากของหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในคือ การตรวจจับสัญญาณกระดิ่ง และการหมุนเลขหมายที่กำหนดผ่านทางหน่วยควบคุมหลัก นอกจากนั้นโปรแกรมในส่วนอื่น ๆ จะมีลักษณะเดียวกันกับของหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายในทุกประการ

ผลการทำงานของวงจรเชื่อมโยงสายนอกนั้น ปรากฏว่าในตอนต้นที่ได้ออกแบบขึ้นมา ไม่ได้แยกส่วนของการจับสัญญาณกระดิ่ง และวงจรเสียงออกจากกันโดยเด็ดขาด จึงก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนมากมาย จึงต้องมีการทดลองสร้างขึ้นมาใหม่ซึ่งก็ปรากฏว่าสามารถทำงานได้ตามต้องการ แต่ก็ประสบปัญหาสัญญาณรบกวน จากแหล่งจ่ายไฟ เช่นเดียวกับของหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน จึงได้ใช้วิธีเดียวกันในการลดปัญหาดังกล่าว

สำหรับในส่วนของโปรแกรมการจับสัญญาณกระดิ่ง และโปรแกรมการหมุนเลขหมายนั้น กระทำผ่านโปรแกรมอินเตอร์รัพท์ แบบ นอนมาสเคเบิ้ล ทำนองเดียวกับโปรแกรมการจับเลขหมายที่หมุน ในหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน ซึ่งผลของโปรแกรมที่เขียนขึ้นมานี้สามารถแยกแยะสัญญาณกระดิ่งได้เป็นอย่างดี คือตรวจสอบถึงการหยุดของสัญญาณกระดิ่งและวิเคราะห์ได้ว่าเป็นการหยุดส่งแบบชั่วคราวตามปกติ หรือเป็นเพราะอีกฝ่ายได้วางหูโทรศัพท์แล้ว นอกจากนี้ยังสามารถหมุนเลขหมายตามคำสั่งที่มาจากหน่วยควบคุมหลักได้อย่างถูกต้อง

8.4 การทดสอบหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลา

หน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาของระบบ จะมีหน่วยควบคุมย่อยเหมือนกับของหน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารทั่ว ๆ ไป ในส่วนของการติดต่อกับหน่วยควบคุมหลัก จึงมีลักษณะเหมือนกับ หน่วยควบคุมย่อยอื่น ๆ ซึ่งจะไม่ขออธิบายรายละเอียดในส่วนนี้

ส่วนที่ทำหน้าที่สำคัญของหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลานี้ จะทำงานโดยโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ ซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทำงานจะได้จากการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำควบคุมข่าวสารดังที่ได้อธิบายมาแล้ว ปัญหาที่สำคัญคือ หน่วยความจำดังกล่าวจะต้องถูกใช้ตลอดเวลาการทำงาน การเขียน หรืออ่านหน่วยความจำนี้ จึงต้องมีการซิงโครไนซ์กับของระบบด้วย ดังนั้น จึงได้ออกแบบหน่วยควบคุมย่อยที่ใช้ความถี่ในการทำงานเป็น สองเท่าของ PCM_CK พอดี และได้ออกแบบส่วนอินเตอร์เฟสเพื่อช่วยใช้ในการซิงโครไนซ์การเขียน และอ่านขึ้นเป็นวงจรทางฮาร์ดแวร์ เมื่อมีการทดสอบหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลานี้ สิ่งแรกที่ต้องทำคือ ทดลองเขียน และอ่านหน่วยความจำควบคุมข่าวสารนี้ ซึ่งผลในตอนแรกนั้น สามารถเขียนข้อมูลลงไปได้อย่างถูกต้อง แต่อ่านกลับออกมาผิดบ้าง ถูกบ้าง จึงได้พิจารณาส่วนการซิงโครไนซ์อย่างละเอียดอีกทีหนึ่ง ก็พบว่า ในไซเคิลของการอ่าน เมื่อใช้ CPU_CK เป็น สองเท่าของ PCM_CK นี้ จะมีโอกาสเป็น 1 ใน 2 ที่จะพบปัญหาการอ่านเนื่องจากข้อมูลในวงจรซิงโครนัสจะยังไม่พร้อมสำหรับอ่าน จึงได้มีการออกแบบวงจรเพิ่มเติมให้กับ หน่วยควบคุมย่อย คือ จะต้องเพิ่ม WAIT STATE ให้กับ Z80 ในกรณีที่ข้อมูลในวงจรซิงโครนัสยังไม่พร้อมที่จะอ่าน เมื่อมีการแก้ไขในจุดนี้แล้วก็ปรากฏว่า ส่วนของการเขียน และอ่านข้อมูลในหน่วยความจำควบคุมข่าวสารสามารถทำได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด

ส่วนการทดสอบในการแลกเปลี่ยนช่องเวลานั้น ได้ทำการทดลองสร้างฮาร์ดแวร์บนแผงวงจรสำหรับเสียบบน IBM PC ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถส่งข่าวสารในรูปแบบที่กำหนด เข้าในช่องเวลา และเส้นสัญญาณใดก็ได้ รวมทั้งสามารถเลือกรับข่าวสารในช่องเวลา และเส้น

สัญญาณใดก็ได้เช่นกัน จากนั้นได้ทำการทดลองส่ง และรับข่าวสาร ต่างช่องเวลา ต่างเส้นสัญญาณร่วม โดยมีหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาจัดช่องเวลาต่าง ๆ ให้ ก็ปรากฏว่า สามารถทำการส่ง และรับข่าวสารจากหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาได้ถูกต้อง

การทดสอบคุณสมบัติดังกล่าวกับสัญญาณเสียง ได้ทดสอบร่วมกับหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน โดยการเขียนโปรแกรมของหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน ให้วงจรเชื่อมโยงโทรศัพท์แต่ละตัวส่งข่าวสารเข้าในช่องเวลาตั้งแต่ช่องเวลาที่ 0 จนถึง 7 ส่วนการรับนั้น ขึ้นอยู่กับว่ามีการเรียกโทรศัพท์เครื่องใด โดยเครื่องใด ก็ให้จัดช่องเวลาสำหรับรับให้สลับกัน ส่วนในหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลานั้น จะให้ข้อมูลในหน่วยความจำควบคุมข่าวสาร มีค่าเดียวกันกับแอดเดรสของมัน เมื่อเป็นเช่นนี้จะเหมือนกับว่า ข้อมูลที่ส่งเข้าช่องเวลาใด ก็จะออกที่ช่องเวลานั้น บนเส้นสัญญาณร่วมหมายเลขเดียวกัน ซึ่งผลของการทดสอบนี้สามารถทำให้โทรศัพท์ภายใน บนแผงวงจรเดียวกัน สามารถทำงานในฟังก์ชั่นของโทรศัพท์อย่างง่าย ๆ ได้ แม้ว่าเมื่อยกหูโทรศัพท์ขึ้นมาจะไม่มีสัญญาณโทนเสียงโต้ตอบกับชุมสายโทรศัพท์ก็ตาม

นอกจากนี้ ยังได้เขียนโปรแกรมให้ทำการแลกเปลี่ยนช่องเวลาเฉพาะช่องเวลาขึ้นตามคำสั่งที่มาจากคีย์บอร์ดบนหน่วยควบคุมหลัก ซึ่งก็ปรากฏว่า สามารถปฏิบัติได้ตามคำสั่งดังที่ส่งเข้ามา ซึ่งเมื่อทำมาได้จนถึงขั้นนี้ก็นับว่าสิ้นสุดงานของหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาลงระดับหนึ่ง โปรแกรมทดสอบต่าง ๆ ที่ได้เขียนขึ้นมาได้บรรจุลงในหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาจริง ถึงแม้บางโปรแกรมไม่มีในการใช้งานจริง แต่การทำเช่นนี้ให้ประโยชน์ในการทดสอบ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ออกแบบตามมาทีหลังได้เป็นอย่างดี งานของหน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาอีกอย่างหนึ่ง คือ การสวิทช์เปิดปิดสัญญาณโทนเสียงที่ใช้เป็นสัญญาณโต้ตอบกับผู้ใช้บริการตามจังหวะ เช่น สัญญาณ Busy Tone, Ring-Back Tone เป็นต้น

8.5 การทดสอบหน่วยกำเนิดสัญญาณเสียง

วงจรกำเนิดสัญญาณเสียงที่ได้ออกแบบขึ้นมานี้ ได้ใช้ช่องเวลาที่แน่นอนดังที่ได้กล่าวแล้ว การทดสอบกระทำโดยสั่งให้หน่วยแลกเปลี่ยนช่องเวลาทำการสวิทช์เสียงแต่ละเสียงที่ได้สร้างขึ้นไปยังโทรศัพท์ภายในแล้วทดลองฟังดูในส่วนของ Call Progress Tone ซึ่งก็ได้สัญญาณเสียงตามต้องการ แต่สำหรับสัญญาณ DTMF นั้น การทดสอบได้ทดลองส่งเสียงไปยังวงจรเชื่อมโยงสายนอกเพื่อให้ชุมสายโทรศัพท์ทดลองรับเสียงต่าง ๆ ของสัญญาณดู ก็ปรากฏว่าชุมสายโทรศัพท์สามารถถอดรหัสได้อย่างถูกต้อง

8.6 การทดสอบระบบโอเปอเรเตอร์

ระบบโอเปอเรเตอร์นี้ประกอบด้วย ส่วนที่เป็น โอเปอเรเตอร์คอนโซล และส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงโอเปอเรเตอร์คอนโซลกับตู้ชุมสาย การทดสอบได้เขียนโปรแกรมควบคุมโอเปอเรเตอร์คอนโซลให้คอยรับการกดคีย์บอร์ด แสดงผล และส่งคำสั่งต่าง ๆ ไปยังส่วนเชื่อมโยงโอเปอเรเตอร์ รวมทั้งแสดงผลต่าง ๆ ตามคำสั่งจากหน่วยเชื่อมโยงโอเปอเรเตอร์ โดยในการทดสอบนี้ ได้เขียนให้มีความสามารถในการโทรออก รับโทรศัพท์จากสายนอก และโอนไปยังโทรศัพท์ภายในได้ ผลปรากฏว่าสามารถทำงานตามที่คาดได้ ข้อเสียของโครงสร้างระบบโอเปอเรเตอร์นี้ คือ สัญญาณเสียง ซึ่งส่งแบบอนาลอก ไปพร้อมกับสัญญาณ RS-232 ทำให้มีการรบกวนกันขึ้น และมีข้อจำกัดในด้านระยะทางตามมาตรฐานของ RS-232

แนวทางในการปรับปรุงระบบโอเปอเรเตอร์ดังกล่าว อาจใช้วิธีส่งเสียงในลักษณะของสัญญาณดิจิตอลแทน โดยมีวงจร CODEC สำหรับแปลงเป็นเสียงอยู่บนตัวคอนโซล โดยวิธีนี้จะช่วยลดสัญญาณรบกวนได้ ส่วนในเรื่องข้อจำกัดด้านระยะทางนั้น การแก้ไขทำได้โดยใช้มาตรฐานการส่งสัญญาณข้อมูลแบบอื่น ๆ มาใช้เช่น RS-422 เป็นต้น

8.7 การทดสอบหน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารแบบอะซิงโครนัส

หน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารแบบอะซิงโครนัสนี้ ได้ทดลองสร้างเพื่อจุดประสงค์ในการทดสอบการสื่อสารในรูปแบบอื่น ๆ มากกว่าจะให้ใช้งานได้อย่างจริงจัง วงจรเชื่อมโยงกับอุปกรณ์สื่อสารนี้ได้ใช้มาตรฐาน RS-232 ซึ่งเป็นข้อจำกัดในด้านระยะทางทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์จริงได้ อย่างไรก็ตามผลของการทดสอบก็แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างของตู้ชุมสายที่ออกแบบขึ้นมานี้ สามารถประยุกต์ใช้กับการสื่อสารรูปแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เสียงได้

การทดสอบกระทำโดยการเขียนโปรแกรมสำหรับรับส่ง ข้อความผ่านการ์ดสื่อสารแบบ อะซิงโครนัส บน IBM PC เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับหน่วยเชื่อมโยงบนตู้ชุมสายที่ออกแบบขึ้น การควบคุมการสื่อสาร ในการทดสอบกระทำแบบง่าย ๆ เนื่องจากสร้างหน่วยเชื่อมโยงชนิดนี้ขึ้นมาเพียงสองชุด จึงกำหนดให้อุปกรณ์สื่อสารแบบอะซิงโครนัส (IBM PC) ทั้งสองชุดนี้เชื่อมโยงเข้าด้วยกันโดยคำสั่งจากโทรศัพท์ตัวใดตัวหนึ่งเมื่อกดหมายเลข 8 และจะตัดอุปกรณ์สื่อสารนี้ออกจากกันเมื่อกดหมายเลข 7 ปรากฏว่าหน่วยเชื่อมโยงอุปกรณ์สื่อสารแบบอะซิงโครนัสที่ออกแบบขึ้นมานี้สามารถทำงานได้ตามต้องการ

8.8 การทดสอบการทำงานของระบบโดยรวม

การทดสอบการทำงานของตู้ชุมสายโทรศัพท์ที่ออกแบบขึ้นมานี้ ส่วนที่สำคัญที่สุดคือการทำงานโดยรวมของทั้งระบบ ว่าสามารถทำงานได้สัมพันธ์กันได้ดีตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ในขั้นสุดท้ายของการทดสอบฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นทั้งหมดนี้ จึงได้ทำการทดสอบการทำงานของทั้งระบบด้วยการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหน่วยควบคุมหลัก ซึ่งในที่นี้ทำงานอยู่บน IBM PC โดยเขียนโปรแกรมเป็นภาษา PASCAL สำหรับควบคุมการใช้โทรศัพท์ภายในขั้นพื้นฐาน เช่นการโทรภายใน การโทรออก รวมทั้งเขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถรับสัญญาณการโทรเข้าจากสายนอก ส่งไปยังโอเปอเรเตอร์ เพื่อโอนต่อไปยังเครื่องภายในใดใด นอกจากนี้เครื่องภายในก็สามารถโอนต่อไปเป็นทอด ๆ ได้ด้วย ซึ่งก็ปรากฏว่า ระบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาสามารถทำงานได้ตามความต้องการ

8.9 สรุปโครงงาน และข้อเสนอแนะ

ระบบตู้ชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติระบบดิจิตอลที่ได้ออกแบบ และสร้างเครื่องต้นแบบจนสมบูรณ์นี้ นับได้ว่าบรรลุวัตถุประสงค์ในแง่ของของแนวคิด แนวการออกแบบ และสร้างได้เป็นอย่างดี สำหรับแนวการสร้างเครื่องต้นแบบนี้ ได้สละช่องสื่อสารบางส่วน ไปเป็นส่วนให้บริการของระบบ เช่น อุปกรณ์กำเนิดเสียงต่าง ๆ ใช้ช่องสัญญาณสำหรับส่งไปเป็นจำนวน 21 ช่องสัญญาณด้วยกัน ส่วนทางด้านอุปกรณ์รับสัญญาณ DTMF นั้น จะใช้ช่องสัญญาณสำหรับรับได้ถึง 21 ช่องสัญญาณโดยไม่กระทบกระเทือนต่อความสามารถรวมของระบบนี้ กล่าวคือ ตู้ชุมสายโทรศัพท์ที่สร้างขึ้นมานี้ จะต่ออุปกรณ์สื่อสารภายนอกจริงได้ 256 - 21 = 235 เครื่อง ส่วนจำนวนอุปกรณ์รับสัญญาณ DTMF นั้นกำหนดได้โดยพิจารณาจากความหนาแน่นของการใช้งาน และ ระดับการให้บริการ [4]

อย่างไรก็ตามข้อบกพร่องของเครื่องต้นแบบนี้ ยังมีอีกมากซึ่งไม่สามารถจะปรับปรุงแก้ไขได้ภายในช่วงเวลาที่จำกัด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงขอรวบรวมข้อบกพร่องต่าง ๆ ตามที่ผู้เขียนได้ประสบ มาไว้ ณ ที่นี้ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่จะนำโครงงานนี้ไปปรับปรุงแก้ไข หรือแม้แต่นำไปเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างตู้ชุมสายโทรศัพท์ โดยใช้โครงสร้างแบบอื่น ๆ ต่อไป ให้ตระหนักถึงข้อผิดพลาดที่ได้เกิดขึ้นในงานวิทยานิพนธ์นี้ ดังนี้

1. ในเครื่องต้นแบบ ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟร่วมกันระหว่างส่วนอนาลอก และส่วนดิจิ

ตอล ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในโทรศัพท์มาก เมื่อมีการทดลองแยกแหล่งจ่ายไฟดังกล่าวก็ปรากฏว่าสามารถตัดสัญญาณรบกวนนี้ได้

2. การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ด้านหลัง (Back-Plane) มีข้อผิดพลาดที่วางสายส่งกำลังไฟ 5 V ใกล้กับสัญญาณกระดิ่ง และ ไฟ -48 V เมื่อเกิดอุบัติเหตุลัดวงจรขึ้น จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อวงจรรวม CODEC ซึ่งมีราคาแพง ทำให้เกิดความสูญเสียในระหว่างการพัฒนาโครงงานเป็นจำนวนมาก

3. ในหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และสายนอกนั้น คอนเนกเตอร์สำหรับเสียบวงจรเชื่อมโยง ควรเพิ่มขึ้นหนึ่งขาสำหรับบอกหน่วยเชื่อมโยงว่าเป็นวงจรแบบใด ทั้งนี้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมควบคุมบนหน่วยควบคุมย่อย ให้เป็นโปรแกรมที่ตัดสินใจได้ว่าวงจรเชื่อมโยงแต่ละตัวเป็นอะไร เพื่อจะได้ควบคุมได้อย่างถูกต้อง เมื่อทำถึงขั้นนี้ หน่วยเชื่อมโยงดังกล่าวจะมีลักษณะเด่นคือ สามารถเชื่อมโยงทั้งโทรศัพท์ภายในและสายนอกได้พร้อม ๆ กันตามความต้องการของผู้ใช้

4. คอนเนกเตอร์สำหรับเดินสาย TIP และ RING จากหน่วยเชื่อมโยงโทรศัพท์ภายใน และสายนอก มีลักษณะลอย การต่อสายดังกล่าวไปยัง MDF จะยุ่งยากมาก รวมทั้งการถอดการ์ดของหน่วยเชื่อมโยงดังกล่าวออก จะต้องถอดคอนเนกเตอร์ออกก่อน ก่อให้เกิดความไม่สะดวก ทั้งในแง่การพัฒนา การติดตั้ง และการบริการต่าง ๆ ทางแก้คือต้องให้เป็นคอนเนกเตอร์สำหรับเสียบลงบน Back-Plane แล้วต่อสายจาก Back-Plane ไปยัง Main Distribution Frame (MDF) อีกต่อหนึ่ง