ระบบโทรศัพท์แบบมัลติเพลกซ์สำหรับการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง

MULTIPLEXED TELEPHONE SYSTEMS FOR OPTICAL COMMUNICATION

ชัยบูรณ์ กังสเจียรณ์ วศ.บ.

CHAIBOON KANGSAJIAN B.Eng.

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. แดเนียล บรีน

ADVISOR

DANIEL BREEN D.Phil(Oxon)

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	III
ABSTRACT	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ระบบสวิทชิ่งโทรศัพท์แบบดิจิตอล	3
2.1 คุณสมบัติของการสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิตอล	3
2.2 ระบบสวิทชิ่งโทรศัพท์	4
2.3 สายส่ง	6
บทที่ 3 PCM และการมัลติเพลกซ์แบบ TDM	8
3.1 การแซมปลิ้ง	8
3.2 การควอนไทเซชั่นและโค้ดดิ้ง	9
3.3 TDM	14
บทที่ 4 การออกแบบวงจร	19
4.1 วงจรควบคุมการทำงานและรับส่งสัญญาณควบคุม	19
4.2 วงจรตัดต่อช่องสัญญาณและไทม์สวิท	25
4.3 วงจรสร้างสัญญาณเวลาและชิ่งโครไนเซอร์	29
4.4 วงจรสแครมเบลอร์ ดีสแครมเบลอร์ และคล็อครีเจนเนอเรเตอร์	32
4.5 วงจรอินเตอร์เฟสโทรศัพท์และวงจรสร้างสัญญาณโทรศัพท์	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 โปรแกรมที่ใช้ในระบบ 54

5.1 โปรแกรมเริ่มต้น 54

5.2 โปรแกรมหลัก 55

5.3 โปรแกรมบริการการใช้งาน 57

5.4 โปรแกรมตอบรับการเรียก 62

5.5 โปรแกรมอินเทอร์รัพท์ 64

บทที่ 6 บทสรุป 67

เอกสารอ้างอิง 69

กิตติกรรมประกาศ 70

ภาคผนวกที่ 1 โปรแกรมของระบบ 71

ภาคผนวกที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการเสนอผลการทดสองระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องด้วยมีความเหมาะสมสำหรับการส่งสัญญาณแบบมัลติเพลกซ์ (Multiplex) และการลดทอนภายในสายมีน้อย ระบบที่สร้างขึ้นเป็นชุมสายโทรศัพท์ที่มีการทำงานแบบ TDM (Time Division Multiplex) ขนิด 32 ช่องสัญญาณ และใช้การแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณดิจิตอล (Digital) แบบ PCM (Pulse Code Modulation) มีอัตราการส่ง 2.048 Mb/s. ในการทดลองนี้ได้สร้างชุมสายขึ้น 2 ชุมสาย โดยที่แต่ละชุมสายสามารถติดตั้งโทรศัพท์ได้ 30 เครื่อง และใช้ไมโครโปรเซสเซอร์(Microprocessor) ในการควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Optical fibre is rapidly becomming the most widely used transmission medium in communication. To take advantage of the large bandwidth available in optical fibre multiplexing of signals must be used. In addition, to design systems of maximum repeater distance digital techniques are necessary. The present thesis describe the design, construction and testing of a pulse code modulation (PCM) time division multiplex (TDM) sysetem, with scrambling and computer controlled channel testing and switching, appropriate for optical communication. The constructed system allows trasmission of 32 channels operating at standard 2.048 Mb/s (European Primary system), as used in Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 จุดประสงค์

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ต้องการที่จะศึกษาเกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบดิจิตอล ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมและนำมาใช้แทนการสื่อสารแบบเดิมหลาย ๆ แบบที่ใช้การส่งด้วยสัญญาณอนาลอก การสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิตอลแบบ PCM เป็นชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในระบบชุมสายโทรศัพท์ ในการทดลองนี้จึงได้สร้างระบบชุมสายโทรศัพท์แบบ PCM ขนาด 32 ช่องสัญญาณตามมาตรฐานของ CCITT(The International Telegraph and Telephone Consultative Committee) ซึ่งแต่ละชุมสายสามารถต่อเครื่องลูกโทรศัพท์ได้ 30 เครื่องขึ้น 2 ชุมสาย เพื่อทำการทดลองการรับส่งสัญญาณระหว่างกัน ซึ่งระหว่างชุมสายทั้ง 2 จะใช้สายส่งสัญญาณเพียง 2 คู่ เพราะใช้การส่งสัญญาณแบบ TDM ตัวสายส่งจะใช้เส้นใยนำแสง ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับสัญญาณดิจิตอล

1.2 ส่วนประกอบของระบบ แบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ ได้ คือ

1) วงจรควบคุมการทำงานและตัดต่อช่องสัญญาณ ประกอบด้วยไมโครคอมพิวเตอร์แบบชิปเดี่ยวเบอร์ 8035 เป็นตัวควบคุมการทำงาน และมีวงจรสร้างสัญญาณเวลา (clock) และสัญญาณช่องเวลา (time slot) ที่จะใช้ในการติดต่อกับโทรศัพท์แต่ละเครื่อง วงจรสร้างสัญญาณโทรศัพท์ วงจรมัลติเพลกซ์และดีมัลติเพลกซ์

2) วงจรติดต่อควบคุมโทรศัพท์ มีหน้าที่ในการสร้างสัญญาณเพื่อแสดงสถานะต่าง ๆ ของโทรศัพท์ให้ CPU (Central Processor Unit, 8035) รับรู้และรับสัญญาณโทรศัพท์จากส่วนควบคุม รวมทั้งวงจรไฮบริด (Hybrid), และวงจรโคเด็ค (Coder และ Decoder)

3) วงจรสแครมเบลอร์ (Scrambler), ดีสแครมเบลอร์ (Descrambler) และคล็อกรีเจนเนอเรเตอร์ (Clock regenerator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงข้อดีและเหตุผลของการสื่อสารแบบดิจิตอลและความเหมาะสมในการนำเสนใยนำแสงมาใช้เป็นสายส่งสัญญาณในบทที่ 2 บทที่ 3 จะกล่าวถึงระบบสัญญาณแบบ TDM ซึ่งใช้มาตรฐาน CCITT ในการแบ่งช่องเวลา แต่สัญญาณควบคุม (Signalling) ซึ่งใช้ในการติดต่อระหว่างชุมสายได้ดัดแปลงขึ้นมาใหม่ เพื่อความสะดวกและเหมาะสมสำหรับระบบ สำหรับบทที่ 4 จะเป็นรายละเอียดของวงจรต่าง ๆ และการออกแบบ ส่วนซอฟต์แวร์และขั้นตอนต่าง ๆ ในการควบคุมจะกล่าวถึงในบทที่ 5 บทที่ 6 จะเป็นการสรุปผลต่าง ๆ ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ระบบสวิทชิ่งโทรศัพท์แบบดิจิตอล

2.1 คุณสมบัติของการสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิตอล

สัญญาณแบบดิจิตอลสามารถนำมาใช้สื่อสารแทนสัญญาณอนาลอก โดยการแปลงสัญญาณจากอนาลอกให้เป็นดิจิตอล แล้วนำไปเข้ารหัสหรือจัดแปลงให้เหมาะกับการส่ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวิธีการส่งและตัวสายส่ง ข้อดีของการสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิตอล ที่สำคัญคือ

1. สะดวกต่อการมัลติเพลกซ์

2. สะดวกในการส่งสัญญาณควบคุม โดยจะกำหนดให้ช่องเวลาช่องหนึ่งในระบบ TDM เป็นช่องสำหรับรับส่งสัญญาณควบคุม

3. สัญญาณรบกวนต่ำ ในระบบอนาลอกนั้น สัญญาณรบกวน (Noise) และสัญญาณสอดแทรก (interference) สามารถเข้าไปผสมและผ่านไปยังผู้รับได้ง่าย แต่ในระบบดิจิตอลนั้น สัญญาณอยู่ในรูปของระดับแรงดัน 0 (low) และ 1 (high) ถ้าสัญญาณรบกวนมีขนาดไม่มากพอที่จะทำให้สัญญาณจริงเปลี่ยนระดับได้ ก็จะไม่มีผลไปถึงผู้รับ

4. ง่ายต่อการเข้ารหัส ในกรณีที่ต้องการให้ข้อมูลนั้นเป็นความลับ เราสามารถเข้ารหัสข้อมูล เช่น การสแคมเบลอร์ ที่ปลายทางก็จะมีวงจรดีสแครมเบลอร์สำหรับถอดรหัส

อย่างไรก็ตามระบบสื่อสารแบบดิจิตอลก็มีข้อเสียอยู่ ที่สำคัญคือ

1. เพิ่มแบนด์วิดของสัญญาณ เช่น สัญญาณเสียงพูดสำหรับโทรศัพท์ ซึ่งกำหนดไว้ว่ามีแบนด์วิดไม่เกิน 3.4 KHz เมื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วส่งด้วยอัตรา 2.048 Mb/s. อย่างน้อยที่สุดสายส่งที่ใช้ต้องมีผลตอบสนองต่อความถี่ในย่าน 2.048 MHz ได้ ก็ทำให้ต้องใช้สายส่งที่มีราคาแพงขึ้น

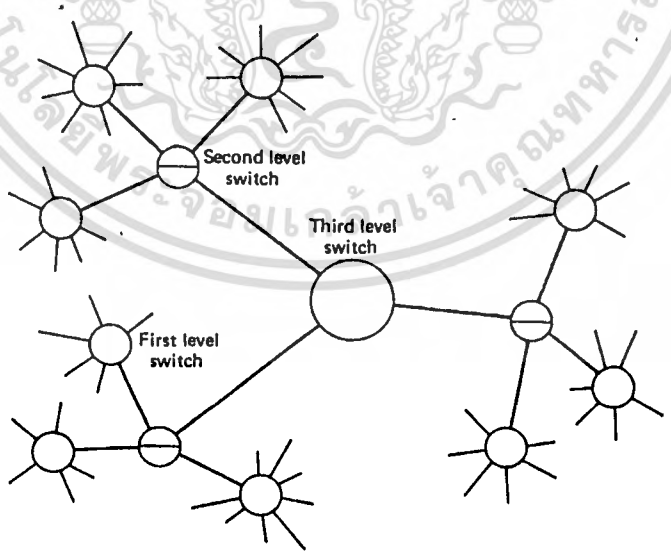
2. การชิงโครไนเซชั่น (Synchronization) ทางด้านรับนั้นต้องมีวงจรสร้างสัญญาณเวลาที่ชิงโครไนซ์ (Synchronize) กับทางด้านส่งสำหรับตรวจจับ (sample) สัญญาณที่เข้ามาแต่ละบิท (bit) ไม่ให้ผิดพลาด รวมทั้งจะต้องรู้จุดเริ่มต้นของชุดข้อมูลสัญญาณ (data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stream) ด้วย ดังนั้นจึงต้องมีวงจรชิงโครไนเซชั่นที่ทำให้สัญญาณเวลาทางด้านรับชิงโครไนซ์กับทางด้านส่ง

2.2 ระบบสวิทชิ่งโทรศัพท์

ระบบสวิทชิ่งที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการต่อจึงมีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่าระบบ SPC (Stored Program Control) ซึ่งมีข้อดีเหนือระบบสเต็ปบายสเต็ป (step-by-step) และระบบครอสบาร์ (crossbar) ที่ใช้กันอยู่เดิม คือไม่ต้องใช้อุปกรณ์อิเลคโตรเมคคานิคอล (electromechanical) เช่น รีเลย์ (relay) ในการต่อสวิทชิ่งแมทริก (switching matrix) และอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ เพราะใช้วิธีการต่อช่องสัญญาณภายในตารางข้อมูลที่เป็นหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ระบบสวิทชิ่งจะมีขนาดเล็กลง ราคาถูก ง่ายต่อการบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพอื่น ๆ ให้แก่ผู้ใช้ได้เช่นการหมุนหรือตอบรับโทรศัพท์โดยอัตโนมัติ เก็บข้อมูล จัดประชุมทางโทรศัพท์หรือต่อพ่วงอุปกรณ์อื่น ๆ เข้ามาใช้รับส่งข้อมูลในระบบได้ เช่นคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

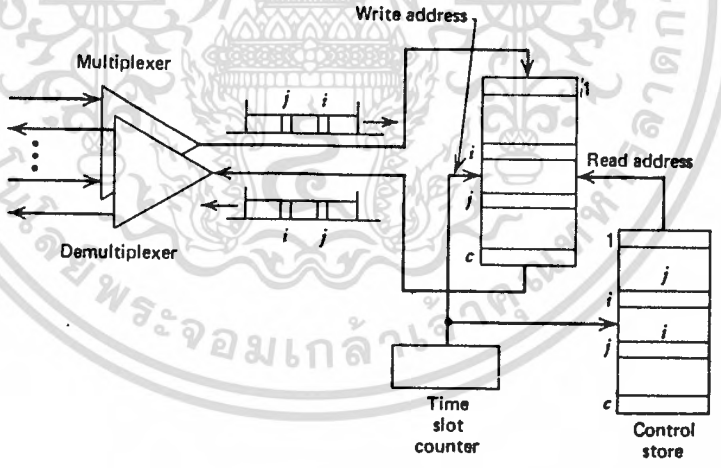


รูปที่ 2.1 รูปแบบของระบบสวิทชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสวิทชิ่งโดยทั่วไปแสดงได้ดวยรูป 2.1 ในพื้นที่หนึ่ง ๆ ที่มีผู้ใช้โทรศัพท์จะมีศูนย์รวมเรียกว่าเซ็นทรัลออฟฟิซ (central office หรือ first level switch) ทำหน้าที่ตัดต่อโทรศัพท์ โดยทั่วไปจะเรียกศูนย์รวมในระดับนี้ว่า EO (End Offices) และหลาย ๆ EO ก็จะติดต่อกับศูนย์รวมอีกระดับหนึ่ง คือ ทอลเซ็นเตอร์ (Toll center หรือ second level switch) เพื่อการติดต่อระหว่างผู้ใช้ที่อยู่ห่างไกล และเช่นเดียวกันก็จะมีศูนย์รวมระดับใหญ่ขึ้นไปเรื่อย ๆ ดังรูป

สำหรับวิธีการตัดต่อช่องสัญญาณนั้นมีหลักการสำคัญอยู่ 2 วิธี คือไทม์สวิท (Time-switch) และสเปซสวิท (Space switch) ในระบบใหญ่ ๆ จะใช้ทั้ง 2 วิธีนี้รวมกัน แต่สำหรับระบบขนาดเล็กที่สร้างขึ้นในวิทยานิพนธ์ใช้เฉพาะวิธีไทม์สวิท ซึ่งมีวงจรการทำงานดังรูปที่ 2.2 เพราะเหมาะสมในด้านราคาและการออกแบบวงจร



รูปที่ 2.2 วงจรไทม์สวิท

จากรูปข้อมูลหลาย ๆ ช่องสัญญาณซึ่งถูกมัลติเพลกซ์แบบ TDM จะต้องผ่านวงจรซีเรียล-ทู-พาราเลล (serial-to-parallel) เป็นข้อมูลของแต่ละช่องสัญญาณ ก่อนที่จะถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนลงในหน่วยความจำตามลำดับของช่องสัญญาณ และจะถูกอ่านออกในช่องเวลาที่ต้องการ ซึ่งการเขียนและการอ่านถูกควบคุมโดยวงจรนับช่องเวลาและหน่วยความจำอีกชุดหนึ่ง ซึ่งเก็บแอดเดรส (address) ของการอ่านไว้เรียกชื่อว่า TSI (Time slot interchange) memory ช่องสัญญาณขา (incoming time slot) ถูกเขียนแบบตามลำดับ (sequential write) คือช่องสัญญาณที่ 1 ถูกเขียนลงบนหน่วยความจำลำดับที่ 1 แล้วเรียงกันไปเรื่อย ๆ โดยแอดเดรสจะถูกชี้ด้วยวงจรนับช่องเวลา ส่วนการอ่านถูกอ่านแบบแรนดอม (Random-read) ด้วยข้อมูลของ TSI ที่จะไปชี้แอดเดรสการอ่าน ข้อมูลของ TSI ถูกเขียนโดย CPU ซึ่งเป็นตัวควบคุมการต่อต่อ แล้วข้อมูลที่ได้จากการอ่านก็จะถูกดีมัลติเพลกซ์เข้าโทรศัพท์แต่ละเครื่องต่อไป

2.3 สายส่ง

การส่งสัญญาณข้อมูลไปยังผู้รับมีได้หลายวิธี ทั้งการส่งออกอากาศหรือส่งผ่านสายเคเบิ้ล (cable) ซึ่งมีใช้หลายชนิด ในปัจจุบันชนิดที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายคือเส้นใยนำแสง ซึ่งมีข้อดีเหนือสายเคเบิ้ลทั่ว ๆ ไปหลายประการ คือ [2]

1. มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา

2. ไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากส่งด้วยสัญญาณแสงและตัวสายส่งเองก็จะไม่แพร่กระจายคลื่นออกไปภายนอก เนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใยนำแสง ทำให้คลื่นหักเหไปมาอยู่เฉพาะภายในสาย ดังนั้นจะไม่มีปัญหาเรื่องครอสทอค (crosstalk)

3. การลดทอน (Attenuation) ของสัญญาณน้อยมากเมื่อเทียบกับสายส่งแบบอื่นๆ

4. ใช้งานได้ที่ความถี่สูง และมีแบนด์วิดกว้างมาก ปัญหาการเกิดดีสเพอชั่น (Dispersion) ของสัญญาณที่รับได้ที่ปลายทางจะน้อย เป็นการลดผลของจิทเตอร์ (Jitter) อันเนื่องจากสายส่งลงได้มาก

นอกจากเหตุผลดังกล่าวแล้ว ปัจจุบันราคาของอุปกรณ์การสื่อสารด้วยแสงกำลังมีราคาถูกลงเรื่อย ๆ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำเส้นใยนำแสงมาใช้เป็นสายส่ง

ในเรื่องการเข้ารหัสสัญญาณเพื่อให้เหมาะสมแก่การส่งนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สแคมเบลอร์ ซึ่งสร้างและออกแบบวงจรได้ง่ายและเหมาะสมสำหรับการส่งด้วยเส้นใยนำแสง รายละเอียดของวงจรจะกล่าวถึงในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

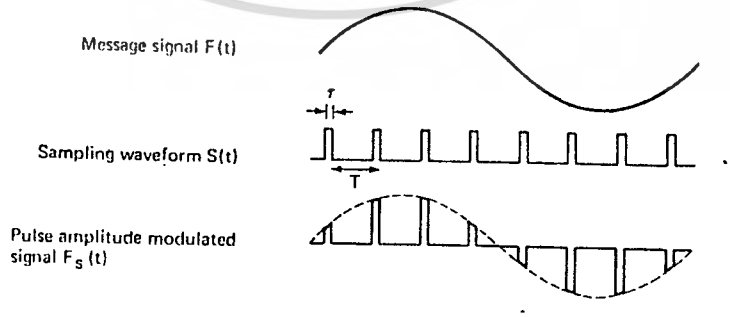
บทที่ 3

PCM และการมัลติเพลกซ์แบบ TDM

สำหรับโทรศัพท์ในระบบสวิทชิ่งแบบดิจิตอลนี้มีการติดต่อใช้งานกัน สัญญาณเสียงก็จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลแบบ PCM กระบวนการแปลงสัญญาณแบ่งออกเป็น การแซมปลิ้ง (sampling) ควอนไทซิ่ง (quantizing) และโคดดิ้ง (coding) ตามลำดับ ได้เป็นขบวนสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิทหรือ 1 เวอร์ด สำหรับการแซมปลิ้ง 1 ครั้ง เมื่อนำดิจิตอลเวอร์ดของโทรศัพท์แต่ละเครื่องมาเรียงต่อกันตามลำดับจนครบทุกเครื่อง และรวมสัญญาณควบคุมและ FAW (Frame Alignment Word) แล้ว จะได้ขบวนสัญญาณดิจิตอลขนาด 1 เฟรม (Frame) ซึ่งก็คือการมัลติเพลกซ์แบบ TDM แล้วจึงส่งออกไป รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนจะอธิบายในแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 การแซมปลิ้ง

สัญญาณข้อมูลซึ่งเป็นอนาลอกจะถูกแซมเปิ้ล (sampled) แต่ละครั้งโดยมีระยะเวลาห่างเท่า ๆ กันทุกครั้ง โดยสัญญาณแซมปลิ้ง ได้เป็นสัญญาณ PAM (Pulse Amplitude Modulation) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะสัญญาณของการแซมปลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ PAM มีความกว้างเท่ากับความกว้างของสัญญาณแซมปลิ้ง และมีขนาดแอมปลิจูด (amplitude) เท่ากับแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลในขณะที่ถูกแซมเปิ้ล

ถากำหนดให้สัญญาณข้อมูลมีแบนด์-ลิมิท (band-limited) เท่ากับ f_m Hz (หมายความว่าความถี่สูงสุดของสัญญาณข้อมูลไม่เกิน f_m Hz) แล้ว สัญญาณแซมปลิ้ง f_o ต้องมีความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ $2f_m$ Hz [2]

$$f_o \geq 2 f_m \qquad \ldots.(3.1)$$

เพราะว่าที่ปลายทางจะมีวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์ (lowpass filter) กรองเอาสัญญาณข้อมูลเดิมกลับมา ถา f_o มีค่าน้อยกว่า $2f_m$ จะทำให้สัญญาณข้อมูลที่รับได้ที่ปลายทางผิดเพี้ยนไป (Aliasing, Fold-over) เนื่องจากสเปคตรัมของสัญญาณ PAM จะเกิดการโอเวอร์แลป (overlap) กัน ดังนั้น f_o อย่างน้อยที่สุดต้องมีค่าเท่ากับ $2f_m$ อัตราความถี่นี้เรียกว่าคริตคอลแซมปลิ้ง เรท หรือ ไนควิสท์ เรท (critical sampling rate or Nyquist rate) ในทางปฏิบัติเพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณข้อมูลมีแบนด์-ลิมิทไม่เกิน f_m Hz จะต้องมีวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์ที่มีอัตราการลดทอนที่จุดคัทออฟสูง (sharp-cutoff) ทำการกรองสัญญาณข้อมูลก่อนที่จะได้รับการแซมปลิ้ง สำหรับสัญญาณเสียงทางโทรศัพท์นั้นกำหนดว่ามีแบนด์วิดไม่เกิน 3.4 KHz โดยทั่วไปจะใช้ f_o มีค่าเท่ากับ 8 KHz

3.2 ควอนไทเซชั่นและโคดดิ้ง

เป็นการเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณ PAM ที่ได้จากการแซมเปิ้ลกับระดับของแรงดันเปรียบเทียบที่ใกล้เคียงกันที่สุด ซึ่งระดับแรงดันเปรียบเทียบนี้จะแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ จำนวนขั้นของส่วนย่อย ๆ ที่เปรียบเทียบได้ก็จะนำมาแปลงเป็นตัวเลขไบนารี (Binary) ต่อไป

วิธีการควอนไทซ์ที่ใช้กันทั่วไปสำหรับการแปลง PCM คือ วิธีนอนยูนิฟอร์ม ควอนไทเซชั่น (Nonuniform Quantization) ซึ่งขนาดของแรงดันเปรียบเทียบที่แบ่งเป็นขั้น ๆ จะไม่เท่ากันตลอด เนื่องจากในความเป็นจริงสัญญาณเสียงพูดมีความเป็นไปได้ ที่จะมีขนาดอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงแรงดันขนาดต่ำ ๆ มากกว่า ดังนั้นเพื่อการควอนไทซ์ที่ดีที่สุด จึงแบ่งขั้น (quantum level) ในช่วงแรงดันน้อย ๆ ให้เป็นขั้นเล็ก ๆ และค่อย ๆ เพิ่มขนาดของขั้นให้ใหญ่ขึ้นในช่วงแรงดันสูง ๆ ในทางปฏิบัติจะใช้วิธีการกด (compress) ขนาดของสัญญาณ PAM ซึ่งเรียกว่าการคอมแพนดิ้ง (companding) และในที่นี้จะใช้การคอมแพนดิ้งแบบ A law ตามมาตรฐานของ CCITT ขนาดของสัญญาณจะถูกกดในลักษณะที่เป็นลิเนียร์ (linear) สำหรับสัญญาณที่มีขนาดเล็ก ๆ แต่เป็นล็อคการิทึมิค (logarithmic) สำหรับสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ ตามสมการดังนี้

$$F_A(x) = \operatorname{sgn}(x)\left(\frac{A|x|}{1+\ln(A)}\right) \qquad 0 \leq |x| \leq \frac{1}{A}$$

$$= \operatorname{sgn}(x)\left(\frac{1+\ln|Ax|}{1+\ln(A)}\right) \qquad \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \qquad \text{....(3.2)}$$

โดยที่ $F_A(x)$ = สัญญาณที่ถูกกด

x = สัญญาณอินพุท

$\operatorname{sgn}(x)$ = ขั้ว (polarity) ของสัญญาณ x

ที่ปลายทางด้านรับเมื่อแปลงสัญญาณจากดิจิตอลกลับเป็นอนาลอก เพื่อที่จะให้ได้สัญญาณกลับเหมือนเดิม ก็จะต้องมีการขยาย (Expansion) สัญญาณกลับให้เหมือนเดิมด้วยสมการดังนี้

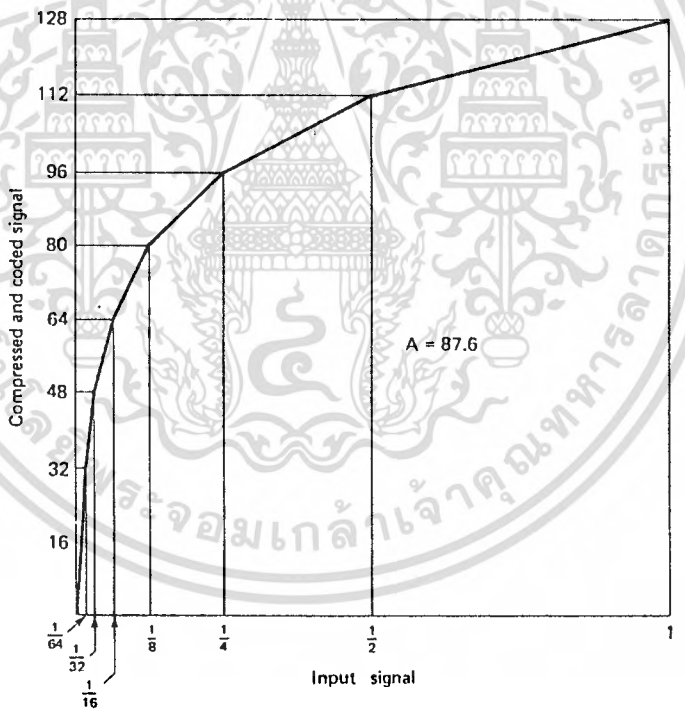
$$F_A^{-1}(y) = \operatorname{sgn}(y)\ \frac{|y|[1+\ln(A)]}{A} \qquad 0 \leq |y| \leq \frac{1}{1+\ln(A)}$$

$$= \operatorname{sgn}(y)\ \frac{(e^{|y|[1+\ln(A)]-1})}{A} \qquad \frac{1}{1+\ln(A)} \leq |y| \leq 1 \qquad \text{...(3.3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $y = F_A(x)$

จากนี้จะถึงการโคดดิ้ง คือการนำค่าของสัญญาณแปรียบเทียบที่ได้จากการควอนไทเซชั่นมาแปลงเป็นรหัสไบนารี ในทางปฏิบัตินั้นเพื่อความสะดวกและการประหยัดในการออกแบบวงจร จึงใช้การควอนไทซ์แบบที่เรียกว่าเซกเมนท์ควอนไทเซชั่น (segment quentization) คือการแบ่งช่วงของการกดสัญญาณออกเป็นเซกเมนท์ ในแต่ละเซกเมนท์มีขั้นของการควอนไทเซชั่นที่เรียกว่าควอนตัมสเต็บในจำนวนเท่า ๆ กัน แตกต่างกันที่ขนาดของขั้นในแต่ละเซกเมนท์ รูปที่ 3.2 คือกราฟแสดงคุณสมบัติของเซกเมนท์ควอนไทเซชั่นแบบ A law เมื่อสัญญาณอินพุทเป็นบวก



รูป 3.2 เซกเมนท์ควอนไทเซชั่นแบบ A law

ค่าที่ได้จากการควอนไทซ์แต่ละครั้งจะแปลงเป็นรหัสไบนารีขนาด 8 บิทโดยที่บิทแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(MSB) เป็นตัวบอกเครื่องหมาย (sign bit or polarity bit) ถ้าเป็น 1 หมายถึงสัญญาณแซมเปิ้ลเป็นบวก ,0 หมายถึงสัญญาณแซมเปิ้ลเป็นลบ 3 บิทต่อมาเป็นเซกเมนท์โค็ด (segment code) บอกให้ทราบว่าสัญญาณแซมเปิ้ลนั้นมีขนาดอยู่ในช่วงเซกเมนท์ใด ส่วน 4 บิทสุดท้ายเรียกว่าควอนไทเซชั่นโค็ด หรือ ควอนตัมสเต็บ คือจำนวนของขั้นในเซกเมนท์ซึ่งจะมี 16 ขั้น คุณสมบัติของรหัสแบบ A law นี้ดูได้จากตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VOICE DIGITIZATION

SEGMENTED *A*-LAW ENCODING/DECODING TABLE

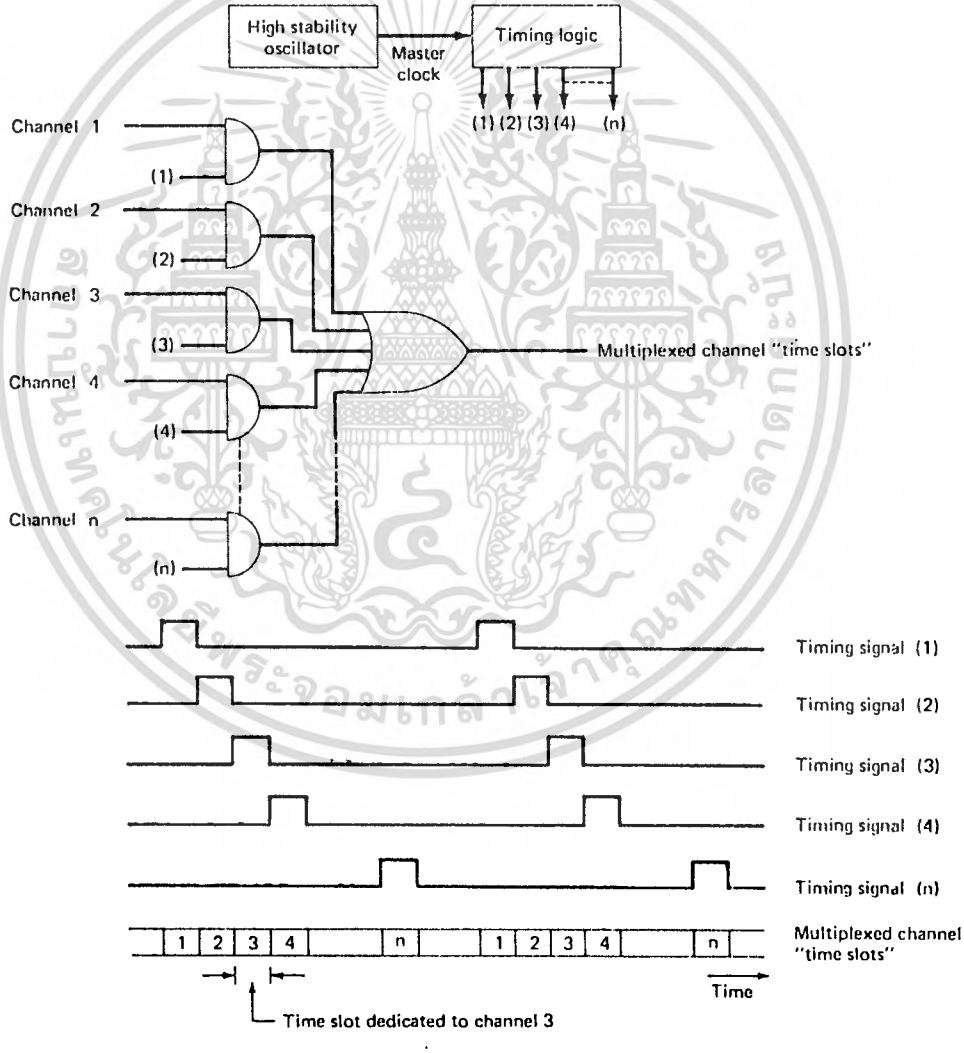
Input Amplitude Range	Step Size	Segment Code S	Quantization Code Q	Code Value	Decoder Amplitude
0-2			0000	0	1
2-4		000	0001	1	3
⋮			⋮	⋮	⋮
30-32	2		1111	15	31
32-34			0000	16	33
⋮		001	⋮	⋮	⋮
62-64			1111	31	63
64-68			0000	32	66
⋮	4	010	⋮	⋮	⋮
124-128			1111	47	126
128-136			0000	48	132
⋮	8	011	⋮	⋮	⋮
248-256			1111	63	252
256-272			0000	64	264
⋮	16	100	⋮	⋮	⋮
496-512			1111	79	504
512-544			0000	80	528
⋮	32	101	⋮	⋮	⋮
992-1024			1111	95	1008
1024-1088			0000	96	1056
⋮	64	110	⋮	⋮	⋮
1984-2048			1111	111	2016
2048-2176			0000	112	2112
⋮	128	111	⋮	⋮	⋮
3968-4096			1111	127	4032

ตาราง 3.1 A law เอนโคดดิ้ง/ดีโคดดิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 TDM

จากหัวข้อที่แล้วหลังจากได้รหัส PCM จากการแซมปลิ้งแต่ละครั้งแล้ว ก็จะถึงการมัลติเพลกซ์สัญญาณข้อมูลจากหลาย ๆ ช่องสัญญาณให้รวมกันเป็นชุดวนสัญญาณเดียวกัน รหัส 8 บิท ที่ได้จากสัญญาณแต่ละช่องจะถูกส่งออกไปแบบซีเรียล (serial) ลงในช่องสัญญาณของตัวเองดังรูปที่ 3.3 เป็นลักษณะพื้นฐานของ TDM



รูปที่ 3.3 ลักษณะการมัลติเพลกซ์แบบ TDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

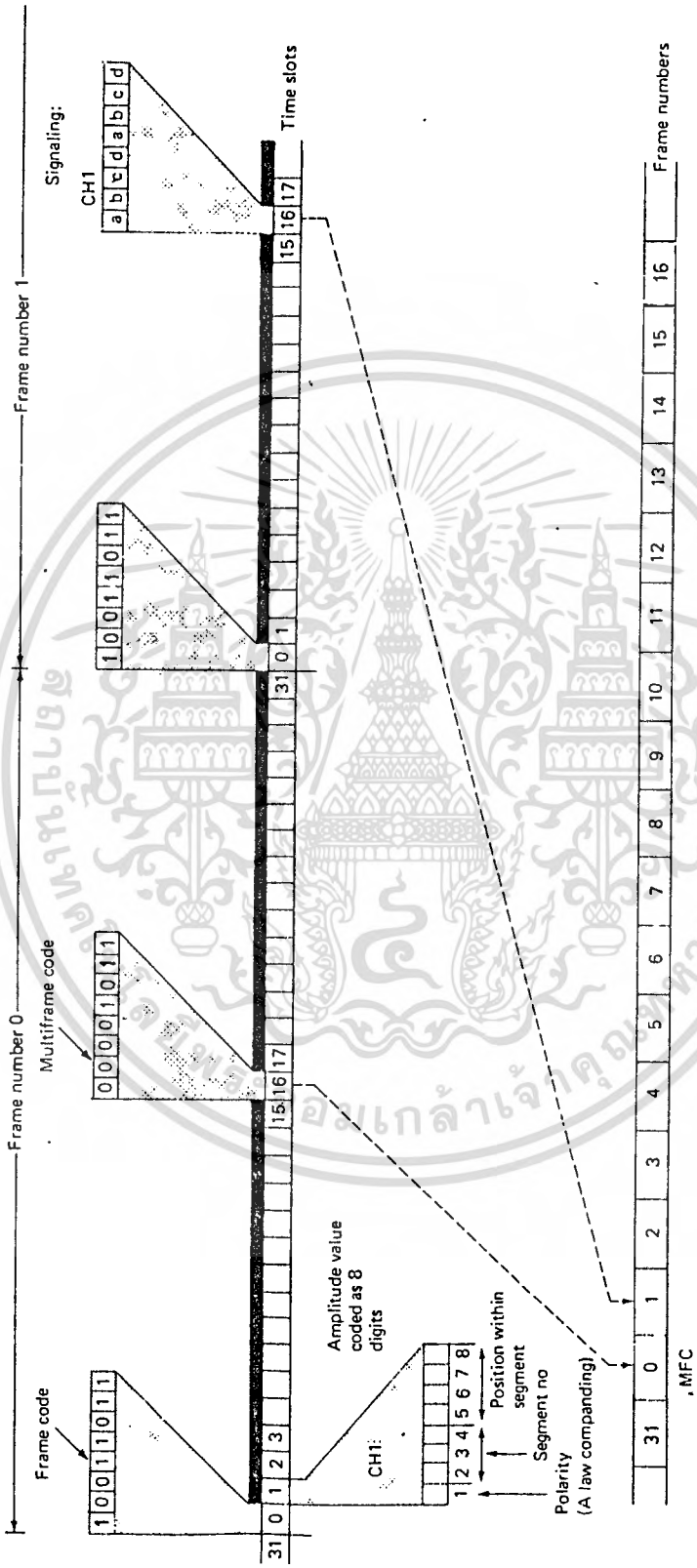
วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ทำหน้าที่สร้างสัญญาณเวลาที่มีความเที่ยงตรงสูงสำหรับใช้สร้างไทมิ่งฟังก์ชัน (timing function) ต่าง ๆ ให้แก่วงจรมัลติเพลกซ์ ดังนั้นทุก ๆ ช่องสัญญาณจะมีเฟส (phase) สัมพันธ์กันแบบคงที่แน่นอน เรียกการมัลติเพลกซ์แบบนี้ว่า ซิงโครนัส มัลติเพลกซ์ (synchronous multiplex)

สำหรับวงจรดีมัลติเพลกซ์ที่ปลายทาง ต้องสามารถแยกแยะรหัสข้อมูลของแต่ละช่องสัญญาณได้อย่างถูกต้อง เพื่อการนี้จึงต้องทำการจัดช่องสัญญาณในลักษณะเป็นเฟรม (Frame) และให้ส่วนหนึ่งของเฟรมเป็น FAW ซึ่งที่ปลายทางจะทำการตรวจจับ FAW นี้เพื่อจะหาจุดเริ่มต้นของเฟรมและจัดแบ่งช่องสัญญาณต่าง ๆ ได้ถูกต้อง สำหรับการจัดเฟรมที่ใช้ในงานนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.4

การจัดเฟรมแบบนี้ใช้หลักการตามมาตรฐานของยูโรเปี้ยนไพรมารีซิสเต็ม (Europian Primary system) มี 30 ช่องสัญญาณเสียง ซึ่งกำหนดโดย CCITT recommendation G732 ในแต่ละเฟรมแบ่งออกเป็น 32 ช่องเวลา (Time slot) ใช้สำหรับการส่งสัญญาณข้อมูลได้ 30 ช่อง คือช่องที่ 1 ถึง 15 และ 17 ถึง 31 ที่เหลืออีก 2 ช่องคือช่องเวลา 0 ใช้ส่ง FAW และช่องเวลา 16 ใช้ส่งสัญญาณควบคุม สำหรับการส่งสัญญาณควบคุมนั้นได้ทำการดัดแปลงใหม่ไม่ได้ใช้ตามมาตรฐาน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการเขียนโปรแกรม และประหยัดไม่ยุ่งยากในการออกแบบวงจรบางส่วน ซึ่งปรกติตามมาตรฐานที่ใช้กันจะจัดให้ 16 เฟรมเป็น 1 มัลติเฟรม (multiframe) คือเฟรม 0 ถึง 15 และใช้ช่องเวลา 16 ในเฟรม 0 สำหรับการส่งมัลติเฟรมโค็ดเพื่อบอกให้ปลายทางรู้ว่าเป็นเฟรม 0 ส่วนช่องเวลา 16 ในเฟรม 1 ถึง 15 ใช้ส่งสัญญาณควบคุม แต่ในที่นี้จะให้ 1 มัลติเฟรมมี 32 เฟรม และใช้ช่องเวลา 16 ในเฟรม 0 สำหรับการส่งมัลติโค็ดเช่นกัน ส่วนช่องเวลา 16 ในเฟรม 1 ถึง 31 ใช้ส่งสัญญาณควบคุม ยกเว้นในเฟรม 16 ไม่ได้ใช้ โดยในช่องเวลา 16 ของเฟรมที่ 1 ก็จะส่งสัญญาณควบคุมสำหรับช่องเวลาที่ 1 และไล่เรียงไปตามลำดับ สัญญาณควบคุมนี้ใช้สำหรับการติดต่อกันระหว่างชุมสาย ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้คือระบบสวิทช์ที่มี 30 คู่สาย โดย CPU ของแต่ละชุมสายจะทำการตรวจสอบสัญญาณควบคุมนี้ตลอดเวลาเพื่อตรวจสอบการขอติดต่อ

เริ่มแรกเมื่อมีการเรียกข้ามชุมสาย CPU ในชุมสายผู้เรียกก็จะส่งสัญญาณควบคุม

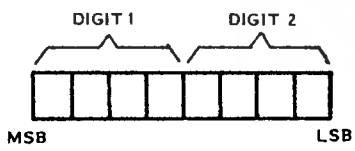
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลักษณะการจัดช่องเวลาของ TDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นหมายเลขโทรศัพท์ที่ถูกเรียกลงในช่องสัญญาณควบคุมประจำหมายเลขโทรศัพท์ผู้เรียก โดยหมายเลขที่ส่งจะเป็นรหัส BCD (Binary Code Decimal) จำนวน 2 ดิจิท (digit) เรียกว่า "CAL" SG. (Calling Signalling) เช่นโทรศัพท์เครื่องที่ 1 ต้องการติดต่อกับเครื่องที่ 5 ของอีกชุมสาย CPU ก็จะส่งหมายเลข 05 ลงในช่องเวลา 16 ของเฟรมที่ 1 เมื่อชุมสายผู้รับได้รับสัญญาณควบคุมนี้แล้วก็จะไปตรวจดูว่าเครื่องที่ 5 นั้นว่างหรือไม่ ถ้าว่างก็จะส่งสัญญาณตอบรับ "ACK" SG. (Acknowledge Signalling) หรือถ้าไม่ว่างก็ส่ง "BUSY" SG. (Busy Signalling) ลงในช่องเวลา 16 ของเฟรมที่ 5 ส่งกลับไปยังชุมสายผู้เรียก เมื่อชุมสายผู้เรียกได้รับถ้าว่างก็ส่งสัญญาณเรียกกลับ (Ringback tone) ไปหาผู้เรียก และถ้าไม่ว่างก็จะส่งสัญญาณไม่ว่าง (Busy tone) ให้แก่ผู้เรียก ส่วนทางผู้รับถ้าว่างก็จะได้รับสัญญาณเรียก (Ringingtone) เมื่อผู้รับยกหูรับแล้ว CPU ของทางชุมสายผู้รับก็จะส่ง "ROU" SG. (Routing Signalling) ไปหาชุมสายผู้เรียกเพื่อบอกให้รู้ว่ายกหูรับแล้ว จากนั้นทั้ง 2 ชุมสายก็จะต่อช่องสัญญาณเสียงที่ 1 และ 5 เข้าหากัน ตามวิธีการในบทที่ 2 เมื่อต้องการยกเลิกการติดต่อโดยผู้ใดผู้หนึ่งวางหูโทรศัพท์ ทางด้านชุมสายนั้นก็จะส่ง "CALH" SG. (Call a halt Signalling) ไปบอกเลิกการติดต่อ แล้วทั้ง 2 ชุมสายก็จะตัดช่องสัญญาณออกจากกัน สำหรับรูปแบบของสัญญาณควบคุมต่าง ๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 3.5



"CAL" = 01 ~ 15, 17 ~ 31

"ACK" = F1

"ROU" = F2

"BUSY" = F4

"CALH" = F8

รูปที่ 3.5 รูปแบบสัญญาณควบคุม

9346

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการติดต่อภายในชุมสายเองนั้นไม่ต้องมีการส่งสัญญาณควบคุม เพราะ CPU สามารถ ตรวจสอบสถานะของโทรศัพท์แต่ละเครื่องได้โดยตรงอยู่แล้ว

ดังได้กล่าวในหัวข้อเรื่องการแซมปลิ้งแล้วว่า ใช้อัตราการแซมเปิ้ลเท่ากับ 8 KHz และแปลงเป็นสัญญาณ PCM ขนาด 8 บิทในแต่ละช่องเวลา ทั้งหมดมี 32 ช่องเวลา ดังนั้นต้องใช้อัตราการส่งข้อมูลเป็น

$$8 \times 8 \times 32 \text{ KHz} = 2.048 \text{ MHz} \qquad \text{.....(3.4)}$$

และในการส่งข้อมูล 1 เฟรม ใช้เวลา

$$\frac{1}{8 \text{ KHz}} = 125 \ \mu\text{sec} \qquad \text{.....(3.5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบวงจร

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงวงจรทั้งหมดที่ประกอบขึ้นเป็นระบบสวิทชิ่งและการออกแบบโดยละเอียด ซึ่งจะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

1. วงจรควบคุมการทำงานและรับส่งสัญญาณควบคุม
2. วงจรตัดต่อช่องสัญญาณและไทม์สวิท
3. วงจรสร้างสัญญาณเวลาและวงจรชิ่งโครไนเซอร์
4. วงจรสแครมเบลอร์ ดีสแครมเบลอร์ และวงจรคล็อค รีเจนเนอเรเตอร์
5. วงจรอินเตอร์เฟสโทรศัพท์และวงจรสร้างสัญญาณโทรศัพท์

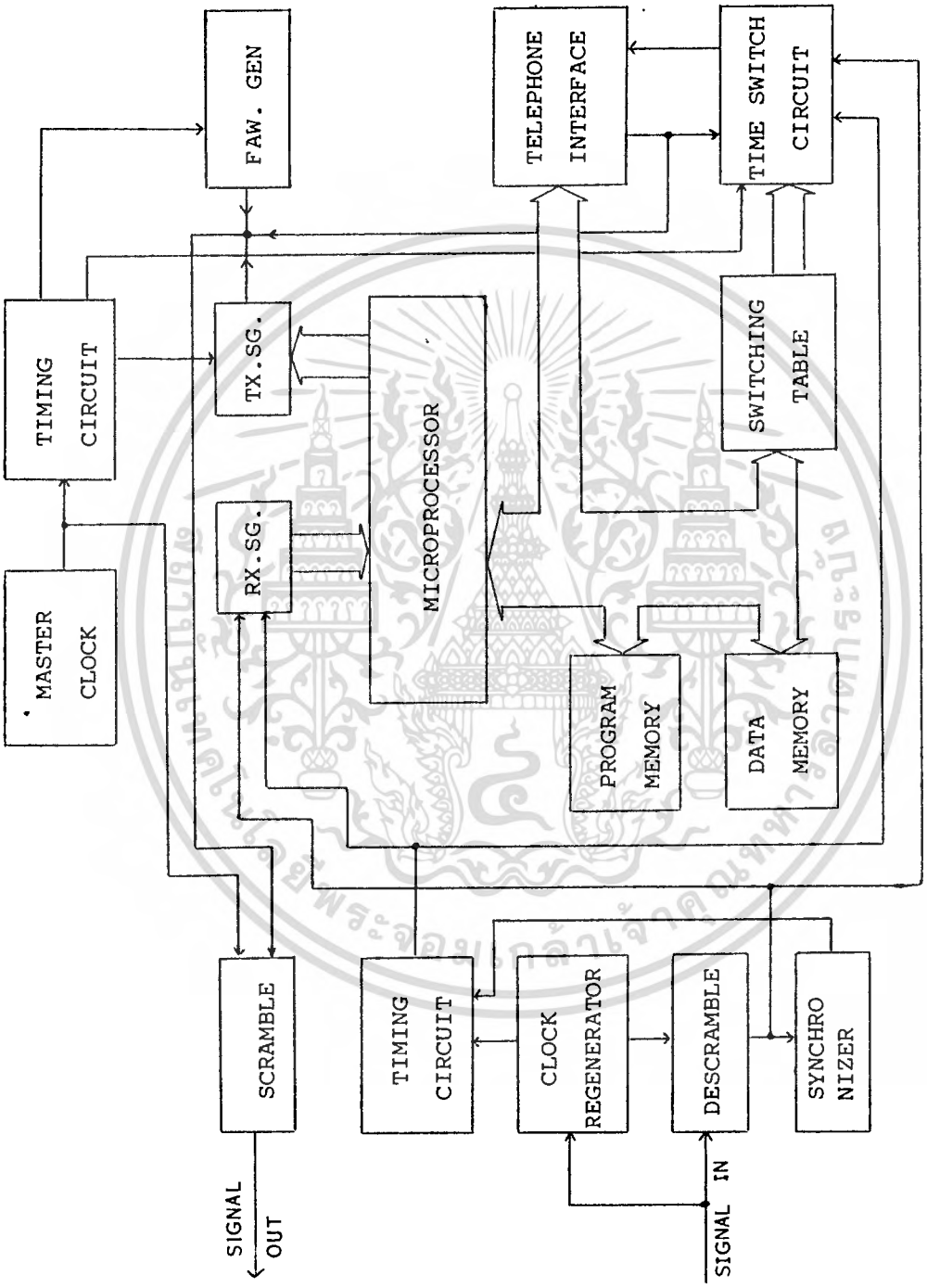
แผนผังของวงจรทั้งหมดแสดงได้ดังรูป 4.1

4.1 วงจรควบคุมการทำงานและรับส่งสัญญาณควบคุม

ดังได้กล่าวมาแล้วระบบสวิทชิ่งแบบนี้เรียกได้อีกอย่างว่า SPC คือใช้โปรแกรมควบคุมการทำงาน อุปกรณ์หมหน้าที่ทำงานตามโปรแกรมก็คือ ตัวไมโครโปรเซสเซอร์และเบอร์ที่นำมาใช้งานคือเบอร์ 8035 ซึ่งเป็นไมโครคอมพิวเตอร์แบบชิปเดียวจากตระกูล MCS-48 ของบริษัท INTEL คุณสมบัติที่ดีของมันคือเป็นไมโครคอมพิวเตอร์ที่ค่อนข้างสมบูรณ์ ภายในตัวมันเอง ดังนั้นจึงต้องการอุปกรณ์ประกอบ (peripheral component) น้อย เหมาะสำหรับใช้ในงานควบคุมของระบบขนาดเล็ก ๆ ในรูป 4.2 คือรายละเอียดของวงจรในส่วนหัวข้อนี้

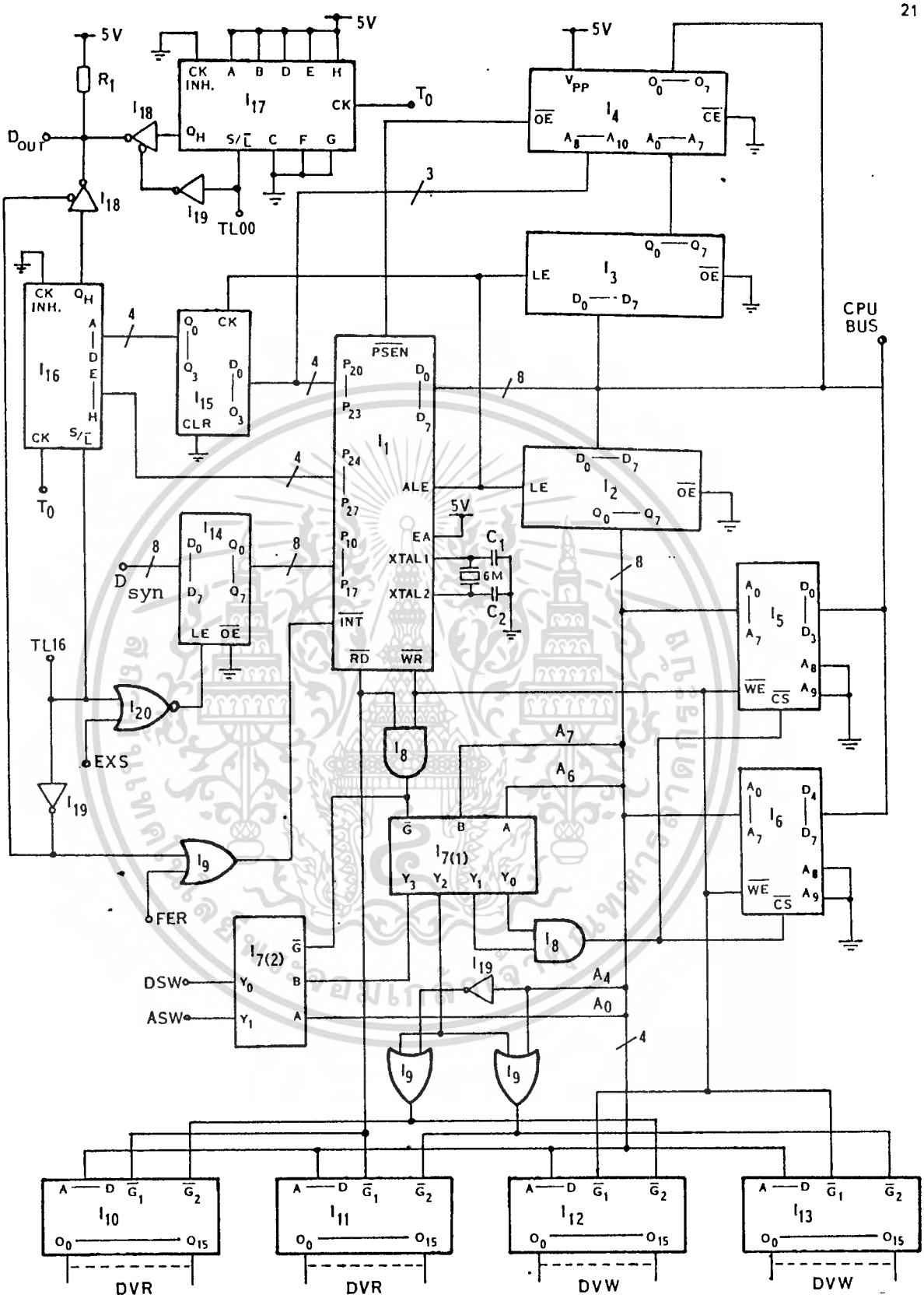
สำหรับ CPU เบอร์ 8035 นี้ไม่มีหน่วยความจำสำหรับโปรแกรม (Program memory) อยู่ภายใน ต้องต่อใช้ภายนอกคือใช้ EPROM เบอร์ 2716 โดยมี IC TTL เบอร์ 74LS373 ทำหน้าที่ในการแลทช์ (latch) แอดเดรส สำหรับหน่วยความจำที่ใช้สำหรับข้อมูล (data memory)นั้น ภายในตัว CPU เองมีอยู่ 64 ไบท์ (bite) ซึ่งไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องต่อเพิ่มเติมภายนอก โดยใช้ IC เบอร์ 2114 ซึ่งเป็น RAM ขนาด 1K x 4 บิท จำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนผังรวมของระบบชุมสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรควบคุมการทำงานและรับส่งสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ตัว เพราะว่าตัว CPU 8035 นี้ มีความสามารถในการเรียกใช้หน่วยความจำข้อมูลจากภายนอกได้จำนวน 256 ไบท์ การใช้หน่วยความจำข้อมูลแบ่งใช้เป็นตารางต่าง ๆ ดังนี้

หน่วยความจำข้อมูลภายใน	แอดเดรส	20H ถึง 3FH	เป็นตารางแฟลก (Flag table)
หน่วยความจำข้อมูลภายนอก	แอดเดรส	00H ถึง 1FH	เป็นตารางการตัดต่อ (Switching table)
	แอดเดรส	20H ถึง 3FH	เป็นตารางหมายเลข (Number table)
	แอดเดรส	40H ถึง 5FH	เป็นตารางสัญญาณควบคุม 1 (Signalling table. 1)
	แอดเดรส	60H ถึง 7FH	เป็นตารางสัญญาณควบคุม 2 (Signalling table. 2)

การแบ่งหน่วยความจำข้อมูลออกเป็นตารางต่าง ๆ ก็เพื่อให้เหมาะแก่การใช้งานในตารางหนึ่ง ๆ มีจำนวน 32 ไบท์ แต่ละไบท์จัดไว้ใช้งานสำหรับแต่ละช่องสัญญาณเรียงลำดับกันไป เช่นตารางแฟลกแอดเดรส 20 สำหรับช่องสัญญาณ 0, แอดเดรส 21 สำหรับช่องสัญญาณที่ 1 และเรียงลำดับไปจนครบ 32 ช่องสัญญาณ

หน้าที่ของตารางแฟลกคือเก็บค่าสถานะต่าง ๆ ของการใช้งานโทรศัพท์แต่ละเครื่องชั่วเมื่อ CPU บริการ (service) โทรศัพท์เครื่องใด ก็จะต้องมาตรวจสอบดูแฟลกต่าง ๆ เพื่อที่จะรู้ว่าขณะนั้นถึงขั้นตอนไหนแล้ว ตารางแฟลกแต่ละไบท์มีลักษณะดังรูปที่ 4.3

R	C	L	I_3	I_2	I_1	D	H

รูปที่ 4.3 ลักษณะของตารางแฟลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟลกแต่ละตัวบอกสถานะต่าง ๆ ดังนี้ (ในกรณีแฟลกถูกเซ็ท (set) เป็น 1)

H = ยกหูโทรศัพท์

D = อยู่ในขณะหมุนหมายเลขตัวใดตัวหนึ่ง

I = ได้รับหมายเลขที่ 1 แล้ว

I = ได้รับหมายเลขที่ 2 แล้ว

I = ได้รับหมายเลขที่ 3 แล้ว

L = ติดต่อภายนอกชุมสาย

C = เป็นผู้เรียก, อยู่ในขณะใช้งาน

R = เป็นผู้รับ

เนื่องจาก CPU จะต้องบริการโทรศัพท์ทั้ง 30 เครื่องอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงรอบริการโทรศัพท์เครื่องใดเครื่องหนึ่งจนเสร็จสิ้นขั้นตอนทั้งหมดไม่ได้ เพราะใช้เวลานานเกินไป CPU จะมาบริการขั้นตอนหนึ่ง ๆ ให้เสร็จ แล้วกำหนดค่าแฟลกบอกสถานะแล้วก็ไปบริการเครื่องต่อไปจนครบ แล้วจึงกลับมาบริการขั้นตอนต่อไปซึ่งจะกล่าวถึงโดยละเอียดอีกครั้งในบทที่ 5

ตารางการต่อเป็นหน่วยความจำภายนอก ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่จะไปกำหนดให้วงจรทำการต่อช่องสัญญาณต่าง ๆ เข้าด้วยกัน รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 4.2

ตารางหมายเลขทำหน้าที่เก็บหมายเลขโทรศัพท์ ซึ่งจะเป็นหมายเลขของเครื่องที่จะทำการติดต่อด้วย ในการหมุนหมายเลขสำหรับชุมสายที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้เพียง 3 หมายเลข คือ หมายเลขที่ 1 จะบอกให้รู้ว่าต้องการติดต่อภายในหรือภายนอกชุมสาย ถ้าเป็น "0" คือภายใน "1" หมายถึงภายนอก ส่วน 2 ตัวหลังบอกหมายเลขเครื่องที่ต้องการติดต่อด้วย ดังนั้นในตารางจะเก็บเฉพาะหมายเลข 2 ตัวหลัง ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของ BCD หรือ Hexa ก็ได้แล้วแต่กรณีว่าซอฟท์แวร์ทำอยู่ในขั้นตอนไหน

ตารางสัญญาณควบคุม 1 เก็บสัญญาณควบคุมของแต่ละช่องสัญญาณที่ได้รับจากอีกชุมสายหนึ่ง

ตารางสัญญาณควบคุม 2 เก็บสัญญาณควบคุมของแต่ละช่องสัญญาณที่จะส่งออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการรับส่งสัญญาณควบคุมนั้น CPU จะกระทำในช่วงขณะที่เกิดการอินเทอรัพท์ (interrupt) ซึ่งใช้สัญญาณช่องเวลาที่ 16 มาอินเทอรัพท์ CPU การรับสัญญาณควบคุมจะรับผ่านพอรท 1 (port 1) ของ 8035 โดยมี 74LS373 เป็นบัฟเฟอร์ซึ่งจะแลทช์สัญญาณช่องเวลา 16 ในช่วงขณะเกิดการอ่านของวงจรไทม์สวิท ส่วนการส่งสัญญาณควบคุมส่งผ่านพอรท 2 ในส่วน 4 บิทล่างของ port 2 (P20 ~ P23)นั้นตามปรกติจะใช้เป็นขาส่งแอดเดรส A_8~ A_{11} ของหน่วยความจำโปรแกรมด้วยแต่ก็สามารถใช้ส่งข้อมูลแบบพอร์ทอื่น ๆ ได้ โดยข้อมูลจะออกมาในช่วงขอบขาขึ้น (rising edge) ของสัญญาณ ALE (Address Latch Enable) ของ CPU จึงใช้ 74LS175 เป็นตัวแลทช์ข้อมูลช่วงนี้ไว้ และสัญญาณควบคุมนี้จะถูกส่งออกแบบซีเรียลในช่องเวลาที่ 16 ผ่านทาง I_{16}, 74LS165

I_{17} เป็น FAW เจนเนอเรเตอร์ ส่งข้อมูล 9BH(1001, 1011) ออกไปในทุก ๆ ช่องเวลา 0 ที่ปลายทางจะตรวจจับข้อมูลนี้เพื่อให้เกิดการซิงโครไนเซชั่น ระหว่างชุมสายทั้งสอง

สำหรับการติดต่อกันระหว่าง CPU กับโทรศัพท์เครื่องลูกแต่ละเครื่อง จะติดต่อผ่านทางวงจรอินเตอร์เฟสโทรศัพท์ CPU จะมองวงจรอินเตอร์เฟสของโทรศัพท์แต่ละเครื่องเสมือนเป็นหน่วยความจำข้อมูลขนาด 1 ไบท์ การตรวจสอบและการส่งสถานะต่าง ๆ ของโทรศัพท์ก็จะเสมือนการอ่านหรือเขียนข้อมูลนั่นเอง โดยกำหนดให้เป็นแอดเดรส 80H ~ 9FH การเรียกหน่วยความจำข้อมูลเหล่านี้ใช้ IC เบอร์ 74LS139 เป็นตัวดีโค้ดเดอร์(รูปที่ 4.2) ถ้าเรียกตำแหน่ง 00H ~ 7FH, RAM 2114 จะถูกเลือกใช้งาน แต่ถ้าเรียกตำแหน่ง 80H ~ 9FH, 74LS154 4-line to 16-line ดีโคดเดอร์จะถูกเรียกใช้งาน เมื่อเกิดการเขียน, I_{12}, I_{13} จะทำงาน และ I_{10},I_{11} ทำหน้าที่เมื่อมีการอ่าน โดย 74LS154 จะส่งสัญญาณ DVW (Device write) และ DVR (Device read) ไปเปิดบัฟเฟอร์เกทบนอินเตอร์เฟสบอร์ดเพื่อเขียนและอ่านสถานะจากโทรศัพท์แต่ละเครื่องตามลำดับ

การออกแบบวงจรการทำงานต่าง ๆ ของระบบนั้น จำต้องคำนึงถึงความเร็วในการทำงานของตัว CPU ด้วย ตัว 8035 เองนั้นมีวงจรสร้างสัญญาณเวลาอยู่ภายในเราสามารถกำหนดความถี่ใช้งานได้ โดยการต่อคริสตอล (crystal) เข้าที่ขา 2,3 โดยตรง (ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 4.2) ในที่นี้ใช้คริสตอล 6 MHz ซึ่งเมื่อผ่านวงจรหารภายในจะได้เป็นสัญญาณในการเฟทช์ (fetch) คำสั่ง, ALE มีคาบเวลา 2.5 μsec เรียกว่า 1 ไซเคิล คำสั่งของ 8035 จะมีความยาวเพียง 1 หรือ 2 ไซเคิล ดังนั้นแต่ละคำสั่งต้องใช้เวลา 2.5 หรือ 5 μsec ซึ่งยังไม่เร็วเท่าที่ควรทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องเวลามากในการเขียนโปรแกรม

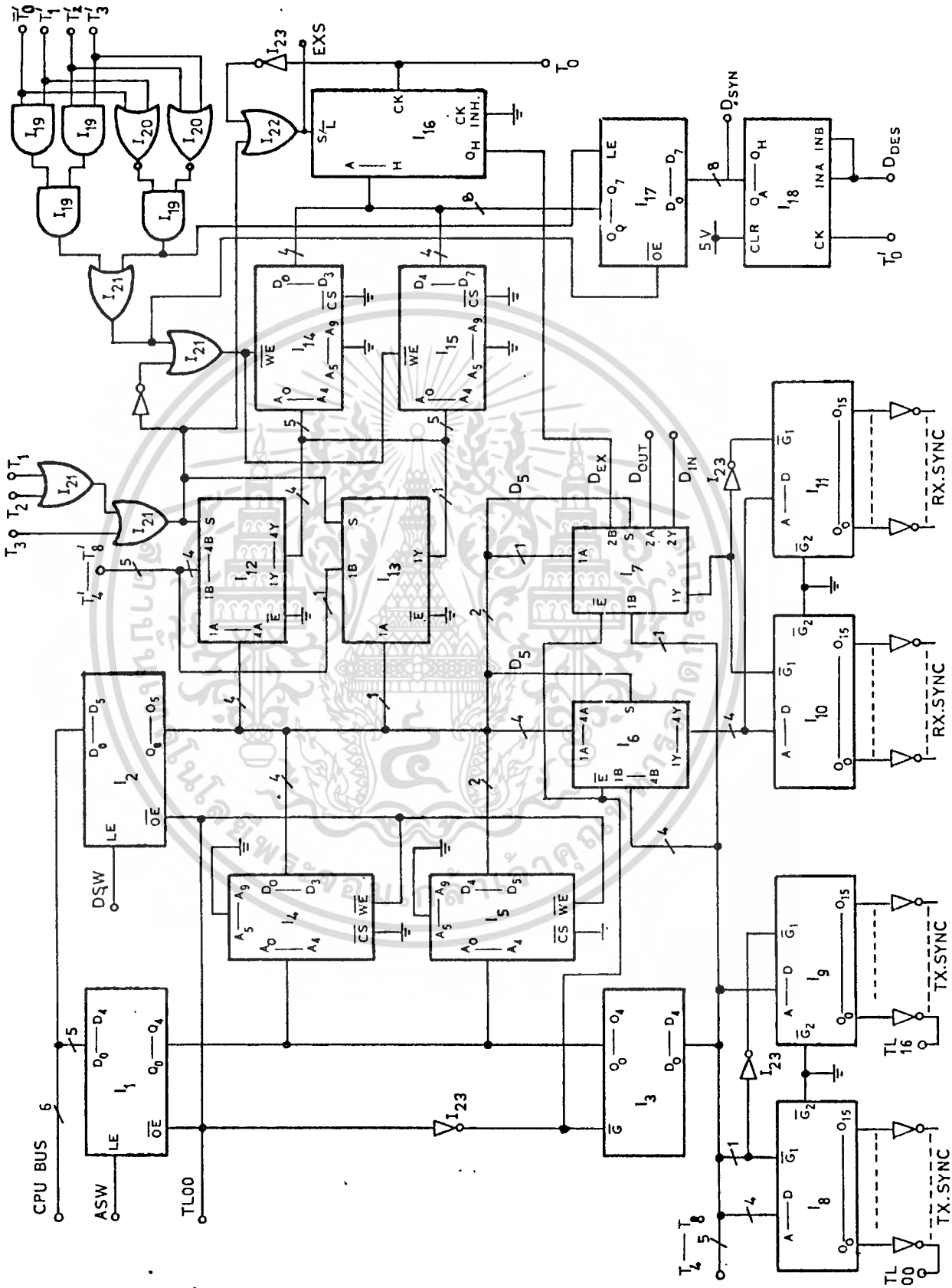
4.2 วงจรต่อต่อช่องสัญญาณและไทม์สวิท

วงจรต่อต่อช่องสัญญาณมีส่วนประกอบสำคัญคือ ตารางการต่อต่อซึ่งเป็นหน่วยความจำภายนอก และจะถูกเขียนโดย CPU ในช่วงเวลาของช่องสัญญาณ 0 ส่วนในช่วงเวลาอื่นจะเป็นการอ่าน ข้อมูลที่ถูกอ่านออกมาจะไปต่อต่อช่องสัญญาณต่าง ๆ ที่จะติดต่อกัน

รูปที่ 4.4 คือวงจรรวมทั้งหมดของหัวข้อ I_4 และ I_5 คือ RAM 2114 ทำหน้าที่เป็นตารางการต่อต่อ สำหรับหน่วยความจำส่วนนี้ CPU จะเรียกโดยตรงไม่ได้ เนื่องจากมันจะถูกอ่านโดยใช้สัญญาณ วลาเป็นแอดเดรสผ่านมาทางบัฟเฟอร์ 74LS244, I_3 CPU มีหน้าที่ในการเขียนข้อมูลเท่านั้น และการเขียนจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่องเวลา 0 ดังนั้น CPU จะเขียนผ่านบัฟเฟอร์แลท 74LS374, I_1 และ I_2 CPU ต้องส่งแอดเดรสผ่านทาง I_1 ให้แลทช์เอาไว้โดย I_1 ถูกดีโคดให้เป็นหน่วยความจำแอดเดรส C1H ส่วน I_2 เป็นหน่วยความจำตำแหน่ง COH ซึ่ง CPU จะเขียนข้อมูลมาแลทช์ไว้ เมื่อถึงช่องเวลา 0, ข้อมูลก็จะถูกเขียนลงในตารางการต่อต่อ และจากช่องเวลา 1 ถึง 31, ข้อมูลจะถูกอ่านออกมาตามลำดับ ลักษณะของข้อมูลนั้นขึ้นอยู่กับว่าเป็นการติดต่อกันภายในชุมสายหรือจากภายนอก

ดังได้กล่าวเอาไว้ในบทที่ 3 แล้วว่าข้อมูล PCM จากโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะส่งแบบเรียงลำดับกันมาจาก 1 ถึง 15 และ 17 ถึง 31 ดังนั้นสำหรับการติดต่อกันภายในชุมสายนั้น ข้อมูลจากตารางการต่อต่อของแต่ละช่องสัญญาณ จะไปอีเนเบิล (enable) PCM ดีโคดเดอร์บนอินเตอร์เฟสบอร์ดของเครื่องที่มันต้องการติดต่อด้วย โดยที่ข้อมูล 5 บิทล่างคือ A_0 ถึง A_4 ถูกส่งผ่าน I_6 และ I_7, 74LS157 ไปยัง I_{10} และ I_{11}, 74LS154 เพื่อดีโคดเป็นสัญญาณอีเนเบิลให้ PCM ดีโคดเดอร์ ส่วน A_5 จะเป็น 0, ทำให้ข้อมูล PCM จากภายในชุมสายเอง D_{out}, ผ่านไปยังผู้รับเป็น D_{in} สำหรับบิท A_6, A_7 จากตารางนั้นไม่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 วงจรต่อต่อช่องสัญญาณ และไทม์สวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

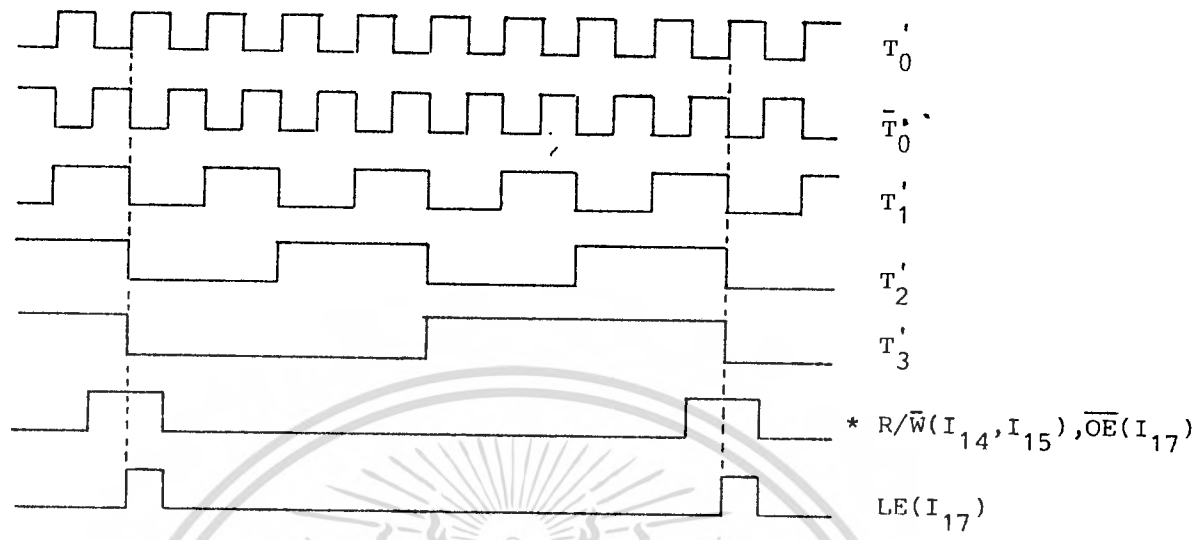
ถ้าเป็นการติดต่อจากภายนอกชุมสาย ข้อมูล A_5 จะเป็น 1 เพื่อไปเลือกให้สัญญาณเวลาผ่านไปดีโคดยัง I_{10}, I_{11} แทน ดังนั้น PCM ดีโคดเดอรของโทรศัพท์ที่ประจำในช่องเวลานั้นจะเป็นตัวที่ถูกอีเนเบิล และข้อมูล A_0 ถึง A_4 จากตารางจะเป็นแอดเดรสเพื่อไปอ่านเอาข้อมูล PCM จากวงจรไทม์สวิท ซึ่งเป็นข้อมูลจากภายนอกชุมสาย D_{ex}, ถูกสับไหผ่านเข้าไปเป็น D_{in} ให้ผู้รับ

วงจรไทม์สวิทนั้นดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.2 ว่า เป็นหน่วยความจำที่ถูกเขียนแบบเรียงตามลำดับโดยข้อมูล PCM จากภายนอกชุมสาย และอ่านข้อมูล PCM นี้เข้าชุมสายแบบแรนดอมด้วยแอดเดรสจาก TSI, ซึ่งในที่นี้ก็คือจากตารางการต่อต่อ ส่วนแอดเดรสที่ชี้ตำแหน่งการเขียนนั้นเป็นสัญญาณเวลาที่แยกมาจากขบวนสัญญาณ PCM จากภายนอก ดังนั้นสัญญาณเวลาชุดนี้จึงซิงโครไนซ์กับสัญญาณ PCM ภายนอก ซึ่งจะทำให้การเขียนข้อมูลลงบนไทม์สวิทอยู่ในช่วงเวลาที่ถูกต้อง

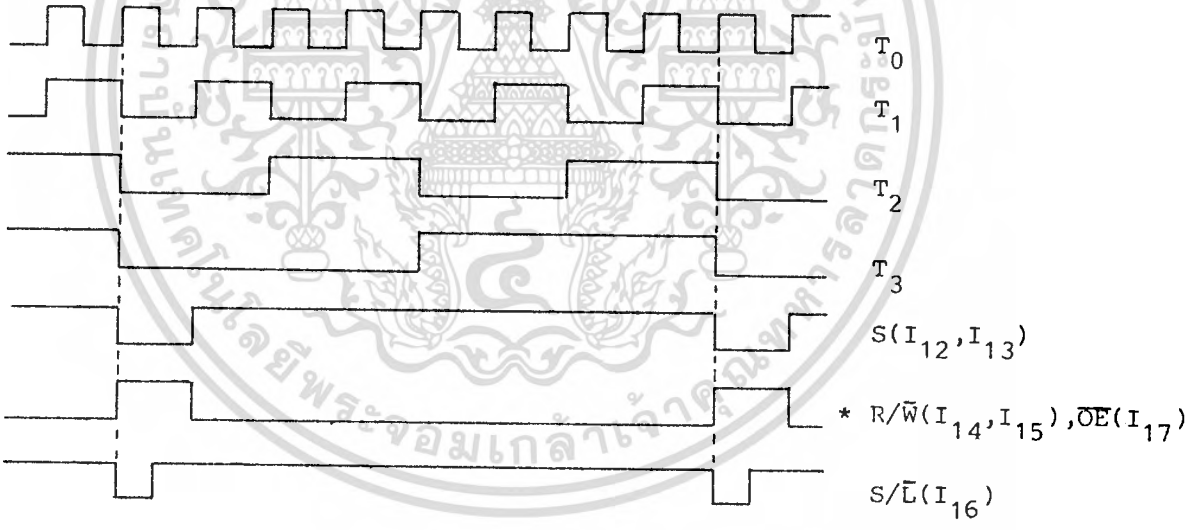
หน่วยความจำของวงจรไทม์สวิทคือ I_{14} และ I_{15}, RAM 2114 แอดเดรสถูกส่งผ่านมาทาง I_{12} และ I_{13}, 74LS157 โดยการที่จะเลือกให้แอดเดรสของการอ่านหรือการเขียนถูกส่งผ่านไปนั้น ขึ้นอยู่กับสัญญาณขา S (Select) ของ 74LS157 ถ้าขา S เป็น 1 จะให้แอดเดรสของการเขียนผ่านไป ถ้าเป็น 0 ก็ให้แอดเดรสการอ่านผ่านไป สำหรับการทำงานของวงจรไทม์สวิทนี้กำหนดให้การอ่านมีความสำคัญกว่าการเขียน การอ่านเกิดขึ้นในจังหวะที่แน่นอนเป็นช่วงสั้น ๆ ในทุก ๆ ช่องเวลา และมันจะไปขัดจังหวะการเขียน (ดูรูป 4.5) I_{18}, 74LS164 เป็นชิฟท์รีจิสเตอร์ (shift register) รับข้อมูลซีเรียลจากภายนอกมาชิฟท์ให้เป็นพาราเลลและให้ I_{17}, 74LS373 แลทช์ไว้เพื่อรอการเขียนลงใน RAM ส่วนการอ่านนั้นข้อมูลจะถูก I_{16} แลทช์ไว้แล้วจึงค่อยชิฟท์ออกมาแบบซีเรียล I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{22} และ I_{23} ทำหน้าที่สร้างสัญญาณต่าง ๆ สำหรับควบคุมการอ่านและการเขียน ซึ่งแสดงอยู่ในรูป 4.5

สำหรับ I_8 และ I_9 เป็น 74LS154 รับสัญญาณเวลา T_4 ถึง T_8 มาดีโคดให้เป็นสัญญาณช่องเวลา Tx.sync (Transmit Sync) ซึ่งจะไปอีเนเบิลตัว PCM โคดเดอร์บนอินเตอร์เฟสบอร์ดให้ส่งข้อมูลลงบนช่องเวลาประจำของแต่ละเครื่องในขบวนสัญญาณ TDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. แผนผังเวลาของการเขียน



ข. แผนผังเวลาของการอ่าน

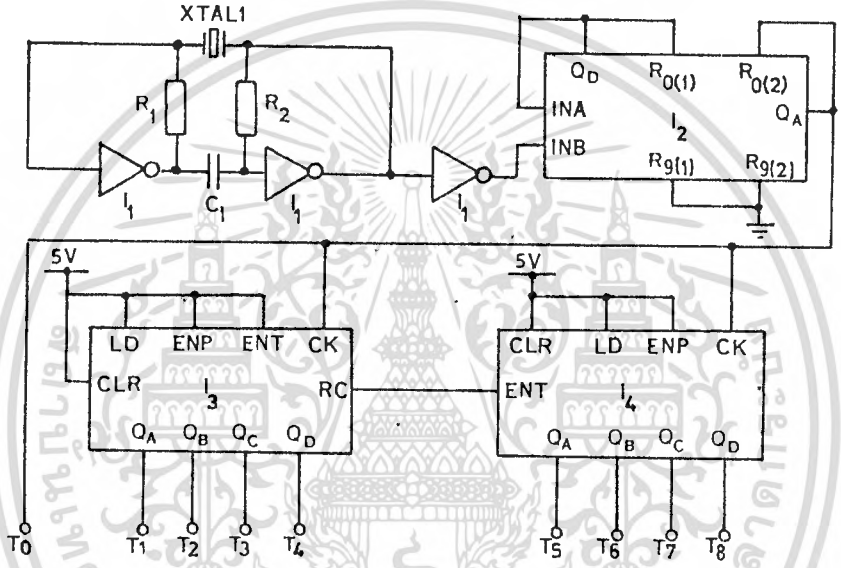
* นำสัญญาณทั้ง 2 นี้มา OR กัน

รูปที่ 4.5 แผนผังเวลาของวงจรไทม์สวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรสร้างสัญญาณเวลาและซิงโครไนเซอร์

สัญญาณเวลาที่ใช้สำหรับระบบ TDM, 32 ช่องเวลาคือ 2.048 MHz ต้องเป็นสัญญาณที่มีความเชื่อถือได้สูง ดังนั้นจึงใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบคริสตอลสำหรับสร้างสัญญาณเวลาที่ใช้ในระบบและในการส่งดังรูป 4.6



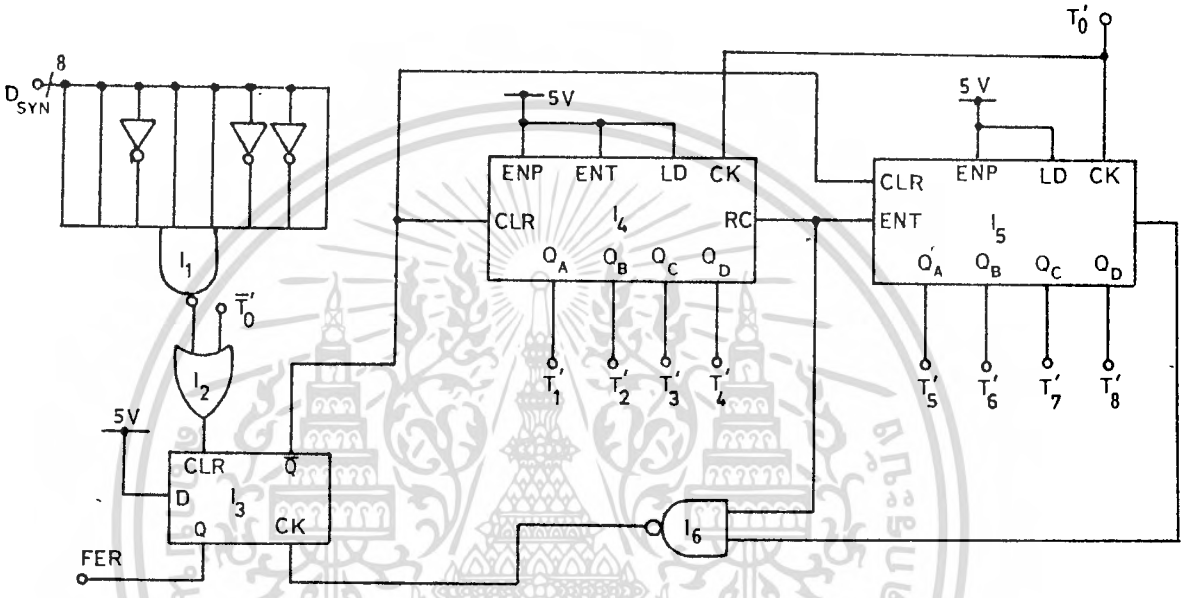
รูปที่ 4.6 วงจรสร้างสัญญาณเวลา

คริสตอลที่ใช้มีความถี่ 18.432 MHz ใช้ I_1, 74LS368 อินเวอร์ทเตอร์บัฟเฟอร์ทำเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ นำไปหาร 9 ด้วย I_2, 74LS90 ได้เป็นสัญญาณเวลา 2.048 MHz, T_0 I_3 และ I_4, 74LS161 ซิงโครนัสเคาน์เตอร์ใช้เป็นวงจรหารแบบไบนารี่ ได้ผลเป็น T_1 ถึง T_3 ใช้ในวงจรไทม์สวิท และ T_4 ถึง T_8 ใช้สร้างสัญญาณช่องเวลาของ TDM

สำหรับการรับข้อมูลจากภายนอกนั้น จะต้องแยกสัญญาณเวลาออกจากสัญญาณข้อมูลที่รับได้ จึงจะได้สัญญาณเวลาที่ซิงโครไนซ์กับสัญญาณข้อมูล สัญญาณเวลาที่แยกได้นี้จะนำไปหารเพื่อใช้ในการนับช่องเวลาสำหรับการเขียนของวงจรไทม์สวิทดังได้กล่าวในหัวข้อที่แล้ว ดังนั้นสิ่งสำคัญคือเราต้องรู้จุดเริ่มต้นของเฟรมเพื่อจะนับช่องเวลาได้ถูกต้อง ทางต้นทางจะส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAW ในช่องเวลา 0 ของทุก ๆ เฟรม เมื่อทางปลายทางตรวจจับพบ FAW ได้ก็จะรู้จุดเริ่มต้นของเฟรม รูปที่ 4.7 คือวงจรซิงโครไนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับ FAW และสร้างสัญญาณทางเวลาสำหรับวงจรไทม์สวิช



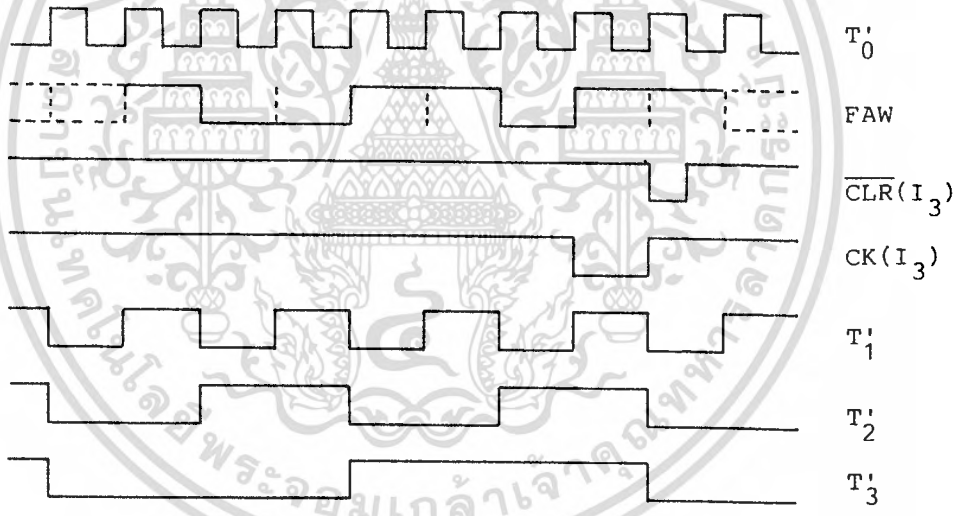
รูปที่ 4.7 วงจรซิงโครไนเซอร์

สัญญาณ FAW คือ 9BH ขบวนสัญญาณ TDM เมื่อผ่านวงจรซีเรียลทูพาราเลลแล้วต้องนำมาถอดรหัสเพื่อหา FAW ด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ (inverter) และ I_1 ,74LS30 ดังในรูป ซึ่งถ้าตรวจสอบพบ 9BH เมื่อใดเอาท์พุทของ I_1 จะเป็น 0 เป็นระยะเวลาเท่ากับ 1/2 คาบของ T_0' ดูแผนผังเวลาในรูป 4.8 สัญญาณนี้จะไปเคลียร์ (clear) I_3 ,74LS74 ทำให้ได้ $\overline{Q}$ เป็น 1 I_4 และ I_5 ,74LS161 ก็เริ่มทำการนับหาจุดต้น จนกระทั่งครบเวลา 1 เฟรม เคาน์เตอร์ I_4 ,I_5 จะให้สัญญาณริปเปิ้ล-แคร์รี่ (ripple-carry) มีระยะเวลา 1 คาบ T_0', ซึ่งเมื่อผ่านแนนเกท (Nand gate) จะได้เป็นสัญญาณเอดจ์-ทริกเกอร์ ไปทริกให้ $\overline{Q}$ ของ I_3 ตกเป็น 0 และในขั้วขณะเดียวกันนี้ถ้าการตรวจจับ FAW ไม่ผิดพลาด ก็จะมีสัญญาณมาเคลียร์ I_3 พร้อมกัน ทำให้เคาน์เตอร์นับต่อไปได้ตามปกติ แต่ถ้าตรวจจับ FAW ไม่ได้, ไม่ว่าด้วยเหตุใด เคาน์เตอร์จะถูกเคลียร์ และหยุดการนับจนกว่าจะตรวจพบ FAW ใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นวงจรนับจะเริ่มต้นนับที่จุดเริ่มต้นของเฟรมได้ทุก ๆ เฟรม และการตรวจพบสัญญาณข้อมูลที่เหมือนกับ FAW ที่ช่วงอื่น ๆ ของเฟรม (imitation of the FAW) ก็จะไม่ทำให้นับผิดพลาด

อย่างไรก็ตามถ้าเกิดการหลุดจากเฟรมซิงโครไนเซชั่นขึ้น จะทำให้การรับส่งข้อมูลผิดพลาดหมด ในกรณีนี้ได้ทำการป้องกันไว้โดยให้ CPU เลิกรับส่งสัญญาณควบคุมชั่วคราวจนกว่าการรับส่งข้อมูลจะเข้าสู่การซิงโครไนเซชั่นใหม่อีกครั้ง ซึ่งทำได้โดยการหามการอินเทอรัพท์ของ CPU ด้วยสัญญาณ Q ของ I_3 ซึ่งจะเป็น 1 เมื่อระบบเกิดหลุดจากเฟรมซิงโครไนเซชั่น นำสัญญาณนี้ไป OR กับสัญญาณช่องเวลา 16 (ดูรูป 4.2), ก่อนจะนำไปเป็นสัญญาณอินเทอรัพท์



รูปที่ 4.8 แผนผังเวลาของวงจรซิงโครไนเซอร์

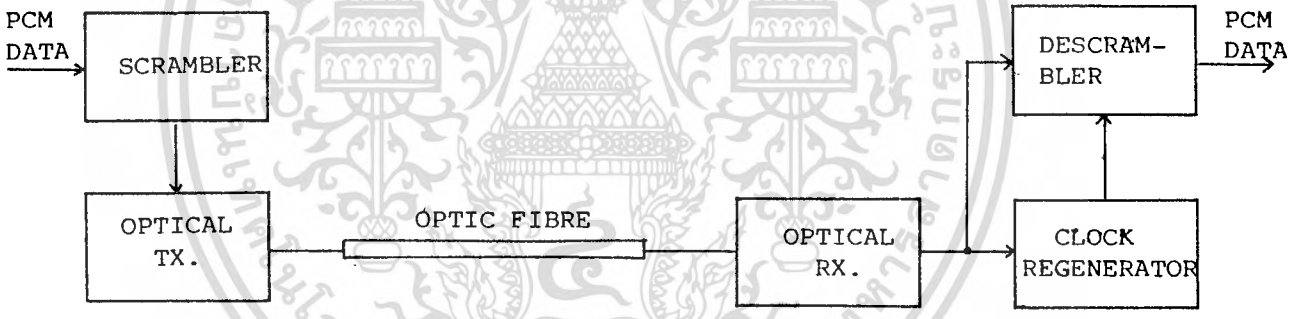
สำหรับการรับส่งสัญญาณระหว่างชุมสายด้วยวิธีการที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ สัญญาณเวลาที่ใช้ในแต่ละชุมสายจะต้องมีความถี่เท่ากันแน่นอน การรับส่งข้อมูลจึงจะสามารถทำได้โดยไม่ผิดพลาด ดังนั้นวงจรสร้างสัญญาณเวลาจึงมีเพียงชุดเดียวอยู่ที่ชุมสายใดชุมสายหนึ่ง ส่วนในชุมสายอื่นนั้นจะใช้สัญญาณเวลาที่แยกมาจากขบวนสัญญาณข้อมูลที่รับมาได้จากชุมสายต้นทาง นำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานทั้งการรับและส่งข้อมูล ด้วยวิธีการนี้ทำให้ทั้งระบบมีสัญญาณเวลาที่ซิงโครไนซ์กัน ดังนั้น ในทุก ๆ ชุมสายจะมีวงจรเหมือนกันหมด ยกเว้นชุมสายต้นทางที่ต้องมีวงจรสร้างสัญญาณเวลา

4.4 วงจรสแครมเบลอร์ ดีสแครมเบลอร์ และคล็อกรีเจนเนอเรเตอร์

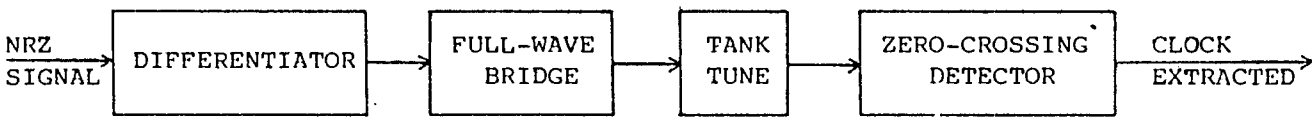
หัวข้อนี้เป็นการออกแบบวงจรเข้ารหัสแบบสแครมเบลอร์ และวงจรถอดรหัสดีสแครมเบลอร์ รวมทั้งวงจรแยกสัญญาณเวลาออกจากสัญญาณข้อมูล (Timing recovery หรือ clock extraction) ของการส่งข้อมูลแบบดิจิตอลผ่านเส้นใยนำแสง วงจรทั้งหมดมีแผนผังดังรูปที่ 4.9

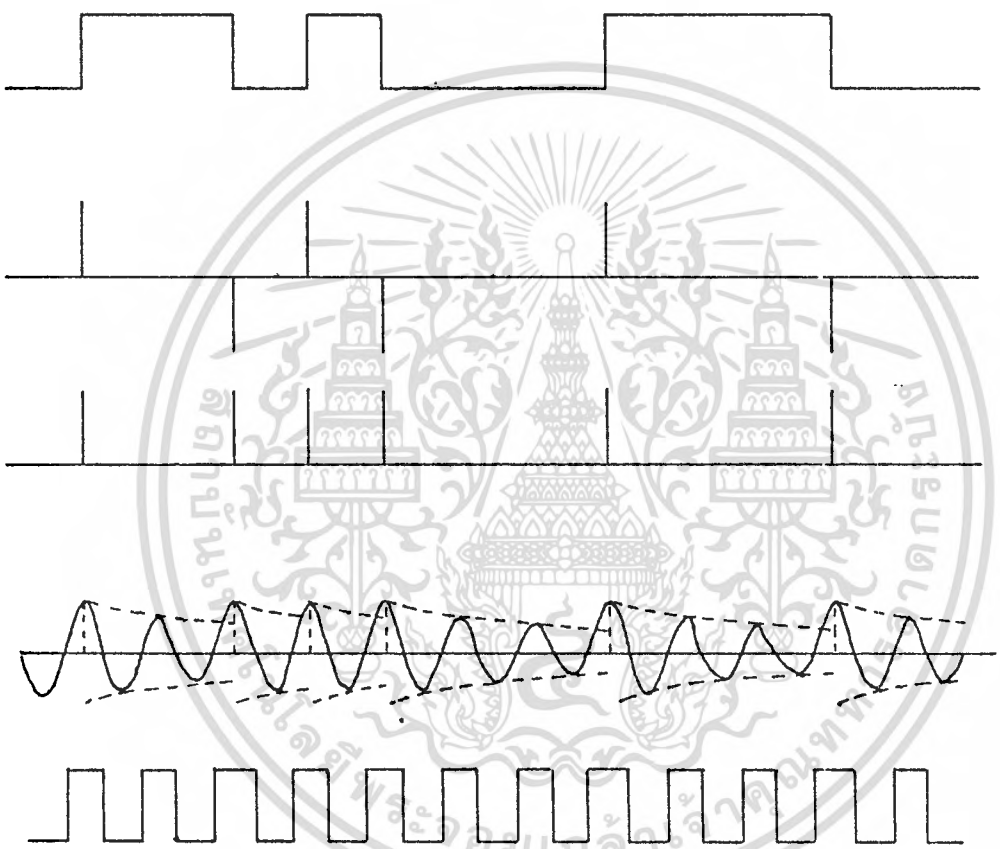


รูปที่ 4.9 แผนผังวงจรรับส่งข้อมูล

สำหรับทางภาครับซึ่งจะต้องมีวงจรแยกสัญญาณเวลา เพื่อที่จะแยกแยะข้อมูลที่ได้รับมาให้ถูกต้องนั้น สัญญาณเวลาที่แยกมาได้นั้นจะมีคุณภาพดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับสัญญาณข้อมูลที่ได้รับด้วย การทำงานของวงจรแยกสัญญาณเวลานี้ อาศัยขอบของสัญญาณข้อมูลในการสร้างสัญญาณเวลาขึ้นมาใหม่ โดยมีแผนผังวงจรและลักษณะการทำงานดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.10 แผนผังวงจรและลักษณะการทำงานของวงจรแยกสัญญาณเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนอื่นจะขอกล่าวถึงเหตุผลที่ต้องมีการเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอลก่อนที่จะส่งออกไป ที่สำคัญมี 3 ประการ [2] คือ

1. เพื่อให้มีระดับแรงดัน DC คงที่ในสายส่ง
2. ให้มีอีเนอจีสเปคตรัม (energy spectrum) ที่เหมาะสม
3. ให้มี ไทมมิ่งอินเฟอร์เมชั่น (timing information) ที่ดี

สำหรับข้อแรกระดับแรงดัน DC ในสายส่งเป็นสิ่งสำคัญ เพราะทางด้านรับจะมีวงจรตรวจจับระดับแรงดัน (threshold level detector) เพื่อจะตัดสินว่าจุดไหนเป็น 1 และ 0 ดังนั้นถ้าแรงดัน DC เปลี่ยนแปลง วงจรก็จะทำงานผิดพลาด นอกจากนี้ยังมีผลต่อวงจร AGC (Automatic Gain Control) และการปอนไฟเลี้ยง DC ของรีพีทเตอร์ (repeater) ด้วย แต่ในการทดลองนี้ใช้เส้นใยนำแสงเป็นสายส่ง ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาในเรื่องนี้

สำหรับข้อ 2 นั้นการส่งรหัสสัญญาณดิจิตอลแต่ละแบบ ก็จะให้อีเนอจีสเปคตรัมที่แตกต่างกันไป ซึ่งต้องคำนึงถึงเรื่องผลตอบสนองต่อความถี่ (frequency respond) ของสายส่งด้วย และสำหรับเส้นใยเส้นแสง ซึ่งได้กล่าวแล้วว่ามี BW กว้างมากเมื่อเทียบกับสายส่งชนิดอื่น ปัญหาในข้อนี้ก็จะไม่มีผลมากนัก

ปัญหาในข้อ 3 เป็นเรื่องสำคัญอันหนึ่งในการทดลองนี้ เนื่องจากไม่เกี่ยวกับกับตัวสายส่ง คือวงจรแยกสัญญาณเวลาทางด้านรับ ซึ่งจะต้องอาศัยสัญญาณข้อมูลที่รับได้มาแยกเอาสัญญาณเวลา ดังนั้นสัญญาณที่ส่งมาจะต้องมีไทมมิ่งอินฟอร์เมชั่นที่มากเพียงพอ เพื่อที่วงจรแยกสัญญาณเวลาจะทำงานให้ได้ดี

จากรูปที่ 4.10.ข เป็นลักษณะของสัญญาณข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง เรียกว่าสัญญาณไบนารีแบบ NRZ (Nonreturn to zero) ซึ่งเหมาะกับการใช้ส่งในเส้นใยนำแสง และการออกแบบวงจรง่ายไม่สิ้นเปลือง แต่ปรากฏว่าสัญญาณไบนารี่ NRZ นี้ไม่มีเพาเวอร์สเปคตรัลเดนซิตี้ (Power Spectral Density) ที่ความถี่ f_o ซึ่งเป็นอัตราความถี่ของการส่งข้อมูล ดังนั้นที่ด้านรับจึงอาศัยการตรวจจับขอบของสัญญาณ NRZ นี้ มาสร้างสัญญาณพัลส์ (pulse) แคบ ๆ โดยให้สัญญาณ NRZ ผ่านวงจร differentiator พัลส์แต่ละพัลส์จะมีระยะห่างกันเป็นจำนวนเท่าของคาบเวลาในการส่งข้อมูลแต่ละบิท ซึ่งสัญญาณนี้จะมีอีเนอจีสเปคตรัลที่ความถี่ของการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

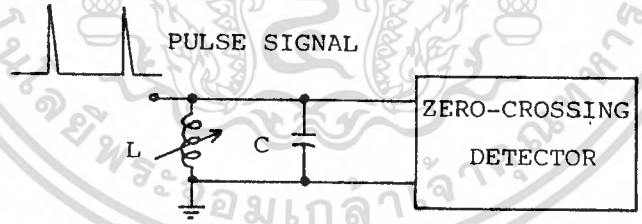
ข้อมูล f_o เมื่อป้อนสัญญาณนี้ให้กับวงจรแทงค์ (tank) ที่จูน (tune) ให้มีความถี่ใกล้เคียงกับสัญญาณ f_o มากที่สุด วงจรแทงค์จะออสซิเลท จากนั้นก็ผ่านวงจรขยายไดเป็นสัญญาณเวลาดังรูปที่ 4.10.ฉ สัญญาณเวลาที่ได้นี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่หรือเฟสเลื่อนไปมาไม่คงที่อันเป็นผลเนื่องมาจาก [8]

1. อีเนอจีสเปคตรัลของสัญญาณข้อมูล และระยะห่างระหว่างขอบของสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของรหัสสัญญาณที่ใช้ในการส่ง

2. คุณภาพของวงจรแทงค์ ทำให้เกิดผลต่างระหว่างความถี่ของแทงค์ f_T กับความถี่ของอัตราการส่งคือ $\Delta f = |f_T - f_o|$

3. คุณภาพของสัญญาณ ซึ่งขึ้นอยู่กับผลตอบสนองต่อความถี่ของสายส่ง (เกิด intersymbol interference)

ทั้ง 3 ข้อนี้ทำให้เกิดผลที่เรียกว่าซิสเต็มมาติคจิทเตอร์ (Symtemmatic Jitter) สำหรับวงจรแทงค์ที่ใช้เป็นแบบพาราเลลรีโซแนนท์ (parallel-resonant) ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 พาราเลลรีโซแนนท์

ในขณะที่วงจรแทงค์ถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณพัลส์ มันจะให้ความถี่ f_o ออกมาอันเนื่องจากอีเนอจีสเปคตรัลของสัญญาณพัลส์ที่มากระตุ้น จากนั้นความถี่จะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงเข้าหาความหาความถี่ f_T (tank frequency) และขนาดของสัญญาณรีโซแนนท์ก็จะค่อย ๆ ลดลงด้วยอันเนื่องมาจากความสูญเสียภายในวงจรแทงค์เอง จนกว่าจะมีสัญญาณพัลส์ลูกใหม่มากระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกดังรูปที่ 4.10.จ ถ้าสัญญาณพัลส์ห่างกันมากเกินไป อาจเป็นผลให้เกิดจิทเตอร์ขึ้นมากจนกระทั่งทางด้านรับหลุดจากการซิงโครไนซ์ได้ เราสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยปรับปรุงคุณภาพของแทงค์ พยายามปรับให้ f_T ใกล้เคียงกับ f_o มากที่สุด และให้ค่า Q ของวงจรแทงค์มีค่าสูง ๆ เพื่อให้ความสูญเสียภายในวงจรมีค่าต่ำ สำหรับพาราเลลรีโซแนนท์มีค่า Q เป็น

$$Q = \frac{R}{X} \quad , \quad X = X_L = X_C \qquad .....(4.1)$$

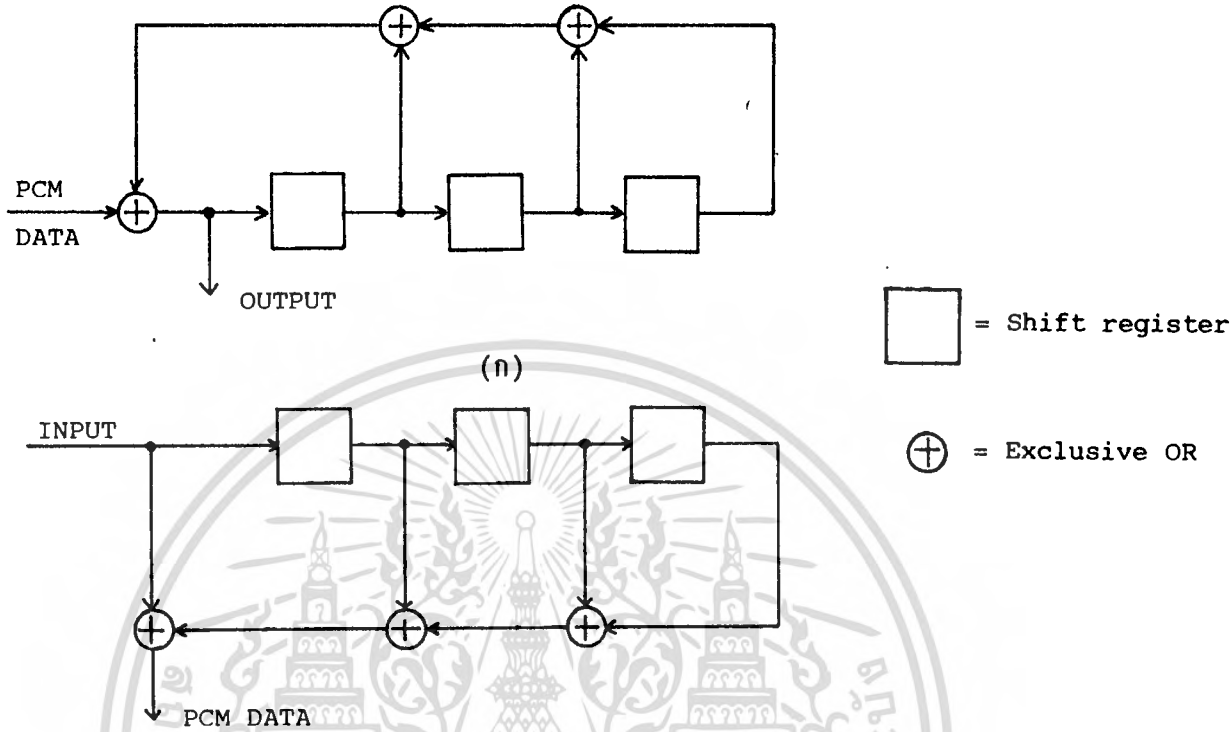
$$= \text{reactance}$$

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าค่า R ในสมการ (4.1) ก็คือค่าอินพุทอิมพีแดนซ์(input impedance) ของวงจรขยายนั่นเอง ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้วงจรขยายมีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่สูงมาก ๆ และให้ค่า L ในวงจรแทงค์มีค่าต่ำ ๆ เพื่อให้ X มีค่าต่ำ ๆ

ที่กล่าวมาเป็นการลดผลของจิทเตอร์ในหัวข้อที่ 2 สำหรับในหัวข้อที่ 3 นั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของสายส่ง และวงจรอีควอไลเซ้อร์ (equalizer) ซึ่งใช้ชดเชยผลทางด้านความถี่ของสายส่ง แต่เนื่องจากเราใช้เส้นใยนำแสงเป็นสายส่ง ทำให้ผลของจิทเตอร์ในหัวข้อนี้มีน้อยมาก ไม่จำเป็นต้องกล่าวถึง

ส่วนในหัวข้อที่ 1 คือการลดผลของจิทเตอร์ด้วยการเข้ารหัสสัญญาณนั้น เป็นเรื่องสำคัญมากเพราะดังที่กล่าวมาแล้วว่า ระยะห่างระหว่างพัลส์แต่ละลูกที่มากระตุ้นวงจรรีโซแนนท์นั้นจะต้องไม่ห่างกันมากเกินไป ซึ่งสัญญาณพัลส์ได้จากการดิฟเฟอเรนติเอท(differentiate) สัญญาณข้อมูล ดังนั้นจึงต้องให้สัญญาณข้อมูลมีขอบของสัญญาณมากเพียงพอ คือไม่เป็น 0 หรือเป็น 1 ติดต่อกันนานเกินไป เพื่อการนี้จึงได้นำวงจรสแครมเบลอร์มาใช้ทำให้สัญญาณข้อมูลมีลักษณะเป็นแรนดอม รูปที่ 4.12 เป็นวงจรเซลฟ์ซิงโครไนซ์สแครมเบลอร์ และดีสแครมเบลอร์ ที่ใช้ในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 (ก) สแครมเบลอร์, (ข) ดีสแครมเบลอร์

ถ้าให้ N เป็นจำนวนของชิฟรีจิสเตอร์ในวงจรสแครมเบลอร์ และขบวนข้อมูลอินพุทมีพีเรียด (period) เป็น S ป้อนให้แก่วงจรสแครมเบลอร์ จะได้ข้อมูลเอาท์พุทมีพีเรียดเป็น

$$P = S(2^N - 1) \qquad .....(4.2)$$

และถ้า N มีจำนวนมากเพียงพอ จะทำให้ข้อมูลในพีเรียด P มีโอกาสที่จะเป็น 1 เท่ากับโอกาสที่จะเป็น 0 หรือความน่าจะเป็น (probability) ที่ข้อมูลจะเป็น 1 มีค่าเท่ากับ 0.5 โดยไม่ขึ้นกับข้อมูลอินพุทว่าจะเป็นอะไร นั่นคือทำให้ข้อมูลที่เอาท์พุทของสแครมเบลอร์มีลักษณะเป็นแรนดอม [8] ผลดีก็คือทำให้ระดับแรงดันในสายส่งมีค่าคงที่

นอกเวลานี้ที่สำคัญก็คือข้อมูลจากวงจรสแครมเบลอร์จะไม่เป็น 1 หรือเป็น 0 ติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

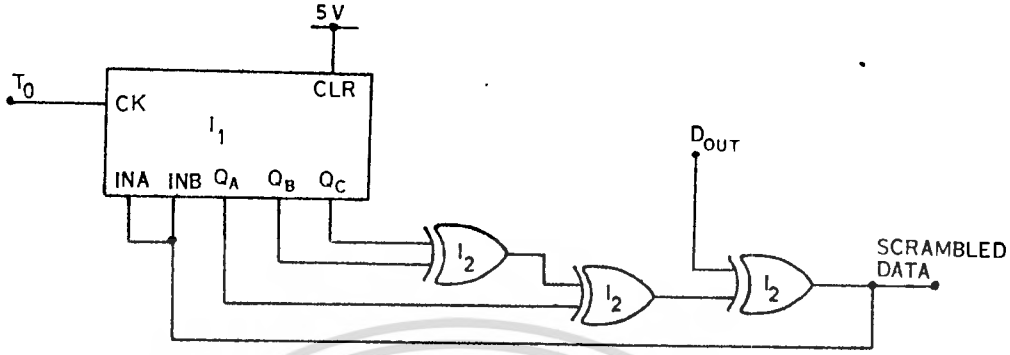
กันนานเกินไป จำนวนสูงสุดที่ขอมูลจะไม่เปลี่ยนระดับติดต่อกันมีค่าเท่ากับ N [4] ทำให้ขบวนขอมูลมีขอบของสัญญาณมากเพียงพอ เป็นผลดีต่อวงจรแยกสัญญาณเวลาทางด้านรับคือเกิดจิทเตอร์น้อยลง และไม่หลุดจากการซิงโครไนซ์ดังกล่าว

รูปที่ 4.13 คือวงจรสแครมเบลอร์ที่ออกแบบใช้งานจริง I_1 ,74LS164 เป็นชิฟท์รีจิสเตอร์ซึ่งจะชิฟท์ขอมูลใหเลื่อนไปพร้อม ๆ กันด้วยสัญญาณเวลา 2.048 MHz โดยมี I_2, 74LS86 เป็นเอ็กคลูซีฟ ออร์ (Exclusive OR) จำนวนรีจิสเตอร์ที่ใช้คือ 3 ซึ่งที่จริงแล้วน้อยเกินไป [8] ทำให้ขบวนขอมูลไม่มีลักษณะเป็นแรนดอมมากนัก แต่ข้อดีคือขอมูลจะเป็น 1 หรือ 0 ติดต่อกันได้มากที่สุดเพียง 3 บิท ซึ่งจากการทดลองแล้วปรากฏว่าให้ผลดีมากกว่าที่ใช้ค่า N มากกว่านี้

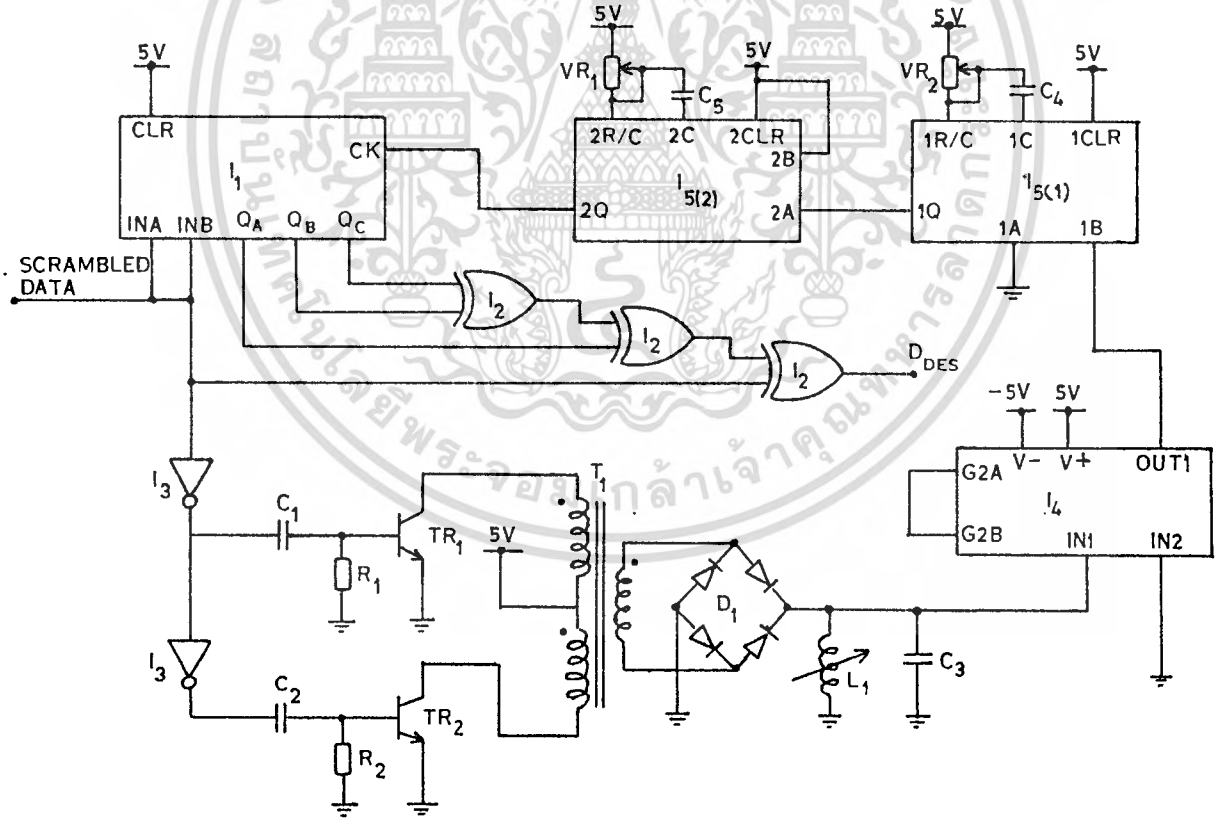
ส่วนรูปที่ 4.14 คือวงจรดีสแครมเบลอร์และวงจรแยกสัญญาณเวลา I_1 ,74LS164 และ I_2 ,74LS86 ทำหน้าที่เป็นวงจรดีสแครมเบลอร์

สำหรับการแยกสัญญาณเวลานั้น เนื่องจากเราต้องการสัญญาณพัลส์สำหรับไปกระตุ้นวงจรแทงค์ใหม่จำนวนมากที่สุด จึงใช้ขอบของสัญญาณทั้งขอบขาขึ้นและขอบขาลงในการสร้างสัญญาณพัลส์ โดยให้สัญญาณขอมูลมาผ่านอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะกลับเฟสของสัญญาณให้ต่างกัน 180° และใช้วงจรดิฟเฟอเรนติเอเตอร์ 2 ชุดในการสร้างสัญญาณพัลส์ จากนั้นป้อนสัญญาณผ่าน TR_1 และ TR_2, 2N3904 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแบบพุช-พูล (push-pull amplifier) โดยมันจะดึงกระแสผ่านขดไพรมารี (primary coil) ของพัลส์ทรานสฟอร์มเมอร์ (pulse transformer) จะได้สัญญาณพัลส์รวมที่ขดเซคันดารี (secondary coil) ดังรูปที่ 4.10.ค วงจรบริดจ์ (bridge) ไดโอดทำหน้าที่เป็นเรคติไฟเออร์ (rectifier) กลับให้พัลส์เป็นบวกทั้งหมด ดูรูปที่ 4.10.ง แล้วจึงไปกระตุ้นวงจรแทงค์ให้ออสซิลเลท (oscillate) ออกมาเป็นสัญญาณในรูปที่ 4.10.จ. สัญญาณออสซิลเลทนี้นำมาสร้างใหเป็นสัญญาณเวลาได้โดยใช้วงจรซีโรครอสซิ่งดีเทคเตอร์ (Zero-crossing detector) ซึ่งใช้ I_4 ,LM733 ดิฟเฟอเรนเชียลวีดิโอแอมป์ (Differential Video Amp.) ปรับให้มีอัตราการขยายเท่ากับ 100 สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จาก I_4 นี้คือสัญญาณเวลาที่จะนำไปใช้งานได้แล้ว แต่จะนำไปผ่านวงจรเลื่อนเฟสสัญญาณเสียก่อน ซึ่งใช้ I_5,74123 โมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ (monostable multi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



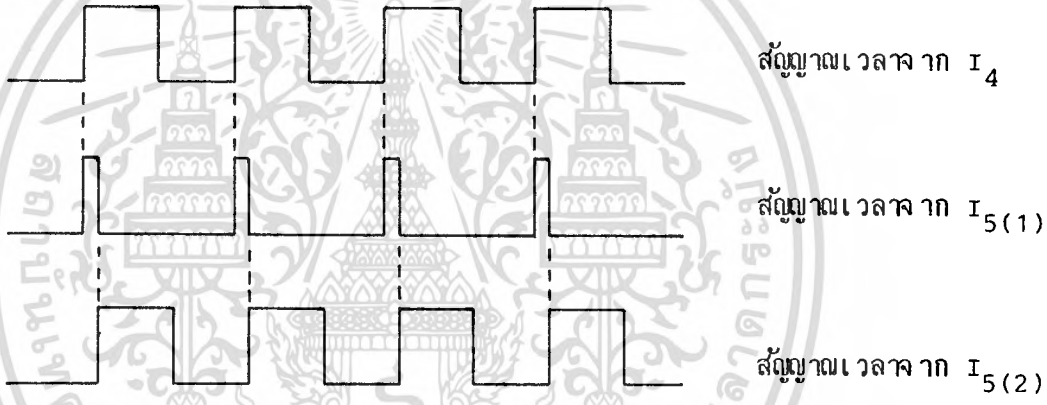
รูปที่ 4.13 วงจรสแครมเบลอร์



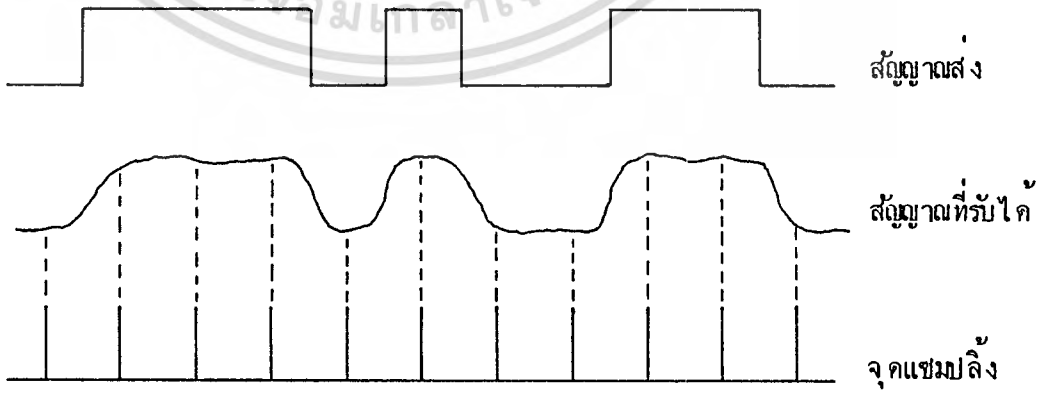
รูปที่ 4.14 วงจรดีสแครมเบลอร์ และวงจรแยกสัญญาณเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

vibrator) ทำหน้าที่ในการเลื่อนเฟส เพื่อให้สัญญาณเวลาสามารถไปแซมเบิ้ลได้ที่กึ่งกลางบิทของสัญญาณข้อมูลที่ได้รับ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแน่นอน เพราะว่าอย่างไรก็ตามสัญญาณเวลาที่แยกมาได้เมื่อสังเกตดูจากออสซิลโลสโคป (oscilloscope) จะยังเห็นการสั่นของขอบสัญญาณอยู่บ้างอันเนื่องจากจิทเตอร์ และสัญญาณข้อมูลที่ได้รับอาจมีรูปร่างที่ผิดเพี้ยนไปอันเนื่องมาจากความสูญเสียภายในสายส่ง และการเกิดอินเตอร์ซิมโบลอินเทอร์เฟอเรนซ์ รูปที่ 4.15 เป็นลักษณะของสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของวงจรรูปที่ 4.14 ส่วนรูปที่ 4.16 เป็นลักษณะของสัญญาณที่รับได้กับการแซมปลิ้ง



รูปที่ 4.15 สัญญาณเวลาที่จุดต่าง ๆ ของวงจรแยกสัญญาณเวลา



รูปที่ 4.16 ลักษณะของสัญญาณที่รับได้กับการแซมปลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

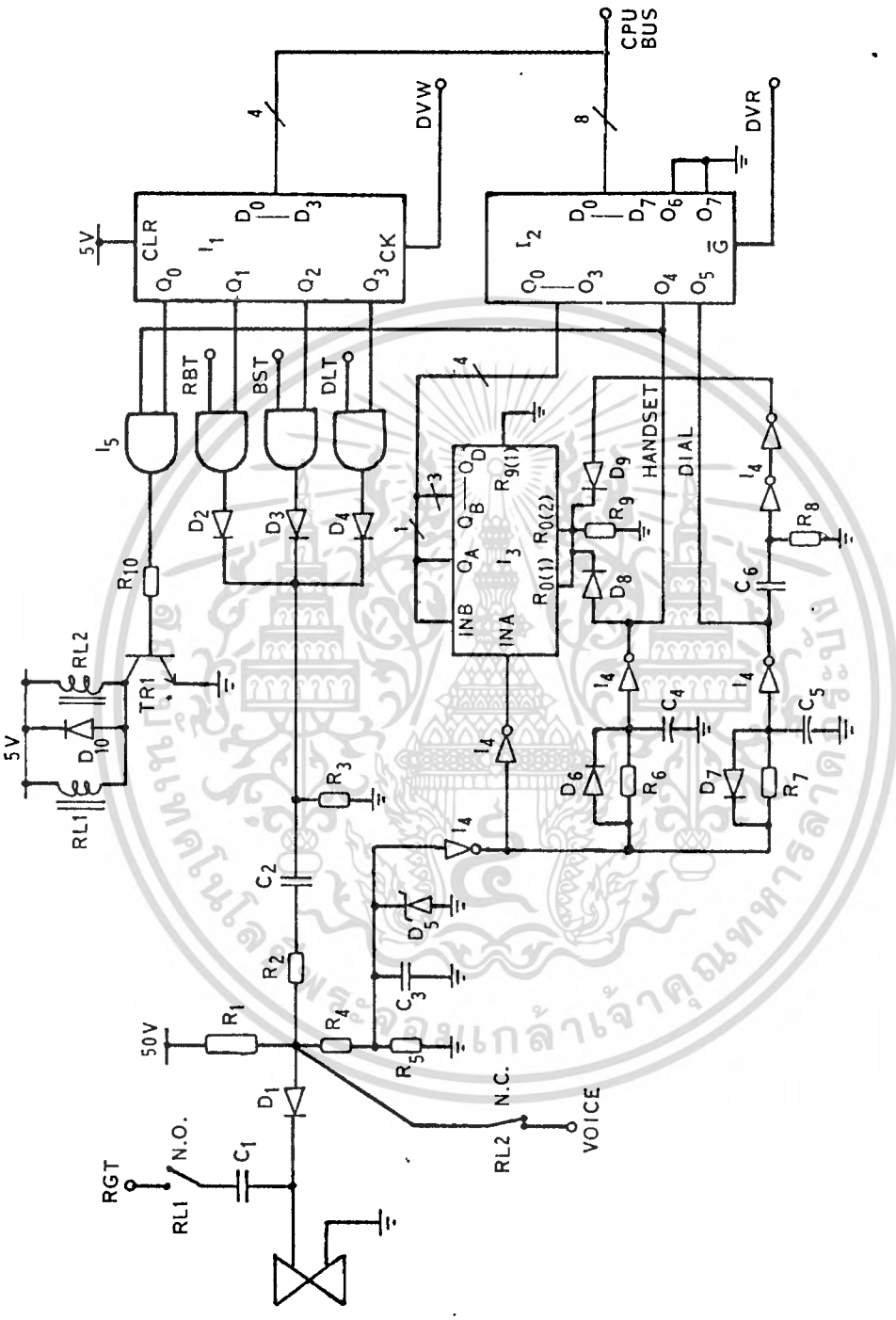
วิธีการเลื่อนเฟสนั้นทำได้ โดยใช้ขอบขาขึ้นของสัญญาณเวลาแต่ละลูกไปทริกให้โมโนสเตเบิล $I_5(1)$ สร้างสัญญาณพัลส์เล็ก ๆ ซึ่งสามารถปรับความกว้างของพัลส์ แล้วใช้ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์นี้ไปทริกให้โมโนสเตเบิล $I_5(2)$ สร้างสัญญาณ ซึ่งปรับให้มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของคาบเวลาของสัญญาณเวลา ดังนั้นจะได้สัญญาณเวลาซึ่งสามารถปรับเฟสให้เลื่อนไปตามต้องการได้ โดยการปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ของ $I_5(1)$

4.5 วงจรอินเตอร์เฟสโทรศัพท์และวงจรสร้างสัญญาณโทรศัพท์

วงจรอินเตอร์เฟสโทรศัพท์นี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อ ระหว่าง CPU กับโทรศัพท์แต่ละเครื่อง โดย CPU จะมองวงจรอินเตอร์เฟสโทรศัพท์แต่ละบอร์ดเป็นเสมือนหน่วยความจำข้อมูลภายนอกขนาด 1 ไบท์ โดยที่แต่ละชุมสายสามารถติดตั้งโทรศัพท์ได้ 30 เครื่อง ดังนั้นก็จะมีบอร์ดอินเตอร์เฟส 30 บอร์ด โดยจัดให้อยู่ในตำแหน่งหน่วยความจำตั้งแต่ 81H ถึง 8FH และ 91H ถึง 9FH CPU ต้องทำการติดต่อกับโทรศัพท์แต่ละเครื่องในลักษณะมัลติเพลกซ์ คือเมื่อมาบริการถึงโทรศัพท์เครื่องใดก็จะอ่านเอาข้อมูล ซึ่งเป็นสถานะของโทรศัพท์ในขณะนั้นไปตรวจสอบ แล้วทำงานตามขั้นตอนในสถานะนั้นจนเสร็จสิ้น จากนั้นก็หยุดเอาไว้ก่อนและเขียนค่าแฟลกต่าง ๆ เพื่อบอกถึงขั้นตอนที่ทำไปแล้วลงในตารางแฟลกของโทรศัพท์เครื่องนั้น แล้วก็จะไปบริการโทรศัพท์เครื่องต่อไปโดยวิธีการเดียวกันจนครบทุกเครื่อง จึงจะกลับมาบริการโทรศัพท์เครื่องเดิมอีกครั้งหนึ่ง

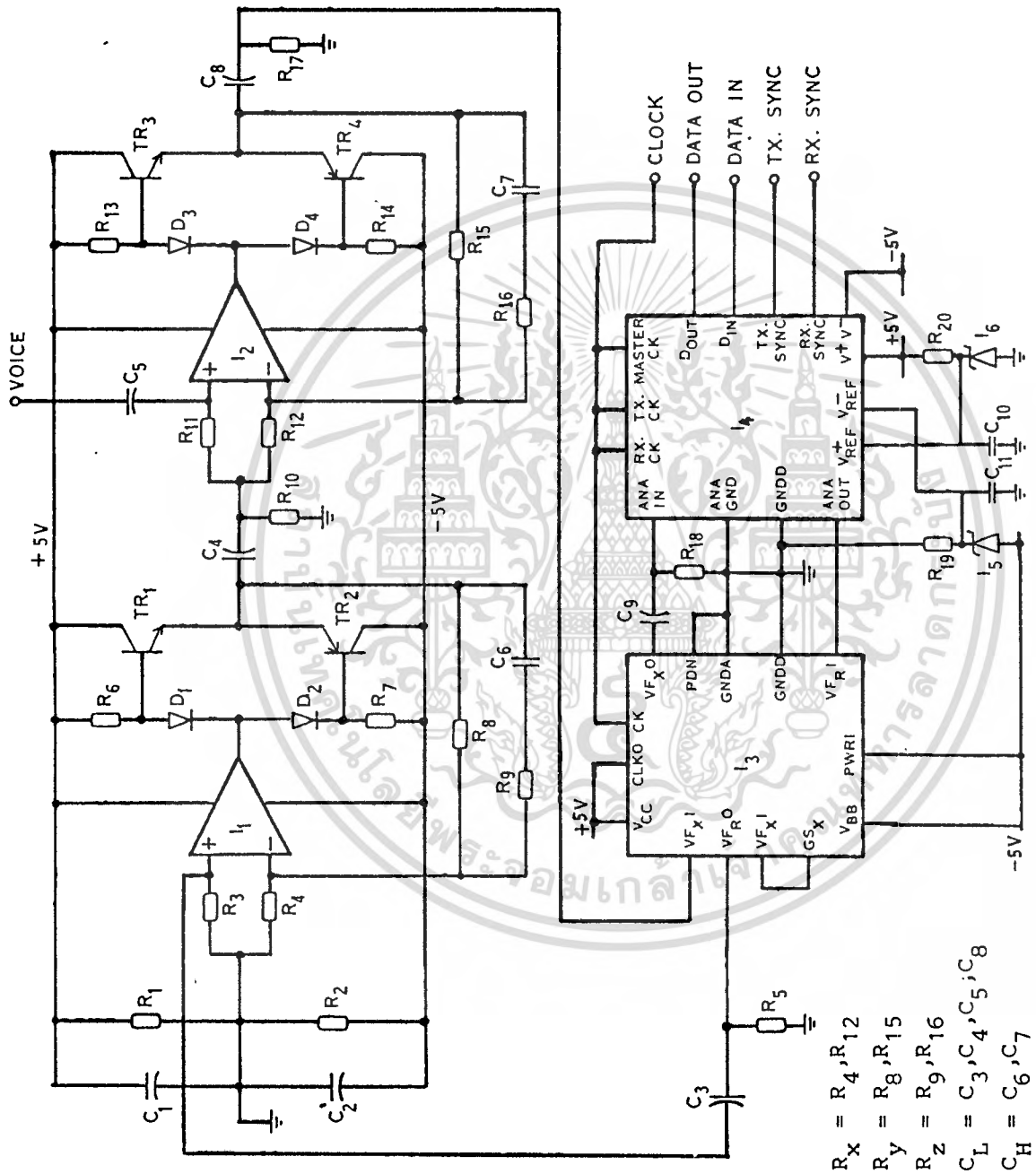
บนอินเตอร์เฟสบอร์ดประกอบไปด้วย วงจรตรวจจับสถานะต่าง ๆ ของโทรศัพท์คือ การยกหู, การหมุนหมายเลข, และตรวจสอบหมายเลขที่หมุน วงจรโคเด็ค, วงจรอีเลคทรอนิคส์ ไฮบริด, และส่วนต่อต่อสัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณให้หมุน, สัญญาณไม่ว่าง, สัญญาณเรียก, สัญญาณเรียกกลับรวมทั้งสัญญาณเสียงพูดด้วย สำหรับเครื่องโทรศัพท์ที่ใช้ในระบบชุมสายนี้ ใช้ได้เฉพาะโทรศัพท์แบบหมุนเพราะวงจรการตรวจสอบหมายเลขได้ออกแบบไว้สำหรับโทรศัพท์ชนิดนี้ แต่ก็สามารถดัดแปลงให้ใช้กับโทรศัพท์แบบกดปุ่มได้ เพียงแต่เปลี่ยนวงจรการตรวจสอบหมายเลขเท่านั้นโดยที่ส่วนอื่นยังคงเดิมทั้งหมด รูปที่ 4.17 คือวงจรส่วนตรวจสอบสถานะและต่อต่อสัญญาณโทรศัพท์ รูปที่ 4.18. คือส่วนไฮบริดและโคเด็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 วงจรส่วนตรวจสอบสถานะและตัดต่อสัญญาณโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

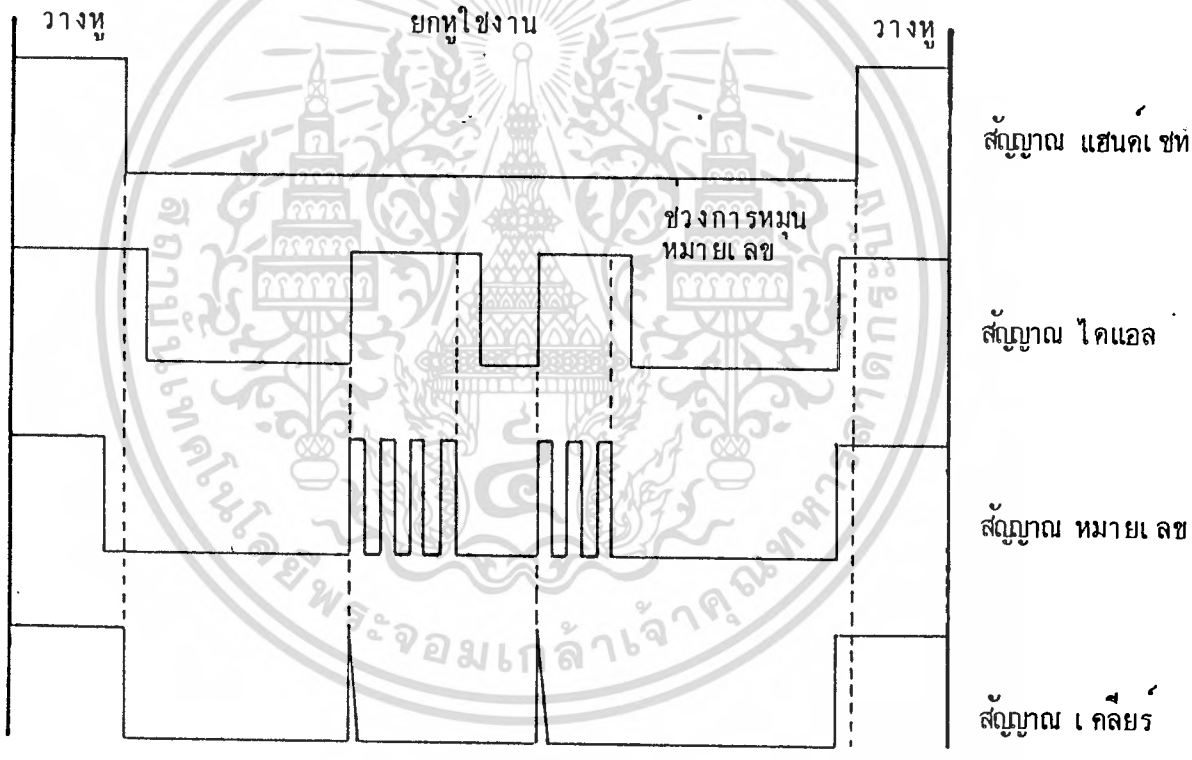


$R_x = R_4, R_{12}$
$R_y = R_8, R_{15}$
$R_z = R_9, R_{16}$
$C_L = C_3, C_4, C_5, C_8$
$C_H = C_6, C_7$

รูปที่ 4.18 วงจรโฮริดและโคเดค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CPU จะอ่านสถานะของโทรศัพท์ผ่าน I_2 ,74LS244 บนบอร์ด เป็นข้อมูลขนาด 6 บิท,บิท 0 – 3 บอกหมายเลขโทรศัพท์ที่ได้จากการหมุนแต่ละครั้ง บิท 4 เป็นสัญญาณแฮนด์เซท (Handset) บอกให้รู้ว่าขณะนั้นหูโทรศัพท์วางอยู่บนเครื่องหรือถูกยกขึ้น ส่วนบิท 5 เป็นสัญญาณไดแอล (Dial) ถ้าเป็น "1" จะหมายถึงว่าขณะนั้นอยู่ในช่วงการหมุนแป้นตัวเลข CPU ต้องอ่านข้อมูลโดยการส่งสัญญาณ DVR (device read) มาเปิดเกทของ I_2 รูปที่ 4.19 เป็นลักษณะสัญญาณต่าง ๆ เหล่านี้



รูปที่ 4.19 ลักษณะสัญญาณการใช้โทรศัพท์

แรกเมื่อหูโทรศัพท์ยังถูกวางอยู่ สัญญาณแฮนด์เซทและไดแอลจะเป็น 1 ทั้งคู่ถ้า CPU มาอ่านพบสถานะนี้ ก็หมายความว่าโทรศัพท์เครื่องนี้ไม่มีการใช้งาน และจะเลยไปบริการโทรศัพท์เครื่องต่อไป เมื่อหูโทรศัพท์ถูกยกสัญญาณแฮนด์เซทจะตกลงเป็น 0 ทันที และยังคงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0 ตลอดถ้ายังไม่มีการวางหูโทรศัพท์ สัญญาณไดแอลจะตกลงเป็น 0 ภายหลังสัญญาณแฮนด์เชทเล็กน้อย ถ้า CPU ตรวจพบสถานะนี้เมื่อใดก็จะเริ่มให้บริการแก่โทรศัพท์เครื่องนั้นทันที โดยการไปเชท "H" แฟลกในตารางแฟลกของโทรศัพท์เครื่องนี้ให้เป็น "1" เมื่อใดที่มีการหมุนหมายเลขโทรศัพท์ สัญญาณไดแอลก็จะเป็นขึ้นเป็น "1" ตลอดช่วงการหมุนหนึ่งครั้ง ซึ่งจะบอกให้ CPU ทราบว่าขณะนั้นอยู่ในช่วงการหมุน CPU ไม่จำเป็นต้องรอจนกระทั่งการหมุนเสร็จสิ้นเพราะกินเวลานาน มันสามารถไปให้บริการแก่โทรศัพท์เครื่องอื่นจนครบรอบแล้วกลับมาดูใหม่ว่าการหมุนเสร็จสิ้นหรือยัง ถ้าสัญญาณไดแอลตกเป็น "0" แสดงว่าเสร็จแล้ว CPU ก็จะอ่านเอาข้อมูลบิท 0 - 3 เข้าไปก็จะทราบว่าหมายเลขที่หมุนคืออะไร หมายเลขนี้จะเป็นรหัส BCD ซึ่งได้มาจากตัวนับ I_3, 74LS90 เมื่อมีการหมุนหมายเลข, ภายในโทรศัพท์จะมีส่วนของหน้าสัมผัส (contact) ที่จะสับเข้าออกเป็นจำนวนครั้งเท่ากับหมายเลขของการหมุน และทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ในจำนวนเท่ากันที่ขา CK ของ I_3 ดังรูปที่ 4.19 ที่ขา CLR ของ I_3 จะมีสัญญาณพัลส์แคบ ๆ มาเคลียร์วงจรนับทุกครั้งที่มีการหมุนหมายเลขและเมื่อวางหูโทรศัพท์

สำหรับการส่งสัญญาณบอกสถานะต่าง ๆ ไปยังโทรศัพท์ บนบอร์ดมี I_1, 74LS175 (quad D-type flip-flop) ทำหน้าที่แลทช์ข้อมูลที่ CPU ส่งมา ซึ่งเป็นข้อมูลขนาด 4 บิท โดยใช้สัญญาณ DVW (device write) สั่งให้อินเตอร์เฟสบอร์ดที่ต้องการติดต่อด้วยแลทช์ข้อมูลไว้ ข้อมูลที่ถูกแลทช์ไว้นี้จะไปเปิดเกท I_5, 74LS08 อีกทีหนึ่ง เพื่อให้สัญญาณต่าง ๆ ผ่านเข้าไปยังเครื่องโทรศัพท์ได้ เมื่อต้องการส่งสัญญาณใดก็จะส่ง "1" ไปแลทช์ไว้ที่บิทนั้น

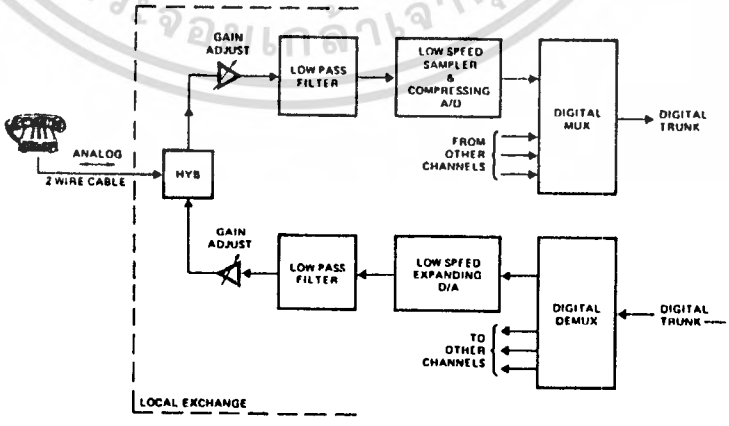
บิท "0" ไปเปิดเกทสัญญาณเรียก
บิท "1" " " เรียกกลับ
บิท "2" " " ไม่วาง
บิท "3" " " ให้หมุน

สัญญาณเรียกกลับ, สัญญาณไม่วางและสัญญาณให้หมุนเป็นสัญญาณชนาดเล็กแรงดันไม่เกิน 5V ดังนั้นจึงสามารถส่งผ่านเกท I_5 ได้โดยตรง เอาท์พุทของแอนด์เกททั้ง 3 นั้นถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จับรวมกันเพื่อส่งสัญญาณข้าสู่โทรศัพท์ โดยมีไดโอด D_2, D_3, D_4 บล็อคเอาท์พุทของเกทแต่ละตัวไว้ เพื่อป้องกันการโหลดกระแสที่จะทำให้เกทพังได้ เฉพาะสัญญาณเรียกนั้นเป็นสัญญาณแรงดันสูงประมาณ 150 V. ที่จะส่งให้โทรศัพท์ในขณะโทรศัพท์วางหู เพื่อไปสั่นกระดิ่งบอกให้ผู้รับรู้ว่ามีการเรียก สัญญาณนี้จึงไม่สามารถส่งผ่านเกทโดยตรงได้ แต่จะส่งผ่านรีเลย์โดยให้สัญญาณจากเกทไปสั่งให้รีเลย์ทำงานผ่านทางทรานซิสเตอร์ TR_1 อีกทีหนึ่ง เพราะในการสั่งให้สับหน้าสัมผัสรีเลย์นั้นต้องการกระแสในการขับขดลวดมาก จึงต้องใช้ TR_1 เป็นตัวช่วยขับกระแส จากรูปจะเห็นว่ามีรีเลย์ 2 ตัว คือ RL1 และ RL2 ซึ่งจะทำงานพร้อมกัน RL1 ใช้ในการเปิดให้สัญญาณเรียกผ่านไปยังโทรศัพท์โดยจะต่อสัญญาณเรียกเข้าขา N.O. (normally open) ดังนั้นสัญญาณเรียกจะผ่านไปยังโทรศัพท์ก็ต่อเมื่อ CPU สั่งให้ข้อมูลบิท "0" เป็น 1 สำหรับ RL2 ใช้ในการตัดต่อสัญญาณเสียงพูด โดยสายสัญญาณเสียงพูดจากวงจรไฮบริดถูกต่อเข้าที่ขา N.C. (normally close) ของรีเลย์ นั่นคือ RL2 จะตัดต่อสัญญาณสลับกับ RL1 เมื่อใดก็ตามที่มีการยกหูโทรศัพท์ขึ้น Q จะหยุดนำกระแสทันที ทำให้สัญญาณเรียกถูกตัดออกไปแล้วสายสัญญาณเสียงพูดถูกสับหาเข้าโทรศัพท์แทน

วงจรไฮบริดทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณเสียงที่พูดออกไป ให้ไปเข้าวงจรโคดเดอร์เพื่อทำการเข้ารหัสเป็นสัญญาณ PCM และรับสัญญาณเสียงจากวงจร PCM ดีโคดเดอร์มาส่งให้ผู้รับฟัง ดังแผนผังวงจรรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การใช้งานวงจรไฮบริด

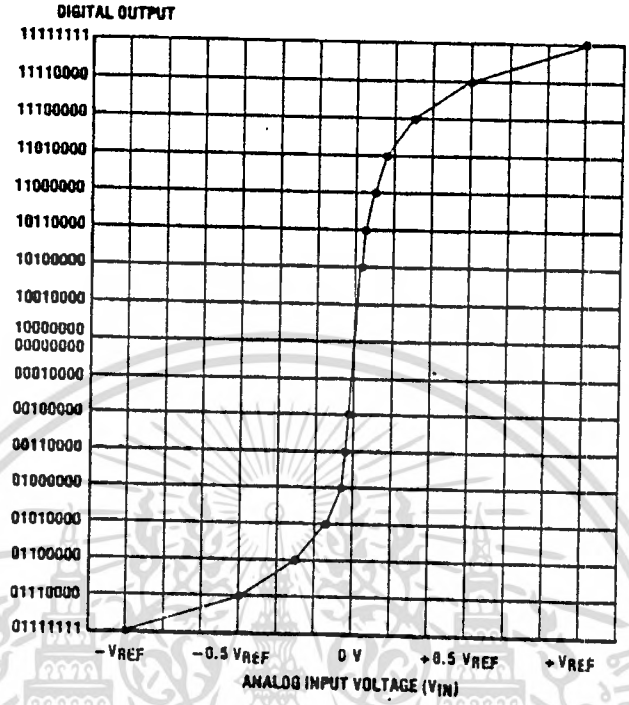
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรไฮบริดที่ใช้ในอินเตอร์เฟสบอร์ดนี้เป็นวงจรอิเลคทรอนิคส์ไฮบริด ไม่ต้องใช้ทรานสฟอร์มเมอร์ทำให้ขนาดของวงจรเล็กลง และสัญญาณเสียงไม่ถูดลดทอนเพราะเราสามารถออกแบบให้วงจรมีอัตราขยายสัญญาณได้ นอกจากนี้ยังสามารถจ่ายกระแสได้สูงเนื่องจากมีวงจรขยายกระแสแบบพุช-พูลอยู่ที่ภาคเอาท์พุทของวงจรดังในรูปที่ 4.18 ส่วนไฮบริดประกอบไปด้วยวงจรขยายแบบจ่ายกระแสได้สูง 2 วงจรต่ออนุกรมกันคือ I_1 และ I_2, LM 741 ออปแอมป์ (operational amplifier) ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายที่สามารถปรับอัตราการขยาย G ได้

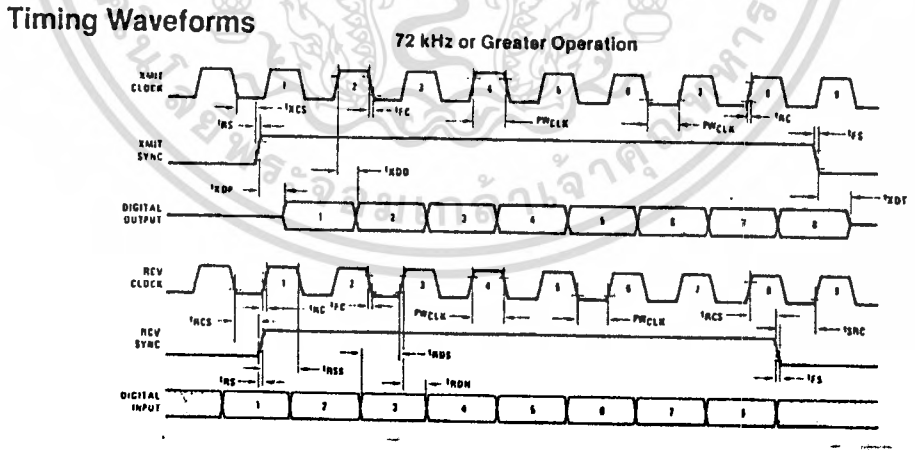
จากรูปค่าของความต้านทานและตัวเก็บประจุที่ออกแบบไว้ ได้อัตราการขยายเป็น 1 และจุดคัทออฟทางด้านความถี่ต่ำประมาณ 167 Hz ทางด้านความถี่สูงประมาณ 3.37 KHz. โดยที่ตามมาตรฐานการใช้งานของโทรศัพท์ ให้มีช่วงความถี่ของเสียงพูดระหว่าง 200 Hz ถึง 3.4 KHz แต่เนื่องจากในการออกแบบมีข้อจำกัดเรื่องค่าของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ และในการทดลองวงจรที่ออกแบบไว้ก็สามารถรับฟังเสียงได้ดีไม่มีปัญหาอะไร

สำหรับส่วนที่เป็นวงจร PCM โคดเดอร์และดีโคดเดอร์ในรูป 4.20 ก็คือ I_4, MK5156 โมโนลิทิค PCM โคเด็ค (Monolithic PCM CODEC) ในวงจรรูปที่ 4.18 ซึ่งภายในตัว I_4 นี้รวมส่วนของโคดเดอร์และดีโคดเดอร์เข้าไว้ภายในตัวเดียวกัน จึงเรียกว่าโคเด็ค ส่วนที่เป็นวงจรฟิลเตอร์ก็คือ I_3, TP3040 PCM โมโนลิทิค ฟิลเตอร์ ซึ่งภายในตัวประกอบด้วยวงจรฟิลเตอร์ทั้งภาครับและภาคส่ง สำหรับต่อใช้รวมกับ PCM โคเด็ค I_4 รูปที่ 4.21 แสดงถึงลักษณะในการเข้ารหัสสัญญาณและแผนผังเวลาในการรับส่งข้อมูลของ I_4 ส่วนรูปที่ 4.22 แสดงถึงคุณสมบัติของฟิลเตอร์ I_3 ตามมาตรฐาน CCITT G712 recommendations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.

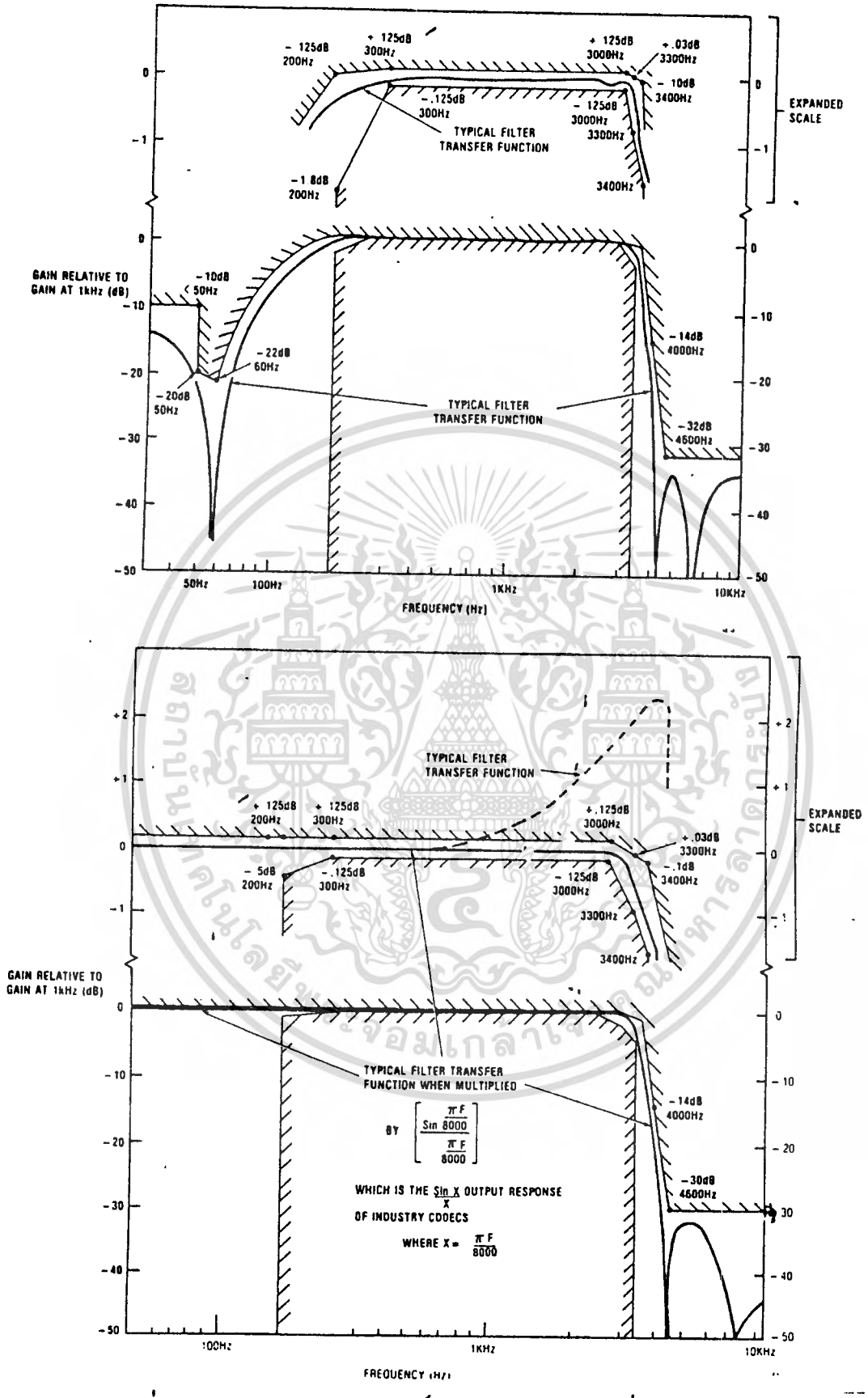


ข.

รูปที่ 4.21 ก) ลักษณะการเชื่อมต่อสัญญาณของ MK 5156

ข) แผนผังเวลาการรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 คุณสมบัติของฟิลเตอร์ TP3040 ก).ภาคส่ง ข).ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรไฮบริดแยกสัญญาณเสียงที่พูดออกไปและสัญญาณเสียงที่รับฟังออกจากกัน แล้วสัญญาณเสียงพูดจะถูกส่งผ่านวงจรฟิลเตอร์ของ I_3 เพื่อให้ได้ความถี่อยู่ในช่วง 200 Hz ถึง 3.4 KHz. ภายใน I_3 นี้มีวงจรขยายสัญญาณได้ แต่ในที่นี้ให้อัตราการขยายเป็น 1 เท่าเพราะว่าสัญญาณที่ออกจากวงจรไฮบริดมีขนาดที่เหมาะสมอยู่แล้ว จากนั้นผ่านสัญญาณเข้าส่วนโคดเดอร์ของ I_4 ซึ่งประกอบด้วยวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์ (sample and hold), วงจรควอนไทเซอร์ที่มีการคอมแพนดิงแบบ A law โดยค่า A = 87.6 ตามมาตรฐาน (ดูสมการ 3.2) สำหรับวงจรแซมเปิลแอนด์โฮลด์นั้นจะทำการแซมเปิลสัญญาณไว้เมื่อได้รับสัญญาณ TX. sync. สัญญาณนี้มีความกว้างเท่ากับ 8 คาบของสัญญาณเวลาซึ่งก็คือสัญญาณช่องเวลา 1 ช่องนั่นเอง และเมื่อทำการควอนไทซ์และเข้ารหัสได้เป็นสัญญาณ PCM แล้ว ข้อมูลจะถูกส่งออกไปแบบซีเรียลเป็นดาตาเอาท์พุทเมื่อได้รับ TX. sync อีกครั้งหนึ่งถัดมา ซึ่งก็พร้อม ๆ กับที่สัญญาณเสียงถูกแซมเปิลไว้ใหม่อีกเพื่อทำการแปลงสัญญาณต่อไป

ส่วนทางด้านรับเมื่อได้รับสัญญาณ Rx. sync. วงจรดีโคดเดอร์ก็จะทำการเลื่อนข้อมูล 8 บิทในช่องเวลานั้นเข้ามา โดย CPU จะเป็นตัวกำหนดสัญญาณ RX. sync ว่าจะให้รับข้อมูลจากช่องเวลาใด ข้อมูลจะถูกถอดรหัสให้เป็นสัญญาณอนาลอกโดยต้องถูกเอ็กซ์แพนดิง (expanding) แบบ A law เช่นกันเพื่อให้กลับเป็นสัญญาณเดิมแล้วส่งออกไป สัญญาณอนาลอกเอาท์พุทนี้อยู่ในรูปสัญญาณ PAM จึงต้องผ่านวงจรฟิลเตอร์ภาครับก่อน ซึ่งประกอบด้วยแบนด์พาสฟิลเตอร์ และวงจรชดเชยฟังก์ชัน sinx/x อันเป็นการผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นตอนแปลงจากสัญญาณอนาลอกเป็น PCM [2] ผ่านจากฟิลเตอร์นี้แล้วก็ได้เป็นสัญญาณเสียงที่สมบูรณ์เข้าสู่วงจรไฮบริดต่อไป

ข้อสำคัญอันหนึ่งในการใช้ I_4 คือ สัญญาณเสียงที่ป้อนให้วงจรโคดเดอร์เพื่อทำการเข้ารหัสต้องมีขนาดไม่เกินแรงดันเปรียบเทียบของ I_4 ทั้งด้านลบและด้านบวกคือ Vref+ และ Vref-, มีค่า + 2.5 V และ - 2.5 V ตามลำดับ แรงดันเปรียบเทียบทั้ง 2 นี้ได้จาก I_5 และ I_6, LM336 (2.5V reference diode) ดังในรูปที่ 4.18

วงจรอินเทอร์เฟสโทรศัพท์ดังกล่าวนี้ ได้ออกแบบไว้เป็นแผ่นวงจรในลักษณะการ์ด (card) 1 แผ่นต่อ 1 เครื่องโทรศัพท์เพื่อสะดวกในการติดตั้ง, และบำรุงรักษา ทุกแผ่นจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเหมือนกันสามารถสับเปลี่ยนได้ และจะติดต่อกับ CPU ผ่านทางสล็อท (slot) ซึ่งจะมีทั้งหมด 30 สล็อทเท่ากับจำนวนเครื่อง แต่ละสล็อทก็จะมีเลขหมายประจำตัวสำหรับการติดต่อ สล็อทที่ใช้มีจำนวนขา 24 ขา และต่อกับสายสัญญาณต่าง ๆ ดังในรูปที่ 4.23

วงจรส่วนสุดท้ายที่จะกล่าวถึงก็คือ วงจรสร้างสัญญาณโทรศัพท์ ในระบบชุมสายหนึ่ง ๆ จะมีส่วนสัญญาณนี้เพียงชุดเดียว ป้อนให้แก่โทรศัพท์เครื่องใดเครื่องหนึ่งที่ต้องการโดยการเปิดเกทบนอินเตอร์เฟสบอร์ดเพื่อให้สัญญาณผ่านไปยังโทรศัพท์ได้ ยกเว้นสัญญาณเรียก ซึ่งมีแรงดันสูงต้องใช้รีเลย์ในการส่งผ่านสัญญาณ (ดูรูป 4.17)

อุปกรณ์ที่ใช้กำเนิดสัญญาณคือ LM555 ซึ่งมีความสามารถในการจ่ายและดึงกระแส (source and sink current) ได้สูงถึง 200 mA ดังนั้นจึงสามารถจ่ายสัญญาณเสียงให้แก่อินเตอร์เฟสบอร์ดทั้ง 30 ชุดได้ สัญญาณต่าง ๆ มีคุณสมบัติดังนี้

ก. สัญญาณให้หมุน DLT เป็นสัญญาณความถี่ 400 Hz ใช้วงจรรูปที่ 4.24

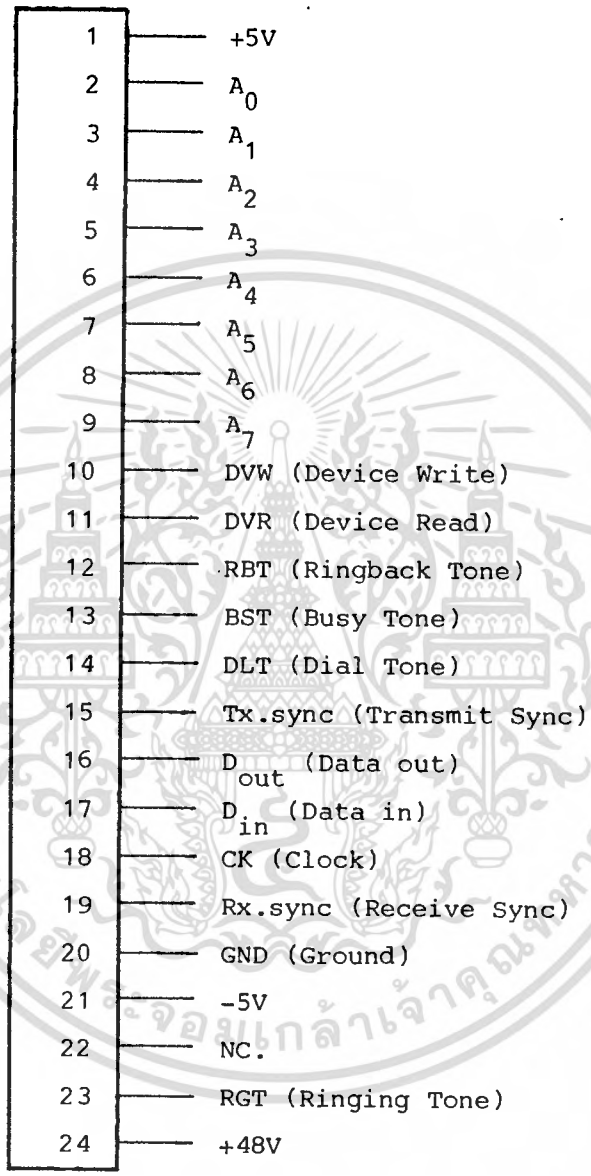
ข. สัญญาณเรียกกลับ RBT เป็นสัญญาณความถี่ 400 Hz ติด 1 วินาที และดับ 2 วินาที

ค. สัญญาณไม่ว่าง BST เป็นสัญญาณความถี่ 400 Hz ติด 0.3 วินาที และดับ 0.3 วินาทีเท่ากัน

ง. สัญญาณเรียก RGT เป็นสัญญาณความถี่ 25 Hz ติด 1 วินาที และดับ 2 วินาที และต้องมีแรงดันสูงประมาณ 150 V เพื่อให้เพียงพอในการขับกระดิ่งของโทรศัพท์

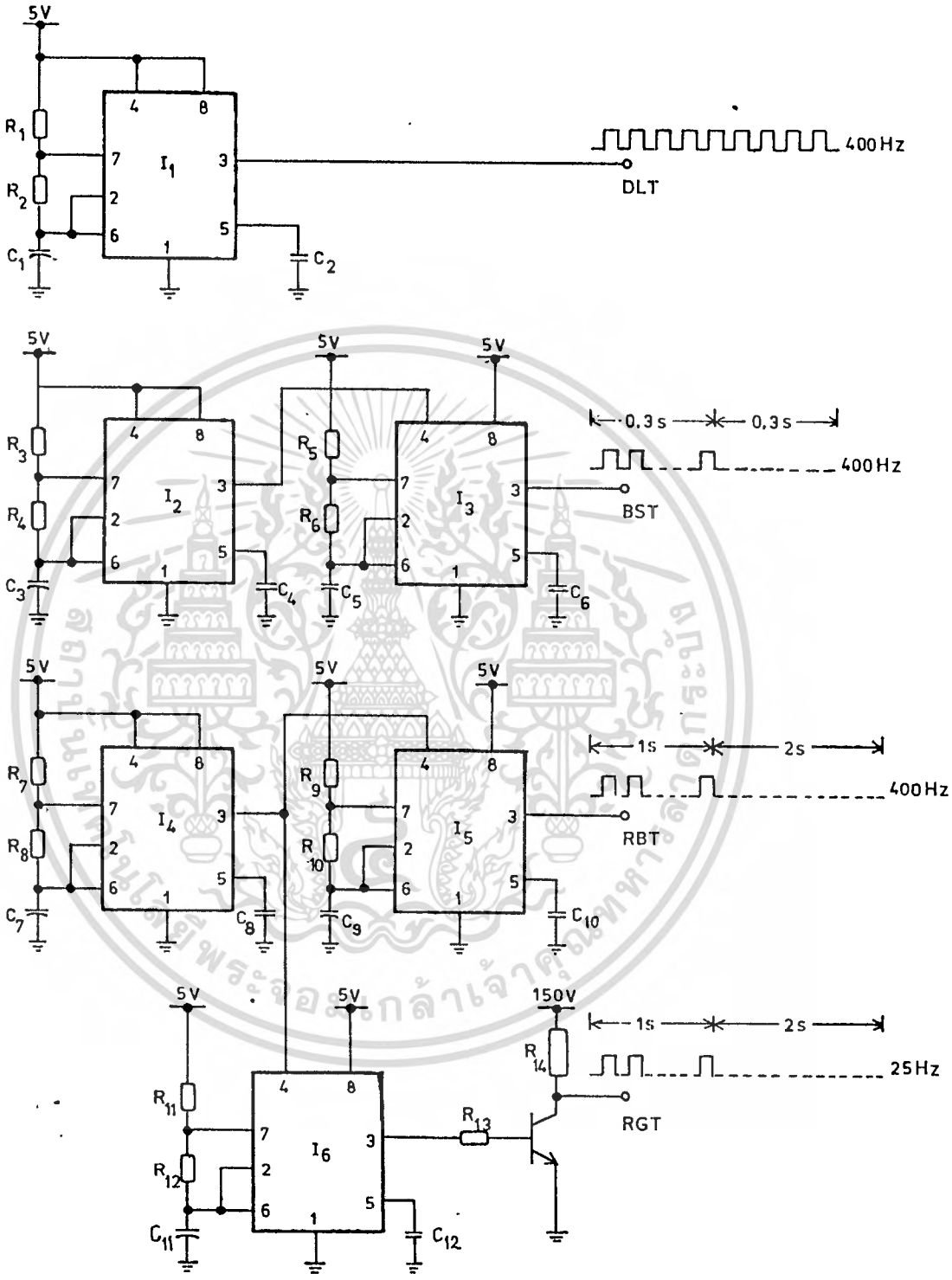
สัญญาณทั้ง 4 ใช้วงจรในรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงการต่อสายสัญญาณของขาสล็อท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 วงจรสร้างสัญญาณโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
โปรแกรมที่ใช้ในระบบ

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการควบคุมระบบของ CPU เนื่องด้วยว่า CPU ต้องทำการควบคุมโทรศัพท์ทั้ง 30 เครื่องให้ทำงานได้พร้อมกัน รวมทั้งต้องรับส่งและทำการตรวจสอบสัญญาณควบคุมอีกด้วยจึงทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องเวลาอย่างมาก และสำหรับ CPU เบอร์ 8035 ที่นำมาใช้งานนี้ทำงานได้ที่ความถี่ 6 MHZ ในแต่ละคำสั่งต้องใช้เวลา 2.5 ถึง 5 µsec ซึ่งจัดว่าค่อนข้างช้า เพราะฉะนั้นในการควบคุมการทำงานของ CPU นี้ต้องทำด้วยวิธีมัลติเพลกซ์คือการตรวจสอบและให้บริการแก่โทรศัพท์จะแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ เมื่อ CPU มาให้บริการแก่โทรศัพท์เครื่องใดก็จะทำการตรวจดูสถานะของโทรศัพท์ในขณะนั้น แล้วทำงานจนเสร็จสิ้นขั้นตอนสำหรับสถานะนั้น จากนั้น CPU จะเลื่อนไปบริการให้แก่โทรศัพท์เครื่องถัดไปเรื่อย ๆ จนครบทั้ง 30 เครื่อง จึงจะกลับมาถึงโทรศัพท์เครื่องเดิมอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนในการทำงานของ CPU ต้องพยายามให้ทำได้เร็วที่สุดและหลีกเลี่ยงการให้ CPU รอเพื่อตรวจสอบสัญญาณต่าง ๆ โดยไม่ทำอะไร เพราะจะกินเวลานานมากจนเกินไป สำหรับรายละเอียดการทำงานในแต่ละขั้นตอนได้แบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

5.1 โปรแกรมเริ่มต้น (Initail Program)

เมื่อเริ่มต้นเปิดเครื่องให้ทำงาน CPU จะต้องจัดเตรียมสถานะต่าง ๆ ของระบบให้พร้อมก่อนที่จะเข้าสู่โปรแกรมในการทำงานจริง

ข้อมูลต่าง ๆ ในตารางทุกตารางต้องถูกเคลียร์ให้เป็นศูนย์ทั้งหมด คือโทรศัพท์ทุกเครื่องอยู่ในสถานะเริ่มต้น สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายใน CPU ในตำแหน่ง 00H ถึง 07H นั้น ถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปโดยอัตโนมัติ ซึ่ง CPU สามารถเรียกใช้ได้โดยตรงคือ R0 ~ R7 และได้ทำการกำหนดใช้งานดังนี้

R0 : กำหนดหมายเลขของโทรศัพท์ที่จะรับบริการ (Channel Pointer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R1 : กำหนดตารางแฟลกของโทรศัพท์ที่จะรับบริการ (Flag table Pointer)

R2 ~ R7 : ใช้งานทั่วไป

แต่รีจิสเตอร์ที่มีอยู่ 8 ตัวนี้ไม่พอใช้งาน และ CPU เบอร์นี้สามารถกำหนดรีจิสเตอร์เพิ่มได้โดยใช้คำสั่ง SEL RB1 ซึ่งจะไปกำหนดให้ RAM ภายในตำแหน่ง 18H ถึง 1FH กลายเป็นรีจิสเตอร์ R0'~ R7' สำหรับรีจิสเตอร์ชุดนี้จะนำไปใช้งานในการรับส่งสัญญาณควบคุมในโปรแกรมอินเทอร์รัพท์ ส่วน RAM ภายในตำแหน่ง 08H ~ 17H นั้น CPU ใช้เป็นสแต็ค (stack) จะนำไปใช้งานอื่นไม่ได้

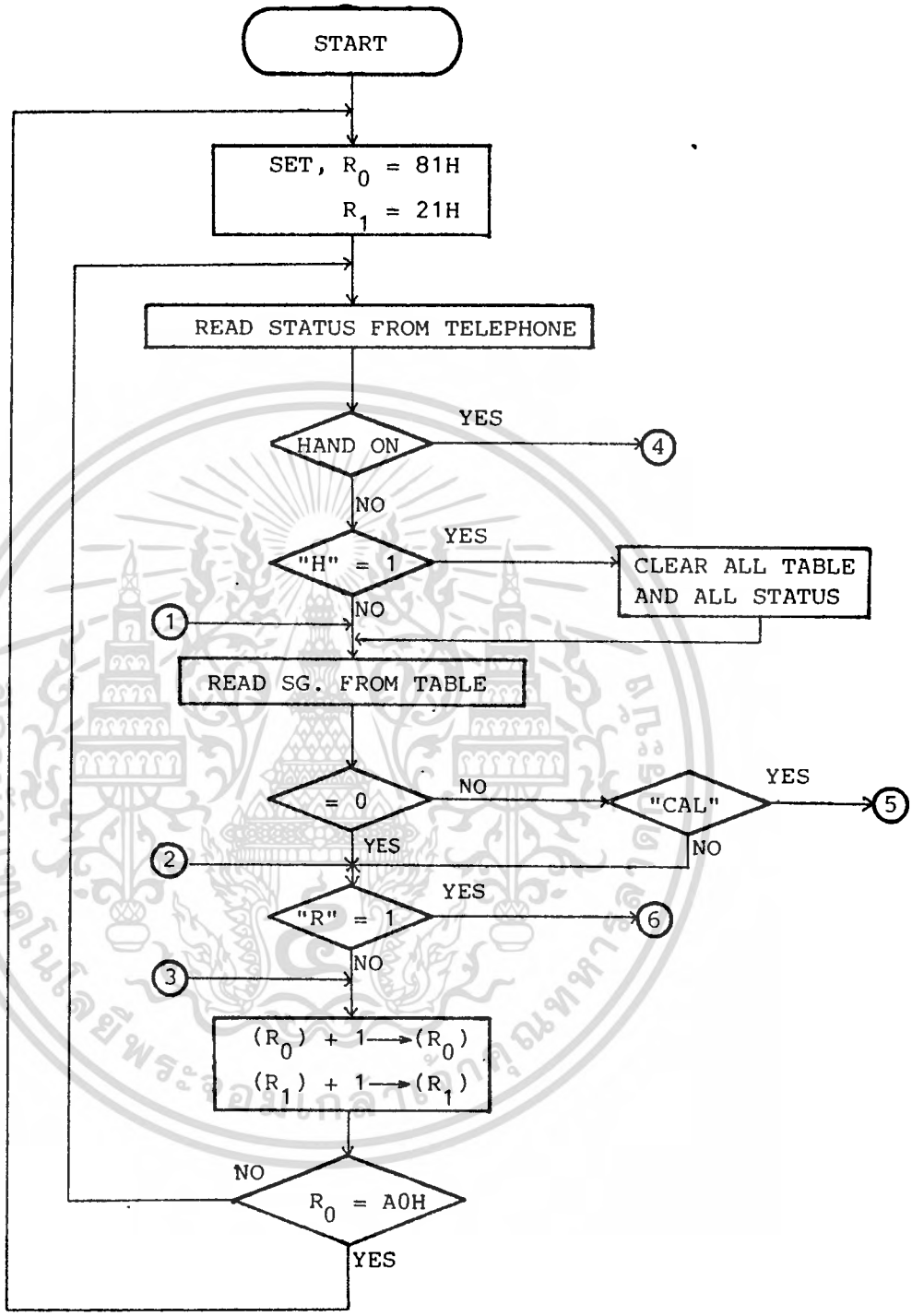
เมื่อ CPU ทำการเคลียร์ตารางและกำหนดรีจิสเตอร์ซึ่งเป็นตัวชี้ตารางต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว จึงจะยินยอมให้มีการอินเทอร์รัพท์ (เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง CPU จะดิสเอเบิลอินเทอร์รัพท์โดยอัตโนมัติ) แล้วเข้าสู่โปรแกรมหลักต่อไป

5.2 โปรแกรมหลัก (Main Program)

คือโปรแกรมส่วนที่ CPU จะต้องมาทำงานเพื่อตรวจสอบสถานะต่าง ๆ ทุกครั้งเมื่อจะทำการบริการโทรศัพท์เครื่องใดเครื่องหนึ่ง รูปที่ 5.1 คือโฟลวชาร์ท (flowchart) แสดงขั้นตอนของโปรแกรมนี้

เริ่มแรกเมื่อเข้าสู่โปรแกรมหลัก ต้องกำหนดหมายเลขของเครื่องโทรศัพท์ที่จะรับบริการคือตั้ง R0 = 81H เป็นตัวชี้ตำแหน่งของโทรศัพท์เครื่องที่ 1 ซึ่ง CPU จะอ่านและเขียนสถานะ ส่วน R1 = 21H จะไปชี้ตารางแฟลกของโทรศัพท์เครื่องที่ 1 จากนั้น CPU ก็เริ่มให้บริการโดยการอ่านสถานะของโทรศัพท์เข้ามาตรวจสอบ สิ่งแรกที่จะตรวจสอบก็คือสัญญาณแฮนด์เชทและสัญญาณไดแอล ถ้าสัญญาณทั้งสองนี้ตกเป็น 0 แสดงว่าโทรศัพท์ถูกยกหูเพื่อต้องการใช้งาน CPU จะไปเซท "H" แฟลกให้เป็น 1 แล้วเข้าสู่โปรแกรมบริการการใช้งาน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป ถ้าหูฟังไม่ถูกยกก็จะตรวจดูว่าเป็นการเพิ่งวางหูเมื่อเสร็จสิ้นการใช้งานหรือไม่ ถ้าใช่ก็ต้องไปทำการเคลียร์ข้อมูลในตารางแฟลก และสัญญาณโทรศัพท์ทุกสัญญาณ เพื่อให้เครื่องพร้อมที่จะรับการใช้งานได้ใหม่อีกครั้งหนึ่ง และถ้าเครื่องนี้ได้รับการต่อช่องสัญญาณในการพูดคุยแล้วก็ต้องไปเคลียร์ตารางการต่อด้วย แต่ถ้ายังไม่ได้รับการต่อช่องสัญญาณก็จะดูว่ามันเป็นผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกหรือเปล่า ถ้าได้ทำการเรียกไปยังเครื่องใด ก็ต้องไปเคลียร์สัญญาณเรียกและแฟลกของผู้ถูกเรียกด้วย ถ้าเป็นการเรียกภายในชุมสาย CPU สามารถไปเคลียร์ผู้ถูกเรียกได้โดยตรง แต่ถ้าเป็นการเรียกไปภายนอกชุมสายก็จะส่งสัญญาณควบคุมไปบอก CPU ของชุมสายนั้นให้ทำการเคลียร์ผู้ถูกเรียกให้ สัญญาณควบคุมที่ใช้คือ "CALH" SG.

ขั้นตอนต่อไปเป็นการตรวจสอบสัญญาณควบคุมประจำช่องเวลาของเครื่องที่กำลังรับบริการอยู่ ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมของเครื่องหมายเลขเดียวกันนี้แต่อยู่ในอีกชุมสายหนึ่ง เพื่อที่จะดูว่ามีการขอติดต่อหรือไม่ เพราะฉะนั้นในขั้นตอนนี้จะรับเฉพาะสัญญาณควบคุมที่เป็น "CAL" SG. เท่านั้น เมื่อได้รับ "CAL" SG. ที่ถูกต้อง CPU ก็จะเข้าไปทำโปรแกรมการเรียกจากภายนอกต่อไป แต่ถ้าได้รับสัญญาณควบคุมที่เป็นคำสั่งหรือเป็นไอเดิล (Idle) หรือสัญญาณที่ไม่ถูกต้อง CPU ก็จะไม่สนใจแล้วข้ามไปทำโปรแกรมขั้นตอนต่อไป

สำหรับสัญญาณควบคุมที่เป็นไอเดิลคือเป็น 00H หมายถึงไม่มีการส่งสัญญาณควบคุมมาในช่องเวลานั้น

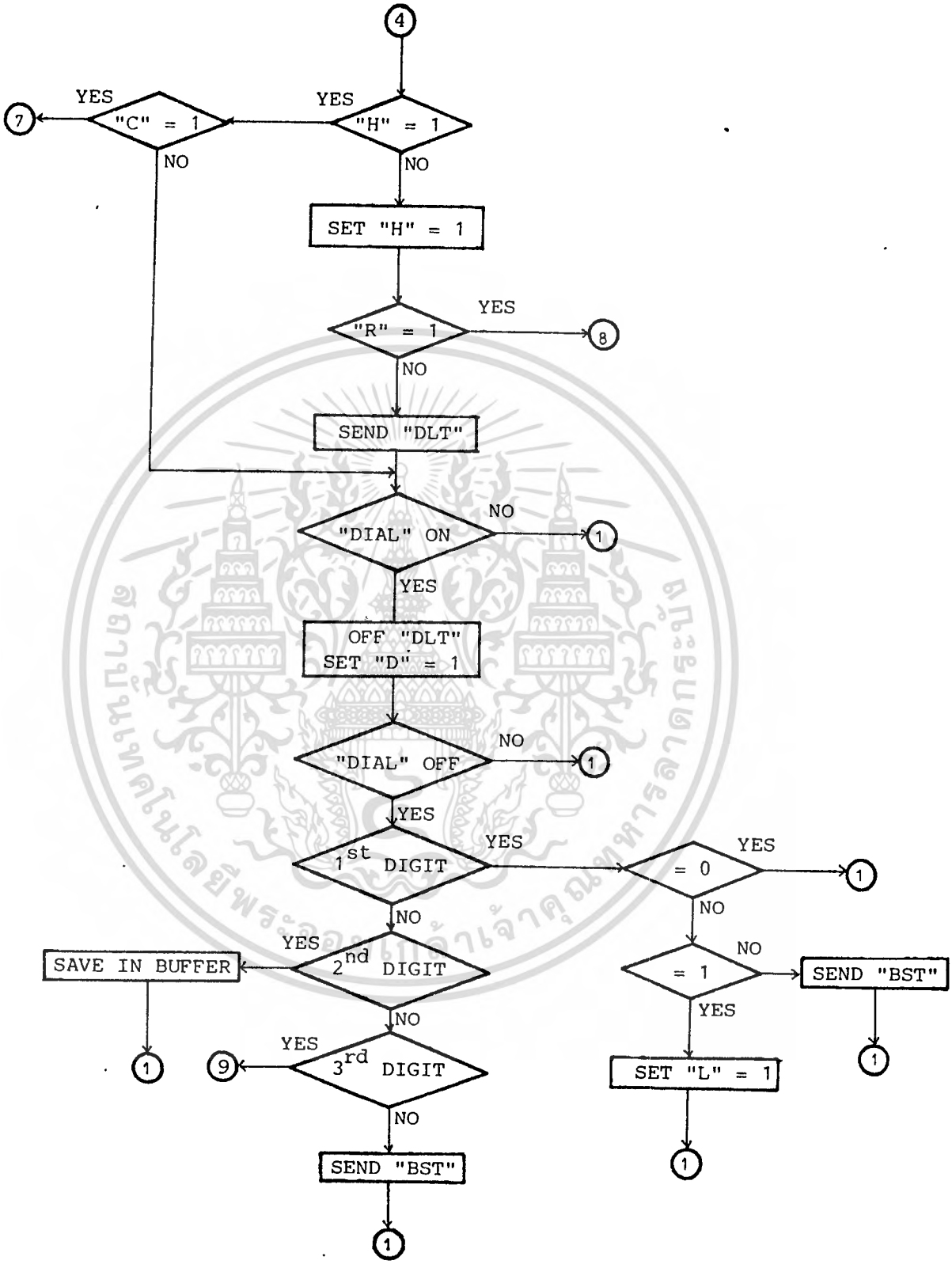
เมื่อเสร็จจากการตรวจสอบสัญญาณควบคุมแล้ว CPU ก็จะดูว่าโทรศัพท์เครื่องนี้อยู่ในระหว่างถูกเรียกหรือไม่ โดยดูว่าแฟลก "R" = 1 หรือเปล่า ถ้าใช่ก็แสดงว่าอยู่ในเครื่องระหว่างถูกเรียก ก็จะไปทำโปรแกรมการตอบรับ ถ้าไม่ใช่ก็เป็นอันเสร็จสิ้นการให้บริการแก่โทรศัพท์เครื่องนี้ CPU จะเลื่อนไปบริการโทรศัพท์เครื่องต่อไปโดยการเพิ่มหมายเลขใน R0 และ R1 ขึ้นไปอีกหนึ่ง แล้วไปเริ่มต้นโปรแกรมหลักใหม่อีก วนไปจนกระทั่งครบทั้ง 30 เครื่อง เมื่อครบแล้วก็กลับไปเริ่มเครื่องที่ 1 ใหม่โดยการเซท R0 และ R1 เป็นค่าเริ่มต้นอีกครั้ง

5.3 โปรแกรมบริการการใช้งาน

ในส่วนนี้คือการควบคุมการใช้งาน เมื่อผู้ใช้ยกหูโทรศัพท์ขึ้นแล้ว โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 5.2, 5.3, 5.4 และ 5.5

เมื่อตรวจพบการยกหูโทรศัพท์ ก็จะดูว่าเป็นผู้เรียกหรือผู้รับ ถ้าเป็นผู้รับ CPU ก็ทำการต่อช่องสัญญาณ สำหรับการเรียกจากภายในชุมสายเดียวกันสามารถต่อช่องสัญญาณเข้าหากันได้ทันที รวมทั้งการปิดสัญญาณเรียกและสัญญาณเรียกกลับของผู้รับและผู้เรียกตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

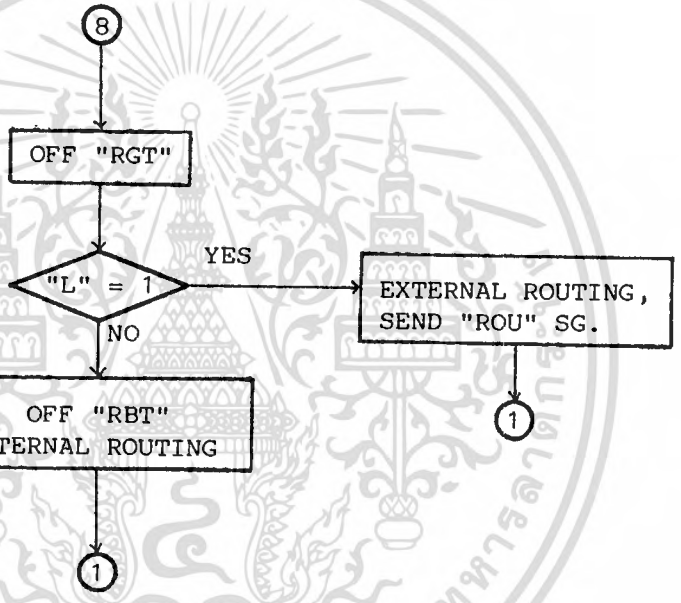


รูปที่ 5.2 ขั้นตอนโปรแกรมรับการหมุนหมายเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการเรียกจากภายนอกก็ต่อช่องสัญญาณภายนอกเข้าหาผู้รับแล้ว CPU จะส่ง "ROU" SG. ไปบอกชุมสายผู้เรียกให้ทำการต่อช่องสัญญาณด้วย, ดูรูปที่ 5.3

ถ้าเป็นผู้เรียก CPU ก็จะส่งสัญญาณให้หมุนเพื่อบอกให้ทำการหมุนหมายเลข สำหรับเลขที่ใช้มี 3 ตัว หมายเลขตัวแรกบอกว่า เป็นการเรียกภายในชุมสายหรือภายนอกชุมสาย

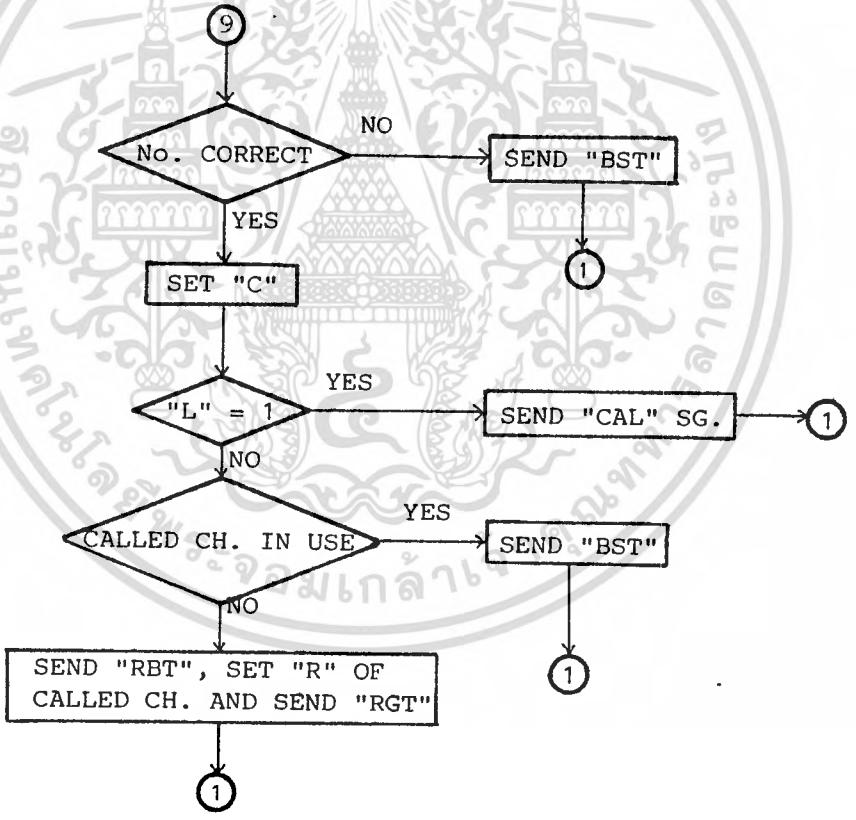


รูปที่ 5.3 ขั้นตอนโปรแกรมการต่อช่องสัญญาณ

ถ้าเป็น 0 หมายถึงภายใน เป็น 1 หมายถึงภายนอก "L" แฟลกจะถูกเซทให้เป็น 1 และถ้าเป็นหมายเลขอื่นนอกเหนือจากนี้ถือว่าหมุนผิด จะได้รับสัญญาณไม่ว่างเพื่อบอกให้รู้ให้เริ่มต้นการเรียกใหม่ ส่วนหมายเลขสองตัวหลังเป็นหมายเลขเครื่องของเครื่องที่ต้องการติดต่อด้วย ซึ่งมีหมายเลข 01 ~ 15 และ 17 ~ 31 ถ้าหมุนหมายเลขตั้งแต่ 32 ขึ้นไปหรือหมุนเกิน 3 ตัวก็จะได้รับสัญญาณไม่ว่าง แต่ถ้าหมุนหมายเลขถูกต้องก็ต้องดูว่าเป็นการเรียกภายในหรือภายนอกโดยตรวจ "L" แฟลก ถ้าเป็นภายใน CPU จะเรียกดูได้เลยว่าผู้รับว่างหรือไม่ ถ้าว่างก็ไป

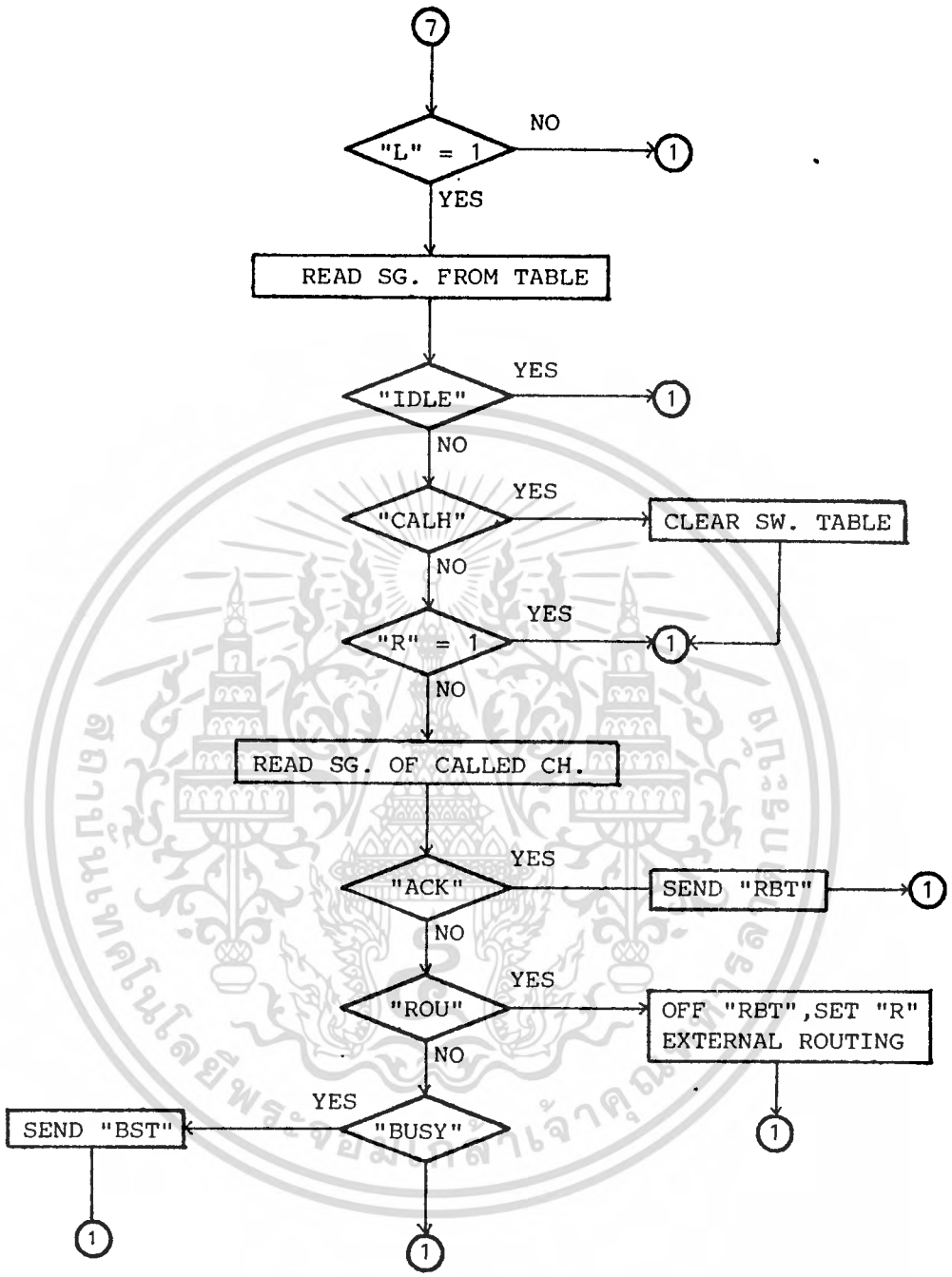
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซท "R" แฟลกของผู้รับให้เป็น 1 และส่งสัญญาณเรียก ส่วนทางผู้รับก็ได้รับสัญญาณเรียกกลับ ในกรณีที่ผู้รับไม่ว่าง ก็ส่งสัญญาณไม่ว่างกลับไปหาผู้เรียก สำหรับการเรียกภายนอก CPU จะส่ง "CAL" SG. ไปบอกชุมสายผู้รับ ทางชุมสายผู้รับจะเป็นผู้ตรวจดูว่าผู้รับว่างหรือไม่ ถ้าผู้ว่างก็ส่ง "ACK" SG. กลับมา และส่ง "BUSY" SG. เมื่อผู้รับไม่ว่าง ถ้าทางชุมสายผู้เรียกได้รับ "ACK" SG. CPU จะส่งสัญญาณเรียกกลับไปบอกผู้เรียกให้รอการยกหูตอบรับของผู้รับ



รูปที่ 5.4 โปรแกรมบริการการเรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 โปรแกรมการตัดต่อคู่สายภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างนี้ถ้าทางผู้เรียกวางหูโทรศัพท์ ทางชุมสายผู้เรียกต้องส่ง "CALH" SG. ไปบอกชุมสายผู้รับว่าขอยกเลิกการติดต่อ และถ้าเมื่อผู้รับยกหูรับแล้ว ทางชุมสายผู้เรียกก็จะได้รับ "ROU" SG. เพื่อบอกให้ต่อช่องสัญญาณซึ่งกันและกัน เมื่อได้ติดต่อพูดคุยกันแล้วถ้าฝ่ายใดวางหูโทรศัพท์ลงก่อน ทางชุมสายนั้นก็ต้องส่ง "CALH" SG. ไปบอกอีกฝ่ายหนึ่งให้รู้ว่าเลิกการติดต่อ รูปที่ 5.5 เป็นโฟลว์ชาร์ทของโปรแกรมการตัดต่อคู่สายภายนอก

แฟลก "C" และ "R" นั้นจะถูกเซทให้เป็น 1 ทั้งผู้เรียกและผู้รับ เมื่อได้รับการต่อช่องสัญญาณให้พูดคุยกันแล้ว ในระหว่างนี้ทั้งคู่จะตรวจสอบสัญญาณควบคุมเฉพาะที่เป็น "CALH" SG. เท่านั้น ตามขั้นตอนในรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าเมื่อได้รับสัญญาณควบคุมถ้าไม่ใช่ "CALH" SG. แล้ว จะมาดูก่อนว่า "R" ถูกเซทหรือไม่ ถ้าใช่ก็ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบต่อไป

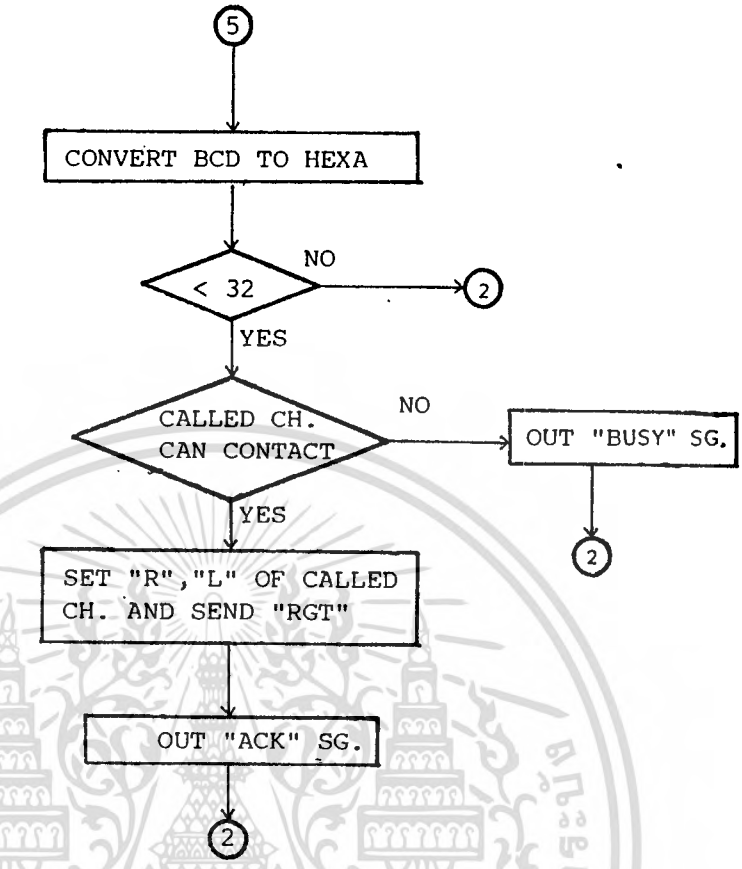
5.4 โปรแกรมตอบรับการเรียก

การตอบรับการเรียกสำหรับภายในชุมสาย จะกระทำได้ทันทีเมื่อผู้รับหมุนหมายเลขเสร็จสิ้นแล้ว แต่สำหรับการเรียกไปภายนอก ผู้เรียกต้องรอการตรวจสอบของ CPU ทางชุมสายผู้รับ ดังโปรแกรมในรูปที่ 5.6

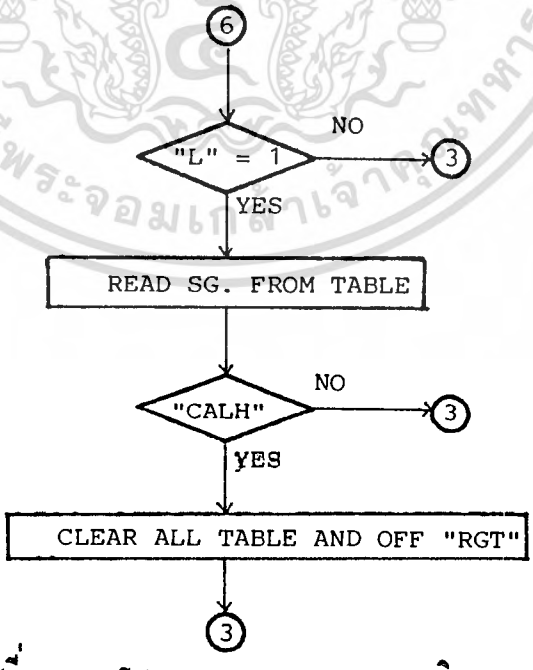
เมื่อทางชุมสายปลายทางได้รับ "CAL" SG. แล้ว ก็ทำการแปลงจากรหัส BCD เป็นรหัส Hexa และตรวจสอบความถูกต้องของหมายเลข จากนั้นก็ไปอ่านสถานะของเครื่องผู้ถูกเรียกดูว่าว่างหรือไม่ ถ้าไม่ว่างก็จะส่ง "BUSY" SG. ออกไปบอกชุมสายผู้เรียก แต่ถ้าว่างก็จะทำการเซท "R", "L" แฟลกและส่งสัญญาณเรียกให้ผู้รับรวมทั้งส่ง "ACK" SG. กลับไปยังชุมสายผู้เรียก

ในขณะที่ทางผู้รับยังไม่ได้ยกหูรับนั้น CPU จะมาตรวจสอบดูตลอดเวลาว่ามี "CALH" SG. ส่งมาหรือไม่ ถ้ามีก็จะทำการยกเลิกการติดต่อทันที ดังรูปที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 โปรแกรมตอบรับการเรียก



รูปที่ 5.7 โปรแกรมตรวจสอบการยกเลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 โปรแกรมอินเทอร์รัพท์

ทำหน้าที่ในการรับส่งสัญญาณควบคุม โดยการรับส่งสัญญาณควบคุมนั้นเกิดขึ้นในทุก ๆ เฟรม เพื่อให้การรับส่งทำได้ในช่วงเวลาที่ถูกต้องไม่ผิดพลาด จึงใช้สัญญาณช่องเวลา 16 มาทำหน้าที่เป็นสัญญาณอินเทอร์รัพท์ ดังมีขั้นตอนในรูปที่ 5.8

เริ่มต้นโปรแกรมเมื่อเข้าสู่การอินเทอร์รัพท์ จำต้องเก็บข้อมูลของแอ็คคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) ในบัฟเฟอร์เสียก่อน เพื่อไม่ให้ข้อมูลเดิมก่อนอินเทอร์รัพท์ถูกทำลาย แล้วเลือกรีจิสเตอร์แบงค์ 1 (RB1) เพื่อนำรีจิสเตอร์ในแบงค์ 1 มาใช้เป็นตัวนับและตัวชี้ตาราง โดยกำหนดให้

R0' เป็นตัวชี้ของตาราง SG.1

R1' เป็นตัวชี้ของตาราง SG.2

R2' เป็นตัวนับของตาราง SG.1

R3' เป็นตัวนับของตาราง SG.2

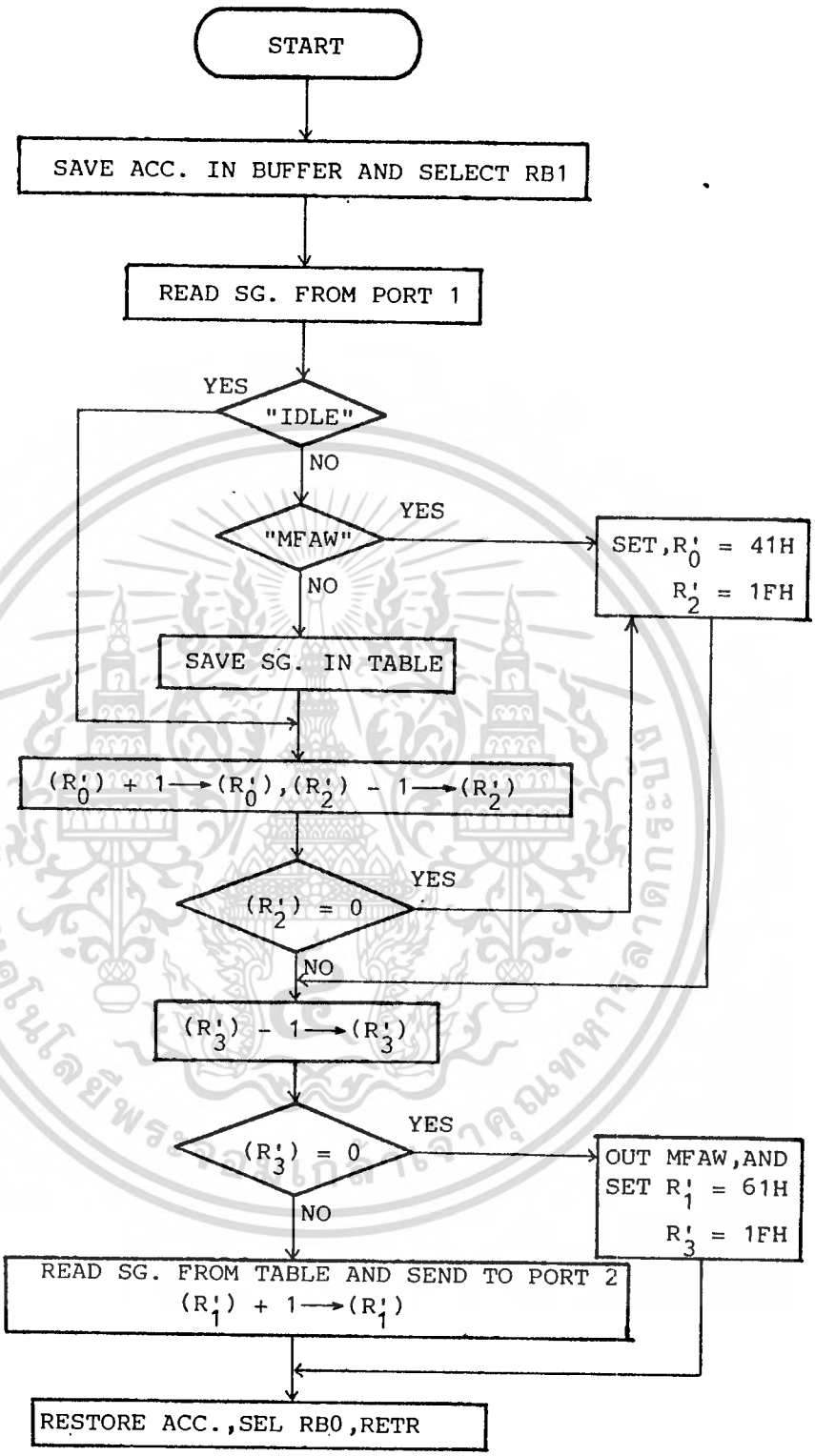
จากนั้นจะอ่านสัญญาณควบคุมที่ถูกแลทช์ไว้(ดูรูป 4.2)เข้ามาทางพอร์ท 1 ถ้าสัญญาณควบคุมที่รับได้เป็นไอเดิลไม่ต้องเก็บเข้าตาราง ถ้าเป็น MFAW (Multifram Alignment word) หมายถึงว่า เป็นสัญญาณควบคุมของเฟรม 0 ของชุมวน TDM ที่ทางชุมสายต้นทางส่งมา CPU ของชุมชายปลายทางนี้จะไปเซทตัวชี้และตัวนับตาราง SG1 คือ R0' และ R2' ให้เป็นค่าเริ่มต้นเพื่อเตรียมรับข้อมูลในเฟรมถัดไป แต่ถ้าสัญญาณควบคุมที่รับได้ไม่ใช่ทั้งไอเดิลและ MFAW ก็ต้องนำไปเก็บในตาราง SG.1 ตามลำดับที่ชี้ด้วย R0' ในกรณีที่ R2' นับลงจนกระทั่งถึงศูนย์แล้วแต่ยังไม่ได้รับ MFAW แสดงว่าเกิดการผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลระหว่างชุมสายขึ้นแล้ว โปรแกรมจะไปเซทให้ R0' และ R2' เป็นค่าเริ่มต้นโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้การเก็บสัญญาณควบคุมเลยออกไปนอกตาราง SG.1 จนกระทั่งไปทำลายข้อมูลในตารางอื่น ๆ

เสร็จจากการรับสัญญาณควบคุมแล้วก็ถึงการส่งสัญญาณควบคุม ซึ่งจะทำควบคู่กันไปทุกครั้ง การส่งเริ่มต้นด้วยการนับค่าใน R3' ลง ถ้าค่าใน R3' นับลงเป็นศูนย์เมื่อไรแสดงว่าการส่งสัญญาณควบคุมครบ 32 เฟรมแล้ว ก็จะไปเริ่มต้นเฟรม 0 ใหม่ โดยการส่ง MFAW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไปพร้อมเซทค่า R1' และ R3' ซึ่งเป็นตัวชี้และตัวนับของตาราง SG. 2 ให้เป็นค่าเริ่มต้น ถ้าไม่ใช่การส่งในเฟรม 0 CPU ก็จะไปอ่านค่าในตาราง SG. 2 ตามลำดับที่ชี้ด้วย R1' แล้วส่งออกไปแลทช์ไว้ที่พอร์ท 2 เพื่อรอการส่งลงในช่องเวลาที่ 16 ของชุมวนสัญญาณ TDM ต่อไป เป็นอันเสร็จสิ้นการรับส่งสัญญาณควบคุม ก่อนจะกลับเข้าสู่โปรแกรมปรกติ ต้องเลือกรีจิสเตอร์กลับเป็นแบงค์ 0 ตามเดิมพร้อมทั้งเรียกข้อมูลของแอ็คคิวมูเลเตอร์กลับคืน แล้วกลับสู่โปรแกรมปรกติด้วยคำสั่ง RETR.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 โปรแกรมอินเทอร์รัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป

จากเนื้อหาที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นก็คือการทดลองออกแบบระบบการรับส่งสัญญาณดิจิตอลแบบ PCM โดยใช้หลักการมัลติเพลกซ์แบบ TDM 32 ช่องสัญญาณ และประยุกต์ใช้เป็นชุมสายโทรศัพท์ หลักการส่วนใหญ่นั้นทำตามมาตรฐานของ CCITT ยกเว้นการรับส่งสัญญาณควบคุมระหว่างชุมสาย ซึ่งได้กำหนดรูปแบบขึ้นเองเพื่อให้เหมาะสมกับระบบ และง่ายต่อการเขียนโปรแกรม ถ้าต้องการเปลี่ยนรูปแบบการรับส่งสัญญาณควบคุมนี้ ก็สามารถทำได้โดยการปรับปรุงโปรแกรมโดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนส่วนของวงจร

สำหรับระบบที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วยระบบชุมสาย 2 ชุมสาย และวงจรอินเตอร์เฟสโทรศัพท์ 3 ชุด รวมทั้งวงจรจ่ายไฟสำหรับโทรศัพท์ +48 โวลท์ และสัญญาณเรียกขนาด +150 โวลท์ ในการทดลองปรากฏว่าการต่อสัญญาณภายในชุมสายเดียวกันทำได้ดีไม่มีปัญหา สามารถรับฟังเสียงได้ชัดเจน แต่การติดต่อไปภายนอกชุมสายบางครั้งจะเกิดการหลุดจากการชิงโครไนซ์ ทำให้ระบบทำงานผิดพลาดหมด แต่ระบบก็สามารถกลับคืนสู่การทำงานปรกติได้รวดเร็ว วงจรที่ออกแบบมีขนาดใหญ่ใช้ IC เป็นจำนวนมากและใช้การพันสายในการต่อวงจร ทำให้เกิดปัญหามากเนื่องจากคุณภาพของ IC และการพันสายบางจุดไม่แน่น ซึ่งจะแก้ไขได้ถ้าต่อวงจรลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ (print circuit board) และใช้ IC ที่ออกแบบเฉพาะงานของโทรศัพท์ และอีกปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ ความเร็วในการหมุนกลับของหน้าปัทม์โทรศัพท์แต่ละเครื่องไม่เท่ากัน และในบางเครื่องที่แตกต่างกันมาก ๆ จำเป็นต้องเปลี่ยนค่าอุปกรณ์บางตัวในวงจรนับพัลส์บนอินเตอร์เฟสบอร์ดเพื่อให้สามารถนับได้อย่างถูกต้อง อีกวิธีที่จะใช้แก้ปัญหาได้คือให้นับวงจรพัลส์ด้วยโปรแกรมแทน

นอกจากการติดต่อกันด้วยโทรศัพท์แล้ว ยังสามารถใช้ระบบนี้ในการรับส่งสัญญาณข้อมูลอื่น ๆ ได้เช่นการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ โดยจัดสัญญาณการตอบรับให้เข้ากับระบบก็สามารถใช้ช่องสัญญาณต่าง ๆ แทนโทรศัพท์ได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ในบางส่วนมีปัญหาเรื่องอุปกรณ์ที่ไม่สามารถหาได้ตามต้องการ ทำให้มีข้อจำกัดมากในการออกแบบ อย่างไรก็ดีระบบที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำงานได้ผลตามต้องการตามจุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Bellamy,John, "Digital Telephony," John Wiley & Sons, Inc.,1982.
2. Owen,Frank F.E., "PCM and Digital Transmission Systems," Texas Instruments Electronics Series, McGraw-Hill,1982
3. "The ARRL Handbook for the Radio Amateur," The American Radio Relay League, Inc., 1984.
4. Dixon, R.C., "Spread Spectrum Systems," John Wiley & Sons, Inc., 1976.
5. Feher, Kamilo, "Digital Communications Sattellite/Earth Station," Prentic-Hall, Inc., 1983.
6. "Microcontroller Handbook," Intel Corparation, 1985
7. Savage,J.E., "Some Simple Self-Syhchronizing Digital Data Scramblers," The Bell System Technical Journal, February, 1967.
8. H. Kasai, S.Senmoto, and M.Matsushita, "PCM Jitter Suppression by Scrambling," IEEE Transactions on Communications, Vol. Com-22, No.8, August, 1978.
9. ถนอมศักดิ์ บุญยะลีพรรณ, "เครื่องชุมสายโทรศัพท์สาขาอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์," วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2527
10. ชาญชัย เพียรวิจารณ์พงศ์, ถวิล พึ่งมา, และ ดร.ฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์, "อิเลคทรอนิคส์ไฮบริด แบบจ่ายกระแสไฟได้สูงสำหรับเครื่องโทรศัพท์," วิศวสาร ลาดกระบัง, กุมภาพันธุ์, พ.ศ. 2528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. แดเนียล บรีน อาจารย์ที่ปรึกษาผู้แนะนำและริเริ่มโครงงาน อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ขอขอบคุณทุกท่านผู้ช่วยเหลือ และเอื้อเฟื้อ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ชัยบูรณ์ กังสเจียรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 1

โปรแกรมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
THIS IS A PROGRAM FOR SERVICE DIGITAL TELEPHONE SWITCHING SYSTEMS.
EXECUTED BY 8035 CPU.
WRITEN BY CHAIBOON KANGSAJIAN.

                        *STARTING PROGRAM
                        ORG     000
000 0405 RES            JMP     STR
002 00                  NOP
003 4450                JMP     SIN             ;EXTERNAL INTERRUPT S VECTOR
005 B810 STR            MOV     R0,#10          ;CLEAR INTERNAL RAM
007 B000 YIR            MOV     @R0,#00
009 F8                  MOV     A,R0
00A 37                  CPL     A
00B 033F                ADD     A,#3F
00D 37                  CPL     A
00F C613                JZ      YIF
010 18                  INC     R0
011 0407                JMP     YIR
013 B8FF YIF            MOV     R0,#FF          ;CLEAR EXTERNAL  RAM
015 2300                MOV     A,#00
017 90    YXR           MOVX    @R0,A
018 E817                DJNZ    R0,YXR
01A BA00                MOV     R2,#00          ;CLEAR SW. TABLE
01C B81F                MOV     R0,#1F
01E 5478 STC            CALL    WSW
020 BB30                MOV     R3,#30
022 EB22 STL            DJNZ    R3,STL
024 E81E                DJNZ    R0,STC
026 BA30                MOV     R2,#30          ;SW. TABLE FOR TL#16
028 B810                MOV     R0,#10
02A 5478                CALL    WSW
02C D5                  SEL     RB1
02D B840                MOV     R0,#40          ;SG.TABLE 1 S ADDR.
02F B960                MOV     R1,#60          ;SG.TABLE 2 S ADDR.
031 BA20                MOV     R2,#20          ;SG.TABLE 1'S COUNTER
033 BB20                MOV     R3,#20          ;SG.TABLE 2'S COUNTER
035 230B                MOV     A,#0B           ;MFAW
037 91                  MOVX    @R1,A
038 C5                  SEL     RB0
039 05                  EN      I               ;ENABLE EXTERNAL INTERRUPT
03A 00                  NOP
03B 00                  NOP
03C 00                  NOP
03D 00                  NOP
03E 00                  NOP
03F 00                  NOP

                        *MAIN PROGRAM
                        ORG     040
040 B881 SCA            MOV     R0,#81          ;SET CH. ADDRESS
042 B921                MOV     R1,#21          ;SET FLAG TABLE ADDRESS
044 80    KCH           MOVX    A,@R0           ;IN DATA FROM CH.
045 AB                  MOV     R3,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
046 924A        JB4   HOF       ;CHECK HANDSET
048 2410        JMP   HAC
04A F1    HOF   MOV   A,@R1      ;CHECK "H" FLAG
04B 37          CPL   A
04C 127F        JB0   SGC       ;JUMP IF "H" OFF
04E 2300        MOV   A,#00     ;OFF ALL SIGNAL
050 90          MOVX  @R0,A
051 F1          MOV   A,@R1     ;CHECK "C"
052 D256        JB6   OCT
054 047D        JMP   NRG
056 B275  OCT   JB5   XCT       ;CHECK "L"
058 81          MOVX  A,@R1
059 0320        ADD   A,#20     ;SET CALLED FLAG'S ADDR.
05B 28          XCH   A,R0
05C AB          MOV   R3,A
05D F0          MOV   A,@R0     ;CHECK "C" FLAG
05E D26D        JB6   REC
060 B000        MOV   @R0,#00   ;CLEAR FLAG
062 F8          MOV   A,R0
063 0360        ADD   A,#60
065 A8          MOV   R0,A
066 2300        MOV   A,#00     ;OFF RINGING
068 90          MOVX  @R0,A
069 FB          MOV   A,R3
06A A8          MOV   R0,A
06B 047D        JMP   NRG
06D BA00  REC   MOV   R2,#00    ;CLEAR SW. TABLE
06F 5478        CALL  WSW
071 FB          MOV   A,R3
072 A8          MOV   R0,A
073 0479        JMP   NEG
075 BCF8  XCT   MOV   R4,#F8    ;OUT "CALH" SG.
077 549C        CALL  OSN
079 BA00  NEG   MOV   R2,#00    ;CLEAR SW. TABLE
07B 5478        CALL  WSW
07D B100  NRG   MOV   @R1,#00   ;CLEAR ALL FLAG
07F F8    SGC   MOV   A,R0      ;SET SG. TABLE 1 ADDR.
080 531F        ANL   A,#1F
082 4340        ORL   A,#40
084 A8          MOV   R0,A
085 80          MOVX  A,@R0     ;LOAD SG. FROM TABLE
086 C6A9        JZ    NCC       ;JUMP IF IT'S A IDLE
088 F2A9        JB7   NCC       ;JUMP,IT'S A COMMAND
08A 548A        CALL  THA       ;DECIMAL TO HEXA
08C AB          MOV   R3,A      ;SAVE
08D 2300        MOV   A,#00     ;CLEAR SG.TABLE
08F 90          MOVX  @R0,A
090 FB          MOV   A,R3
091 53E0        ANL   A,#E0     ;CHECK,> 32 ?
093 C697        JZ    NCM       ;IF NON ZERO,IT'S OVER
095 04A9        JMP   NCC
097 FB    NCM   MOV   A,R3
098 0380        ADD   A,#80     ;SET CALLED CH. ADDR.
09A 28          XCH   A,R0
09B AB          MOV   R3,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
09C 80          MOVX  A,@R0
09D 92DC        JB4   YAC         ;CHECK HANDSET
09F BCF4 ISV    MOV   R4,#F4      ;OUT "BUSY" SG.
0A1 549C        CALL  OSN
0A3 FB          MOV   A,R3
0A4 0340        ADD   A,#40
0A6 A8          MOV   R0,A
0A7 04AD        JMP   NCT
0A9 F8    NCC   MOV   A,R0
0AA 0340        ADD   A,#40
0AC A8          MOV   R0,A
0AD F1    NCT   MOV   A,@R1       ;CHECK "R" FLAG
0AE F2B2        JB7   RON
0B0 2401        JMP   NSV
0B2 B2B6  RON   JB5   LON         ;CHECK "L" FLAG
0B4 2401        JMP   NSV
0B6 81    LON   MOVX  A,@R1       ;SET CALLING SG. ADDR.
0B7 0340        ADD   A,#40
0B9 28          XCH   A,R0
0BA AB          MOV   R3,A
0BB 80          MOVX  A,@R0       ;LOAD SG.
0BC 96C2        JNZ   NID
0BE FB          MOV   A,R3
0BF A8          MOV   R0,A
0C0 2401        JMP   NSV
0C2 AA    NID   MOV   R2,A
0C3 2300        MOV   A,#00       ;CLEAR SG.TABLE
0C5 90          MOVX  @R0,A
0C6 FA          MOV   A,R2
0C7 D3F8        XRL   A,#F8       ;CHECK "CALL"
0C9 96D4        JNZ   SCF
0CB FB          MOV   A,R3
0CC A8          MOV   R0,A
0CD 2300        MOV   A,#00       ;OFF RINGING
0CF 90          MOVX  @R0,A
0D0 B100        MOV   @R1,#00     ;OFF "R","L"
0D2 2401        JMP   NSV
0D4 FB    SCF   MOV   A,R3
0D5 A8          MOV   R0,A
0D6 BCF4        MOV   R4,#F4      ;OUT "BUSY" SG.
0D8 549C        CALL  OSN
0DA 2401        JMP   NSV

                *EXTERNAL CALLING SERVICE SUBROUTINE
                ORG   0DC
0DC FB    YAC   MOV   A,R0        ;SET FLAG ADDR.
0DD 37          CPL   A
0DE 0360        ADD   A,#60
0E0 37          CPL   A
0E1 A8          MOV   R0,A
0E2 F0          MOV   A,@R0       ;CHECK "R"
0E3 F29F        JB7   ISV
0E5 B0A0        MOV   @R0,#A0     ;SET "R","L" FLAG
0E7 FB          MOV   A,R3        ;SET DATA IN CALLED CH.TABLE
0E8 531F        ANL   A,#1F
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0EA 90          MOVX  @R0,A
0EB F8          MOV   A,R0
0EC 0360        ADD   A,#60
0EE A8          MOV   R0,A
0EF 2301        MOV   A,#01      ;OUT RINGING TONE
0F1 90          MOVX  @R0,A
0F2 BCF1        MOV   R4,#F1     ;OUT "ACK" SG.
0F4 549C        CALL  OSN
0F6 FB          MOV   A,R3
0F7 0340        ADD   A,#40
0F9 A8          MOV   R0,A
0FA 04AD        JMP   NCT
0FC 00          NOP
0FD 00          NOP
0FE 00          NOP
0FF 00          NOP
100 00          NOP
101 19    NSV   INC   R1         ;INCREAS FLAG TABLE'S ADDR.
102 18          INC   R0         ;INCREASE CH. ADDR.
103 F8          MOV   A,R0
104 D390        XRL   A,#90
106 C601        JZ    NSV
108 F8          MOV   A,R0
109 D3A0        XRL   A,#A0
10B C60F        JZ    SCC        ;32 CH. ?
10D 0444        JMP   NCH
10F 0440  SCC   JMP   SCA

                *HANDSET ON SERVICE SUBROUTINE
                ORG   110
110 F1    HAC   MOV   A,@R1      ;CHECK "H" FLAG
111 1259        JBO   HSR        ;IF "H" = 1,HOLD SERVICE
113 FB          MOV   A,R3       ;CHECK DIAL SIGNAL
114 B201        JB5   NSV        ;IF NOT,CHECK NEXT CH.
116 F1          MOV   A,@R1      ;SET "H" FLAG
117 4301        ORL   A,#01
119 A1          MOV   @R1,A
11A F221        JB7   ROU        ;IF "R" = 1,ROUTING
11C 2308        MOV   A,#08      ;IF NOT,OUT DIAL TONE
11E 90          MOVX  @R0,A
11F 2401        JMP   NSV

                *ROUTING SUBROUTINE
                ORG   121
121 2300  ROU   MOV   A,#00      ;OFF RINGING
123 90          MOVX  @R0,A
124 F1          MOV   A,@R1
125 4340        ORL   A,#40      ;SET "C"
127 A1          MOV   @R1,A
128 81          MOVX  A,@R1      ;LOAD DATA FROM DATA TABLE
129 AA          MOV   R2,A
12A F1          MOV   A,@R1      ;CHECK "L" FLAG
12B B24D        JB5   XRT        ;"L" SET,EXTERNAL ROUTING
12D 5478        CALL  WSW        ;WRITE SW.TABLE OF CALLED CH.
12F BB20        MOV   R3,#20
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
131 EB31 LAY    DJNZ  R3,LAY
133 FA          MOV   A,R2        ;SET DATA TABLE OF CALLING
134 0320        ADD   A,#20
136 28          XCH   A,R0
137 531F        ANL   A,#1F
139 AA          MOV   R2,A
13A F0          MOV   A,@R0       ;SET "R" OF CALLING CH.
13B 4380        ORL   A,#80
13D A0          MOV   @R0,A
13E F8          MOV   A,R0
13F 0360        ADD   A,#60
141 A8          MOV   R0,A
142 2300        MOV   A,#00       ;OFF RINGBACK TONE
144 90          MOVX  @R0,A
145 5478        CALL  WSW         ;WRITE SW.TABLE OF CALLING CH.
147 FA          MOV   A,R2
148 0380        ADD   A,#80
14A A8          MOV   R0,A
14B 2401        JMP   NSV
14D FA    XR1   MOV   A,R2
14E 4320        ORL   A,#20       ;SET EXTERNAL ROUTING
150 AA          MOV   R2,A
151 5478        CALL  WSW         ;WRITE SW. TABLE OF CALLED CH.
153 BCF2        MOV   R4,#F2      ;OUT "ROU" SG.
155 549C        CALL  OSN
157 2401        JMP   NSV

                *HOLD SERVICE SUBROUTINE
                ORG   159
159 326F HSR    JB1   HDI         ;IF "D" SET,HOLD DIALLING
15B D262        JB6   YSR         ;IF SET,CALLING SERVICE
15D FB          MOV   A,R3        ;CHECK DIALLING
15E B266        JB5   SDL         ;DIALLING SERVICE
160 047F        JMP   SGC
162 B2E5 YSR    JB5   XCL         ;"L" = 1,EXTERNAL CALLING
164 047F        JMP   SGC         ;"L" = 0,INTERNAL CALLING
166 2300 SDL    MOV   A,#00       ;OFF DIAL TONE
168 90          MOVX  @R0,A
169 F1          MOV   A,@R1       ;SET "D" FLAG
16A 4302        ORL   A,#02
16C A1          MOV   @R1,A
16D 2401        JMP   NSV

                *DIALLING SERVICE SUBROUTINE
                ORG   16F
16F FB    HDI   MOV   A,R3        ;CHECK DIALLING
170 B201        JB5   NSV         ;IF ON,CHECK NEXT CH.
172 F1          MOV   A,@R1
173 53FD        ANL   A,#FD       ;RESET "D" FLAG
175 528E        JB2   SDG         ;IF "I1" = 1,SECOND DIGIT
177 4304        ORL   A,#04       ;SET "I1" FLAG
179 A1          MOV   @R1,A
17A FB          MOV   A,R3        ;CHECK FIRST DIGIT
17B C688        JZ    IRT         ;IF 1ST IS ZERO,INT. ROUTING
17D 07          DEC   A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
17E C682        JZ      ORT         ;IF ITS IS ONE,EXT. ROUTING
180 24DC        JMP     ODG         ;BUSY
182 F1    ORT   MOV     A,@R1       ;SET "L"
183 4320        ORL     A,#20
185 A1          MOV     @R1,A
186 2401        JMP     NSV
188 F1    IRT   MOV     A,@R1       ;RESET "L"
189 53DF        ANL     A,#DF
18B A1          MOV     @R1,A
18C 2401        JMP     NSV
18E 729A  SDG   JB3     TDG         ;IF "I2" = 1,THIRD DIGIT
190 4308        ORL     A,#08       ;SET "I2" FLAG
192 A1          MOV     @R1,A
193 FB          MOV     A,R3
194 47          SWAP    A
195 AB          MOV     R3,A
196 54A9        CALL    SDN         ;SAVE DIAL NUMBER
198 2401        JMP     NSV
19A 92DC  IDG   JB4     ODG         ;IF "I3" SET,OVER DIGIT
19C 4350        ORL     A,#50       ;SET "I3" AND "C" FLAG
19E A1          MOV     @R1,A
19F 54A9        CALL    SDN         ;SAVE DIAL NUMBER
1A1 FB          MOV     A,R3
1A2 548A        CALL    THA         ;DECIMAL TO HEXA
1A4 91          MOVX    @R1,A       ;SAVE
1A5 53E0        ANL     A,#E0       ;CHECK,> 32 ?
1A7 96DC        JNZ     ODG         ;IF OVER,BUSY
1A9 F1          MOV     A,@R1
1AA B2D6        JB5     YXS         ;IF "L" = 1,EXTERNAL
1AC 81          MOVX    A,@R1
1AD 0380        ADD     A,#80       ;SET CALLED DEVICE ADDR.
1AF 28          XCH     A,R0
1B0 AB          MOV     R3,A        ;SAVE CALLING ADDRESS
1B1 80          MOVX    A,@R0       ;CHECK HANDSET
1B2 92B8        JB4     YON
1B4 FB    LSV   MOV     A,R3
1B5 28          XCH     A,R0
1B6 24DC        JMP     ODG         ;BUSY

                *INTERNAL CALLING SERVICE SUBROUTINE
                ORG     1B8
1B8 F8    YON   MOV     A,R0        ;SET CALLED FLAG'S ADDR.
1B9 37          CPL     A
1BA 0360        ADD     A,#60
1BC 37          CPL     A
1BD A8          MOV     R0,A
1BE F0          MOV     A,@R0       ;CHECK "R" OF CALLED CH.
1BF F2B4        JB7     LSV
1C1 4380        ORL     A,#80       ;SET "R"
1C3 A0          MOV     @R0,A
1C4 F9          MOV     A,R1        ;DATA FOR SAVE IN TABLE
1C5 531F        ANL     A,#1F
1C7 90          MOVX    @R0,A
1C8 F8          MOV     A,R0
1C9 0360        ADD     A,#60
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
1CB A8          MOV   R0,A
1CC 2301        MOV   A,#01       ;OUT RINGING
1CE 90          MOVX  @R0,A
1CF FB          MOV   A,R3
1D0 A8          MOV   R0,A
1D1 2302        MOV   A,#02
1D3 90          MOVX  @R0,A       ;OUT RINGBACK TONE TO CALLING
1D4 2401        JMP   NSV
1D6 FB    YXS   MOV   A,R3
1D7 AC          MOV   R4,A        ;OUT "CAL" SG.
1D8 549C        CALL  OSN
1DA 2401        JMP   NSV

                *BUSY SUBROUTINE
                ORG   1DC
1DC 2304 0D6    MOV   A,#04       ;OUT BUSY TONE
1DE 90          MOVX  @R0,A
1DF F1          MOV   A,@R1       ;CLEAR ALL FLAG EXCEPT "H"
1E0 5301        ANL   A,#01
1E2 A1          MOV   @R1,A
1E3 2401        JMP   NSV

                *CHECK SIGNALLING SUBROUTINE
                ORG   1E5
1E5 81    XCL   MOVX  A,@R1       ;LOAD CALLED ADDRESS
1E6 0340        ADD   A,#40       ;SET SG.TABLE I'S ADDR.
1E8 28          XCH   A,R0
1E9 AA          MOV   R2,A
1EA 80          MOVX  A,@R0       ;LOAD SG. FROM CALLED ADDR.
1EB 96F1        JNZ   TSN         ;IF NOT IDLE,CHECK SG.
1ED FA          MOV   A,R2
1EE A8          MOV   R0,A
1EF 047F        JMP   SBC
1F1 4400  TSN   JMP   TTN
1F2 00          NOP
                ORG   200
200 AB    TTN   MOV   R3,A        ;SAVE DATA
201 2300        MOV   A,#00       ;CLEAR SG.TABLE
203 90          MOVX  @R0,A
204 FA          MOV   A,R2
205 28          XCH   A,R0
206 531F        ANL   A,#1F       ;SET DATA FOR SW. TABLE
208 4320        ORL   A,#20       ;SET EXTERNAL ROUTING
20A AA          MOV   R2,A        ;SAVE IN BUFFER
20B FB          MOV   A,R3        ;"ACK" ?
20C D3F1        XRL   A,#F1
20E 9615        JNZ   NCD         ;IF NOT,CHECK NEXT COMMAND
210 2302        MOV   A,#02
212 90          MOVX  @R0,A       ;OUT RINGBACK TONE
213 2401        JMP   NSV         ;SERVICE NEXT CH.
215 FB    NCD   MOV   A,R3        ;"ROU" ?
216 D3F2        XRL   A,#F2
218 9625        JNZ   SBS         ;IF NOT,CHECK NEXT COMMAND
21A 2300        MOV   A,#00       ;OFF RINGBACK TONE
21C 90          MOVX  @R0,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
21D F1          MOV   A,@R1
21E 4380        ORL   A,#80       ;SET "R" OF CALLING
220 A1          MOV   @R1,A
221 5478        CALL  WSW.        ;WRITE SW. TABLE OF CALLED CH.
223 2401        JMP   NSV         ;SERVICE NEXT CH.
225 FB    SBS   MOV   A,R3        ;"CALH" ?
226 D3F8        XRL   A,#F8
228 9630        JNZ   NCA
22A BA00        MOV   R2,#00      ;CLEAR SW. TABLE
22C 5478        CALL  WSW
22E 2401        JMP   NSV
230 FB    NCA   MOV   A,R3        ;"BUSY" ?
231 D3F4        XRL   A,#F4
233 963A        JNZ   NBS
235 F1          MOV   A,@R1
236 F23A        JB7   NBS
238 24DC        JMP   ODG
23A 047F  NBS   JMP   SGC

                *INTERRUPT SERVICE SUBROUTINE
                ORG   250
250 AF    SIN   MOV   R7,A        ;SAVE ACC.
251 D5          SEL   RB1
252 09          IN    A,P1        ;IN SIGNALLING FROM TL#16
253 00          NOP
254 C65C        JZ    IDL         ;JUMP IF IT S A IDLE
256 D30B        XRL   A,#0B       ;IS IT A MFAW ?
258 C65F        JZ    MMF
25A 09          IN    A,P1
25B 90          MOVX  @R0,A
25C 18    IDL   INC   R0
25D EA63        DJNZ  R2,XIN
25F B841  MMF   MOV   R0,#41
261 BA1F        MOV   R2,#1F
263 EB6F  XIN   DJNZ  R3,OFI
265 230B        MOV   A,#0B       ;MFAW
267 3A          OUTL  P2,A        ;OUT SG.
268 B961        MOV   R1,#61
26A BB1F        MOV   R3,#1F
26C C5          SEL   RB0
26D FF          MOV   A,R7
26E 93          RETR
26F 81    OFI   MOVX  A,@R1
270 3A          OUTL  P2,A
271 2300        MOV   A,#00       ;CLEAR TABLE
273 91          MOVX  @R1,A
274 19          INC   R1
275 C5          SEL   RB0
276 FF          MOV   A,R7
277 93          RETR

                *WRITE SWITCHING TABLE SUBROUTINE
                ORG   278
278 F8    WSW   MOV   A,R0
279 AC          MOV   R4,A        ;SAVE CH. ADDR.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
27A B8C1          MOV   R0,#C1     ;SET ADDR. OF SW. TABLE
27C 2300          MOV   A,#00
27E 90            MOVX  @R0,A      ;CLEAR ADDR.
27F C8            DEC   R0         ;SET ADDR. OF DATA
280 FA            MOV   A,R2
281 90            MOVX  @R0,A      ;OUT DATA
282 FC            MOV   A,R4       ;SET ADDR.
283 531F          ANL   A,#1F
285 18            INC   R0
286 90            MOVX  @R0,A      ;OUT ADDR.
287 FC            MOV   A,R4
288 A8            MOV   R0,A
289 83            RET

                  *BCD TO HEXA CONVERT SUBROUTINE
                  ORG   28A
28A AC    THA     MOV   R4,A       ;SAVE DATA
28B 47            SWAP  A
28C 530F          ANL   A,#0F
28E C697          JZ    NNO
290 AA            MOV   R2,A
291 2300          MOV   A,#00
293 030A  TNO     ADD   A,#0A
295 EA93          DJNZ  R2,TNO
297 2C    NNO     XCH   A,R4
298 530F          ANL   A,#0F
29A 6C            ADD   A,R4
29B 83            RET

                  *WRITE SIGNALLING'2 TABLE SUBROUTINE
                  ORG   29C
29C F8    OSN     MOV   A,R0       ;SET SG.TABLE 2
29D 531F          ANL   A,#1F
29F 4360          ORL   A,#60
2A1 A8            MOV   R0,A
2A2 FC            MOV   A,R4
2A3 90            MOVX  @R0,A      ;OUT SG.
2A4 F8            MOV   A,R0
2A5 0320          ADD   A,#20
2A7 A8            MOV   R0,A
2A8 83            RET

                  *SAVE DIAL NUMBER SUBROUTINE
                  ORG   2A9
2A9 F1    SDN     MOV   A,@R1
2AA 92AF          JB4   STD        ;IF "I3" SET,IT'S 3RD DIGIT
2AC FB            MOV   A,R3       ;SAVE 2ND DIGIT
2AD 44B2          JMP   SSC
2AF 81    STD     MOVX  A,@R1      ;SAVE 3RD DIGIT
2B0 4B            ORL   A,R3
2B1 AB            MOV   R3,A
2B2 91    SSC     MOVX  @R1,A
2B3 83            RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 2
อุปกรณ์ใช้ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรูปที่ 4.2 วงจรควบคุมการทำงานและรับส่งสัญญาณควบคุม

R_1	ตัวความต้านทาน ± 5 % , 3 kΩ
C_1, C_2	ตัวเก็บประจุแบบเซรามิค ± 10% , 20 PF
I_1	ไมโครคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยว , 8035
I_2, I_3	IC TTL, 74LS373
I_4	EPROM 2K x 8 bits, 2716
I_5, I_6	Static RAM 1K x 4 bits, 2114
I_7	IC TTL, 74LS139
I_8	IC TTL, 74LS08
I_9	IC TTL, 74LS32
$I_{10} \sim I_{13}$	IC TTL, 74LS154
I_{14}	IC TTL, 74LS373
I_{15}	IC TLL, 74LS175
I_{16}, I_{17}	IC TTL, 74LS165
I_{18}	IC TTL, 74LS125
I_{19}	IC TLL, 74LS04
I_{20}	IC TLL, 74LS02

วงจรรูปที่ 4.4 วงจรตัดต่อช่องสัญญาณและไทม์สวิท

I_1, I_2	IC TTL, 74LS373
I_3	IC TTL, 74LS244
I_4, I_5	Static RAM 1Kx 4 bits, 2114
I_6, I_7	IC TTL, 74LS157
$I_8 \sim I_{11}$	IC TTL, 74LS154
I_{12}, I_{13}	IC TTL, 74LS157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_{14}, I_{15}	Static RAM 1K x 4 bits, 2114
I_{16}	IC TTL, 74LS165
I_{17}	IC TTL, 74LS373
I_{18}	IC TTL, 74LS164
I_{19}	IC TTL, 74LS08
I_{20}	IC TTL, 74LS02
I_{21}, I_{22}	IC TTL, 74LS32
I_{23}	IC TTL, 74LS04

รูปที่ 4.6 วงจรสร้างสัญญาณเวลา

R_1, R_2	ตัวความต้านทาน $\pm$ 5% , 330
C_1	ตัวเก็บประจุแบบเซรามิค $\pm$ 10% , 100 PF
XTAL1	Crystal 18.432 MHz
I_1	IC TTL, 74LS368
I_2	IC TTL, 74LS90
I_3, I_4	IC TTL, 74LS161

รูปที่ 4.7 วงจรซิงโครไนเซอร์

I_1	IC TTL, 74LS30
I_2	IC TTL, 74LS32
I_3	IC TTL, 74LS74
I_4, I_5	IC TTL, 74LS161
I_6	IC TTL, 74LS00

รูปที่ 4.13 วงจรสแครมเบลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_1 IC TTL, 74LS164

I_2 IC TTL, 74LS86

รูปที่ 4.14 วงจรดีสแครมเบลอร์ และวงจรแยกสัญญาณเวลา

R_1, R_2 ตัวความต้านทาน ± 5% , 470 Ω

VR_1, VR_2 " " แบบปรับค่าได้ , 5KΩ

C_1, C_2 ตัวเก็บประจุแบบเซรามิค ± 10 % , 33 PF

C_3 " " ดิฟไมกา ± 5 % , 680 PF

C_4, C_5 " " เซรามิค ± 10 % , 100 PF

L_1 ตัวเหนี่ยวนำปรับค่าได้ 10 μH

TR_1, TR_2 ทรานซิสเตอร์, 2N 3904

I_1 IC TTL, 74LS164

I_2 IC TTL, 74LS86

I_3 IC TTL, 74LS04

I_4 ดิฟเฟอเรนเชียล วีดีโอ แอมป์, LM 733

I_5 IC TTL, 74123

T_1 พัลส์ทรานสฟอร์เมอร์, แกนทอรอยด์ ชนิดเฟอร์ไรท์, DM = 12 mm, A = 24 mm^2, ลวดเบอร์ 30, ขด 1(10 รอบ), 2(10 รอบ), 3(15 รอบ)

รูปที่ 4.17 วงจรส่วนตรวจสอบสถานะและต่อสัญญาณโทรศัพท์

R_1 ตัวความต้านทาน ± 5 % , 2 KΩ/5W

R_2 " " , 8.2 KΩ

R_3 " " , 4.7 KΩ

R_4 " " , 470 KΩ

R_5 " " , 100 KΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_6 " " , 20 KΩ

R_7 " " , 220 KΩ

R_8 " " , 68 KΩ

R_9, R_{10} " " , 1 KΩ

C_1 ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์ ± 10 % , 2 μF/250V

C_2 " " , 0.47 μF/100V

C_3 " " , 0.04 μF/100V

C_4 " อิเลคโตรไลติค , 4.7 μF/50V

C_5 " " , 2.2 μF/50V

C_6 " ไมลาร์ ± 10 % , 0.056 μF/100 V

D_1 เรคติไฟร์ ไดโอด , IN4003

$D_2 \sim D_4$ ซิกแนล ไดโอด , IN4148

D_5 ซีเนอร์ ไดโอด , 5.1 V

$D_6 \sim D_{10}$ ซิกแนล ไดโอด , IN4148

RL1, RL2 รีเลย์ 6 V

TR_1 ทรานซิสเตอร์ , 2N2222

I_1 IC TTL, 74LS175

I_2 IC TTL, 74LS244

I_3 IC TTL, 74LS90

I_4 IC CMOS, 4069

I_5 IC TTL, 74LS08

รูปที่ 4.18 วงจรไฮบริดและโคเด็ค

$R_1 \sim R_5$ ตัวความต้านทาน ± 1 % , 600Ω

R_6, R_7 " " ± 5 % , 1.5 KΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_8, R_9	"	"	$\pm$ 5 %, 680 Ω
$R_{10} \sim R_{12}$	"	"	$\pm$ 1 %, 600 Ω
R_{13}, R_{14}	"	"	$\pm$ 5 %, 1.5 KΩ
R_{15}, R_{16}	"	"	$\pm$ 5 %, 680 Ω
R_{17}	"	"	$\pm$ 1 %, 600 Ω
R_{18}	"	"	$\pm$ 5 %, 30 KΩ
R_{19}, R_{20}	"	"	$\pm$ 5 %, 2.4 KΩ
C_1, C_2	ตัวเก็บประจุแบบอิเล็คโตรไลติค		, 100 µF/16V
$C_3 \sim C_5$	"	"	, 10 µF/100V
C_6, C_7	"	ไมลาร์	, 0.033 µF/100V
C_8	"	อิเลคโตรไลติค	, 10 µF/16V
C_9	"	"	, 1 µF/25V
C_{10}, C_{11}	"	เซรามิค	, 0.1 µF/50V
$D_1 \sim D_4$	ซิกแนล ไดโอด , IN4148		
I_1, I_2	ออปแอมป์ , LM 741		
I_3	PCM โมโนลิทิค ฟิลเตอร์ , TP3040		
I_4	โมโนลิทิค โคเด็ค , TP 5156		
I_5, I_6	2.5 V เรฟเฟอเรนซ์ ไดโอด , LM 336		

รูปที่ 4.24 วงจรสร้างสัญญาณโทรศัพท์

R_1	ตัวความต้านทาน	$\pm$ 5 %	, 1 KΩ
R_2	"	"	, 3 KΩ
R_3	"	"	, 1 KΩ
R_4	"	"	, 330 KΩ
R_5	"	"	, 1 KΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_6 " " , 3 KΩ

R_7 " " , 1 KΩ

R_8 " " , 520 KΩ

R_9 " " , 1 KΩ

R_{10} " " , 3 KΩ

R_{11} " " , 1 KΩ

R_{12} " " , 24 KΩ

C_1 ตัวเก็บประจุแบบอิเล็คโตรไลติค , 0.47 µF/50V

C_2 " ไมลาร์ , 0.01 µF/100V

C_3 " อิเลคโตรไลติค , 1 µF/25V

C_4 " ไมลาร์ , 0.01 µF/100V

C_5 " อิเลคโตรไลติค , 0.47 µF/50V

C_6 " ไมลาร์ , 0.01 µF/100V

C_7 " อิเลคโตรไลติค , 4.7 µF/25V

C_8 " ไมลาร์ , 0.01 µF/100V

C_9 " อิเล็คโตรไลติค , 0.47 µF/50V

C_{10} " ไมลาร์ , 0.01 µF/100V

C_{11} " อิเล็คโตรไลติค , 1 µF/25V

C_{12} " ไมลาร์ , 0.01 µF/100V

I_1 ~ I_6 IC Timer, LM 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้