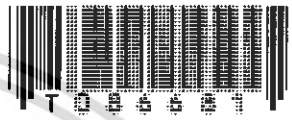
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมห้องส่งทีวี II (แสง)



โดย

นายนิคม ตาฟู

นายวุฒิพงษ์ พิมพ์บูลย์

นายหลักชัย หมู่สุข

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...86681
วัน,เดือน,ปี...30 S.A. 2551

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TV STUDIO CONTROLLED SYSTEM II (LIGHT)

BY

MR. NIKOM TAFU

MR. WUTTIPONG PIMBOOL

MR. LAKCHAI MOOSUK

PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIRMENTS

FOR THE BACHELOR'S DEGREE DEPARTMENT OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ระบบควบคุมห้องส่งทีวี II (แสง)

โดย นายนิคม ตาฟู
นายวุฒิพงษ์ พิมพ์บูลย์
นายหลักชัย หมู่สุข

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อุทัย ศรีธีระวิโรจน์

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2539

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(_____)

_____ กรรมการ
(_____)

_____ กรรมการ
(_____)

_____ กรรมการ
(_____)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมห้องส่งทีวี II (แสง)

โดย	นายนิคม	ตาฟู	รหัสประจำตัว	37.013381
	นายวุฒิพงษ์	พิมพ์บูลย์	รหัสประจำตัว	37.013397
	นายหลักชัย	หมู่สุข	รหัสประจำตัว	37.013407
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อุทัย	ศรีธีระวิโรจน์		
ปีการศึกษา	2539			

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้มีการนำ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มาใช้งานกันอย่างกว้างขวางในทุก ๆด้าน ซึ่งโครงงานนี้จึงได้นำ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มาควบคุมการหรี่ไฟเพื่อใช้ในห้องสตูดิโอ ซึ่งแต่ก่อนการควบคุมเครื่องหรี่ไฟเป็นระบบควบคุมแบบแมนวล ซึ่งเป็นการควบคุมที่จำกัด เพราะ ไม่สามารถปรับเปลี่ยนการควบคุมได้ ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงจะต้องทำการแก้ไขในด้านฮาร์ดแวร์ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองมาก ในโครงงานนี้จึงเป็นการพัฒนาแก้ไขข้อเสียดังกล่าว โดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาควบคุมเครื่องหรี่ไฟ ทำให้สะดวกแก่การนำไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TV STUDIO CONTROLLED SYSTEM II (LIGHT)

BY	MR. NIKOM	TAFU	37.013381
	MR. WUTTIPONG	PIMBOOL	37.013397
	MR. LAKCHAI	MOOSUK	37.013407
PROJECT REPORT ADVISOR	MR. UTHAI	SRITHIRAVIROJ	
ACADEMEC YEAR	2539		

ABSTRACT

Nowadays,personal computer is widely used in many aspects,the object of this project is to use personal computer in controlling light dimmer for studio. Previously, controlling dimmer by manual had a limited performance it hard to control without changing the hardware structure which is very costly.Here in,we developed the software program with personal computer to control the light dimmer described above and it is more convince in various applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และการให้คำแนะนำต่อคณะผู้จัดทำ ด้วยความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์อุทัย ศรีธีระวิโรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงงานระบบควบคุมห้องส่งทีวี II (แสง) และรวมทั้งคณาจารย์ทุก ๆ ท่านในภาคเทคนิคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะ รศ.ดร.ภนก เจนจิระพงศ์เวช อ.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ อ.บุญชนะ ภู่ระหงษ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำด้วยดีตลอดมา ในกรณีที่มีปัญหาเกิดขึ้น ดังนั้นผู้จัดทำขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ. โอกาสนี้

นายนิคม ตาฟู
นายวุฒิพงษ์ พิมพ์บูลย์
นายหลักชัย หมู่สุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

Abstract II

กิตติกรรมประกาศ III

บทที่ 1 บทนำ

- แนวคิดและเหตุผล 1
- ผลประโยชน์ที่ได้รับ 1

บทที่ 2 ระบบการทำงานและส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์

- หน่วยรับข้อมูลเข้า 4
- หน่วยประมวลผลกลาง 4
- หน่วยความจำหลัก 5
- หน่วยแสดงผล 6
- หน่วยความจำสำรอง 6
- พอร์ตแบบขนาน 7
- พอร์ตแบบอนุกรม 11

บทที่ 3 ไอซีดิจิตอล

- ชนิดของไอซีดิจิตอล 21
- ฟลิปฟลอป 30
- อินเตอร์เฟสและอุปกรณ์แสดงผล 34
- การแปลงสัญญาณดิจิตอลกับอนาล็อก 46
- วิธีการอ่านคู่มือของไอซีซีมอส 53

บทที่ 4 การจัดระบบแสง

- หลอดไฟ 66
- หลอดทังสเตนฮาโลเจน 69
- บอร์ดไลด์ 74
- ซอฟต์ไลด์ 75
- สคูป 79
- ฟรีสเนล 81
- อิลลิปซอยดัล รีเฟล็กเตอร์ 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

- พาร์ 86
- ฟอลโลว์สปีอค 95

บทที่ 5 การออกแบบและหลักการทำงาน

- หลักการทำงาน 101
- บล็อกไดอะแกรม 101
- วงจรใช้งานจริง 102
- ห้องสตูดิโอ 111

บทที่ 6 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

- การใช้งานโปรแกรม 113
- Flow Chart 126
- โปรแกรม Software 166

สรุปและวิจารณ์ผล 207

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

แนวคิดและเหตุผล

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทุก ๆด้านได้พัฒนาขึ้นรวดเร็วอย่างต่อเนื่องซึ่งพัฒนาและปรับปรุงจากที่มีระบบการทำงานที่ง่าย ๆ มาจนกระทั่งถึงระบบการทำงามที่นับวันจะยิ่งยุ่งยากสลับซับซ้อนยิ่งขึ้น

คอมพิวเตอร์ จึงได้เข้ามามีบทบาท ต่อสังคมมนุษย์เป็นอย่างมาก ขณะนี้ธุรกิจส่วนใหญ่คอมพิวเตอร์จะเข้ามามีบทบาทอยู่ด้วยเสมอ ด้วยประสิทธิภาพอันยอดเยี่ยมได้แก่ การเก็บข้อมูล การตรวจสอบ และการประมวลผลข้อมูล และอีกด้านหนึ่งที่ขาดไม่ได้ คือความสามารถในการทำงานที่รวดเร็วของเครื่องคอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ได้กลายมาเป็นเฟอร์นิเจอร์ที่มีใช้กันทั่วไป และมีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานควบคุมหลาย ๆ ด้านซึ่งเราได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์แสงจากระบบเดิมที่เป็น เมนวล คือ ใช้มือปรับแต่ง จากนั้นได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ควบคุมอุปกรณ์แสงโดยมีกราฟฟิคหน้าจอสวยงามน่าใช้ สามารถบันทึกเก็บไว้ได้และนำมาใช้ได้ตามความต้องการ มีการพัฒนาโดยการนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมอุปกรณ์แสงโดยเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางสล๊อต (slot) โดยใช้การ์ดเสียบเข้าไป จึงได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพให้ดีมากยิ่งขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งาน

ดังนั้น โครงงานนี้จึงมีแนวคิดที่จะให้ผู้ใช้ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลควบคุมดิมเมอร์ได้โดยเพียงเสียบสายจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งต่อกับ ฮาร์ดแวร์ ที่ควบคุมดิมเมอร์ได้เลยโดยตรง เพื่อให้ผู้ใช้ที่ไม่มีความเข้าใจใน เรื่องของคอมพิวเตอร์ และไม่ให้ผู้ใช้เกิดความยุ่งยากในการถอดรื้อเครื่องคอมพิวเตอร์

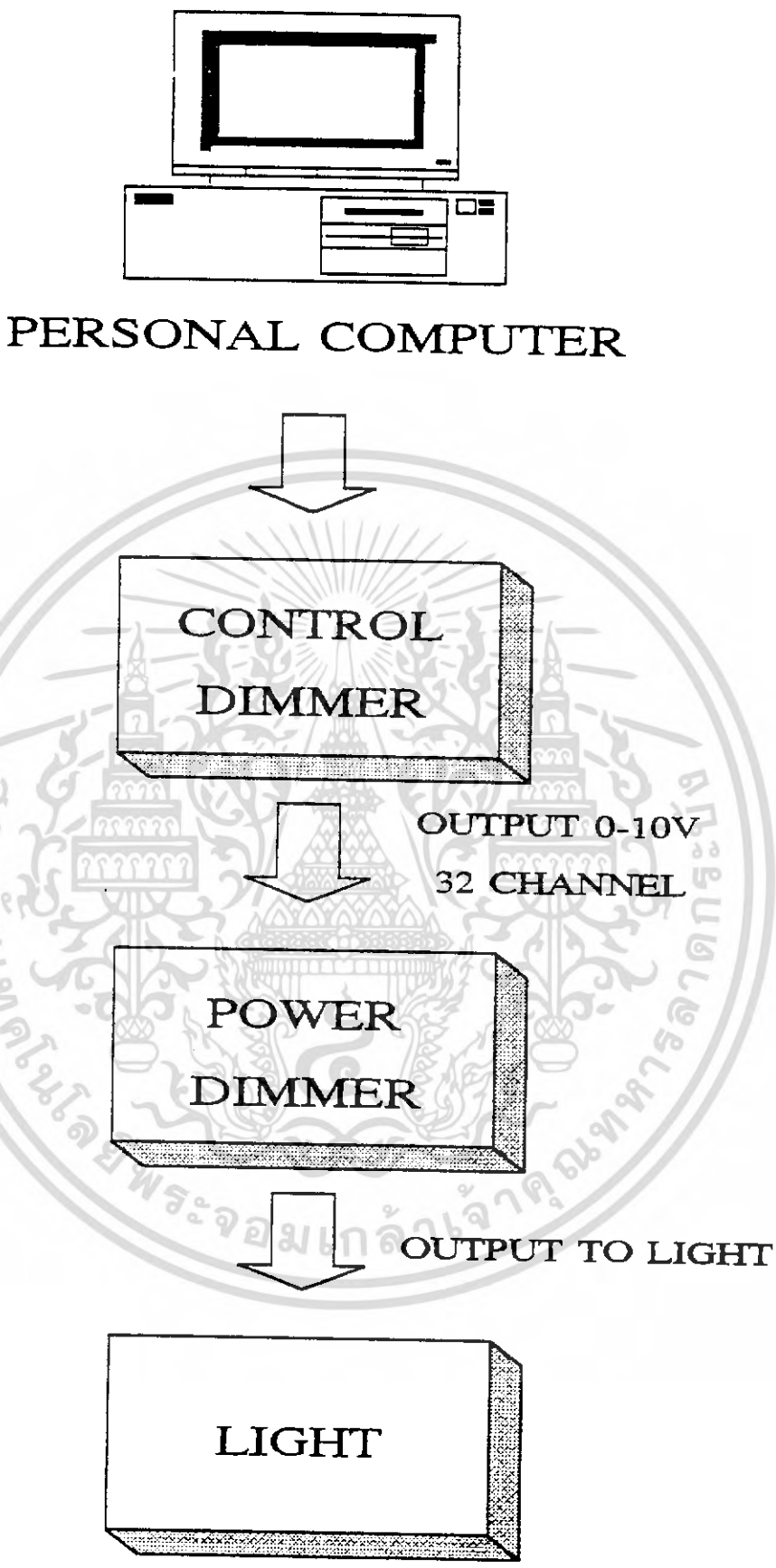
โดยออกแบบให้ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลติดต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่านทาง สายพริ้นเตอร์ เพียงต่อสายพริ้นเตอร์ แล้วก็สามารถนำเอาต์พุต ไปใช้งานได้เลย ซึ่งสามารถควบคุมดิมเมอร์ โดยมีกราฟฟิคสวยงามที่น่าใช้ มีฟังก์ชั่นการใช้งานให้เลือกหลากหลาย มีหลักการดังรูปที่ 1.1

ผลประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ควบคุมดิมเมอร์เพื่อควบคุมแสงผ่านสายพริ้นเตอร์ได้จำนวน 32 Channel

2. สามารถบันทึก โปรแกรมรูปแบบการทำงาน และเรียกโปรแกรมการทำงานใช้งานควบคุมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 **คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลควบคุมดิมเมอร์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถเลือกควบคุมการทำงานแบบพิเศษโดยตั้ง time delay เพื่อใช้ในงานควบคุมได้

4. สามารถตั้งเวลา การทำงานของโปรแกรม ให้ต่อเนื่องกัน ในการใช้งานควบคุมได้

5. สามารถเปลี่ยนแปลง รูปแบบการควบคุมได้โดยเพียงแก้ไขเพิ่มเติมส่วน โปรแกรมซอร์ฟแวร์ ทำให้ประหยัด ไม่สิ้นเปลือง

6. มีรูปแบบการใช้งานที่ง่าย สะดวก สวยงาม น่าใช้ ไม่ต้องถอดส่วนประกอบ หรือเข้าไปเกี่ยวข้องภายในเครื่องคอมพิวเตอร์

7. สามารถนำไปเป็นรูปแบบเพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

ระบบการทำงานและส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย หน่วยที่ทำหน้าที่ต่างๆ ได้แก่

1.หน่วยรับข้อมูล(input)

2.หน่วยประมวลผลกลาง(central processing unit หรือ cpu)

3.หน่วยแสดงผล(output)

4.หน่วยเก็บข้อมูลสำรอง(secondary storage unit)

หน่วยรับข้อมูลเข้า

หน่วยรับข้อมูล(input) ทำหน้าที่รับข้อมูลต่าง ๆ ที่ผู้ใช้เครื่องป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานตามที่ต้องการ การป้อนข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เครื่องรับทราบและทำงานให้ตามที่ต้องการนั้น อาจป้อนได้หลายวิธี เช่น บัตรเจาะรู บัตรระบาย สัญญาณจากเทปแม่เหล็ก สัญญาณจากคีย์บอร์ดหรือแม้แต่สัญญาณจากเสียงพูด อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น Input จึงได้แก่ เครื่องอ่านบัตร อาจเป็นเครื่องอ่านบัตรเจาะรูหรือเครื่องอ่านบัตรจากการระบาย เครื่องอ่านเทปแม่เหล็ก คีย์บอร์ด เครื่องเทป เป็นต้น

หน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยประมวลผลกลาง(Central Processing Unit:CPU)ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. หน่วยควบคุม (control unit) ทำหน้าที่ควบคุมส่วนประกอบอื่นให้ทำงานตามคำสั่งที่ป้อนเข้ามา เปรียบเสมือนเป็นผู้บริหารของสถาบัน หน่วยนี้จะทำหน้าที่ควบคุมการกระทำของอุปกรณ์ทุกอย่างภายในเครื่อง

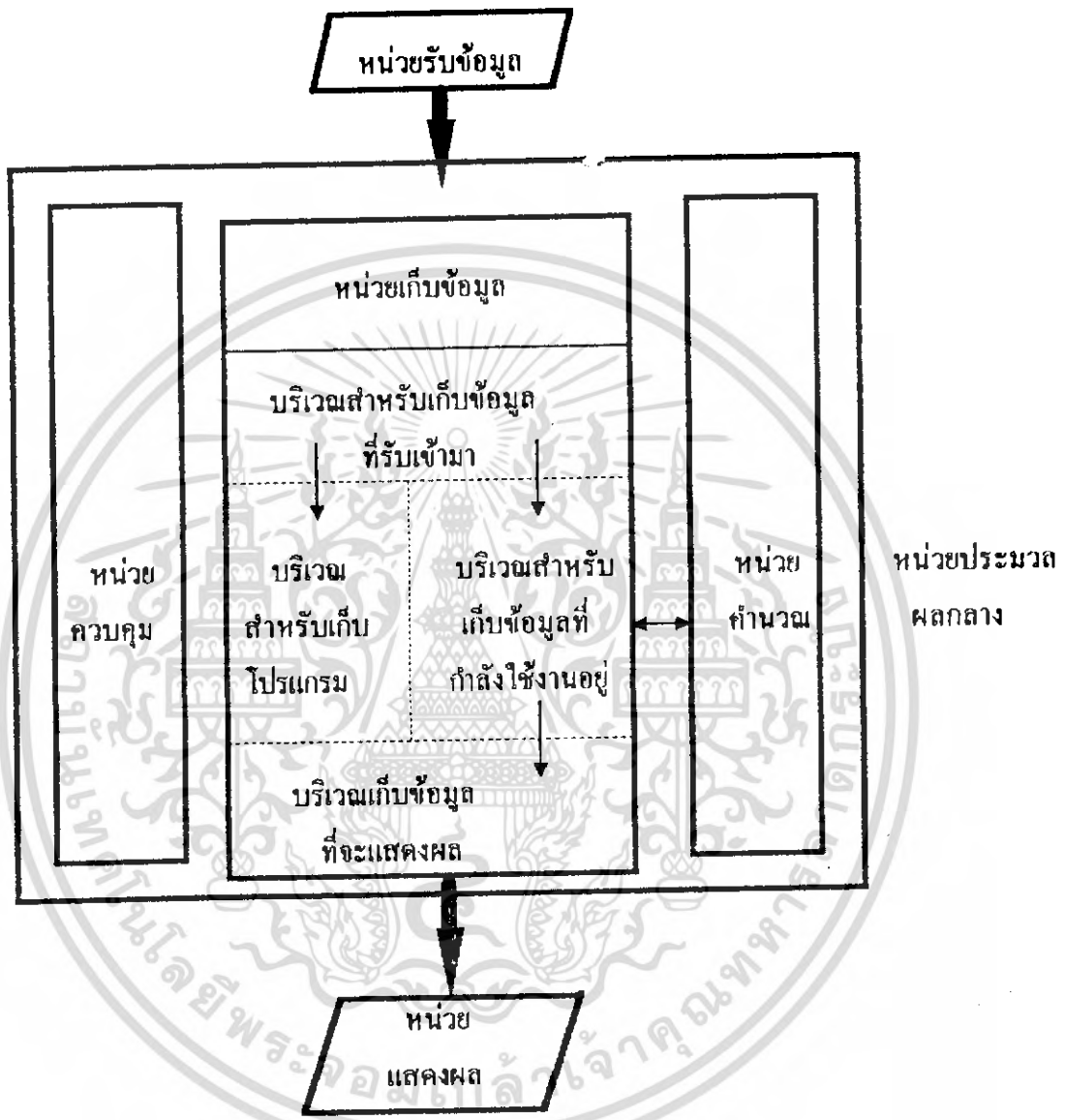
2. หน่วยคำนวณและตรรกวิทยา (arithmetic and logic unit หรือ ALU) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากหน่วยความจำ มาทำการคำนวณเปรียบเทียบตามคำสั่งโปรแกรม แล้วส่งผลลัพธ์ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายใต้การควบคุมของหน่วยควบคุม

3. หน่วยความจำหรือหน่วยเก็บข้อมูลหลัก (memory หรือ primary storge)เป็นส่วนที่จัดเก็บคำสั่งโปรแกรมและข้อมูลที่ต้องการใช้ โดยจะแบ่งเนื้อที่ออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

- input storage area เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลซึ่งรับมาจากหน่วยรับข้อมูลเข้าเพื่อรอการดำเนินตามกรรมวิธีต่อไป
- woking storage area ใช้เก็บข้อมูลเพื่อดำเนินการชั่วคราว
- output storage area เป็นที่เก็บผลลัพธ์จากการดำเนินตามกรรมวิธีแล้ว และพร้อมที่ส่งออกไปยังหน่วยแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- program storage area เป็นส่วนที่เก็บคำสั่งโปรแกรมที่ดำเนินการอยู่โดยส่งคำสั่งไปยังหน่วยควบคุมเพื่อทำการตีความและสั่งการการต่อไป



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบคอมพิวเตอร์

หน่วยความจำหลัก จะมีอยู่ 2 ประเภท คือ

รอม (ROM: Read Only Memory) เป็นหน่วยความจำที่สร้างมาพร้อมกับเครื่องจากบริษัท โดยจะเก็บคำสั่งที่ต้องใช้อยู่เป็นประจำและคำสั่งเฉพาะเอาไว้ ความจำนี้จะอ่านได้อย่างเดียว ไม่อาจไปเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้และเป็นความจำที่มีอยู่อย่างถาวร แม้จะปิดเครื่องคำสั่งนี้ก็จะไม่หายไป หรือถูกลบไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

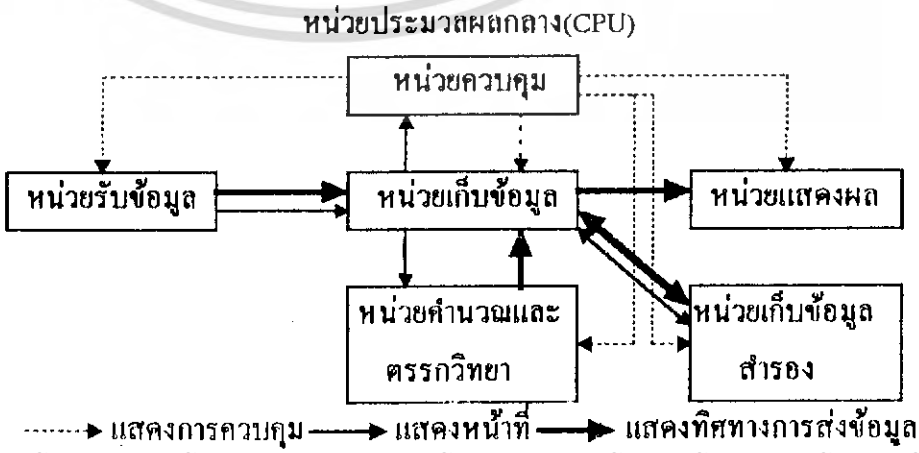
แรม (RAM: Random Access Memory) เป็นหน่วยความจำที่ใช้ในการจดจำข้อมูลและคำสั่งขณะที่เครื่องทำงาน ส่วนนี้สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือคำสั่งต่าง ๆ ได้ตลอดเวลาในขณะที่เครื่องยังเปิดอยู่ แต่เมื่อปิดเครื่องแล้ว ข้อมูลหรือโปรแกรมที่เก็บไว้ในส่วนนี้จะหายไป โดยปกติขนาดของ RAM จะใช้อ้างถึงขนาดความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย ซึ่งจะมีขนาดแตกต่างกันออกไป หน่วยความจำชนิดนี้บางครั้งก็เรียกว่า Read Write Memory หมายความว่าสามารถทั้งอ่านและบันทึกได้

หน่วยแสดงผล

หน่วยแสดงผล (output unit)หรือผลลัพธ์ที่ได้ผ่านการกระทำ หรือดำเนินตามกรรมวิธีเรียบร้อยแล้วจากหน่วยความจำมาแสดงตามที่ผู้ใช้ต้องการ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนนี้ได้แก่ จอภาพ ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์แสดงผลมาตรฐาน อุปกรณ์แสดงผลที่ใช้กันมากอีกอย่างหนึ่งคือ เครื่องพิมพ์ และยังมีอุปกรณ์แสดงผลอื่น ๆ สุดแท้แต่ว่าจะนำคอมพิวเตอร์ไปใช้ในงานใด

หน่วยความจำสำรอง

หน่วยความจำสำรอง (secondary storage หรือ axillary storage) หน่วยความจำนี้เปรียบเสมือนสมุดบันทึกสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลเพื่อใช้ในโอกาสต่อไป หน่วยความจำหลักที่กล่าวมาแล้วนั้น มีขีดจำกัดในการเก็บข้อมูล แต่มีข้อดีตรงที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้การอ่านและบันทึกโปรแกรมเป็นไปด้วยความรวดเร็ว แต่การใช้คอมพิวเตอร์ ในบางครั้งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากเกินกว่าจะบรรจุในหน่วยความจำหลักได้ จึงจำเป็นต้องเก็บโปรแกรมและข้อมูลไว้ในหน่วยความจำสำรอง อันจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการจดจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของหน่วยความจำประเภทนี้ ได้แก่ แผ่นบันทึกข้อมูล (diskette) จานแม่เหล็ก (hard disk) ซึ่งทั้งสองอย่างนี้ นิยมใช้มากที่สุดสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ในยุคปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีเทปแม่เหล็ก (magnetic tape)ซึ่งไม่เป็นที่นิยมมากนัก



รูปที่ 2.2 แสดงหน้าที่และส่วนประกอบของหน่วยประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ตแบบขนาน

คำว่าพอร์ตแบบขนานเกิดขึ้นเพราะมันทำหน้าที่เป็นช่องส่งข้อมูลเข้า - ออกโดยสามารถส่งข้อมูลได้คราวละ 8 บิต (หรือ 1 ไบต์) โดยส่งผ่านทางสายสัญญาณ 8 เส้น ในหลาย ๆ ครั้งที่เราจะเรียกพอร์ตนี้ว่าเป็นพอรต์เครื่องพิมพ์ เพราะมันจะใช้งานร่วมกับเครื่องพิมพ์เสียเป็นส่วนใหญ่ และในบางครั้งก็มีคนเรียกพอร์ตแบบขนานว่าเซ็นทรอนิกส์ (centronics) อันเป็นชื่อของบริษัทที่กำหนดมาตรฐานการใช้พอร์ตแบบขนานขึ้นมานั่นเอง

คำว่า "พอร์ต" จะให้ความหมาย 2 อย่างคือ อย่างแรก พอร์ตจะทำหน้าที่เสมือนเป็นประตูเข้า - ออกของข้อมูลระหว่างเมนบอร์ดและอุปกรณ์ต่างๆ เช่นพอร์ตขนานที่ใช้กับเครื่องพิมพ์เป็นต้น ส่วนความหมายที่ 2 จะเป็นฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ให้กับโปรเซสเซอร์ในการติดต่อกับอุปกรณ์ I/O นั่นก็หมายความว่าอุปกรณ์ I/O แต่ละตัวจะมีหมายเลขพอร์ตเฉพาะตัว (เป็นเลขฐานสิบหก) เอาไว้ และโปรเซสเซอร์สามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้ได้โดยการอ่านและเขียนข้อมูลไปยังพอร์ตหมายเลขต่าง ๆ

การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ และ เครื่องพิมพ์ผ่านทางพอร์ตขนานนี้ไม่มีอะไรหรูหรามากนักเพราะมันเพียงแต่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลพร้อมทั้งรหัสพิเศษ 2-3 ตัวเท่านั้น โดยทั่วๆ ไปแล้วคอมพิวเตอร์สามารถส่งข้อมูลเพียง 2 อย่างไปให้เครื่องพิมพ์ อันได้แก่ ข้อมูลที่ต้องการพิมพ์ และสัญญาณพิเศษที่ใช้ในการบอกเครื่องพิมพ์ให้สร้างสภาวะเริ่มต้นสำหรับการทำงาน (initialization signal)

ในทำนองเดียวกัน ตัวเครื่องพิมพ์เองก็ไม่ได้ติดต่อส่งข้อมูลให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์มากนัก กล่าวคือ เครื่องพิมพ์จะส่งสัญญาณให้แก่คอมพิวเตอร์เพียง 3 ประเภทเท่านั้น ประเภทแรกคือสัญญาณ acknowledgement อันเป็นสัญญาณที่บ่งบอกว่า เครื่องพิมพ์ได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ประเภทที่ 2 เป็นสัญญาณ busy (out-of-paper signal) สัญญาณสุดท้ายนี้จะมีใช้เฉพาะในเครื่องพิมพ์ที่ใช้กับพอร์ตขนานเท่านั้น โดยจะไม่มีใช้สำหรับ เครื่องพิมพ์ที่ต่อด้วยพอร์ตอนุกรม

การออกแบบและความสามารถในการติดต่อของเครื่องพิมพ์ในตระกูลพีซีนี้ไม่มีอะไรพิเศษมากนักเพราะมันถูกออกแบบเพื่อให้สามารถใช้ได้ในการประมวลผลทั่วไป แต่อย่างไรก็ดี มีสิ่งที่เราควรทราบคืออะแดปเตอร์สำหรับเครื่องพิมพ์ และรอมไบออสที่ดูแลการทำงานของเครื่องพิมพ์นั้น จะยอมให้มีพอร์ตขนานในเครื่องพีซีเครื่องหนึ่งได้ไม่เกิน 3 พอร์ต นั่นก็คือเราสามารถต่อเครื่องพิมพ์ไว้กับพีซีได้สูงสุด 3 เครื่องแต่การที่เราจะใช้เครื่องพิมพ์มากกว่า 1 เครื่องได้พร้อม ๆ กันนั้นจำต้องอาศัยซอฟต์แวร์พิเศษซึ่งผู้ใช้พีซีส่วนใหญ่ก็ไม่นิยมที่จะใช้เครื่องพิมพ์พร้อม ๆ กันหลาย ๆ เครื่อง แต่สาเหตุที่อาจจะต่อเครื่องพิมพ์ไว้หลาย ๆ เครื่อง ก็เพราะว่าเขาสามารถเลือกใช้เครื่องที่ตัวพิมพ์สวยสำหรับพิมพ์งานที่สมบูรณ์แล้ว เป็นต้น ซึ่งการสวิตช์ให้เลือกใช้เครื่องพิมพ์ (หรือพอร์ต) ที่ต้องการนั้นก็กระทำได้โดยการใช้คำสั่งดอสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณต่าง ๆ ของเครื่องพิมพ์

การเชื่อมต่อของสัญญาณที่ใช้ส่งข้อมูล ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องพิมพ์ นั้นทำได้ 2 แบบ คือ แบบขนานและแบบอนุกรม ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการส่งข้อมูลแบบขนาน

การส่งข้อมูลแบบขนาน ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องพิมพ์นั้นมีมาตรฐานที่นิยมมากที่สุดคือ มาตรฐานของ CENTRONICS ซึ่งมีการใช้กันทั่วไปในเครื่องพิมพ์เกือบทุกชนิด ที่มีการรับข้อมูลแบบขนาน สัญญาณต่าง ๆ ของเครื่องพิมพ์จะเป็นดังตารางข้างล่างนี้

PIN	SIGNAL NAME	DIRECTION	PIN	SIGNAL NAME	DIRECTION
1	DATA STROBE	OUTPUT	19	GND	
2	DATA 1	OUTPUT	20	GND	
3	DATA 2	OUTPUT	21	GND	
4	DATA 3	OUTPUT	22	GND	
5	DATA 4	OUTPUT	23	GND	
6	DATA 5	OUTPUT	24	GND	
7	DATA 6	OUTPUT	25	GND	
8	DATA 7	OUTPUT			
9	DATA 8	OUTPUT			
10	ACK	INPUT			
11	BUSY	INPUT			
12	PAPER EMPTY	INPUT			
13	SELECT	INPUT			
14	AUTOFEED - XT	OUTPUT			
15	ERROR	INPUT			
16	INPUT-PRIME	OUTPUT			
17	SELECT IN	OUTPUT			
18	GND				

หน้าที่ของสัญญาณต่าง ๆ

$\overline{\text{STROBE}}$ เป็นสัญญาณควบคุมการส่งข้อมูลให้เครื่องพิมพ์สัญญาณนี้จะมีความกว้างของพัลซ์มากกว่า 1 ไมโครวินาที

DATA 1-8 เป็นสัญญาณข้อมูลที่ส่งให้กับเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\overline{\text{ACK}}$ เป็นสัญญาณพัลซ์ที่ส่งออกจากเครื่องพิมพ์เพื่อบอกให้ทราบว่าขณะนี้เครื่องพิมพ์ได้รับข้อมูล 1 ไบต์ที่ส่งมาเรียบร้อยแล้ว

BUSY เมื่อสัญญาณนี้เป็นลอจิก 1 แสดงว่าเครื่องพิมพ์ไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล ซึ่งสัญญาณนี้จะเป็นลอจิก 1 เมื่อเกิดกรณีเหล่านี้

1. มีการรับข้อมูลเข้ามาเต็มบัฟเฟอร์
2. เครื่องพิมพ์ไม่ได้อยู่ในสภาวะของการติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์(DESELECT)
3. เกิดการผิดพลาดขึ้นกับเครื่องพิมพ์

PE เป็นสัญญาณแสดงสภาวะของกระดาษพิมพ์ สัญญาณนั้นจะมีค่าลอจิก 1 เมื่อไม่มีกระดาษพิมพ์

SELECT เป็นสัญญาณแสดงสภาวะของเครื่องพิมพ์ ว่าพร้อมที่จะติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือไม่หากมีค่าลอจิก 1 แสดงว่าเครื่องพิมพ์พร้อมที่จะติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (SELECT) หากมีค่าเป็นลอจิก 0 แสดงว่าเครื่องพิมพ์ไม่พร้อมที่จะติดต่อกับเครื่อง คอมพิวเตอร์ (DESELECT) สัญญาณนี้จะมีค่าลอจิก 1 เมื่อเรากดปุ่ม SELECT ที่เครื่องพิมพ์ หรือเครื่องพิมพ์ได้รับโค๊ด DC1

CHASSIS GND เป็นกราวนด์ของเครื่อง

TWISTED PAIR GND เป็นกราวนด์ของสัญญาณที่ใช้ร่วมกับสายข้อมูลและสัญญาณควบคุมต่าง ๆ

FAULT เมื่อสัญญาณนี้มีค่าลอจิก 0 แสดงว่าเครื่องพิมพ์ไม่พร้อมที่จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งสัญญาณนี้จะเป็น 0 เมื่อมีความผิดพลาดต่อไปนี้

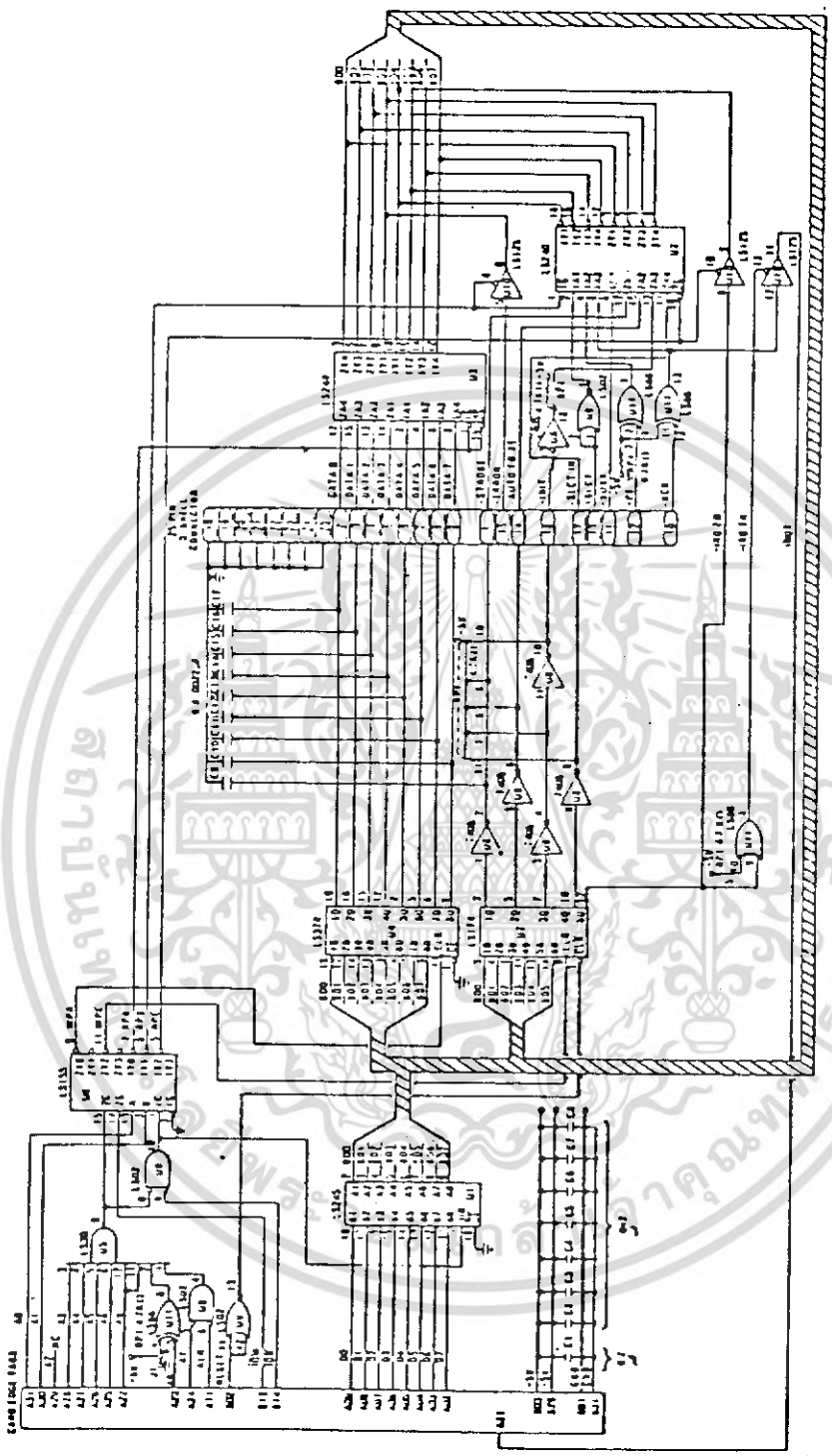
1. ไม่มีกระดาษในเครื่องพิมพ์
2. เครื่องพิมพ์อยู่ในสภาวะ DESELECT
3. เครื่องพิมพ์ทำงานผิดพลาด

$\overline{\text{INPUT PRIME}}$ เมื่อสัญญาณนี้เป็นพัลซ์ 0 จะทำให้เครื่องพิมพ์กลับไปอยู่ในสภาวะเริ่มต้น

SELECT IN เมื่อสัญญาณนี้มีค่าลอจิก 1 เราสามารถควบคุมการติดต่อกับเครื่องพิมพ์ได้ด้วยโค๊ดDC1 และ DC3

AUTOFEED-XT เมื่อสัญญาณนี้มีค่าลอจิก 0 เครื่องพิมพ์จะเพิ่ม line feed หลังจากพิมพ์ในแต่ละบรรทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การ์ดพอร์ตพริ้นเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ตแบบอนุกรม

ส่วนที่สำคัญที่สุดอีกส่วนหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นช่องทางการส่งผ่านข้อมูล ได้แก่ พอร์ตแบบอนุกรม (serial port) หรือ การสื่อสารแบบอนุกรม (serial interface) ในบางครั้งเราจะเรียกการสื่อสารข้อมูลแบบนี้ว่า การสื่อสารแบบอสมวาร หรือ asynchronous communications interface การสื่อสารแบบอนุกรมนี้มีจุดเด่นที่ความสามารถในการส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง ซึ่งยึดมาตรฐาน RS-232 ในการรับ - ส่งข้อมูล การส่งข้อมูลแบบอสมวารนี้จะไม่มีการปรับสัญญาณนาฬิกาของตัวรับและตัวส่งให้ตรงกัน แต่จะใช้หลักการของการ "หยุดรอและตามให้ทัน" (catch-as-catch-can)ส่วนความหมายของการส่งแบบอนุกรม คือการส่งข้อมูลคราวละ 1 บิต

ตรงกันข้ามการสื่อสารแบบขนานที่มีความเรียบง่ายและรูปแบบที่คงที่แน่นอน การสื่อสารแบบอนุกรมจะมีการออกแบบที่หลากหลายยิ่ง ซึ่งถึงแม้จะให้ความยืดหยุ่นในการทำงานมากกว่า แต่การควบคุมการทำงานให้สมบูรณ์และเหมาะสมตามความต้องการนั้นจะต้องกระทำโดยการเซตค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ถูกต้อง อันเป็นเรื่องวุ่นวายพอสมควร แต่เราก็จะพยายามอธิบายกันไว้ในที่นี้

ค่าของพารามิเตอร์ในการสื่อสารเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะที่เครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์แต่ละจุดใช้ในการสื่อสารกัน พูดถึงเรื่องการสื่อสารโดยทั่ว ๆ ไป ซึ่งรวมถึงการสื่อสารแบบอนุกรมนั้นจะมีการติดต่อกัน 2 ทางดังนั้นอุปกรณ์ที่อยู่ ณ จุดปลายทางทั้ง 2 นี้จะต้องพยายามปรับค่าให้ตรงกันด้วย แต่เนื่องจากเครื่องพีซีที่เราใช้กันอยู่ยังไม่มีความสามารถในการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นในการเชื่อมเครื่องพีซีเข้ากับสายสื่อสารนั้น จึงมีความจำเป็นที่ผู้ใช้ต้องมีความเข้าในเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ ซึ่งก็คงไม่ใช่เรื่องยากเย็นอะไรสำหรับผู้ใช้ที่มีประสบการณ์และความรู้ แต่สำหรับผู้ใช้มือใหม่ก็คงก่อให้เกิดความสับสนกันพอควร อย่างไรก็ดี ปัญหาในส่วนนี้จะไม่มีอะไรเกี่ยวข้องกับความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์แต่อย่างใด หน้าที่ของเราก็ยังคงเป็นแต่เสียบต่ออุปกรณ์ และเซตค่าต่าง ๆ เท่านั้น

ความเร็วที่พอร์ตแบบอนุกรมสามารถรองรับได้มีตั้งแต่ 110 bps (ใช้ในอุปกรณ์เก่า ๆ) จนถึง 19.2 kbps หรือ 19,200 bps โดยมีความเร็วทั่วไปที่ใช้ต่อกับสายโทรศัพท์คือ 2400 bps และ 9600 bps

เวลาเราพูดอัตราความเร็วเป็น bps อาจจะทำให้มองภาพไม่ออกว่า การรับส่งข้อมูลนั้นจะทำได้เร็วขนาดไหน เราก็ขอเสนอเทคนิคการแปลงหน่วยแบบง่าย ๆ คือ เอา 10 หารค่า bps ก็จะได้เป็นจำนวนไบต์ หรือจำนวนอักขระต่อวินาที เช่นถ้ามีอัตราเร็ว 2400 bps ก็จะประมาณได้เท่ากับว่าความเร็วในการสื่อสารคือ สามารถรับ - ส่งข้อมูลได้ 240 อักขระต่อวินาที

สำหรับคนที่ยังพอจำได้ว่า 1 ไบต์มีความยาวเท่ากับ 8 บิต ก็คงจะนึกค้านอยู่ตอนนี้ว่าทำไมเราจึงหารด้วย 10 ทั้งที่ควรจะหารด้วย 8 ทั้งนี้ก็เพราะในการส่งข้อมูลแบบอสมวารนั้นมีข้อมูลอยู่ 2 บิตในแต่ละไบต์ที่ไม่ใช่ข้อมูลจริง แต่เป็นตัวที่ต้องใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อควบคุมการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ตัวที่ 2 คือ ขนาดของข้อมูล หรือจำนวนบิตในข้อมูลแต่ละอักขระ ซึ่งจะมี 2 ทางเลือกคือ 7 บิต หรือ 8 บิต โดยส่วนใหญ่เราจะใช้กัน 7 บิต แต่สำหรับข้อมูลที่มีภาษาไทยปะปนอยู่ด้วย และเราใช้แอสกีส่วนล่าง สำหรับภาษาไทยก็อาจต้องเซตพารามิเตอร์ตัวนี้ให้เท่ากับ 8

พารามิเตอร์ตัวต่อไป คือ ค่าพาริตี้ (parity) ซึ่งมีศัพท์ไทยบัญญัติไว้ว่า "ภาวะเสริม" แต่เราขอเรียกทับศัพท์ว่า พาริตี้ ก็แล้วกัน พาริตี้มีความสำคัญในการตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจจะเกิดได้ในการส่ง-รับข้อมูล ซึ่งตามมาตรฐาน RS-232 สามารถให้เราระบุค่าพาริตี้ได้จากทางเลือก 3 แบบ คือแบบคี่ (odd) แบบคู่ (even) และไม่ต้องใช้พาริตี้ และค่าพารามิเตอร์ตัวสุดท้ายที่จะกล่าวคือ จำนวน stop bit ในการส่งข้อมูลนั้น ข้อมูลแต่ละอักขระจะถูกล้อมกรอบไว้ด้วยบิต start และ stop เพื่อเป็นตัวแสดงกรอบของข้อมูลแต่ละอักขระ ซึ่งเราอาจจะเลือกใช้จำนวน stop bit เป็น 1 หรือ 2 ก็ได้

และที่ได้กล่าวถึงไปแล้วก็เป็นพารามิเตอร์ตัวหลัก ๆ ที่ใช้ในการสื่อสาร จริง ๆ แล้วยังมีพารามิเตอร์และข้อมูลทางเทคนิคมากกว่านี้ แต่ในส่วนของผู้ใช้ก็เพียงแต่ยึดหลักไว้ว่าจะต้องเซตค่าพารามิเตอร์ในอุปกรณ์ปลายทางทั้ง 2 จุดให้ตรงกันก็พอ

การใช้ประโยชน์จากพอร์ตแบบอนุกรมนั้น แบ่งหลัก ๆ ได้เป็น 2 อย่าง อย่างแรกก็ได้แก่ การต่อเครื่องพิมพ์แบบอนุกรม และอย่างหลัง ได้แก่การต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องเข้าด้วยกัน โดยอาจต่อกันโดยตรงเลยก็ได้ หรือถ้าเครื่องทั้ง 2 อยู่ห่างกัน เกินไปก็ต้องต่อผ่านทางสายโทรศัพท์ ซึ่งในกรณีหลังนี้ เราต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า โมเด็ม (modem) ต่อไว้ตรงกลางระหว่างคอมพิวเตอร์กับโทรศัพท์ และเมื่อถึงปลายทางก็จะแปลงสัญญาณกลับ

นอกเหนือจากการต่อเครื่องพิมพ์และสายโทรศัพท์แล้ว พอร์ตแบบอนุกรมก็ยังใช้ต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ อีก ที่จะเห็นมากก็คงได้แก่ พล็อตเตอร์ (plotter) และเมาส์

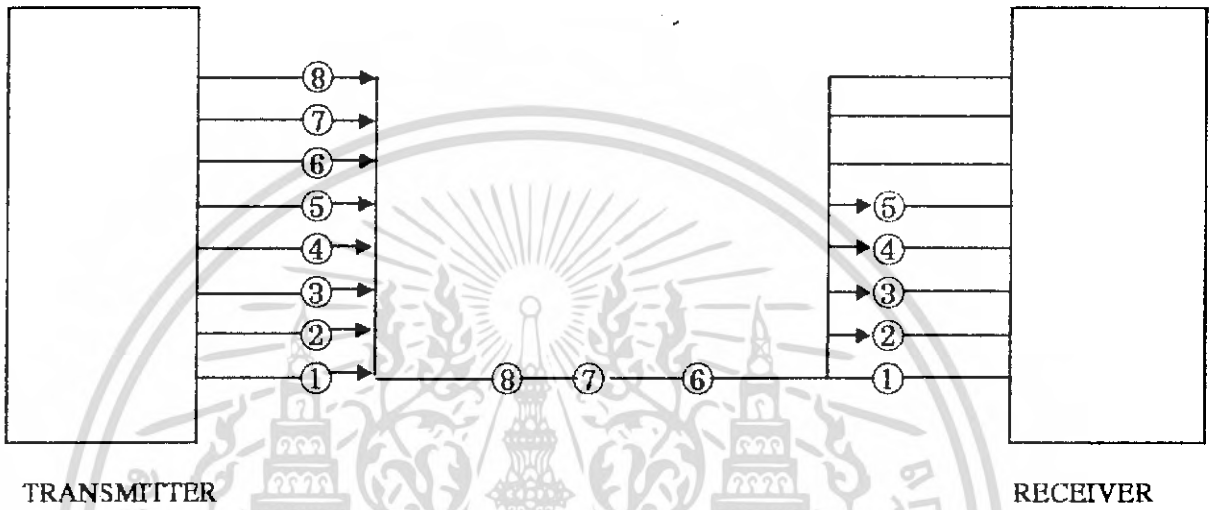
การใช้คอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับเครื่องมือ ทางวิทยาศาสตร์ก็มักจะต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรมทั้งนั้น จึงเห็นได้ชัดว่า เรามีแนวโน้มที่จะใช้พอร์ตแบบอนุกรมกันอย่างมากมาย และในพีซีมาตรฐานก็ได้อนุญาตให้เรามีพอร์ตอนุกรมได้ไม่เกิน 4 พอร์ต โดยหากเราต้องการใช้มากกว่านี้ ก็ต้องหาซื้ออะแดปเตอร์ (หรือการ์ด)พิเศษที่มีโปรเซสเซอร์ I/Oในตัวมาเสียบเพิ่มให้มีพอร์ตอนุกรมใช้เพิ่มขึ้น

การสื่อสารข้อมูลอนุกรม

การเชื่อมต่อระบบไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก ส่วนใหญ่จะใช้การเชื่อมต่อแบบขนานแต่จะถูกจำกัดระยะทาง แต่การเชื่อมต่อแบบอนุกรมสามารถส่งได้ระยะทางไกลกว่าแบบขนานมาก

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมนั้น ข้อมูลจะได้รับการส่งออกมาครั้งละ 1 บิต ระหว่างจุดส่งและจุดรับ จะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้จะช้ากว่าการส่งข้อมูลแบบขนานแต่ยังคงใช้การส่งข้อมูลแบบนี้อยู่ก็เพราะว่า ตัวกลางการสื่อสารมีอยู่เพียงช่องเดียวหรือมีสายอยู่คู่เดียวค่าใช้จ่ายในการส่งข้อมูลไกล ๆ ก็จะเป็นเรื่องที่ดีเพราะระบบสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้ว หรือจะออกแบบให้สื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุซึ่งสามารถนำมาใช้ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้ได้

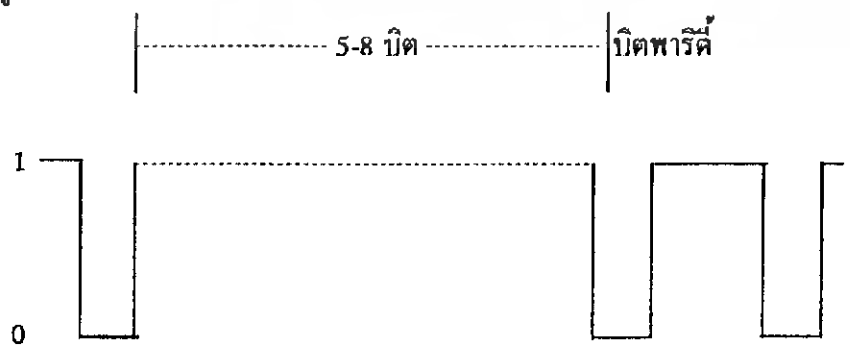


รูปที่ 2.4 แสดงการรับและการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากชุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแบบอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งทีละ 1 บิต ไปยังจุดรับที่จุดรับจะต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาทีละบิต ให้เป็นสัญญาณแบบขนาน การที่จะทำให้การแปลงสัญญาณจากอนุกรมครั้งละบิตให้ลงพอดีนั้นจำเป็นต้องมีกลไกที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ กลไกที่ว่านั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบซิงโครนัส (Synchronous)และแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ในที่นี้จะกล่าวถึงการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

การสื่อสารแบบนี้จะประกอบด้วยบิตเริ่มต้นหรือบิตสตาร์ท (star bit) และบิตสุดท้าย (stop bit) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แบบของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่สถานะของการส่งเป็นแบบว่างหรือไอเดิล(Idel) คือยังไม่มีสัญญาณส่งออกมาจะมีสัญญาณหรือแรงดันตลอดเวลา เพื่อความแน่ใจว่าฝ่ายรับยังติดต่ออยู่กับฝ่ายส่ง ฝ่ายส่งจะเริ่มส่งข้อมูลบอกจุดเริ่มต้น สัญญาณของอะซิงโครนัสจะเป็น "0" หนึ่งหน่วยสัญญาณนาฬิกา บิตนี้เรียกว่าบิตสตาร์ท ข้อมูล 1 ตัวอักษรที่ตามหลังบิตสตาร์ทจะมีขนาดตั้งแต่ 5 บิต จนถึง 8 บิต โดยบิตที่มีค่าน้อยที่สุด (LSB) จะถูกส่งออกมาก่อนและจะไล่ไปจนถึงบิตที่มีค่ามากที่สุด (MSB) การเข้ารหัสอักขระนี้ส่วนมากจะนิยมใช้รหัสแอสกี (ASCII code)

แรกเริ่มทีเดียวของการส่งข้อมูลจะส่งรหัสโบดอท (Baudot code) ซึ่งใช้ 5 บิตในการส่ง ซึ่งใช้ 5 บิตในการแทนตัวอักษรหนึ่งอักขระ 1 ตัว ส่วนที่ตามหลังข้อมูลก็จะเป็นพาริตี้ ซึ่งอาจจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ บิตพาริตี้จะทำหน้าที่เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ได้รับ บิตพาริตี้อาจจะเป็นคู่ (even) หรือแบบคี่ (odd) ก็ได้ หมายความว่าถ้าหากเป็นพาริตี้คู่จำนวนบิตที่เป็น "1" ในช่วงบิตข้อมูลกับบิตพาริตี้รวมกันแล้วต้องเป็นเลขคู่ ผู้ส่งข้อมูลจะทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลแล้วใส่บิตพาริตี้เอง

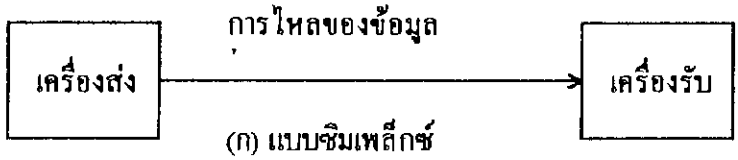
ฝ่ายรับ เมื่อรับสัญญาณแล้วจะต้องตรวจสอบดูว่า เป็นจริงดังสถานการณ์ที่ตั้งเอาไว้หรือไม่หากผิดพลาดก็หมายความว่า สัญญาณที่รับนั้นผิดพลาดได้เหมือนพาริตี้คู่ แต่แทนที่จะตรวจสอบดูว่าสัญญาณที่รับเข้ามานั้นมีจำนวนคู่ ก็ตรวจสอบว่ามีจำนวนคี่หรือเปล่า อย่างไรก็ตามโอกาสที่จะผิดพลาดเป็น 2, 4, 6 หรือ 8 บิตพร้อมกันมีน้อยมาก

ย้อนกลับมาดูสัญญาณอะซิงโครนัสใหม่ หลังจากบิตพาริตี้แล้วจะต้องมีบิตสต็อป ซึ่งเป็น "1" ความกว้างของบิตสต็อปอาจเป็น 1, 1.5 หรือ 2 พัลส์ของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งแล้วแต่ผู้รับและผู้ส่งจะตกลงกันใช้เอง

รูปแบบของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

การติดต่อแบบอนุกรมอาจแบ่งตามรูปลักษณะการส่งข้อมูลได้ 3 แบบ คือ

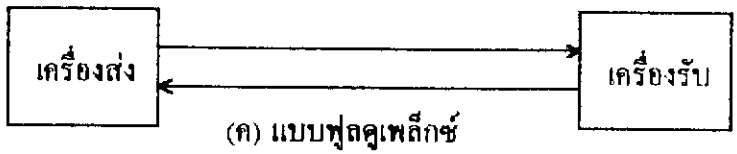
1. แบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) เป็นการส่งข้อมูลได้ทางเดียวเท่านั้น
2. แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) เป็นการส่งและรับข้อมูลได้ทั้งสองสถานีแต่ต้องผลัดกันรับและผลัดกันส่ง จะส่งพร้อมกันไม่ได้
3. แบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ทั้งสองสถานีสามารถรับส่งได้ในเวลาเดียวกัน



(ก) แบบซิมเพล็กซ์

(ข) แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) แบบฟูลดูเพล็กซ์

รูปที่ 2.6 ประเภทของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมมีหน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที หรือเรียกว่า (bps) แต่เรายังมีหน่วยที่นิยมใช้กันมากคือ บอดเรท หรืออัตราบอด (baud rate) ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณใน 1 วินาที หลายคนยังเข้าใจสับสนระหว่างหน่วย bps กับอัตราบอด กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 ครั้ง อาจจะแสดงถึงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมากกว่า 1 บิต อัตราการส่งข้อมูลเป็นจำนวนบิตจึงเท่ากับ อัตราบอดคูณกับจำนวนบิตที่ส่งได้ในหนึ่งบอด

การเริ่มใช้พอร์ตอนุกรมจึงจำเป็นต้องตั้งค่าต่าง ๆ สำหรับการสื่อสาร ซึ่งมีดังต่อไปนี้ คือ

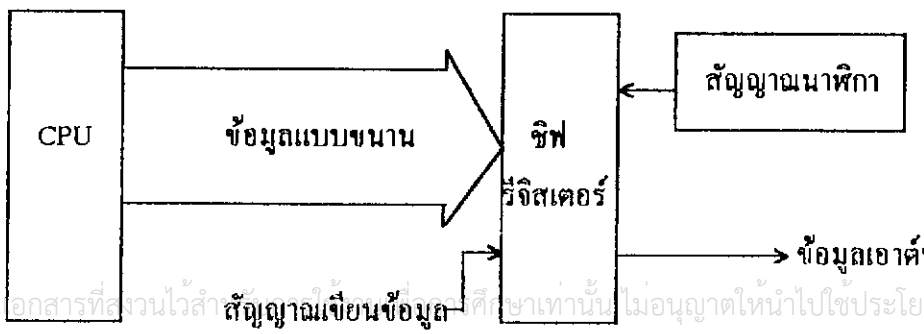
1. ความเร็วการส่ง
2. ความยาวของรหัสอักขระ 1 อักขระ
3. จำนวนบิตตรวจสอบ
4. จำนวนบิตสต็อป

การแปลงข้อมูลขนานเป็นอนุกรม

ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมนั้น ต้องแปลงข้อมูลจากแบบขนานมาเป็นแบบอนุกรมก่อนโดยปกติจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ส่งข้อมูลมายังรีจิสเตอร์แล้วแปลงข้อมูลเป็นแบบอนุกรม กระบวนการในการแปลงข้อมูลมีดังนี้

1. ทำการเก็บข้อมูลที่จะส่งไว้ในชิฟรีจิสเตอร์
2. เลื่อนข้อมูลจากชิฟรีจิสเตอร์ไปทีละบิตตามกำหนดด้วยช่วงเวลา

ลักษณะการทำงานจะเป็นไปตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.7 โดยให้ซีพียูส่งข้อมูลเอาต์พุตแบบขนานมายังชิฟรีจิสเตอร์ แล้วให้มีการเลื่อนข้อมูลออกไปทีละบิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 แผนผังการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การติดต่อสื่อสาร

คอมพิวเตอร์แต่ละตัวไม่ว่าจะเป็นเครื่องที่ต่างรุ่นหรือต่างโมเดลกันสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยผ่านพอร์ตสื่อสารคือ ซีเรียลพอร์ต (Serial Port) ซีเรียลพอร์ตเป็นพอร์ตที่ส่งถ่ายข้อมูลแบบ Asynchronous ส่งถ่ายข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายนอกรวมถึงส่งถ่ายข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ที่ต่างกัน การส่งถ่ายข้อมูลในซีเรียลพอร์ตส่งที่เป็นบิตและลำดับของสัญญาณรวมกันเป็นข้อมูล 1 ไบต์

อัตราของการส่งถ่ายข้อมูลวัดเป็น บอดเรท เป็น 300 ที่ใช้กับโมเด็มรุ่นเก่าที่ช้า ในโมเด็มรุ่นใหม่ช่วง baud rate อยู่ในช่วง 1200 ถึง 2400 เครื่อง IBMPC มี บอดเรท ถึง 9600 ในบางคอมพิวเตอร์ได้เร็วถึง 38,400 baud

มาตรฐาน RS-232 ใช้เป็นมาตรฐานการติดต่อสื่อสารแบบซีเรียลซึ่งใช้ 25 pin ในการเชื่อมต่อ ซึ่งสัญญาณบางส่วนของ RS-232 ดังนี้

Signal	Abbreviation	Pin on Connector
Request to send	RTS	4
Clear to send	CTS	5
Data set ready	DSR	6
Data terminal ready	DTR	20
Transmit data	TxD	2
Receive data	RxD	3
Ground	GRD	7

การเข้าถึงซีเรียลพอร์ตผ่าน ไบออส

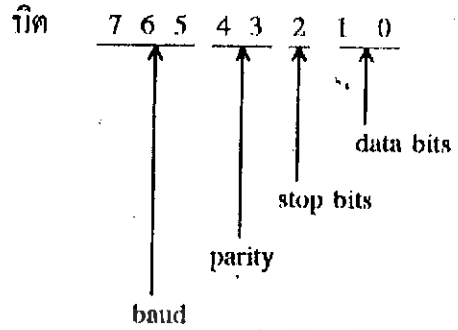
ซีเรียลพอร์ตสามารถเข้าถึงโดยผ่าน คอส หรือ รอมไบออส หรือโดยไม่ใช้ทั้งคอส และรอมไบออสด้วยการควบคุมฮาร์ดแวร์โดยตรง

การใช้คอสเข้าถึงซีเรียลพอร์ตไม่ดีเนื่องจากไม่มี feedback กลับบอกถึงสถานะของพอร์ต ส่วนการเข้าถึงโดยการควบคุมฮาร์ดแวร์นั้นไม่จำเป็นเนื่องจากการเข้าถึงโดยผ่าน รอมไบออสก็ให้ผลที่ดี อินเตอร์รัพหมายเลข 14h เป็นรูทีนใน รอมไบออสในการเข้าถึงซีเรียลพอร์ต

ก่อนจะใช้ซีเรียลพอร์ตต้องตั้งค่าเริ่มต้นเพื่อให้ใช้งานได้ (ค่าที่เป็นดีฟอลท์ตั้งมาแล้วมี baud rate=1200, even parity, seven data bits, and one stop bit) อินเตอร์รัพ 14h บริการหมายเลข 0 ใช้การเซตค่าเริ่มต้นกับซีเรียลพอร์ต รีจิสเตอร์ AL เก็บค่าเริ่มต้นที่ใส่รหัสใน 1 ไบต์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



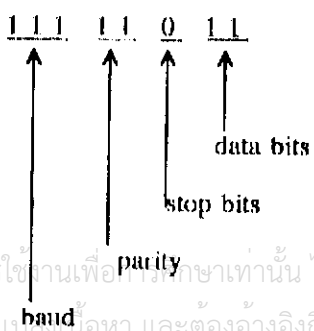
และ baud มีรหัสดังนี้

Baud	Bit Pattern
9600	111
4800	110
2400	101
1200	100
600	011
300	010
150	001
110	000

พาริตี้บิต ถูกให้รหัสดังนี้

Parity	Bit Pattern
no parity	00 หรือ 10
odd	01
even	11

บิตหมายเลข 2 ของไบต์เซตค่าเริ่มต้นบอกถึงจำนวน stop bits ซึ่งถ้ามีค่าเป็น 1 หมายถึงใช้ 2 บิตใช้สำหรับ stop bits นอกจากนั้นหมายถึงใช้ 1 บิตเป็น stop bits และ data bits อยู่ในบิต 1 และ 0 ถ้ามีค่าเป็น "10" หมายถึงใช้เจ็ดบิตแทนเดต้า ถ้ามีค่าเป็น "11" หมายถึงใช้แปดบิตแทนเดต้า เช่นต้องการเซตให้เป็น 9600 baud, even parity, one stop bit eight data bits มีรูปแบบของบิตดังนี้



86681
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนซีเรียลพอร์ตในเครื่อง PC มาตรฐานได้ 7 พอร์ต (ในเครื่องรุ่นใหม่ได้มากกว่านี้) การระบุพอร์ตใดกำหนดในรีจิสเตอร์ DX เริ่มตั้งแต่หมายเลข 0,1,2,... เช่น ใช้ซีเรียลพอร์ตหมายเลข 0 และตั้งค่าเริ่มต้นให้

```
mov     dx,0
mov     ah,0
mov     al, 11111011b
int     14h
```

การส่งมูลค่าส่งครั้งละไบต์ใช้บริการหมายเลข 1 อินเตอร์รัพ 14h ข้อมูลที่จะหนึ่งไบต์อยู่ในรีจิสเตอร์ AL สถานะของการส่งข้อมูลถูกให้ค่ากลับในรีจิสเตอร์ AL

```
mov     dx,0
mov     ah,1
mov     al,dat_sent
int     14h
```

ผลของการส่งข้อมูลถ้ารีจิสเตอร์ AH บิต 7 ถูกเซตเป็น 1 หมายถึงมีข้อผิดถ้าต้องการดูว่าผิดพลาดด้วยสาเหตุใดให้อ่านสถานะของพอร์ต การตรวจสอบสถานะทำได้ด้วยฟังก์ชั่นหมายเลข 3 ของอินเตอร์รัพ 14h ระบุพอร์ตด้วยรีจิสเตอร์ DX ให้ค่ากลับในรีจิสเตอร์ AH และ AL เก็บสถานะดังนี้

The status Bytes of a Serial Port

Line status (AH)	
Meaning when set	**Bit**
Data ready	0
Overrun error	1
Parity error	2
Framing error	3
Break-detect error	4
Transfer holding register empty	5
Transfer shift register empty	6
Time-out error	7
Modem Status (Ah)	**Bit**
Change in clear-to-send	0
Change in data-set-ready	1
Trailing-edge ring detector	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Change in line signal	3
Clear-to-send	4
Data-set-ready	5
Ring indicator	6
Line signal dectected	7

การรับข้อมูลเป็นไบต์หรืออ่านข้อมูลด้วยฟังก์ชั่นหมายเลข 2 อินเตอร์รัพ 14h หมายเลขพอร์ตใน DX ให้ค่ากลับจากการทำงานแคแรคเตอร์ที่รับเข้ามาใน AL และ บิต 7 ของรีจิสเตอร์ AH บอกถึงการอ่านค่ามาสำเร็จหรือไม่ คือถ้าบิต 7 เป็น 1 (ค่าใน AH=128) หมายถึงการอ่านผ่านซีเรียลพอร์ตไม่สำเร็จ

```
mov     dx,0
mov     ah,2
int     14h
test    ah.01000000b
jnz     transfer_error
mov     byte_tranfered ,al
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

ไอซีดิจิตอล

ไอซีดิจิตอลคืออะไร

ไอซี (IC) ย่อมาจาก integrated circuit ซึ่งถ้าแปลโดยตรงก็คือวงจรรวม เป็นการรวมเอาองค์ประกอบวงจร เช่น ทรานซิสเตอร์ ไดโอด ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ที่ใช้ในการประกอบวงจรรวมเข้ามาอยู่ด้วยกันทำเป็นองค์ประกอบวงจรขนาดเล็กชนิดหนึ่ง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปจะมีหน้าที่และคุณสมบัติการทำงานอย่างหนึ่ง เพื่อให้ได้คุณสมบัตินั้นจะต้องใช้องค์ประกอบวงจรหลายชนิดประกอบกันขึ้นมา ไอซีจะย่อขนาดของวงจรนั้นให้เล็กลงแต่มีคุณสมบัติในการทำงานเหมือนกัน ไอซีมีข้อดีคือ มีขนาดเล็ก กินไฟน้อย ผลิตง่าย และมีราคาถูกกว่าการประกอบวงจรธรรมดา วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีใช้งานในปัจจุบันนั้นมีมากมายหลายชนิด เราไม่สามารถผลิตไอซีทดแทนได้หมด ไอซีแต่ละชนิดที่ผลิตขึ้นก็เพื่อสนองตอบต่อความต้องการของตลาด นอกจากนั้นไอซีแต่ละตัวยังสามารถที่จะประยุกต์เป็นวงจรที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ได้โดยวิธีการต่อวงจรเสริมเข้าไป

ไอซีมีหลายชนิด หลายประเภท ตั้งแต่ไอซีที่ใช้ทำของเด็กเล่น ไอซีที่ใช้ทำวิทยุโทรทัศน์จนกระทั่งถึงไอซีที่ใช้ทำคอมพิวเตอร์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานกันในปัจจุบันนั้นถ้าจะแบ่งชนิดกันอย่างง่าย ๆ เหมือนกับการแบ่งชนิดของคนเป็นผู้ชายและผู้หญิงแล้วก็สามารถแบ่งชนิดตามหลักการทำงานของวงจรเป็นวงจรดิจิตอล (digital circuit)และวงจรอนาล็อก(analog circuit)

ยกตัวอย่างเช่น เครื่องขยายเสียงสเตอริโอ ความดังของเสียงจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณ ถ้าสัญญาณมีขนาดใหญ่ก็จะดังมาก วงจรที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเช่นนี้เป็นวงจรอนาล็อก มัลติมิเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับหรับใช้ในการวัดแรงดันหรือกระแสไฟโดยใช้เข็มแสดง ถ้าแรงดันไฟที่วัดสูงเข็มจะหมุนไปมากและไปชี้ตรงตำแหน่งที่สูง แบบนี้ก็เป็นวงจรอนาล็อกเช่นกัน

วงจรที่มีคุณสมบัติต่างไปจากการขยายสัญญาณได้แก่ การเปิดปิดสวิตช์ไฟ ถ้าปิดสวิตช์หลอดไฟจะติดสว่าง ถ้าเปิดสวิตช์หลอดไฟก็จะดับ วงจรเหล่านี้จะแสดงสภาวะการทำงานอยู่ในสภาพ “เปิด” หรือ “ปิด” เท่านั้น วงจรแบบนี้คือวงจรดิจิตอล เราคงไม่สามารถปิดสวิตช์ไฟเพียงครึ่งเดียวเพื่อทำให้หลอดไฟสว่างเพียงครึ่งเดียว ถ้าทำได้วงจรที่ควบคุมจะไม่เป็นวงจรดิจิตอลแต่จะกลายเป็นวงจรอนาล็อกไป

นาฬิกาดิจิตอล แสดงเวลาด้วยตัวเลข บอกเวลาเป็นนาทีและชั่วโมงการเปลี่ยนแปลงของตัวเลขจะเป็นขั้นของหน่วยเวลาที่แน่นอน ไม่สามารถแสดงเวลาอย่างต่อเนื่องได้ วงจรแบบนี้ก็เป็นวงจรดิจิตอลเช่นกัน ในปัจจุบันเครื่องคิดเลขมีใช้กันอย่างแพร่หลาย เครื่องคิดเลขเหล่านี้แสดงผลเป็นตัวเลขจึงเป็นวงจรดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานเป็นวงจรสวิตช์นาฬิกา และเครื่องคิดเลข ได้โดยใช้ทรานซิสเตอร์ MOSFET ไดโอด ตัวต้านทานแต่ถ้ารวมเอาองค์ประกอบวงจรเหล่านี้เข้ามาอยู่ในชิฟ (chip) เดียวกันให้มีคุณสมบัติในการทำงานเหมือนเดิม ก็เป็นไอซีดิจิตอล

การทำงานวงจรดิจิตอลเป็นไอซีนั้นง่ายกว่าวงจรอนาล็อก ปัจจุบันมีไอซีดิจิตอลมากมายในท้องตลาด มีตั้งแต่วงจรทำงานง่าย ๆ จนกระทั่งถึงวงจรที่ทำงานซับซ้อน ไอซีดิจิตอลแบบง่าย ๆ ภายในมีทรานซิสเตอร์ ไดโอดไม่กี่สิบตัวเรียกว่า SSI (samll scale IC) ไอซีดิจิตอลที่มีการทำงานซับซ้อนปานกลาง เช่น เป็นตัวนับจำนวนพัลส์ วงจรต้องใช้ทรานซิสเตอร์มากกว่า 100 ตัวเรียกว่า MSI (medium scale IC)ส่วนไอซีดิจิตอลที่ซับซ้อนเช่นไอซีที่ใช้ทำเครื่องคิดเลข ไมโครคอมพิวเตอร์ จะเรียกว่า LSI (large scale IC) ไอซีเหล่านี้ภายในจะต้องมีทรานซิสเตอร์มากมายและปัจจุบันวงจรที่ซับซ้อนปัจจุบัน LSI ที่เหมาะสำหรับ การใช้งานเฉพาะอย่างหลายชนิดได้ถูกผลิตขึ้นมามาก เทคโนโลยีในการผลิตไอซีนั้นไม่หยุดยั้ง มีการพัฒนาไปเรื่อย ๆ อย่างรวดเร็ว จาก LSI ก็มีการผลิต VLSI (very large scale IC) เช่น ไอซีที่เป็นหน่วยความจำใช้ในไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ไอซีดิจิตอลที่เป็น SSI ซึ่งมีความสามารถจำกัดก็ยังมีผลิตและใช้กันอยู่อย่างกว้างขวางทั้งนี้เพราะ SSI จะเป็นองค์ประกอบวงจรสำหรับที่ใช้ใน การทำวงจรดิจิตอลที่ซับซ้อน และใช้งานในด้านต่าง ๆ

ชนิดของไอซีดิจิตอล

ไอซีดิจิตอลที่มีผลิตขายในปัจจุบัน ถ้าแบ่งชนิดตามโครงสร้าง และคุณสมบัติทางไฟฟ้าจะแบ่งได้เป็นหลายชนิดด้วยกัน แต่ชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันและสามารถหาซื้อกันได้ตามท้องตลาด คือชนิด TTL และ CMOS เราจะอธิบายเฉพาะ 2 ชนิดนี้เท่านั้น สำหรับชนิดอื่น ๆ จะมีวิธีการใช้งานคล้ายคลึงกับ TTL และ CMOS นี้

ได้อธิบายมาแล้วว่าไอซีจะเป็นการรวมเอาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติในการทำงานอย่างหนึ่งมาย่อขนาดให้เล็กลงและทำบนชิฟเดียวกันโดยยังมีคุณสมบัติของวงจรเหมือนกัน การทำไอซีนั้นไม่จำเป็นต่อทำองค์ประกอบวงจร เช่น ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ที่ต่อเหมือนวงจรทุกอย่างแล้วย่อขนาดลงมาอยู่รวมกัน เทคโนโลยีในการผลิตไอซีนั้นเจริญรุดหน้าไปมาก ไอซีแต่ละตัวภายในอาจจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ หรือ FET แต่อย่างเดียว ไม่จำเป็นต้องมีตัวต้านทานหรือตัวเก็บประจุปนอยู่เลย หรือกล่าวอีกอย่างก็ คือสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ หรือ FET เป็นตัวต้านทาน หรือตัวเก็บประจุก็ได้ ไอซีดิจิตอลที่ภายในมีแต่ ทรานซิสเตอร์นี้ เรียกว่า TTL (transistor transistor logic) บางครั้งก็เรียกกันว่า ไบโพลาไอซี (bipolar IC)

ส่วนไอซีดิจิตอลที่ภายในมีแต่ FET อย่างเดียวก็มี ปกติมักจะนิยมใช้ MOSFET (metal oxide semiconductor FET) เป็นองค์ประกอบสำคัญ MOSFET นี้มี 2 ชนิด คือ ชนิด P-MOS และ N-MOS เมื่อเป็นไอซีก็เรียกว่า P-MOS และ N-MOS ไอซีในปัจจุบันชนิดที่นิยมใช้จะเป็นชนิดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นทั้ง P-MOS และ N-MOS FET มาประกอบอยู่บนชิพ์เดียวกันเพื่อให้กินไฟน้อยที่สุดเรียกว่า CMOS(compiementary MOS)บางครั้งเราเรียกพวก MOS ไอซีเหล่านี้ ยูนิโพลาไอซี (unipolar IC)

TTL เกิดก่อน CMOS ดังนั้นจำนวนชนิดของไอซีที่ผลิตขึ้นมาจึงมีมากกว่า SSI หรือ MSI ที่จำเป็นสำหรับการประกอบวงจรดิจิตอลมีครบหมดราคาของ TTL ก็ถูกและหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด TTL จะต้องใช้กับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ผิดพลาดได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์ ซึ่งค่อนข้างจะเที่ยงตรง ในขณะที่ไอซี 1 ตัวจะกินไฟค่อนข้างมากคืออยู่ระหว่าง 8-100 มิลลิแอมป์ ถ้าประกอบเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เล็ก ๆ โดยใช้ TTL หมด อาจจะต้องใช้กระแสประมาณ 3-5 แอมแปร์ก็ได้ เมื่อกินไฟมากไอซี TTL จึงร้อนในขณะทำงาน ปกติออกแบบวงจรจะต้องคำนึงถึงผลของความร้อนเหล่านี้ด้วยอย่างไรก็ตามข้อที่ดีมากของ TTL คือ ทำงานได้เร็ว สามารถใช้กับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงถึง 30 เมกกะเฮิรตซ์ได้

ส่วน CMOS นั้น ใช้กับแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันตั้งแต่ 3-16 โวลต์ซึ่งเป็นช่วงแรงดันที่กว้างจึงใช้งานได้สะดวก นอกจากนั้นยังกินไฟน้อยมากเมื่อเทียบกับ TTL ชิพ์นาฬิกาข้อมือที่เป็นไอซีชนิด CMOS นั้นใช้ถ่านเล็ก ๆ 1 ก้อน และยังสามารถใช้งานได้นานถึง 1 ปี คงจะเห็นแล้วว่า CMOS กินไฟน้อยจนเกือบเป็นศูนย์ ข้อดีของ CMOS ยังมีอีกคือทำเป็น LSI หรือไอซีที่ซับซ้อนได้ง่ายกว่า TTL เพราะไม่ติดปัญหาเรื่องการระบายความร้อน CMOS ผลิตออกมาขายหลัง TTL หลายปี แต่ด้วยมีข้อดีต่าง ๆ ดังที่กล่าวมานี้ บริษัทผู้ผลิตจึงได้ศึกษาและเพิ่มเติมการพัฒนาไอซีใหม่ ๆ ที่เป็น CMOS ขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ทำให้ไอซีที่เป็น CMOS มีให้เลือกหลายแบบหลายชนิดไม่แพ้ TTL เลยข้อดีของ CMOS มีมากก็จริงแต่ข้อเสียก็มีคือ ทำงานช้ากว่า TTL CMOS ยังอ่อนต่อไฟฟ้าสถิต จึงบอกบางกว่า TTL อาจเสียได้ง่ายถ้าไม่ระมัดระวังในขณะใช้งาน

ทั้ง TTL และ CMOS ก็มีทั้งข้อดีข้อเสีย ดังนั้นในการเลือกชนิดใดใช้ในวงจรจึงจำเป็นที่ต้องการมีการพิจารณาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียกันก่อนเสมอ

ตระกูลของไอซี

ปกติการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น น้อยครั้งที่จะใช้ไอซีเพียงครั้งเดียว มักจะต้องใช้ไอซีหลายตัวประกอบกันเป็นวงจร โดยไอซีแต่ละตัวควรจะมีคุณสมบัติในการใช้งานเหมือนกัน เช่น ใช้แหล่งจ่ายไฟเหมือนกันระดับแรงดันของสัญญาณเท่ากัน เป็นต้น เมื่อนำไอซีเหล่านี้มาต่อเข้ามากันจึงไม่เกิดปัญหา ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตไอซีจึงแบ่งไอซีที่ผลิตออกเป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหมือนกัน สามารถต่อกันเองภายในกลุ่มได้ กลุ่มของไอซีนี้เราเรียกตระกูล (family)

ตัวอย่างของตระกูลต่าง ๆ ได้แก่ ตระกูล SN 74xx เป็นไอซี TTL ที่ บริษัทเท็กซัสอินสตรูเมนต์ (Texas Instrument) เป็นผู้ผลิตรายแรก ตระกูล CD40xx เป็นไอซี CMOS ที่บริษัท RCA เป็นผู้ผลิตรายแรก ตระกูล MC145xx เป็นไอซี CMOS ที่บริษัทโมโตโรลา (Motorola) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ผลิตรายแรก ตระกูล TC40Hxx เป็น CMOS ความเร็วสูงที่บริษัทโตชิบา (Toshiba) เป็นผู้ริเริ่ม ตระกูล 74HCxx เป็นไอซี CMOS ความเร็วสูงเทียบเท่า TTL เป็นต้น

ในระยะแรกบริษัทเหล่านี้ได้พัฒนาและผลิตไอซีเฉพาะในตระกูลของตนเอง เมื่อขายและใช้กันแพร่หลายจึงขายลิขสิทธิ์ให้บริษัทอื่นนำไปผลิตดังนั้นในไอซีตระกูลเดียวกันจึงมีหลายยี่ห้อ และแต่ละบริษัทที่ผลิตจะให้เบอร์ไอซีที่แตกต่างกันออกไป เช่น ตระกูล CD40xx ของ RCA นั้น เมื่อผลิตโดยโมโตโรลาจะชื่อ MC140xx เมื่อผลิตโดยเท็กซัสอินสตรูเมนต์จะให้ชื่อ TP40xx และโตชิบาจะให้ชื่อ TC40xx เป็นต้น ไอซีที่ผลิตโดยบริษัทที่ซื้อลิขสิทธิ์มาผลิตนี้เรียกว่า second source(แหล่งผลิตที่สอง) ซึ่งไม่ใช่เป็นของลอกเลียนแบบ แต่จะมีคุณสมบัติเหมือนกับต้นตระกูลเดิมทุกประการ จึงไม่ต้องเป็นกังวลในเรื่องของคุณภาพและการใช้งาน

แม้การตั้งชื่อตระกูลของแต่ละบริษัทจะแตกต่างกันไปบ้าง แต่เลขเติมของเบอร์ไอซีจะยังคงมีอยู่เช่น CD4011 ของ RCA นั้นจะเป็น MC 14011 ของโมโตโรลา และเป็น TC4011 ของโตชิบา เป็นต้น จะเห็นว่าจะลงท้ายด้วย 11 ซึ่งเป็นเบอร์แสดงว่าไอซีตัวนี้เป็นเกต NAND ที่มี 2 อินพุตจำนวน 4 ตัว ปกติการเขียน CD40xx นั้น xx จะเป็นเบอร์ที่บอกฟังก์ชันของไอซีนั้นส่วน CD40 จะบอกตระกูล

สำหรับไอซี TTL นั้น ยังมีอีกหลายตระกูลที่ยังไม่ได้กล่าวในที่นี้ มีตระกูลหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากคือ SN74LSxx ของเท็กซัสอินสตรูเมนต์ ตระกูลนี้เป็น TTL ที่มีความเร็วสูงไม่แพ้ SN74xx แต่กินไฟน้อยกว่ามากปัจจุบันเป็นตระกูลที่นิยมใช้กันมากที่สุดในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ทั่วไป

ตารางที่ 3.1 แสดงคิจิตอลไอซีตระกูลต่าง ๆ

ชื่อตระกูล	ชื่อไอซี
TTL normal	74 xxx
TTL low power	74 Lxxx
TTL high speed	74 Hxxx
TTL low power Schottky	74 LSxxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ชื่อตระกูล	ชื่อไอซี
TTL Schottky	74 Sxxx
TTL advance low power Schottky	74 ALSxxx
TTL advance Schottky	74 ASxxx
TTL Fairchild's advance Schottky	74 Fxxx
CMOS 4000 series	CD 40 xx
CMOS 4500 Series	CD 45 xx
CMOS 40H series	TC 40 Hxx
CMOS high speed	74 HCxx

ตารางที่ 3.2 อักษรย่อของ TTL และ CMOS ที่แต่ละบริษัทใช้

บริษัท	อักษรย่อข้างหน้า TTL/CMOS
เท็กซัสอินสตรูเมนต์	SN
NS	DM/MM
มอโตโรลา	MC/MCI
ฮิตาชิ	HD
โตชิบา	TC
RCA	CD
ฟูจิตสึ	MB
มัตซูชิตะ	DN
มิตซูบิชิ	M5
ซิกเนติก	N
OKI	MSM

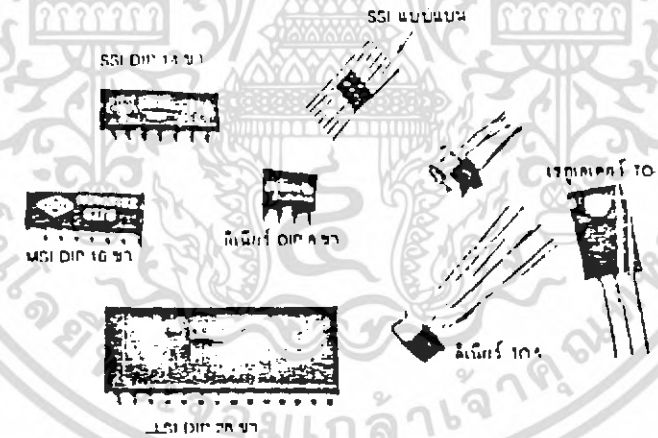
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างภายนอกและขาของไอซี

ไอซีแต่ละชนิดมีรูปร่างภายนอกแตกต่างกันตั้งแต่ตัวถังและจำนวนขา รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของไอซีที่มีตัวถังแบบต่าง ๆ ตัวถังชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุดเป็นแบบ DIP (dual inline package) เป็นตัวถังแบบสี่เหลี่ยม มีขาเรียงกันเป็น 2 แถว จำนวนขาของไอซีดิจิตอลจะมีตั้งแต่ 14–40 ขา ถ้ามีมากกว่า 40 ขา จะถอดไอซีออกจากซ็อกเกตได้ยากมาก ตัวถังจะทำด้วยวัสดุที่เป็นพลาสติกหรือเซรามิก

นอกจากแบบ DIP แล้ว ยังมีตัวถังแบบ TO-5 ซึ่งเป็นตัวถังโลหะหุ้มมิลชิล ไอซีที่มีตัวถังแบบนี้ส่วนใหญ่จะเป็นอนาล็อกไอซี ส่วนไอซีที่ทำหน้าที่เป็นเรกูเลเตอร์ (regulator) มักจะมีตัวถังแบบ TO-3 (ตัวถังโลหะ) หรือ TO-220 (ตัวถังพลาสติก) ซึ่งดูรูปร่างคล้ายคลึงกับทรานซิสเตอร์กำลัง เพราะไอซีชนิดนี้ ต้องจ่ายกระแสมากจึงต้องมีพื้นที่ในการระบายความร้อนมากและต้องมีตัวถังที่แข็งแรง ตัวถังแบบพิเศษเช่น แบบแบน (flat package) จะมีขนาดเล็กและแบนใช้ในวงจรที่ต้องการพื้นที่น้อย เช่น นาฬิกา เครื่องเล่นเทปแบบวอล์คแมน (Walkman)

จากตัวอย่างของไอซีในตัวถังต่าง ๆ จะเห็นว่าไอซีแต่ละชนิดจะมีขายื่นออกมาสำหรับให้ต่อกับวงจรภายนอก จำนวนขามีมากพอสมควร



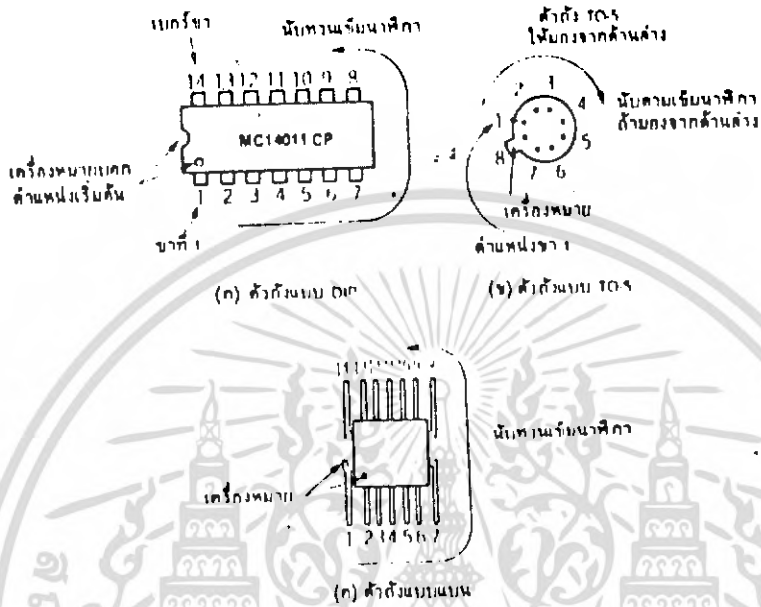
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างของไอซีที่มีตัวถังแบบต่าง ๆ

เพื่อไม่ให้การต่อวงจรผิดพลาดจำเป็นที่จะต้องมีกฎเกณฑ์ในการกำหนดเบอร์ขาของไอซี การนับขาไอซีนั้นไม่ว่าจะเป็นไอซีที่ผลิตโดยบริษัทใดก็ตามการนับขาจะต้องเหมือนกัน

กฎเกณฑ์นับขาไอซีมีดังนี้ ก่อนอื่นคว่ำไอซีให้มองเห็นด้านบน มองหาเครื่องหมายของจุดเริ่มต้นขาที่ 1 ซึ่งบางครั้งเป็นจุดกลมเล็ก ๆ บางครั้งทำเป็นรอยบากโค้งเว้าเข้าไป เริ่มนับขาแรกเป็นขาที่ 1 จากนั้นนับขาที่ 2,3 ... วน ตามทิศทางเข็มนาฬิกา ไปจนถึงขาสุดท้าย ดูตัวอย่างการนับขาในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบอร์ของขาไอซีนี้สำคัญมาก เพราะขาแต่ละขาของไอซีจะมีหน้าที่แตกต่างกัน ซึ่งเราจะรู้ถึงหน้าที่ของมันโดยการดูรูปในคู่มือไอซีของบริษัทผู้ผลิต ถ้านับขาผิดเบอร์จะเป็นต้นเหตุให้ต่อวงจรผิดและเป็นอันตรายต่อไอซีได้



รูปที่ 3.2 การนับขาไอซี

การนับขาไอซีนั้นเราจะนับทวนเข็มนาฬิกาเมื่อเรามองไอซีจากทางด้านบน แต่ในการประกอบวงจรลงบนแผ่นปริ้นต์หรือออกแบบลายวงจรบนแผ่นปริ้นต์ เรามักจะมองไอซีจากด้านล่าง ดังนั้นการนับจะต้องเป็นแบบตามเข็มนาฬิกาซึ่งกลับกันกับการนับขาโดยดูจากด้านบน โปรดระวังในจุดนี้ อย่าให้สับสนเด็ดขาด

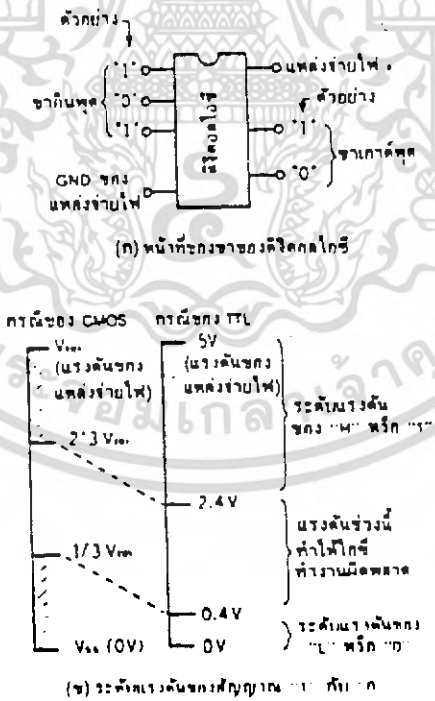
หน้าที่ของขาอินพุตและขาเอาต์พุต

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิดจะต้องมีขั้วต่อของวงจรอยู่ 3 ชนิดเสมอ คือ ขั้วอินพุตเพื่อรับสัญญาณเข้ามาในวงจร ขั้วเอาต์พุตที่จะส่งสัญญาณออกไปภายนอกไปให้วงจรอื่นต่อไป และขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟซึ่งจะรับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟมาเลี้ยงวงจร ขั้ว 3 ชนิดนี้ในไอซีก็ต้องมีเหมือนกัน ขาของไอซีที่มีอยู่หลายขานั้นมีหน้าที่แบ่งออกเป็น 3 ชนิดเช่นเดียวกันคือ ขาอินพุต ขาเอาต์พุต และขาต่อแหล่งจ่ายไฟ นอกจากนั้นไอซีบางตัวอาจมีขาสำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอก เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ก็มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรดิจิตอลนั้น สัญญาณที่วิ่งอยู่ในวงจรจะเป็นสัญญาณแรงดันระดับสูงกับต่ำ วงจรดิจิตอลจะทำงานเหมือนกับวงจรสวิตช์ที่มีสภาวะ "เปิด" หรือ "ปิด " สภาวะ "เปิด" และ "ปิด" นี้จะแทนด้วยแรงดัน "สูง" และ "ต่ำ" หรือบางครั้งเป็น "มีแรงดัน"และ "ไม่มีแรงดัน" ก็ได้ ระดับแรงดันของสัญญาณจะไม่อยู่คงที่ ๆ กลาง ๆ เพราะจะทำให้องค์ประกอบวงจรภายในไม่ทราบว่าเป็นสัญญาณ สภาวะสูงหรือต่ำ สภาวะสองสภาวะที่แตกต่างกันนี้เรามักใช้สัญลักษณ์ "H" หรือ "1" แทนสภาวะแรงดัน "สูง" และใช้เป็น "L" หรือ "0" แทนสภาวะแรงดัน "ต่ำ " ในโครงงานเล่มนี้ขอเลือกใช้ "1" และ "0" ประกอบการอธิบายวงจรต่าง ๆ ตลอดทั้งเล่ม

ในวงจรที่ใช้ไอซีดิจิตอลระหว่าง TTL กับ CMOS นั้น ระดับแรงดันที่เป็น "1" กับ "0" นั้นจะแตกต่างกัน ลองดูในรูปที่ 3.3 กรณี TTL นั้นใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดัน 5 โวลต์ สัญญาณ "1" จะมีระดับแรงดันตั้งแต่ +2.4 ถึง +5 โวลต์ ในขณะที่สัญญาณ "0" มีระดับแรงดันระหว่าง +0.0 ถึง +0.4 โวลต์ สำหรับกรณีของ CMOS นั้น แรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ได้มีตั้งแต่ 3-16 โวลต์ซึ่งกว้างมาก สัญญาณ "1" จะมีระดับแรงดันระหว่าง 2/3 ของแหล่งจ่ายไฟขึ้นไป และสัญญาณ "0" จะมีระดับแรงดันตั้งแต่ 0 ถึง 1/3 ของแหล่งจ่ายไฟ คือสมมุติให้ใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์กับ CMOS ไอซี กับจะได้ว่า สัญญาณ "1" มีระดับแรงดันระหว่าง 3.3-5 โวลต์ และสัญญาณ "0" มีระดับแรงดันระหว่าง 0-1.6 โวลต์ เป็นต้น



รูปที่ 3.3 ระดับสัญญาณของ TTL กับ CMOS

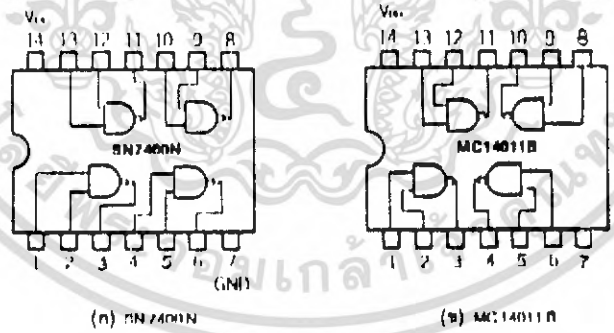
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าสัญญาณ "1" กับ "0" จะมีค่าแรงดันอยู่ในช่วงของแรงดันระดับหนึ่ง ในช่วงที่กำหนดสัญญาณจะมีแรงดันเท่าใดก็ได้ ไอซีดิจิตอลก็สามารถรับรู้ว่าเป็นสัญญาณ "1" หรือ "0" ได้โดยไม่ผิดพลาด คุณสมบัติข้อนี้เป็นข้อดีมากอย่างหนึ่ง ของวงจรดิจิตอล เมื่อเทียบกับวงจรอนาล็อกซึ่งถือระดับแรงดันของสัญญาณเป็นข้อมูลสำคัญ ระดับแรงดันของสัญญาณ "1" กับ "0" นี้ บางครั้งเราเรียกกว่า ระดับลอจิก (logic level) เช่น เรียกว่าลอจิกสูง ลอจิกต่ำ เป็นต้น

การอธิบายในช่วงนี้อาจจะเริ่มยากขึ้นจึงขอสรุปให้พอเข้าใจดังนี้ไอซีดิจิตอลคือองค์ประกอบวงจรดิจิตอลชนิดหนึ่งซึ่งเมื่อป้อนสัญญาณ "1" หรือ "0" เข้าที่ขาอินพุต (อาจมีหลายขา) แล้ว ไอซีจะรับสัญญาณนี้เข้าไปจัดการภายในตามคุณสมบัติของตัวมันเมื่อได้ผลจะส่งสัญญาณ "1" และ "0" อีกเช่นกันมาที่ขาเอาต์พุต (ซึ่งอาจมีหลายขาก็ได้) การสลับสัญญาณ "1" กับ "0" เข้าที่ขาอินพุต ทำให้เกิดกรณีต่าง ๆ ของสัญญาณเข้า สัญญาณออกที่ได้ก็จะมีลอจิกที่แตกต่างไป

การต่อแหล่งจ่ายไฟให้ไอซี

วิธีต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวไอซี ลองดูรูปที่ 3.4 เป็นรูปแสดงฟังก์ชันของตัวอย่างไอซี TTL และ CMOS เบอร์ SN7400N ของบริษัทเท็กซัสอินสตรูเมนต์ และ CMOS เบอร์ MC 14011B ของบริษัทโมโตโรลา ไอซีทั้งสองตัวนี้ภายในจะมีเกต NAND แบบ 2 อินพุต จำนวน 4 ตัว ถ้าดูคู่มือไอซีของบริษัทผู้ผลิตจะเห็นรูปลักษณะเช่นนี้ เพื่อใช้ในการแสดงฟังก์ชันของไอซี และบอกหน้าที่ของขาต่าง ๆ ของไอซี ขาแต่ละเบอร์จะต่อเข้าไปยังวงจรภายในอย่างไร จากรูปจะเห็นว่าขา 7 และขา 14 เป็นขาสำหรับต่อแหล่งจ่ายไฟเพื่อเลี้ยงไอซีของTTL ใช้ชื่อว่า V_{cc} และ GND ในขณะที่ไอซี CMOS ใช้ชื่อว่า V_{DD} และ V_{ss}

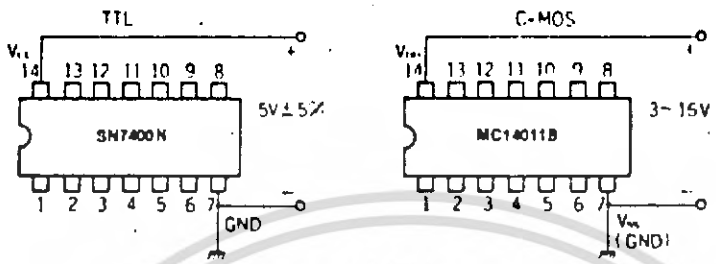


รูปที่ 3.4 ตัวอย่างขาต่อแหล่งจ่ายไฟของไอซี TTL และ CMOS

TTL เบอร์ SN7400N นี้ใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ การต่อแหล่งจ่ายไฟให้ต่อขั้ว (+) เข้าที่ขา V_{cc} (ขา 14) และต่อขั้ว (-)เข้าที่ขาGND (ขา 7) สำหรับไอซี CMOS เบอร์ MC14011B นั้นใช้แหล่งจ่ายไฟได้ตั้งแต่ 3-16 โวลต์จะใช้แรงดันเท่าไหร่ก็ได้ที่อยู่ในช่วงนี้ การต่อแหล่งจ่ายไฟก็ให้ต่อขั้ว (+) เข้าที่ขา V_{DD} (ขา 14) และต่อขั้ว (-) เข้าที่ขา V_{ss} (ขา 7) เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟเสร็จจะเหมือนกับในรูปที่ 3.5 ระวังอย่าต่อกลับขั้วเป็นอันขาดเพราะจะทำให้ไอซีเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีดิจิตอลทั่ว ๆ ไปจะมีขาสำหรับต่อแหล่งจ่ายไฟ 2 ขา ตามตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.5 นี้ แต่ก็มีไอซีบางตัวที่มีขา V_{ss} มาให้ 2 ขาบ้าง หรือไอซีที่ใช้ในวงจรไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีการทำงานภายในที่ซับซ้อน บางตัวต้องการแหล่งจ่ายไฟมากกว่า 1 แหล่ง เช่น 5 โวลต์ GND -12 โวลต์ เป็นต้น



รูปที่ 3.5 การต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวไอซี

นอกจากนั้นชื่อขาของไอซีที่ใช้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟนั้น จะมีชื่อแตกต่างกันไปตามชนิดของไอซีดิจิตอลและบริษัทผู้ผลิต กรณีต่าง ๆ แสดงตามตัวอย่างในตารางที่ 3.3 จากตารางจะเห็นว่าไอซีชนิด P-MOS จะมีชื่อขาที่ใช้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟสลับกับกรณีของ CMOS คือ Vss หรือ GND ใช้ต่อกับขั้ว (+) และ V_{DD} ใช้ต่อกับขั้ว (-) ของแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นในการใช้ไอซีดิจิตอลควรระวังในจุดนี้ด้วย ควรรู้ชนิดของไอซีและศึกษาให้เข้าใจถึงวิธีการต่อแหล่งจ่ายไฟก่อนการใช้งานเสมอ

การป้อนแหล่งจ่ายไฟให้ไอซีเป็นเรื่องสำคัญก็จริง แต่บางครั้งในการวางรูปของวงจรเพื่อใช้ในการอธิบายนั้น มักจะละเลยการแสดงรายละเอียดของการต่อนี้ เช่น ไม่เขียนการต่อแหล่งจ่ายไฟเพื่อลดความซับซ้อนของรูปลง แต่ขอให้เข้าใจว่าในเวลาต่อวงจรจริง ๆ แล้วจะต้องต่อแหล่งจ่ายไฟให้ไอซีเสมอ

ตารางที่ 3.3 ชื่อของขาต่อแหล่งจ่ายไฟกับขั้วของแหล่งจ่ายไฟที่ต่อเข้า

ชนิดของไอซี	ขั้ว	ขั้ว(-)ของแหล่งจ่ายไฟ
TTL	Vcc	GND
P-MOS	Vss	V_{DD}
P-MOS	GND	V_{DD}
N-Mos	V_{DD}	V_{SS}
CMOS	V_{DD}	GND
CMOS	V_{DD}	V_{SS}

เพราะไอซีคงทำงานไม่ได้ถ้าไม่มีไฟมาเลี้ยง เพียงแต่ในรูปที่แสดงนั้นจะตัดออกไปเพื่อให้รูปดูง่ายและเป็นที่เข้าใจกันเท่านั้น

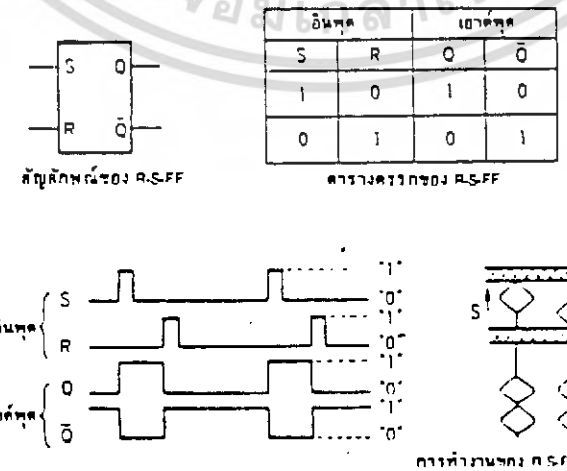
เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลิปฟลอป

ฟลิปฟลอป (flip-flop)เป็นวงจรพื้นฐานที่สำคัญวงจรหนึ่งในวงจรดิจิตอล ฟลิปฟลอปจะมีสภาวะมั่นคงอยู่ 2 สภาวะ ซึ่งจะให้เอาต์พุตเป็น "1" และ "0" ตามลำดับ เมื่อได้รับสัญญาณกระตุ้นจากภายนอกจะทำให้มีการเปลี่ยนจากสภาวะหนึ่งไปสู่อีกสภาวะหนึ่ง การทำงานของฟลิปฟลอปจะมีลักษณะคล้ายกับการเล่นไม้กระดกของเด็ก ๆ ซึ่งจะมีผู้เล่นคือเด็กสองคน นั่งคนละฟากของไม้ที่มีแกนหมุนตรงกลาง เมื่อเด็กคนใดคนหนึ่งถูกดีดขึ้นไปค้างข้างบน ในขณะที่อีกคนนั่งอยู่ข้างล่างและเท้าดีดพื้น นี่เป็นสภาวะที่มีเสถียรภาพ ถ้ามีการกระตุ้น เด็กที่อยู่ข้างบนจะกลับลงมาอยู่ข้างล่าง ในขณะที่เด็กอีกคนจะถูกดีดขึ้นไปค้างอยู่ข้างบน ผู้ที่เคยเล่นไม้กระดกเมื่อสมัยเด็ก ๆ คงนึกภาพออกบางคนเปรียบเทียบการทำงานของฟลิปฟลอปเหมือนกับการดีดลูกดีดลูกดีดแต่ละลูกจะมีตำแหน่งอยู่ข้างล่างหรือถูกดีดขึ้นไปอยู่ข้างบน ในแต่ละตำแหน่งจะเป็นสภาวะที่มีเสถียรภาพ และการดีดด้วยนิ้วเปรียบเสมือนสัญญาณกระตุ้นฟลิปฟลอปแบ่งเป็นหลายชนิดตามวิธีการและเงื่อนไขในการกระตุ้นเพื่อให้เปลี่ยนสภาวะ จะกล่าวถึงฟลิปฟลอปแต่ละชนิดและการนำมาใช้งาน

รีเซต-เซตฟลิปฟลอป

ลองดูรูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงสัญลักษณ์ของฟลิปฟลอปชนิดนี้ รีเซต-เซต ฟลิปฟลอปหรือเขียนย่อ ๆ ว่า RS-FF ซึ่งอ่านว่าอาร์เอสฟลิปฟลอปนั้น จะมีขั้วอินพุตอยู่ 2 ขั้ว S(set) และขั้ว R(reset) มีขั้วเอาต์พุต 2 ขั้วเช่นเดียวกันคือ Q และ $\overline{Q}$ (อ่านว่าคิวบาร์) สัญญาณกระตุ้นจะป้อนเข้าทางขั้ว S และR ทำให้ฟลิปฟลอปเปลี่ยนสภาวะและเอาต์พุตที่ Q และ $\overline{Q}$ จะเปลี่ยนค่าไป เมื่อป้อนสัญญาณ "1" เข้าที่ขั้ว S จะทำให้ฟลิปฟลอปให้ Q เป็น "1" และถ้าป้อนสัญญาณ "1" เข้าที่ขั้ว R จะทำให้ Q เป็น "0" ลักษณะเด่นของฟลิปฟลอปคือ Q ยังเป็น "1" หรือ "0" ค้างอยู่ได้ตลอดแม้ว่าจะนำสัญญาณที่กระตุ้นออกไปรอจนกว่าจะมีสัญญาณใหม่กระตุ้นเข้ามา



รูปที่ 3.6 สัญลักษณ์และการทำงานของ RS-FF

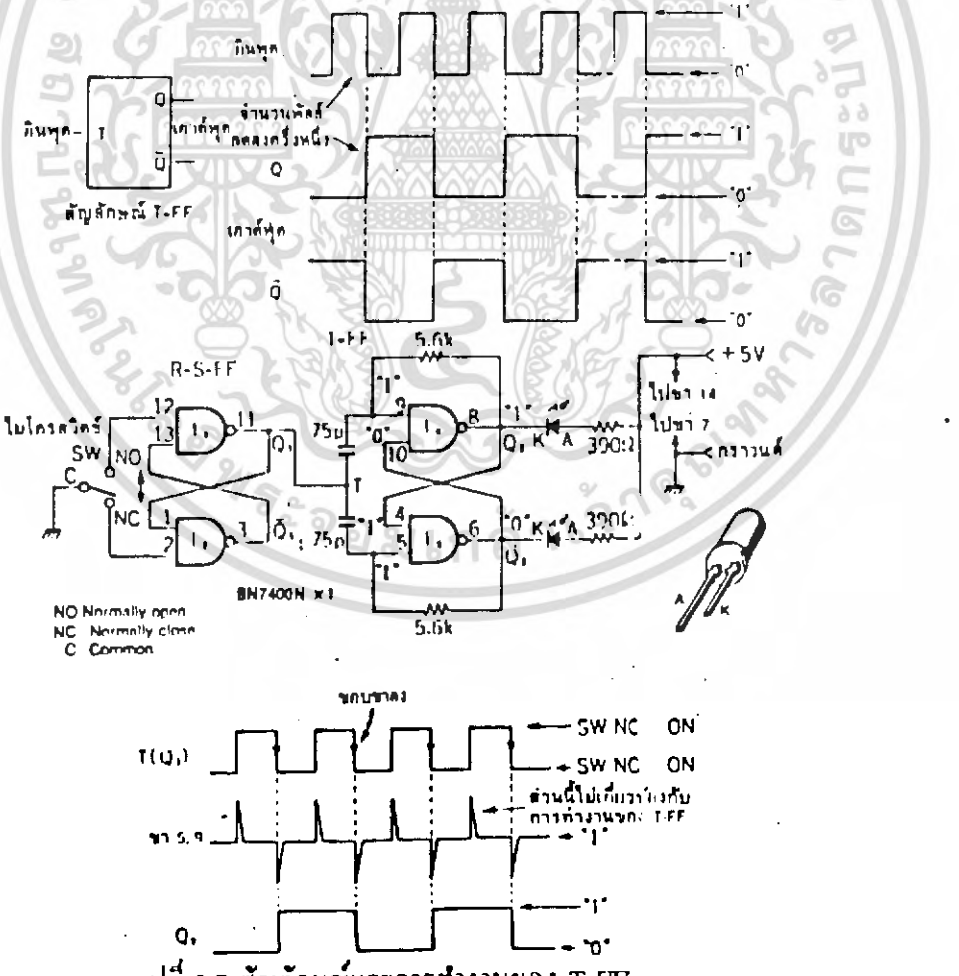
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุต $\overline{Q}$ จะให้สัญญาณตรงข้ามกับ Q เสมอ ถ้า Q เป็น "1", $\overline{Q}$ จะเป็น "0" และถ้า Q เป็น "0", $\overline{Q}$ จะเป็น "1" ในการใช้งานจึงสะดวกไม่ต้องใช้อินเวอร์เตอร์มากลับสัญญาณของ Q เพียงแค่ลึงเอาต์พุต$\overline{\text{จาก}}$ Q ก็ใช้ได้

T-FF

สัญลักษณ์ของ T-FF แสดงในรูปที่ 3.7 T-FF จะมีขั้วเข้าเพียงขั้วเดียว คือขั้ว T เอาต์พุตมี Q และ $\overline{Q}$ เหมือนฟลิปฟลอปทั่วไป เมื่อป้อนพัลส์เข้าที่ขั้ว T หนึ่งลูก ฟลิปฟลอปจะเปลี่ยนภาวะเสมอ คือ Q เป็น "1" จะกลายเป็น "0" ถ้าป้อนพัลส์ลูกที่สองเข้ามาจะเปลี่ยนกลับมาสู่สถานะเดิม ลองดูการทำงานของ T-FF โดยดูรูปคลื่นในรูปที่ 3.7 จะเข้าใจได้มากขึ้น เมื่อพัลส์เข้ามาอย่างต่อเนื่อง $\overline{Q}$ และ Q จะสลับกันเป็น "0" และ "1" ไปเรื่อย ๆ

โปรดสังเกตว่าจำนวนพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขั้ว T จะลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อเทียบกับจำนวนพัลส์ที่เอาต์พุต Q หรือ $\overline{Q}$ จากคุณสมบัติอันนี้ทำให้เรานำเอา T-FF มาใช้ในการนับจำนวนและหารความถี่พัลส์ให้ลดลงได้ T-FF จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างวงจรนับ (counter) ต่างกับ RS-FF ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของหน่วยความจำ

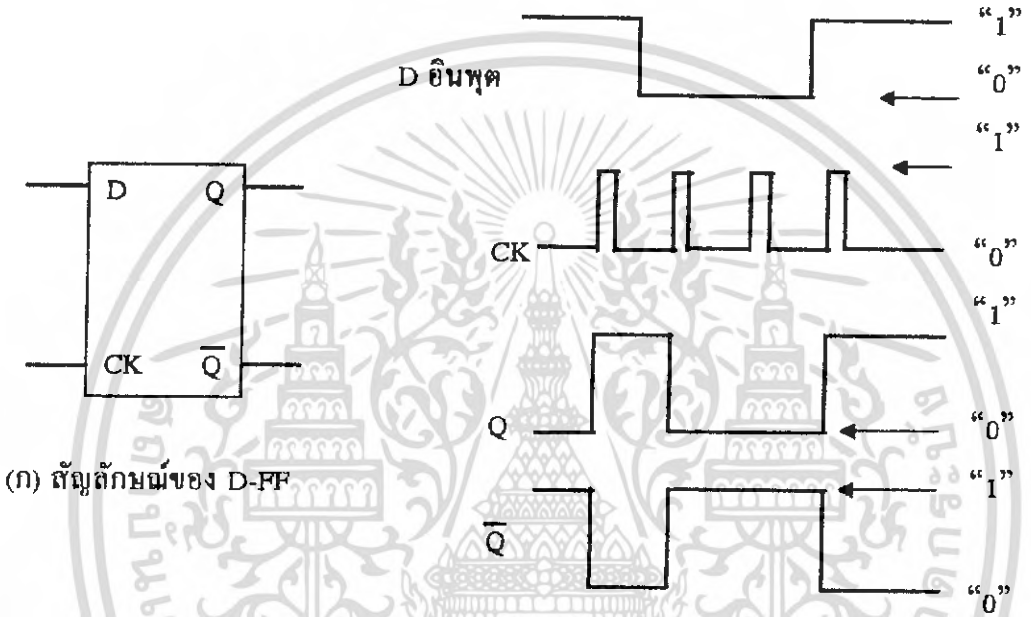


รูปที่ 3.7 สัญลักษณ์และการทำงานของ T-FF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D-FF

รูปที่ 3.8 แสดงสัญลักษณ์ของ D-FF D-FF เป็นวงจรหน่วยความจำชนิดหนึ่งซึ่งมีขั้วเข้า 2 ขั้วและเอาต์พุต 2 ขั้ว ขั้วเข้ามี D ซึ่งย่อมาจาก data (ข้อมูล) และ CK ซึ่งมาจาก clock pulse (สัญญาณนาฬิกา) เราจะป้อนข้อมูล "1" หรือ "0" เข้าที่ขั้ว D เมื่อขั้ว CK มีพัลส์เข้ามาหนึ่งลูกจะรับข้อมูลที่ขั้ว D ไปแสดงที่เอาต์พุต ข้อมูลนี้ก็ยังคงค้างที่เอาต์พุตตลอดเวลา ถ้ายังไม่มีพัลส์ลูกใหม่ เข้ามาที่ขั้ว CK



(ก) สัญลักษณ์ของ D-FF

(ข) ไทม์ชาร์ตแสดงการทำงาน D-FF

รูปที่ 3.8 สัญลักษณ์และการทำงานของ D-FF

การทำงานนี้เปรียบเสมือนสัญญาณพัลส์ที่ CK เป็นจังหวะการตีกลอง เมื่อตีกลองจะเปิดประตูอ่านข้อมูลจากขั้ว D เข้ามาเก็บไว้และรักษาข้อมูลไว้ตลอด เอาต์พุตมี Q และ $\overline{Q}$ $\overline{Q}$ จะตรงข้ามกับ Q เหมือนฟลิปฟลอปทั่วไปรูปที่ 3.8 (ข) แสดงการทำงานของฟลิปฟลอปโดยเขียนเป็นรูปการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของสัญญาณที่ขั้วต่าง ๆ เรียกรูปแบบนี้ว่า ไทม์ชาร์ต (time chart)

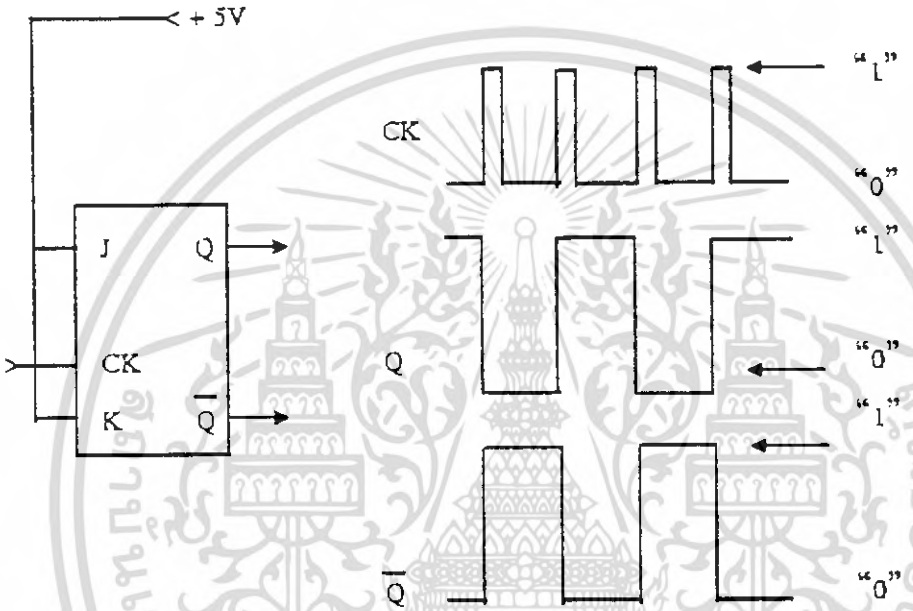
D-FF จะเหมือน RS-FF ตรงที่จะเก็บข้อมูลได้เพียง "1" หรือ "0" ในฟลิปฟลอปหนึ่งตัว ในวงจรดิจิตอลทั่วไปจะต้องเก็บข้อมูลมาก จึงจำเป็นต้องใช้ D-FF หลาย ๆ ตัวในวงจร เมื่อใช้ฟลิปฟลอปหลายตัว ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ฟลิปฟลอปแต่ละตัวต่างทำงานโดยไม่พร้อมเพรียงกัน เพื่อแก้ปัญหานี้ ขั้ว CK ของ D-FF ทุกตัวจะต่อเข้าหากันและรับสัญญาณพัลส์จากแหล่งที่จะเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงาน สัญญาณนี้มักเรียกว่าสัญญาณนาฬิกา (clock pulse) ของระบบ ด้วยวิธีการเช่นนี้จึงทำให้ฟลิปฟลอปแต่ละตัวทำงานเข้าจังหวะกันได้หมด ไม่เกิดความสับสนของข้อมูล โดยเฉพาะวงจรดิจิตอลระบบใหม่ทุกระบบจะใช้วิธีการเช่นนี้ทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

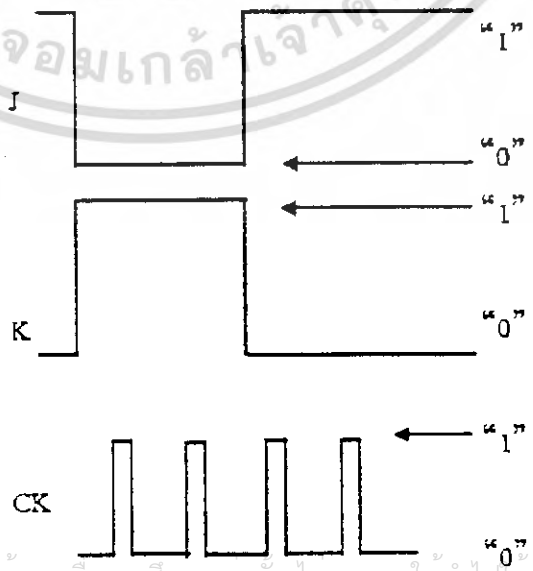
ไอซีที่เป็น D-FF มีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ D-FF บางชนิดเรียกว่าแลตช์ (latch) มีใช้กันมากในวงจร

JK-FF

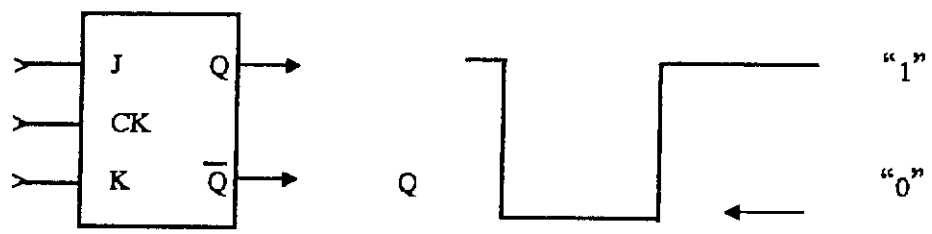
JK-FF เป็นฟลิปฟลอปที่ใช้กันแพร่หลายในวงจรมากที่สุดในบรรดาฟลิปฟลอปทั้งหลาย เพราะเราสามารถใช้เป็น T-FF ก็ได้ RS-FF ก็ได้ แม้แต่ D-FF ก็ทำได้เช่นเดียวกัน



(ก) การใช้งานเป็น T-FF



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) การใช้งานเป็น RF-FF

รูปที่ 3.9 สัญลักษณ์และการทำงานของ JK-FF

ลองดูสัญลักษณ์ของ JK-FF ในรูปที่ 3.9 จะเห็นว่าฟลิปฟลอปชนิดนี้มีขั้วเข้าถึง 3 ขั้ว คือ ขั้ว J ขั้ว K และขั้ว CK J และ K เป็นขั้วเข้าที่ใช้ป้อนเงื่อนไขในขณะที่ CK เป็นขั้วรับสัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดจังหวะการทำงาน

ถ้าให้ J=K="1" เหมือนในรูปที่ 3.9(ก) JK-FF จะทำงานเหมือนกับ T-FF ทุกประการ คือเมื่อมีพัลส์ป้อนเข้ามาที่ขั้ว CK จะทำให้ฟลิปฟลอปเปลี่ยนสถานะ เอาต์พุต Q จะเป็น "1" กับ "0" สลับกันไป การเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตจะเข้าจังหวะกับสัญญาณพัลส์ที่ CK ในรูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่ขอบขาขึ้นของพัลส์ ซึ่งแตกต่างจากกรณีของรูปที่ 3.8 อย่างไรก็ตาม JK-FF ก็มีทั้งแบบทริกที่ขอบขาขึ้นและขอบขาลงของพัลส์

ในรูปที่ 3.9 (ข) เมื่อ J= "0" และ K = "1" สัญญาณพัลส์ที่ CK จะทำให้ Q= "0" และ $\overline{Q}$= "1" ซึ่งเป็นการรีเซตฟลิปฟลอปนั่นเอง ถ้า J= "1" และ K= "0" สัญญาณพัลส์ที่ CK จะเซฟฟลิปฟลอปทำให้ Q= "1" และ $\overline{Q}$= "0" การทำงานแบบนี้คล้ายคลึงกับ RS-FF เพียงแต่ JK-FF จะต้องใช้พัลส์ที่ขั้ว CK กำหนดจังหวะการเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุตเท่านั้น

จะเห็นว่า JK-FF มีฟังก์ชันหลายอย่าง ทำให้มีการผลิตขายเป็นไอซีซึ่งมีด้วยกันหลายเบอร์ ถ้าใช้ไอซีเหล่านี้ในวงจรก็จะสามารถใช้งานเป็น RS-FF ก็ได้ เป็น T-FF หรือ D-FF ก็ได้ นอกจากจะใช้ JK-FF ประกอบวงจรดิจิตอล ทั่วไปแล้วยังใช้ทำหน่วยความจำและวงจรนับได้อีกด้วย

อินเตอร์เฟสและอุปกรณ์แสดงผล

คำว่า อินเตอร์เฟส (interface) หมายถึง การต่อเชื่อมระหว่างสองสิ่งที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เราใช้คำนี้ในวงจรดิจิตอลเมื่อเราหมายถึงวงจรหรือวิธีการในการต่อเชื่อมวงจรสองชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันเข้าด้วยกัน

ยกตัวอย่างเช่น การต่อไอซี TTL เข้ากับไอซี CMOS การต่อเอาต์พุตของไอซีไปควบคุมมอเตอร์ การอ่านสัญญาณอนาล็อก เช่น สัญญาณขนาดความดังของเครื่องขยายเสียงเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อป้อนเข้าวงจรดิจิตอลเป็นต้น

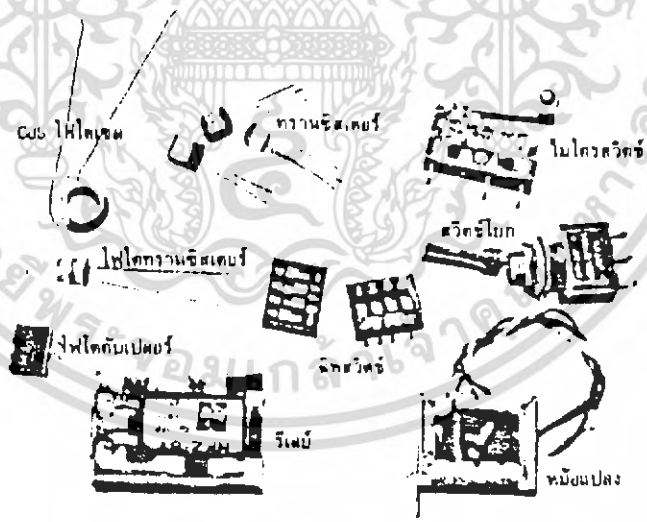
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอินเตอร์เฟสยังมีความหมายครอบคลุมไปถึงการอินเตอร์เฟสระหว่างคนกับเครื่อง (man machine interface) เช่น การติดต่อระหว่างคนกับเครื่องคิดเลขต้องใช้ปุ่มกดกับหลอดแสดงผล การติดต่อระหว่างคนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องใช้แป้นพิมพ์และจอภาพ เป็นต้น การอินเตอร์เฟสระหว่างคนกับเครื่องจักรนี้จำเป็นต้องมีวิธีการและอุปกรณ์ที่เหมาะสม เพื่อให้ทั้งคนและเครื่องจักรสามารถส่งข้อมูลถึงกันและทำงานประสานงานกันได้

ในเรื่องต่อไปนี้ จะกล่าวถึงการอินเตอร์เฟสระหว่างอุปกรณ์ในวงจรที่สำคัญ และอุปกรณ์อินเตอร์เฟสระหว่างคนกับเครื่องที่มีใช้งานกันมาก เช่น หลอดแสดงผล เป็นต้น

การอินเตอร์เฟสในวงจรไอซี

ในวงจรดิจิตอลมีอุปกรณ์หลายชนิดที่ใช้ในการอินเตอร์เฟสระหว่างวงจรและอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ทรานซิสเตอร์ โฟโตทรานซิสเตอร์ โฟโตคัปเปลอร์ (photo coupler) และรีเลย์ เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีหม้อแปลงพัลส์ (pulse transformer) ซึ่งก็นิยมใช้กันในบางกรณีด้วย รูปถ่ายของอุปกรณ์อินเตอร์เฟสแบบต่าง ๆ นี้แสดงในรูปที่ 3.10 นอกจากนี้ยังมีไอซีบางตระกูลที่สร้างขึ้นมาใช้เฉพาะการอินเตอร์เฟสก็มี ดังนั้นการอินเตอร์เฟสจึงเกิดจากการนำอุปกรณ์เหล่านี้มาต่อ ต่อผสมผสานกันให้ทำงานตามที่เราต้องการ



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างอุปกรณ์การอินเตอร์เฟส

ก่อนที่จะรู้ถึงวิธีการในการอินเตอร์เฟสระหว่างไอซีตระกูลต่าง ๆ นั้น เราลองหวนกลับมาดูคุณสมบัติทั้งทางอินพุตและเอาต์พุตของไอซีกันใหม่ดูตารางที่ 3.4 เป็นตารางสรุปคุณสมบัติทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของไอซี TTL และ CMOS สภาวะที่เราเรียกว่า "1" กับ "0" นั้น แท้จริงแล้วไอซีแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในสภาวะนั้นแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เงื่อนไขแรงดันอินพุตที่ทำให้ไอซีรับรู้ว่าเป็นสัญญาณ "1" กับ "0" นั้นแตกต่างกัน ถ้าแรงดันเข้าไม่ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อาจทำงานผิดพลาดก็ได้ นอกจากนั้นเมื่อไอซีให้สัญญาณออกทางด้านเอาต์พุตของไอซีจะเป็นเงื่อนไขที่สำคัญที่จะทำให้ไอซีทำงานถูกต้อง การจ่ายกระแสหรือรับกระแสเข้ามากเกินไปจะทำให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตเปลี่ยนไป ทำให้ระดับสัญญาณไม่อยู่ในช่วงพิกัดของ "1" หรือ "0"

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขของแรงดันและกระแสที่อินพุตและเอาต์พุตของไอซี

		สัญญาณ	ระดับแรงดัน	เงื่อนไขกระแส
อินพุต	TTL	1	ต่ำสุด 2V	กระแสไหลเข้า สูงสุด 40 μA
		0	สูงสุด 0.8	กระแสไหลออก สูงสุด 1.6 mA
	CMOS	1	$2/3V_{DD}$~V_{DD}	
		0	0 ~ $1/3V_{DD}$	
เอาต์พุต	TTL	1	ต่ำสุด 2.4V	กระแสจ่ายออก สูงสุด 0.4 mA
		0	สูงสุด 0.4V	กระแสรับเข้า สูงสุด 16 mA
	CMOS	1	$2/3V_{DD}$~V_{DD}	กระแสจ่ายออก สูงสุด 0.16-1.2mA
		0	0 ~ $1/3V_{DD}$	กระแสรับเข้า สูงสุด 0.44-3.0mA

*กระแสจ่ายออกและรับเข้าสูงสุดของ CMOS จะขึ้นกับแหล่งจ่ายไฟ ค่าในตารางแสดงค่าประกันต่ำสุดเมื่อแหล่งจ่ายไฟมีค่า 5 ถึง 15 โวลต์ (จากคู่มือไอซีของบริษัทโมโตโรลา)

การต่อ TTL กับ CMOS

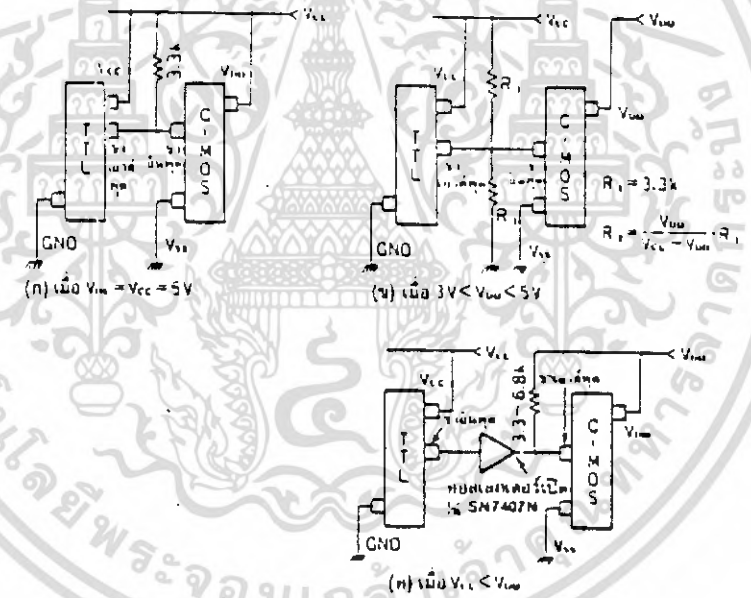
ก่อนอื่นเราลองมาดูวิธีการอินเตอร์เฟสระหว่าง TTL กับ CMOS เราจะหาวิธีต่อเอาต์พุตของ TTL เข้ากับอินพุตของ CMOS ก่อน

แหล่งจ่ายไฟของ TTL ถูกกำหนดไว้ที่ 5 โวลต์คงที่ แต่ไอซี CMOS ใช้กับแหล่งจ่ายไฟที่กว้างกว่าไม่จำเป็นต้องเป็น 5 โวลต์ก็ได้ เราจะพิจารณาทั้งกรณีที่ CMOS ใช้ไฟ 5 โวลต์และกรณีที่ CMOS ใช้แหล่งจ่ายไฟค่าอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีแรกทั้งไอซี TTL และ CMOS ใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์เท่ากันนั้นเมื่อดูคุณสมบัติแรงดันและกระแสในตารางที่ 3.4 จะพบว่า แรงดันทางด้านเอาต์พุตของ TTL นั้น สัญญาณ "0" อยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.4 โวลต์และสัญญาณ "1" อยู่ระหว่าง 2.4 ถึง 5 โวลต์ ในขณะที่เงื่อนไขแรงดันทางด้านอินพุตของ CMOS นั้น สัญญาณ "0" จะต้องต่ำกว่า 1.5 โวลต์ และสัญญาณ "1" จะต้องสูงกว่า 3.5 โวลต์ จากเงื่อนไขเหล่านี้พอสรุปว่า สัญญาณ "0" ไม่มีปัญหา TTL สามารถส่งถ่ายให้ CMOS ได้อย่างไม่ผิดพลาดและแน่นอน แต่สัญญาณ "1" นั้นระดับสัญญาณของ TTL ที่ให้ออกมาต่ำไปหน่อย

ดังนั้นเพื่อที่จะให้สัญญาณ "1" ทางเอาต์พุตของ TTL สามารถส่งถ่ายให้ CMOS อย่างไรไม่ผิดพลาด จำเป็นต้องหาวิธียกระดับจากเดิม 2.4 โวลต์ขึ้นไปอีก วิธีการง่าย ๆ ที่นิยมใช้กันมาก คือ การต่อตัวต้านทานขนาด 3.3 กิโลโอห์มระหว่างเอาต์พุตของ TTL กับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.11(ก) การต่อตัวต้านทานดึงขึ้นสู่แหล่งจ่ายไฟนี้จะทำให้แรงดันเอาต์พุตของ TTL ในสภาวะ "1" มีค่าใกล้เคียง 5 โวลต์มาก เพราะอินพุตของ CMOS ไม่ต้องการกระแสไหลเข้า TTL จึงไม่ต้องจ่ายกระแสออก ตัวต้านทานที่ต่อนี้เรามักเรียกกันว่าตัวต้านทานดึงขึ้น



รูปที่ 3.11 วิธีการอินเตอร์เฟส TTL กับ CMOS

หรือตัวต้านทานพูลอัพ (pull up resistor)สำหรับสภาวะ "0" จะมีกระแสจ่ายจากแหล่งจ่ายไฟไหลผ่านตัวต้านทานเข้าไปในเอาต์พุตของ TTL เป็นกระแสรับเข้า กระแสนี้มีค่าประมาณ 1.5 มิลลิแอมป์ ซึ่งพอ ๆ กับการต่อ TTL ด้วยกันเอง

การต่อแบบนี้จะทำให้ TTL สามารถต่อกับ CMOS ได้พร้อมกับหลาย ๆ ตัว จำนวนเกตสูงสุดที่เอาต์พุตสามารถขับได้นี้เราเรียกกันว่าจำนวนแฟนเอาต์ (fan out) กรณีที่ TTL ขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMOS แบบนี้ตามทฤษฎีแล้ว จำนวนแฟนเอาต์มีค่าเป็นอนันต์ (infinity) เพราะเกต CMOS ไม่ต้องการกระแสไหลเข้าหรือออกที่อินพุตเลย แต่ในความเป็นจริงแล้วเราจะไม่สามารถต่อเกต CMOS ได้มากกว่า 30 ถึง 50 เกต เพราะมีปัญหาเรื่องตัวเก็บประจุขาเข้าของเกต CMOS เอง เมื่อต่อเกตจำนวนมากจะทำให้ค่าตัวเก็บประจุรวมมีมากจน TTL ไม่สามารถจ่ายกระแสมาชาร์จตัวเก็บประจุเหล่านี้ได้ทัน

ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟของไอซี CMOS ต่ำกว่า 5 โวลต์นั้น ให้ใช้วิธีการตามที่แสดงในรูปที่ 3.11(ข) เพิ่มตัวต้านทาน R_2 เพื่อแบ่งแรงดันเอาต์พุตของ TTL ให้ต่ำลง ค่าตัวต้านทาน R_2 นี้จะต้องเลือกให้พอเหมาะกับค่า V_{DD} ของ CMOS

กรณีที่พบมากที่สุดคงเป็นกรณีที่แหล่งจ่ายไฟของ CMOS สูงกว่า 5 โวลต์ เพราะวงจร CMOS นิยมใช้กันระหว่าง 9 ถึง 12 โวลต์เพื่อให้วงจรมีภูมิต้านทานสัญญาณรบกวนสูงขึ้น กรณีเช่นนี้จำต้องใช้เกตพิเศษต่อคั่นกลางระหว่าง TTL กับ CMOS เกตที่นิยมใช้กันมากคือเกต TTL ชนิดที่มีเอาต์พุตเป็นคอลเลกเตอร์เปิด (open collector) เกตชนิดนี้จะมีความสามารถในการรับกระแสไหลเข้าได้สูงจึงเรียกกันว่า บัฟเฟอร์ (buffer) บ้าง ตัวขับ (driver) บ้างแต่ในกรณีนี้ไม่ได้นำมาใช้ขับกระแสแต่ใช้ในการอินเตอร์เฟสเพื่อส่งถ่ายระดับแรงดันให้ถูกต้อง เกตแบบคอลเลกเตอร์เปิดนี้จะใช้ไฟ 5 โวลต์เป็นแหล่งจ่ายไฟเช่นเดียวกับ TTL แต่ตรงบริเวณเอาต์พุตนั้นเป็นคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์เมื่อต้องการใช้งานต้องต่อตัวต้านทานดึงขึ้นแหล่งจ่ายไฟจึงจะได้แรงดันสูงต่ำตามต้องการได้ กรณีนี้เราต่อกับแหล่งจ่ายไฟ V_{DD} ซึ่งสูงกว่า V_{CC} เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่า V_{DD} เมื่อเป็น "1" และมีค่า 0 โวลต์เมื่อเป็น "0"

เกตแบบนี้ในตระกูล TTL ได้เตรียมไว้หลายตัว เช่น SN740N บัฟเฟอร์,SN7400N เป็นอินเวอร์เตอร์ และ SN7420N เป็นเกต NAND แบบ 2 อินพุต เป็นต้น

การต่อ CMOS กับ TTL

ต่อไปจะหาวิธีต่อเอาต์พุตของ CMOS เข้ากับไอซี TTL ครั้งแรกเราจะพิจารณาเฉพาะกรณีที่ CMOS และ TTL ใช้แหล่งจ่ายไฟเท่ากันคือ 5 โวลต์

ลองดูคุณสมบัติทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของ TTL และ CMOS ในตารางที่ 3.4 กันอีก ทางด้านเอาต์พุตของ CMOS นั้น บริษัทผู้ผลิตรับประกันให้ว่าสัญญาณ "1" จะมีระดับแรงดันสูงกว่า 3.5 โวลต์ และสัญญาณ "0" จะมีระดับแรงดันต่ำกว่า 1.5 โวลต์อย่างแน่นอน ในขณะที่ทางด้านอินพุตของ TTL นั้น ระดับสัญญาณต้องสูงกว่า 2 โวลต์จึงจะถือว่าเป็น "1" และระดับจะต้องต่ำกว่า 0.8 โวลต์ จึงจะถือว่าเป็น "0"

เมื่อเปรียบเทียบระดับแรงดันของสัญญาณของทั้งสองฝ่ายแล้ว ก็คงจะเห็นว่าสัญญาณ "1" นั้นไม่มีปัญหาเพราะ CMOS ให้สัญญาณที่มีระดับสูงพอ แต่สัญญาณ "0" นั้น มีปัญหาอย่าง

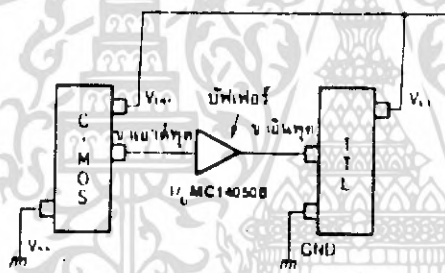
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นอน CMOS ให้แรงดันต่ำกว่า 1.5 โวลต์ ในขณะที่ TTL ต้องให้ต่ำกว่า 0.8 โวลต์ นอกจากนั้นปัญหาใหญ่อีกอย่างก็คือเมื่อสัญญาณเข้าเป็น "0" TTL จะต้องจ่ายกระแสไหลออกไปเข้าเกต CMOS ถึง 1.6 มิลลิแอมป์ กระแสขนาดนี้เกต CMOS รับไว้ไม่ไหวแน่นอนดูจากตารางที่ 3.4 จะพบว่า CMOS ที่แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์รับกระแสไหลเข้าประมาณ 0.44 มิลลิแอมป์เท่านั้น

เมื่อเป็นเช่นนี้ CMOS จึงไม่สามารถต่อโดยตรงกับ TTL ได้วิธีการต่อมีได้หลายวิธีคือ

1. ใช้เกต CMOS ชนิดพิเศษที่มีความสามารถในการรับกระแสไหลเข้าได้มาก
2. ใช้ทรานซิสเตอร์ต่อคั่นกลาง
3. เปลี่ยน TTL ไปใช้ชนิดที่กินไฟน้อยลงและจ่ายกระแสไหลออกน้อยลงพอที่ CMOS จะรับได้

วิธีที่ 1 เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ไอซีตระกูล CMOS ได้เตรียมเกตชนิดพิเศษที่มีความสามารถในการขับได้สูงไว้ เช่น MC14049B เป็นอินเวอร์เตอร์ MC 14050B เป็นบัฟเฟอร์ เกตทั้งสองนี้สามารถรับกระแสไหลเข้าสูงสุดระหว่าง 1.25 ถึง 3.75 มิลลิแอมป์ที่แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ ดังนั้นจึงพอเพียงที่จะใช้ต่อกับไอซี TLL ได้โดยตรง การอินเตอร์เฟส CMOS กับ TTL ด้วยวิธีนี้แสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การอินเตอร์เฟสไอซี CMOS กับ TTL

สำหรับวิธีที่ 2 ที่ใช้ทรานซิสเตอร์นั้นจะขอกล่าวรวมกับการอินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์อื่น ๆ ในภายหลัง

วิธีที่ 3 เป็นวิธีที่นิยมใช้กันพอสมควร ที่จริงไอซี TTL นั้น ที่ผลิตขายกันยังมีอีกหลายตระกูล ตระกูลที่เราใช้ทดลองกันมาตั้งแต่แรกเป็นตระกูลที่เราเรียกว่าเป็น TTL ชนิดมาตรฐาน (standard TTL) หรือ TTL ปกติ (normal TTL) ยังมี TTL ตระกูลความเร็วสูง (high speed TTL) คือตระกูล 74Hxx TTL ตระกูลกินไฟน้อย (low power TTL) คือตระกูล 74Lxx และตระกูล TTL ชอตต์กีกินไฟน้อย (low power shcottky TTL) คือตระกูล 74LSxx อีกด้วย

โดยเฉพาะตระกูล 74LSxx นั้น ปัจจุบันนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมาก เพราะกินไฟน้อยกว่า TTL มาตรฐานถึง 5 เท่า ในขณะที่ความเร็วในการทำงานพอ ๆ กัน ปัจจุบันในท้องตลาดราคาไอซีตระกูล 74LSxx นี้จะต่ำลงมากและบริษัทมีแนวโน้มจะผลิต TTL มาตรฐานออกมาน้อยลงเรื่อย ๆเราจะพบ TTL ตระกูลนี้มากในวงจรไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของ TTL ตระกูลต่าง ๆ เหล่านี้ เราจะเห็นว่าคุณสมบัติทางด้านระดับแรงดันจะเหมือนกันต่างกันตรงคุณสมบัติทางด้านกระแส ทั้งกระแสจ่ายออกที่สัญญาณ "1" และ กระแสรับเข้าที่สัญญาณ "0"

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของ TTL ตระกูลต่าง ๆ

สภาวะของขา			TTL มาตรฐาน ตระกูล 74	TTL ตระกูล 74H	TTL ตระกูล 74L	TTL ตระกูล 74S
แรงดันที่อินพุต	1		2~5V	2~5V	2~5V	2~5V
	0		0~0.8V	0~0.8V	0~0.7V	0~0.7V
กระแสที่อินพุต	1	กระแสไหลเข้าสูงสุด	40 μA	50 μA	10 μA	20 μA
	0	กระแสไหลออกสูงสุด	1.6mA	20mA	0.18mA	0.36mA
แรงดันที่เอาต์พุต	1		2.4~5V	2.4~5V	2.4~5V	2.4~7V
	0		0~0.4V	0~0.4V	0~0.3V	0~0.5V
กระแสที่เอาต์พุต	1	กระแสจ่ายออกสูงสุด	0.4mA	0.5mA	0.2mA	0.4mA
	0	กระแสรับเข้าสูงสุด	16mA	20mA	3.6mA	8mA
ความถี่สูงสุดที่ทำงานได้			30MHz	50MHz	3MHz	30MHz

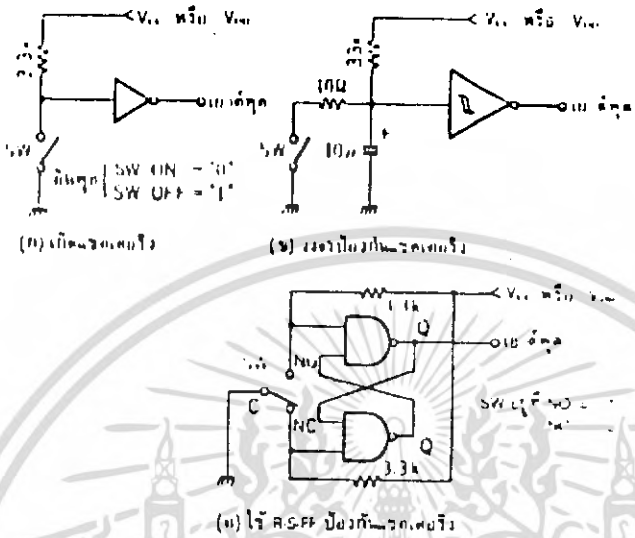
จากตารางจะพบว่า TTL ตระกูล 74L และ 74LS มีโอกาสที่จะต่อกับ CMOS ได้โดยตรง กระแสไหลออกเมื่อสัญญาณเป็น "0" ของ 74L จะมีค่าสูงสุดที่ 0.18 มิลลิแอมป์ และ 0.36 มิลลิแอมป์ของกรณี 74LS แม้ว่าจะมีค่าใกล้เคียงกับกระแสรับเข้าสูงสุดของ CMOS คือ 0.44 มิลลิแอมป์อยู่บ้าง แต่เมื่อกระแสไหลเข้ามาขึ้นอีกเล็กน้อยแรงดันที่เอาต์พุตของ CMOS จะสูงขึ้นแต่ระดับสัญญาณ "0" ก็ยังไม่สูงเกิน 0.8 โวลต์

การอินเตอร์เฟสสวิตช์กับไอซีดิจิตอล

ที่ผ่าน ๆ มาได้ใช้สวิตช์ต่อเข้ากับไอซีหลายครั้งไม่ว่าจะเป็นสวิตช์เปิดปิดธรรมดา สวิตช์ปุ่มกด หรือสวิตช์โยกก็ต่อเข้ากับไอซีโดยตรง จะสังเกตหรือไม่ว่าจะต้องมีการอินเตอร์เฟสระหว่างสวิตช์กับไอซีเหมือนกัน การต่อสวิตช์เข้าไอซีบางครั้งก็สามารถเข้าโดยตรง บางครั้งอย่างเช่นการทดลองเรื่องวงจรนับ ก็ต้องต่อผ่าน RS-FF เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราต่อสวิตช์เข้ากับวงจรดิจิตอลเพื่ออาศัยการเปิดปิดสวิตช์เป็นสัญญาณให้กับวงจร เราจะต่อหน้าสัมผัสกับอินพุตของเกต โดยมีตัวต้านทานดึงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.13(ก) เมื่อสวิตช์เปิดจะได้สัญญาณ "1" เป็นอินพุตของเกต ถ้าสวิตช์ปิดจะเกิดลัดวงจรลงกราวนด์ให้เป็นสัญญาณ "0" ป้อนเข้าเกต เป็นการเปลี่ยนการ "เปิด" และ "ปิด" เป็นสัญญาณ "1" กับ "0" ได้ง่าย ๆ



รูปที่ 3.13 การอินเตอร์เฟสสวิตช์กับไอซี

แต่ในบางครั้งการต่อสวิตช์เข้ากับไอซีแบบวิธีง่าย ๆ แบบนี้จะไม่ได้ผลและจะเกิดปัญหาขึ้นมากมาย เพราะในระหว่างที่เรากดหรือโยกสวิตช์นั้น หน้าสัมผัสของสวิตช์จะไม่แตะหรือแยกจากกันอย่างเด็ดขาด จะมีการเด้งและสั่นของหน้าสัมผัสก่อนการแตะหรือการแยกจากกันเสมอ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เชตเตอริง (chattering) การสั่นของหน้าสัมผัสนี้ ไอซีดิจิตอลสามารถรับรู้ได้เพราะไอซีทำงานเร็วกว่าตาของคนเรามาก ดังนั้นบางครั้งเรากดปุ่มเพียงครั้งเดียวแต่เหมือนมีสัญญาณพัลส์เข้าไปในวงจรมากมาย

การแก้ปัญหาเชตเตอริงของหน้าสัมผัสนั้นใช้วิธีการตามในรูปที่ 3.13(ข) และรูปที่ 3.13 (ค) ได้ ในรูปที่ 3.13(ข) เป็นการต่อตัวเก็บประจุคร่อมหน้าสัมผัส (อาจมีตัวต้านทานเล็ก ๆ อนุกรมกับหน้าสัมผัสไว้ก็ได้) เพื่อให้แรงดันคร่อมหน้าสัมผัสเปลี่ยนแปลงทันทีไม่ได้ เมื่อเปิดสวิตช์ตัวเก็บประจุถูกชาร์จผ่าน 33 กิโลโอห์ม ทำให้แรงดันที่อินพุตของเกตค่อย ๆ เพิ่มขึ้น แม้จะมีการสั่นของหน้าสัมผัสก็ไม่มีผลต่อแรงดันมากนัก เมื่อปิดสวิตช์ตัวเก็บประจุจะคายประจุผ่าน 10 โอห์มไปที่สวิตช์ทันที แม้จะมีการสั่นของหน้าสัมผัสอีกก็ไม่มีผลทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลงอีกเช่นเดียวกัน เราสามารถเลือกค่า R (ตัว 33 กิโลโอห์ม) และ C ให้เหมาะสมกับระยะเวลาการสั่นของหน้าสัมผัสได้ R หรือ C ใหญ่จะทำให้ระยะเวลาการแก้แชตเตอริงทำได้นานขึ้น

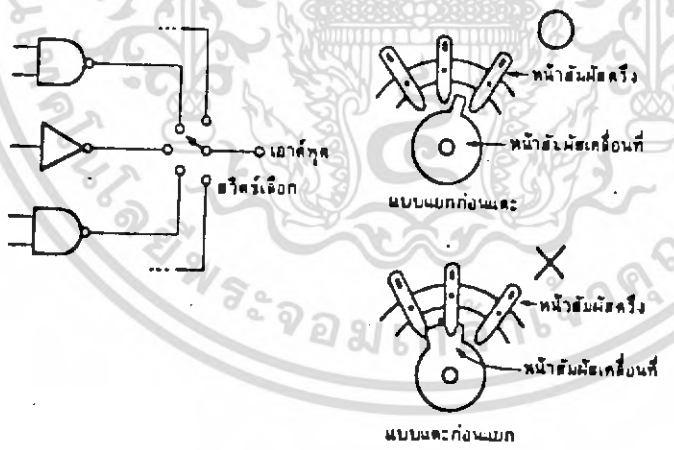
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม แรงดันที่อินพุตของเกตจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้าเพราะผลของตัวเก็บประจุ เราจึงนิยมใช้ไอซีที่เป็นชมิตต์ทริกเกอร์ต่อรับสัญญาณเข้าจากสวิตช์ ชมิตทริกเกอร์จะให้เอาต์พุตที่เปลี่ยนจาก "1" เป็น "0" หรือ "0" เป็น "1" ที่ไวขึ้นมาก เมื่อส่งต่อให้ตัวอื่นจะได้ไม่มีปัญหา

การอินเตอร์เฟสสวิตช์ในรูปที่ 3.13(ก) เป็นวงจรที่นิยมใช้กับสวิตช์ 3 ขั้ว คือมีขั้วร่วมขั้ว NO และขั้ว NC รูปวงจรดูซับซ้อนและใช้เกตมากหน่อยแต่เป็นวิธีการอินเตอร์เฟสที่ได้ผลดีที่สุด เกต NAND 2 ตัว ในวงจรต่อเป็น RS-FF ขั้ว NO ต่อเข้าที่ขั้ว NC ต่อเข้าที่ขั้วรีเซตของฟลิบฟลอป

หลักการทำงานที่วงจรสามารถแก้ปัญหาแชตเตอริงมีง่าย ๆ คือ ไม่ว่า RS-FF จะถูกเซตกี่ครั้ง เอาต์พุตจะได้ "1" เหมือนกัน และไม่ว่าจะถูกรีเซตกี่ครั้งเอาต์พุตก็เป็น "0" เหมือนเดิมเช่นกัน ดังนั้นเมื่อเรากดสวิตช์หน้าสัมผัสแยกจากขั้ว NC มาขั้ว NO ตรงขั้ว NO จะมีการสั่นของหน้าสัมผัสกี่ครั้ง เอาต์พุต Q จะเป็น "1" คงที่เสมอ เมื่อเราปล่อยมือจากการกดสวิตช์ หน้าสัมผัสจะเด้งกลับมาแตะขั้ว NC เช่นเดิม ก่อนแตะแม้จะมีการสั่นของหน้าสัมผัสบ้าง แต่เอาต์พุต Q จะเป็น "0" ทันทีและคงค่าไว้เช่นนั้น

การต่อเอาต์พุตของไอซีไปที่สวิตช์ก็มีปัญหาอยู่บ้างเหมือนกัน เช่น การต่อเอาต์พุตของไอซีหลาย ๆ ตัวไปที่สวิตช์เลือกดังในรูปที่ 3.14 ข้อควรระวังคือสวิตช์เลือกที่ใช้กับมือมี 2 แบบคือ แบบแยกก่อนแตะ (break before make) และแบบแตะก่อนแยก (make before brake)



รูปที่ 3.14 สวิตช์เลือกที่ใช้กับเอาต์พุตของไอซี

สวิตช์เลือกที่เป็นแบบแยกก่อนแตะจะมีใช้กันมาก เปิดปิดสวิตช์หน้าสัมผัสเคลื่อนที่จะเคลื่อนจากหน้าสัมผัสตรึงที่แตะอยู่ไปสู่หน้าสัมผัสตรึงขั้วถัดไป ในระหว่างเคลื่อน หน้าสัมผัสจะแยกออกก่อนแล้วค่อยไปแตะหน้าสัมผัสขั้วใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

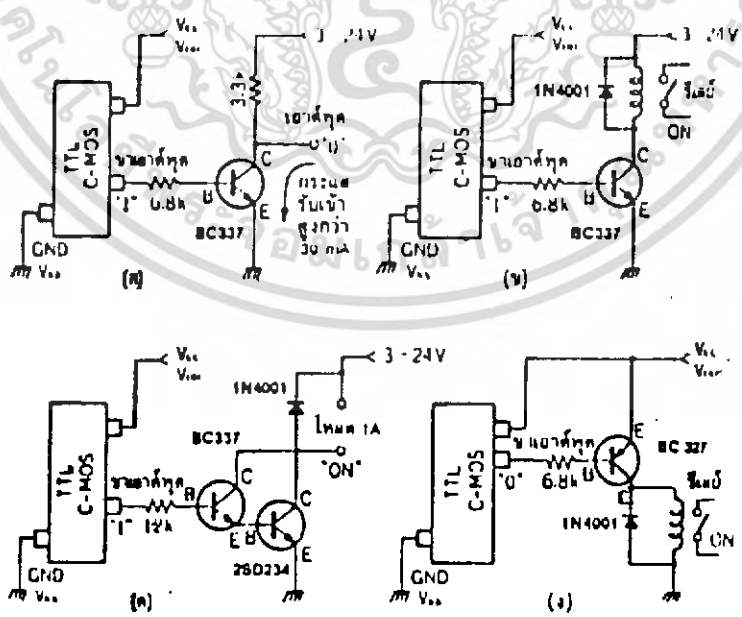
สวิตช์เลือกอีกแบบก็มีใช้กันเหมือนกัน แบบนี้ในระหว่างการเคลื่อนจากหน้าสัมผัสครึ่งขั้วหนึ่งไปอีกขั้วหนึ่งนั้น หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ก็ยังแตะกับข้างใดข้างหนึ่งอยู่ตลอดเวลา ในบางขณะจะแตะกับหน้าสัมผัสครึ่งทั้งสองขั้วก็มีจึงเรียกว่าแตะก่อนแยก แบบนี้ไม่ควรใช้กับเอาต์พุตของไอซีดิจิตอล เพราะในขณะปิดสวิตช์เลือกจะมีช่างเวลาหนึ่งที่เอาต์พุตของไอซีถูกวงจรกันเอง แม้จะเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ แต่ถ้าปิดสวิตช์บ่อย ๆ จะทำให้ไอซีเสียหายได้

การอินเตอร์เฟสโดยใช้ทรานซิสเตอร์

การใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวอินเตอร์เฟส เพราะทรานซิสเตอร์มีข้อดีหลายประการเช่น

1. ใช้ในการอินเตอร์เฟสวงจรที่มีระดับแรงดันของสัญญาณแตกต่างกันได้ง่าย
2. ทรานซิสเตอร์สามารถขยายกระแสได้ ทำให้เพิ่มความสามารถในการขับให้แก่ไอซีได้
3. การอินเตอร์เฟสกับวงจรอนาล็อกทำได้ง่ายที่สุด

ตัวอย่างการใช้ทรานซิสเตอร์ในการอินเตอร์เฟสในวงจรไอซีแสดงในรูปที่ 3.15 รูปที่ 3.15(ก) เป็นการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นอินเวอร์เตอร์ ใช้อินเตอร์เฟสระหว่างวงจรที่มีระดับแรงดันของสัญญาณที่แตกต่างกัน เมื่อเอาต์พุตของไอซีเป็น "1" จะจ่ายกระแสมาที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ กระแสนี้จะต้องมีขนาดมากพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว จะมีกระแสที่คอลเลกเตอร์ไหลและแรงดันที่คอลเลกเตอร์มีค่าเกือบเท่า 0 โวลต์ ดังนั้นถ้าเราต่อสัญญาณจากขั้วคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ไปเข้าวงจรไอซีตัวอื่นก็จะได้สัญญาณ "0" ถ้าเอาต์พุตของไอซีเป็น "0" ก็ไม่มีกระแสไหลเข้าทรานซิสเตอร์ทรานซิสเตอร์จะอยู่ในภาวะคัตออฟจะหยุดทำงานและไม่มีกระแสไหลที่คอลเลกเตอร์ แรงดันที่คอลเลกเตอร์จะสูงเท่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟที่ต่อไว้ จึงเป็นสัญญาณ "1" นั่นเอง



รูปที่ 3.15 วงจรอินเตอร์เฟสโดยใช้ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทรานซิสเตอร์อิ่มตัว สามารถรับกระแสรับเข้าไม่มากกว่า 30 มิลลิแอมป์ จึงสามารถต่อกับไอซี TTL ได้หลายตัว เมื่อทรานซิสเตอร์คัตออฟจะมีกระแสจ่ายจากแหล่งจ่ายไฟผ่านตัวต้านทานไปเข้าขาอินพุตของไอซีเป็นกระแสจ่ายออกได้ ถ้าเปลี่ยนตัวต้านทานเป็น 1 กิโลโอห์มจะสามารถจ่ายให้ TTL ได้ถึง 2.5 มิลลิแอมป์ และจ่ายให้ CMOS ได้ถึง 1.5 มิลลิแอมป์ โดยระดับแรงดันของสัญญาณยังอยู่ในช่วงที่กำหนดตามสเป็ค

รูปที่ 3.15(ข) เป็นการใช้ทรานซิสเตอร์ขับรีเลย์ไฟตรงขนาดเล็ก เมื่อเอาต์พุตของไอซีเป็น "1" ทรานซิสเตอร์จะทำให้รีเลย์ทำงาน ถ้าเอาต์พุตเป็น "0" รีเลย์จะหยุดทำงาน ไดโอด 1N4001 ที่ต่อคร่อมคอยล์ของรีเลย์มีไว้เพื่อลัดวงจรแรงดันไฟกระชาก (spike voltage) ที่เกิดขึ้นที่คอยล์ของรีเลย์ ในขณะขับให้รีเลย์ทำงานหรือหยุดทำงาน ควรต่อไดโอดนี้ไว้ มิฉะนั้นทรานซิสเตอร์จะเสียได้

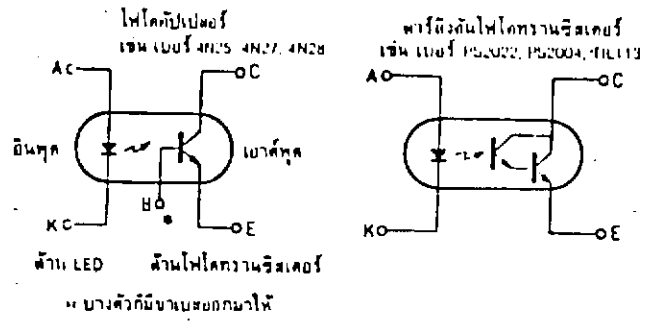
รูปที่ 3.15(ค) เป็นการใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อกันแบบดาร์ลิงตันเพื่อให้ขับโหลดที่ใช้กระแสมาก จะใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวที่ภายในเป็นดาร์ลิงตันก็ได้โหลดที่ขับได้แก่ ฮีตเตอร์ไฟตรงหลอดไฟ,LED,มอเตอร์ไฟตรง,รีเลย์ไฟตรงขนาดใหญ่ ค่าอุปกรณ์ที่ให้ไว้ในวงจรทำให้สามารถขับโหลดได้สูงสุดถึง 1 แอมแปร์

รูปที่ 3.15(ง) เป็นการใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ขับรีเลย์ การขับแบบนี้รีเลย์จะทำงานเมื่อเอาต์พุตของไอซีเป็น "0" จะมีกระแสไหลจากแหล่งจ่ายไฟผ่านอิมิตเตอร์ เบส ตัวต้านทานเข้าไปในไอซี กระแสนี้จะถูกขยายเป็นกระแสที่ขับรีเลย์ที่คอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ การต่อแบบนี้ก็นิยมใช้กันเพราะคอยล์ข้างหนึ่งต่อกับกราวนด์ เมื่อนำหน้าสัมผัสของรีเลย์ไปเปิดปิดโหลดแรงดันไฟสูงก็ค่อนข้างจะปลอดภัย แต่มีข้อเสียหน่อยหนึ่งคือ แหล่งจ่ายไฟของรีเลย์จะต้องใช้ร่วมกับวงจรไอซี ทำให้เลือกชนิดรีเลย์ได้น้อยลง

การอินเตอร์เฟสโดยใช้โฟโตคัปเปลอร์

โฟโตคัปเปลอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอินเตอร์เฟสกันมาก ภายในโฟโตคัปเปลอร์จะมี LED กับโฟโตทรานซิสเตอร์วางคู่กันอยู่ LED จะอยู่ทางด้านอินพุต ส่วนโฟโตทรานซิสเตอร์จะอยู่ทางด้านเอาต์พุต เมื่อเราจ่ายกระแสเข้าไปที่ LED,LED จะเปล่งแสงออกมา แสงนี้เรามองไม่เห็นเพราะอยู่ภายในโฟโตทรานซิสเตอร์เมื่อได้รับแสงนี้จะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวหรือ ON โฟโตคัปเปลอร์ที่มีขายกันในปัจจุบัน มีรูปร่างเหมือนไอซีทั่วไป อยู่ในตัวถังแบบดิพทั้งแบบพลาสติกและเซรามิค โฟโตทรานซิสเตอร์ภายในบางครั้งเป็นแบบดาร์ลิงตัน มีอัตราขยายสูงมาก อัตราขยายกระแสของโฟโตคัปเปลอร์คิดจากอัตราส่วนของกระแสอินพุตที่ป้อนให้ LED กับกระแสขาออกที่ทรานซิสเตอร์ขับได้ บางครั้งเรานำโฟโตคัปเปลอร์มาใช้เป็นวงจรขยายในวงจรอนาล็อกก็ได้

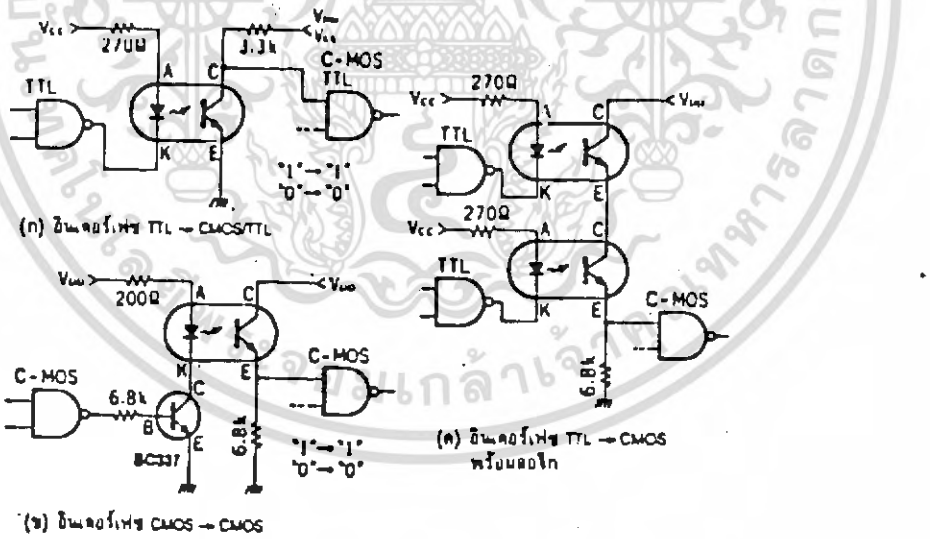
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 โครงสร้างของไฟโตคัปเปลอร์

คุณสมบัติที่เด่นที่สุดของไฟโตคัปเปลอร์คือ การที่อินพุตและเอาต์พุตแยกกันทางไฟฟ้าอย่างเด็ดขาดนั่นเอง คุณสมบัติอันนี้ทำให้วงจรที่ต่อเชื่อมกันด้วยไฟโตคัปเปลอร์ไม่ต่อถึงกันทางไฟฟ้า ใช้แหล่งจ่ายไฟแยกกันและมีกราวนด์แยกกันได้ ในวงจรที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและวงจรที่ต้องการกำจัดสัญญาณรบกวนมักจะใช้ไฟโตคัปเปลอร์นี้

รูปที่ 3.17 แสดงวิธีการใช้ไฟโตคัปเปลอร์เป็นวงจรอินเตอร์เฟสระหว่างสองวงจร อาจใช้เชื่อมต่อระหว่าง TTL กับ CMOS ก็ได้ หรือระหว่าง CMOS หรือ TTL กันเองก็ได้ สังเกตว่าการต่อวงจรทั้งแบบ (ก) และ(ข) ในรูปที่ 3.16 นั้น ไฟโตคัปเปลอร์ทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์ คือ สัญญาณ "1" และ "0" จะถูกส่งถ่ายกันโดยไม่มีการกลับสัญญาณ



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการอินเตอร์เฟสโดยใช้ไฟโตคัปเปลอร์

รูปที่ 3.17(ค) เป็นการใช้งานที่หลักแหลมมาก ใช้ไฟโตคัปเปลอร์สองตัวมาต่อเป็นเงื่อนไข AND กัน จะเห็นว่าถ้า LED ทั้งสองสว่างจึงจะทำให้มีกระแสไหลผ่านไฟโตทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวไปที่ตัวต้านทาน 6.8 กิโลโอห์ม ทำให้สัญญาณ "1" เป็นเอาต์พุต ถ้ากรณีอื่นจะได้สัญญาณ "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเอาต์พุต เราอาจใช้ไฟโตทรานซิสเตอร์มาประกอบเป็นวงจร AND, OR, NAND, NOR ได้โดยใช้วิธีการเช่นนี้ ทำให้ทุ่นเกตเหล่านี้ลงได้ในการใช้งานบางอย่าง

การแปลงสัญญาณดิจิตอลกับอนาล็อก

ปริมาณทางฟิสิกส์รอบ ๆ ตัวเราส่วนใหญ่จะเป็นปริมาณเชิงอนาล็อก (analog quantity) เช่น แรงดัน กระแส ความร้อน น้ำหนัก ความดัน ความสว่าง เป็นต้น ปริมาณเหล่านี้เราสามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดเชิงอนาล็อก เช่น มิเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีวงจรขยายและชี้ค่าด้วยเข็ม แต่วงจรอนาล็อกโดยทั่วไปมักมีปัญหาเรื่องความเที่ยงตรง สัญญาณรบกวน การเปลี่ยนแปลงค่าเนื่องจากคุณหภูมิและการบวกลบคูณหารด้วยวงจรอนาล็อกเป็นเรื่องยุ่งยากมาก

วงจรดิจิตอลจะเห็นว่ามีคุณสมบัติที่เด่นหลายประการคือ ระดับสัญญาณมีแค่ "สูง" กับ "ต่ำ" ความแน่นอนของสัญญาณดีกว่าสัญญาณอนาล็อก ได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนและคุณหภูมิได้น้อยกว่า การแสดงตัวเลขใช้เลขฐานสองสามารถนำมาบวกลบคูณหารตามกฎเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ ผลลัพธ์ออกมาถูกต้องแน่นอนว่า นอกจากนั้นการส่งสัญญาณไปไกล ๆ เช่น ส่งไปตามสายโทรศัพท์ หรือคลื่นวิทยุยังทำได้ดีกว่าสัญญาณอนาล็อกมาก

อุปกรณ์ที่ภายในใช้สัญญาณดิจิตอลทั้งหมด เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องคิดเลข และคอมพิวเตอร์ มีน้อยมาก อุปกรณ์ส่วนใหญ่ยังต้องรับอินพุตและส่งเอาต์พุตในรูปของสัญญาณอนาล็อกอยู่ ดังนั้นการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลซึ่งเราเรียกว่า A/D converter และการแปลงกลับจากสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อกหรือที่เรียกว่า D/A converter จึงเป็นเรื่องสำคัญของวงจรดิจิตอล ถ้าเรามีทั้งวงจร A/D และ D/A ดังแล้ว การสร้างอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ไม่ว่าจะซับซ้อนเท่าใดก็สามารถทำได้ง่ายขึ้น อุปกรณ์จะใช้วงจร A/D ในการแปลงสัญญาณ อินพุตต่าง ๆ ที่เป็นสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิตอล ป้อนสัญญาณดิจิตอลที่ได้เข้าในวงจรดิจิตอลเพื่อประมวลผลจากนั้นแสดงผลเป็นตัวเลขและใช้วงจร D/A แปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกใหม่เพื่อเป็นเอาต์พุตนำออกไปใช้ในการควบคุมกระบวนการภายนอกได้

จะศึกษาเกี่ยวกับวงจร D/A และ A/D แบบง่าย ๆ ที่สามารถใช้ในการแปลงสัญญาณระหว่างอนาล็อกกับดิจิตอล

วงจร D/A

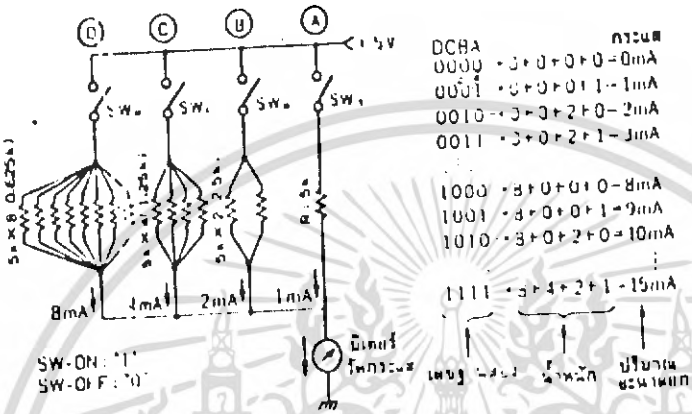
เริ่มจากวงจร D/A (digital to analog converter) ซึ่งใช้แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อกก่อน เพราะวงจรทำได้ง่ายกว่าวงจร A/D

วงจร D/A มีด้วยกันหลายแบบด้วยกัน เราคงจะไม่สามารถพูดอธิบายได้ทุกแบบ ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะวงจร D/A แบบรวมกระแสกับแบบวงจรบันไดของตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร D/A แบบรวมกระแส

ลองดูวงจรในรูปที่ 3.18 เป็นหลักการของวงจร D/A แบบรวมกระแส (current summing type) นี้ เราจะใช้สวิตช์ 4 ตัว ใช้ตัวต้านทาน 5 กิโลโอห์ม จำนวน 15 ตัว และมิเตอร์วัดกระแสพิสัยไม่เกิน 20 มิลลิแอมป์ สวิตช์ทั้ง 4 ตัว นี้คือ SW_A , SW_B , SW_C และ SW_D ซึ่งเปรียบเสมือนปริมาณดิจิตอลแต่ละบิต เมื่อปิดสวิตช์หมายถึง "1" ถ้าเปิดหมายถึง "0" เมื่อสวิตช์ทั้งสี่แทนเลขฐานสอง SW_A จะเป็นบิตนัยสำคัญต่ำสุด (บิตต่ำสุดทางขวามือ) และ SW_D จะเป็นบิตนัยสำคัญสูงสุด



รูปที่ 3.18 การทดลองวงจร D/A แบบรวมกระแส

เมื่อปิดสวิตช์แต่ละตัวจะมีกระแสขนาดต่างกันไหลมาที่มิเตอร์วัดกระแส เช่น ปิดสวิตช์ SW_A จะมีกระแสไหล 1 มิลลิแอมป์ ปิดสวิตช์ SW_B จะมีกระแสไหล 2 มิลลิแอมป์ เป็นต้น ถ้าปิดสวิตช์หลายสวิตช์พร้อมกันจะมีกระแสไหลจากแต่ละกิ่งมารวมกันแล้วไหลไปยังมิเตอร์ กระแสที่ไหลมาที่มิเตอร์นี้คือปริมาณอนาล็อกที่แปลงมาได้จากวงจรนี้นั่นเอง

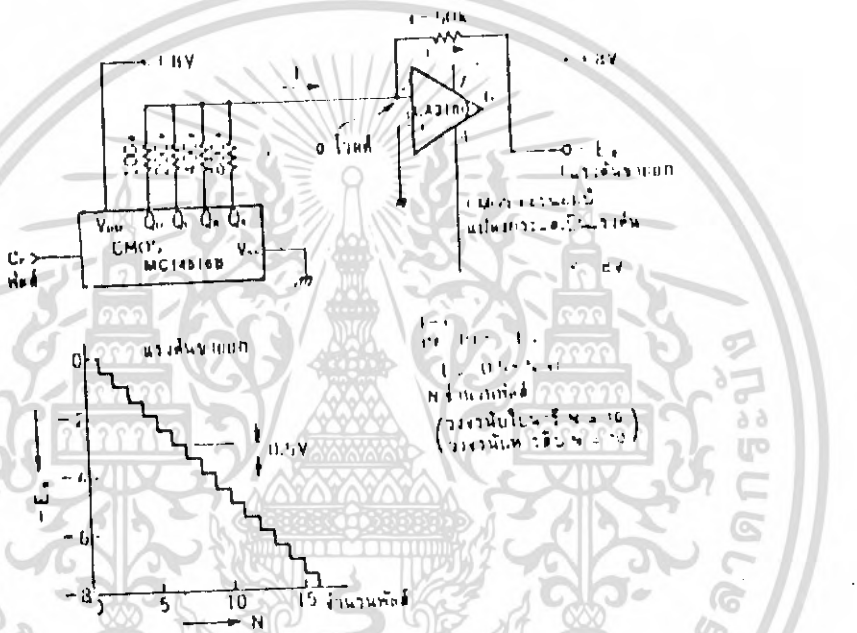
สวิตช์ทั้งสี่เรียงกันเป็นเลขฐาน 4 บิต ดังนั้นตัวเลขที่สามารถแสดงได้คือ 0 ถึง 15 เช่นเดียวกัน กระแสที่เป็นปริมาณอนาล็อกก็สามารถมีค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 15 มิลลิแอมป์ เลขฐานสองเพิ่มทีละ 0001 ในขณะที่กระแสเพิ่มทีละ 1 มิลลิแอมป์ สวิตช์แต่ละตัวจะมี "น้ำหนัก" หรือขนาดกระแสที่ผลิตออกมาได้ต่างกันคือ SW_A มีน้ำหนัก 1, SW_B มีน้ำหนัก 2, SW_C มีน้ำหนัก 4 และ SW_D มีน้ำหนัก 8 น้ำหนักนี้จะเพิ่มทีละเท่าขึ้นมาเรื่อย ๆ ตามหลักการของเลขฐานสองนั่นเอง

เราใช้ตัวต้านทานขนาด 5 กิโลโอห์มเพราะเราใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 โอห์มและต้องการให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวเพียง 1 มิลลิแอมป์เท่า ๆ กัน เลือกใช้ตัวต้านทานเหมือนกัน 15 ตัว เพื่อให้ทดลองได้ง่ายและเข้าใจง่าย จะใช้ตัวต้านทาน 2.5 กิโลโอห์มเพียงตัวเดียวต่อที่ SW_B หรือ 1.25 กิโลโอห์มต่อที่ SW_C ก็ได้ แต่ความต้านทานเหล่านี้หาได้ลำบากมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลองเปิดปิดสวิตช์ SWA จนถึง SWD ตามเลขฐานสองจะให้กระแสไหลผ่านมิเตอร์ตามที่แสดงในตารางในรูปที่ 3.18 เช่น ถ้าปิด SWA จะอ่านมิเตอร์ได้ 1 มิลลิแอมป์ ปิด SWA และ SWB จะได้ 3 มิลลิแอมป์ และถ้าปิดสวิตช์ทุกตัวจะได้ 15 มิลลิแอมป์ เป็นต้น

วงจรนี้ใช้สวิตช์เพียง 4 ตัวเท่านั้น ที่จริงเราสามารถเพิ่มสวิตช์ขึ้นไปอีกเรื่อย ๆ ค่าความต้านทานของสวิตช์ถัดมาจะน้อยลงไปทีละเท่า แต่ไม่ควรเพิ่มสวิตช์มากเพราะกระแสจะไหลมากเกินไปจนเกินพิสัยของมิเตอร์ถ้าต้องการทดลองกับสวิตช์หลาย ๆ ตัวจริง ๆ ควรลดขนาดกระแสลงจาก 1 มิลลิแอมป์เป็น 0.1 หรือ 0.01 มิลลิแอมป์ก็ได้ โดยการเพิ่ม R จาก 5 กิโลโอห์มเป็น 50 หรือ 500 กิโลโอห์ม



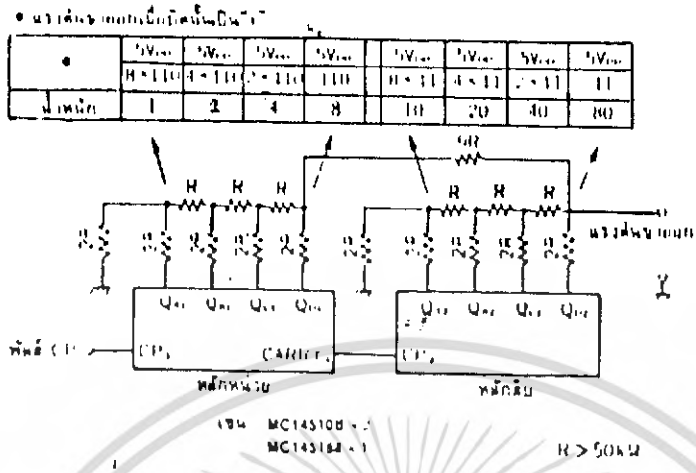
รูปที่ 3.19 ตัวอย่างวงจร D/A แบบรวมกระแส

ใช้สวิตช์ดังในรูปที่ 3.18 อาจจะยังมองไม่เห็นการใช้งานที่เป็นจริงลองดูวงจรในรูปที่ 3.19 วงจรนี้ใช้หลักการเดียวกันคือการรวมกระแส แต่ใช้เอาต์พุตของวงจรนับชนิด CMOS แทนสวิตช์ทั้งสี่ เอาต์พุต QA ถึง QD ของวงจรนับ เมื่อเป็น "1" จะจ่ายกระแสเข้าไปในวงจรเช่นเดียวกับการปิดสวิตช์ SWA ถึง SWD ปกติ CMOS จ่ายกระแสได้ไม่มากนักเพราะจะทำให้แรงดันที่เอาต์พุตต่ำลง เราจึงเลือกใช้ตัวต้านทานในวงจรที่มีค่าใหญ่ ๆ เพื่อให้กระแสไหลน้อยหน่อย และแทนที่จะใช้มิเตอร์วัดกระแสต่อโดยตรง เราจะใช้ออปแอมป์ต่อรับกระแสแทนและแปลงกระแสเป็นแรงดันออกทางเอาต์พุตของออปแอมป์ด้วย

ขั้วลบ (ขา 2) ของออปแอมป์จะมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับขั้วบวก (ขา 3) ตามหลักการทำงานของออปแอมป์ ขั้วลบจึงมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ จึงทำให้กระแส I ที่ไหลจากตัวต้านทานคำนวณให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เหมือนรูปที่ 3.18 นอกจากนั้นกระแส I นี้เมื่อมาวางผ่านแรงดันขาออกของวงจรบันไดหลักสิบที่ใช้ค่า 9R เพราะความต้านทานขาออกของวงจรบันไดมีค่า R พอดี



รูปที่ 3.20 วงจร D/A ที่ใช้กับเลขฐานสิบรหัส BCD 2 หลัก

วงจรบันไดของตัวต้านทานนี้สามารถใช้งานในทางปฏิบัติได้ถึง 3 หลักของเลขฐานสิบ ถ้าเกินกว่า 3 หลักแล้ว จะต้องคัดเลือกค่าความต้านทานให้แม่นยำ มิฉะนั้นจะเกิดความคลาดเคลื่อนมาก วงจรบันไดของตัวต้านทานก็มีที่ทำเป็นไอซีสำเร็จรูปขาย ไอซีบางตัวที่เป็นวงจร D/A นั้น แท้จริงภายในจะมีวงจรบันไดของตัวต้านทานและแหล่งจ่ายกระแสที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณ "0" และ "1" ของอินพุตเท่านั้น ไอซี D/A ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ เบอร์ MC 1408 ของบริษัทโมโตโรลา เป็นวงจร D/A ขนาด 8 บิต

วงจร A/D

วงจร A/D (analog to digital converter) จะทำหน้าที่แปลงแรงดันหรือกระแสที่เป็นสัญญาณอนาล็อกไปเป็นตัวเลขหรือสัญญาณดิจิตอล วงจร A/D มีด้วยกันหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันแพร่หลายมี 3 แบบ คือ แบบสโลปคู่ (dual slope)แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่ (V to F converter) และแบบประมาณที่ละบิต (successive approximation)

วงจร A/D แบบสโลปคู่เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมากนักก็สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียคือเสียเวลาในการแปลงสัญญาณนานมากไปหน่อย จึงไม่เหมาะในการใช้วัดแรงดันในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น การวัดแรงดันของรูปคลื่น ณ ขณะเวลาใดเวลาหนึ่ง แบบสโลปคู่นี้เหมาะสำหรับใช้วัดค่าเฉลี่ยของแรงดันและกระแส จึงนิยมใช้กันมากในมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล และเครื่องวัดแสดงผลเป็นตัวเลขทั่ว ๆ ไป วงจร A/D แบบสโลปคู่ที่เป็นไอซีสำเร็จรูปมีด้วยกันหลายเบอร์ ราคาไม่แพงนักส่วนมาก จะให้ความแม่นยำในการแปลงสัญญาณดีกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีทั้งแบบแปลงเป็นตัวเลขขนาด 3 1/2 หลัก (แสดงผลสูงสุด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น 1999) และ 4 1/2 หลัก (แสดงผลสูงสุดเป็น 19999) หลักสุดท้ายจะแสดงค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น จึงเรียกง่าย ๆ ว่า 1/2 หลัก

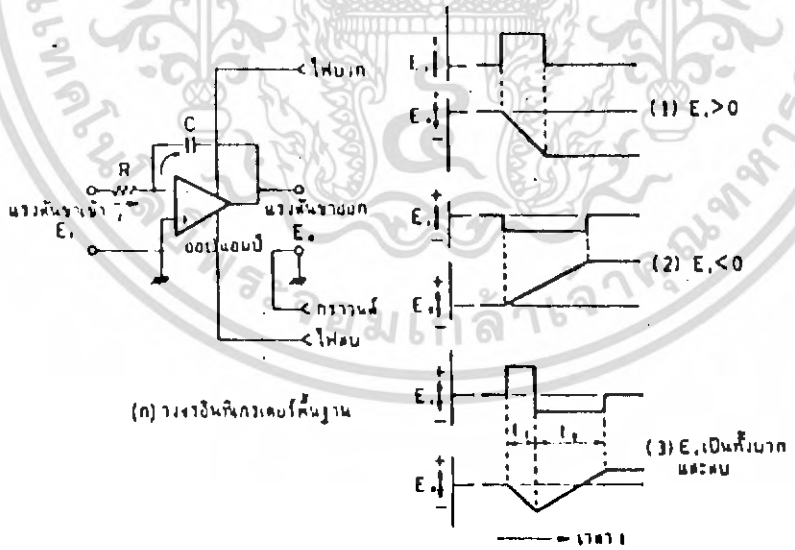
วงจร A/D แบบแปลงแรงดันเป็นความถี่และแบบประมาณทีละบิตนั้น มีข้อดีตรงที่สามารถแปลงสัญญาณได้รวดเร็ว มีความแม่นยำสูง เพียงแต่วงจรมีความซับซ้อนมากกว่าจึงมีราคาแพง ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการทำไอซีเจริญขึ้นมาก เราสามารถหาซื้อไอซีที่เป็นวงจร A/D แบบนี้ได้ง่ายขึ้นและในราคาไม่แพงนัก และในอนาคตราคาจะถูกลงอีกมาก

ขอแนะนำเฉพาะวงจร A/D แบบสโลปคู่และการทดลองเกี่ยวกับวงจร A/D แบบง่าย ๆ

วงจร A/D แบบสโลปคู่

ให้ดูวงจรในรูปที่ 3.21(ก) ซึ่งเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ (integrator circuit) แบบพื้นฐาน อุปกรณ์ที่มีสัญลักษณ์เป็นสามเหลี่ยมนั้นเป็นออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแตกต่าง R และ C ในวงจรเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ทำให้เกิดการชาร์จประจุเข้าไปในวงจร C ทำให้ได้รูปคลื่นแรงดันขาออกซึ่งเท่ากับเป็นการอินทิเกรตสัญญาณอินพุต

สมมติว่ามีแรงดัน E_i ป้อนเข้าทางอินพุต จะเกิดมีกระแส i ซึ่งมีค่า E_i/R ไหลผ่าน R เข้าไปในวง กระแสนี้จะไม่ไหลเข้าออปแอมป์ เพราะออปแอมป์มีความต้านทานขาเข้าสูง แต่จะไหลผ่านไปชาร์จตัวเก็บประจุ C ทั้งหมดเป็นผลให้แรงดันคร่อม C สูงขึ้นเรื่อยๆขั้วลบของออปแอมป์มีศักย์ไฟฟ้า



รูปที่ 3.21 ทำงานของวงจรอินทิเกรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีที่เป็นวงจร A/D แบบสโลปคู่นี้มีด้วยกันหลายเบอร์ และผลิตกันหลายบริษัท เช่น เบอร์ ICL7106 ของบริษัทอินเตอร์ซิล (Intersil) เบอร์ MC14433 ของบริษัทโมโตโลรา เป็นต้น บางเบอร์ก็ใช้ไอซีเพียงตัวเดียว บางเบอร์ก็ต้องใช้ไอซี 2-3 ตัวต่อเป็นชุด ปกติมักใช้อุปกรณ์ภายนอก เช่น R C ต่อเพิ่มอีกเพียงเล็กน้อยก็สามารถใช้งานได้ดี

วิธีการอ่านคู่มือของไอซี ซีมอส

ถ้าเราหยิบคู่มือไอซี ซีมอส ขึ้นมาดู จะเห็นข้อมูลของไอซีแต่ละเบอร์เขียนแยกกันเป็นบท ๆ ข้อมูลของไอซีแต่ละเบอร์ นอกจากจะมีเรื่องรายละเอียดของขา ซึ่งเรามักจะดูก่อนเพื่อให้รู้ว่าไอซีตัวนี้มีกี่ขาแต่ละขามีชื่อว่าอะไร และใช้งานอย่างไรแล้วยังมีข้อมูลที่สำคัญอีกสามส่วนคือ ค่าพิกัดสูงสุด ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า และลักษณะสมบัติทางสวิตชิง

ค่าพิกัดสูงสุด

ลองดูตารางที่ 3.6 ในคู่มือไอซีทุกเบอร์จะต้องให้ตารางแสดงค่าพิกัดสูงสุด (maximum rating) ของไอซีไว้ การใช้งานไอซีให้ปลอดภัยจะต้องใช้ไอซีไม่ให้ได้รับแรงดันมากเกินพิกัดที่กำหนดไว้ ตารางที่ 3.6 เป็นตัวอย่างของพิกัดสูงสุดของ CMOS เบอร์หนึ่งของบริษัทหนึ่งเท่านั้น

ตารางที่ 3.6 พิกัดสูงสุดของไอซี CMOS

หัวข้อ	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
แหล่งจ่ายไฟตรง	V_{DD}	-0.5 ถึง +18	V_{dc}
แรงดันขาเข้า	V_{in}	-0.5 ถึง V_{DD} +0.5	V_{dc}
กระแสสูงสุด	I	10	mA_{dc}
อุณหภูมิใช้งาน*	T_A	-55 ถึง +125	^oC
อุณหภูมิเก็บรักษา	T_{sig}	-40 ถึง +85	^oC

ช่วงแรงดันที่แนะนำ

แรงดันแหล่งจ่ายไฟ	V_{DD}	+30 ถึง +15	V_{dc}

*ตัวถัง AL และ CL เป็นแบบเซรามิก CP เป็นแบบพลาสติก

(จากคู่มือของโมโตโรลา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันขาออก	V_{out}	$0 \le V_{out} \le V_{DD}$ V	V

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างของตารางพิกัดสูงสุดของไอซี CMOS

หัวข้อ	สัญลักษณ์	พิกัด	หน่วย
อุณหภูมิเก็บรักษา	T_{stg}	-55 ~ 125	°C
อุณหภูมิใช้งาน	T_{opr}	-30 ~ 85	°C
อุณหภูมิที่ขาและเวลา*	T_{solder}	260°C 10 S	°C
พลังงานสูญเสีย	P_{D}	300	mW
แรงดันแหล่งจ่ายไฟ	V_{DD}	0 ~ 18	V
แรงดันขาเข้า	V_{in}	$-0.3 \leq V_{in} \leq V_{DD}+0.3$	V
แรงดันขาออก	V_{out}	$0 \leq V_{out} \leq V_{DD}$ V	V

*วัดจากตัวถัง 1.6 + 0.1 มม. (จากคู่มือโตชิบา)

แหล่งจ่ายไฟตรง

แหล่งจ่ายไฟตรง (DC supply voltage) ที่ป้อนเข้าที่ระหว่างขา V_{DD} และขา V_{ss} นั้น จะต้องมีค่าอยู่ในระหว่างพิกัดที่กำหนดให้ ตามตารางที่ 3.6 จะเห็นว่าแรงดันแรงจ่ายไฟไม่ควรสูงเกิน 18 โวลต์ นอกจากนั้นถ้ามีการป้อนแรงดันผิดขั้ว ไม่ควรป้อนแรงดันเข้าขั้วแหล่งจ่ายไฟต่ำกว่า -0.5 โวลต์ แรงดัน แหล่งจ่ายไฟที่บริษัทแนะนำจะอยู่ในช่วง +3.0 ถึง 15 โวลต์เท่านั้นตามตารางที่ 3.7

แรงดันขาเข้าที่ขาต่าง ๆ

เป็นค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่จะป้อนเข้าขาอินพุตใดขาหนึ่งของไอซีระดับแรงดันต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด คือ ไม่เกิน V_{DD} + 0.5 โวลต์ และไม่ต่ำกว่า -0.5 โวลต์ เช่นใช้ V_{DD} = 12 โวลต์ ก็ไม่ควรป้อนแรงดันเกิน 12.5 โวลต์หรือต่ำกว่า - 0.5 โวลต์ เป็นต้น

กระแสสูงสุด

ค่านี้เป็นค่าที่บอกว่ากระแสสูงสุดที่จะจ่ายเข้าหรือจ่ายออกตลอดเวลาจากขาของไอซีต้องไม่เกิน 10 มิลลิแอมป์ ค่านี้ไม่ได้หมายถึงการจ่ายกระแสขนาดนี้ทุก ๆ ขาของไอซีในเวลาเดียวกัน เป็นค่าบอกเฉพาะขาใดขาหนึ่งเท่านั้นซึ่งแหล่งจ่ายไฟก็รวมอยู่ด้วย ปกติค่ากระแสนี้จะสูงขึ้นถ้าเป็นไอซีที่เป็นบัฟเฟอร์หรือตัวขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิใช้งานและอุณหภูมิเก็บรักษา

ในขณะใช้งานไอซีไม่ควรใช้งานในภาวะที่ร้อนผิดปกติ ไอซีจะแบ่งออกเป็น 2 เกรด สำหรับใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เช่น เกรด AL ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ -55 C ถึง + 125 C ส่วนเกรด CL/CP ซึ่งตัวถังเป็นพลาสติกจะใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40 C ถึง +85 C CMOS จะมีช่วงอุณหภูมิใช้งานได้กว้างและสูงกว่า TTL

ส่วนอุณหภูมิการเก็บรักษานั้นหมายถึง ถ้าเราเก็บไอซีไว้เฉย ๆ ยังไม่ได้นำออกมาต่อวงจร ก็ได้ควรเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงเกินไป ช่วงอุณหภูมิเก็บรักษาดูจากตารางจะได้ -65 C ถึง +150C

ช่วงแรงดันใช้งานที่แนะนำ

แม้บริษัทผู้ผลิตจะโฆษณาพิกัดสูงสุดให้แล้วก็ตาม แต่เพื่อให้ใช้งานไอซีได้อย่างปลอดภัยไร้ปัญหา มักจะแนะนำแรงดันที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานมาให้

ต่อไปลองดูในตารางที่ 3.7 จะเห็นว่าเป็นตารางแสดงพิกัดสูงสุดเหมือนกัน แต่มาจากคู่มือของบริษัทผู้ผลิตคนละรายหนึ่ง วิธีการเขียน การตั้งชื่อ และสัญลักษณ์จึงแตกต่างกันไป เช่น อุณหภูมิใช้งานเปลี่ยนจาก T_A เป็น T_{OP}

อุณหภูมิที่ขาและเวลา (lead temperature time) หมายถึง อุณหภูมิในขณะบัดกรีที่ขาไอซีนั้น ถ้าไม่เกิน 260 C สามารถบัดกรีได้นาน 10 นาที โดยไม่เป็นอันตรายต่อไอซี พลังงานสูญเสียหรือ PD (power dissipotion) จะมีความหมายคล้ายคลึงกับกระแสสูงสุดในตารางที่ 3.6 คือ ผลคูณของแรงดันแหล่งจ่ายไฟกับกระแสที่จ่ายให้ไอซีจะต้องไม่เกิน 300 มิลลิวัตต์

แรงดันแหล่งจ่ายไฟ V_{DD} มีความหมายเหมือนในตารางที่ 3.6 สำหรับแรงดันสัญญาณเข้า V_{IN} นั้น ที่ต่ำ + 0.3 โวลต์ ต่ำกว่าในตารางที่ 3.6 เล็กน้อย แรงดันขาออก V_{OUT} นั้นจะไม่เกินค่าแรงดันแหล่งจ่ายไฟ

ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า

ต่อไปจะอธิบายถึงลักษณะสมบัติของขาอินพุตและเอาต์พุตของไอซีลองดูค่าต่าง ๆ ในตารางที่ 3.8 ซึ่งเป็นตัวอย่างลักษณะสมบัติของไอซี CMOS ทั่วไป

ระดับแรงดันขาออก (V_{OL} และ V_{OH})

เมื่อสัญญาณออกเป็น 0 ระดับแรงดันเรียกว่า V_{OL} และเมื่อสัญญาณออกเป็น 1 ระดับแรงดันเรียกว่า V_{OH} เงื่อนไขของแรงดันขาเข้า V_{IN} ในขณะนั้นอาจจะเป็น V_{DD} หรือ 0 โวลต์ แล้วแต่ว่าเป็นเกตอะไร V_{OL} และ V_{OH} ยังขึ้นอยู่กับแรงดันแหล่งจ่ายไฟ V_{DD} ด้วย เช่น จากตารางที่ 3.8 ถ้า V_{DD} = 5 โวลต์ V_{OL} จะมีค่าต่ำกว่า 0.05 โวลต์ และ V_{OH} จะมีค่าสูงกว่า 4.95 โวลต์ การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านตารางตรงนี้จะต้องเข้าใจอย่างหนึ่งก็คือเมื่อนไข $V_{in} = V_{DD}$ หรือ 0 โวลต์ แสดงว่าในขณะนั้นสัญญาณเข้าป้อนเข้ามาอย่างเต็มที่ ถ้าเราป้อน $V_{in} = 4$ โวลต์ซึ่งหมายถึง "1" เหมือนกัน แต่อาจจะไม่ได้ V_{OL} ต่ำกว่า 0.05 โวลต์ และ V_{OH} สูงกว่า 4.95 โวลต์ก็ได้

ระดับแรงดันสัญญาณเข้า (V_{IL} และ V_{IH})

ระดับแรงดันที่ไอซียอมรับว่าเป็นสัญญาณ "0" เรียกว่า V_{IL} และระดับแรงดันของสัญญาณ "1" เรียกว่า V_{IH} ในตารางที่ 3.8 จะแสดงว่าระดับแรงดันอินพุตที่จะทำให้เอาต์พุตให้ "0" หรือ "1" แน่ ๆ ตามชนิดของเกต ตัวอย่างเช่น เกต NAND ใช้ $V_{DD} = 5$ โวลต์ เพื่อให้ได้เอาต์พุตเป็น "1" ซึ่งมีระดับแรงดัน 4.5 โวลต์ จะต้องป้อนสัญญาณ "0" ซึ่งมีระดับแรงดันสูงสุดไม่เกิน 1.5 โวลต์ หรือค่าทั่วไปไม่เกิน 2.25 โวลต์เป็นใช้ได้ และเพื่อให้เอาต์พุตของเกต NAND เป็น "0" ซึ่งมีระดับ 0.5 โวลต์ จะต้องป้อนสัญญาณ "1" เข้าทางอินพุตสัญญาณ "1" จะต้องมีระดับแรงดันสูงกว่า 3.5 โวลต์ หรืออย่างน้อยต้องสูงกว่าค่าทั่วไป 2.75 โวลต์ จากตารางนี้ ถ้าเราใช้ค่าทั่วไป แสดงว่า CMOS สามารถใช้กับระดับแรงดันของสัญญาณ "0" เท่ากับ 0 ถึง 2.25 โวลต์ และ "1" เท่ากับ 2.75 ถึง 5 โวลต์ แสดงว่า CMOS เป็นไอซีที่สามารถใช้งานในระดับแรงดันที่กว้างมาก

กระแสขาออก (I_{OH} และ I_{OL})

ในตารางที่ 3.8 แยกให้ตัวเลขระหว่างตัวถังแบบ AL และแบบ CL/CP จากกัน เพราะตัวถังทั้งสองแบบนี้มีการระบายความร้อนที่แตกต่างกัน จึงมีตัวเลขแตกต่างกันเล็กน้อย จะขออธิบายเฉพาะตัวถัง AL เท่านั้น

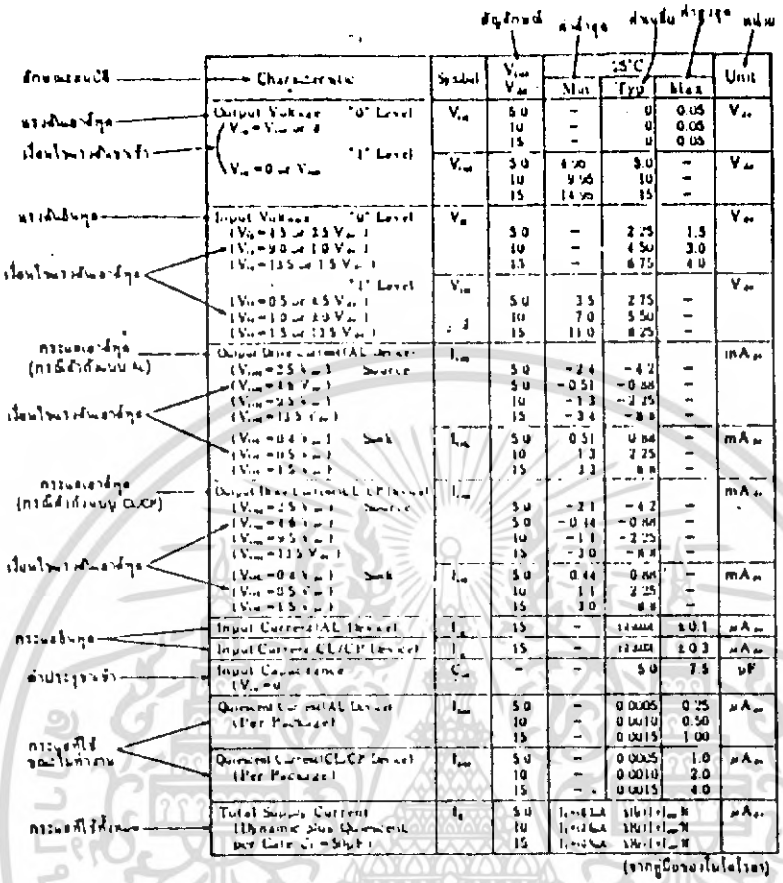
เมื่อขาเอาต์พุตให้สัญญาณออกเป็น "1" จะมีกระแสจ่ายออกเรียกว่า I_{OH} (source current) และถ้าสัญญาณออกเป็น "0" จะรับกระแสเข้ามาเรียกว่า I_{OL} (sink current) ทิศทางของกระแสทั้งสองนี้จะตรงข้ามกัน จากตารางจะเห็นว่า กระแสจ่ายออกจะมีค่าเป็นลบ

กรณี $V_{DD} = 5$ โวลต์ เมื่อเอาต์พุตเป็น "1" แรงดัน V_{OH} จะมีขนาดลดลงถ้าจ่าย I_{OH} ออกไปมาก ๆ ในตารางที่ 3.8 ได้ให้ข้อมูลกระแส I_{OH} ที่ $V_{OH} = 2.5$ โวลต์และ 4.6 โวลต์ สรุปได้ว่าถ้ายอมให้ V_{OH} ตกต่ำเหลือ 2.5 โวลต์ ก็สามารถจ่ายกระแสจายขาเอาต์พุตออกไปได้อย่างน้อย 2.4 มิลลิแอมป์หรือค่าเฉลี่ย 4.2 มิลลิแอมป์ถ้าให้ V_{OH} ตกลงเล็กน้อยเหลือ 4.6 โวลต์ก็สามารถจ่ายกระแสได้ 0.51 มิลลิแอมป์หรือค่าเฉลี่ย 0.88 มิลลิแอมป์

สำหรับกระแสไหลเข้า I_{OL} นั้น ยิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ V_{OL} สูงขึ้น ปกติ V_{OL} จะมีค่าประมาณ 0 โวลต์ ถ้ารับกระแส I_{OL} เข้ามา V_{OL} จะสูงขึ้น จากตารางที่ 12.3 ถ้าให้ $V_{OL} = 0.4$ โวลต์ จะสามารถรับกระแสได้อย่างน้อย 0.51 มิลลิแอมป์ หรือค่าเฉลี่ย 0.88 มิลลิแอมป์ จะเห็นว่ากระแสไหลเข้ามีค่าใกล้เคียงกับกระแสจ่ายออกที่ทำให้ $V_{OH} = 4.6$ โวลต์ ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป 0.4 โวลต์เท่ากับแสดงว่า CMOS มีคุณสมบัติทางด้านกระแสเข้าออกสมมาตรกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ลักษณะสมบัติทางไฟของไอซี CMOS



กระแสอินพุต (IIn)

จากตารางที่ 3.8 จะเห็นว่ากระแสเกือบจะไม่ไหลเข้าเกต CMOS เลย เมื่อ VDD = 15 โวลต์ มีกระแสไหลเข้าสูงสุดเพียง 0.3 ไมโครแอมป์ หรือค่าเฉลี่ยเพียง 10 พิโคแอมป์เท่านั้น

ค่าเก็บประจุขาเข้า (CIn)

ระหว่างขาอินพุตกับกราวนด์จะมีค่าเก็บประจุอยู่ เป็นคุณสมบัติของเกต CMOS เอง เมื่อต่อเกตขนานกันหลายตัว ค่าเก็บประจุนี้จะเพิ่มขึ้นเหมือนการต่อตัวเก็บประจุขนานกัน จะมีผลทำให้ความเร็วในการส่งผ่านสัญญาณช้าลงไป ค่าเก็บประจุของขั้วเข้าของเกต CMOS จะมีค่า 5 พิโคฟารัดต่อขั้วเข้าหนึ่งขั้ว

กระแสที่ใช้ขณะไม่ทำงาน (IDD)และกระแสที่ใช้ทั้งหมด (IT)

ถ้าสัญญาณที่อินพุตและเอาต์พุตไม่เปลี่ยนแปลง กระแสที่จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟ VDD มาที่ไอซีเรียกว่า IDD ปกติมีค่าสูงสุดไม่เกิน 4 ไมโครแอมป์ซึ่งเป็นค่าน้อยมาก แสดงว่า CMOS กินไฟน้อย แต่ถ้าป้อนสัญญาณพัลส์เข้าที่เกต CMOS ทำให้อินพุตและเอาต์พุตเป็น "0" และ "1" สลับกันตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มการสวิตชิงลงนี้ CMOS จะกินไฟมากขึ้น กระแสที่ใช้นั้นนอกจาก I_{DD} แล้วยังขึ้นกับความถี่ของการสวิตช์ด้วย จากตารางจะเห็นว่า เมื่อ V_{DD} = 5 โวลต์ป้อนพัลส์ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์เข้าไป จะทำให้เกต CMOS แต่ละเกตกินกระแสถึง 0.3 ไมโครแอมป์และจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าความถี่สูงขึ้น ตามสูตรดังนี้

$$I_T = 0.3\mu A \times f(kHz) + I_{DD} \times N$$

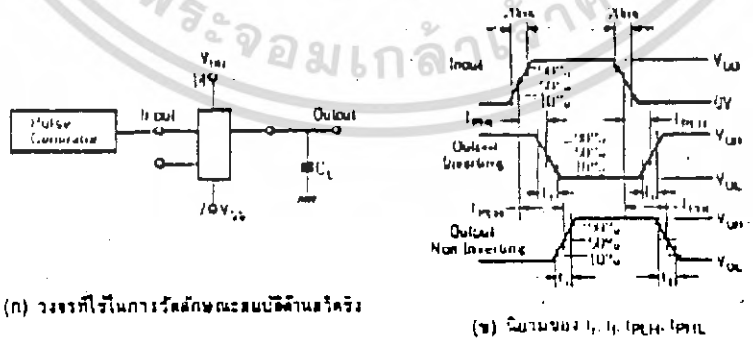
I_T นี้จะเป็นกระแสที่ใช้ในขณะสวิตชิงแต่ละเกต (N= จำนวนเกต) เช่น ความถี่ 1 เมกกะเฮิรตซ์ แต่ละเกตจะกินกระแสถึง 0.3 มิลลิแอมป์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับไอซี TTL ชนิด 74lsxx แสดงว่า CMOS ไม่ได้กินไฟน้อยตามที่กล่าวกัน

ลักษณะสมบัติด้านสวิตชิง

เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์เข้าในวงจรดิจิตอลนั้น ไอซีต่าง ๆ จะให้สัญญาณ 0, 1 สลับกัน เรียกว่า เป็นการสวิตชิง (switching) ถ้าความถี่ของสัญญาณพัลส์ต่ำก็ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องเวลาขาขึ้น (rise time)และเวลาขาลง (fall time) ซึ่งจะทำให้การถ่ายทอดสัญญาณพัลส์ช้าไป แต่ถ้าความถี่ของพัลส์สูงขึ้น ปัญหาเหล่านี้จะเป็นปัญหาสำคัญ เราจะต้องเข้าใจลักษณะสมบัติด้านสวิตชิงของไอซีเหล่านี้ วงจรที่ใช้พัลส์ความถี่สูง ได้แก่ วงจรการเขียนและอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ เป็นต้น

ลักษณะสมบัติด้านสวิตชิงจะขึ้นอยู่กับวิธีการในการวัด เราจะต้องรู้ว่าผู้ผลิตวัดค่าต่าง ๆ โดยการทดสอบด้วยวงจรเช่นไร ปกติในคู่มือจะให้วงจรทดสอบมาด้วย ตารางที่ 3.9 เป็นตัวอย่างลักษณะสมบัติด้านสวิตชิงและรูปที่ 3.6 เป็นรูปวงจรที่ใช้ในการวัด

ในรูปที่ 3.23 ยังมีรูปแสดงความหมายของช่วงเวลา t_r t_f t_{PLH} และ t_{PHL} ของสัญญาณพัลส์เอาต์พุตให้ด้วย โดยสัญญาณอินพุตเป็นพัลส์ที่มีเวลาขาขึ้น (t_r) และเวลาขาลง (t_f) เท่ากับ 20 นาโนวินาที



(ก) วงจรที่ใช้ในการวัดลักษณะสมบัติด้านสวิตชิง (ข) นิยามของ t_r, t_f, t_{PLH}, t_{PHL}

รูปที่ 3.23 วงจรที่ใช้วัดและนิยามของลักษณะสมบัติทางสวิตชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ลักษณะสมบัติด้านสวิตชิงของ CMOS

ลักษณะสมบัติ	สัญลักษณ์	V_{DD} V_{DC}	Min	All Types Typ	Max	หน่วย
เวลาขาขึ้น	t_r					ns
$t_r = (1.35ns/pF)\ C_L + 33ns$		5.0		100	200	
$t_r = (0.60ns/pF)\ C_L + 20ns$		10		50	100	
$t_r = (0.40ns/pF)\ C_L + 20ns$		15		40	80	
เวลาขาลง	t_f					ns
$t_f = (1.35ns/pF)\ C_L + 33ns$		5.0		100	200	
$t_f = (0.60ns/pF)\ C_L + 20ns$		10		50	100	
$t_f = (0.40ns/pF)\ C_L + 20ns$		15		40	80	
เวลาหวานหน่วงในการถ่ายทอดสัญญาณ กรณีของ MC14001B, MC14011B	t_{PLH}, t_{PHL}					ns
$t_{PLH}, t_{PHL} = (0.90ns/pF)\ C_L + 80ns$		5.0		125	250	
$t_{PLH}, t_{PHL} = (0.36ns/pF)\ C_L + 32ns$		10		50	100	
$t_{PLH}, t_{PHL} = (0.26ns/pF)\ C_L + 27ns$		15		40	80	
เกตที่มี 2,3,4 อินพุต						
$t_{PLH}, t_{PHL} = (0.90ns/pF)\ C_L + 115ns$		5.0		160	320	
$t_{PLH}, t_{PHL} = (0.36ns/pF)\ C_L + 47ns$		10		65	130	
$t_{PLH}, t_{PHL} = (0.26ns/pF)\ C_L + 37ns$		15		50	100	
กรณี 8 อินพุต						
$t_{PLH}, t_{PHL} = (0.90ns/pF)\ C_L + 115ns$		5.0		200	400	
$t_{PLH}, t_{PHL} = (0.36ns/pF)\ C_L + 82ns$		10		80	160	
$t_{PLH}, t_{PHL} = (0.26ns/pF)\ C_L + 47ns$		15		60	120	

เวลาขาขึ้น

เมื่อป้อนพัลส์เกตทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนจาก 0 โวลต์เป็น V_{DD} นั้น ช่วงเวลาที่ใช้จาก 20 เปอร์เซ็นต์ของ V_{DD} จนถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของ V_{DD} เราเรียกว่าเวลาขาขึ้นมีอักษรย่อคือ t_r จากตารางที่ 3.9 จะเห็นว่าถ้าป้อนพัลส์ที่มีเวลาขาขึ้น 20 นาโนวินาที ผ่านเกต CMOS จะได้สัญญาณพัลส์เอาต์พุตที่มี t_r ต่ำสุดตั้งแต่ 40 นาโนวินาที จนกระทั่งถึงสูงสุด 200 นาโนวินาที แสดงว่า CMOS ทำงานได้ไม่เร็วนัก

เวลาขาลง

มีความหมายตรงข้ามกับ t_r เป็น กรณีที่พัลส์เปลี่ยนจาก V_{DD} เป็น 0 โวลต์ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแรงดันจาก 90 เปอร์เซ็นต์ของ V_{DD} มาเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของ V_{DD} จะใช้เวลา t_f จากตารางจะเห็นว่า t_f มีค่าใกล้เคียงกับ t_r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาหน่วงในการส่งทอดสัญญาณ

ให้ดูความหมายของเวลาหน่วงในการส่งทอดสัญญาณจากรูปที่ 3.23 เวลาหน่วงมี 2 ค่า คือ t_{PLH} กับ t_{PHL} t_{PLH} คือเวลาหน่วงทางด้านขาขึ้นของพัลส์เอาต์พุต โดยวัดจากจุดกึ่งกลาง (50 เปอร์เซ็นต์ของ V_{DD}) ของพัลส์ขาเข้าถึงพัลส์ขาออก ส่วน t_{PHL} คือ เวลาหน่วงทางด้านขาลงของพัลส์เอาต์พุตโดยวัดที่จุดกึ่งกลางเช่นเดียวกัน จากตารางจะเห็นว่าค่าทั้งสองมีค่าเท่ากันแต่เวลาหน่วงจะขึ้นอยู่กับแรงดันแหล่งจ่ายไฟและจำนวนอินพุตของเกต แหล่งจ่ายไฟยิ่งต่ำยิ่งให้เวลาหน่วงมีค่ามากขึ้น และถ้าจำนวนอินพุตมากขึ้น เวลาหน่วงก็มากขึ้นด้วย

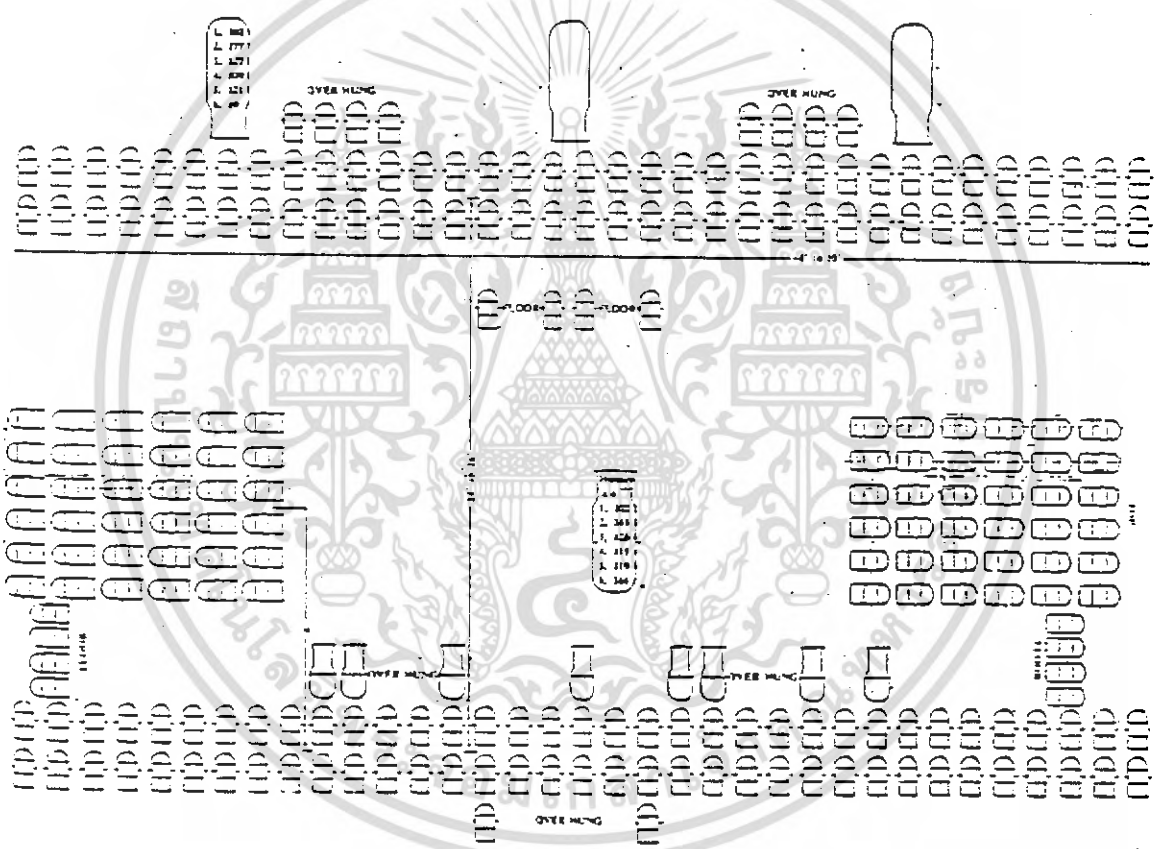
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การจัดระบบแสง

ไฟโชว์ในยุคปัจจุบันกลายเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งยวด เทคโนโลยีทางด้านแสงกลายเป็นเทคโนโลยีเพิ่มความสลับซับซ้อนมากขึ้น และสำหรับไฟโชว์ระดับมืออาชีพแล้วต้องมองผ่านบรรดาไฟวิ่งหรือเครื่องหรี่ไฟบ้านหม้อแม้กระทั่งหลอดไฟที่นำออกมาใช้คนทั่วไปมักรู้จักแต่หลอดที่เรียกว่า สปือตไลต์ (par38)เพียงอย่างเดียว

คำถามง่ายว่าคุณมีไฟวิ่งหรือมีเครื่องหรี่ไฟขนาดเป็น 1000 Kw โดยใช้ระบบเฟส คอนโทรลเลอร์คุณจะทำอย่างไรจึงจะไม่มีปัญหา RFI ตามเข้าไปกวนระบบเสียงระบบทีวี หรือเครื่องคอมพิวเตอร์เลย คุณรู้หรือเปล่าว่ามืออาชีพเขาใช้วิธีใดในการกำจัดตามมาตรฐานป้องกัน



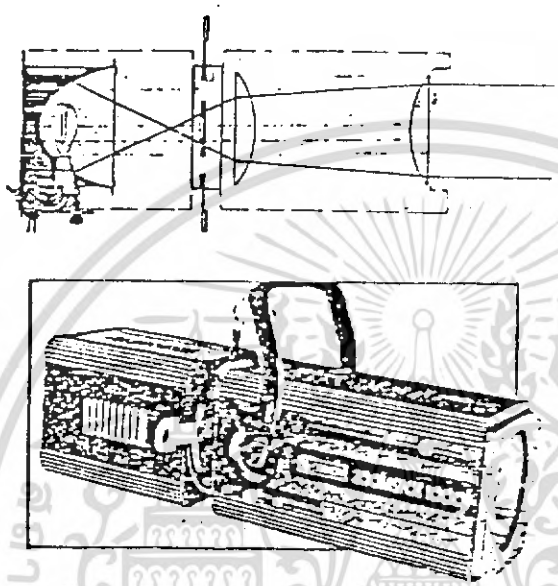
รูปที่ 4.1 ภาพไดอะแกรมของโลมไฟ

จากไดอะแกรมอันนี้เราจะพบว่ามีหลอดไฟหลัก ๆ อยู่บนสเตจ 4-5 ชนิดห้วยกันแยกออกมากล่าวเป็นชนิด ๆ เพื่อความสะดวกในการอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Par 64 Medium Flood (M) ขนาด 1000 วัตต์ต่อโคม เป็นหลอดขนาด 110 โวลต์ อุณหภูมิแสงประมาณ 3200K อายุการใช้งานประมาณ 300 ชั่วโมง ลักษณะของแสงที่ออกมาจะกระจายแต่ก็ไม่ถึงกับบานมากนัก หลอดประเภทนี้เหมาะสำหรับการทำไฟหน้า เพื่อให้สำแสงที่กระจายลงมาสามารถเคลียร์อยู่บนใบหน้านักร้องนักดนตรีโดยที่ยังให้สีสันไม่เยอะแต่อย่างใด

2. Par 64 Very Narrow (VN) คล้ายกับหลอด Par 64 Medium Flood เพียงแต่ลักษณะสำแสงจะบีบแคบลงมา



รูปที่ 4.2 ไปรไฟล์ชุมสปีอต 1000วัตต์

3. Par 46 Narrow Spot (N) รายละเอียดคล้ายกันเหมือนกันกับ Par 64 Meidum Flood แต่ให้สำแสงที่แคบกว่า Medium Flood Very Narrow

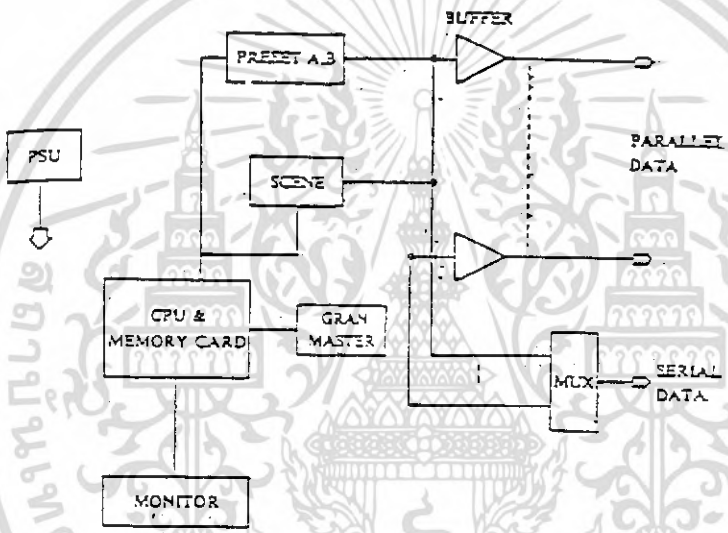
4. Par 46 Aircrast Landing (ACL) หลอดพวกนี้เป็นชนิดพิเศษโดยมีกำลังส่องสว่าง 250 วัตต์ที่ 28 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ หลอดพวกนี้จะให้ความเข้มของสำแสงสูงมากเพราะมีระบบการบีบสำแสงให้แคบเป็นสายเป็นเส้นออกมาที่เดียวอายุการใช้งานของหลอดพวกนี้ประมาณ 200 ชั่วโมง ปกติหลอดพวกนี้ผลิตออกมาเพื่อใช้เป็นไฟนำร่องเครื่องบิน ดังนั้นจึงต้องทำให้ความเข้มและการบีบสูง

5. Profile Medium Angle 16-20 (Zoom Spot 1000) โคมละ 100 วัตต์ที่ 220 โวลต์ หลอดที่ใช้ที่เป็นแบบ T 11 และ CP 24 อายุการใช้งานประมาณ 25000 ลูเมนส์ คุณสมบัติพิเศษของหลอดแบบโปรไฟล์ คือสามารถปรับความชัดลึก ได้ด้วยเลนส์ 2 ตัว และบังชัดเตอร์ประกอบอีก 4 ตัว เพื่อปรับสำแสดงตามที่ต้องการอีกโสดหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของบอร์ดควบคุมไฟ ระบบโดยส่วนใหญ่ มักใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0 ถึง 10 โวลต์ เป็นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมการหรี่ไฟที่ออกมาจากบอร์ด (ซึ่งอันนี้ถือเป็นมาตรฐานสากลโดยทั่วไป) โดยที่ 0 โวลต์ ดีซี เท่ากับความสว่างของหลอดเป็น 0 %และ เราเพิ่มระดับแรงดันขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 10 โวลต์ความสว่างของหลอดจะเท่ากับ 100 % เพื่อความเข้าใจระบบภายในของระบบควบคุมไฟมากขึ้น สามารถเขียนเป็นไดอะแกรมได้

ความลี้ลับของ คอนโทรลบอร์ดเมื่อเราเอาวางไว้ตรงนี้ คงจะพอทำให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น การทำงานย่อ ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้ จากไดอะแกรมเราพอจะพบว่ามีเอาต์พุตอยู่ 2 ชุด ซึ่งการส่งข้อมูลจะออกมาเป็นขนานและแบบอนุกรมหัวใจของการทำงานต้องอยู่ที่ตัวซีพียู หรือเรียกว่าตัวแบบ Manual ได้ เพราะในส่วนของปรีเซ็ตและการซีนอยู่ในตัวแล้ว



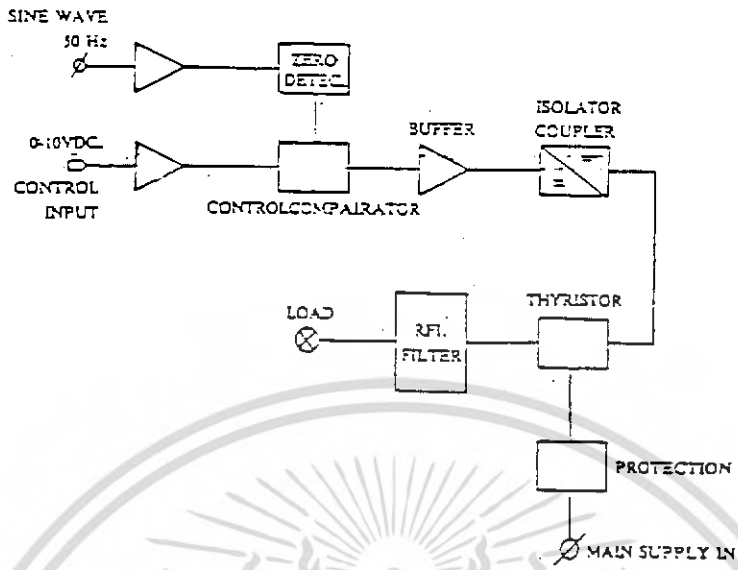
รูปที่ 4.5 บล็อกไดอะแกรมของโกบอร์ด

หากว่าเราส่งข้อมูลจากคอลโทรลบอร์ดเป็นแบบอนุกรม เราต้องเอาไปทำการมัลติเพล็กซ์อีกที แต่ถ้าส่งข้อมูลแบบขนานจะต้องมีสายจำนวนมาก เสร็จแล้วต้องเอาข้อมูลที่ได้มาเลือกเข้าแชนแนลของเพาเวอร์ดิมเมอร์ การเลือกแชนแนลนี้เลือกว่าการแพคซึ่ง การแพคซึ่งมี 2 วิธีคือ อิเลคทรอนิคแพคซึ่งกับแมนวลแพคซึ่ง ซึ่งแยกออกไปเป็นวิธีแพคโหลด กับวิธีการแพคคอลโทรล

คอนเสิร์ตครั้งนี้ใช้เพาเวอร์ดิมเมอร์ถึง 144 แชนแนล ซึ่งเป็นเพาเวอร์ดิมเมอร์แชนแนลละ 4 กิโลวัตต์รวมทั้งหมดแล้วเท่ากับ 576 กิโลวัตต์ โดยใช้เสตงรอบละประมาณ 4 ชั่วโมงพลังงานนี้เท่ากับอำเภอเล็ก ๆ ในภาคอีสาน

การดิมเมอร์ไฟใช้วิธีการเลือกว่าเฟสคอนโทรลเลอร์เป็นระบบที่ใช้กับงานบันเทิงโดยทั่วไปซึ่งระบบเฟสคอลโทรลนี้แล้วแต่จะออกแบบเป็น log law หรือ square law

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องหรี่ไฟ

จากบล็อกไดอะแกรมสัญญาณรูปไซน์ 50 Hz จะถูกนำมาเช็คจุดซีโรซึ่งเป็นการเริ่มต้นที่ 0 โวลต์ คือ การกระตุ้นการทำงาน 220 sin 0 และ 220 sin 180 เพื่อนำมาสร้างพื้นฐานใหม่ เช่น รูปแรมป์ (ramp)หรือ 1+cos หรือนำมาเป็นค่าเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ใช้อยู่ในช่วง 0-1 vdc เพื่อหามุมในการหริกไทริสเตอร์ วงจรไอโซเลตจะทำหน้าที่ในการแยกแรงดันไฟสูงกับระบบควบคุมให้แยกออกจากกันซึ่งอาจใช้พัลส์ ทรานฟอร์มเมอร์ หรือไอซีประกอบออฟโตไอโซเลเตอร์ก็ได้ ส่วนไทรริสเตอร์ที่ใช้อาจเป็น ไตรแอค หรือว่าเอสซีอาร์ก็แล้วแต่การออกแบบแต่สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ความสำคัญระหว่างภาคโปรเทคชั่น และอุปกรณ์ไทรริสเตอร์

ส่วนที่กล่าวกันขาดเสียไม่ได้คือภาค RFI filter ซึ่งตามมาตรฐาน Be 800 หรือ VDE 0875 หรือ BBC TV Test แล้วช่วงของ linear risetime ต้องไม่ต่ำกว่า 250 ที่โหลด 2 กิโลวัตต์ มิฉะนั้นเครื่องหรี่ ๆ ไฟชนิดนั้น ๆ จะแผ่กระจาย RFI ไปรบกวนอิเล็กทรอนิกส์รอบข้างได้

เพาเวอร์ดิมเมอร์ ที่ใช้บีนยี่ห้อของ วิชวลคราฟท์ (Visual craft) ฝีมือคนไทยที่ได้มาตรฐานสากล และดิมเมอร์ชุดนี้ได้การยอมรับจากไลติ้ง เอ็นจิเนียร์ของวงคนตรีต่าง ๆ ว่าประสิทธิภาพได้มาตรฐานบีบีซี เพราะหากว่าใน 144 แชนแนลเกิดมีปัญหา RFI ขึ้นแม้แต่แชนแนลเดียวอะไรจะตามมา เห็นจะต้องปรบมือให้กับผลิตภัณฑ์ เมด อิน ไทยแลนด์ที่ได้รับการยอมรับในสายวิศวกรต่างประเทศอย่าง "วิชวลคราฟท์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดไฟ

เมื่อกล่าวถึงหลอดไฟที่ใช้สำหรับงานบันเทิงต่าง ๆ หรืออื่น ๆ แม้แต่คนที่ศึกษามาทางไฟฟ้าก็ยังก็จะรู้จักคำว่า สปีอตไลต์ (Spotlight lamp) หรือ PAR 38

บทความต่อไปนี้เป็นเรื่องของการปูพื้นกันเทคโนโลยีที่เอามาใช้ในวงการบันเทิง หลักการเบื้องต้นของหลอด อินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp) เป็นหลอดไฟที่ใช้หลอดมากที่สุดในวงการบันเทิง

กระแสไฟฟ้ากับผลงานของความร้อน

เมื่อจ่ายกระแสไฟผ่านเข้าไปในสายไฟ จะต้องเกิดความร้อนขึ้นมาไม่มากก็น้อยตามหลักที่เกิดขึ้นเล็กน้อยจะมีผลอย่างมากต่อกระแสไฟฟ้าเท่าความต้านทานของเส้นลวดตัวนำนั้นสูงพอผลของมันนั้นสามารถมองเห็นได้ หลักการนี้เป็นหลักการเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไส้หลอดของหลอดไฟแบบอินแคนเดสเซนต์

เช่นเดียวกันอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กมาก วิธีการนี้ ซึ่งเมื่อเราจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นลวดตัวนำทำให้เกิดความร้อนขึ้นความร้อนนั้นจะไปทำให้เส้นลวดเกิดความต้านทานขึ้น ผลของการนี้ทำให้เกิดสิ่งใหม่ของการนำกระแส จุดที่ว่าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่ทำให้กระแสไหลมากไปกว่านี้ได้นอกจากว่าแรงดันไฟฟ้าจะสูงขึ้นเท่านั้น ผลของการนี้ทำให้เกิดสิ่งใหม่ของการนำกระแส จุดที่ว่าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่ทำให้กระแสไหลมากไปกว่านี้ได้นอกจากว่าแรงดันไฟฟ้าจะสูงขึ้นเท่านั้นไม่สามารถเอาหลอดฟลูออเรสเซนต์มาเทียบได้เพราะหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่ได้เป็นหลอดไส้ แต่เป็นหลอดที่มีการทำงานแบบ Run away with itself

การปรับปรุงแต่งในหลอด

จากหลักการเบื้องต้นที่กล่าวมาไส้หลอดที่ดูดจุดสว่างมิได้เปล่งแสงออกมาตามธรรมชาติ เพราะเมื่อแรงดันที่กระแสมากขึ้น มันจะหลอมละลายไปก่อนที่จะมีความสุกใสของกระแสสว่างพอแก่ความต้องการของเรา ดังนั้นอินแคนเดสเซนต์จึงมีหลักการอยู่อย่างหนึ่งว่า ไส้หลอดจะได้รับการบรรจุไว้ในหลอดแก้วที่ดูดอากาศเพราะ การที่เราให้ไส้หลอดติด ในบรรยากาศทั่วไป ก๊าซออกซิเจนจะทำให้ไส้หลอดสุกไหม้ ณ อุณหภูมิต่ำ

มีหลอดอินแคนเดสเซนต์หลายประเภทที่บรรจุเอาแก๊สเฉื่อยไว้ในหลอดเพื่อทำให้ไส้หลอดทำงานได้ในอุณหภูมิที่สูงกว่าเดิม แก๊สเหล่านี้จะทำให้การดาวน์ของไส้หลอดน้อยลง

มีไส้หลอดอีกประเภทหนึ่งที่เป็นแบบ คอยล์ เป็นไส้หลอดที่สามารถทำงานได้โดยมิต้องใช้วัสดุอื่นใดช่วยก็ได้โดยมันจะสามารถทำงานที่อุณหภูมิสูง ๆ ซึ่งไส้หลอดแบบคอยล์ที่ทำให้วงการบันเทิงเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

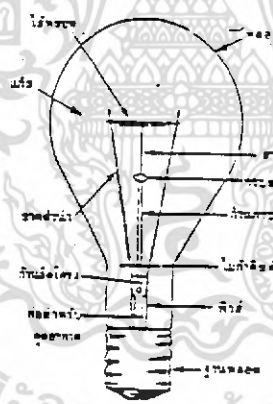
ประสิทธิภาพของหลอดไฟ

ประสิทธิภาพเป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังงานทางเอาต์พุตกับกำลังงานที่จ่ายเข้าไปทางอินพุต อาจคิดออกมาเป็นหน่วยธรรมดาหรือเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ก็ได้ ในเฉพาะในส่วนของหลอดไฟ ในทางอุตสาหกรรมเรายึดถืออัตราส่องสว่างเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

โธมัส เอดิสัน เป็นคนแรกที่ค้นพบและประดิษฐ์หลอดไฟได้สำเร็จเขาใช้ไส้หลอดที่ทำมาจากคาร์บอน เนื่องคิดประสิทธิภาพได้เพียง 1.4 lpw และได้มีการค้นคว้าพัฒนาวัสดุที่นำมาทำไส้หลอดอยู่ตลอดระยะเวลาจนถึงปี ค.ศ. 1911 ได้มีการผลิตหลอดที่ให้ประสิทธิภาพได้ถึง 10 lpw โดยไส้หลอดทำมาจากลวดทังสเตนจากไส้ทังสเตนไส้แรกจนพัฒนาประสิทธิภาพต่อมาจนได้ประสิทธิภาพประมาณ 22 lpw นั่นคือการเปิดตัวของหลอดไฟฟ้าในเชิงการค้าได้สำเร็จจนใช้มาถึงทุกวันนี้

หลอดเติมแก๊สและหลอดสุญญากาศ

หลอดไฟตั้งแต่ 40 วัตต์ทั่วไปมักเป็นหลอดสุญญากาศที่มีการเติมแก๊สไว้ภายในคุณสมบัติและราคาของหลอดนั้นจึงแตกต่างกันออกไปหลอดสุญญากาศทั่วไปจะออกแบบเป็นหลอดคลาส บี ในขณะที่หลอดเติมแก๊สถูกออกแบบเป็นคลาส ซี



รูปที่ 4.7 ส่วนประกอบทั่วไปของหลอดไฟ

ก่อนจะมีการกล่าวถึงหลอดแก๊สในปี ค.ศ. 1913 ไส้หลอดที่การบรรจุไว้ในหลอดสุญญากาศไม่ค่อยจะทนทานนักเพราะออกซิเจนอาจแทรกซึมเข้าไปได้ จำต้องบรรจุแก๊สไว้ในหลอดเพื่อให้เกิดแรงอัดต้านไว้อยู่ภายในทำให้อายุการใช้งานยาวนานขึ้นทั้งยังทำให้หลอดไฟทนอุณหภูมิได้สูงขึ้น

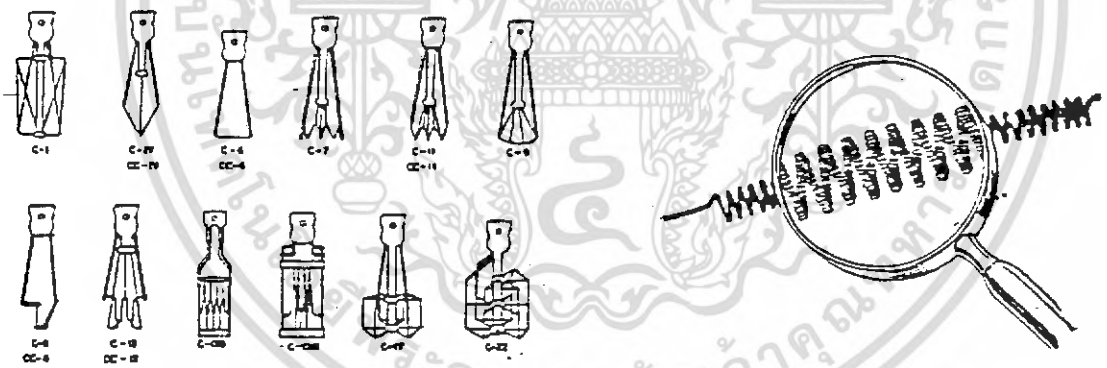
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้ทำไส้หลอด

เอดิสันค้นคว้าอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นไส้หลอด ก่อนประสบความสำเร็จเมื่อเขาเลือกใช้คาร์บอนเป็นสารที่มีจุดหลอมเหลว 6510 F แต่ไส้หลอดที่เป็นคาร์บอนใช้ได้ไม่นานจึงต้องเลิกใช้เพราะใช้ไม่นานคุณภาพเสื่อมลงไม่สามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ เมื่อมีการพัฒนาเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดทำให้ลดลงทำให้สารออสเมียมและแทนทาลัมเข้ามาแทนที่คาร์บอน และเมื่อมีการนำเอาสารทังสเตนมาใช้ความสมบูรณ์ของหลอดอินแคนเดสเซนต์จึงเริ่มต้นตรงนั้น ทังสเตนเป็นสารที่มีความต้านทานและความเครียดสูงและจุดเผาไหม้ของมันอยู่ที่อุณหภูมิสูงถึง 6120 F (ในภาวะที่มิใช่สูญญากาศ)

รูปแบบของไส้หลอด

ไส้หลอดอาจถูกออกแบบมาให้เป็นแบบ S (Straight wire) แบบ C (Coilde Coil) อย่างเช่นไส้แบบ C-9 ก็หมายถึงหลอดไฟดวงนั้นใช้ไส้แบบคอยล์ (การเลือกใช้หลอดไฟต้องรู้จักเลือกถ้าติดตั้งหลอดไฟในดิสโก้เธคระบบเสียงก่อความสั่นสะเทือนต่อโครงสร้างของระบบไฟจะใช้หลอดไฟที่มีไส้หลอดแบบไหนถ้าใช้ผิดประเภทหลอดไฟที่ใช้เล่เดือนเดียวไส้หลอดอาจขาดหมดทุกดวงก็ได้)



รูปที่ 4.8 และ 4.9 รูปแบบของไส้หลอด

ไส้หลอดแบบ S ไส้หลอดแบบนี้ต้องการที่ยึดเกาะยาวมากที่สุดที่บรรดาไส้หลอดด้วยกันฐานยึดที่เรียกกันว่า ต้าซัพพอร์ต ถูกต่อเข้ากับไส้หลอดซึ่งฐานจะต้องแข็งแรงและทนทานพอปัจจุบันให้หลอดแบบ C หรือแบบคอยล์แทน เพราะแบบ C มีการสูญเสียเนื่องจากภาวะความร้อนน้อยหมายถึงประสิทธิภาพของไส้หลอดแบบ S ด้อยกว่า C ไส้หลอดอีกแบบหนึ่งที่เราใช้หลอดไฟบันเทิงโดยทั่วไปก็คือไส้หลอดแบบ CC (คอยล์-คอยล์) เป็นวิธีการซ้อนคอยล์จะทำให้เกิดผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานกันประสิทธิภาพของไส้หลอดแบบนี้จะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ 60 วัตต์ ไส้หลอดแบบนี้จะกินระยะทางในการขึงไส้สั้นมาก

หลอดทังสเตนฮาโลเจน

ในงานกันเทิงทั่วไปตลอดไปจนถึงงานด้านโทรทัศน์มีหลอดชนิดหนึ่งที่เราใช้กันในการเนรมิตแต่ละค็อกราวนด์ของฉากให้เป็นไปตามต้องการ หลอดไฟพวกนั้นเรียกตามลักษณะงานว่า หลอดไซโคลรามา (cyclorama) ซึ่งส่วนใหญ่แล้วถ้าเป็นฉากใหญ่หลอดที่นำเอามาใช้เป็นหลอดไส้ที่เราเรียกว่า หลอดฮาโลเจน หลอดฮาโลเจนมีค่าแมนเทเนนซ์เพียง 3 เปอร์เซ็นต์ อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับการปิดเปิดหลักการที่สำคัญของหลอดประเภทนี้คือ การกำเนิดไซเคิลไอโอดีนขึ้นภายในทิวบุลาควอตซ์ซึ่งเป็นแก้วซิลิกาอย่างดี ไอระเหยของไอโอดีนที่บรรจุไว้ภายในจะเป็นตัวช่วยในการเปล่งประกายแสง

ณ อุณหภูมิสูง ๆ หลายร้อยองศาเซลเซียส ทังสเตนวาเปอร์และไอโอดีนวาเปอร์จะทำการผสมกันได้ทังสเตนไอโอไดซ์ จุดนั้นอยู่ประมาณ 250 องศาเซลเซียสทังสเตนไอโอไดด์ จะอยู่ใกล้ผนังหลอดที่เป็นหลอดยาวและ เป็นแสงผ่าศูนย์กลางเล็ก ๆ ก็มิได้ทำให้มันติดผนังหลอดแต่อย่างใดไม่ จริง ๆ แล้วหลอดทังสเตนฮาโลเจนก็คือหลอดไส้ธรรมดาเพียงแต่เราใช้ยาว ๆ เล็ก แล้วเติมไอโอดีนจะทำให้ไซเคิลของการเคลื่อนที่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ผนังหลอดจะใสเหมือนไม่ได้ใช้งานไส้หลอดจึงจะมีประสิทธิภาพมากกว่าไส้หลอดแบบอื่น

ขนาดของไส้หลอด

ไส้หลอดที่ใช้ไฟที่ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำจะมีขนาดสั้นและขนาดของแสงผ่าศูนย์กลางของไส้หลอดจะใหญ่กว่าหลอดมาตรฐานธรรมดาตรงกันข้ามหลอดที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงขนาดของไส้หลอดจะยาวและแสงผ่าศูนย์กลางจะเล็กกว่า หลอดไฟที่ใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำต้องใช้กระแสไหลผ่านแสงหลอดมาก ๆ ในขณะที่ความต้านทานของไส้หลอดต่ำเมื่อเทียบกับหลอดธรรมดาที่มีขนาดวัตต์เท่ากันเพราะความต้านทานของแสงลวดขึ้นอยู่กับสูตรที่เราทราบกันแล้วว่า $R = \rho L/A$ เมื่อ L คือความยาวและ A คือพื้นที่หน้าตัด

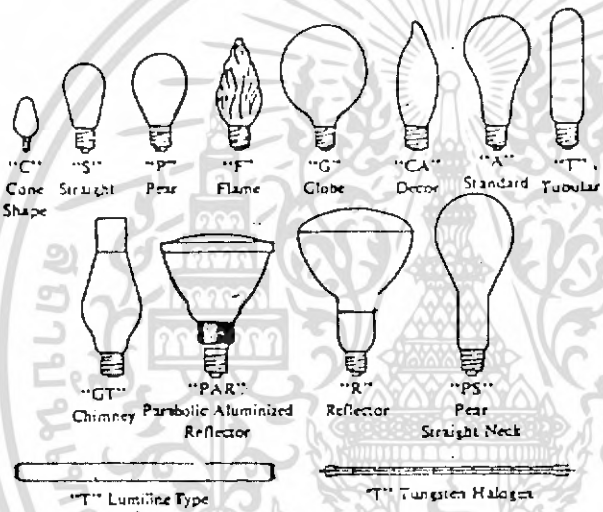
ในกรณีที่ไส้หลอดออกแบบให้สั้นมาก ๆ อุณหภูมิของไส้หลอดจะเข้าสู่จุดหลอมเหลวของทังสเตนอย่างรวดเร็วมีผลทำให้หลอดที่ออกแบบให้ไส้หลอดสั้นเกิดการสูญเสียและอายุการใช้งานสั้นลง เพราะในขณะที่ไส้หลอดยังไม่มีกระแสไหลไส้หลอดจะอยู่ในสภาพเย็น การที่จะทำให้ไส้หลอดสูญเสียน้อยก็คือ ต้องสร้างแสงผ่าศูนย์กลางที่สอดคล้อง อีกกรณีหนึ่งก็คือถ้าหลอดนำเอาไปใช้งานเราจะต้องจูนดัฟแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพื่อควบคุมไส้หลอดไว้ ซึ่งประการหลังนี้เองที่หลอดไฟที่ใช้ในงานกันเทิงทั่วไปต้องพ่วงเข้ากับดิมเมอร์ ซึ่งดิมเมอร์ที่ใช้งานนั้นต้องเป็นดิมเมอร์ที่สามารถจูนมินิมั่ม จูนแมกซิมั่มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไส้หลอดที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ๆ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้สมรรถนะของหลอดต่ำเพราะโดยหลักการทั่วไปเราทราบว่าการที่ไส้หลอดยาวมาก ๆ ย่อมต้องการกำลังงานหรืองานชักพอร์ตที่มากตามไปด้วย

รูปทรงของหลอด

โดยทั่วไปหลอดที่เราพบเห็นตามร้านค้า สำนักงาน บ้านเรือนหรือโรงงานมักเป็นหลอดชนิด A หรือหลอด PS ความแตกต่างระหว่างหลอด A และหลอด PS อยู่ที่ลอหลอด คอหลอดของ PS จะตั้งตรงขึ้นมาจากฐานก่อนจะขึ้นรูปเป็นรูปไข่ (เหมือนหลอดไฟแบบ P)ในขณะที่ลอหลอดแบบ A ก็ค่อยโค้งขึ้นไปไม่ตั้งตรงหลอดโดยทั่วไปจะมีขนาด 15-150 วัตต์ซึ่งมีใช้อยู่ในระบบแสงสว่างในบ้าน

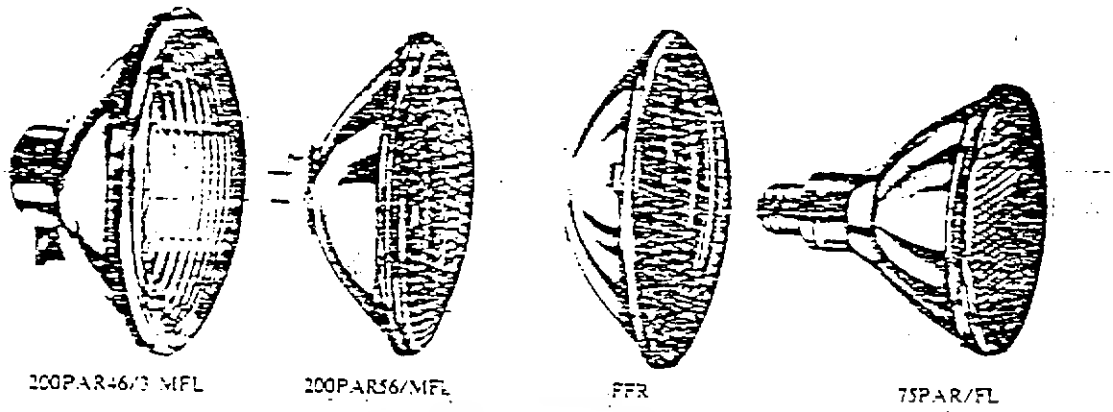


รูปที่ 4.10 รูปทรงของหลอด

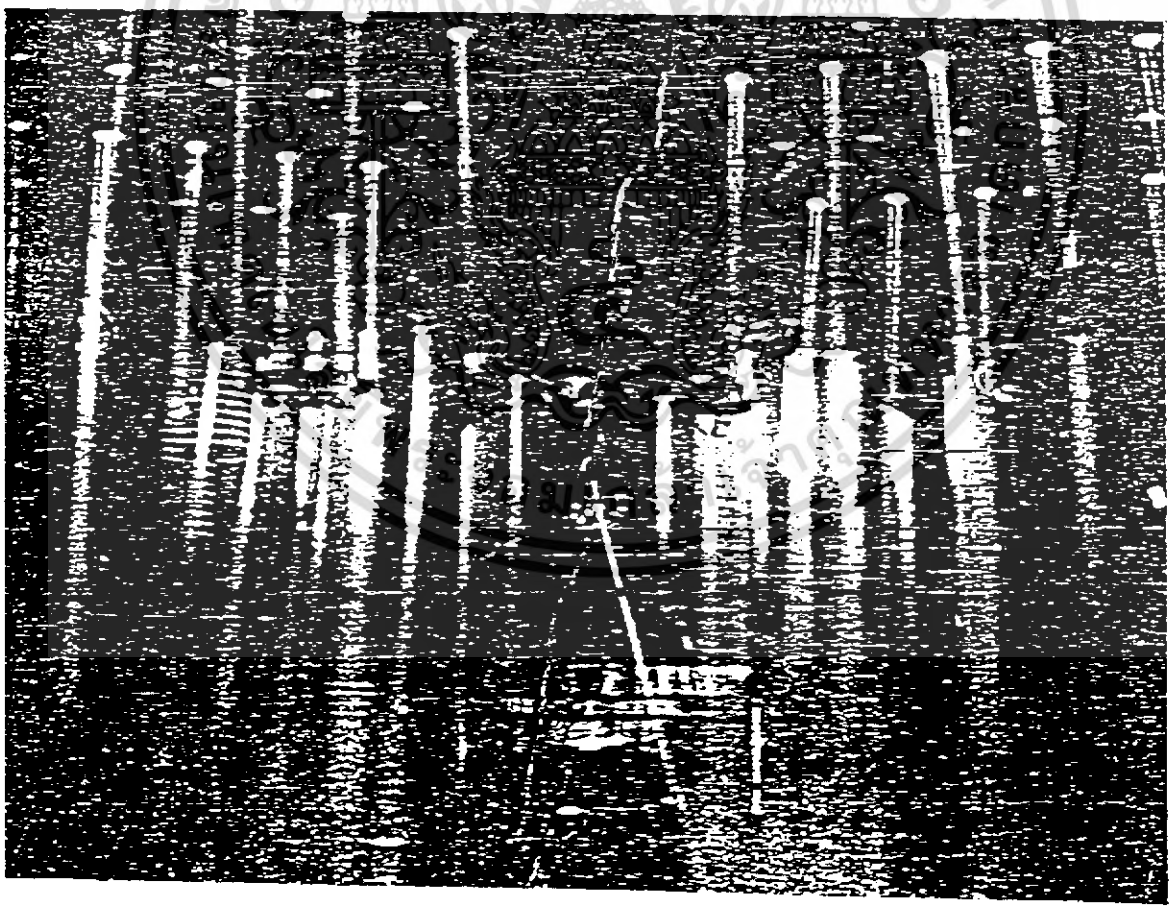
สำหรับหลอดไฟชนิดเปลว หรือ P และหลอดกระบอกหรือ T ส่วนมากก็พบเห็นโดยทั่วไปเหมือนกัน แต่ในปัจจุบันนี้ความนิยมลดลงมาก เพราะมีการหันไปใช้แบบ S ซึ่งเป็นหลอดสูญญากาศที่บรรจุแก๊สหรือไม่ก็ใช้แบบ PS

หลอดวัตต์ต่ำที่บรรจุแก๊ส สมัยก่อนจะบรรจุสักกะหลาดเพื่อใช้เป็นไฟประดับซึ่งหลอดพวกนี้มักเป็นหลอดแบบ A แต่ถ้าต้องการขนาดใหญ่เราจะใช้ PS เพราะการติดตั้งจะกระชับกว่า ส่วนแบบ G มักใช้กับงานมัณฑนศิลป์ซึ่งหลอดพวกนี้เป็นทั้งชนิดเปื่อยและชนิดฟลัดแสงที่ออกมาจะออกเป็นแนวนอน ทั้งหลอด P และ Gจะมีขนาดวัตต์อยู่ในช่วง 15 , 25 และ 40 วัตต์แต่ถ้าจะส่องภาพที่มีความเคลื่อนไหวต้องเลือกใช้หลอดแบบ สปอตไลท์ หรือหลอด P ถ้าจะถามว่าหลอดไฟที่ใช้สำหรับการโฆษณาหรือไฟประดับป้ายชนิดไหนที่ใหญ่ที่สุดคงตอบว่าหลอดไฟแบบ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



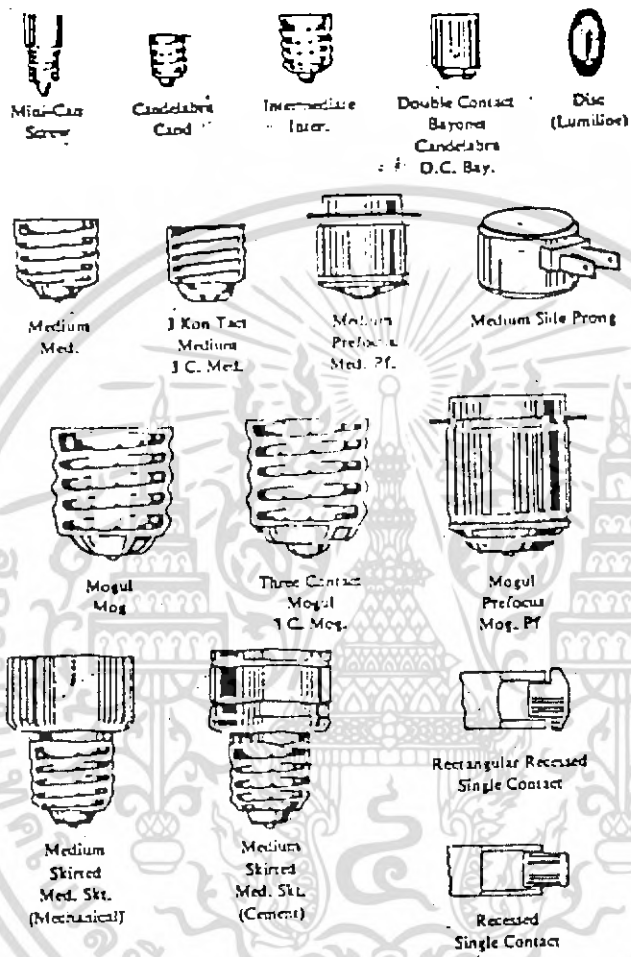
รูปที่ 4.11 และ 4.12 ชนิดต่าง ๆ ของหลอดไฟ PAR และ PAR 36



รูปที่ 4.13 บรรยากาศของคอนเสิร์ตซึ่งใช้ไฟ PAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอด T เมื่อมองผิน ๆ บางคนอาจคิดว่าเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์แต่มันเป็นหลอดไส้ เป็นหลอดที่ใช้แสงสะท้อนในมุมแคบเหมาะกับงานไชว์หรืองานที่ต้องใช้รีเฟล็กซ์สูง รวมทั้งเป็นหลอดไฟที่ใช้กับเครื่องเย็บผ้า (จักรอุตสาหกรรม) แต่งานที่ใช้กันมากที่สุดรู้สึกจะเป็นหลอดไฟโปรเจคเตอร์ เนื่องจากเป็นหลอดคูมิไลน์

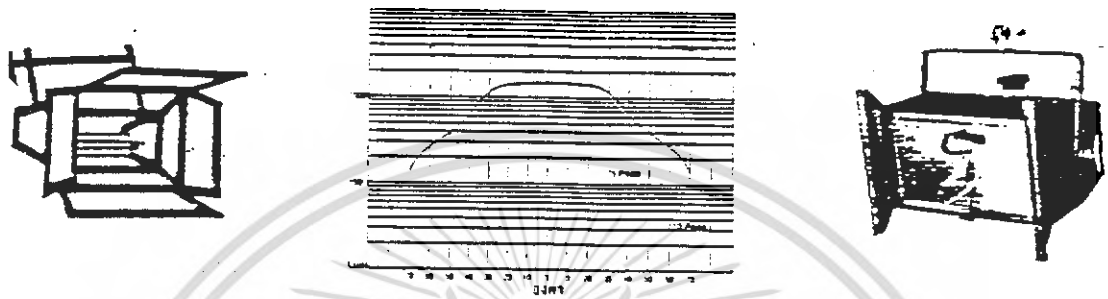


รูปที่ 4.14 ชนิดของฐานหลอด

การรู้จักกับหลอดชนิดต่าง ๆ ที่ใช้งานการบันเทิงทั่ว ๆ ไปเป็นก้าวแรกของเอ็นเตอร์เทนเมนต์ เทคโนโลยีสำหรับเรื่องของหลอดยังมีต่อยอดซึ่งเราจะมาว่ากันถึงหลอดชนิดพิเศษ ๆ ที่บางหลอดบางตัวราคาร่วมล้านบาท เขามีวิธีการใช้อย่างไร เทคโนโลยีที่เขานำมาใช้กับอุปกรณ์พวกนี้มันเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนักร้องคนหนึ่งเดินก้าวขึ้นสู่เวที และเมื่ออินโทร เพลงบรรเลงเป็นการบอกให้นักร้องนางนั้นร้องเพลงสำเนียงแรกออกมา พร้อมกับแสงไฟจะฉายตรงไปยังจุดนั้นเพื่อขับผิว คุณเคยสังเกตภาพเหล่านี้ไหมว่าเธอต้องหยีตา 3 ทีกว่าจะปรับสายตาได้ และถ้าเราได้ดูคอนเสิร์ตตามรายการทีวีทำไมเราไม่เห็นนักร้องของเราหยีตาเลย



รูปที่ 4.15 สัญลักษณ์ กราฟแสดงคุณสมบัติทางแสง และ หน้าตาของ บรอดไลต์

นักร้องนักดนตรี หรือพวกคาราต่างประเทศทำไมไม่เกิดกรณีอย่างนี้บ้างทั้งที่เขาเหล่านั้นต่างวนเวียนอยู่ในแวดวงแสงสีหลายแบบ นั่นก็คือจุดที่เราจะบอกว่าระบบไฟที่เรานำเอามาใช้งานต้องมีความสอดคล้องกับงาน ต้องมีความปลอดภัยกับชีวิตและสุขภาพ มิใช่เพียงแต่ใช้ ๆ กันโดยไม่มีหลักการ

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ระบบแสงนอกจาก จะต้องคำนึงถึงเรื่องอารมณ์ ความรู้สึกแล้ว เทคโนโลยีที่เรานำเอามาใช้จะต้องมีความสองคล้องและเอื้ออำนวยต่องานด้วยในเวลาเดียวกันดังนั้นในตอนนี้เราจึงมุ่งเน้นในประเด็นเหล่านี้ หลังจากที่เราศึกษาหลักการเบื้องต้นของหลอดไฟมาแล้วจากตอนแรก

นั่นคือเราจะจำแนกถึงโครงสร้าง คุณสมบัติ และการนำเอาไปใช้งานอย่างเหมาะสม รายละเอียดอันนี้เป็นสิ่งที่ผู้คนใน วงการบันเทิงหรือผู้ประกอบการบันเทิง รวมไปจนถึงเทคนิเชียลเอ็นจิเนียร์จำเป็นต้องทราบกล่าวกันโดยรวมแล้วบ้านเรานั้นรู้จักเทคโนโลยีแขนงนี้น้อยมาก มีงานหลายงานที่นำเอาระบบแสงไปใช้อย่างไม่ถูกต้องที่ งานหลายงานที่นำเอาระบบเหล่านี้ไปใช้โดยไม่ทราบความหมายของอารมณ์และคุณสมบัติทางเทคนิค มีงานอยู่หลายงานที่นำเอาไฟหลาย ๆดวงแขวนไว้บนโครงสร้างอันมโหฬารเพียงเพื่อทำให้งานใหญ่ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเหล่านี้น่าจะเป็นประเด็นที่เราต้องนำมาศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอร์ดไลต์ (broad light)

ถ้าคุณคิดจะสร้างสตูดิโอเพื่อทำรายการทีวี หรือสตูดิโอเพื่อผลิตภาพยนต์หรือแม้กระทั่งการโฆษณา ระบบแสงตัวที่คุณลืมไม่ได้คือไฟบอร์ดไลต์ ซึ่งเป็นไฟที่คุณขาดไม่ได้เลยหรือเราอาจจะเรียกว่า ไฟหลัก ก็คงไม่ผิด และถ้าเป็นงานในสตูดิโอหรือแวดวงละครแล้วไฟชนิดนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง นักการละครท่านหนึ่งกล่าวไว้ว่าไฟชนิดอื่นจะขาดเหลือได้แต่ถ้าไม่มีไฟตัวนี้ก็แสดงว่าไม่รู้จักไฟและระบบแสงเสียเลย เพราะตัวนี้เป็นระบบไฟพื้นฐานที่ทุกคนต้องผ่านและพบเจอ

ภาระหน้าที่ของเจ้าบอร์ดไลต์นี่คืออย่างไร จากรากศัพท์คำว่า บอร์ด (broad) มีความหมายว่ากว้าง ดังนั้นหน้าที่ของมันคือการย้อมสีให้กับพื้นที่กว้าง ๆ เพื่อให้แสงสีนั้นเคลียพื้นที่ได้มากที่สุด มันสามารถที่จะเนรมิตรเวทีทั้งเวทีให้ฉานด้วยสีใดสีหนึ่งก็ได้ หรือในกรณีที่ถ่ายทำวีดีโอเรามักใช้บอร์ดไลต์ย้อมสีฉากหรือพื้นที่ให้กับมุมกล้องนั้น ๆ อันจะให้บรรยากาศแตกต่างกันออกไปซึ่งจะทำให้คนดูสามารถจินตนาการได้ถูกต้องตามเจตนาผู้สร้างละครหรือภาพยนต์

สำหรับระบบไฟเวที (stage lighting) อย่างเช่นงานคอนเสิร์ตหรือละครเวทีจะใช้ไฟพวกนี้ ตบ ลงไปบาง ๆ เพื่อเป็นไฟที่แบล็คกราวนด์ให้กับพื้นเวทีโดยที่ยังคงบรรยากาศของสีสรรค์โดยรวมไว้ได้การที่เราต้องบอกว่า ตบ ลงไปเบา ๆ เพื่อไม่ให้บอร์ดไลต์ตัวนี้ไป ฆ่า ไฟหลักตัวอื่น ๆ นอกจากนี้เรายังพบว่าในคอนเสิร์ตเฮฟวีฮาร์ดร็อคนั้นเขายังออกแบบบอร์ดไลต์เป็นไฟสำหรับผู้ชมด้วยสีสันที่สาดลงไปจะเป็นสีสันที่ร้อนแรงอย่างพวกสีแดง เมื่อเพลงไปถึงจุดร้อนแรงขึ้นทุกขณะซึ่งเรียกว่า ทำอารมณ์ คนดูจนถึงขีดแล้วไฟสีแดงอันร้อนแรงนี้จะสาดลงไปกลุ่มคนดูจนแดงฉานไปทั้งฮอลล์ทำให้ได้บรรยากาศเร่าร้อนสมกับบทบาทของเพลง

เมื่อกล่าวถึงภาวะหน้าที่ของบอร์ดไลต์ไปแล้วนั่น มันเหมือนกับการได้ทำความรู้จักกับมันในด้านกว้าง แต่ในด้านลึกจะดูคุณสมบัติของแสงของมันว่าเป็นอย่างไรบ้าง

คุณสมบัติเหล่านี้จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้ออกแบบแสงและผู้ที่จะควบคุมระบบคุณสมบัติตามกราฟที่ได้แสดงไว้ตามผู้ออกแบบสามารถที่จะกำหนดระยะทาง กำหนดจำนวนหลอดไฟที่จะเอามาใช้งาน รวมไปถึงการรู้ถึงอัตราการส่องสว่างว่าเพียงพอสำหรับงานนั้นหรือไม่

จากโครงสร้างของบอร์ดไลต์เราสามารถแยกแยะส่วนประกอบสำคัญๆ ออกเป็นส่วนดังนี้

1. โครงโคม (luminate housing) โครงโคมทั่วไปสร้างจาก อลูมิเนียมหล่อทั้งนี้เพื่อการระบายความร้อนเป็นไปได้ดีรวมไปถึง การรักษาอุณหภูมิการใช้งานของหลอด ให้อยู่ในภาวะปกติ โครงสร้างของหลอดต้องมีความแข็งแรง โดยวัสดุที่นำมาใช้นั้นต้องมี สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวคงที่ อลูมิเนียมจึงถูกเลือกใช้เพื่องานนี้

2. หูยึดโคม (youke) ปกติทำด้วยเหล็กและอลูมิเนียมพับขึ้นรูป เพื่อใช้ในการปรับแต่งทิศทางของแสงในแนวนอนนอกจากนี้หูยึดโคมจะต้องมีลักษณะของความสมดุลย์ของโคมด้วยในเวลาเดียวกัน มิฉะนั้นแล้วจะปรับแต่งแสงหรือที่เรียกกันว่าแสงโฟกัส (fogus) จะคลาดเคลื่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จานล็อค (disk locking)ทำหน้าที่จัดแต่งทิศทางแสงแนวตั้ง

4. ตัวสะท้อนแสง (reflector) เป็นอลูมิเนียมอะโนไดซ์ขาวชนิดผิวไม่เรียบไม่สามารถสะท้อนแสงเองได้

5. กรอบใส่แผ่นสี (colour frame)เนื่องจากแสงที่ออกมาคือแสงสีขาวการที่เราจะให้มีสีสันเช่นไรขึ้นอยู่กับสีกรองแสงซึ่งเราเรียกว่า เจล (gel filter)

6. หลอดไฟ (lamp) เป็นส่วนที่ขาดไม่ได้ เพราะถ้าขาดส่วนนี้มันจะเป็นหลอดไฟได้ อย่างไรหลอดที่ใช้เป็นบอร์ดไลต์จะมีหลายขนาดตั้งแต่ 250 วัตต์ถึง 1500 วัตต์ ถ้าวัตต์สูงขนาดของโคมต้องโตขึ้นด้วยในเวลาเดียวกันหลอดที่เอาทำเป็นหลอดไฟของบอร์ดไลต์เป็นหลอดชนิดทังสเตนอาโลเจน ซึ่งมีอุณหภูมิแสงประมาณ 3200 K ถึง 3400 K หลอดชนิดนี้มีอายุการใช้งานประมาณ 2000 ชั่วโมงขั้วหลอดเป็นแบบ RSC รุ่น R7S

จากโครงสร้างรวมทั้งหมดการออกแบบเบื้องต้นเราต้องรู้ระยะและตำแหน่งที่แน่นอนในการติดตั้งเพราะหลอดไฟประเภทแรกนี้ไม่มีเลนส์เป็นตัวช่วงปรับแต่งแสง

ซอฟต์ไลต์ (soft light)

เป็นไฟแบล็คกราวนด์อีกตัวหนึ่งที่ให้แสงออกมานุ่มนวลกว่าบอร์ดไลต์ ดังนั้นระบบแสงในโรงถ่าย หรือโรงละครจึงจำเป็นต้องใช้ไฟตัวนี้ในกรณีที่ต้องการสาดแสงผ่านหน้า หรือตรวจหน้าผู้แสดง ซึ่งซอฟต์ไลต์คงจะเป็นตัวบอกความหมายอยู่แล้วว่ามันนุ่ม ๆ อย่างไร และทำไมจึงนุ่ม

ปกติแล้วแสงที่ออกมาจากหลอดโดยตรง จะไม่มีลักษณะของความนุ่มแสง ของหลอดซอฟต์ไลต์นุ่มได้เพราะหลักการที่ว่า แสงนั้นจะต้องไม่ใช่แสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง เป็นแสงที่ได้มาจากตัวสะท้อนของตัวสะท้อน และการที่ตัวสะท้อนแสงหรือที่เราเรียกทับศัพท์ทั่วไปว่า รีเฟล็กเตอร์ นั้นสามารถสะท้อนแสงออกมานุ่มได้เนื่องจากมันเป็นตัวสะท้อนแสงแบบไม่สมมาตร แสงที่ออกมาจึงลดความจัดจ้านลง นี่คือหลักสำคัญของความเป็นซอฟต์ไลต์

ลักษณะการใช้งานระหว่างบอร์ดไลต์กับซอฟต์ไลต์นั้นใกล้เคียงกันมากคือ โดยส่วนใหญ่มักใช้เป็นไฟแบล็คกราวนด์เมื่อเราศึกษาของคุณสมบัติของแสงคุณสมบัติของการส่องสว่างต่อหน่วยเชิงมุมของซอฟต์ไลต์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับบอร์ดไลต์มากจะแตกต่างกันก็แต่เพียงการลดลงของแสงในเชิงมุมของซอฟต์ไลต์จะราบเรียบกว่าบอร์ดไลต์มากทีเดียว

จากรูปเป็นหลอดซอฟต์ไลต์ขนาด 5 กิโลวัตต์ซึ่งถือกันว่าหลอดขนาดนี้ออกมโหฬารอยู่อย่างหลอดที่ใช้ในงานทั่ว ๆ ไปขนาด 1 กิโลวัตต์นับว่ามากพอแล้วแต่หลอดซอฟต์ไลต์เป็นหลอดวัตต์สูง คือประมาณ 1500 ถึง 8000 วัตต์อย่างไรก็ตามความส่องสว่างที่ได้กับหลอดขนาด 7000-8000 วัตต์ของซอฟต์ไลต์จะให้ความส่องสว่างเท่ากับหลอดบอร์ดไลต์ขนาด 1000 วัตต์เท่านั้นเอง จึงไม่แปลกเลยว่าทำไมหลอดซอฟต์ไลต์จึงมีขนาดมโหฬารอย่างนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 เป็นการเปรียบเทียบการส่องสว่างของแสง ระหว่างหลอดซอฟต์ไลต์ขนาด 8 กิโลวัตต์ กับหลอดบอร์ดไลต์ขนาด 1 กิโลวัตต์

สำหรับส่วนประกอบทางโครงสร้างของซอฟต์ไลต์ สามารถแบ่งเป็นส่วนได้ดังนี้

1. โครงโคม (husing) ตัวโคมจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ น้ำหนักของโคมหลอดจะมีปัญหาสำหรับการติดตั้งดังนั้นวัสดุที่นำเอามาทำโครงโคมของหลอดไฟประเภทนี้จำเป็นต้องมีน้ำหนักเบาเพื่อสะดวกในการติดตั้งและการปรับแต่งโครงสร้างของมันจึงเป็นอลูมิเนียมขึ้นรูปด้านหลังและด้านข้างปั๊มขึ้นรูป ระบายความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิให้กับหลอด

2. หูยึดโคม (yoke) เป็นเหล็กขึ้นรูปโค้งตามโคมไฟใช้สำหรับการปรับโฟกัสในแนวนอนแล้วล็อคด้วยสกรูหางปลา(spigot)

3. ระบบล็อคทางแนวตั้งเป็นสกรูหางปลาขับเฟื่องทดเพื่อลดแรงในการปรับแต่งทางแนวตั้ง

4. แผ่นสะท้อนแสงเป็นอลูมิเนียมขึ้นรูปแบบไม่สมมาตร

5. กรอบใส่แผ่นสี

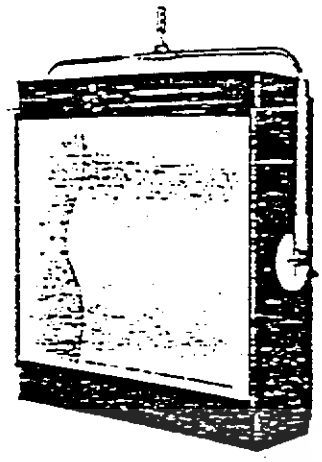
6. หลอดไฟเป็นหลอด ลิเนียร์ (linear lamp) ซึ่งเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจนที่อุณหภูมิแสง 3200 K โดยมีขั้วหลอดแบบ R7S เช่นเดียวกับบอร์ดไลต์

ในแวดวงละครไม่ว่าจะเป็นโรงเล็กโรงใหญ่ ละครเวทีหรือละครโทรทัศน์เรื่องของฉากหลังเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพึ่งพาอาศัยไฟเข้าไปช่วย เพราะถ้าไม่งั้นเวลาเปลี่ยนสีฉาก เปลี่ยนบรรยากาศของเรื่องที่กำลังแสดง จะต้องใช้เครื่องพ่นสีพ่นเข้าไปและต้องรอให้สีแห้งอีก 3 ชั่วโมง จะเห็นแล้วว่าวิธีการอย่างนั้นไม่สะดวกยิ่งเป็นละครทีวียิ่งไม่สะดวกใหญ่ ไฟที่เรียกกัน ว่าไฟไซโครรามาจึงมีบทบาทเป็นจำนวนมากในแวดวงนี้ ไซโครรามาเป็นหลอดไฟที่ผู้คนที่เกี่ยวข้องกับสตูดิโอวงการโทรทัศน์และภาพยนต์รู้จักกันเป็นอย่างดี แม้หน้าที่ของมันจะคล้ายคลึงกับบอร์ดไลต์แต่อย่าพึ่งเข้าใจว่าไฟหลอดนี้ใช้แทนกันได้เนื่องจากมันมีคุณสมบัติและข้อมูลทางเทคนิคที่แตกต่างกันออกไป

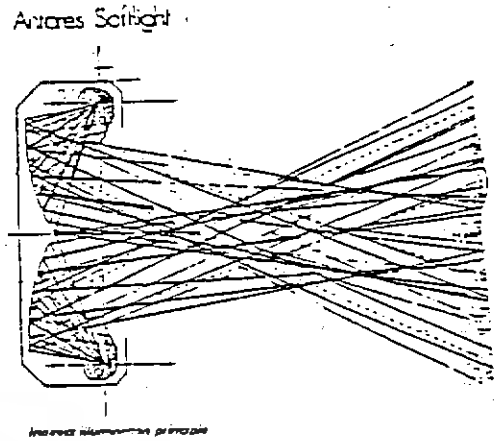
การย้อมสีพื้นเวทีเรามักนิยมใช้บอร์ดไลต์ แต่ถ้าเป็นฉากเขามักจะใช้ไซโครรามาไลต์ โดยหลักการพื้นฐานของหลอดที่จะมาย้อมสีฉากหรือที่เรียกกันว่าแสงเคลียฉาก ต้องมีคุณสมบัติพิเศษคือต้องให้ความส่องสว่างบนจอได้ค่อนข้างจะสม่ำเสมอและอีกประการหนึ่ง หลอดประเภทนี้จะหลบมุมกล้องและหลบสายตาของคนดูได้เพื่อให้ผู้ชมไม่เกิดความรู้สึกว่า แสงมันโผล่ขึ้นมาจากจุดนั้นแต่จะต้องให้คนดูมองว่าฉากของเวทีมันเป็นฉากสีฟ้าอ่อน สีแดง สีเหลือง ฯลฯ

แสงของไซโครรามาไลต์ไม่ใช่แสงที่บีบออกมาเป็นลำ แต่เป็นแสงที่บานออกเป็นวงกว้างแต่ต้องกระจายแสงออกให้สม่ำเสมอด้วยรวมไปถึงการหลบมุมกล้อง

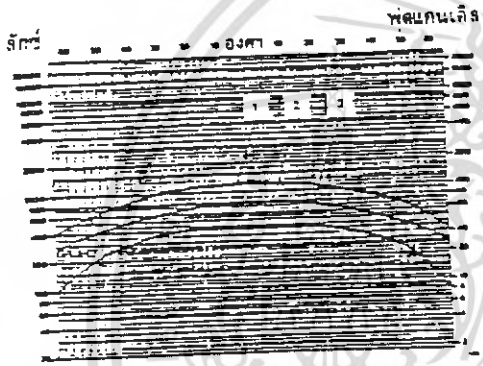
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



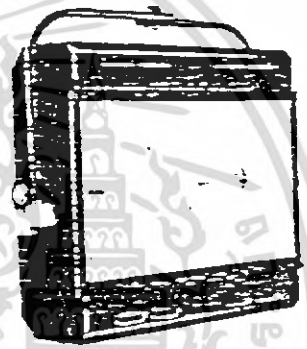
หน้าตาของรอฟต์ไลต์ผู้ให้แสงอันนุ่มนวล



ลักษณะการเกิดแสงของรอฟต์ไลต์

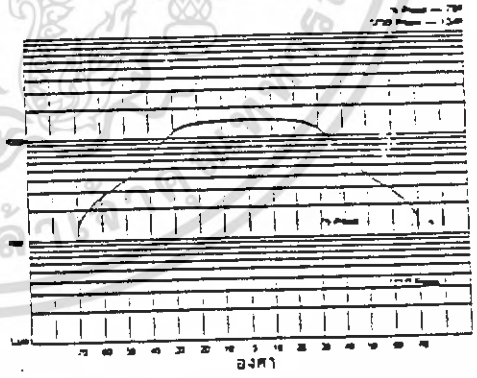


คุณลักษณะแสงในการส่องสว่างของหลอดรอฟต์ไลต์



รอฟต์ไลต์ขนาด 5 กิโลวัตต์

ความส่องสว่างของรอฟต์ไลต์ขนาด 8 กิโลวัตต์



ความส่องสว่างของบรอดไลต์ขนาด 1 กิโลวัตต์

กราฟแสดงการเปรียบเทียบความส่องสว่างของแสง

รูปที่ 4.16

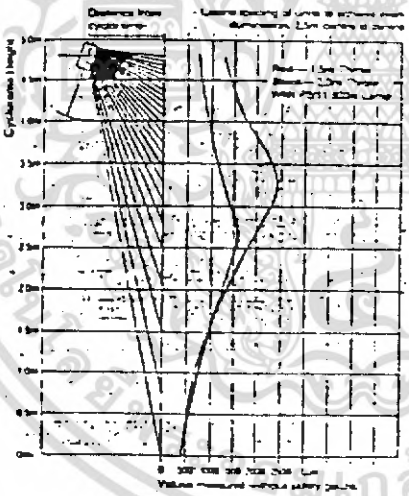
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะพบว่าคุณสมบัติทางแสงแตกต่างไปจากหลอดบอร์ดไลต์ โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดแสงที่เกิดจากการตั้งโคม ลักษณะของมุมแสงได้ถูกออกแบบเพื่อใช้กับงานหลังโดยเฉพาะดังนั้นจะเห็นได้ว่ามุมกระจายแสงทางด้านล่างจะกว้างมากกว่าด้านบนเพื่อไม่ต้องการให้ตัวโคมลงมาต่ำจนบังฉากหรือปิดมุมกล้องคุณสมบัติพิเศษที่ไฟบอร์ดไลต์ไม่สามารถที่ทดแทนไซโครามาได้

จากคุณสมบัติที่กล่าวข้างต้นทำให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบโดยอาศัยข้อมูลจากขนาดของโคมไฟไซโครามาขนาดต่าง ๆ

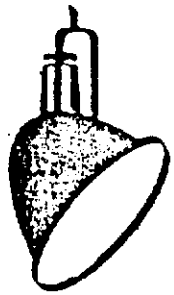
การติดตั้งไซโครามาขนาด 800 วัตต์โดยใช้หลอดทังสเตนฮาโลเจนที่มีอุณหภูมิแสง 3200 K กับการย้อมฉากเพียงสีเดียวสิ่งที่ออกแบบต้องทราบข้อมูลจากโคม คือ มุมกระจายแสงตามแนวตั้งและแนวนอน ระยะทางจากโคมไฟถึงฉาก ระยะห่างระหว่างโคมไฟดวงหนึ่งไปอีกดวงหนึ่ง เป็นต้น

หลักของการย้อมสีจากต้องประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ สีแดง เขียว และน้ำเงินเพื่อให้แสงสามารถผสมกันแล้วเกิดเป็นสีสันตามที่เราต้องการ ดังนั้นโคมไฟหลอดนี้อาจจะเป็นโคมเดี่ยวหรืออาจเป็นชุด

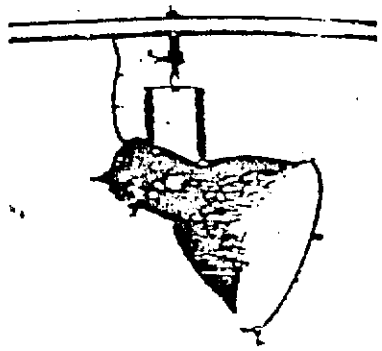


รูปที่ 4.17 คุณสมบัติทางแสงของหลอดไซโครามาไลต์

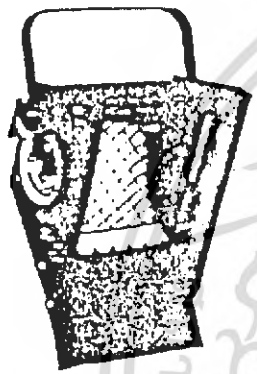
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



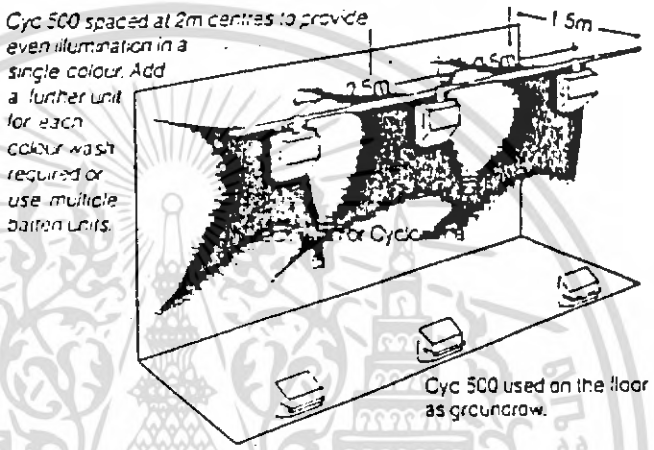
ลักษณะของโคมไฟส่องคูป



นี่แหละ "สคูป" เขาล่ะ



มานองหน้าตาของไซโคลรามาไลต์



ตัวอย่างการติดตั้งไซโคลรามาไลต์

รูปที่ 4.18

สคูป (scoop)

เป็นโคมไฟอีกชนิดหนึ่งที่เรารู้จักมันโคมไฟชนิดนี้มักพบในโรงถ่าย งานถ่ายภาพยนต์และโรงละครทั่วไปประเภทที่ถูกออกแบบเป็นไฟข้าง (side fill light) หรือไม่ก็เป็นไฟหลัง ไฟสปอตเพราะโคมไฟชนิดนี้เป็นแบบฟลัด (flood)

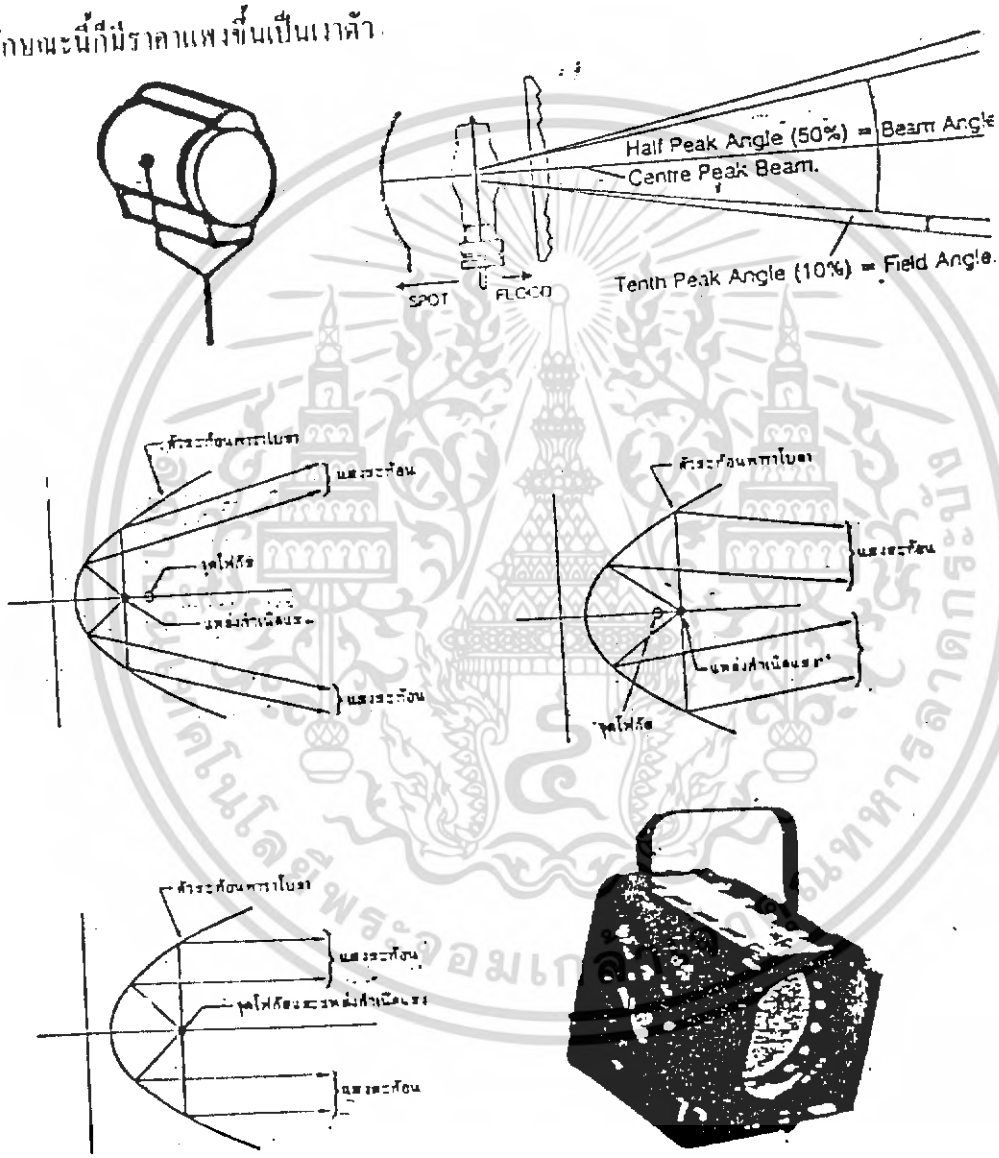
สคูปจะมีความเข้มแสงสูงสุด ณ จุดกึ่งกลาง แล้วลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางโตขึ้นหากพิจารณาคุณสมบัติทางแสง ตลอดจนชนิดของไส้หลอดที่นำมาใช้ มันจะใกล้เคียงกับบอร์ดไลต์อยู่ อย่างไรก็ตามรูปทรงของโคมไฟทั้งสองหลอดนี้มีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากสคูปเมื่อมองด้านหน้าจะเป็นวงกลม บอร์ดไลต์เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ปกติหลอดไฟสคูปจะใช้หลอดทังสเตนไอโอดีน โดยมีกัวสะท้อนแสงเป็นแผ่นโค้งหรือพาราโบลาทำด้วยอลูมิเนียมอะโนไลซ์เช่นเดียวกับบอร์ดไลต์ นับว่าสคูปเป็นโคมไฟอีกชนิดหนึ่งที่ไม่มีการใช้เลนส์ช่วยในเรื่องของคุณสมบัติแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบตัวโคมเป็นอลูมิเนียมขึ้นรูปเพื่อให้ระบายความร้อนได้ดีนอกจากนั้นด้านหลังเจาะเป็นช่องระบายความร้อนสำหรับเสกูปที่มีกำลังวัตต์สูงด้านหลังจะมีมือจับเพื่อช่วยในการปรับแต่ทิศทางของแสง

โคมไฟที่กล่าวกันมามักไม่เกี่ยวกับเลนส์แต่อย่างไรการกำหนดระยะแสงต้องแน่นอน การออกแบบต้องคำนึงถึงตัวประกอบหลายตัวแต่หากเป็นไฟที่ใช้เลนส์ช่วยการออกแบบนั้นจะง่ายขึ้นเพราะเลนส์สามารถที่จะกำหนดหรือปรับแต่งความเข้มความบานของแสงและอื่น ๆ ได้เพียงแต่หลอดชนิดนี้แล้วเราจะต้องทำการปรับแต่งให้ได้ลักษณะแสงตามที่เราต้องการอย่างไรก็ตามโคมไฟลักษณะนี้ก็มีราคาแพงขึ้นเป็นเท่าตัว



รูปที่ 4.19 ลักษณะของ ฟรีสเนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟรีสเนล (fresnel)

เป็นไฟที่เราพบเห็นในงานบันเทิงและภาพยนตร์ของไฟโชว์อีกด้วยเพราะทั้งนี้ในการคล่องตัวในการปรับแต่งความกว้างแคบของลำแสง (flood spot) ทั้งคุณสมบัติทางแสงที่ได้จากการปรับแต่งที่มีลักษณะที่ คงเส้นคงวาอย่างสมบูรณ์ไยงไปถึงลักษณะแสงที่นุ่มนวลไม่จัดจ้านจนกล่าวเปรียบเทียบกันว่าเธอคือหญิงสาวบนเส้นทางแสงที่เลยที่เดียว

คุณสมบัติเด่นเหล่านี้ทำให้ไฟฟรีสเนลก้าวออกไปเป็นไฟหลัก โดยภาระหน้าที่แล้วจะถูกใช้เป็นไฟสำหรับแคลียพื้นที่เช่นไฟส่องหน้าของนักแสดงหรือเป็นไฟส่องที่เน้นสินค้าเป็นตัว ๆ ไฟฟรีสเนลมีขนาดให้เลือกได้หลายแบบโดยหลอดที่ใช้เป็นหลอดทังสเตนไฮโลเจนโดยมีอุณหภูมิแสงประมาณ 3200 K แต่ก็มีบางรุ่นที่ใช้หลอดพวก Bright arc หรือหลอด HMI ซึ่งให้อุณหภูมิแสงถึง 5000 6000 K เพื่อความเข้าใจยิ่งขึ้นว่าเราสามารถแสดงความต่างระยะทางได้ซึ่งเป็นการใช้ฟรีสเนลที่ทำมาจากหลอดขนาด 1000 วัตต์

จะเห็นว่าโคมชนิดนี้มีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ชนิด คือ ตัวสะท้อน หลอดและเลนส์จากเลนส์ที่เราพบเห็นตัวนี้แหละที่เป็นตัวแรก ที่เราเรียกกันว่า ฟรีสเนลเลนส์ ส่วนตัวกลางเป็นเลนส์นูนรอบนอกจะเป็นฟันเลื่อย ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้แสงที่ออกมามีขอบแสงที่นุ่มนวลและส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของฟรีสเนลคือเลนส์ที่อยู่ถัดที่ ที่ทำหน้าที่ปรับแต่งโฟกัสคือหลอด โดยเฉพาะหลอดที่เคลื่อนที่ทางแนวนอน ขนส่งไปกับเลนส์และตัวสะท้อน หากเราเคลื่อนหลอดเข้าหาเลนส์ ลำแสงที่ออกมาเป็นแสงฟลัดหากเราเคลื่อนหลอดเข้าหาตัวสะท้อนลำแสงที่จะเป็นแบบสปีอต เพราะตัวสะท้อนที่รับแสงจากหลอดไฟจะเกิดการรวมแสงด้วยความโค้งพาราโบลา

อาจสงสัยว่าทำไมต้องตัดแต่งหลอดแทนที่จะปรับแต่งเลนส์อย่างกล้องถ่ายรูป และการปรับหลอดให้เคลื่อนไปมานั้นจะไม่ทำให้หลอดสั่นสะเทือนและขาดเร็วหรือ ต้องดูหลักการของมันว่าวิธีการนี้ยึดหลักอะไร

สำหรับโครงสร้างของฟรีสเนล ก็เหมือนกับหลอดโดยทั่วไป คือมีตัวปรับแนวตั้งแนวนอน จะแตกต่างไปจากหลอดประเภทอื่นคือมันจะมีบาร์นดอร์ (barn doors) และปุ่มโฟกัสเพิ่มเติมเข้ามา โดยบาร์นดอร์คือ ตัวปรับแต่งรูปร่างของลำแสงที่ผ่านเลนส์ออกมาแล้วให้มีลักษณะอย่างไรและปุ่มโฟกัสที่จะปรับความชัดลึก รวมไปถึงลักษณะแสงที่ออกมาสู่สายตาของผู้ชม

อิลลิปซอยดัล รีเฟล็กเตอร์ สปีอตไลต์ (ellipsoidal reflector spotlight)

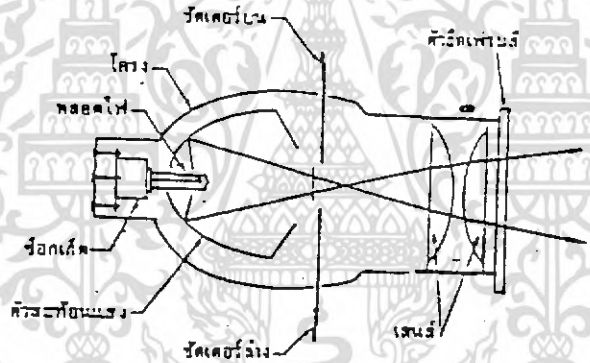
อิลลิปซอยดัล รีเฟล็กเตอร์ สปีอตไลต์ หรือที่มีชื่อเรียกกันอย่างหนึ่งว่าหลอดโปรไฟล์ (profile) เป็นโคมไฟที่ให้แสงจัดเป็นแนร์โรว์สปีอต คือมีลำแสงที่แคบ โดยมีระบบของการบีมด้วยเลนส์ทำให้มันสามารถที่จะติดตั้งไว้ในไกล ๆ ได้ โดยยังสามารถให้ความเข้มได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ โคมไฟชนิดนี้จัดเป็นไฟที่ "คุ" พอสมควรที่เดียว เพราะมันมีลักษณะของแสงที่ส่องบีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำออกไปให้มีความเข้มคมชัดแสงที่กระจายออกนอกบริเวณพื้นที่นอกลำแสงจะน้อยมาก แสงในกรณีเช่นนี้เราเรียกว่า "ฮาร์ด เอดจ์" (hard edge)

รูปที่ 4.20 สัญลักษณ์ของอิลลิปซอยดัล หรือ โปรไฟล์

ไฟประเภทนี้เรียกว่า "เรือลำน้ำ" เพราะรูปร่างทั้งใหญ่ทั้งยาว การลากคุมพื้นที่แสงจะแน่นอนมาก เพราะเนื่องจากมีระบบเลนส์กับชัดเตอร์ภายในโคมเป็นตัวคุมแสงอยู่แล้ว ในโรงถ่าย, โรงละคร และที่ขาดไม่ได้ก็คือในคอนเสิร์ตฮอลล์

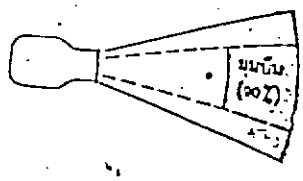


รูปที่ 4.21 องค์ประกอบหลักของอิลลิปซอยดัล

องค์ประกอบหลักของโคมไฟแบบนี้มีเลนส์หลัก 2 ตัว ชัดเตอร์ 4 ตัว และหลอดอีกหนึ่งหลอด การที่มีเลนส์และชัดเตอร์ปิดเปิดช่องผ่านของแสง (iris) ย่อมทำให้การปรับแต่งยากลำบากมากขึ้นแต่การใช้งานก็กว้างขึ้นเช่นกัน

จากรูปที่ 4.21 เราจะพบว่าในส่วนของเลนส์นูนอยู่ 2 ตัว ในสภาพเลนส์ที่ประกอบขึ้นมานั้นมีรูปแบบของเลนส์ประกอบอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ แบบดับเบิ้ล พลาโน คอนเวกซ์เลนส์ (double plano convex lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่มีความหนามาก ๆ เพื่อให้เกิดการรวมแสงที่ดี แต่อย่างไรก็ตาม เลนส์ที่มีความหนาย่อมเกิดปัญหาในการเก็บความร้อนภายในตัวแก้วเลนส์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แสดงลำแสงที่ปิบออกมา และการกระจายแสงที่เชิงมุม

รูปที่ 4.23 ลักษณะของสเต็ปเลนส์

เลนส์แบบที่ 2 ก็คือสเต็ปเลนส์ (step lens) เป็นเลนส์ที่โค้งอย่างเช่นแบบแรกแต่การโค้งนูนขึ้นมานั้นเป็นการประกอบขึ้นมาแบบขั้นบันไลเป็นสเต็ปนูนขึ้น ๆ เลนส์แบบนี้จะให้ความคมชัดของขอบดีมากที่เดียว (hard-edge) แต่แสงที่ออกไปมีความผิดเพี้ยน แสงที่ผ่านเลนส์แบบนี้จะมีสภาพเหมือนกับแสงที่ผ่านการหักเหของปริซึม ทำให้ขอบ ๆ ของแสงออกมาเป็นสีรุ้ง ซึ่งเราเรียกว่าเกิด "ปริซึมแมติค เอฟเฟ็ค" (Prismatic effect)

รูปที่ 4.24 ลักษณะของฟรีสเนลเลนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเลนส์แบบที่ 3 เราเรียกว่า "ฟรีสเนล เลนส์" (fresnel lens)เป็นเลนส์ไล่ผิวหน้าไม่เรียบ ซึ่งจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับเลนส์แบบที่ 2 ข้อเด่นของเลนส์ประเภทนี้ก็คือจะให้แสงออกมาอย่างหลอดฟรีสเนล แต่ขอบของลำแสงยังคงคมชัดแบบเลนส์ คับเบิ้ล พลาโน คอนเวกซ์ อย่างไรก็ตามข้อดีของเลนส์แบบนี้ก็คือมีปัญหาเรื่องความร้อนน้อยมากเมื่อเทียบกับเลนส์แบบแรก แต่แน่นอน ความคุของลำแสงหรือจะสู้อิลลิปซอยด์ที่ใช้เลนส์แบบแรก

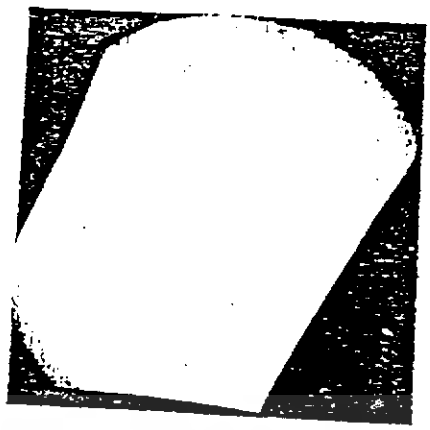
เลนส์ เป็นตัวปรับแต่งขนาดเล็กใหญ่ของลำแสง เป็นตัวปรับความชัดของลำแสงอย่างละเอียด ยังมีการปรับแต่งความละเอียดที่ฐานหลอดอีกทางหนึ่ง อันนั้นใช้ปรับความสัมพันธ์กับระยะทางให้ได้ความละเอียดคมชัดมากขึ้น แต่จุดสำคัญไม่ใช่อยู่ตรงนี้ กลับอยู่ที่ตัวสะท้อนแสงหรือรีเฟล็กเตอร์ต่างหาก

คำว่า "อิลลิปซอยด์" หรือ "โปรไฟล์" ความหมายตรงตัวจะหมายถึงเสี้ยวรูปไข่การเรียกชื่อโคมไฟชนิดนี้เนื่องจากตัวที่สำคัญคือรีเฟล็กเตอร์รูปไข่จะให้ลำแสงออกมาตามรูปที่ 4.25ค. ลักษณะของรีเฟล็กเตอร์ของหลอดทั่ว ๆ ไปจะเป็นรูปแบบที่ 4.25ข. หรือเป็นเสี้ยว

รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบรีเฟล็กเตอร์แบบต่าง ๆ

เล็กลงน้อยกว่าครึ่งของรูปไข่ซึ่งรีเฟล็กเตอร์แบบนี้จะให้แสงเป็นลักษณะ "ซอฟต์เอดจ์" แต่การที่เรากล่าวมาตั้งแต่ต้นแล้วว่าอิลลิปซอยด์เป็นประเภทไฟคุ สะใจวัยรุ่น หรือเป็นไฟประเภท "ฮาร์ดเอดจ์" ดังนั้นรีเฟล็กเตอร์ต้องใช้รีเฟล็กเตอร์ที่สะท้อนแสงอันเป็นส่วนที่จะทำให้ลำแสงบานเบอะออกไป ให้สะท้อนแสงมายังรีเฟล็กเตอร์หลักนั้นอันครั้ง ตัวที่ทำหน้าที่ผลักลำแสงที่จะบานไม่ย้อนกลับไปใหม่นี้เราเรียกว่า "คิกแบล็ค รีเฟล็กเตอร์" (kickback reflector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสงที่ได้จากการปรับแต่งชัดเตอร์

การปรับแต่งแสงอีกจุดหนึ่งคือการปรับแต่งชัดเตอร์ (shutter) โดยด้วชัดเตอร์นี้มีทั้งหมด 4 ด้าว คือ บน ล่าง ซ้าย และ ขวา เนื่องจากลำแสงจะต้องผ่านระบบเลนส์ ดังนั้นการปรับแต่งชัดเตอร์จะกลับภาพจริงเสมอ

สำหรับงานละคร เราใช้โปรไฟล์ หรืออิลลิปซอยดัล เป็นตัวแต่งฉากเป็นรูปร่างต่าง ๆ

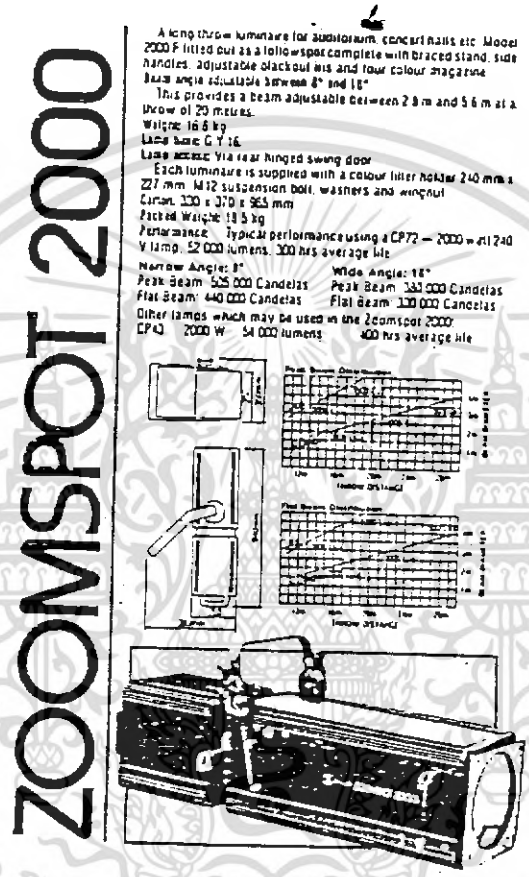
รูปที่ 4.27 โกโบ หรือ แพทเทิร์น โฮลเดอร์

ให้เป็นภาพต้นไม้ ดวงจันทร์ เมฆ ฯลฯ ควบคู่กับไฟไซโครรามา หรือบางทีก็สาดแสงออกมาเป็นตัวอักษรบนฉากหลังเวทีก็มี โปรไฟล์ จะมีการเจาะช่องเพื่อใส่โกโบ (gobo) หรือแผ่นยึดภาพเข้าไป เมื่อแสงผ่านโกโบก็จะเกิดเป็นภาพต่าง ๆ ออกมาได้ เราต้องการภาพประเภทใดก็สามารถสั่งซื้อหรือสั่งสลักจากร้านผู้ขายไฟประเภทนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม แสงล้องผ่านเลนส์ 2 ตัว ดังนั้นภาพที่ใส่เข้าไปจะกลับหัวดังนั้นเวลาใส่ไกโบเข้าไปเราต้องใส่กลับหัวเสียก่อน

จากการที่มันมี "คิกแบล็ค รีเฟล็กเตอร์" ทำให้มุมของลำแสง ที่ออกมาอยู่ในช่วง 8-36 องศา (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดโคมไฟด้วย) ยิ่งมุมแคบมากราคายิ่งแพง ที่นี้เราลองมาดูโปรไฟล์ตัวอย่างสักตัวหนึ่ง ซึ่งเป็น "โปรไฟล์" ขนาด 2,000 วัตต์ ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในคอนเสิร์ตฮอลล์มีมุมปรับแต่ง 8-16 องศา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ตัวอย่างสเป็คของโปรไฟล์

จากสเป็คดังกล่าว จะมีข้อมูลเกี่ยวกับหลอด ขั้วหลอด อายุการใช้งาน ระยะทางสูงสุด ความส่องสว่างต่อระยะทาง เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์โดยตรงต่อผู้ออกแบบระบบไฟเป็นอย่างยิ่ง

พาร์ (par)

หลอดไฟพาร์ (par) และ รีเฟล็ก (refect) เป็นหลอดที่ใช้งานมากที่สุดในวงการบันเทิงโดยหลอดทั้งสองประเภทนี้ผิวหน้าจะเป็นรีเฟล็กเตอร์เพื่อบีบลำแสงออกมาเป็นลำซึ่งแสงแบบนี้เราเรียกว่าลำแสงแบบออกเป็นจุดหรือที่เราเคยชินกับคำว่า สปือต หรือถ้ากว้างเราจะเรียกว่าแสงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลัด หลอดพวกนี้จะออกแบบเพื่อใช้กับไฟต่ำเพียง 120 โวลต์ เท่านั้นเพื่อให้ประสิทธิภาพของหลอดมากที่สุด สำแสงของหลอดพาร์จะใช้กับงานคอนเสิร์ตและงานบันเทิง ในขณะที่หลอดรีเฟล็กหรือหลอด R ใช้สำหรับสตูดิโอหรือโรงถ่าย ใส้หลอดนอกจากจะสั้นหรือใหญ่แล้วยังมีการใช้ใส้แบบคอยล์-คอยล์แสงที่ออกมาของไฟพาร์ จะเป็นสำแสงที่มีความเข้มระบายออกมาเป็นจุด ๆ ยิ่งมีการใช้เครื่องพ่นควัน (Smoke Machine)หรือพ่นน้ำแข็งแห้ง (Dry-Ice)จะมองเห็นสำแสงชัดเจนยิ่งขึ้น

ไฟ PAR ที่ใช้กันในงานคอนเสิร์ตคือไฟ PAR-64ซึ่งเป็นไฟมาตรฐานสากล PAR-64 ยังมีการแบ่งประเภทออกไปอีก เช่น แวร์รี่แนร์โร่วั่แต่ถ้าเป็นสถานบริการอย่างคาเฟ่ หรือร้านอาหาร ถ้าหากเราใช้โคมไฟที่บรรจุหลอด PAR-64 ซึ่งเป็นหลอด 12 โวลต์อย่างที่เรียกกันว่า หลอดพินสปอต (Pinspot) ส่วนคลิปไก้แลคจะใช้ทั้งหลอดชนิดใหญ่ ๆ และชนิดเล็ก ๆ เพราะมันเหมือนกับการเอาคอนเสิร์ตกับคาเฟ่มารวมไว้ด้วยกัน

ยังมีอีกประเภทหนึ่งเป็นหลอด PAR-46 ACL เป็นหลอดที่ใช้แสงสว่างเข้มดูกว่าไฟ PAR ธรรมดาและมีสำแสงที่แคบมาก การส่องออกมาจะเป็นสำแสงเกือบตรงหรือการบานของสำแสงมีมากน้อยเราเรียกว่า หลอดแอร์คราฟท์แลนดิ้น (Aircraft Landing) ซึ่งเป็นหลอดไฟที่ใช้นำร่องในเครื่องบินเวลาจะวิ่งลงรันเวย์เราจึงเอามาดัดแปลงใช้กับงานคอนเสิร์ต โดย PAR-46 ACL นี้ใช้ในแรงดันไฟฟ้าเพียง 28 โวลต์ ดังนั้นเมื่อเรานำเอามาใช้กับระบบไฟ 220 โวลต์ในบ้านเราจะเห็นว่าหลอดแอร์คราฟท์แลนดิ้งจะติดครั้งละ 8 หลอดเป็นอย่างน้อยเพราะต้องเอาหลอดมาอนุกรมกันจึงจะใช้กับไฟ 220 โวลต์ได้ ถ้าไม่นั้นแล้วจะต้องหาหม้อแปลง มาแปลงไฟอย่างวุ่นวาย และหม้อแปลงที่ใช้นั้นต้องเป็นหม้อแปลงที่สามารถจ่ายกำลังงานได้เยอะ

ขั้วฐานหลอด

ขั้วฐานหลอดเป็นขั้วที่ยึดฐานหลอดและนำแรงกระแสไฟฟ้าภายนอก เข้าไปยังหลอดไฟ รูปแบบของขั้วฐานหลอดแบบต่าง ๆ

ขั้วฐานหลอดสมัยแรก ๆ ทำมาจากทองแดงและทองเหลือง ต่อมาได้มีการเปลี่ยนเป็นอลูมิเนียม ทั้งนี้เพราะฐานหรือขั้วเสียบที่ทำมาจากทองเหลืองเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ง่ายเมื่อนำมาผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป อย่างไรก็ตามสำหรับหลอดที่ใช้กำลังวัตต์สูง ๆ ฐานหลอดที่จับหลอดแก้วจะใช้วัสดุพวกซีเมนต์หรือถ้าวัสดุสูงมาก ๆ ก็จะใช้วัสดุพวกซิลิโคลน

สำหรับไฟ PAR โดยทั่วไปมักใช้ฐานหลอดแบบ Medium Skirecel หรือแบบโมเลกุล ซึ่งเป็นฐานที่ออกแบบมาสำหรับวัตต์สูงโดยเฉพาะ นอกจากนี้แล้วฐานขั้วหลอดประเภทนี้เรายังสามารถจับขั้วเพื่อหมุนปรับสำแสงของหลอดให้แสงออกมาตามต้องการอีกโสตหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเคลื่อนไฟฟ้ากับผลกระทบต่อหลอด

ลูเมนส์ วัตต์ และ อายุการใช้งาน ของหลอดอินแคนเดสเซนต์ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าเป็นสำคัญ ค่า 40 เปอร์เซ็นต์เราเรียกว่าค่า Percent of rated volts ซึ่งแสดงอยู่ในกราฟทางแนวนอนและสเกลทางแนวตั้งเป็นสเกลค่าลูเมนส์จากกราฟเราจะพบค่าลูเมนส์ วัตต์และอายุการใช้งาน เช่น เราหาอัตราเปอร์เซ็นต์แรงดันได้ 104 เปอร์เซ็นต์ เราจะได้เปอร์เซ็นต์ของลูเมนส์เท่ากับ 116 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของลูเมนส์แล้ว ต่อมาเราจะต้องไปดูรายละเอียดของหลอดนั้น ๆ ในคู่มือของโรงงานระบุไว้ เช่นหลอด A-19 ขนาด 60 วัตต์ ถ้าหากเราจ่ายไฟตามมาตรฐานจะได้ความเข้มแสง 855 ลูเมนส์ ดังนั้นเมื่อเราจ่ายแรงดันตามกรณีดังกล่าวมาข้างต้น ความเข้มแสงที่ออกมา 992 ลูเมนส์

สรุปได้ว่า หลอด 60 วัตต์ 155 โวลต์ ซึ่งมีโครงสร้างแบบ A-9 เมื่อนำมาใช้กับไฟ 120 โวลต์จะได้แสงออกมา 992 ลูเมนส์

ในกรณีที่เราจะหาของหลอดชนิดอื่นก็ได้วิธีการชนิดเดียวกันและถ้าต้องการหาอายุการใช้งานดังตัวอย่างนั้นเราจะพบว่า เมื่อแรงดันสูงขึ้น 104 เปอร์เซ็นต์ อายุการใช้งานจะอยู่เหลือเพียง 60 เปอร์เซ็นต์ เช่นหลอด 60 วัตต์ ระบุไว้อายุการใช้งาน 1000 ชั่วโมง เมื่อมาใช้กับไฟ 120 โวลต์ จะมีอายุการใช้งานเพียง 600 ชั่วโมงเท่านั้นเอง

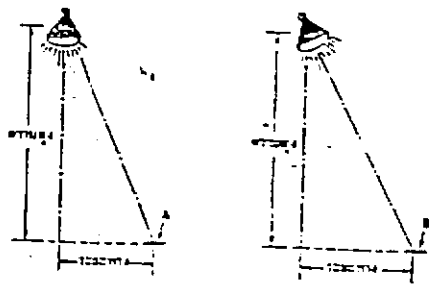
คุณสมบัติทางลำแสงของหลอด PAR และ R

อย่างที่กล่าวเอาไว้ตั้งแต่ดอนต้นว่า หลอดไฟที่เราใช้ในงานบันเทิงมากที่สุดคือหลอด PAR และหลอด R อย่างไรก็ตามมักจะพบน้อยลงไปเรื่อย ๆ ในงานบันเทิงทั่วไปยิ่งที่ต้องเกี่ยวกับแสงสีด้วยจะมีน้อยมากจะพบอยู่แต่ในโรงถ่ายที่เขาใช้ทำลำแสงแบล็คกราวนด์อย่างไรก็ตามเราน่าจะมาศึกษากันว่าทำไมถึงมี การใช้หลอดไฟสองประเภทนี้เป็นปัจจัยหลัก ในงานบันเทิงประการหนึ่งก็คือการสามารถคุมพื้นที่แสงในงานแสดงได้ ในบางครั้งเครื่องดนตรีชนิดหนึ่ง เป็นมือเดี่ยว หรือเป็นต้นเสียงแสงที่สาดไปที่จุดนั้นต้องเด่นกว่าจุดอื่น ความโดดเด่นของนักดนตรีแต่ละคน แต่ละเพลงจะไม่เหมือนกัน แสงที่สาดระบายลงแต่ละจุด จะเน้นอารมณ์ความรู้สึกบรรยากาศและสาระที่สอดคล้องกับการแสดงนั้น ๆ

สิ่งเหล่านี้มิใช่การนำเอาเทคโนโลยีมาใช้อย่างเพียว ๆ แต่มันผนวกเอาศิลปะเข้ามาด้วยกัน โคมไฟที่แสงไฟสาดระบายลงมาจึงมิใช่กระดาษลูกกวาด หรือเป็นเพียงการทดแทนฉากลิเกให้คนดูตื่นตากับสีลูกกวาดแต่อย่างใดไม่ แต่มันต้องเอาผนวกของสาระอารมณ์ความรู้สึกที่สอดคล้องไว้นั้น แสงสีที่ระบายลงมาทุกลำแสงจึงมีความหมายเฉพาะตัวของมันเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอด PAR หรือ R แบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ



รูปที่ 4.29 ระยะทางและพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองลำแสง

1. Spotlighting มีการทำให้ลำแสงมีมุมออกมาเป็นมุมแคบ (Narror BEAM)

2. Floodlighting มีการทำให้ลำแสงมีมุมเป็นมุมกว้างกว่าแบบแรกเล็กน้อย (Wide Beam)

จากรูปที่ 4.29 เราใช้หลอด PAR-38 150 วัตต์ โดยวัดแสงในภาวะต่าง ๆ ออกมาเป็นค่าฟุตแคนเดิล (Foot candles) โดยเราจะติดตั้งหลอดห่างจากพื้น 4,6,8,10,12,14 และ 16 ฟุต ตามลำดับ โดยมีการติดหลอด 3 แบบ คือแบบ A, B และ C แล้ววัดแสงออกมาด้วยระยะทางที่พื้นเพิ่มตั้งแต่ 0,1,2,... จนถึง 6 ฟุต

เช่นเดียวกันเราใช้วิธีการเดียวกันนี้ไปทดลองกับหลอด R-40,300 วัตต์ พบว่าแม้ว่ากำลังวัตต์จะแตกต่างกันออกไป แต่จะได้คุณสมบัติอย่างหนึ่งว่าหลอดแบบสปอตลำแสงลงมาแคบทำให้ความเข้มแสงดีกว่าหลอดฟลัด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างหลอด PAR กับหลอด R จะพบสมมติฐานอย่างหนึ่งว่า หลอด PAR มีความเข้มกว่าหลอด R อยู่เล็กน้อย นี่เองที่ทำให้หลอด PAR เดินนำหน้าไปหนึ่งช่วงตัว

ขนาดของหลอดไฟ เช่น PAR-64,R-40,PAR-38 หรืออื่น ๆ นั้นเราได้มาจากความกว้างของหน้าหลอดที่คิดเป็นหุน (1/8 นิ้ว) เช่น PAR-64 ก็หมายถึงหลอดพาราโบลิค อะลูมิไนซ์ รีเฟล็กเตอร์ ที่มีขนาดหน้ากว้างของหลอด 64 หุน หรือ 64/8 นิ้ว (หรือหลอดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าหลอด 8 นิ้วนั่นเอง)

ที่จริงหลอดไฟพาร์ (PAR) หรือ คำเต็มว่า พาราโบลิค อะลูมิไนซ์ รีเฟล็กเตอร์ (Parabolic Aluminize Reflector)เราได้กล่าวกันมาครั้งหนึ่งแล้วในตอนแรก เนื่องจากหลอดไฟพวกนี้ถึงไม่เป็นโคมหรือไม่ได้ใส่โคมเราก็ยังเรียกมันว่าไฟพาร์อยู่นั่นเองเพราะพาร์คือหลอดมาตรฐานที่มีตัวสะท้อนแสงสำเร็จรูป (ซึ่งคิดขนาดเป็นตัวมาตรฐานนิ้ว) ขนาดของไฟพาร์ทั่วไปจะมีอยู่ 5 ขนาดด้วยกันคือ PAR-36,PAR-38,PAR-46,PAR-56 และ PAR-64 ซึ่งแต่ละขนาดจะมีกำลังวัตต์,แรงดัน, ลักษณะลำแสง,อุณหภูมิแสง,อายุการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ดังตัวอย่างข้อมูลของไฟพาร์ชนิดต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAR-36 Nominal 6 Volt Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NAMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER (cp)	BEAM* SPREAD
H4515	6	27	250	52,000	5*5VNSP
4515	6	27	250	44,000	5*5VNSP
25PAR36	5.5	25	1000	30,000	5.5*5.OVNSP

PAR-36-Nominal 12 Volt Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER(cp)	BEAM* SPREAD
4405	12	27	250	40,000	6*5VNSP
4415	12	32	750	7,200	40*5VNSP
H7616	12	34	750	56,000	40*5VNSP
H7604	12	45	250	90,000	7*4VNSP
4509X	12	88	70	84,000	12*6NSP
4594	12	88	840	46,000	14*6NSP
25PAR36NSP	12	25	2000	4,500	11*11NSP
50PAR36NSP	12	50	2000	9,200	10*9NSP
50PAR36VNSP	12	50	2000	20,000	5*8VNSP

PAR-36-Nominal 24 Volt Applictions

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER (cp)	BEAM* SPREAD
4591	24	80	100	54,000	12*6NSP
4505	24	40	160	27,000	11*5NSP
4594	24	80	1200	42,000	13*7NSP
4596	24	200	100	90,000	11*12NSP

*BEAM SPREAD STATED IN APPROXIMATE TOTAL SPREAD TO 10%OF MAXIMUM LIGHT OUTPUT IN DEGREES HORIZONTAL AND VERTICAL.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAR-46-Nominal 6 Volt Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER(cp)	BEAM* SPREAD
25PAR46	5.5	25	1000	55,000	4.5*4.5VNSP
4535	6	27	250	76,000	5.5*4VNSP

PAR-46-Nominal 12 Volt Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER(cp)	BEAM* SPREAD
4436	12	32	750	48,000	10*4NSP
4435	12	27	250	60,000	5*5VNSP
H7635	12	45	250	128,000	6.5*6.5VNP

PAR-56-Nominal 12 Volt Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER(cp)	BEAM* SPREAD
4545	12	100	100	225,000	9*5VNSP
4543	12	94	85	220,000	9*5VNSP
120PAR56VNSP	12	120	2000	62,000	7.5*7VNSP
120PAR56VNSP	12	240	2000	110,000	9.5*6.5VNSP

PAR-56-Nominal 24 V olt Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER (cp)	BEAM* SPREAD
4541	24	360	100	280,000	15*11SP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAR-64-Nominal 24 Volt Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER(cp)	BEAM* SPREAD
4552	24	200	100	280,000	7*8VNSP
Q4559	24	480	400	360,000	12*8NSP
Q4559X	24	480	400	460,000	11*7.5NSP

RECTANGULAR 92 mm*150 mm-Nominal 12 Volt Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER (cp)	BEAM* SPREAD
H9405	12	45	250	80,000	7*4VNSP

Rectangular 100 mm * 165 mm-Nominal 12 Volt Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER(cp)	BEAM* SPREAD
H7935-1	12	45	250	140,000	6.5*3.5VNSP

PAR-38-Mains Voltagge Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER(cp)	BEAM* SPREAD
100PAR/FL/27	220-230/100 240-250		2000	.....	30FLOOD
100PAR/SP/27	220-230/100 240-250		2000	.....	15SPOT
150PAR/FL/27	220-230/150 240-250		2000	.....	30FLOOD
150PAR/SP/27	220-230/150 230-250		2000	.....	15SPOT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAR-56-Mains Voltagge Applications

ORDER CODE	NOMINAL VOLTS	NOMINAL WATTS	NOMINAL AVG.LIFE (HOURS)	APPROXMATE INTIAL CANDLE POWER(cp)	BEAM* SPREAD
300PAR56NSP	220-230/300 240-250	2000	.....		9*15NSP
300PAR56MFL	220-230/300 240-250	2000	.....		11*25MFL
300PAR56WFL	220-230/300 240-250	2000	.....		16*40WFL

PAR 64 HIGH-VOLT	WATTS	VOLTS	COLOR TEMP*K	APPROX. LIFE(HR)	DESCIPTION
EXC-Q1000 PAR 64/1	1000	220	3200	300	Very Narrow Spot
EXC-Q1000 PAR 64/1	1000	240	3200	300	Very Narrow Spot
EXD-Q1000 PAR 64/2	1000	220	3200	300	Narrow Spot
EXD-Q1000 PAR 64/2	1000	240	3200	300	Narrow Spot
EXF-Q1000 PAR 64/5	1000	220	3200	300	Medium Flood
EXF-Q1000 PAR 64/5	1000	240	3200	300	Medium Flood
EXG-Q1000 PAR 64/6	1000	220	3200	300	Wide Flood
EXG-Q1000 PAR 64/6	1000	240	3200	300	Wide Flood

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสเปคที่แสดงเอาไว้ เป็นสเปคที่ครอบคลุมไฟฟาร์ทั้งหมด เพื่อให้ผู้ที่ต้องการออกแบบระบบไฟจะได้เลือกใช้ตามลักษณะงาน,ตามวัตถุประสงค์ ยกตัวอย่างเช่น เอาไปทำเป็นไฟหมุน ไฟร่อน หรือไฟเอฟเฟคอื่น ๆ ในคิวโก้เธค ต้องเลือก PAR-36 หรือ PAR-46 30W VNSP เป็นต้น แต่ถ้าหากเอาไปใช้กับงานคอนเสิร์ตหลอดไฟจะต้องใหญ่ขึ้นมาแล้ว ต้องใช้ PAR-64 1,000W MF หรือ WF

รูปที่ 4.30 ไฟกาแล็คซี่ซึ่งใช้ PAR-36 ทำเอฟเฟค

สำแสงที่ออกมานั้นเราสามารถแยกแยะออกเป็น

VNSP - (Very Narrow Spot) สำแสงแคบมาก

NSP - (Narrow Spot) สำแสงแคบ

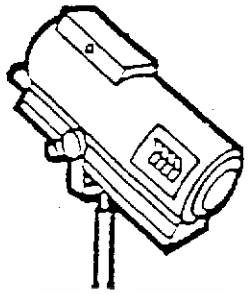
MF - (Medium Flood) สำแสงกว้าง

WF - (Wide Flood) สำแสงกว้างมาก

อย่างไรก็ตามหลอดไฟบางแบบมีลักษณะสำแสงให้เลือกบางประเภทเท่านั้น อย่างเช่น PAR-38 จะมีลักษณะสำแสงแต่ 2 แบบคือแบบฟลัด กับแบบสปอต เท่านั้น

ไฟฟาร์นับเป็นไฟเวทีที่เราต้องคิดตั้งบนเวทีคอนเสิร์ตมากที่สุด ไฟที่เราเห็นคิดกับโครงเหล็กห้อยเป็นจำนวนมากนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 สัญลักษณ์ฟอลโลว์สป๊อต

ฟอลโลว์ สป๊อต (follow spot)

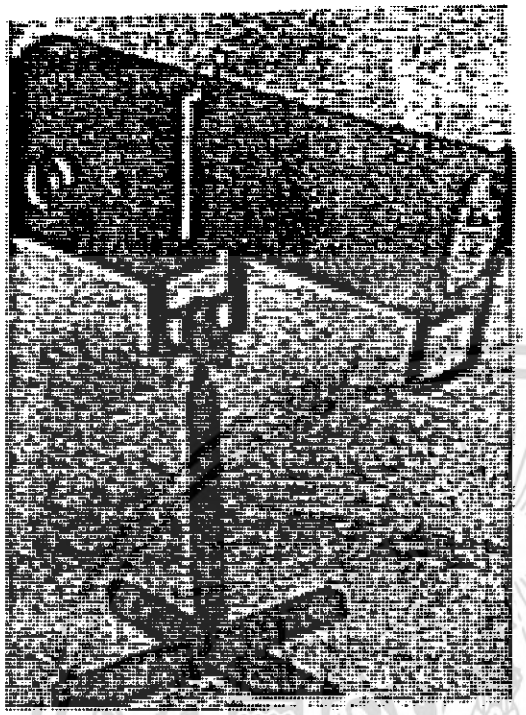
เมื่อเสียงพิธีกรประกาศชื่อ"ผู้ประกวดนางสาวไทยคนต่อไปได้แก่ "พลันดวงไฟดวงกลมที่แสงจ้าจำรัสก็ส่องวาบขึ้นที่ทางเดินขึ้นเวที ภาพนางงามเดินนวยนาดออกมา พร้อมกันนั้นไฟดวงกลมนั้นก็จะตามส่องตามฉายไม่ขาดระยะ มันคือ "ฟอลโลว์ สป๊อต"พระเอกของระบบแสงสี

ไม่เพียงแต่งานประกวดอย่างนั้น คอนเสิร์ตโดยทั่วไปเราก็มักคุ้นกับไฟตามตัวนี้อยู่แล้ว นอกจากระบบไฟโชว์แนะนำสินค้าก็ยังใช้ตัวนี้ มันคือความจำเป็นสำหรับโลกปัจจุบันไปเสียแล้ว

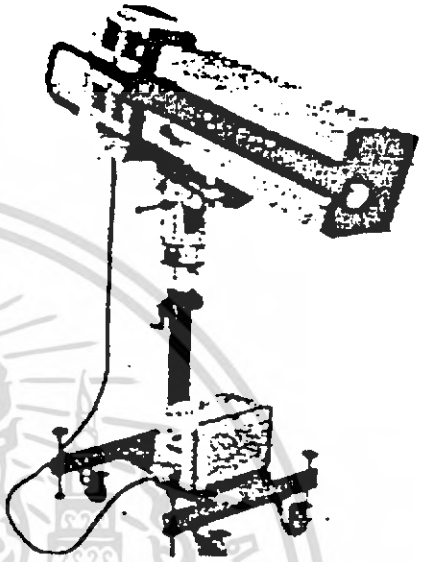
ฟอลโลว์ สป๊อต เป็นไฟที่ให้ความคล่องตัวกับผู้แสดงสูงมาก โดยตัวของมันเป็นไฟที่เรียกกันว่า "ฮ็อต สป๊อต" (Hot Spot)ที่สามารถสาดแสงระหว่างทางไกล 300-400 ฟุต นั่นแสดงให้เราทราบถึงพลังแสงที่สูงมาก ๆ ที่เป็นเช่นนี้เพราะมันเป็นโคมไฟที่มีระยะเลนส์เข้ามาช่วย ลำแสงสามารถปรับให้เล็กใหญ่ รวมไปถึงการโฟกัสให้แสงเข้มมากน้อยหรือบางแบบจะมีตัว "โดว์เซอร์" ซึ่งเป็นตัวหรี่แสงแบบกลไกทำหน้าที่เป็นตัวหรี่ของแสง (fade in-fade out) ได้โครงสร้างฟอลโลว์ สป๊อต คล้ายกับไฟโปรไฟล์มากทีเดียว ลำแสงที่ออกมาก็เป็นแบบ "ฮาร์ด เอดจ์ บีม" เช่นเดียวกัน

ฟอลโลว์ สป๊อต เราจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ประเภทแรกคือ พวกที่ใช้หลอดไส้ หรือหลอดทังสเตนฮาโลเจน ซึ่งมีขนาดวัตต์ต่ำประมาณ 1,000-2,000 วัตต์โดยระยะทางที่ใช้สูงสุดประมาณ 50 ฟุต และประเภทที่ 2 คือพวกที่เป็นไบรท์อาร์ค (bright arc) เช่นหลอดซีนอน (xenon), ซีไอดี (CID), ซีเอสไอ (CSI) และ เอ็ชเอ็มไอ (HMI) เป็นต้นประเภทหลังนี้จะใช้อุณหภูมิแสงสูงมากคือประมาณ 5,000-5,600 K ในขณะประเภทแรกใช้อุณหภูมิแสงสูงสุดเฉลี่ย 3,200 K เท่านั้นเอง ดังนั้นแสงที่ออกมาของอันหลังนี้จึงเข้มขาวกว่าประเภทแรกมาก ๆ สามารถที่จะให้ระยะทาง 300-400 ฟุตทีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

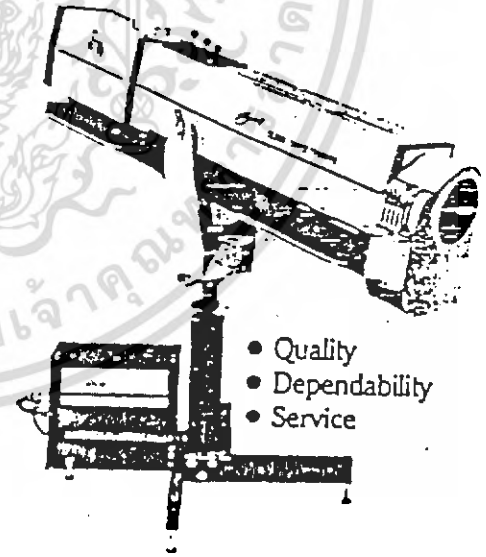


ก. ฟอลโลว์สปีอดวัสดุต่ำที่ใช้หลอดอินแคนเดสเซนส์



ข. ฟอลโลว์สปีอดแบบซูเปอร์ ทรูเปอร์ ซึ่งเป็นอาร์คฟอลโลว์สปีอด

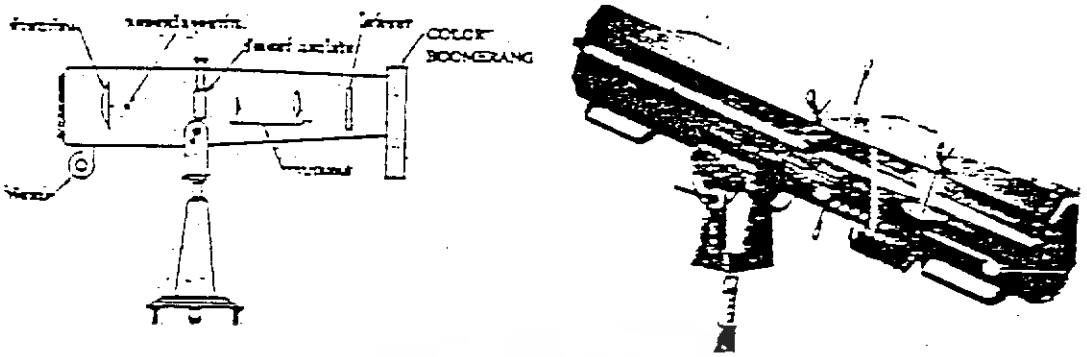
ค.ฟอลโลว์สปีอดของเบอร์คีย์ริ่งใช้หลอดเอ็ชเอ็มเอ.



ง. ซีนอน ซูเปอร์ ทรูเปอร์ ราคาเหยียบล้าน

รูปที่ 4.32 พอลโลว์ สปีอดแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงโครงสร้างของฟอลโลว์ สปีอต

ส่วนประกอบของฟอลโลว์ สปีอต สามารถที่จะแยกออกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้

1. ขาตั้ง (swivel-stand base) จะเป็นตัวติดตั้งหลอดที่มีน้ำหนักมากสามารถถอดแยกส่วนกับตัวหลอดได้ ขาตั้งต้องมีความสมดุลย์น้ำหนัก สามารถเคลื่อนที่ทางแนวตั้งและแนวนอนได้โดยสะดวก

2. ตัวเลือกเจลสี (colour boomerang) เป็นอุปกรณ์สลับสับเปลี่ยนโดยเปลี่ยนเจลฟิลเตอร์สีต่าง ๆตามที่ต้องการปกติจะเปลี่ยนได้ประมาณ 6 สี

3. มือจับ (guide holder)ปกติฟอลโลว์ สปีอตจะร้อนและต้องใช้คน ควบคุมให้ส่ายไปมาจึงต้องใช้มือจับเพื่อความสะดวกของผู้ใช้

4. ชัตเตอร์ และ ไอริส (shutter and iris) ชัตเตอร์กับไอริสจะอยู่ใกล้กันโดยชัตเตอร์ทำหน้าที่เปิดปิดแสง ส่วนไอริสเป็นตัวปรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำแสง

5. โดว์เซอร์ (dowser) เป็นดิมเมอร์แบบกลไกที่ใช้ปรับความสว่างมากน้อยของแสง

6. พัดลมระบายอากาศ (cooling fan) เนื่องจากหลอดไฟที่มีกำลังวัตต์สูงดังนั้นเราต้องระบายอากาศให้มัน เพื่อควบคุมอุณหภูมิของหลอด ไม่อย่างนั้นอายุการใช้งานของหลอดจะสั้นกว่ากำหนด

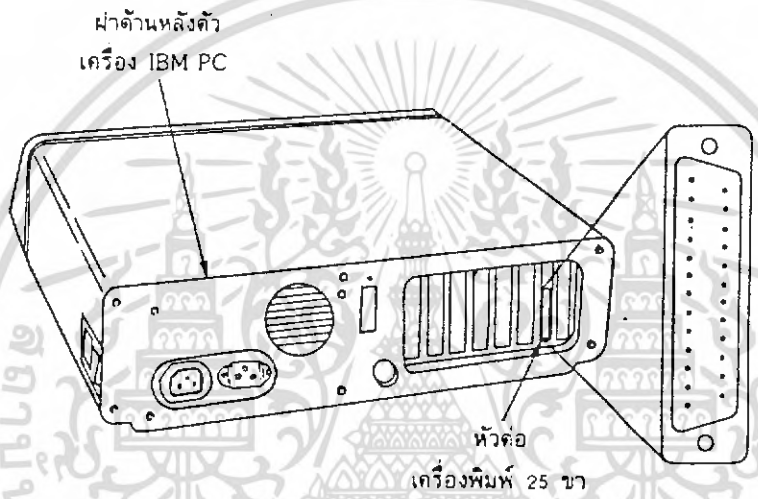
เนื่องจากหลอดไฟที่ใช้กับฟอลโลว์ สปีอต เป็นประเภทฮีอต สปีอต เลนส์และรีเฟล็กเตอร์ต้องรักษาให้สะอาด ระวังอย่าให้มือไปโดนโดยเด็ดขาด ระบบล็อคของน็อตต่าง ๆ ของตัวโคมและขาหยั่งต้องดูแลเป็นอย่างดีเพราะอุปกรณ์พวกนี้จะมีผลต่อการโฟกัส ระวังอย่าให้ตัวฟอลโลว์สปีอตน็อตกับอะไรอื่น รีเฟล็กเตอร์เมื่อเลิกใช้หรือในสภาวะสแตนด์บายต้องปิดไว้ด้วยชัตเตอร์ตลอดเวลา และสุดท้ายหลอดไม่ว่าจะเป็นระบบอาร์คหรือทังสเตนฮาโลเจน ห้ามใช้มือจับเพราะไขมันจากมือจะไปเกาะตัวหลอดเมื่อหลอดร้อนขึ้นจะระเบิดได้ ถ้าหากหลอดโดนมือให้ใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบและหลักการทำงาน

จากแนวความคิดของโครงงานที่จะนำเอาคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาควบคุมการทำงานของดิมเมอร์ โดยส่งผ่านทางพริ้นเตอร์พอร์ส IBMPC สามารถประยุกต์นำมาใช้งานเป็นทางเข้าของข้อมูล (input port) และทางส่งข้อมูลออก (output port) ได้โดยไม่จำเป็นต้องสร้างฮาร์ดแวร์อินพุต/เอาต์พุตพอร์ตขึ้นมาใหม่อีกบน IBMPC รายละเอียดของหัวต่อเครื่องพิมพ์ 25 ขา และวงจรพริ้นเตอร์พอร์ต แสดงดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 2.3



รูปที่ 5.1 หัวต่อเครื่องพิมพ์ 25 ขา

จากวงจรข้างต้นในรูปที่ 2.3 จะพบว่าข้อมูลขนาด 8 บิตจะถูกแลตช์ผ่านโดย IC 74LS374 ทางขา D0(2),D1(3),D2(4),D3(5),D4(6),D5(7),D6(8) และD7(9) ของหัวต่อ 25 ขาตามลำดับซึ่งสามารถอ่านสถานะ บัฟเฟอร์ข้อมูลนั้นได้โดย IC 74LS244แอดเดรสที่ถูกดีโค้ดไว้ในที่นี้ สำหรับบอร์ดอะแดปเตอร์เครื่องพิมพ์ คือหมายเลข 378H

ส่วนที่ข้อมูลที่ส่งออกไปควบคุมพริ้นเตอร์อีก 4 บิต คือ STROBE (1), AUTO FEED(14) INIT(16),SELECT IN (17) สำหรับตำแหน่งดีโค้ดแอดเดรสคือ 37AH เพราะฉะนั้นรวมเอาต์พุตของพอร์ตพริ้นเตอร์เป็น 12 บิต ใช้ช่องข้อมูลที่ส่งออกไปที่ คอนโทรลพอร์ตดังในตารางที่ 5.1 ข้อมูลที่ส่งออกไปเป็นเลขฐาน16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 การส่งข้อมูลคอนโทรลพอร์ตที่ตำแหน่งดีโค้ดแอดเดรส 37AH

HEX	SELECT	INIT	AUTO FEED	STROBE
00H	1	0	1	1
01H	1	0	1	0
02H	1	0	0	1
03H	1	0	0	0
04H	1	1	1	1
05H	1	1	1	0
06H	1	1	0	1
07H	1	1	0	0
08H	0	0	1	1
09H	0	0	1	0
0aH	0	0	0	1
0bH	0	0	0	0
0cH	0	1	1	1
0dH	0	1	1	0
0eH	0	1	0	1
0fH	0	1	0	0

ตัวอย่าง การส่งข้อมูลให้กับคอนโทรลพอร์ต เพื่อให้ IC2 แลตช์ข้อมูลและ IC3 ไม่แลตช์ข้อมูล โดยสั่งให้ AUTO FEED เป็น "1" และ DATA STROBE เป็น "0" ดังนี้

outportb(0x37a,0x01) ดูรูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 การ Decode channel ตั้งแต่ channel (1-32)

CH	DATA								HEX
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
1	0	0	1	0	0	0	0	0	20H
2	0	0	1	0	0	0	0	1	21H
3	0	0	1	0	0	0	1	0	22H
4	0	0	1	0	0	0	1	1	23H
5	0	0	1	0	0	1	0	0	24H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 การ Decode channel ตั้งแต่ channel (1-32)ต่อ

CH	DATA								HEX
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
6	0	0	1	0	0	1	0	1	25H
7	0	0	1	0	0	1	1	0	26H
8	0	0	1	0	0	1	1	1	27H
9	0	0	1	0	1	0	0	0	28H
10	0	0	1	0	1	0	0	1	29H
11	0	0	1	0	1	0	1	0	2aH
12	0	0	1	0	1	0	1	1	2bH
13	0	0	1	0	1	1	0	0	2cH
14	0	0	1	0	1	1	0	1	2dH
15	0	0	1	0	1	1	1	0	2eH
16	0	0	1	0	1	1	1	1	2fH
17	0	0	0	1	0	0	0	0	10H
18	0	0	0	1	0	0	0	1	11H
19	0	0	0	1	0	0	1	0	12H
20	0	0	0	1	0	0	1	1	13H
21	0	0	0	1	0	1	0	0	14H
22	0	0	0	1	0	1	0	1	15H
23	0	0	0	1	0	1	1	0	16H
24	0	0	0	1	0	1	1	1	17H
25	0	0	0	1	1	0	0	0	18H
26	0	0	0	1	1	0	0	1	19H
27	0	0	0	1	1	0	1	0	1aH
28	0	0	0	1	1	0	1	1	1bH
29	0	0	0	1	1	1	0	0	1cH
30	0	0	0	1	1	1	0	1	1dH
31	0	0	0	1	1	1	1	0	1eH
32	0	0	0	1	1	1	1	1	1fH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงาน

จากพอร์ตพริ้นเตอร์ที่อยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ 25 ขาแต่เมื่อใช้สายพริ้นเตอร์อีกด้านหนึ่งที่ต่อเข้ากับพริ้นเตอร์จะเป็นคอนเน็คเตอร์แบบ 36 ขาดังนั้นในการออกแบบจะถือตำแหน่งที่เข้าทางพริ้นเตอร์

รูปที่ 5.2 บล็อกไดอะแกรม

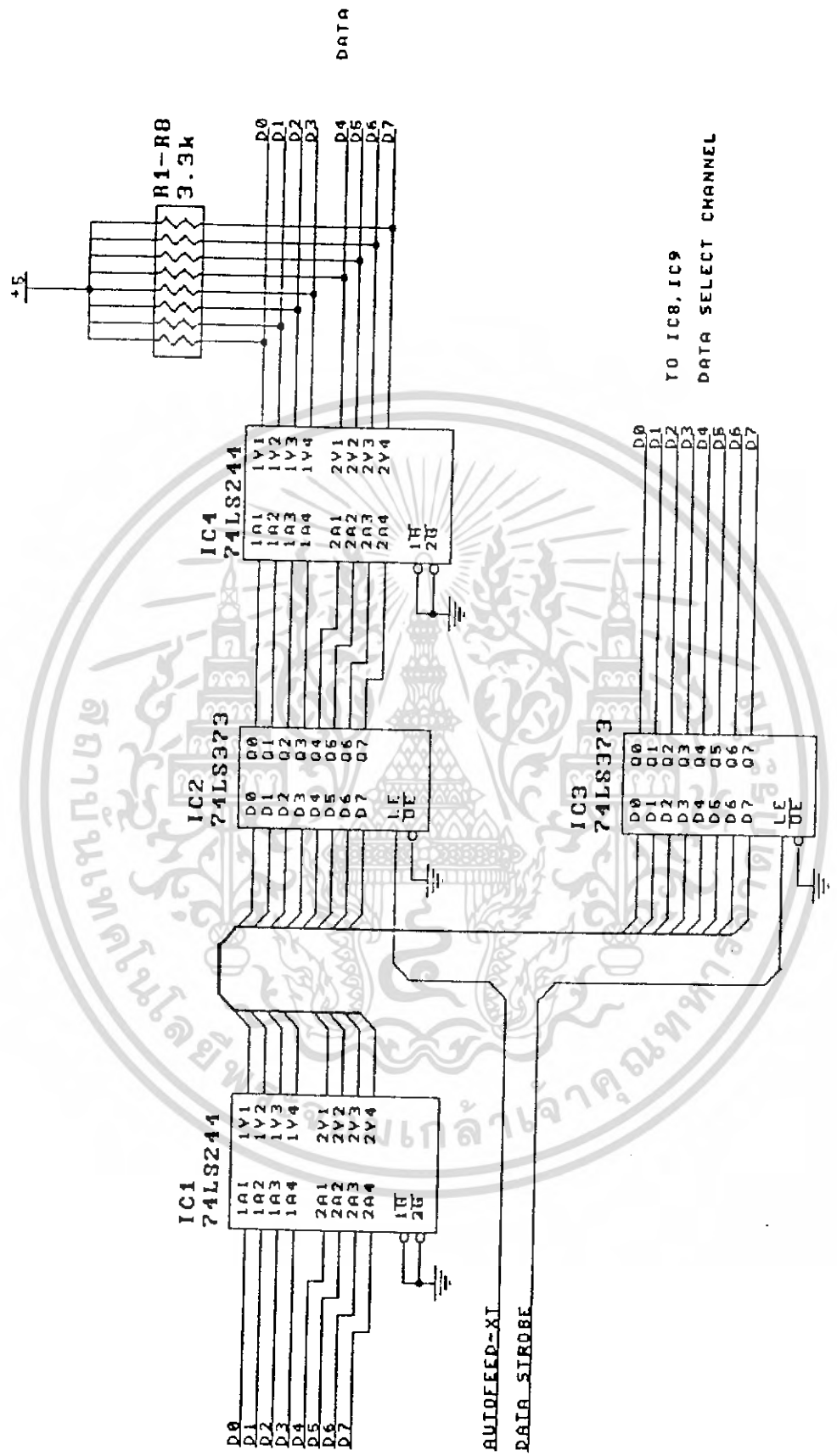
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.2 คือบล็อกไดอะแกรมการทำงาน สามารถอธิบายการทำงานของวงจรได้ดังนี้ คือ การส่งข้อมูลที่ส่งออกมาจากพอร์ตพริ้นเตอร์นี้จะส่งข้อมูลมา 2 ครั้ง ต่อ 1 ช่อง โดยที่ข้อมูลที่ส่งออกมาครั้งแรก(โดยใช้เบอร์พอร์ต 378H) แลตช์ที่ IC 74LS373 แล้วจะส่งคอนโทรลพอร์ต (โดยใช้เบอร์พอร์ต37AH) ข้อมูลคือ 01H ข้อมูลความสว่างก็จะไปรอที่ IC 74LS373 ทุก channel จากนั้นจะส่งข้อมูลการเลือก channel ที่จะให้ channel ไหน ติดหรือดับ โดยการส่งข้อมูลทาง data พอร์ตและส่งคอนโทรลพอร์ตโดยข้อมูลของคอนโทรลพอร์ตคือ 02H ตำแหน่งของข้อมูลก็จะไปแลตช์ที่ IC 74LS373 (ทางด้านขวามือ) ส่งต่อไปที่ IC 74LS154 ซึ่งทำหน้าที่ Decode เข้า 4 ออก 16 ส่งต่อไปที่ NOT GATE แล้วส่งไป Enable ของ IC 74LS373 ของ channel ที่ต้องการควบคุม ลำดับการทำงานก็จะทำเหมือนกันที่ channel อื่น ๆ

วงจรใช้งานจริง

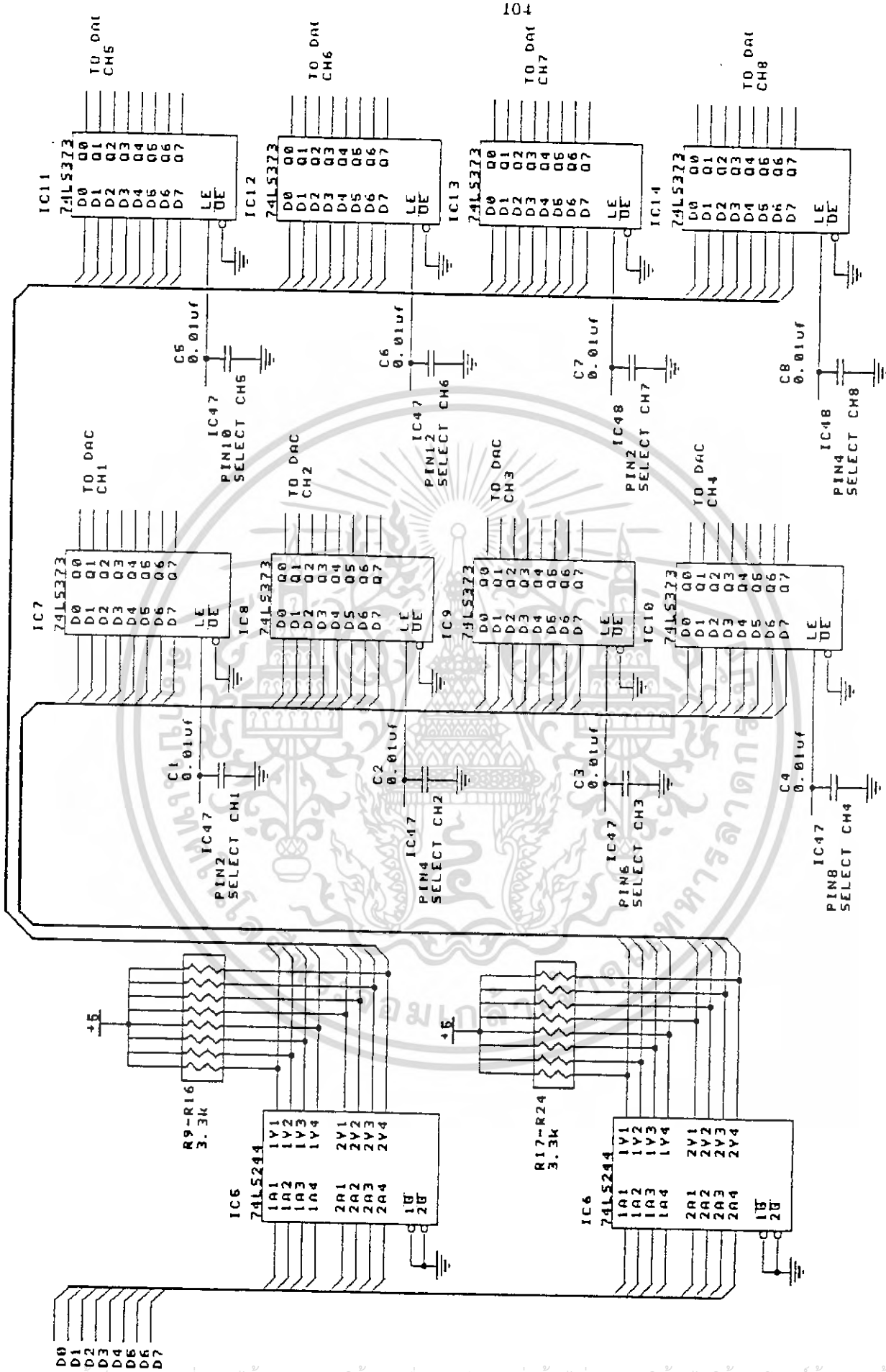
เริ่มจาก วงจรชุดแลตช์ข้อมูลที่ได้รับจากพอร์ตพริ้นเตอร์ วงจรแลตช์ข้อมูลระดับ 0-10 โวลต์ วงจรเลือกช่องที่จะทำงานซึ่งสามารถเลือกได้ทั้งหมด 32 ช่อง วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นอนาล็อก และสุดท้าย วงจรภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



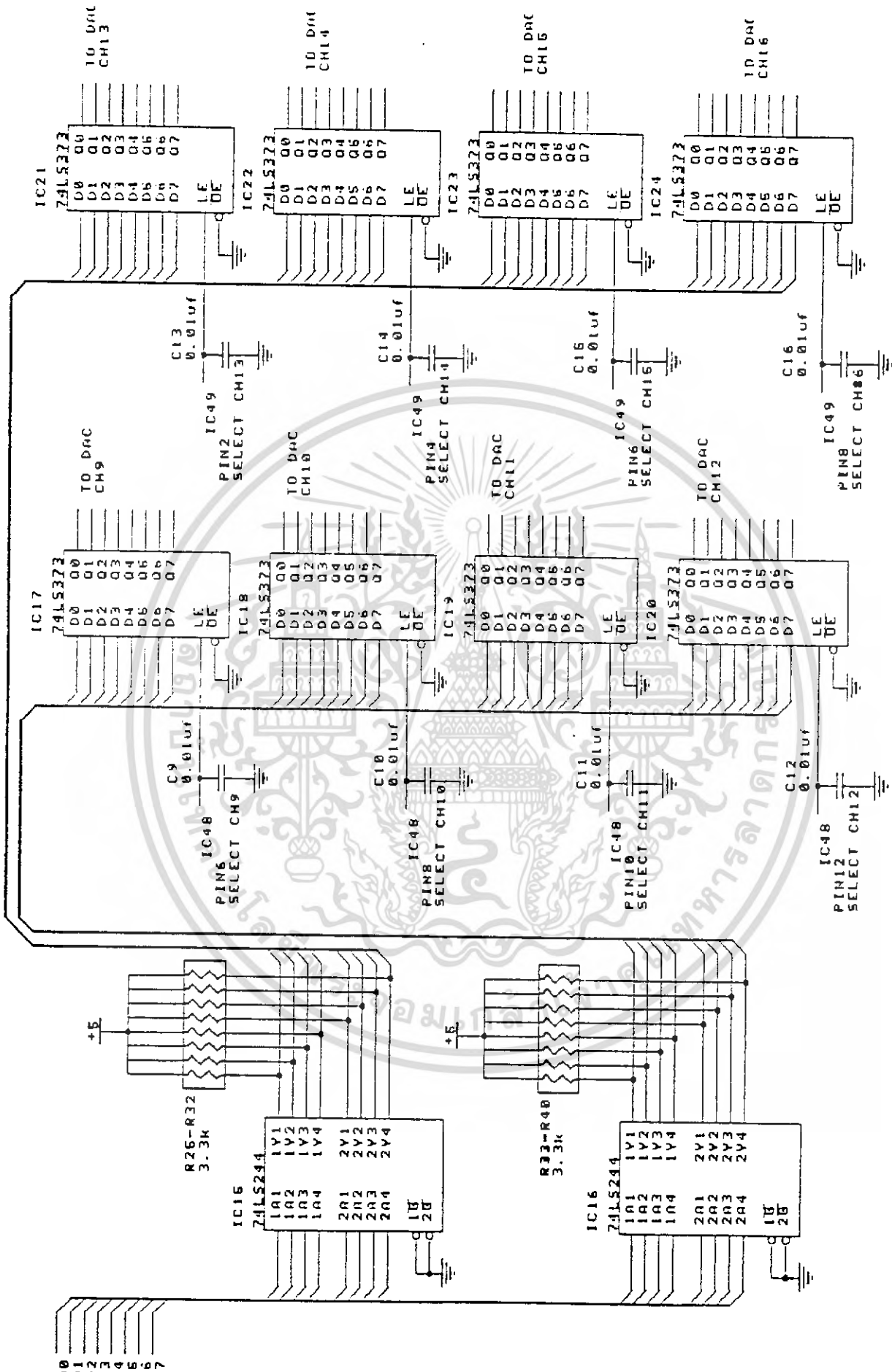
รูปที่ 5.3 วงจรอุปกรณ์ขับอุปกรณ์ที่ต่อมาจากพอร์ตขนานเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



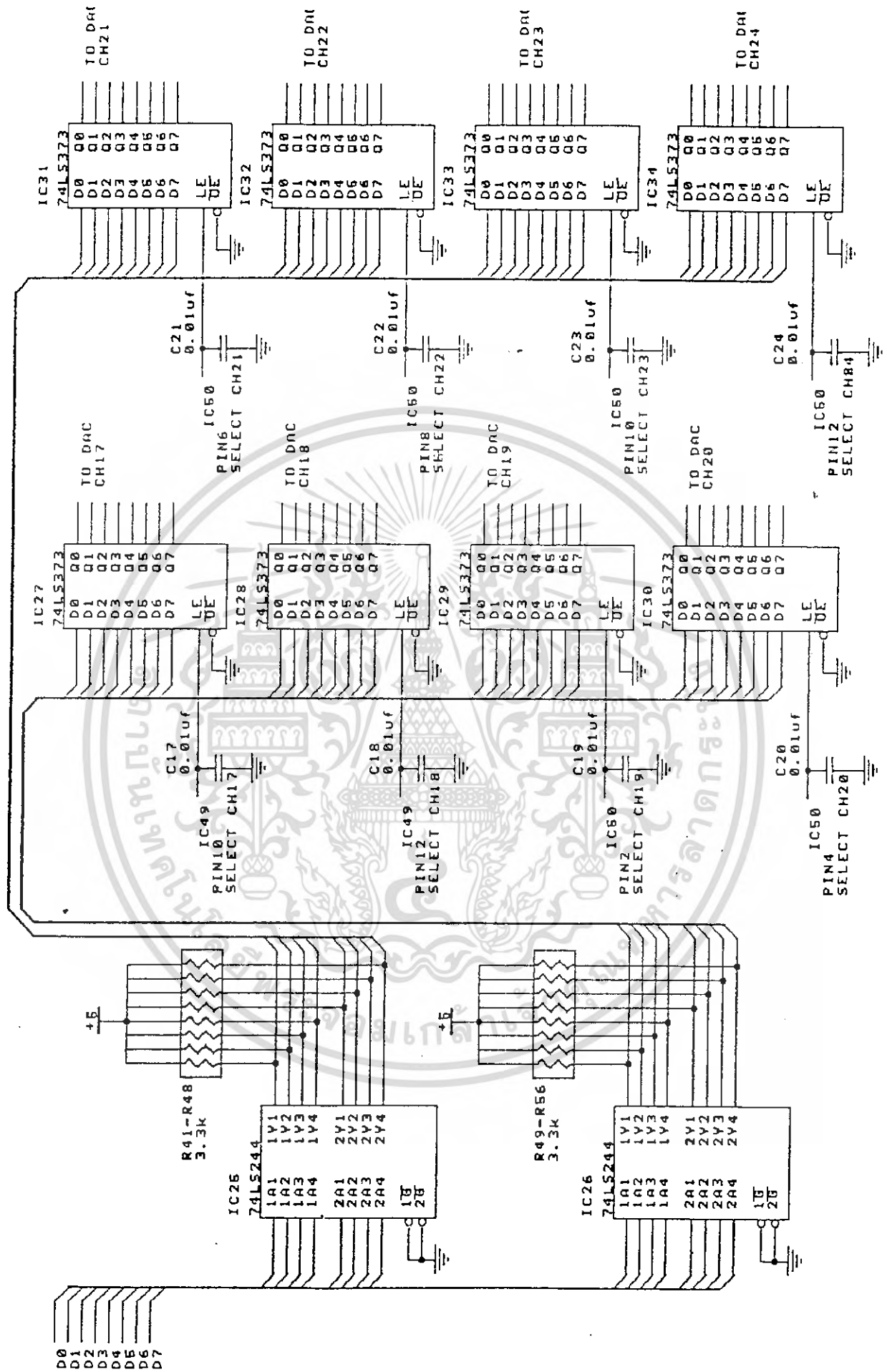
รูปที่ 5.4 วงจรแสดงขั้วข้อมูลและขั้น 0-10 โวลต์ ช่อง 1-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



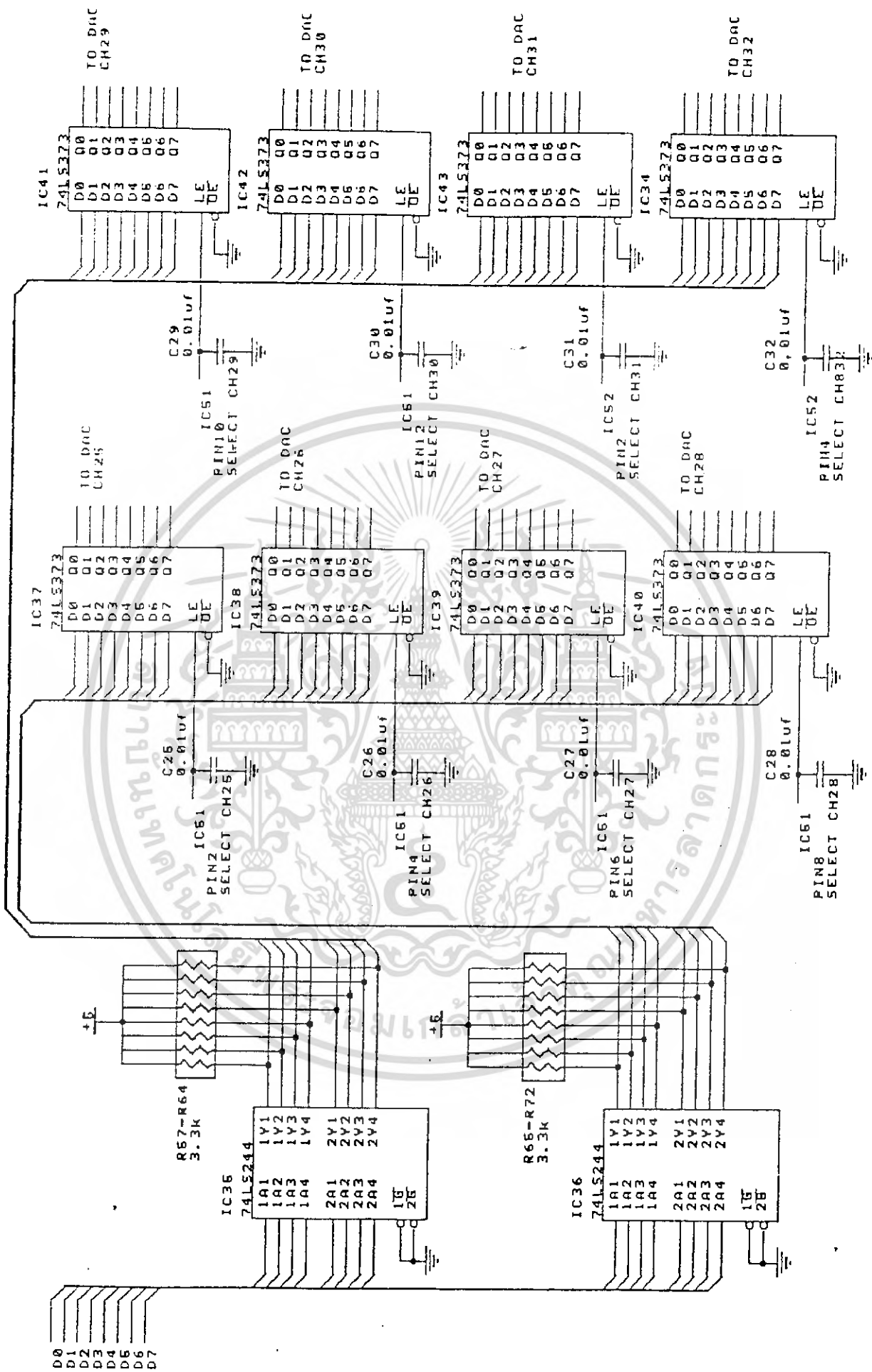
รูปที่ 6.6 วงจรแยกข้อมูลช่วงที่ 0-10 ไปแต่ ช่อง 0-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



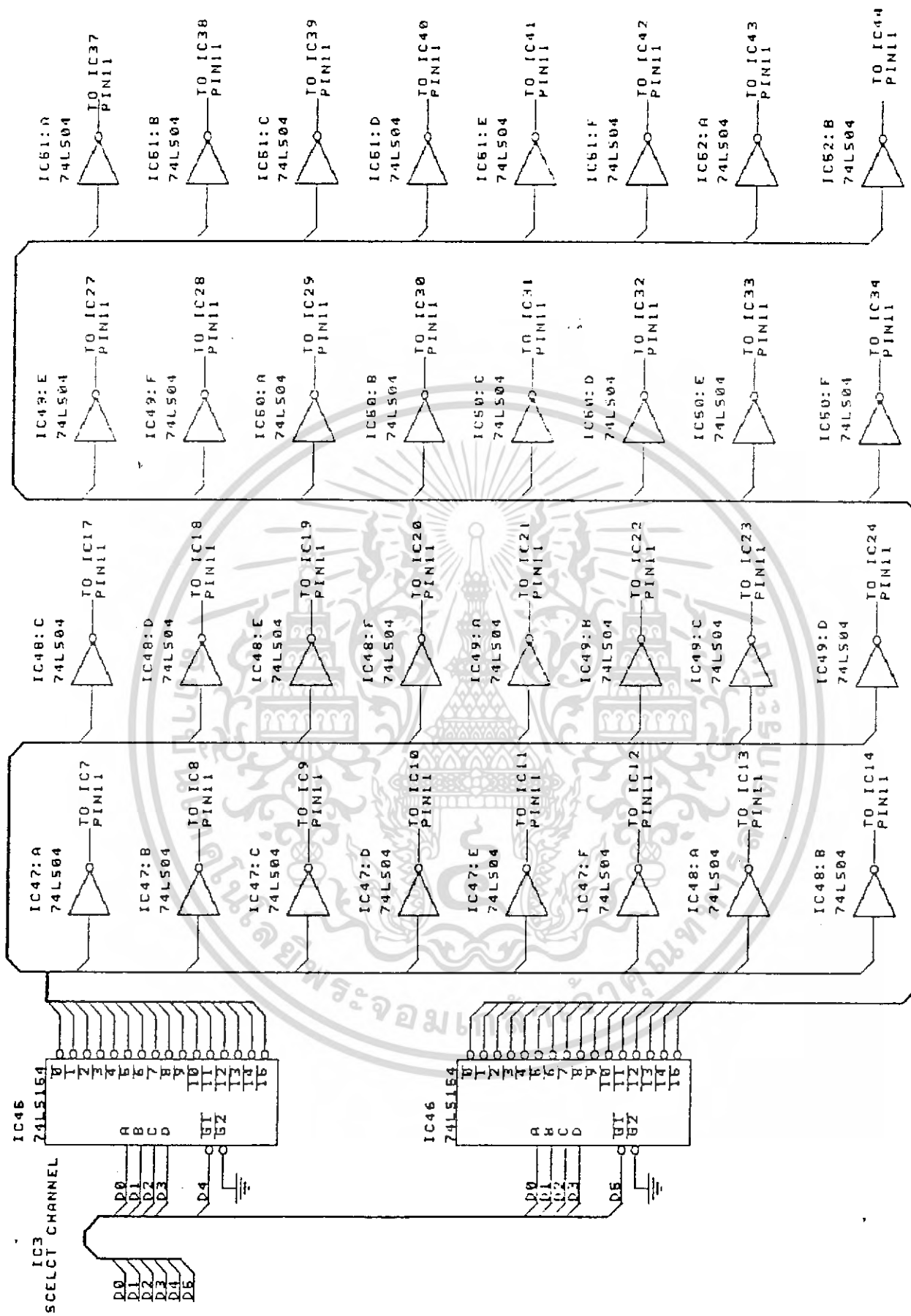
รูปที่ 5.6 วงจรถอดรหัสแอดเดรสเป็น 0-10 โวลต์ ช่อง 17-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



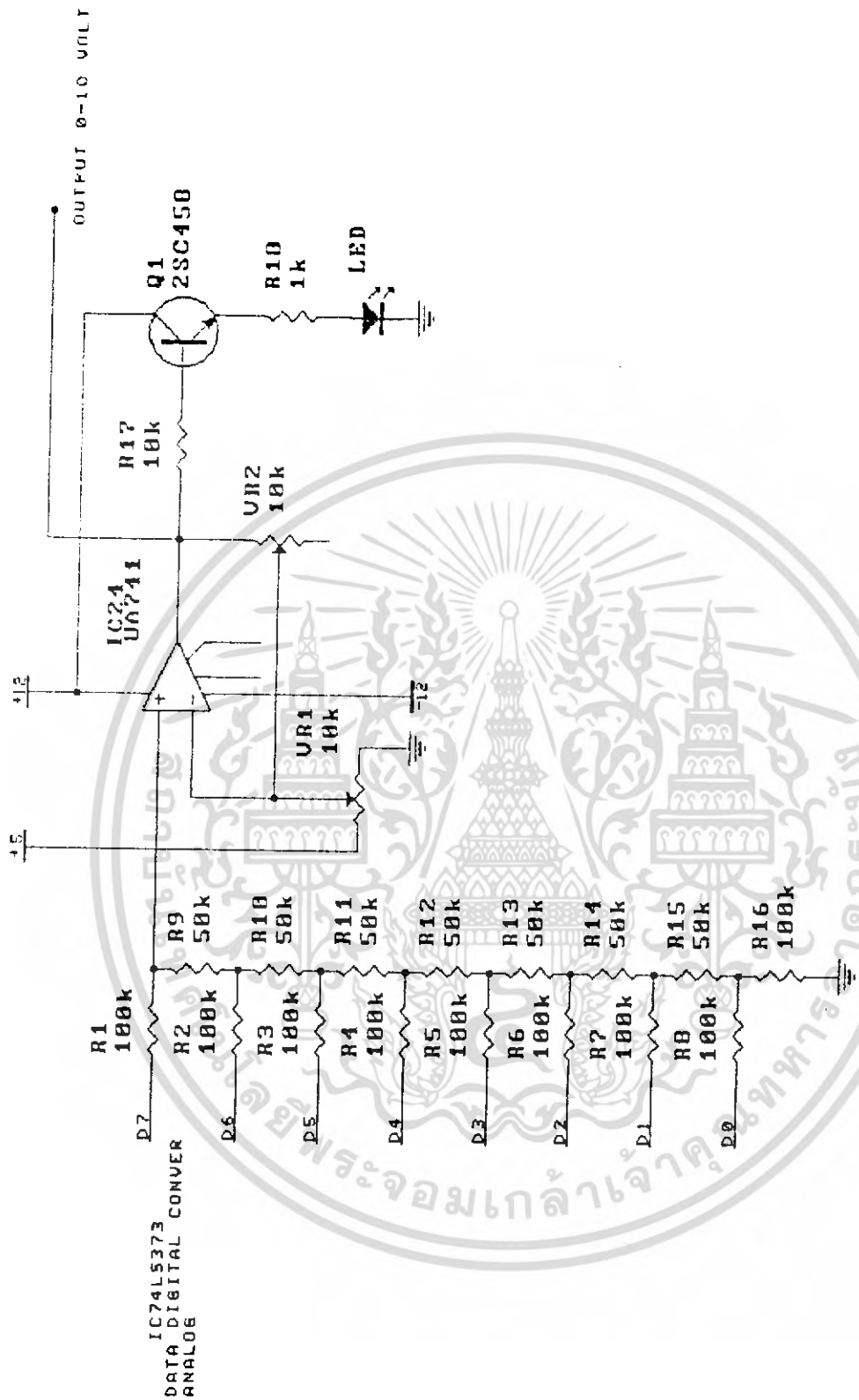
รูปที่ 6.7 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก 0-10 โวลต์ ช่อง 25-32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



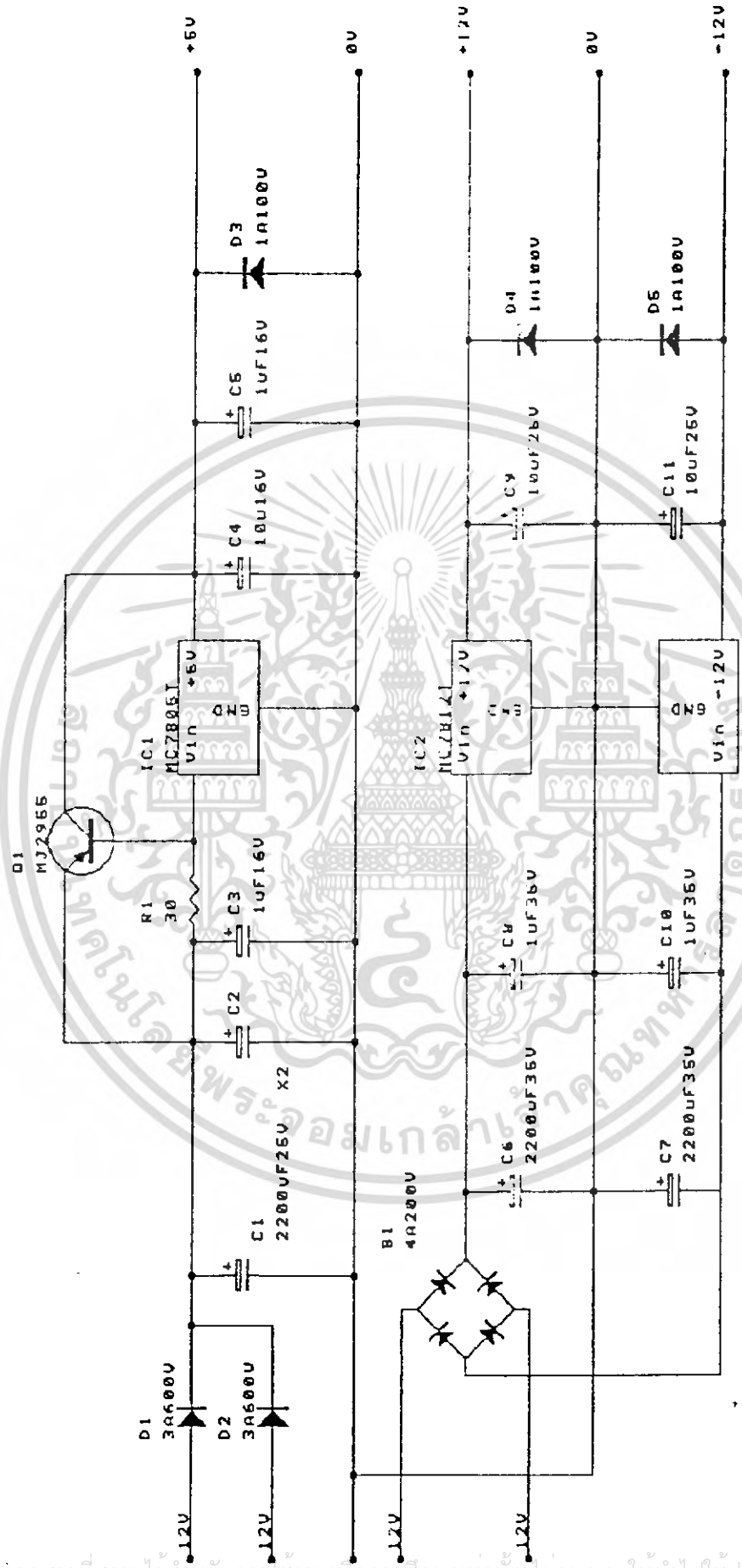
รูปที่ 6.8 วงจรเลือกช่องสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่อกับเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นอนาล็อก

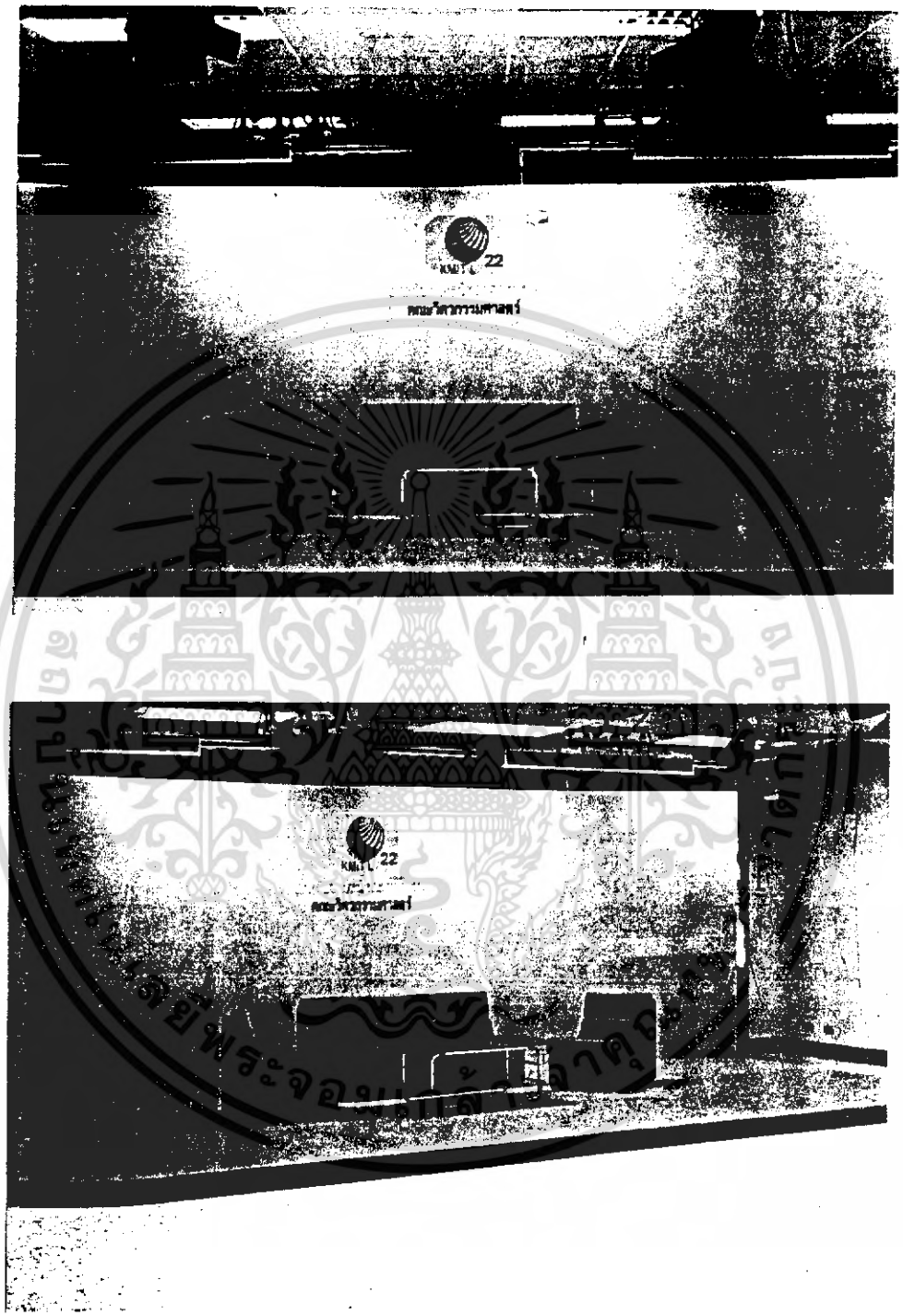
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 วงจรภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสตูดิโอ



รูปที่ 5.11 ห้องสตูดิโอ สถานีโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.11 แสดงถึงรูปภาพของห้องสตูดิโอของ ภาคเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งห้องนี้อยู่ที่ ภาคเทคนิคอุตสาหกรรม ชั้นที่ 12 ห้อง 12-3 จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของโครงงาน เพื่อทำการบันทึกเทป และออกอากาศโดยได้จัดทำขึ้นตั้งแต่ทำโครงงาน 1 แล้ว ได้ใช้งานจริง ในงานลาคกระบังนิทรรศน์เฉลิมพระเกียรติ ผลปรากฏว่าได้ผลดีตามวัตถุประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

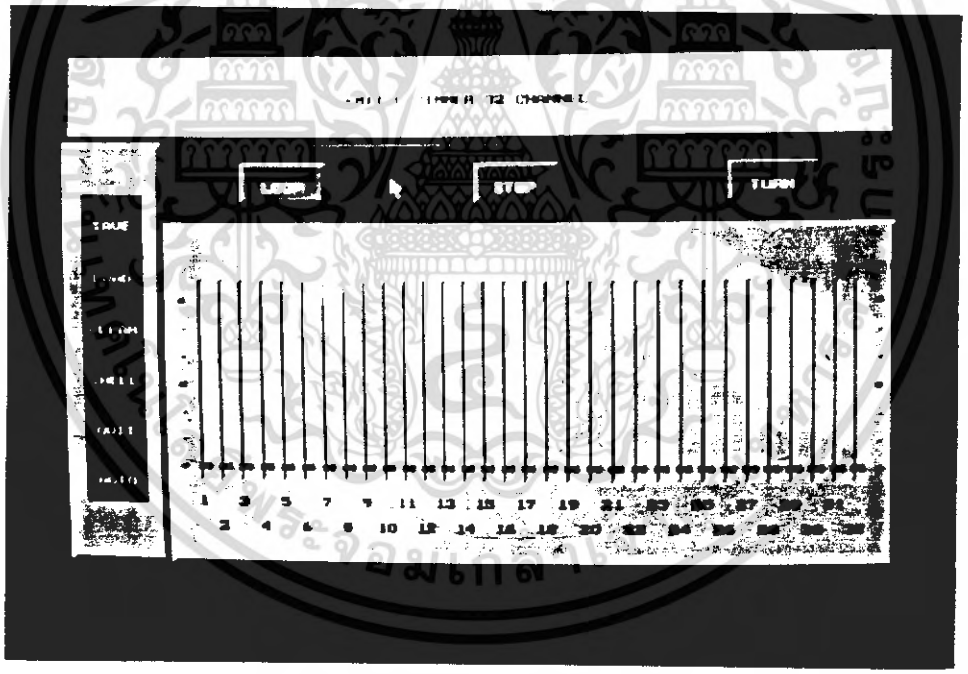
บทที่ 6

โปรแกรมควบคุมการทำงานและใช้งาน

LIGHT PLUS เป็นโปรแกรมใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมดิมเมอร์ (Control Dimmer) พัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา C ผู้ออกแบบโปรแกรมได้ออกแบบให้มีการทำงานติดต่อกับผู้ใช้ผ่าน Graphics และ Mouse ทำให้โปรแกรมมีความสวยงามและสะดวกในการใช้งาน

การใช้งานโปรแกรม

เมื่อเข้าสู่โปรแกรม โดยการพิมพ์ LIGHT PLUS จะเข้าสู่โหมดกราฟฟิค บนหน้าจอ จะเห็นว่าจะปรากฏ slide bar เหมือนกับ slide ของเครื่องควบคุมดิมเมอร์จริง การใช้งานก็คล้ายกัน คือ ระดับล่างสุดจะหมายถึงระดับแรงดันไฟต่ำสุด และระดับบนสุดหมายถึงระดับแรงดันไฟสูงสุด โดยมีจำนวน channel ทั้งหมด 32 channel เมื่อต้องการระดับความสว่างระดับไหนก็เพียง คลิก mouse ไปที่ระดับนั้นใน channel ที่ต้องการ



รูปที่ 6.1 ฟังก์ชั่นการใช้งานและพื้นที่ slide bar เหมือนใช้งานจริง

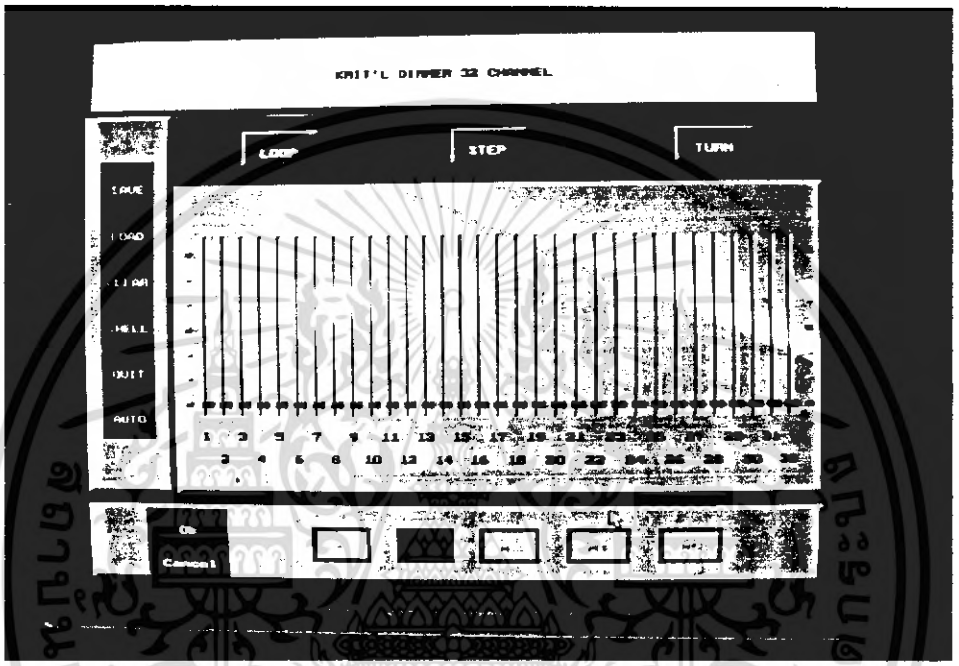
ฟังก์ชั่น SAVE

เป็นฟังก์ชั่นสำหรับบันทึกรูปแบบการทำงานในขณะนั้นเข้าในโปแกรม โดยคลิก mouse บนปุ่ม SAVE จะปรากฏหน้าจอ ปุ่มสำหรับบันทึก เมื่อต้องการบันทึกไว้ที่ปุ่มใดก็ทำการคลิกที่ปุ่มนั้น จากนั้น คลิก mouse บนปุ่ม Ok ก็จะทำการบันทึก หากต้องการยกเลิกกด Cancel

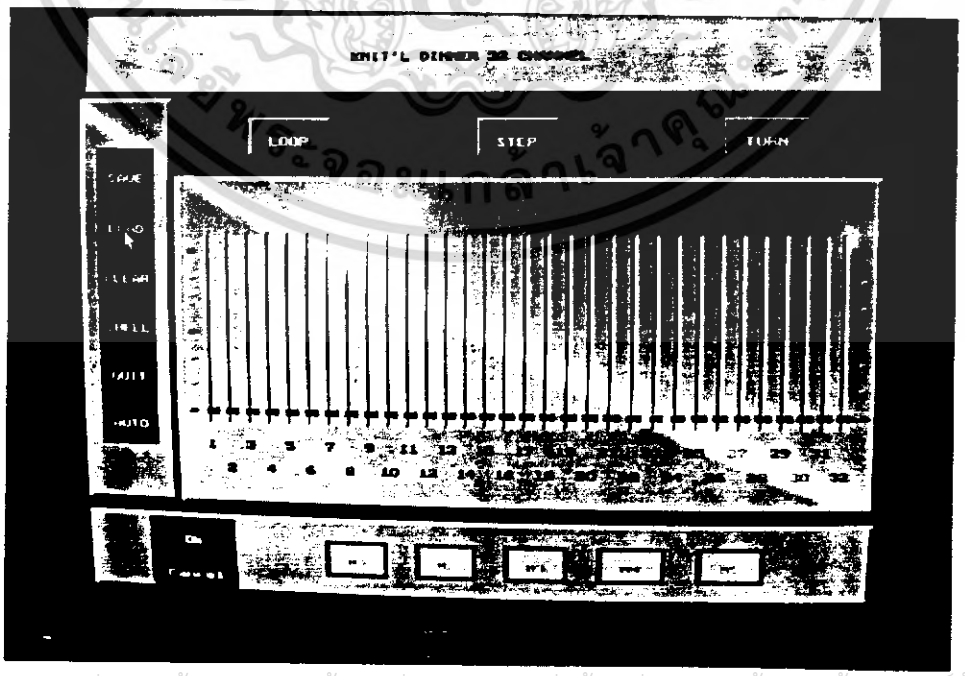
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น LOAD

เป็นฟังก์ชั่นสำหรับเรียกโปรแกรมที่บันทึกไว้ออกมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงาน โดยคลิก mouse บนปุ่ม LOAD จะปรากฏหน้าจอ ปุ่มสำหรับเรียก เมื่อต้องการเรียกโปรแกรมที่เก็บไว้ที่ปุ่มใด ก็คลิก mouse บนปุ่มนั้น จากนั้นคลิก mouse บนปุ่ม Ok ก็จะทำการควบคุมการทำงานตามโปรแกรมที่บันทึกไว้หากต้องการ ยกเลิก คลิก mouse ที่ปุ่ม Cancel



รูปที่ 6.2 การเรียกฟังก์ชั่น SAVE

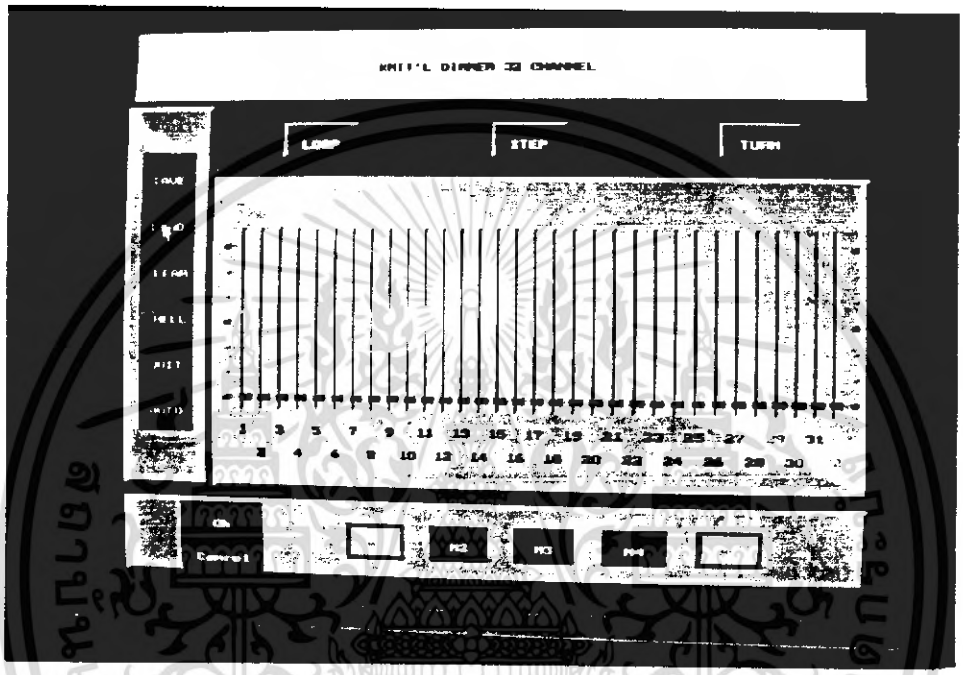


รูปที่ 6.3 การเรียกฟังก์ชั่น LOAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น CLEAR

เป็นฟังก์ชั่นสำหรับทำการลบข้อมูลการควบคุมที่บันทึกไว้โดยคลิก mouse บนปุ่ม CLEAR จะปรากฏปุ่มสำหรับเลือกลบโปรแกรมที่บันทึกไว้ เมื่อคลิก mouse บนปุ่มที่ต้องการลบ และคลิกบนปุ่ม Ok หรือต้องการยกเลิกให้คลิกปุ่ม Cancel



รูปที่ 6.4 การเรียกฟังก์ชั่น CLEAR

ฟังก์ชั่น SHELL

เป็นฟังก์ชั่นสำหรับออกจากการทำงานของโปรแกรมเพื่อเข้าสู่ระบบ Dos ชั่วคราว โดยคลิก mouse บนปุ่ม SHELL หรือกดปุ่ม ESC เมื่อต้องการกลับเข้ามาให้พิมพ์ EXIT ที่ Command line

ฟังก์ชั่น QUIT

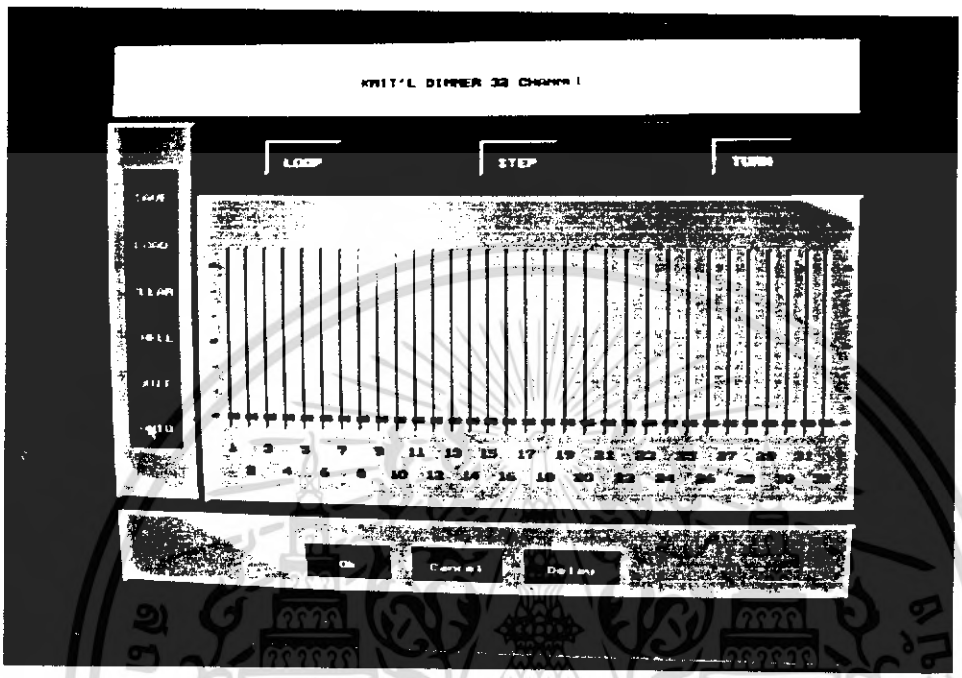
เป็นฟังก์ชั่นสำหรับจบการทำงาน ออกจากโปรแกรมโดยคลิก mouse บนปุ่ม QUIT

ฟังก์ชั่น AUTO

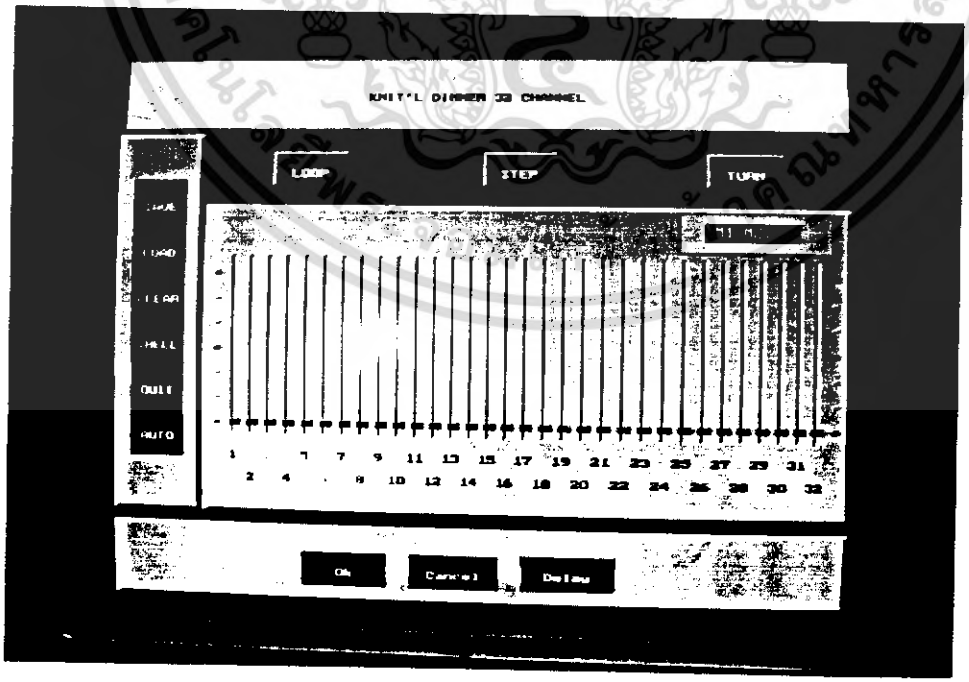
เป็นฟังก์ชั่นสำหรับเข้าสู่ระบบการเรียก การทำงานแบบต่อเนื่องระหว่างรูปแบบที่บันทึกไว้ เมื่อคลิก mouse บนปุ่ม AUTO จะปรากฏ menu ได้แก่ Delay เป็นปุ่มสำหรับตั้งค่า Delay time ระหว่างรูปแบบ โดยป้อนหน่วยเป็น วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่ม Ok เป็นปุ่มสำหรับให้โปรแกรมทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้ ปุ่ม Cancel เมื่อต้องการยกเลิกการทำงาน



รูปที่ 6.5 การเรียกฟังก์ชั่น AUTO



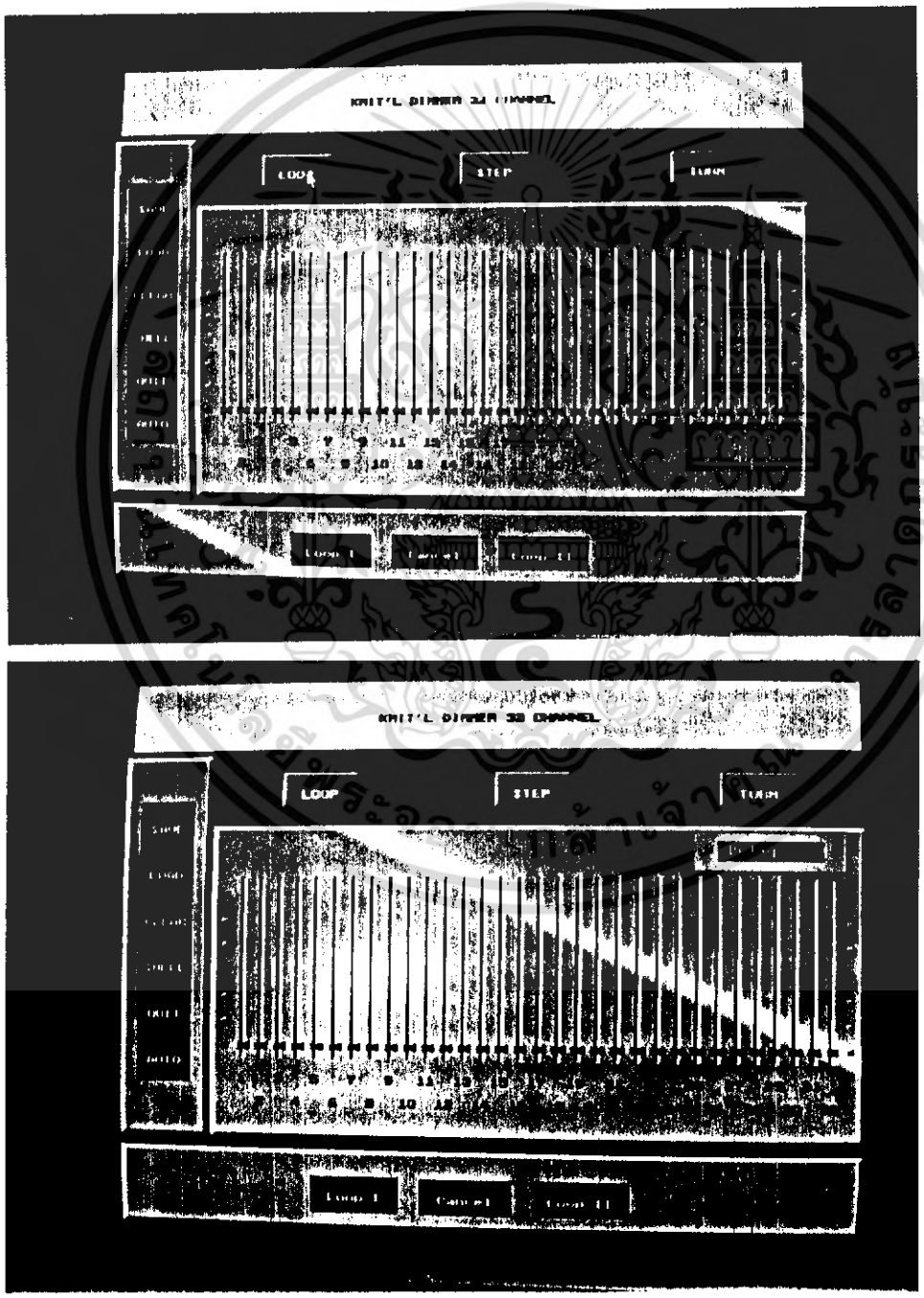
รูปที่ 6.6 การเรียก Delay เพื่อป้อน Time Delay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น LOOP

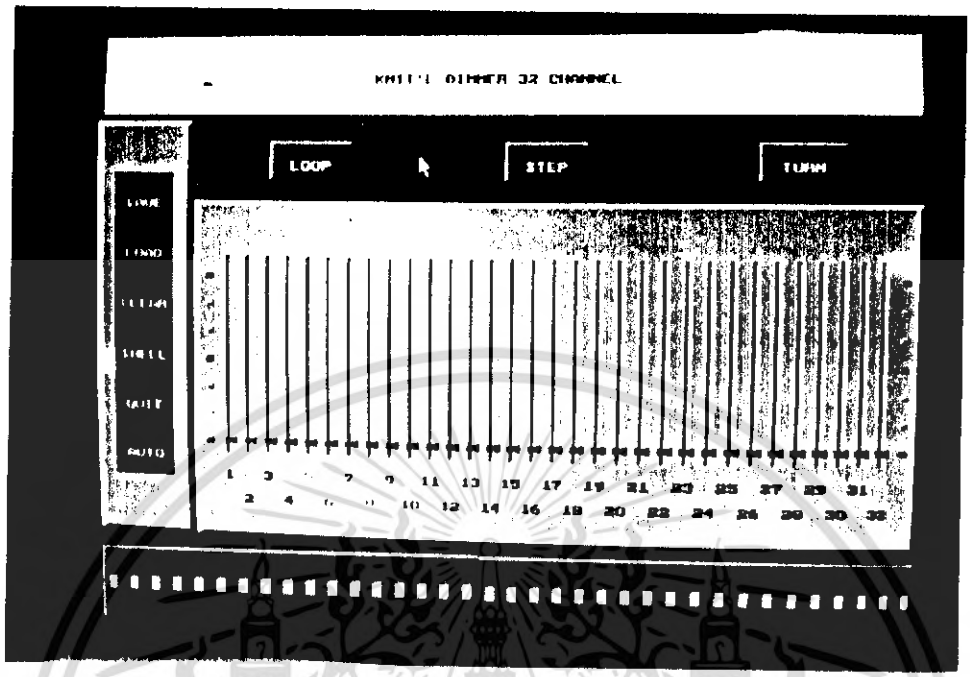
เป็นฟังก์ชั่นสำหรับ RUN โปรแกรม ควบคุมการทำงานรูปแบบพิเศษ เมื่อคลิก mouse บนปุ่ม LOOP จะปรากฏปุ่ม menu ให้เลือก

ปุ่ม LOOP I เป็นการทำงานลักษณะไฟ ตามกราฟฟิคที่แสดงบนหน้าจอ ปุ่ม LOOP II ก็เป็นการทำซ้ำรูปแบบตามกราฟฟิคที่แสดงบนหน้าจอ เช่นกัน และปุ่ม Cancel เป็นปุ่มสำหรับยกเลิกการทำงาน เมื่อเลือกปุ่มฟังก์ชั่นใด โปรแกรมจะให้ป้อนค่า Time Delay สำหรับจังหวะ การทำงานของฟังก์ชั่นนั้น และการเลิกการทำงานใน LOOP I และ LOOP II นั้นให้กด Any Key

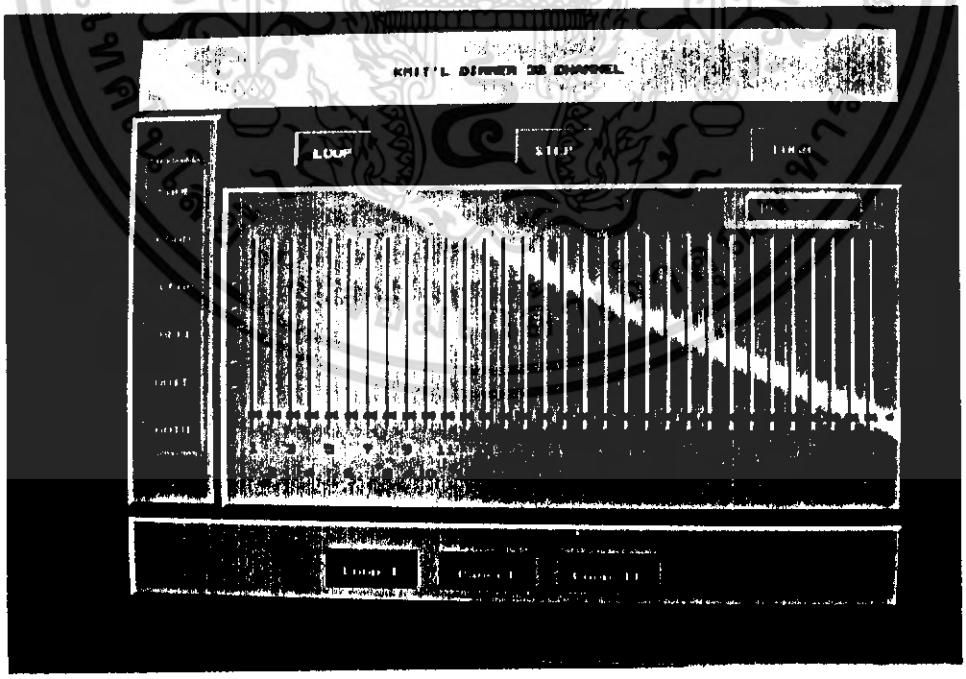


รูปที่ 6.7 การเรียกฟังก์ชั่น LOOP และ การเรียก LOOP I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

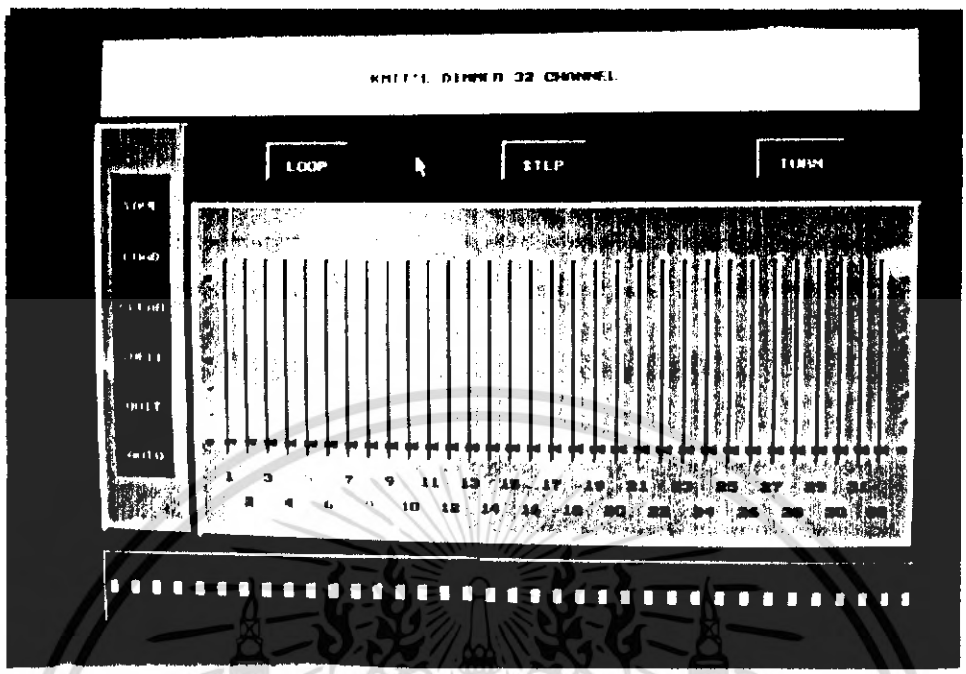


รูปที่ 6.8 กราฟฟิคแสดงการทำงาน LOOP I



รูปที่ 6.9 การเรียก LOOP II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



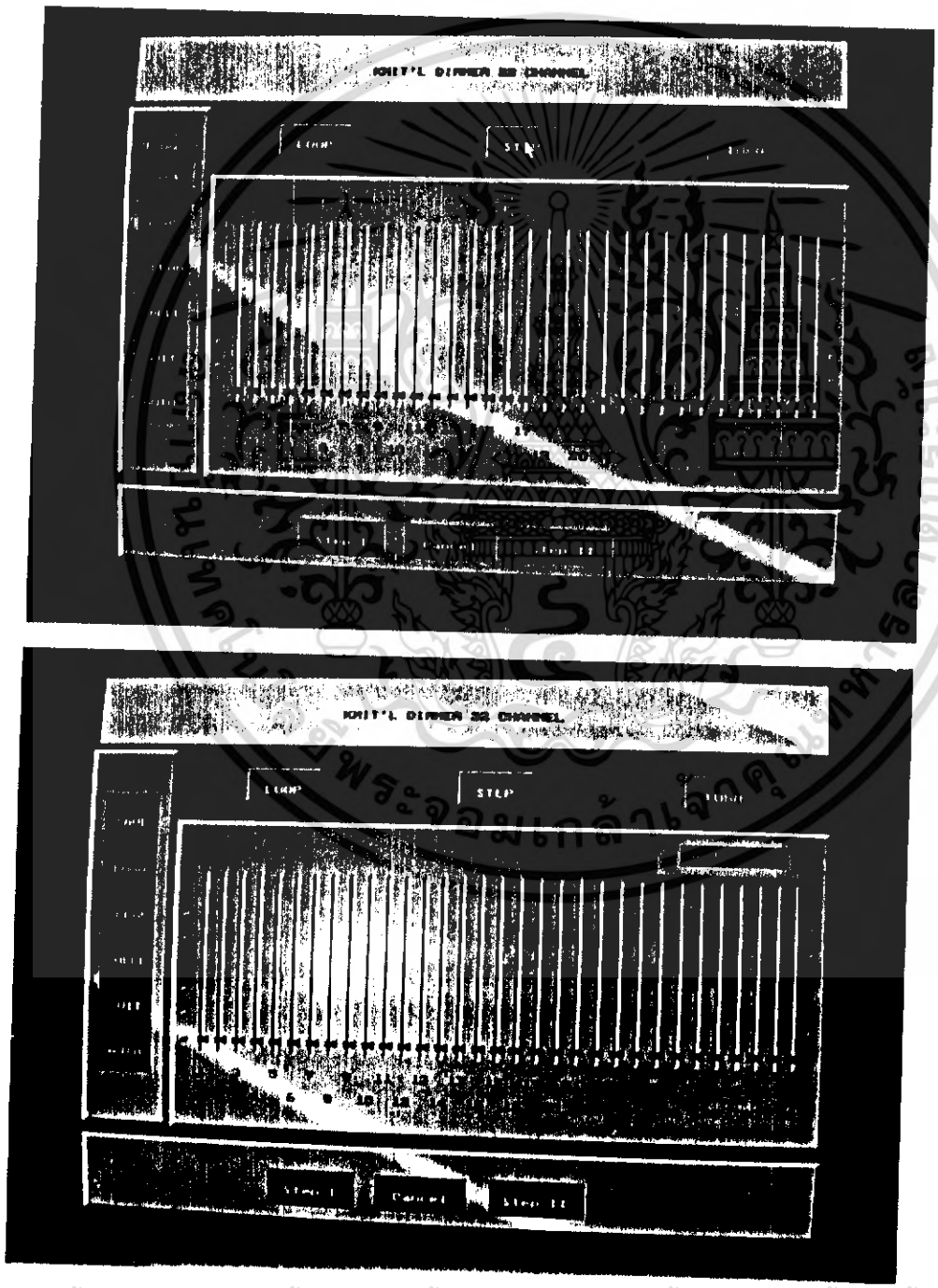
รูปที่ 6.10 กราฟฟิกแสดงการทำงาน LOOP II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชัน STEP

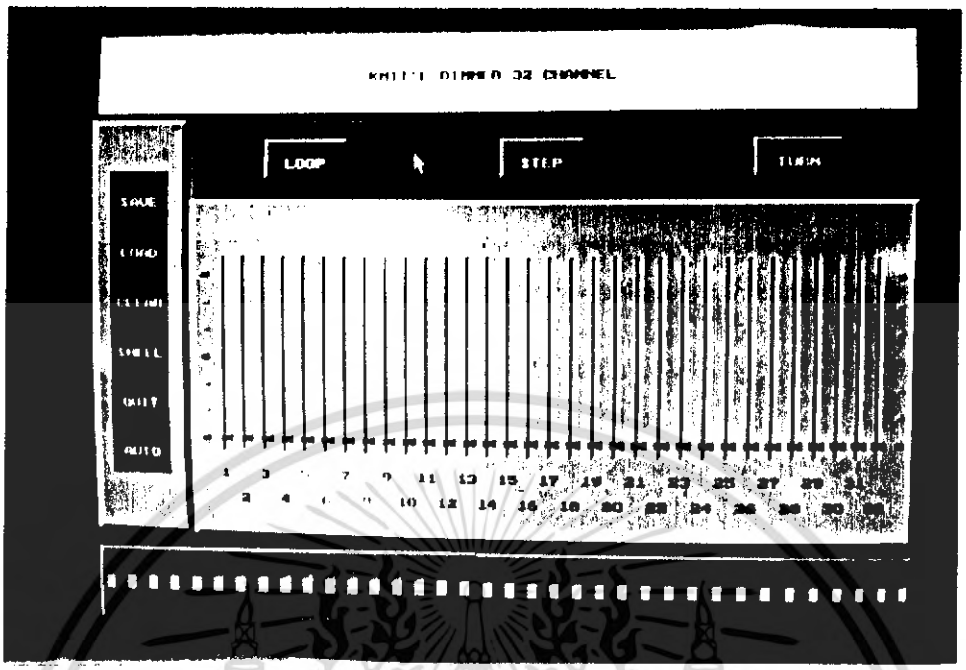
เป็นฟังก์ชันสำหรับ RUN โปรแกรม ควบคุมการทำงานรูปแบบพิเศษ เมื่อคลิก mouse บนปุ่ม STEP จะปรากฏปุ่ม menu ให้เลือก

ปุ่ม STEP I เป็นการทำงานลักษณะไฟ ตามกราฟฟิคที่แสดงบนหน้าจอ ปุ่ม STEP II ก็เป็นการทำอีกรูปแบบตามกราฟฟิคที่แสดงบนหน้าจอ เช่นกัน และปุ่ม Cancel เป็นปุ่มสำหรับยกเลิกการทำงานเมื่อเลือกปุ่มฟังก์ชั่นใด โปรแกรมจะให้ป้อนค่า Time Delay สำหรับจังหวะ การทำงานของฟังก์ชั่นนั้น และการเลิกการทำงานใน STEP I และ STEP II นั้นให้กด Any Key

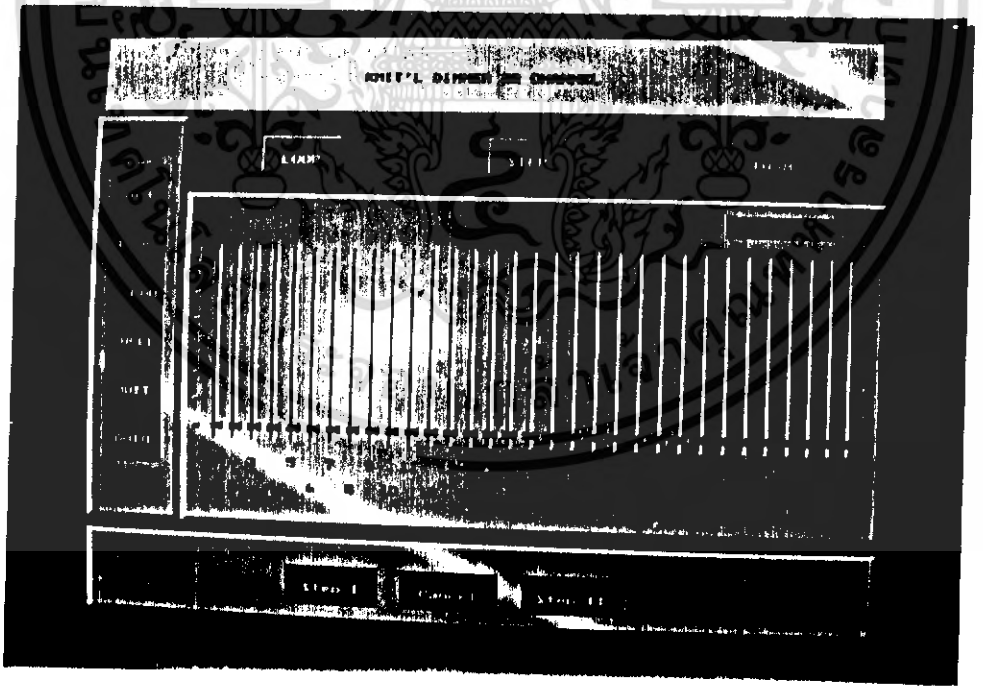


รูปที่ 6.11 การเรียกฟังก์ชั่น STEP และ การเรียก STEP I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

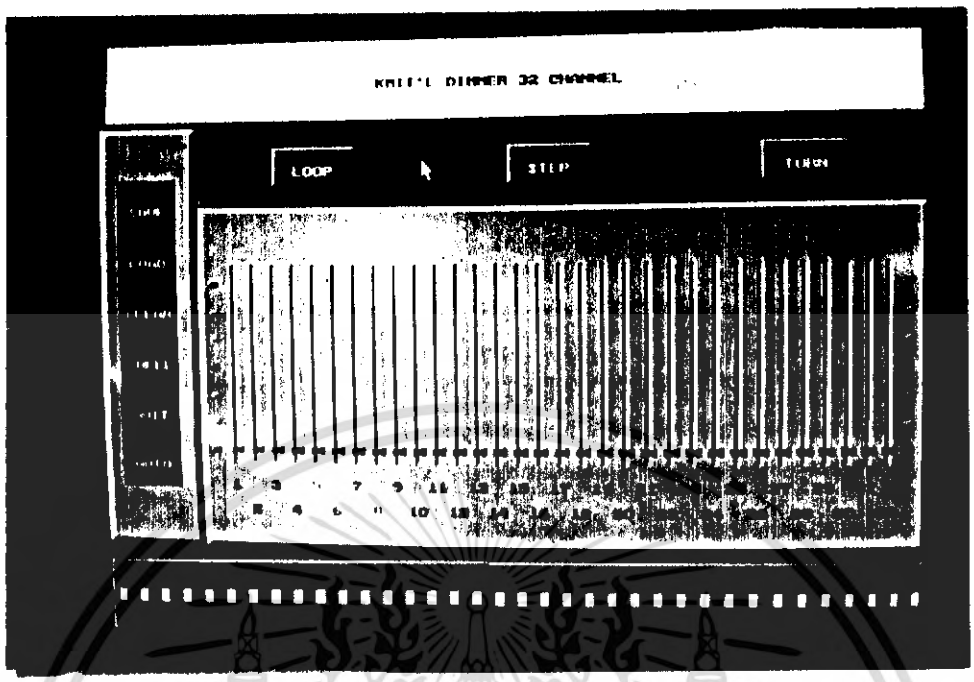


รูปที่ 6.12 กราฟฟิคแสดงการทำงาน STEP I



รูปที่ 6.13 การเรียก STEP II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



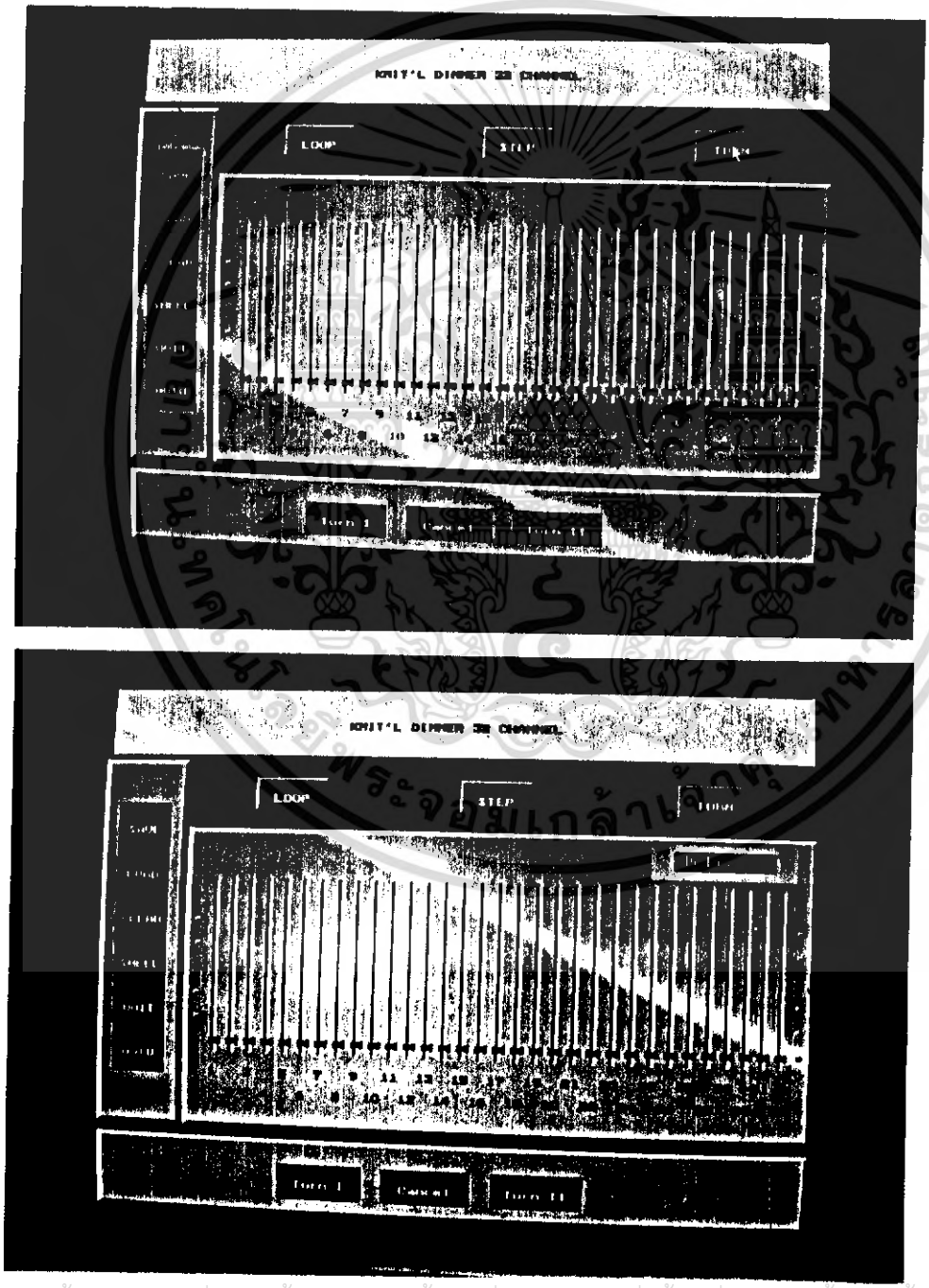
รูปที่ 6.14 กราฟฟิคแสดงการทำงาน STEP II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชัน TURN

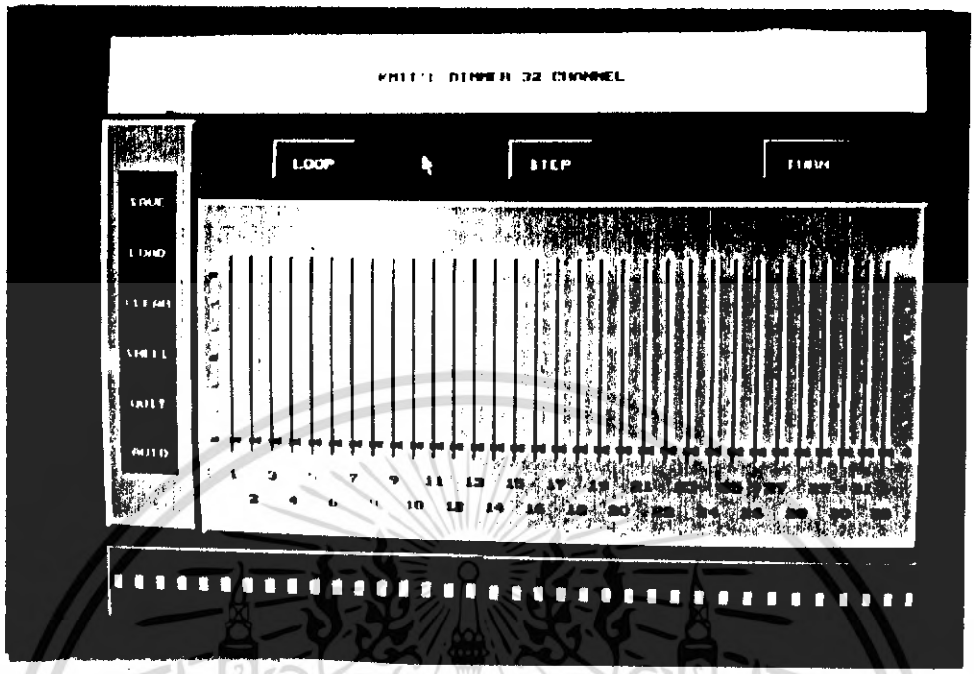
เป็นฟังก์ชันสำหรับ RUN โปรแกรม ควบคุมการทำงานรูปแบบพิเศษ เมื่อคลิก mouse บนปุ่ม TURN จะปรากฏปุ่ม menu ให้เลือก

ปุ่ม TURN I เป็นการทำงานลักษณะไฟ ตามกราฟฟิคที่แสดงบนหน้าจอ ปุ่ม TURN II ก็เป็นการทำอีกรูปแบบตามกราฟฟิคที่แสดงบนหน้าจอ เช่นกัน และปุ่ม Cancel เป็นปุ่มสำหรับยกเลิกการทำงานเมื่อเลือกปุ่มฟังก์ชั่นใด โปรแกรมจะให้ป้อนค่า Time Delay สำหรับจังหวะ การทำงานของฟังก์ชั่นนั้น และการเลิกการทำงานใน TURN I และ TURN II นั้นให้กด Any Key

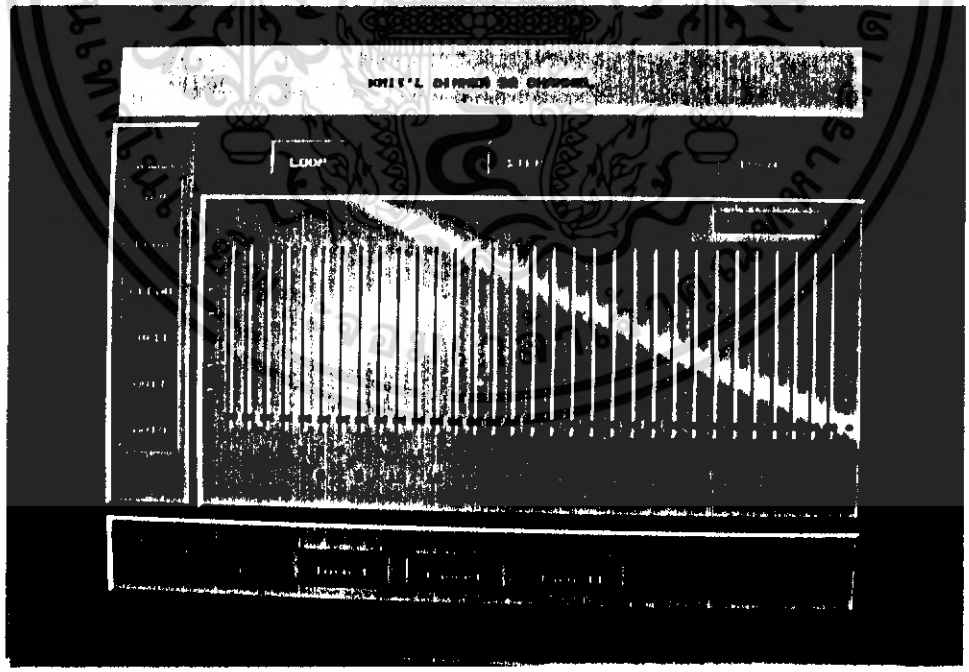


รูปที่ 6.15 การเรียกฟังก์ชั่น TURN และ การเรียก TURN I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

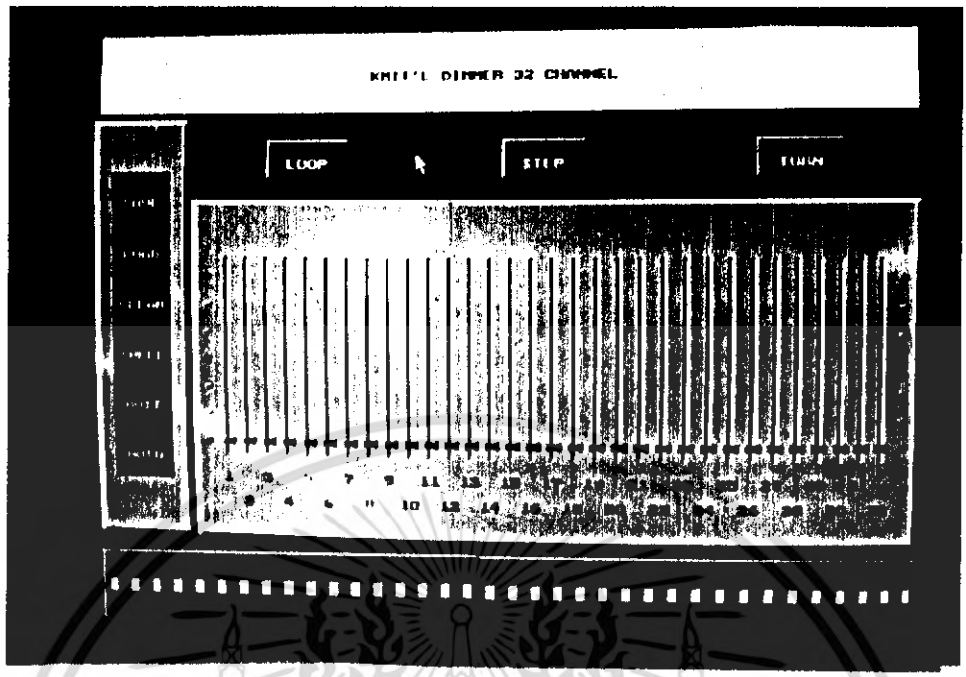


รูปที่ 6.16 กราฟฟิคแสดงการทำงาน TURN I



รูปที่ 6.17 การเรียก TURN II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

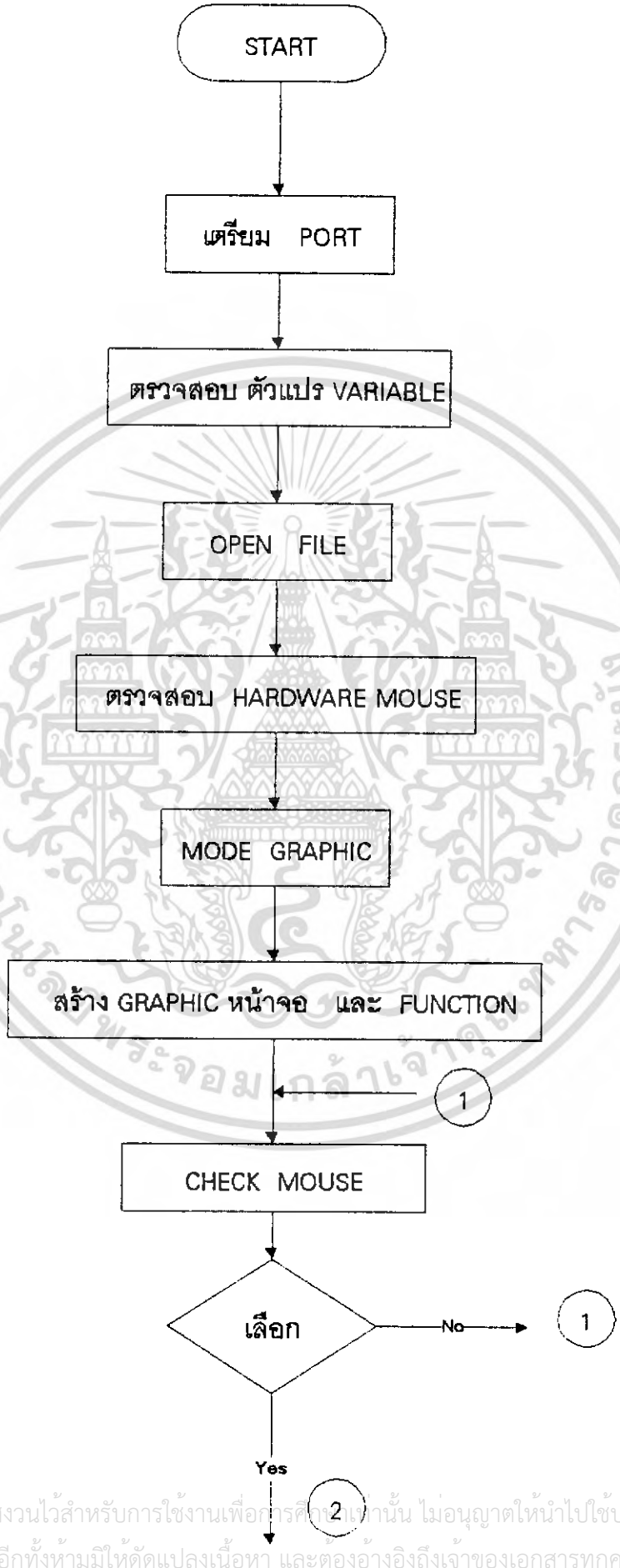


รูปที่ 6.18 กราฟฟิคแสดงการทำงาน TURN II

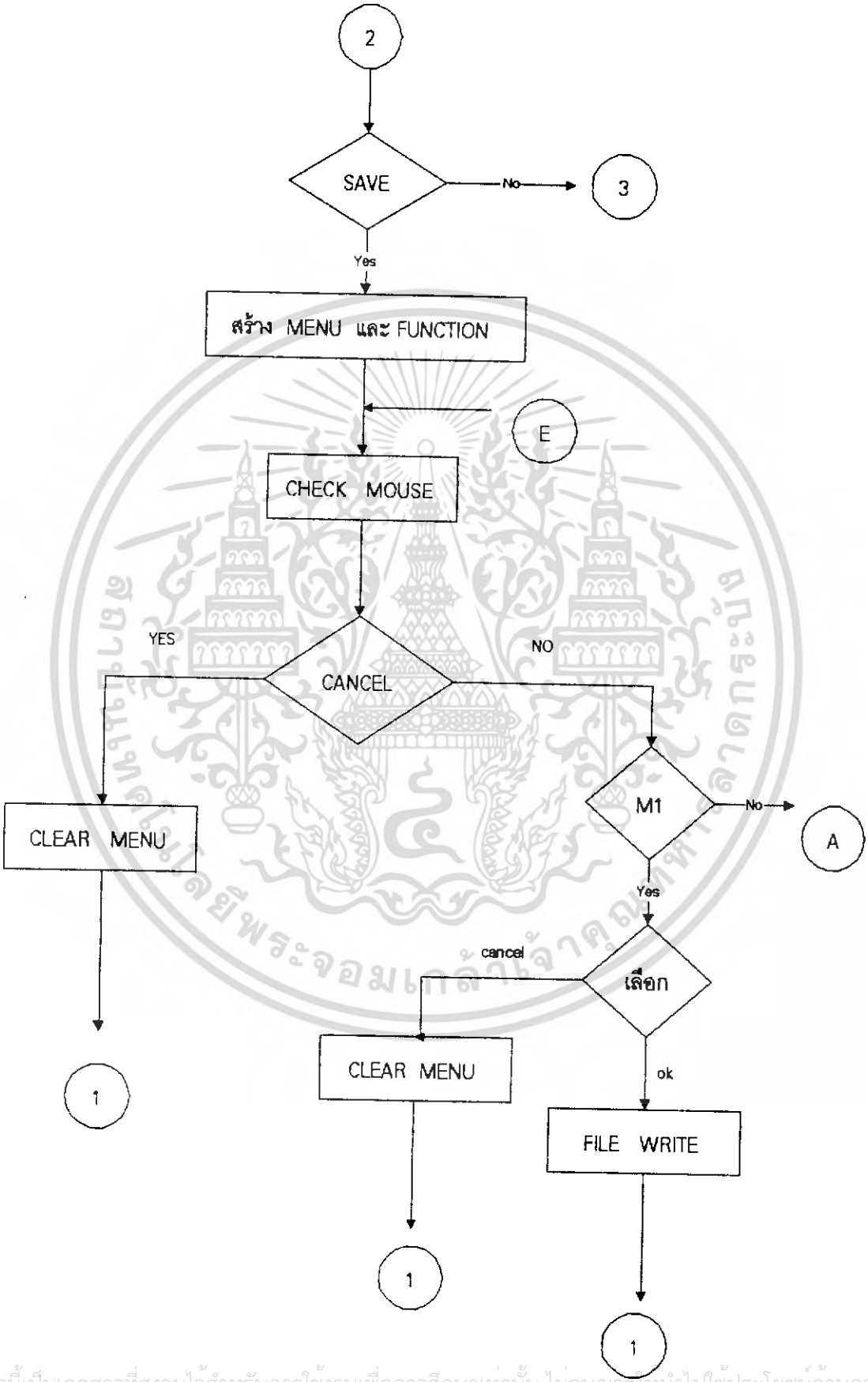
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART

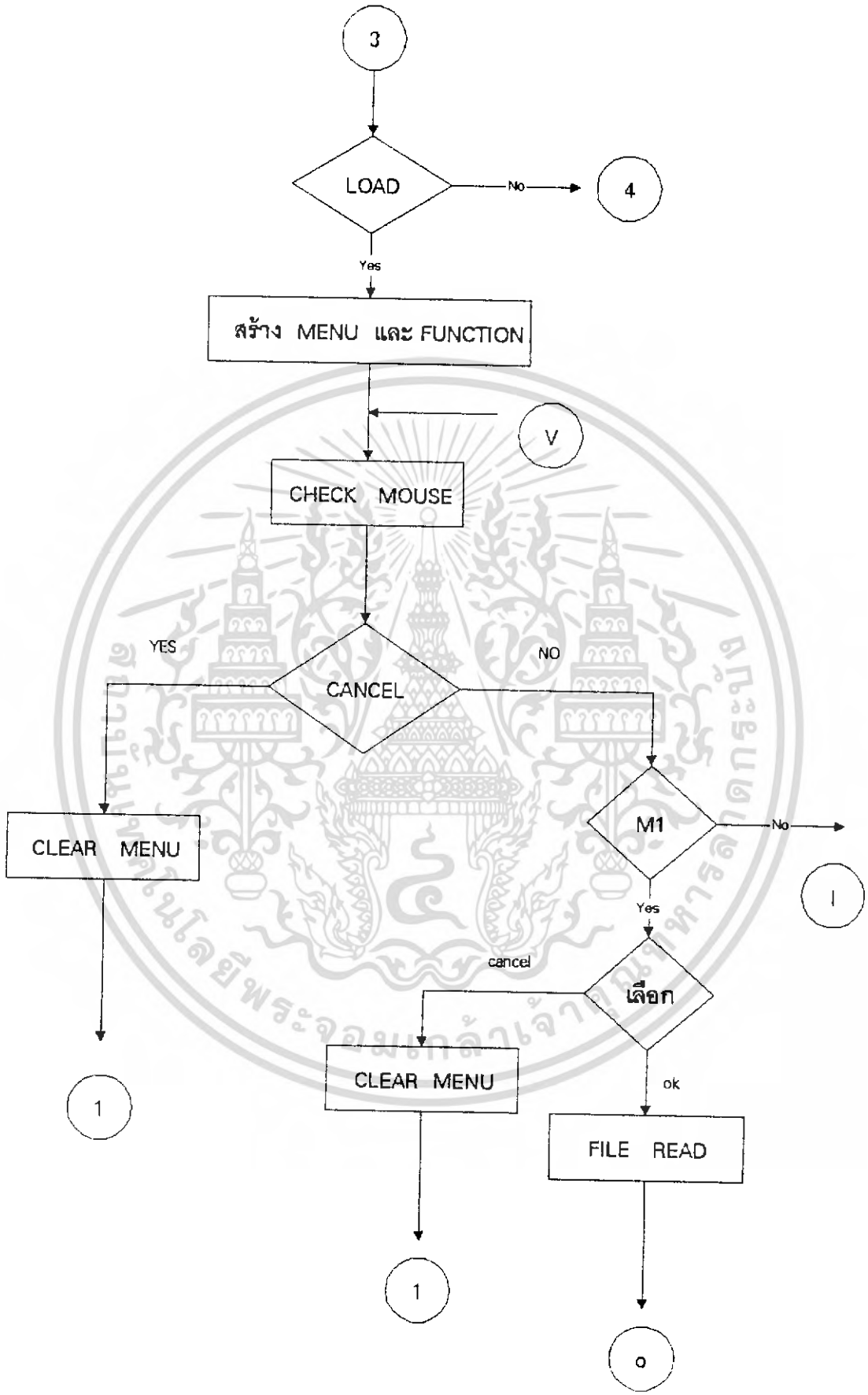
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



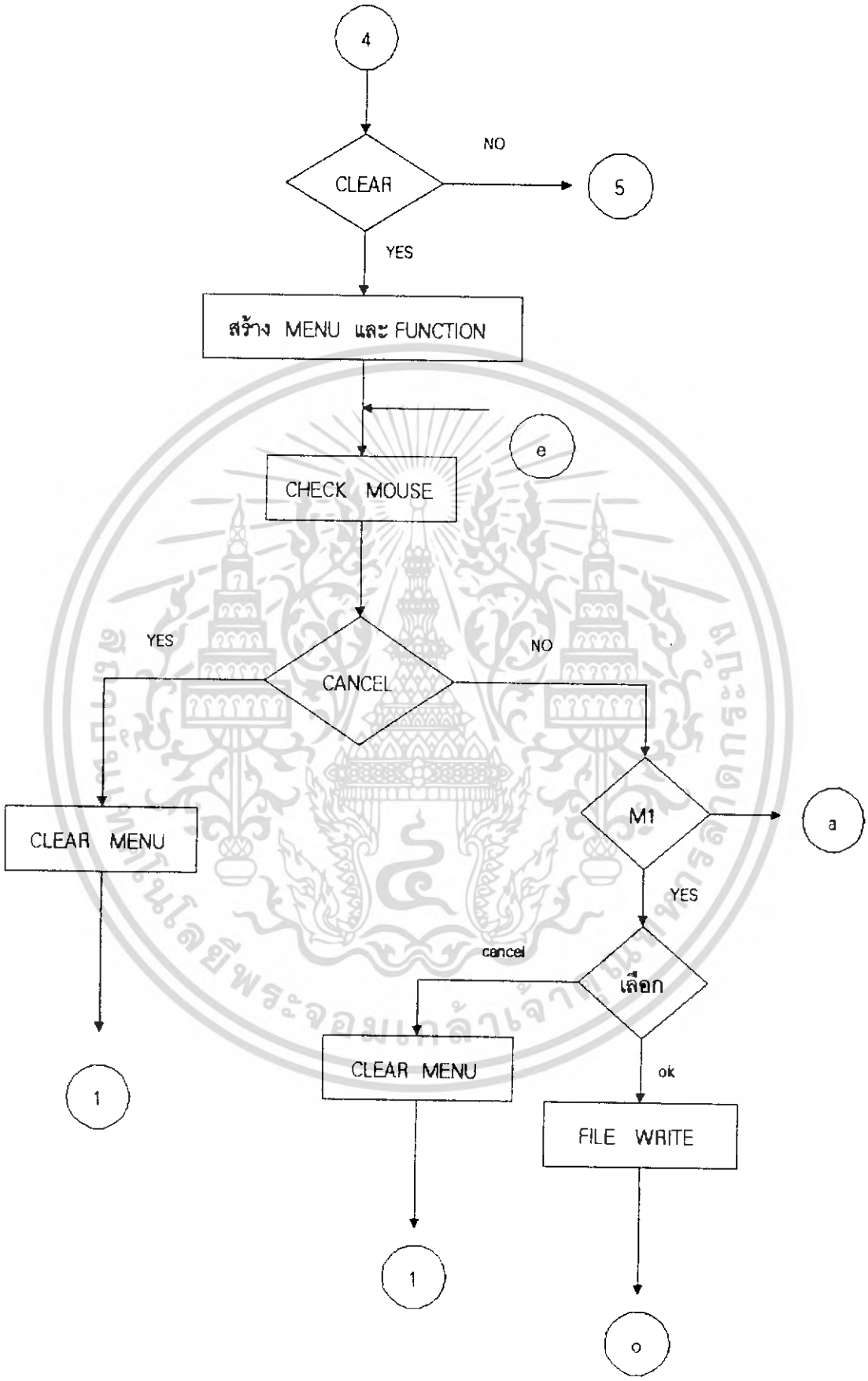
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



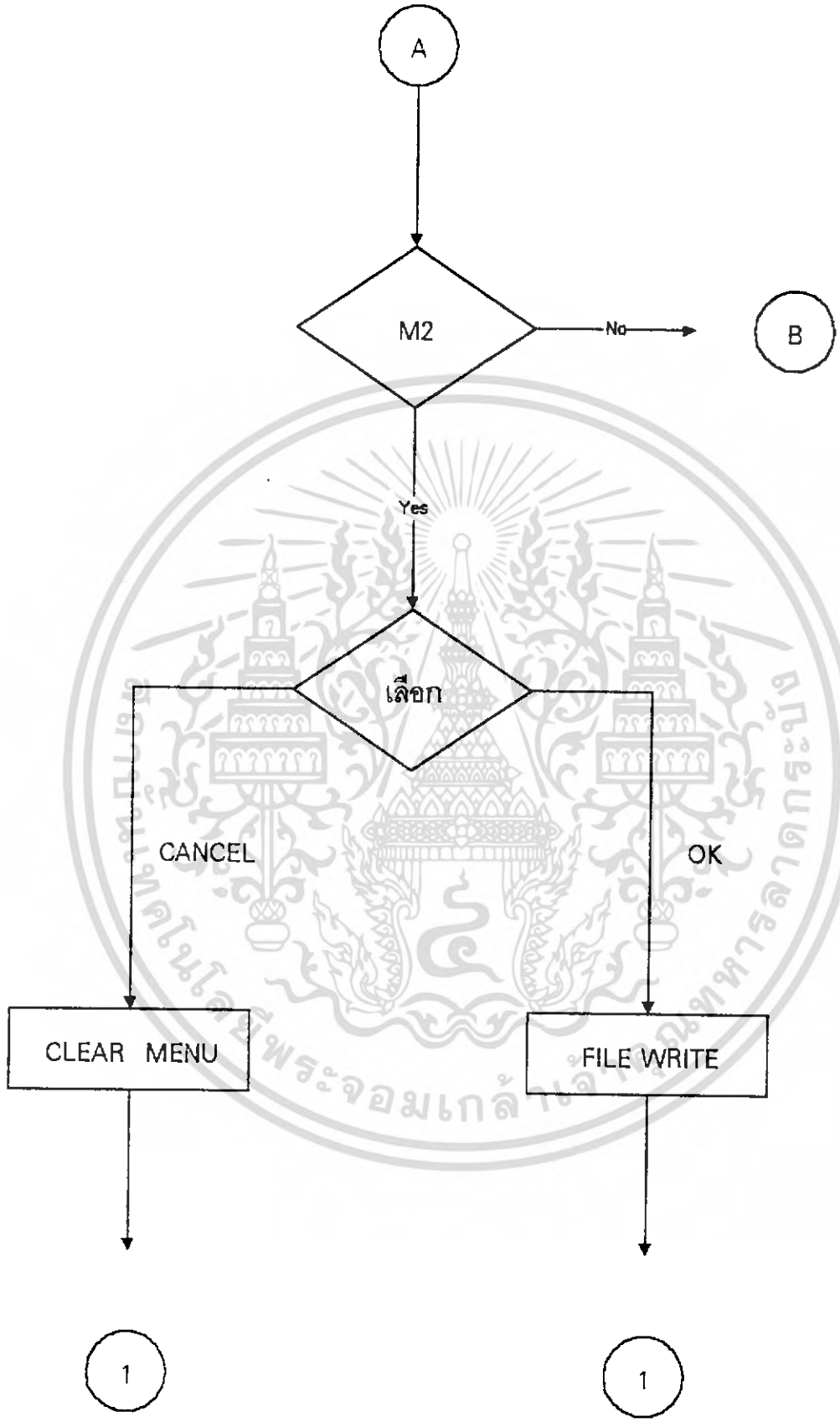
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



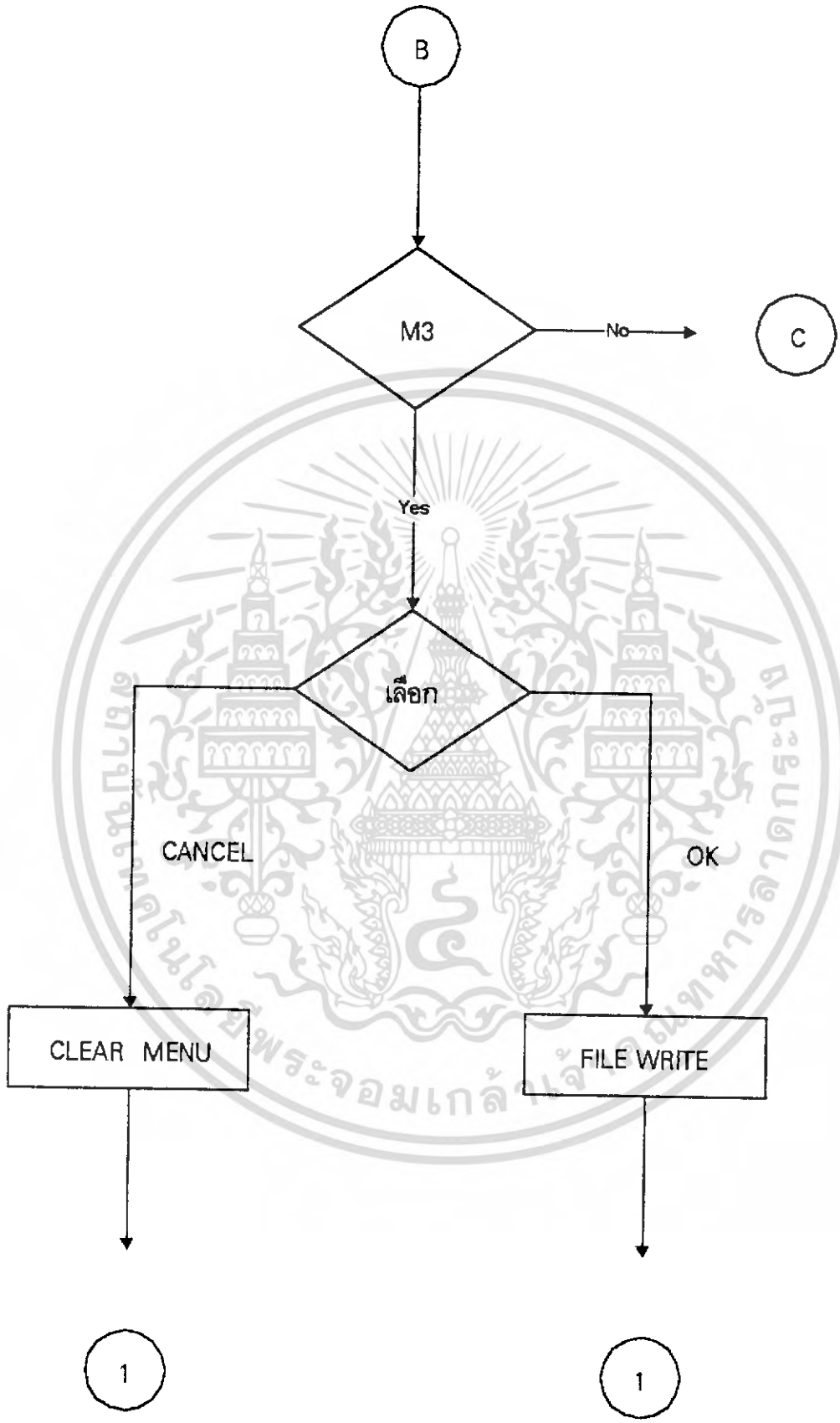
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



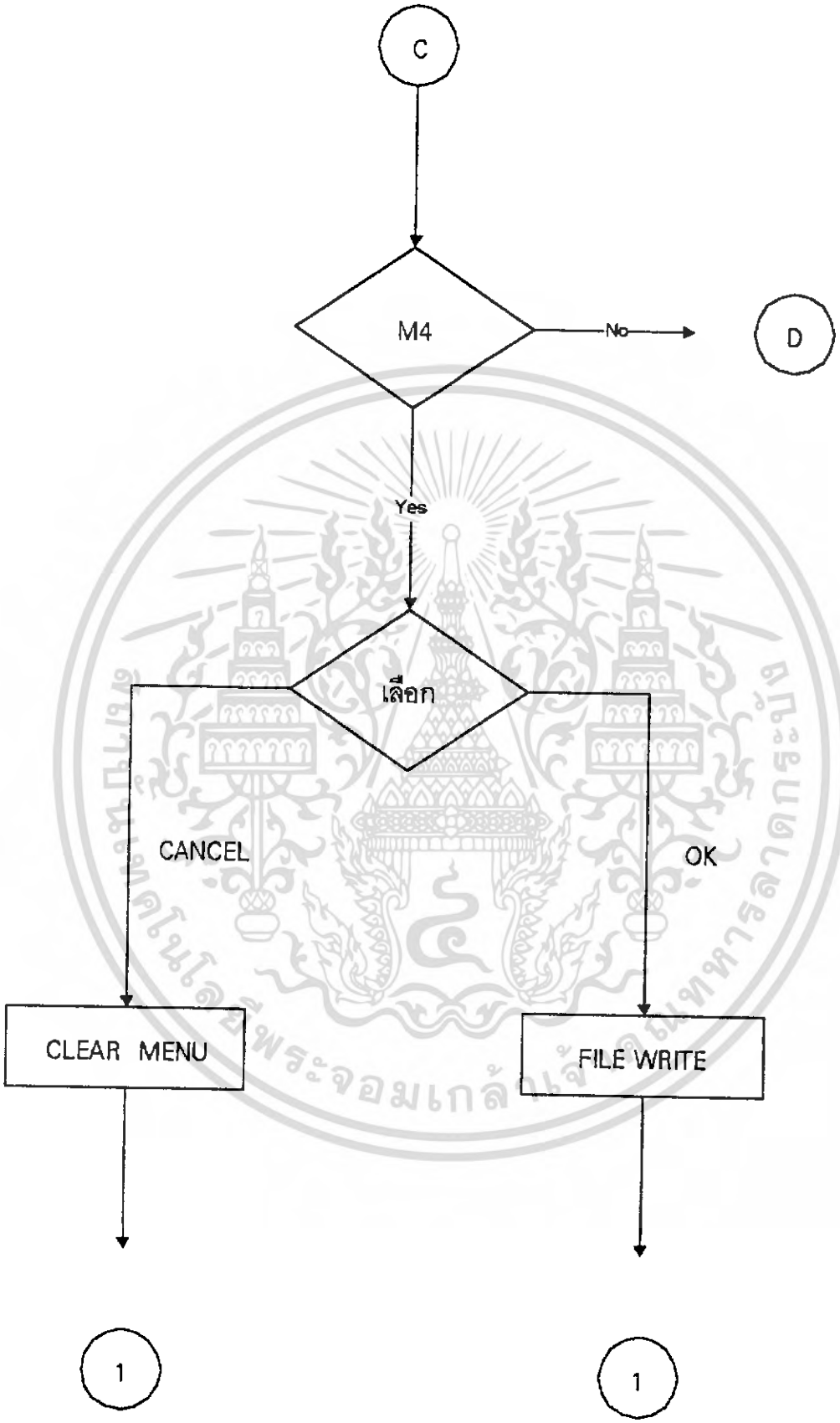
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



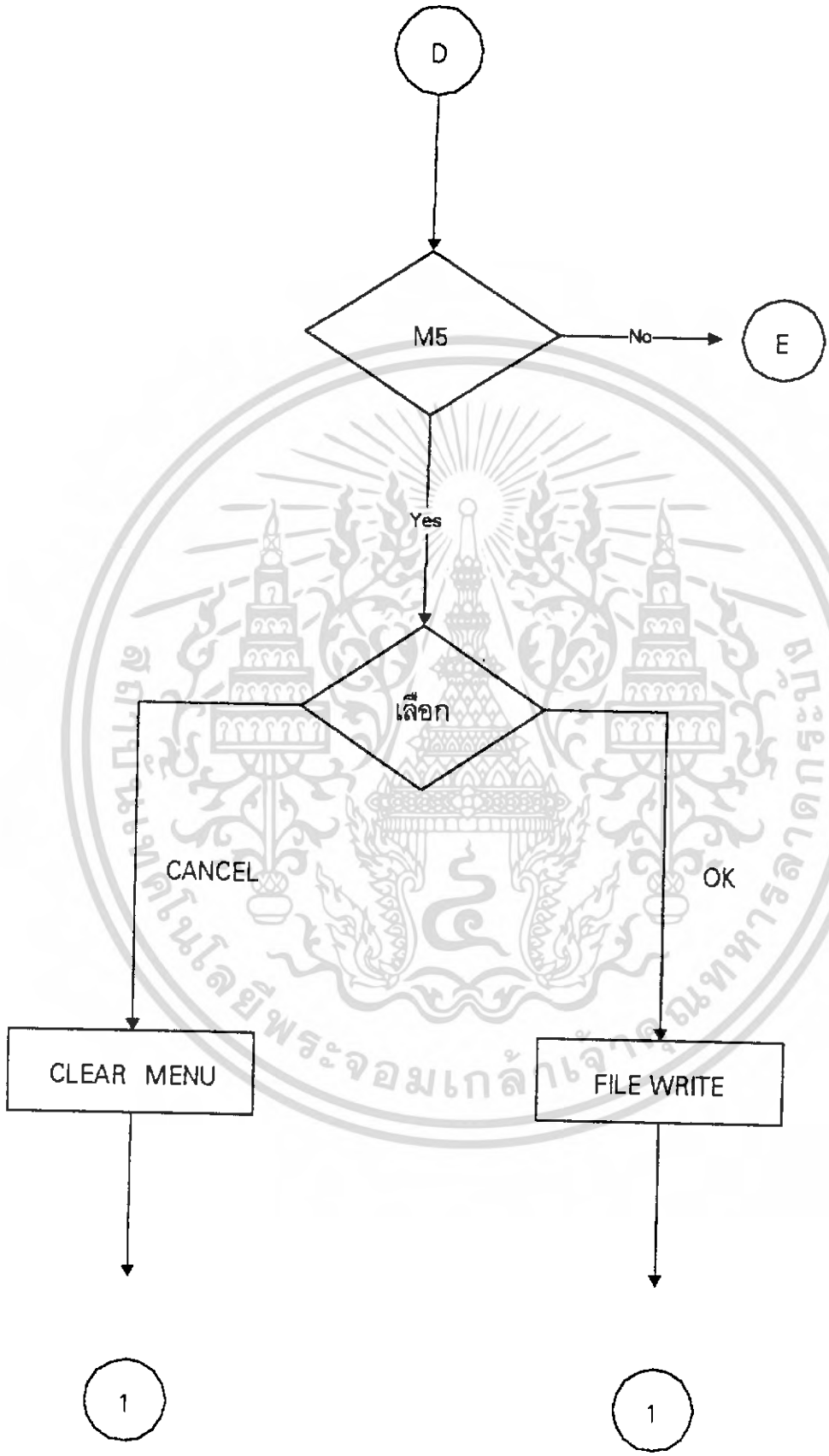
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



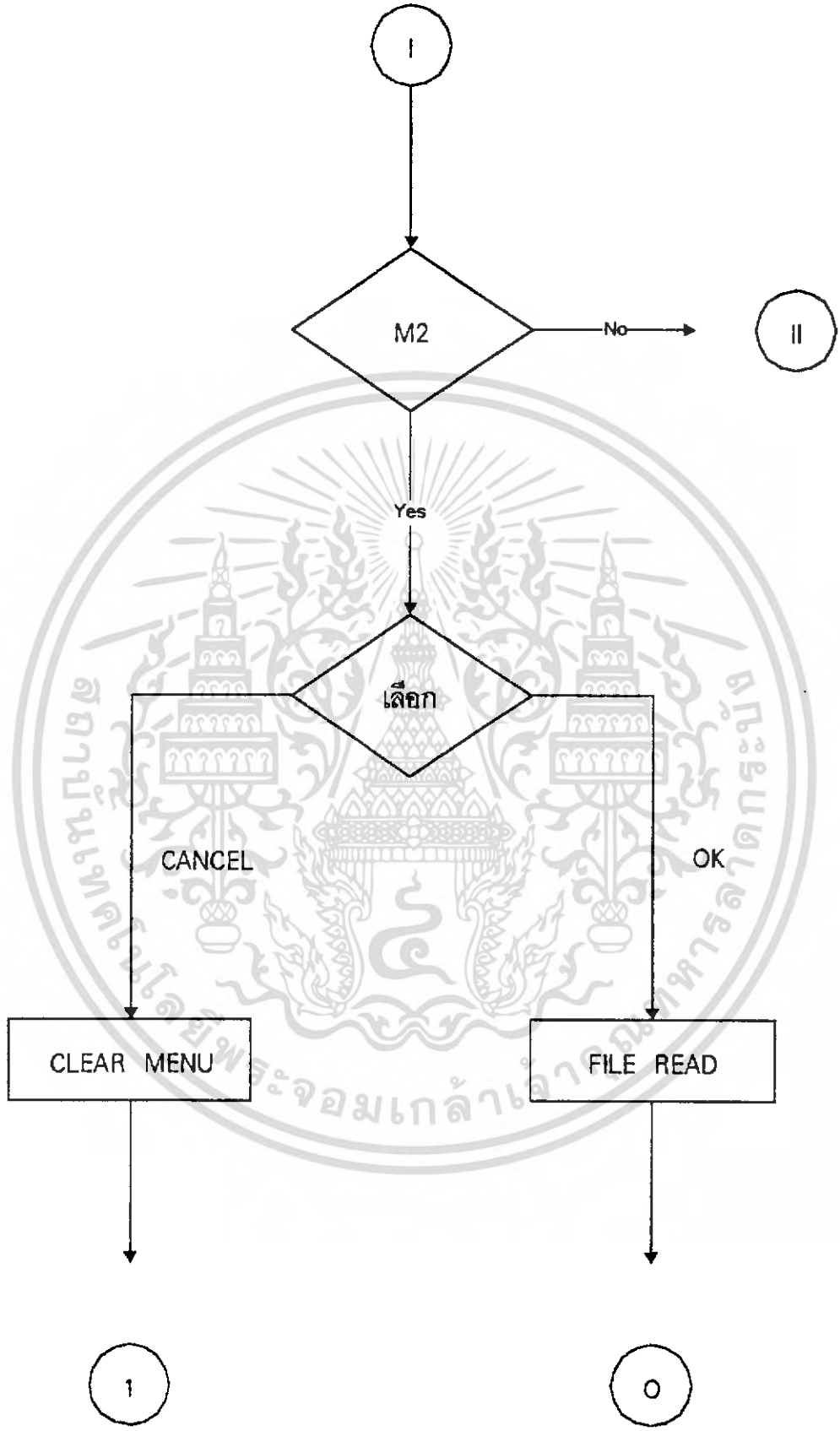
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



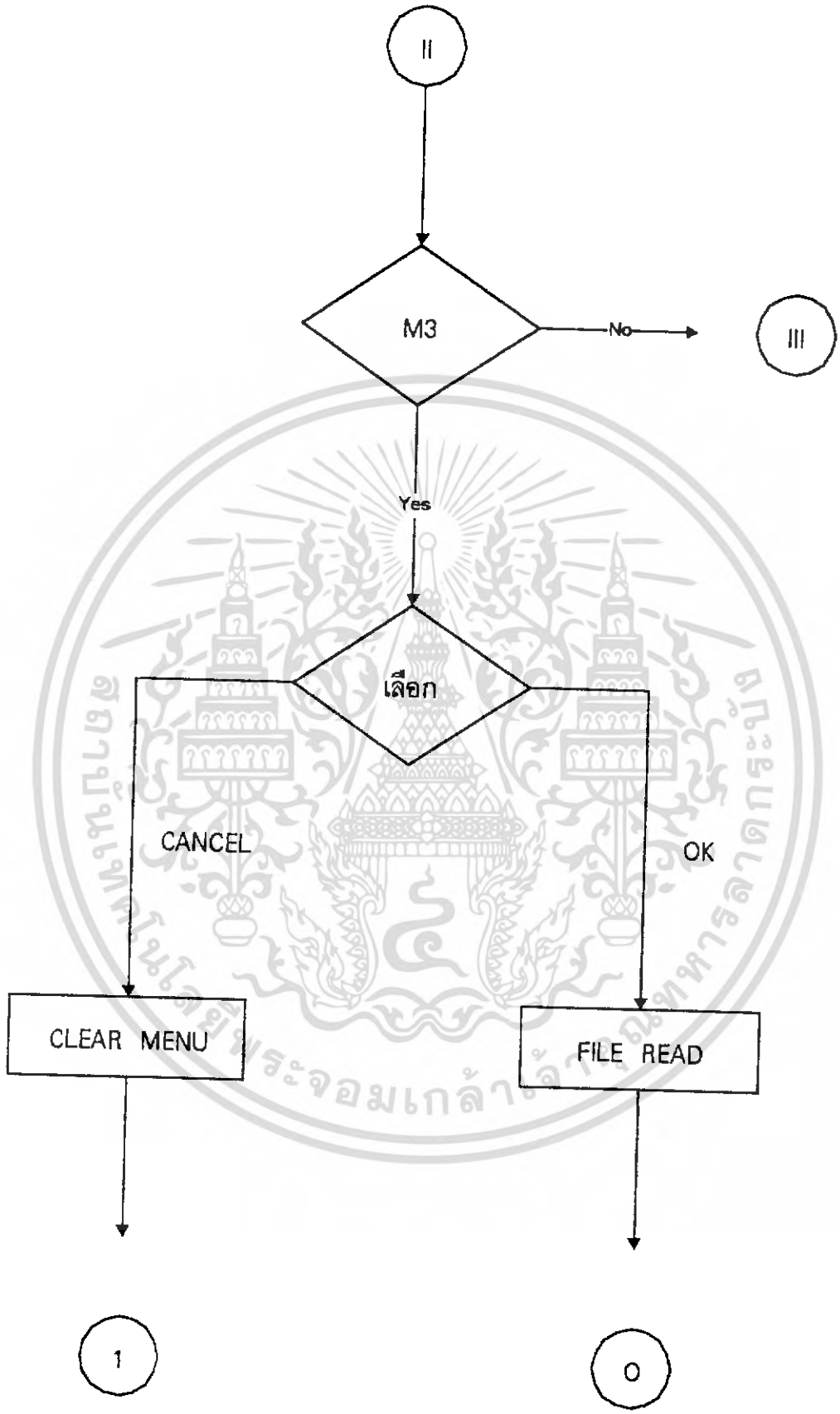
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



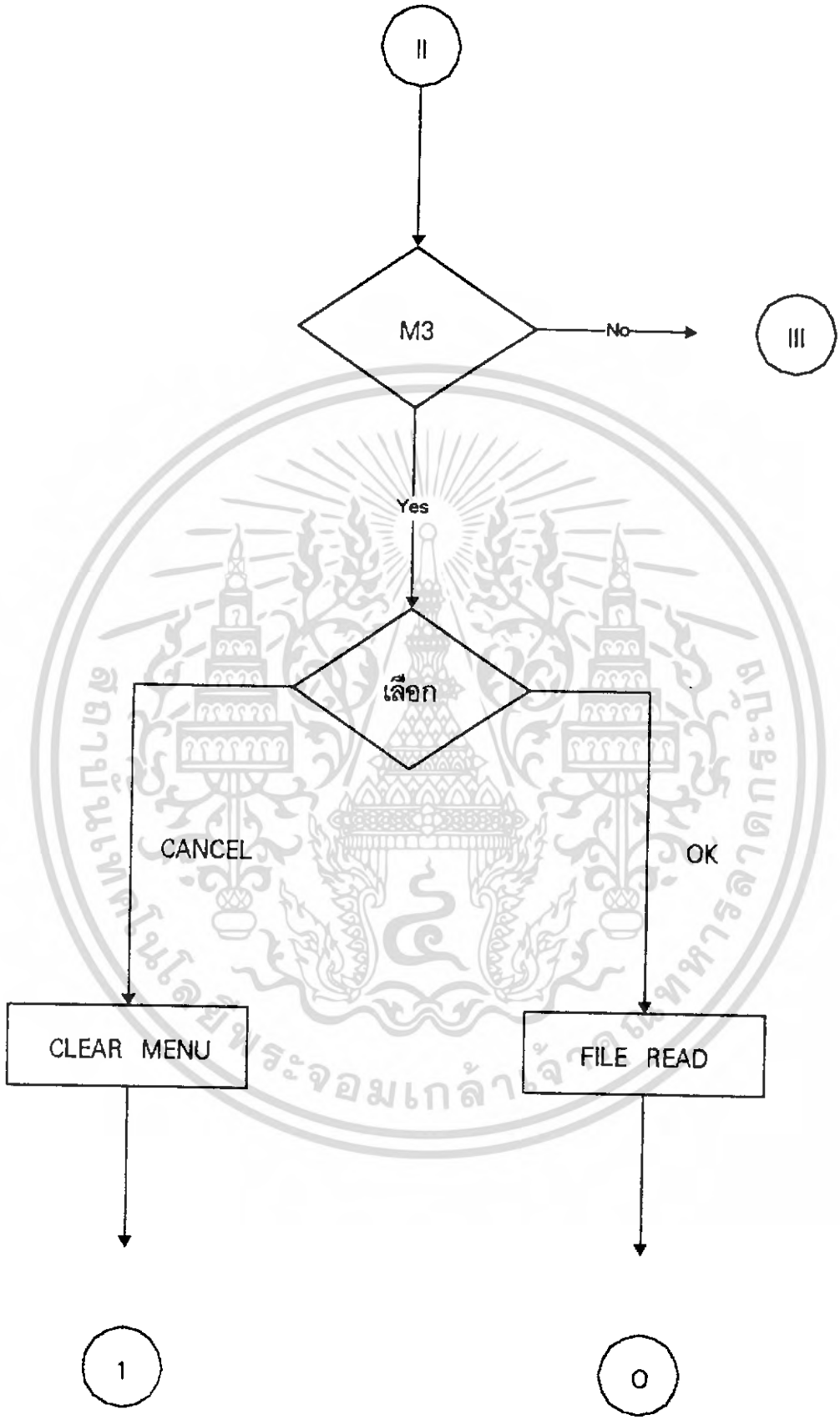
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



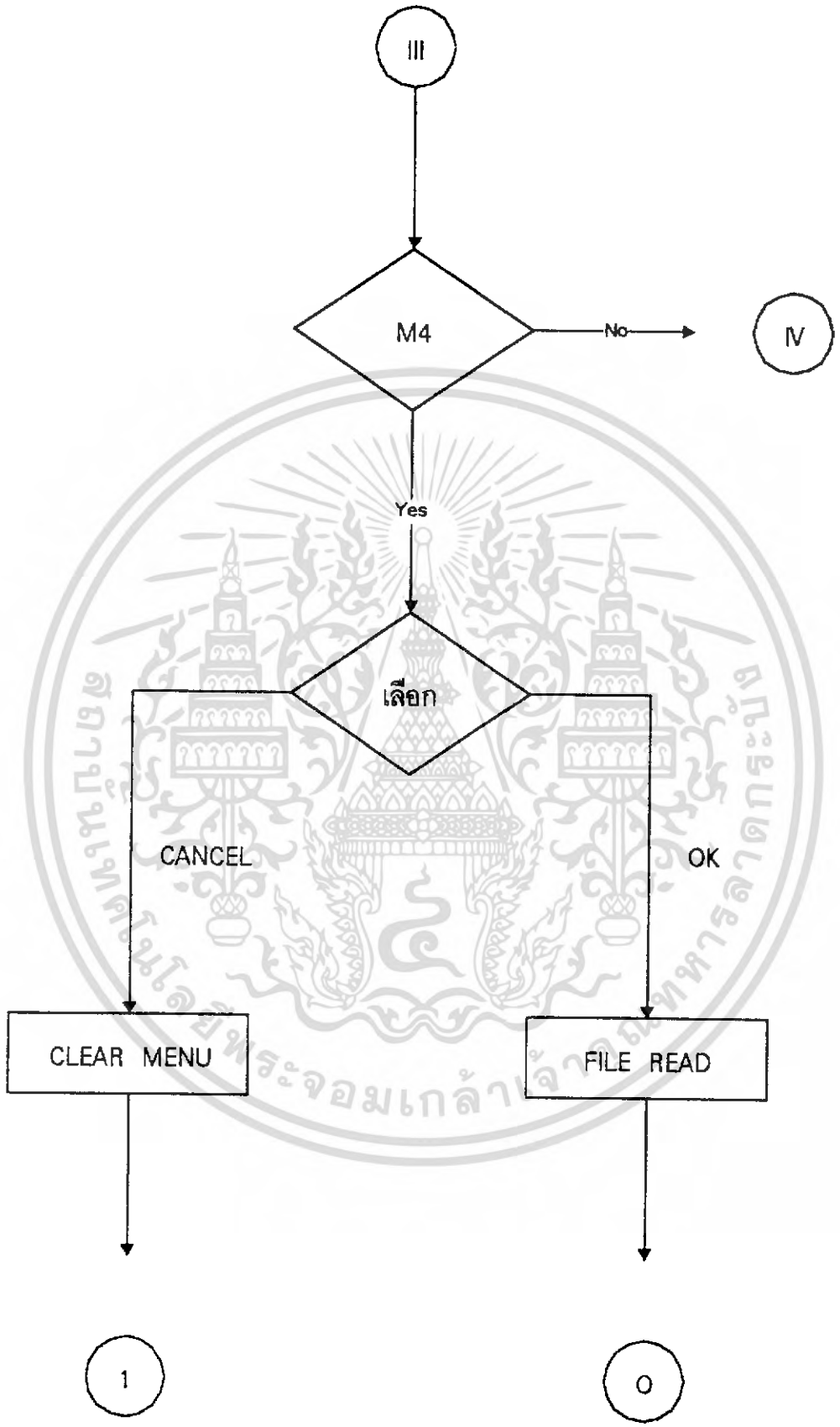
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



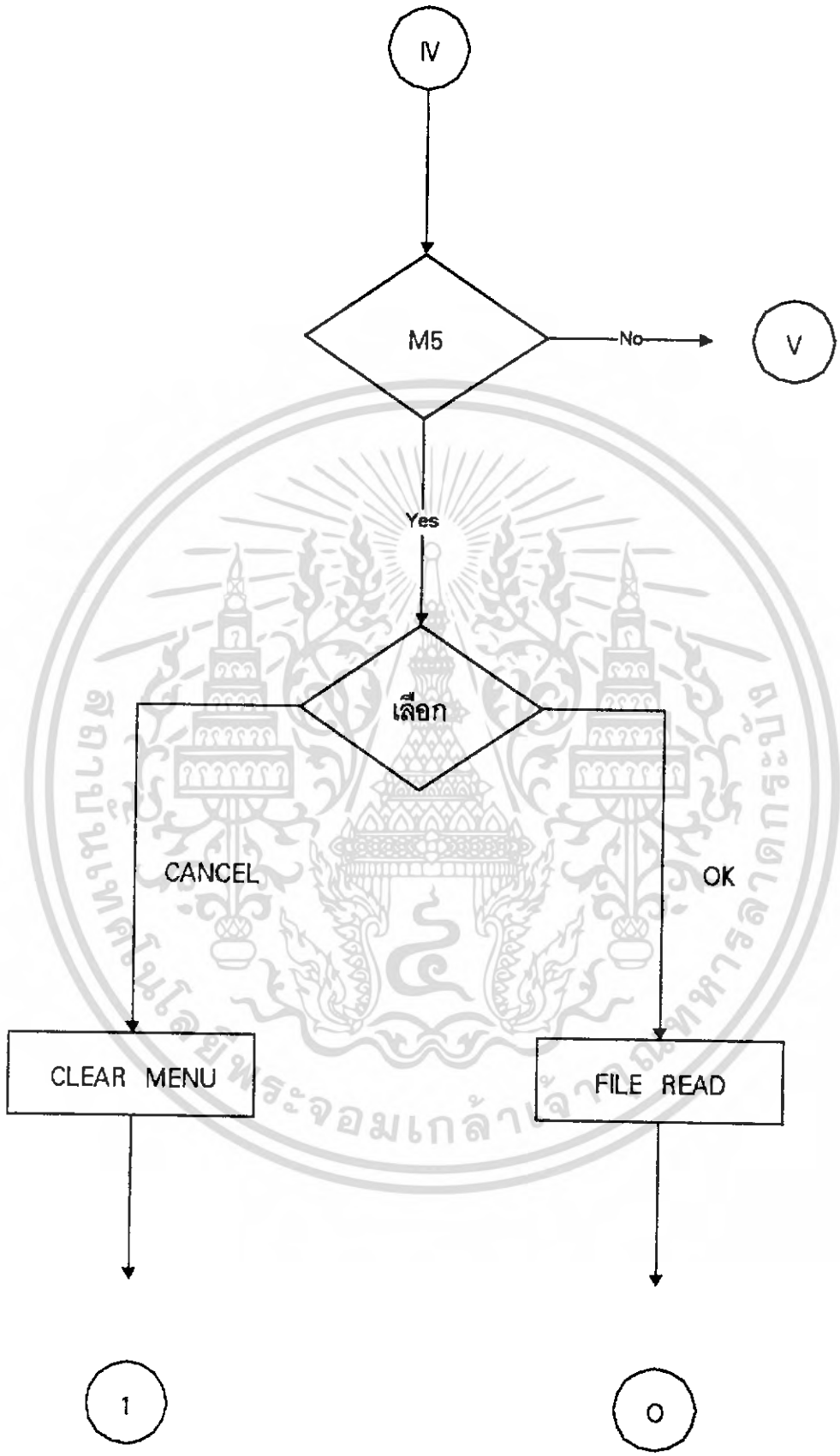
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



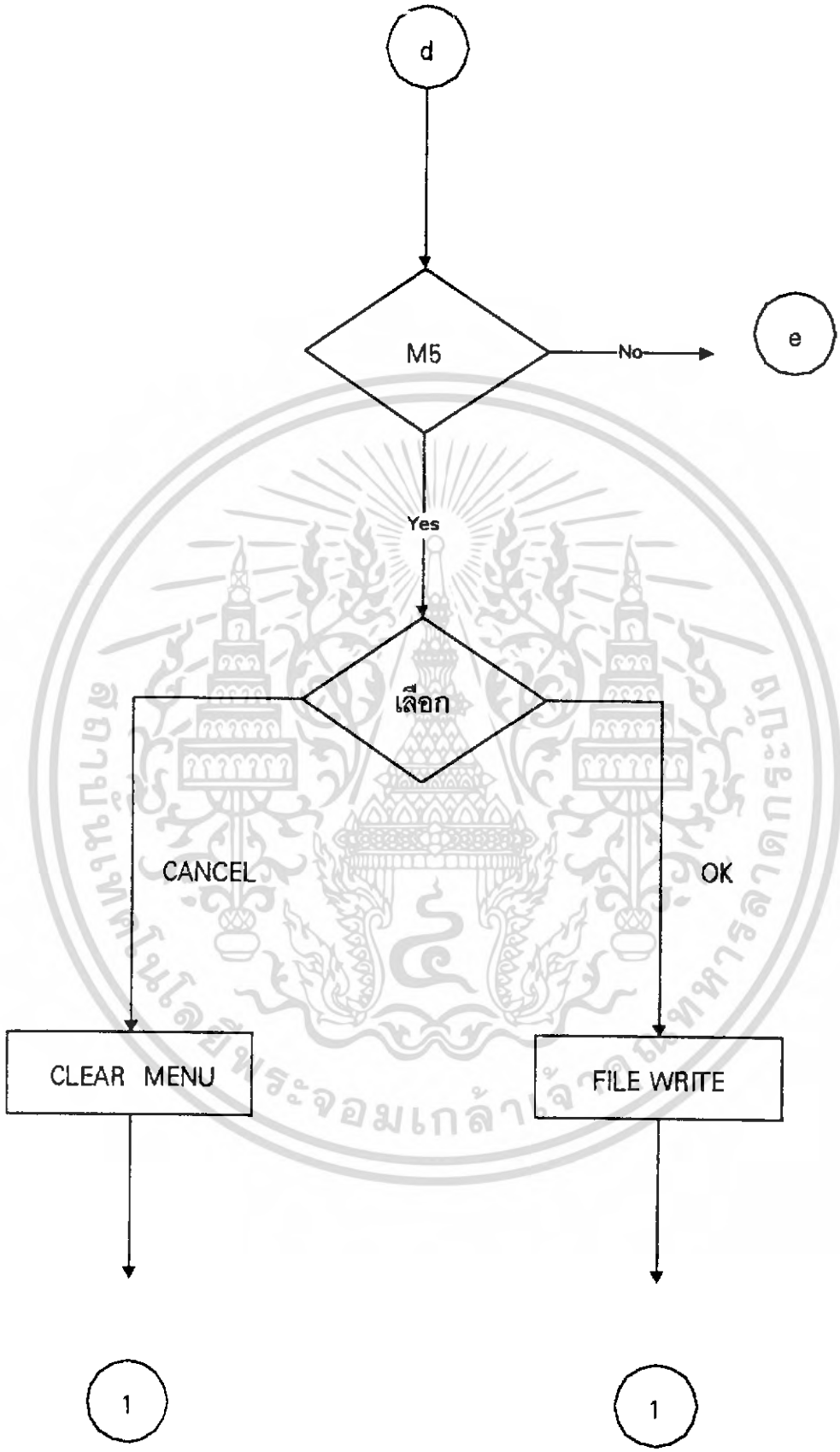
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



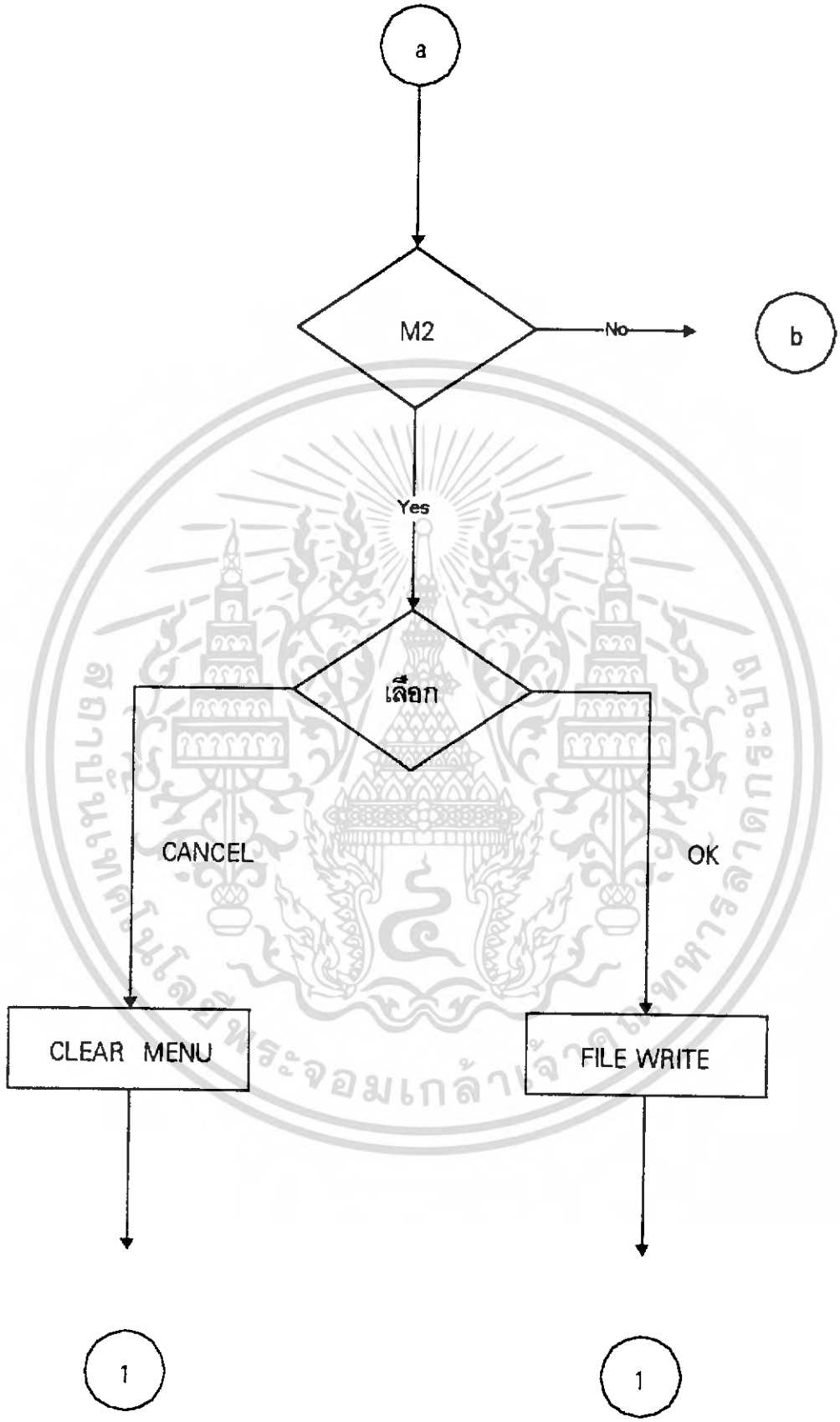
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



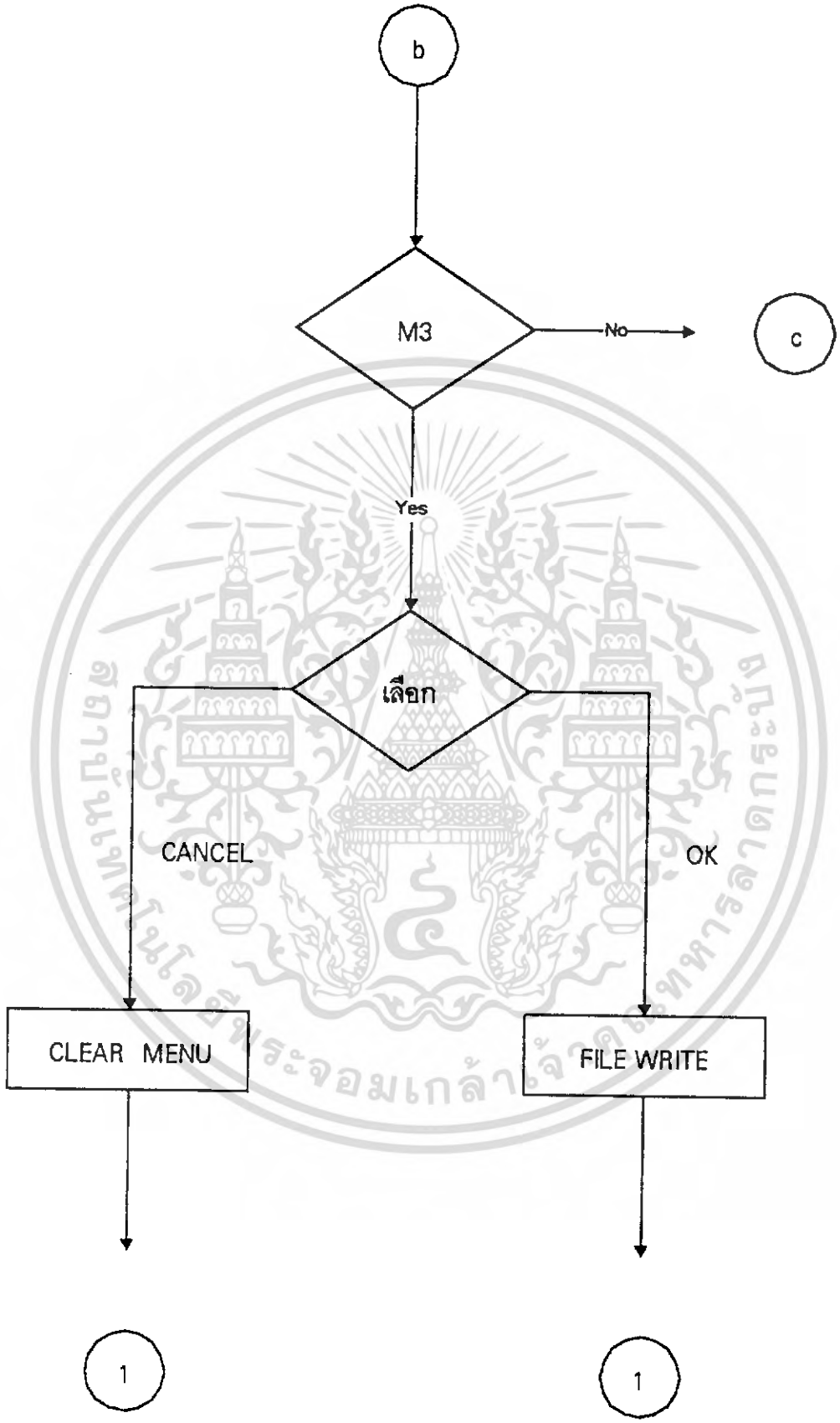
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



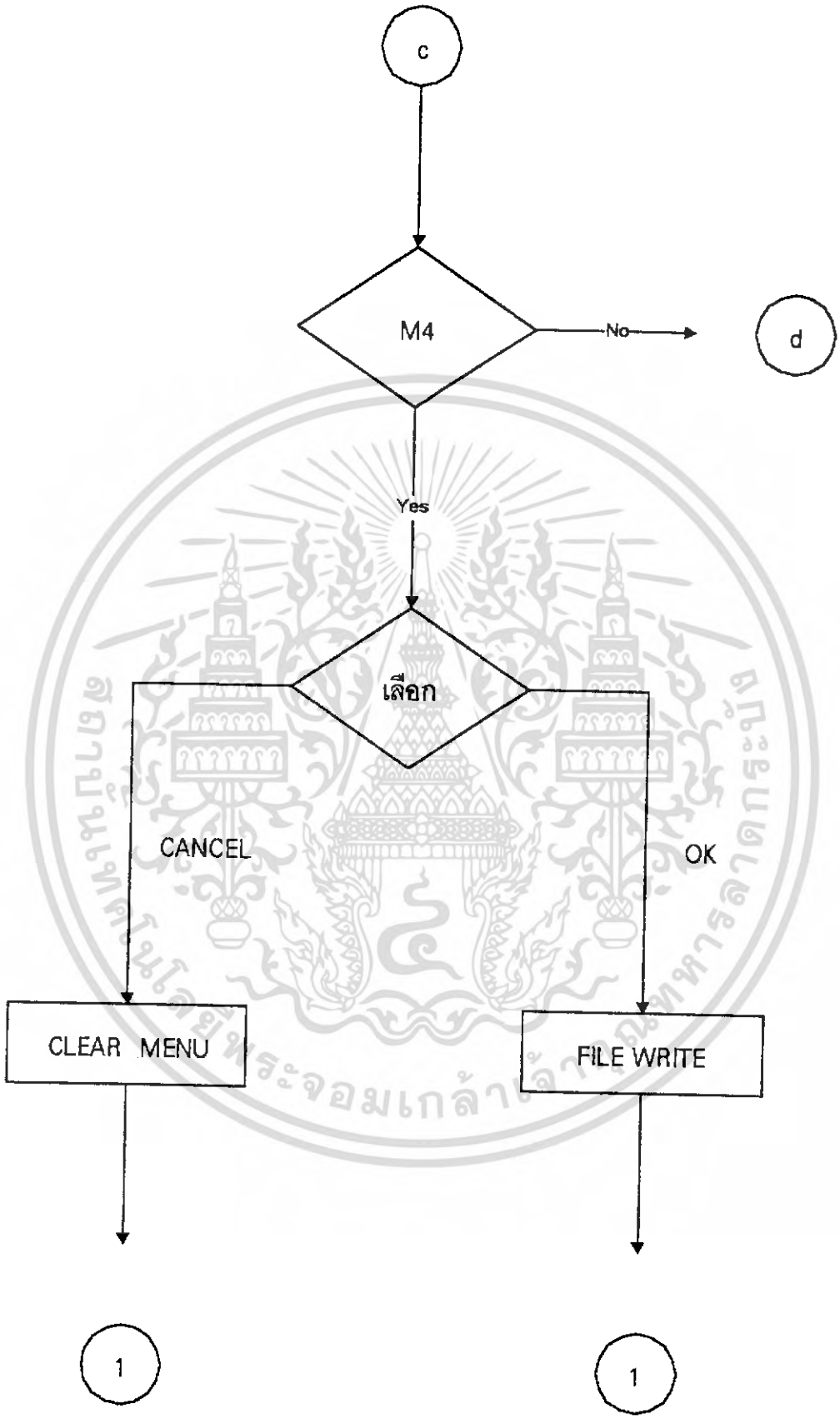
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



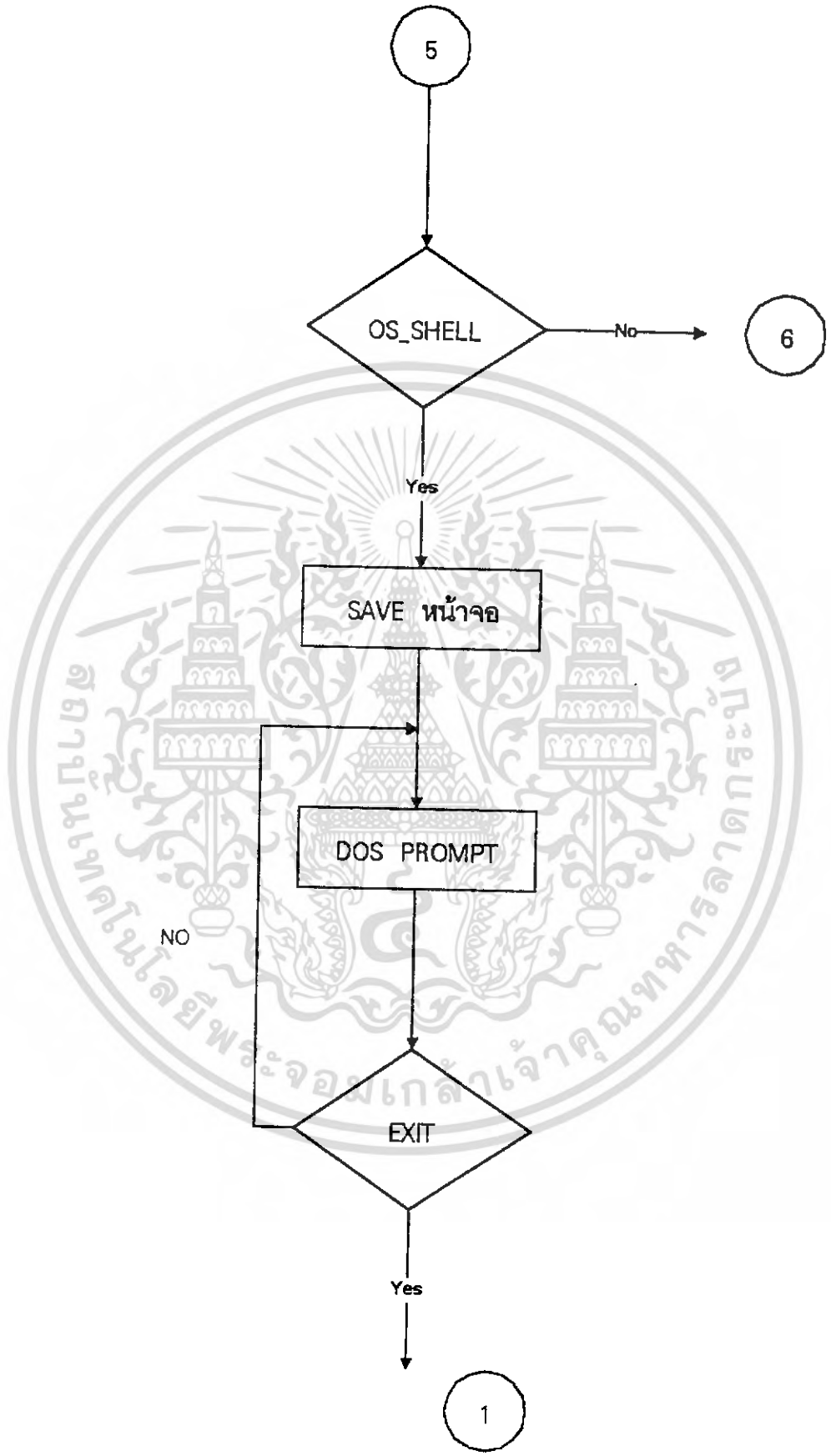
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



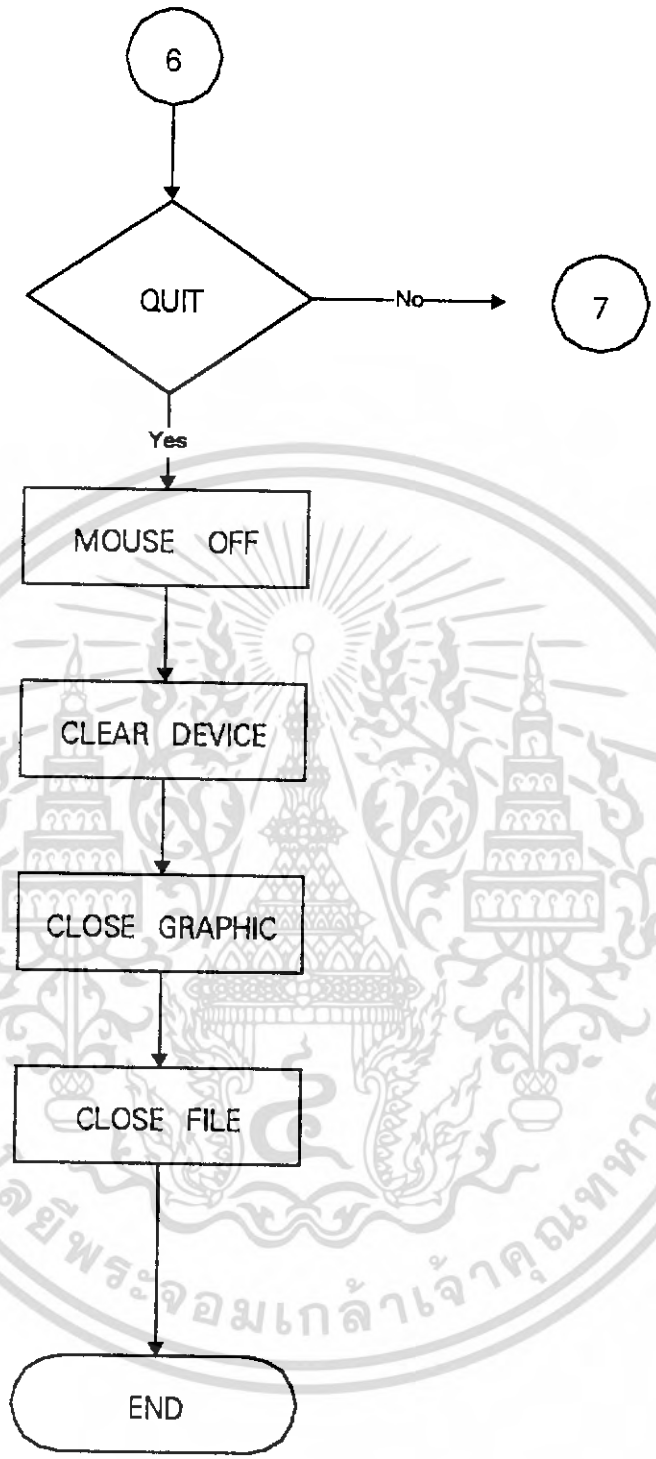
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



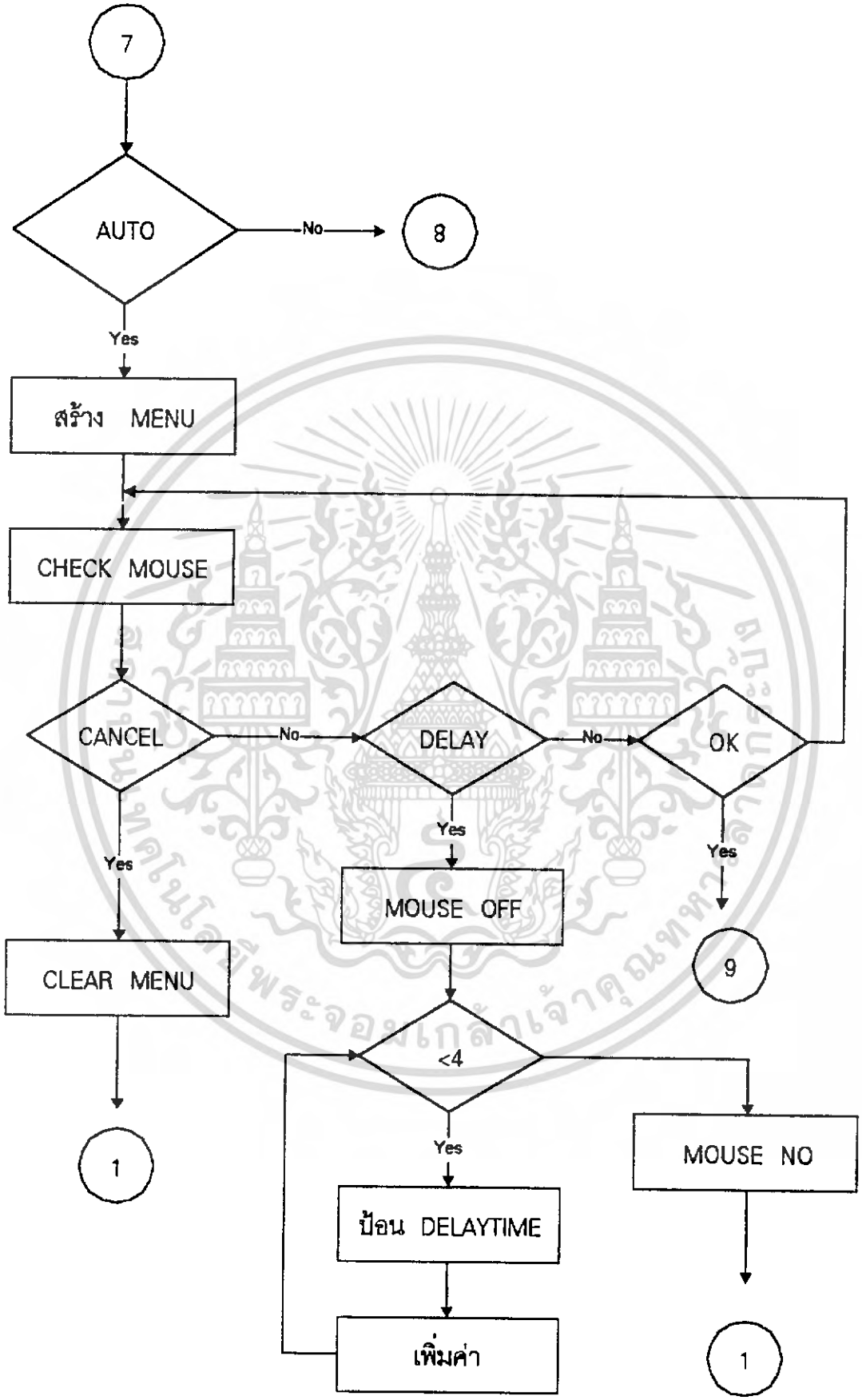
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



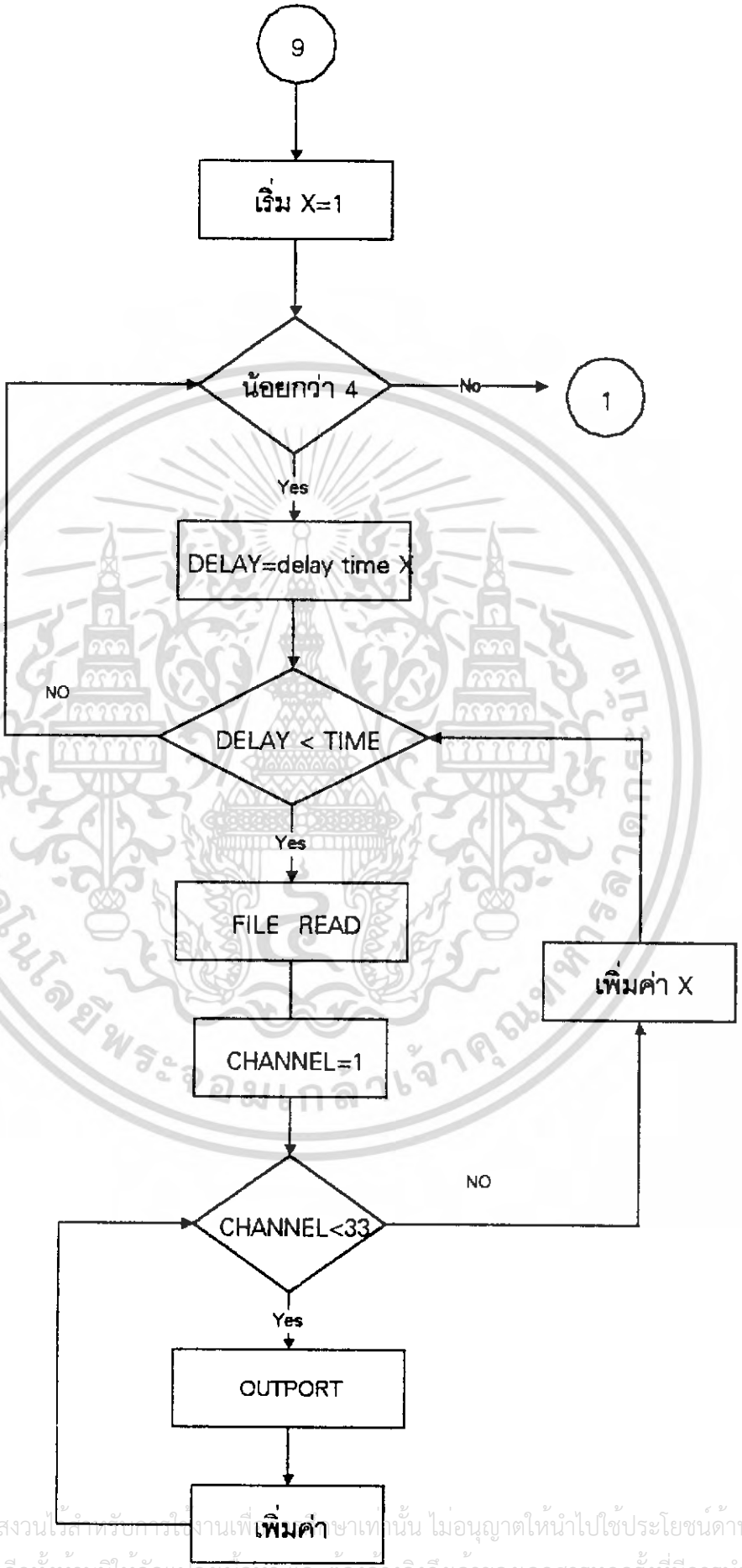
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



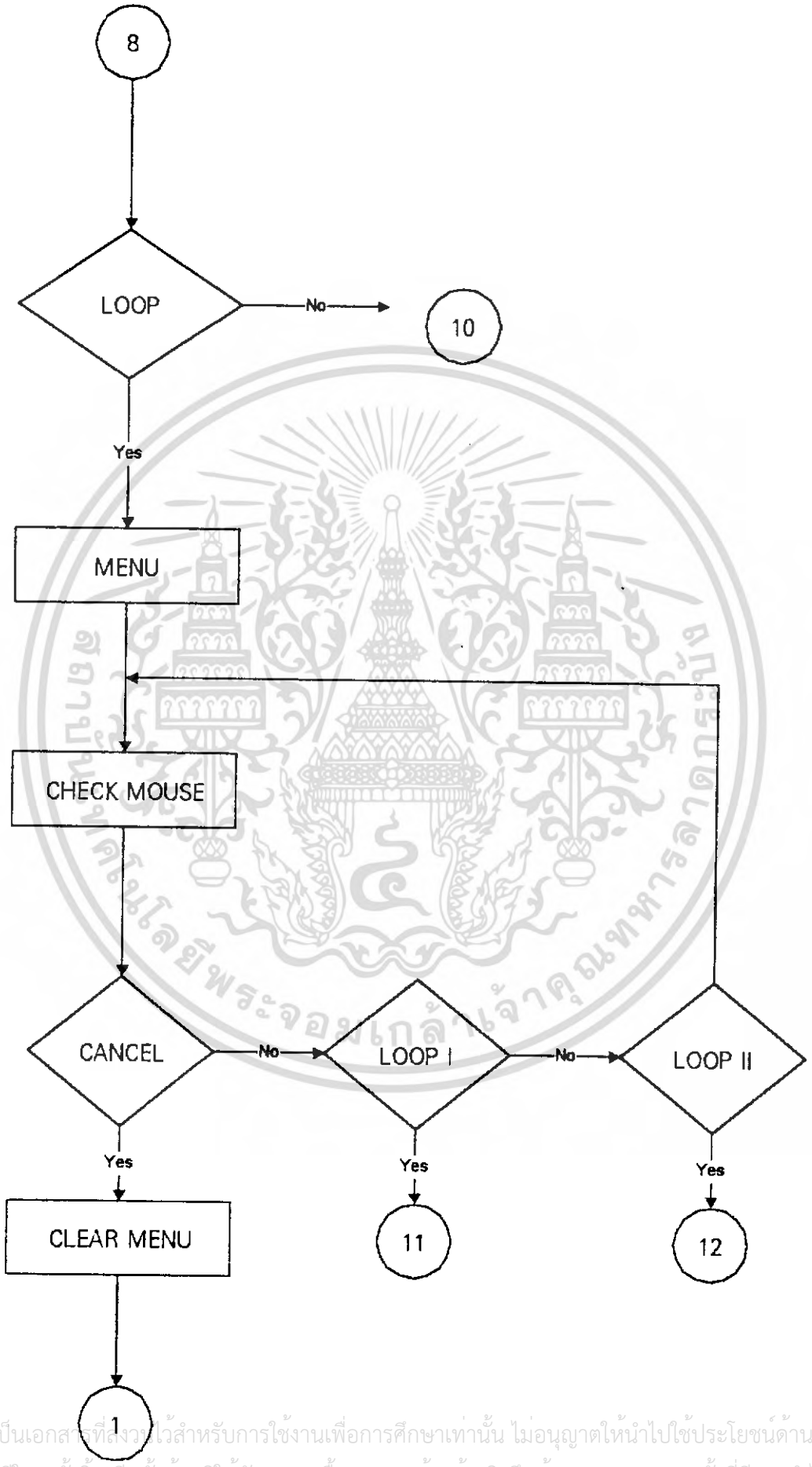
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



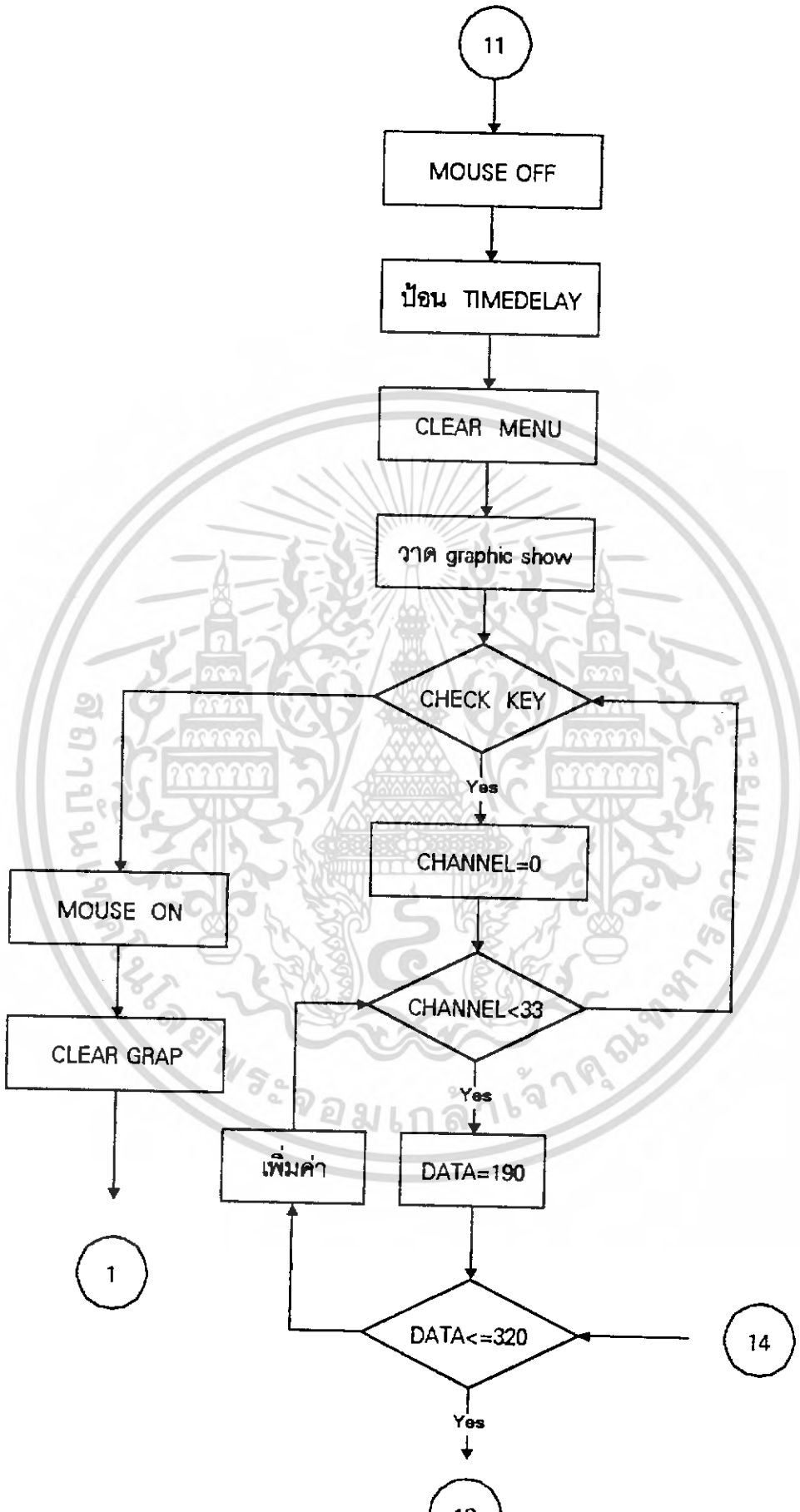
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



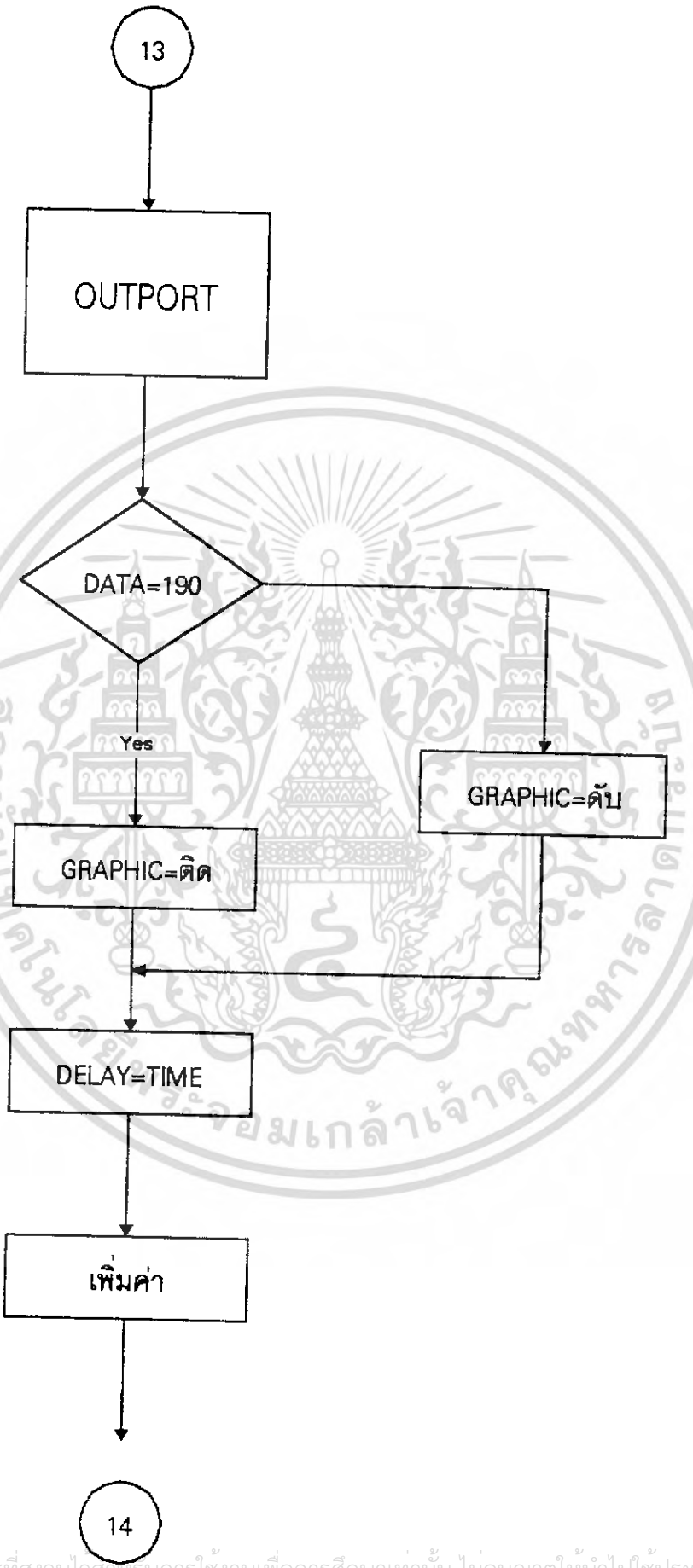
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



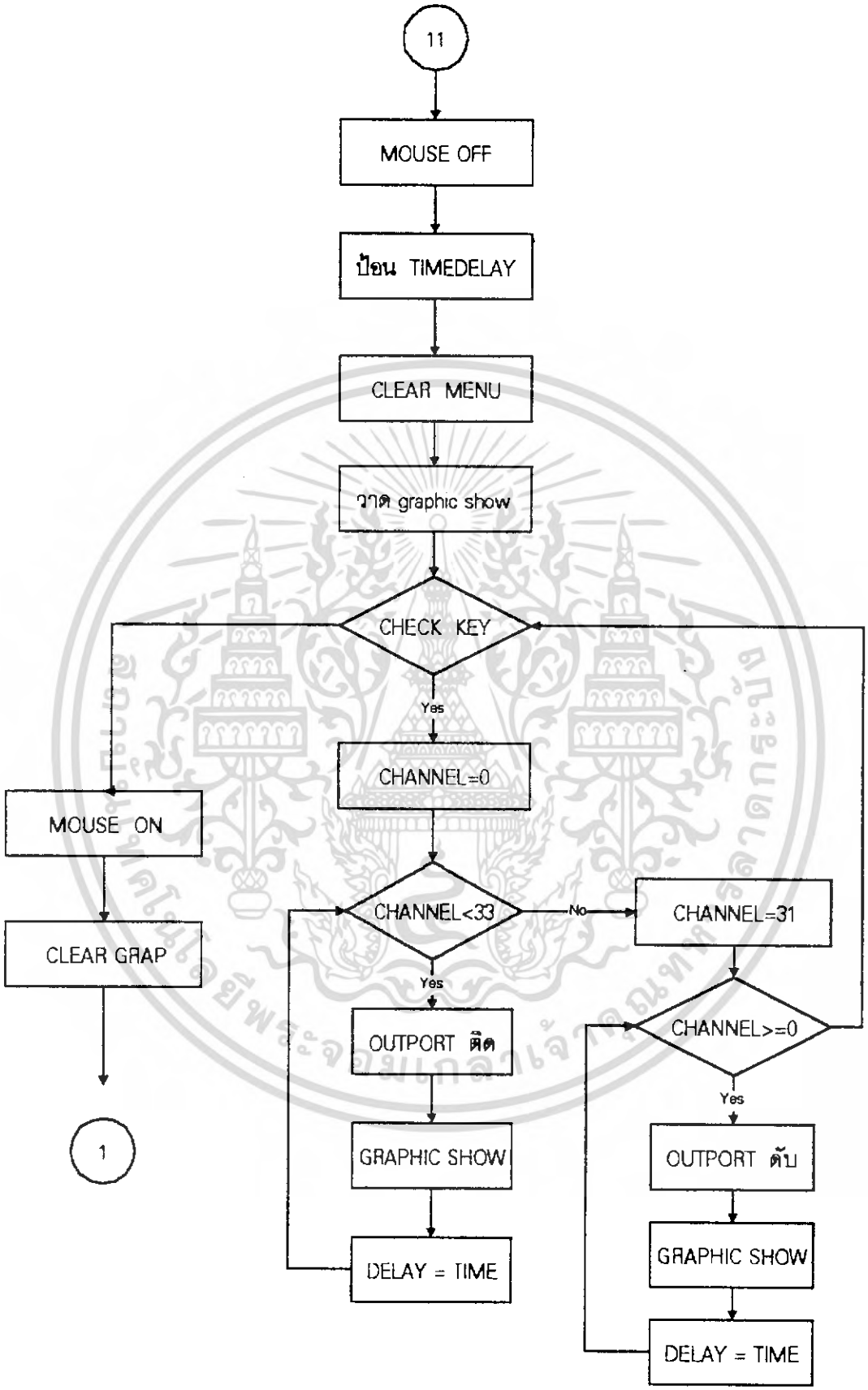
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



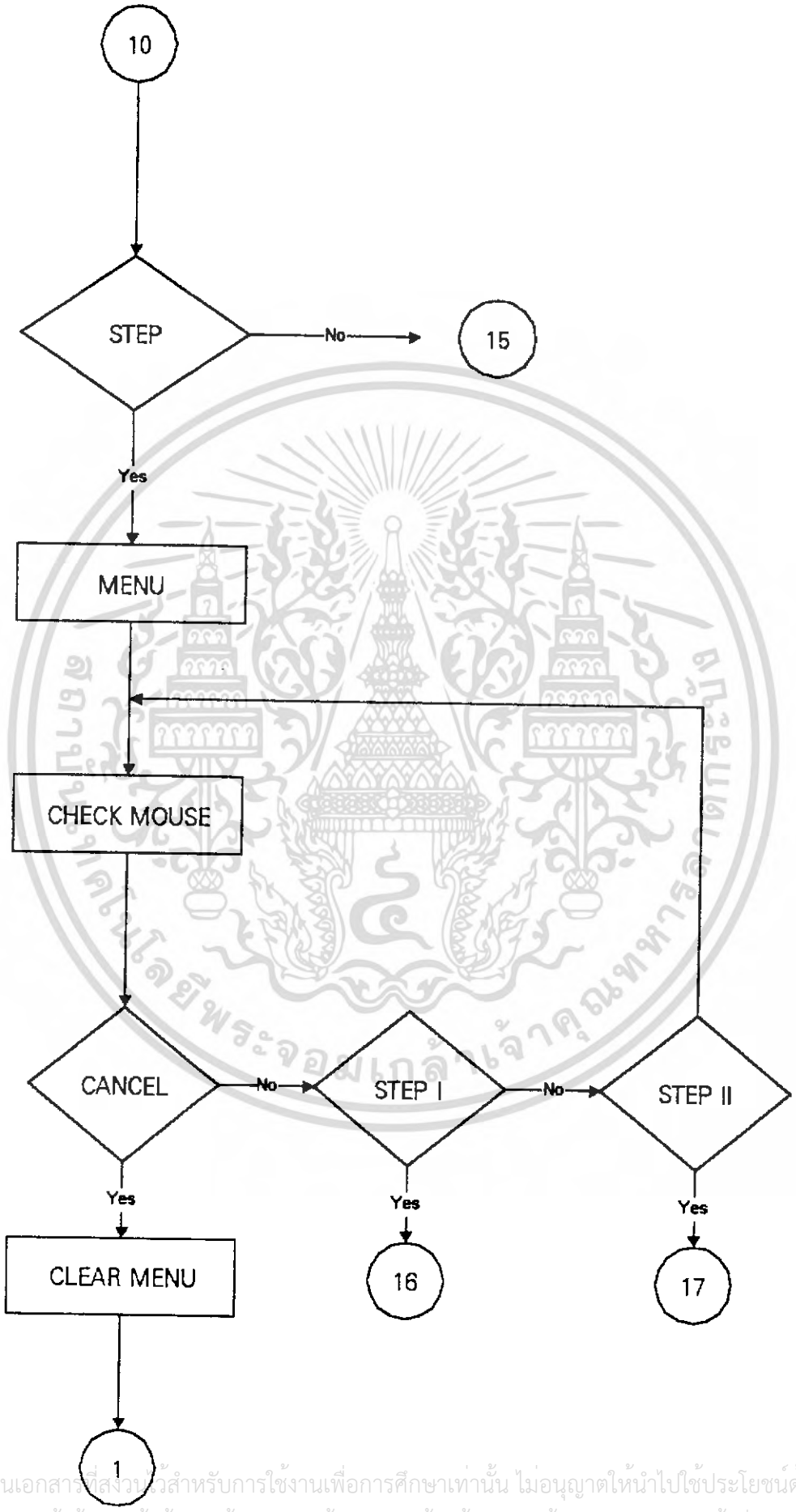
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



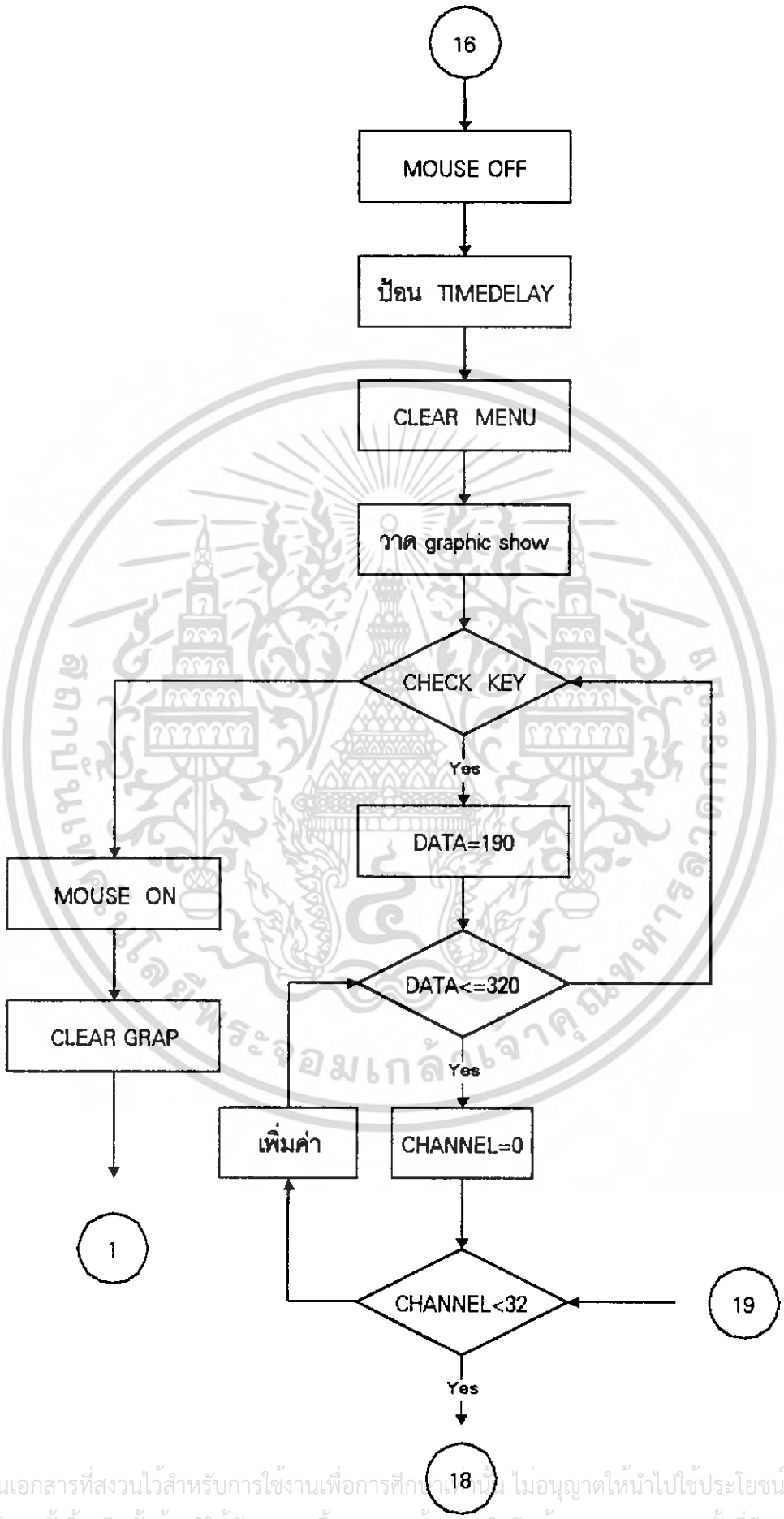
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



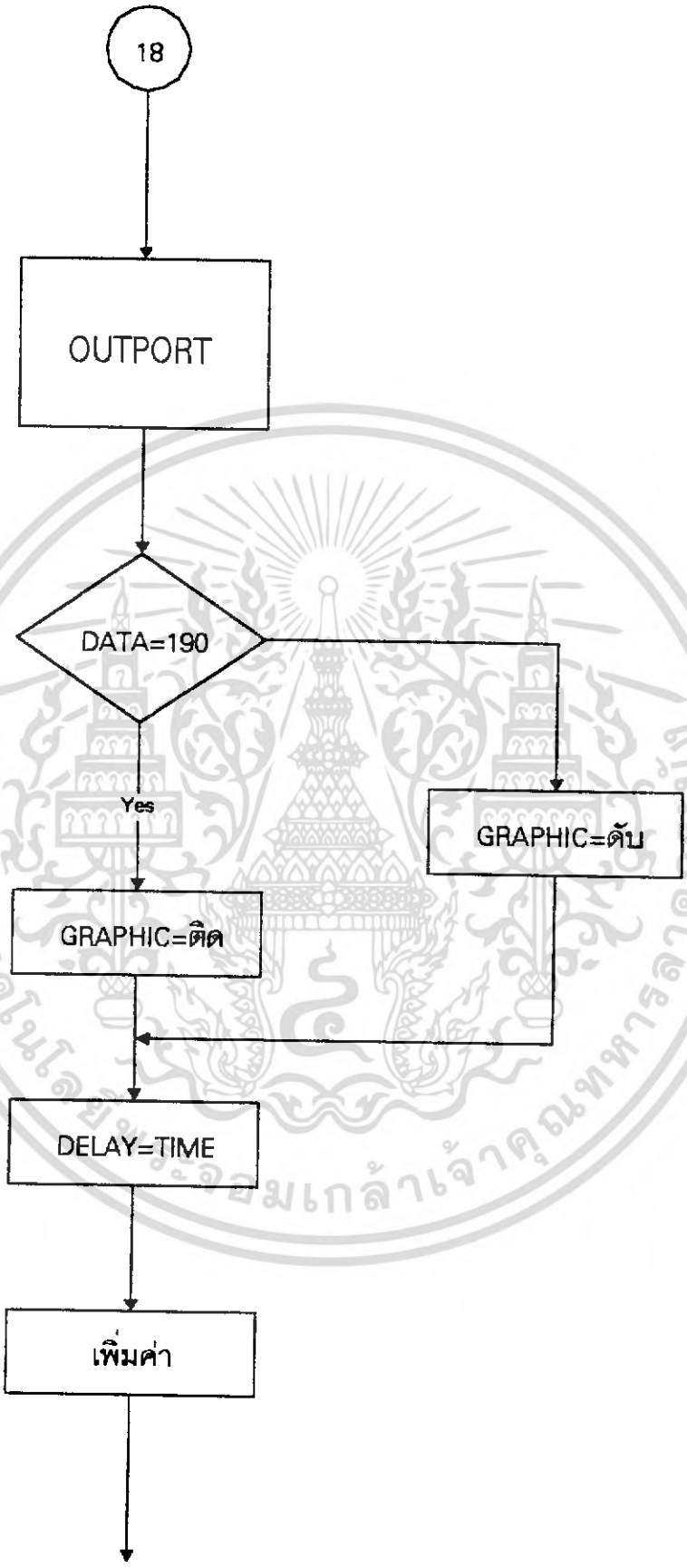
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



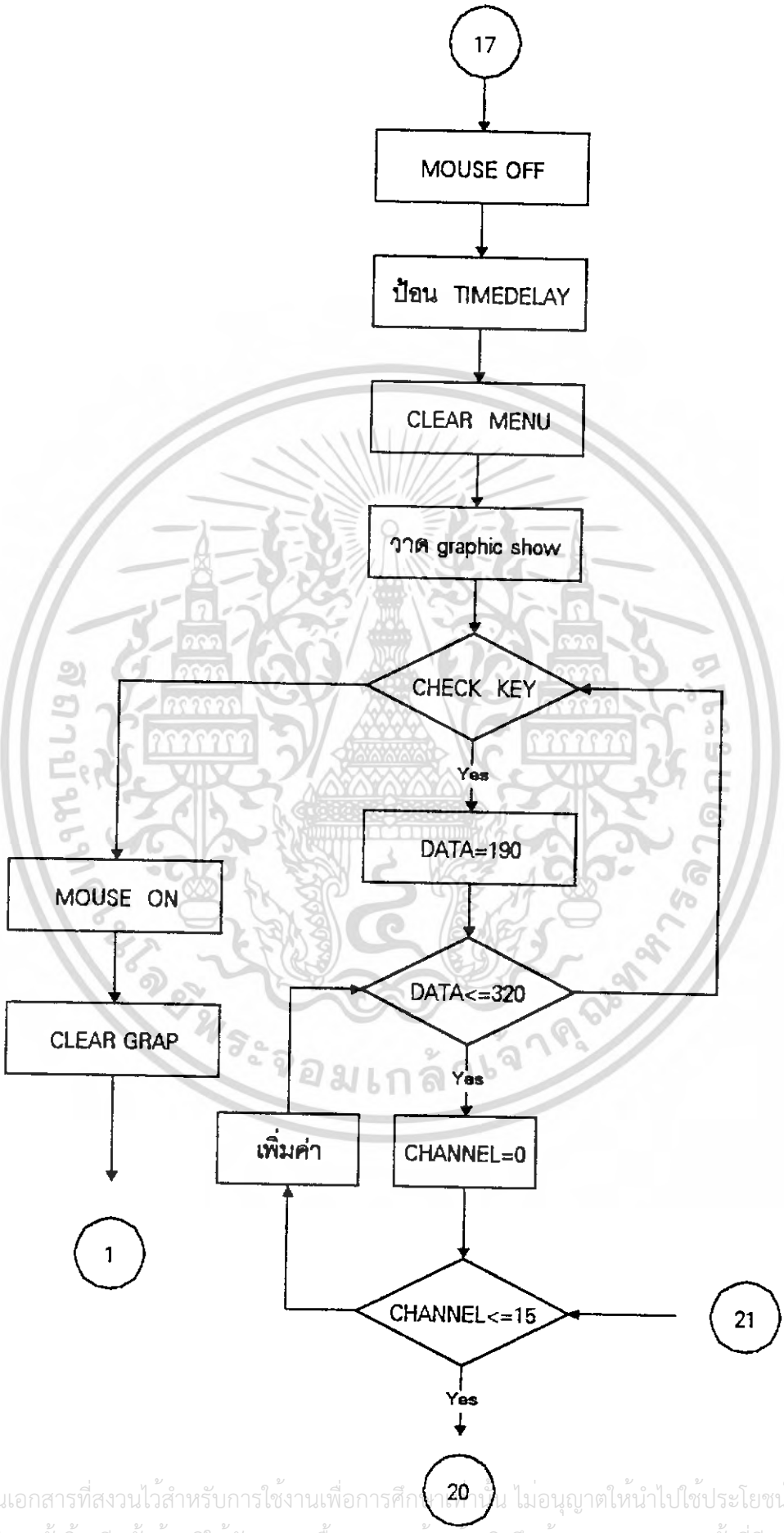
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



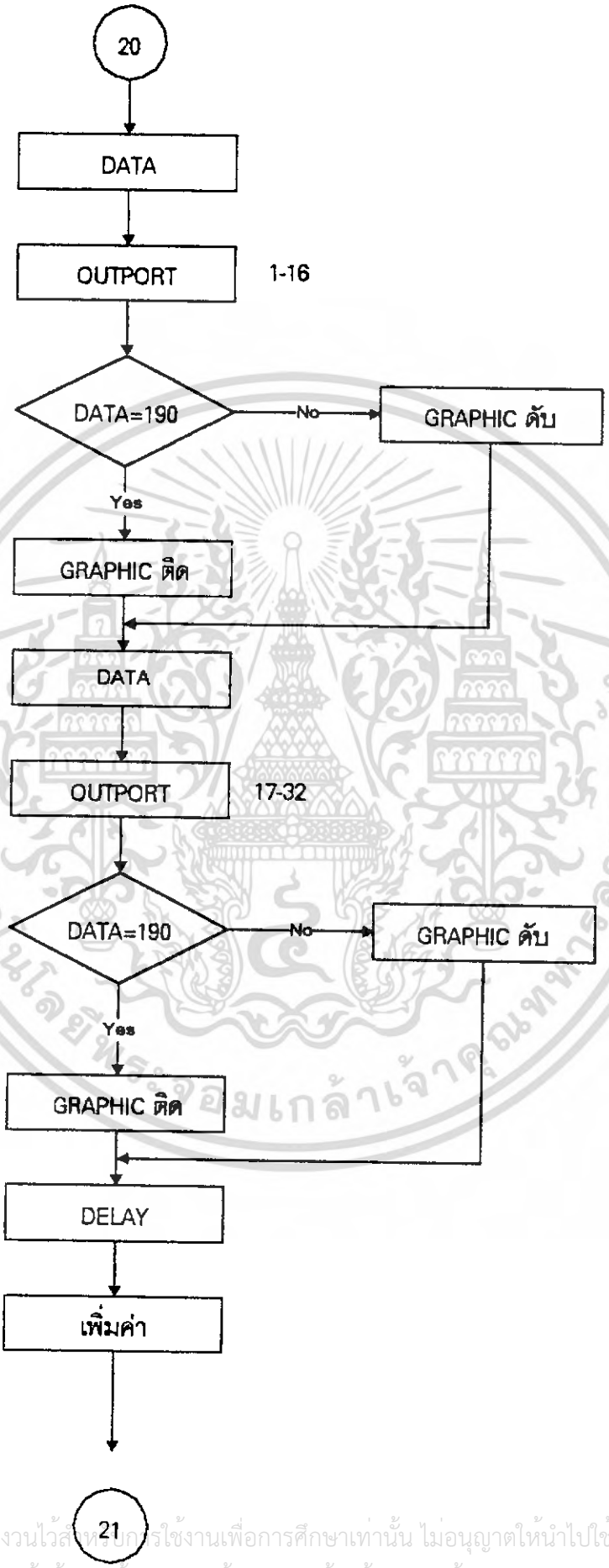
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



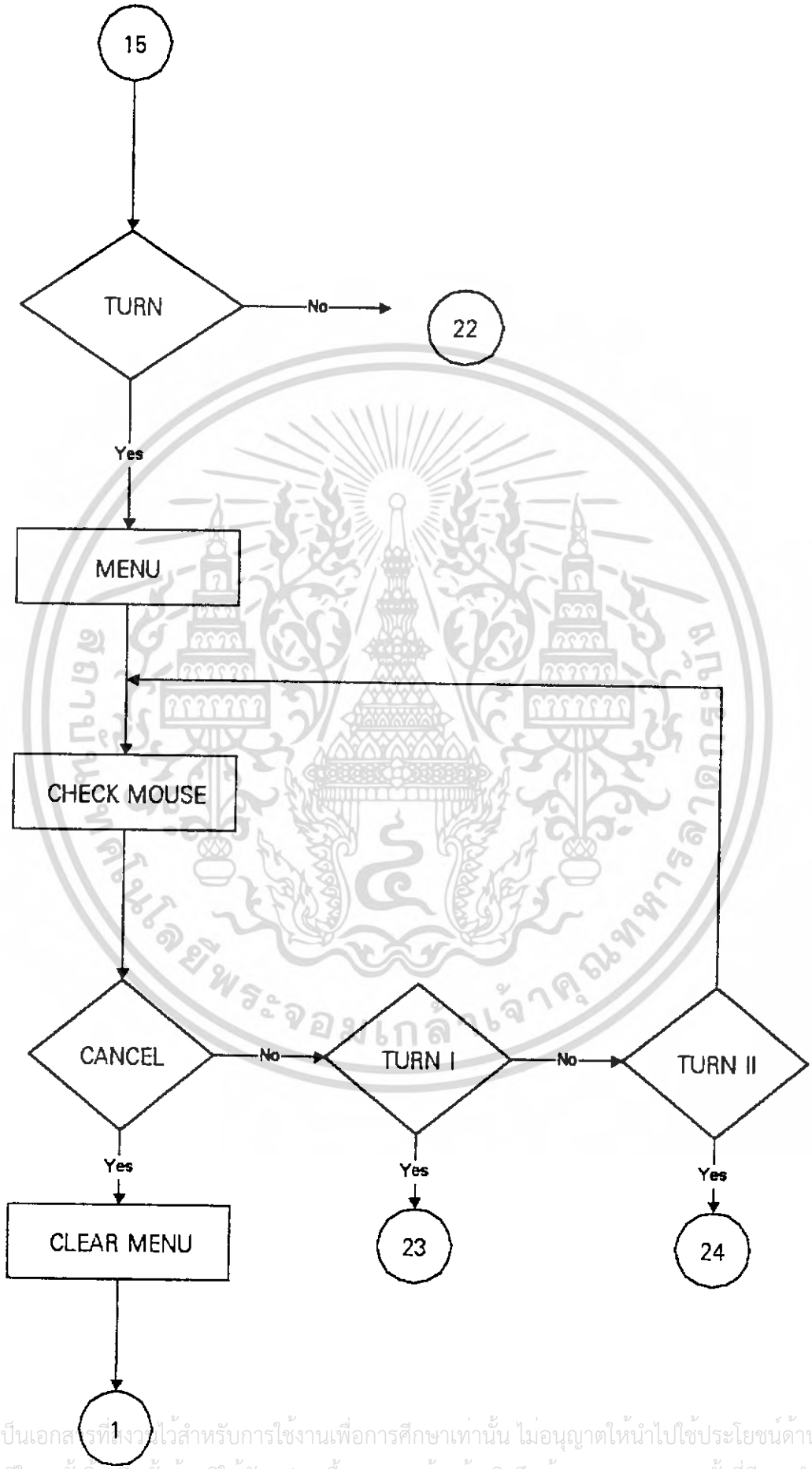
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



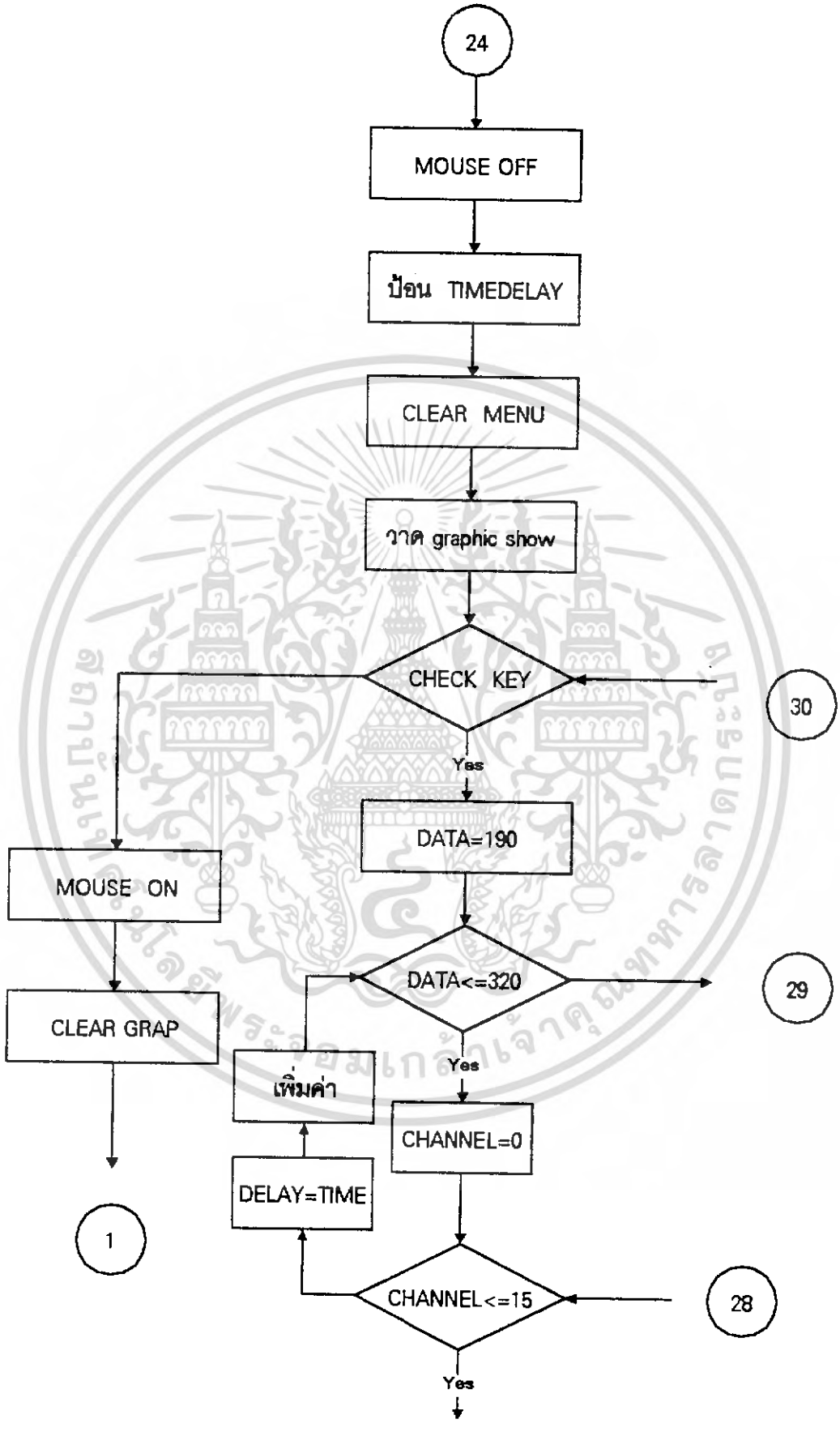
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



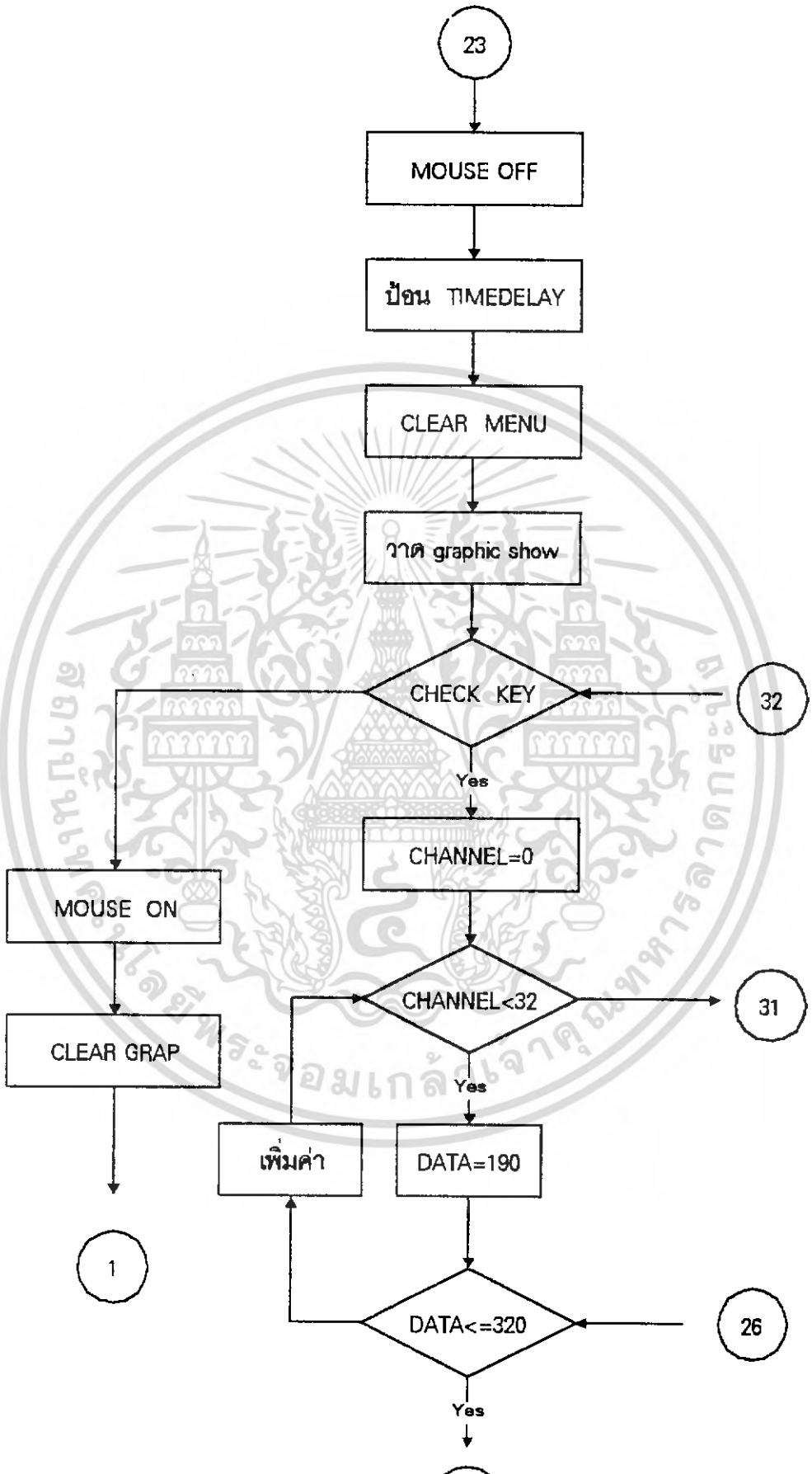
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



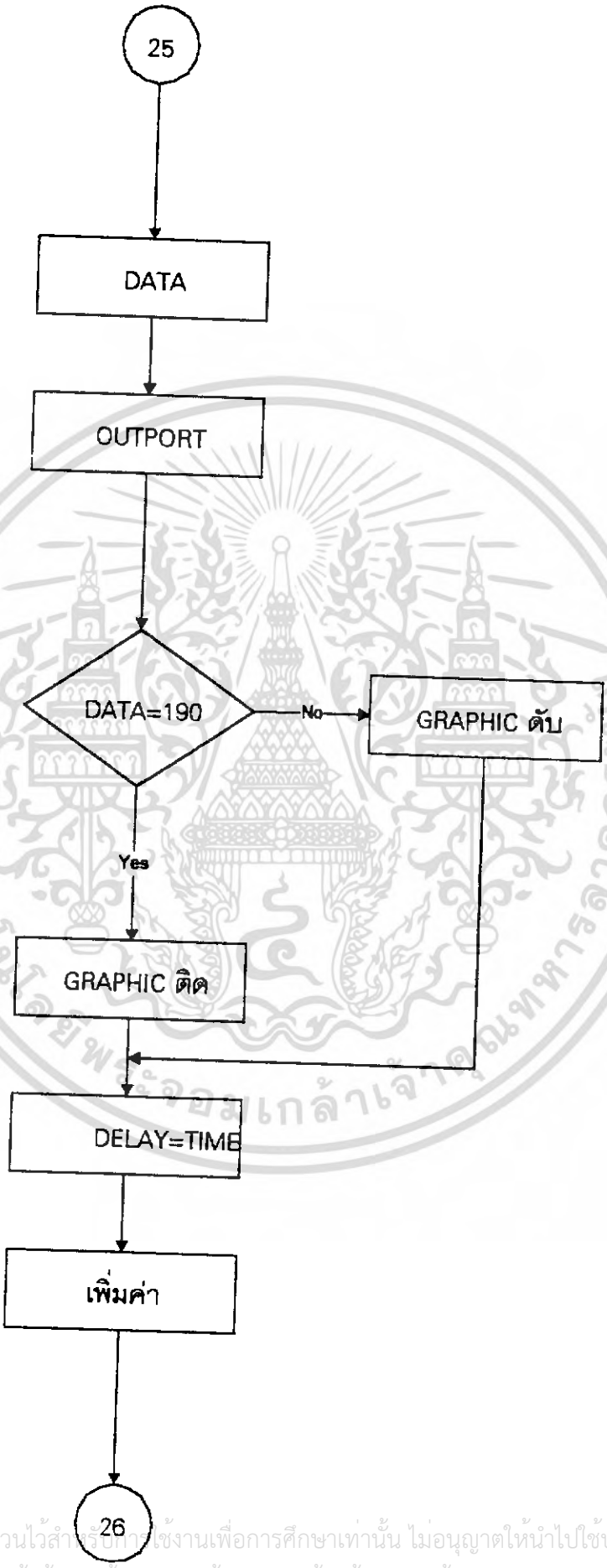
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



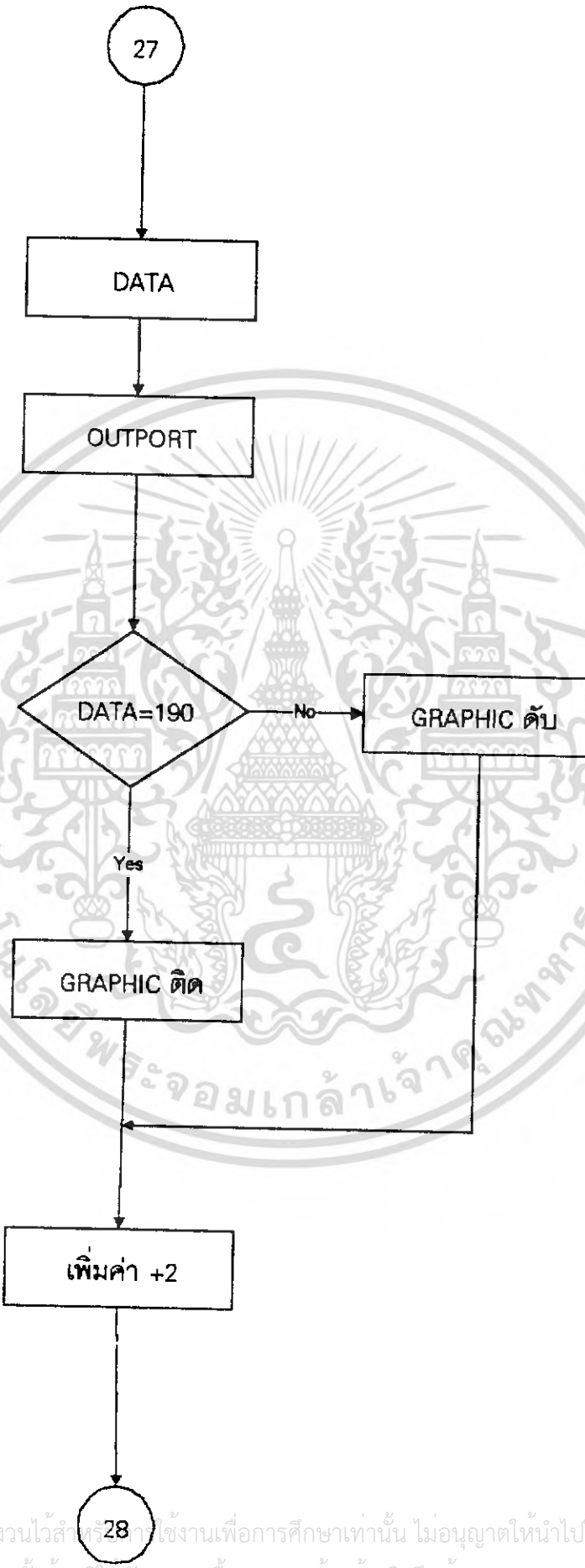
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



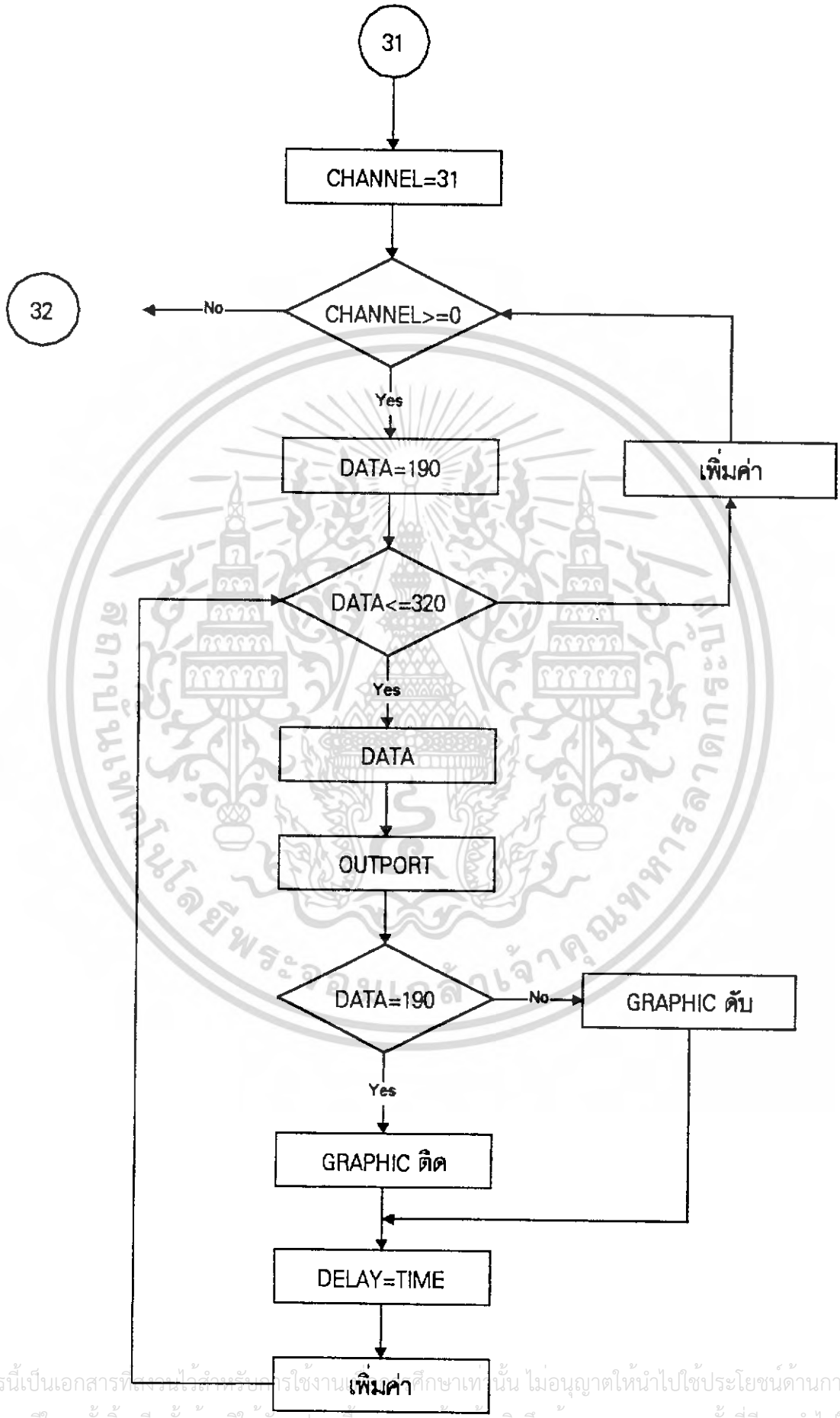
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



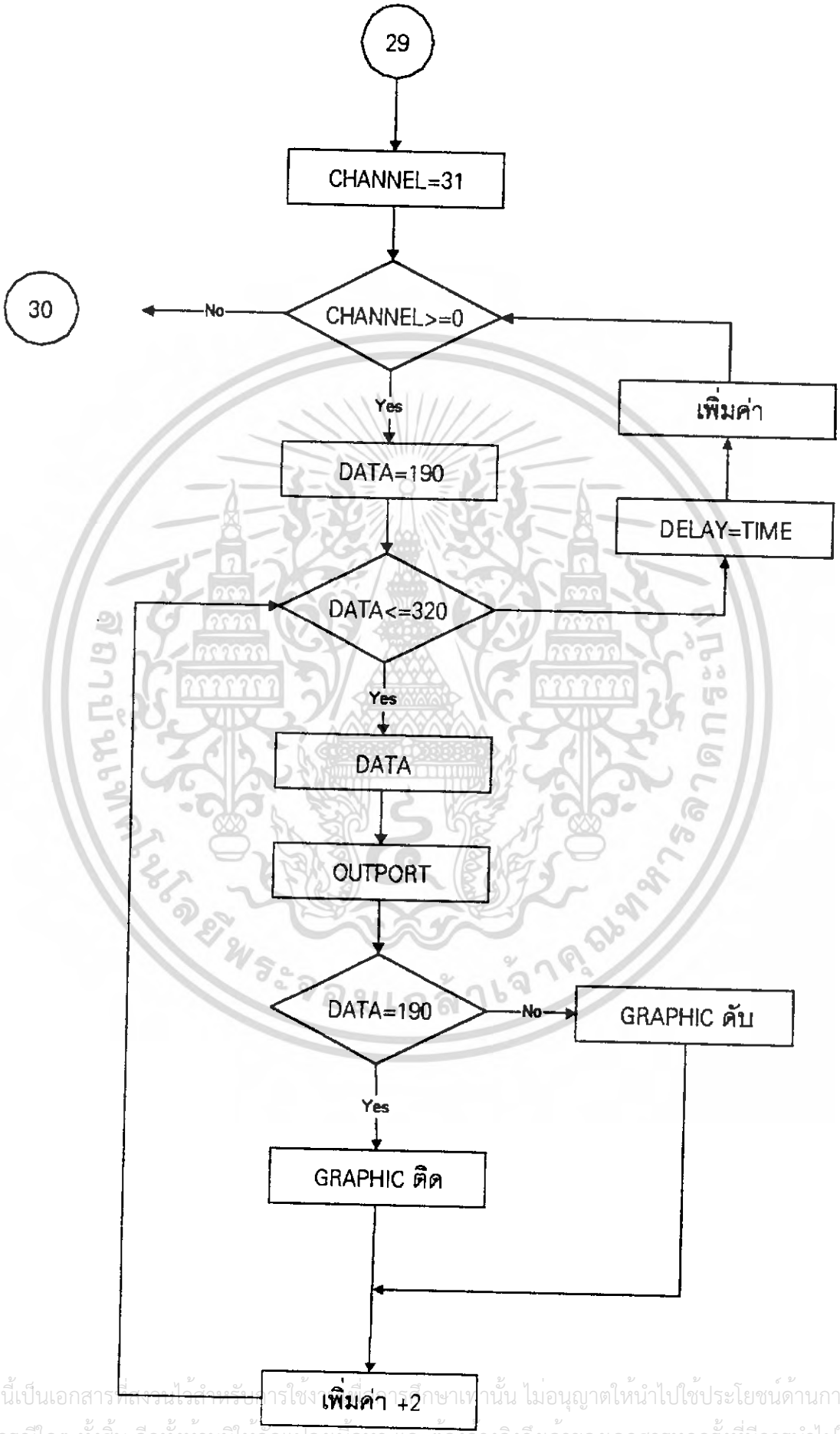
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



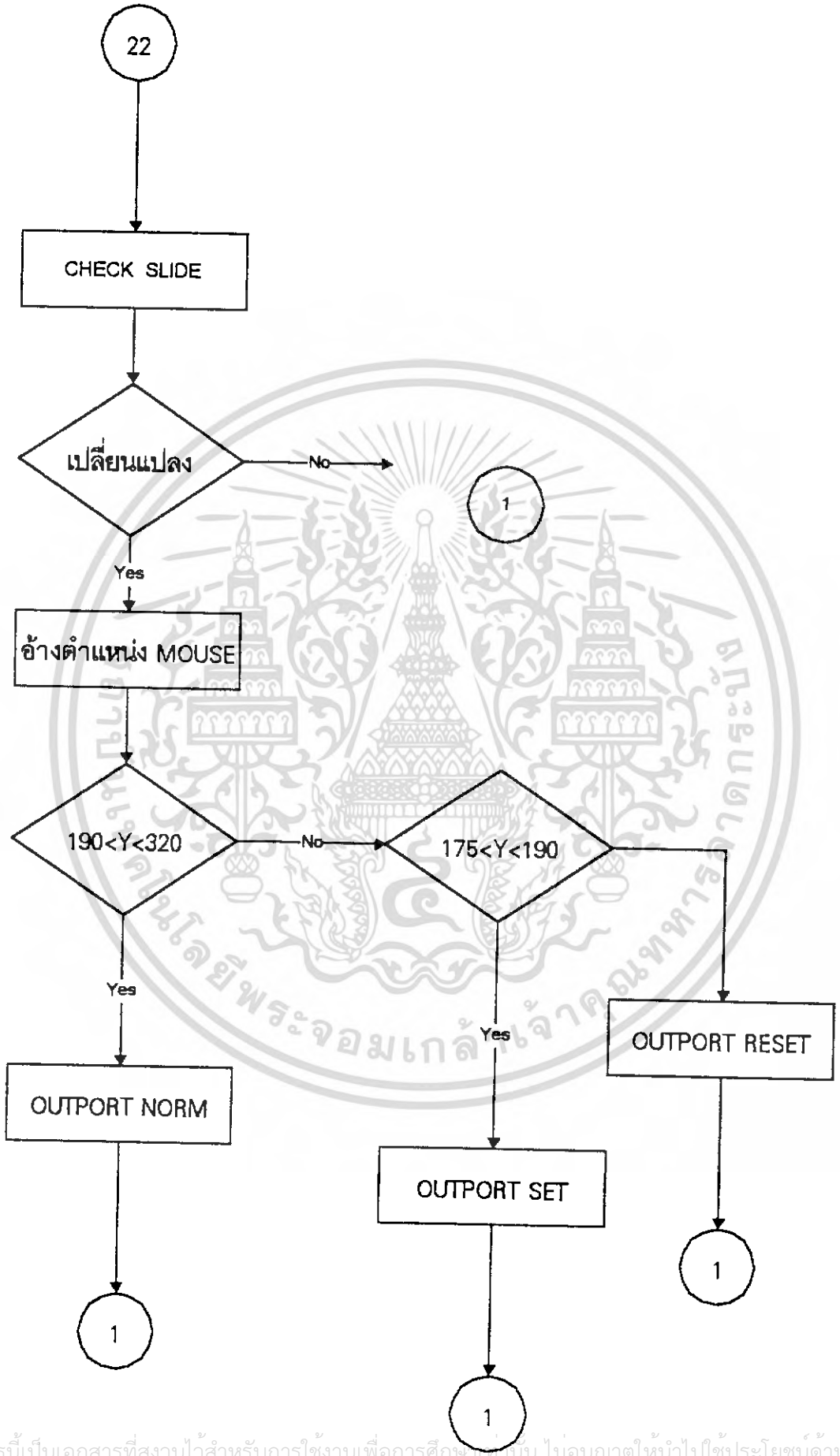
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

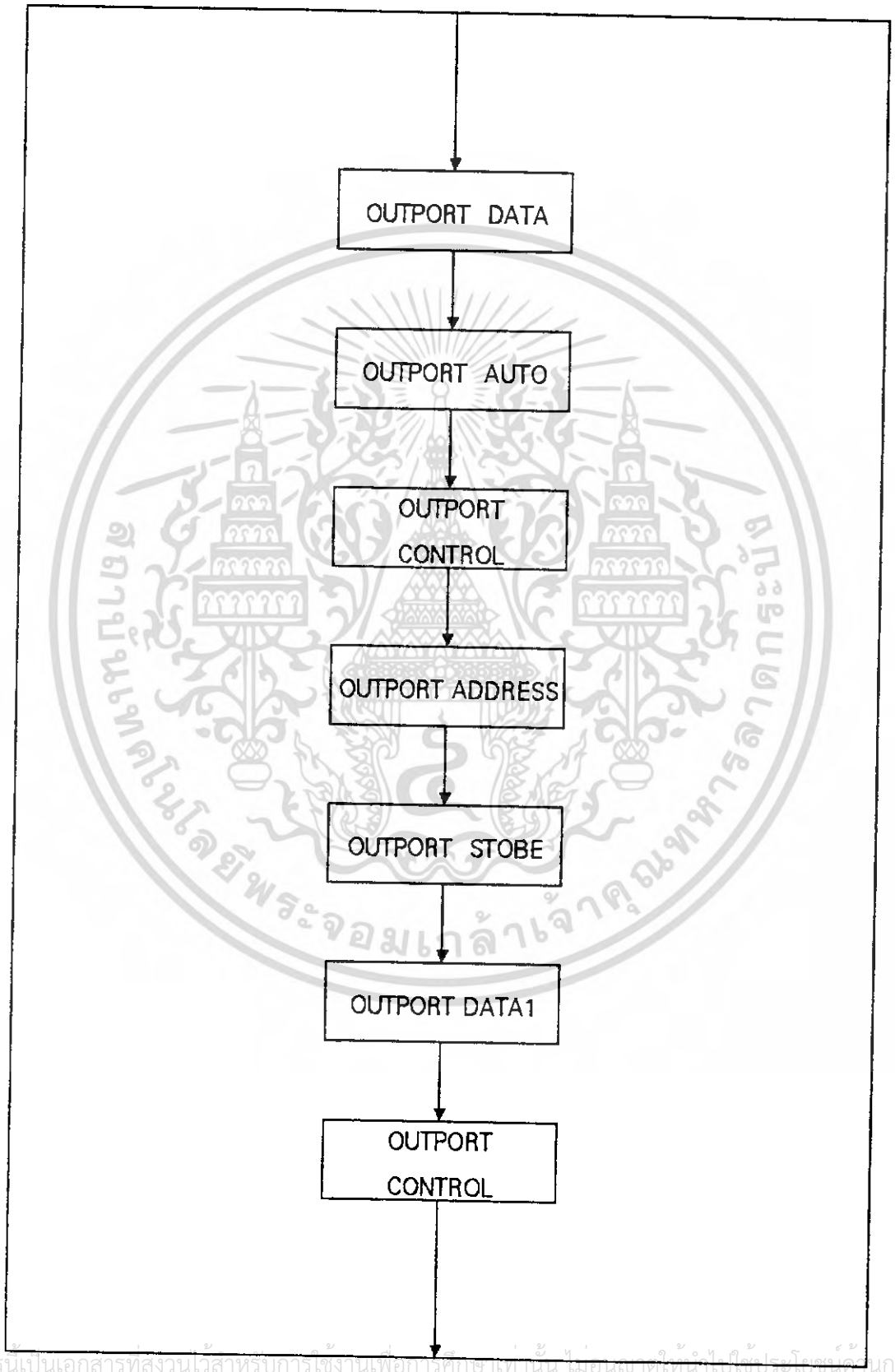


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTPORT (O)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม SOFTWARE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include<stdio.h>
#include<dos.h>
#include<stdlib.h>
#include<graphics.h>
#include<fcntl.h>
#include<time.h>
#include<io.h>
#include<conio.h>
#include<sys\stat.h>
#include<stdarg.h>
#define TOGGLE 1
#define ON 2
#define OFF 0
#define NORM 0
#define RESTORE 1
#define SET 2
#define RESET 3
#define LOAD 4
#define ESC 0x11b

void   *buffer;
int    GraphDriver,fd;
float  delay_time[4];
int    Y_position[32],mem_status[15],mem[32];
char    *menu[]={"SAVE","LOAD","CLEAR","SHELL","QUIT","AUTO","","Ok"
      ,"Cancel","M1","M2","M3","M4","M5","KMITL DIMMER 32 CHANNEL","Delay"
      ,"Loop_I","Loop_II","Step_I","Step_II","Turn_I","Turn_II","LOOP",
       "STEP","TURN" };

int  Check_slide_bar(void);
int  Check_button(void);
int  Check_Position(void);
void Initial_variable(void);
void OS_shell(void);
void DAc(int channel,int status);
void graph(void);
void Mem_menu(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void Mem_menu_a(void);
void tick_sound(void);
void Initial_mouse(void);
void Save_mem(void);
void Load_mem(void);
void Clear_mem(void);
void Auto_men(void);
void Check_mem_status(void);
void Clear_mem_menu(void);
int  Check_mem_button(void);
void Mouse_off(void);
void File_open(void);
void File_save(void);
void File_read(int record);
void File_write(int record);
void Mouse_position(int *x,int *y);
int  Mouse_status(void);
void Mouse_on(void);
void Initialize(void);
void Check_mouse_position(void);
void slide_button(int channel,int address_port,int i);
void box3D(int left,int top,int right,int bottom,int depth,int color,
int stats,int color1,int text);
int  key_press(void);
void Setdelay_time(void);
void  Auto_dimmer(void);
void Mem_menu_b(void);
int Check_mem_Position1(void);
void Loop_I(void);
void Step_I(void);
void Clear_mem_menu1(void);
void Loop_II(void);
void Step_II(void);
void Turn_I(void);
void Turn_II(void);
int Check_mem_Position2(void);
int Check_mem_Position3(void);
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void Mem_menu_c(void);
void Mem_menu_d(void);
void Set_port(void);

main()
 {
   Set_port();
   Initial_variable();
   File_open();
   Check_mem_status();
   Initial_mouse();
   Initialize();
   graph();
   Mouse_on();
   Check_mouse_position();
   Mouse_off();
   cleardevice();
   closegraph();
   File_save();
 }


void Save_mem(void){
 int  i=0,k=0,j=0;
 for(;;){
  i = Check_mem_button();
  switch(i){
   case 6 :
        if(j==1){
          mem_status[k-1] = 1;
          for(i=0;i<32;i++)
            mem[i] = Y_position[i];
          File_write(k);
          Clear_mem_menu();
          return;
        }
        break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        case 7:
            Clear_mem_menu();
            return;
        default :
            if((mem_status[i-1]==0)&&(j==0)){
              j++;  k = i;  setcolor(RED);
            }else{
            switch(mem_status[i-1]){
                case 0 :  setcolor(LIGHTGRAY);  break;
                case 1 :  setcolor(RED);        break;
              }
            }
            Mouse_off();
            outtextxy(((i*75)+126)+(((i*75)+175)-((i*75)+126))/2,
            431+(460-431)/2,menu[i+8]);
            Mouse_on();
            break;
    }
  }
}


void Load_mem(void){
 int i=0,j=0,bank=0;
 for(;;){
  i = Check_mem_button();
  switch(i){
   case 6 :
        if(j==1){
          File_read(bank);
          for(i=1;i<33;i++)
            DAc(i,LOAD);
          Clear_mem_menu();
          return;
        }
        break;
   case 7:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Clear_mem_menu();
            return;
        default :
            if((j==0)&&(mem_status[i-1]==1)){
             j++;  bank=i;
            }
            switch(mem_status[i-1]){
             case 0 :  setcolor(LIGHTGRAY);  break;
             case 1 :  setcolor(RED);        break;
            }
            Mouse_off();
            outtextxy(((i*75)+126)+(((i*75)+175)-((i*75)+126))/2,
                      431+(460-431)/2,menu[i+8]);
            Mouse_on();
            break;
    }
  }
}


void Auto_mem(void)
 {
  int i,j,k;
   for(;;){
       i = Check_mem_Position();
       switch(i){
        case 6  : Auto_dimmer();
                  Clear_mem_menu();
                  return;
        case 7  : Clear_mem_menu();
                  return;
        default :  Setdelay_time();
                Clear_mem_menu();
                  Clear_mem_menu1();
                  return;
       }
   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    }


void Auto_mem_a(void)
  {
    int i,j,k;
      for(;;){
          i = Check_mem_Position1();
          switch(i){
            case 15  : Loop_I();
                       Clear_mem_menu();
                       return;
            case 16  : Clear_mem_menu();
                       return;
           default :  Loop_II();
                 Clear_mem_menu();
                       return;
          }
      }
  }


void Auto_mem_b(void)
  {
    int i,j,k;
      for(;;){
          i = Check_mem_Position2();
          switch(i){
            case 17  : Step_I();
                       Clear_mem_menu();
                       return;
            case 18  : Clear_mem_menu();
                       return;
           default :  Step_II();
                 Clear_mem_menu();
                       return;
          }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      }
    }


void Auto_mem_c(void)
 {
  int i,j,k;
    for(;;){
        i = Check_mem_Position3();
        switch(i){
          case 19  : Turn_I();
                     Clear_mem_menu();
                     return;
          case 20  : Clear_mem_menu();
                     return;
          default :  Turn_II();
                Clear_mem_menu();
                     return;
        }
    }
 }


void Clear_mem(void){
 int i=0,j=0,bank=0;


 for(;;){
  i = Check_mem_button();
  switch(i){
   case 6 :
       if(j==1){
        mem_status[bank-1] = 0;
        for(i=0;i<32;i++)
          mem[i] = 0;
        File_write(bank);
        Clear_mem_menu();
        return;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            }
            break;
        case 7 :
            Clear_mem_menu();
            return;
        default :
            if((j==0)&&(mem_status[i-1]==1)){
              j++;  bank=i;  setcolor(RED);
            }else{
              switch(mem_status[i-1]){
                case 0 :   setcolor(LIGHTGRAY);   break;
                case 1 :   setcolor(RED);         break;
              }
            }
            Mouse_off();
            outextxy(((i*75)+126)+(((i*75)+175)-((i*75)+126))/2,
                     431+(460-431)/2,menu[i+8]);
            Mouse_on();
            break;
    }
  }
}


int Check_mem_button(void)
 {
   int i,j,x,y;

   for(;;){
     while(Mouse_status()==0);
     Mouse_position(&x,&y);
     if((y>433)&&(y<458))
         for(i=1,j=203;i<7;i++,j+=75)
           if((x>j)&&(x<(j+45))){
             Mouse_off();
             box3D((i*75)+126,431,(i*75)+175,460,2,BLUE,TOGGLE,WHITE,i+8);
             Mouse_on();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            while(Mouse_status()!=0);
            return(i);
           }
      if((x>57)&&(x<123))
          for(i=6,j=419;i<8;i++,j+=30)
           if((y>j)&&(y<(j+26))){
            Mouse_off();
            box3D(55,j-2,125,j+28,2,LIGHTBLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,i+1);
            Mouse_on();
          while(Mouse_status()!=0);
            return(i);
           }
      while(Mouse_status()!=0);
    }
  }

int Check_mem_Position(void)
  {
    int i,j,x,y;
    for(;;){
      while(Mouse_status()==0);
      Mouse_position(&x,&y);
      if((x>170)&&(x<250))
          for(i=6,j=435;i<8;i++,j+=100)
           if((y>j)&&(y<(j+26))){
            Mouse_off();
            box3D(170,j-2,245,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,i+1);
            Mouse_on();
          while(Mouse_status()!=0);
            return(i);
           }
      if((x>265)&&(x<345))
          for(i=6,j=-30;i<8;i++,j+=465)
           if((y>j)&&(y<(j+30))){
            Mouse_off();
            box3D(265,j-2,345,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,i+1);
            Mouse_on();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            while(Mouse_status()!=0);
              return(i);
             }
        if((x>365)&&(x<445))
           for(i=13,j=-30;i<15;i++,j+=465)
            if((y>j)&&(y<(j+30))){
              Mouse_off();
              box3D(365,j-2,445,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,i+1);
              Mouse_on();
           while(Mouse_status()!=0);
             return(i);
            }
       }
   }


int Check_mem_Position1(void)
  {
    int i,j,x,y;
    for(;;){
      while(Mouse_status()==0);
      Mouse_position(&x,&y);
      if((x>170)&&(x<250))
          for(i=15,j=435;i<17;i++,j+=100)
            if((y>j)&&(y<(j+26))){
              Mouse_off();
              box3D(170,j-2,245,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,i+1);
              Mouse_on();
           while(Mouse_status()!=0);
             return(i);
            }
     if((x>265)&&(x<345))
         for(i=15,j=-30;i<17;i++,j+=465)
           if((y>j)&&(y<(j+30))){
             Mouse_off();
             box3D(265,j-2,345,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,8);
             Mouse_on();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            while(Mouse_status()!=0);
              return(i);
             }
        if((x>365)&&(x<445))
           for(i=16,j=-30;i<18;i++,j+=465)
            if((y>j)&&(y<(j+30))){
              Mouse_off();
              box3D(365,j-2,445,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,17);
              Mouse_on();
            while(Mouse_status()!=0);
              return(i);
             }
       }
  }


int Check_mem_Position3(void)
  {
    int i,j,x,y;
    for(;;){
      while(Mouse_status()==0);
      Mouse_position(&x,&y);
      if((x>170)&&(x<250))
           for(i=19,j=435;i<21;i++,j+=100)
            if((y>j)&&(y<(j+26))){
              Mouse_off();
              box3D(170,j-2,245,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,i+1);
              Mouse_on();
            while(Mouse_status()!=0);
              return(i);
             }
      if((x>265)&&(x<345))
           for(i=19,j=-30;i<21;i++,j+=465)
            if((y>j)&&(y<(j+30))){
              Mouse_off();
              box3D(265,j-2,345,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,8);
              Mouse_on();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            while(Mouse_status()!=0);
              return(i);
             }
        if((x>365)&&(x<445))
           for(i=20,j=-30;i<22;i++,j+=465)
            if((y>j)&&(y<(j+30))){
              Mouse_off();
              box3D(365,j-2,445,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,21);
              Mouse_on();
            while(Mouse_status()!=0);
              return(i);
             }
      }
  }


int Check_mem_Position2(void)
  {
    int i,j,x,y;
    for(;;){
      while(Mouse_status()==0);
      Mouse_position(&x,&y);
      if((x>170)&&(x<250))
          for(i=17,j=435;i<19;i++,j+=100)
            if((y>j)&&(y<(j+26))){
              Mouse_off();
              box3D(170,j-2,245,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,i+1);
              Mouse_on();
            while(Mouse_status()!=0);
              return(i);
             }
     if((x>265)&&(x<345))
          for(i=17,j=-30;i<19;i++,j+=465)
            if((y>j)&&(y<(j+30))){
              Mouse_off();
              box3D(265,j-2,345,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,8);
              Mouse_on();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            while(Mouse_status()!=0);
              return(i);
             }
        if((x>365)&&(x<445))
            for(i=18,j=-30;i<20;i++,j+=465)
             if((y>j)&&(y<(j+30))){
              Mouse_off();
              box3D(365,j-2,445,j+28,2,BLUE,TOGGLE,LIGHTCYAN,19);
              Mouse_on();
            while(Mouse_status()!=0);
              return(i);
             }
        }
    }


void Clear_mem_menu(void)
 {
   setcolor(MAGENTA);
   rectangle(0,410,640,480);
   setfillstyle(SOLID_FILL,BLACK);
   Mouse_off();
   floodfill(80,430,MAGENTA);
   setcolor(BLACK);
   rectangle(0,410,640,480);
   Mouse_on();
 }


void File_open(void)
   {
     if((fd=open("dimmer.mem",O_RDWR)) == -1){
       clrscr();
       puts("Error to open file Dimmer.mem");
       exit(1);
     }
     }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void File_save(void)
 {
  lseek(fd,0,SEEK_END);
  close(fd);
 }


void File_read(int record)    /*    record 1 - 15    */
 {
  lseek(fd,(record-1)*64,SEEK_SET);
  read(fd,mem,64);
 }


void File_write(int record)  /*    record 1 - 15    */
 {
  lseek(fd,(record-1)*64,SEEK_SET);
  write(fd,mem,64);
 }


void Check_mem_status(void)
 {
  int i,j;
  for(i=1;i<16;i++){
   File_read(i);
   if(mem[0]==0)
       mem_status[i-1]=0;
   else
       mem_status[i-1]=1;
  }
 }

void Check_mouse_position(void)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
 int i,x,y;
 for(;;){
  switch(Check_button()){
       case 0 :
        Mem_menu();
        Save_mem();
        break;
       case 1 :
        Mem_menu();
        Load_mem();
        break;
       case 2 :
        Mem_menu();
        Clear_mem();
        break;
       case 3 :
        OS_shell();
        break;
       case 4 :
        return;
       default :
        break;
       case 5:
        Mem_menu_a();
        Auto_mem();
        break;
       case 6:
        for(i=1;i<33;i++)
        DAc(i,RESET);
        Mem_menu_b();
        Auto_mem_a();
        break;
       case 7:
        for(i=1;i<33;i++)
        DAc(i,RESET);
        Mem_menu_c();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Auto_mem_b();
            break;
          case 8:
         for(i=1;i<33;i++)
            DAc(i,RESET);
            Mem_menu_d();
            Auto_mem_c();
            break;

    }
    i=Check_slide_bar();
    switch(i){
        case 0  :
          break;
        default :
          Mouse_position(&x,&y);
          if((y>190)&&(y<320))
            DAc(i,NORM);
          else if((y>175)&&(y<190))
                DAc(i,SET);
              else
                DAc(i,RESET);
          break;
    }
  }
}


void Mem_menu(void)
 {
   int i;
   box3D(0,410,640,480,3,LIGHTGRAY,OFF,LIGHTGRAY,6);
   setcolor(BLACK);
   line(54,414,125,414);
   line(125,414,125,475);
   line(125,475,54,475);
   line(54,475,54,414);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    line(54,445,125,445);
    box3D(55,415,125,445,2,LIGHTBLUE,OFF,LIGHTCYAN,7);
    box3D(55,447,125,475,2,LIGHTBLUE,OFF,LIGHTCYAN,8);
    for(i=1;i<6;i++){
     setcolor(BLACK);
     line((i*75)+125,430,(i*75)+175,430);
     line((i*75)+175,430,(i*75)+175,460);
     line((i*75)+175,460,(i*75)+125,460);
     line((i*75)+125,460,(i*75)+125,430);
     if(mem_status[i-1]==0)
         box3D((i*75)+126,431,(i*75)+175,460,2,LIGHTBLUE,OFF,LIGHTCYAN,i+8);
     else
         box3D((i*75)+126,431,(i*75)+175,460,2,LIGHTCYAN,OFF,LIGHTRED,i+8);
    }
  }


void Mem_menu_a(void)
  {
    box3D(0,410,640,480,3,LIGHTGRAY,OFF,LIGHTGRAY,6);
    box3D(170,434,244,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,7);
    box3D(265,434,344,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,8);
    box3D(365,434,444,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,15);
  }


void Mem_menu_b(void)
  {
    box3D(0,410,640,480,3,LIGHTGRAY,OFF,LIGHTGRAY,6);
    box3D(170,434,244,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,16);
    box3D(265,434,344,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,8);
    box3D(365,434,444,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,17);
  }


void Mem_menu_c(void)
  {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    box3D(0,410,640,480,3,LIGHTGRAY,OFF,LIGHTGRAY,6);
    box3D(170,434,244,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,18);
    box3D(265,434,344,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,8);
    box3D(365,434,444,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,19);
  }


void Mem_menu_d(void)
  {
    box3D(0,410,640,480,3,LIGHTGRAY,OFF,LIGHTGRAY,6);
    box3D(170,434,244,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,20);
    box3D(265,434,344,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,8);
    box3D(365,434,444,465,1,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,21);
  }


void Initial_variable(void)
 {
   int i,j;
   for(i=0;i<32;i++){
     Y_position[i]=320;
     mem[i]=0;
   }
 }


void Mouse_position(int *x,int *y)
 {
   union REGS regs;
   regs.x.ax=3;
   int86(0x33,&regs,&regs);
   *x = regs.x.cx;
   *y = regs.x.dx;
 }


void Mouse_on(void)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
  union REGS regs;
  regs.x.ax=1;
  int86(0x33,&regs,&regs);
}


void Mouse_off(void)
{
  union REGS regs;
  regs.x.ax=2;
  int86(0x33,&regs,&regs);
}


int Mouse_status(void)
{
  union REGS regs;
  regs.x.ax=3;
  int86(0x33,&regs,&regs);
  return regs.x.bx;
}


void Initial_mouse(void)
{
  union REGS regs;
  regs.x.ax=0;
  int86(0x33,&regs,&regs);
  if(regs.x.ax==0){
    printf("Mouse hardware of software is not install");
    exit(1);
  }
}


int Check_button(void)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
 int x,y,i,axis_y,axis_x;
 while(!Mouse_status()){
  switch(key_press()){
      case ESC :
       OS_shell();
       break;
  }
 }
 Mouse_position(&x,&y);
 if((x>22)&&(x<59))
  for(i=0,axis_y=114;i<6;i++,axis_y+=40)
      if((y>axis_y)&&(y<(axis_y+33))){
       box3D(17,axis_y-3,63,axis_y+36,2,BLUE,TOGGLE,WHITE,i);
       return(i);
      }
 if((y>87)&&(y<113))
  for(i=6,axis_x=146;i<9;i++,axis_x+=185)
      if((x>axis_x)&&(x<(axis_x+59))){
       box3D(axis_x-3,85,axis_x+62,115,2,GREEN,TOGGLE,WHITE,i+16);
       return(i);
      }
}


int Check_slide_bar(void)
{
 int x,y,i=0;
 float axis_x=0;

 Mouse_position(&x,&y);
 if((y>175)&&(y<330)){
  for(i=1,axis_x=107;i<33;i++,axis_x+=16)
      if((x>axis_x)&&(x<(axis_x+10))){
       while(Mouse_stams()!=0);
       return(i);
      }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    }
    while(Mouse_stams()!=0);
    return(0);
  }



void Initialize(void)
 {
  int ErrorCode,GraphMode;
  struct palettetype palette;     /* Used to read palette info    */

  GraphDriver = DETECT;          /* Request auto-detection   */
  initgraph( &GraphDriver, &GraphMode, "" );
  ErrorCode = graphresult();       /* Read result of initialization*/
  if( ErrorCode != grOk ){       /* Error occured during init    */
   printf(" Graphics System Error: %s\n", grapherrormsg( ErrorCode ) );
   exit( 1 );
  }
  getpalette( &palette );       /* Read the palette from board  */
}


void DAc(int channel,int stams)
 {
   int     x,y,i,digital_value,addr_port;
   int  kom[] = {0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27,0x28,0x29,0x2a,0x2b,
          0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x10,0x11,0x12,0x13,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,
          0x1a,0x1b,0x1c,0x1d,0x1e,0x1f};
   Mouse_position(&x,&y);
   Mouse_off();
   buffer=malloc(imagesize(106,178,118,186));
   getimage(106,178,118,186,buffer);
   Mouse_on();
   if(stams==RESTORE){
    putimage(90+(channel*16),317,buffer,COPY_PUT);
    box3D(91+(channel*16),Y_position[channel-1]-3,
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            101+(channel*16),Y_position[channel-1]+3,
            1,RED,OFF,RED,6);
     free(buffer);
    }
    else{
     switch(status){
          case RESET :  y=320;  break;
          case SET   :  y=190;  break;
          case NORM  :  break;
          case LOAD  :  y = mem[channel-1];
                        break;
     }
     addr_port=kom[channel-1];
     if(y<Y_position[channel-1])
          for(i=Y_position[channel-1];i>y;i-=2)
           slide_button(channel,addr_port,i);
     if(y>Y_position[channel-1])
          for(i=Y_position[channel-1];i<y;i+=2)
           slide_button(channel,addr_port,i);

     digital_value=(320-y)*1.9692;
     outportb(0x378,digital_value);
     outportb(0x37a,0x01);
     outportb(0x37a,0xff);
     outportb(0x378,addr_port);
     outportb(0x37a,0x02);
     outportb(0x378,0x30);
     outportb(0x37a,0xff);
     free(buffer);
     Y_position[channel-1]=y;
     Mouse_off();
     box3D(91+(channel*16),y-3,101+(channel*16),y+3,1,
           RED,OFF,RED,6);
     Mouse_on();
    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void slide_button(int channel,int address_port,int i)
 {
  int digital_data;
     Mouse_off();
     box3D(91+(channel*16),i-3,101+(channel*16),i+3,1,RED,OFF,RED,6);
     putimage(90+(channel*16),i-3,buffer,COPY_PUT);
     Mouse_on();
     digital_data=(320-i)*1.9692;
     outportb(0x378,digital_data);
     outportb(0x37a,0x01);
     outportb(0x37a,0xff);
     outportb(0x378,address_port);
     outportb(0x37a,0x02);
     outportb(0x378,0x30);
     outportb(0x37a,0xff);
 }


void tick_sound(void)
 {
  delay(5);
  sound(2500);
  delay(5);
  nosound();
  delay(40);
 }




void box3D(int left,int top,int right,int bottom,int depth,int color,
           int stats,int color1,int text)
{


static char patterns[8] = {0xAA,0x55,0xAA,0x55,0xAA,0x55,0xAA,0x55};
struct PTS {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    int x,y;
}outs[7];
int under,upper,i=0,fnum;

switch(stats) {
        case TOGGLE : under = color+8; upper = BLACK;   break;
        case OFF    : under = BLACK;   upper = color+8; break;
        case ON     : under = color+8; upper = BLACK;   break;
}
if( GraphDriver==EGA || GraphDriver==EGALO || GraphDriver==VGA )
    setfillstyle(SOLID_FILL,color);                 /*  floor  */
else
    setfillpattern(patterns,1);      /*  floor  */
bar3d(left,top,right-depth,bottom-depth,0,0);
do{
   setcolor(BLACK);
   outs[0].x = right;
   outs[0].y = top;
   outs[1].x = left;
   outs[1].y = top;
   outs[2].x = left;
   outs[2].y = bottom;
   outs[3].x = left + depth;
   outs[3].y = bottom - depth;
   outs[4].x = left + depth;
   outs[4].y = top + depth;
   outs[5].x = right - depth;
   outs[5].y = top + depth;
   outs[6].x = right;
   outs[6].y = top;
   setfillstyle(SOLID_FILL,upper);  /*  borders  */
   fillpoly(7,(int far *)outs);
   outs[0].x = left;
   outs[0].y = bottom;
   outs[1].x = right;
   outs[1].y = bottom;
   outs[2].x = right;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    outs[2].y = top;
    outs[3].x = right - depth;
    outs[3].y = top + depth;
    outs[4].x = right - depth;
    outs[4].y = bottom - depth;
    outs[5].x = left + depth;
    outs[5].y = bottom - depth;
    outs[6].x = left;
    outs[6].y = bottom;
    setfillstyle(SOLID_FILL,under);  /* borders */
    fillpoly(7,(int far *)outs);
    i++;
    if((i==1)&&(stats==TOGGLE)){
        upper=color+8;under=BLACK;
        tick_sound();
    }
    if((i==2)&&(stats==TOGGLE))
        setcolor(LIGHTCYAN);
    else
        setcolor(color1);
    Mouse_off();
    settextjustify(CENTER_TEXT,TOP_TEXT);
    outtextxy(left+(right-left)/2,top+(bottom-top)/2,menu[text]);
    Mouse_on();
  }while((i!=2)&&(stats==TOGGLE));
}


void graph(void)
 {
   unsigned int  i,k,m,j,g;
   char  ch[2];
   box3D(0,70,80,400,3,LIGHTGRAY,OFF,LIGHTGRAY,6);
   setcolor(BLACK);
   line(16,110,64,110);
   line(64,110,64,350);
   line(64,350,16,350);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
line(16,350,16,110);

line(16,150,64,150);
line(16,190,64,190);
line(16,230,64,230);
line(16,270,64,270);
line(16,310,64,310);
box3D(17,111,63,150,2,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,0);
box3D(17,151,63,190,2,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,1);
box3D(17,191,63,230,2,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,2);
box3D(17,231,63,270,2,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,3);
box3D(17,271,63,310,2,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,4);
box3D(83,70,640,130,3,BLUE,OFF,YELLOW,6);
box3D(83,131,640,400,3,LIGHTGRAY,OFF,LIGHTGRAY,6);
box3D(17,311,63,350,2,BLUE,OFF,LIGHTCYAN,5);
box3D(0,0,640,69,4,YELLOW,OFF,RED,14);
box3D(143,85,208,115,2,GREEN,OFF,LIGHTCYAN,22);
box3D(328,85,393,115,2,GREEN,OFF,LIGHTCYAN,23);
box3D(513,85,578,115,2,GREEN,OFF,LIGHTCYAN,24);
for(j=110,i=1;i<33;i++,j+=16){
  box3D(j,175,j+3,330,1,LIGHTGRAY,ON,LIGHTGRAY,6);

  itoa(i,ch,10);
  setcolor(DARKGRAY);
  for(g=0;g<33;g++){
  if(i==g*2+1)
  outtextxy(j,345,ch);
  if(i==g*2)
  outtextxy(j,365,ch);
  }
}
for(j=107,i=1;i<33;i++,j+=16)
  box3D(j,317,j+10,323,1,RED,OFF,RED,6);
for(j=0,i=92;j<2;j++,i+=530)
  for(k=0,m=188;k<3;k++,m+=65)
        box3D(i,m,i+6,m+4,1,MAGENTA,OFF,LIGHTMAGENTA,6);
for(k=0,m=211;k<4;k++,m+=21){
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      if(k==2) { m+=23; }
      box3D(93,m,98,m+2,1,LIGHTGRAY,OFF,LIGHTGRAY,6);
    }

    for(k=0,m=211;k<4;k++,m+=21){
      if(k==2) { m+=23; }
      box3D(623,m,628,m+2,1,LIGHTGRAY,OFF,LIGHTGRAY,6);
    }
  }


void OS_shell(void)
 {
  int k;
  Mouse_off();
  restorecrtmode();
  printf("Type 'EXIT' to return to PC CONTROL DIMMER...\n");
  system("");
  Initialize();
  graph();
  for(k=1;k<33;k++)
    DAc(k,RESTORE);
  Mouse_on();
 }



int key_press(void)
  {
   if(kbhit()!=0) {
     _AH=0x0;
     geninterrupt(0x16);
     return(_AX);
   }
   return 0;
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void Setdelay_time(void)
 {
  int k=1;
  Mouse_off();
  box3D(500,135,613,170,1,LIGHTCYAN,OFF,LIGHTGREEN,6);
  while(k<=4){
    gotoxy(65,10);
    printf("          ");
    gotoxy(66,10);
    printf("M%d-M%d:",k,k+1);
    scanf("%f",&delay_time[k-1]);
    k++;
  }
  for(k=1;k<33;k++)
    DAc(k,RESTORE);
  Mouse_on();
 }


void  Auto_dimmer(void)
 {
  int  i,k;
  float j;
 while(!kbhit()){
  Check_mem_status();
  if(mem_status[0]==1){
   File_read(1);
   for(k=1;k<33;k++)
       DAc(k,LOAD);
  }
  for(i=1;i<=4;i++){
   j=clock()/CLK_TCK;
   while(((clock()/CLK_TCK)-j)<=(delay_time[i-1]));
   if(mem_status[i]==1){
       File_read(i+1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            for(k=1;k<33;k++)
              DAc(k,LOAD);
       }
      }
     }
    }

void Loop_I(void)
{
 unsigned int o;
 int m,add,data,q;
 int n = 0;
 int  ko[]={0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27,0x28,0x29,0x2a,0x2b,
  0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x10,0x11,0x12,0x13,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,
  0x1a,0x1b,0x1c,0x1d,0x1e,0x1f};

 Mouse_off();
 box3D(500,135,613,170,1,LIGHTCYAN,OFF,LIGHTGREEN,6);
     gotoxy(65,10);
     printf("          ");
     gotoxy(66,10);
     printf("Delay:");
     scanf("%d",&o);
 Clear_mem_menu1();
 box3D(0,410,640,480,3,CYAN,OFF,RED,6);
 for(q=6;q<=626;q+=20)
 {
 box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
 }
 while(!kbhit())
 {
 for(n=0,q=6;n<33;n++,q+=20)
 {
 for(m=190;m<=320;m+=130)
 {
 add=ko[n];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
data=(320-m)*1.9692;
outportb(0x378,data);
outportb(0x37a,0x01);
outportb(0x37a,0xff);
outportb(0x378,add);
outportb(0x37a,0x02);
outportb(0x378,0x30);
outportb(0x37a,0xff);

if(m == 190)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,RED,OFF,RED,6);
}
if(m == 320)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
}
delay(o*10);
}
}
}
Mouse_on();
}


void Step_I(void)
{
unsigned int o;
int m,add,data,q;
int n = 0;
int  ko[]={0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27,0x28,0x29,0x2a,0x2b,
 0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x10,0x11,0x12,0x13,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,
 0x1a,0x1b,0x1c,0x1d,0x1e,0x1f};
Mouse_off();
box3D(500,135,613,170,1,LIGHTCYAN,OFF,LIGHTGREEN,6);
    gotoxy(65,10);
    printf("          ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        gotoxy(66,10);
        printf("Delay:");
        scanf("%d",&o);
    Clear_mem_menu1();
    box3D(0,410,640,480,3,CYAN,OFF,RED,6);
    for(q=6;q<=626;q+=20)
    {
    box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
    }
    while(!kbhit()){
    for(m=190;m<=320;m+=130)
    for(n=0,q=6;n<33;n++,q+=20)
    {
    add=ko[n];
    data=(320-m)*1.9692;
    outportb(0x378,data);
    outportb(0x37a,0x01);
    outportb(0x37a,0xff);
    outportb(0x378,add);
    outportb(0x37a,0x02);
    outportb(0x378,0x30);
    outportb(0x37a,0xff);
    if(m == 190)
    {
    box3D(q,438,q+10,452,1,RED,OFF,RED,6);
    }
    if(m == 320)
    {
    box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
    }
    delay(o*10);
    }
    }
    Mouse_on();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void Clear_mem_menu1(void)
 {
   setcolor(MAGENTA);
   rectangle(500,135,613,170);
   setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTGRAY);
   Mouse_off();
   floodfill(556,152,MAGENTA);
   setcolor(LIGHTGRAY);
   rectangle(500,135,613,170);
   Mouse_on();
 }


void Loop_II(void)
 {
 unsigned int o;
 int add,data,q;
 int n = 0;
 int  ko[]={0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27,0x28,0x29,0x2a,0x2b,
  0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x10,0x11,0x12,0x13,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,
  0x1a,0x1b,0x1c,0x1d,0x1e,0x1f};

 Mouse_off();
 box3D(500,135,613,170,1,LIGHTCYAN,OFF,LIGHTGREEN,6);
     gotoxy(65,10);
     printf("          ");
     gotoxy(66,10);
     printf("Delay:");
     scanf("%d",&o);
 Clear_mem_menu1();
 box3D(0,410,640,480,3,CYAN,OFF,RED,6);
 for(q=6;q<=626;q+=20)
 {
 box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
 }
 while(!kbhit())
 {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 for(n=0,q=6;n<33;n++,q+=20)
  {
  add=ko[n];
  data=(320-190)*1.9692;
  outportb(0x378,data);
  outportb(0x37a,0x01);
  outportb(0x37a,0xff);
  outportb(0x378,add);
  outportb(0x37a,0x02);
  outportb(0x378,0x30);
  outportb(0x37a,0xff);
  box3D(q,438,q+10,452,1,RED,OFF,RED,6);
  delay(o*10);
  }
 for(n=31,q=636;n>=0;n--,q-=20)
  {
  add=ko[n];
  data=(320-320)*1.9692;
  outportb(0x378,data);
  outportb(0x37a,0x01);
  outportb(0x37a,0xff);
  outportb(0x378,add);
  outportb(0x37a,0x02);
  outportb(0x378,0x30);
  outportb(0x37a,0xff);
  box3D(q-10,438,q,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
  delay(o*10);
  }
  }
  Mouse_on();
 }


void Step_II(void)
 {
  unsigned int o;
  int m,add,data,q;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int n = 0;
int  ko[]={0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27,0x28,0x29,0x2a,0x2b,
 0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x10,0x11,0x12,0x13,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,
 0x1a,0x1b,0x1c,0x1d,0x1e,0x1f};
Mouse_off();
box3D(500,135,613,170,1,LIGHTCYAN,OFF,LIGHTGREEN,6);
    gotoxy(65,10);
    printf("          ");
    gotoxy(66,10);
    printf("Delay:");
    scanf("%d",&o);
Clear_mem_menu1();
box3D(0,410,640,480,3,CYAN,OFF,RED,6);
for(q=6;q<=626;q+=20)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
}
while(!kbhit()){
for(m=190;m<=320;m+=130)
for(n=0,q=6;n<=15;n++,q+=20)
 {
 add=ko[n];
 data=(320-m)*1.9692;
 outportb(0x378,data);
 outportb(0x37a,0x01);
 outportb(0x37a,0xff);
 outportb(0x378,add);
 outportb(0x37a,0x02);
 outportb(0x378,0x30);
 outportb(0x37a,0xff);
if(m == 190)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,RED,OFF,RED,6);
}
if(m == 320)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    }
    add=ko[n+16];
    data=(m-190)*1.9692;
    outportb(0x378,data);
    outportb(0x37a,0x01);
    outportb(0x37a,0xff);
    outportb(0x378,add);
    outportb(0x37a,0x02);
    outportb(0x378,0x30);
    outportb(0x37a,0xff);
    if(m == 190)
    {
    box3D(q+320,438,q+330,452,1,WHITE,OFF,RED,6);

    }
    if(m == 320)
    {
    box3D(q+320,438,q+330,452,1,RED,OFF,RED,6);
    }
    delay(o*10);
    }
    }
    Mouse_on();
  }


void Turn_I(void)
{
 unsigned int o;
 int m,add,add1,data,q;
 int n =0;
 int  ko[]={0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27,0x28,0x29,0x2a,0x2b,
 0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x10,0x11,0x12,0x13,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,
 0x1a,0x1b,0x1c,0x1d,0x1e,0x1f};
 Mouse_off();
 box3D(500,135,613,170,1,LIGHTCYAN,OFF,LIGHTGREEN,6);
    gotoxy(65,10);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    printf("              ");
    gotoxy(66,10);
    printf("Delay:");
    scanf("%d",&o);
Clear_mem_menu1();
box3D(0,410,640,480,3,CYAN,OFF,RED,6);
for(q=6;q<=626;q+=20)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
}
while(!kbhit())
{
for(n=0,q=6;n<33;n++,q+=20)
{
for(m=190;m<=320;m+=130)
{
add=ko[n];
data=(320-m)*1.9692;
outportb(0x378,data);
outportb(0x37a,0x01);
outportb(0x37a,0xff);
outportb(0x378,add);
outportb(0x37a,0x02);
outportb(0x378,0x30);
outportb(0x37a,0xff);

if(m == 190)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,RED,OFF,RED,6);
}
if(m == 320)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
}
delay(o*10);
}
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for(n=31,q=636;n>=0;n--,q-=20)
{
for(m=190;m<=320;m+=130)
{
add=ko[n];
data=(320-m)*1.9692;
outportb(0x378,data);
outportb(0x37a,0x01);
outportb(0x37a,0xff);
outportb(0x378,add);
outportb(0x37a,0x02);
outportb(0x378,0x30);
outportb(0x37a,0xff);

if(m == 190)
{
box3D(q-10,438,q,452,1,RED,OFF,RED,6);
}
if(m == 320)
{
box3D(q-10,438,q,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
}
delay(o*10);
}
}
}
Mouse_on();
}


void Set_port(void)
{
int i,kom[] = {0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27,0x28,0x29,0x2a,
  0x2b,0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x10,0x11,0x12,0x13,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,
  0x19,0x1a,0x1b,0x1c,0x1d,0x1e,0x1f};
for(i=0;i<32;i++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  {
      outportb(0x378,0x00);
      outportb(0x37a,0x01);
      outportb(0x37a,0xff);
      outportb(0x378,kom[i]);
      outportb(0x37a,0x02);
      outportb(0x378,0x30);
      outportb(0x37a,0xff);
  }
  }


void Turn_II(void)
 {
  unsigned int o;
  int m,add,data,q;
  int n = 0;
  int  ko[]={0x20,0x21,0x22,0x23,0x24,0x25,0x26,0x27,0x28,0x29,0x2a,0x2b,
   0x2c,0x2d,0x2e,0x2f,0x10,0x11,0x12,0x13,0x14,0x15,0x16,0x17,0x18,0x19,
   0x1a,0x1b,0x1c,0x1d,0x1e,0x1f};
 Mouse_off();
 box3D(500,135,613,170,1,LIGHTCYAN,OFF,LIGHTGREEN,6);
     gotoxy(65,10);
     printf("          ");
     gotoxy(66,10);
     printf("Delay:");
     scanf("%d",&o);
Clear_mem_menu1();
box3D(0,410,640,480,3,CYAN,OFF,RED,6);
for(q=6;q<=626;q+=20)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
}
while(!kbhit())
{
for(m=190;m<=320;m+=130)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for(n=0,q=6;n<32;n+=2,q+=40)
 {
 add=ko[n];
 data=(320-m)*1.9692;
 outportb(0x378,data);
 outportb(0x37a,0x01);
 outportb(0x37a,0xff);
 outportb(0x378,add);
 outportb(0x37a,0x02);
 outportb(0x378,0x30);
 outportb(0x37a,0xff);
 if(m == 190)
 {
 box3D(q,438,q+10,452,1,RED,OFF,RED,6);
 }
 if(m == 320)
 {
 box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
 }
 }
 delay(o*10);
 }
for(m=190;m<=320;m+=130)
{
for(n=1,q=26;n<33;n+=2,q+=40)
 {
 add=ko[n];
 data=(320-m)*1.9692;
 outportb(0x378,data);
 outportb(0x37a,0x01);
 outportb(0x37a,0xff);
 outportb(0x378,add);
 outportb(0x37a,0x02);
 outportb(0x378,0x30);
 outportb(0x37a,0xff);
 if(m == 190)
 {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
box3D(q,438,q+10,452,1,RED,OFF,RED,6);
}
if(m == 320)
{
box3D(q,438,q+10,452,1,WHITE,OFF,RED,6);
}
}
delay(o*10);
}
}
Mouse_on();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์ผล

จากโครงงานนี้ทางผู้จัดทำได้ดำเนินการสร้างโดยนำเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาควบคุมดิมเมอร์ ทำให้สามารถนำเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาควบคุมดิมเมอร์ได้ 32 ช่องสัญญาณ เพื่อควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟ ผ่านทางพอร์ตและสายพริ้นเตอร์ โดยมีกราฟฟิคที่สวยงามน่าใช้ มีฟังก์ชันสะดวกต่อการใช้งาน ได้สำเร็จ

ข้อแนะนำและปัญหาที่พบจากการปฏิบัติดำเนินการสร้างจะสังเกตเห็นได้ว่าอุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็น IC ตระกูล TTL ซึ่งในการออกแบบนั้นจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อร่วม แฟนอิน และแฟนเอาต์จะต้องเหมาะสม และในการใช้ IC ตระกูล TTL ในปัญหาที่พบจะเป็นปัญหาในเรื่องสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น เนื่องจาก IC ตระกูล TTL นั้นมีความไวมาก การแก้ไขนั้นโดยการออกแบบจะต้องออกแบบวงจรที่ดี และมีการนำ C มาต่อคร่อมร่วมกันในวงจรเพื่อลดสัญญาณรบกวน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานการนำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาควบคุมดิมเมอร์นี้ จะเป็นประโยชน์ และอำนวยความสะดวกในงานด้านควบคุมแสงสว่าง และเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจนำไปศึกษาและพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Norton, P. Inside the IBM PC,A Brady Book : New York, 1986

สุธี บรรจงจิตร, วิศวกรรมการส่องสว่าง, ซีเอ็ด : กรุงเทพฯ 2538

ธานินทร์ ถาวรศาสนวงศ์, ทินกร ดุ๊ก, การอินเตอร์เฟส IBM PC,
โครงการตำรา Physics Center : กรุงเทพฯ 2536

ทอม โฮแกน, รวมข้อมูล PC สำหรับโปรแกรมเมอร์, ซีเอ็ด : กรุงเทพฯ 2536

กฤษดา วิศวธีรานนท์, เรียน/เล่น/ใช้ ไอซีดิจิตอล, ซีเอ็ด : กรุงเทพฯ 2532

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, การออกแบบระบบแสงสว่าง, ซีเอ็ด : กรุงเทพฯ 2533

จิติ หนูแก้ว, เทคนิคการเชื่อมต่อ IBM PC, ซีเอ็ด : กรุงเทพฯ 2535

พีบูลย์ ดิษฐ์อุดม, การออกแบบระบบแสงสว่าง, ซีเอ็ด : กรุงเทพฯ 2535

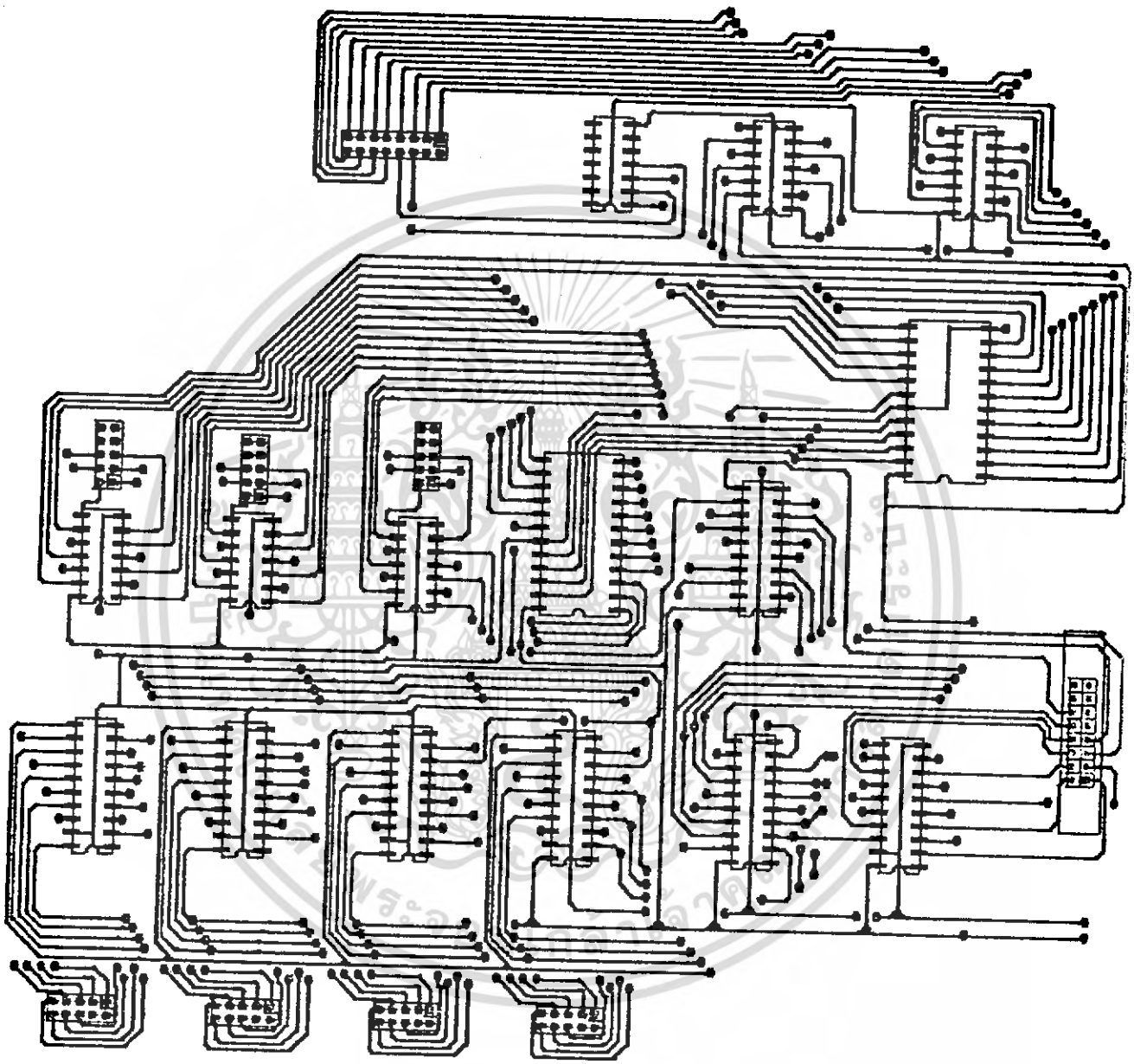
วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์, คู่มือโปรแกรมภาษาC, ซีเอ็ด : กรุงเทพฯ 2537

เฮอร์เบิร์ต ชิลด์, การประยุกต์ใช้งานภาษาซี, ซีเอ็ด : กรุงเทพฯ 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

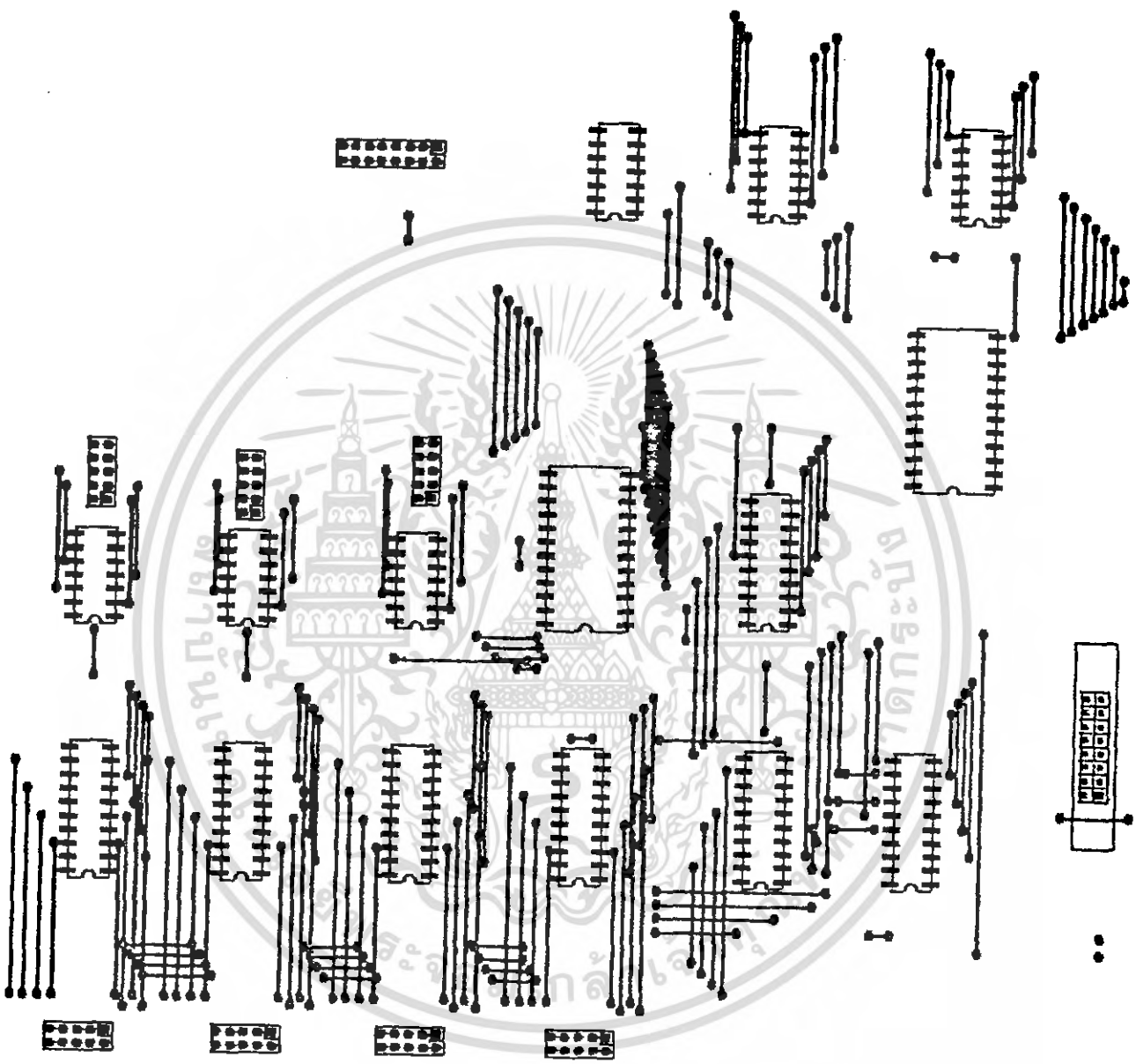
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



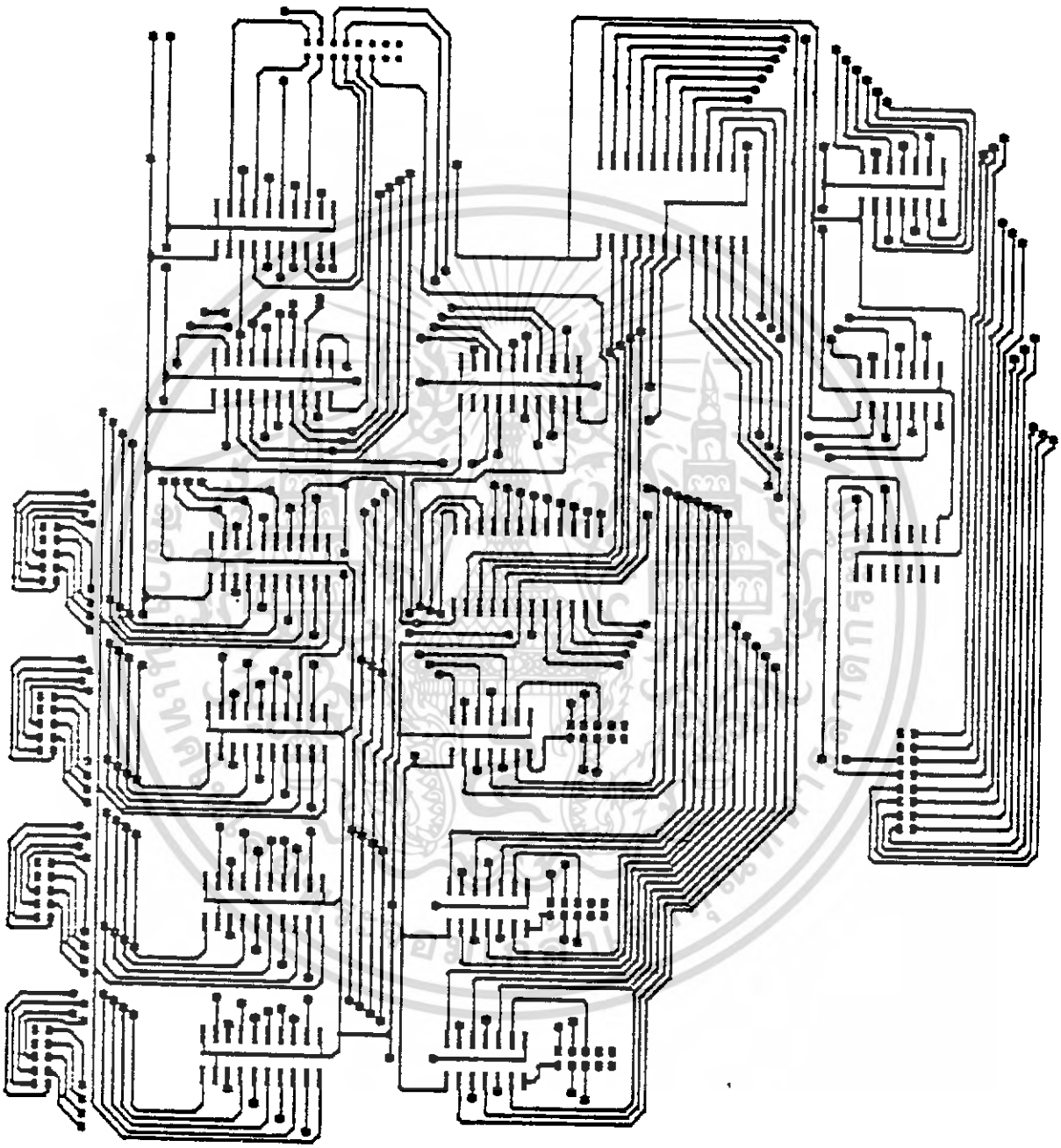
รูป ก. ลายวงจรจริง ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



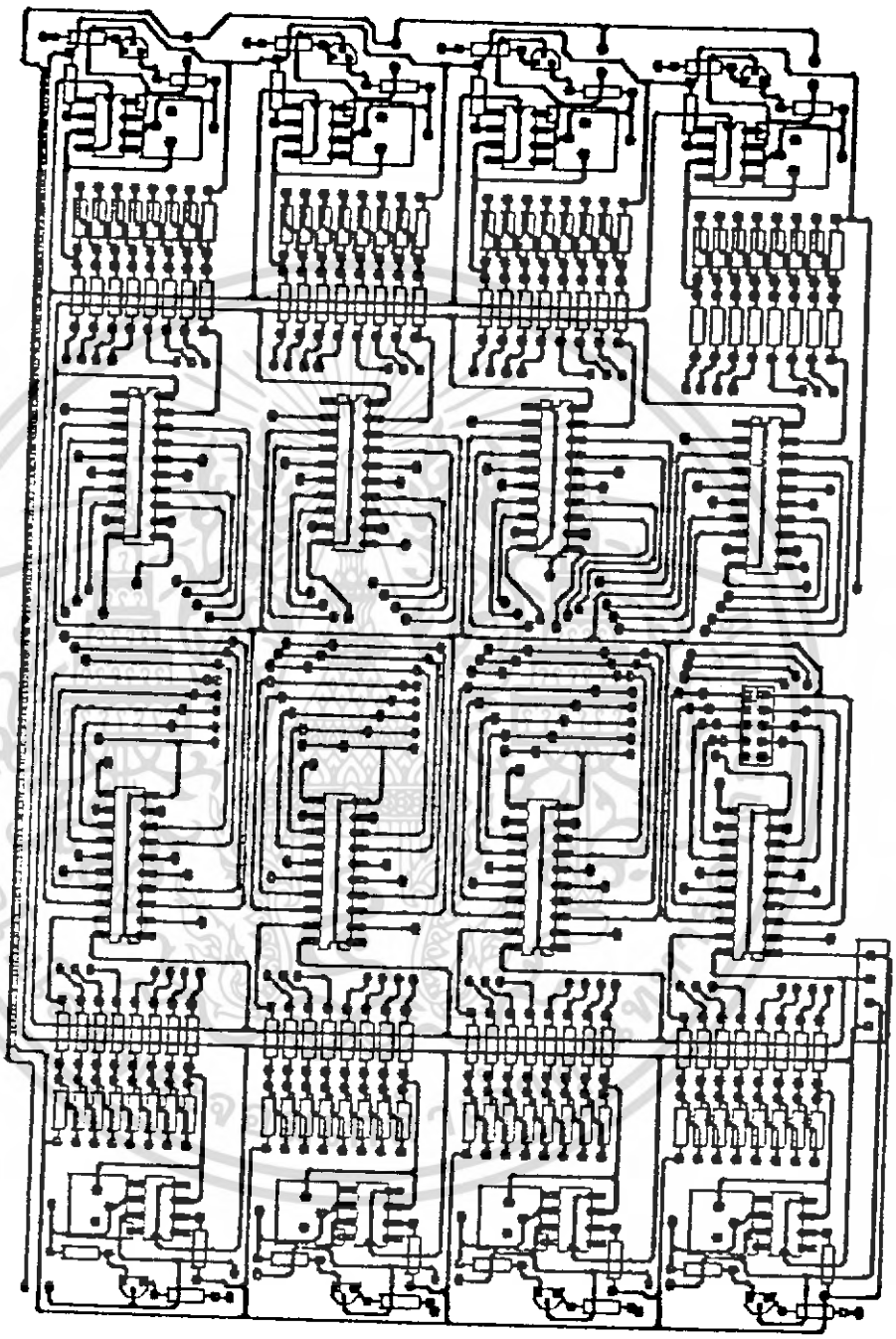
รูป ข. ลายวงจรจริง ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



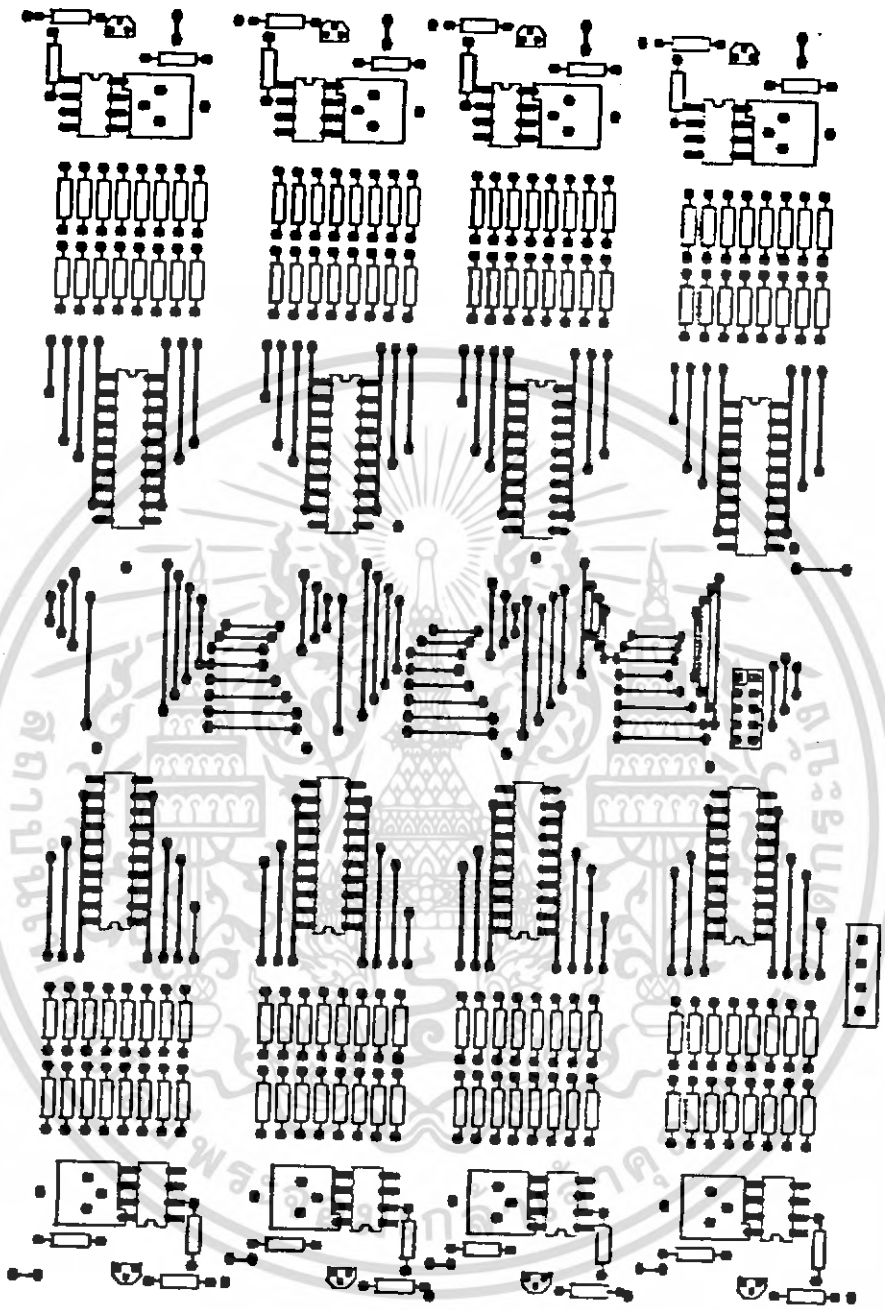
รูป ค. ลาย วงจรทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



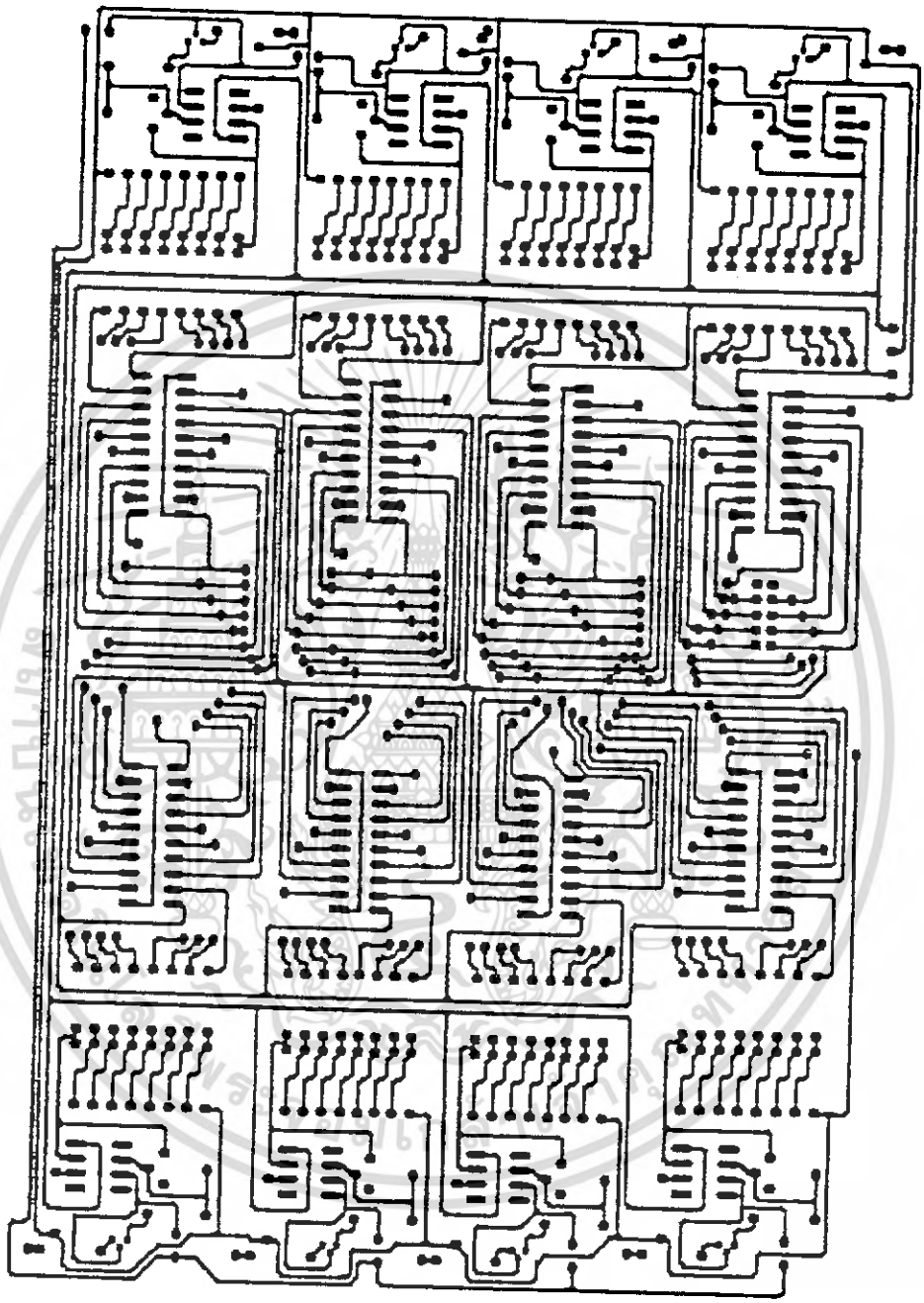
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป ง. ลายวงจรจริง ด้านล่าง



รูป จ. ลายวงจรจริง ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ฉ. ลาย วงจรทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.003. PC, AT, AND PS/2 MEMORY USAGE SUMMARY

Address	Used By	Comments
00000 - 9FFFF	640K on system board	May be 64K to 640K depending upon model
A0000 - BFFFF	Display adapter reserved	EGA and VGA use all of this; CGA and MDA use portion
C0000 - DFFFF	Reserved for ROM expansion	Used for I/O channel BIOS (as in XT disk controller) C0000-C3FFF EGA BIOS C6000-C63FF PGA communications area C8000-CBFFF hard-disk BIOS D0000-D7FFF cluster adapter BIOS D0000-DFFFF PCjr expansion cartridges
E0000 - EFFFF	Expansion of system ROM	As in AT, PS/2 (standard cartridges in PCjr)
F0000 - FFFFF	System ROM	May be duplicate of ROM in higher memory
100000 - 15FFFF	384K on system board	Model 50, 60, and 80 only
160000 - FDFFFF	Memory expansion	AT and PS/2 only
FE0000 - FEFFFF	RESERVED	AT and PS/2 only
FF0000 - FFFFFF	64K ROM BIOS	AT and PS/2 only

Source: IBM PS/2 Model 80 Technical Reference, pages 2-40 through 2-43
IBM PS/2 Model 50 and 60 Technical Reference, page 4-181
IBM PS/2 Model 30 Technical Reference, page 1-5
IBM PC/AT Technical Reference, page 1-8
IBM PC/XT Technical Reference, pages 1-8 and 1-9

See Also: 4.002. BIOS Memory Usage Summary

7.004. I/O PORT USAGE SUMMARY

Hex Range	XT Use	AT Use (ISA and EISA)	PS/2 Use	Comments
0-F	DMA controller (8237A-5)	DMA controller 1 (8237A-5)	DMA controller	
10-1F	UNDOCUMENTED	DMA Controller 1 (8237A-5)	DMA controller	
20-2F	Interrupt controller (8259A)	Interrupt controller 1 (8259A)	Interrupt controller 1 (8259A)	Only ports 20, 21 actually used
30-3F	UNDOCUMENTED	Interrupt controller 1 (8259A)	UNDOCUMENTED	
40-4F	Timer (8253-5)	Timer (8254-2)	System timers	XT uses 40-43; PS/2 uses 40,42-44, 47; EISA uses 48, 4A-4B
50-5F		Timer (8254-2)	UNDOCUMENTED	
60-6F	Parallel port (8255A-5)	Keyboard (8042)	Keyboard	XT uses 60-63; PS/2 uses 60-61, 64
70-7F	UNDOCUMENTED	RTC, NMI mask	RTC, NMI mask	PS/2 uses 72-73 only, reserves 74-75
80-8F	DMA page registers	DMA page registers (74LS612)	DMA page registers	XT uses 80-83; AT and PS/2 use 81-83, 87, 89-8B, 8F
90-9F	DMA page registers	DMA page registers (74LS612)	I/O channel	PS/2 uses 90-94, 96-97 only
A0-AF	NMI mask register	Interrupt controller 2 (8259A)	Interrupt controller 2 (8259A)	PS/2 uses A0-A1 only
B0-BF	UNDOCUMENTED	Interrupt controller 2 (8259A)	UNDOCUMENTED	
C0-CF	UNDOCUMENTED	DMA controller 2 (8237A-5)	DMA controller	
D0-DF	UNDOCUMENTED	DMA controller 2 (8237A-5)	DMA controller	
E0-EF	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	Split address register, memory encoding register	PS/2 Model 80 only
F0-FF	UNDOCUMENTED	Math coprocessor (80287)	Math coprocessor (80x87)	AT uses F0-F1, F8-FF only
100-10F	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	Programmable option select	PS/2 uses 100-107 only
110-1EF	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	
1F0-1FF	UNDOCUMENTED	Fixed disk	UNDOCUMENTED	AT and ISA use 1F0-1F8 only
200-20F	Game I/O adapter	Game I/O adapter	UNDOCUMENTED	Game I/O uses 200-207 only
210-21F	Expansion unit	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	XT uses 210-217 only
220-24F	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	
250-25F	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	
260-26F	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	
270-27F	Parallel printer 2	Parallel printer port 2	Parallel port 3	All use 278-27F, except PS/2 uses 278-27B
280-28F	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	
290-29F	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	
2A0-2AF	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	
2B0-2BF	Alternate EGA	Alternate EGA	UNDOCUMENTED	

(Continues

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.004. I/O PORT USAGE SUMMARY (continued)

Hex Range	XT Use	AT Use (ISA and EISA)	PS/2 Use	Comments
200-20F	Alternate EGA	Alternate EGA	UNDOCUMENTED	
200-20F	Alternate EGA (3270 also uses)	Alternate EGA	UNDOCUMENTED	
2E0-2EF	GAB 0, Data aquisition 0	GPIB 0, data acquisition 0	UNDOCUMENTED	XT and AT use 2E1, 2E2-2E3 only
2F0-2FF	Serial port 2	Serial port 2	Serial port 2 (RS-232-C)	AT use 2F8-2FF only
300-30F	Prototype card	Prototype card	UNDOCUMENTED	
310-31F	Prototype card	Prototype card	UNDOCUMENTED	
320-32F	Fixed disk adapter	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	
330-33F	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	
340-34F	DCA 3276	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	XT uses 348-34F only
350-35F	DCA 3278	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	XT uses 350-357 only
360-36F	PC network	RESERVED	UNDOCUMENTED	XT uses 360-367 only
370-37F	Parallel printer	Parallel printer 1	Parallel port 2	AT use 376-37F, except PS/2 uses 378-37F
380-38F	SDLC or second bisync controller	SDLC or second bisync controller	UNDOCUMENTED	
390-39F	Cluster adapter	Cluster adapter	UNDOCUMENTED	XT uses 390-393 only
3A0-3AF	First bisync controller	First bisync controller	UNDOCUMENTED	
3B0-3BF	Monochrome display and printer adapter	Monochrome display and printer adapter	Video subsystem, parallel 1	AT use 3B0-3BF for parallel port
3C0-3CF	Enhanced graphics adapter	Enhanced graphics adapter	Video subsystem	
3D0-3DF	Color graphics adapter	Color graphics adapter	Video subsystem	
3E0-3EF	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	UNDOCUMENTED	ISA uses 3E8-3EF only
3F0-3FF	Floppy disk adapter, serial 1	Floppy disk adapter, serial 1	Diskette drive controller, serial 1	3F0-3F7 for disk, 3F8-3FF for async comm
400-4FF	UNUSED*	EISA: DMA	UNUSED	
500-7FF	UNUSED*	EISA: Alias of 100-3FF	UNUSED	
800-8FF	UNUSED*	EISA: CMOS RAM	UNUSED	
900-BFF	UNUSED*	EISA: Alias of 100-3FF	UNUSED	
C00-FFF	UNUSED*	EISA: Misc Ports RESERVED	UNUSED	
1000-1FFF	UNUSED*	EISA: Slot 1 and alias of 100-3FF	Parallel 1, 4†	Alternates: 100H of slot, 200H of alias
2000-2FFF	UNUSED*	EISA: Slot 2 and alias of 100-3FF	Video subsystem†	Alternates: 100H of slot, 200H of alias
3000-3FFF	UNUSED*	EISA: Slot 3 and alias of 100-3FF	Serial 3, 4†	Alternates: 100H of slot, 200H of alias
4000-4FFF	UNUSED*	EISA: Slot 4 and alias of 100-3FF	Serial 5, 6†	Alternates: 100H of slot, 200H of alias
5000-5FFF	UNUSED*	EISA: Slot 5 and alias of 100-3FF	Serial 7, 8†	Alternates: 100H of slot, 200H of alias
6000-6FFF	UNUSED*	EISA: Slot 6 and alias of 100-3FF	UNUSED	Alternates: 100H of slot, 200H of alias
7000-7FFF	UNUSED*	EISA: Slot 7 and alias of 100-3FF	UNUSED	Alternates: 100H of slot, 200H of alias
8000-8FFF	UNUSED*	EISA: Slot 8 and alias of 100-3FF	Serial 1, 2 DMA mode†	Alternates: 100H of slot, 200H of alias
9FFF-FFFF	UNUSED*	EISA: Undefined	Serial 3-8 DMA mode†	

†PS/2 Model 90

Note: The AT also uses additional ports in the range 8E2-8E1 for GPIB, Cluster, and Data Acquisition adapters

Source: IBM PC/XT and Portable PC Technical Reference, pages 1-24 and 1-25
IBM PC/AT Technical Reference, pages 1-37 and 1-38
IBM PS/2 Model 50 and 60 Technical Reference, page 1-9
IBM PS/2 Model 80 Technical Reference, page 1-7
IBM PS/2 Hardware Interface Technical Reference, System Specific Information, pages Model 90 1-4 and Model 95 1-4
Inside the EISA Computers (Addison-Wesley), pages 74 through 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.086. PRINTER ADAPTER I/O PORT USAGE

Port	Bit Number 7	6	5	4	3	2	1	0	Adapter	Direction	Function
378	✔								Printer	Output	Controls pin 9 (data bit 7)
		✔							Printer	Output	Controls pin 8 (data bit 6)
			✔						Printer	Output	Controls pin 7 (data bit 5)
				✔					Printer	Output	Controls pin 6 (data bit 4)
					✔				Printer	Output	Controls pin 5 (data bit 3)
						✔			Printer	Output	Controls pin 4 (data bit 2)
							✔		Printer	Output	Controls pin 3 (data bit 1)
								✔	Printer	Output	Controls pin 2 (data bit 0)
379	✔								Printer	Input	Status of pin 11 (busy)
		✔							Printer	Input	Status of pin 10 (acknowledge)
			✔						Printer	Input	Status of pin 12 (out of paper)
				✔					Printer	Input	Status of pin 13 (select)
					✔				Printer	Input	Status of pin 15 (error)
						✔	✔	✔	Printer	Input	NOT USED
37A	✔	✔	✔						Printer	Input	NOT USED
				✔					Printer	Input	Status of IRQ Enable
					✔				Printer	Input	Inverted status of pin 17 (select input)
						✔			Printer	Input	Status of pin 16 (initialize printer)
							✔		Printer	Input	Inverted status of pin 14 (auto feed)
								✔	Printer	Input	Inverted status of pin 1 (strobe)
	✔	✔	✔	✔					Printer	Output	NOT USED
					✔				Printer	Output	Inverted status of pin 17 (select input)
						✔			Printer	Output	Status of pin 16 (initialize printer)
							✔		Printer	Output	Inverted status of pin 14 (auto feed)
								✔	Printer	Output	Inverted status of pin 1 (strobe)
3BC	✔								MDA	Output	Controls pin 9 (data bit 7)
		✔							MDA	Output	Controls pin 8 (data bit 6)
			✔						MDA	Output	Controls pin 7 (data bit 5)
				✔					MDA	Output	Controls pin 6 (data bit 4)
					✔				MDA	Output	Controls pin 5 (data bit 3)
						✔			MDA	Output	Controls pin 4 (data bit 2)
							✔		MDA	Output	Controls pin 3 (data bit 1)
								✔	MDA	Output	Controls pin 2 (data bit 0)
3BD	✔								MDA	Input	Status of pin 11 (busy)
		✔							MDA	Input	Status of pin 10 (acknowledge)
			✔						MDA	Input	Status of pin 12 (out of paper)
				✔					MDA	Input	Status of pin 13 (select)
					✔				MDA	Input	Status of pin 15 (error)
						✔	✔	✔	MDA	Input	NOT USED
3BE	✔	✔	✔						MDA	Input	NOT USED
				✔					MDA	Input	Status of IRQ enable
					✔				MDA	Input	Inverted status of pin 17 (select input)
						✔			MDA	Input	Status of pin 16 (initialize printer)
							✔		MDA	Input	Inverted status of pin 14 (auto feed)
								✔	MDA	Input	Inverted status of pin 1 (strobe)
	✔	✔	✔	✔					MDA	Output	NOT USED
					✔				MDA	Output	Inverted status of pin 17 (select input)
						✔			MDA	Output	Status of pin 16 (initialize printer)
							✔		MDA	Output	Inverted status of pin 14 (auto feed)
								✔	MDA	Output	Inverted status of pin 1 (strobe)

Note: • Although the printer adapter and MDA printer ports work identically, they appear at different port addresses.
• The source contains incomplete material.

Source: IBM Options and Adapters Technical Reference, Vol. 2, pages Printer Adapter 3 through 7 and Monochrome Adapter 13 through 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54154/74154 4-Line-to-16-Line Decoder/Demultiplexer

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type	Package C	P	M	CF	Device Type	Package C	P	M	CF	Device Type	Package C	P	M	CF	Device Type	Package C	P	M	CF	Device Type	Package C	P	M	CF
T.I.																SN54154	J⑭			W⑦	SN54L154	J⑭			
																SN74154	J㉔	N㉔			SN74L154	J㉔	N㉔		
FAIRCHILD																	DD								
																FC74154	DD	PD							
MOTOROLA																SN74154		P㉔							
N.S.C.											DM54LS154		J⑭			DM54154	J⑭			FJ⑭	DM54L154A	D⑭	N⑭		F⑭
											DM74LS154		J⑭			DM74154	J㉔	N㉔		FJ㉔	DM74L154A	D㉔	N㉔		F㉔
PHILIPS											N74LS154		P㉔			N74154									
SIGNETICS																S54154	FG⑭	NG⑭		JD⑭					
																N74154		N㉔							
SIEMENS																FLY141		P⑯							
FUJITSU																									
HITACHI											HD74LS154		P㉔			HD74154/HD2580	J⑭	P⑭							
MITSUBISHI																M53154		P⑭							
NEC																μPB2154	D⑭								
TOSHIBA																									

Electrical Characteristics SN54154/SN74154

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54*	−55°C to 125°C
Input voltage	5.5V		SN74*	0°C to 70°C
		Storage temperature range		−65°C to 150°C

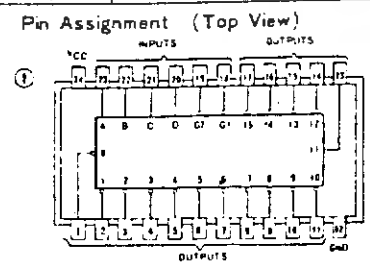
recommended operating conditions

	SN54154 MIN	NOM	MAX	SN74154 MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			−800			−800	μA
Low-level output current, I_{OL}			16			16	mA
Operating free-air temperature, T_A	−55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

	PARAMETER*	TEST CONDITIONS†		MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_I	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = −12mA				−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = 0.8V, I_{OH} = −800μA		2.4	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = 0.8V, I_{OL} = 16mA			0.2	0.4	V
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC} = MAX, V_I = 5.5V				1	mA
I_{IH}	High-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 2.4V				40	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 0.4V				−1.6	mA
I_{OS}	Short-circuit output current*	V_{CC} = MAX,	SN54	−20		−55	mA
			SN74	−18		−57	
I_{CC}	Supply current	V_{CC} = MAX, See Note	SN54		34	49	mA
			SN74		34	56	
t_{PLH}	from A, B, C, or D inputs through 3 levels of logic	V_{CC} = 5V, T_A = 25°C, C_L = 15pF, R_L = 400Ω			24	38	ns
t_{PHL}	from A, B, C, or D inputs through 3 levels of logic				22	33	ns
t_{PLH}	from either strobe input				20	30	ns
t_{PHL}	from either strobe input				18	27	ns

Pin Assignment (Top View)



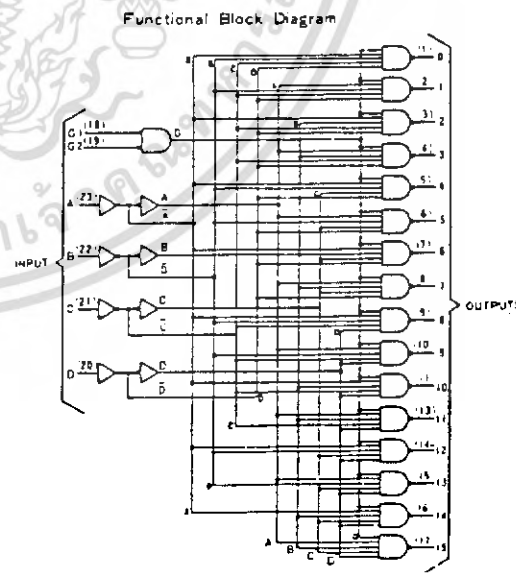
Function Table

'154, 'L154

INPUTS G1	G2	D	C	B	A	OUTPUTS 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L
L	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

H = high level, L = low level, X = irrelevant

Functional Block Diagram



'154, 'L154 4-LINE-TO-16-LINE DECODER/DEMULTIPLEXER

NOTE: I_{CC} is measured with all inputs grounded and all outputs open.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable type.
‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
* Not more than one output should be shorted at a time.
* t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output
t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54244/74244 Octal Buffers/Line Drivers/Line Receivers

	Schttky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF
T. I.											SN54LS244	J													
											SN74LS244	J	N												
FAIRCHILD																									
MOTOROLA																									
N. S. C.																									
PHILIPS																									
SIGNETICS																									
SIEMENS																									
FUJITSU																									
HITACHI																									
MITSUBISHI																									
NEC																									
TOSHIBA																									

Electrical Characteristics SN54LS244 SN74LS244

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS244: −55°C to 125°C
Input voltage	5.5V		SN74LS244: 0°C to 70°C
Interemitter voltage	5.5V	Storage temperature range	−65°C to 150°C

recommended operating conditions

	SN54LS244			SN74LS244			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			−12			−15	mA
Low-level output current, I_{OL}			12			24	mA
Operating free-air temperature, T_A	−55		125	0		70	°C

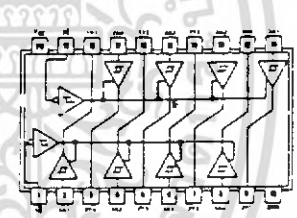
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS†		SN74LS MIN	SN74LS TYP‡	SN74LS MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_{IK}	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = −18mA				−1.5	V
	Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)	V_{CC} = MIN			0.2	0.4	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = $V_{IL\,max}$, I_{OH} = −3mA		2.4	3.4		V
		V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = 0.5V, I_{OH} = MAX		2			V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = $V_{IL\,max}$	I_{OL} = 12mA			0.4	V
			I_{OL} = 24mA			0.5	V
I_{OZH}	Off-state output current, high-level voltage applied	V_{CC} = MAX, V_{IH} = 2V, V_{IL} = $V_{IL\,max}$	V_O = 2.7V			20	μA
I_{OZL}	Off-state output current, low-level voltage applied		V_O = 0.4V			−20	μA
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC} = MAX,	V_I = 7V			0.1	mA
I_{IH}	High-level input current, any input	V_{CC} = MAX,	V_I = 2.7V			20	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC} = MAX,	V_{IL} = 0.4V			−0.2	mA
I_{OS}	Short-circuit output current*	V_{CC} = MAX		−40		−225	mA
I_{CC}	Supply current: Outputs high	V_{CC} = MAX, Outputs open	All		13	23	mA
	Outputs low		'LS244		27	46	mA
	All outputs disabled		'LS241		32	54	mA

switching characteristics, V_{CC} = 5V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	C_L = 45pF, R_L = 667Ω, See Note 2		9	14	ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output			12	18	ns
t_{PZL}	Output enable time to low level			20	30	ns
t_{PZH}	Output enable time to high level			15	23	ns
t_{PLZ}	Output disable time from low level	C_L = 5pF, R_L = 667Ω, See Note 2		15	25	ns
t_{PHZ}	Output disable time from high level			10	18	ns

Pin Assignment (Top View)



SN54LS244 (J) SN74LS244 (J, N)

†For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
*Not more than one output should be shorted at a time, and duration of the short-circuit should not exceed one second.
NOTE 2: Load circuit and voltage waveforms are shown on page 3-11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54373/74373 Octal D-Type Transparent Latches and Edge-Triggered Flip-Flops

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Packa			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	
T.I.	SN54S373	J									SN54LS373	J													
	SN74S373	J	N								SN74LS373	J	N												
FAIRCHILD																									
MOTOROLA																									
N.S.C.																									
PHILIPS																									
SIGNETICS																									
SIEMENS																									
FUJITSU																									
HITACHI																									
MITSUBISHI																									
NEC																									
TOSHIBA																									

Electrical Characteristics SN54LS373/SN74LS373

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	−55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		−65°C to 150°C

recommend operating conditions

		SN54LS373			SN74LS373			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}		4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}				−1			−2.6	mA
High-level output voltage, V_{OH}				5.5			5.5	V
Pulse width, t_w	Clock enable high	15			15			ns
	Clock enable low	15			15			ns
Setup time, t_{SU}		0 ▲			0 ▲			ns
Hold time, t_{H}		10 ▲			10 ▲			ns
Operating free-air temperature, T_A		−55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS‡		MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_{IK}	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = −18mA				−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = V_{IL} max, I_{OH} = MAX		2.4	3.1		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = V_{IL} max	I_{OL} = 24mA		0.35	0.5	V
I_{OZH}	Off-state output current, high-level voltage applied	V_{CC} = MAX, V_{IH} = 2V, V_O = 2.7V				20	μA
I_{OZL}	Off-state output current, low-level voltage applied	V_{CC} = MAX, V_{IH} = 2V, V_O = 0.4V				−20	μA
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC} = MAX, V_I = 7V				0.1	mA
I_{IH}	High-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 2.7V				20	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 0.4V				−0.4	mA
I_{OS}	Short-circuit output current §	V_{CC} = MAX		−30		−130	mA
I_{CC}	Supply current	V_{CC} = MAX, Output control at 4.5V	'LS373		26	40	mA

switching characteristics, V_{CC} = 5V, T_A = 25°C

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f_{max}			C_L = 45pF, R_L = 667Ω, See Notes 2 and 3				MHz
t_{PLH}	Data	Any Q			12	18	ns
t_{PHL}					12	18	
t_{PLH}	Clock or enable	Any Q			20	30	ns
t_{PHL}					18	30	
t_{PZH}	Output Control	Any Q			15	28	ns
t_{PZL}					25	36	
t_{PHZ}	Output Control	Any Q	C_L = 5pF, R_L = 667Ω, See Note 3		12	20	ns
t_{PLZ}					15	25	

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

§ Not more than one output should be shorted at a time, and duration of the short circuit should not exceed one second.

NOTES 2. Maximum clock frequency is tested with all outputs loaded.

3. See load circuits and waveforms on page 3-11.

f_{max} = maximum clock frequency

t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output

t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output

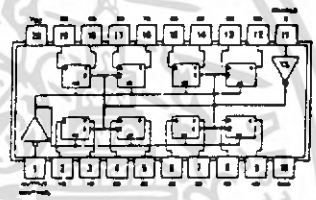
t_{PZH} = output enable time to high level

t_{PZL} = output enable time to low level

t_{PHZ} = output disable time from high level

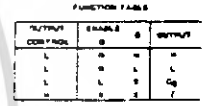
t_{PLZ} = output disable time from low level

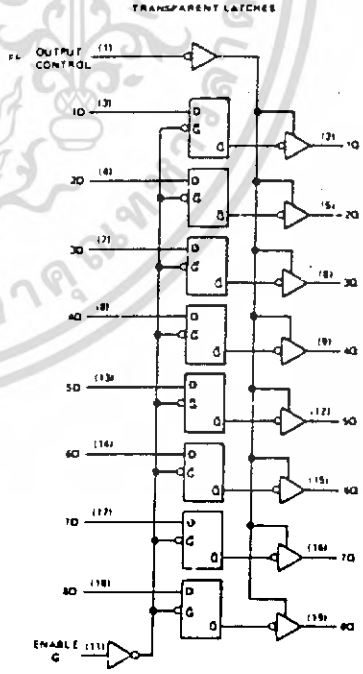
Pin Assignments (Top View)



SN54LS373 (J)
SN54S373 (J)

SN74LS373 (J, N)
SN74S373 (J, N)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54374/74374 Octal D-Type Transparent Latches and Edge-Triggered Flip-Flops

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF
T.I.	SN54S374	J									SN54LS374	J													
	SN74S374	J	N								SN74LS374	J	N												
FAIRCHILD																									
MOTOROLA																									
N.S.C.																									
PHILIPS																									
SIGNETICS																									
SIEMENS																									
FUJITSU																									
HITACHI																									
MITSUBISHI																									
NEC																									
TOSHIBA																									

Electrical Characteristics SN54LS374, SN74LS374

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	−55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		−65°C to 150°C

recommend operating conditions

		SN54LS374			SN74LS374			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage V_{CC}		4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output voltage, V_{OH}				−400			−400	μA
High-level output current, I_{OH}				16			16	mA
Width of clock enabling pulse t_w	High	15			15			ns
	Low	15			15			
Data hold time, t_{hold}		0*			0†			ns
Setup time, t_{setup}		20†			20†			ns
Operating free-air temperature, T_A		−55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS‡		MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_{IK}	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = −18mA				−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = V_{IL} max, I_{OH} = MAX		2.4	3.1		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = V_{IL} max	I_{OL} = 24mA		0.35	0.5	V
I_{OZH}	Off-state output current, high-level voltage applied	V_{CC} = MAX, V_{IH} = 2V, V_O = 2.7V				20	μA
I_{OZL}	Off-state output current, low-level voltage applied	V_{CC} = MAX, V_{IH} = 2V, V_O = 0.4V				−20	μA
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC} = MAX, V_I = 7V				0.1	mA
I_{IH}	High-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 2.7V				20	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 0.4V				−0.4	mA
I_{OS}	Short-circuit output current ‖	V_{CC} = MAX		−30		−130	mA
I_{CC}	Supply current	V_{CC} = MAX, Output control at 4.5V	LS374		27	48	mA

switching characteristics, V_{CC} = 5V, T_A = 25°C

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f_{max}			C_L = 45pF, R_L = 667Ω, See Notes 2 and 3	35	50		MHz
t_{PLH}	Data	Any Q					ns
t_{PHL}							
t_{PLH}	Clock or enable	Any Q			15	24	ns
t_{PHL}					19	29	
t_{PZH}	Output Control	Any Q			20	29	ns
t_{PZL}					21	33	
t_{PHZ}	Output Control	Any Q	C_L = 5pF, R_L = 667Ω, See Note 3		12	20	ns
t_{PLZ}					14	25	

†For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

‖Not more than one output should be shorted at a time and duration of the short-circuit should not exceed one second.

NOTES 2. Maximum clock frequency is tested with all outputs loaded.

3. See load circuits and waveforms on page 3-11.

f_{max} = maximum clock frequency

t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output

t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output

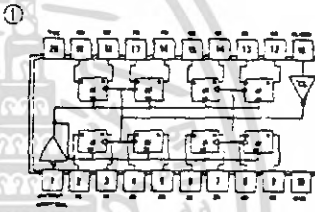
t_{PZH} = output enable time to high level

t_{PZL} = output enable time to low level

t_{PHZ} = output disable time from high level

t_{PLZ} = output disable time from low level

Pin Assignment (Top View)



SN54LS374 (J)
SN54S374 (J)

SN74LS374 (J, N)
SN74S374 (J, N)

'LS374, 'S374 FUNCTION TABLE

OUTPUT CONTROL	CLOCK	D	OUTPUT
L	↑	H	H
L	↑	L	L
L	L	X	Q_0
H	X	X	Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

Voltage Regulators

LM78MXX Series 3-Terminal Positive Regulators

General Description

The LM78MXX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78MXX series is available in the plastic TO-202 package. This package allows these regulators to deliver over 0.5A if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

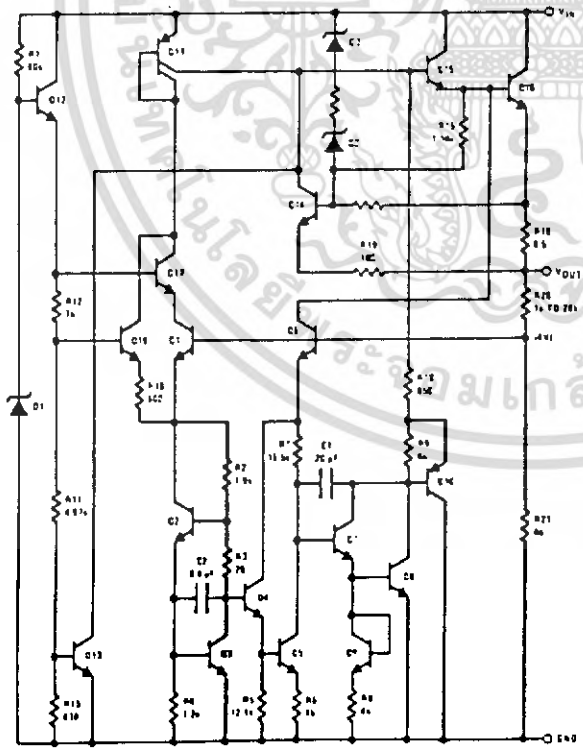
Considerable effort was expended to make the LM78MXX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

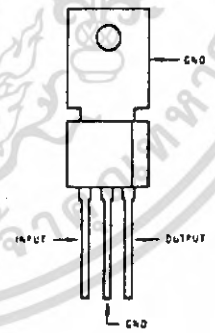
For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

Features

- Output current in excess of 0.5A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in plastic TO-202 package
- Special circuitry allows start-up even if output is pulled to negative voltage (± supplies)

Schematic and Connection Diagrams





Front view

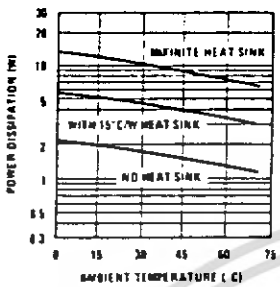
Order Numbers
LM78M05CP
LM78M12CP
LM78M15CP
See Package P03A

For Tab Bend TO-202
Order Numbers
LM78M05CP TB
LM78M12CP TB
LM78M15CP TB
See Package P03E

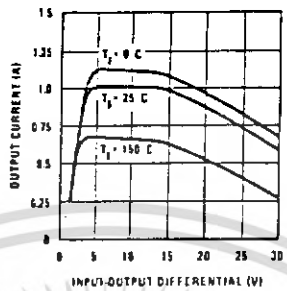
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

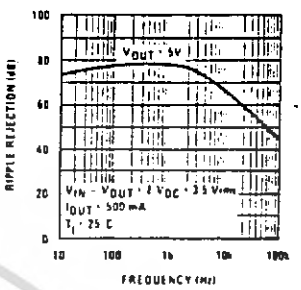
Maximum Average Power Dissipation



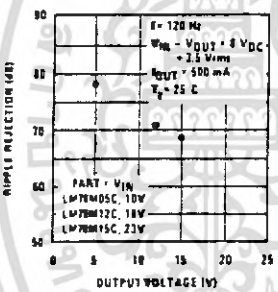
Peak Output Current



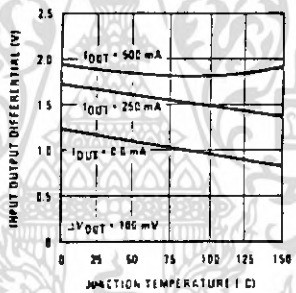
Ripple Rejection



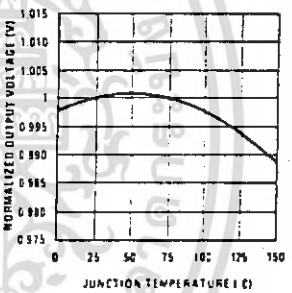
Ripple Rejection



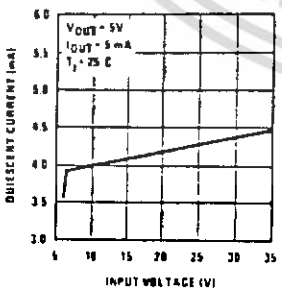
Dropout Voltage



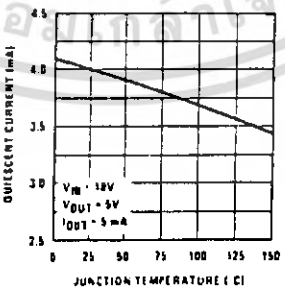
Output Voltage (Normalized to 1V at $T_J = 25°C$)



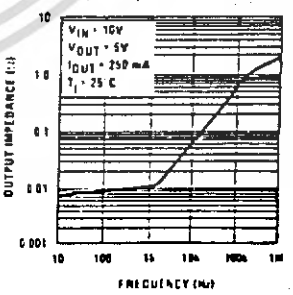
Quiescent Current



Quiescent Current



Output Impedance



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Input Voltage (V_O = 5V, 12V, 15V)	35V
Internal Power Dissipation (Note 1)	Internally Limited
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
Maximum Junction Temperature	+125°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	+230°C

Electrical Characteristics T_A = 0°C to 70°C, I_O = 500 mA, unless otherwise noted.

OUTPUT VOLTAGE			5V			12V			15V			UNITS
INPUT VOLTAGE (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_O	Output Voltage	T_j = 25°C	4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		$P_D \leq$ 7.5W, 5 mA $\leq I_O \leq$ 500 mA and $V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	4.75 (7.5 $\leq V_{IN} \leq$ 20)		5.25	11.4 (14.8 $\leq V_{IN} \leq$ 27)		12.6	14.25 (18 $\leq V_{IN} \leq$ 30)		15.75	V V
ΔV_O	Line Regulation	T_j = 25°C, I_O = 100 mA T_j = 25°C, I_O = 500 mA	(7.2 $\leq V_{IN} \leq$ 25)		50 100	(14.5 $\leq V_{IN} \leq$ 30)		120 240	(17.6 $\leq V_{IN} \leq$ 30)		150 300	mV mV V
ΔV_O	Load Regulation	T_j = 25°C, 5 mA $\leq I_O \leq$ 500 mA			100			240			300	mV
ΔV_O	Long Term Stability				20			48			60	mV/1000 hrs
I_O	Quiescent Current	T_j = 25°C		4	10		4	10		4	10	mA
ΔI_O	Quiescent Current Change	T_j = 25°C 5 mA $\leq I_O \leq$ 500 mA			0.5			0.5			0.5	mA
		T_j = 25°C $V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq$ 25)		1	(14.8 $\leq V_{IN} \leq$ 30)		1	(18 $\leq V_{IN} \leq$ 30)		1	mA V
V_n	Output Noise Voltage	T_j = 25°C, f = 10 Hz – 100 kHz		40			75			90		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	f = 120 Hz		78			71			69		V
	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T_j = 25°C, I_O = 500 mA	7.2			14.5			17.6			V

Note 1: Thermal resistance without a heat sink for junction to case temperature is 12°C/W for the TO-202 package. Thermal resistance for case to ambient temperature is 70°C/W for the TO-202 package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

Voltage Regulators

LM79XX Series 3-Terminal Negative Regulators

General Description

The LM79XX series of 3-terminal regulators is available with fixed output voltages of −5V, −12V, and −15V. These devices need only one external component—a compensation capacitor at the output. The LM79XX series is packaged in the TO-220 power package and is capable of supplying 1.5A of output current.

These regulators employ internal current limiting safe area protection and thermal shutdown for protection against virtually all overload conditions.

Low ground pin current of the LM79XX series allows output voltage to be easily boosted above the preset value with a resistor divider. The low quiescent current drain of these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

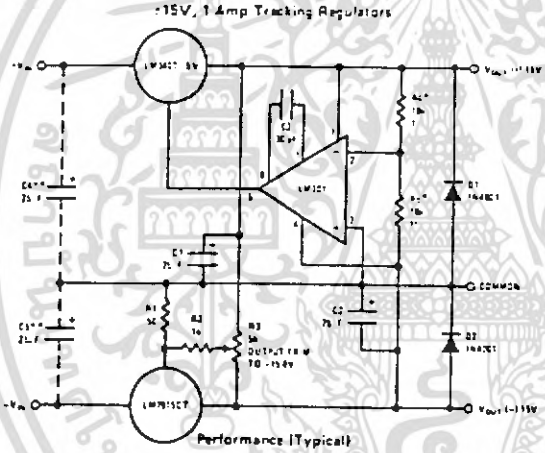
For output voltages other than 5V, 12V and 15V the LM137 series provides an output voltage range from −1.2V to −47V.

Features

- Thermal, short circuit and safe area protection
- High ripple rejection
- 1.5A output current
- 4% preset output voltage

Typical Applications

±15V, 1 Amp Tracking Regulators



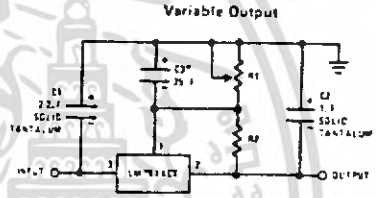
Performance (Typical)

	(−15)	(+15)
Load Regulation at ΔI_L = 1A	40 mV	2 mV
Output Ripple, C_{IN} = 3000μF, I_L = 1A	100μVrms	100μVrms
Temperature Stability	50 mV	50 mV
Output Noise 10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz	150μVrms	150μVrms

*Resistor tolerance of R4 and R5 determine matching of (+) and (−) outputs

**Necessary only if raw supply filter capacitors are more than 3" from regulators

Variable Output



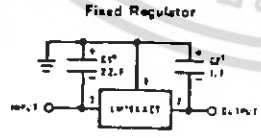
*Improves transient response and ripple rejection. Do not increase beyond 50μF.

$$V_{OUT} = V_{SET}\left(\frac{R1 + R2}{R2}\right)$$

Select R2 as follows

LM7905CT	300Ω
LM7912CT	750Ω
LM7915CT	1k

Fixed Regulator

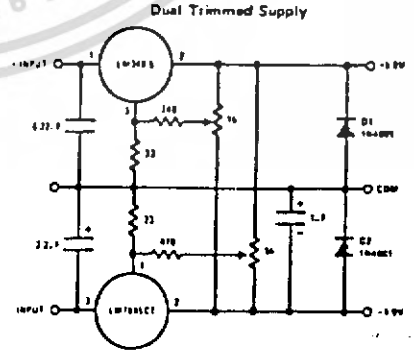


*Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum. 25μF aluminum electrolytic may be substituted.

†Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. 25μF aluminum electrolytic may be substituted. Values given may be increased without limit.

For output capacitance in excess of 100μF, a high current diode from input to output (1N4001, etc.) will protect the regulator from momentary input shorts.

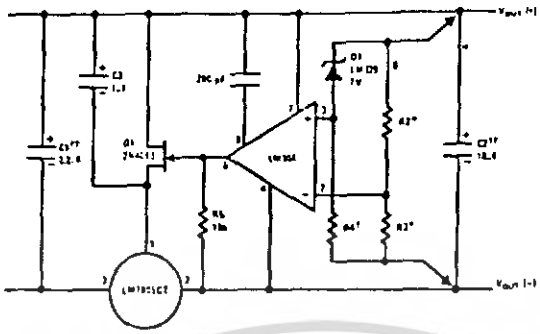
Dual Trimmed Supply



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

High Stability 1 Amp Regulator



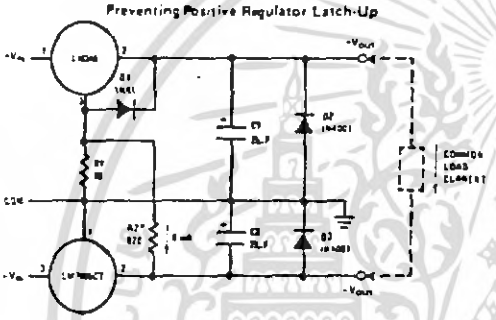
Load and line regulation < 0.01% temperature stability ≤ 0.2%

† Determines Zener current

†† Solid tantalum

* Select resistors to set output voltage. 2 ppm/°C tracking suggested

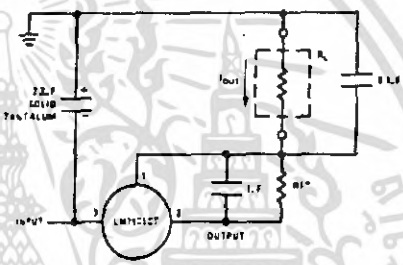
Preventing Positive Regulator Latch-Up



R1 and D1 allow the positive regulator to "start-up" when $+V_{IN}$ is delayed relative to $-V_{IN}$ and a heavy load is drawn between the outputs. Without R1 and D1, most three-terminal regulators will not start with heavy (0.1A–1A) load current flowing to the negative regulator, even though the positive output is clamped by D2.

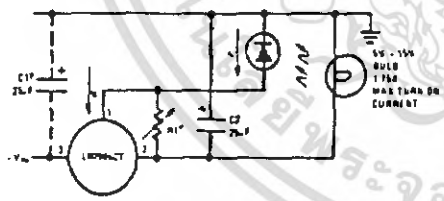
* R2 is optional. Ground pin current from the positive regulator flowing through R1 will increase $+V_{OUT}$ + 60 mV if R2 is omitted.

Current Source



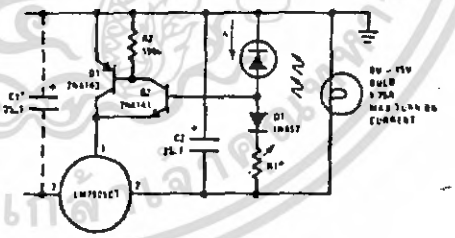
$$*I_{OUT} = 1\ mA + \frac{5V}{R1}$$

Light Controllers Using Silicon Photo Cells



* Lamp brightness increases until $I_L = I_Q$ (≈ 1 mA) = 5V/R1.

† Necessary only if raw supply filter capacitor is more than 2" from LM7905CT

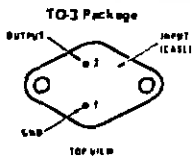


* Lamp brightness increases until I_L = 5V/R1 (I_L can be set as low as 1_mA)

† Necessary only if raw supply filter capacitor is more than 2" from LM7905CT

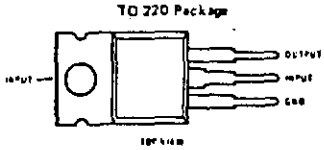
Connection Diagrams

TO-3 Package



Order Numbers:
LM7905CK
LM7912CK
LM7915CK
See NS Package KC02A

TO 220 Package



Order Numbers:
LM7905CT
LM7912CT
LM7915CT
See NS Package T03B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Input Voltage	
(V_O = 5V)	−25V
(V_O = 12V and 15V)	−35V
Input-Output Differential	
(V_O = 5V)	25V
(V_O = 12V and 15V)	30V
Power Dissipation	Internally Limited
Operating Junction Temperature Range	0°C to +125°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	230°C

Electrical Characteristics

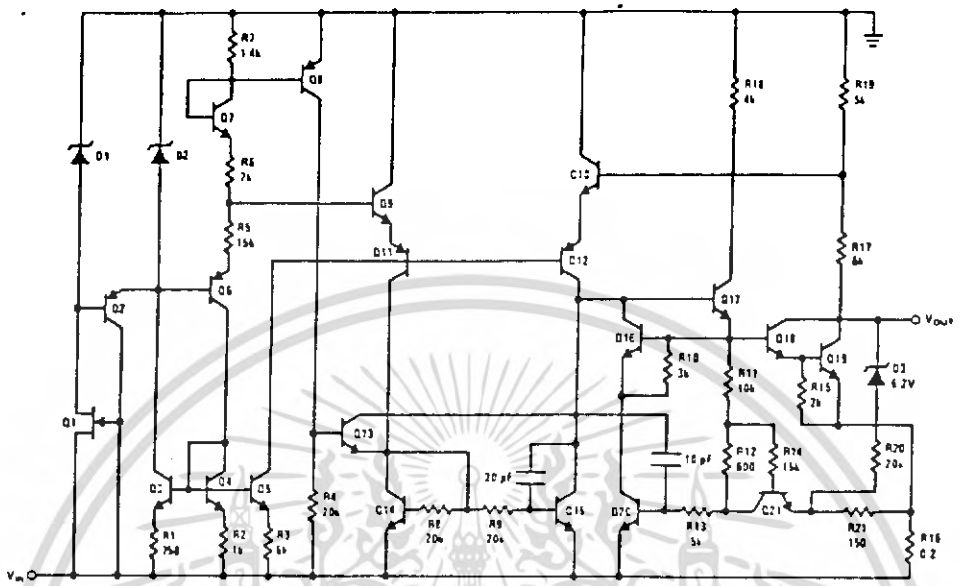
Conditions unless otherwise noted: I_{OUT} = 500 mA, C_{IN} = 2.2μF, C_{OUT} = 1μF, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C, Power Dissipation ≤ 15W.

PART NUMBER			LM7905C			UNITS
OUTPUT VOLTAGE			5V			
INPUT VOLTAGE (unless otherwise specified)			−10V			
PARAMETER		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	
V_O	Output Voltage	T_J = 25°C	−4.8	−5.0	−5.2	V
		5 mA ≤ I_{OUT} ≤ 1A, P ≤ 15W	−4.75		−5.25	V
		(−20 ≤ V_{IN} ≤ −7)				V
ΔV_O	Line Regulation	T_J = 25°C, Note 2		8	50	mV
		(−25 ≤ V_{IN} ≤ −7)				V
				2	15	mV
		(−12 ≤ V_{IN} ≤ −8)				V
ΔV_O	Load Regulation	T_J = 25°C, Note 2				mV
		5 mA ≤ I_{OUT} ≤ 1.5A		15	100	mV
		250 mA ≤ I_{OUT} ≤ 750 mA		5	50	mV
I_Q	Quiescent Current	T_J = 25°C		1	2	mA
ΔI_Q	Quiescent Current	With Line			0.5	mA
	Change	(−25 ≤ V_{IN} ≤ −7)				V
		With Load, 5 mA ≤ I_{OUT} ≤ 1A			0.5	mA
V_n	Output Noise Voltage	T_A = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz		125		μV
	Ripple Rejection	f = 120 Hz	54	66		dB
		(−18 ≤ V_{IN} ≤ −8)				V
	Dropout Voltage	T_J = 25°C, I_{OUT} = 1A		1.1		V
I_{OMAX}	Peak Output Current	T_J = 25°C		2.2		A
	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	I_{OUT} = 5 mA, 0°C ≤ T_J ≤ 100°C		0.4		mV/°C

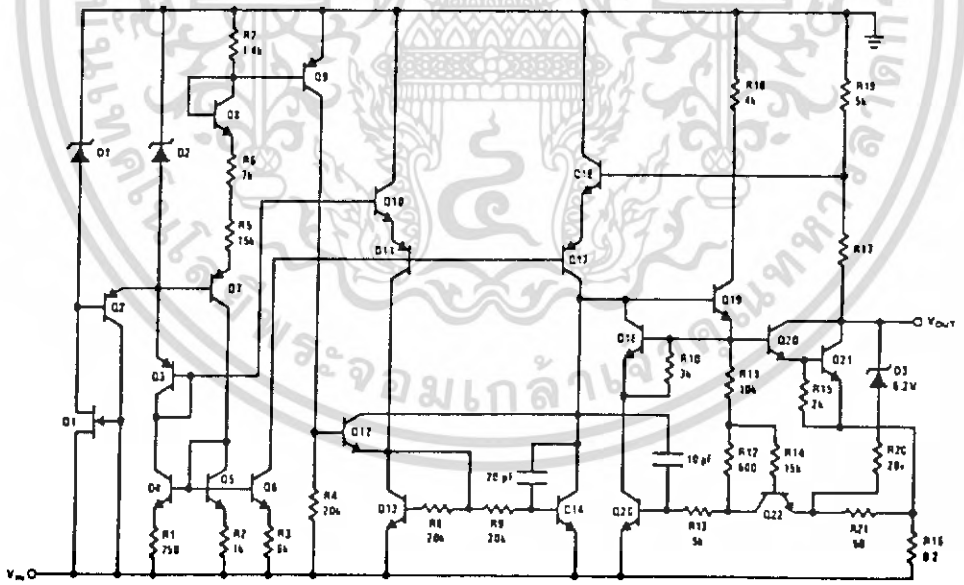
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

schematic diagrams

−5V, −5.2V, −6V, −8V



−9V, −12V, −15V, −18V, −24V



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued) Conditions unless otherwise noted I_{OUT} = 500 mA, C_{IN} = 2.2µF, C_{OUT} = 1µF, 0°C ≤ T_J ≤ +125°C, Power Dissipation = 1.5W.

PART NUMBER			LM7912C			LM7915C			UNITS
OUTPUT VOLTAGE			12V*			15V			
INPUT VOLTAGE (unless otherwise specified)			−19V			−23V			
PARAMETER		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_O	Output Voltage	T_J = 25°C	−11.5	−12.0	−12.5	−14.4	−15.0	−15.6	V
		5 mA ≤ I_{OUT} ≤ 1A, P ≤ 15W	−11.4		−12.6	−14.25		−15.75	V
		(−27 ≤ V_{IN} ≤ −14.5)				(−30 ≤ V_{IN} ≤ −17.5)			V
ΔV_O	Line Regulation	T_J = 25°C, (Note 2)		5	80		5	100	mV
		(−30 ≤ V_{IN} ≤ −14.5)				(−30 ≤ V_{IN} ≤ −17.5)			V
				3	30		3	50	mV
		(−22 ≤ V_{IN} ≤ −16)				(−26 ≤ V_{IN} ≤ −20)			V
ΔV_O	Load Regulation	T_J = 25°C, (Note 2)		15	200		15	200	mV
		5 mA ≤ I_{OUT} ≤ 1.5A		15	200		15	200	mV
		250 mA ≤ I_{OUT} ≤ 750 mA		5	75		5	75	mV
I_Q	Quiescent Current	T_J = 25°C		1.5	3		1.5	3	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	With Line			0.5			0.5	mA
		(−30 ≤ V_{IN} ≤ −14.5)				(−30 ≤ V_{IN} ≤ −17.5)			V
		With Load, 5 mA ≤ I_{OUT} ≤ 1A			0.5			0.5	mA
V_n	Output Noise Voltage	T_A = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 Hz		300			375		µV
	Ripple Rejection	f = 120 Hz	54	70		54	70		dB
		(−25 ≤ V_{IN} ≤ −15)				(−30 ≤ V_{IN} ≤ −17.5)			V
	Dropout Voltage	T_J = 25°C, I_{OUT} = 1A		1.1			1.1		V
I_{OMAX}	Peak Output Current	T_J = 25°C		2.2			2.2		A
	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	I_{OUT} = 5 mA, 0°C ≤ T_J ≤ 100°C		−0.8			−1.0		mV/°C

Note 1: For calculations of junction temperature rise due to power dissipation, thermal resistance junction to ambient (θ_{JA}) is 50°C/W (no heat sink) and 5°C/W (infinite heat sink).

Note 2: Regulation is measured at a constant junction temperature by pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects must be taken into account.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้