

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT 470

Decode Signal Mobile Telephone System NMT 470



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาคเทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขที่
เลขทะเบียน	36841
วัน, เดือน, ปี	29 ค.ค. 2542

รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร

การถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-470

Decode Signal Mobile Telephone System NMT 470

โดย

นาย ภูเบศ วรรณนาสิน 40013340

นาย ชัยวัฒน์ เอี่ยมวงศ์ 40013328

ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.กฤตากร กล่อมการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับ
ปริญญาบัตรนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร

ประธานกรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท

การถอดรหัสสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT 470

โดย นาย ภูเบศ วรธนาสิน 40013340
นาย ชัยวัฒน์ เข็มวงศ์ 40013328

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.กฤดากร กล่อมการ

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

โครงการชุดนี้เป็นการศึกษา การถอดรหัสของสัญญาณ โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT 470 ซึ่งใช้ในการควบคุม และติดต่อถึงกันระหว่าง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่, สถานีฐาน, เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในโครงการชุดนี้ จะเป็นการทำภาคถอดรหัสของ เฟรม ในการส่งสัญญาณจาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยัง เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในส่วนของเฟรมที่ 1.a คอนลิงค์แชนเนล (Calling Channel Indication;CC) เป็น เฟรมที่ส่งต่อเนื่อง ใช้แสดงให้ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่รู้ว่า แชนเนล ไหนเป็นคอนลิงค์แชนเนล และ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุก ๆ ตัวที่ไม่ได้ใช้งานได้ลือคอยู่ที่แชนเนลนั้น ๆ ความสามารถของโครงการนี้ สามารถถอดรหัส สัญญาณ ใน เฟรม 1.a ได้ ซึ่งสามารถที่จะทราบได้ทันทีว่าอยู่ในพื้นที่ให้บริการของระบบ NMT.470 หรือไม่

Project Report

Decode Signal Mobile Telephone System NMT 470

By MR. PUBATE VANTANASIN 40013340
MR. CHAIWAT AEMWONG 40013328

Department Industrial Technology

Advisor MR. KITDAKORN KLOMKARN

YEAR 1999

ABSTRACT

The main detail of this project is a research of decoding on signal of MNT 470 which is used for controlling among mobile telephone exchange (MTX), base station (BS) and mobile station (MS). Consequently, the hardware is produced for decoding the signal which is transmitted between mobile telephone exchange and mobile station.

This signal consists of frame 1.a “Calling Channed Indicating:CC” which is transmitted continuously. By using this frame Signal, mobile station. can search for calling channed indicating channel , after That, every mobile station. will be locked on this channel

At the conchasion, the service area of NMT 470 is identified by detecting frame 1.a Signal

กิตติกรรมประกาศ

โครงการปริญญาโทสำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกันและที่สำคัญที่สุดพระคุณของบิดา มารดาผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่าง ตลอดจนคำปรึกษาและแนะนำของอาจารย์ กฤดากร กล่อมการ และคุณอุดมพร สุนันทชัยกุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาอย่างดี อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือทางสถานที่และเครื่องมือ ในการปฏิบัติงานจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศูนย์นนทบุรี ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายภูเบศ วรรณนาติน

นายชัยวัฒน์ เอี่ยมวงศ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

บทที่ 1 บทนำ

โครงข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่

บทที่ 2 ระบบสัญญาณ

2.1 รูปแบบของเฟรม

2.2 ความหมายของสัญญาณต่างๆ

2.3 ชนิดของเฟรมและคิจิตในเฟรม

2.4 ความหมายของแต่ละคิจิตในเฟรม

2.5 ตัวอย่างขั้นตอนการรับส่ง สัญญาณ

บทที่ 3 ภาครับสัญญาณ

3.1 ภาครับ

3.2 วงจรลิมิตเตอร์

3.3 วงจรภาคกู้สัญญาณนาฬิกา

3.4 ภาคตรวจจับเฟรมซิงค์

3.5 ภาคดึงสัญญาณที่เข้ารหัส

3.6 ภาคถอดรหัส

3.7 ภาคแสดงผล

3.8 ภาคกำเนิดสัญญาณเฟรมทดสอบ

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองภาคกู้สัญญาณนาฬิกา

4.2 ผลการทดลองภาคตรวจจับเฟรมซิงค์

4.3 ผลการทดลองภาคดึงสัญญาณข้อมูลเข้ารหัส

4.4 ผลการทดลองภาคถอดรหัส

4.5 ชิ้นงานที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

4.6 ผลการทดลอง Simulate วงจรตรวจจับเฟรมซิงค์

4.7 ผลการทดลอง Simulate วงจรนับ 140	51
4.8 ผลการทดลอง Simulate วงจรคิ่งสัญญาณข้อมูล	53
4.9 ผลการทดลอง Simulate วงจรนับ 70	55
4.10 ผลการทดลอง Simulate วงจรนับ 166	57
4.11 ผลการทดลอง Simulate วงจรกำเนิดสัญญาณ	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	61
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. โปรแกรม	
ภาคผนวก ข. รายละเอียดไอซี	
บรรณานุกรม	



บทที่ 1

บทนำ

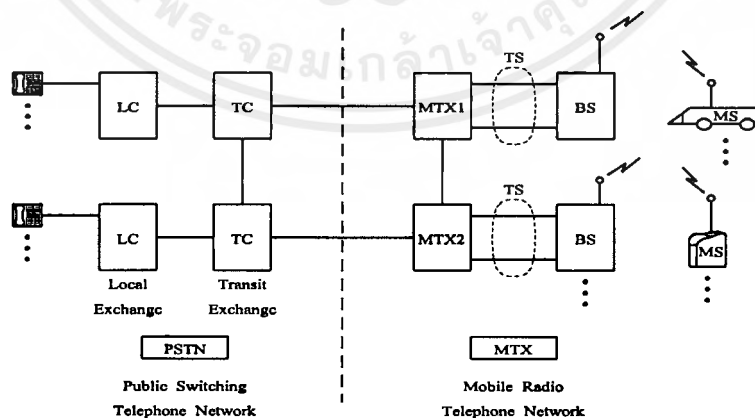
ปัจจุบันนี้ การสื่อสารโทรคมนาคมนับวันจะมีความสำคัญมากขึ้นตามลำดับ จะเห็นว่าทั่วโลกได้ให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยี และรูปแบบของการติดต่อสื่อสารอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้บริการมากขึ้น ประเทศไทยเราก็เช่นเดียวกัน ได้นำรูปแบบของโทรศัพท์ที่เรียกว่า ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Cellular Mobile Telephone System :CMTS) เข้ามาใช้ในประเทศ เนื่องจากระบบดังกล่าวมีความสามารถที่จะติดต่อใคร ๆ ได้ในทันทีทุกเวลาอย่างอิสระ และครอบคลุมการสื่อสารกว้างไกลไม่ว่าจะอยู่ภาคไหนของประเทศ ทำให้ได้รับความสะดวกสบายในการประกอบธุรกิจการงานแม้ในระหว่างการเดินทาง นอกจากนี้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ยังเข้ามาช่วยแก้ไขปัญหาลำบากสำหรับผู้ที่อยู่ห่างไกลจากชุมสายโทรศัพท์ซึ่งไม่มีคู่สายเข้าถึง เป็นการแก้ไขความขาดแคลนและความต้องการในการขอโทรศัพท์อีกด้วย

1. โครงข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Radio Telephone Network:MTN)

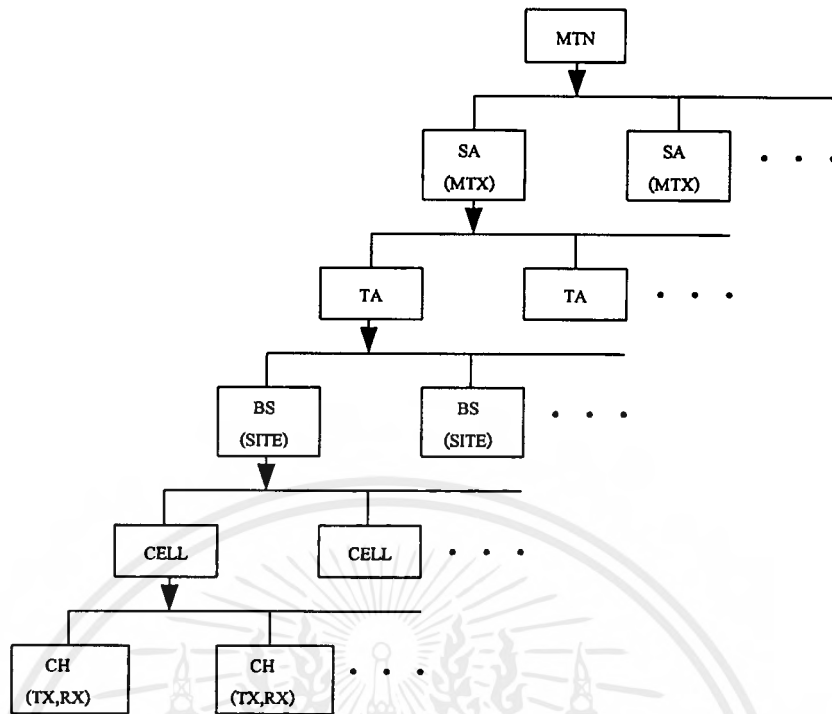
ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 4 ส่วนด้วยกัน คือ

- ชุมสาย โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Telephone Exchange : MTX)
- ส่วนระบบสื่อสารสัญญาณ (Transmission System : TS)
- สถานีฐาน (Base Station : BS)
- เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station : MS)

โดยที่โครงข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Radio Telephone Network : MTN) มีความสัมพันธ์กับโครงข่ายโทรศัพท์ธรรมดา (Public Switching Telephone Network : PSTN) ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงข่ายระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 1.2 แสดงความสัมพันธ์ของ SA ,TA ,BS ,Cell และ CH

1.1 พื้นที่บริการ (Service Area : SA)

จากรูปที่ 1.2 แสดงให้เราเห็นว่าโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะประกอบด้วยหลาย ๆ พื้นที่บริการด้วยกัน แต่ละพื้นที่บริการคือพื้นที่ครอบคลุมของ 1 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละตัวจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสถานีฐาน และควบคุมการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุก ๆ อย่าง ภายใต้พื้นที่บริการของตัวเอง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะต้องรู้ทุกอย่างไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งที่อยู่ของเครื่องโทรศัพท์ทุก ๆ ตัวหรือการยกหูวางหูและอื่น ๆ จะเห็นว่าชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นส่วนควบคุมที่สำคัญในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละตัวจะต้องติดต่อถึงกันได้ เพราะอาจมีการส่งข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เกี่ยวกับการ โรมมิ่ง (Roaming) , การ ชาร์จจิ่ง (Charging) และสถานะภาพอื่น ๆ ถึงกันดังนั้นข้อมูลเหล่านี้ต้องส่งให้แกกันและกันได้

1.2. ทราฟฟิคแอเรีย (Traffic Area : TA)

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่า 1 พื้นที่บริการจะประกอบด้วยหลาย ๆ ทราฟฟิคแอเรียด้วยกัน แต่ละ ทราฟฟิคแอเรียจะครอบคลุมพื้นที่หลายจังหวัด

การกำหนดออกเป็นกราฟฟิกเอเรียนี้มีประโยชน์สำหรับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการติดตามตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อใช้เรียกตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในกรณีที่มีโทรศัพท์เข้ามาหาเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เบอร์นั้น ๆ เนื่องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถที่จะวิ่งไปไหนก็ได้ทั่วประเทศ เพราะฉะนั้นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเก็บตำแหน่งที่อยู่ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไว้ในเทอมของพื้นที่บริการ และ กราฟฟิกเอเรีย การเรียกเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละตัวจะเรียกทั้งกราฟฟิกเอเรีย (หลาย ๆ จังหวัด) เลย เพราะฉะนั้นหน้าที่ของ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็คือ เมื่อรู้ตัวว่าตัวเองวิ่งเข้าไปอยู่ในอีกกราฟฟิกเอเรียหนึ่งแล้วหรือ ตัวเองได้เปลี่ยนกราฟฟิกเอเรียแล้วต้องแจ้งบอกชุมสายทันทีเพื่อชุมสายจะได้แก้ไขข้อมูลตำแหน่งที่อยู่ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เบอร์นั้น ๆ จะเห็นว่าชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถติดตามตำแหน่งที่อยู่ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ตลอดเวลา

1.3 สถานีฐาน (Base Station :BS)

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าแต่ละกราฟฟิกยังแบ่งออกเป็นหลาย ๆ สถานีฐานอีก สำหรับสถานีฐานของระบบโทรศัพท์ทั่วประเทศนั้นมีประมาณ 110 สถานีฐาน

1.4 เซล (Cell)

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าแต่ละสถานีฐานประกอบไปด้วยหลาย ๆ เซลตามต่างจังหวัดใหญ่แล้วจะมีสถานีฐานและ 1 เซล ครอบคลุมพื้นที่ 1 จังหวัด จากรูปที่ 1.3 ก. แต่เมื่อความต้องการใช้งานโทรศัพท์มีมากขึ้น จำนวนช่องที่มีอยู่ในเซลนั้น ๆ ไม่สามารถที่จะตอบสนองความต้องการได้เพียงพอ ก็จำเป็นต้องเพิ่มเซลอีก 1 เซล โดยแบ่งพื้นที่ที่ครอบคลุมเดิมนั้นออกเป็น 2 ส่วน ให้เซลที่ 1 ส่วนหนึ่งและให้เซลที่ 2 อีกส่วนหนึ่ง จากรูปที่ 1.3 ข. เพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนช่องลงไป



ก. สถานีฐาน

ข. สถานีฐาน

รูปที่ 1.3 แสดงจำนวนเซลในแต่ละสถานีฐาน

1.5 ช่องสัญญาณ (Channel : CH)

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าในแต่ละเซลจะมีหลายช่องด้วยกัน ซึ่ง 1 ช่องก็คือ 1 Tx , Rx การที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ตัวหนึ่งยกหูขึ้นพูดก็จะใช้แล้ว 1 ช่อง , และขณะที่โทรศัพท์เคลื่อนที่กำลังใช้ช่องใด ๆ อยู่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ตัวอื่นไม่สามารถใช้ช่องนั้น ๆ ต้องรอนกว่าจะเลิกใช้ช่องนั้นเสียก่อน โทรศัพท์เคลื่อนที่ตัวอื่นจึงมีโอกาสใช้อีก



บทที่ 2

ระบบสัญญาณ

ระบบสัญญาณใช้ในการควบคุม และ ติดต่อถึงกันระหว่างส่วนประกอบหลัก 3 อย่างของระบบ คือ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ , สถานีฐาน และ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสัญญาณนั้นแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ

- 1) สัญญาณที่ติดต่อระหว่าง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่
- 2) สัญญาณที่ติดต่อระหว่าง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับ สถานีฐาน
- 3) สัญญาณที่ติดต่อระหว่าง สถานีฐาน กับ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.1 รูปแบบของเฟรม

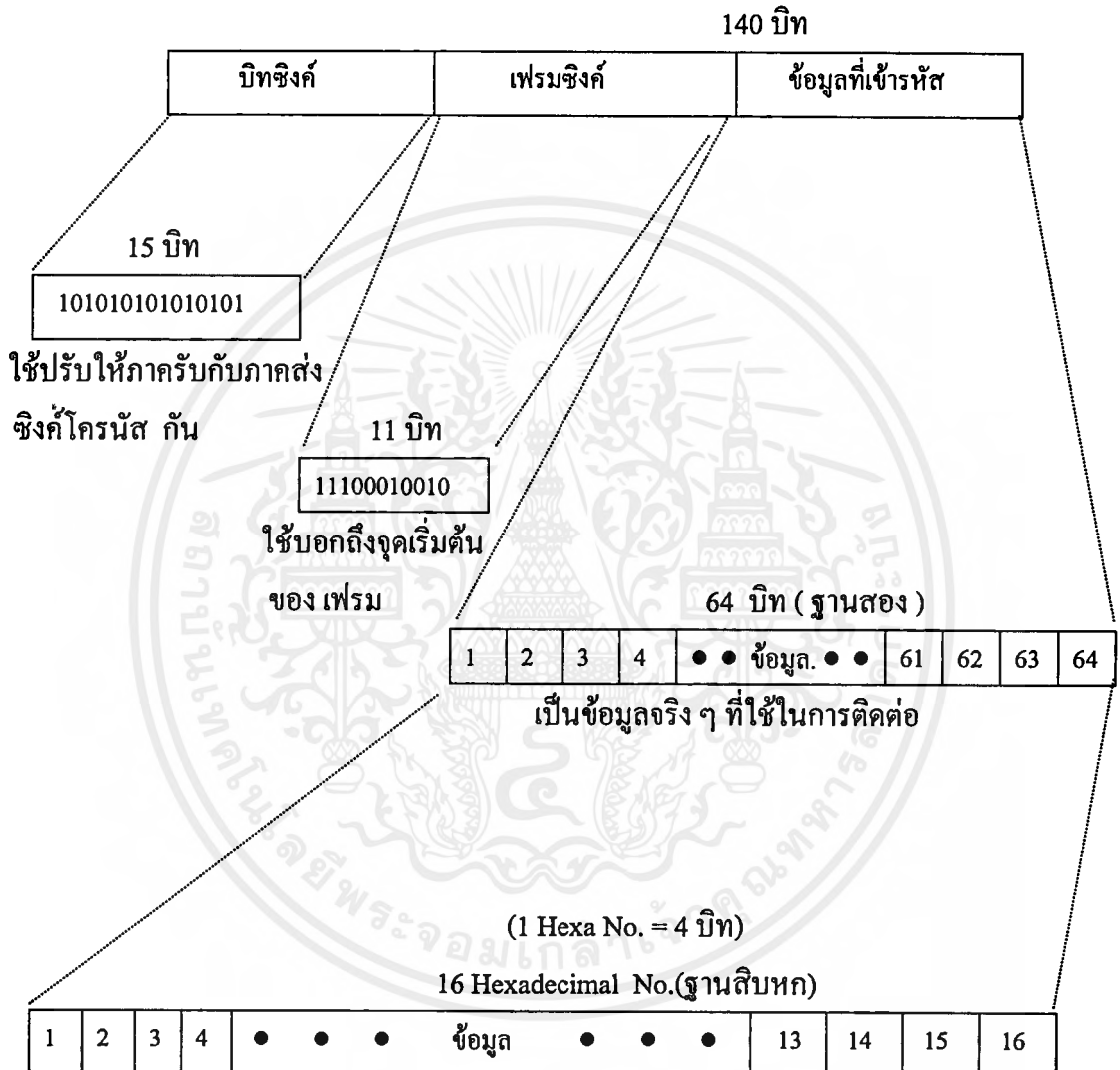
ก่อนที่จะอธิบายถึงระบบสัญญาณ แต่ละกลุ่มนั้นขอให้นำมาทำความเข้าใจ เกี่ยวกับเรื่อง ของเฟรม เสียก่อน ในการส่งข้อมูลระหว่าง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับ สถานีฐาน จะส่งข้อมูล ถึงกันในรูปแบบของเฟรม โดยที่รูปแบบของ เฟรมจะเป็น ดังรูปที่ 2.1 สำหรับรายละเอียดมี ดังนี้คือ

บิตซิงค์ (Bit Sync) เป็นส่วนที่ต้องถูกส่งไปก่อนเพื่อปรับให้ภาครับสามารถซิงโครไนซ์กับภาค ส่ง ทำให้ภาครับสามารถรู้จังหวะของข้อมูล (Data) ที่ภาคส่งส่งไปให้ บิตซิงค์ จะมีขนาด 15 บิต มีค่า 101010101010101 คงที่ตลอด ให้สังเกตว่าค่าของ บิตซิงค์ จะเป็น 1 และ 0 สลับกันไป ทำให้ภาครับสามารถปรับตัวเองได้ง่าย

เฟรมซิงค์ (Frame Sync) เป็นส่วนที่แสดงถึงจุดเริ่มต้นของ เฟรม หลังจากภาครับได้รับเฟรมซิงค์ นี้ก็แสดงว่าจะมีข้อมูล (Data) ตามมา เฟรมซิงค์ จะมีขนาด 11 บิต โดยมีค่าเป็น 11100010010

ข้อมูลที่เข้ารหัส (Encoded Data) เป็นส่วนของข้อมูล ข้อมูลที่ถูกส่งมานั้นบางครั้งอาจจะผิดพลาดได้ที่ปลายทาง อันเนื่องมาจากหลาย ๆ สาเหตุด้วยกันเพราะฉะนั้นข้อมูลที่ส่งออกมาต้องผ่านการเข้ารหัสเสีย ก่อน ซึ่งเรียกว่า Error-correcting Code ข้อมูลจริงๆ ที่ จะส่งไปนั้นมีเพียง 64 บิต แต่หลังจากการเข้ารหัสแล้วจะมีการใส่บิตเช็ก (Bit Check) เพิ่มเติมเข้าไปอีก 76 บิตเพราะฉะนั้น ข้อมูลที่เข้ารหัสจึงมีทั้งหมด 140 บิต ทางด้านรับเมื่อรับข้อมูลเข้าไปก็ต้องทำการถอดรหัส (Decode) ออกเอาเพียงแต่ข้อมูลจริงๆ 64 บิต ไปพิจารณา

ในการศึกษา สัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ต่อ ๆ ไป เราจะศึกษาถึงส่วนของข้อมูลจริง ๆ เท่านั้นเพื่อให้เข้าใจ ถึงหน้าที่ของแต่ละเฟรม และเพื่อสะดวกในการอ่านค่าข้อมูล นั้นจะถูกเปลี่ยน เป็นเลขฐานสิบหกเสียก่อน



ข้อมูลจะถูกเขียนให้อยู่ในรูปเลขฐาน 16 เพื่อง่ายขึ้นสำหรับการอ่าน

รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบของเฟรม

2.2 ความหมายของสัญญาณต่าง ๆ

สัญญาณต่าง ๆ ที่ติดต่อระหว่าง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับ สถานีฐาน นั้นจะมีการจัดข้อมูล เข้าด้วย กันในรูปแบบของ เฟรม ซึ่งแต่ละเฟรมจะส่งถึงกันด้วยความเร็ว 1200 Bauds ซึ่งรูปแบบของมุลนั้นจะมีแสดงในหัวข้อที่ 2.3

ส่วนสัญญาณที่ติดต่อระหว่าง สถานีฐาน กับ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ นั้นเป็นเพียงแต่ สัญญาณซูเปอร์วิเซอร์รี่ (Supervisory Signal : ϕ) เท่านั้นเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบซิกเนลทูนอยซ์เรโซ (S/N Ratio)

2.2.1 สัญญาณที่ส่งจาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไปยัง เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

Calling Channel Indication (เฟรม 1.a ส่งต่อเนื่อง)

ใช้แสดงให้ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่รู้ว่าช่องไหนเป็นคอลลิงแชนเนล (Calling Channel : CC) และ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุก ๆ ตัวที่ไม่ได้ใช้งาน (Stand by) ได้ ล็อกอยู่ที่ช่องนั้น ๆ ภายใน 1 เซล จะมีเพียง 1 คอลลิงแชนเนลนั้น

-Combined Calling และ Traffic Channel Indication (เฟรม 1.b)

เพื่อแสดงให้รู้ว่าช่องนั้น ๆ จะเป็นได้ทั้ง คอลลิงแชนเนล และ ทราฟฟิคแชนเนล(Traffic Channel : TC) ภายใน 1 เซล จะต้องเลือกเอาอย่างใดอย่างหนึ่งว่าจะใช้ คอลลิงแชนเนล ธรรมดา หรือ คอมไบน์แชนเนล (Combined Channel)

-Call to Mobile Subscriber On Calling Channel (เฟรม 2.a)

เมื่อมีโทรศัพท์เรียกเข้าหา เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่สัญญาณนี้จะเรียก เครื่อง โทรศัพท์เคลื่อนที่โดยผ่านทาง คอลลิงแชนเนล ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ล็อกอยู่

-Traffic Channel Allocation On Calling Channel (เฟรม 2.b)

หลังจากที่ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้รับสัญญาณตอบรับการเรียกจากเครื่อง โทรศัพท์เคลื่อนที่แล้วชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะต้องกำหนดให้ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไปใช้งานที่ช่องอื่น ซึ่งจะเป็น ทราฟฟิคแชนเนล สำหรับการสนทนาโดยใช้ เฟรม นี้ เป็นตัวบอกผ่านทางคอลลิงแชนเนล

-Queuing Information To MS with Priority on Calling Channel (เฟรม 2.c)

หลังจากได้รับสัญญาณขอติดต่อจากไพออริตี้เอ็มเอส (Priority MS) ทางคอลลิงแชนเนลแล้วชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะส่ง สัญญาณนี้ไปบอก ไพออริตี้เอ็มเอส (Priority MS) ว่า การขอติดต่อนั้นได้ถูกเข้าคิวรอไว้แล้วใน ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

-Traffic Channel Allocation on traffic Channel (เฟรม 3.a)

สัญญาณนี้ใช้สำหรับบอก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้ย้ายไปใช้งานที่ ทรานสเฟอร์แชนเนลอื่น (ในกรณี ยกหู) หรือใช้กำหนดกำลังทางเอาต์พุต (Power Output) ของ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

-Identity Request On Traffic Channel (เฟรม 3.b)

สัญญาณนี้ใช้ขอให้ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่งเลขหมายตัวเองกลับไปให้ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะเป็นขั้นตอนหนึ่งในการดำเนินการติดต่อ

-Free Traffic Channel Indication (เฟรม 4. ส่งต่อเนื่อง)

ใช้กำหนดว่า ช่องนั้น ๆ เป็น ฟรีทรานสเฟอร์แชนเนล (Free Traffic Channel : FTC) โดยจะส่ง เฟรมนี้ออกไปตลอด เวลาเพื่อให้ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ใช้ ช่องนั้น ๆ ในการเรียกออกฟรีทรานสเฟอร์แชนเนล อาจจะมีหลาย ๆ ช่อง ก็ได้ใน 1 เซล

-Line Signal (เฟรม 5.a และ 5.b)

ความหมายของไลน์ซิกแนล (Line Signal) นั้น จะอยู่ที่ค่าของ L(n) ดังต่อไปนี้

-Answer to Coin-box

สัญญาณนี้ใช้บอกถึง Tariff Class Information และบอก Coin-box MS ว่าถึงเวลาเก็บเงินแล้ว

-Roaming Updating Confirmation (Proceed to send)

สัญญาณนี้ใช้บอก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ว่าการขอโรมมิ่งอัปเดต (RoamingUpdating) นั้นเสร็จ สมบูรณ์ เรียบร้อยโดยจะเคลียร์โรมมิ่งอะราม (Clear Roaming Alarm) ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือเป็นสัญญาณที่ใช้บอก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้ส่งเลขหมายปลายทางที่ต้องการติดต่อด่วนไปให้ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

-Address Complete

เป็นสัญญาณที่ใช้บอก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ว่าชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้รับเลขหมายปลายทางที่ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการติดต่อด่วนเรียบร้อยแล้ว

-Ringing Order

ใช้บอก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้ส่งสัญญาณกระดิ่ง (Ringing) เรียกคนมารับสาย

-Clearing

ใช้บอก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ว่าการติดต่อถึงกันนั้นควรเลิกติดต่อได้แล้ว

-Idle Frame (เฟรม 6.)

สัญญาณนี้ใช้ส่งในขณะที่อยู่ในสภาวะรอรับสัญญาณและขณะดำเนินการติดต่อ

2.2.2 สัญญาณที่ใช้ส่งจาก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไปยัง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

-Call Acknowledgement From MS and Seizure From MS with Priority on Calling Channel (เฟรม 10.a)

สัญญาณนี้ใช้สำหรับ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการตอบรับการเรียกจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือใช้สำหรับไพเออร์รีดีเอ็มเอส (Priority MS) ขอเรียกออก

-Seizure From Ordinary MS , and Identity on Traffic Channel (เฟรม 10.b)

สัญญาณนี้ใช้สำหรับ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ขอเรียกออก (ผ่านทางกราฟฟิคแชนแนล) หรือใช้ส่งเลขหมายตัวเองให้ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในขณะที่ดำเนินการติดต่อ

-Roaming Updating Seizure on Traffic Channel (เฟรม 11.)

ถ้าเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เคลื่อนตัวเข้าไปอยู่ในอีกกราฟฟิคแชนแนลหนึ่งสัญญาณนี้ จะถูกส่งไปหา ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อขอทำโรมมิ่งอัปเดต

-Seizure From Coin-box MS On Traffic Channel (เฟรม 12.)

สัญญาณนี้ใช้บอก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ว่า Coin-box MS ขอเรียกออก

Line Signal (เฟรม 13.a และ 13.b)

สัญญาณนี้จะมีหน้าที่คล้ายกันกับเฟรม 5.a และ 5.b ที่ส่งจาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

คือ

-Clearing , Release-guard

ใช้บอก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ว่าการติดต่อถึงกันนั้น ควรเลิกการติดต่อได้แล้ว

-Answer Acknowledgement From Coin-box MS

หลังจากได้รับสัญญาณ Answer to Coin-box จาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่แล้ว Coin-box MS จะส่งสัญญาณนี้ตอบกลับไปเพื่อบอกถึง Tariff Class Information ที่ได้รับมาด้วย

-MFT Converter In และ MFT Converter Out

สัญญาณ 2 สัญญาณนี้จะใช้เมื่อ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการใช้ปุ่มกดเลขหมายของตัวเองสำหรับส่งข้อมูลต่าง ๆ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ เฟรม 1200 Bauds เป็นมัลติฟริควเอนซีโทน (Multi Frequency Tones) จะถูกกระตุ้นให้ทำงานหรือหยุดทำงาน ก็ขึ้นกับสัญญาณทั้งสองนี้

-Answer /

ใช้บอก ขุมสายโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่ว่า มีคนมารับสายแล้ว

-Digit Signal (เฟรม 14.a และ 14.b)

สัญญาณนี้ใช้สำหรับส่งเลขหมายปลายทางที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการติดต่อด้วย ไปให้ ขุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (รวมทั้ง *, #, A, B, C, D) ภายใน 1 เฟรม จะส่งไปเพียงแค่ 1 ดิจิต (digit) เท่านั้น โดยที่ เฟรม 14.a จะส่งเลขหมายตัวแรก, ตัวที่สองส่งด้วย เฟรม 14.b และตัวที่สามส่งด้วย เฟรม 14.a วนไปเรื่อย ๆ จนหมด

-Idle Frame (เฟรม 15.)

ใน เฟรมนี้ ในขณะที่ดำเนินการติดต่อและเมื่ออยู่ในสภาพคอยสัญญาณ

2.2.3 สัญญาณที่ใช้ส่งจาก ขุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไปยัง สถานีฐาน

สัญญาณที่ติดต่อกับ สถานีฐานจะมีค่า Z(15) ส่งไปด้วยเพื่อแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ ใช้สำหรับ สถานีฐานไม่ใช่ ใช้กับ ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่

-Channel Activation Order (เฟรม 20.)

สัญญาณนี้ใช้บอก สถานีฐานว่าจะต้องทำอะไรบ้าง เช่น Start/stop Tx , Start/stop Sending ϕ Signal เป็นต้น

-Signal Strength Measurement Order On Data Channel or Idle or Free Marked Traffic Channel (เฟรม 21.b)

เป็นสัญญาณที่สั่งให้ สถานีฐานทำการวัดความแรงสัญญาณ (Signal Strength) โดยส่งผ่านทาง ช่องข้อมูล หรือ ไอเซลล์ หรือ ฟรีทราฟฟิคแชนเนล

-Signal Strength Measurement Order On Traffic Channel Actually Used (เฟรม 21.c)

ถ้ามีการสั่งให้สถานีฐานทำการวัดความแรงสัญญาณ โดยส่งผ่านทางทราฟฟิคแชนเนลแล้วจะต้องส่ง ด้วย สัญญาณนี้

-Order Management/maintenance orders on Idle Channel or Data Channel (เฟรม 22.)

สัญญาณนี้ใช้บอกให้ สถานีฐานทำบางสิ่งบางอย่าง เช่น ทำ Self-test , RFTL In/Out , Alarm Reset เป็นต้น ที่นอกเหนือจากคำสั่งปกติที่ สถานีฐาน ต้องทำตาม เฟรม 20

2.2.4 สัญญาณที่ส่งจาก สถานีฐาน ไปยัง ขุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

สัญญาณที่ติดต่อกับ สถานีฐาน จะมีค่า Z(15) ส่งไปด้วยเพื่อแสดงให้เห็นว่าสัญญาณนี้ ใช้สำหรับ สถานีฐาน

-Channel Status Information (เฟรม 25.)

ใช้เป็นสัญญาณตอบรับ (Acknowledge) ของสัญญาณ เฟรม 20. จาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และเพื่อแสดงสถานะของ สัญญาณ ϕ

-Signal Strength Measurement Result (เฟรม 26.)

ใช้แจ้งผลการวัดความแรงสัญญาณ กลับไปบอก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

-Respond on Other Management/maintenance Order on Idle Channel on Data Channel (เฟรม 27.)

ใช้สำหรับตอบรับเฟรม 22. จากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

-Other Maintenance Information From BS (เฟรม 28.)

ใช้สำหรับแจ้งเตือนที่เกิดที่ สถานีฐาน ไปให้ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ทราบ เช่น CU Alarm, Main Breaker Alarm เป็นต้น

2.2.5 สัญญาณที่ใช้สำหรับทดสอบช่องสัญญาณ (Test Channel)

-Frame for Test Channel Indication (เฟรม 30.)

สัญญาณนี้ใช้สำหรับบอกว่า ช่องนี้ใช้สำหรับทดสอบโดยเฉพาะ ซึ่งเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถใช้ได้มีเพียงทดสอบตัวเครื่องโทรศัพท์เท่านั้น

2.3 ชนิดของ Frame และ Digit ต่างๆ

2.3.1 คำจำกัดความของแต่ละ Digit

สัญลักษณ์	ความหมาย
$N_1N_2N_3$	แทนหมายเลขช่อง (Channel Number) ของคอลลิงก์แชนเนล หรือ ทราฟฟิกแชนเนล ที่กำลังใช้งานอยู่
$N_A N_B N_C$	ใช้แทนหมายเลขช่องของทราฟฟิกแชนเนล ที่ถูกกำหนดให้ใช้ สำหรับการสนทนาหรือสำหรับการวัดค่า
Y_1Y_2	ใช้แทนหมายเลขทราฟฟิกแเอเรีย (TA No.)
$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	ใช้แทนหมายเลขของ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่
$Z(15)$	ใช้แสดงให้เห็นว่าเฟรมนั้น ๆ ใช้ติดต่อบริเวณระหว่างชุมสาย กับ สถานีฐาน
Q_1Q_2	Tariff Class Information (For coin-box MS)
P	Prefix แสดงถึงคุณสมบัติของ Frame
L	ไลน์ซิกแนล (Line Signal)
S	ค่าดิจิทัล (Digit Value)
J	ข้อมูลว่าง (Idle Information)
A	Channel Activation Order and Channel Status Information
$f\phi$	Supervisory Signal Frequency
$V_1V_2V_3\dots$	Management and Maintenance Orders and Other Information
$R(n_1)R(n_2)R(n_3)$	ผลการวัดความแรงของสัญญาณ

ตารางที่ 2.1 ความหมายของแต่ละดิจิทัล

2.3.2 ชนิดของเฟรม

ข้อมูลของแต่ละ เฟรมที่ส่งจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และจาก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไปยัง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมีจำนวนบิตทั้งสิ้น 64 บิต โดยที่ลักษณะของข้อมูลที่ติดต่อบริเวณ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมีรูปแบบเดียวกัน นอกจากนี้ ยังมีการส่งข้อมูล โดยใช้เพียง 12 Hexa-decimal Digits ด้วยคือตอนที่ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ตอบกลับไปหา ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

ผ่านทางคอลลิงแชนเนล ต่อไปนี้จะได้แสดงให้เห็นถึงชนิดของ เฟรม ที่ใช้ติดต่อกัน

2.3.2.1 เฟรมที่ส่งจาก ชุมสายโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่ ไปยัง เครื่องโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่

1.a Calling channel indication

Channel No.	Prefix	TA No.	Idle
$N_1N_2N_3$	P(12)	$Y_1 Y_2$	J J J J J J J J J J J J

1.b Combined calling and traffic channel indication

Channel No.	Prefix	TA No.	Idle
$N_1N_2N_3$	P(4)	$Y_1 Y_2$	J J J J J J J J J J J J

2.a Call to mobile subscriber on calling channel

Channel No.	Prefix	TA No.	Mobile subscriber No.	Idle
$N_1N_2N_3$	P(12)	$Y_1 Y_2$	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	J J J

2.b Traffic channel allocation on calling channel

Channel No.	Prefix	TA No.	Mobile subscriber No.	TC No.
$N_1N_2N_3$	P(12)	$Y_1 Y_2$	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	$N_aN_bN_c$

2.c Queueing information to MS with priority on calling channel

Channel No.	Prefix	TA No.	Mobile subscriber No.	TC No.	Fictitious
$N_1N_2N_3$	P(12)	$Y_1 Y_2$	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	$N_aN_bN_c$	

3.a Traffic channel allocation on traffic channel

Channel No.	Prefix	TA No.	Mobile subscriber No.	TC No.
$N_1N_2N_3$	P(5)	$Y_1 Y_2$	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	$N_aN_bN_c$

3.b Identity request on traffic channel

Channel No.	Prefix	TA No.	Mobile subscriber No.	Idle
$N_1N_2N_3$	$P(5)$	Y_1Y_2	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	J J J

4. Free traffic channel indication

Channel No.	Prefix	TA No.	Idle
$N_1N_2N_3$	$P(3)$	Y_1Y_2	J J J J J J J J J J J

5.a Line signal

Channel No.	Prefix	TA No.	Mobile subscriber No.	Signal No.
$N_1N_2N_3$	$P(6)$	Y_1Y_2	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	$L(n)L(n)L(n)$

5.b Line signal: Answer to coin-box

Channel No.	Prefix	TA No.	Mobile subscriber No.	Sign No.	Tariff class info
$N_1N_2N_3$	$P(6)$	Y_1Y_2	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	L(0)	Q_1Q_2

6. Idle frame

Idle	Prefix	TA No.	Mobile subscriber No.	Idle
J J J	$P(0)$	J J	J J J J J J J	J J J

2.3.2.2 เฟรมที่ส่งจาก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไปยัง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

เฟรม ที่ส่งออกจาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไม่ว่าจะส่งให้ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือ สถานีฐาน ก็ตาม จะมี ทราฟฟิกแเอเรีย (Y_1Y_2) ส่งออกไปด้วย แต่เฟรม ที่ ชุมสาย โทรศัพท์เคลื่อนที่รับเข้าไปจะไม่มี ทราฟฟิกแเอเรีย (Y_1Y_2)

Channel No.	Prefix	Mobile subscriber No.	Information
3 digits	1 digit	7 digits	5 digits

10.a Call acknowledgement from MS and seizure from MS with priority on calling channel (shortened frame)

Channel No.	Prefix	Mobile subscriber No.	Idle
$N_1N_2N_3$	P(1)	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	J(J J J J)

10.b Seizure from ordinary MS and identity on traffic channel

Channel No.	Prefix	Mobile subscriber No.	Idle
$N_1N_2N_3$	P(1)	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	J J J J J

11. Roaming updating seizure on traffic channel

Channel No.	Prefix	Mobile subscriber No.	Idle
$N_1N_2N_3$	P(14)	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	J J J J J

11. Seizure from coin-box on traffic channel

Channel No.	Prefix	Mobile subscriber No.	Idle
$N_1N_2N_3$	P(11)	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	J J J J J

13.a Line signal

Channel No.	Prefix	Mobile subscriber No.	Signal No.
$N_1N_2N_3$	P(8)	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	L(n)L(n)L(n)L(n)L(n)

13.b Line signal: Answer acknowledgement from coin-box

Channel No.	Prefix	Mobile subscriber No.	Signal No.	Traffic class info
$N_1N_2N_3$	P(8)	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	L(2)L(2)L(2)	Q_1Q_2

14.a Digit signal (1st, 3rd, 5th digit)

Channel No.	Prefix	Mobile subscriber No.	Pos.ind.	Digit value
$N_1N_2N_3$	P(7)	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	S(0)S(0)	S(n)S(n)S(n)

14.b Digit signal (2nd , 4th , 6th digit)

Channel No. Prefix Mobile subscriber No. Pos.ind. Digit value

$N_1N_2N_3$	P(7)	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	S(15)S(15)	S(n)S(n)S(n)
-------------	------	-----------------------	------------	--------------

15. Idle Frame

Idle	Prefix		Idle	
J J J	P(0)	J J	J J J J J J J	J J J

2.3.2.3 เฟรม ที่ส่งจาก ขุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไปยัง สถานีฐาน

ให้สังเกตดูว่า เฟรม ที่ ขุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ใช้ติดต่อกับ สถานีฐานไม่ว่าจะเป็นการรับเข้ามาหรือส่งออกไป จะมีการส่ง Z(15) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1111 (F ฐานสิบหก) ออกไปด้วย เพื่อให้รู้ว่า เฟรม นี้ใช้ติดต่อกับ สถานีฐานเท่านั้น

20. Channel activation order

Channel No.	Prefix	TA No.	BS ind.	Idle	Activ. order	
$N_1N_2N_3$	P(15)	Y_1Y_2	Z(15)	J J J	A(n)	$f_\phi f_\phi f_\phi f_\phi f_\phi$

21.b Signal strength measurement order on data channel or idle or free marked traffic channel

Channel No.	Prefix	TA No.	BS ind.	Idle	Meas. ind.	Idle	TC No.
$N_1N_2N_3$	P(3)	Y_1Y_2	Z(15)	J J J	V(15)	J J	$N_aN_bN_c$

21.c Signal strength measurement order on traffic channel actually used

Channel No.	Prefix	TA No.	BS ind.	Idle	Meas. ind.	Idle	TC No.
$N_1N_2N_3$	P(5)	Y_1Y_2	Z(15)	J J J	V(15)	J J	$N_aN_bN_c$

22. Other management/maintenance order on idle channel or data channel.

Channel No.	Prefix	TA No.	BS ind.	Idle	Manag./maint.	Order
$N_1N_2N_3$	P(14)	Y_1Y_2	Z(15)	J J J	$V_1V_2V_3$	$V_4V_5V_6$

2.3.2.4 เฟรม ที่ส่งจาก สถานีฐาน ไปยัง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

15. Idle frame

Idle	Prefix	Idle
J J J	P(0)	J J J J J J J J J J

25. Channel status information

Channel No.	Prefix	BS ind.	Idle	Status info	Idle
$N_1N_2N_3$	P(9)	Z(15)	J J	A(n)	J J J J J J J J

26. Signal strength measurement result

Channel No.	Prefix	BS ind.	Idle	Channel No.	Measurement result
$N_1N_2N_3$	P(2)	Z(15)	J J	$N_aN_bN_c$	$R(n_1)R(n_2)R(n_1)R(n_2)$ $R(n_1)R(n_2)$

27. Response on other management/ maintenance order on idle channel or data channel

Channel No.	Prefix	BS ind.	Idle	Manag./maint.information	Idle
$N_1N_2N_3$	P(4)	Z(15)	J J	$V_1 V_2 V_3 V_4$	J J J J J

28. Other maintenance information from BS.

Channel No.	Prefix	BS ind.	Idle	Manag./maint.information	Idle
$N_1N_2N_3$	P(13)	Z(15)	J J	$V_1 V_2 V_3 V_4$	J J J J J

2.3.2.5 เฟรม ที่ใช้สำหรับ ทดสอบช่องสัญญาณ (Test Channel)

ใช้ เฟรม นี้กับ Test MS โดย ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะส่ง เฟรม นี้ออกไป

30. Test channel indication.

Channel No.	Prefix	TA No.	Idle
$N_1N_2N_3$	P(10)	Y_1Y_2	J J J J J J J J J J

2.4 ความหมายของแต่ละ ดิจิต ใน เฟรม

แต่ละ ดิจิต ในเฟรมปกติ (16 Hexa-decimal Digits) และ เฟรมแบบสั้น (12 Hexa-decimal Digits) ต่างก็ประกอบไปด้วย 4 บิต ซึ่งถูกเข้ารหัสตามคำอธิบายต่อไปนี้

2.4.1 ดิจิตต่าง ๆ ซึ่งใช้แทน ข้อมูลที่เป็นตัวเลข

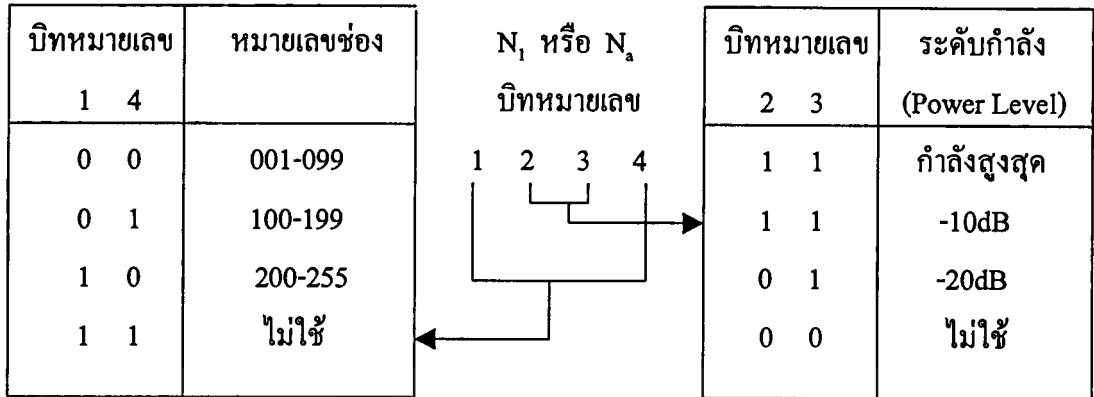
ตารางข้างล่างต่อไปนี้ จะแสดงให้เห็นว่า สัญญาที่ใช้แทน ข้อมูลที่เป็นตัวเลขนั้นมีการเข้ารหัสอย่างไรบ้าง

-หมายเลขช่อง (Channel Number)	$N_1N_2N_3$
-หมายเลขกราฟฟิกแอเรีย (TA Number)	Y_1Y_2
-หมายเลขเครื่อง โทรศัพท์เคลื่อนที่(Mobile Subscriber Number)	$ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$
-หมายเลขกราฟฟิกเซนเนล (TC Number)	$N_aN_bN_c$
-กราฟฟิกคลาสอินฟอเมชัน (Tariff Class Information)	Q_1Q_2
-ผลการวัด (Measurement Results)	$R(n_1)R(n_2)$

ดิจิตต่าง ๆ ใน		รหัสเลขฐานสอง 1 2 3 4
$N_1N_2N_3, N_4N_5N_6$ และ $R_{(n1)}, R_{(n2)}, Q_1Q_2$	$Y_1Y_2, ZX_1X_2X_3X_4X_5X_6$	
0	(16)	0 0 0 0
1	1	0 0 0 1
2	2	0 0 1 0
3	3	0 0 1 1
4	4	0 1 0 0
5	5	0 1 0 1
6	6	0 1 1 0
7	7	0 1 1 1
8	8	1 0 0 0
9	9	1 0 0 1
(10)	0	1 0 1 0
(11)	(11)	1 0 1 1
(12)	(12)	1 1 0 0
(13)	(13)	1 1 0 1
(14)	(14)	1 1 1 0
(15)	(15)	1 1 1 1

ตารางที่ 2.2 แสดงค่ารหัสเลขฐานสองที่ใช้แทนค่าในแต่ละดิจิต

ใน ดิจิต N_1 และ N_4 นั้น บิตหมายเลข 1 และ 4 ใช้บอกถึงหมายเลขช่อง และ บิต หมายเลข 2 และ 3 ใช้บอกถึงระดับของ กำลังทางเอาต์พุต (Output Power) ซึ่งเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ถูกสั่งให้ “ON” ขึ้นโดยที่



สำหรับการส่งสัญญาณ ระหว่าง ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับ สถานีฐาน นั้น 3 บิตแรก ของ N_1 และ N_4 จะใช้ค่า 011 เสมอ ยกเว้นในกรณีที่ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ติดต่อกับ สถานีฐาน ผ่านทางช่องข้อมูล (Data Channel) ค่า $N_1 = N_2 = N_3 = 15$ และในกรณีที่ $N_1 = N_2 = N_3 = 14$ จะหมายถึง Empty Channel Number Register ใน สถานีฐาน ซึ่งใช้สำหรับแจ้ง เตือน (Alarm) ไปบอก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในกรณีที่หมายเลขช่อง ที่เก็บไว้ใน รีจิสเตอร์ หายไป กำลังเอาต์พุต ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกควบคุมโดย N_1 หรือ N_4 ดังต่อไปนี้คือ

สำหรับ เฟรม ที่ส่งจาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยัง เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านทาง ช่อง $N_1 N_2 N_3$ โดยที่ภายใน นั้นไม่ได้ส่ง $N_4 N_5 N_6$ ไปด้วย บิตหมายเลข 2 และ 3 ใน N_1 จะใช้ควบคุม กำลังของเครื่องโทรศัพท์ และ เฟรม ที่ เครื่องโทรศัพท์ ส่งกลับเข้ามา ชุมสาย ก็จะใช้ บิตหมายเลข 2 และ 3 ใน N_1 เช่นเดียวกันกับที่รับไปจาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในกรณีที่ เฟรม ที่ส่งจาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้กำหนด ช่อง $N_4 N_5 N_6$ ไป ด้วย กำลังเอาต์พุต ของ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกควบคุมโดย บิตหมายเลข 2 และ 3 ใน N_4 และ เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่ง เฟรม ดอกลับไปหา ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะใช้ บิต หมายเลข 2 และ 3 ใน N_1 เช่นเดียวกับที่ได้รับใน N_4

ตัวอย่าง ถ้าหากว่าค่าของ N_1 N_2 N_3 โดยไม่มี N_4 N_5 N_6

0110 0011 1001

หมายถึง - ส่งให้ เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ใช้ ระดับกำลังสูงสุด

- ส่งผ่านทาง ช่องหมายเลข = 039

ค่า $ZX_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6$ หมายถึง หมายเลขเครื่องโทรศัพท์ (MS Subscriber No.)

เช่น ถ้าเครื่องโทรศัพท์ มีเลขหมาย 2114273 ค่าของ $ZX_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6$ จะเท่ากับ

ค่า	เท่ากับ
Z	2 = 0 0 1 0
X_1	1 = 0 0 0 0
X_2	1 = 0 0 0 1
X_3	4 = 0 1 0 0
X_4	2 = 0 0 1 0
X_5	7 = 0 1 1 1
X_6	3 = 0 0 1 1

สำหรับทางประเทศแถบสแกนดิเนเวีย ค่า Z จะหมายถึง รหัสของประเทศและค่า X_1 - X_6 จะบอกถึง หมายเลขของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อแสดงให้รู้ว่าโทรศัพท์เครื่องนั้น ๆ มีเลขหมายอะไรและเป็นของ ประเทศไหน โดยที่

$Z(4) = 0 1 0 0$	หมายถึง	ประเทศไอร์แลนด์
$Z(5) = 0 1 0 1$	"	ประเทศเดนมาร์ค
$Z(6) = 0 1 1 0$	"	ประเทศสวีเดน
$Z(7) = 0 1 1 1$	"	ประเทศนอร์เวย์
$Z(8) = 1 0 0 0$	"	ประเทศฟินแลนด์

2.4.2 Prfixes

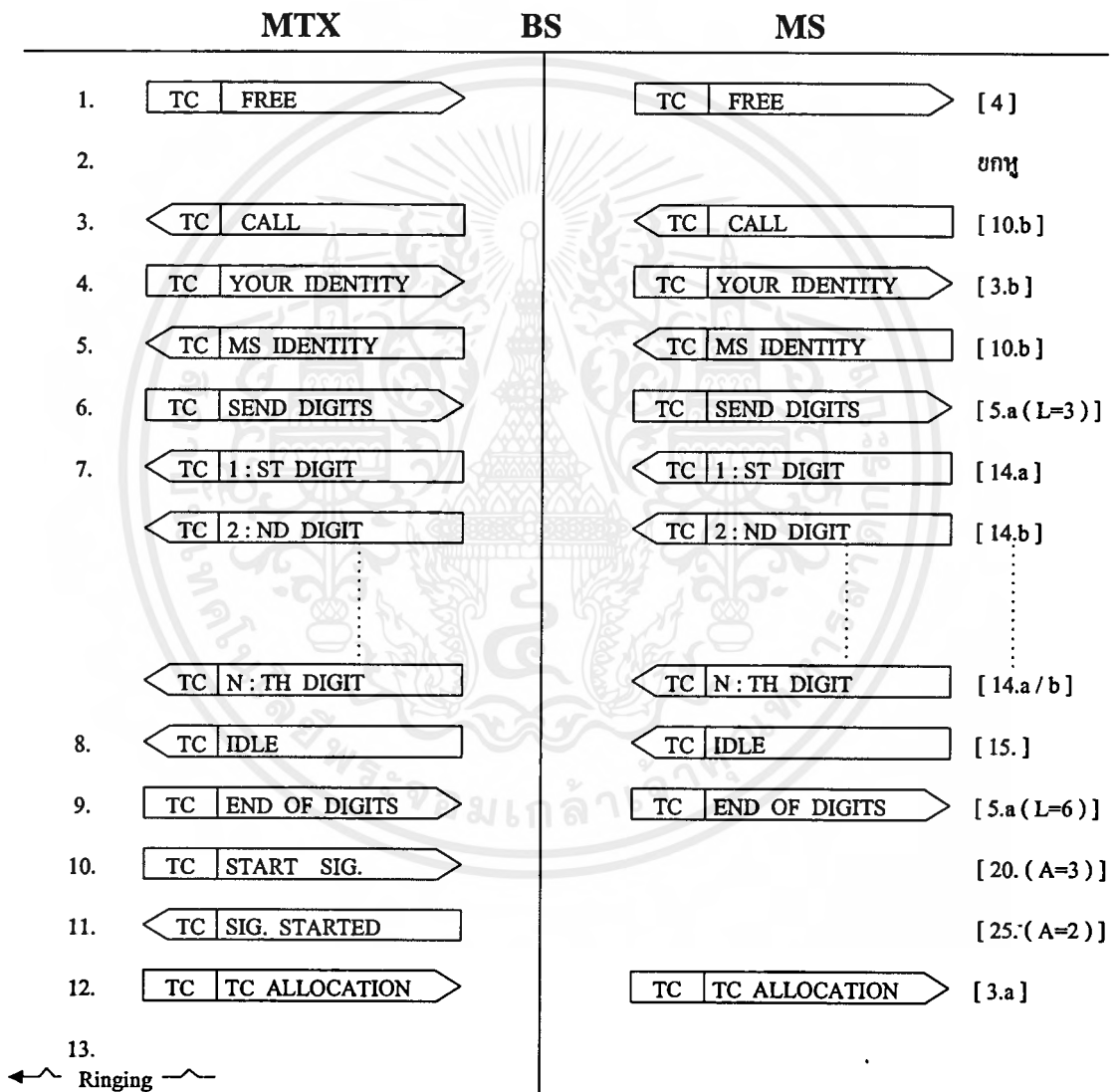
Notation	Coding	Meaning in direction	
		MTX → MS / BS	MS / BS → MTX
P(0)	0 0 0 0	Idle	Idle
P(1)	0 0 0 1	Spare	Call acknowledgement, seizure and Identity
P(2)	0 0 1 0	Spare	Measurement results
P(3)	0 0 1 1	Traffic channel	Spare
P(4)	0 1 0 0	Combined calling and Traffic channel	Response on management maintenance orders
P(5)	0 1 0 1	Channel allocation And Identity request On traffic channel	Spare
P(6)	0 1 1 0	Line signal	Spare
P(7)	0 1 1 1	Spare	Digit signal
P(8)	1 0 0 0	Spare	Line signal
P(9)	1 0 0 1	Spare	Channel status Infortion
P(10)	1 0 1 0	Test channel	Spare
P(11)	1 0 1 1	Spare	Coin-box seizure
P(12)	1 1 0 0	Calling channel	Spare
P(13)	1 1 0 1	Spare	Other maintenance Information
P(14)	1 1 1 0	Measurement / maintenance orders	Roaming updating
P(15)	1 1 1 1	Channel activation order	Spare

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ตัวอย่างขั้นตอนการรับ-ส่ง สัญญาณ (Signalling Procedure)

ในที่นี้จะได้พิจารณาถึงขั้นตอนการส่งสัญญาณถึงกันเมื่อ โทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นฝ่ายเรียกออกโดยจะ พิจารณาลงไปถึงว่าแต่ละขั้นตอนของการส่งสัญญาณนั้นมีการส่ง เฟรมนามเบอร์เท่าไรถึงกันบ้าง

2.5.1 เฟรม ที่ใช้ในขั้นตอนการโทรออกจาก MS



- ขั้นตอนที่ 1:** ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะส่งสัญญาณ ฟรีทราฟฟิคแชนเนลออกไปตลอดเวลา เพื่อแสดงให้ เครื่องโทรศัพท์รู้ว่าช่องนี้ว่างพร้อมที่จะให้ เครื่องโทรศัพท์ เรียก ออกได้โดยเฟรม 4
- ขั้นตอนที่ 2:** ยกหูโทรศัพท์ แล้วกดเลขหมายปลายทาง จากนั้นกด ส่ง (SEND) เพื่อโทรออก
- ขั้นตอนที่ 3:** หลังจากกดส่งแล้ว ตัวเครื่องโทรศัพท์จะ สแกน (Scan) หา ฟรีทราฟฟิค แชนเนล แล้วส่งสัญญาณขอเรียกออก โดย เฟรม 10.b
- ขั้นตอนที่ 4:** ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ขอทราบหมายเลขของเครื่องโทรศัพท์ จะส่ง เฟรม 3.b มาขอ
- ขั้นตอนที่ 5:** เครื่องโทรศัพท์ทำการส่งหมายเลขของตัวเองให้ ชุมสาย โดย เฟรม 10.b
- ขั้นตอนที่ 6:** หลังจาก ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับหมายเลข เครื่องโทรศัพท์ แล้ว ชุมสาย จะขอเลขหมายปลายทางที่ เครื่องโทรศัพท์ ต้องการติดต่อด้วย โดย เฟรม 5.a ($L = 3$)
- ขั้นตอนที่ 7:** เครื่องโทรศัพท์ ส่งเลขหมายปลายทางให้ โดยที่
- เลขหมายปลายทางลำดับที่ (1, 3, 5,) ส่งด้วย เฟรม 14.a
 - เลขหมายปลายทางลำดับคู่ (2, 4, 6,) ส่งด้วย เฟรม 14.b
- ขั้นตอนที่ 8:** หลังจากที่ เครื่องโทรศัพท์ ส่งเลขหมายปลายทางให้ ชุมสายหมดแล้วเพื่อให้ ชุมสายได้รู้ ตัวเครื่องโทรศัพท์จึงส่ง เฟรมว่าง (Idle Frame) เฟรม 15. ไปบอก
- ขั้นตอนที่ 9:** เมื่อชุมสายได้รับเฟรมว่าง แสดงว่า ชุมสายได้รับเลขหมายครบถ้วนแล้ว ชุมสาย จึงส่ง เฟรม 5.a ($L = 6$) ไปบอก เครื่องโทรศัพท์
- ขั้นตอนที่ 10:** ชุมสายจะส่ง เฟรม 20 ($A = 3$) ไปให้ สถานีฐาน เพื่อให้ สถานีฐาน “ON” ϕ Signalความถี่ตามที่ ชุมสาย กำหนดแล้วภายใน เฟรมนั้น ๆ
- ขั้นตอนที่ 11:** สถานีฐานส่ง เฟรม 25 ($A = 2$) เพื่อบอก ชุมสายรู้ว่าได้ “ON” สัญญาณ ϕ ความถี่ตามที่กำหนดเรียบร้อยแล้ว
- ขั้นตอนที่ 12:** ชุมสายจะสั่งให้ เซล นั้น ๆ ที่ เครื่องโทรศัพท์ ใช้ ทราฟฟิคแชนเนล อยู่ขณะนี้ ทำการวัดความแรงของสัญญาณ คลื่นพาห้ (Carrier) จาก เครื่องโทรศัพท์ (Signal Strength) ว่าแรงพอให้ เครื่องโทรศัพท์ ใช้ ช่อง นี้ต่อไป แต่ถ้าไม่แรงพอ (แสดงว่า MS เรียกอยู่ ภายนอกเซลล์ ที่ ทราฟฟิคแชนเนลนี้อยู่) ก็ต้องทำการวัด ความแรงของสัญญาณอีกครั้ง โดยในครั้งนี้จะทำการวัดความแรงของเซลล์ตัวเอง และเซลล์ข้างเคียงเพื่อเปรียบเทียบหาที่ดีที่สุด เมื่อพบแล้วก็จะสั่งให้ เครื่อง โทรศัพท์ ไปใช้งานในช่องที่ เซลล์นั้น ๆ โดย เฟรม 3.a

ขั้นตอนที่ 13: จะเป็นสัญญาณกระดิ่ง (Ringling Tone) ที่ส่งไปเรียกผู้รับปลายทางให้ยกหูรับเป็นอันสิ้นสุดขั้นตอนการเรียกออก

จากขั้นตอนข้างต้น ขอให้ดูหัวข้อที่ 2.2, 2.3 และ 2.4 ประกอบด้วย ตามแต่ละเฟรม

2.5.2 รายละเอียดของเฟรมที่ใช้ในขั้นตอนการโทรออกจาก MS

หลังจากที่ได้ทราบว่าแต่ละขั้นตอนนั้นต้องใช้ เฟรม อะไรบ้างต่อไปนี้จะได้อธิบายตัวอย่างของ เฟรม จริง ๆ ในการส่งสัญญาณถึงกันเพื่อเริ่มต้นการสนทนาโดยที่ MS หมายเลข 211-4053 เรียกออกไปยังเครื่องปลายทางหมายเลข 02-254-8169

ตามตัวอย่างข้างล่างนี้ได้ใช้เครื่องมือ MTX Simulator ตรวจจับสัญญาณที่ U-Link ของสถานีฐานที่ หมายเลขช่อง 32 โดย สถานีฐานนี้อยู่ภายในหมายเลข ทราฟฟิกแอเรีย 64 (40 ฐานสิบหก แต่เลข 0 ของ ทราฟฟิกแอเรีย จะถูกเข้ารหัสเป็นตัว A เพราะฉะนั้น Y_1, Y_2 ในที่นี้ จึงเท่ากับ 4A)

เพื่อความเข้าใจยิ่งขึ้น ขอยกตัวอย่าง เฟรม 4. Free Traffic Channel Indication

เฟรม 4. Free Traffic Channel Indication

Channel No.	Prefix	TA No.	Idle
$N_1 \ N_2 \ N_3$	P(3)	$Y_1 \ Y_2$	J J J J J J J J J J
4 3 2	3	4 A	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า

- P(3) : แสดงให้เห็นว่าเป็น ฟรีทราฟฟิกแชนเนล(Free Traffic Channel)
- $N_1 \ N_2 \ N_3 = 4 \ 3 \ 2$: แสดงให้เห็นว่าฟรีทราฟฟิกแชนเนลนั้นอยู่ที่ ช่องหมายเลข 32
- $Y_1 \ Y_2 = 4 \ A$: แสดงให้เห็นว่าอยู่ใน ทราฟฟิกแอเรีย 64

432 6 4A 2114A53 333	Tx --> [5.a , L = 3]	ชุมสายขอให้โทรศัพท์ส่งเลขหมาย ปลายทางให้
432 1 21 14A5300 000	Rx <--	
432 6 4A 2114A53 333	Tx -->	
432 7 21 14A5300 AAA	Rx <-- [14.a]	โทรศัพท์ส่งเลขหมายปลายทางตัวที่ 1 เลข 0 ให้ชุมสาย
432 7 21 14A5300 AAA	Rx <--	
432 7 21 14A53FF 222	Rx <-- [14.b]	โทรศัพท์ส่งเลขหมายปลายทางตัวที่ 2 เลข 2 ให้ชุมสาย
432 7 21 14A53FF 222	Rx <--	
432 7 21 14A5300 222	Rx <-- [14.a]	โทรศัพท์ส่งเลขหมายปลายทางตัวที่ 3 เลข 2 ให้ชุมสาย
432 7 21 14A5300 222	Rx <--	
432 7 21 14A53FF 555	Rx <-- [14.b]	โทรศัพท์ส่งเลขหมายปลายทางตัวที่ 4 เลข 5 ให้ชุมสาย
432 7 21 14A53FF 555	Rx <--	
432 7 21 14A5300 444	Rx <-- [14.a]	โทรศัพท์ ส่งเลขหมายปลายทางตัวที่ 5 4 ให้ชุมสาย
432 7 21 14A5300 444	Rx <--	
432 7 21 14A53FF 888	Rx <-- [14.b]	โทรศัพท์ส่งเลขหมายปลายทางตัวที่ 6 เลข 8 ให้ชุมสาย
432 7 21 14A53FF 888	Rx <--	
432 7 21 14A5300 111	Rx <-- [14.a]	โทรศัพท์ส่งเลขหมายปลายทางตัวที่ 7 เลข 1 ให้ชุมสาย
432 7 21 14A5300 111	Rx <--	
432 7 21 14A53FF 666	Rx <-- [14.b]	โทรศัพท์ส่งเลขหมายปลายทางตัวที่ 8 เลข 6 ให้ชุมสาย
432 7 21 14A53FF 666	Rx <--	
432 7 21 14A5300 999	Rx <-- [14.a]	โทรศัพท์ส่งเลขหมายปลายทางตัวที่ 9 เลข 9 ให้ชุมสาย

432 7 21 14A5300 999	Rx <--
000 0 00 0000000 000	Rx <-- [15.] โทรศัพท์บอกชุมสายว่าได้ส่งเลขหมายให้ไปหมดแล้ว
000 0 00 0000000 000	Rx <--
000 0 00 0000000 000	Rx <--
000 0 00 0000000 000	Rx <--
000 0 00 0000000 000	Rx <--
000 0 00 0000000 000	Rx <--
000 0 00 0000000 000	Rx <--
000 0 00 0000000 000	Rx <--
432 6 4A2114A53 666	Tx -->[5.a,L=6] ชุมสายบอกโทรศัพท์ว่าได้รับเลขหมายครบ หมดแล้ว
000 0 00 0000000 000	Rx <--
432 6 4A2114A53 666	Tx -->
000 0 00 0000000 000	Rx <--
432 6 4A2114A53 666	Tx -->
432 6 4A2114A53 666	Tx -->
000 0 00 0000000 000	Rx <--(NOTE) ต่อจากนี้ไป ชุมสาย จะสั่งให้สถานีฐาน “ON” สัญญาณ ϕ ให้สังเกตดูว่า 3 บิตแรก ของ N ในกรณีที่ติดต่อกับ สถานีฐานจะมีค่าเป็น 011 เสมอ
000 0 00 0000000 000	Rx <--
0000 0 00 0000000 000	Rx <--
0000 0 00 0000000 000	Rx <--
000 0 00 0000000 000	Rx <--
632 F 4AF000399 999	Tx -->[20. , A=3] ชุมสาย สั่ง สถานีฐาน ให้ “ON” สัญญาณ ϕ
632 9 F00200000 000	Rx <--[25. , A=2] สถานีฐานบอก ชุมสายกลับไปว่าได้ “ON” สัญญาณ ϕ แล้ว
432 5 4A2115A53 458	Tx --> [3.a] หลังจากทำการวัด Signal strength
432 5 4A2115A53 458	Tx --> แล้วก็ต้องย้ายให้โทรศัพท์ไปใช้งาน
432 5 4A2115A53 458	Tx --> ที่ หมายเลขช่อง 58.

432 5 4A2115A53 458	Tx -->.
000 0 00 0000000 000	Tx --> (NOTE) จากนั้นทางชุมสายต้องสั่งยกเลิกการ
000 0 00 0000000 000	Tx --> ใช้ CH No. 3 นี้โดยส่ง "OFF" สัญญาณ ϕ
000 0 00 0000000 000	Tx --> ก่อนแต่เนื่องจาก ทราฟฟิค ขณะนี้สูง
000 0 00 0000000 000	Tx --> มากหลังจากส่ง "OFF" ϕ Signal
000 0 00 0000000 000	Tx --> แล้วต้องสั่งให้ช่อง นี้เป็นฟรีทราฟ
	ฟิคแชนเนลทันที
632 F 4AF000C00 000	Tx -->[20. , A=12] ชุมสายสั่ง "OFF" สัญญาณ ϕ
000 0 00 0000000 000	Rx <--
632 9 F00D00000 000	Rx <--[25. , A=13] สถานีฐานตอบกลับว่าได้ "OFF"
	สัญญาณ ϕ แล้ว
432 3 4A0000000 000	Tx --> [4.] ชุมสาย สั่งให้ช่อง นี้เป็น ฟรีทราฟ
432 3 4A0000000 000	Tx --> ฟิคแชนเนล
432 3 4A0000000 000	Tx -->
432 3 4A0000000 000	Tx --> (NOTE) ต่อจากนี้ไปจะไปไปที่ ช่อง 58
	เพื่อทำการเคลียร์ (Clearing) ขณะ
	สนทนานั้น ตามปกติแล้วถ้าไม่มี
	การย้าย ช่อง จะไม่มีการส่ง เฟรม
	ถึงกันอีก
458 8 2114A5311 111	Rx <-- [13.a] โทรศัพท ขอ เคลียร์(Clearing)
458 8 2114A5311 111	Rx <--
458 6 4A2114A53 FFF	Tx --> [5.a] ชุมสาย ตอบรับการเคลียร์(Clearing)
458 8 2114A5311 111	Rx<--
458 6 4A2114A53 FFF	Tx -->
458 8 2114A5311 111	Rx<--
458 6 4A2114A53 FFF	Tx -->
458 6 4A2114A53 FFF	Tx -->
000 0 00 0000000 000	Tx --> (NOTE) หลังจากทำการ เคลียร์ เรียบร้อย
	แล้วชุมสายจะสั่งยกเลิกการใช้ช่อง

58 นี้โดยส่ง “OFF” สัญญาณ ϕ

000 0 00 00000000 000	Tx -->	
000 0 00 00000000 000	Tx -->	
000 0 00 00000000 000	Tx -->	
658 F 4AF000C00 000	Tx -->[20. , A=12]	ชุมสาย ส่ง “OFF” สัญญาณ ϕ
000 0 00 00000000 000	Rx <--	
658 9 F00D00000 000	Rx <--[25. , A=13]	สถานีฐานตอบรับว่าได้ “OFF” สัญญาณ ϕ แล้ว
658 F 4AF000000 000	Tx -->[20. , A=0]	ชุมสาย ส่ง “OFF” CH.
658 9 F00100000 000	Rx <--[25. , A=1]	สถานีฐาน ตอบรับคำสั่งการ “OFF” ชอง

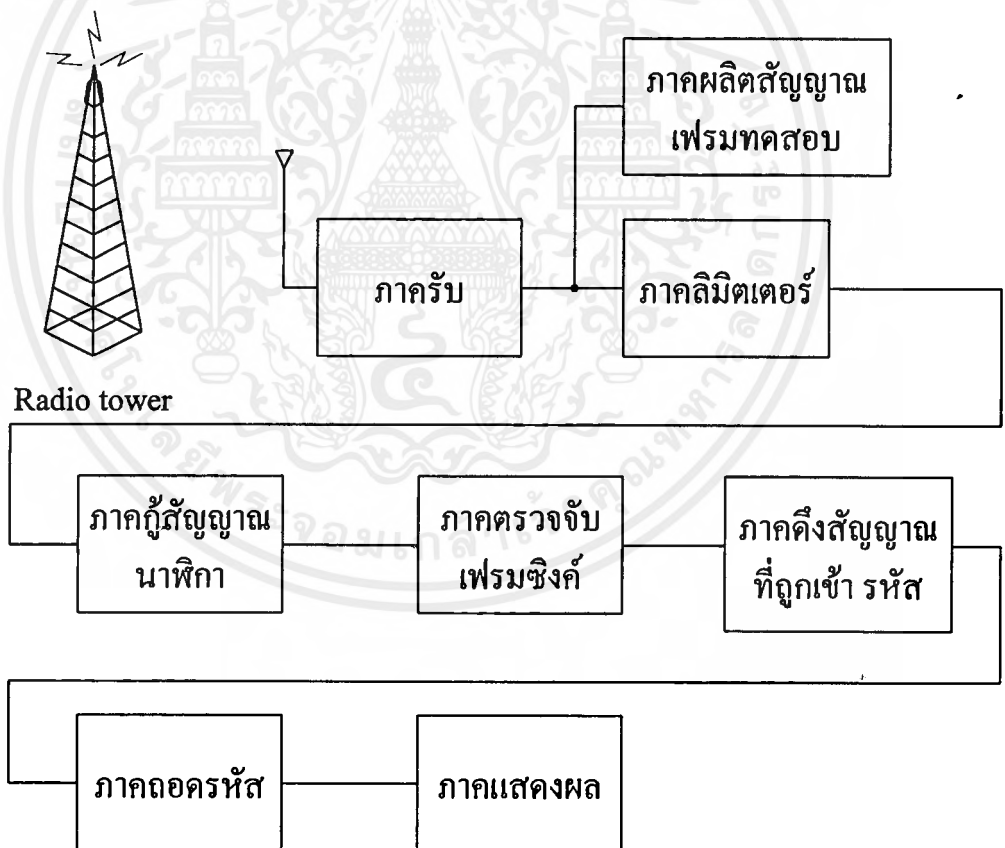


บทที่ 3

ภาครับสัญญาณ

ภาครับสัญญาณประกอบด้วยส่วนต่างๆดังแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.1 ดังนี้

- 3.1 ภาครับสัญญาณ (RF Communications Test Set)
- 3.2 ภาคลิimitเตอร์ (Limiter)
- 3.3 ภาคลูกีสัญญาณนาฬิกา (Clock Recovery)
- 3.4 ภาครววจับเฟรมซิงค์ (Frame Syn Detector)
- 3.5 ภาคคิ่งสัญญาณข้อมูลที่ถูกเข้ารหัส (Latch Encode Data)
- 3.6 ภาคถอดรหัส (Decode)
- 3.7 ภาคแสดงผล (Display)
- 3.8 ภาคผลิตสัญญาณเฟรมทดสอบ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมภาครับ

3.1 ภาค Rx

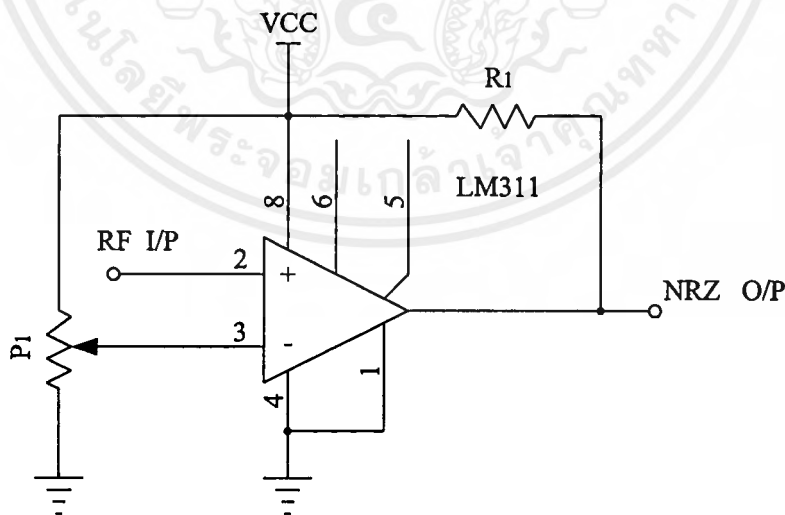
โดยการใช้เครื่องมือวัด RF Communication Test Set เป็นตัวรับสัญญาณจากสายอากาศ

3.2 วงจรลิมิตเตอร์ (Limiter)

ธรรมชาติของสัญญาณสแควร์เวฟจะประกอบด้วยฮาร์โมนิกส์แรก (1st harmonic) และฮาร์โมนิกส์อื่นๆ อีกมากมายซึ่งเป็นฮาร์โมนิกส์ที่ สามารถแสดงได้ในรูปของอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier serie) ของสแควร์เวฟที่มี Duty cycle 50% ได้ดังนี้

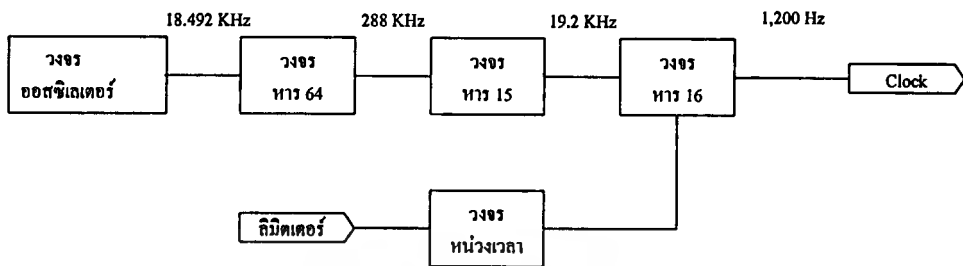
$$V(t) = A \left[\frac{1}{2} + \text{Sing } nt + \frac{1}{3} \text{ Sing } 3nt + \frac{1}{5} \text{ Sing } 5nt + \dots \right]$$

แต่เครื่องรับโดยเฉพาะภาคขยายสัญญาณ วงจรกรองต่างๆ และคิมอดูเลเตอร์จะลดทอนฮาร์โมนิกส์สูงๆ ออกไปอย่างมีอาจจะหลีกเลี่ยงได้ ดังนั้นสัญญาณ RF ที่ได้จากเครื่องรับจะมีรูปร่างผิดไปจากความเป็นจริงจะทำให้การตีความของ TTL ผิดพลาดเนื่องจากไม่รู้ว่าเป็นระดับสัญญาณสูงหรือต่ำ (High or Low logic) สิ่งนี้สามารถแก้ไขได้โดยให้สัญญาณที่ออกจากเครื่องรับผ่านวงจรลิมิตเตอร์ก่อน โดยวงจรลิมิตเตอร์สร้างจากออปแอมป์ที่ถูกต่อแบบคอมพาราเตอร์ (Comparater) โดยอัตราขยายสูงมากๆ ไม่มีการป้อนกลับสัญญาณถูกต้องเข้าขานอนอินเวอร์ตติง เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง (Reference voltage) ที่ขาอินเวอร์ตติงดังรูป 3.2 ออปแอมป์ที่ใช้ในวงจรนี้คือ LM 311 เนื่องจากเป็นออปแอมป์ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวซึ่งเหมาะสมกับวงจรโดยรวมที่มีเฉพาะแรงดัน TTL เท่านั้นจึงไม่ต้องหาแหล่งจ่ายไฟลบเพิ่มเติม



รูปที่ 3.2 วงจรลิมิตเตอร์

3.3 ภาควัสดุสัญญาณนาฬิกา (Clock Recovery)



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมภาควัสดุสัญญาณนาฬิกา

เนื่องจากการส่งข้อมูลของโทรศัพท์มือถือถือเป็นการส่งแบบอะซิงโครนัส จึงไม่มีสัญญาณนาฬิกาควบคุมมาด้วย ทางด้านรับจึงต้องสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นมาใหม่จากสัญญาณ NRZ ที่ได้รับเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ ในภาครับให้ทำงานพร้อมเพรียงกัน (Synchronous) สัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นใหม่จะต้องมีความถี่ตรงกับบิตเรต (Bit Rate) ของ NRZ และต้องซิงโครนัส (Synchronous) กับสัญญาณ NRZ ด้วย

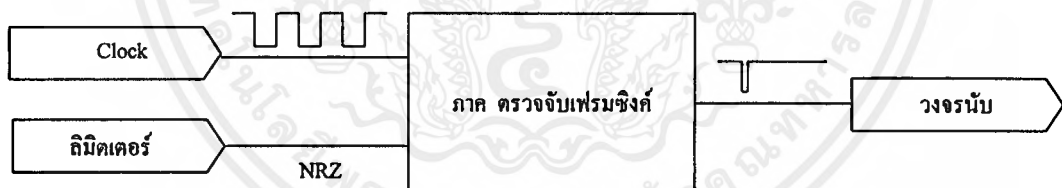
ในการออกแบบในภาคนี้จะเริ่มต้นจากภาควัสดุซีเลเตอร์ซึ่งจะผลิตความถี่ออกมามีค่า 18.432 MHz แล้วนำไปเข้าวงจรหาร 64 จะได้ความถี่ประมาณ 288 KHz หลังจากนั้นนำไปเข้าวงจรหาร 15 อีกที จะได้ความถี่เหลือเพียงประมาณ 19.2 KHz แต่เนื่องจากความถี่ที่เราต้องการนั้นคือ 1200 Hz เพราะฉะนั้น จึงต้องนำไปเข้าวงจรหาร 16 เพื่อให้ได้ความถี่ 1200 Hz

ในทางปฏิบัติสามารถสร้างวงจรวุสดุสัญญาณนาฬิกาโดยอาศัยบล็อกไดอะแกรมที่กล่าวข้างต้นนำมาสร้างวงจรได้ดังรูป 3.4

รูปที่ 3.4 เป็นวงจรกึ่งสัญญาณนาฬิกา เริ่มจากออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) อ้างอิงโดยใช้คริสตอล (Cycle) 18.432 MHz ต่อรวมกับตัวเก็บประจุและ IC 74HC4060 ทำหน้าที่ป้อนไฟให้กับคริสตอลรวมทั้งหารความถี่จากคริสตอลด้วย 64 ไปในตัว สัญญาณนาฬิกาจาก IC 4060 จะถูกหาร 15 ด้วย IC 74LS161 โดยใช้เทคนิคการตั้งค่าหารเริ่มต้น (reset) ที่ 1 แล้วดึงสัญญาณจากขา ripple ผ่านนอตเกตเพื่อโหลด (load) ตัวมันเองดังนั้น IC 74LS161 นี้จะเริ่มนับ 1 ถึง 15 แล้ววนกลับมาเริ่มนับที่ 1 ใหม่หลังจากนั้นสัญญาณนาฬิกาจากขา ripple จะถูก IC 74LS161 หารด้วย 16 เพื่อให้ได้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 1200 บิตต่อวินาที

สัญญาณ NRZ ที่ผ่านลิมิเตอร์มาแล้วถูกใช้เป็นตัวควบคุมให้สัญญาณนาฬิกาเชิงโครนัสกับตัวเองโดยนำสัญญาณ NRZ มาหน่วงเวลาด้วยน็ทเกต 3 ตัว เพื่อให้ขอบขาขึ้นและขอบขาลงของสัญญาณ NMT ที่หน่วงไว้เหลื่อมกับสัญญาณ NRZ เดิม แล้วเทียบสัญญาณทั้งสองด้วยเอ็กซ์คลูซิฟออร์ (XOR) จึงทำให้เกิดพัลส์ “0” เล็กๆ ทุกๆ การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ NRZ แต่แต่ละครั้งและจะเป็น “1” ในช่วงเวลาอื่นพัลส์ที่ได้นี้สามารถใช้เป็นสัญญาณเคลียร์ IC 74LS161 เพื่อให้สัญญาณนาฬิกาที่ได้ซิงค์กับสัญญาณ NRZ ตลอดเวลาดังรูปที่ 3.4

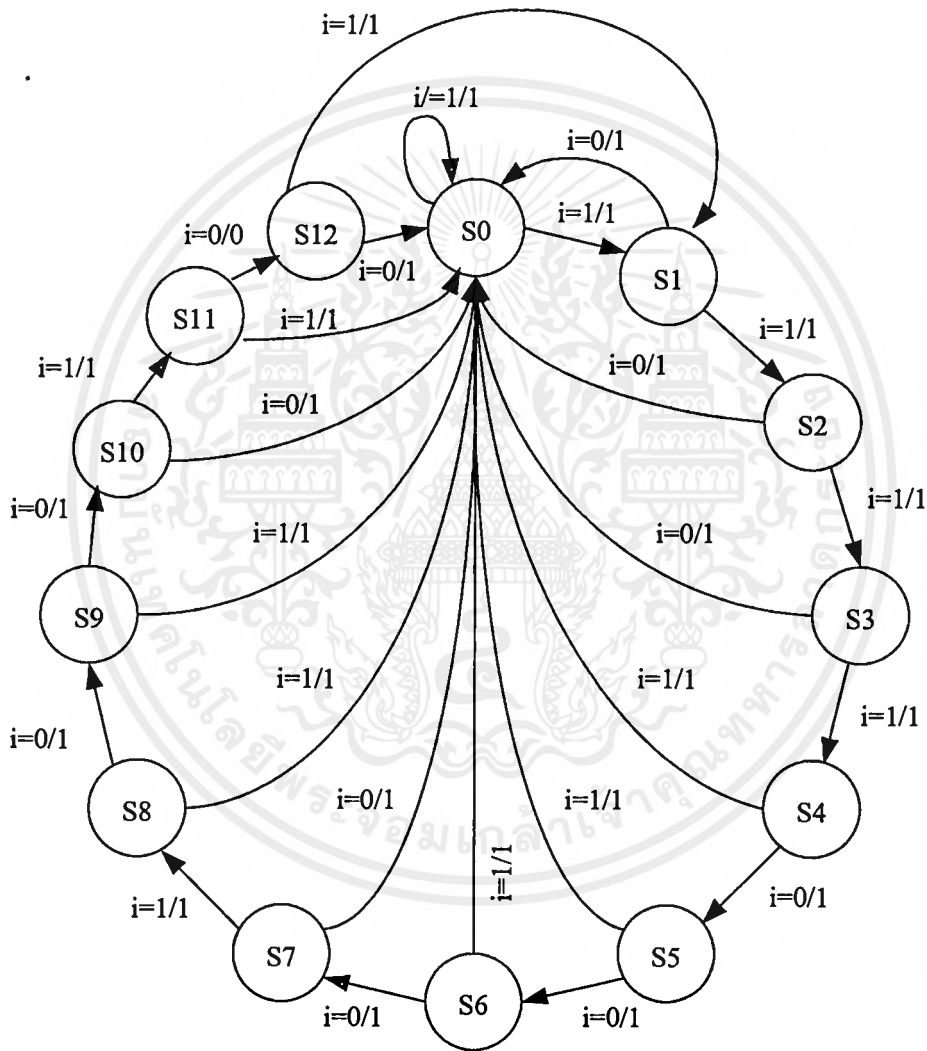
3.4 ภาคตรวจจับเฟรมซิงค์ (Frame Sync Detector)



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมภาคตรวจจับเฟรมซิงค์

สัญญาณเฟรมซิงค์นับว่ามีความสำคัญในการส่งข้อมูลอย่างมาก เพราะเป็นส่วนที่แสดงถึงจุดเริ่มต้นของเฟรม หลังจากภาครับได้รับสัญญาณเฟรมซิงค์แล้วก็แสดงว่าสัญญาณในส่วนถัดไปที่จะเข้ามาคือข้อมูลที่ถูกรหัสมาซึ่งจะเป็นส่วนที่จะต้องนำมาถอดรหัส ก่อนที่จะทำการถอดรหัสนั้นในส่วนแรกจะต้องทำการตรวจจับสัญญาณเฟรมซิงค์ให้ได้เสียก่อน

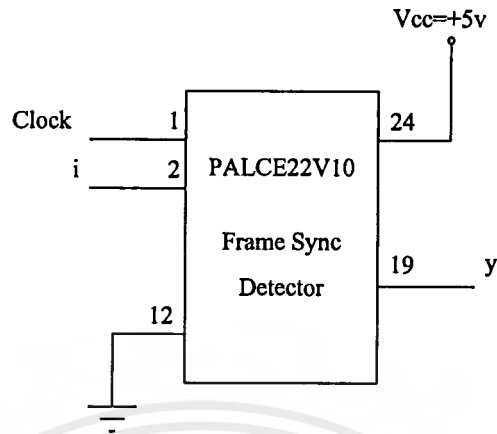
สัญญาณเฟรมซิงค์มีทั้งหมด 11 บิต คือ 11100010010 เพราะฉะนั้นในการออกแบบในส่วนนี้จะเริ่มด้วยการเขียนเป็น State Diagram หลังจากนั้นก็จะนำ State Diagram ที่เขียนนี้ไปเขียนโปรแกรม (VHDL) แล้วทำการเบิร์น ลงใน ไอซี PAL CE22V10 ซึ่งในส่วนของโปรแกรมดูได้ที่ภาคผนวก



รูปที่ 3.6 State Diagram ของภาคตรวจจับเฟรมซิงค์

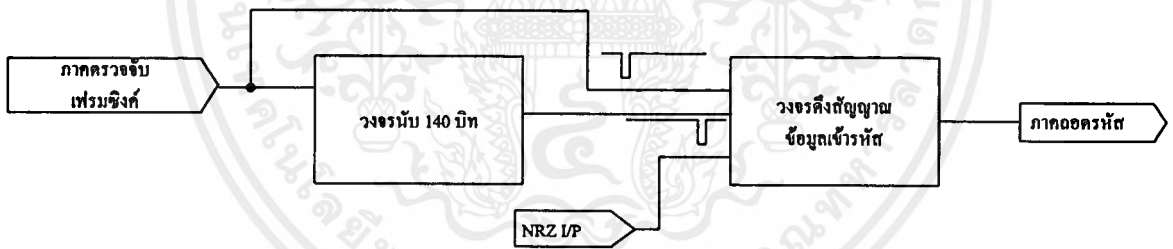
จาก State Diagram สามารถอธิบายได้ดังนี้

- When State 0 => ถ้า Input ตัวแรกเข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 1 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวแรกเข้ามาไม่เท่ากับ “1” ให้อยู่ State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 1 => ถ้า Input ตัวที่2เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 2 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่2เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 2 => ถ้า Input ตัวที่3เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 3 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่3เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 3 => ถ้า Input ตัวที่4เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 4 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่4เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 4 => ถ้า Input ตัวที่5เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 5 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่5เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 5 => ถ้า Input ตัวที่6เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 6 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่หกเข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 6 => ถ้า Input ตัวที่7เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 7 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่7เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 7 => ถ้า Input ตัวที่8เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 8 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่8เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 8 => ถ้า Input ตัวที่9เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 9 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่9เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 9 => ถ้า Input ตัวที่10เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 10 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่10เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 10 => ถ้า Input ตัวที่11เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 11 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่11เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 11 => ถ้า Input ตัวที่12เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “0”
แต่ถ้า Input ตัวที่12เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”
- When State 12 => ถ้า Input ตัวที่13เข้ามาเป็น “1” ให้ไป State 1 และ Output เป็น “1”
แต่ถ้า Input ตัวที่13เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 0 และ Output เป็น “1”



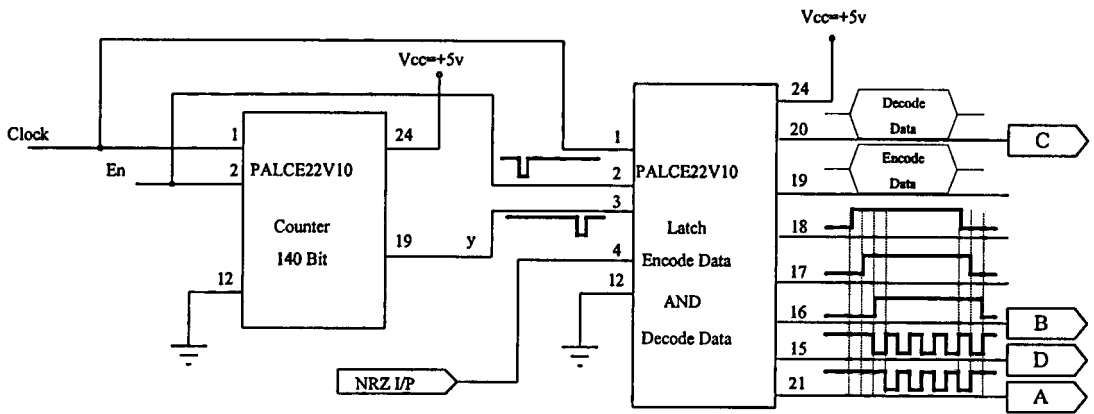
รูปที่ 3.7 แสดงขาไอซี PAL ภาคเฟรมซิงค์

3.5 ภาคดึงสัญญาณข้อมูลเข้ารหัส (Latch Encode Data)



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรม ภาคดึงสัญญาณข้อมูลเข้ารหัส

เมื่อเราตรวจจบสัญญาณเฟรมซิงค์ได้แล้ว ในส่วนถัดไปก็จะเป็นส่วนของสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสมา ในการถอดรหัสทางภาครับจะต้องรู้ว่าส่วนไหนของเฟรมที่จะต้องนำมาถอดรหัสเพราะฉะนั้นจึงต้องมีการดึงสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสออกมาเสียก่อนเพราะสัญญาณในส่วนนี้เป็นส่วนที่เราจะต้องนำมาถอดรหัส



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรการต่อใช้งาน IC PAL ภาคคิงสัญญาณข้อมูลเข้ารหัส

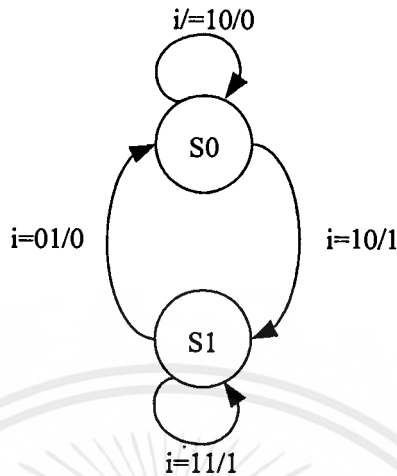
การทำงานของส่วนนี้จะใช้การเขียนโปรแกรม ดูได้ที่ภาคผนวก แล้วทำการเบิร์นลง IC PAL CE 22V10 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.5.1 วงจรนับ 140

การทำงานในส่วนนี้จะอยู่ต่อจากภาคตรวจจับเฟรมซิงค์ ซึ่ง เอาท์พุท ที่ออกจากภาค เฟรมซิงค์ จะได้พัลส์ศูนย์เล็ก ๆ ซึ่งจะถูกนำมาต่อกับขา อินาเบิต (EN) ของวงจรถับ 140 โดยพัลส์ศูนย์ที่เข้ามานั้นจะเป็นตัวทริกให้วงจรถับ 140 เริ่มนับซึ่งจะทำการนับ Clock ไปจำนวน 140 ลูก (140 บิต ของสัญญาณ NRZ) เมื่อนับครบ 140 แล้วจะกำเนิดพัลส์ศูนย์เล็ก ๆ ขึ้นมาออก เอาท์พุท แล้วสัญญาณที่ได้จะนำไปต่อกับส่วนของวงจรถับคิงสัญญาณข้อมูลที่ถูกเข้ารหัส

3.5.2 วงจรคิงสัญญาณข้อมูลเข้ารหัส (Latch Encode Data)

ในส่วนของวงจรถับ Latch Encode Data นี้จะนำสัญญาณจากภาค เฟรมซิงค์ และสัญญาณที่ได้จาก วงจรถับ 140 นำมาต่อเป็น อินพุท ซึ่งการทำงานของวงจรถับนี้อธิบายได้จาก โปรแกรม และ State Diagram

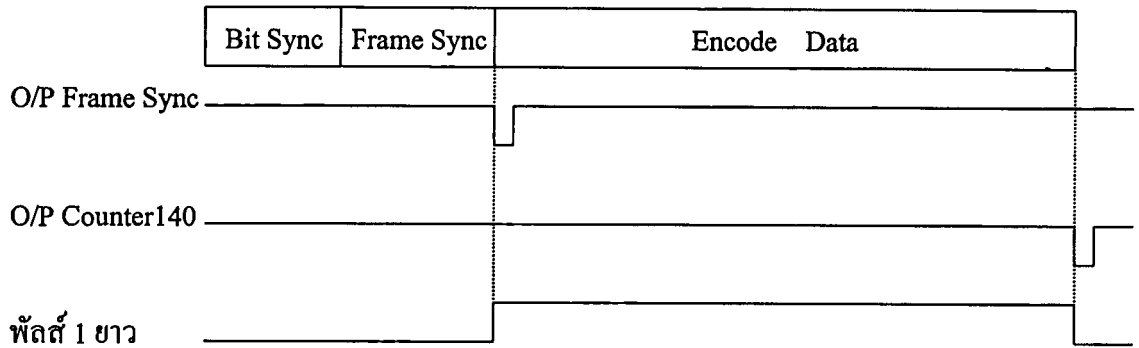


รูปที่ 3.10 State Diagram ของภาคคั้งสัญญาณข้อมูลเข้ารหัส

When State 0 => ถ้า อินพุต ที่เข้ามาเป็น “10” ให้ไป State 1 และ เอาท์พุต เป็น “1”
 แต่ถ้า อินพุต ที่เข้ามาไม่เท่ากับ “10” ให้ไป State 0 และ เอาท์พุต เป็น “0”

When State 1 => ถ้า อินพุต ที่เข้ามาเป็น “11” ให่วนอยู่ที่ State เดิมคือ State1และเอาท์พุต เป็น “1” แต่ถ้าอินพุต ที่เข้ามาเป็น “0” ให้ไป State 0 และ เอาท์พุต เป็น “0”

สัญญาณที่ได้จะเป็นพัลส์ 1 ยาว ๆ เริ่มจากบิตแรกของสัญญาณที่ถูกเข้ารหัส ไปจนถึง บิตสุดท้ายของสัญญาณที่ถูกเข้ารหัส สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปต่อกับขา อินาเบิต ของรีจิสเตอร์ ส่วนสัญญาณ NRZ จะต่อเข้ากับ อินพุต ของ รีจิสเตอร์ ซึ่ง รีจิสเตอร์ จะทำการ คั้ง (Latch) ค่าของสัญญาณ ออกมาเฉพาะช่วงที่มีค่าเป็น “1” จากขา อินาเบิต เท่านั้น ถ้ามีค่า “0” เข้ามาที่ขา อินาเบิต รีจิสเตอร์ จะไม่ทำงาน เพราะฉะนั้นค่าที่ Latch ออกมาได้ก็คือ บิตแรกของ Encode Data จนถึงบิตสุดท้ายของ Encode Data

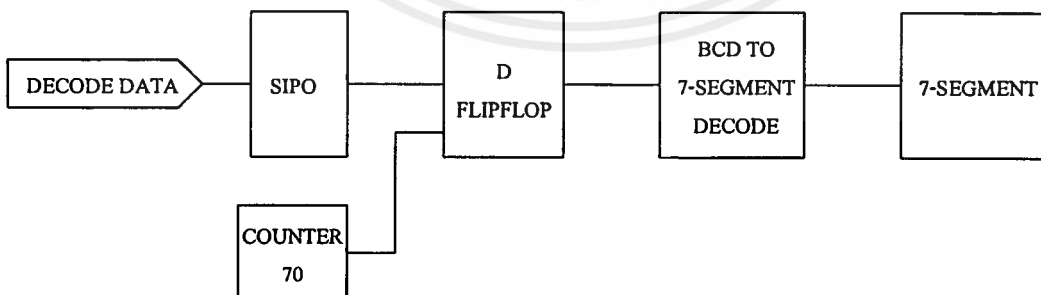


รูปที่ 3.11 แสดงสัญญาณที่ใช้ในการ Latch Endcode Data

3.6 ภาคถอดรหัส (Decode Data)

หลังจากที่ดึง Encode Data ได้แล้วก็จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับได้อีกทีว่าค่าที่ดึง (Latch) ออกมานั้นถูกหรือเปล่า หลังจากนั้นก็จะทำการดึงเอาค่าข้อมูลจริง (Information Bits) ออกมา เนื่องจากข้อมูลจริง (Information Bits) จะอยู่ที่บิตคู่ เพราะฉะนั้นจะต้องดึงบิตคู่ออกมา โดยการใช้วงจรมับ 2 ซึ่งจะนับบิตไปที่ละสองแล้วให้ดึงค่าบิตคู่ ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะหมดเฟรม ก็จะได้ค่าข้อมูลจริง (Information Bits) ออกมา โปรแกรมในส่วนนี้จะเขียนรวมอยู่กับ โปรแกรมภาคดึงสัญญาณข้อมูลเข้ารหัส (Latch Encode Data) ซึ่งคู่ได้ที่ภาคผนวก

3.7 ภาคแสดงผล (Display)

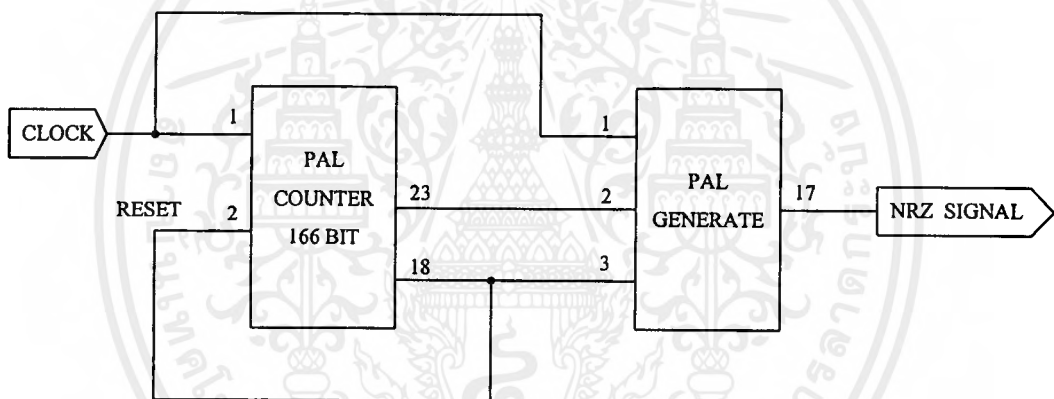


รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมภาคแสดงผล

เมื่อได้สัญญาณข้อมูลจริงๆมาแล้วจากนั้นก็ทำการแสดงผล โดยในโครงการนี้จะใช้ 7-Sevent ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลที่ออกจากภาคถอดรหัสจะเป็นข้อมูลแบบอนุกรม(Series) ฉะนั้นจึงต้องมีการทำให้เป็นแบบขนาน (Parallel) โดยใช้ IC เบอร์ 74 LS 164 (SIPO) แล้วนำไปต่อกับ ดีฟลิปฟลอปโดยจะใช้สัญญาณที่ออกจาก วงจรนับ 70 มาทำเป็น Clock ซึ่งในส่วนของวงจรถับ 70 จะทำการนับข้อมูลไปจนกระทั่งถึงบิต สุดท้าย (บิตที่ 70) แล้วกำเนิดสัญญาณศูนย์เล็กๆ เพื่อนำไปป้อนเป็น Clock ให้ ดีฟลิปฟลอป ทำงาน ต่อจากนั้นก็มีส่วนของ ตัว 7 – Segment Decode เพื่อแปลงจาก เลขฐานสอง เป็น ฐานสิบ แล้วนำไปต่อกับ 7- Segment เพื่อแสดงผล

ดีฟลิปฟลอป และวงจรถับ 70 ในภาคนี้จะใช้การเขียนโปรแกรมแล้วนำไปเบิร์นลงใน ไอซี ในส่วนของโปรแกรมดูได้ที่ภาคผนวก

3.8 ภาคกำเนิดสัญญาณเฟรมทดสอบ



รูปที่ 3.13 วงจรภาคกำเนิดสัญญาณ

ในการทดสอบวงจรที่สร้างขึ้นในโครงการนี้จำเป็นต้องมีสัญญาณจากทางภาคส่งป้อนเข้ามาโดยจะใช้เครื่อง ทดสอบความถี่วิทยุสื่อสาร(RF Communication Test Set) ทำการสร้างสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสขึ้นแล้วป้อนให้กับวงจรถอดรหัสที่สร้างขึ้น แต่เนื่องจากเกิดปัญหาในการเซตเครื่องจึงไม่สามารถใช้เครื่องนี้ทำการสร้างสัญญาณได้ ฉะนั้นจึงต้องมีการจำลองสัญญาณ เรียบแบบสัญญาณจริงที่ส่งออกมาจากทางชุมสายโดยจะทำการสร้างสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสขึ้นมา โดยวิธีการเข้ารหัสจะเป็นไปตามสูตรในหน้าถัดไป แล้วทำการคำนวณค่าออกมาเมื่อได้ค่านี้แล้วก็ จะนำค่านี้ไปเขียนโปรแกรม ในลักษณะ State Diagram โปรแกรมสามารถดูได้ที่ภาคผนวก

การเข้ารหัส (Encode)

เพื่อที่จะลดปัญหาในการส่งสัญญาณถึงกันเนื่องจากการ Fading หรือการแทรกสอด (Interference)

ต่าง ๆ จึงได้มีการเข้ารหัสแบบ Error - Correcting Code เสียก่อนที่จะส่งออกอากาศ ถ้ามีการเข้ารหัสแบบนี้แล้ว ทางด้านรับจะสามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้ และสามารถแก้ไข Data ที่ผิดพลาดได้ประมาณ 6.Bits ถ้าหากมี Data ที่ไม่ผิดพลาดเลย 19 Bits ติดต่อกัน

Encoded Data จะแทนด้วย Y_i และ Data ที่จะเข้ารหัสแทนด้วย X_i โดยที่

$$Y_{2i-1} = \left\{ \begin{array}{ll} \bar{X}_i & \text{เมื่อ } i = 1-3 \\ \overline{X_i \oplus x_{i-3}} & \text{เมื่อ } i = 4 - 64 \end{array} \right\} \text{ Parity Check Bits}$$

$$Y_{2i} = \left\{ \begin{array}{ll} \bar{x}_{i-3} & \text{เมื่อ } i = 65 - 67 \\ 1 & \text{เมื่อ } i = 68 - 70 \end{array} \right\}$$

$$Y_{2i} = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{เมื่อ } i = 1-6 \\ x_{i-6} & \text{เมื่อ } i = 7-70 \end{array} \right\} \text{ Information Bits}$$

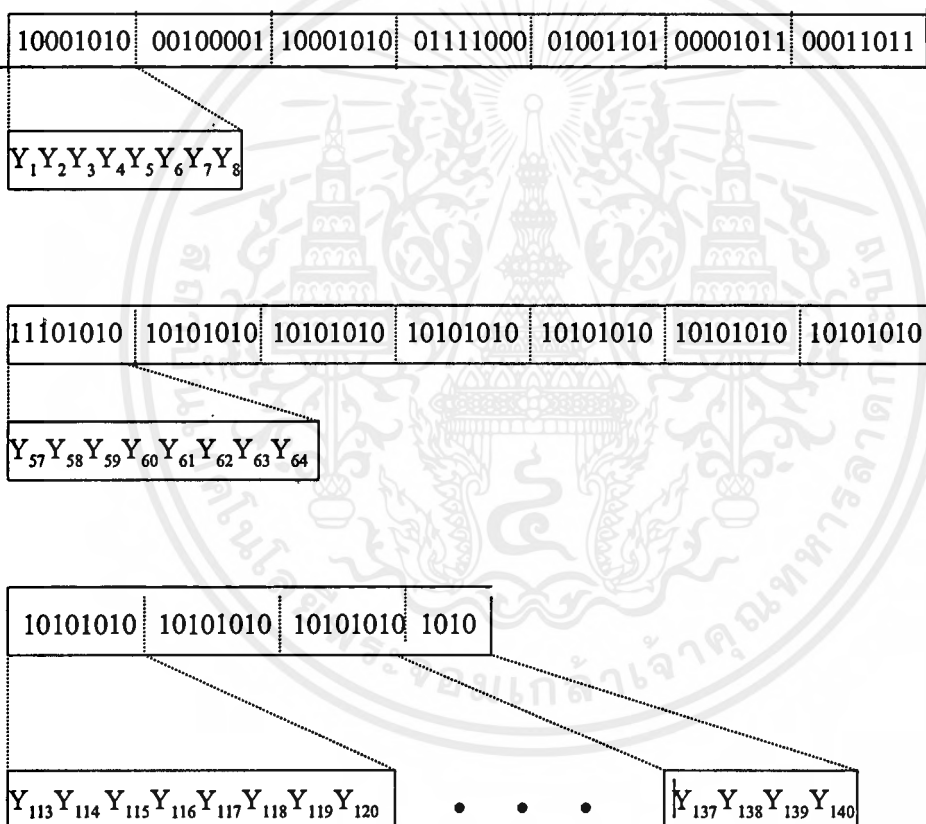
\oplus จะหมายถึง Addition Modulo -2 (Exclusive- OR)

จากสมการข้างบนจะเห็นว่าทุก ๆ Information Bits ที่ส่งไปนั้นจะมี Parity Check Bits ไปด้วย เพราะฉะนั้นความยาวของ Encoded Data จะมีทั้งสิ้น 140 Bits

เพื่อให้เข้าใจดียิ่งขึ้น จะได้ยกตัวอย่างถึงส่วนของ Encoded Data ถ้าสมมติว่าเราต้องการส่ง Frame 1.a (Calling Channel Indication) โดยที่มีรูปแบบดังนี้

Channel No.			Prifix	TA No.		Idle									
N_1	N_2	N_3	P(12)	Y_1	Y_2	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J
4	3	2	C	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0100	0011	0010	1100	0101	0110	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
$X_1 X_2 X_3 X_4$			$X_5 X_6 X_7 X_8$	$X_9 X_{10} X_{11} X_{12}$	$X_{13} X_{14} X_{15} X_{16}$	• • • X_{64}									

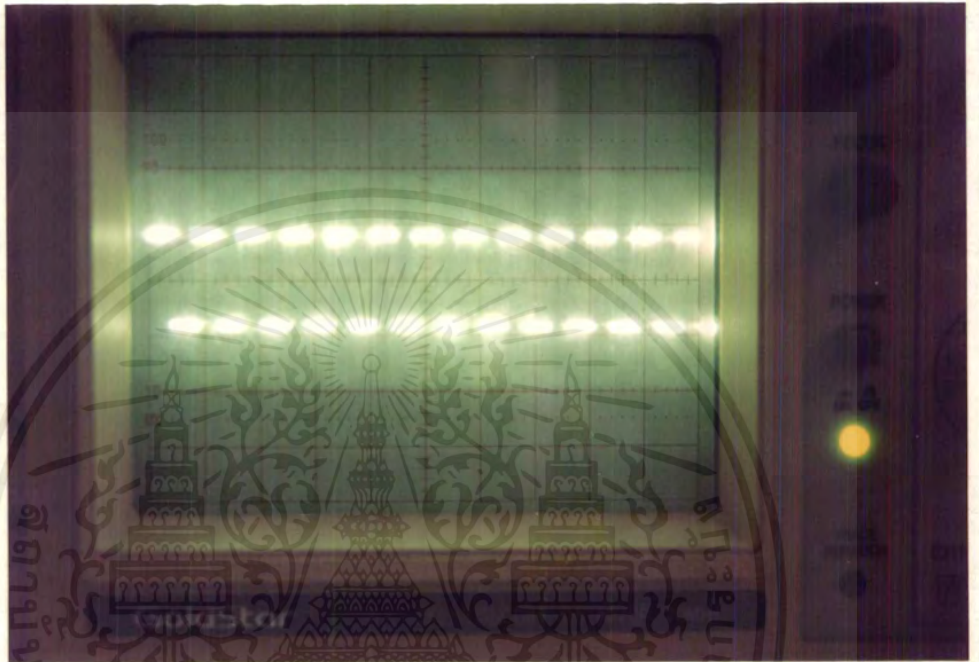
เมื่อได้นำ Data (X_i) ไปเข้าสู่ทรแล้วจะได้ Encoded Data (Y) ดังนี้คือ



บทที่ 4

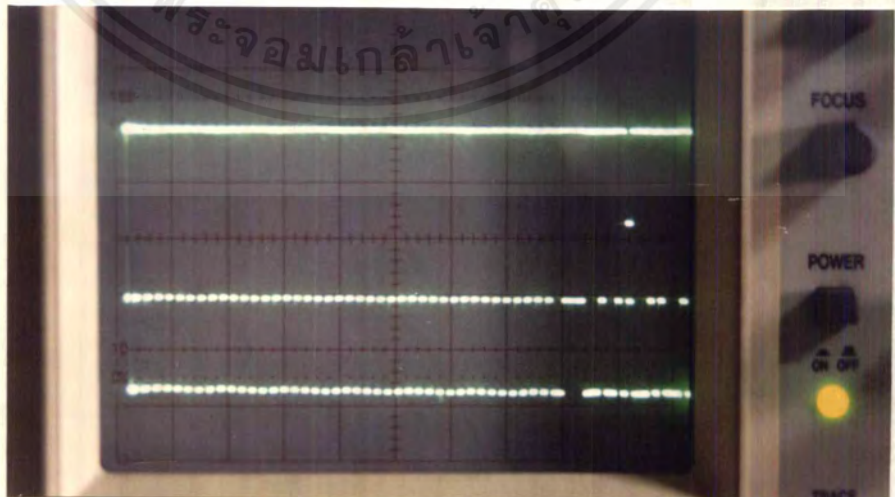
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองภาคทฤษฎีสัญญาณนาฬิกา (Clock Recovery)



รูปที่ 4.1 สัญญาณนาฬิกาที่กู้

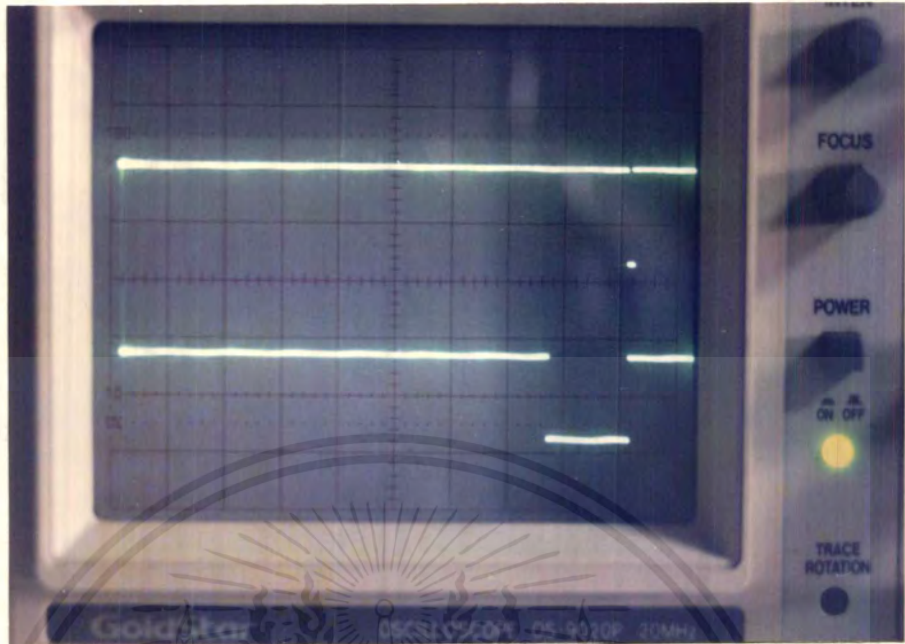
4.2 ผลการทดลองภาคตรวจจับเฟรมซิงค์ (Frame Sync Detector)



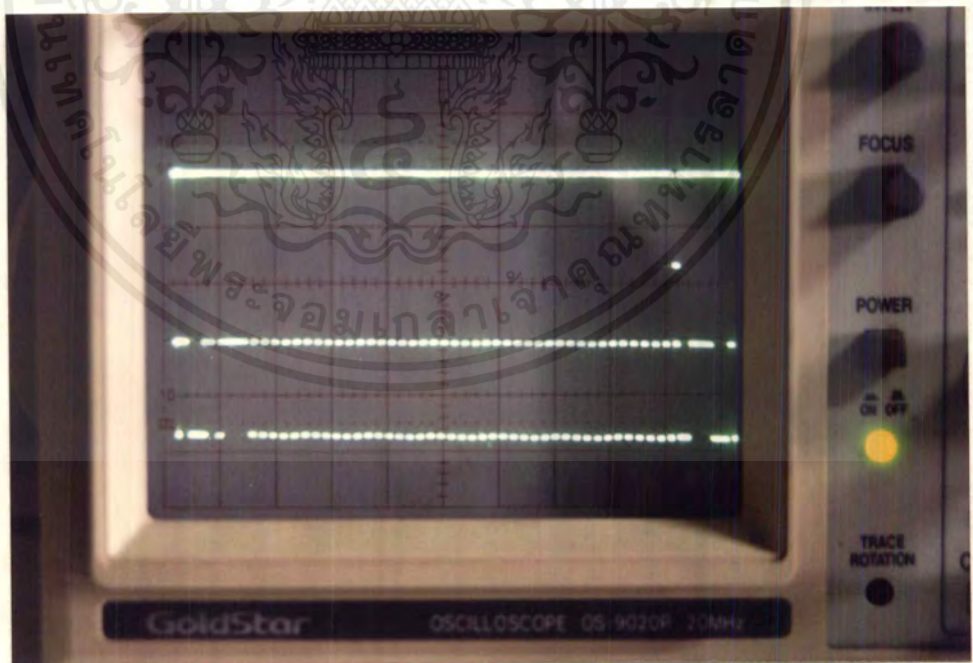
รูปที่ 4.2 สัญญาณเฟรมซิงค์เทียบกับสัญญาณ NRZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองภาคคีงสัญญาณข้อมูลเข้ารหัส (Latch Encode Data)



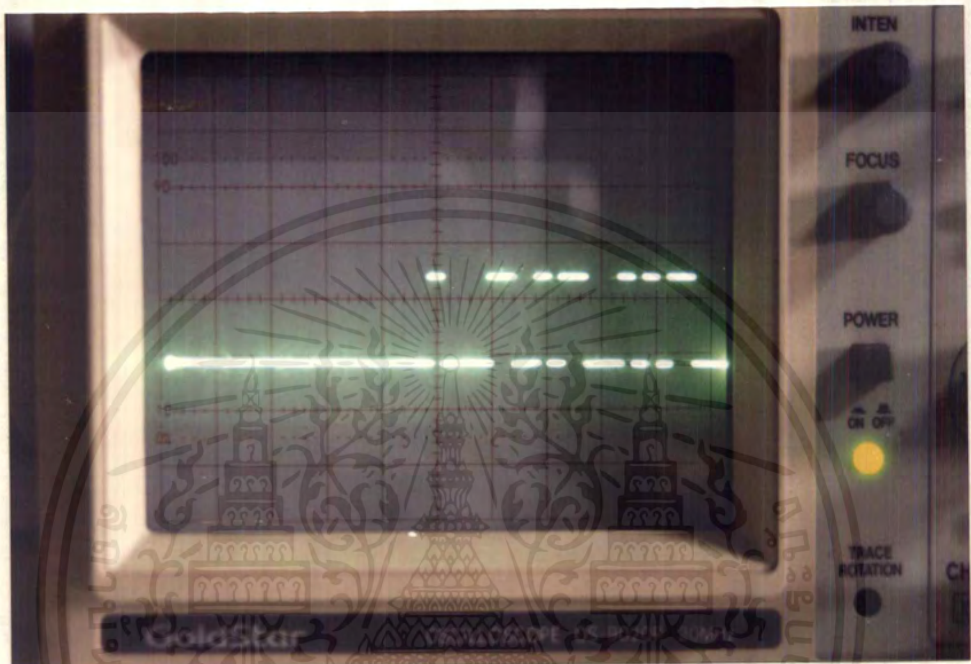
รูปที่ 4.3 สัญญาณเฟรมซิงค์เทียบกับสัญญาณคิงข้อมูล



รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาท์พุทจากวงจรนับ140 เทียบกับสัญญาณ NRZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

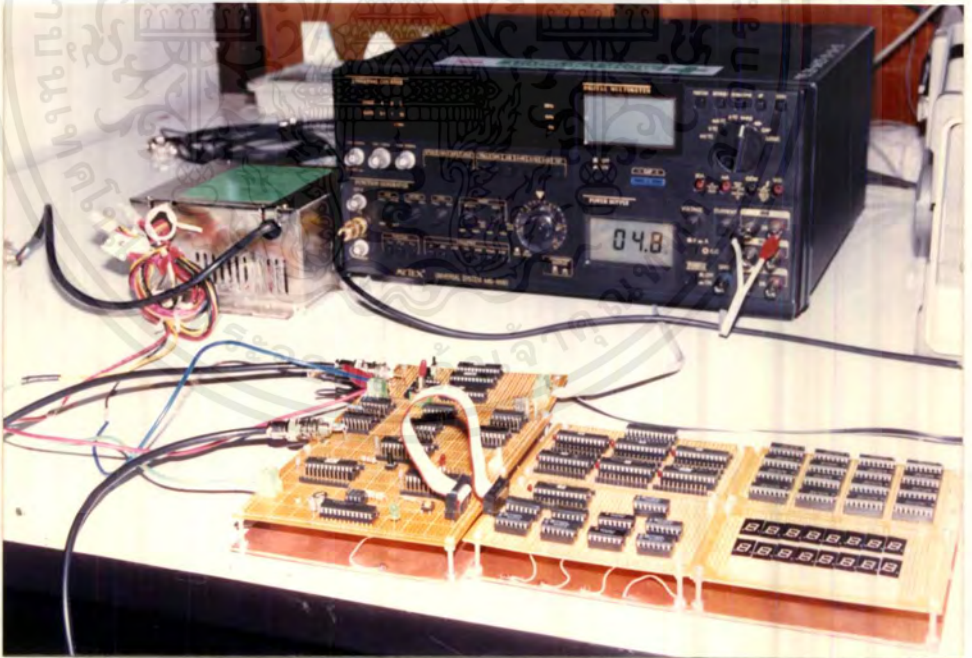
4.4 ผลการทดลองภาคถอดรหัส



รูปที่ 4.5 สัญญาณข้อมูล (Information Bit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

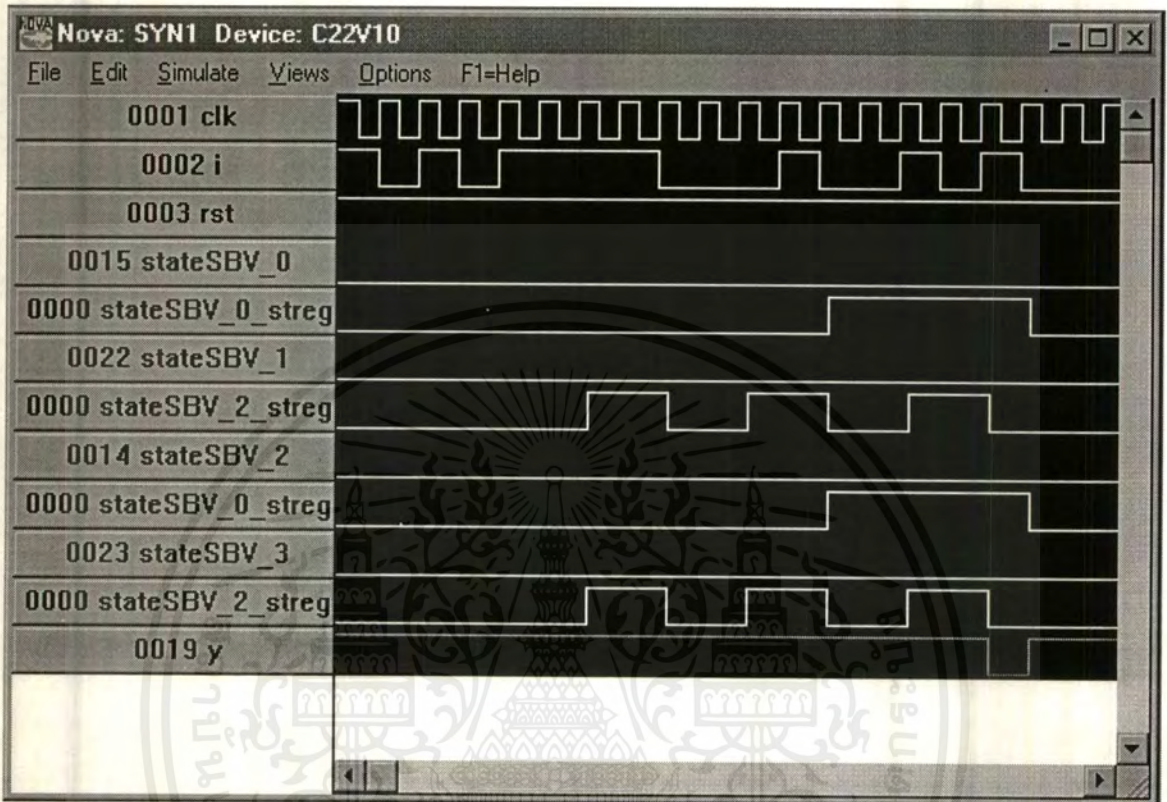
4.5 ชิ้นงานที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 4.6 ชิ้นงานที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดลอง Simulate วงจรตรวจจับเฟรมซิงค์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C22V10

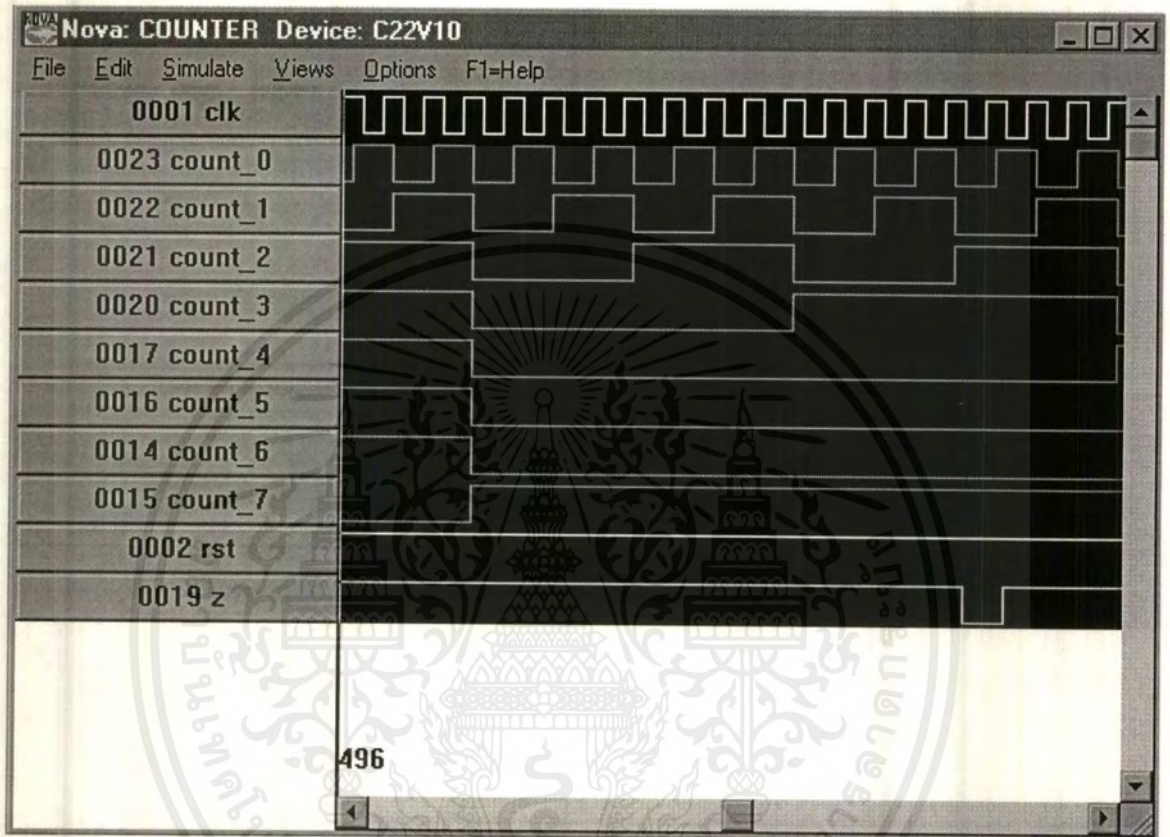
clk = 1	24 * not used
i = 2	23 = stateSBV_3
rst = 3	22 = stateSBV_1
not used * 4	21 * not used
not used * 5	20 * not used
not used * 6	19 = y
not used * 7	18 * not used
not used * 8	17 * not used
not used * 9	16 * not used
not used * 10	15 = stateSBV_0
not used * 11	14 = stateSBV_2
not used * 12	13 * not used

Summary:

Error Count = 0 Warning Count = 0

Completed Successfully

4.7 ผลการทดลอง Simulate วงจรนับ 140



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C22V10

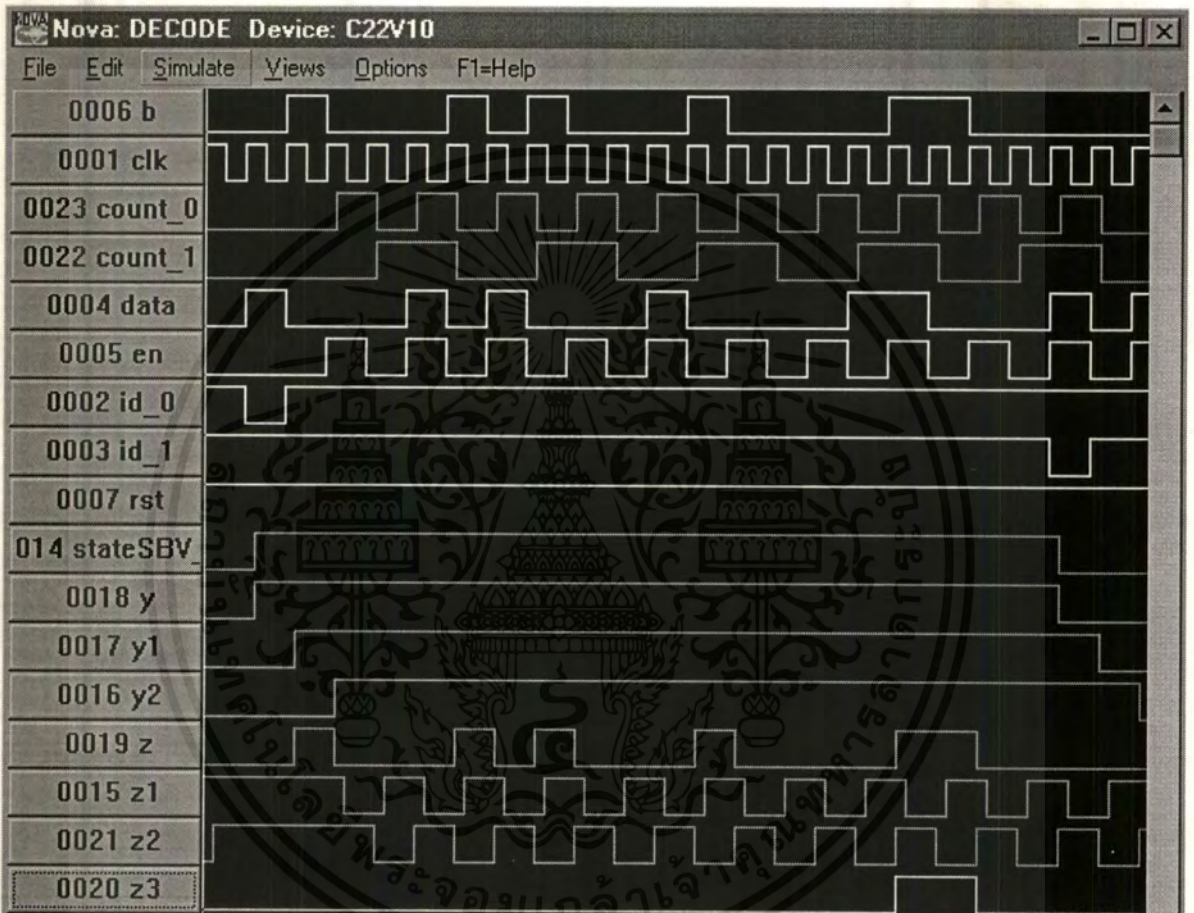
clk = 1	24 * not used
rst = 2	23 = count_0
not used * 3	22 = count_1
not used * 4	21 = count_2
not used * 5	20 = count_3
not used * 6	19 = z
not used * 7	18 * not used
not used * 8	17 = count_4
not used * 9	16 = count_5
not used * 10	15 = count_7
not used * 11	14 = count_6
not used * 12	13 * not used

Summary:

Error Count = 0 Warning Count = 0

Completed Successfully

4.8 ผลการทดลอง Simulate วงจร ดึงสัญญาณข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C22V10

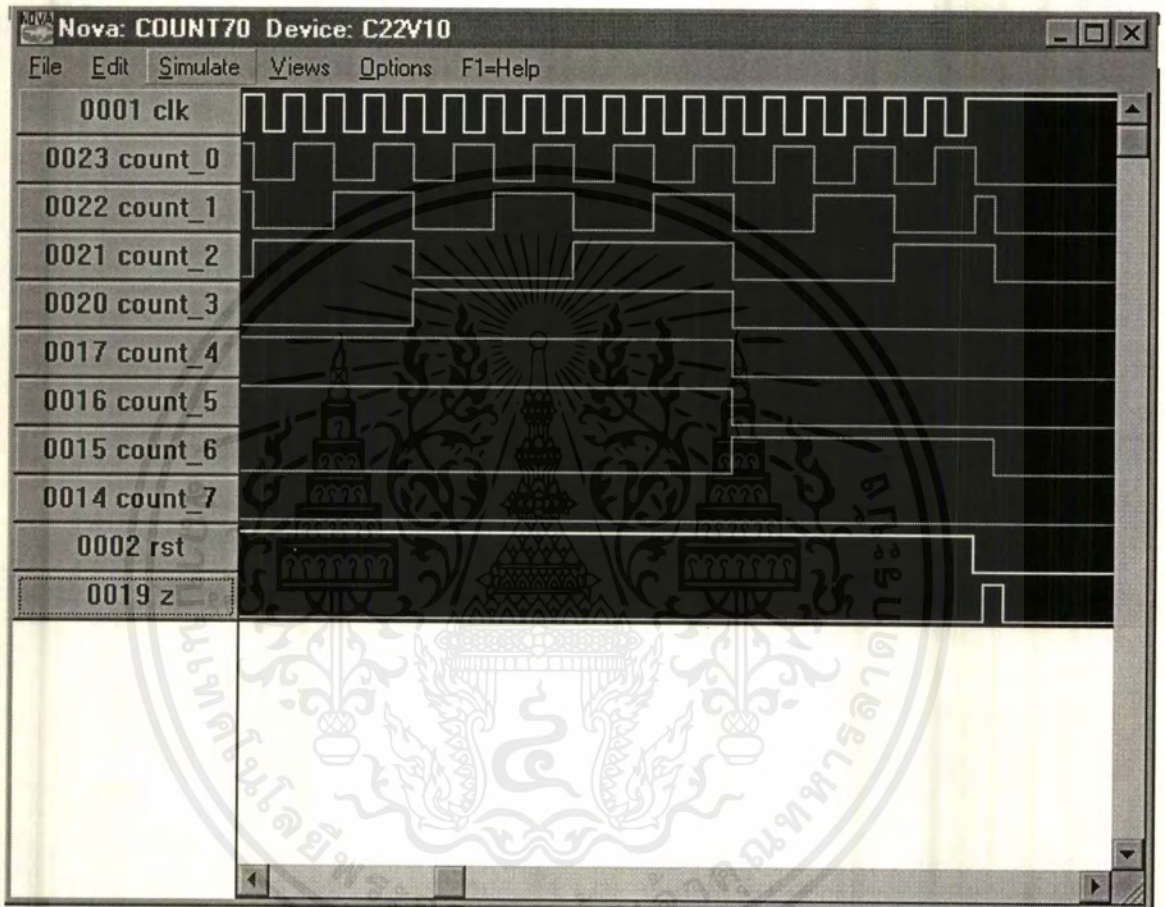
clk = 1	24 * not used
id_0 = 2	23 = count_0
id_1 = 3	22 = count_1
data = 4	21 = z2
en = 5	20 = z3
b = 6	19 = z
rst = 7	18 = y
not used * 8	17 = y1
not used * 9	16 = y2
not used * 10	15 = z1
not used * 11	14 = stateSBV_0
not used * 12	13 * not used

Summary:

Error Count = 0 Warning Count = 0

Completed Successfully

4.9 ผลการทดลอง Simulate วงจรนับ 70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C22V10

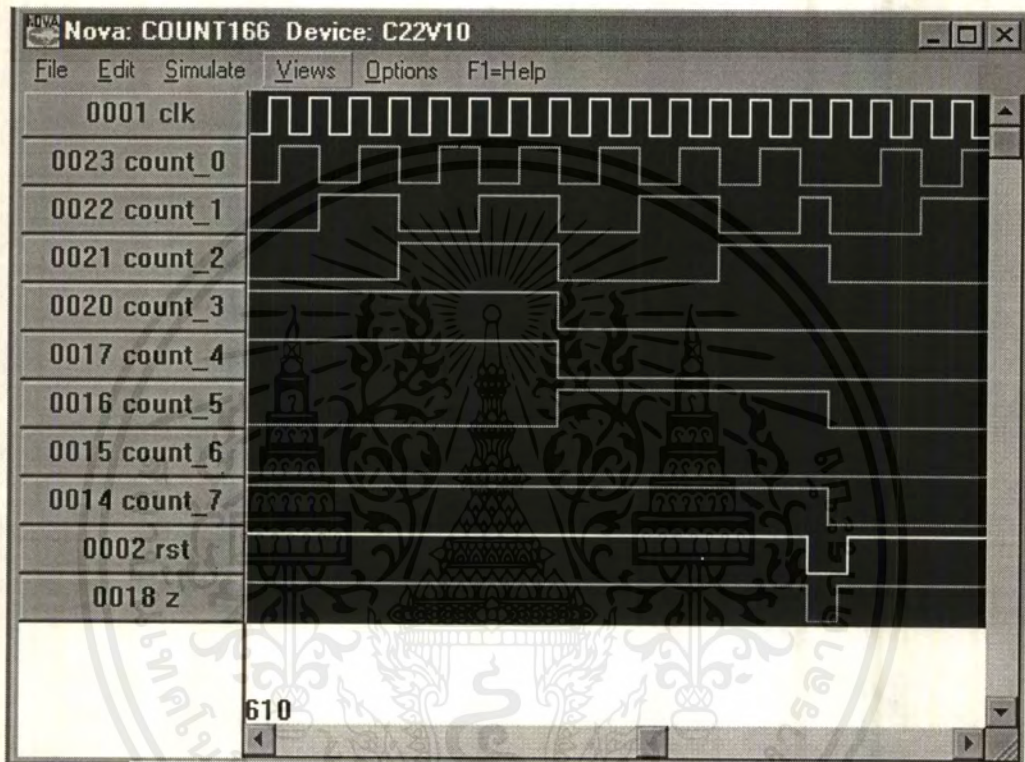
clk = 1	24 * not used
rst = 2	23 = count_0
not used * 3	22 = count_1
not used * 4	21 = count_2
not used * 5	20 = count_3
not used * 6	19 = z
not used * 7	18 * not used
not used * 8	17 = count_4
not used * 9	16 = count_5
not used * 10	15 = count_6
not used * 11	14 = count_7
not used * 12	13 * not used

Summary:

Error Count = 0 Warning Count = 0

Completed Successfully

4.10 ผลการทดลอง Simulate วงจรนับ 166



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C22V10

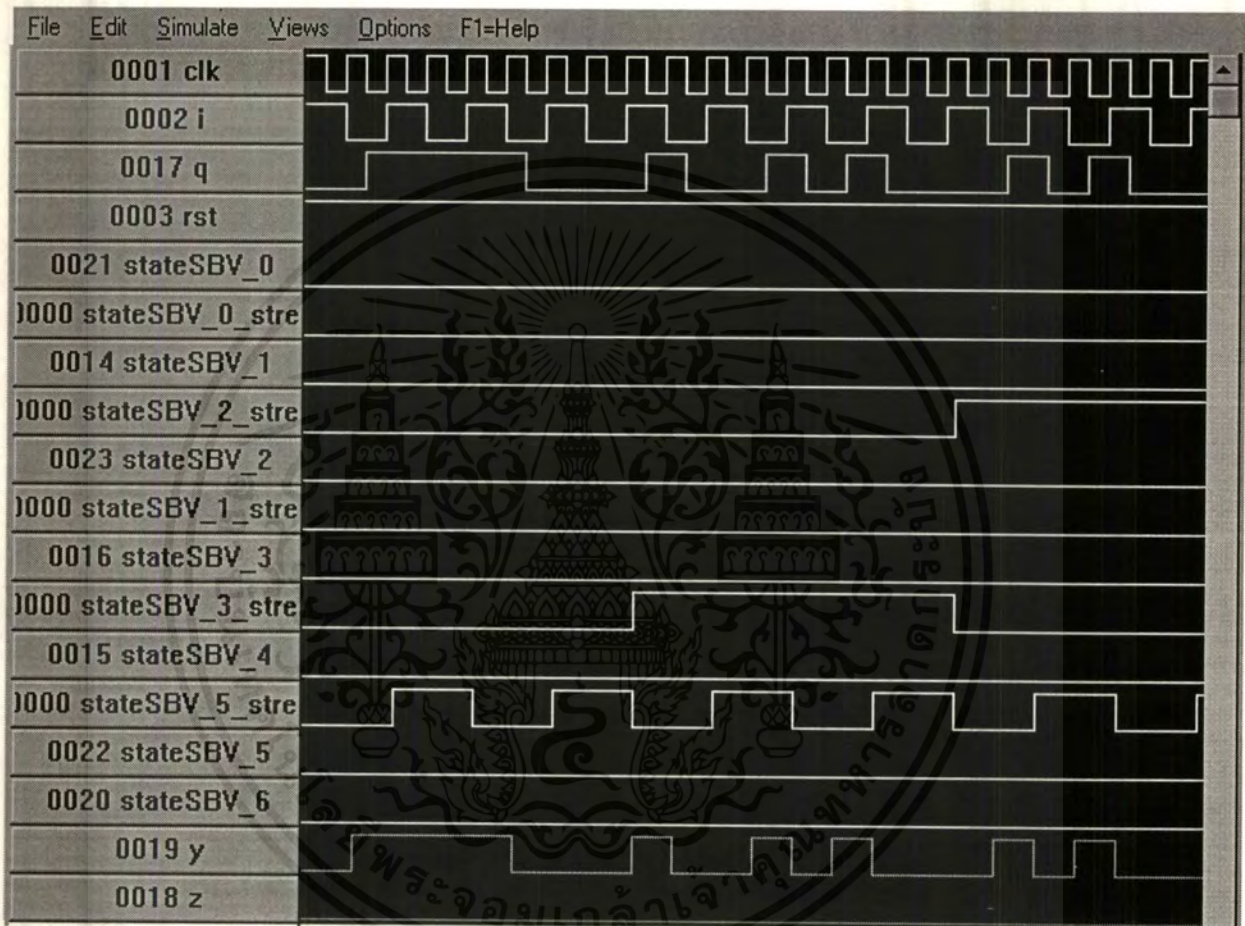
clk = 1	24 * not used
rst = 2	23 = count_0
not used * 3	22 = count_1
not used * 4	21 = count_2
not used * 5	20 = count_3
not used * 6	19 * not used
not used * 7	18 = z
not used * 8	17 = count_4
not used * 9	16 = count_5
not used * 10	15 = count_6
not used * 11	14 = count_7
not used * 12	13 * not used

Summary:

Error Count = 0 Warning Count = 0

Completed Successfully

4.11 ผลการทดลอง Simulate วงจรกำเนิดสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C22V10

clk = 1	24 * not used
i = 2	23 = stateSBV_2
rst = 3	22 = stateSBV_5
not used * 4	21 = stateSBV_0
not used * 5	20 = stateSBV_6
not used * 6	19 = y
not used * 7	18 = z
not used * 8	17 = q
not used * 9	16 = stateSBV_3
not used * 10	15 = stateSBV_4
not used * 11	14 = stateSBV_1
not used * 12	13 * not used

Summary:

Error Count = 0 Warning Count = 0

Completed Successfully

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในบทที่ 4 จากภาคผู้สัญญาณนาฬิกาสามารถสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีบิตเรท 1200 Hz ดังผลการทดลองตามรูปที่ 4.1 ซึ่งภาคผู้สัญญาณนาฬิกาสามารถทำให้สัญญาณนาฬิกาที่ผลิตขึ้นซิงค์กับสัญญาณ NRZ ที่เข้ามาเป็นผลให้สามารถ ตรวจสอบสัญญาณเฟรมซิงค์ได้ ดังผลการทดลองตามรูปที่ 4.2 เทียบกับสัญญาณซิมมูลเลทที่มีผลตรงกัน ซึ่งสัญญาณซิงค์ที่ตรวจจับได้ จะเป็นสัญญาณอินพุทให้กับภาค Latch Encode Data และ Decode Data ซึ่งในภาคนี้จะทำหน้าที่ดึงสัญญาณข้อมูลที่ส่งมา และนำข้อมูลที่ได้นำออกแสดงผลทาง 7-Segment โดยผลที่แสดงมีทั้งหมด 16 หลัก ซึ่งแต่ละหลักจะมีความหมายบอกค่าต่าง ๆ ดูเทียบได้จากตารางที่ 2.1 จากผลที่แสดงจะทราบได้ว่า ทางสถานีฐานส่งสัญญาณเฟรม Calling Channel Indication (เฟรมที่ 1.a) มาในแชนเนลที่เท่าไร และสถานีฐานที่ตั้งอยู่ใน Traffic Area ที่เท่าไร ถ้าสามารถตรวจจับสัญญาณเฟรมซิงค์ และ เฟรม Calling Channel Indication ได้แสดงว่าอยู่ในเขตพื้นที่การให้บริการ แต่ถ้าไม่สามารถ ตรวจจับ ได้แสดงว่าอยู่นอกพื้นที่การให้บริการของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่ NMT 470 MHz

บรรณานุกรม

1. คู่มือช่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ Cellular Mobile Telephone System เล่มที่ 1, 2, 3 ศูนย์การฝึกอบรมองค์การโทรศัพท์ฯ
2. ดิจิตอลเทคนิค เล่ม 2 น.อ.ชวิชัย เลื่อนฉวี พิมพ์ที่ บริษัท สุภาลัย มีเดีย พฤษภาคม 2532
3. การออกแบบวงจรด้วยไอซี TTL ชานินทร์ ถาวรศาสนวงศ์ พิมพ์ที่ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
4. Warp Synthesis Compiler Manual Cypress Semiconductor 3901 North First Street San Jose, CA, 95134 (408)943-2600 JANUARY 1995.
5. ปรินญาณิพนธ์เรื่อง การ์ดถอดรหัสเพจเจอร์บนไมโครคอมพิวเตอร์. ภาคเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาคตรวจจับเฟรมซิงค์ (Program Frame Sync Detector)

Entity po is port (

```
    clk,rst,i:in bit;  
    y:out bit);
```

Attribute part_name of po :entity is "c22v10";

Attribute pin_numbers of po:entity is

```
"i:2 rst:3 clk:1 y:19";
```

End po;

Architecture archpo of po is

```
    type states is (state0,state1,state2,state3,state4,state5,state6,state7,state8,state9,  
                   state10,state11,state12);
```

```
    signal state:states;
```

begin

```
    s1:process(clk,rst,i)
```

```
    begin
```

```
        if rst='0' then
```

```
            state<=state0;
```

```
            y<='1';
```

```
        elsif(clk'event and clk='1')then
```

```
            case state is
```

```
                when state0=>
```

```
                    if i='1' then
```

```
                        state<=state1;
```

```
                        y<='1';
```

```
else
    state<=state0;
    y<='1';
end if;
```

```
when state1=>
    if i='1'then
        state<=state2;
        y<='1';
```

```
else
    state<=state0;
    y<='1';
end if;
```

```
when state2=>
    if i='1'then
        state<=state3;
        y<='1';
```

```
else
    state<=state0;
    y<='1';
end if;
```

```
when state3=>
    if i='1'then
        state<=state4;
        y<='1';
```

```
else
    state<=state0;
    y<='1';
```

```
end if;
```

```
when state4=>
```

```
  if i='0'then
```

```
    state<=state5;
```

```
    y<='1';
```

```
  else
```

```
    state<=state0;
```

```
    y<='1';
```

```
  end if;
```

```
when state5=>
```

```
  if i='0'then
```

```
    state<=state6;
```

```
    y<='1';
```

```
  else
```

```
    state<=state0;
```

```
    y<='1';
```

```
  end if;
```

```
when state6=>
```

```
  if i='0'then
```

```
    state<=state7;
```

```
    y<='1';
```

```
  else
```

```
    state<=state0;
```

```
    y<='1';
```

```
  end if;
```

```
when state7=>
```

```
if i='1' then
    state<=state8;
    y<='1';
else
    state<=state0;
    y<='1';
end if;
```

```
when state8=>
    if i='0'then
        state<=state9;
        y<='1';
    else
        state<=state0;
        y<='1';
    end if;
```

```
when state9=>
    if i='0'then
        state<=state10;
        y<='1';
    else
        state<=state0;
        y<='1';
    end if;
```

```
when state10=>
    if i='1'then
        state<=state11;
        y<='1';
```

```

else
    state<=state0;
    y<='1';
end if;

when state11=>
    if i='0'then
        state<=state12;
        y<='0';
    else
        state<=state0;
        y<='1';
    end if;
when state12=>
    if i='1' then
        state<=state1;
        y<='1';
    else
        state<=state0;
        y<='1';
    end if;
end case;
end if;
end process s1;
End archpo;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมวงจรนับ 140

Entity co is port(

```
    clk,rst:in bit;
    count:buffer bit_vector(7 downto 0);
    z:out bit);
```

Attribute part_name of co:entity is "c22v10";

Attribute pin_numbers of co:entity is

```
    " clk:1 rst:2 z:19 count(0):23 count(1):22 count(2):21 " &
    " count(3):20 count(4):17 count(5):16 count(6):14 count(7):15";
```

End co;

Use work.int_math.all;

Architecture archco of co is

```
begin
    s1:process(clk,rst)
        begin
            if rst='0' then
                count<="00000001";
            elsif(clk'event and clk='1')then
                count<=count+1;
            end if;
        end process;
    z<='0' when (count="10001100") else '1';
```

End archco;

โปรแกรมภาคถอดรหัส (Program Decode)

Entity po is port(

```
    clk,data,b,en,rst:in bit;
    id:in bit_vector(1 downto 0);
    count:buffer bit_vector(1 downto 0);
    z,y2,z2,z3:out bit;
    y,y1,z1:inout bit);
```

Attribute part_name of po:entity is "c22v10";

Attribute pin_numbers of po:entity is

```
    " clk:1 id(1):3 id(0):2 data:4 en:5 b:6 rst:7 " &
    " z:19 z1:15 z2:21 z3:20 y:18 y1:17 y2:16 count(0):23 count(1):22";
```

end po;

use work.int_math.all;

Architecture archpo of po is

```
    type states is (state0,state1);
    signal state:states;
```

begin

```
    s1:process(clk,id)
```

```
        begin
```

```
            case state is
```

```
                when state0=>
```

```
                    if id="10" then
```

```
                        state<=state1;
```

```
                        y<='1';
```

```
                    else
```

```

        state<=state0;
        y<='0';
    end if;

    when state1=>
        if id="11"then
            state<=state1;
            y<='1';
        elsif id="01"then
            state<=state0;
            y<='0';
        end if;
    end case;
end process s1;

s2: process
begin
    wait until clk='1';
    if y='1' then
        z<=data;
    end if;
end process s2 ;

```

```

s3:process
    begin
        wait until clk='1';
        y1<=y;
        y2<=y1;
    end process s3;

s4:process(clk)

```

```

begin
    if(clk'event and clk='1')then
        if rst='0' then
            count<="00";
        elsif y1='1' then
            count<=count+1;
        end if;
    end if;
end process s4;

s5:process
begin
    if en='1' then
        z3<=b;
    end if;
end process s5;
z1<= not count(0);

s6:process
begin
    wait until clk='1';
    z2<=z1;
end process s6;

End archpo;

```

โปรแกรมวงจรนับ 70

Entity count70 is port(

clk,rst:in bit;

z:out bit;

count:buffer bit_vector(7 downto 0));

Attribute part_name of count70:entity is"c22v10";

Attribute pin_numbers of count70:entity is

" clk:1 rst:2 z:19 count(0):23 count(1):22 "&

" count(2):21 count(3):20 count(4):17 count(5):16 "&

" count(6):15 count(7):14";

End count70;

Use work.int_math.all;

Architecture archco of count70 is

begin

s1:process(clk,rst)

begin

if rst='0' then

count<="00000000";

elsif (clk'event and clk='1')then

count<=count+1;

end if;

end process;

z<='1' when (count="01000110") else '0';

End archco;

โปรแกรม D FlipFlop

Entity count70 is port(

clk,rst:in bit;

z:out bit;

count:buffer bit_vector(7 downto 0));

Attribute part_name of count70:entity is "c22v10";

Attribute pin_numbers of count70:entity is

" clk:1 rst:2 z:19 count(0):23 count(1):22 "&

" count(2):21 count(3):20 count(4):17 count(5):16 "&

" count(6):15 count(7):14";

End count70;

Use'work.int_math.all;

Architecture archco of count70 is

begin

s1:process(clk,rst)

begin

if rst='0' then

count<="00000000";

elsif (clk'event and clk='1')then

count<=count+1;

end if;

end process;

z<='1' when (count="01000110") else '0';

End archco;

โปรแกรมวงจรนับ 166

Entity co is port(

```
    clk,rst:in bit;  
    count:buffer bit_vector(7 downto 0);  
    z:out bit);
```

Attribute part_name of co:entity is "c22v10";

Attribute pin_numbers of co:entity is

```
    " clk:1 rst:2 z:19 count(0):23 count(1):22 count(2):21 " &  
    " count(3):20 count(4):17 count(5):16 count(6):14 count(7):15";
```

End co;

Use work.int_math.all;

Architecture archco of co is

```
begin  
    s1:process(clk,rst)  
        begin  
            if rst='0' then  
                count<="00000001";  
            elsif(clk'event and clk='1')then  
                count<=count+1;  
            end if;  
        end process;  
        z<='0' when (count="10100110") else '1';
```

End archco;

โปรแกรมผลิตสัญญาณ

Entity po is port (

```
    clk,rst,i:in bit;  
    y,z,q:inout bit);
```

Attribute part_name of po :entity is "c22v10";

Attribute pin_numbers of po:entity is

```
"i:2 clk:1 rst:3 y:19 z:18 q:17";
```

End po;

Architecture archpo of po is

```
    type states is (state0,state1,state2,state3,state4,state5,state6,state7, state8,  
                    state9,state10,state11,state12,state13,state14,state15,state16,  
                    state17,state18,state19,state20,state21,state22,state23,state24,  
                    state25,state26,state27,state28,state29,state30,state31,state32,  
                    state33,state34,state35,state36,state37,state38,state39,state40,  
                    state41,state42,state43,state44,state45,state46,state47,state48,  
                    state49,state50,state51,state52,state53,state54,state55,state56,  
                    state57,state58,state59,state60,state61,state62,state63,state64,  
                    state65,state66,state67,state68,state69,state70,state71,state72);
```

```
    signal state:states;
```

begin

```
    s1:process(clk,rst)
```

```
        begin
```

```
            if rst='0'then
```

```
                state<=state0;
```

```
                y<='0';
```

```

    elsif(clk'event and clk='1')then
case state is
    when state0 =>
        if i='1'then
            state<=state1;
            y<='1';

        end if;
    when state1=>
        if i='0' then
            state<=state2;
            y<='1';
        end if;
    when state2=>
        if i='1' then
            state<=state3;
            y<='1';
        end if;
    when state3=>
        if i='0' then
            state<=state4;
            y<='1';
        end if;
    when state4=>
        if i='1' then
            state<=state5;
            y<='0';
        end if;
    when state5=>
        if i='0' then

```

```
state<=state6;
y<='0';
end if;
when state6=>
if i='1'then
state<=state7;
y<='0';
end if;
when state7=>
if i='0'then
state<=state8;
y<='1';
end if;
when state8=>
if i='1'then
state<=state9;
y<='0';
end if;
when state9=>
if i='0' then
state<=state10;
y<='0';
end if;
when state10=>
if i='1' then
state<=state11;
y<='1';
end if;
when state11=>
if i='0' then
```

```
state<=state12;
y<='0';
end if;
when state12=>
if i='1'then
state<=state13;
y<='1';
end if;
when state13=>
if i='0'then
state<=state14;
y<='0';
end if;
when state14=>
if i='1'then
state<=state15;
y<='0';
end if;
when state15=>
if i='0'then
state<=state16;
y<='0';
end if;
when state16=>
if i='1'then
state<=state17;
y<='1';
end if;
when state17=>
if i='0'then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

state<=state18;
y<='0';
end if;
when state18=>
if i='1'then
state<=state19;
y<='1';
end if;
when state19=>
if i='0'then
state<=state20;
y<='0';
end if;
when state20=>
if i='1'then
state<=state21;
y<='0';
end if;
when state21=>
if i='0'then
state<=state22;
y<='0';
end if;
when state22=>
if i='1'then
state<=state23;
y<='1';
end if;
when state23=>
if i='0'then

```

```

        state<=state24;
        y<='0';
    end if;
when state24=>
    if i='1'then
        state<=state25;
        y<='0';
    end if;
when state25=>
    if i='0'then
        state<=state26;
        y<='0';
    end if;
when state26=>
    if i='1'then
        state<=state27;
        y<='0';
    end if;
when state27=>
    if i='0'then
        state<=state28;
        y<='1';
    end if;
when state28=>
    if i='1'then
        state<=state29;
        y<='1';
    end if;
when state29=>
    if i='0'then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        state<=state30;
        y<='0';
    end if;
when state30=>
    if i='1'then
        state<=state31;
        y<='0';
    end if;
when state31=>
    if i='0'then
        state<=state32;
        y<='0';
    end if;
when state32=>
    if i='1'then
        state<=state33;
        z<='1';
    end if;
when state33=>
    if i='0'then
        state<=state34;
        z<='0';
    end if;
when state34=>
    if i='1'then
        state<=state35;
        z<='1';
    end if;
when state35=>
    if i='0'then

```

```
        state<=state36;
        z<='0';
    end if;
when state36=>
    if i='1'then
        state<=state37;
        z<='0';
    end if;
when state37=>
    if i='0'then
        state<=state38;
        z<='1';
    end if;
when state38=>
    if i='1'then
        state<=state39;
        z<='1';
    end if;
when state39=>
    if i='0'then
        state<=state40;
        z<='1';
    end if;
when state40=>
    if i='1'then
        state<=state41;
        z<='1';
    end if;
when state41=>
    if i='0'then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
state<=state42;
z<='0';
end if;
when state42=>
if i='1'then
state<=state43;
z<='0';
end if;
when state43=>
if i='0'then
state<=state44;
z<='0';
end if;
when state44=>
if i='1'then
state<=state45;
z<='0';
end if;
when state45=>
if i='0'then
state<=state46;
z<='1';
end if;
when state46=>
if i='1'then
state<=state47;
z<='0';
end if;
when state47=>
if i='0'then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

state<=state48;
z<='0';
end if;
when state48=>
if i='1'then
state<=state49;
z<='1';
end if;
when state49=>
if i='0'then
state<=state50;
z<='1';
end if;
when state50=>
if i='1'then
state<=state51;
z<='0';
end if;
when state51=>
if i='0'then
state<=state52;
z<='1';
end if;
when state52=>
if i='1'then
state<=state53;
z<='0';
end if;
when state53=>
if i='0'then

```

```
state<=state54;
z<='0';
end if;
when state54=>
if i='1'then
state<=state55;
z<='0';
end if;
when state55=>
if i='0'then
state<=state56;
z<='0';
end if;
when state56=>
if i='1'then
state<=state57;
z<='1';
end if;
when state57=>
if i='0'then
state<=state58;
z<='0';
end if;
when state58=>
if i='1'then
state<=state59;
z<='1';
end if;
when state59=>
if i='0'then
```

```

state<=state60;
z<='1';
end if;
when state60=>
if i='1'then
state<=state61;
z<='0';
end if;
when state61=>
if i='0'then
state<=state62;
z<='0';
end if;
when state62=>
if i='1'then
state<=state63;
z<='0';
end if;
when state63=>
if i='0'then
state<=state64;
z<='1';
end if;
when state64=>
if i='1'then
state<=state65;
z<='1';
end if;
when state65=>
if i='0'then

```

```

state<=state66;
z<='0';
end if;
when state66=>
if i='1'then
state<=state67;
z<='1';
end if;
when state67=>
if i='0'then
state<=state68;
z<='1';
end if;
when state68=>
if i='1'then
state<=state69;
z<='1';
end if;
when state69=>
if i='0'then
state<=state70;
z<='1';
end if;
when state70=>
if i='1'then
state<=state71;
z<='1';
end if;
when state71=>
if i='0'then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
state<=state72;  
z<='0';  
end if;  
when state72=>  
if i='1'then  
state<=state71;  
z<='1';  
end if;  
  
end case;  
end if;  
end process s1;  
q<= (y or z) ;  
end archpo;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PALCE22V10 COM'L: H-5/7/10/15/25, Q-10/15/25 IND: H-10/15/20/25
PALCE22V10Z COM'L: -25 IND: -15/25



PALCE22V10 and PALCE22V10Z Families

24-Pin EE CMOS (Zero Power) Versatile PAL Device

DISTINCTIVE CHARACTERISTICS

- ◆ As fast as 5-ns propagation delay and 142.8 MHz f_{MAX} (external)
- ◆ Low-power EE CMOS
- ◆ 10 macrocells programmable as registered or combinatorial, and active high or active low to match application needs
- ◆ Varied product term distribution allows up to 16 product terms per output for complex functions
- ◆ Peripheral Component Interconnect (PCI) compliant (-5/-7/-10)
- ◆ Global asynchronous reset and synchronous preset for initialization
- ◆ Power-up reset for initialization and register preload for testability
- ◆ Extensive third-party software and programmer support
- ◆ 24-pin SKINNY DIP, 24-pin SOIC, and 28-pin PLCC
- ◆ 5-ns and 7.5-ns versions utilize split leadframes for improved performance

GENERAL DESCRIPTION

The PALCE22V10 provides user-programmable logic for replacing conventional SSI/MSI gates and flip-flops at a reduced chip count.

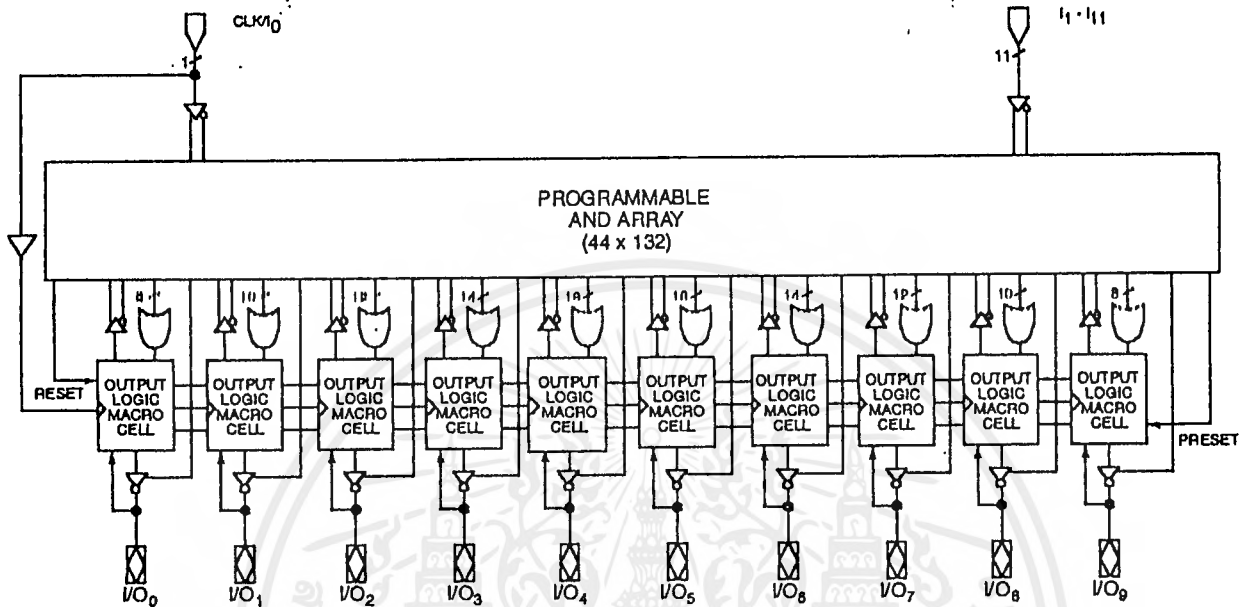
The PALCE22V10Z is an advanced PAL[®] device built with zero-power, high-speed, electrically-erasable CMOS technology. It provides user-programmable logic for replacing conventional zero-power CMOS SSI/MSI gates and flip-flops at a reduced chip count.

The PALCE22V10Z provides zero standby power and high speed. At 30 μ A maximum standby current, the PALCE22V10Z allows battery-powered operation for an extended period.

The PAL device implements the familiar Boolean logic transfer function, the sum of products. The PAL device is a programmable AND array driving a fixed OR array. The AND array is programmed to create custom product terms, while the OR array sums selected terms at the outputs.

The product terms are connected to the fixed OR array with a varied distribution from 8 to 16 across the outputs (see Block Diagram). The OR sum of the products feeds the output macrocell. Each macrocell can be programmed as registered or combinatorial, and active-high or active low. The output configuration is determined by two bits controlling two multiplexers in each macrocell.

BLOCK DIAGRAM



FUNCTIONAL DESCRIPTION

The PALCE22V10 allows the systems engineer to implement the design on-chip, by programming EE cells to configure AND and OR gates within the device, according to the desired logic function. Complex interconnections between gates, which previously required time-consuming layout, are lifted from the PC board and placed on silicon, where they can be easily modified during prototyping or production.

The PALCE22V10Z is the zero-power version of the PALCE22V10. It has all the architectural features of the PALCE22V10. In addition, the PALCE22V10Z has zero standby power and unused product term disable.

Product terms with all connections opened assume the logical HIGH state; product terms connected to both true and complement of any single input assume the logical LOW state.

The PALCE22V10 has 12 inputs and 10 I/O macrocells. The macrocell (Figure 1) allows one of four potential output configurations registered output or combinatorial I/O, active high or active low (see Figure 1). The configuration choice is made according to the user's design specification and corresponding programming of the configuration bits $S_0 - S_1$. Multiplexer controls are connected to ground (0) through a programmable bit, selecting the "0" path through the multiplexer. Erasing the bit disconnects the control line from GND and it is driven to a high level, selecting the "1" path.

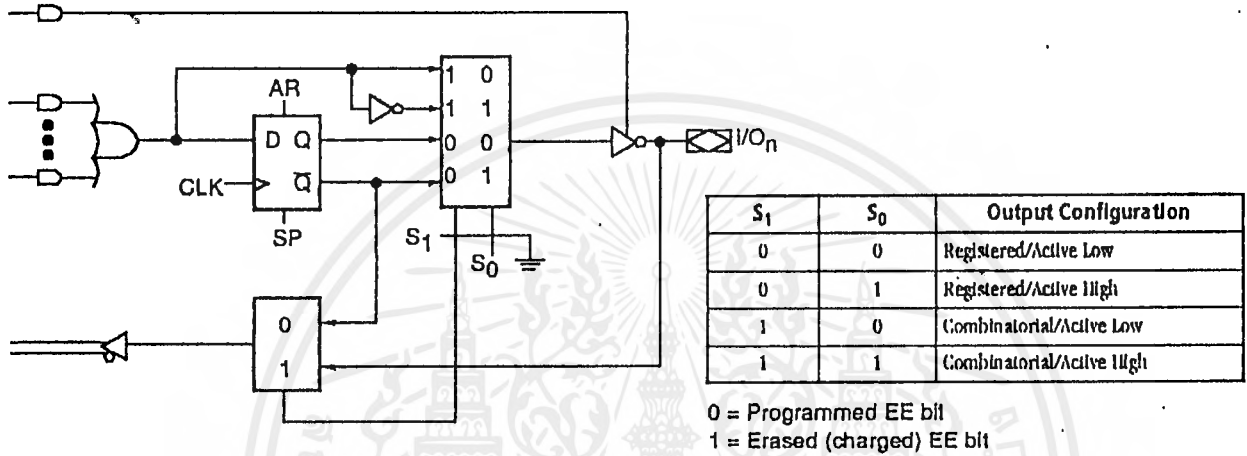
The device is produced with an EE cell link at each input to the AND gate array, and connections may be selectively removed by applying appropriate voltages to the circuit. Utilizing an easily-implemented programming algorithm, these products can be rapidly programmed to any customized pattern.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



Variable Input/Output Pin Ratio

The PALCE22V10 has twelve dedicated input lines, and each macrocell output can be an I/O pin. Buffers for device inputs have complementary outputs to provide user-programmable input signal polarity. Unused input pins should be tied to V_{CC} or GND.



16564E-004

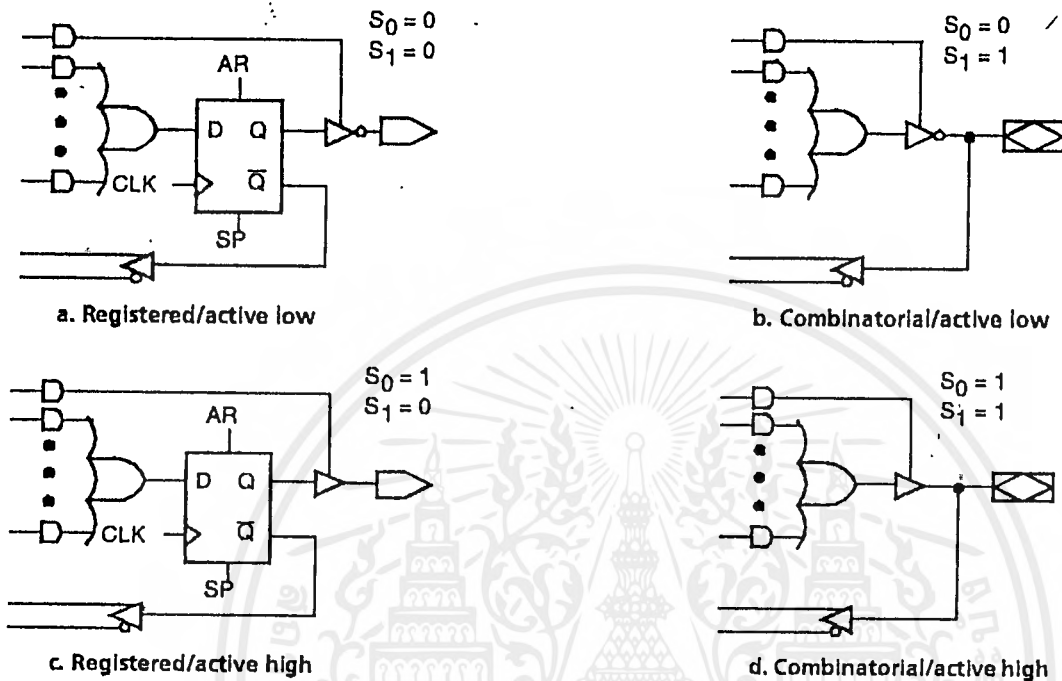
Figure 1. Output Logic Macrocell Diagram

Registered Output Configuration

Each macrocell of the PALCE22V10 includes a D-type flip-flop for data storage and synchronization. The flip-flop is loaded on the LOW-to-HIGH transition of the clock input. In the registered configuration ($S_1 = 0$), the array feedback is from \bar{Q} of the flip-flop.

Combinatorial I/O Configuration

Any macrocell can be configured as combinatorial by selecting the multiplexer path that bypasses the flip-flop ($S_1 = 1$). In the combinatorial configuration, the feedback is from the pin.



16564E-005

Figure 2. Macrocell Configuration Options

Programmable Three-State Outputs

Each output has a three-state output buffer with three-state control. A product term controls the buffer, allowing enable and disable to be a function of any product of device inputs or output feedback. The combinatorial output provides a bi-directional I/O pin, and may be configured as a dedicated input if the buffer is always disabled.

Programmable Output Polarity

The polarity of each macrocell output can be active high or active low, either to match output signal needs or to reduce product terms. Programmable polarity allows Boolean expressions to be written in their most compact form (true or inverted), and the output can still be of the desired polarity. It can also save "DeMorganizing" efforts.

Selection is controlled by programmable bit S_0 in the output macrocell, and affects both registered and combinatorial outputs. Selection is automatic, based on the design specification and pin definitions. If the pin definition and output equation have the same polarity, the output is programmed to be active high ($S_0 = 1$).

Preset/Reset

For initialization, the PALCE22V10 has preset and reset product terms. These terms are connected to all registered outputs. When the synchronous preset (SP) product term is asserted high, the output registers will be loaded with a HIGH on the next LOW-to-HIGH clock transition. When the asynchronous reset (AR) product term is asserted high, the output registers will be immediately loaded with a LOW independent of the clock.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



Note that preset and reset control the flip-flop, not the output pin. The output level is determined by the output polarity selected.

Power-Up Reset

All flip-flops power up to a logic LOW for predictable system initialization. Outputs of the PALCE22V10 will depend on the programmed output polarity. The V_{CC} rise must be monotonic, and the reset delay time is 1000ns maximum.

Register Preload

The register on the PALCE22V10 can be preloaded from the output pins to facilitate functional testing of complex state machine designs. This feature allows direct loading of arbitrary states, making it unnecessary to cycle through long test vector sequences to reach a desired state. In addition, transitions from illegal states can be verified by loading illegal states and observing proper recovery.

Security Bit

After programming and verification, a PALCE22V10 design can be secured by programming the security EE bit. Once programmed, this bit defeats readback of the internal programmed pattern by a device programmer, securing proprietary designs from competitors. When the security bit is programmed, the array will read as if every bit is erased, and preload will be disabled.

The bit can only be erased in conjunction with erasure of the entire pattern.

Programming and Erasing

The PALCE22V10 can be programmed on standard logic programmers. It also may be erased to reset a previously configured device back to its unprogrammed state. Erasure is automatically performed by the programming hardware. No special erase operation is required.

Quality and Testability

The PALCE22V10 offers a very high level of built-in quality. The erasability of the device provides a direct means of verifying performance of all AC and DC parameters. In addition, this verifies complete programmability and functionality of the device to provide the highest programming yields and post-programming functional yields in the industry.

Technology

The high-speed PALCE22V10 is fabricated with Vantis' advanced electrically erasable (EE) CMOS process. The array connections are formed with proven EE cells. Inputs and outputs are designed to be compatible with TTL devices. This technology provides strong input clamp diodes, output slew-rate control, and a grounded substrate for clean switching.

PCI Compliance

The PALCE22V10H devices in the -5/-7/-10 speed grades are fully compliant with the *PCI Local Bus Specification* published by the PCI Special Interest Group. The PALCE22V10H's predictable timing ensures compliance with the PCI AC specifications independent of the design.

Zero-Standby Power Mode

The PALCE22V10Z features a zero-standby power mode. When none of the inputs switch for an extended period (typically 50 ns), the PALCE22V10Z will go into standby mode, shutting down



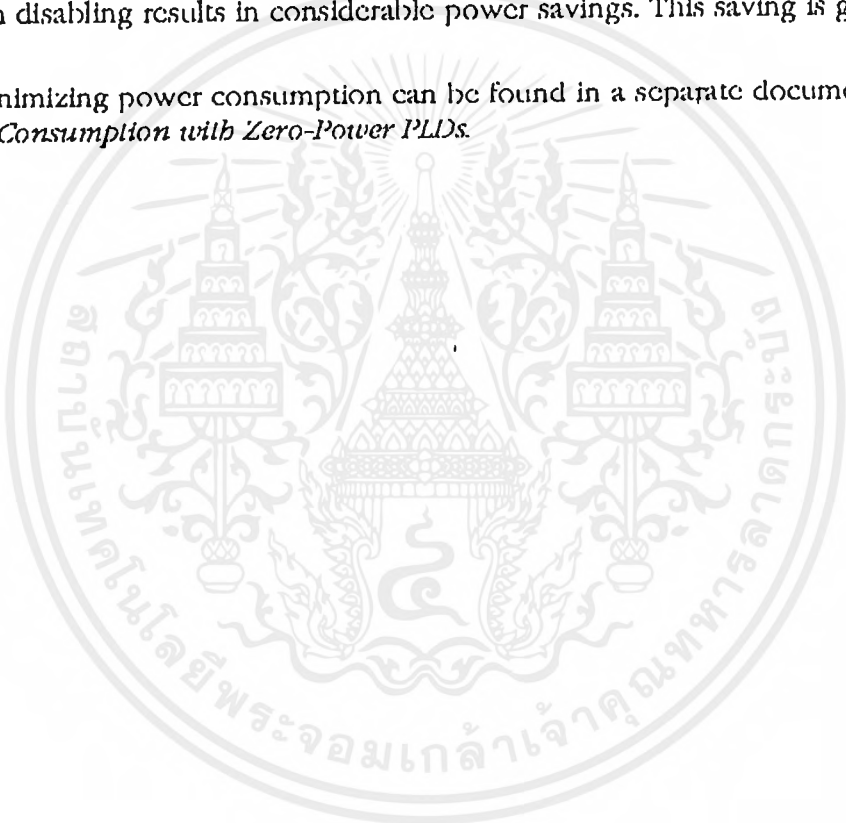
most of its internal circuitry. The current will go to almost zero ($I_{CC} < 30 \mu A$). The outputs will maintain the states held before the device went into the standby mode.

When any input switches, the internal circuitry is fully enabled, and power consumption returns to normal. This feature results in considerable power savings for operation at low to medium frequencies. This saving is illustrated in the I_{CC} vs. frequency graph.

Product-Term Disable

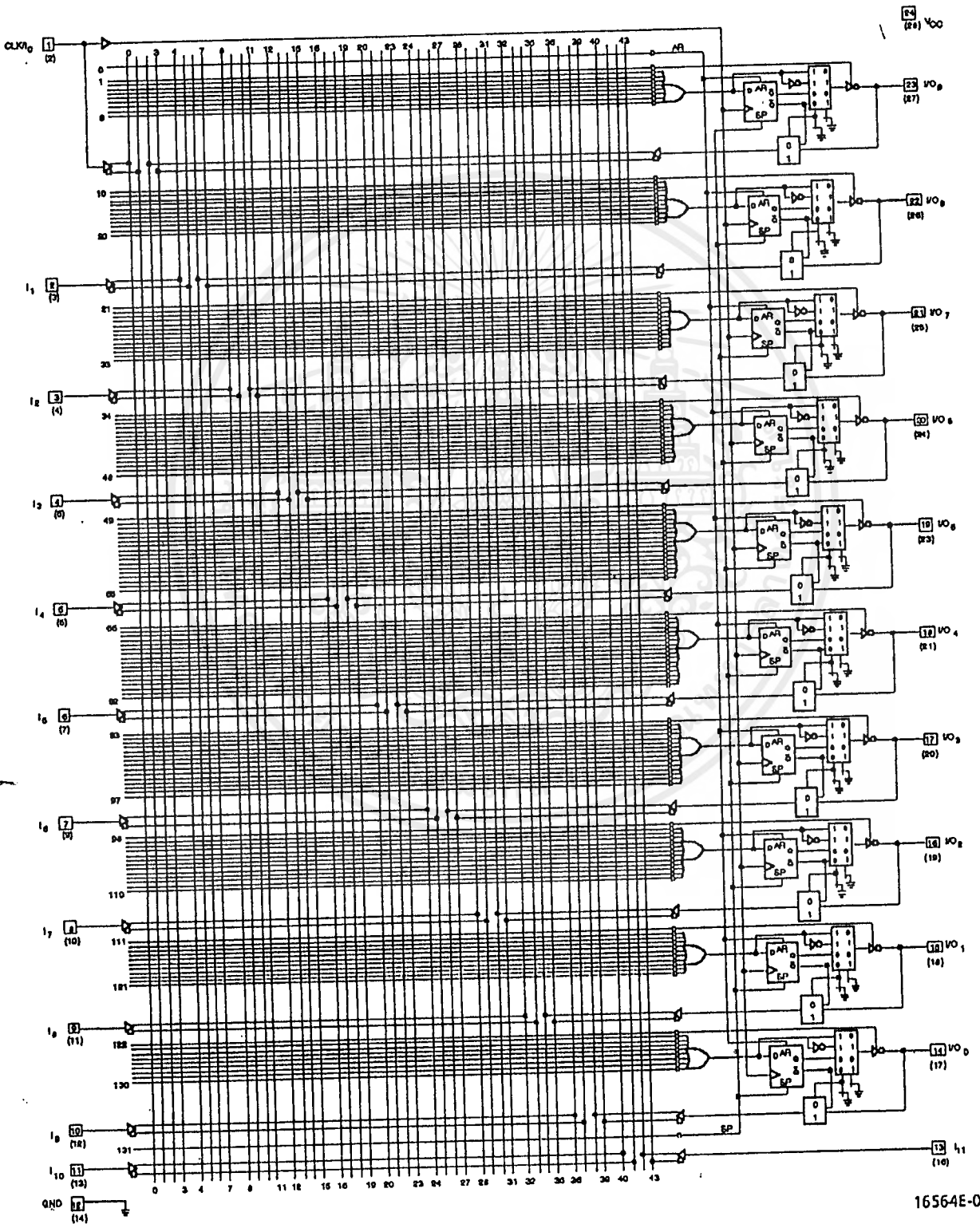
On a programmed PALCE22V10Z, any product terms that are not used are disabled. Power is cut off from these product terms so that they do not draw current. As shown in the I_{CC} vs. frequency graph, product-term disabling results in considerable power savings. This saving is greater at the higher frequencies.

Further hints on minimizing power consumption can be found in a separate document entitled, *Minimizing Power Consumption with Zero-Power PLDs*.





LOGIC DIAGRAM



PAL Devices

16564E-006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่มีการเปิดเผยทั้งสิ้น อีกทั้งที่ ไม่มีใช้ PALCE22V10 and PALCE22V10Z Families เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 337



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature	-65°C to +150°C
Ambient Temperature with Power Applied	-55°C to +125°C
Supply Voltage with Respect to Ground	-0.5 V to +7.0 V
DC Input Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 1.0$ V
DC Output or I/O Pin Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 1.0$ V
Static Discharge Voltage	2001 V
Latchup Current ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$)	100 mA

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent device failure. Functionality at or above these limits is not implied. Exposure to Absolute Maximum Ratings for extended periods may affect device reliability. Programming conditions may vary.

OPERATING RANGES

Commercial (C) Devices

Ambient Temperature (T_A)	Operating in Free Air	0°C to +75°C
Supply Voltage (V_{CC}) with Respect to Ground		+4.75 V to +5.25 V

Operating ranges define those limits between which the functionality of the device is guaranteed.

DC CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions	Min	Max	Unit
V_{OH}	Output HIGH Voltage	$I_{OH} = -3.2$ mA, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$	2.4		V
V_{OL}	Output LOW Voltage	$I_{OL} = 16$ mA, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$		0.4	V
V_{IH}	Input HIGH Voltage	Guaranteed Input Logical HIGH Voltage for all inputs (Note 1)	2.0		V
V_{IL}	Input LOW Voltage	Guaranteed Input Logical LOW Voltage for all inputs (Note 1)		0.8	V
I_{IH}	Input HIGH Leakage Current	$V_{IN} = V_{CX}$, $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		10	μA
I_{IL}	Input LOW Leakage Current	$V_{IN} = 0$ V, $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		-100	μA
I_{OZH}	Off-State Output Leakage Current HIGH	$V_{OL,T} = V_{CX}$, $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		10	μA
I_{OZL}	Off-State Output Leakage Current LOW	$V_{OL,T} = 0$ V, $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		-100	μA
I_{SC}	Output Short-Circuit Current	$V_{OL,T} = 0.5$ V, $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 3)	-30	-130	mA
I_{CC} (Static)	Supply Current	Outputs Open, ($I_{OL,T} = 0$ mA), $V_{CX} = \text{Max}$		125	mA
I_{CC} (Dynamic)	Supply Current	Outputs Open, ($I_{OL,T} = 0$ mA), $V_{CC} = \text{Max}$, $f = 25$ MHz		140	mA

Notes:

- These are absolute values with respect to the device ground, and all overshoots due to system and tester noise are included.
- I/O pin leakage is the worst case of I_{IL} and I_{OZL} (or I_{IH} and I_{OZH}).
- Not more than one output should be tested at a time, and the duration of the short-circuit test should not exceed one second. $V_{OL,T} = 0.5$ V has been chosen to avoid test problems caused by tester ground degradation.



CAPACITANCE ¹

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions		Typ	Unit
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{IN} = 2.0\text{ V}$	$V_{(X)} = 5.0\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $f = 1\text{ MHz}$	5	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{OUT} = 2.0\text{ V}$		8	

Notes:

1. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where capacitance may be affected.

SWITCHING CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES ¹

Parameter Symbol	Parameter Description		-5		Unit
			Min	Max	
t_D	Input or Feedback to Combinatorial Output			5	ns
t_{S1}	Setup Time from Input or Feedback		3		ns
t_{S2}	Setup Time from SP to Clock		4		ns
t_H	Hold Time		0		ns
t_{CO}	Clock to Output			4	ns
t_{SKEW}	Skew Between Registered Outputs (Note 2)			0.5	ns
t_{AR}	Asynchronous Reset to Registered Output			7.5	ns
t_{ARW}	Asynchronous Reset Width		4.5		ns
t_{ARR}	Asynchronous Reset Recovery Time		4.5		ns
t_{SPR}	Synchronous Preset Recovery Time		4.5		ns
t_{WL}	Clock Width	LOW	2.5		ns
t_{WH}		HIGH	2.5		ns
f_{MAX}	Maximum Frequency (Note 3)	External Feedback	$1/(t_S + t_{(X)})$	142.8	MHz
		Internal Feedback ($t_{(X)}$)	$1/(t_S + t_{(X)})$ (Note 4)	150	MHz
		No Feedback	$1/(t_{WH} + t_{WL})$	200	MHz
t_{EA}	Input to Output Enable Using Product Term Control			6	ns
t_{ER}	Input to Output Disable Using Product Term Control			5.5	ns

Notes:

- See "Switching Test Circuit" for test conditions.
- Skew is measured with all outputs switching in the same direction.
- These parameters are not 100% tested, but are calculated at initial characterization and at any time the design is modified where frequency may be affected.
- f_{CF} is a calculated value and is not guaranteed. f_{CF} can be found using the following equation:
 $f_{CF} = 1/f_{MAX} (\text{internal feedback}) - t_S$

PAL Devices



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature -65°C to +150°C
 Ambient Temperature with
 Power Applied -55°C to +125°C
 Supply Voltage with Respect
 to Ground -0.5 V to +7.0 V
 DC Input Voltage -0.5 V to V_{CC} + 1.0 V
 DC Output or I/O Pin Voltage . . -0.5 V to V_{CC} + 1.0 V
 Static Discharge Voltage 2001 V
 Latchup Current ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$) 100 mA

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent device failure. Functionality at or above these limits is not implied. Exposure to Absolute Maximum Ratings for extended periods may affect device reliability. Programming conditions may vary.

OPERATING RANGES

Commercial (C) Devices

Ambient Temperature (T_A)
 Operating in Free Air 0°C to $+75^\circ\text{C}$
 Supply Voltage (V_{CC}) with
 Respect to Ground +4.75 V to +5.25 V
Operating ranges define those limits between which the functionality of the device is guaranteed.

DC CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES

Symbol	Parameter Description	Test Conditions	Min	Max	Unit
V_{OH}	Output HIGH Voltage	$I_{OH} = -3.2\text{ mA}$, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$	2.4		V
V_{OL}	Output LOW Voltage	$I_{OL} = 16\text{ mA}$, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$		0.4	V
V_{IH}	Input HIGH Voltage	Guaranteed Input Logical HIGH Voltage for all inputs (Note 1)	2.0		V
V_{IL}	Input LOW Voltage	Guaranteed Input Logical LOW Voltage for all inputs (Note 1)		0.8	V
I_{IH}	Input HIGH Leakage Current	$V_{IN} = V_{CX}$; $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		10	μA
I_{IL}	Input LOW Leakage Current	$V_{IN} = 0\text{ V}$; $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		-100	μA
I_{OZH}	(Off-State Output Leakage Current) HIGH	$V_{OLT} = V_{CX}$; $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		10	μA
I_{OZL}	(Off-State Output Leakage Current) LOW	$V_{OLT} = 0\text{ V}$; $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		-100	μA
I_{SC}	Output Short-Circuit Current	$V_{OLT} = 0.5\text{ V}$; $V_{CX} = \text{Max}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$; (Note 3)	-30	-130	mA
$I_{CC}(\text{Static})$	Supply Current	Outputs Open, ($I_{OLT} = 0\text{ mA}$), $V_{CX} = \text{Max}$		115	mA
$I_{CC}(\text{Dynamic})$	Supply Current	Outputs Open, ($I_{OLT} = 0\text{ mA}$), $V_{CX} = \text{Max}$, $f = 25\text{ MHz}$		140	mA

- Notes:**
- These are absolute values with respect to the device ground, and all overshoots due to system and tester noise are included.
 - I/O pin leakage is the worst case of I_{IL} and I_{OZL} (or I_{IH} and I_{OZH}).
 - Not more than one output should be tested at a time. Duration of the short-circuit test should not exceed one second. $V_{OLT} = 0.5\text{ V}$ has been chosen to avoid test problems caused by tester ground degradation.



CAPACITANCE ¹

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions		Typ	Unit
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{IN} = 2.0\text{ V}$	$V_{(X)} = 5.0\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $f = 1\text{ MHz}$	5	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{OLT} = 2.0\text{ V}$		8	

Notes:

1. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where capacitance may be affected.

SWITCHING CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES ¹

Parameter Symbol	Parameter Description	-7				Unit
		PDIP		PLCC		
		Min	Max	Min	Max	
t_{PD}	Input or Feedback to Combinatorial Output	3	7.5	3	7.5	ns
t_{S1}	Setup Time from Input or Feedback	5		4.5		ns
t_{S2}	Setup Time from SP to Clock	6		6		ns
t_H	Hold Time	0		0		ns
t_{CO}	Clock to Output	2	5	2	4.5	ns
t_{SKWR}	Skew Between Registered Outputs (Note 2)		1		1	ns
t_{AR}	Asynchronous Reset to Registered Output		10		10	ns
t_{ARW}	Asynchronous Reset Width	7		7		ns
t_{ARR}	Asynchronous Reset Recovery Time	7		7		ns
t_{SPR}	Synchronous Preset Recovery Time	7		7		ns
t_{WL}	Clock Width	LOW	3.5	3.0		ns
t_{WH}		HIGH	3.5	3.0		ns
f_{MAX}	Maximum Frequency (Note 3)	External Feedback	$1/(t_S + t_{CY})$	100	111	MHz
		Internal Feedback (t_{CYT})	$1/(t_S + t_{CP})$ (Note 4)	125	133	MHz
		No Feedback	$1/(t_{WH} + t_{WL})$	142.8	166	MHz
t_{EA}	Input to Output Enable Using Product Term Control		7.5		7.5	ns
t_{ER}	Input to Output Disable Using Product Term Control		7.5		7.5	ns

Notes:

1. See "Switching Test Circuit" for test conditions.
2. Skew is measured with all outputs switching in the same direction.
3. These parameters are not 100% tested, but are calculated at initial characterization and at any time the design is modified where frequency may be affected.
4. t_{CF} is a calculated value and is not guaranteed. t_{CF} can be found using the following equation:
 $t_{CF} = 1/f_{MAX} \text{ (internal feedback)} - t_S$



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature	-65°C to +150°C
Ambient Temperature with Power Applied	-55°C to +125°C
Supply Voltage with Respect to Ground	-0.5 V to +7.0 V
DC Input Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 1.0$ V
DC Output or I/O Pin Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 1.0$ V
Static Discharge Voltage	2001 V
Latchup Current ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$)	100 mA

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent device failure. Functionality at or above these limits is not implied. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods may affect device reliability. Programming conditions may vary.

OPERATING RANGES

Commercial (C) Devices

Ambient Temperature (T_A)	Operating in Free Air	0°C to +75°C
Supply Voltage (V_{CC}) with Respect to Ground		+4.75 V to +5.25 V

Operating ranges define those limits between which the functionality of the device is guaranteed.

DC CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions	Min	Max	Unit
V_{OH}	Output HIGH Voltage	$I_{OIH} = -3.2$ mA, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$	2.4		V
V_{OL}	Output LOW Voltage	$I_{OL} = 16$ mA, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$		0.4	V
V_{IH}	Input HIGH Voltage	Guaranteed Input Logical HIGH Voltage for all inputs (Note 1)	2.0		V
V_{IL}	Input LOW Voltage	Guaranteed Input Logical LOW Voltage for all inputs (Note 1)		0.8	V
I_{IH}	Input HIGH Leakage Current	$V_{IN} = V_{CX}$, $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		10	μA
I_{IL}	Input LOW Leakage Current	$V_{IN} = 0$ V, $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		-100	μA
I_{OZH}	Off-State Output Leakage Current HIGH	$V_{OLT} = V_{CX}$, $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		10	μA
I_{OZL}	Off-State Output Leakage Current LOW	$V_{OLT} = 0$ V, $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		-100	μA
I_{SC}	Output Short-Circuit Current	$V_{OLT} = 0.5$ V, $V_{CX} = \text{Max}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 3)	-30	-130	mA
I_{CC} (Dynamic)	Supply Current	Outputs Open, ($I_{OLT} = 0$ mA), $V_{CC} = \text{Max}$, $f = 25$ MHz		120	mA

Notes:

- These are absolute values with respect to the device ground, and all overshoots due to system and tester noise are included.
- I/O pin leakage is the worst case of I_{IL} and I_{OZL} (or I_{IH} and I_{OZH}).
- Not more than one output should be tested at a time. Duration of the short-circuit test should not exceed one second. $V_{OLT} = 0.5$ V has been chosen to avoid test problems caused by tester ground degradation.



CAPACITANCE ¹

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions		Typ	Unit
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{IN} = 2.0\text{ V}$	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $f = 1\text{ MHz}$	5	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{OUT} = 2.0\text{ V}$		8	

Note:
1. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where capacitance may be affected.

SWITCHING CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES ¹

Parameter Symbol	Parameter Description		-10		Unit
			Min	Max	
t_{PD}	Input or Feedback to Combinatorial Output			10	ns
t_{S1}	Setup Time from Input or Feedback		6		ns
t_{S2}	Setup Time from SP to Clock		7		ns
t_H	Hold Time		0		ns
t_{CO}	Clock to Output			6	ns
t_{AR}	Asynchronous Reset to Registered Output			13	ns
t_{ARW}	Asynchronous Reset Width		8		ns
t_{ARR}	Asynchronous Reset Recovery Time		8		ns
t_{SPR}	Synchronous Preset Recovery Time		8		ns
t_{WL}	Clock Width	LOW	4		ns
t_{WH}		HIGH	4		ns
f_{MAX}	Maximum Frequency (Note 2)	External Feedback	$1/(t_S + t_{CX})$	83.3	MHz
		Internal Feedback (t_{CNT})	$1/(t_S + t_{CX})$ (Note 3)	110	MHz
		No Feedback	$1/(t_{WH} + t_{WL})$	125	MHz
t_{EA}	Input to Output Enable Using Product Term Control			10	ns
t_{ER}	Input to Output Disable Using Product Term Control			9	ns

- Notes:**
- See "Switching Test Circuit" for test conditions.
 - These parameters are not 100% tested, but are calculated at initial characterization and at any time the design is modified where frequency may be affected.
 - f_{CF} is a calculated value and is not guaranteed. t_{CF} can be found using the following equation:
 $t_{CF} = 1/f_{MAX}$ (Internal feedback) - t_S .



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature	-65°C to +150°C
Ambient Temperature with Power Applied	-55°C to +125°C
Supply Voltage with Respect to Ground	-0.5 V to +7.0 V
DC Input Voltage	-0.5 V to V_{CC} ; +1.0 V
DC Output or I/O Pin Voltage	-0.5 V to V_{CC} ; +1.0 V
Static Discharge Voltage	2001 V
Latchup Current ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$)	100 mA

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent device failure. Functionality at or above these limits is not implied. Exposure to Absolute Maximum Ratings for extended periods may affect device reliability. Programming conditions may vary.

OPERATING RANGES

Commercial (C) Devices

Ambient Temperature (T_A)
Operating in Free Air 0°C to $+75^\circ\text{C}$

Supply Voltage (V_{CC}) with Respect to Ground +4.75 V to +5.25 V

Operating ranges define those limits between which the functionality of the device is guaranteed.

DC CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions	Min	Max	Unit
V_{OH}	Output HIGH Voltage	$I_{OH} = -3.2\text{ mA}$, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$	2.4		V
V_{OL}	Output LOW Voltage	$I_{OL} = 16\text{ mA}$, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$		0.4	V
V_{IH}	Input HIGH Voltage	Guaranteed Input Logical HIGH Voltage for all Inputs (Note 1)	2.0		V
V_{IL}	Input LOW Voltage	Guaranteed Input Logical LOW Voltage for all Inputs (Note 1)		0.8	V
I_{IH}	Input HIGH Leakage Current	$V_{IN} = V_{CX}$; $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		10	μA
I_{IL}	Input LOW Leakage Current	$V_{IN} = 0\text{ V}$, $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		-100	μA
I_{OZH}	Off-State Output Leakage Current HIGH	$V_{OUT} = V_{CX}$; $V_{CX} = \text{Max}$ $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		10	μA
I_{OZL}	Off-State Output Leakage Current LOW	$V_{OUT} = 0\text{ V}$, $V_{CX} = \text{Max}$ $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		-100	μA
I_{SC}	Output Short-Circuit Current	$V_{OUT} = 0.5\text{ V}$, $V_{CX} = 5\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 3)	-30	-130	mA
I_{CC} (Static)	Supply Current	$V_{IN} = 0\text{ V}$, Outputs Open ($I_{OZT} = 0\text{ mA}$), $V_{CC} = \text{Max}$ (Note 4)		55	mA

Notes:

- These are absolute values with respect to the device ground, and all overshoots due to system and tester noise are included.
- I/O pin leakage is the worst case of I_{IL} and I_{OZL} (or I_{IH} and I_{OZH}).
- Not more than one output should be tested at a time, and the duration of the short-circuit test should not exceed one second. $V_{OUT} = 0.5\text{ V}$ has been chosen to avoid test problems caused by tester ground degradation.
- This parameter is guaranteed worst case under test condition. Refer to the I_{CC} vs. frequency graph for typical I_{CC} characteristics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



CAPACITANCE ¹

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions		Typ	Unit
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{IN} = 2.0\text{ V}$	$V_{(X)} = 5.0\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $f = 1\text{ MHz}$	5	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{(OUT)} = 2.0\text{ V}$		8	

Notes:
 1. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where capacitance may be affected.

SWITCHING CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES ¹

Parameter Symbol	Parameter Description		-10		Unit
			Min	Max	
t_{PD}	Input or Feedback to Combinatorial Output			10	ns
t_S	Setup Time from Input, Feedback or SP to Clock		6		ns
t_H	Hold Time		0		ns
t_{CO}	Clock to Output			6	ns
t_{AR}	Asynchronous Reset to Registered Output			13	ns
t_{ARW}	Asynchronous Reset Width		8		ns
t_{ARR}	Asynchronous Reset Recovery Time		8		ns
t_{SPR}	Synchronous Preset Recovery Time		8		ns
t_{FLL}	Clock Width	LOW	4		ns
t_{FHL}		HIGH	4		ns
f_{MAX}	Maximum Frequency (Note 2)	External Feedback	$1/(t_S + t_{CX})$	83	MHz
		Internal Feedback (t_{CYT})	$1/(t_S + t_{CX})$ (Note 3)	110	MHz
		No Feedback	$1/(t_{FHL} + t_{FLL})$	125	MHz
t_{EA}	Input to Output Enable Using Product Term Control			10	ns
t_{ER}	Input to Output Disable Using Product Term Control			9	ns

Notes:
 1. See "Switching Test Circuit" for test conditions.
 2. These parameters are not 100% tested, but are calculated at initial characterization and at any time the design is modified where frequency may be affected.
 3. f_{CF} is a calculated value and is not guaranteed. f_{CF} can be found using the following equation:
 $f_{CF} = 1/f_{MAX} \text{ (Internal feedback)} - t_S$



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature	-65°C to +150°C
Ambient Temperature with Power Applied	-55°C to +125°C
Supply Voltage with Respect to Ground	-0.5 V to +7.0 V
DC Input Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V
DC Output or I/O Pin Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V
Static Discharge Voltage	2001 V
Latchup Current ($T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+75^\circ\text{C}$)	100 mA

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent device failure. Functionality at or above these limits is not implied. Exposure to Absolute Maximum Ratings for extended periods may affect device reliability. Programming conditions may vary.

OPERATING RANGES

Commercial (C) Devices

Ambient Temperature (T_A)	Operating in Free Air	0°C to +75°C
Supply Voltage (V_{CC}) with Respect to Ground (II/Q-15)		+4.75 V to +5.25 V
Supply Voltage (V_{CC}) with Respect to Ground (II/Q-25)		+4.5 V to +5.5 V

Operating ranges define those limits between which the functionality of the device is guaranteed.

DC CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions	Min	Max	Unit
V_{OH}	Output HIGH Voltage	$I_{OH} = -3.2$ mA, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$	2.4		V
V_{OL}	Output LOW Voltage	$I_{OL} = 16$ mA, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$		0.4	V
V_{IH}	Input HIGH Voltage	Guaranteed Input Logical HIGH Voltage for all Inputs (Note 1)	2.0		V
V_{IL}	Input LOW Voltage	Guaranteed Input Logical LOW Voltage for all Inputs (Note 1)		0.8	V
I_{IH}	Input HIGH Leakage Current	$V_{IN} = V_{CX}$; $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		10	μA
I_{IL}	Input LOW Leakage Current	$V_{IN} = 0$ V, $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		100	μA
I_{OZH}	Off-State Output Leakage Current HIGH	$V_{OLT} = V_{CX}$; $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		10	μA
I_{OZL}	Off-State Output Leakage Current LOW	$V_{OLT} = 0$ V, $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		-100	μA
I_{SC}	Output Short-Circuit Current	$V_{OLT} = 0.5$ V, $V_{CX} = 5$ V $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 3)	-30	-130	mA
I_{CC}	Supply Current	$V_{IN} = 0$ V, Outputs Open ($I_{OZT} = 0$ mA), $V_{CC} = \text{Max}$		90	mA
			II		
			Q	55	

Notes:

- These are absolute values with respect to the device ground, and all overshoots due to system and tester noise are included.
- VO pin leakage is the worst case of I_{IL} and I_{OZL} (or I_{IH} and I_{OZH}).
- Not more than one output should be tested at a time, and the duration of the short-circuit test should not exceed one second. $V_{OLT} = 0.5$ V has been chosen to avoid test problems caused by tester ground degradation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



CAPACITANCE ¹

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions		Typ	Unit
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{IN} = 2.0\text{ V}$	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $f = 1\text{ MHz}$	5	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{OLT} = 2.0\text{ V}$		8	

Note:

1. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where capacitance may be affected.

SWITCHING CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL OPERATING RANGES ¹

Parameter Symbol	Parameter Description		-15		-25		Unit
			Min	Max	Min	Max	
t_{PD}	Input or Feedback to Combinatorial Output			15		25	ns
t_S	Setup Time from Input, Feedback or SP to Clock		10		15		ns
t_H	Hold Time		0		0		ns
t_{CO}	Clock to Output			10		15	ns
t_{AR}	Asynchronous Reset to Registered Output			20		25	ns
t_{ARW}	Asynchronous Reset Width		15		25		ns
t_{ARR}	Asynchronous Reset Recovery Time		10		25		ns
t_{SPR}	Synchronous Preset Recovery Time		10		25		ns
t_{WL}	Clock Width	LOW	8		13		ns
		HIGH	8		13		ns
f_{MAX}	Maximum Frequency (Note 2)	External Feedback	$1/(t_S + t_{CP})$	50		33.3	MHz
		Internal Feedback (t_{INT})	$1/(t_S + t_{CP})$ (Note 3)	58.8		35.7	MHz
t_{EA}	Input to Output Enable Using Product Term Control			15		25	ns
t_{ER}	Input to Output Disable Using Product Term Control			15		25	ns

Notes:

1. See "Switching Test Circuit" for test conditions.
2. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where frequency may be affected.
3. t_{CF} is a calculated value and is not guaranteed. t_{CF} can be found using the following equation:
 $t_{CF} = 1/f_{MAX} \text{ (internal feedback)} - t_S$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ มิฉะนั้น ผู้ใช้งานจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature	-65°C to +150°C
Ambient Temperature with Power Applied	-55°C to +125°C
Supply Voltage with Respect to Ground	-0.5 V to +7.0 V
DC Input Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V
DC Output or I/O Pin Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V
Static Discharge Voltage	2001 V
Latchup Current ($T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$)	100 mA

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent device failure. functionality at or above these limits is not implied. Exposure to Absolute Maximum Ratings for extended periods may affect device reliability. Programming conditions may vary.

OPERATING RANGES

Industrial (I) Devices

Ambient Temperature (T_A)	
Operating in Free Air	-40°C to +85°C
Supply Voltage (V_{CC}) with Respect to Ground	+4.5 V to +5.5 V

Operating ranges define those limits between which the functionality of the device is guaranteed.

DC CHARACTERISTICS OVER INDUSTRIAL OPERATING RANGES

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions	Min	Max	Unit
V_{OH}	Output HIGH Voltage	$I_{OIH} = -3.2$ mA, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$	2.4		V
V_{OL}	Output LOW Voltage	$I_{OL} = 16$ mA, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} , $V_{CX} = \text{Min}$		0.4	V
V_{IH}	Input HIGH Voltage	Guaranteed Input Logical HIGH Voltage for all Inputs (Note 1)	2.0		V
V_{IL}	Input LOW Voltage	Guaranteed Input Logical LOW Voltage for all Inputs (Note 1)		0.8	V
I_{IH}	Input HIGH Leakage Current	$V_{IN} = V_{CX}$, $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		10	μA
I_{IL}	Input LOW Leakage Current	$V_{IN} = 0$ V, $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 2)		-100	μA
I_{OZH}	Off-State Output Leakage Current HIGH	$V_{OLT} = V_{CX}$, $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		10	μA
I_{OZL}	Off-State Output Leakage Current LOW	$V_{OLT} = 0$ V, $V_{CX} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IL}$ or V_{IH} (Note 2)		-100	μA
I_{SC}	Output Short-Circuit Current	$V_{OLT} = 0.5$ V, $V_{CX} = 5$ V $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 3)	-30	-130	mA
I_{CC} (Static)	Supply Current	II-20/25	$V_{IN} = 0$ V, Outputs Open ($I_{OLT} = 0$ mA), $V_{CX} = \text{Max}$	100	mA
		II-10/15		110	
I_{CC} (Dynamic)	Supply Current	$V_{IN} = 0$ V, Outputs Open ($I_{OLT} = 0$ mA), $V_{CC} = \text{Max}$, $f = 15$ MHz		130	mA

Notes:

- These are absolute values with respect to the device ground, and all overshoots due to system and tester noise are included.
- I/O pin leakage is the worst case of I_{IL} and I_{OZL} (or I_{IH} and I_{OZH}).
- Not more than one output should be tested at a time, and the duration of the short-circuit test should not exceed one second. $V_{OLT} = 0.5$ V has been chosen to avoid test problems caused by tester ground degradation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



CAPACITANCE ¹

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions		Typ	Unit
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{IN} = 2.0\text{ V}$	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $f = 1\text{ MHz}$	5	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{OUT} = 2.0\text{ V}$			

Note:

1. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where capacitance may be affected.

SWITCHING CHARACTERISTICS OVER INDUSTRIAL OPERATING RANGES ¹

Parameter Symbol	Parameter Description		-10		-15		-20		-25		Unit
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
t_{PD}	Input or Feedback to Combinatorial Output			10		15		20		25	ns
t_S	Setup Time from Input, Feedback or SP to Clock		7		10		12		15		ns
t_H	Hold Time		0		0		0		0		ns
t_{CO}	Clock to Output			6		10		12		15	ns
t_{AR}	Asynchronous Reset to Registered Output			13		20		25		25	ns
t_{ARW}	Asynchronous Reset Width		8		15		20		25		ns
t_{ARR}	Asynchronous Reset Recovery Time		8		10		20		25		ns
t_{SPR}	Synchronous Preset Recovery Time		8		10		20		25		ns
t_{W}	Clock Width	L(W)	4		8		10		13		ns
		H(W)	4		8		10		13		ns
f_{MAX}	Maximum Frequency (Note 2)	External Feedback	$1/(t_S + t_{CX})$	83.3		50		41.6		33.3	MHz
		Internal Feedback (t_{CVT})	$1/(t_S + t_{CV})$ (Note 3)	110		58.8		45.4		35.7	MHz
		No Feedback	$1/(t_{WH} + t_{WL})$	125		83.3		50		38.5	MHz
t_{HA}	Input to Output Enable Using Product Term Control			10		15		20		25	ns
t_{HR}	Input to Output Disable Using Product Term Control			9		15		20		25	ns

Notes:

1. See "Switching Test Circuit" for test conditions.
2. These parameters are not 100% tested, but are calculated at initial characterization and at any time the design is modified where frequency may be affected.
3. f_{CF} is a calculated value and is not guaranteed. f_{CF} can be found using the following equation:

$$f_{CF} = 1/f_{MAX} \text{ (internal feedback)} - t_S$$

PAL Devices

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature	-65°C to +150°C
Ambient Temperature with Power Applied	-55°C to +125°C
Supply Voltage with Respect to Ground	-0.5 V to +7.0 V
DC Input Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V
DC Output or I/O Pin Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V
Static Discharge Voltage	2001 V
Latchup Current ($T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$)	100 mA

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent device failure. Functionality at or above these limits is not implied. Exposure to Absolute Maximum Ratings for extended periods may affect device reliability. Programming conditions may differ.

OPERATING RANGES

Industrial (I) Devices

Ambient Temperature (T_A)	-40°C to +85°C
Supply Voltage (V_{CC}) with Respect to Ground	+4.5 V to +5.5 V

Operating ranges define those limits between which the functionality of the device is guaranteed.

DC CHARACTERISTICS OVER INDUSTRIAL OPERATING RANGES

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions	Min	Max	Unit
V_{OH}	Output HIGH Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $V_{CX} = \text{Min}$	$I_{OH} = -6$ mA $I_{OH} = -20$ μ A	3.84 $V_{CX} - 0.1$	V V
V_{OL}	Output LOW Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $V_{CX} = \text{Min}$	$I_{OL} = 16$ mA $I_{OL} = 6$ mA $I_{OL} = 20$ μ A	0.5 0.33 0.1	V V V
V_{IH}	Input HIGH Voltage	Guaranteed Input Logical HIGH Voltage for all inputs (Notes 1, 2)	2.0		V
V_{IL}	Input LOW Voltage	Guaranteed Input Logical LOW Voltage for all inputs (Notes 1, 2)		0.9	V
I_{IH}	Input HIGH Leakage Current	$V_{IN} = V_{CX}$; $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 3)		10	μ A
I_{IL}	Input LOW Leakage Current	$V_{IN} = 0$ V; $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 3)		-10	μ A
I_{OZH}	Off-State Output Leakage Current HIGH	$V_{OL,T} = V_{CX}$; $V_{CX} = \text{Max}$; $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} (Note 3)		10	μ A
I_{OZL}	Off-State Output Leakage Current LOW	$V_{OL,T} = 0$ V; $V_{CX} = \text{Max}$; $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} (Note 3)		-10	μ A
I_{SC}	Output Short-Circuit Current	$V_{OL,T} = 0.5$ V; $V_{CX} = \text{Max}$ (Note 4)	-5	-150	mA
I_{CC}	Supply Current	Outputs Open ($I_{OL,T} = 0$ mA) $V_{CX} = \text{Max}$	$f = 0$ MHz $f = 15$ MHz	30 100	μ A mA

Notes:

- These are absolute values with respect to device ground, and all overshoots due to system or tester noise are included.
- Represents the worst case of IIC and IIC-T standards, allowing compatibility with either.
- I/O pin leakage is the worst case of I_{IL} and I_{OZL} (or I_{IH} and I_{OZH}).
- Not more than one output should be shorted at a time, and the duration of the short-circuit should not exceed one second. $V_{OL,T} = 0.5$ V has been chosen to avoid test problems caused by tester ground degradation.



CAPACITANCE ¹

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions		Typ	Unit
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{IN} = 2.0\text{ V}$	$V_{(X)} = 5.0\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $f = 1\text{ MHz}$	5	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{OUT} = 2.0\text{ V}$		8	

Note:

1. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where capacitance may be affected.

SWITCHING CHARACTERISTICS OVER INDUSTRIAL OPERATING RANGES ¹

Parameter Symbol	Parameter Description		-15		Unit
			Min	Max	
t_{PD}	Input or Feedback to Combinatorial Output			15	ns
t_S	Setup Time from Input, Feedback or SP to Clock		10		ns
t_H	Hold Time		0		ns
t_{CO}	Clock to Output			10	ns
t_{AR}	Asynchronous Reset to Registered Output			20	ns
t_{ARW}	Asynchronous Reset Width		15		ns
t_{ARR}	Asynchronous Reset Recovery Time		10		ns
t_{SR}	Synchronous Preset Recovery Time		10		ns
t_{WL}	Clock Width	LOW	8		ns
t_{WH}		HIGH	8		ns
f_{MAX}	Maximum Frequency (Note 2)	External Feedback	$1/(t_S + t_{CO})$	50	MHz
		Internal Feedback (t_{CNT})	$1/(t_S + t_{CF})$ (Note 3)	58.8	MHz
		No Feedback	$1/(t_{WH} + t_{WL})$	62.5	MHz
t_{EA}	Input to Output Enable Using Product Term Control			15	ns
t_{ER}	Input to Output Disable Using Product Term Control			15	ns

Notes:

- See "Switching Test Circuit" for test conditions.
- These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where frequency may be affected.
- t_{CF} is a calculated value and is not guaranteed. t_{CF} can be found using the following equation:
 $t_{CF} = 1/f_{MAX}$ (internal feedback) - t_S .

PAL Devices

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Storage Temperature	-65°C to +150°C
Ambient Temperature with Power Applied	-55°C to +125°C
Supply Voltage with Respect to Ground	-0.5 V to +7.0 V
DC Input Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V
DC Output or I/O Pin Voltage	-0.5 V to $V_{CC} + 0.5$ V
Static Discharge Voltage	2001 V
Latchup Current ($T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$)	100 mA

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent device failure. Functionality at or above these limits is not implied. Exposure to Absolute Maximum Ratings for extended periods may affect device reliability. Programming conditions may differ.

OPERATING RANGES

Commercial (C) Devices

Ambient Temperature (T_A)	0°C to +75°C
Supply Voltage (V_{CC}) with Respect to Ground	+4.75 V to +5.25 V

Industrial (I) Devices

Ambient Temperature (T_A)	-40°C to +85°C
Supply Voltage (V_{CC}) with Respect to Ground	+4.5 V to +5.5 V

Operating ranges define those limits between which the functionality of the device is guaranteed.

DC CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL AND INDUSTRIAL OPERATING RANGES

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions		Min	Max	Unit
V_{OH}	Output HIGH Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $V_{(X)} = \text{Min}$	$I_{OIH} = -6$ mA	3.84		V
			$I_{OIH} = -20$ μ A	$V_{(X)} - 0.1$		V
V_{OL}	Output LOW Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $V_{(X)} = \text{Min}$	$I_{OL} = 16$ mA		0.5	V
			$I_{OL} = 6$ mA		0.33	V
			$I_{OL} = 20$ μ A		0.1	V
V_{IH}	Input HIGH Voltage	Guaranteed Input Logical HIGH Voltage for all Inputs (Notes 1, 2)		2.0		V
V_{IL}	Input LOW Voltage	Guaranteed Input Logical LOW Voltage for all Inputs (Notes 1, 2)			0.9	V
I_{IH}	Input HIGH Leakage Current	$V_{IN} = V_{(X)}$, $V_{(X)} = \text{Max}$ (Note 3)			10	μ A
I_{IL}	Input LOW Leakage Current	$V_{IN} = 0$ V, $V_{(X)} = \text{Max}$ (Note 3)			-10	μ A
I_{OZH}	Off-State Output Leakage Current HIGH	$V_{OLT} = V_{(X)}$, $V_{(X)} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} (Note 3)			10	μ A
I_{OZL}	Off-State Output Leakage Current LOW	$V_{OLT} = 0$ V, $V_{(X)} = \text{Max}$, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} (Note 3)			-10	μ A
I_{SC}	Output Short-Circuit Current	$V_{OLT} = 0.5$ V, $V_{(X)} = \text{Max}$ (Note 4)		-5	-150	mA
I_{CC}	Supply Current	Outputs Open ($I_{OLT} = 0$ mA) $V_{(X)} = \text{Max}$	$f = 0$ MHz		30	mA
			$f = 15$ MHz		120	mA

- Notes:**
- These are absolute values with respect to device ground, and all overshoots due to system or tester noise are included.
 - Represents the worst case of IIC and I²C standards, allowing compatibility with either.
 - I/O pin leakage is the worst case of I_{IL} and I_{OZL} (or I_{IH} and I_{OZH}).
 - Not more than one output should be shorted at a time, and the duration of the short-circuit should not exceed one second. $V_{OLT} = 0.5$ V has been chosen to avoid test problems caused by tester ground degradation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



CAPACITANCE ¹

Parameter Symbol	Parameter Description	Test Conditions		Typ	Unit
C_{IN}	Input Capacitance	$V_{IN} = 2.0\text{ V}$	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $f = 1\text{ MHz}$	5	pF
C_{OUT}	Output Capacitance	$V_{OUT} = 2.0\text{ V}$		8	

Note:

1. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where capacitance may be affected.

SWITCHING CHARACTERISTICS OVER COMMERCIAL AND INDUSTRIAL OPERATING RANGES ¹

Parameters Symbol	Parameter Description		-25		Unit
			Min	Max	
t_{PD}	Input or Feedback to Combinatorial Output (Note 2)			25	ns
t_S	Setup Time from Input, Feedback or SP to Clock		15		ns
t_H	Hold Time		0		ns
t_{CO}	Clock to Output			15	ns
t_{AR}	Asynchronous Reset to Registered Output			25	ns
t_{ARW}	Asynchronous Reset Width		25		ns
t_{ARR}	Asynchronous Reset Recovery Time		25		ns
t_{SR}	Synchronous Preset Recovery Time		25		ns
t_{WL}	Clock Width	LOW	10		ns
t_{WH}		HIGH	10		ns
f_{MAX}	Maximum Frequency (Notes 3)	External Feedback	$1/(t_S + t_{CO})$	33.3	MHz
		Internal Feedback (t_{OUT})	$1/(t_S + t_F)$ (Note 4)	35.7	MHz
		No Feedback	$1/(t_{WH} + t_{WL})$	50	MHz
t_{EA}	Input to Output Enable Using Product Term Control			25	ns
t_{ER}	Input to Output Disable Using Product Term Control			25	ns

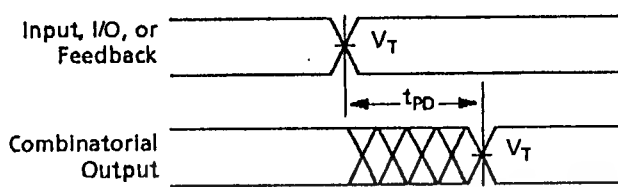
Notes:

1. See "Switching Test Circuit" for test conditions.
2. This parameter is tested in Standby Mode. When the device is not in Standby Mode, the t_{PD} will typically be 5 ns faster.
3. These parameters are not 100% tested, but are evaluated at initial characterization and at any time the design is modified where frequency may be affected.
4. f_{CF} is a calculated value and is not guaranteed. f_{CF} can be found using the following equation:

$$f_{CF} = 1/f_{MAX}(\text{Internal feedback}) - t_S$$

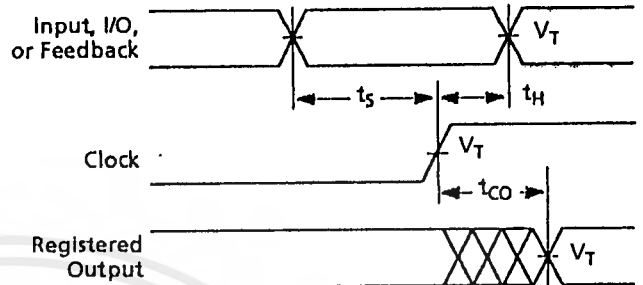


SWITCHING WAVEFORMS



a. Combinatorial output

16564-007



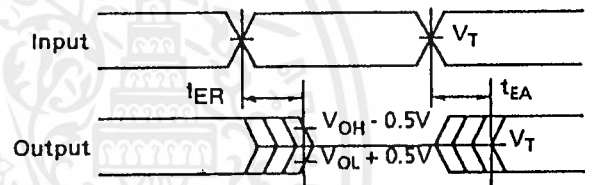
b. Registered output

16564-008



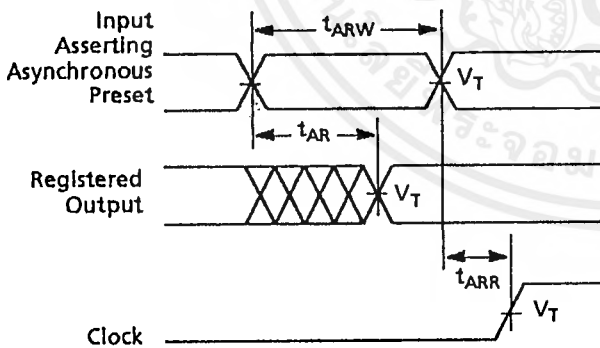
c. Clock width

16564-009



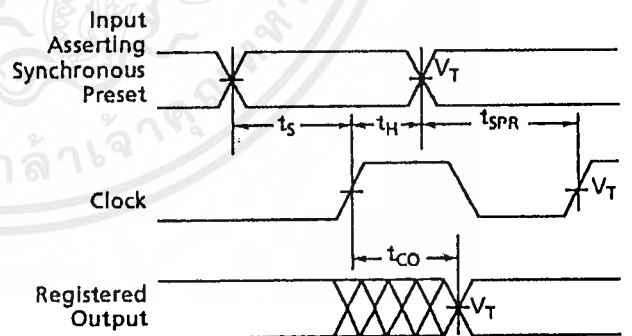
d. Input to output disable/enable

16564-010



e. Asynchronous reset

16564-011



f. Synchronous preset

16564-012

Notes:

1. $V_T = 1.5 \text{ V}$.
2. Input pulse amplitude 0 V to 3.0 V.
3. Input rise and fall times 2 ns to 5 ns typical.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

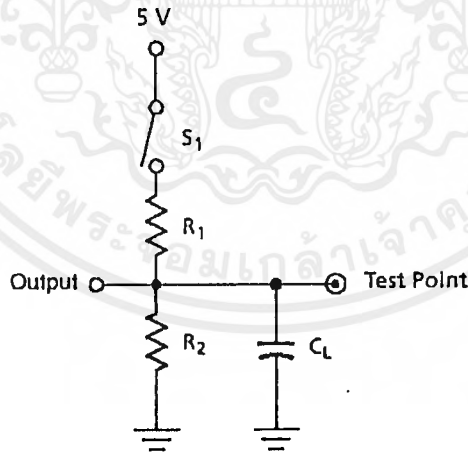


KEY TO SWITCHING WAVEFORMS

WAVEFORM	INPUTS	OUTPUTS
	Must be Steady	Will be Steady
	May Change from H to L	Will be Changing from H to L
	May Change from L to H	Will be Changing from L to H
	Don't Care, Any Change Permitted	Changing, State Unknown
	Does Not Apply	Center Line is High-Impedance "Off" State

16564E-013

SWITCHING TEST CIRCUIT



16564-014

Specification	S ₁	C _L	Commercial		Measured Output Value
			R ₁	R ₂	
t _{PD} , t _{CO}	Closed	50 pF	300 Ω	All except 11-5/7: 390 Ω	1.5 V
t _{PL}	Z → 1: Open				1.5 V
	Z → L: Closed	5 pF		11-5/7: 300 Ω	11 → Z: V _{OH} - 0.5 V
t _{PR}	L → Z: Closed			L → Z: V _{OL} + 0.5 V	

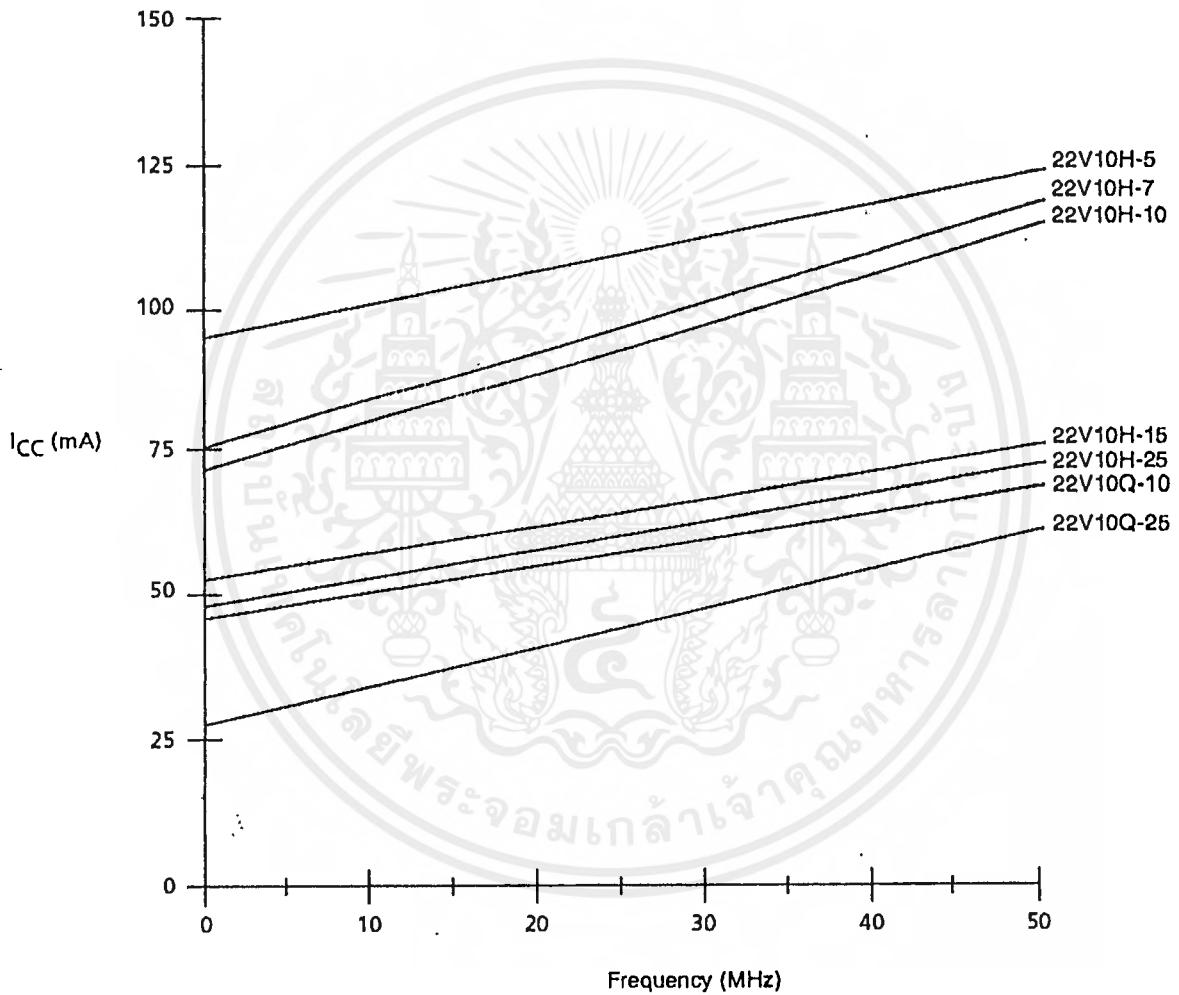
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่อนุญาตให้นำออกพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะขออนุญาตจากบริษัทผู้ผลิต



TYPICAL I_{CC} CHARACTERISTICS

$V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$



I_{CC} vs. Frequency

16564E-015

The selected "typical" pattern utilized 50% of the device resources. Half of the macrocells were programmed as registered, and the other half were programmed as combinatorial. Half of the available product terms were used for each macrocell. On any vector, half of the outputs were switching.

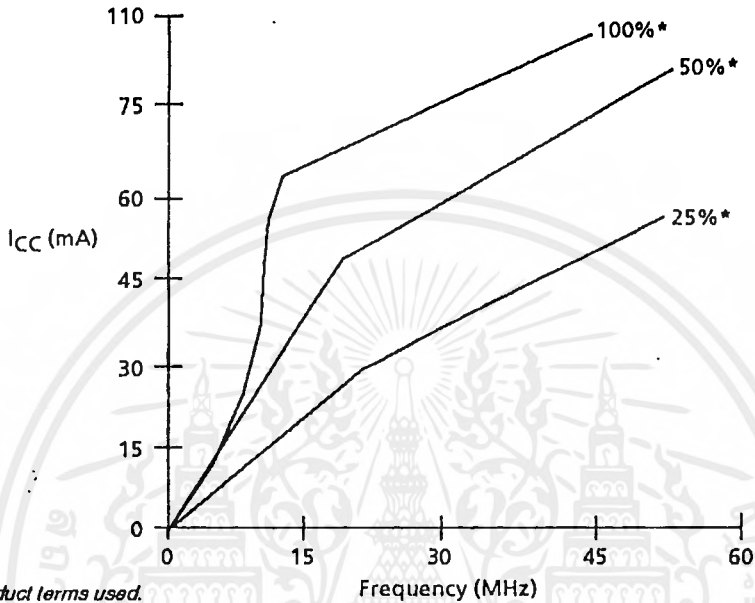
By utilizing 50% of the device, a midpoint is defined for I_{CC} . From this midpoint, a designer may scale the I_{CC} graphs up or down to estimate the I_{CC} requirements for a particular design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



TYPICAL I_{CC} CHARACTERISTICS FOR THE PALCE22V10Z-15

$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$



*Percent of product terms used.

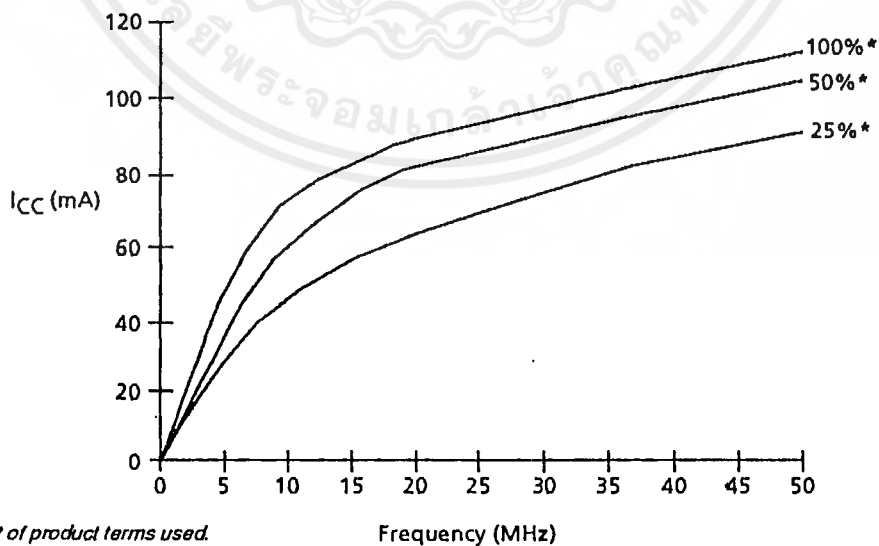
Frequency (MHz)

I_{CC} vs. Frequency Graph for the PALCE22V10Z-15

16564E-016

TYPICAL I_{CC} CHARACTERISTICS FOR THE PALCE22V10Z-25

$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$



*Percent of product terms used.

Frequency (MHz)

I_{CC} vs. Frequency Graph for the PALCE22V10Z-25

16564E-017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น บริษัทสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลเชิงลึกของเอกสารหรือข้อมูลที่ปรากฏในเอกสารนี้ไว้

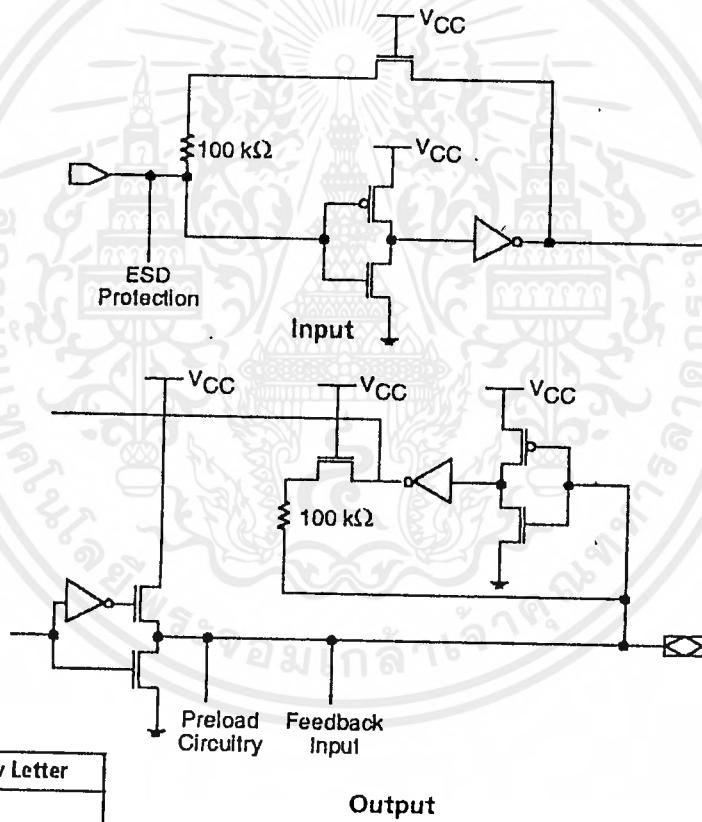


ENDURANCE CHARACTERISTICS

The PALCE22V10 is manufactured using Vantis' advanced electrically-erasable (EE) CMOS process. This technology uses an EE cell to replace the fuse link used in bipolar parts. As a result, the device can be erased and reprogrammed—a feature which allows 100% testing at the factory.

Symbol	Parameter	Test Conditions	Value	Unit
t_{DR}	Min Pattern Data Retention Time	Max Storage Temperature	10	Years
N	Max Reprogramming Cycles	Normal Programming Conditions	100	Cycles

INPUT/OUTPUT EQUIVALENT SCHEMATICS FOR SELECTED /4 DEVICES*



Device	Rev Letter
PALCE22V10H-15	II
PALCE22V10H-20H	
PALCE22V10H-25	
PALCE22V10Q-25I	I

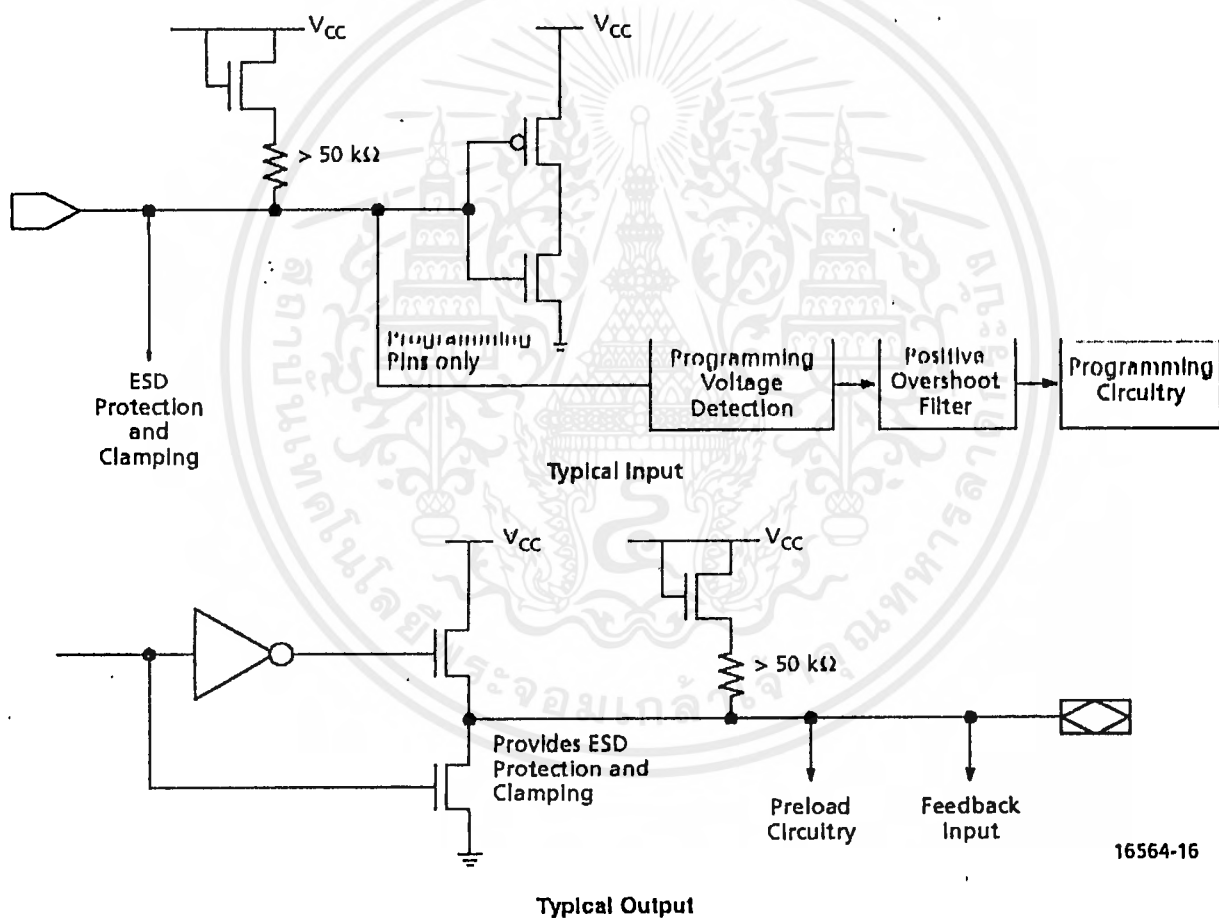
16564E-018



ROBUSTNESS FEATURES

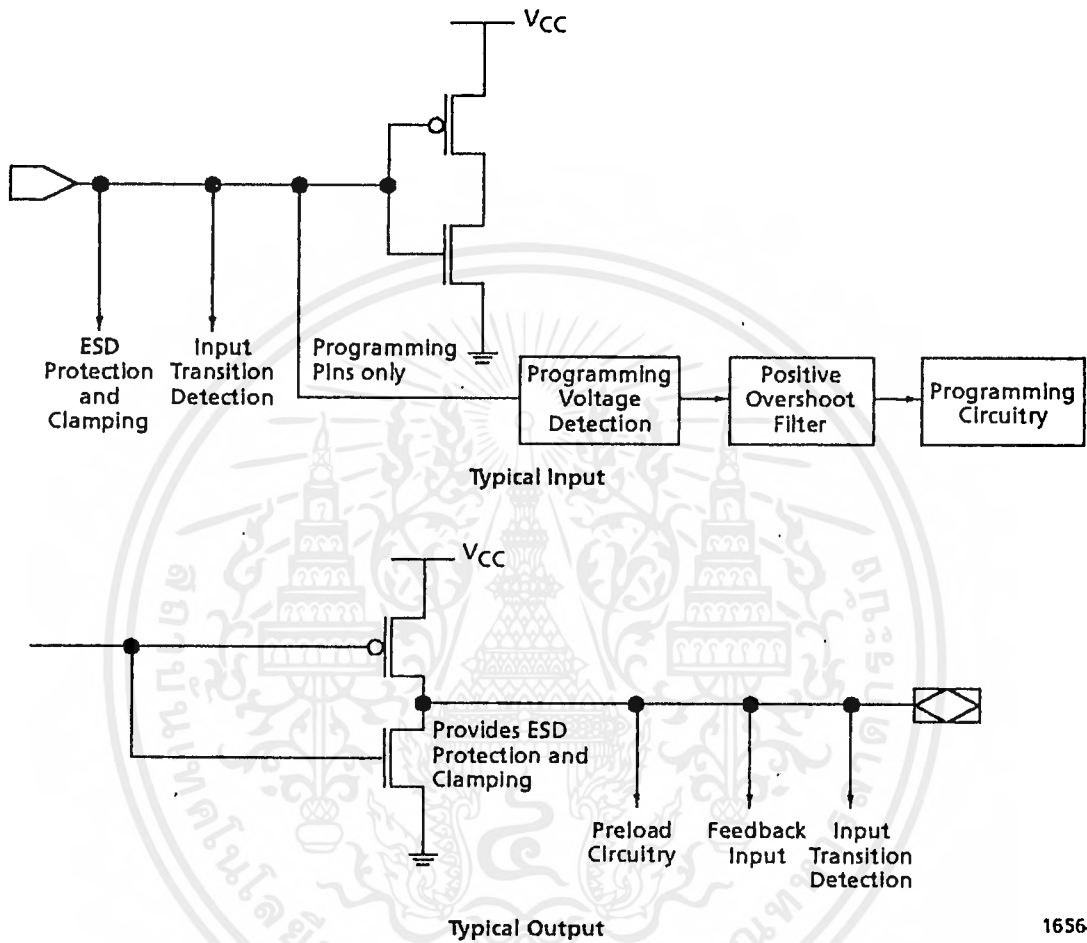
The PALCE22V10X-X/5 devices have some unique features that make them extremely robust, especially when operating in high-speed design environments. Pull-up resistors on inputs and I/O pins cause unconnected pins to default to a known state. Input clamping circuitry limits negative overshoot, eliminating the possibility of false clocking caused by subsequent ringing. A special noise filter makes the programming circuitry completely insensitive to any positive overshoot that has a pulse width of less than about 100 ns for the /5 version.

INPUT/OUTPUT EQUIVALENT SCHEMATICS FOR /5 VERSION AND DEVICES





INPUT/OUTPUT EQUIVALENT SCHEMATICS FOR PALCE22V10Z



16564E-020

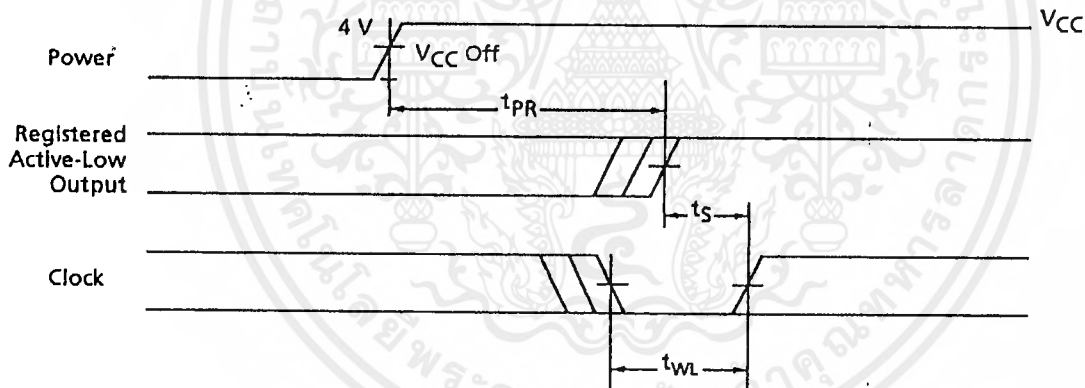


POWER-UP RESET

The power-up reset feature ensures that all flip-flops will be reset to LOW after the device has been powered up. The output state will depend on the programmed pattern. This feature is valuable in simplifying state machine initialization. A timing diagram and parameter table are shown below. Due to the synchronous operation of the power-up reset and the wide range of ways V_{CC} can rise to its steady state, two conditions are required to ensure a valid power-up reset. These conditions are:

- ◆ The V_{CC} rise must be monotonic.
- ◆ Following reset, the clock input must not be driven from LOW to HIGH until all applicable input and feedback setup times are met.

Parameter Symbol	Parameter Description	Max	Unit
t_{PR}	Power-up Reset Time	1000	ns
t_s	Input or Feedback Setup Time	See Switching Characteristics	
t_{WL}	Clock Width LOW		



16564E-021

Figure 3. Power-Up Reset Waveform



TYPICAL THERMAL CHARACTERISTICS

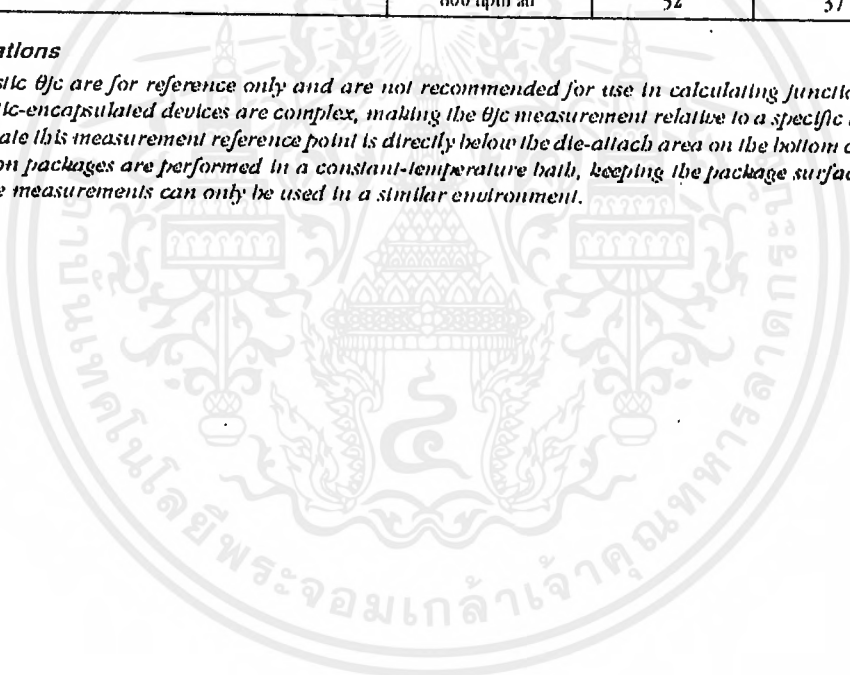
PALCE22V10

Measured at 25°C ambient. These parameters are not tested.

Parameter Symbol	Parameter Description	Typ		Unit	
		SKINNY DIP	PLCC		
θ_{jc}	Thermal Impedance, Junction to case	20	18	°C/W	
θ_{ja}	Thermal Impedance, Junction to ambient	73	55	°C/W	
θ_{jma}	Thermal Impedance, Junction to ambient with air flow	200 lpm air	66	48	°C/W
		400 lpm air	61	43	°C/W
		600 lpm air	55	40	°C/W
		800 lpm air	52	37	°C/W

Plastic θ_{jc} Considerations

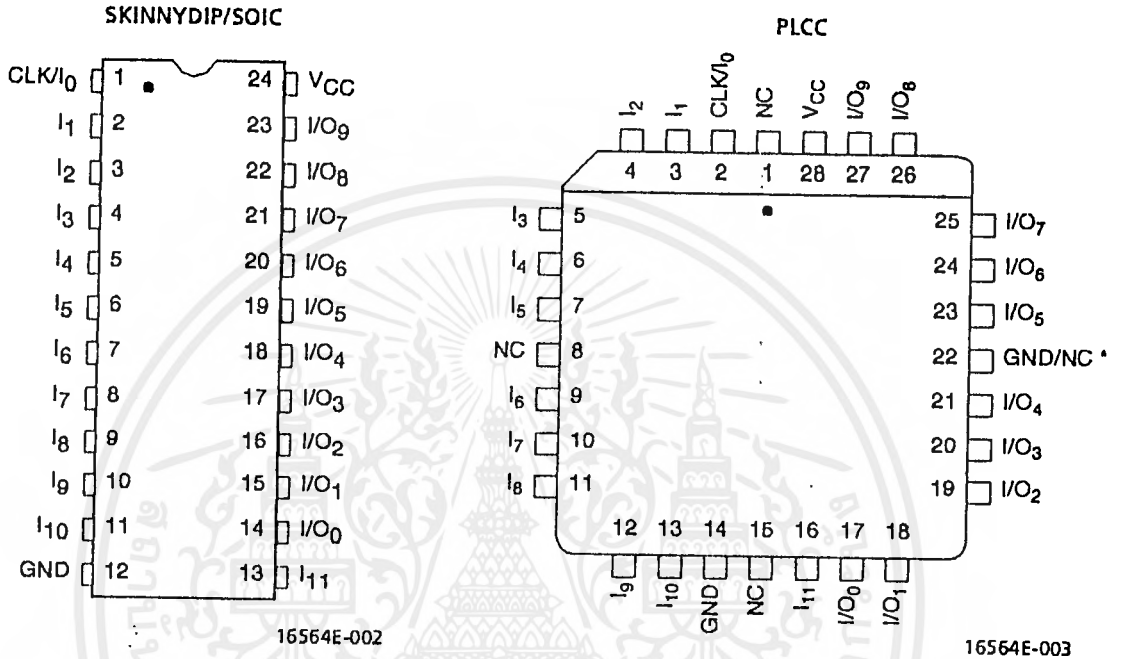
The data listed for plastic θ_{jc} are for reference only and are not recommended for use in calculating junction temperatures. The heat-flow paths in plastic-encapsulated devices are complex, making the θ_{jc} measurement relative to a specific location on the package surface. Tests indicate this measurement reference point is directly below the die-attach area on the bottom center of the package. Furthermore, θ_{jc} tests on packages are performed in a constant-temperature bath, keeping the package surface at a constant temperature. Therefore, the measurements can only be used in a similar environment.





CONNECTION DIAGRAMS

Top View



*For -5, this pin must be grounded for guaranteed data sheet performance. If not grounded, AC timing may degrade by about 10%.

Note:

Pin 1 is marked for orientation.

PIN DESIGNATIONS

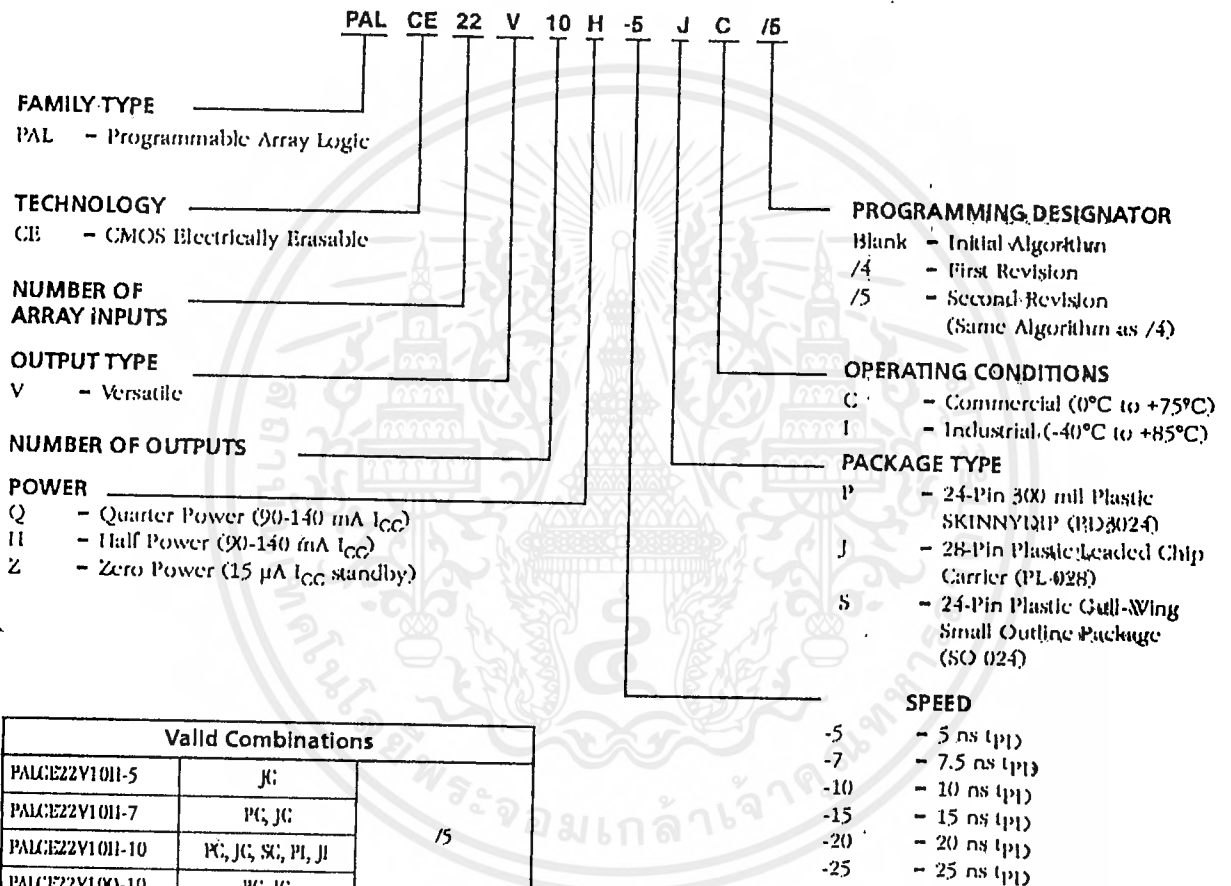
- CLK = Clock
- GND = Ground
- I = Input
- I/O = Input/Output
- NC = No Connect
- V_{CC} = Supply Voltage



ORDERING INFORMATION

Commercial and Industrial Products

Vantis programmable logic products for commercial and industrial applications are available with several ordering options. The order number (Valid Combination) is formed by a combination of:



Valid Combinations		
PALCE22V10H-5	J;	/5
PALCE22V10H-7	PC, JC	
PALCE22V10H-10	PC, JC, SC, PI, JI	
PALCE22V10Q-10	PC, JC	
PALCE22V10H-15	PC, JC, PI, JI, SC;	/4
PALCE22V10Q-15	PC, JC	/5
PALCE22V10H-20	PI, JI	/4
PALCE22V10H-25	PC, JC, SC, PI, JI	/4
PALCE22V10Q-25	PC, JC	
PALCE22V10Z-15	PI, JI	
PALCE22V10Z-25	PC, JC, SC, PI, JI, SI	

Valid Combinations

Valid Combinations list configurations planned to be supported in volume for this device. Consult the local Vantis sales office to confirm availability of specific valid combinations and to check on newly released combinations.