ดาต้าสวิตช์ชิ่ง

DATA SWITCHING

โดย

นาย พรเทพ ศิริรัตน์อัสดร

นางสาวพรสรวง พฤกษ์เอก

เลขเรียกหนังสือ ปค. ว242ด 2541

เลขทะเบียน 040385

วัน เดือน ปี 11 ตค 42

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

040385

ดาต้าสวิตช์ชิ่ง

DATA SWITCHING

โดย

นาย พรเทพ ศิริรัตน์อัสดร

นางสาวพรสรวง พฤกษ์เอก

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สมเกียรติ ฤกษ์วรัญญู

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาต้าสวิตช์ชิ่ง

Data Switching

โดย นาย พรเทพ ศิริรัตน์อัสดร 38014326

นางสาวพรสรวง พฤกษ์เอก 38014332

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สมเกียรติ ฤกษ์วรัญญู

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบเน็ตเวิร์คมีความสำคัญในการติดต่อสื่อสาร ซึ่งระบบเน็ตเวิร์คนั้นประกอบด้วยหลายส่วน โดยส่วนหนึ่งที่เป็นส่วนสำคัญก็คือ สวิตชิ่ง โครงงานนี้จึงทำการศึกษา และ ทำการสร้างแบบจำลองการทำงานของสวิตชิ่งที่สามารถจัดส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้อย่างถูกต้อง

ABSTRACT

Network system which is so important in telecommunication is composed of many parts and included switching. This project studies and simulates interconnection in switching fabric.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ	2
2.1 ทั่วไปเกี่ยวกับสวิตช์	2
2.2 ประเภทของสวิตช์	3
2.3 สวิตชิ่งแบบสเปรชดิวิชั่น	4
2.4 ซิงเกิลสเตจสวิตช์	8
2.4.1 โครงข่ายแบบฉัฟเฟิล-เอ็คซ์เชนจ์	9
2.5 มัลติสเตจสวิตช์	10
2.5.1 ลักษณะการทำงานของมัลติสเตจสวิตช์	10
2.5.2 การเชื่อมต่อบนมัลติสเตจสวิตช์	11
2.5.2.1 การเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่ง	11
2.5.2.2 การเชื่อมต่อแบบกระจาย	11
2.5.3 แบบแผนการควบคุมการกระจาย	12
2.5.4 วิธีการเชื่อมต่อโดยใช้แท็กสำหรับการเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่ง	12
2.5.5 วิธีการเชื่อมต่อโดยใช้แท็กสำหรับการเชื่อมต่อแบบกระจาย	14
2.5.6 ตัวอย่างรูปแบบของมัลติสเตจสวิตช์	14
2.5.7 การหาเส้นทางด้วยตนเองในโครงข่ายแบบโอเมก้า	15
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	18
3.1 วงจรไฟฟ้า	18
3.1.1 วงจรส่วนประกอบพื้นฐานของสวิตช์	18
3.1.1.1 ส่วนทางผ่านข้อมูล	18
3.1.1.2 วงจรควบคุมสวิตช์	19
3.1.2 วงจรส่วนประกอบพื้นฐานของสวิตช์	22
3.2 โปรแกรมควบคุมการสวิตชิ่ง	25
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	28
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	37
ภาคผนวก ก	ก-1
ภาคผนวก ข	ข-1
ภาคผนวก ค	ค-1
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูป		หน้า
บทที่ 2	ทฤษฎีหรือหลักการ	
2.1	รูปแบบของสวิตช์	2
2.2	การแบ่งประเภทของสวิตช์	3
2.3	ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของสวิตช์และสภาวะต่างๆของส่วนประกอบ	3
2.4	สวิตชิ่งแบบสเปซดิวิชั่น	5
2.5	รูปแสดงสวิตชิ่งแบบสเปซดิวิชั่นแบบ 3 สเตจ	5
2.6	แสดงตัวอย่างของการบล็อกกิ้งที่เกิดขึ้นใน สวิตช์ 3 สเตจ	6
2.7	แสดงสวิตชิ่งแบบ 3 สเตจที่ไม่มีการบล็อกกิ้ง	7
2.8	รูปแบบการเชื่อมต่อโครงข่าย	8
2.9	รูปแบบแนวคิดการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบสเตจเดียว	8
2.10	รูปแบบการสับอย่างสมบูรณ์	9
2.11	การทำงานของฌัฟเฟลฟังก์ชันและฟังก์ชันเอ็คซ์เชนจ์	9
2.12	การเชื่อมต่อเพื่อที่จะไปได้ยังเอาท์พุททุกตัว	10
2.13	ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของสวิตช์และสภาวะต่างๆ ของส่วนอุปกรณขั้นพื้นฐาน	11
2.14	ลักษณะการเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่ง	11
2.15	ลักษณะการเชื่อมต่อแบบกระจาย	12
2.16	แสดงการหาเส้นทางโดยวิธีของเอ็กซ์คลูซีพออร์แท็ก	13
2.17	แสดงการหาเส้นทางโดยใช้ตำแหน่งปลายทาง	13
2.18	แสดงการเชื่อมต่อโดยใช้แท็กสำหรับการเชื่อมต่อแบบกระจาย	14
2.19	ตัวอย่างโครงข่ายแบบมัลติสเตจสวิตช์	15
2.20	โหนดและการเชื่อมต่อในโครงข่ายโอเมก้า	15
2.21	เส้นทางที่หาได้เองในโครงข่ายโอเมก้า	16
บทที่ 3	การคำนวณและการสร้าง	
3.1	สัญลักษณ์ของเกทใน 74LS125	18
3.2	สถานะเกทเมื่อเปิด-ปิดสวิตช์	18
3.3	ลักษณะการต่อของเกท	19
3.4	เส้นทางของข้อมูลที่ผ่านเกท	19
3.5	แสดงรูปสัญญาณจากฟลิบฟลอบที่ใช้ควบคุมเกทแต่ละตัว	20
3.6	แสดงรูปวงจรของสวิตช์	21
3.7	โครงข่ายโอเมก้าที่ประกอบจากสวิตช์ 12 ตัว	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 แสดงรูปวงจรรวม 24
3.9 แสดงขั้นตอนของในการสวิตชิ่ง 25
3.10 แสดงโฟลว์ชาร์ทที่ใช้ในการส่งข้อมูล 26
3.11 แสดงโฟลว์ชาร์ทที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ 27
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง
4.1 แสดงเส้นทางการเชื่อมต่อทางด้านต้นทาง 0 28
4.2 แสดงการต่อวงจรทดสอบความสามารถของหน่วยสวิตช์ 29
4.3 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณที่ต่อกับหน่วยสวิตช์ที่อินพุท 2MHz 30
4.4 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณที่ต่อกับหน่วยสวิตช์ที่อินพุท 8 MHz 30
4.5 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะควบคุมให้เป็นแบบตรง 31
4.6 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะควบคุมให้เป็นแบบสลับ 31
4.7 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะควบคุมให้เป็นแบบกระจายบน 32
4.8 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะควบคุมให้เป็นแบบกระจายล่าง 32
4.9 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะที่ใช้เส้นทางตรงทั้งหมด 33
4.10 แสดงเส้นทางขณะที่ใช้เส้นทางตรงทั้งหมด 34
4.11 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะที่ใช้เส้นทางสลับที่ตำแหน่ง 2x2 34
4.12 แสดงเส้นทางขณะที่ใช้เส้นสลับที่ 2x2 35
4.13 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะที่ใช้เส้นทางสลับที่ตำแหน่ง 2x2 และ 1x3 35
4.14 แสดงเส้นทางขณะที่ใช้เส้นสลับที่ 2x2 และ 1x3 36
ภาคผนวก ข
ข.1 อินพุทที่แอดเดส 000 ข-1
ข.2 อินพุทที่แอดเดส 001 ข-2
ข.3 อินพุทที่แอดเดส 010 ข-3
ข.4 อินพุทที่แอดเดส 011 ข-4
ข.5 อินพุทที่แอดเดส 100 ข-5
ข.6 อินพุทที่แอดเดส 101 ข-6
ข.7 อินพุทที่แอดเดส 110 ข-7
ข.8 อินพุทที่แอดเดส 111 ข-8
ภาคผนวก ค
ค.1 รายวงจรของ สวิตช์ 12 อีลิเมนต์ ค-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	ตาราง	หน้า
บทที่ 2	ทฤษฎีหรือหลักการ	
2.1	แสดงจำนวนครอสพอยน์สวิตชิ่งแบบสเซดิวิชั่นไม่มีการบล็อกกิ้ง	7
บทที่ 3	การคำนวณและการสร้าง	
3.1	การทำงานของไอซี 74LS74	20
3.2	สถานะเกทเมื่อเปิด-ปิดสวิตช์	20
3.3	ลักษณะการต่อของเกท	23
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	28
4.1	ค่าที่ได้จากการคำนวณวิธีการในบทที่ 3	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

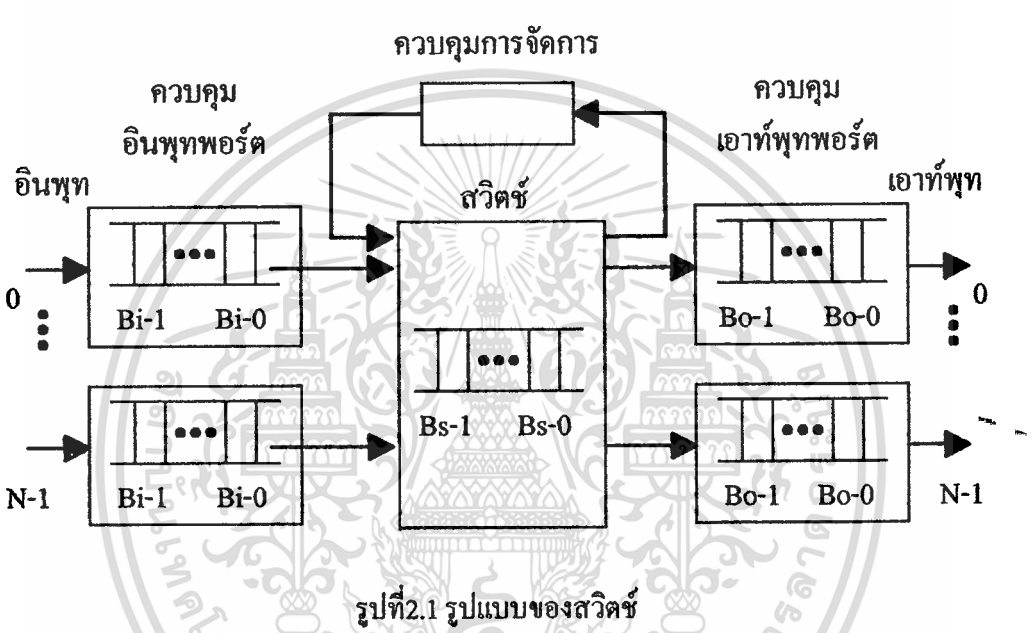
โครงข่ายการสื่อสารมีความสำคัญในปัจจุบันและได้มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาเพื่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร ซึ่งการสื่อสารโดยใช้โครงข่ายนั้นจะมีหัวใจสำคัญนั้นคือ ส่วน สวิตชิ่ง ดังนั้นโครงงานนี้จึงศึกษาและสร้างแบบจำลองการทำงานของสวิตชิ่ง โดยสวิตชิ่งที่ใช้ในโครงงานเป็นลักษณะการประกอบกันของส่วนประกอบพื้นฐานหลายๆตัว (elements) ขึ้นเป็นสวิตช์แบบมัลติสเตจ อันเป็นลักษณะหนึ่งของสเปชดิวิชั่นสวิตช์ สวิตชิ่งแบบมัลติสเตจที่ใช้นั้นมีการจัดโครงข่ายเป็นโครงข่ายแบบโอเมก้า (Omega Network) ที่ทำงานด้วยฟังก์ชั่นอัฟเฟิล-เอกเชนจ์ การหาเส้นทางเป็นแบบเซลวรูท์ติ้ง(Self routing) ซึ่งการหาเส้นทางขึ้นกับกฎเกณฑ์ของการเชื่อมต่อภายในสวิตช์ และใช้ตำแหน่งหมายเลขต้นทาง เช่น 1(001) กับ หมายเลขปลายทาง เช่น 4(100) ในการคำนวณหาเส้นทางการเชื่อมต่อ ส่วนประกอบของสวิตช์อีลิเมนต์ที่ออกแบบนี้ คือ ไอซี เกท 74ls125 นำมาต่อกัน ทำให้เกิดลักษณะการทำงาน 4 แบบ คือ แบบตรง แบบไขว้ แบบกระจายล่าง แบบกระจายบน โดยลักษณะที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อถูกสั่งการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังขาควบคุมของเกท และ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะถูกโปรแกรมเพื่อให้ทำงาน 2 อย่าง คือหาเส้นทาง และการป้องกันการชนกันของสัญญาณ การใช้สวิตช์แบบมัลติสเตจดังกล่าวทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ และ ลดจำนวนอุปกรณ์ลงเมื่อเทียบกับสวิตช์แบบแมทตริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทั่วไปเกี่ยวกับสวิตช์

สวิตช์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยพอร์ตอินพุท N พอร์ตและพอร์ตเอาท์พุท N พอร์ตรวมทั้งตัวสวิตช์ (switch fabric) รวมถึงส่วนจัดการและควบคุม (MCP, Managementand control processor) ซึ่งแสดงดังรูปที่2.1



รูปที่2.1 รูปแบบของสวิตช์

ส่วนควบคุมอินพุทเอาท์พุท (Input - Output Controller)

พอร์ตแต่ละพอร์ตจะถูกจัดการโดยส่วนควบคุม โดยปกติแล้วส่วนควบคุมอินพุทพอร์ตจะประกอบด้วย

1. บัฟเฟอร์
2. การสร้างเซลเพื่อการกระจาย
3. การจัดการเซล
4. การร้องขอการเชื่อมต่อ และการจองผ่านไปยังส่วนสวิตช์

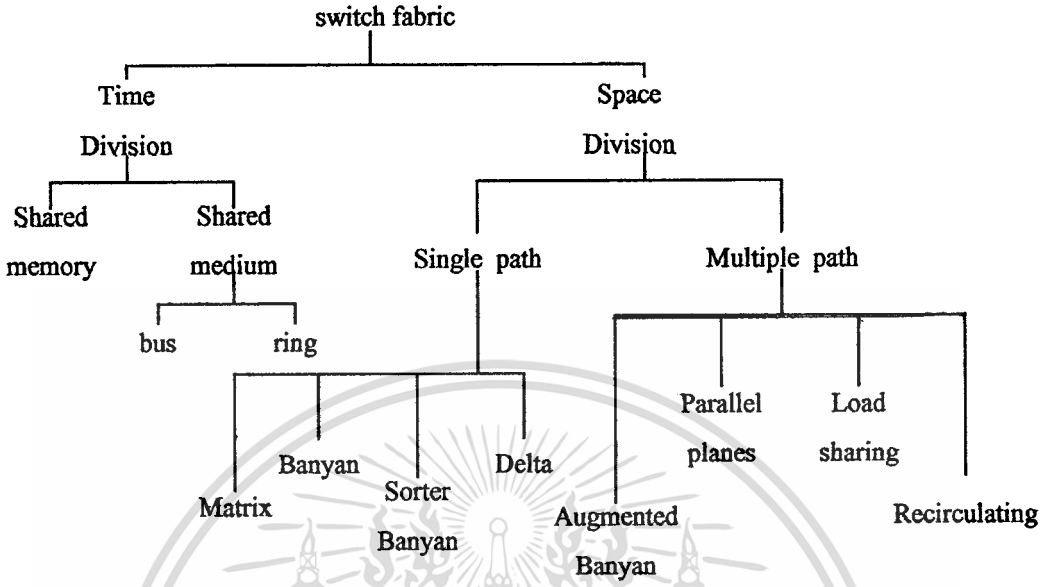
ส่วนสวิตช์(Switch fabric) เป็นส่วนกลไกที่ใช้ในการหาเส้นทางให้แก่ข่าวสาร จากพอร์ตอินพุทไปยังพอร์ตเอาท์พุท ซึ่งมันประกอบด้วยส่วนฮาร์ดแวร์และส่วนซอฟต์แวร์โดยจะทำหน้าที่

1. สร้างเส้นทางระหว่างอินพุทและเอาท์พุทภายในสวิตช์
2. การจัดระเบียบสำหรับพอร์ตอินพุท
3. จัดการไม่ให้เกิดการบล็อคภายใน (Internal blocking)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ประเภทของสวิตช์

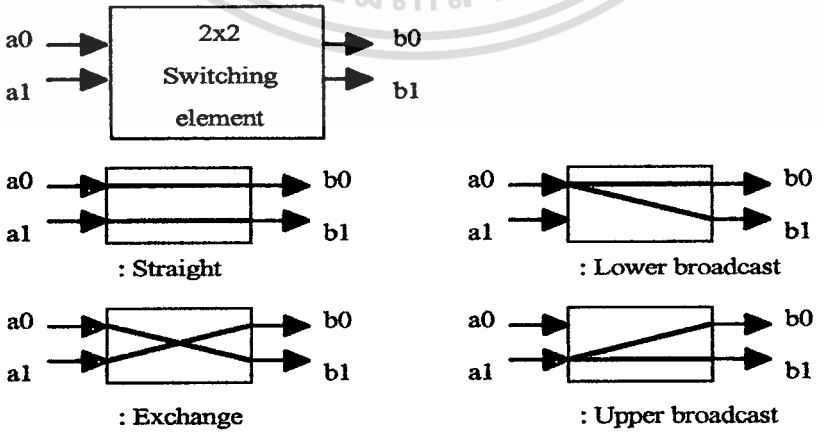
สถาปัตยกรรมของสวิตช์ถูกแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามลักษณะของสวิตช์ ซึ่งในที่นี้จะแบ่งตามของนิวแมน (Newman's classification) ดังรูปที่2.2นี้



รูปที่2.2 การแบ่งประเภทของสวิตช์

แบบแรกตัวกลางที่มีสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์เคลื่อนที่ผ่านจากต้นทางอินพุทพอร์ตไปยังปลายทางเอาท์พุทพอร์ต ซึ่งสัญญาณจะถูกแบ่งเป็นไทม์สล็อต เช่นรูปแบบบัส (Bus) ที่มีการ มัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาภายในตัวกลาง (Time division multiplexing)

ส่วนแบบที่สองคือ การแบ่งตามที่ว่าง (space division) ส่วนสวิตช์ สามารถสนับสนุนการติดต่อหลายทางในช่วงเวลาหนึ่งโดยการติดต่อจะอยู่บนหลักการที่ไม่มีการขัดแย้งในเส้นทางต่าง ๆ ภายในตัวสวิตช์ โดยตัวอย่างพื้นฐานของการแบ่งแบบที่กล่าวมาแล้ว เห็นได้จากการจัดส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของสวิตช์ (switching element)ซึ่งจะดูได้จากรูปที่2.3



รูปที่2.3 ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของสวิตช์และสภาวะต่างๆของส่วนประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งรูปแบบแบ่งเวลาและแบ่งที่ว่างสามารถนำมารวมกันได้ ซึ่งได้แก่การนำสวิตช์แบบแบ่งเวลาหลาย ๆ ตัวมาต่อกันโดยใช้สวิตช์แบบแบ่งที่ว่าง

การหาเส้นทางภายในสวิตช์แบบแบ่งที่ว่างจะถูกแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ

1. การหาเส้นทางซึ่งขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์ของการเชื่อมต่อภายในสวิตช์เรียกว่า self - routing
2. การหาเส้นทางโดยใช้ส่วนหัวของข้อมูล (header) ในการตัดสินหาเส้นทางซึ่งแบบนี้เรียกว่า Label routing โดยวิธีนี้จะไม่ขึ้นกับกฎเกณฑ์การต่อระหว่าง switch element แต่สามารถจะใช้ได้ทุกที่ที่มีการเชื่อมต่อของส่วนประกอบพื้นฐานของสวิตช์

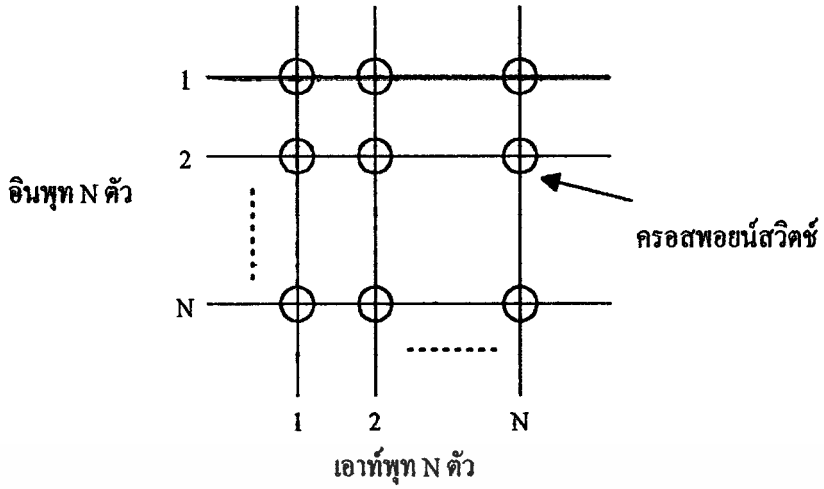
ตัวอย่างของการหาเส้นทางแบบ self - routing คือ แมททริกซ์สวิตช์ ซึ่งได้แก่ ครอสบาร์สวิตช์ ซึ่งมีทั้งหมด N^2 เส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อ N อินพุทและ N เอาท์พุท ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงมีสวิตช์แบบ multistage เพื่อให้เป็นการประหยัดอุปกรณ์

2.3 สวิตชิ่งแบบสเปรชดิวิชั่น (Space - Division Switching)

สวิตชิ่งแบบสเปชดิวิชั่นนี้ เดิมได้มีการนำไปใช้งานกับระบบอนาล็อก และต่อมาจึงได้จึงได้มีการพัฒนาเพื่อให้ใช้กับเทคโนโลยีแบบดิจิตอลได้ หลักการพื้นฐานของสวิตชิ่งแบบนี้จะมีลักษณะคล้าย ๆ กันทั้งแบบอนาล็อก และแบบดิจิตอล สเปชดิวิชั่นนั้นมีความหมายว่าเส้นทางในการรับ-ส่งสัญญาณข่าวสารที่ได้กำหนดขึ้นมา จะแยกออกจากเส้นทางอื่น ๆ ตามลักษณะทางกายภาพ โดยในแต่ละเส้นทางจะมีจุดต่อที่เรียกว่าสวิตช์ ซึ่งจะจัดให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างปลายทาง 2 จุดเท่านั้น พื้นฐานสำหรับการทำงานของสวิตช์ที่จุดต่อนี้ อาจเป็นโลหะหรือสร้างจากเกท สารกึ่งตัวนำ วิ่งจะสามารถควบคุมให้ทำงานหรือไม่ให้ทำงานก็ได้ โดยใช้หน่วยควบคุมในรูปที่2.4 จะแสดงครอสบาร์แมททริกซ์อย่างง่าย ที่มีคู่สายอินพุท และเอาท์พุทแบบฟูลดูเพล็กซ์ จำนาน N คู่สาย โดยที่แมททริกซ์นี้จะมีอินพุทเท่ากับ N และเอาท์พุท N อุปกรณ์แต่ละตัวจะต่อกับแมททริกซ์โดยผ่านอินพุทหนึ่งและเอาท์พุทหนึ่ง โดยจะสามารถเชื่อมต่อจากคู่สายใด ๆ ออกไปที่เอาท์พุทใดก็ได้ โดยกำหนดจุดครอสพอยน์ที่สามารถเชื่อมต่อคู่สายที่ต้องการ จากส่วนควบคุมการสวิตช์หรือควบคุมจุดครอสพอยน์ให้ทำงาน จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่าจำนวนครอสพอยน์ทั้งหมดมีค่าเป็น N^2 (N x N) สำหรับลักษณะของจุดครอสพอยน์จะมีข้อจำกัดดังต่อไปนี้

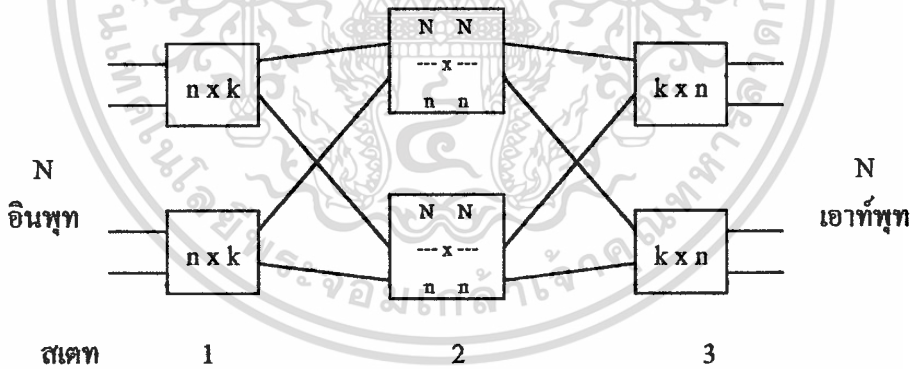
- จำนวนของจุดครอสพอยน์จะมีค่าเท่ากับ N^2 ถ้าค่า N มีค่ามาก ๆ จะทำให้สวิตช์มีราคาค่อนข้างสูง และจะมีผลต่อความสามารถที่จะรองรับการสวิทช์สัญญาณข่าวสาร เมื่อปริมาณการสื่อสารเพิ่มขึ้น
- การสูญเสียที่เกิดขึ้นที่จุดครอสพอยน์ จะถือว่ามีค่าน้อยมากในการเชื่มต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ติดต่อสื่อสารกัน
- ประสิทธิภาพที่ได้จากครอสพอยน์จะมีน้อยมาก เนื่องจากมีเอาท์พุทเพียงแค่ N แต่จะต้องใช้ครอสพอยน์ถึง N^2 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4 สวิตชิ่งแบบสเปซดิวิชั่น

จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงมีการนำเอาระบบสวิตช์ที่เป็นแบบมัลติสเตทมาใช้เพื่อการแก้ไขปัญหา โดยที่ทางด้านคู่สายของอินพุทจำนวน N คู่สายจะถูกแยกออกเป็น k กลุ่ม (N/n) โดยจัดเป็นกลุ่มละ n คู่สายต่อเข้ากับแมททริกซ์สวิตช์ในสเตจแรก และเอาท์พุทของสเตจแรกจะเป็นอินพุทให้กับสเตจต่อ ๆ ไป จนถึงสเตจสุดท้ายจะมี N เอาท์พุท ดังนั้นอุปกรณ์แต่ละตัวที่ต่ออยู่กับคู่สายทางอินพุทจะต่อเข้าสู่สเตทแรกและเอาท์พุทของจะไปออกที่สเตทสุดท้าย ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รูปแสดงสวิตชิ่งแบบสเปซดิวิชั่นแบบ 3 สเตท

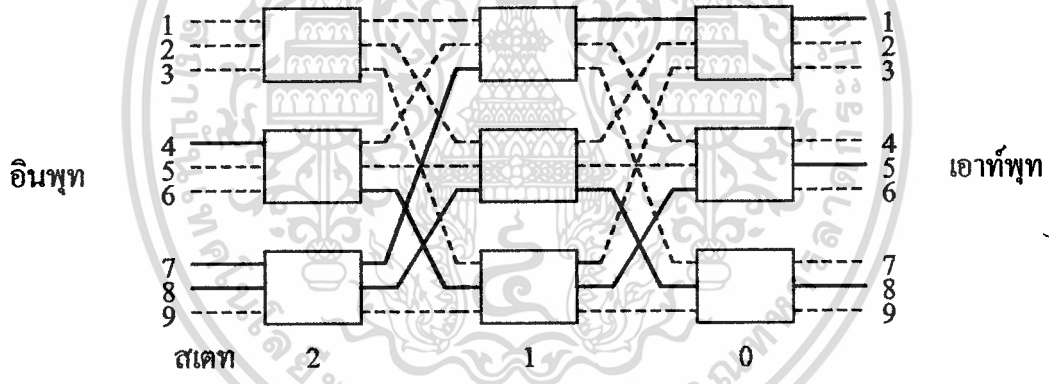
รูปนี้จะมีการแบ่งสเตทการทำงานเป็น 3 สเตท โดยแมททริกซ์สวิตช์สเตทที่ 2 จะมีอยู่ k แมททริกซ์ แต่ละแมททริกซ์จะมี k อินพุทและ k เอาท์พุท การเลือกเส้นทางในการเชื่อมต่อในสเตทที่ 2 จะต้องมีการพิจารณาที่ซับซ้อนกว่าการทำงานของแมททริกซ์แบบ N^2 โดยเอาท์พุทของแมททริกซ์แรกจะต่ออยู่กับแมททริกซ์ที่ 2 จำนวน k เส้นทางซึ่งมีจำนวนเอาท์พุทเป็น k เอาท์พุท ดังนั้นจึงมีการต่อเอาเอาท์พุทของสเตทที่ 2 เข้ากับอินพุทของแมททริกซ์ที่ 3 การจัดทำในลักษณะนี้จะมีข้อดีที่เหนือกว่าแบบแมททริกซ์เดี่ยวอยู่หลายอย่างคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำนวนจุดครอสพอยน์ของแมททริกซ์สวิตช์จะลดลง และเป็นการใช้จุดครอสพอยน์นี้อย่างมีประสิทธิภาพ
- มีเส้นทางผ่านในโครงข่ายสำหรับการเชื่อมโยงปลายทาง 2 จุดที่ต้องการติดต่อกันมากกว่า 1 เส้นทาง จึงเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือในการเชื่อมโยงระหว่างปลายทางทั้ง 2

สำหรับโครงข่ายที่เป็นมัลติสเตทจะมีการควบคุมที่ซับซ้อนกว่าโครงข่ายแบบสเตทเดียวโดยโครงข่ายแบบสเตทเดียวจะใช้เกทเพียงเกทเดียวในการสวิตช์ แต่สำหรับโครงข่ายที่เป็นแบบมัลติสเตทเส้นทางที่ใช้สำหรับติดต่อนั้นจะต้องมีการเชื่อมผ่านจุดต่าง ๆ ซึ่งจะต้องมีการควบคุมการทำงานของเกทต่าง ๆ ให้สัมพันธ์กันเพื่อที่จะสามารถเชื่อมต่อไปยังปลายทางได้ตามต้องการ

ในการพิจารณาการทำงานของสเปซดิวิชั่นแบบมัลติสเตท ซึ่งอาจจะเกิดการบล็อกกิ้งการเชื่อมต่อขึ้นได้ จากรูปที่2.4 จะแสดงการทำงานแบบครอสบาร์ ซึ่งเป็นแมททริกซ์ที่ไม่เกิดการบล็อกกิ้ง นั่นคือเส้นทางที่ต่อจากอินพุทไปยังเอาท์พุท จะสามารถทำได้เสมอ แต่สำหรับแบบมัลติสเตทดังแสดงไว้ในรูปที่2.6 ซึ่งแสดงถึงเส้นทางที่ใช้งานแบบ 3 สเตท โดยที่ N = 9, n = 3 และk = 3เส้นที่เน้นหนักจะหมายถึงเส้นที่ใช้งานแล้ว ในสถานะนี้อินพุทคู่สายที่ 9 จะไม่สามารถต่อกับเอาท์พุทคู่สายที่ 4 หรือ 6 แม้ว่าเอาท์พุทของทั้ง 2 จะว่างอยู่ก็ตาม



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างของการบล็อกกิ้งที่เกิดขึ้นใน สวิทช์ 3 สเตท

วิธีการแก้ไขการบล็อกกิ้งสามารถทำได้โดยการเพิ่มค่าของ k ซึ่งเป็นจำนวนเอาท์พุทของแต่ละแมททริกซ์สวิตช์ในสเตทที่ 1 และจำนวนของแมททริกซ์สวิตช์ในสเตทที่ 2 และทำให้อัตราการบล็อกกิ้งนี้ลดลง สำหรับรูปที่ 2.7 เป็นรูปที่แสดงการเพิ่มค่า k เมื่อทำการพิจารณาจะเห็นว่า ถ้าต้องการจะสร้างเส้นทางจากอินพุทคู่สาย a ไปยังเอาท์พุทคู่สาย b โอกาสที่จะเกิดการบล็อกกิ้งมากที่สุดก็คือการที่คู่สายทางอินพุทเหลืออยู่เพียง (n - 1) คู่สายและคู่สายทางเอาท์พุทเหลืออยู่ (n - 1)โดยคู่สายเหล่านั้นจะถูกต่อกับสวิตช์ที่อยู่ในสเตทกลาง ๆ ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุท ดังนั้นสวิตช์ที่อยู่ในส่วนกลางจะมีจำนวน เป็น (n - 1) + (n - 1) = 2n - 2 ครอสพอยน์ ซึ่งจะสามารถนำมาใช้สร้างเส้นทางจาก a ไปยัง b ได้แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีจำนวนของสวิตช์ในสเตทกลางมากกว่า 1 สเตท การเชื่อมโยงระหว่างสเตทจะต้องคงสภาวะนั้น ๆ ไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้การติดต่อสามารถดำเนินไปได้ตลอด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าโครงข่ายที่มีขนาด 3 สเตทจะไม่เกิดการบล็อกกิ้งขึ้นถ้า

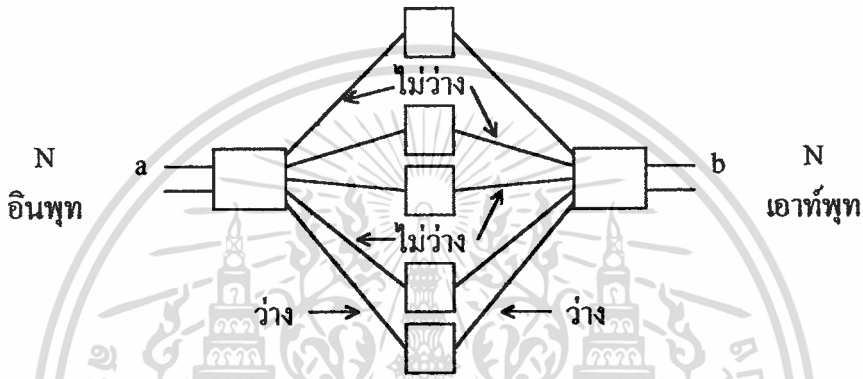
$$k = 2n - 1 \qquad (1)$$

แต่ถ้าต้องการใช้แบบมัลติสเตทที่มีจุดครอสพอยน์น้อยกว่าที่ใช้ในแบบสเตทเดียว สามารถที่จะคำนวณหาจำนวนของจุดครอสพอยน์ทั้งหมดสำหรับรูปที่ 2.5 ที่เป็นแบบ 3 สเตทจากสมการ

$$N_x = 2NK + k\,(N/n)^2 \ldots \qquad (2)$$

แทนค่า (1) ใน (2) จะได้ว่า

$$N_x = 4N\,[\,(2N)^{1/2} - 1] \qquad (3)$$



รูปที่ 2.7 แสดงสวิตชิ่งแบบ 3 สเตทที่ไม่มีการบล็อกกิ้ง

สำหรับในสวิตช์แบบที่ไม่มีการบล็อกกิ้ง ค่าของ N ที่ใช้จริงจะขึ้นอยู่กับจำนวนของสวิตช์ (N/n) ในสเตทแรก และสเตทที่ 3 เมื่อทำการออพติไมซ์สวิตชิ่งกลุ่มนี้ โดยที่ค่าดิฟเฟอร์เรนเชียลของ N_x เมื่อเทียบกับ n แล้วมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อกำหนดให้ค่า N มีค่ามาก ๆ ซึ่งผลลัพธ์จะครอบคลุมถึง $n=(N/2)^{1/2}$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (3) จะได้เป็น

$$N_x = 4N\,[\,(2N)^{1/2} - 1\,] \qquad (4)$$

จากสมการที่ (4)สามารถนำมาคำนวณหาค่าจำนวนของครอสพอยน์ได้ดังตารางที่ 2.1

จำนวนคู่สาย	ในสวิตชิ่งแบบ 3 สเตท	ในสวิตชิ่งแบบสเตทเดียว
128	7,680	16,384
512	68,488	262,141
3,048	516,096	$4.2 * 10^5$
8,192	$4.2 * 10^6$	$6.7 * 10^7$
3,2768	$3.3 * 10^7$	$1 * 10^9$

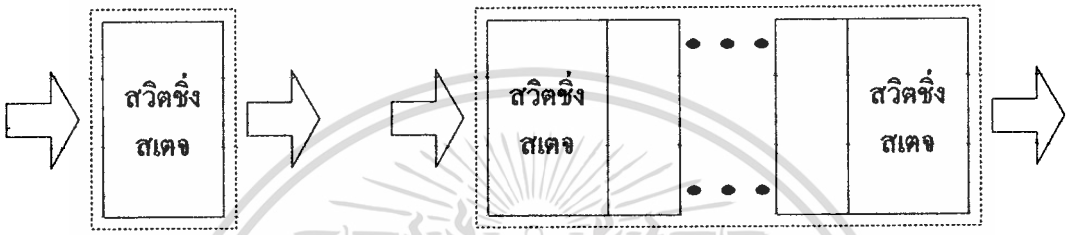
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การละเมิดลิขสิทธิ์ต้องรับโทษตามกฎหมาย

ตาราง 2.1 แสดงจำนนครอสพอยน์สวิตชิ่งแบบสเซดิวิชั่นไม่มีการบล็อกกิ้ง

จากตารางจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของสวิตชิ่งแบบ 3 สเตทจะดีกว่าแบบสเตทเดียว จากจำนวนคู่สายที่สามารถสวิตช์ได้เท่าๆกัน แต่สวิตชิ่งแบบ 3 สเตทจะมีจำนวนครอสพอยน์สวิตช์ที่น้อยกว่า

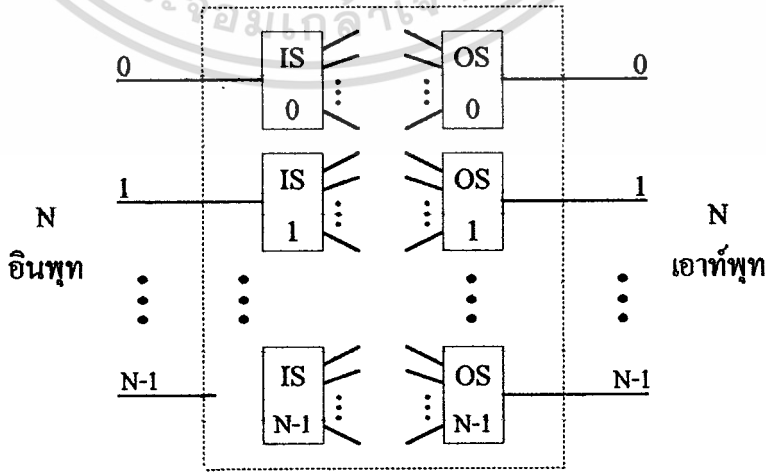
2.4 ซิงเกิลสเตจสวิตช์ (Single Stage Switch)

รูปแบบการเชื่อมต่อโครงข่ายมีทั้งที่ประกอบด้วย สวิตช์เพียงสเตทเดียว หรือที่ประกอบด้วยสวิตช์หลายๆสเตท ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมีส่วนที่แตกต่างกันคือ โครงข่ายสเตทเดียวข้อมูลที่ส่งผ่าน จะต้องผ่านสวิตช์หลายครั้งกว่าที่จะจะไปถึงยังปลายทางที่ถูกต้อง แต่สำหรับโครงข่ายหลายสเตทข้อมูลจะผ่านแต่ละสเตจเพียงหนเดียวก็เพียงพอที่จะให้ข้อมูลเดินทางไปยังปลายทางที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.8 รูปแบบการเชื่อมต่อโครงข่าย

โครงข่ายสเตทเดียวที่นิยมนั้นมีอยู่หลายรูปแบบที่แพร่หลายตัวอย่างเช่น โครงข่ายอีลีแอก (Illiac Network), โครงข่าย PM2I (Plus-Minus 2^i Network), โครงข่ายลูกบาศก์(Cube Network) และโครงข่ายชัฟเฟิล(Shuffle-Exchange Network) ซึ่งโครงข่ายเหล่านี้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาวิธีการเชื่อมต่อในโครงข่ายหลายสเตทต่อไป โดยตามแนวความคิดของโครงข่ายสามารถแสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นโครงข่ายที่มี N อินพุทและ N เอาท์พุท โดยที่ $N = 2^m$ และใช้เลขฐานสองแสดงตำแหน่ง แทนด้วย $P = p_{m-1}\ p_{m-2}\ p_{m-3}...\ p_2p_1p_0$ และ $\overline{p_i}$ แทนค่าคอมพลีเมนต์ของ p_i



รูปที่ 2.9 รูปแบบแนวคิดการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบสเตจเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 โครงข่ายแบบฌัฟเฟล-เอ็คซ์เชนจ์ (The Shuffle-Exchange Network)

โครงข่ายสเตจเดียวรูปแบบนี้ประกอบด้วย 2 ฟังก์ชันคือ ฟังก์ชั่นฌัฟเฟล และฟังก์ชั่นเอ็คซ์เชนจ์

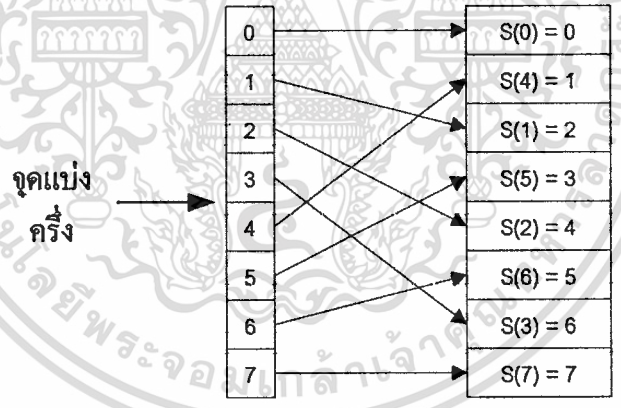
โดยที่ $\text{shuffle}(p_{m-1}\, p_{m-2}\, p_{m-3} \ldots\, p_2 p_1 p_0) = p_{m-2}\, p_{m-3} \ldots\, p_2 p_1 p_0 p_{m-1}$

$\text{exchange}(p_{m-1}\, p_{m-2}\, p_{m-3} \ldots\, p_2 p_1 p_0) = p_{m-1}\, p_{m-2}\, p_{m-3} \ldots p_2 p_1 \overline{p_0}$

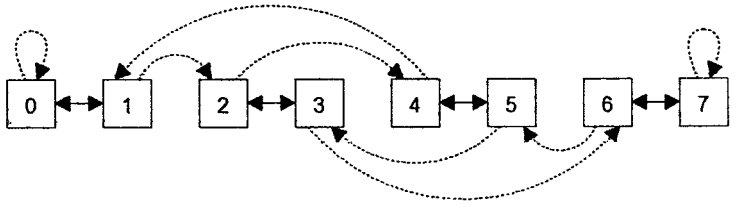
เช่นในกรณีที่ N = 8 shuffle(3) = 6⟶ [shuffle(011) = 101]

exchange(6) = 7⟶ [exchange(110) = 111]

ฟังก์ชั่นฌัฟเฟลจะทำงานเหมือนเป็นการวนรอบไปทางซ้ายของเลขฐานสองที่เป็นค่าตำแหน่งอินพุท ตามพื้นฐานของศัพท์เดิมแล้วการสับ “ฌัฟเฟล” (Shuffle) มีความหมายถึงวิธีการสับไพ่โดยแบ่งครึ่งสำรับอย่างเท่ากันแล้วนำมากรีดสลับกันทีละใบอย่างสมบูรณ์ ดังรูปที่ 2.10 โครงข่ายนี้จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “การสับอย่างสมบูรณ์” (Perfect Shuffle Network) ส่วนในฟังก์ชั่นเอ็คซ์เชนจ์จะสามารถเชื่อมโยงได้แค่แอดเดสที่มีบิทสุดท้ายเป็นคอมพลีเมนต์ของกันและกันเท่านั้น ฟังก์ชั่นทั้งสองแสดงร่วมกันได้ดังรูปที่ 2.11 (สำหรับกรณีที่ N=8) โดยฟังก์ชั่นฌัฟเฟลจะแสดงด้วยเส้นประ และฟังก์ชั่นเอ็คซ์เชนจ์แสดงด้วยเส้นทึบ ซึ่งถ้าไม่ใช้ฟังก์ชั่นเอ็คซ์เชนจ์เข้ามาช่วยแล้วจะไม่สามารถทำงานแบบสเตทเดียว (อินพุทที่ 0 และ N-1 จะไม่สามารถเชื่อมต่อกับเอาท์พุทอื่นๆ ได้)



รูปที่ 2.10 รูปแบบการสับอย่างสมบูรณ์

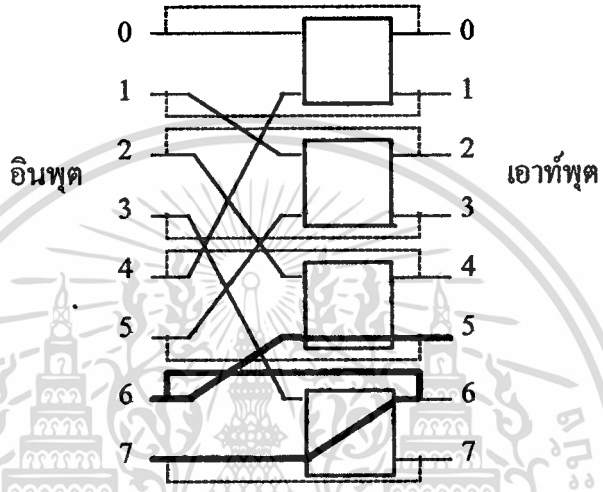


รูปที่ 2.11 การทำงานของฌัฟเฟลฟังก์ชั่นและฟังก์ชั่นเอ็คซ์เชนจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาตามรูปที่ 2.9 สำหรับโครงข่ายฌัฟเฟิลสเตจเดียวแล้ว ด้านตัวเลือกทางอินพุท ด้วย P = $p_{m-1}\ p_{m-2}\ p_{m-3}...\ p_2p_1p_0$ เชื่อมต่อกับ $p_{m-2}\ p_{m-3}...\ p_2p_1p_0p_{m-1}$ (=shuffle(P)) และ $p_{m-1}\ p_{m-2}\ p_{m-3}...\ p_2\overline{p_1}p_0$ (=exchange(P)) ทางด้านปลายทางเอาท์พุท Q = $q_{m-1}q_{m-2}q_{m-3}...q_2q_1q_0$ จะเชื่อมต่อรับข้อมูลมาได้จาก $q_0q_{m-1}q_{m-2}q_{m-3}...q_2q_1$ หรือ $q_{m-1}q_{m-2}q_{m-3}...q_2q_1\overline{q_0}$ เท่านั้น

เนื่องจากข้อจำกัดของฟังก์ชั่นทั้งสองเมื่อจะมีการติดต่อไปยังตำแหน่งอื่นๆก็จะต้องเพิ่มฟังก์ชั่นการป้อนกลับเข้ามาจากเอาท์พุทไปยังอินพุทอื่นๆเข้าทำงานอีกรอบดังรูปที่ 2.12 ดังนั้นชุดข้อมูลจึงต้องผ่านสวิตช์หลายรอบกว่าจะไปถึงเอาท์พุทที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อเพื่อที่จะไปได้ยังเอาท์พุททุกตัว

2.5 มัลติสเตจสวิตช์

2.5.1 ลักษณะการทำงานของมัลติสเตจสวิตช์

มัลติสเตจสวิตช์ จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน (element) ที่สามารถปรับสถานะได้ 4 สถานะ

1.แบบเส้นตรง (Straight)

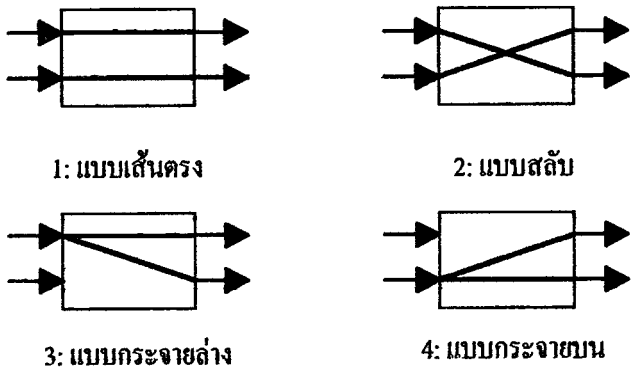
2.แบบสลับ (Swap)

3.แบบกระจายล่าง (Lower Broadcast)

4.แบบกระจายบน (Upper Broadcast)

แสดงดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



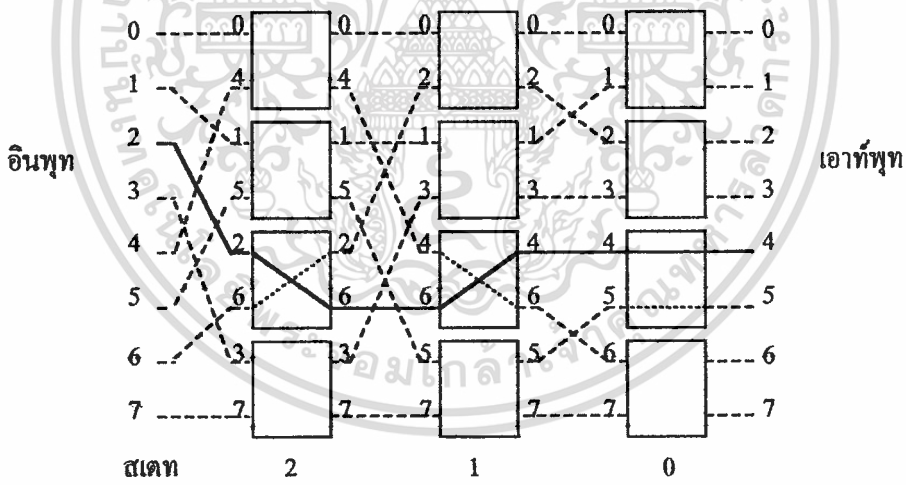
รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของสวิตช์และ สภาวะต่างๆ ของส่วนอุปกรณ์ขั้นพื้นฐาน

2.5.2 การเชื่อมต่อบนมัลติสเตจสวิตช์

สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ

2.5.2.1 การเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one-to-one connection)

การเชื่อมต่อลักษณะนี้จะใช้ส่วนอุปกรณ์พื้นฐานเพียงสองสถานะ คือแบบเส้นตรง และแบบสลับ โดยมีเส้นทางเชื่อมระหว่างต้นทางหนึ่ง ไปยังปลายทางเพียงจุดเดียว โดยวิธีการเชื่อมต่อจะกล่าวในหัวข้อถัดไป ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อจะแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่2.14

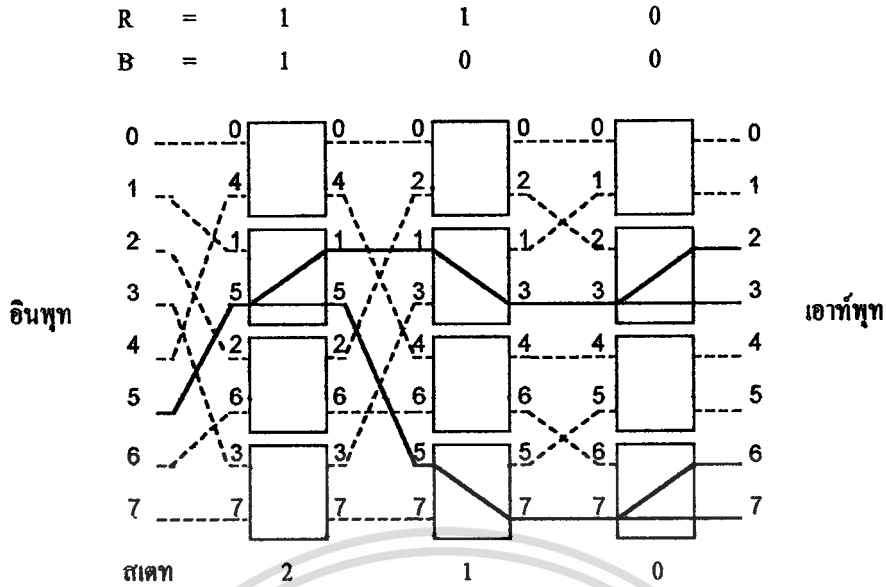


รูปที่ 2.14 ลักษณะการเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่ง

2.5.2.2 การเชื่อมต่อแบบกระจาย (Broadcast Connection)

การเชื่อมต่อแบบนี้จะใช้สถานะทั้งสี่ของส่วนประกอบนั้นพื้นฐาน คือ นอกจากแบบสลับและแบบตรง ยังประกอบด้วย สถานะกระจายล่างและกระจายบน โดยการเชื่อมต่อแบบนี้เส้นทางจากต้นทางหนึ่งจะไปยังปลายทางมากกว่าหนึ่งจุด ลักษณะการเชื่อมต่อจะแสดงได้ดังตัวอย่างใน รูปที่2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ลักษณะการเชื่อมต่อแบบกระจาย

2.5.3 แบบแผนการควบคุมการกระจาย (Distributed-control schemes)

แบบแผนการหาเส้นทางโดยใช้ แท็ก (Routing-Tag scheme) เมื่อข้อความถูกส่งผ่านไปในส่วนสวิตช์แท็ก สำหรับหาเส้นทางจะถูกรวมเข้าไปในข้อความนั้นด้วยนั่น คือ ส่วนหัว (Header) โดยส่วนอุปกรณ์พื้นฐาน (Element) แต่ละตัวจะพิจารณาแท็กแล้วจึงตั้งค่าตัวเองเพื่อ ให้ข้อความส่งผ่านไปในสวิตช์ไปยังปลายทางได้

การใช้แท็กจะสามารถใช้ได้สองโหมดคือ

1. โหมดเซอร์กิตสวิตช์ (Circuit switch Model)

ในโหมดนี้ หลังจากที่เส้นทางถูกสร้างขึ้นโดยแท็กแล้ว อุปกรณ์พื้นฐานแต่ละตัวยังคงสถานะเดิมไว้จนเส้นทางนั้นถูกยกเลิก

2. โหมดแพ็กเกจสวิตช์ (Packet switch)

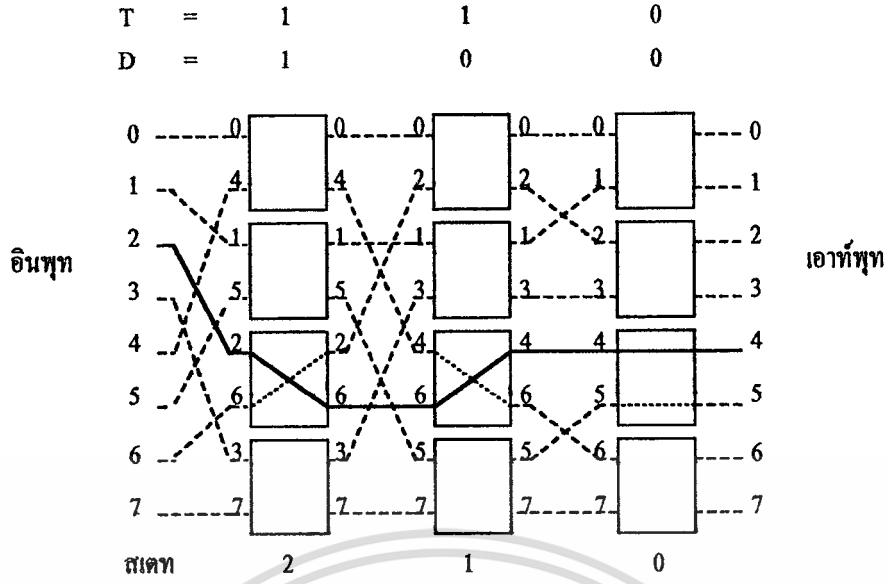
เมื่อข่าวสารถูกส่งผ่านข้อมูลจะประกอบด้วยส่วนข้อมูล (Data) และส่วนแท็กเพื่อหาเส้นทางรวมอยู่ในรูปของแพ็กเกจ โดยเมื่อเคลื่อนผ่านแต่ละสเตจจะใช้แท็กเพื่อหาเส้นทางในแต่ละสเตจโดยไม่มีการค้างสถานะเหมือนกับโหมดเซอร์กิตสวิตช์ เมื่อข่าวสารผ่านส่วนประกอบพื้นฐานแต่ละตัวไป ส่วนประกอบพื้นฐาน จะสามารถเปลี่ยนสถานะกลับได้ทันที

2.5.4 วิธีการเชื่อมต่อโดยใช้แท็ก สำหรับการเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่ง

(Routing -Tag Scheme for one-to-one connections)

แบบที่ 1. เอ็กซ์คลูซีพออร์แท็ก (Exclusive-or tags) สมมุติให้ S คือ ตำแหน่งต้นทาง และ D คือ ตำแหน่งปลายทาง แท็กสำหรับหาเส้นทางคือ T โดย $T = S \oplus D$ คือ S ทำการเอ็กซ์คลูซีพออกับD

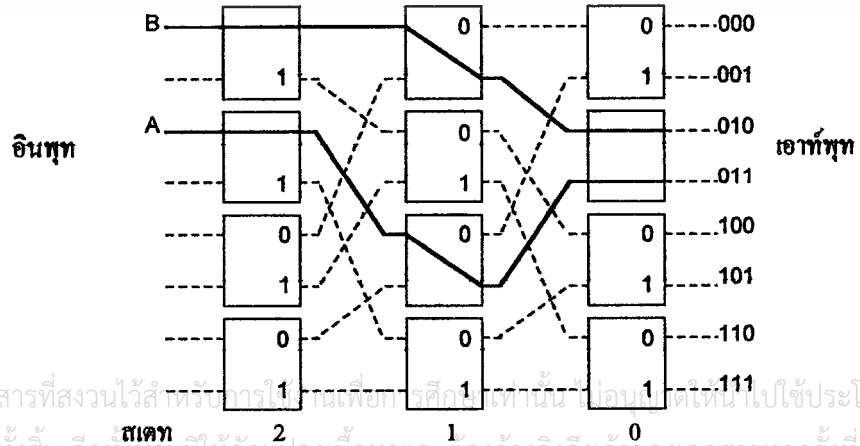
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงการหาเส้นทางโดยวิธีของเอ็กซ์คลูซีพออร์แท็ก

โดยถ้าค่า T ที่ได้เป็น 1 จะหมายถึงให้สถานะของส่วนประกอบพื้นฐาน ทำการสลับ (Swap) ส่วน ถ้า T =0 จะหมายถึงให้สถานะของอุปกรณ์พื้นฐานเป็นสภาพตรง (Straight) ดังตัวอย่างเช่น S=010=2 ไปยัง D=100=4 ในสวิตช์ที่มี 8 อินพุท T= S + D = 110 จะทำการปรับสถานะเป็น สลับ,สลับ, ตรง ดังแสดงดังรูปที่ 2.16

แบบที่2. แท็กของตำแหน่งปลายทาง (Destination Tag) เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีเอ็กซ์คลูซิฟออร์ ซึ่งใช้เฉพาะตำแหน่งปลายทางในการหาเส้นทาง จะมีการทำงานคือ ให้ D เป็นตำแหน่งปลายทาง เมื่อแท็กไปถึงขาเข้าทางด้านบนของส่วนประกอบพื้นฐาน (Upper input of element) ถ้า D_I ของแท็กเท่ากับ 0 อุปกรณ์พื้นฐาน จะมีสถานะตรง ส่วนถ้า D_I เท่ากับ 1 ส่วนประกอบพื้นฐานจะมีสถานะสลับ ส่วนในทางตรงกันข้าม ถ้าแท็กเข้าทางด้านล่างของส่วนประกอบพื้นฐาน (Lower input of element) ถ้า D_I ของแท็กเท่ากับ 0 อุปกรณ์พื้นฐานจะมีสถานะสลับ ถ้า D_I ของแท็กเท่ากับ 1 อุปกรณ์พื้นฐานจะมีสถานะตรง โดยแสดงตัวอย่าง D = 011 จะได้ดังรูปที่ 2.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

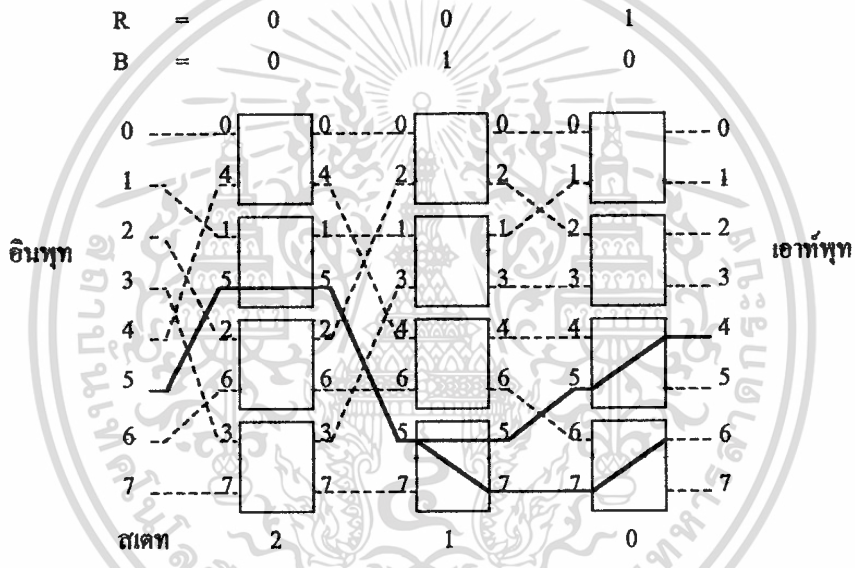
รูปที่ 2.17 แสดงการหาเส้นทางโดยใช้ตำแหน่งปลายทาง

2.5.5 วิธีการเชื่อมต่อโดยใช้แท็กสำหรับการเชื่อมต่อแบบกระจาย

(Routing-Tag Scheme for Broadcasting)

วิธีการใช้แท็กหาเส้นทางสำหรับการเชื่อมต่อแบบกระจาย จะเป็นส่วนขยายของวิธีการเส้นทางแบบเอ็กซ์คลูซีพออ มีการทำงาน ดังนี้

ให้ E และ F เป็นตำแหน่งปลายทาง 2 ตำแหน่ง และให้ S เป็นตำแหน่งต้นทาง จะได้แท็กสองตัวคือ T_F=S⊕E T_F = S⊕F เช่น ถ้า S=101ม E= 100 และ F=110 แล้ว T_F 001 และ T_F 011 หลังจากนั้น กำหนดให้ R เป็นแท็กลำดับที่สอง สำหรับเป็นข้อมูลในการหาเส้นทางและ B เป็นแท็กสำหรับการกระจาย โดย R จะมีค่าเป็นตัวใดตัวหนึ่ง เช่น R = T_E ส่วนค่า B = T_E⊕T_F ดังนั้น เมื่อนำมาพิจารณา คือ เมื่อ BI = 0 R_I จะถูกใช้เหมือน T ในการหาเส้นทางแบบเอ็กซ์คลูซีพออ ส่วนถ้า B_I = 1 จะทำให้เกิดการกระจายที่อุปกรณ์พื้นฐานตัวนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



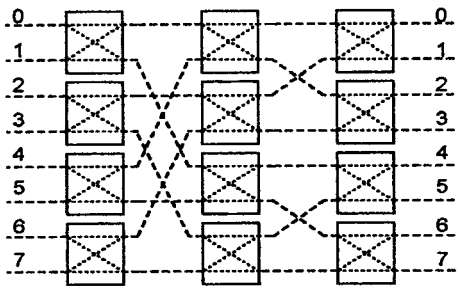
รูปที่ 2.18 แสดงการเชื่อมต่อโดยใช้แท็กสำหรับการเชื่อมต่อแบบกระจาย

2.5.6 ตัวอย่างรูปแบบของมัลติสเตจสวิตช์

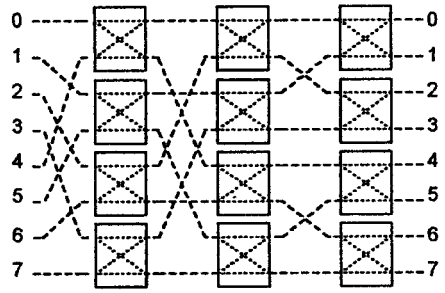
รูปแบบของมัลติสวิตช์ที่มีใช้อย่างแพร่หลายให้เห็นอยู่ทั่วไปมีหลายรูปแบบยกตัวอย่างเช่น

1. โครงข่ายแบบบานยาน(Banyan Network) ในรูปที่ 2.19.1
2. โครงข่ายแบบลูกบาศก์(Generalized-Cube Network) ในรูปที่ 2.19.2
3. โครงข่ายแบบเดลต้า(Delta Network) ในรูปที่ 2.19.3
4. โครงข่ายแบบโอเมก้า(Omega Network) ในรูปที่ 2.19.4

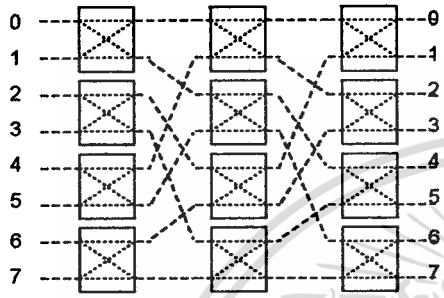
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



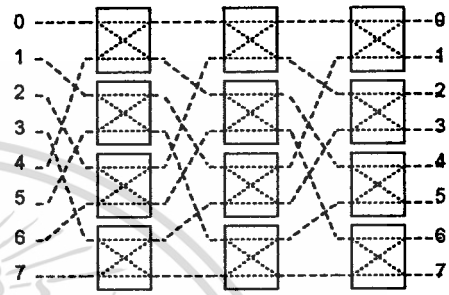
1. Banyan Network



2. Generalized-Cube Network



3. Delta Network

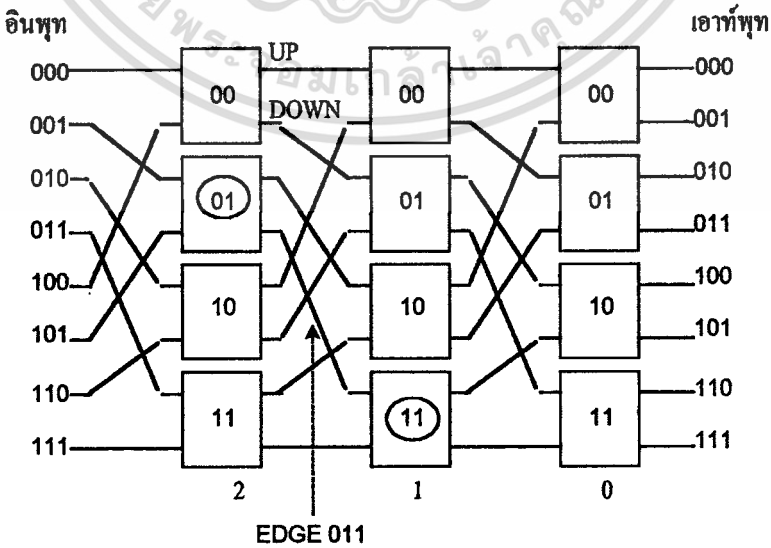


4. Omega Network

รูปที่ 2.19 ตัวอย่างโครงข่ายแบบมัลติสเตจสวิตช์

2.5.7 การหาเส้นทางด้วยตนเองในโครงข่ายแบบโอเมก้า (Omega Network)

ต้องมีการกำหนดให้ชุดข่าวสารที่จะเป็น "แบบหาเส้นทางได้ในตัวเอง" (Self-routing) ก็ต่อเมื่อส่วนหัวของข่าวสารมีข้อมูลที่ต้องการสำหรับกำหนดเส้นทาง ไม่ว่าจะมีขั้นตอนซับซ้อนหรือไม่ก็ตาม



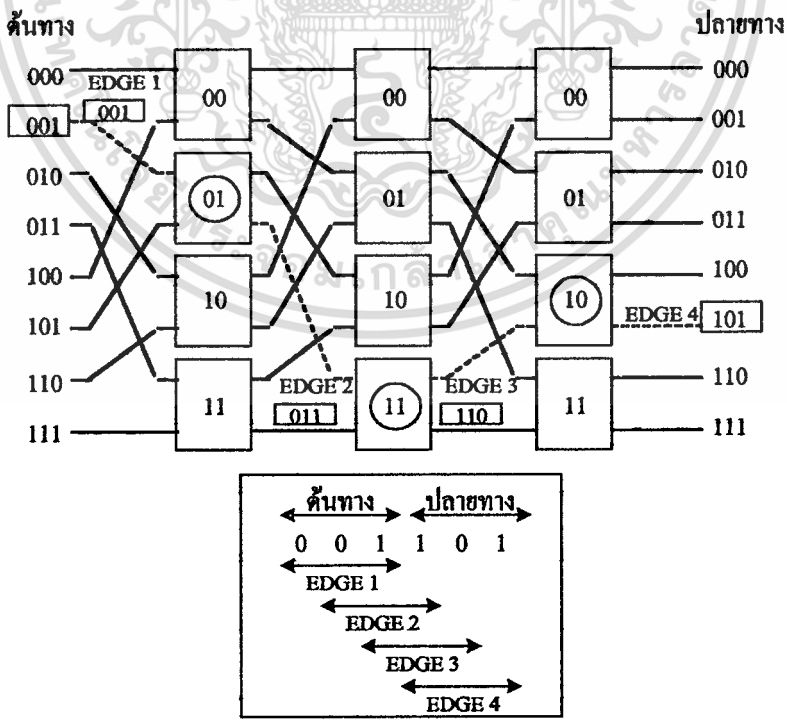
รูปที่ 2.20 โหนดและการเชื่อมต่อในโครงข่ายโอเมก้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ 2.20 ในโครงข่ายจะมี $N=2^n$ อินพุตและ 2^n เอาท์พุท ซึ่งมีการเชื่อมต่อ n ขั้นแต่ละขั้นมีสวิตช์โหนดที่เรียงลำดับจากบนลงล่างด้วยเลขฐานสองโดยเริ่มจาก 0 จนถึง 2^{n-1}-1 ในส่วนของส่วนเชื่อมต่อระหว่างแต่ละสเตจ และแอดเดสของอินพุท-เอาท์พุท กำหนดในลักษณะเลขฐานสองเช่นเดียวกัน เช่น ทางออกของโหนด 01 ของแต่ละสเตจจะเชื่อมต่อกับ 010, 011 ตามลำดับหรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งคือ " 0 " จะแสดงถึงทางออกบน " 1 "จะแสดงถึงทางออกล่าง

การเชื่อมโยงระหว่างโหนดของ 2 สเตจที่ต่อเนื่องกันจะแทนเลขสเตจด้วย k, k+1 ในการเชื่อมต่อจะใช้โหนดของ k สเตจที่แทนด้วยเลขการเชื่อมต่อที่ไม่มีบิทขวาสุด(LSB) เชื่อมต่อไปยัง สเตจ k+1ที่โหนดที่แทนด้วยเลขการเชื่อมต่อที่ไม่มีบิทซ้ายสุด(MSB) เช่นการเชื่อมต่อของทางลำดับที่ 001 ที่เชื่อมต่อระหว่างโหนด 01 ในสเตจ k เข้ากับโหนด 11 ที่สเตจ k+1

จากที่ได้อธิบายมาในส่วนของ โครงข่ายโอเมก้า การระบุเส้นทางด้วยตัวเองจะเป็นรูปแบบที่ธรรมดาและง่ายดายมาก ดังนั้นเมื่อเรามีชุดข้อมูลที่อินพุท $a_1a_2...a_n$ และต้องการเดินทางไปยังเอาท์พุท $b_1b_2...b_n$ เราควรใช้เส้นทางเชื่อมต่อ $b_1b_2...b_n$ เหมือนเป็น แอดเดสที่ระบุทางเดินเองได้ วิธีการเลือกใช้การเชื่อมต่อเส้นบนหรือล่างที่สเตจ k ขึ้นอยู่กับว่า $b_k = 0$ หรือ $b_k = 1$ ในขั้นนี้ชุดข้อมูลจะจบลงที่เอาท์พุทที่ออกแบบไว้ของระบบ จะสามารถขยายความได้ว่าข้อมูลที่ผ่านโหนด $a_2...a_n$ ในสเตจแรกจะใช้เส้นทาง $a_2...a_nb_1$ เพื่อเชื่อมต่อไปยังโหนด $a_3...a_nb_1$ และที่สเตจที่ 2 ใช้เส้นทาง $a_{k+1}...a_nb_1...b_k$ เชื่อมไปถึงยังโหนด $a_{k+2}...a_nb_1...b_k$ ที่สเตจ k+1 เป็นเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆตามลำดับสเตจ แล้วในที่สุดชุดข้อมูลก็จะมาถึงยังปลายทางเอาท์พุท $b_1...b_n$ ซึ่งเดินทางออกมาจากโหนด $b_1...b_{n-1}$ ที่สเตจ n



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.21 เส้นทางที่หาได้เองในโครงข่ายโอเมก้า

คุณลักษณะการไล่เลขลำดับของส่วนต่างๆในลักษณะบนลงล่างนี้สามารถใช้ได้กับโครงข่ายอื่นๆด้วย ทำให้งายดายในการพิสูจน์การทำงานต่างๆ ในที่จะพิจารณาเฉพาะ โครงข่ายโอเมก้า โดยให้แอดเดสที่ระบุเส้นทางได้เอง ชุดข้อมูลจะมีเงื่อนไขเป็นไปตามนี้

1. แอดเดสมีรูปแบบเดียวกันทั้งหมด คือเมื่อที่ต้นทางเพิ่มจากบนลงล่าง ที่ปลายทางก็ต้องเพิ่มจากบนลงล่างเช่นกัน
2. ชุดข้อมูลมีปลายทางแน่นอน คือ ไม่มีข้อมูลที่เข้ามาอย่างไร้จุดหมาย

เมื่อเส้นทางถูกใช้ไปโดยชุดข้อมูลโดยไม่ได้ร่วมกับการเชื่อมโยงอื่นๆ ก็เลยไม่จำเป็นต้องมีบัฟเฟอร์ภายในทุกโหนดของแต่ละอีลิเมนต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 วงจรไฟฟ้า

ในการออกแบบให้ได้ตามทฤษฎีในบทที่2 นั้นได้ทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนพื้นฐาน และส่วนระบบโอเมก้าได้ดังนี้

3.1.1 วงจรส่วนประกอบพื้นฐานของสวิตช์

วงจรส่วนย่อยของสวิตช์นี้สามารถแบ่งออกตามหน้าที่ได้เป็น 2 ส่วนคือ

3.1.1.1 ส่วนทางผ่านข้อมูล

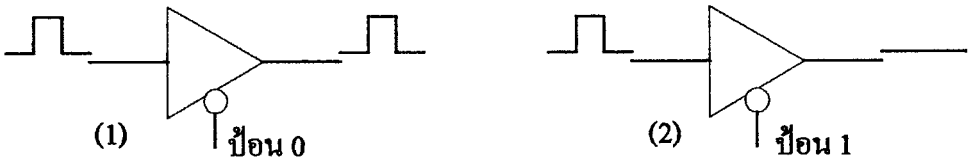
สวิตช์อีลิเมนต์ที่ออกแบบนี้ต้องการให้สัญญาณที่ผ่านเป็นดิจิตอล จึงเลือกใช้ไอซีในงานด้านดิจิตอลทั้งสิ้น (ในกรณีที่ต้องการใช้งานด้านอนาล็อก สามารถใช้วงจร A/D ช่วยได้)ไอซี ที่ทำหน้าที่ได้เช่นเดียวกับสวิตช์คือ 74LS125 เมื่อเทียบลักษณะการทำงานแล้วจะเหมือนรีเลย์คือ

- ถ้าเปิดสวิตช์ สัญญาณจะผ่านได้
- ถ้าปิดสวิตช์ วงจรเปิด คือ มีอิมพีแดนซ์สูง (สัญญาณจะผ่านไม่ได้)

และสามารถควบคุมได้เป็นตัวๆ ไป เช่นเดียวกับรีเลย์ สัญลักษณ์ของเกทนี้แสดงดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 สัญลักษณ์ของเกทใน 74LS125

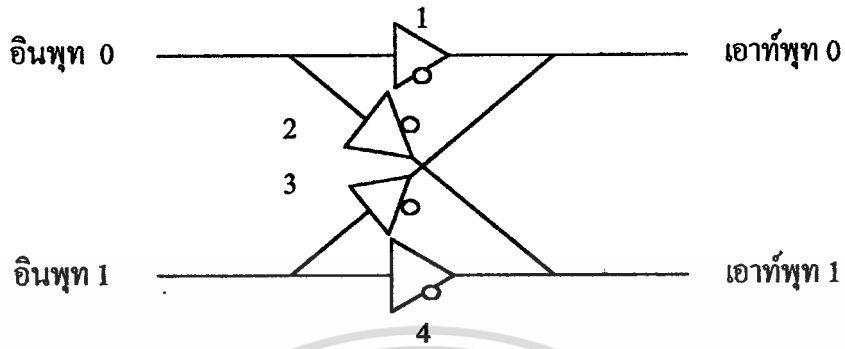
จากรูปเกทตัวนี้จะยอมให้ข้อมูลผ่าน เมื่อขาควบคุมมีสถานะเป็น " 0 " และอิมพีแดนซ์สูงเมื่อขาควบคุมมีสถานะเป็น " 1 " และสามารถควบคุมได้เป็นตัวๆ ไป เช่นเดียวกับรีเลย์ สัญลักษณ์ของเกทนี้แสดงดังรูป3.2 (1) และ (2) ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 สถานะเกทเมื่อเปิด-ปิดสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะนำเกทตัวนี้มาทั้งหมด 4 ตัว มาทำการต่อเป็น สวิตช์อีลิเมนต์แบบ 2 x 2 ดังรูปที่ 3.3 เพื่อที่จะสามารถสับเส้นทางของข้อมูลได้ 4 เส้นทางดังรูปที่3.4



รูปที่ 3.3 ลักษณะการต่อของเกท

รูปที่ 3.4 เส้นทางของข้อมูลที่ผ่านเกท

1. เมื่อใช้เกทตัวที่ 1 2. เมื่อใช้เกทตัวที่ 2
3. เมื่อใช้เกทตัวที่ 3 4. เมื่อใช้เกทตัวที่ 4

ทำให้เราสามารถใช้งานได้ 4 สถานะตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 คือ แบบเส้นตรง แบบสลับ แบบกระจายล่าง และแบบกระจายบน

3.1.1.2 วงจรควบคุมสวิตช์

เนื่องจากว่าในการส่งผ่านข้อมูลต่างๆนั้น ระยะเวลาในการส่งจะนานกว่าสัญญาณเวลาอยู่มากทำให้ต้องมีการการคงสถานะของเส้นทางที่ใช้ไว้ จนกว่าจะสิ้นสุดการใช้งานในเส้นทางนั้น ๆ จึงได้ทำการเลือกไอซี 74LS74 มาทำหน้าที่นี้โดยจะมีส่วนประกอบของ D-FF ภายใน 2 ตัว

ลักษณะการทำงานของ D-FF จะมีป้อนสัญญาณการควบคุมที่ขา D และได้ผลจากขา Q ดังตารางที่ 3.1

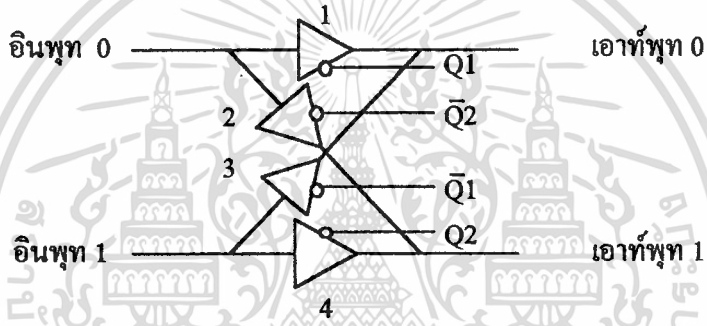
สำหรับการควบคุมสวิตช์1ตัวจะต้องใช้ D-FF ถึง2ตัวจาก 74LS74 1ตัวพอดีโดยฟลิบฟลอบ ตัวแรกจะควบคุมเกทตัวที่ 2 และ 4 ส่วนตัวหลังจะควบคุมเกทตัวที่ 1 และ 3 ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

040385

ขาเข้า				ขาออก	
PR	CLR	CLK	D	Q	NOT Q
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H*	H*
H	H	A	H	H	L
H	H	A	L	L	H
H	H	L	X	Q_D	NOT Q_D

ตารางที่3.1 การทำงานของไอซี 74LS74



รูปที่ 3.5 แสดงรูปสัญญาณจากฟลิบฟลอบที่ใช้ควบคุมเกทแต่ละตัว

โดยจะได้รับสัญญาณคำสั่งการควบคุมมา เข้าที่ขา CLK ต่อขา D เข้ากับ notQ แล้วส่งค่าเอาท์พุท ไปยังขาควบคุมของเกทแต่ละตัวใน 74LS125 ค่าที่ใช้ในการควบคุมจะเป็นดังตารางที่ 3.2

ลักษณะการทำงาน	เข้า		สถานะของเกท			
ของสวิตช์	C_1	C_2	1	2	3	4
ตรง	0	0	ON	-	-	ON
โลเวอร์ บอร์ดแคส	0	1	ON	ON	-	-
อัปเปอร์ บอร์ดแคส	1	0	-	-	ON	ON
ไขว้	1	1	-	ON	ON	-

ตารางที่ 3.2 แสดงการควบคุมของไอซี 74LS74 ไปยัง ไอซี 74LS125

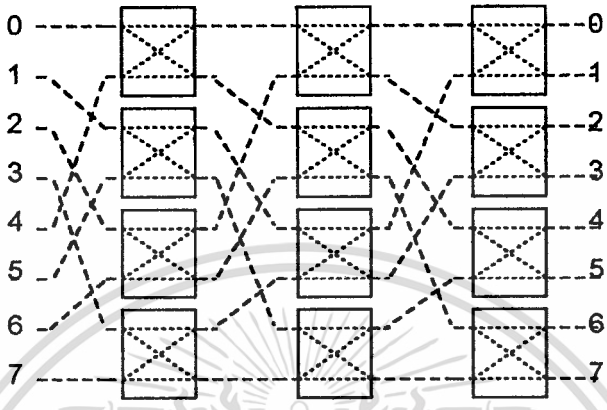
เมื่อทั้งสองส่วนมาทำงานร่วมกันก็จะได้อุปกรณ์สวิตช์ขึ้นมาแบบ 2 อินพุท 2 เอาท์พุท (2x2) ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งสามารถสลับเส้นทางข้อมูล และคงสถานะไว้ได้ตามที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 แสดงวงจรในโปรแกรม Protel

3.1.2 วงจรส่วนประกอบพื้นฐานของสวิตช์

ในการใช้งานสำหรับโครงสร้างระบบแบบโอเมก้านั้น สำหรับการสลับเปลี่ยนสัญญาณจาก 8 อินพุท ไปยัง 8 เอาท์พุทจะใช้สวิตชเพียงแค่ 12 ตัวเท่านั้นที่นำมาเรียงกันในรูปแมททริกซ์ที่มี 4 แถว 3 หลัก (4x3) ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งประหยัดกว่าการต่อแบบครอสพอยน์ที่จะต้องใช้สวิตช์ถึง 64 ตัวด้วยกัน (8^2)



รูปที่ 3.7 โครงข่ายโอเมก้าที่ประกอบจากสวิตช์ 12 ตัว

ในการที่เราจะเชื่อมต่อให้ได้จาก N ต้นทาง ไปยัง N ปลายทางจะมีเส้นทางที่เชื่อมต่อกันทั้งหมด N x N ในกรณีนี้จะได้ว่า 8 x 8 = 64 เส้นทางในการเข้าและออกของข้อมูลแบบ 1:1 คือมีข้อมูล 1 ชุดจากต้นทางหนึ่งไปยังอีกต้นทางหนึ่งเท่านั้น

จากต้นทาง	0	ไปยัง	0	1	2	3	4	5	6	7	4	ไปยัง	0	1	2	3	4	5	6	7
	1	ไปยัง	0	1	2	3	4	5	6	7	5	ไปยัง	0	1	2	3	4	5	6	7
	2	ไปยัง	0	1	2	3	4	5	6	7	6	ไปยัง	0	1	2	3	4	5	6	7
	3	ไปยัง	0	1	2	3	4	5	6	7	7	ไปยัง	0	1	2	3	4	5	6	7

สามารถกระทำได้ครบทุกกรณีดังตารางที่ 3.3 ที่ได้แสดงผลจากต้นทาง 0 ถึง 5 ไปยังปลายทางที่ 0 ถึง 7 ได้ครบ และบอกตำแหน่งของสวิตช์ตัวที่ใช้ด้วยตามหลักทั้ง 3 เป็นตัวอย่างพอสังเขป

3.1.3 วงจรรวม

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานต่างๆ ของวงจรโดยส่วนแรกสวิทช์แสดงผลบนวงจร LED มีบัฟเฟอร์รองรับข้อมูลก่อนที่จะผ่านเข้าไปยังตัวโมเดลสวิทช์ แล้วมีบัฟเฟอร์รองรับที่ทางด้านเอาท์พุทมาแสดงผลที่ LED ทางปลายทางดังรูปที่ 3.8

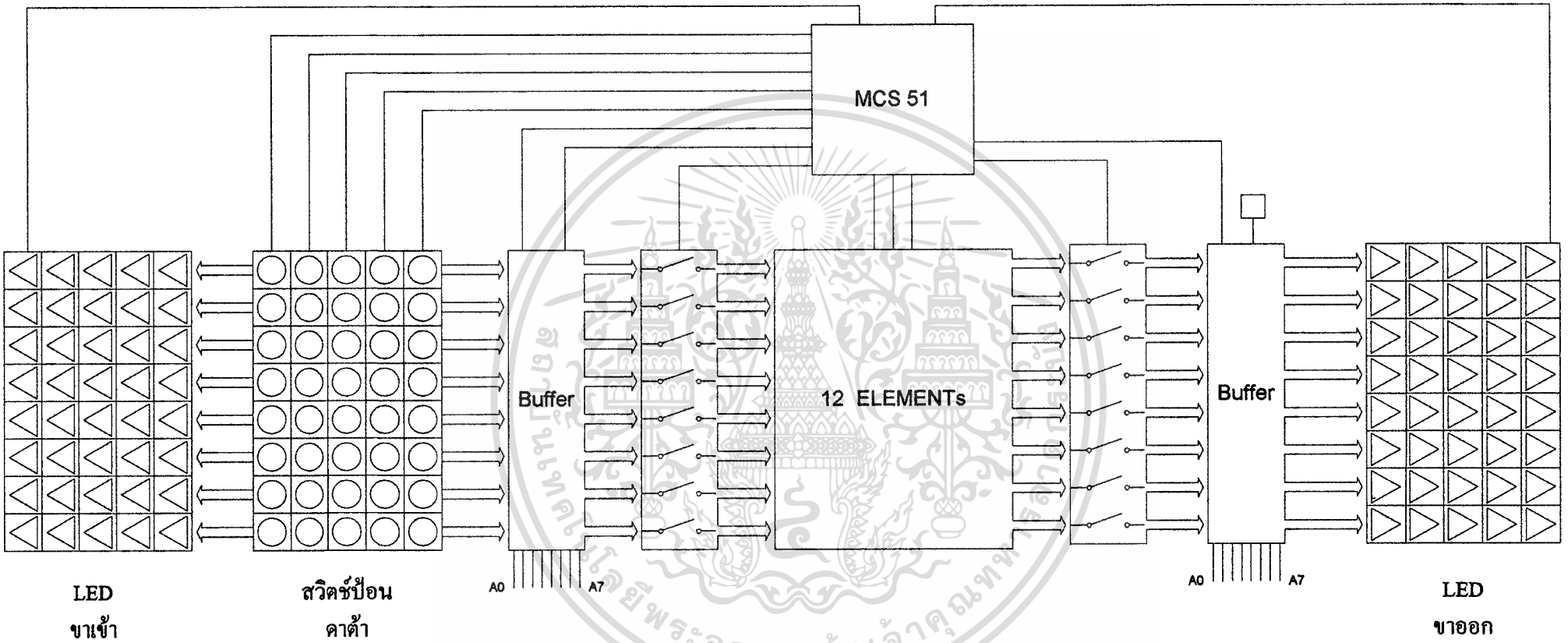
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทาง	ปลายทาง	หลัก1	หลัก2	หลัก3
0	0	1	1	1
0	1	1	1	1
0	2	1	1	2
0	3	1	1	2
0	4	1	2	3
0	5	1	2	3
0	6	1	2	4
0	7	1	2	4
1	0	2	3	1
1	1	2	3	1
1	2	2	3	2
1	3	2	3	2
1	4	2	4	3
1	5	2	4	3
1	6	2	4	4
1	7	2	4	4
2	0	3	1	1
2	1	3	1	1
2	2	3	1	2
2	3	3	1	2
2	4	3	2	3
2	5	3	2	3
2	6	3	2	4
2	7	3	2	4

ต้นทาง	ปลายทาง	หลัก1	หลัก2	หลัก3
3	0	4	3	1
3	1	4	3	1
3	2	4	3	2
3	3	4	3	2
3	4	4	4	3
3	5	4	4	3
3	6	4	4	4
3	7	4	4	4
4	0	1	1	1
4	1	1	1	1
4	2	1	1	2
4	3	1	1	2
4	4	1	2	3
4	5	1	2	3
4	6	1	2	4
4	7	1	2	4
5	0	2	3	1
5	1	2	3	1
5	2	2	3	2
5	3	2	3	2
5	4	2	4	3
5	5	2	4	3
5	6	2	4	4
5	7	2	4	4

ตารางที่ 3.3 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างต้นทาง กับปลายทางในระบบ โอเมก้า

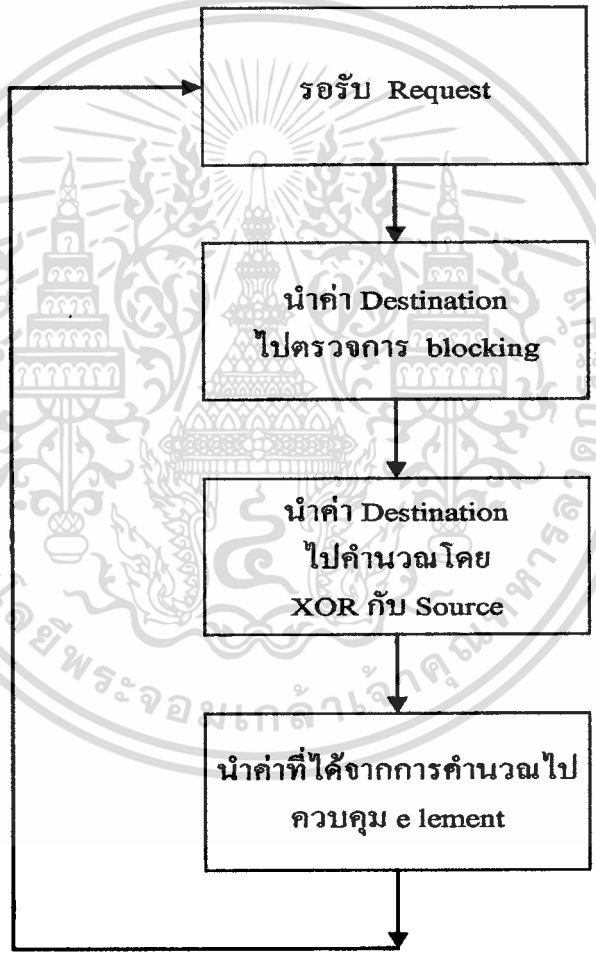
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรรวม

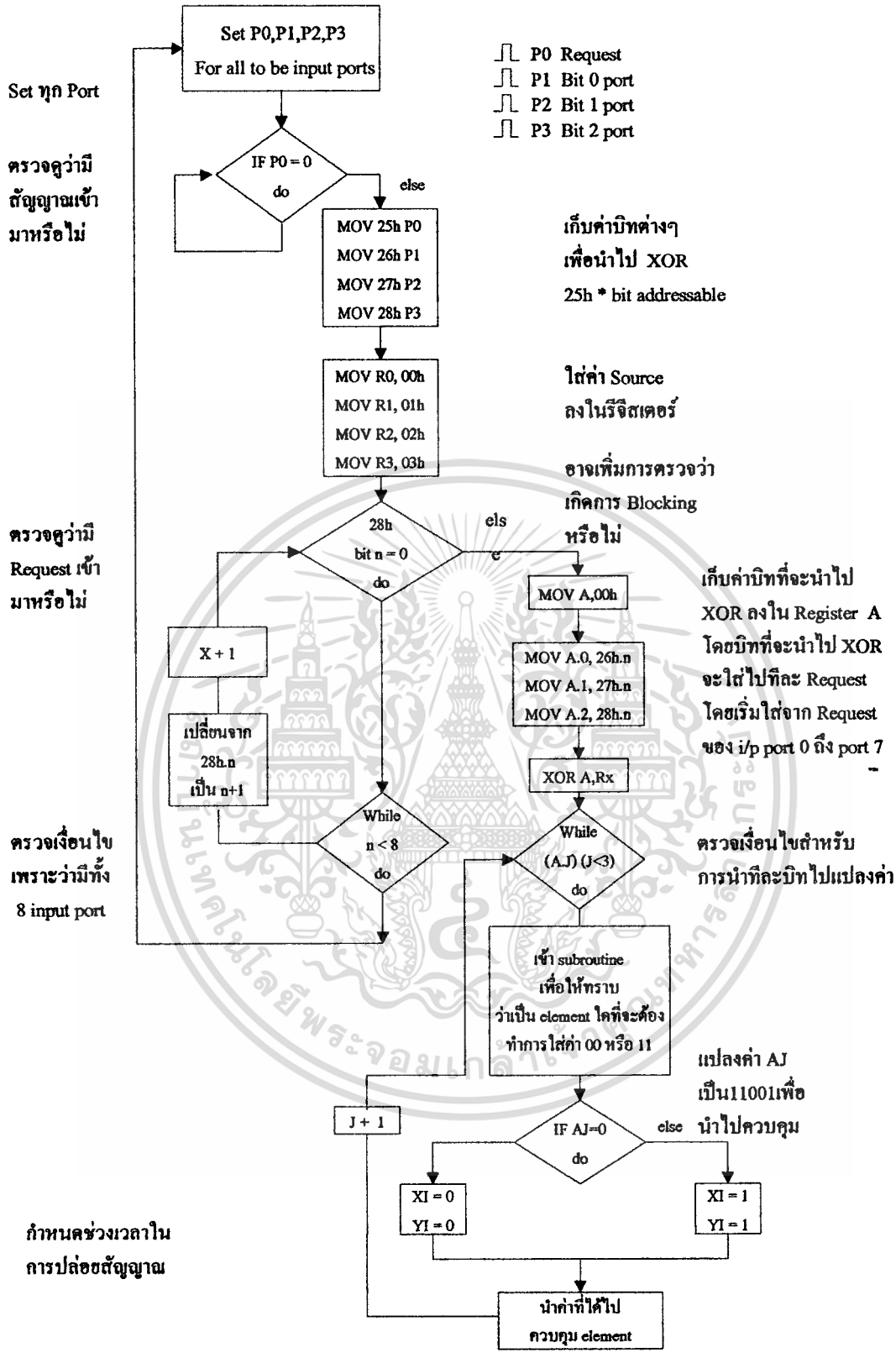
3.2 โปรแกรมควบคุมการสวิตชิ่ง

โปรแกรมควบคุมการสวิตช์ของส่วนวงจรสวิตชิ่งที่จะออกแบบนี้เป็นโปรแกรมที่จะทำการจัดเส้นทางให้ข้อมูลสามารถเดินทางไปยังปลายทางได้ ตามขั้นตอนในรูปที่ 3.9 ในลักษณะการควบคุมได้เลือกใช้วิธีการเอ็กซ์ครูซีพออมาช่วย หรือที่แสดงในโฟลว์ชาร์ทรูปที่ 3.10 เพื่อที่จะได้คำสั่งในการควบคุมการสวิตช์ที่จะส่งต่อไปยัง D-FF อีกต่อหนึ่ง และรูปที่ 3.11 แสดงถึงขอบเขตของโปรแกรมทั้งหมดโดยสังเขป (โปรแกรมทั้งหมดมีแสดงไว้ในภาคผนวก ก.)โดยจะเป็นโปรแกรมที่ทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ 8951 ที่มี



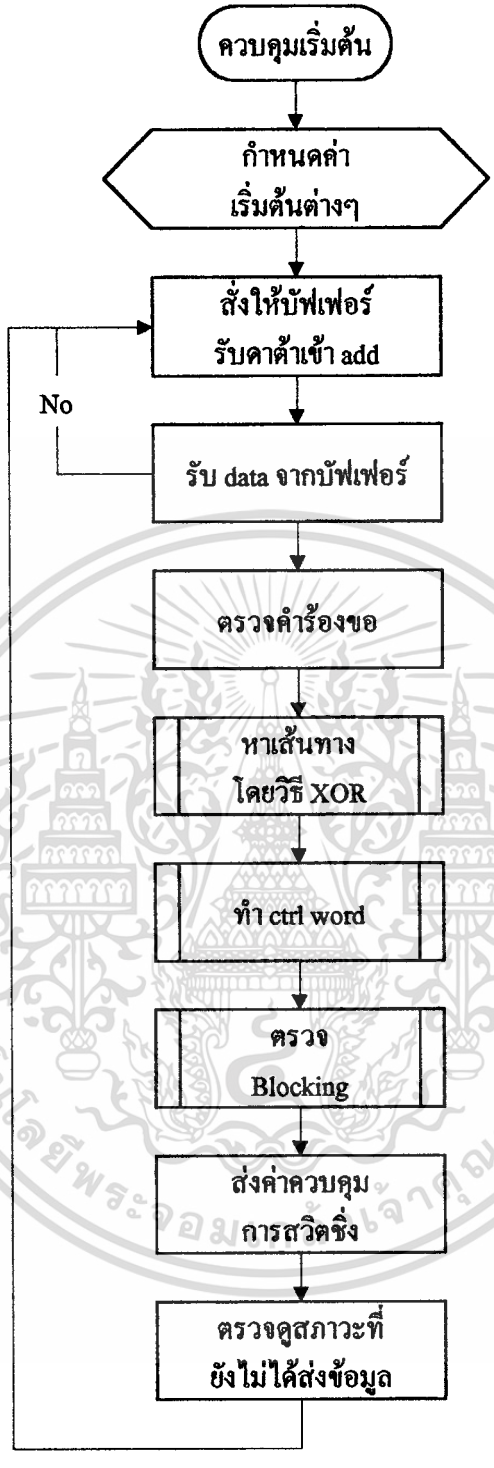
รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนของในการสวิตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงโฟลว์ชาร์ทที่ใช้ในการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



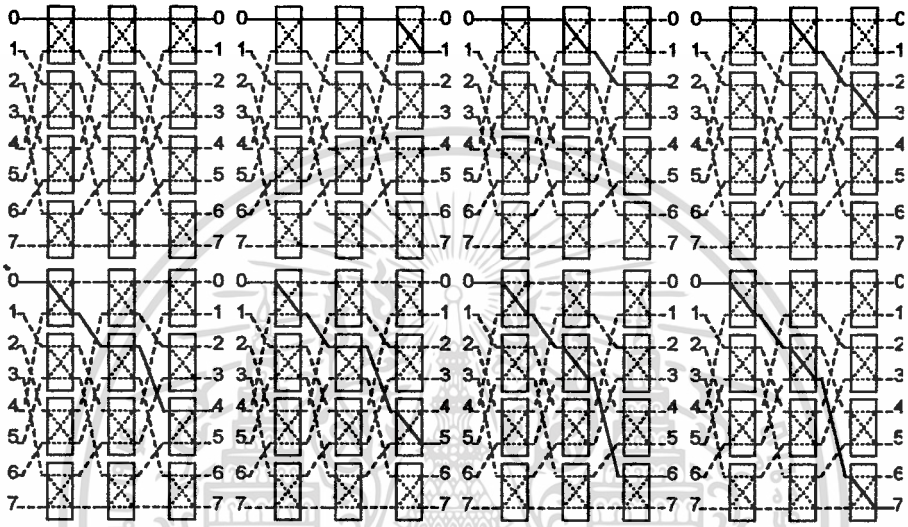
รูปที่ 3.11 แสดงโฟลว์ชาร์ทที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

หลังจากที่ได้ออกแบบและสร้างเครื่องสวิตชิ่งในระดับนี้ ได้ทำการตรวจสอบการใช้งานของคาต้าสวิตชิ่งว่าการสลับเส้นทางเป็นไปถูกต้องหรือไม่ ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ในบทที่3 และมีการทำงานเป็นอย่างไรถูกต้องหรือไม่



รูปที่ 4.1 แสดงเส้นทางการเชื่อมต่อจากต้นทาง 0

ต้นทาง	ปลายทาง	COL1	COL2	COL3	XOR
000	000	00	00	00	000
000	001	00	00	00	001
000	010	00	00	01	010
000	011	00	00	01	011
000	100	00	01	10	100
000	101	00	01	10	101
000	110	00	01	11	110
000	111	00	01	11	111

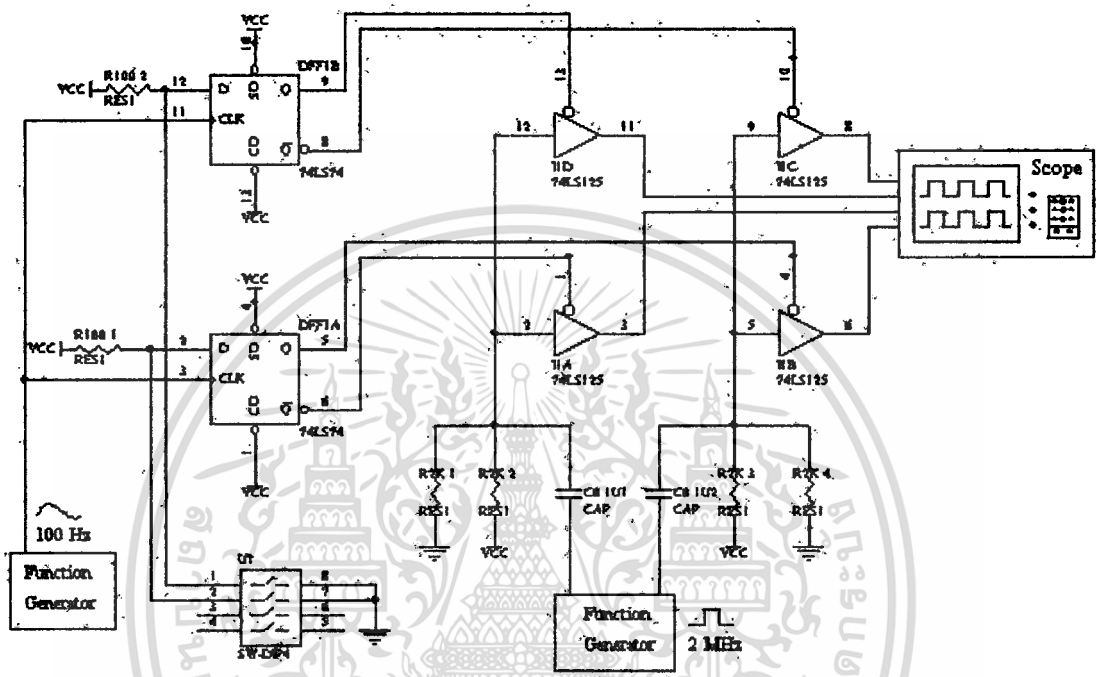
ตารางที่ 4.1 ค่าที่ได้จากการคำนวณจากวิธีการในบทที่ 3

ทดลองวาดลายเส้นทางที่ควรจะเป็นในการที่จะเชื่อมต่อจาก 000 ไปยังปลายทางต่างๆ ภายใต้รูปแบบการเชื่อมต่อของโครงข่ายโอเมก้า และได้มีภาพแสดงเส้นทางที่เป็นไปได้ในการติดต่อทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมด 64 เส้นทางไว้ในภาคผนวก.ข และเมื่อนำมาเทียบกับค่าที่ได้มาจากขบวนการในบทที่3 ดังตารางที่ 4.1 โดย COL1, COL2, COL3 คือเลขที่ของอีลิเมนต์ในแต่ละสดมภ์ไล่จากบนลงล่าง และค่า XOR เป็นคำสั่งอีลิเมนต์ให้ทำงานแบบตรง (0) หรือแบบสลับตามลำดับ(1)

ในส่วนของอุปกรณ์สวิตช์แต่ละ หน่วยนั้นได้ทำการทดสอบดังรูปที่ 4.2

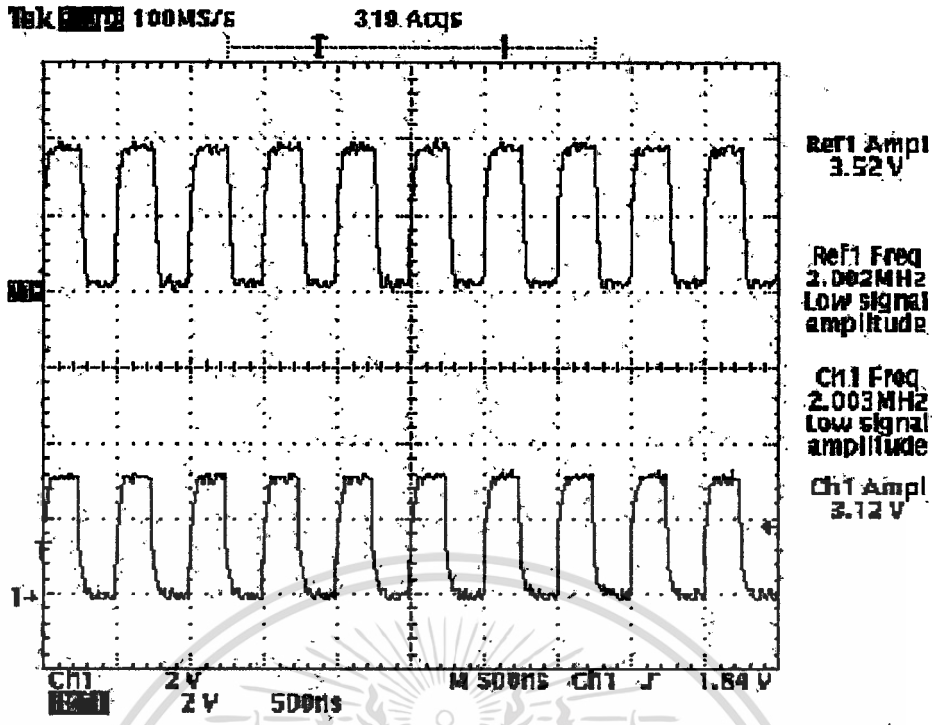


รูปที่ 4.2 แสดงการต่อวงจรทดสอบความสามารถของหน่วยสวิตช์

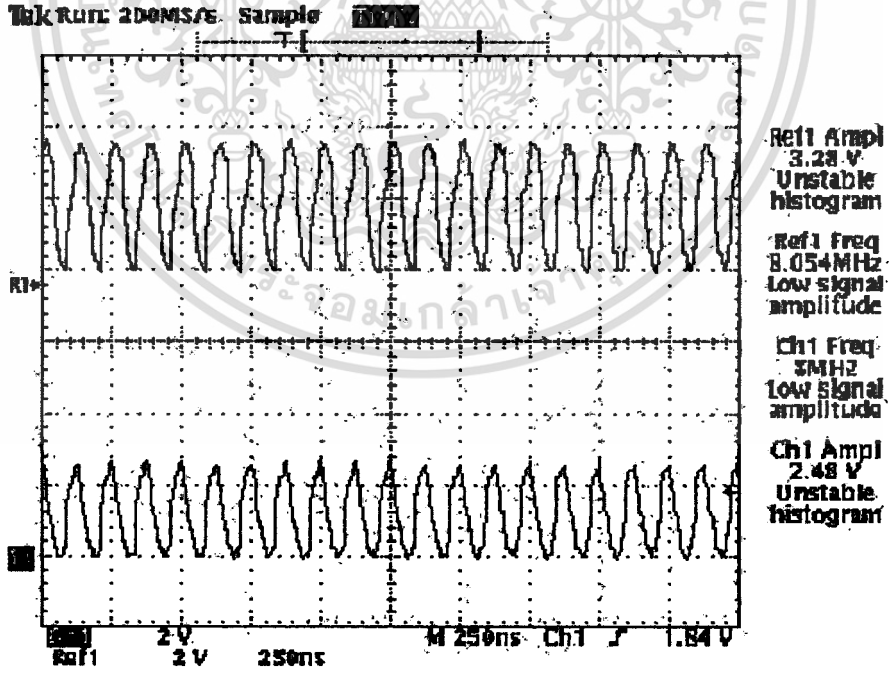
พบว่าเมื่อทำการควบคุมไปยัง D-FF แล้ว มีการให้ผลออกมาตามที่ได้ออกแบบไว้ได้ผลเอาท์พุทออกมาก็ใกล้เคียงกับอินพุท (สัญญาณอ้างอิง) แสดงว่ามีการลดทอนไปไม่มากเท่าใดนัก ดังรูปที่ 4.3 , 4.4 ซึ่งสัญญาณที่ใช้นั้นเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม (square wave) เนื่องจากไอซีนี้จะใช้งานทางดิจิตอลได้เท่านั้น

สำหรับความสามารถในการสับเส้นทางนั้นเป็นการยากในการแสดงผล จึงได้เพิ่มการแสดงผลโดยติดหลอดไฟ LED สีเหลือง 4 ดวงเข้ากับวงจรเพื่อแสดงสถานะของการทำงานของเกท ทั้ง 4 . ที่สามารถทำงานได้ถูกต้องตามตารางที่ 3.2 ดังที่ได้แสดงตัวอย่างเมื่อป้อนสัญญาณควบคุมแก่แต่ละอีลิเมนต์ให้มีการทำงานแบบตรงดังรูปที่ 4.5 แบบสลับดังรูปที่ 4.6 แบบกระจายบนดังรูปที่ 4.6 และแบบกระจายล่างดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

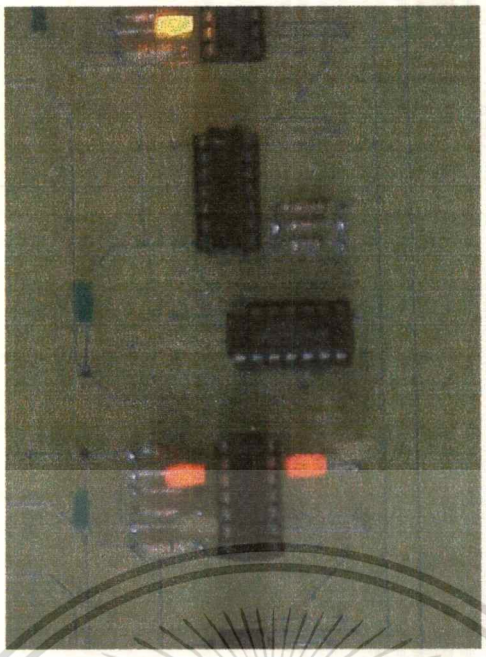


รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณที่ต่อกับหน่วยสวิตช์ที่อินพุท 2MHz



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณที่ต่อกับหน่วยสวิตช์ที่อินพุท 8 MHz

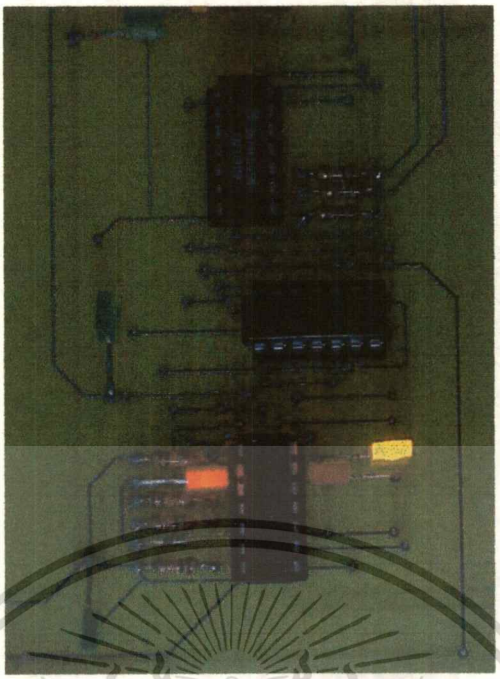
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะควบคุมให้เป็นแบบตรง
(เกทตัวที่1และ4 ทำงาน)

รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะควบคุมให้เป็นแบบสลับ
(เกทตัวที่2และ3 ทำงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะควบคุมให้เป็นแบบกระจายบน

(เกทตัวที่ 3 และ 4 ทำงาน)

รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะควบคุมให้เป็นแบบกระจายล่าง

(เกทตัวที่ 1 และ 2 ทำงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อนำสวิตช์ทั้ง 12 ตัวมาต่อกันเป็นระบบโอเมก้า (ดังรูป 3.7) แล้วเพิ่มสัญญาณไฟ LED เข้ามาอีก 2 สี คือ

* สีเหลือง หมายถึง สวิตช์ถูกใช้งานแบบสลับ
* สีแดง หมายถึง สวิตช์ถูกใช้งานแบบตรง
* สีเขียว แสดงเส้นทางของสัญญาณ

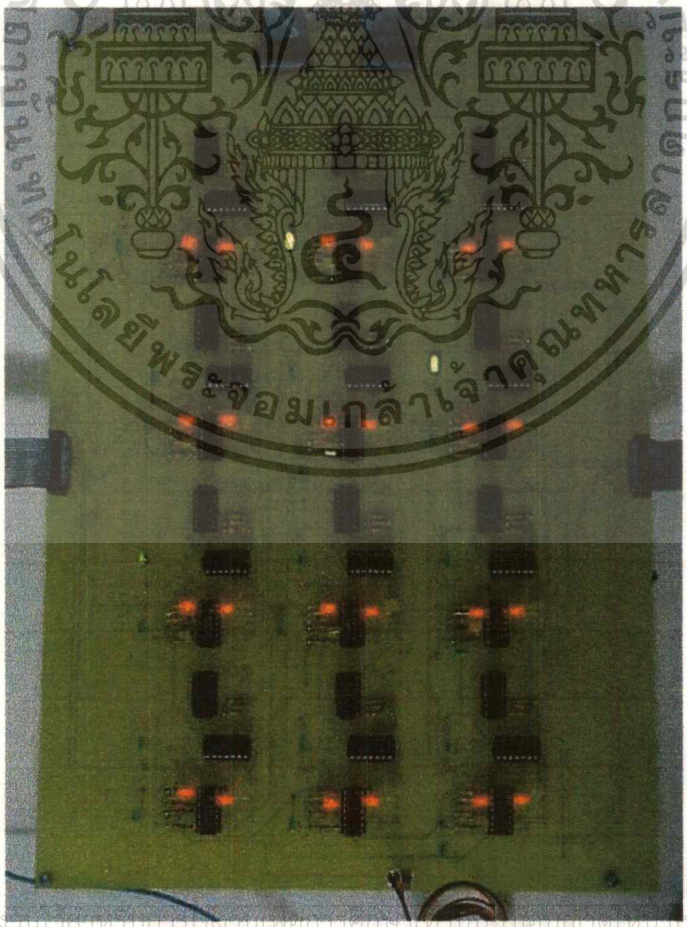
อย่างในการทดลองที่ได้บันทึกภาพไว้นั้น อธิบายได้ดังนี้

กรณี 1 จะทำการส่งข้อมูลจาก 2 ไปยัง 2

จะต้องให้เส้นทางเป็นแบบตรงทั้งหมด สังเกตได้จาก LED

* สีแดง ติดที่ไฟดวงที่ สวิตช์ 1x3 ,2x1,3x2
* สีเหลือง ไม่ติดเลย
* สีเขียว แสดงเส้นที่สัญญาณผ่านจาก 2 ไปยัง 2

ในกรณีนี้ก็สามารถส่งข้อมูลจาก 0 - 0 , 1-1 , 3-3 , 4-4 , 5-5 , 6-6 และ 7-7 ได้ในขณะเดียวกัน ดังรูปที่ 4.9

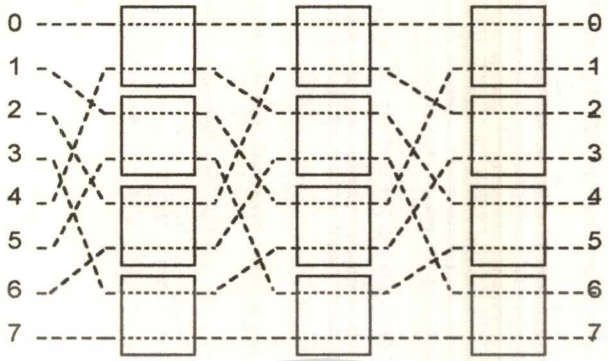


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะที่ใช้เส้นทางตรงทั้งหมด

ทั้ง 8 รูปแบบข้างต้นข้อมูลสามารถไหลไปพร้อมกันได้ ไม่เกิดการบล็อกกัน ดังรูปที่ 4.10 แต่ถ้าต้องการส่งในรูปแบบอื่นๆ ออกไปก็จะเกิดการบล็อกกันโดยทันที

เช่น จะส่งจาก 3-3 และ 7 - 1 ก็จะเกิดการบล็อกกันทันทีที่สวิตช์ 1x4 และ 2x3



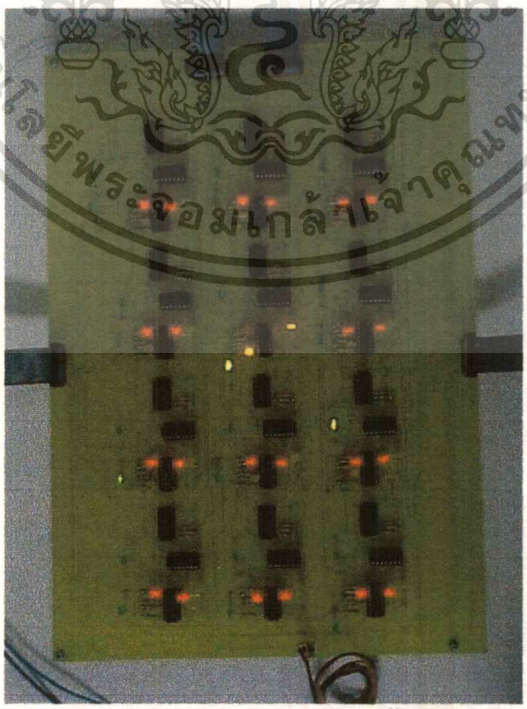
รูปที่ 4.10 แสดงเส้นทางขณะที่ใช้เส้นทางตรงทั้งหมด

กรณี 2 จะทำการส่งข้อมูลจาก 6 ไปยัง4

จะต้องให้เส้นทางเป็นแบบสลับที่ตัวสวิตช์ 2x2 สังเกตได้จาก LED

* สีแดง ติดที่สวิตช์ตำแหน่ง 1x3,3x3
* สีเหลือง ติดที่สวิตช์ตำแหน่ง 2 x 2

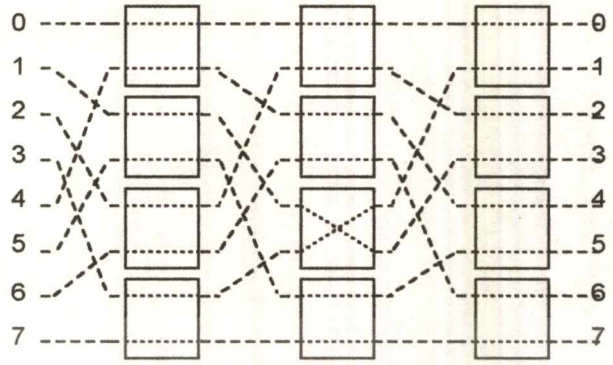
ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงจุดเดียวเช่นนี้ก็จะสามารถส่งข้อมูลจาก 0-0, 1-1 , 2-2 , 3-3 , ,5-5 และ 7-7 ได้ในขณะเดียวกัน ดังรูปที่ 4.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมถึงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะที่ใช้เส้นทางสลับที่ตำแหน่ง 2x2

ทั้ง 6 รูปแบบเดิมข้างต้นข้อมูลสามารถไหลไปพร้อมกันได้โดยไม่เกิดการบล็อกกันดังรูปที่ 4.12 แต่ถ้า 4-4 เหมือนเดิมก็จะเกิดการบล็อกกันขึ้น



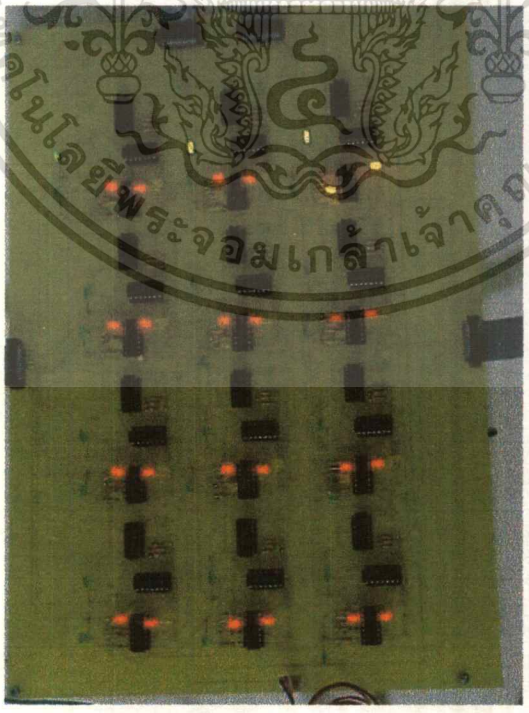
รูปที่ 4.12 แสดงเส้นทางขณะที่ใช้เส้นสลับที่ 2x2

กรณี 3 จะทำการส่งข้อมูลจาก 0 ไปยัง 1

จะต้องให้เส้นทางเป็นแบบตรงทั้งหมด สังเกตได้จาก LED

* สีเหลือง ติดที่สวิตช์ตำแหน่ง 3x1
* สีแดง ติดที่สวิตช์ตำแหน่ง 1x1 และ 2x1

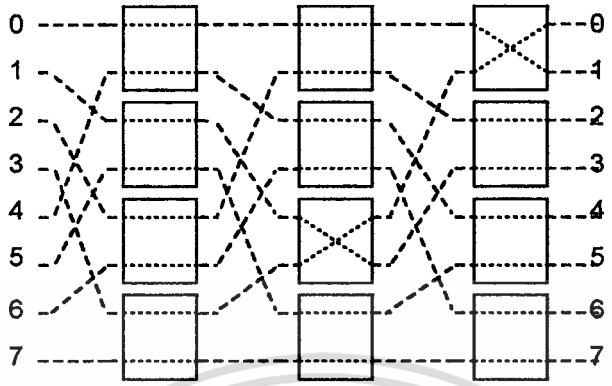
ในกรณีนี้ที่มีการเปลี่ยนแปลงอีกเพียงจุดเดียวก็สามารถส่งข้อมูลจาก 2-2 , 3-3 , 5-5 และ 7-7 ได้เช่นเดิม ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณไฟแสดงผลขณะที่ใช้เส้นทางตรงที่ตำแหน่ง 1x1 และ 2x2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 4 แบบเดิมข้างต้นและ 4-6 กับ 6-4 ข้อมูลก็สามารถไหลไปพร้อมกันได้ ไม่เกิดการบล็อกกัน แต่ถ้า 0-0 เหมือนเดิมก็จะเกิดการบล็อกกันขึ้นดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงเส้นทางขณะที่ใช้เส้นสลับที่ 3x1

หากเกิดมีข้อมูลเข้ามาทางอื่นอีกก็จะเกิดการบล็อกขึ้นทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป และ วิจารณ์

5.1 บทสรุป

1. จากผลการทดลอง การทดสอบแสดงให้เห็นว่าสวิตชิ่งที่ประกอบขึ้นด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน สามารถสร้างเส้นทางในการติดต่อระหว่างต้นทางและปลายทางได้
2. จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าจะมีเพียงสัญญาณข้อมูลรูปสี่เหลี่ยมหรือสัญญาณดิจิตอลเท่านั้นที่ใช้งานได้
3. แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ทำงานโดยควบคุมสั่งงานเองหรือโดยอัตโนมัติได้ โดยมีการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของสวิทชิ่ง
4. โครงงานนี้สามารถนำมาใช้เป็นแบบจำลองในการศึกษาระบบสวิตชิ่งได้
5. การลดทอนของสัญญาณอินพุท จะเกิดมากขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้นกว่า 2Mhz
6. โครงงานนี้ง่ายต่อการทดสอบเนื่องจากมีการใช้หลอดLED ในการแสดงผล
7. การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมทำได้อย่างดีเมื่อมีการเพิ่มพอร์ทโดยใช้ IC 8255
8. IC ทั้งหมดในวงจรเป็นแบบ TTL ที่ทำงานที่ 0-5v
9. ผู้จัดทำสามารถใช้ความรู้ในทางทฤษฎีของสวิตชิ่งมาใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตชิ่งที่สร้างขึ้นผ่านทาง ไมโครคอนโทรลเลอร์

5.2 บทวิจารณ์

1. โครงงานที่ได้จัดสร้างขึ้นนี้เป็นโครงงานค่อนข้างแปลกใหม่ทำให้ต้องค้นหาทฤษฎีมาประกอบในการสร้างสวิตชิ่งตัวนี้ขึ้นมา และทฤษฎีในการควบคุมสวิตชิ่ง ทฤษฎีดังกล่าวค่อนข้างหายาก ต้องหาจากหนังสือหลายเล่มมาประกอบกัน
2. เนื่องจากโครงงานนี้ประกอบขึ้นด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบเองทั้งหมด และส่วนซอฟท์แวร์ซึ่งต้องมีความสัมพันธ์กันเพื่อให้การทำงานเป็นไปได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้นปัญหาที่สำคัญที่สุดคือ ความเข้ากันของซอฟท์แวร์และฮาร์ดแวร์ ทำให้ต้องมีการทดสอบและแก้ไขหลายจุด เพื่อให้โครงงานที่ได้นั้นเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

```
8051 Cross-Assembler (1.3)   (C) 1987, 1989 Binary Technology
swing.asm

                      1
     0000             2          ORG 0000h
                      3
     0028=            4          BFRW EQU 00101000b      ; ctrl+ add in buf
     0008=            5          BFWW EQU 00001000b
     0038=            6          BFRR EQU 00111000b
                      7
     0000=            8          REQFn EQU 00h           ; bit add
     0028=            9          REQSn EQU 28h           ; bit add
     0020=           10          DTIN  EQU 20h
     0020=           11          REQC  EQU 20h
     0020=           12          REQF  EQU 20h
     0024=           13          DTIND EQU 24h
     0025=           14          REQS  EQU 25h
     0026=           15          XORCP EQU 26h
     0027=           16          XOR   EQU 27h
     0028=           17          EC1   EQU 28h
     0029=           18          EC2   EQU 29h
     002A=           19          EC3   EQU 2Ah
     002B=           20          REQRM EQU 2Bh
     002C=           21          REQD  EQU 2Ch
     002D=           22          CTELE1 EQU 2Dh
     002E=           23          CTELE2 EQU 2Eh
     0060=           24          CTRL  EQU 60h
     0068=           25          DEST  EQU 68h
     007F=           26          REQ   EQU 7Fh
                     27
     00FA=           28          PH_1  EQU 0FAh          ;  PORT ABC HB
     0000=           29          PL_SI EQU 00h           ;       A
     0001=           30          PL_DT EQU 01h           ;       B
     0002=           31          PL_CB EQU 02h           ;       C
     00FC=           32          PH_2  EQU 0FCh          ;  PORT DEF HB
     0000=           33          PL_SO EQU 000h          ;       D
     0001=           34          PL_XX EQU 001h          ;       E
     00FE=           35          PH_3  EQU 0FEh          ;  PORT GHI HB
     0000=           36          PL_E1 EQU 000h          ;       G
     0001=           37          PL_E2 EQU 001h          ;       H
     0002=           38          PL_BB EQU 002h          ;       F(in),I
(out)
     0003=           39          PL_CL EQU 003h          ;     CTRL123
                     40
                     41     ;set CTRL 8255
                     42
     0000 1202BC     43                 LCALL MDELY
     0003 7583FA     44                 MOV  DPH,#PH_1
     0006 758203     45                 MOV  DPL,#PL_CL
     0009 7482       46                 MOV  A,#082h
     000B F0         47                 MOVX @DPTR,A
     000C 0583       48                 INC  DPH
     000E 7480       49                 MOV  A,#080h
     0010 F0         50                 MOVX @DPTR,A
     0011 0583       51                 INC  DPH
     0013 7480       52                 MOV  A,#080h
     0015 F0         53                 MOVX @DPTR,A
     0016 8000       54                 SJMP  PGETB
                     55
                     56     ;getdata from buffer
                     57
     0018 7E08       58          PGETB: MOV R6,#BFWW
     001A 7583FC     59                 MOV DPH,#PH_2
     001D 758200     60                 MOV DPL,#PL_SO
     0020 741F       61                 MOV A,#00011111b
     0022 F0         62                 MOVX @DPTR,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0023 7583FA      63                MOV DPH,#PH_1
                 64
0026 740F        65        DTINB:  MOV  A,#00001111b
0028 758200      66                MOV  DPL,#PL_SI
002B F0          67                MOVX @DPTR,A
002C EE          68                MOV  A,R6
002D 758202      69                MOV  DPL,#PL_CB
0030 51CD        70                ACALL SDELY
0032 F0          71                MOVX @DPTR,A
0033 0E          72                INC  R6
                 73
0034 7417        74                MOV  A,#00010111b
0036 758200      75                MOV  DPL,#PL_SI
0039 F0          76                MOVX @DPTR,A
003A EE          77                MOV  A,R6
003B 758202      78                MOV  DPL,#PL_CB
003E 51CD        79                ACALL SDELY
0040 F0          80                MOVX @DPTR,A
0041 0E          81                INC  R6
                 82
0042 741B        83                MOV  A,#00011011b
0044 758200      84                MOV  DPL,#PL_SI
0047 F0          85                MOVX @DPTR,A
0048 EE          86                MOV  A,R6
0049 758202      87                MOV  DPL,#PL_CB
004C 51CD        88                ACALL SDELY
004E F0          89                MOVX @DPTR,A
004F 0E          90                INC  R6
                 91
0050 741D        92                MOV  A,#00011101b
0052 758200      93                MOV  DPL,#PL_SI
0055 F0          94                MOVX @DPTR,A
0056 EE          95                MOV  A,R6
0057 758202      96                MOV  DPL,#PL_CB
005A 51CD        97                ACALL SDELY
005C F0          98                MOVX @DPTR,A
005D 0E          99                INC  R6
                100
005E 741E       101                MOV  A,#00011110b
0060 758200     102                MOV  DPL,#PL_SI
0063 F0         103                MOVX @DPTR,A
0064 EE         104                MOV  A,R6
0065 758202     105                MOV  DPL,#PL_CB
0068 51CD       106                ACALL SDELY
006A F0         107                MOVX @DPTR,A
                108
006B 7820       109        PGET:   MOV R0,#DTIN
006D 7E28       110                MOV R6,#BFRW          ; read from buff
                111
006F            112        REQIN:
006F EE         113                MOV  A,R6
0070 758202     114                MOV  DPL,#PL_CB
0073 F0         115                MOVX @DPTR,A
0074 758201     116                MOV  DPL,#PL_DT
0077 51CD       117                ACALL SDELY
0079 E0         118                MOVX  A,@DPTR
007A F6         119                MOV  @R0,A
007B 60F2       120                JZ  REQIN
                121
007D 0E         122        DATAIN: INC  R6
007E 08         123                INC  R0
007F EE         124                MOV  A,R6
0080 758202     125                MOV  DPL,#PL_CB
0083 F0         126                MOVX @DPTR,A
0084 758201     127                MOV  DPL,#PL_DT
0087 E0         128                MOVX A,@DPTR
0088 F6         129                MOV  @R0,A
0089 B824F1     130                CJNE R0,#DTIND,DATAIN
                131
008C 85207F     132                MOV REQ,DTIN
008F 8000       133                SJMP PSTART
                134
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    135   ;Find ctrl
                    136
0008=               137      PSTART:  DESC1 EQU 08h
0010=               138               DESC2 EQU 10h
0018=               139               DESC3 EQU 18h
0091 7860           140               MOV R0,#CTRL
0093 7968           141               MOV R1,#DEST
0095 7E00           142               MOV R6,#00h
0097 7F00           143               MOV R7,#00h
0099 E57F           144               MOV A,REQ
                    145   ; check REQ
009B C3             146       START:  CLR C
009C A220           147               MOV C,REQC
009E 5022           148               JNC NON1
                    149
                    150   ; get sor
00A0 EE             151               MOV A,R6
00A1 23             152               RL  A
00A2 23             153               RL  A
00A3 23             154               RL  A                    ;  ooSSSooo
00A4 FD             155               MOV R5,A
                    156
00A5 E4             157      CUTDES:  CLR A
00A6 C3             158               CLR C
00A7 A208           159               MOV C,DESC1
00A9 33             160               RLC A
00AA C3             161               CLR C
00AB A210           162               MOV C,DESC2
00AD 33             163               RLC A
00AE C3             164               CLR C
00AF A218           165               MOV C,DESC3
00B1 33             166               RLC A
00B2 FF             167               MOV R7,A
00B3 4D             168               ORL A,R5               ;  ooSSSDDD
00B4 541F           169               ANL A,#00011111b       ;  oooSSDDD
00B6 FD             170               MOV R5,A
                    171
                    172                     ; find XOR
00B7 EF             173               MOV A,R7
00B8 6E             174               XRL A,R6               ;  sor XOR des
00B9 03             175               RR  A
00BA 03             176               RR  A
00BB 03             177               RR  A                  ;  XXXooooo
00BC 4D             178               ORL A,R5               ;  XXXSSDDD
00BD F6             179               MOV @R0,A
00BE F5A0           180               MOV P2,A
00C0 EF             181               MOV A,R7
00C1 F7             182               MOV @R1,A
                    183
                    184   ;INPUT NO REQUEST OR FINISH CALL ROUTING
                    185
00C2 08             186        NON1:  INC R0
00C3 09             187               INC R1
00C4 E520           188               MOV A,REQC
00C6 03             189               RR  A
00C7 F520           190               MOV REQC,A
00C9 E521           191               MOV A,21h
00CB 03             192               RR  A
00CC F521           193               MOV 21h,A
00CE E522           194               MOV A,22h
00D0 03             195               RR  A
00D1 F522           196               MOV 22h,A
00D3 E523           197               MOV A,23h
00D5 03             198               RR  A
00D6 F523           199               MOV 23h,A
00D8 0E             200               INC R6
00D9 BE08BF         201               CJNE R6,#08h,START
                    202
                    203   ;BLOCKING CHECKING
00DC                204      PCKBLK:
00DC 857F20         205               MOV REQF,REQ
00DF 857F25         206               MOV REQS,REQ
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
00E2 7860       207              MOV R0,#CTRL
00E4 7E00       208              MOV R6,#00h
00E6 300038     209       CKBLK: JNB REQFn,NON2A
00E9 7960       210       PTBLK: MOV R1,#CTRL
00EB 30281F     211       TBLK:  JNB REQSn,NON2B
00EE E7         212       PCmPr: MOV A,@R1
00EF 66         213              XRL A,@R0
00F0 F526       214              MOV XORCP,A
                215
00F2 5498       216       CmPr1: ANL  A,#10011000b
00F4 B48002     217              CJNE A,#10000000b,CmPr2
00F7 8010       218              SJMP BLK
00F9 E526       219       CmPr2: MOV  A,XORCP
00FB 544C       220              ANL  A,#01001100b
00FD B44002     221              CJNE A,#01000000b,CmPr3
0100 8007       222              SJMP BLK
0102 E526       223       CmPr3: MOV  A,XORCP
0104 5426       224              ANL  A,#00100110b
0106 B42004     225              CJNE A,#00100000b,NON2B
                226
0109 C228       227       BLK:   CLR REQSn
010B 8000       228              SJMP NON2B
                229
                230   ;NO CTRL OR FINISH CHECKING XOR
010D E525       231       NON2B: MOV A,REQS
010F 03         232              RR  A
0110 F525       233              MOV REQS,A
0112 09         234              INC R1
0113 B968D5     235              CJNE R1,#68h,TBLK
                236
0116 EE         237              MOV A,R6
0117 FF         238              MOV R7,A
0118 0F         239              INC R7
0119 E525       240              MOV A,REQS
011B 23         241              RL  A
011C 03         242       NUNO:  RR  A
011D DFFD       243              DJNZ R7,NUNO
011F F520       244              MOV REQF,A
                245
0121 E520       246       NON2A: MOV A,REQF
0123 03         247              RR  A
0124 F520       248              MOV REQF,A
0126 08         249              INC R0
0127 0E         250              INC R6
0128 B868BB     251              CJNE R0,#68h,CKBLK
                252
012B 657F       253              XRL A,REQ
012D F52B       254              MOV REQRM,A
                255
                256   ;STORING CTRL ELEMENT BY COLLUMN
                257   ;          MOV XOR,#0FFh
012F 752800     258              MOV EC1,#000h
0132 752900     259              MOV EC2,#000h
0135 752A00     260              MOV EC3,#000h
0138 7860       261              MOV R0,#060h
013A 7E00       262              MOV R6,#000h
                263
013C 30003B     264       CKCOL: JNB  REQFn,NON3A
013F 8627       265              MOV  XOR,@R0
                266
0141 E527       267       COL1:  MOV  A,XOR
0143 5480       268              ANL  A,#10000000b
0145 600D       269              JZ   COL2
0147 FB         270              MOV  R3,A
0148 E527       271              MOV  A,XOR
014A 5418       272              ANL  A,#00011000b
014C 03         273              RR   A
014D 03         274              RR   A
014E 03         275              RR   A
014F FA         276              MOV  R2,A
0150 3186       277              ACALL WOW
0152 4228       278              ORL  EC1,A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    279
0154 E527           280       COL2:   MOV  A,XOR
0156 5440           281               ANL  A,#01000000b
0158 600D           282               JZ   COL3
015A 23             283               RL   A
015B FB             284               MOV  R3,A
015C E527           285               MOV  A,XOR
015E 540C           286               ANL  A,#00001100b
0160 03             287               RR   A
0161 03             288               RR   A
0162 FA             289               MOV  R2,A
0163 3186           290               ACALL WOW
0165 4229           291               ORL  EC2,A
                    292
0167 E527           293       COL3:   MOV  A,XOR
0169 5420           294               ANL  A,#00100000b
016B 600D           295               JZ   NON3A
016D 23             296               RL   A
016E 23             297               RL   A
016F FB             298               MOV  R3,A
0170 E527           299               MOV  A,XOR
0172 5406           300               ANL  A,#00000110b
0174 03             301               RR   A
0175 FA             302               MOV  R2,A
0176 3186           303               ACALL WOW
0178 422A           304               ORL  EC3,A
                    305
017A E520           306       NON3A:  MOV A,REQF
017C 03             307               RR  A
017D F520           308               MOV REQF,A
017F 08             309               INC R0
0180 0E             310               INC R6
0181 B868B8         311               CJNE R0,#68h,CKCOL
0184 8006           312               SJMP PCKDES
                    313
0186 EB             314       WOW:    MOV  A,R3
0187 0A             315               INC  R2
0188 23             316        WO:    RL   A
0189 DAFD           317               DJNZ R2,WO
018B 22             318               RET
                    319
                    320     ; FIND CTRL- O/P
018C 85282D         321        PCKDES: MOV  CTELE1,EC1
018F E529           322               MOV  A,EC2
0191 23             323               RL A
0192 23             324               RL A
0193 23             325               RL A
0194 23             326               RL A
0195 252A           327               ADD  A,EC3
0197 F52E           328               MOV  CTELE2,A
0199 7868           329               MOV  R0,#DEST
019B 752C00         330               MOV  REQD,#00h
019E 300014         331       CKDES:  JNB  REQFn,NON4A
01A1 E6             332               MOV  A,@R0
01A2 FA             333               MOV  R2,A
01A3 FB             334               MOV  R3,A
01A4 E52C           335               MOV  A,REQD
01A6 23             336               RL   A
01A7 03             337       CKDES1: RR   A
01A8 1A             338               DEC  R2
01A9 BAFFFB         339               CJNE R2,#0FFh,CKDES1
01AC 2401           340               ADD  A,#01h
01AE 03             341       CKDES2: RR   A
01AF 0B             342               INC  R3
01B0 BB08FB         343               CJNE R3,#08h,CKDES2
01B3 F52C           344               MOV  REQD,A
                    345
01B5 E520           346       NON4A:  MOV A,REQF
01B7 03             347               RR  A
01B8 F520           348               MOV REQF,A
01BA 08             349               INC R0
01BB B870E0         350               CJNE R0,#70h,CKDES
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
01BE 8000       351              SJMP PSENT
                352
                353  ;  SENT CTRL-ELEMENT
01C0 7583FC     354     PSENT:   MOV  DPH,#PH_2     ; REQF,D
01C3 758202     355              MOV  DPL,#PL_BB
01C6 E520       356              MOV  A,REQF
01C8 F0         357              MOVX @DPTR,A
01C9 0583       358              INC  DPH
01CB E52C       359              MOV  A,REQD
01CD F0         360              MOVX @DPTR,A
01CE 758200     361              MOV  DPL,#PL_E1    ;
01D1 E52D       362              MOV  A,CTELE1
01D3 F0         363              MOVX @DPTR,A
01D4 0582       364              INC  DPL
01D6 E52E       365              MOV  A,CTELE2
01D8 F0         366              MOVX @DPTR,A
                367
01D9 7A28       368              MOV  R2,#BFRW
01DB 7583FC     369              MOV  DPH,#PH_2
01DE 758200     370              MOV  DPL,#PL_SI    ;
01E1 740F       371              MOV  A,#00001111b
01E3 F0         372              MOVX @DPTR,A
01E4 7583FA     373              MOV  DPH,#PH_1
01E7 F0         374              MOVX @DPTR,A
01E8 EA         375              MOV  A,R2
01E9 51CD       376              ACALL SDELY
01EB 758202     377              MOV  DPL,#PL_CB
01EE F0         378              MOVX @DPTR,A
01EF 51BC       379              ACALL MDELY
                380
01F1 0A         381              INC  R2
01F2 7583FC     382              MOV  DPH,#PH_2
01F5 758200     383              MOV  DPL,#PL_SI
01F8 7417       384              MOV  A,#00010111b
01FA F0         385              MOVX @DPTR,A
01FB 7583FA     386              MOV  DPH,#PH_1
01FE F0         387              MOVX @DPTR,A
01FF EA         388              MOV  A,R2
0200 51CD       389              ACALL SDELY
0202 758202     390              MOV  DPL,#PL_CB
0205 F0         391              MOVX @DPTR,A
0206 51BC       392              ACALL MDELY
                393
0208 0A         394              INC  R2
0209 7583FC     395              MOV  DPH,#PH_2
020C 758200     396              MOV  DPL,#PL_SI    ;
020F 741B       397              MOV  A,#00011011b
0211 F0         398              MOVX @DPTR,A
0212 7583FA     399              MOV  DPH,#PH_1
0215 F0         400              MOVX @DPTR,A
0216 EA         401              MOV  A,R2
0217 51CD       402              ACALL SDELY
0219 758202     403              MOV  DPL,#PL_CB
021C F0         404              MOVX @DPTR,A
021D 51BC       405              ACALL MDELY
                406
021F 0A         407              INC  R2
0220 7583FC     408              MOV  DPH,#PH_2
0223 758200     409              MOV  DPL,#PL_SI
0226 741D       410              MOV  A,#00011101b
0228 F0         411              MOVX @DPTR,A
0229 7583FA     412              MOV  DPH,#PH_1
022C F0         413              MOVX @DPTR,A
022D EA         414              MOV  A,R2
022E 51CD       415              ACALL SDELY
0230 758202     416              MOV  DPL,#PL_CB
0233 F0         417              MOVX @DPTR,A
0234 51BC       418              ACALL MDELY
                419
0236 0A         420              INC  R2
0237 7583FC     421              MOV  DPH,#PH_2
023A 758200     422              MOV  DPL,#PL_SI
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
023D 741E       423                MOV  A,#00011110b
023F F0         424                MOVX @DPTR,A
0240 7583FA     425                MOV  DPH,#PH_1
0243 F0         426                MOVX @DPTR,A
0244 EA         427                MOV  A,R2
0245 51CD       428                ACALL SDELY
0247 758202     429                MOV  DPL,#PL_CB
024A F0         430                MOVX @DPTR,A
024B 51BC       431                ACALL MDELY
                432
                433   ;  CHECK REQ, THAT STILL REMAIN
024D AB2B       434                MOV  R3,REQRM
024F BB0002     435                CJNE R3,#00h,REMN
0252 8006       436                SJMP OUT
                437
0254 852B20     438       REMN:    MOV  DTIN,REQRM
0257 852B7F     439                MOV  REQ,REQRM
                440
025A 7E38       441       OUT:     MOV R6,#BFRR
025C 7583FA     442                MOV DPH,#PH_1
                443
025F 740F       444                MOV  A,#00001111b
0261 758200     445                MOV  DPL,#PL_SI
0264 F0         446                MOVX @DPTR,A
0265 EE         447                MOV  A,R6
0266 758202     448                MOV  DPL,#PL_CB
0269 51CD       449                ACALL SDELY
026B F0         450                MOVX @DPTR,A
026C 0E         451                INC  R6
                452
026D 7417       453                MOV  A,#00010111b
026F 758200     454                MOV  DPL,#PL_SI
0272 F0         455                MOVX @DPTR,A
0273 EE         456                MOV  A,R6
0274 758202     457                MOV  DPL,#PL_CB
0277 51CD       458                ACALL SDELY
0279 F0         459                MOVX @DPTR,A
027A 0E         460                INC  R6
                461
027B 741B       462                MOV  A,#00011011b
027D 758200     463                MOV  DPL,#PL_SI
0280 F0         464                MOVX @DPTR,A
0281 EE         465                MOV  A,R6
0282 758202     466                MOV  DPL,#PL_CB
0285 51CD       467                ACALL SDELY
0287 F0         468                MOVX @DPTR,A
0288 0E         469                INC  R6
                470
0289 741D       471                MOV  A,#00011101b
028B 758200     472                MOV  DPL,#PL_SI
028E F0         473                MOVX @DPTR,A
028F EE         474                MOV  A,R6
0290 758202     475                MOV  DPL,#PL_CB
0293 51CD       476                ACALL SDELY
0295 F0         477                MOVX @DPTR,A
0296 0E         478                INC  R6
                479
0297 741E       480                MOV  A,#00011110b
0299 758200     481                MOV  DPL,#PL_SI
029C F0         482                MOVX @DPTR,A
029D EE         483                MOV  A,R6
029E 758202     484                MOV  DPL,#PL_CB
02A1 51CD       485                ACALL SDELY
02A3 F0         486                MOVX @DPTR,A
02A4 0200DC     487                LJMP PCKBLK
                488
                489   ;DELAY TIME = 8(256((256*2)+3)+3)+3 => 1.055 s
                490
02A7 C0D0       491   DELAY:  PUSH PSW
02A9 D2D4       492           SETB PSW.4
02AB D2D3       493           SETB PSW.3
02AD 7A08       494           MOV  R2,#08h
```

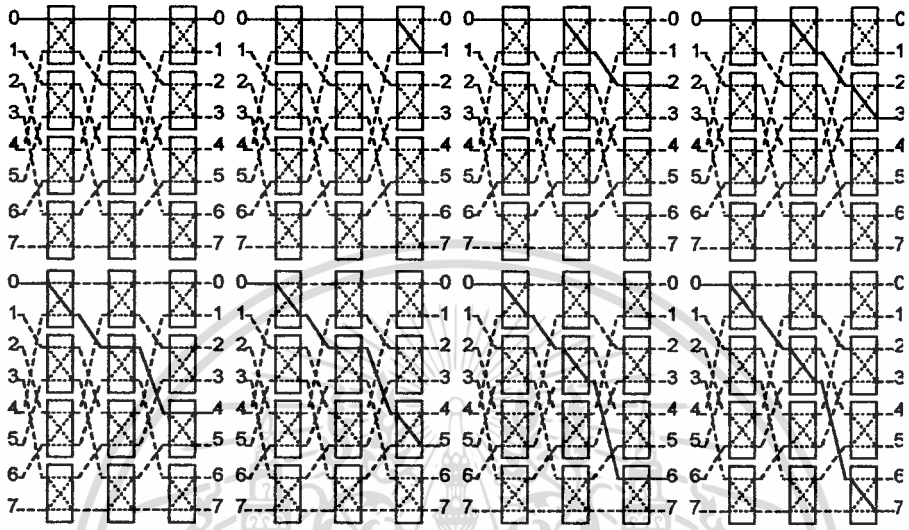
เอกสารนี้เป็นสิ่งที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
02AF 7B00        495   DELAY1: MOV  R3,#00h
02B1 7C00        496   DELAY2: MOV  R4,#00h
02B3 DCFE        497           DJNZ R4,$
02B5 DBFA        498           DJNZ R3,DELAY2
02B7 DAF6        499           DJNZ R2,DELAY1
02B9 D0D0        500           POP  PSW
02BB 22          501           RET
                 502
02BC C0D0        503   MDELY:  PUSH PSW
02BE D2D4        504           SETB PSW.4
02C0 D2D3        505           SETB PSW.3
02C2 7A08        506           MOV  R2,#08h
02C4 7B00        507   MDELY1: MOV  R3,#00h
02C6 DBFE        508           DJNZ R3,$
02C8 DAFA        509           DJNZ R2,MDELY1
02CA D0D0        510           POP  PSW
02CC 22          511           RET
                 512
02CD C0D0        513   SDELY:  PUSH PSW
02CF D2D4        514           SETB PSW.4
02D1 D2D3        515           SETB PSW.3
02D3 7A08        516           MOV  R2,#08h
02D5 DAFE        517           DJNZ R2,$
02D7 D0D0        518           POP  PSW
02D9 22          519           RET
02DA             520   ENDING:
0000=            521           END
```

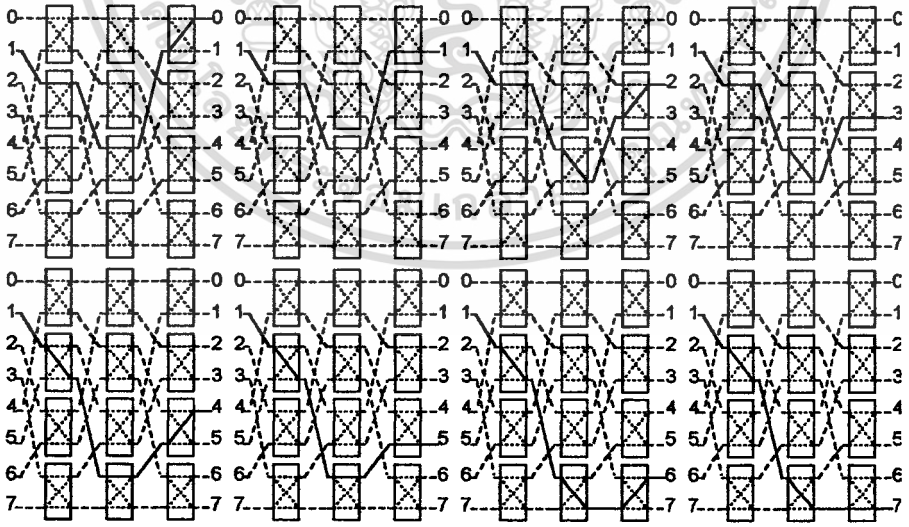
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

รูปแสดงเส้นทางที่สามารถเดินได้แยกตามอินพุท

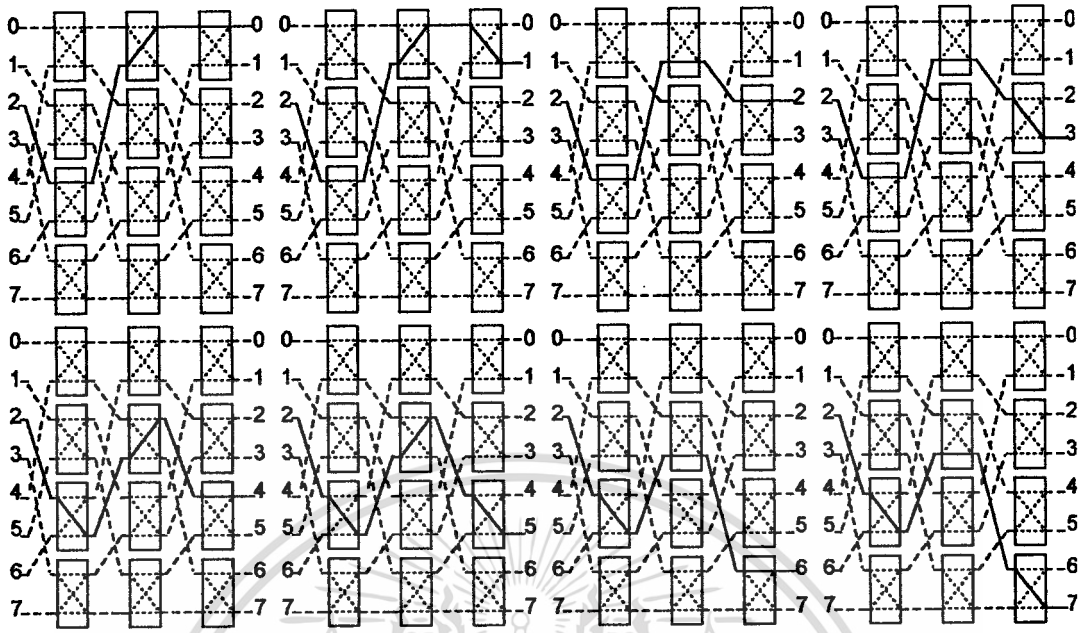


รูปที่ ข.1 อินพุทที่แอดเดส 000

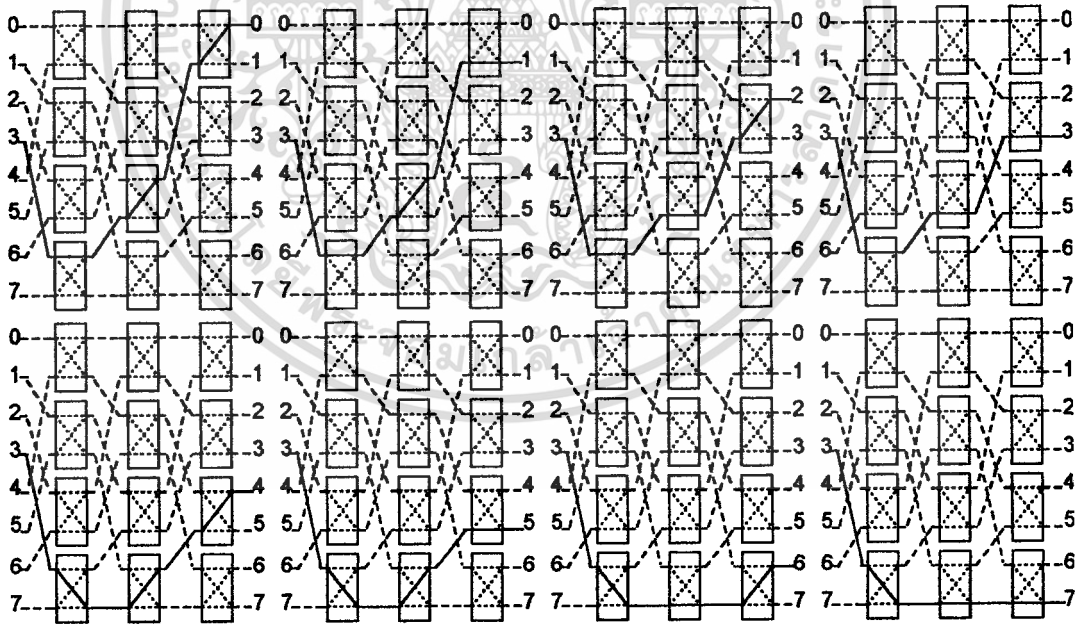


รูปที่ ข.1 อินพุทที่แอดเดส 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

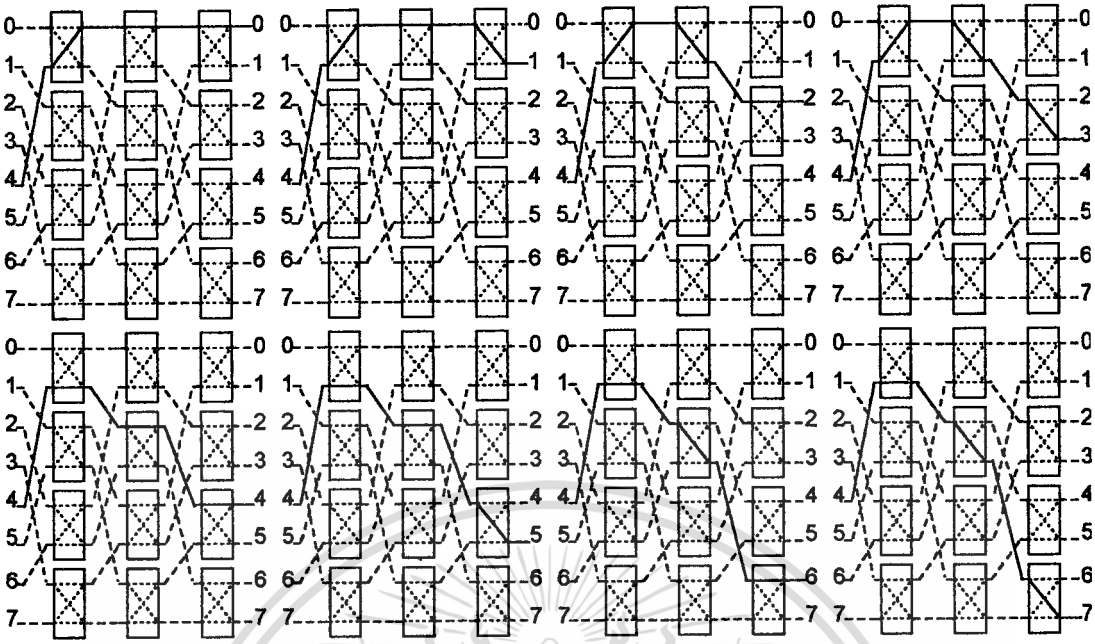


รูปที่ ข.3 อินพุทที่แอดเดส 010

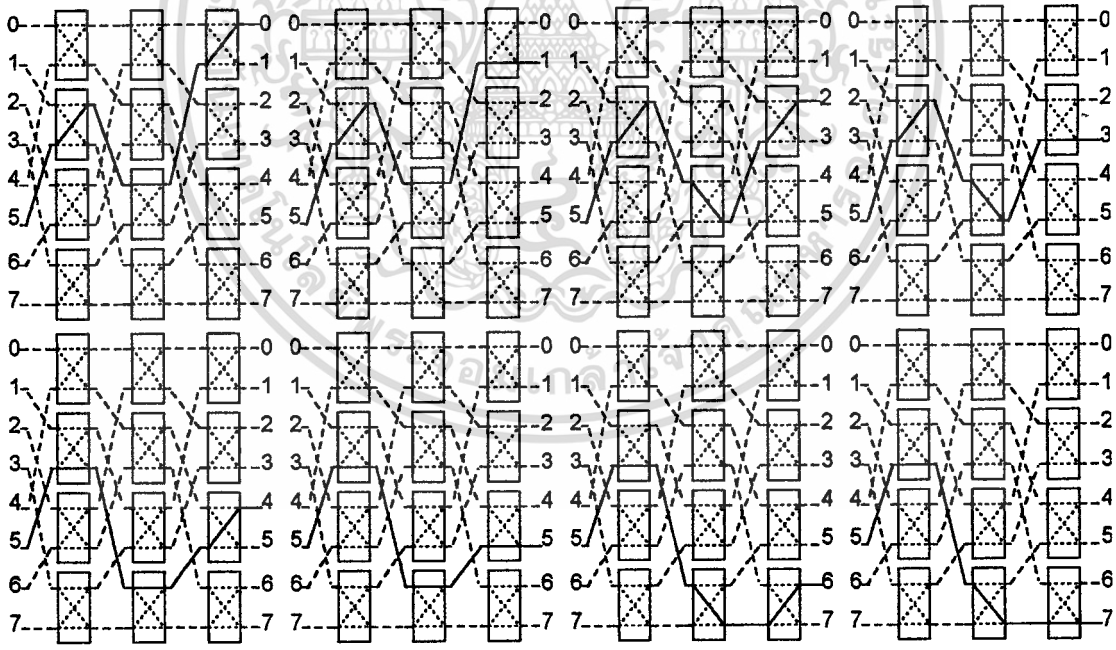


รูปที่ ข.4 อินพุทที่แอดเดส 011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

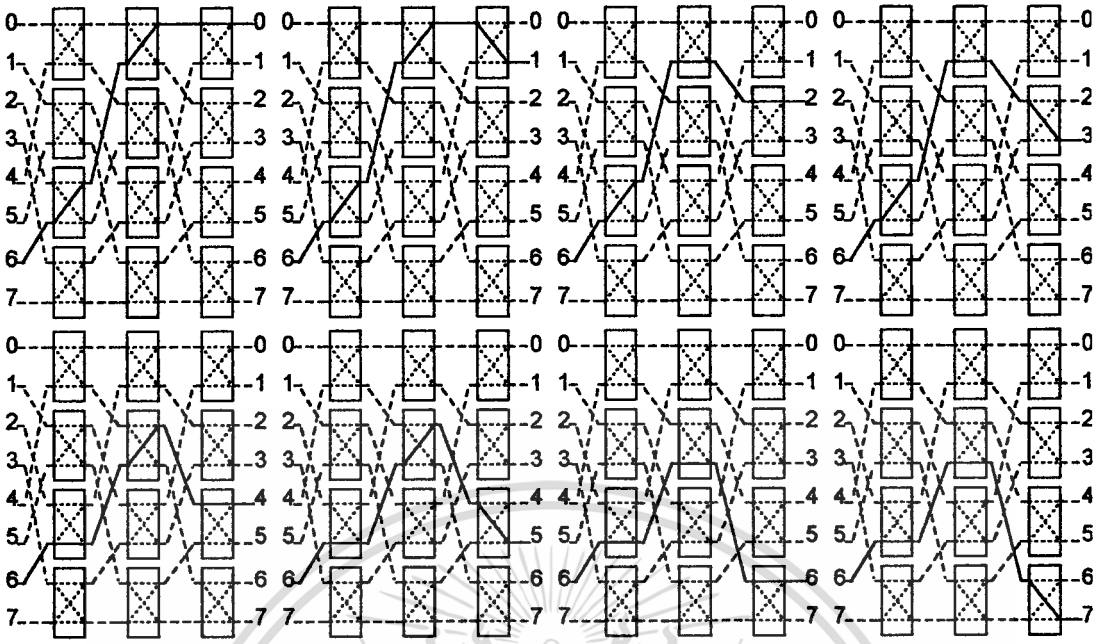


รูปที่ ข.5 อินพุทที่แอดเดส 100

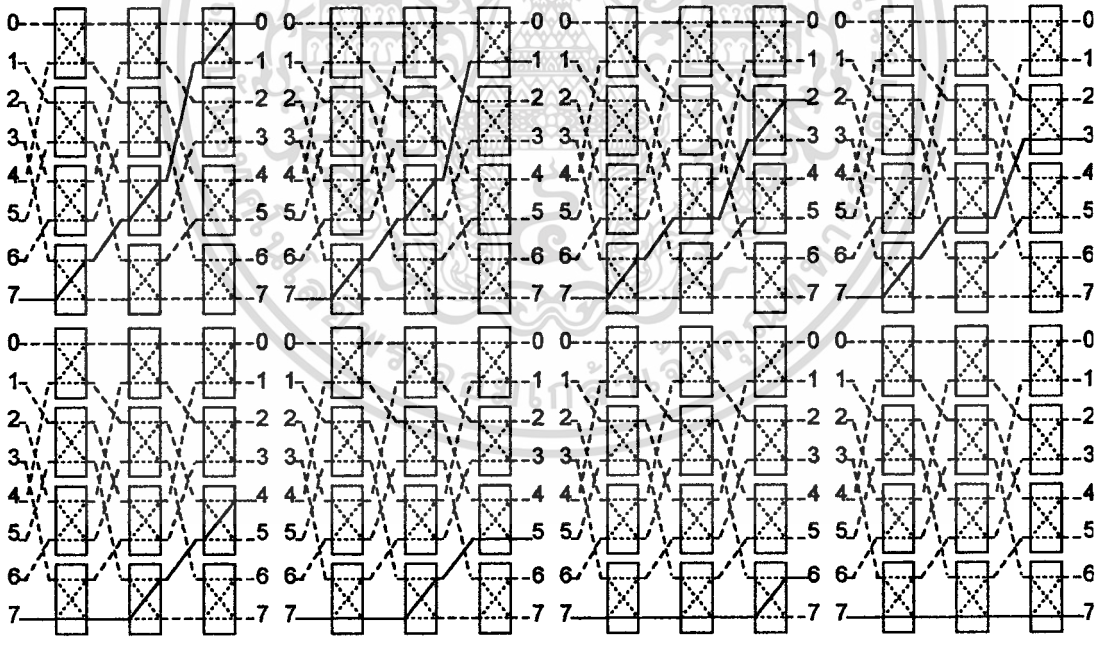


รูปที่ ข.6 อินพุทที่แอดเดส 101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 อินพุทที่แอดเดส 110



รูปที่ ข.7 อินพุทที่แอดเดส 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างสูงกับผู้ที่ให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือต่างๆ ด้วยดีมาโดยตลอด ซึ่งได้แก่ อาจารย์ที่สอนสั่งให้ความรู้ทุกท่าน

1. อาจารย์สมเกียรติ ฤกษ์วรัญญู อาจารย์ที่ปรึกษา
2. อาจารย์บุญชัย เรืองสุขนุกูล
3. รศ.สมยศ จุณณะปิยะ

เพื่อนๆ และน้องๆทุกคนที่ช่วยเหลือมาโดยตลอด

1. น.ส.ผกามาศ รัศมีจันทร์
2. นายชุมพล เหลืองรัตน์
3. น.ส.อุษณีย์ ศุภณีศิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Mark A. (Miller),P.E. , "Internetworking A guide to network communication" ; M&T Books, USA. ,1991.
2. Howard Jay (Siegel) , " Interconnection networks for large-scale parallel processing / Theory and Case Studies 2nd edition" ; Mc Graw-Hill Inc., 1990.
3. Ellen Witte Zegura , "Architecture for ATM switching systems " ; IEEE Communication Magazine vol.31 no.2 p.28-37 , February 1993
4. Reza Rooholamini & Vladimir Cherkassky &Mark Garver , "Finding the Right ATM Switch for the Market" ; Computer, IEEE ,April 1994
5. John P. Hayes , "Computer Architecture and Organization 2nd edition" ; Mc Graw-Hill Book Co. ,Singapore , 1988
6. William Stallings, "Data and Computer Communication 4th edition" ; Prentice Hall International, Inc. , USA.,1994
7. Joseph Y. Hui , "Switching and Traffic theory for Integrated Broadband networks 2nd edition " ; Kluwer Academic Publisher, USA. , 1990
8. Thomas G' Robertazzi , "Performance Evaluation of high speed Switching fabrics and networks " ; Institute of Electrical & Electronics Engineering, Inc. , USA. , 1993
9. Gilbert Held , "Data Communications networking devices 2nd edition" ; John Wiley & sons ,Great Britain , 1989
10. Thomas M.Chen & Stephen S.Liu , "ATM Switching systems" ; Artech Home,Inc. ,USA , 1995
11. รศ.มนูญ สุขเกษม และ รศ.ถวิล พึ่งมา, "ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโครงข่ายให้บริการร่วมแบบดิจิตอล" ; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2536
12. รศ.สมยศ จุณณะปิยะ, "การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51"; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,กรุงเทพฯ, 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้