บทที่ 5

การทดสอบการทำงานรวม

5.1 ภาคมอดูเลชั่นและดีมอดูเลชั่น

การทดสอบคุณสมบัติหรือสมรรถนะของระบบในการรับส่งข้อมูล สามารถพิจารณาได้จากอัตราผิดพลาดบิตที่เกิดขึ้นในระบบ ในการทดสอบระบบสามารถทำการทดสอบได้หลายแบบ การทดสอบสามารถทดสอบโดยการทำ Analog หรือ Remote Analog หรือ Digital หรือ Remote Digital Loop Back Test หรือ End-to-End Test การทดสอบแต่ละแบบก็เพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในระบบในแต่ละส่วน

5.1.1 รูปแบบการทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะในงานวิจัยนี้ เป็นการวัดคุณสมบัติของทั้งระบบ การวัดเป็นแบบ End-to-End Test เนื่องจากโมเดมที่ออกแบบมีการติดต่อสื่อสารแบบกึ่งสองทาง ทำงานแบบ 2 สาย และมีการแคลมป์วงจรทางด้านรับตลอดเวลาที่ทำการส่งข้อมูล

ข้อมูลสำหรับการทดสอบเพื่อหาอัตราผิดพลาดบิต ในที่นี้ใช้ข้อมูลที่ถูกสแครมเบอร์ตามมาตรฐาน V.52 ลักษณะข้อมูลเป็น 511 บิต Psuedo Random การสร้างข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างได้ด้วย IC MC6172 และ 6173 ซึ่งมีความสามารถดังกล่าวพร้อมสำหรับการทดสอบ ในการทดสอบข้อมูลจะถูกสแครมเบอร์เมื่อขา TPE ของ MC 6172 มีค่าเป็น '0' ถ้าที่ขา TxD ของ MC 6172 มีค่าเป็น '1' เมื่อวงจรดีสแครมเบอร์ทางด้านรับทำงาน (ขา TPE ของ MC 6173 มีค่าเป็น '0') ขา RxD ของ MC 6173 จะมีค่าเป็น '1' ตลอดเวลาจนกระทั่งเมื่อมีข้อมูลผิดพลาดเกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูล ขา RxD ของ MC 6173 จะมีค่าเป็น '0' การเปลี่ยนสถานะจาก '1' เป็น '0' เมื่อมีข้อมูลผิดพลาดเกิดขึ้นในระบบ สามารถตรวจจับได้โดยใช้วงจรนับและแสดงผลด้วยตัวเลข 2 หลัก ซึ่งผลที่แสดงเป็นจำนวนบิตข้อมูลที่ผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบทั้งหมด

การทดสอบเป็นการทดสอบการรับส่งข้อมูลของโมเดมที่ออกแบบ โดยทดสอบแบบ End-to-End Test ผ่านข่ายสายโทรศัพท์ภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการทดสอบโดยการส่งข้อมูลทั้งหมด 5,040,000 บิต จำนวนบิตที่ทดสอบคำนวณจากอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลในช่วงเวลาที่กำหนด จำนวนบิตข้อมูลผิดพลาดที่อ่านได้ต่อจำนวนบิตที่ทดสอบทั้งหมด เป็นอัตราผิดพลาดบิตของทั้งระบบที่สนใจ

5.1.2 ผลการทดสอบ

การทดสอบที่อัตรา 1200 บิตต่อวินาที ได้ทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 70 นาที (5,040,000 บิต) พบว่าไม่มีข้อมูลผิดพลาดเกิดขึ้นเลย แสดงว่าอัตราผิดพลาดบิตดีกว่า $2x10^{-7}$ ในการทดสอบที่อัตรา 2400 บิตต่อวินาที ได้ทำการทดสอบจำนวน 4 ครั้ง ครั้งละ 35 นาที (5,040,000 บิต) ปรากฏว่ามีข้อมูลผิดพลาดเกิดขึ้น พบว่าอัตราผิดพลาดบิตมีค่าประมาณ $2.1329x10^{-6}$ ผลการทดสอบแสดงใน การทดสอบ b ในตาราง 5.1 และ 5.2 สำหรับการทดสอบที่ 1200 และ 2400 บิตต่อวินาที ตามลำดับ

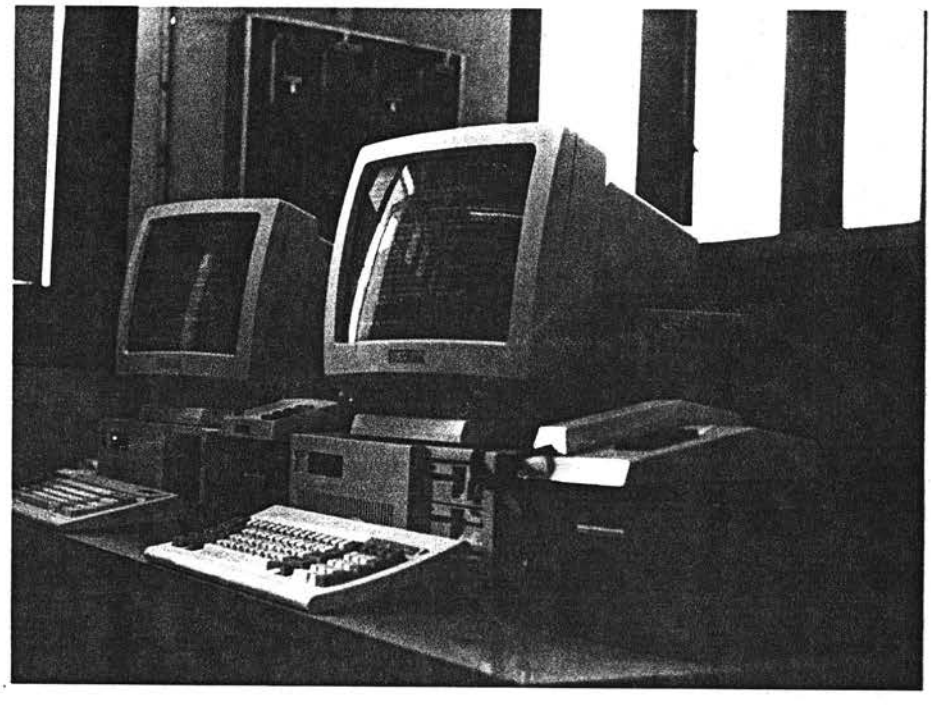
5.2 อุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นแบบซิงโครนัส

การทดสอบการทำงานในส่วนนี้ เพื่อเปรียบเทียบผลของการทดสอบเมื่อใช้และไม่ใช้อุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นแบบซิงโครนัส จากนั้นทำการคำนวณหาค่า Channel Utilization ของระบบเมื่อทำการรับส่งข้อมูลด้วยอะซิงโครนัสโพรโทคอล [31] ผลการทดสอบเป็นการเปรียบเทียบค่า Channel Utilization เมื่อใช้อุปกรณ์ดังกล่าว กับค่า Channel Utilization ของระบบในอุดมคติ ค่า Channel Utilization ของระบบในอุดมคติแสดงในการทดสอบ a ในตาราง 5.1 และ 5.2

5.2.1 รูปแบบการทดสอบ

รูปแบบในการทดสอบ เป็น การทดสอบโดยการส่งข้อมูลอะซิงโครนัสคาแรคเตอร์ (02dH) โดยทำการทดสอบแบบ End-to-End Test ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง

ผ่านโมเดม ผ่านข่ายสายโทรศัพท์ภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านรับทำการรับคาแรคเตอร์ทั้งหมดเก็บไว้ในหน่วยความจำ และแสดงผลคาแรคเตอร์ที่ได้รับที่มีค่าไม่เท่ากับ 02dH รูปแบบการทดสอบแสดงดังในรูป 5.2



รูป 5.2 รูปแบบในการทดสอบ

การทดสอบการทำงานในส่วนนี้ ได้ทำการทดสอบดังนี้ คือ

- การทดสอบ c เป็นการทดสอบเมื่อใช้อุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นซิงโครนัส ในที่นี้ทดสอบโดยมีการ Delay เวลาในการส่งขนาด 1 บิต เนื่องจากคำสั่งในการ Delay เวลาที่มีในภาษาปาสคาล มีขนาดเป็น ms จึงทำให้การ Delay เวลาในการส่งมีค่าประมาณ 1 บิตขึ้นไป

- การทดสอบ d เป็นการทดสอบเมื่อไม่ใช้อุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นซิงโครนัส โดยไม่การ Delay เวลาในการส่ง

- การทดสอบ e การทดสอบในส่วนนี้เป็นการทดสอบเหมือนกับการทดสอบ

ในข้อ d เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างโมเดมที่ออกแบบกับโมเดมที่มีขายในท้องตลาด ของ ERICSSON รุ่น ZAT-2400-7 ซึ่งไม่มีอุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลดังกล่าว

- การทดสอบ f เป็นการทดสอบเมื่อไม่ใช้อุปกรณ์ดังกล่าวแต่ทำการ Delay เวลาในการส่งขนาด 4-5 บิต

- การทดสอบ g การทดสอบในส่วนนี้เป็นการทดสอบเหมือนการทดสอบในข้อ f เพื่อเปรียบเทียบระหว่างโมเดมที่ออกแบบกับโมเดมที่มีขายในท้องตลาด ของ ERICSSON รุ่น ZAT-2400-7 ซึ่งไม่มีอุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลดังกล่าว

5.2.2 ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบ c เมื่อทำการทดสอบที่อัตรา 1200 บิตต่อวินาทีไม่พบคาแรคเตอร์ผิดพลาดเลย และในการทดสอบที่อัตรา 2400 บิตต่อวินาที พบว่าอัตราผิดพลาดคาแรคเตอร์ที่พบมีค่าใกล้เคียงกับอัตราผิดพลาดคาแรคเตอร์ที่คำนวณได้ [31] จากอัตราผิดพลาดบิต 2.1329×10^{-6} (การทดสอบ b) อนึ่งในการทดสอบ c เมื่อทำการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นซิงโครนัส โดยไม่มีการ Delay เวลาในการส่ง พบว่าผลที่ได้ใกล้เคียงกับเมื่อมีการ Delay เวลาในการส่งขนาด 1 บิต เนื่องจากลักษณะการรับส่งข้อมูลของซิงโครนัสโมเดมและการรับส่งข้อมูลอะซิงโครนัส เป็นแบบ Underspeed ซึ่งได้ผลจากการทดสอบ d ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป สรุปว่าการใช้อุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นแบบซิงโครนัสไม่ทำให้เกิดข้อมูลผิดพลาดเพิ่มขึ้นในระบบ ผลการทดสอบแสดงในตาราง 5.1 และ 5.2

จากผลการทดสอบ d พบว่าอัตราผิดพลาดคาแรคเตอร์มีค่าสูงมาก จากการวิเคราะห์คาแรคเตอร์ที่ผิดพลาดพบว่า คาแรคเตอร์ที่ได้รับผิดพลาดเนื่องจากการสุ่มข้อมูลด้วยสัญญาณนาฬิกาของซิงโครนัสโมเดมเร็วกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลอะซิงโครนัส (Underspeed) อนึ่งจากการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการทำงานของโมเดมที่ออกแบบกับโมเดมที่มีขายทั่วไป ในการทดสอบ d และ e พบว่าโมเดมที่มีขายทั่วไปมีอัตราผิดพลาดคาแรคเตอร์สูงกว่าโมเดมที่ออกแบบ สรุปได้ว่าสัญญาณนาฬิกาของโมเดม ERICSSON เร็วกว่าโมเดมที่ออกแบบ จากค่าอัตราผิดพลาดคาแรคเตอร์ที่ทดสอบ ค่า Channel Utilization ของการทดสอบ d และ e น้อย

สูตรคำนวณ Channel Efficiency

A = number of bits in ACK word (Frame)

C = bit rate (Channel capacity)

D = number of data bit per block

E = probability of a bit being in error

F = D + H

H = over head in asynchronous Protocol
(start bit + stop bit + parity bit + addittional stop bit) * block length + SOH + ETX + checksum character

I = propagation delay time and MIP interruppt

L = propability that a data and ACK frame is lost or damage

P1 = propability that a data frame is lost or damage

P2 = propability that an ACK frame is lost or damage

T = timeout interval

U = channel utilization (efficiency)

Assume I = 150 ms

T = A/C + 2I

$$U = \frac{D}{(L/(1-L))(F+CT)+(F+A+2CI)} \qquad (5.1)$$

$$U = \frac{D}{(L/(1-L))(F+A+2CI)+(F+A+2CI)} \qquad (5.2)$$

a = การรับส่งข้อมูลในทางอุดทคติ

b = การรับส่งข้อมูลซิงโครนัส โดยอาศัยวงจรสแครมเบอร์และดีสแครมเบอร์ภายใน IC MC 6172 และ 6173 ผ่านข่ายสายโทรศัพท์

c = การรับส่งข้อมูลอะซิงโครนัส ที่มี Delay เวลาขนาด 1 สต็อปบิต โดยผ่านวงจรแปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นซิงโครนัส ทำการรับส่งผ่านข่ายสายโทรศัพท์

d = การรับส่งข้อมูลอะซิงโครนัส ที่ไม่มีการ Delay เวลาและไม่ผ่านวงจรแปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นซิงโครนัส ทำการรับส่งผ่านข่ายสายโทรศัพท์

e = การรับส่งข้อมูลอะซิงโครนัส ที่ไม่มีการ Delay เวลาผ่านซิงโครนัสโมเดม ของ ERICSSON รุ่น ZAT 2400-7

f = การรับส่งข้อมูลอะซิงโครนัส ที่มี Delay เวลาขนาด 4-5 สต็อปบิต แต่ไม่ผ่านวงจรแปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ทำการรับส่งผ่านข่ายสายโทรศัพท์

g = การรับส่งข้อมูลอะซิงโครนัส ที่มี Delay เวลาขนาด 4-5 สต็อปบิต ผ่านซิงโครนัสโมเดม ของ ERICSSON รุ่น ZAT 2400-7

(1) = ข้อมูลที่ได้รับผิดพลาดอย่างมาก ซึ่งอ่านค่าได้ 08dH เนื่องจากส่งข้อมูลอะซิงโครนัสด้วยซิงโครนัสโมเดม

(2) = การคำนวณอัตราผิดพลาดของบล็อกข้อมูลคำนวณจากอัตราคาแรคเตอร์ผิดพลาดในบล็อกข้อมูลขนาด 132 ไบต์

$$L = 1 - (1-P)^{132} \qquad (5.3)$$

(3) = Channel Efficiency เป็นการคำนวณสำหรับอะซิงโครนัสโพรโตคอล

(4) = การคำนวณอัตราผิดพลาดคาแรคเตอร์คำนวณจากอัตราผิดพลาดของข้อมูลของคาแรคเตอร์ขนาด 12 บิต

$$P = 1 - (1-E)^{12} \qquad (5.4)$$

	จำนวนบิตหรือคาแรคเตอร์ที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	จำนวนบิตผิดพลาดที่พบทั้งหมด	จำนวน Char ผิดพลาดที่พบทั้งหมด	อัตราบิตผิดพลาดจากรับส่งข้อมูล	อัตราคาแรคเตอร์ผิดพลาดจากการส่งคาแรคเตอร์	อัตราผิดพลาดของบล็อกข้อมูล (L)[2]	Channel Efficiency (U)[3]
a	--	--	--	--	--	--	--	0.56512
b	5,040,000	3	ไม่พบ	--	ดีกว่า $2x10^{-7}$	--	--	0.56512
c	20000 char 20000x12x21	21	--	ไม่พบ	--	ไม่พบ	--	0.562674
d	2000 char (2000x11x5)	5	--	3583[1]	--	0.5971666	1	0
e	2000 char (2000x11x3)	3	--	4081[1]	--	0.680167	1	0
f	2000 char (2000x15x3)	3	--	14	--	$2.33x10^{-3}$	0.265025	0.321630
g	2000 char (2000x15x3)	3	--	16	--	$2.6667x10^{-3}$	0.297053	0.307614

ตาราง 5.1 ผลการทดสอบการรับส่งข้อมูลที่อัตรา 1200 บิตต่อวินาที

	จำนวนบิตหรือคาแรคเตอร์ที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่ทดสอบ	จำนวนบิตผิดพลาดที่พบทั้งหมด	จำนวน Char ผิดพลาดที่พบทั้งหมด	อัตราบิตผิดพลาดจากรับส่งข้อมูล	อัตราคาแรคเตอร์ผิดพลาดจากการส่งคาแรคเตอร์	อัตราผิดพลาดของบล็อกข้อมูล (L)[2]	Channel Efficiency (U)[3]
a	--	--	--	--	--	--	--	0.47145
b	5,040,000	4	12+6+22+3	--	2.1329×10^{-6}	2.5594×10^{-5}[4]	3.37281×10^{-3}	0.442945
c	20000 char 20000x12x21	21	--	13	--	3.0952×10^{-5}	4.07744×10^{-3}	0.442632
d	2000 char (2000x11x3)	3	--	3526[1]	--	0.58767	1	0
e	2000 char (2000x11x3)	3	--	5011[1]	--	0.835167	1	0
f	2000 char (2000x15x3)	3	--	15	--	2.5×10^{-3}	0.28137	0.25984
g	2000 char (2000x15x3)	3	--	22	--	3.667×10^{-3}	0.38426	0.22264

ตาราง 5.2 ผลการทดสอบการรับส่งข้อมูลที่อัตรา 2400 บิตต่อวินาที

มาก ซึ่งหมายความว่าในการส่งข้อมูลจะมีข้อมูลผิดพลาดเกิดขึ้นในทุกบล็อก

จากผลการทดสอบ f พบว่าอัตราผิดพลาดคาแรคเตอร์สูงกว่าเมื่อใช้อุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นแบบซิงโครนัส ผลการทดสอบ f และ g เปรียบเทียบกันพบว่าโมเดมที่มีขายทั่วไปมีอัตราผิดพลาดคาแรคเตอร์สูงกว่าโมเดมที่ออกแบบเช่นกัน

สรุปผลการทดสอบ แสดงว่าข้อสันนิษฐานในการสร้างอุปกรณ์แปลงการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นแบบซิงโครนัส ถูกต้อง และ ค่า Channel Utilization ของระบบที่ใช้อุปกรณ์ดังกล่าวจะน้อยกว่า ค่า Channel Utilization ของระบบในอุดมคติเล็กน้อย

5.3 วงจรไฮบริด

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบและวัดค่า Transmit/Receive Gain Variation (Insertion Loss) และ Transhybrid Rejection อันเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวงจรไฮบริด โดยทำการทดสอบดังนี้

1. ทำการทดสอบการทำงานของวงจรไฮบริด ที่ทำการต่อโหลดด้วยค่าความต้านทาน ขนาดต่างๆ ผลการทดสอบแสดงในตาราง 5.3

2. ทำการคำนวณการทำงานของวงจรไฮบริด ด้วยโปรแกรม LEC [32] ผลการคำนวณแสดงในตาราง 5.4

3. ทำการทดสอบการทำงานของวงจรไฮบริด โดยทดสอบผ่านข่ายสายโทรศัพท์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลการทดสอบแสดงในตาราง 5.5

จากการทดสอบพบว่า ค่า Insertion Loss ของวงจรไฮบริดทางด้านส่งและด้านรับมีค่าประมาณ 0 dB ตามที่ออกแบบ และเมื่อทำการโหลดวงจรไฮบริดด้วยค่าความต้านทาน 604 โอห์ม ค่า Transhybrid Rejection ของวงจร มีค่า -43.829 dB ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของโมเดมที่ออกแบบ เมื่อทำการทดสอบผ่านข่ายสายโทรศัพท์ภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าค่า Transhybrid Rejection เท่ากับ -20 dB เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของคู่สายโทรศัพท์ ขึ้นกับความถี่ที่ใช้ในคู่สายโทรศัพท์

ค่าอิมพีแดนซ์ของคู่สายโทรศัพท์ จึงมิได้มีเฉพาะค่าความต้านทานขนาด 600 โอห์มตามที่ออกแบบวงจรไฮบริดที่ออกแบบมีความสามารถในระดับหนึ่ง ซึ่งในที่นี้เหมาะสมสำหรับใช้งานในชุมสายภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ อนึ่งสำหรับชุมสายขององค์การโทรศัพท์ซึ่งคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของคู่สายมีค่าแตกต่างกันมาก แม้ทำการออกแบบวงจรไฮบริดแบบเล็งเลิศ เพื่อให้เหมาะสำหรับใช้งานกับชุมสายขององค์การโทรศัพท์ดังกล่าว โดยมีการเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ในวงจรไฮบริด ค่า Transhybrid Rejection มีค่าสูงมาก -6 dB ทำให้วงจรที่ออกแบบไม่สามารถทำงานกับโมเดมตามที่ออกแบบไว้ได้ ในการพัฒนาในการใช้งานชุมสายขององค์การโทรศัพท์ จึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรไฮบริดที่มีความสามารถปรับตัวเองได้ (Adaptive Hybrid)

ตาราง 5.3 ผลการทดสอบ ค่า Transhybrid Rejection ของวงจรไฮบริด เมื่อต่อโหลดด้วยค่าความต้านทานต่างๆ

โหลดของวงจรไฮบริด (โอห์ม)	ค่า Transhybrid Rejection (db)
400	-13.914
450	-17.721
500	-21.411
550	-26.466
600	-43.829
650	-31.701
700	-24.437
750	-20.915
800	-15.391

ตาราง 5.4 ผลการคำนวณวงจรไฮบริด ด้วยโปรแกรม LEC ค่า Transhybrid Rejection ของวงจรไฮบริด เมื่อคิดโหลดด้วยค่าความต้านทานต่างๆ

โหลดของวงจรไฮบริด (โอห์ม)	ค่า Transhybrid Rejection (db)
400	-13.890
450	-16.781
500	-20.644
550	-26.868
600	-53.960
650	-28.344
700	-22.464
750	-19.208
800	-16.991

ตาราง 5.5 ผลการทดสอบวงจรไฮบริด ทดสอบผ่านข่ายสายโทรศัพท์ภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Transmit and Receive Gain Variation (Insertion Loss)	V_{tx}/V_1 V_1/V_{rx}	0 dB 0 dB
Transhybrid Rejection	V_{tx}/V_{rx}	-20 dB

5.4 อุปกรณ์ติดต่อสื่อสารอัตโนมัติ

เมื่อได้รับคำสั่งให้หมุนโทรศัพท์อัตโนมัติ จากซอฟต์แวร์ควบคุมการติดต่อสื่อสารบน IBM PC การทำงานสามารถหมุนไปยังสถานีปลายทางได้ จากการทดสอบวงจรอินเตอร์เฟสโทรศัพท์ เมื่อทำการยกหูพบว่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเป็นไปตามข้อกำหนด แรงดันไฟตรงของคู่สายโทรศัพท์เมื่อทำการยกหูมีค่าระหว่าง 5-8 โวลท์ การสื่อสารข้อมูลผ่านการคลัปปิ้งของทรานสฟอร์มเมอร์และวงจรอินเตอร์เฟสโทรศัพท์ทำงานได้ผลดี แต่ในตอนแรกสัญญาณที่ผ่านการคลัปปิ้งของทรานสฟอร์มเมอร์มีกำลังต่ำมาก เนื่องจากค่า C ที่ใช้ไม่เหมาะสม เมื่อเปลี่ยน C เป็นขนาด 47 uf แล้ว ปรากฏว่าสัญญาณคลัปปิ้งผ่านทรานสฟอร์มเมอร์ดีมาก และไม่มีผลของ Core Saturation ของทรานสฟอร์มเมอร์ตลอดย่านความถี่เสียง ทำให้การสื่อสารข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง

สำหรับวงจรตรวจจับสัญญาณ Ringing Tone สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ

5.5 ระบบโปรษณีย์อิเลกทรอนิกส์และวงจรนาฬิกาจริง

จากการทดสอบโดยทำการส่งข้อมูลล่วงหน้า ตามโพรโทคอลการรับส่งข้อมูลในการโอนย้ายแฟ้มข้อมูล โดยทำงานร่วมกับวงจรนาฬิกาจริงภายใต้การควบคุมของ Z-80 พบว่าสามารถทำงานได้ถูกต้องตามเวลาที่ออกแบบไว้

ในทำนองเดียวกันเมื่อทำการรับส่งข้อมูลอัตโนมัติ (Unattended Mail) พบว่าเป็นไปตามที่ออกแบบ และเมื่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทางทำงานก็สามารถทำการโอนย้ายจากหน่วยความจำเข้าไปเก็บในอุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทางได้ตามต้องการ

5.6 โปรแกรมโอนย้ายแฟ้มข้อมูล

จากการทดสอบโดยทำการโอนย้ายแฟ้มข้อมูล ในขั้นแรกยังไม่ทำการเก็บข้อมูลลงใน Disk แต่ให้แสดงทางจอภาพ พบว่าเมื่อทำการรับส่งข้อมูลที่อัตราการรับส่งข้อมูล 2400

บิตต่อวินาที มีข้อมูลสูญหาย เนื่องจากเสียเวลาในการแสดงผลทางจอภาพทำให้การรับส่งข้อมูลไม่ทัน แต่เมื่อทำการรับส่งข้อมูลและเก็บลงใน Disk พบว่าข้อมูลที่ได้รับครบถ้วนในการรับส่งข้อมูล 1200 และ 2400 บิตต่อวินาที

5.7 โปรแกรมรักษาความปลอดภัยข้อมูล

การทดสอบพบว่าโปรแกรมสามารถทำการแปลง Plain Text ใดๆ ให้เป็น Cipher Text ได้ และเมื่อใส่รหัสที่ไม่ถูกต้อง Cipher Text ดังกล่าวไม่สามารถแปลงกลับมาเป็น Plain Text ที่ถูกต้องได้ แสดงว่าความปลอดภัยของข้อมูลตามโปรแกรมที่ออกแบบนี้มีความปลอดภัยที่สูงมาก นอกจากนั้นวิธีการที่ใช้นี้ขนาดของ Cipher Text ที่ได้รับจะเท่ากับขนาดของ Plain Text เดิม ซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูป Super Key วิธีการที่ใช้จะสร้างขนาด Cipher Text มีขนาดใหญ่ขึ้น

ในการทดสอบ โดยการแก้ข้อความใน Cipher Text ให้มีความแตกต่างของบิตจำนวน 1 บิต แล้วทำการแปลงข้อความ Cipher Text ให้กลับเป็น Plain Text โดยใช้รหัสที่ถูกต้อง พบว่า Plain Text ที่ได้มีข้อความผิดพลาดเพียง 1 บิต เพียงแต่ว่าเปลี่ยนตำแหน่งของคาแรคเตอร์ไป ตามมาตรฐานของ DES จากผลการทดสอบพบว่าโปรแกรมดังกล่าวนี้มีความเหมาะสมในการสื่อสารข้อมูล เนื่องจากไม่มีผลของ Error Propagation ของข้อมูลผิดพลาดเหมือนกับการสแครมเมอร์ข้อมูล ซึ่งจะมี Error Propagation เท่ากับค่ากำลังของอนุกรมกำลังที่ใช้

5.8 โปรแกรมจำลองการจัดการของ IBM PC

การทำงานของโปรแกรมจำลองการจัดการของ IBM PC เช่น DIR และ Type ทำงานได้ดีพอสมควร แต่ในการทำงานในทางปฏิบัติจำเป็นต้องอาศัยโปรแกรม editor ที่มีความสามารถมากกว่านี้ เช่น คำสั่งหาคำ หรือไปที่หน้าแรก หรือ หน้าสุดท้ายเป็นต้น อย่างไรก็ดีโปรแกรม Type สามารถพลิกหาข้อความเป็นหน้าหน้าได้ตามที่ออกแบบ และ DIR สามารถอำนวยความสะดวกในการค้นหา File ได้ตามที่ออกแบบ

5.9 การทดสอบโปรแกรมอื่น ๆ

โปรแกรม Remote เป็นโปรแกรมที่มีฟังก์ชั่นการทำงาน 2 ส่วนคือ

1. Request เพื่อเรียกแฟ้มข้อมูลของเครื่องทางด้านสถานีปลายทาง
2. Remote DIR เพื่อเรียกให้แสดงแฟ้มข้อมูลของเครื่องทางสถานีปลายทาง

โปรแกรมดังกล่าว ทำงานโดยใช้โพรโทคอลการโอนย้ายแฟ้มข้อมูล ซึ่งจากการทดสอบ สามารถโอนย้ายได้เช่นเดียวกับซอฟต์แวร์ควบคุมการติดต่อสื่อสารทั่วไป

สรุปผลการทดสอบซอฟต์แวร์ต่างๆที่พัฒนาขึ้น พบว่าซอฟต์แวร์โดยส่วนใหญ่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และโปรแกรมที่เขียนไว้มีลักษณะเป็นโมดูลอยู่แล้วสามารถทำการดัดแปลงและพัฒนาเพิ่มเติมได้ง่าย