สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การสร้าง การทดสอบการทำงานและผลการทดสอบอุปกรณ์สื่อสารปลายทาง

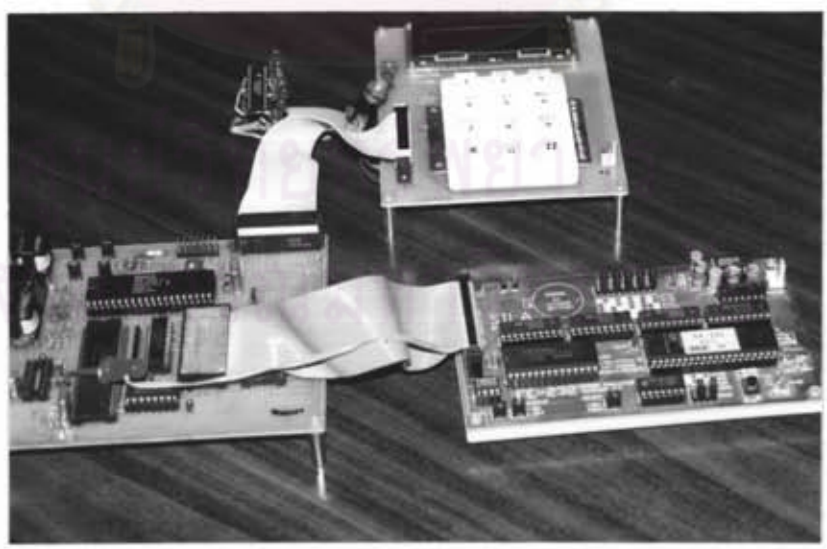
ในบทที่ 3 ถึงบทที่ 5 ได้กล่าวถึงการออกแบบระบบ รวมทั้งการออกแบบวิธีการทดสอบการทำงานของส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้าง การทดสอบและผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางที่ออกแบบและสร้างขึ้น

การสร้าง การทดสอบและผลการทดสอบทางด้านฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทาง

ฮาร์ดแวร์ได้สร้างและประกอบฮาร์ดแวร์ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 6.1 คือ

1. ส่วนวงจรหลัก ส่วนนี้ในแผ่นวงจรพิมพ์แบบ Plate through hole หรือ PTH PCB การออกแบบลายวงจรพิมพ์ของวงจรหลักนี้มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะลายวงจรพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณทางอนาลอก จึงต้องระวังเป็นพิเศษในการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์

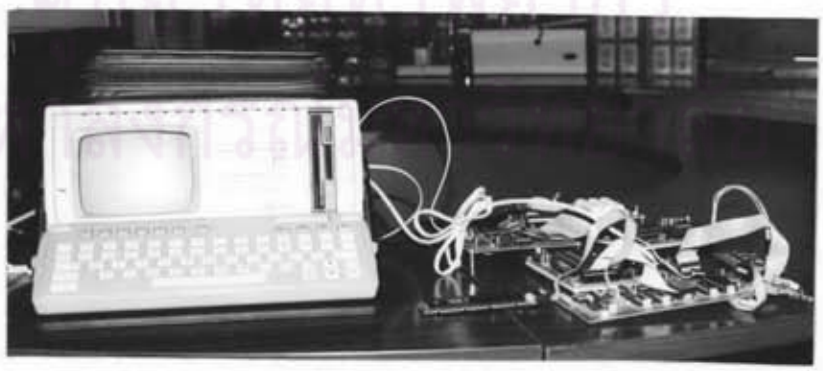
2. ส่วนอุปกรณ์รอบข้าง (Peripheral) ส่วนนี้ใช้แผ่นวงจรพิมพ์แบบหน้าเดียว โดยใช้หน้าที่ไม่มีลายวงจรพิมพ์เป็นหน้าปัด และติดตั้งอุปกรณ์บนด้านที่มีลายวงจรพิมพ์



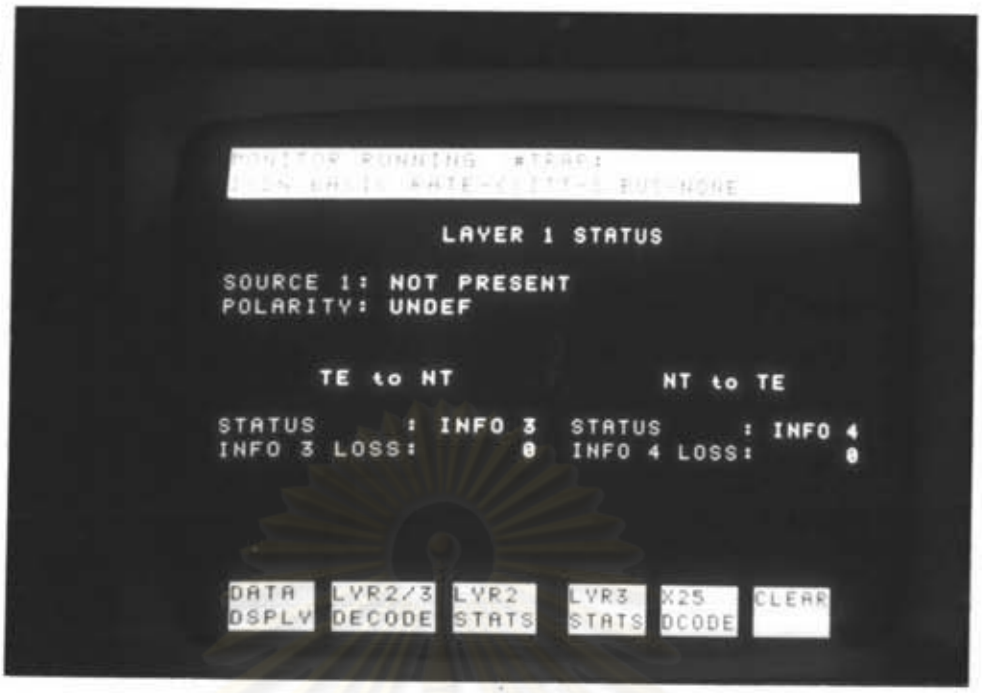
รูปที่ 6.1 แสดงฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางที่ออกแบบและสร้างขึ้น

หลังจากที่ได้แผ่นวงจรพิมพ์แล้วให้ตรวจสอบความถูกต้องของลายวงจรด้วยโอห์มมิเตอร์ ก่อนที่จะติดตั้งอุปกรณ์ลงไป หลังจากที่สร้างฮาร์ดแวร์เรียบร้อยแล้วจึงทำการทดสอบฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นด้วยวิธีที่ได้ออกแบบไว้และแก้ไขจนทำงานได้ถูกต้อง

ฮาร์ดแวร์ส่วนที่เกี่ยวข้องกับจุดอ้างอิง S มีส่วนสำคัญโดยตรงต่อลักษณะสมบัติที่กำหนดโดยมาตรฐาน ITU-T I.430-I.431 (ITU-T, 1988a) ซึ่งทำงานตามโปรโตคอลในชั้นที่ 1 อย่างไรก็ดี เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการออกแบบซอฟต์แวร์มากกว่าทางฮาร์ดแวร์ การออกแบบทางฮาร์ดแวร์จึงทำเพียงให้การรับส่งข้อมูลที่จุดอ้างอิง S มีความถูกต้องเท่านั้น มิได้ออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐานทั้งหมด เช่น ไม่มีส่วนของวงจรป้องกันการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) หรือไม่ได้ทดสอบหาค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้าและขาออก (Input Impedance และ Output Impedance) ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทาง การทดสอบส่วนที่ทำงานในชั้นที่ 1 นี้ใช้วิธีเขียนโปรแกรมให้อุปกรณ์สื่อสารปลายทางสามารถรับส่ง info0 info1 info2 info3 และ info4 (ITU-T, 1988a) ได้ถูกต้องตามลำดับที่กำหนดโดย I.430-I.431 หลังจากที่รับส่ง info ต่างๆ ได้ถูกต้องตามลำดับแล้วจึงสั่งให้อุปกรณ์สื่อสารปลายทางรับส่ง info3 และ info4 กับ LT-S ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หากไม่เกิด Lost frame (Siemens AG., 1992a) ถือว่าการทดสอบสมบูรณ์ หากมี Lost frame เกิดขึ้นให้ตรวจสอบวงจรทางด้านอนาลอกของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางและ LT-S การตรวจสอบ Lost frame ทำได้โดยติดตามที่โปรโตคอลอนาไลเซอร์ที่ต่ออยู่ระหว่างอุปกรณ์สื่อสารปลายทางกับ LT-S หรือจะเขียนโปรแกรมของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางและ LT-S ให้ตรวจสอบสถานะ Lost frame ที่ PEB2085 รายงานขึ้นมาผ่านทางสัญญาณอินเตอร์รัพท์ก็ได้ สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน ดังรูปที่ 6.2 และรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.2 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสารปลายทาง โปรโตคอลอนาไลเซอร์และ LT-S



รูปที่ 6.3 แสดงการทดสอบการรับส่ง info3 และ info4 โดยใช้โปรโตคอลอนาไลเซอร์

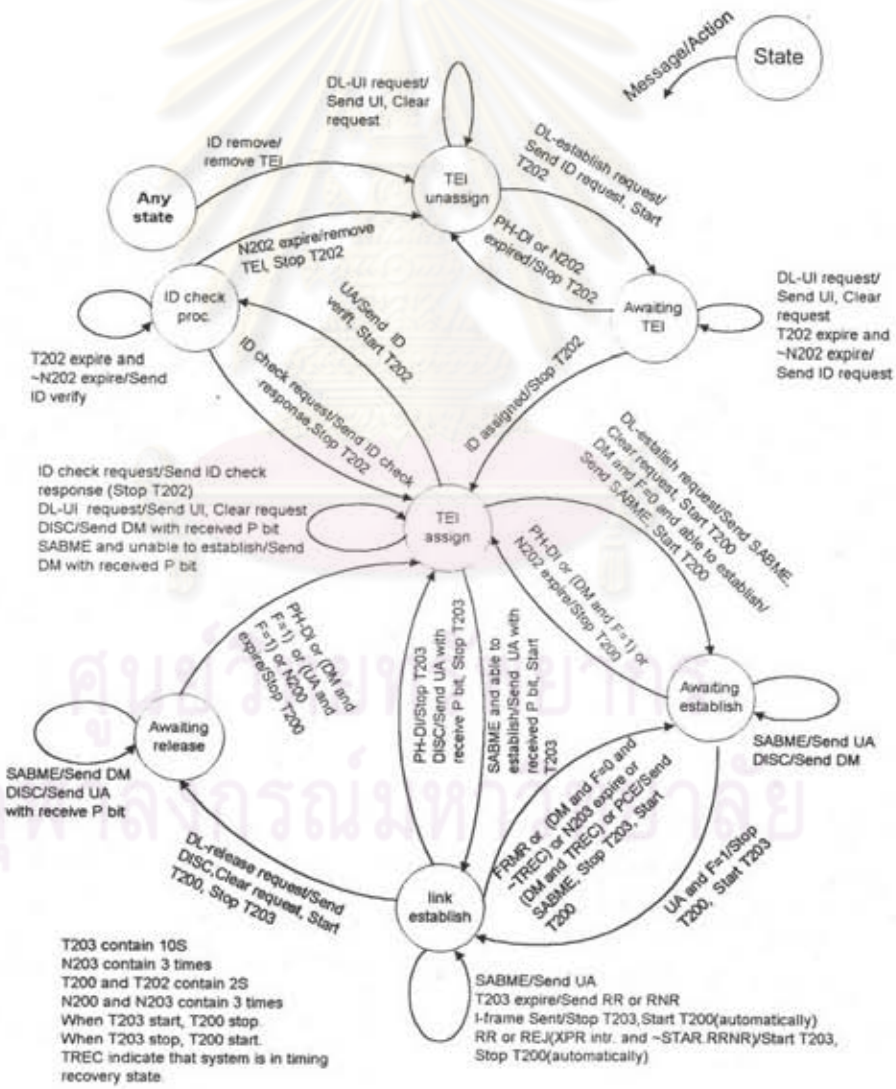
หลังจากที่ได้สร้างและทดสอบฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางที่ออกแบบและสร้างขึ้น ได้ทำการแก้ไข ปรับแต่งจนอุปกรณ์สื่อสารปลายทางสามารถทำงานตามขั้นตอนที่กำหนดตามมาตรฐาน ITU-T I.430-I.431 ตลอดจนสามารถรับส่ง info3 และ info4 โดยไม่เกิด Lost frame ได้ตามต้องการ

<u>การสร้าง การทดสอบและผลการทดสอบทางด้านซอฟต์แวร์ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทาง</u>

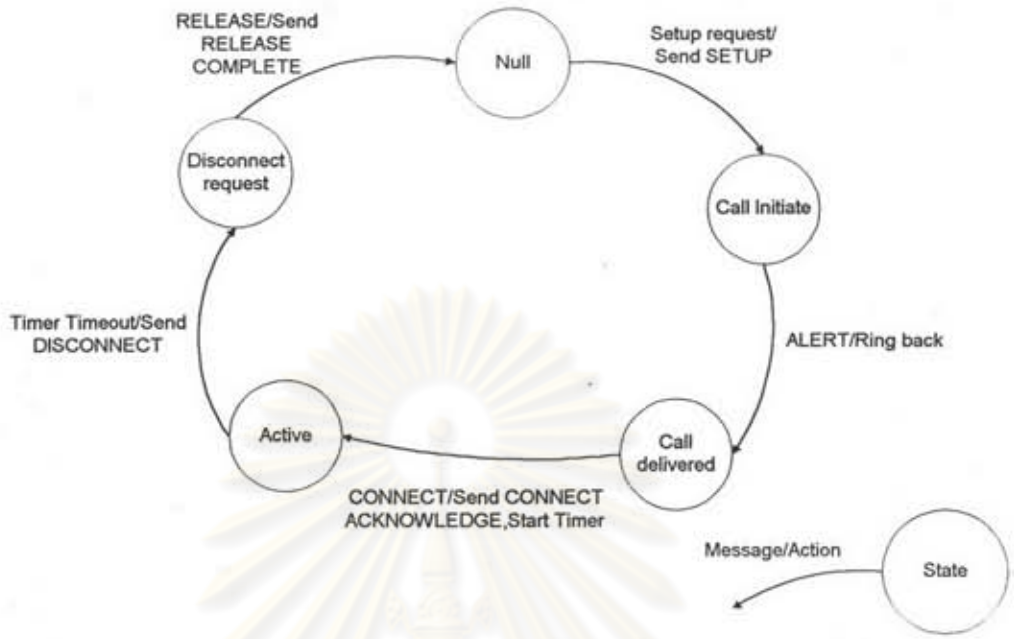
ก่อนที่จะสร้างซอฟต์แวร์ต้องสร้างและทดสอบฮาร์ดแวร์ให้สมบูรณ์เสียก่อน หากการสร้างและทดสอบฮาร์ดแวร์ไม่สมบูรณ์จะทำให้ไม่สามารถสร้างฟังก์ชั่นในระดับที่ทำงานเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์ได้ ซึ่งจะส่งผลถึงการสร้างฟังก์ชั่นในระดับที่สูงขึ้นไป ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงการสร้างฟังก์ชั่นในระดับที่ทำงานเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์ เนื่องจากฟังก์ชั่นในระดับนี้ขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์โดยตรง การเปลี่ยนแปลงฮาร์ดแวร์ เช่น การเปลี่ยนเบอร์หรือตระกูลของไอซีที่ใช้งาน ต้องมีการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชั่นในระดับที่ทำงานเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์ให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงนั้นด้วย หากแต่กำหนดให้ข้อมูลที่รับส่งเข้าออกจากฟังก์ชั่นเหล่านี้เหมือนเดิมจะทำให้ไม่ต้องแก้ไขฟังก์ชั่นที่อยู่สูงขึ้นไปอีก

หลังจากทดสอบจนฮาร์ดแวร์ทำงานได้ดีแล้ว จึงทำการสร้างซอฟต์แวร์ ฟังก์ชั่นสำคัญของซอฟต์แวร์ที่เป็นส่วนทำงานหลักของอุปกรณ์สื่อสารปลายทาง ได้แก่ ฟังก์ชั่นที่ทำหน้าที่ควบ

คุมการทำงานตามโปรโตคอลในชั้นที่ 1 2 และ 3 เนื่องจาก PEB2085 สามารถทำงานในชั้นที่ 1 ตามมาตรฐาน ITU-T I.430-I.431 ได้ (Siemens AG., 1992a) ผู้ใช้เพียงแต่ส่งคำสั่งและติดตามสถานะของชั้นที่ 1 จาก PEB2085 เท่านั้น จึงไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดในการสร้าง ส่วนการสร้างฟังก์ชั่นสำหรับควบคุมการทำงานในระดับชั้นที่ 2 และ 3 เริ่มจากหลังจากศึกษารายละเอียดการทำงานของโปรโตคอลในชั้นที่ 2 และ 3 และรายละเอียดของ PEB2085 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในชั้นที่ 2 แล้ว ได้ออกแบบแผนภาพแสดงสภานะ (State Diagram) โดยแผนภาพที่สร้างขึ้นนี้เป็นแผนภาพที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนของ SDL diagram (ITU-T, 1988b) บางส่วน ให้เหมาะสมกับการทำงานของ PEB2085 โดยยังสามารถทำงานตามโปรโตคอลเดิมได้ ดังรูปที่ 6.4 และรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.4 แสดง State diagram ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางตามมาตรฐาน ITU-T Q.920-Q.921



รูปที่ 6.5 แสดง State diagram ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางตามมาตรฐาน ITU-T Q.930-Q.931

จากรูปที่ 6.4 จะเห็นว่า state diagram ของชั้นที่ 2 มีรายละเอียดค่อนข้างมาก เนื่องจากต้องการให้อุปกรณ์สื่อสารปลายทางทำงานคลอบคลุมตามมาตรฐาน ITU-T Q.920-Q.921 ทั้งหมด อย่างไรก็ดี การทำงานของชั้นที่ 2 ก็มีข้อจำกัดตามข้อจำกัดเนื่องจากการทำงานใน Auto mode ของ PEB2085 ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 ส่วนรูปที่ 6.5 เป็น state diagram ของชั้นที่ 3 ซึ่งทำงานตามโปรโตคอลเฉพาะส่วนที่เกี่ยวกับการขอใช้และยกเลิกการใช้บริการในบางขั้นตอนที่สำคัญเท่านั้น มิได้ทำงานตามมาตรฐาน ITU-T Q.930-Q.931 ทั้งหมด

หลังจากที่ได้ state diagram แล้ว นำ state diagram ที่ได้มาเขียน ตารางแสดงสถานะ หรือ state table ได้ดังตารางที่ 6.1 สำหรับ state diagram ของชั้นที่ 2 และตารางที่ 6.2 สำหรับ state diagram ของชั้นที่ 3

ตารางที่ 6.1 แสดง State table ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางที่ทำงานตามโปรโตคอลของมาตรฐาน ITU-T Q.920-Q.921

Current state	Message received	Next state	Action
TEI unassign	DL-UI request	TEI unassign	Send frame, Clear request
	DL-establish request	Awaiting TEI	Send ID request, start T202
	PH-DI	TEI unassign	Clear all request
	ID remove	TEI unassign	remove TEI, Clear all request
Awaiting TEI	PH-DI or N202 expire or ID remove	TEI unassign	Stop T202, Clear all request
	DL-UI request	Awaiting TEI	Send frame, Clear request
	T202 expire and ~N202 expire	Awaiting TEI	Send ID request
	ID assigned	TEI assign	Stop T202
TEI assign	DL-UI request	TEI assign	Send frame, Clear request
	ID check request	TEI assign	Send ID check response
	PH-DI	TEI assign	Clear all request
	DISC	TEI assign	Send DM /w received P bit
	SABME and own unable to estalish	TEI assign	Send DM /w received P bit
	SABME and own able to estalish	Link establish	Send UA /w received P bit, start T203, clear DL-estblish request
	UA	ID check proc.	Send ID verify, start T202
	DL-establish request	Awaiting est.	Send SABME, clear request, start T200
	DM /w F=0 and own able to establish	Awaiting est.	Send SABME, start T200, clear DL-establish request

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 แสดง State table ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางที่ทำงานตามโปรโตคอลของมาตรฐาน ITU-T Q.920-Q.921 (ต่อ)

Current state	Message received	Next state	Action
TEI assign	ID remove	TEI unassign	remove TEI, Clear all request
ID check proc.	ID check request	TEI assign	Send ID check response, stop T202
	T202 expire and ~N202 expire	ID check proc.	Send ID verify
	N202 expire or ID remove or PH-DI	TEI unassign	remove TEI, stop T202, clear all request
Awaiting est.	SABME	Awaiting est.	Send UA
	DISC	Awaiting est.	Send DM
	PH-DI or (DM /w F=1) or (N200 expire)	TEI assign	Stop T200
	T200 expire and ~N200 expire	Awaiting est.	Send SABME
	UA /w F=1	Link establish	Stop T200, Start T203
	ID remove	TEI unassign	remove TEI, Clear all request, Stop T200
Link establish	SABME	Link establish	Send UA, reset HDLC, start T203, stop T200
	T203 expire and ~N203 expire	Link establish	Send RR or RNR
	Send I frame	Link establish	Stop T203
	Tx_repeat(REJ received) or TX data underrun	Link establish	Stop T200, Start T203, resend frame

ตารางที่ 6.1 แสดง State table ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางที่ทำงานตามโปรโตคอลของมาตรฐาน ITU-T Q.920-Q.921 (ต่อ)

Current state	Message received	Next state	Action
Link establish	RR	Link establish	Start T203
	FRMR or DM /w F=0 and ~TREC or N203 expire or DM and TREC or PCE	Awaiting est.	Send SABME, start T200, Stop T203
	PH-DI	TEI assign	Stop T203, Stop T200, DL-release
	DISC	TEI assign	Send UA /w received P bit, Stop T203, Stop T200, DL-release
	ID remove	TEI unassign	Stop T203, Stop T200, remove TEI, DL-release
	DL release request	Awaiting release	Send DISC, Clear request, Start T200, Stop T203
Awaiting release	SABME	Awaiting release	Send DM
	DISC	Awaiting release	Send UA /w received P bit
	PH-DI or DM /w F=1 or UA /w F=1 or N200 expire	TEI assign	Stop T200, DL-release
	ID remove	TEI unassign	Stop T200, DL-release

ตารางที่ 6.2 แสดง State table ของอุปกรณ์สื่อสารปลายทางที่ทำงานตามโปรโตคอลของมาตรฐาน ITU-T Q.930-Q.931

Current State	Message	Next State	Action
0 Null	setup request	1 Call Initiate	Send SETUP
1 Call Initiate	ALERT	4 Call delivered	Ring back
4 Call Delivered	CONN.	10 Active	Send CONN ACK.
10 Active	Disconnect request	11 Disconnect request	Send DISC
11 Disc. request	RELE	0 Null	Send RELE COMP.

หมายเหตุ Setup request: ผู้ใช้ต้องการขอใช้บริการจากโครงข่ายไอเอสดีเอ็น

Disconnect request: ผู้ใช้ต้องการยกเลิกการใช้บริการจากโครงข่ายไอเอสดีเอ็น

เมื่อได้ตารางแสดงสถานะแล้วจึงนำไปเขียน PDL ระดับ 3 โดยมีรูปแบบ คือ

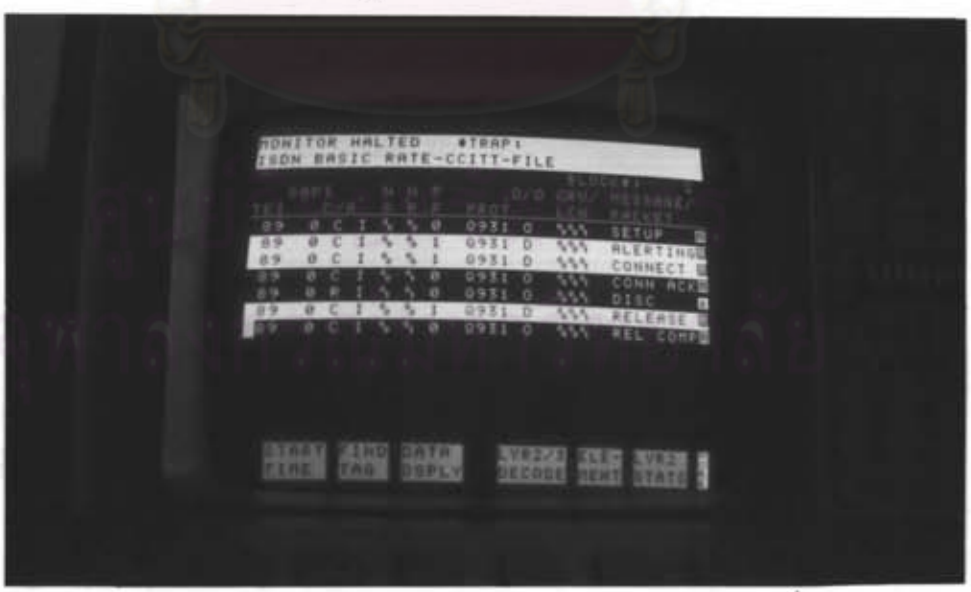
```
Select Case
    Case current state:
        Select Case
            Case Message:
                Do Action;
                current state=Next state;
                Break;
        End Select
    Break;
End Select
```

จากนั้นจึงนำไปเข้ารหัสเป็นภาษาแอสเซมบลีและแปลเป็นภาษาเครื่องของ 8031 ด้วยตัวแปลภาษาต่อไป เมื่อทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาและทดสอบจนฟังก์ชั่นต่างๆ ทำงานแล้ว จึงทำการทดสอบการทำงานของระบบโดยรวมทั้งหมดอีกครั้งหนึ่ง พบว่าระบบทำงานได้ดีเมื่อทำงานในโปรโตคอลตามมาตรฐาน ITU-T Q.920-Q.921 โดยใช้ Stub (John B. Peatman, 1988) แทนฟังก์ชั่นที่ทำงานในโปรโตคอลตามมาตรฐาน ITU-T Q.930-Q.931 โดยได้เขียนโปรแกรมของ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LT-S ให้ส่งเฟรมไปที่อุปกรณ์สื่อสารปลายทางทั้งกรณีที่ทำงานตามโปรโตคอลปกติและในกรณีที่ LT-S ส่งเฟรมผิดขั้นตอนตามโปรโตคอลในชั้นที่ 2 และระบบยังคงทำงานได้ดีเมื่อเพิ่มฟังก์ชั่นที่ทำงานในโปรโตคอลตามมาตรฐาน ITU-T Q.930-Q.931 ลงไป หาก LT-S ส่งเฟรมตามขั้นตอนที่ถูกต้องตามโปรโตคอลของมาตรฐาน ITU-T Q.930-Q.931 ดังรูปที่ 6.6 และรูปที่ 6.7

รูปที่ 6.6 แสดงข้อมูลที่รับส่งที่จุดอ้างอิง S ระหว่างอุปกรณ์สื่อสารปลายทางและ LT-S ตามมาตรฐาน ITU-T Q.920-Q.921



รูปที่ 6.7 แสดงข้อมูลที่รับส่งที่จุดอ้างอิง S ระหว่างอุปกรณ์สื่อสารปลายทางและ LT-S ตามมาตรฐาน ITU-T Q.930-Q.931