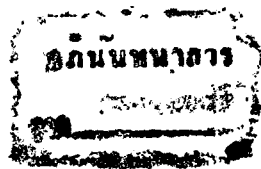




ปีการศึกษา 2531  
การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุม  
เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง  
โดยสามารถเลื่อนเฟสกระแส พี ดับบลิว เอ็ม ในเอซีไลน์  
โดย  
นาย พลวีร์ บัวศรี  
นาย เล็งสกล จินารัตน์  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
รศ. วิริยะ นิเชษฐจำเริญ



การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุม  
เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง  
โดยสามารถเลื่อนเฟสกระแส พี ดับบลิว เอ็ม ในเอชไลยน์

MICROCOMPUTER-BASED PWM-CONTROLLED AC-TO-DC  
CONVERTER WITH PHASE-SHIFT CONTROL OF AC LINE CURRENT



วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

023223

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2531

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง

โดยสามารถเลื่อนเฟสกระแส พี ตับปลิว เอ็ม ในเอชไลยน์

ผู้จัดทำ

1. พลวีร์ บัวศรี 28-1152

2. เล็งสกล จินารัตน์ 28-1192



อาจารย์ที่ปรึกษา

( รศ.วิริยยะ พิเชษฐจำเริญ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องแปลงไฟฟ้า  
กระแสสลับเป็นกระแสตรงโดยสามารถเลือกเฟสกระแสไฟฟ้าแบบลิฟต์เอ็มในเอซีไลน์

นาย พลวีร์ บัวศรี  
นาย เล็งสกล จินารัตน์  
รศ. วิริยะ พิเชษฐจำเริญ  
(อาจารย์ที่ปรึกษา)  
ปีการศึกษา 2531

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้ได้เสนอและวิเคราะห์ห่ออุปกรณ์สามเฟสชนิดบลิฟต์เอ็ม เอซี/ดีซี คอนเวอร์เตอร์  
ซึ่งใช้ซีพียูไมโครโปรเซสเซอร์ ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ตัดต่อกระแสในวงจรกำลัง ระบบควบคุมชนิดบลิฟต์เอ็มซึ่ง  
บังคับการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของ  
วงจรกำลังแทนการควบคุมด้วยวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะให้ผลดีในด้านต่างๆ เช่น วงจรควบคุมมี  
ความยืดหยุ่นมากขึ้น และสามารถขจัดความยุ่งยากของการต่อวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์ที่มีจำนวนมากๆ  
ได้ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนสัญญาณเฟสไฟฟ้าเอ็มไปเป็นลักษณะต่างๆ เพื่อทดสอบหา  
คุณสมบัติของคอนเวอร์เตอร์นี้

เนื้อหาจะกล่าวถึงรายละเอียดในการออกแบบและควบคุมกระแสอินพุทของเอซีไลน์ใน  
ลักษณะของชนิดบลิฟต์เอ็มด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ตลอดจนการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษา  
คุณสมบัติต่างๆของคอนเวอร์เตอร์นี้ เช่น การคำนวณหาค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสอินพุทใน  
เอซีไลน์ ค่าเอาท์พุทโวลเตจเฉลี่ย และองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ต่างๆของกระแสในเอซีไลน์  
เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาคุณสมบัติของคอนเวอร์เตอร์นี้ในกรณีที่มีการเลือกเฟสของกระแส  
อินพุทในเอซีไลน์โดยการวัดทดสอบอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCOMPUTER-BASED PWM-CONTROLLED  
AC-TO-DC CONVERTER WITH PHASE-SHIFT CONTROL OF AC LINE CURRENT

MR. PONLAWEE BUASRI  
MR. LEONGSAKOL CHINARAT  
ASSOCIATE PROFESSOR  
VIRIYA FICHETJAMROEN  
(ADVISOR)

1988

ABSTRACT

In this project, a three-phase PWM ac-to-dc converter using GTO thyristers as power switching devices, is proposed and analyzed. A microcomputer-based PWM control system is developed and used to control the main power circuit instead of conventional electronic control circuit. This yields a higher flexibility of control system and eliminates complexity of circuit configuration, especially when various PWM patterns are required for converter characteristic test.

The design and control of PWM ac line input current, based on microcomputer, are described in detail. The converter characteristic; such as, the rms values of ac line input current, the mean output voltage and the harmonic content of ac line input current, etc, are also analyzed and discussed in detail. Moreover, various converter characteristics under phase shift control of ac line input current are also tested and obtained by measurement.

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 คุณสมบัติโดยสังเขปของจีทีโอ	2
1.3 การturn on, turn off	3
1.4 การเปรียบเทียบจีทีโอกับอุปกรณ์อื่น	5
1.5 สูตรการคำนวณพื้นฐาน	7
1.6 วงจรหลัก	8
1.7 วงจรช่วย	9
1.8 สรุปและเปรียบเทียบ	10
บทที่ 2 การออกแบบสัญญาณทริก	12
2.1 ลักษณะกระแสในสายที่ต้องการ	12
2.2 การออกแบบสัญญาณทริก จี1-จี8	12
2.3 การคำนวณลักษณะของกระแสในสายและคักดาที่ภาวะโดยละเอียด	18
2.4 ผลของการเปลี่ยนจำนวนพัลส์ แลมด้า $\lambda$ และเฟสชิฟ	37
2.5 วิธีการสร้างสัญญาณทริก	39
2.6 เปรียบเทียบคอนเวอร์เตอร์ชนิดควบคุมเฟส	43
บทที่ 3 การออกแบบซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์	44
3.1 การออกแบบทางซอฟต์แวร์	44
3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์	63
3.3 การออกแบบวงจรหลัก	66
บทที่ 4 ผลการทดลอง	67
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	85
แนวทางการพัฒนา	87
ภาคผนวก	88
หนังสืออ้างอิง	131
กิตติกรรมประกาศ	132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้า
บทที่ 1	
1.1 ลักษณะภายนอกด้าน top view ของ GTO Thyristor	2
1.2 โครงสร้างภายในของ GTO Thyristor	3
1.3 คุณสมบัติเมื่อมีการ turn-on	3
1.4 ขบวนการที่ใช้ในการ turn-on GTO	4
1.5 คุณสมบัติเมื่อมีการ turn off	5
1.6 วงจรหลัก	8
1.7 วงจรช่วย	9
1.8 การดีสชาร์จและรีเวิร์ลของวงจรช่วย	9
1.9 วงจรทั้งหมด	10
บทที่ 2	
2.1 ลักษณะของกระแสในลายน์	12
2.2 วงจรหลักและรูปแบบกระแสในลายน์ของคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส	12
2.3 รูปแบบสัญญาณตริก G1-G4 ของคอนเวอร์เตอร์ 1 เฟส	13
2.4 รูปแบบกระแสในลายน์ u	13
2.5 รูปแบบกระแสในลายน์ u, v, w	13
2.6 ลักษณะการไหลของกระแสในวงจรหลักของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส	14
2.7 รูปแบบของสัญญาณตริก G1-G6 กระแสลายน์ u, v, w (ไม่มีการรีเวิร์ลของวงจรหลัก)	15
2.8 รูปแบบของสัญญาณตริก G1-G6 กระแสลายน์ u, v, w (มีการรีเวิร์ลของวงจรหลัก)	16
2.9 รูปแบบของสัญญาณตริก G1-G6 กระแสลายน์ u, v, w (มีการรีเวิร์ลของวงจรหลัก)	17
2.10 การแบ่งช่วงของกระแสในลายน์ u เพื่อคำนวณอาร์โมนิค	18
2.11 การแบ่งช่วงของคิกคา ตีซี เพื่อคำนวณ mean	35
2.12 เปรียบเทียบกระแสในลายน์ระหว่าง mod 60% กับ 40%	38
2.13 โฟลว์ชาร์ทการทำงานโดยสังเขป	40
2.14 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างแบบ PWM กับการควบคุมเฟส	42
บทที่ 3	
3.1 การเข้ารหัสของรูปแบบสัญญาณตริก	45
3.2 การเก็บรหัสรูปแบบสัญญาณตริกในหน่วยความจำ	46
3.3 การเก็บรหัสช่วงเวลาของรูปแบบสัญญาณตริกในหน่วยความจำ	46
3.4 การจัดระเบียบรหัสในหน่วยความจำ	47
3.5 โฟลว์ชาร์ทการทำงานโดยสังเขป	48

## สารบัญภาพ(ต่อ)

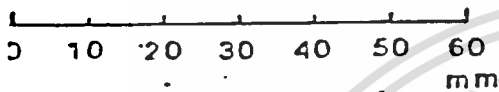
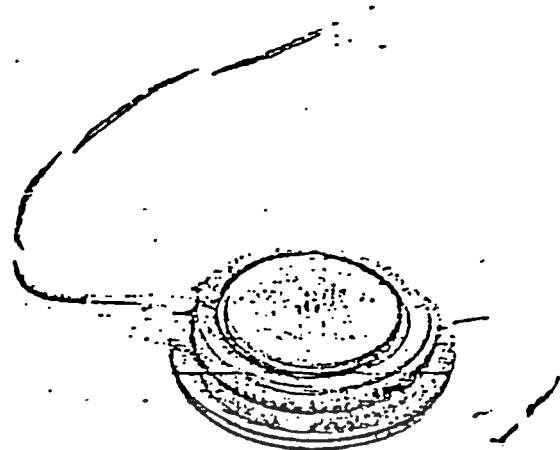
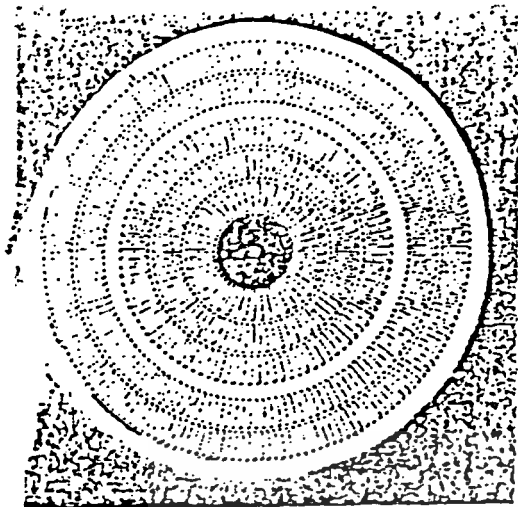
	หน้า
3.6 การตรวจจับเฟส ๒ ของสัญญาณsine	49
3.7 ค่าในหน่วยความจำ max t&l	53
3.8 รูปแบบการจัดเก็บในหน่วยความจำratioก่อนการคำนวณ	56
3.9 รูปแบบการจัดเก็บในหน่วยความจำ ratio หลังการคำนวณ	56
3.10 รูปแบบการจัดเก็บในหน่วยความจำ ratio buffer	57
3.11 ค่าในหน่วยความจำ ratio buffer	57
3.12 ค่าในหน่วยความจำ data buffer	58
3.13 การตรวจจับเฟส ๒ ของสัญญาณsine	59
3.14 แสดงช่วงเวลาที่เหลือจากการทริก	62
3.15 การต่ออาร์ตแวร์ระหว่างสล็อตกับพอร์ต8255	63
3.16 การต่ออาร์ตแวร์ระหว่างพอร์ต8255กับส่วนควบคุม	64
3.17 วงจรขับ	65

## บทที่ 1

1.1 เนื่องจากปัจจุบันโรงงานและหน่วยผลิตต่าง ๆ มีความต้องการอุปกรณ์ เเรคตีไฟส์จำพวกสแตติคอนเวอเตอร์เพิ่มขึ้นมากแทนที่ไดนามิกส์คอนเวอเตอร์ที่มีอยู่เดิม ซึ่งอาจจะมิได้เพื่อเป็นอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ หรือใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาดใหญ่ โดยปกติแล้วอุปกรณ์คอนเวอเตอร์ ในสมัยแรก ๆ จะเป็นระบบควบคุมเฟส (phase control) เป็นส่วนใหญ่ เมื่อใช้คอนเวอเตอร์ ทำงานขนานกับภาระอื่นในระบบไฟ 3 เฟสแล้วจะพบว่าเกิดฮาโมนิกส์ขึ้นในระบบ ส่งผลให้เกิดข้อเสียด้านหลายประการ เช่น รบกวนการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง รบกวนการทำงานของคาปาซิเตอร์ที่ต่อไว้ในระบบเพื่อแก้ตัวประกอบกำลัง จนอาจทำให้เกิดการระเบิดของคาปาซิเตอร์ได้ ดังนั้นเพื่อจะลดผลของฮาโมนิกส์ ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการต่อฟิลเตอร์เข้ากับระบบ

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นว่า ถ้าโรงงานหรือหน่วยผลิตหนึ่ง ๆ มีความจำเป็นต้องการแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาดใหญ่ 1 ชุด ก็ต้องการปรับตัวประกอบกำลังไม่ให้เกิดจากค่าที่การไหลวนครหลวงกำหนด ก็จะต้องติดตั้งอุปกรณ์อีก 1 ตัวเพิ่มเข้าไปคือ อุปกรณ์ปรับตัวประกอบกำลัง จะสังเกตได้ว่าอุปกรณ์ที่จำเป็นต่าง ๆ ข้างต้นทำงานโดยหน้าที่เฉพาะอย่าง ดังที่กล่าวมาแล้วจึงเป็นการทำหายนอกกันคนคว่ำวิสัยมากกว่า " จะทำอย่างไรจึงจะได้ อุปกรณ์ที่ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก ใช้เนื้อที่ติดตั้งน้อย แต่สามารถทำงานได้ทั้ง 3 หน้าที่ข้างต้น"

เมื่อไม่นานมานี้มีการพัฒนาปรับปรุง อุปกรณ์สวิตซ์ต่าง ๆ ให้มีคุณสมบัติขึ้น ทั้งในด้าน พิกัดกระแส พิกัดคิกดา ตลอดจนลดช่วงเวลาในการสวิตซ์ซึ่ง เช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง พิกัดสูง ไทริสเตอร์สวิตซ์ซึ่ง และ จีทีโอ (gate turn off thyristor) ดังนั้นจึงได้มีการนำเอา จีทีโอ มาทำเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง โดยใช้ร่วมกับรูปแบบการทำงานแบบ พี ดับบลิว เอ็ม ทำให้สามารถเป็นอุปกรณ์ที่แก้ปัญหาค่าทั้งหมดยกต่างได้ กล่าวคือ ทำตัวเป็นสแตติคอนเวอเตอร์ เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาดใหญ่ได้ และถ้าปรับมุมทริกของ จี ที โอ ทั้งระบบเลื่อนให้นำหน้าหรือเป็นหนึ่งเมื่อเทียบกับคิกดาทางด้านเอซี 3 เฟส ก็จะสามารถปรับตัวประกอบกำลังได้อีก และสุดท้าย เนื่องจากข้อดี ของรูปแบบ (pattern) การทำงานแบบ พี ดับบลิว เอ็ม คือ ลดฮาโมนิกส์ลำดับสูงลงได้มาก จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องมีฟิลเตอร์ในระบบ เป็นการลดราคาค่าต้นทุนของอุปกรณ์รวมไปถึงการบำรุงรักษาอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบลงได้มาก เนื่องจากราคาของอุปกรณ์ชนิดนี้จะถูกลงมากในเวลาอันสั้นจึงมีแนวโน้มอยู่มากที่จะมีการนำ จีทีโอ มาใช้แทนที่ ทรานซิสเตอร์กำลัง และ ไทริสเตอร์แบบเดิม คงจะได้แนะนำอุปกรณ์ตัวใหม่นี้โดยสังเขปต่อไป

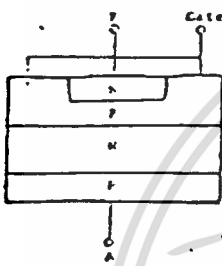
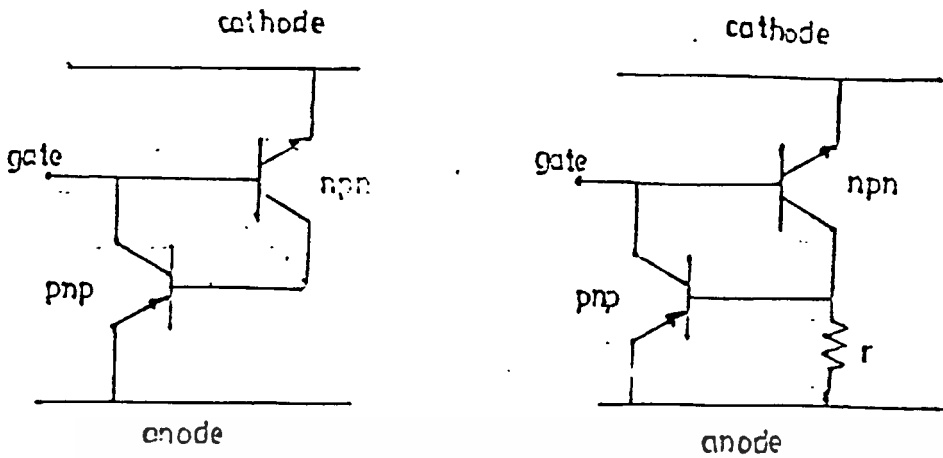


ลักษณะภายนอกด้าน TOP VIEW ของ GTO และเมื่อมีการฉายแสงเพื่อดูโครงสร้าง

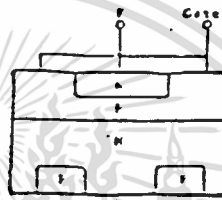
รูป 1.1

จีทีโอ มีโครงสร้างคล้ายไทรซิสเตอร์ทั่ว ๆ ไป มีลักษณะภายนอกเป็นจานกลมประกบด้วยแผ่นระบายความร้อน (heat sink) หรืออาจเป็นแบบนอตชั้นยึดติดแผ่นระบายความร้อนดังรูปข้างต้น นอกจากนี้เราสามารถแบ่งชนิดของ จีทีโอ เป็น 2 แบบ ตามโครงสร้างภายใน คือ

1. ANODE SHORTED EMITTER
2. GOLD - DIFFUSED



Gold diffused



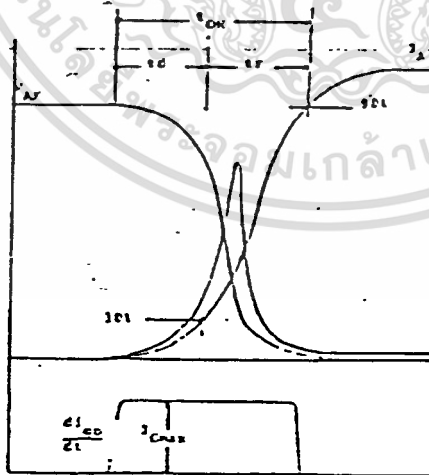
Emitter-shorter anode

โครงสร้างภายในของ GTO thyristor

รูป 1.2

1.3 การ Turn on, Turn off

1.3.1 Turn on



คุณลักษณะเมื่อมีการ Turn-on GTO

รูป 1.3

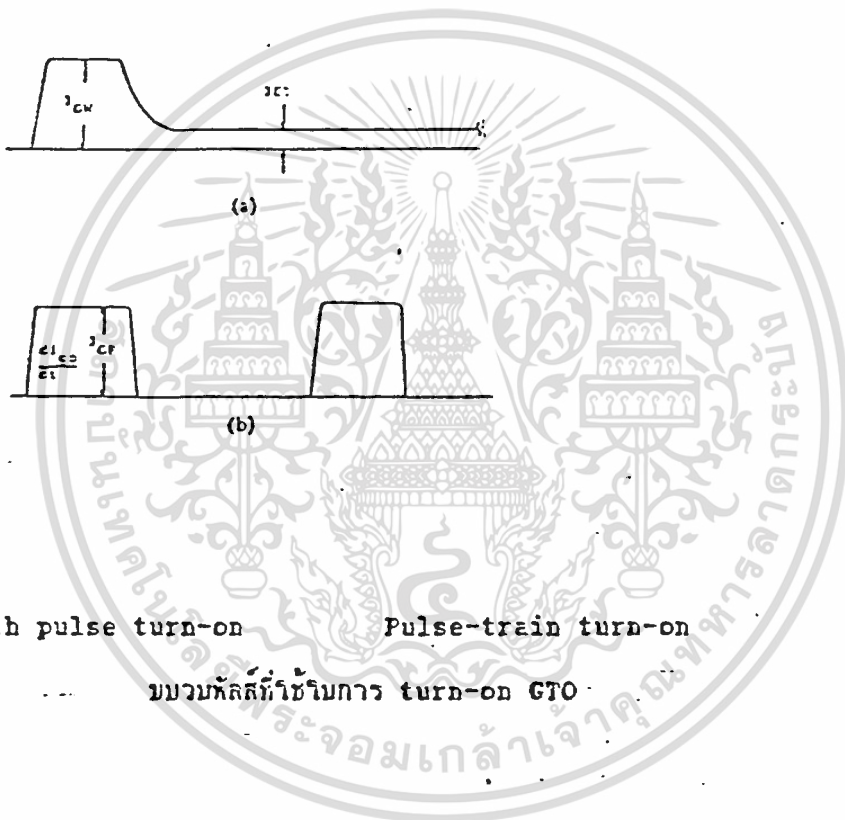
โดย  $t_d =$  ช่วงลดลง (Delay period)

$t_r =$  ช่วงสูงขึ้น (Rise period)

$t_{on} = t_d + t_r$

- ขึ้นอยู่กับ
1. อุปกรณ์ที่ใช้
  2. ความชันหน้าพัลส์ของกระแสเกต ( $dI_g/dt$ )
  3. ขนาดของกระแสเกต

ลักษณะการทริกทำได้ 2 แบบ แบ่งตามลักษณะของ พัลส์กระแส



Wide-width pulse turn-on      Pulse-train turn-on  
 ขบวนการพัลส์ที่ใช้ในการ turn-on GTO

รูป 1.4

1.3.1.1 พัลส์ช่วงกว้าง (wide width pulse) ดังรูป

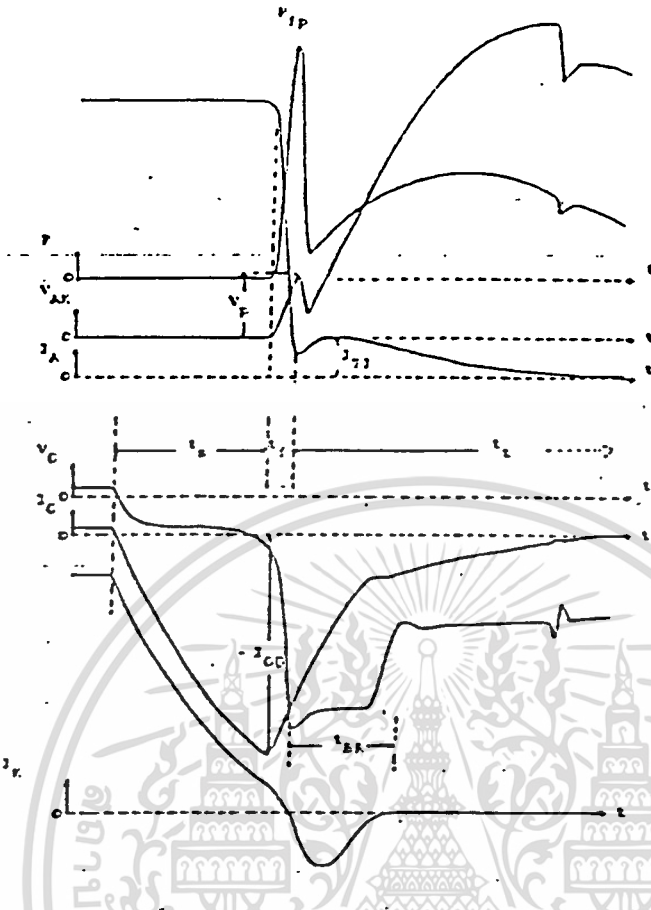
ข้อดี  $t_{on}$  น้อย, แน่นอน (stable)

ข้อเสีย ประสิทธิภาพด้านกำลังต่ำ

1.3.1.2 ขบวนการพัลส์ (Pulse train) ดังรูป

ข้อดี ประสิทธิภาพด้านกำลังสูง ใช้ได้ถึงความถี่สูง (มากกว่า 10 kHz ขึ้นไป)

ข้อเสีย ไม่แน่นอน โอกาสผิดพลาดมากกว่าแบบพัลส์ช่วงกว้าง



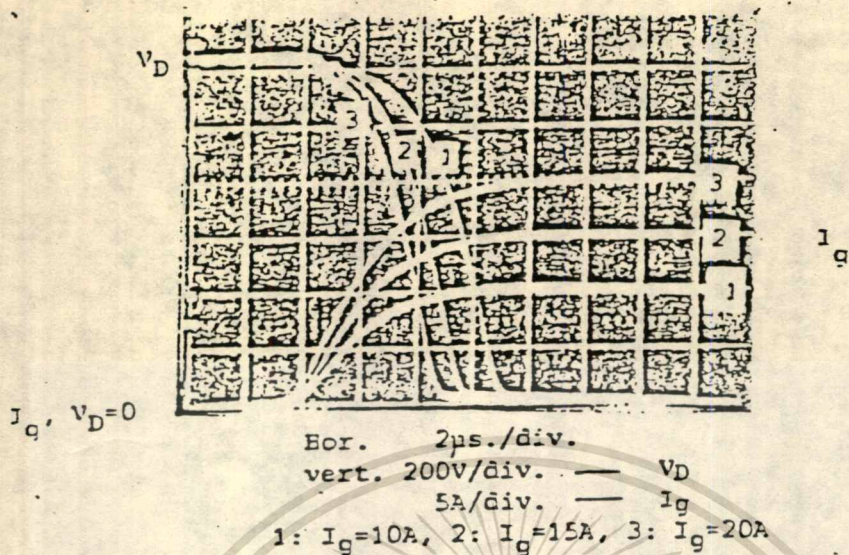
แสดงคุณลักษณะต่างๆของ GTO ขณะ turn-off

รูป 1.5

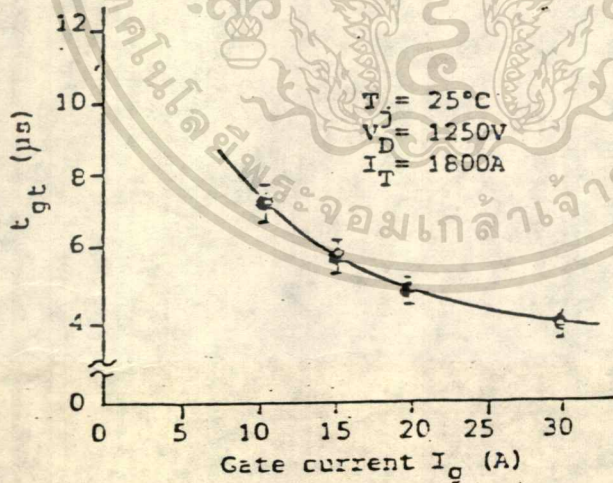
- โดย  $t_s$  = ช่วงการเก็บ (Storage period)  
 $t_f$  = ช่วงการตก (Fall period)  
 $t_t$  = ช่วงหาง (Tail period)

1.4 การเปรียบเทียบ จีทีโอ กับอุปกรณ์สวิทซ์อื่น ๆ

- ข้อดี
1. สามารถหยุดนำกระแสได้ด้วยตัวเองทำให้ลดอุปกรณ์ช่วยในการกลับศักดาเพื่อหยุดนำกระแสออกไปได้
  2. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปกำลังสูงกว่าอุปกรณ์สวิทซ์อื่น ๆ
  3. น้ำหนักน้อยกว่าอุปกรณ์สวิทซ์อื่น ๆ
  4. เสียจนวนขณะทำงานน้อยกว่าอุปกรณ์สวิทซ์อื่น ๆ
  5. ทนกระแสเชิงรับได้สูงกว่าทรานซิสเตอร์กำลัง ที่ความถี่สวิทซ์ซึ่งเดียวกัน
  6. ทนกระแสปกติได้สูงกว่าทรานซิสเตอร์กำลัง ที่ความถี่สวิทซ์ซึ่งเดียวกัน



ลักษณะทั่วไปของรูปคลื่นกระแสเอาโนด ( $I_A$ ) ขณะ turn-on เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ on-gate current ( $I_G$ ) ใน GTO ทั่วไป



ความสัมพันธ์ระหว่าง turn-on time กับ on gate current

## 1.5 สูตรการคำนวณพื้นฐาน

### 1.5.1 P.F.

จากนิยามพื้นฐานของตัวประกอบกำลัง (P.F)

$$P.F. = \text{REAL POWER} / \text{APPEARENT POWER}$$

$$= P_i / P_a$$

$P_a$  : Apparent power (กำลังส่งไฟฟ้าที่ป้อนทั้งหมด) =  $V I$

$P_i$  : Real Power (กำลังไฟฟ้า ที่นำไปใช้งานได้จริง) =  $V I \cos \theta$

$P_x$  : Reactive power (กำลังไฟฟ้านำไปใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก หรือสนามไฟฟ้า) =  $V I \sin \theta$

$P_h$  : Harmonic reactive power (กำลังไฟฟ้านำไปใช้กำลังสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กอันเนื่องมาจาก กระแสฮาร์โมนิกส์)

ดังนั้น

$$P_a = \sqrt{P_a^2 + P_i^2 + P_h^2}$$

$$P.F. = \frac{V I I \cos \theta}{V I \sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}$$

$$P.F. = \frac{I \cos \theta}{\sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}$$

1.5.2 ฮาร์โมนิกส์ จาก ทฤษฎีฟูเรียร์ กล่าวว่า ทุกฟังก์ชันคาบใด ๆ ที่ต่อเนื่องตลอดช่วง  $2\pi$  จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูป สมการฟูเรียร์ได้ดังนี้

$$f_0(x) = A_0 + \left[ A_n \cos(nx) + B_n \sin(nx) \right]$$

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(nx) dx$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin(nx) dx$$

$f_0(x)$ : เป็นสมการฟูเรียร์

$f(x)$ : เป็นสมการฟังก์ชันคาบใด ๆ

### 1.5.3 RMS ( ROOT MEAN SQUARE)

เป็นการหาค่ากลาง (MEAN) วิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้กับฟังก์ชันคาบที่มีทั้งส่วนที่เป็นบวกและลบ ให้  $f(x)$  เป็นฟังก์ชันคาบที่มีค่าทุก  $x$  และต่อเนื่องในช่วงปิด  $[a, b]$

$$\text{R.M.S. of } f(x) = \sqrt{\frac{1}{b-a} \int_a^b f^2(x) dx}$$

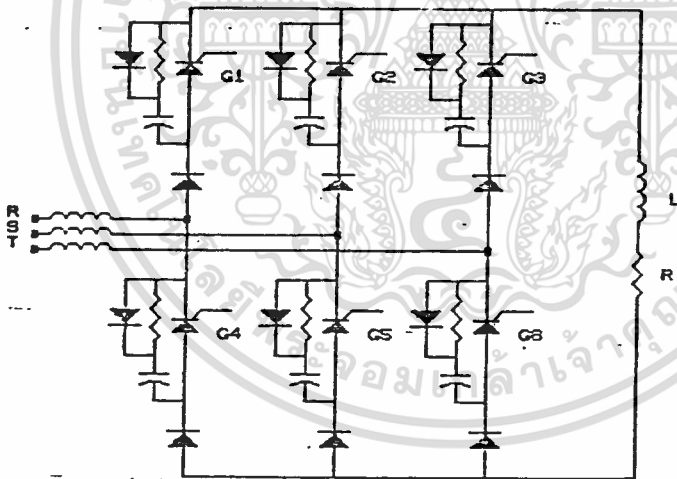
### 1.5.4 MEAN

เป็นการหาค่ากลางอีกวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้กับ ฟังก์ชันคาบที่มีเพียงส่วนที่เป็นบวกหรือลบแต่เพียงอย่างเดียว ให้  $f(x)$  เป็นฟังก์ชันคาบที่มีค่าทุก  $x$  และต่อเนื่องในช่วงปิด  $[a, b]$

$$\text{MEAN of } f(x) = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx$$

### 1.6 วงจรหลัก (main circuit)

วงจรประกอบไปด้วย จีทีโอ หลัก 6 ตัวประกอบเป็นวงจรบริดจ์ 3 เฟส โดยแต่ละตัวจะมีสับเปอร์ต่อคร่อมและมีไดโอดต่ออนุกรมอยู่ด้วยเพื่อเป็นการป้องกันจีทีโอแต่ละตัว วงจรเมนแสดงได้ดังรูป



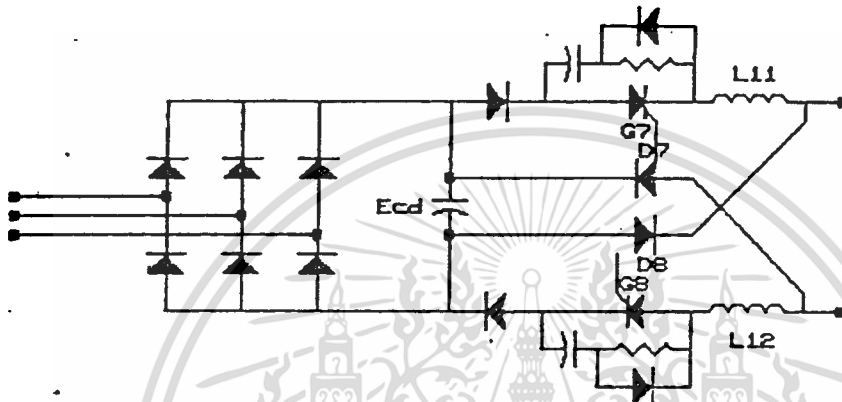
รูป 1.6

การเรียงกระแสจะผลัดกันทีละ 30 องศา ทั้งหมด 12 ช่วง โดยแต่ละ 6 ช่วงจะมีพัลส์ ที่มีความกว้าง 1:2:3:3:2:1 ตามลักษณะของ พี คับบลิว เอ็ม ดังจะได้กล่าวโดยละเอียดในบทที่ 2

วงจรประกอบไปด้วย

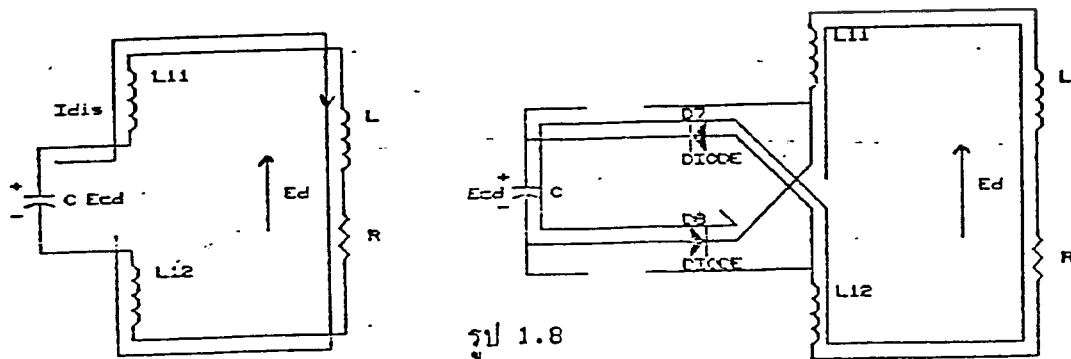
1. จีทีโอ 2 ตัว พร้อมสับเบอ
2. ไดโอด 2 ตัว
3. ตัวเก็บประจุ ดีซี แบบมีขั้ว 1 ตัว
4. ไดโอดบริจด์ เรคตีไฟาย 3 เฟส 1 ชุด
5. ตัวเหนี่ยวนำเรียงกระแสดีสซาร์จจากตัวเก็บประจุค่าเท่ากัน 2 ตัว

วงจรช่วยประกอบกันแล้วเป็นดังรูป



รูป 1.7

เมื่อต้องการใช้งานวงจรช่วยนี้ก็จะนำไปต่อขนานกับภาระ โดยขณะที่จีทีโอหลัก(จี1 ถึง จี6) สวิตช์ในช่วงแต่ละ  $1/12$  คาบ จะเกิดสไปรต์ทางเอซี เมื่อสไปรต์ดังกล่าวเกินค่าคักตาของตัวเก็บประจุในวงจรช่วย ส่วนที่เกินนี้จะถูกเรียงเป็นกระแสผ่านบริจด์ไดโอดเข้าเก็บในตัวเก็บประจุ แล้วในช่วงท้ายของแต่ละคาบ ( $1/12$  sec) จะมีการทริก จี7 - จี8 ให้ตัวเก็บประจุดีสซาร์จประจุดังกล่าวผ่าน จี7 - จี8 แล้วผ่านตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัวในวงจรช่วยเพื่อเรียงกระแสส่วนนี้ให้เรียบขึ้นแล้วจึงจ่ายเข้าสู่ภาระต่อไปและเมื่อ จี7 - จี8 หยุดนำกระแสจะมีการฟรีวิลกระแสในวงจรช่วยผ่าน ดี7, ดี8 เนื่องจากความเป็นตัวเหนี่ยวนำของภาระผ่านเข้าเก็บในตัวเก็บประจุอีกทีหนึ่งเป็นดังนี้ทุก ๆ คาบ



รูป 1.8

จาก วงจรสมมูล จะได้ว่า

$$E_{cd} - E_d = (L_{r1} + L_{r2}) \cdot di/dt$$

$$E_{cd} - E_d = \text{constant}$$

$$L_{r1} + L_{r2} = L$$

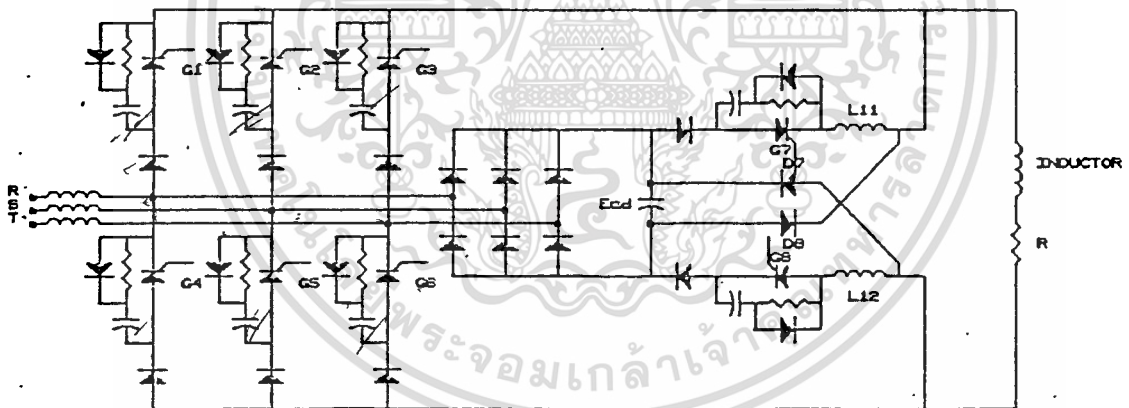
$i$  = integration of  $(E_{cd} - E_d)/L$  by  $dt$ .

จะเห็นว่า  $i$  จะเป็นรูปสามเหลี่ยมโดยมีความชัน =  $(E_{cd} - E_d)/L$

จากกระแสดีจซาร์จช่วยส่วนนี้จะทำให้ช่วยลดกระแสจากลายน์ในทางเอซีได้ในช่วงที่ จี7 และจี8 ทำงาน ดังจะเห็นในรูปกราฟในบทถัดไป แต่อย่างไรก็ตามจุดประสงค์หลักของวงจรช่วยนี้ก็เพื่อลดสไปร์คส่วนเกิดในลายน์ออกไป แล้วนำส่วนเกินไปเปลี่ยนเป็นพลังงานจ่ายให้กับภาระจึงเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอีกทางหนึ่ง .

### 1.8 สรุปและเปรียบเทียบ

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อนำวงจรทั้ง 2 ส่วน มาประกอบกันจะเป็นดังรูปโดยจะควบคุมวงจรถูกผ่าน จี1 - จี6 และควบคุมวงจรถูกผ่าน จี7 - จี8



รูป 1.9

เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ปรับตัวประกอบกำลัง นิลเตอร์และเรคตีฟายอื่น ๆ จะเห็นว่าประหยัดทั้งเนื้อที่และราคาสูงเป็นอันมาก นอกจากนี้แล้วทางด้านเทคนิคอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบควบคุมเฟรมิตดังนี้

1. พี ดับบลิว เอ็ม คอนเวอเตอร์ สามารถใช้ควบคุมฮาโมนิคส์ระดับต่ำได้

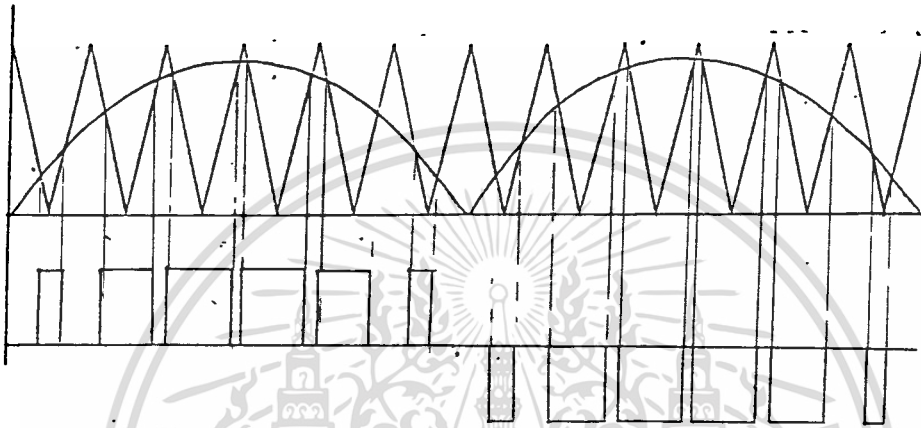
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พี ดับบลิว เอ็ม คอนเวอเตอร์ สามารถปรับตัวประกอบกำลังได้โดยตรง
  3. จี ที โอ คอนเวอเตอร์ แบบ พี ดับบลิว เอ็ม จะสามารถควบคุมแรงดันดีซีเอาก์พุทได้จาก 0 จนถึง 5d โดยใช้การรีเจนเนอเรทีฟในช่วงขณะที่กระแสหน้าแรงดัน
- ข้อเสีย
4. การสร้างชุดควบคุมและชุดขับเคลื่อน พี ดับบลิว เอ็ม ยุ่งยากกว่าแบบควบคุมเฟสมาก เพราะมีการสวิตชิ่งหลายครั้งใน 1 คาบ
  5. มีการสูญเสียในทางคอมมิวเตจเพิ่มขึ้น



2.1 ลักษณะกระแสในลายน์ที่ต้องการ

เนื่องจากต้องการคุณสมบัติของลักษณะ พี ดับบลิว เอ็ม ของกระแสในลายน์ จากการออกแบบพื้นฐานของ พี ดับบลิว เอ็ม ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างคลื่นรูปซายน์ และสามเหลี่ยมที่มี อัมปลิจูด และความถี่ต่าง ๆ กัน ในการทดลองนี้จะใช้ที่อัตราส่วนความถี่ คลื่นซายน์ต่อคลื่นสามเหลี่ยมเท่ากับ  $1/12$  เพื่อที่จะได้พัลส์ 6 พัลส์ ต่อ  $1/2$  คาบ ซายน์ที่ 50 Hz คงที่ทุก ๆ แอมปลิจูดมอดูเลชัน จากรูปแสดงให้เห็นลักษณะกระแสในลายน์ที่ต้องการให้เป็น

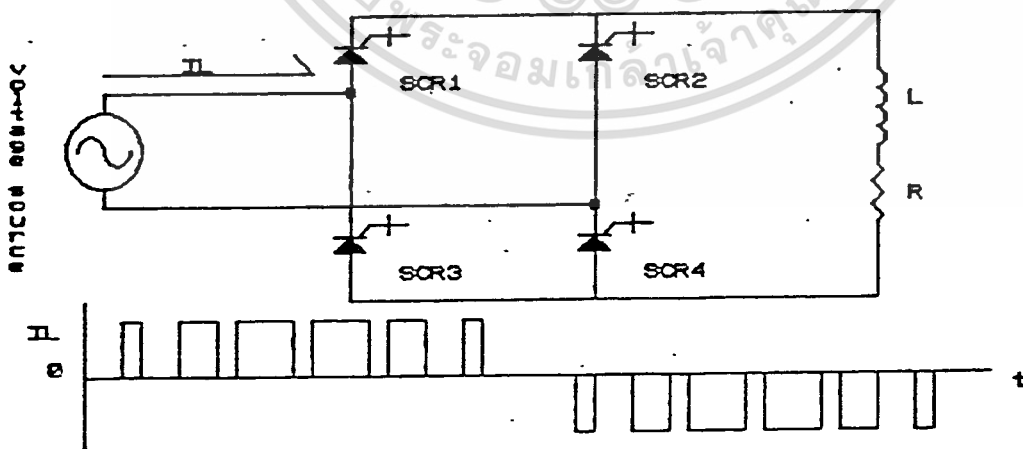


รูป 2.1

2.2 การออกแบบสัญญาณทริก จี1-จี8

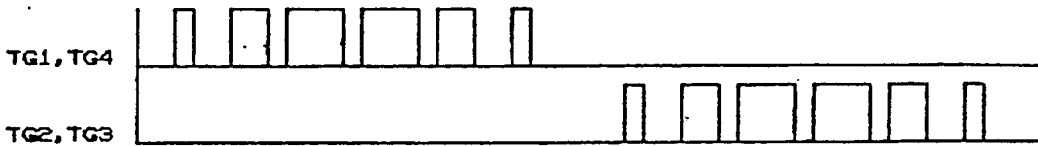
2.2.1 การออกแบบพื้นฐานสัญญาณทริก พี ดับบลิว เอ็ม

จากวิธีที่เป็นพื้นฐานที่สุดของการออกแบบสัญญาณทริก พี ดับบลิว เอ็ม เริ่มจาก พี ดับบลิว เอ็ม หนึ่งเฟส คอนเวอเตอร์ มิวจจร และแผนภาพดังนี้



รูป 2.2

ดังนั้นหากต้องการให้กระแสเป็นดังสัญญาณทริกแล้วนั้น T๕1 กับ T๕4 จะต้องเหมือนกันทุกประการ และ T๕2 กับ T๕3 จะต้องเหมือนกันทุกประการด้วยนอกจากนี้ขณะที่ scr1 on, scr3 จะต้อง off จึงสามารถออกแบบสัญญาณทริกทั้ง 4 ตัวได้โดยไม่ยากนัก ดังนี้

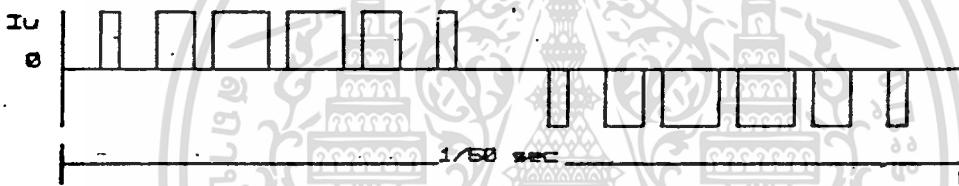


รูป 2.3

2.2.2 การออกแบบสัญญาณทริก จีทีโอโดยละเอียด

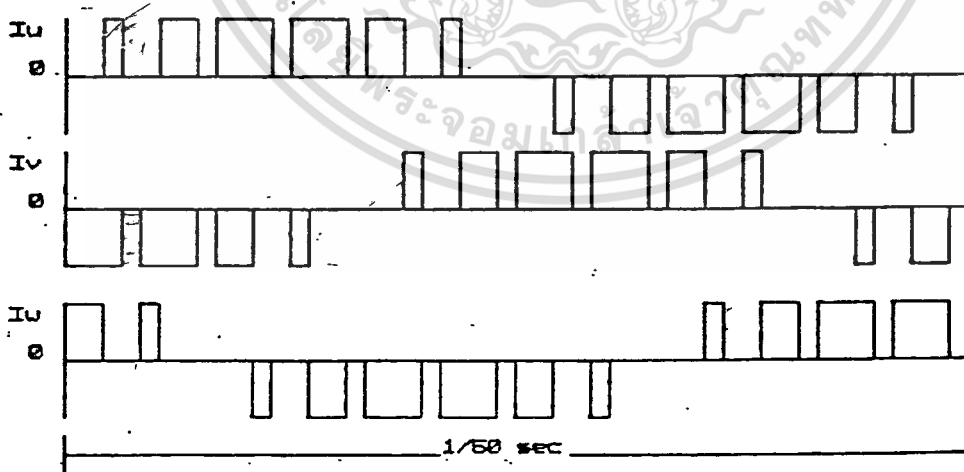
2.2.2.1 การออกแบบสัญญาณทริก จีทีโอ หลัก จี1 - จี6

จากรูปเป็นลักษณะสัญญาณของกระแสในสายนี้ของเฟสใดเฟสหนึ่งที่ต้องการ ในที่นี้จะให้เป็นรูปของกระแสในสายนี้ของเฟส u



รูป 2.4

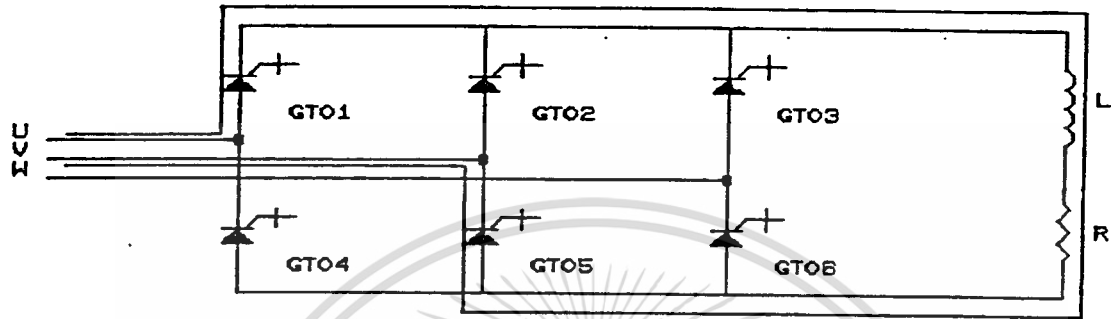
อีก 2 เฟส จะต้องเลื่อนกันไป อีกเฟสละ 120 องศา ดังรูป



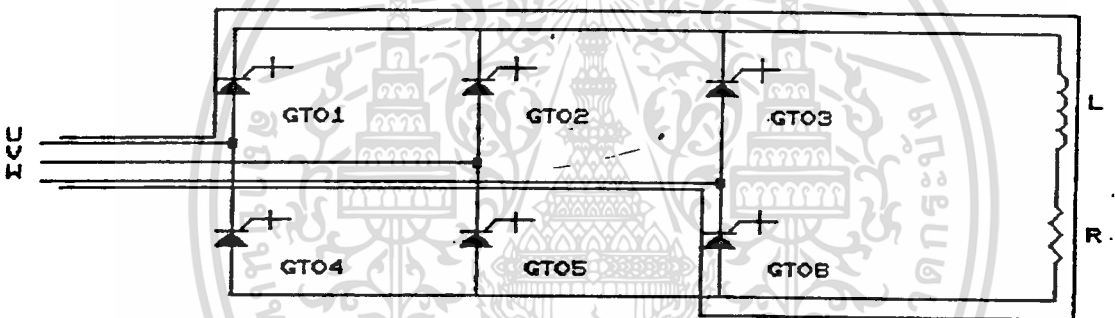
รูป 2.5

จะสังเกตได้ว่า เพื่อให้มีพัลส์กระแส 2 พัลส์ ใหญ่ที่สุดตรงกลางนั้นจะต้องมีพัลส์กระแสอีก 2 พัลส์ในอีก 2 เฟส ที่เหลือในทิศทางตรงกันข้ามเสมอด้วยอัตราส่วนของความกว้างพัลส์ของ 2 เฟสที่เหลือเป็น 2:1 และ 1:2 เสมอ เช่นถ้าต้องการให้  $I_u$  ไหล 2 พัลส์กลาง จะต้องทริกจี1 2 ครั้ง ครั้งละ  $\lambda \cdot t$  ห่างกัน  $(1-\lambda) \cdot t$  และทริก จี5  $2 \cdot \lambda \cdot t / 3$  จี6  $\lambda \cdot t / 3$  จี5  $\lambda \cdot t / 3$  จี6  $2 \cdot \lambda \cdot t / 3$

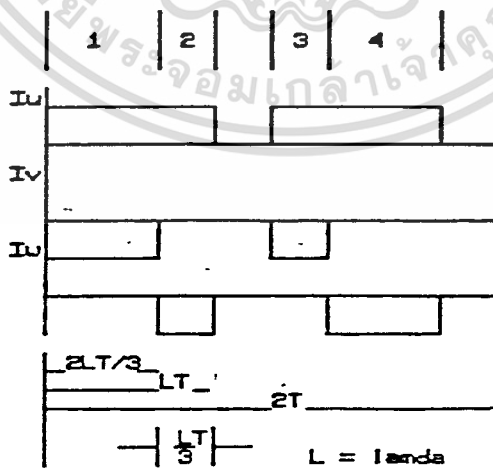
ตามลำดับ ดังรูป



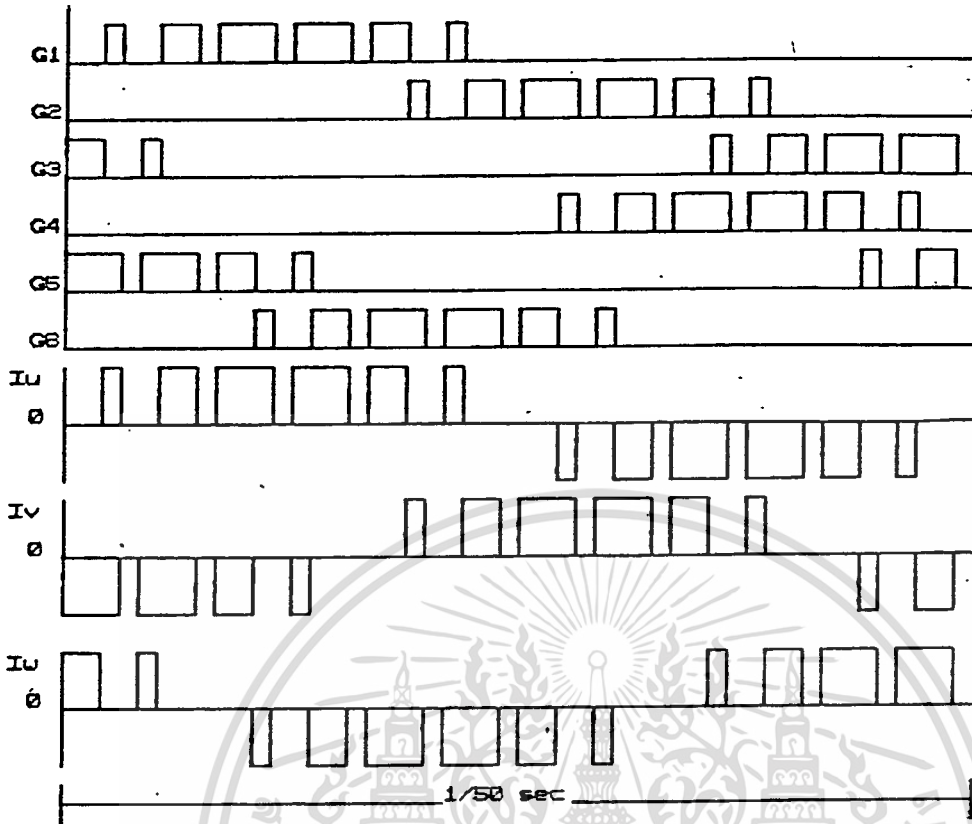
current part for 1,3



current part for 2,4

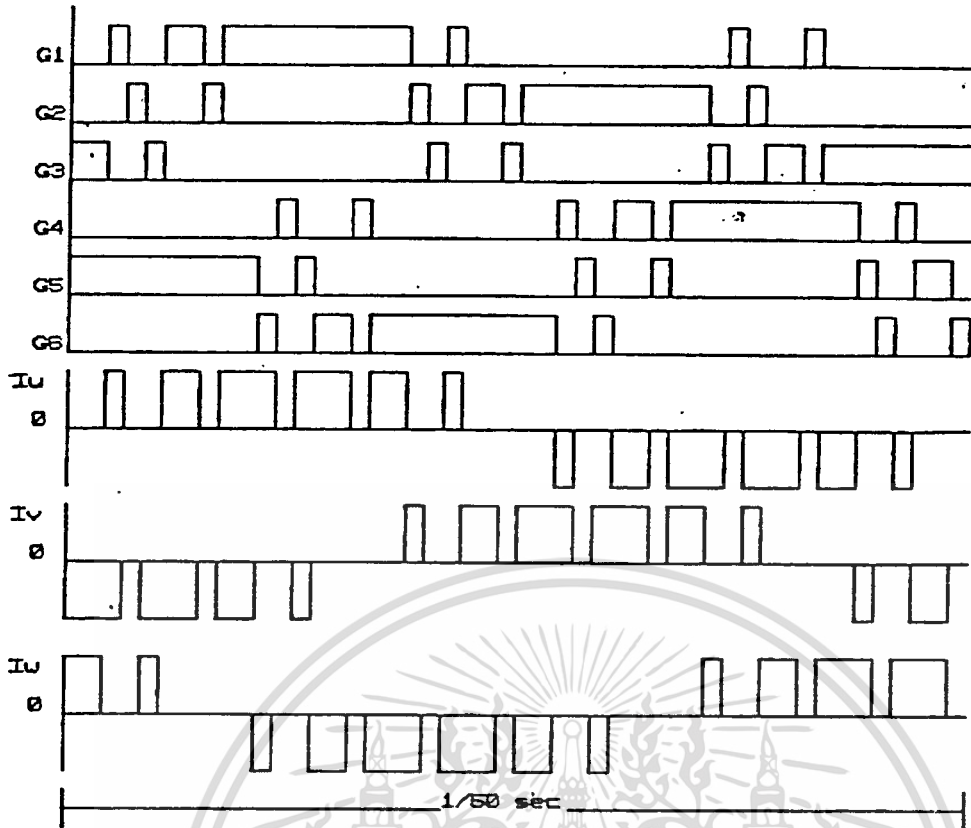


รูป 2.6



รูป 2.7

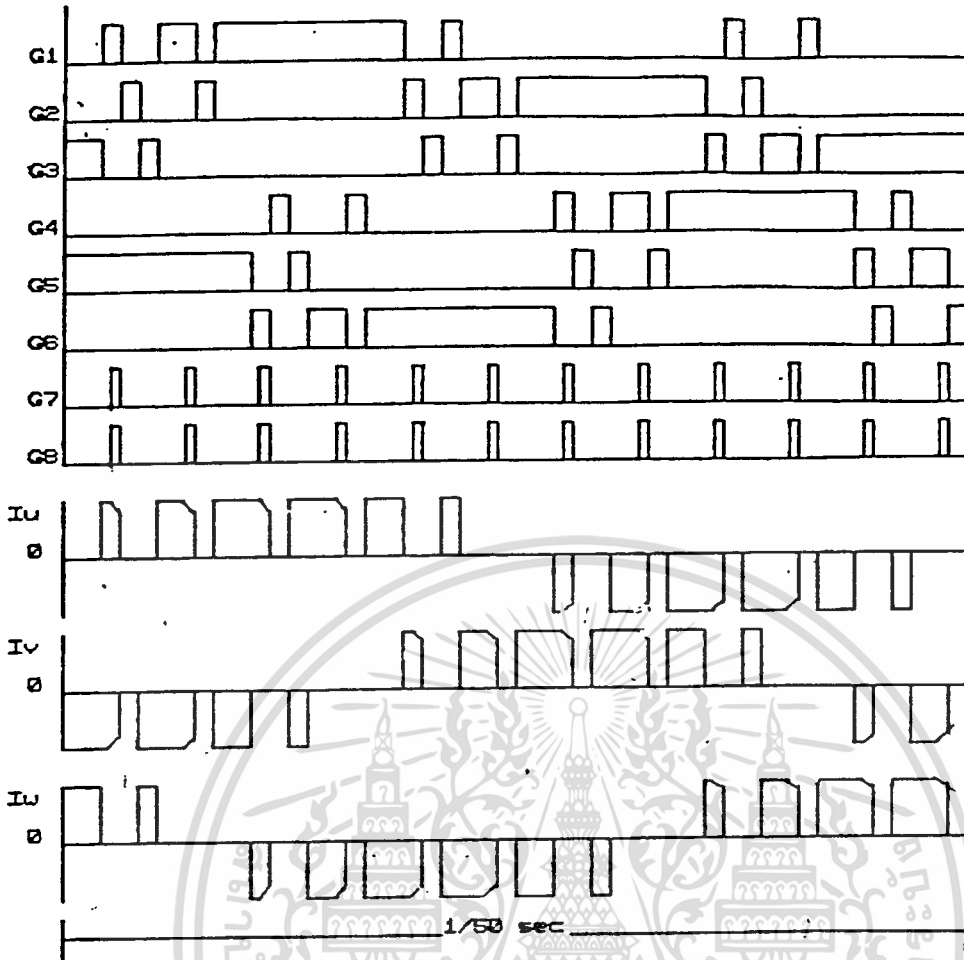
และเพราะว่าภาระเป็นตัวเหนี่ยวนำจึงต้องมีการฟรีวิลให้กระแสเป็น ๐ และเพื่อรับกระแสย้อนกลับเนื่องจากอินดักแตนซ์ของภาระอีกด้วยดังนั้นจะต้องออกแบบให้ในแต่ละ 1/12 คาบ ซายน์(T)ของภาระเสมือนมีการลัดวงจรที่แหล่งจ่าย 1 ครั้ง หลังจากเกิดการคอมมิวเตท 1 ครั้งของแต่ละเฟส นั่นคือหลังจากคอมมิวเตท 1 ครั้ง คู่ จีทีโอ ที่ต่ออยู่กับเฟสเดียวกัน จะต้องทำงานพร้อมกันอีก 1 ครั้ง ดังนั้นจะมีการเพิ่มสัญญาณทริกอีกตัวละ 2 ครั้งเป็นดังรูป



รูป 2.8

2.2.2.2 การออกแบบสัญญาณตรรกะจิติโอในวงจรช่วย จี7 - จี8

ตัวเก็บประจุในวงจรช่วยจะเป็นตัวรับโวลทเทสโปร็คในลายน์ที่เกินค่าโวลทเททของตัวมัน เก็บเข้าสะสมในรูปของประจุผ่านวงจรไดโอดบริดจ์ ดังนั้นต้องให้มีการถ่ายเทประจุออกจากตัวเก็บประจุในรูปกระแสไปยังภาระทุก ๆ คาบที่มีการสวิตชิ่ง 1 ครั้ง ในลายน์ทั้ง 3 เฟส นั่นคือ จี7 - จี8 จะต้องทำงานพร้อมกันทุก ๆ ครั้งที่มีการคอมมิวเตทของทุกเฟสในลายน์(ทุก ๆ 30 องศา) โดยช่วงเวลาการทำงานของ จี7 - จี8 ก็จะเป็นช่วงเวลาของการดีจชาร์จของตัวเก็บประจุนั่นเอง ซึ่งช่วงเวลานี้สามารถกำหนดได้โดยตรงแต่ต้องไม่มากไปกว่า  $\lambda \cdot T / 3$  ดังรูป



รูป 2.9

จะสังเกตได้ว่าทุก ๆ ครั้งที่มีการดีสชาร์จประจุออกจากวงจรช่วย กระแสในลายน์แต่ละลายน์จะลดลงไปทุกครั้ง ทั้งนี้ก็เนื่องจากกระแสในภาระจะต้องคงที่ ดังนั้นกระแสในลายน์จึงต้องลดลงในช่วงที่วงจรช่วยทำงาน (จ่ายกระแส) นั้นเอง สมการของกระแสในลายน์ที่ลดลงได้ดังนี้

$$I_u = I_{load} - I_{dis} \quad ; \quad I_{load} = \text{constant}$$

$$I_u = \text{constant} - I_{dis}$$

$$I_{dis} = \int k dt \quad ; \quad k = (E_{cd} - E_d) / (Lr_1 - Lr_2)$$

$$I_u = \text{constant} - kt$$

จากสมการวิเคราะห์ได้ว่าส่วนที่ลดลงนี้จะเรียบ(smooth)ขนาดไหนจะขึ้นกับค่าอินดักแตนซ์( $Lr_1, Lr_2$ )นั่นเอง ถ้าค่า  $Lr_1 + Lr_2$  มาก ช่วงการเปลี่ยนแปลงก็จะเรียบมากขึ้น นั่นคือ  $Lr_1, Lr_2$  จะทำหน้าที่เรียงกระแสจากวงจรช่วยสู่ภาระนั่นเอง

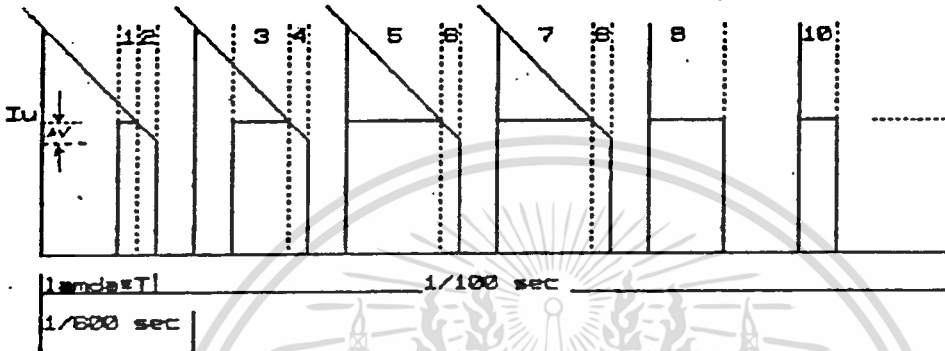
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การคำนวณลักษณะของกระแสในลายน์ และคักดาที่ภาวะโดยละเอียด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการคำนวณหาโมนิคส์ของกระแสในลายน์ ,RMS ของกระแสในลายน์, MEAN ของคักดาที่ภาวะ

### 2.3.1 ฮ่าโมนิกส์ของกระแสในลายน์

จากสูตรที่กล่าวไว้ข้างต้นในบทที่ 1 จะพบว่า การหา  $A_0, A_n, B_n$  จะต้องมีการแบ่งช่วงการอินทิเกรต เป็นชั้น ๆ ดังนี้



รูป 2.10

ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เป็นสูตรสำเร็จเพื่อใช้ในการคำนวณได้ดังนี้

$$f_1(x) = ax + b \quad ; a = (1d - 1d') / wT$$

$$f_2(x) = ax + b - awT \quad ; b = 1d - ((1d - 1d') \lambda T) / \lambda = 1d' - a \lambda T$$

$$f_3(x) = ax + b - 2awT$$

$$f_4(x) = ax + b - 3awT$$

$$1d' = a \lambda wT + b \text{ และ } 1d = w(\lambda T - \tau) a + b$$

จาก Fourier series :  $f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$

เนื่องจากรูปคลื่นสมมาตรกันในช่วง 0 ถึง  $2\pi$  ดังนั้น  $a_0 = 0$

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \text{ เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนเต็มบวก}$$

$$a_n = 2 \int_0^{\pi} f(x) \cos nx dx$$

$$b_n = 2 \int_0^{\pi} f(x) \sin nx dx$$

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\pi x / \tau) \text{ และ } A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \text{ เมื่อ } n \text{ เป็นจำนวนเต็มบวก}$$

หา  $a_n \dots \dots$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \int_{\frac{\tau}{3}}^{\lambda T - \tau} 1 dx \cos nx + \int_{\lambda T - \tau}^{\lambda wT} (an + b) \cos nx dx + \int_{\lambda T - \tau}^{\tau + \lambda T - \tau} 1 dx \cos nx + \int_{\tau + \lambda T - \tau}^{\tau + \lambda T} (ax + b - awT) \cos nx dx \right]$$

$$+ \left[ \int_{2wT}^{\lambda T + \lambda T - \tau} 1 dx \cos nx + \int_{\lambda T + \lambda T - \tau}^{\lambda T + \lambda T} (ax + b - 2awT) \cos nx dx \right]$$

$$+ \left[ \int_{3wT}^{\tau + \lambda T - \tau} 1 dx \cos nx + \int_{\tau + \lambda T - \tau}^{\tau + \lambda T} (ax + b - 3awT) \cos nx dx + \int_{4wT}^{\tau + \lambda T} 1 dx \cos nx + \int_{\tau + \lambda T}^{\tau + \lambda T} 1 dx \cos nx \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มอนอนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

$$\int_a^b (\alpha x + \beta) \cos nx dx = \frac{\alpha x + \beta \sin nx}{n} \Big|_a^b - \frac{\alpha}{n} \int_a^b \sin nx dx$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \left( \frac{1}{n} \int_0^{\lambda T - \tau} (\alpha x + \beta) \cos nx dx \right) + \frac{\alpha x + \beta \sin nx}{n} \Big|_{\frac{2}{3}\lambda T}^{\lambda T} - \frac{\alpha}{n} \int_0^{\lambda T} \sin nx dx \right]$$

$$+ \left[ \left( \frac{1}{n} \int_0^{\lambda(T+\tau)} (\alpha x + b - \alpha \tau) \cos nx dx \right) + \frac{\alpha x + b - \alpha \tau \sin nx}{n} \Big|_{\tau}^{\tau + \lambda T} - \frac{\alpha}{n} \int_{\tau}^{\tau + \lambda T} \sin nx dx \right]$$

$$+ \left[ \left( \frac{1}{n} \int_0^{2\lambda T - \tau} (\alpha x + b - 2\alpha \tau) \cos nx dx \right) + \frac{\alpha x + b - 2\alpha \tau \sin nx}{n} \Big|_{2\tau}^{2\tau + \lambda T} - \frac{\alpha}{n} \int_{2\tau}^{2\tau + \lambda T} \sin nx dx \right]$$

$$+ \left[ \left( \frac{1}{n} \int_0^{3\lambda T - \tau} (\alpha x + b - 3\alpha \tau) \cos nx dx \right) + \frac{\alpha x + b - 3\alpha \tau \sin nx}{n} \Big|_{3\tau}^{3\tau + \lambda T} - \frac{\alpha}{n} \int_{3\tau}^{3\tau + \lambda T} \sin nx dx \right]$$

$$+ \left[ \frac{1}{n} \int_0^{\lambda(T + \frac{2}{3}\lambda T)} (\alpha x + b - 4\alpha \tau) \cos nx dx \right] + \left[ \frac{1}{n} \int_0^{\lambda(5T + \frac{1}{3}\lambda T)} (\alpha x + b - 5\alpha \tau) \cos nx dx \right]$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{1}{n} \left( \sin n(\lambda T - \tau) - \sin 2n\lambda T \right) + \frac{\alpha \lambda T + b \sin n\lambda T}{n} - \frac{(\alpha \tau (\lambda T - \tau) + b) \sin n(\lambda T - \tau) + \alpha (\cos n\lambda T - \cos n(\lambda T - \tau))}{n^2} \right]$$

$$+ \left[ \frac{1}{n} \left( \sin n(\tau + \lambda T) - \sin n(\tau + \frac{\lambda T}{3}) \right) + \frac{\alpha \tau (\tau + \lambda T) + b - \alpha \tau \sin n(\tau + \lambda T)}{n} - \frac{(\alpha \tau (\tau + \lambda T) + b - \alpha \tau) \sin n(\tau + \lambda T) + \alpha (\cos n(\tau + \lambda T) - \cos n(\tau + \lambda T - \tau))}{n^2} \right]$$

$$+ \left[ \frac{1}{n} \left( \sin n(2\tau + \lambda T) - \sin 2n\tau \right) + \frac{\alpha \tau (2\tau + \lambda T) + b - 2\alpha \tau \sin n(2\tau + \lambda T)}{n} - \frac{\alpha \tau (2\tau + \lambda T) + b - 2\alpha \tau \sin n(2\tau + \lambda T) + \alpha (\cos n(2\tau + \lambda T) - \cos n(2\tau + \lambda T - \tau))}{n^2} \right]$$

$$+ \left[ \frac{1}{n} \left( \sin n(3\tau + \lambda T) - \sin 3n\tau \right) + \frac{\alpha \tau (3\tau + \lambda T) + b - 3\alpha \tau \sin n(3\tau + \lambda T)}{n} - \frac{\alpha \tau (3\tau + \lambda T) + b - 3\alpha \tau \sin n(3\tau + \lambda T) + \alpha (\cos n(3\tau + \lambda T) - \cos n(3\tau + \lambda T - \tau))}{n^2} \right]$$

$$+ \left[ \frac{1}{n} \left( \sin n(4\tau + 2\lambda T) - \sin 4n\tau \right) \right] + \left[ \frac{1}{n} \left( \sin n(5T + \lambda T) - \sin 5nT \right) \right]$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{1}{n} \left( \sin n(\lambda T - \tau) \sin 2n\lambda T \right) + \frac{\alpha \tau \lambda T + b \sin n\lambda T - \alpha \tau (\lambda T - \tau) + b}{n} \sin n(\lambda T - \tau) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+\frac{a}{n^2}(\cos n\lambda T - \cos n(\lambda T - \tau))]$$

$$+[\frac{1}{n}d(\sin n\omega(T+\lambda T-\tau) - \sin n\omega(T+\frac{\lambda T}{3})) + \frac{a\omega\lambda T}{n}\sin n\omega(T+\lambda T)$$

$$- \frac{a\omega\lambda T - a\omega\tau + b}{n}\sin n\omega(T+\lambda T-\tau)] + \frac{a}{n^2}(\cos n\omega(T+\lambda T) - \cos n\omega(T+\lambda T-\tau))]$$

$$+[\frac{1}{n}d(\sin n\omega(2T+\lambda T-\tau) - \sin 2n\omega T) + \frac{a\omega\lambda T + b}{n}\sin n\omega(2T+\lambda T)$$

$$- \frac{a\omega\lambda T - a\omega\tau + b}{n}\sin n\omega(2T+\lambda T-\tau)] + \frac{a}{n^2}(\cos n\omega(2T+\lambda T) - \cos n\omega(2T+\lambda T-\tau))]$$

$$+[\frac{1}{n}d(\sin n\omega(3T+\lambda T-\tau) - \sin 3n\omega T) + \frac{a\omega\lambda T + b}{n}\sin n\omega(3T+\lambda T)$$

$$- \frac{a\omega\lambda T - a\omega\tau + b}{n}\sin n\omega(3T+\lambda T-\tau)] + \frac{a}{n^2}(\cos n\omega(3T+\lambda T) - \cos n\omega(3T+\lambda T-\tau))]$$

$$+[\frac{1}{n}d(\sin n\omega(4T+\frac{2\lambda T}{3}) - \sin 4n\omega T)] + [\frac{1}{n}d(\sin n\omega(5T+\frac{\lambda T}{3}) - \sin 5n\omega T)]]$$

แทนค่า  $a\omega(\lambda T - \tau) + b = 1d$  และ  $a\omega\lambda T + b = 1d'$

$$a_n = \frac{2}{\pi} [ [\frac{1}{n}d(\sin n\omega(\lambda T - \tau) - \sin 2n\lambda\omega T) + \frac{1}{n}d'\sin n\lambda\omega T - \frac{1}{n}d\sin n\omega(\lambda T - \tau)]$$

$$+ \frac{a}{n^2}(\cos n\lambda\omega T - \cos n\omega(\lambda T - \tau))] ]$$

$$+ [\frac{1}{n}d(\sin n\omega(T+\lambda T-\tau) - \sin n\omega(T+\frac{\lambda T}{3})) + (\frac{1}{n}d'\sin n\omega(T+\lambda T) - \frac{1}{n}d\sin n\omega(T+\lambda T-\tau))$$

$$+ \frac{a}{n^2}(\cos n\omega(T+\lambda T) - \cos n\omega(T+\lambda T-\tau))] ]$$

$$+ [\frac{1}{n}d(\sin n\omega(2T+\lambda T-\tau) - \sin 2n\omega T) + (\frac{1}{n}d'\sin n\omega(2T+\lambda T) - \frac{1}{n}d\sin n\omega(2T+\lambda T-\tau))$$

$$+ \frac{a}{n^2}(\cos n\omega(2T+\lambda T) - \cos n\omega(2T+\lambda T-\tau))] ]$$

$$+ [\frac{1}{n}d(\sin n\omega(3T+\lambda T-\tau) - \sin 3n\omega T) + (\frac{1}{n}d'\sin n\omega(3T+\lambda T) - \frac{1}{n}d\sin n\omega(3T+\lambda T-\tau))$$

$$+ \frac{a}{n^2}(\cos n\omega(3T+\lambda T) - \cos n\omega(3T+\lambda T-\tau))] ]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+\left[\frac{1}{n}d(\sin n\omega(4T+\frac{2\lambda T}{3})-\sin 4n\omega T)\right]+\left[\frac{1}{n}d(\sin n\omega(5T+\frac{\lambda T}{3})-\sin n\omega T)\right]$$

$$a_n = \frac{2}{n\pi} \left[ \frac{1}{n}d' \sin n\lambda\omega T - \frac{1}{n}d \sin 2n\lambda\omega T + \frac{a}{n^2}(\cos n\lambda\omega T - \cos n\omega(\lambda T - \tau)) \right]$$

$$+\left[\frac{1}{n}d' \sin n\omega(1+\lambda)T - \frac{1}{n}d \sin n\omega(1+\lambda)T + \frac{a}{n^2}(\cos n\omega(1+\lambda)T - \cos n\omega(T+\lambda T - \tau))\right]$$

$$+\left[\frac{1}{n}d' \sin n\omega(2+\lambda)T - \frac{1}{n}d \sin 2n\omega T + \frac{a}{n^2}(\cos n\omega(2+\lambda)T - \cos n\omega(2T+\lambda T - \tau))\right]$$

$$+\left[\frac{1}{n}d' \sin n\omega(3+\lambda)T - \frac{1}{n}d \sin 3n\omega T + \frac{a}{n^2}(\cos n\omega(3+\lambda)T - \cos n\omega(3T+\lambda T - \tau))\right]$$

$$+\left[\frac{1}{n}d(\sin n\omega(4+2\lambda)T - \sin 4n\omega T)\right]+\left[\frac{1}{n}d(\sin n\omega(5+\lambda)T - \sin 5n\omega T)\right]$$

$$a_n = \frac{2}{n\pi} \left[ \frac{1}{n}d'(\sin n\omega\lambda T + \sin n\omega(1+\lambda)T + \sin n\omega(2+\lambda)T + \sin n\omega(3+\lambda)T) \right]$$

$$-\left[\frac{1}{n}d(\sin 2n\omega\lambda T + \sin n\omega(1+\lambda)T + \sin n\omega T + \sin 3n\omega T)\right]$$

$$+\left[\frac{1}{n}d(\sin n\omega(4+2\lambda)T - \sin 4n\omega T + \sin n\omega(5+\lambda)T - \sin 5n\omega T)\right]$$

$$+\left[\frac{a}{n^2}(\cos n\omega\lambda T - \cos n\omega(\lambda T - \tau) + \cos n\omega(1+\lambda)T - \cos n\omega(T+\lambda T - \tau) + \cos n\omega(2+\lambda)T \right.$$

$$\left. - \cos n\omega(2T+\lambda T - \tau) + \cos n\omega(3+\lambda)T - \cos n\omega(3T+\lambda T - \tau)\right]$$

$$a_n = \frac{2}{n\pi} \left[ \frac{1}{n}d'(\sin n\omega\lambda T + \sin n\omega(1+\lambda)T + \sin n\omega(2+\lambda)T + \sin n\omega(3+\lambda)T) \right]$$

$$-\left[\frac{1}{n}d(\sin 2n\omega T + \sin 3n\omega T + \sin 4n\omega T + \sin 5n\omega T)\right]$$

$$+\left[\frac{1}{n}d(-\sin 2n\omega\lambda T - \sin n\omega(1+\lambda)T + \sin n\omega(4+2\lambda)T + \sin n\omega(5+\lambda)T)\right]$$

$$+\left[\frac{a}{n^2}(\cos n\omega\lambda T + \cos n\omega(1+\lambda)T + \cos n\omega(2+\lambda)T + \cos n\omega(3+\lambda)T)\right]$$

$$-\left[\frac{a}{n^2}(\cos(\lambda T - \tau) + \cos n\omega((1+\lambda)T - \tau) + \cos n\omega((2+\lambda)T - \tau) + \cos n\omega((3+\lambda)T - \tau))\right]$$

$$a_n = \frac{2}{n\pi} \left[ \frac{1}{n}d' \frac{(2\sin n\omega\lambda T + n\omega T + n\omega\lambda T \cos n\omega\lambda T - n\omega T - n\omega\tau)}{2} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+2\sin\frac{2nwT+nwT+3nwT+nw\lambda T}{2}\cos\frac{2nwT+nw\lambda T-3nwT-nw\lambda T}{2}]$$

$$-\left[\frac{1}{n}d\left(\frac{2\sin 2nwT+3nwT}{2}\cos\frac{nwT-3nwT}{2}+\frac{2\sin 4nwT+5nwT}{2}\cos\frac{4nwT-5nwT}{2}\right)\right]$$

$$+\left[\frac{1}{n}d\left(\frac{2\sin\frac{2}{3}nw\lambda T-nwT-\frac{1}{3}nw\lambda T}{2}\cos\frac{-\frac{2}{3}nw\lambda T+nwT+\frac{1}{3}nw\lambda T}{2}\right)\right]$$

$$+2\sin\frac{4nwT+\frac{5}{3}nw\lambda T+5nwT+\frac{1}{3}nw\lambda T}{2}\cos\frac{4nwT+\frac{5}{3}nw\lambda T-5nwT-\frac{1}{3}nw\lambda T}{2}]$$

$$+\left[\frac{a}{n^2}\left(\frac{2\cos nw\lambda T+nwT+nw\lambda T}{2}\cos\frac{nw\lambda T-nwT-nw\lambda T}{2}\right)\right]$$

$$+2\cos\frac{2nwT+nw\lambda T+3nwT+nw\lambda T}{2}\cos\frac{2nwT+nw\lambda T-3nwT-nw\lambda T}{2}]$$

$$-\left[\frac{a}{n^2}\left(\frac{2\cos nw\lambda T-nw\lambda T+nwT+nw\lambda T}{2}\cos\frac{nw\lambda T-nw\lambda T-nwT-nw\lambda T+nw\lambda T}{2}\right)\right]$$

$$+2\cos\frac{2nwT+nw\lambda T-nw\lambda T+3nwT+nw\lambda T-nw\lambda T}{2}\cos\frac{2nwT+nw\lambda T-3nwT-nw\lambda T+nw\lambda T}{2}]]$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{1}{n} d' \left( \frac{2\sin(2w\lambda T+nwT)}{2} \cos nwT + \frac{2\sin(5nwT+nw\lambda T)}{2} \cos nwT \right) \right]$$

$$-\left[\frac{1}{n}d\left(\frac{2\sin 5nwT}{2}\cos\frac{nwT}{2}+\frac{2\sin 9nwT}{2}\cos\frac{nwT}{2}\right)\right]$$

$$+\left[\frac{1}{n}d\left(\frac{2\sin-nw\lambda T-nwT}{2}\cos\frac{nw\lambda T-\frac{1}{3}nw\lambda T}{2}+\frac{2\sin 9nwT+nw\lambda T}{2}\cos\frac{nwT-\frac{1}{3}nw\lambda T}{2}\right)\right]$$

$$+\left[\frac{a}{n^2}\left(\frac{2\cos(nw\lambda T+nwT)}{2}\cos\frac{nwT}{2}+\frac{2\cos(5nwT+nw\lambda T)}{2}\cos\frac{nwT}{2}\right)\right]$$

$$-\left[\frac{a}{n^2}\left(\frac{2\cos(nw\lambda T+nwT-nw\lambda T)}{2}\cos\frac{nwT}{2}+\frac{2\cos(5nwT+nw\lambda T-nw\lambda T)}{2}\cos\frac{nwT}{2}\right)\right]$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{21d'}{n} \cos nwT \left( \frac{\sin(nw\lambda T+nwT)}{2} + \frac{\sin(5nwT+nw\lambda T)}{2} \right) \right]$$

$$-\left[\frac{21d'}{n} \cos nwT \left( \frac{\sin 5nwT}{2} + \frac{\sin 9nwT}{2} \right) \right]$$

$$+\left[\frac{21d'}{n} \cos\frac{nw\lambda T-\frac{1}{3}nw\lambda T}{2} \left( \frac{\sin-nw\lambda T-nwT}{2} + \frac{\sin 9nwT+nw\lambda T}{2} \right) \right]$$

$$+\left[\frac{2a}{n^2} \cos nwT \left( \frac{\cos(nw\lambda T+nwT)}{2} + \frac{\cos(5nwT+nw\lambda T)}{2} \right) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-\left[ \frac{2a \cos n\omega T}{n^2} \left( \cos \left( \frac{n\omega \lambda T + n\omega T - n\omega \zeta}{2} \right) + \cos \left( \frac{5n\omega T + 2\omega \lambda T - n\omega \zeta}{2} \right) \right) \right]$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{2d'}{n} \cos n\omega T \left[ 2 \sin \frac{n\omega \lambda T + \frac{1}{2}n\omega T + \frac{5}{2}n\omega T + n\omega \lambda T \cos n\omega \lambda T + \frac{1}{2}n\omega T - \frac{5}{2}n\omega T - n\omega \lambda T}{2} \right] \right.$$

$$\left. - \frac{2d'}{n} \cos n\omega T \left[ 2 \sin \left( \frac{5n\omega T + 9n\omega T}{2} \right) \cos \left( \frac{5n\omega T - 9n\omega T}{2} \right) \right] \right.$$

$$\left. + \frac{2d'}{n} \cos n\omega T \left( 1 - \frac{\lambda}{3} \right) \left[ 2 \sin \left( \frac{-n\omega \lambda T - n\omega T + 9n\omega T + n\omega \lambda T}{2} \right) \cos \left( \frac{-\frac{1}{2}n\omega \lambda T - \frac{1}{2}n\omega T - \frac{9}{2}n\omega T - \frac{1}{2}n\omega \lambda T}{2} \right) \right] / 2 \right.$$

$$\left. + \frac{2a \cos n\omega T}{n^2} \left[ 2 \cos \left( \frac{n\omega \lambda T + \frac{1}{2}n\omega T + \frac{5}{2}n\omega T + n\omega \lambda T}{2} \right) \cos \left( \frac{n\omega \lambda T + \frac{1}{2}n\omega T - 5n\omega T - n\omega \lambda T}{2} \right) \right] \right.$$

$$\left. - \frac{2a \cos n\omega T}{n^2} \left[ 2 \cos \left( \frac{n\omega \lambda T + \frac{1}{2}n\omega T - n\omega \zeta + \frac{5}{2}n\omega T + n\omega \lambda T - n\omega \zeta}{2} \right) \right] \right.$$

$$\left. \cos \left( \frac{n\omega \lambda T + \frac{1}{2}n\omega T - n\omega \zeta - \frac{5}{2}n\omega T - n\omega \lambda T + n\omega \zeta}{2} \right) \right]$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \left[ \frac{4d'}{n} \cos n\omega T \sin n\omega T \left( \lambda + \frac{3}{2} \right) \cos n\omega T \right] - \left[ \frac{4d'}{n} \cos n\omega T \sin 7n\omega T \cos n\omega T \right] \right.$$

$$\left. + \left[ \frac{4d'}{n} \cos n\omega T \left( 1 - \frac{\lambda}{3} \right) \sin 2n\omega T \cos n\omega T \left( \lambda + \frac{5}{2} \right) \right] + \left[ \frac{4a \cos n\omega T \cos n\omega T \left( \lambda + \frac{3}{2} \right) \cos n\omega T}{n^2} \right] \right.$$

$$\left. - \left[ \frac{4a \cos n\omega T \cos \left( n\omega \left( \lambda + \frac{3}{2} \right) T + n\omega \zeta \right) \cos n\omega T}{n^2} \right] \right]$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \left[ \frac{4d'}{n} \cos n\omega T \sin n\omega T \left( \lambda + \frac{3}{2} \right) \cos n\omega T \right] - \left[ \frac{4d'}{n} \cos n\omega T \sin 7n\omega T \cos n\omega T \right] \right.$$

$$\left. + \left[ \frac{4d'}{n} \cos n\omega T \left( 1 - \frac{\lambda}{3} \right) \sin 2n\omega T \cos n\omega T \left( \lambda + \frac{5}{2} \right) \right] \right.$$

$$\left. + \left[ \frac{4a \cos n\omega T \cos n\omega T \left( \cos n\omega T \left( \lambda + \frac{3}{2} \right) - \cos \left( n\omega \left( \lambda + \frac{3}{2} \right) T - n\omega \zeta \right) \right)}{n^2} \right] \right]$$

หมายเหตุ

$$\cos n\omega T \left( \lambda + \frac{3}{2} \right) - \cos \left( n\omega \left( \lambda + \frac{3}{2} \right) T - n\omega \zeta \right)$$

$$= 2 \sin \frac{n\omega \lambda T + \frac{3}{2}n\omega T + n\omega \lambda T + \frac{3}{2}n\omega T - n\omega \zeta}{2} \sin \frac{n\omega \lambda T + \frac{3}{2}n\omega T - n\omega \lambda T - \frac{3}{2}n\omega T + n\omega \zeta}{2}$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{4d'}{n} \cos n\omega T \sin n\omega T \left( \lambda + \frac{3}{2} \right) \cos n\omega T - \frac{4d'}{n} \cos n\omega T \sin 7n\omega T \cos n\omega T \right.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+4 \frac{d \cos n\omega T}{n} \frac{(1-\lambda)}{2} \frac{\sin 2n\omega T \cos n\omega T (\lambda+5)}{3} \frac{2}{2}$$

$$+4 \frac{a \cos n\omega T \cos(n\omega T) 2 \sin(n\omega T (\frac{3+\lambda}{2}) - n\omega T) \sin n\omega T}{n^2} \frac{2}{2}$$

$$a = (d - d') / \omega T$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ 4 \frac{d'}{n} \frac{\cos n\omega T \sin n\omega T (\lambda+3)}{2} \cos n\omega T - 4 \frac{d \cos n\omega T \sin 7n\omega T \cos n\omega T}{n} \frac{2}{2} \right]$$

$$+4 \frac{d \cos n\omega T (1-\lambda)}{n} \frac{\sin 2n\omega T \cos n\omega T (\lambda+5)}{3} \frac{2}{2}$$

$$+ \frac{(d-d') 4 \cos n\omega T \cos(n\omega T) 2 \sin(n\omega T (\frac{3+\lambda}{2}) - n\omega T) \sin n\omega T}{\omega T n^2} \frac{2}{2}$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \left[ 4 \frac{d'}{n} \frac{\cos n\omega T \sin n\omega T (\lambda+3)}{2} \cos n\omega T - 4 \frac{d \cos n\omega T \sin 7n\omega T \cos n\omega T}{n} \frac{2}{2} \right]$$

$$+4 \frac{d \cos n\omega T (1-\lambda)}{n} \frac{\sin n\omega T \cos n\omega T (\lambda+5)}{3} \frac{2}{2}$$

$$+4 \frac{d \cos n\omega T \cos n\omega T 2 \sin n\omega T (\frac{3+\lambda}{2}) - n\omega T}{n^2 \omega T} \frac{\sin n\omega T}{2}$$

$$-4 \frac{d' \cos n\omega T \cos n\omega T 2 \sin n\omega T (\frac{3+\lambda}{2}) - n\omega T}{n^2 \omega T} \frac{\sin n\omega T}{2}$$

$$a_n = \frac{2}{\pi} \frac{4 \cos n\omega T \cos n\omega T (d - \frac{2 \sin n\omega T ((\lambda+3)T - T) \sin n\omega T - \sin 7n\omega T}{\omega T})}{n}$$

$$+ \frac{2}{\pi} \frac{4 (d \sin 2n\omega T \cos(n\omega T (\frac{5+\lambda}{2})) \cos(\frac{n\omega T (1-\lambda)}{3}))}{4}$$

$$+ \frac{2}{\pi} \frac{4 \cos n\omega T \cos n\omega T (d' [\sin n\omega T (\lambda+3) - \frac{2 \sin((\lambda+3)n\omega T - n\omega T) \sin n\omega T}{\omega T}])}{n}$$

$$a_n = \frac{8 \cos n\omega T \cos n\omega T (d [\frac{2 \sin((\lambda+3)T - T) \sin n\omega T - \sin 7n\omega T}{\omega T}])}{n}$$

$$+ \frac{8}{\pi n} (d [2 * 2 \sin n\omega T \cos n\omega T \cos(n\omega T (\frac{5+\lambda}{2})) \cos(\frac{n\omega T (1-\lambda)}{3})])$$

$$+ \frac{8 \cos n\omega T \cos n\omega T (d' [\sin n\omega T (\lambda+3) - \frac{2 \sin((\lambda+3)n\omega T - n\omega T) \sin n\omega T}{\omega T}])}{n}$$

$$a_n = \frac{8 \cos n\omega T \cos n\omega T (d [\frac{2 \sin n\omega T ((\lambda+3)T - T) \sin n\omega T - \sin 7n\omega T}{\omega T}])}{n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+4s \frac{\sin n\omega T}{2} \cos(n\omega T \frac{5+\lambda}{2}) \cos(n\omega T \frac{1-\lambda}{2}) Id$$

26

$$+ [s \frac{\sin n\omega T (\lambda+3)}{2} - \frac{2 \sin((\lambda+3)n\omega T - n\omega \tau)}{2} \frac{\sin n\omega \tau}{2} Id']$$

และจะสามารถหา  $b_n$  ได้ในทำนองเดียวกันกับ  $a_n$ .

$$\text{ได้ } b_n = \frac{8}{n\pi} \frac{\cos n\omega T}{2} \cos n\omega T [ [-\frac{2 \cos n\omega ((\lambda+3)T - \tau)}{2} \frac{\sin n\omega \tau}{2} + \cos 7n\omega T$$

$$+4s \frac{\sin n\omega T}{2} \sin(n\omega T \frac{5+\lambda}{2}) \cos(n\omega T \frac{1-\lambda}{2}) Id$$

$$+ [-\cos n\omega T (\lambda+3) + \frac{2 \cos((\lambda+3)n\omega T - n\omega \tau)}{2} \frac{\sin n\omega \tau}{2} Id']$$

แทนค่า  $\omega T = \frac{\pi}{6}$ ,  $\omega \tau = \alpha$  และ  $a_n, b_n$  ลงใน Fourier series

$$\begin{aligned} \therefore u = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8 \cos n\pi}{6} \frac{\cos n\pi}{12} [ [ \frac{2 \sin n\alpha \sin(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{2})n}{2} - \frac{\sin 7n\pi}{12} + 4s \frac{\sin n\pi}{12} \cos(5+\lambda) \frac{n\pi}{12} \\ \cos(1-\lambda) \frac{n\pi}{12} Id + (\frac{\sin(3+\lambda) \frac{n\pi}{2} - 2 \sin n\alpha \sin(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{2})n}{2} Id' ] \cos n\omega t \\ + [ \frac{2 \sin n\alpha \cos(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{2})n}{2} + \cos 7n\pi + 4s \frac{\sin n\pi}{12} \sin(5+\lambda) \frac{n\pi}{12} \cos(1-\lambda) \frac{n\pi}{12} Id \\ + (-\cos(3+\lambda) \frac{n\pi}{2} + \frac{2 \sin n\alpha \cos(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{6} - \frac{\alpha}{2})n}{2} Id' ] \sin n\omega t \end{aligned}$$

แทนค่า  $\alpha = 0$

$$\begin{aligned} u = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{16 \cos n\pi}{12} \frac{\cos n\pi}{6} [ \frac{\sin n\pi (\lambda-2)}{12} + 2s \frac{\sin n\pi}{12} \cos n\pi (1-\frac{\lambda}{3}) \\ [ \frac{\cos n\pi (5+\lambda)}{12} \cos n\omega t + \frac{\sin n\pi (5+\lambda)}{12} \sin n\omega t ] Id \end{aligned}$$

```

program calculate_harmonics;
uses printer;
var Id, Idd, Tau, wt, Lambda,
    Iu11 : Real;
    I, J : byte;

const lst='';

function Iu(N : Integer; Lambda : Real; Tau : Real) : Real;
var X, Temp, An, Bn, A, S, C : Real;

begin
    X := N * Pi;
    A := 2/(N* Tau) * Sin(N* Tau/2);
    S := A * Sin((Pi/4+Lambda*Pi/6-Tau/2)*N);
    C := A * Cos((Pi/4+Lambda*Pi/6-Tau/2)*N);
    Temp := B/X * Cos(X/12) * Cos(X/6);

    An := Temp * (
        ( S - Sin(7*X/12) + 4*Sin(X/12)*Cos((5+Lambda)*X/12)*Cos((1-Lambda/3)*X/12) ) * Id +
        ( Sin((1.5+Lambda)*X/6) - S ) * Idd );

    Bn := Temp * (
        ( Cos(7*X/12) - C + 4*Sin(X/12)*Sin((5+Lambda)*X/12)*Cos((1-Lambda/3)*X/12) ) * Id +
        ( C - Cos((1.5+Lambda)*X/6) ) * Idd );

    Iu := Sqrt( An*An + Bn*Bn);
end;

(----- main -----)

begin
    Id := 5; Idd := 3.5;
    Iu11 := Iu(1,1,Pi/54);
    I := 1;

    writeln(lst,chr(015),'Harmonic contents in PkM current with distortion':B5);
    writeln(lst,chr(015));
    writeln(lst,chr(015),'-----');
    writeln(lst,chr(015),'order    0.1    0.2    0.3    0.4    0.5    0.6    0.7    0.8    0.9    1.0');
    writeln(lst,chr(015),'-----');
    for J:=1 to 15 do
    begin
        Lambda := 0.1;
        write(lst,chr(015),J:2,' ');
        while Lambda<1.01 do
        begin
            Tau := Lambda*Pi/54;
            write(lst,chr(015),Iu(J,Lambda,Tau)/Iu11:9:5);
            Lambda := Lambda + 0.1
        end;
        writeln(lst,chr(015));
        I := I+2;
    end;
    writeln(lst,chr(015),'-----');
end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

program calculate_harmonic_with_out_distortion;

uses printer;

var Id,wt,Lamda,Iu11 : Real;
    I,J : byte;

const lst='';

function Iu(N : Integer; Lamda : Real) : Real;
var nPi,Temp,An,Bn : Real;
begin
    nPi := N * Pi;
    Temp := Cos(nPi/12) * Cos(nPi/6) * ( Sin((Lamda-2)*nPi/12) +
        2 * Sin(nPi/12) * Cos((1-Lamda/3)*nPi/12) );
    An := Temp * Cos((5+Lamda)*nPi/12);
    Bn := Temp * Sin((5+Lamda)*nPi/12);
    Iu := 16/nPi * Sqrt( An*An + Bn*Bn);
end;

(----- main -----)

begin
    Id := 5;
    I := 1;
    Iu11 := Iu(1,1);
    writeln(lst,chr(015),'Harmonic contents in PWM current without distortion'sB5);
    writeln(lst,chr(015));
    writeln(lst,chr(015),'-----');
    writeln(lst,chr(015),'order 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0');
    writeln(lst,chr(015),'-----');
    for J:=1 to 15 do
    begin
        Lamda := 0.1;
        write(lst,chr(015),I:2,' ');
        while Lamda<=1 do
        begin
            write(lst,chr(015),Iu(I,Lamda)/Iu11:9:5);
            Lamda := Lamda + 0.1
        end;
        writeln(lst,chr(015));
        I := I+2;
    end;
    writeln(lst,chr(015),'-----');
end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

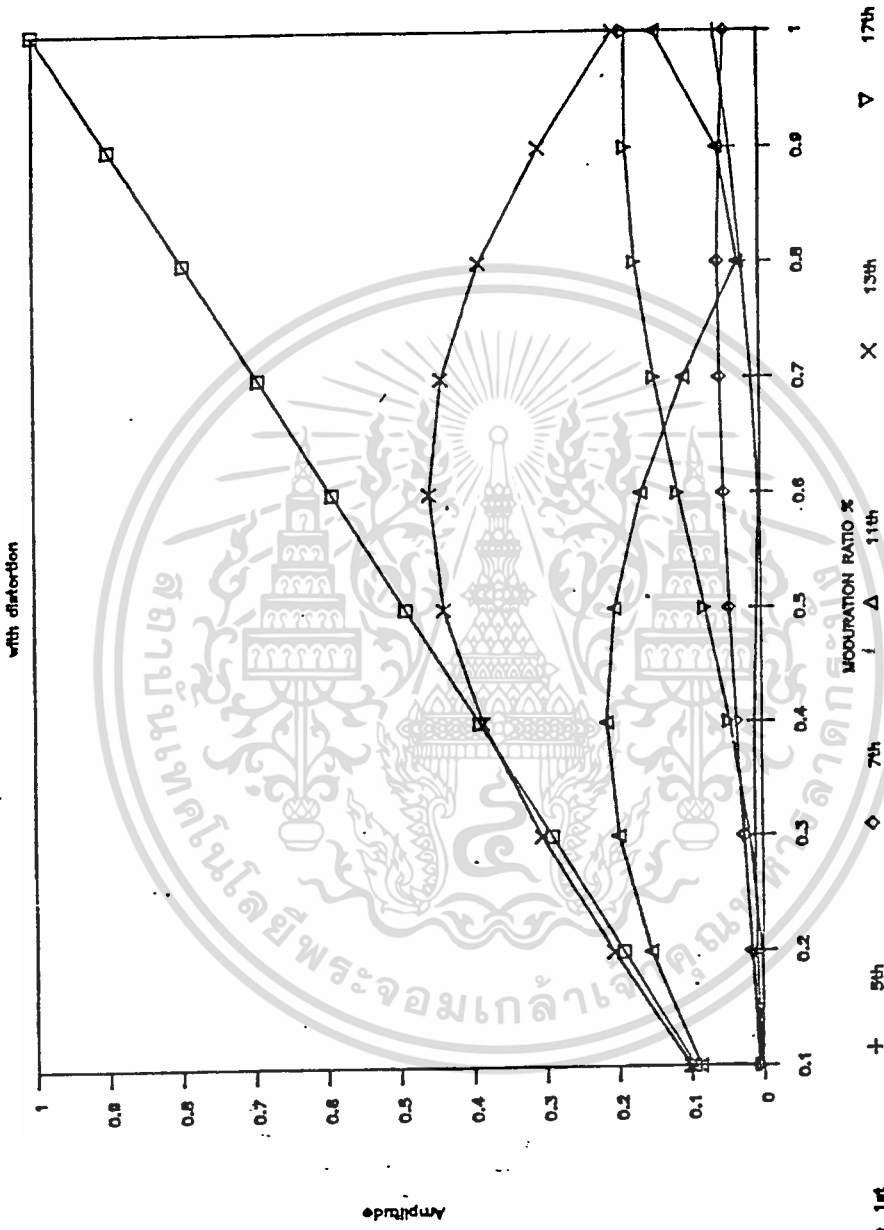
Harmonic contents in PWM current without distortion

order	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	0.09560	0.19235	0.29019	0.38905	0.48887	0.58958	0.69112	0.79341	0.89640	1.00000
3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00595	0.00990	0.01155	0.01059	0.00680	0.00000	0.00994	0.02308	0.03942	0.05890
7	0.00783	0.01715	0.02711	0.03686	0.04552	0.05227	0.05636	0.05711	0.05398	0.04655
9	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
11	0.08713	0.15423	0.19630	0.21051	0.19643	0.15605	0.09364	0.01536	0.07124	0.15789
13	0.10107	0.20652	0.30444	0.38354	0.43451	0.45105	0.43061	0.37470	0.28871	0.18132
15	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
17	0.00338	0.00226	0.01858	0.04490	0.07830	0.11413	0.14689	0.17124	0.18305	0.18016
19	0.00893	0.01794	0.02097	0.01347	0.00641	0.03728	0.07472	0.11232	0.14310	0.16119
21	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
23	0.07612	0.10045	0.06743	0.00746	0.09327	0.15467	0.16460	0.11394	0.01504	0.10249
25	0.10323	0.19396	0.23425	0.20562	0.11674	0.00000	0.10164	0.15220	0.13722	0.06947
27	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
29	0.00028	0.01650	0.04836	0.08299	0.10507	0.10394	0.07950	0.04230	0.00793	0.01124

Harmonic contents in PWM current with distortion

order	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	0.09567	0.19248	0.29035	0.38923	0.48905	0.58974	0.69125	0.79351	0.89645	1.00000
3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00567	0.00941	0.01090	0.00989	0.00628	0.00284	0.01124	0.02406	0.04013	0.05931
7	0.00752	0.01651	0.02615	0.03561	0.04405	0.05068	0.05475	0.05561	0.05274	0.04572
9	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
11	0.08737	0.15514	0.19840	0.21434	0.20243	0.16449	0.10457	0.02880	0.05716	0.14311
13	0.10105	0.20651	0.30478	0.38486	0.43759	0.45669	0.43546	0.38707	0.30445	0.19974
15	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
17	0.00318	0.00268	0.01868	0.04462	0.07764	0.11328	0.14623	0.17127	0.18427	0.18297
19	0.00861	0.01738	0.02043	0.01335	0.00646	0.03623	0.07305	0.11051	0.14186	0.16128
21	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
23	0.07659	0.10245	0.07179	0.00287	0.08626	0.14968	0.16440	0.12030	0.02851	0.08773
25	0.10322	0.19454	0.23685	0.21149	0.12584	0.01039	0.09353	0.15019	0.14364	0.08369
27	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
29	0.00046	0.01658	0.04795	0.08257	0.10543	0.10583	0.08302	0.04655	0.01163	0.01099

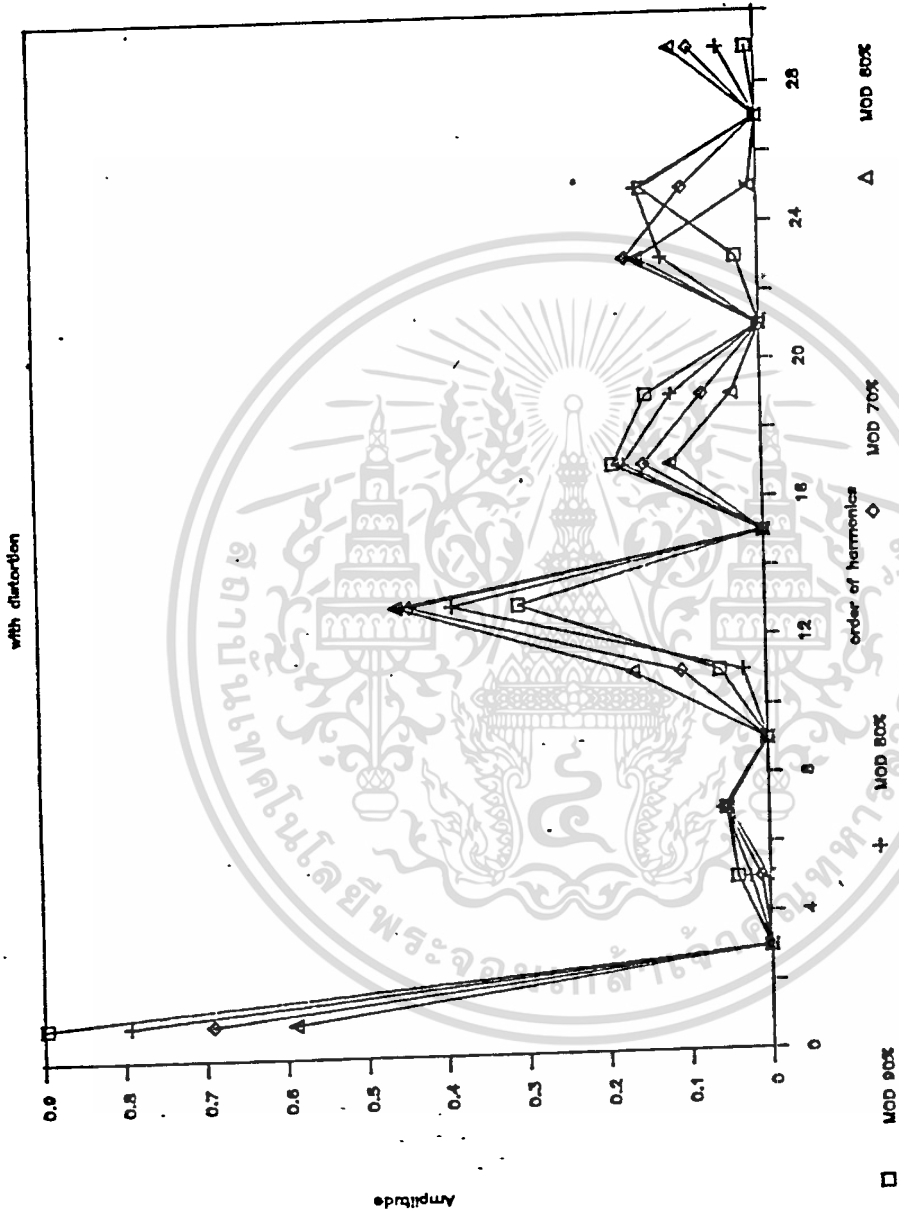
# GRAPH MOD VS orders of harmonics



ณ 1๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GRAPH orders of harmonics mod 60%—90%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำได้โดยนำฟังก์ชัน แต่ละช่วงมายกกำลังสอง หา mean แล้วถอดกรณฑ์ ที่ 2 ดังนี้

เนื่องจากรูปคลื่นเป็นฟังก์ชันคี่และสมมาตรกัน ดังนั้นจะยกกำลังสองเพียงครึ่งคาบ และหาค่าเฉลี่ยเพียงครึ่งคาบเช่นกัน

ช่วง	$f_n(x)$	$f_n^2(x)$
1	$I_d$	$I_d^2$
2	$-mt + (\Delta V(\Delta T) - 1)\Delta V + I_d$	$(-mt + k_2)^2$
3	$I_d$	$I_d^2$
4	$-mt + (\Delta V(T + \lambda T) - 1)\Delta V + I_d$	$(-mt + k_4)^2$
5	$I_d$	$I_d^2$
6	$-mt + (\Delta V(2T + \lambda T) - 1)\Delta V + I_d$	$(-mt + k_6)^2$
7	$I_d$	$I_d^2$
8	$-mt + (\Delta V(3T + \lambda T) - 1)\Delta V + I_d$	$(-mt + k_8)^2$
9	$I_d$	$I_d^2$
10	$I_d$	$I_d^2$

ช่วงที่ 1, 3, 5, 7, 9, 10 มีพื้นที่ใต้กราฟ  $f^2(x)$  คือ

$$= I_d \left[ \frac{\lambda T - T}{3} + \frac{2\lambda T - T}{3} + (\lambda T - T) + (\lambda T - T) + \frac{2\lambda T + 2T}{3} \right]$$

$$= I_d \left[ \frac{12\lambda T - 4T}{3} \right]$$

$$= 4 I_d (\lambda T - T)$$

$$f(t) = \alpha t + \beta$$

$$\begin{aligned} \int_a^b f^2(t) dt &= \int_a^b (\alpha t + \beta)^2 dt \\ &= \frac{1}{3\alpha} (\alpha t + \beta)^3 \Big|_a^b \\ &= \frac{1}{3\alpha} (f(t))^3 \Big|_a^b \end{aligned}$$

$$\text{จากรูป ในช่วงที่มีพื้นที่ของ } f_2(t) = \frac{1}{3\alpha} [f^3(\lambda T) - f^3(\lambda T - \tau)] \quad \left| \text{เมื่อ } \alpha = -\frac{\Delta V}{T} \right|$$

$$\text{และพื้นที่ใต้ } f_2(t) = \text{พื้นที่ใต้ } f_4(t) = \text{พื้นที่ใต้ } f_6(t) = \text{พื้นที่ใต้ } f_8(t)$$

ดังนั้นพื้นที่รวมจากช่วงที่ 2 ถึง ๘

$$\begin{aligned} \text{ได้} \quad &= \frac{4}{3\alpha} [f^3(\lambda T) - f^3(\lambda T - \tau)] \\ &= \frac{4}{3\alpha} [(Id - \Delta V)^3 - Id^3] \end{aligned}$$

$$\text{พื้นที่รวมช่วงที่ 1 ถึง 10} = 4Id^2[\lambda T - \tau] + \frac{4}{3\alpha} [(Id - \Delta V)^3 - Id^3]$$

$$\text{ดังนั้น } I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{t} [4Id^2[\lambda T - \tau] + \frac{4}{3\alpha} [(Id - \Delta V)^3 - Id^3]]}$$

```

program calculate_rms_of_line_current;

uses printer;

const tal = 300e-6; { sec }
      Id = 1;
      Idd = 0.9;    { of Id }
      t = 1.66666e-3; { sec }
      lst = '';

var sum_square1,sum_square2,mean_square,rms,
    sum_square,Id3,Idd3,landa:real;

begin
  landa := 0.4;
  Id3:=Id*Id*Id;
  Idd3:=Idd*Idd*Idd;
  writeln(lst,'-----');
  writeln(lst,'for tal = ',tal/1e-6:5:2,' microsec');
  writeln(lst,'-----');
  repeat
    sum_square1:=4*(landa*t-tal)*sqr(Id);
    sum_square2:=4*tal*(Id3-Idd3)/(3*(1-Idd)*Id);
    sum_square:=sum_square1+sum_square2;
    mean_square:=sum_square/(6*t);
    rms:=sqrt(mean_square);
    writeln(lst,'landa = ',landa:100:4:2,'% rms = ',rms:5:4);
    landa:=landa+0.05;
  until landa > 0.95 ;
  writeln(lst,'-----');
end.

```

---

```
for tal = 300.00 microsec
```

---

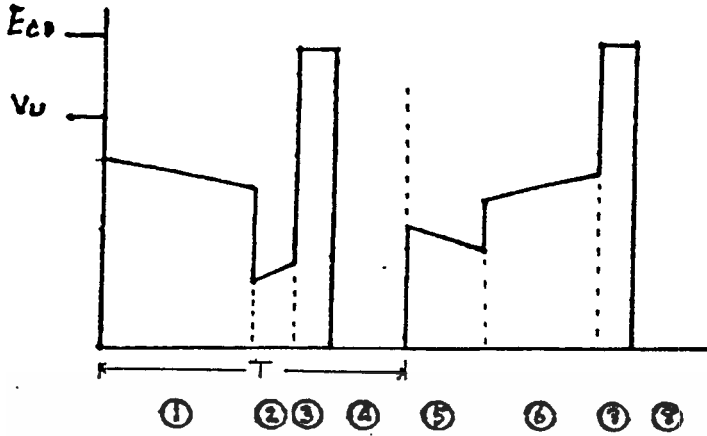
```

landa = 40.00% rms = 0.5050
landa = 45.00% rms = 0.5370
landa = 50.00% rms = 0.5672
landa = 55.00% rms = 0.5959
landa = 60.00% rms = 0.6232
landa = 65.00% rms = 0.6494
landa = 70.00% rms = 0.6746
landa = 75.00% rms = 0.6989
landa = 80.00% rms = 0.7223
landa = 85.00% rms = 0.7450
landa = 90.00% rms = 0.7671
landa = 95.00% rms = 0.7825

```

---

*I<sub>rms</sub> (rms)*



รูป 2.11

พื้นที่ใต้กราฟทุก ๆ ช่วง 2T จะเท่ากัน โดยจะเท่ากับ

$$\text{area1} = 0.5 + \cos(2\pi/3 + 2\lambda t/3)$$

$$\text{area2} = \cos(2\lambda t/3) - \cos((\lambda t) - \text{tal})$$

$$\text{area3} = \text{tal} * Ecd$$

$$\text{area4} = 0.866 + \cos(5\pi/6 + \lambda t/3)$$

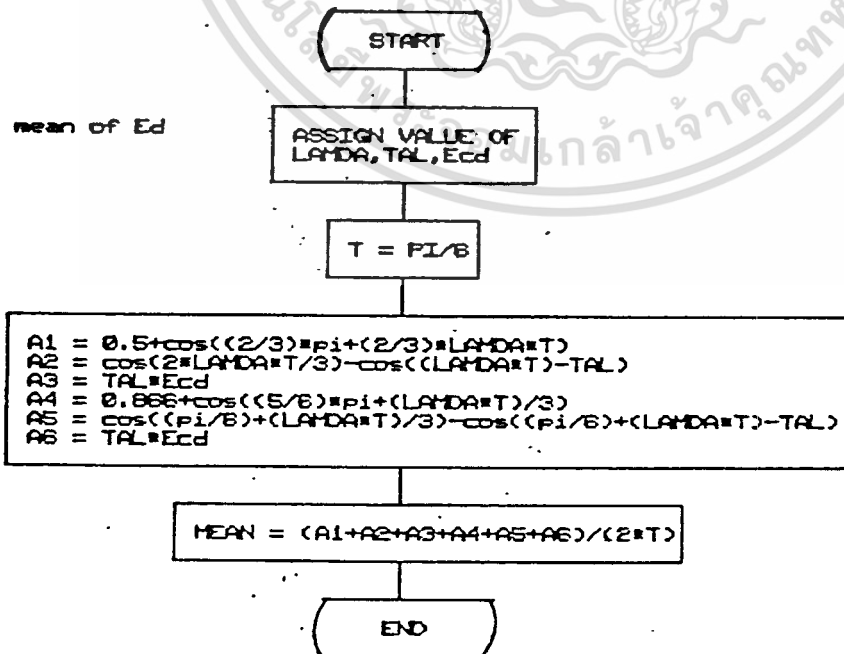
$$\text{area5} = \cos(\pi/6 + \lambda t/3) - \cos(\pi/6 + \lambda t - \text{tal})$$

$$\text{area6} = \text{tal} * Ecd$$

$$\text{mean} = \left( \sum_{n=1}^6 \text{area}(n) \right) / 2T \quad ; T = 1/600 \text{ sec}$$

มีไฟล์ชาร์จและโปรแกรมดังนี้

Calculate mean of Ed



```

program Calculating_mean_of_Ed ;
uses printer;

var Ed,Vc,lamda,tal,area,mean,T: real;
    A1,A2,A3,A4,A5,A6 : real;

const pi = 3.141592654;
      x = 1; { per unit }
      lst = '';

procedure assign_value;

begin
  writeln (lst,'Input the value of parameter');
  writeln (lst);
  writeln (lst,'tal in microsec ');
  readln (tal);
  writeln (lst,tal:5:2);
  writeln (lst,'Vc in percent of peakvoltage line-line');
  readln (Vc);
  writeln (lst,Vc:4:2);
end;

{----- main -----}

begin
  assign_value;

  T:=pi/6;
  lamda:=0.4;
  tal:=tal*pi*1e-4;
  Vc:=Vc/100;
  writeln(lst,'-----');
  writeln(lst,'lamda mean Id');
  writeln(lst,'-----');
  repeat
    A1:=-x*(0.5+cos((2/3)*pi+(2/3)*lamda*T));
    A2:=x*(cos((2/3)*lamda*T)-cos((lamda*T)-tal));
    A3:=tal*Vc;
    A4:=-x*(0.666025403+cos((5/6)*pi+(lamda*T)/3));
    A5:=x*(cos((1/6)*pi+(lamda*T)/3)-cos((1/6)*pi+(lamda*T)-tal));
    A6:=tal*Vc;
    area := A1+A2+A3+A4+A5+A6;
    mean := area/(2*T);
    writeln (lst,lamda*100:4:2,'%',mean:6:3);
    lamda:=lamda+0.05;
  until lamda > 0.95;
  writeln(lst,'-----');
end.

```

Input the value of parameter

tal in microsec	300.00
Vc in percent of peakvoltage line-line	150.00
<hr/>	
landa mean Id	
<hr/>	
40.00%	0.434
45.00%	0.462
50.00%	0.490
55.00%	0.519
60.00%	0.549
65.00%	0.579
70.00%	0.609
75.00%	0.640
80.00%	0.672
85.00%	0.704
90.00%	0.736
95.00%	0.769

## 2.4 ผลของการเปลี่ยน จำนวนพัลส์, แลมบ์ดา, tal, เฟสชิฟ

### 2.4.1 ผลของการเปลี่ยน แลมบ์ดา

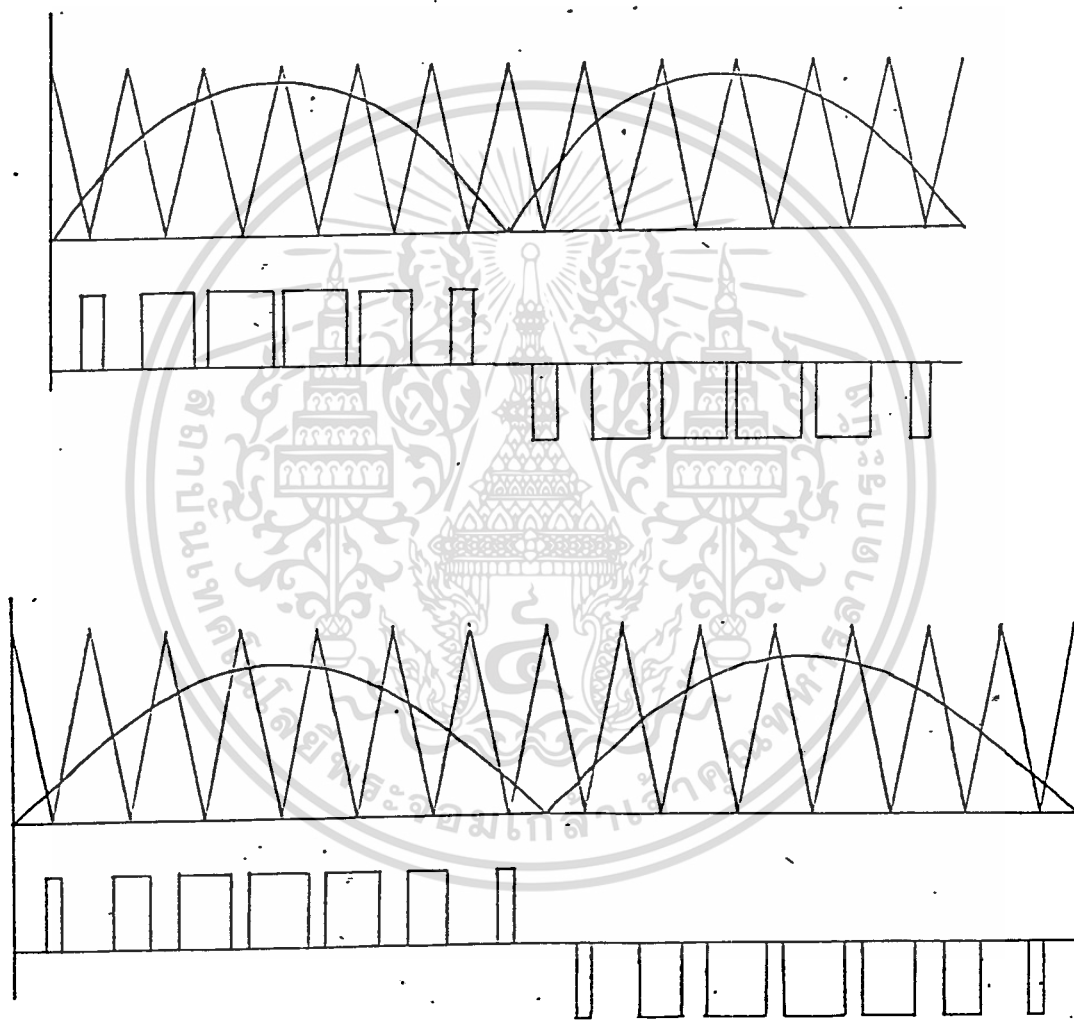
จากการคำนวณข้างต้น จะเห็นได้ชัดว่า แลมบ์ดา มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความกว้างของพัลส์กระแส นั่นคือที่แลมบ์ดาต่างกันจะเป็นผลให้ RMS ของกระแสต่างกันไปด้วย เช่นจะเปลี่ยนจาก 0.80 → 0.9 Irms จะเปลี่ยนจาก 0.7223 → 0.7617 โดยการเปลี่ยน แลมบ์ดา ทำได้โดยเปลี่ยนอัตรามอดดูเลชั่น (ถ้าอัตรามอดดูเลชั่นต่ำ แลมบ์ดาจะมาก)

### 2.4.2 จำนวนพัลส์

เป็นผลมาจากการเปลี่ยนอัตราส่วนความถี่ของการมอดดูเลชั่น (frequency modulation ratio) โดยถ้าอัตราส่วนความถี่สูง จำนวนพัลส์จะมาก จำนวนพัลส์จะมีผลโดยตรงต่อพื้นที่ใต้กราฟของกระแสในแต่ละช่วง หากจำนวนพัลส์มาก จะทำให้พื้นที่เฉลี่ยใต้กราฟ ณ จุดใด ๆ จะใกล้เคียงกับคลื่นรูปซายน์มากขึ้น เช่น ที่อัตราส่วนความถี่ 1/24 จะทำให้พัลส์ 24 พัลส์ ใน 1 รอบ จะมีความใกล้เคียงคลื่นรูปซายน์มากกว่าที่ 1/12 ซึ่งจะให้นพัลส์เพียง 12 พัลส์ ใน 1 รอบ ซึ่งความเหมือนมากน้อยต่างกันนี้จะมผลโดยตรงถึงค่าฮาโมนิกส์ ที่อันดับต่าง ๆ ยิ่งคล้ายรูปซายน์มากก็จะมีฮาโมนิกส์น้อยลง นอกจากนี้แล้วยังจะมีผลโดยตรง ถึงตัวประกอบกำลังด้วยเนื่องจาก

P.F. = displacement factor \* distortion factor

เมื่อรูปคลื่นกระแสอินเฟสกับรูปคลื่นคัทคา displacement factor = 1 ,P.F.= distortion factor โดยตรง = แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนพัลส์ ก็จะมีขีดจำกัดอยู่ที่ความเร็วในการสวิตช์ซึ่งของ จีทีโอ เพราะถ้าจีทีโอจะต้องมีความถี่ในการสวิตช์ซึ่งมากจะทำให้ความเชื่อถือได้ของการทำงานลดลง และเป็นการยากต่อการออกแบบวงจรขับเคลื่อนเช่นกัน ดังนั้นทางออกของปัญหาดังกล่าวคือ ค้นหาจำนวนพัลส์ต่ำสุดที่จะมีผลทำให้ distortion factor มีค่าอยู่ในช่วงที่พอยอมรับได้ค่าหนึ่งแล้วจึงปรับ displacement factor เพื่อให้ควบคุมตัวประกอบกำลังได้โดยตรงเพียงอย่างเดียว ในโครงการนี้ใช้ 12 พัลส์ ซึ่งให้ distortion factor =



รูป 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลา  $t_{a1}$  เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการดิซชาร์จกระแสจากวงจรช่วยออกสู่ภาวะ โดยการคายประจุ (กระแส) ออกสู่ภาวะนี้จะเป็นผลโดยตรงกับศักดาที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุในวงจรตัวนั้นจาก

$$c = Q_{total}/v_c$$

$$Q_{total} = Q_1 - Q_2$$

$Q_1$  = ประจุที่ผ่านบริดจ์ไดโอดเข้า  $c$  เนื่องจากสไปร์คของคักดาในลายน์

$Q_2$  = ประจุที่ผ่านออกสู่ภาวะ เมื่อ จี7 จี8 ทำงาน

$$I_d = d Q_2/dt \quad ; t = 0 \text{ to } t_{a1}$$

$$c = (Q_1 - \int I_d dt)/v_c$$

จะพบว่าหาก  $t_{a1}$  มากขึ้น  $v_c$  จะต้องน้อยลงเพื่อให้ค่า  $C$  คงที่ ดังนั้น ถ้า  $t_{a1}$  น้อยเกินไปจะทำให้การถ่ายเทประจุไม่สะดวก วงจรช่วยจะทำงานได้ไม่เต็มที่ที่มีผลถึงประสิทธิภาพรวมของระบบด้วย แต่อย่างไรก็ตามค่า  $t_{a1}$  จะกำหนดโดยตรงจากค่า  $\lambda m d e * T / 3$  ดังนั้นหากปรับค่าแลมบ์ดา ลงมาก ๆ จะมีผลถึงการให้ค่า  $t_{a1}$  แก่วงจรช่วยด้วยนั่นคือ เมื่อแลมบ์ดาต่ำ ประสิทธิภาพรวมของระบบจะลดลง

#### 2.4.4 มุมทริก จีทีโอ ในวงจรหลัก (phase shift)

มุมทริกของจีทีโอหลัก จะเท่ากับมุมของกระแสในลายน์ เพราะจากการออกแบบข้างต้น ดังที่อธิบายไว้แล้วในการออกแบบสัญญาณทริกและเพราะว่าปรับให้  $M_u$  มีค่าน้อยในช่วงที่ยอมรับได้แล้วจากหัวข้อจำนวนพัลส์ ดังนั้นค่าตัวประกอบกำลังจะขึ้นอยู่กับ  $\cos \theta$  โดยตรง ซึ่งก็จะปรับได้โดยปรับมุมทริกจีทีโอหลัก

กล่าวโดยสรุปแล้ว สามารถปรับตัวประกอบกำลังได้โดยปรับมุมทริก จีทีโอหลักโดยตัวประกอบกำลังนี้จะไม่ขึ้นกับลักษณะของภาระทางเอซีลายน์ จึงนับเป็นข้อได้เปรียบประการหนึ่งของจีทีโอคอนเวอเตอร์

### 2.5 วิธีการสร้างสัญญาณทริก

#### 2.5.1 ใช้วงจรอิลคทรอนิกส์

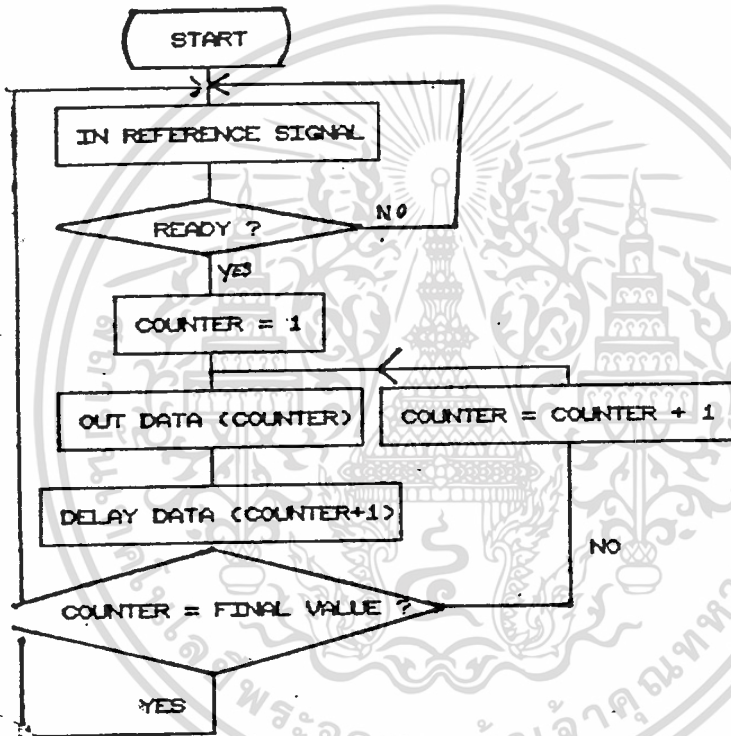
หลักการพื้นฐานคือ นำเอาสัญญาณทั้ง 3 เฟสของคักดาในลายน์มาแปลงให้เป็นสัญญาณคักดาต่ำ และมีการเลื่อนเฟสออกไปอีกเฟสละ 30 องศา โดยอาจจะใช้หลักการของหม้อแปลง  $y-\delta-y$  หรือใช้วงจร RC เลื่อนเฟสก็ได้ จากนั้นนำสัญญาณทั้ง 6 ผ่านเกท ต่าง ๆ เพื่อทำให้ได้สัญญาณทริกทั้ง 6 ตามต้องการข้างต้น โดยจะไม่กล่าวถึงในที่นี้แต่จะมีใช้เปรียบเทียบรายละเอียดในภาคผนวก

#### 2.5.2 ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

แบ่งออกเป็น 2 แบบ

แบบนี้จะมีการบันทึกรูปแบบ(PATTARN) รหัสกำหนดเวลา และทุก ๆ tab ลงใน รอม ภายนอก แล้ว ซีพียู จะเป็นผู้นำรหัสรูปแบบออกพอร์ต และนำรหัสกำหนดเวลาส่ง ให้ TIMER นับจนเสร็จก็จะ int ซีพียู เพื่อให้ ซีพียู ส่งรหัสกำหนดเวลาตัวต่อไปให้ TIMER และส่งรหัสรูปแบบออกพอร์ต เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ จนครบ 1 ลูกคลื่นชาวยน์ แล้วจึง มีการตรวจหาเฟส 0 ของของสัญญาณชาวยน์ในลายน์ เพื่อเป็นการเริ่มต้น ส่งใหม่อีกครั้ง

2.5.2.2 ไม่ใช่ TIMER ช่วยในการนับเวลา  
ใช้ ซีพียู เป็นตัวคำนวณ ค่า tab, แลम्บ์ดา, รหัสเวลา \_ ทุกครั้งที่ทำงาน โดยมี เพียงรหัสรูปแบบที่เก็บไว้ในหน่วยความจำเท่านั้น การทำงานจะไม่อาศัย อินเตอร์รัทท์ เพราะไม่ต้องมีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก มีโฟลท์ชาร์จการทำงานโดยสังเขปดังนี้



รูป 2.13

โดยวิธีการโปรแกรมอย่างละเอียดจนกล่าวถึงต่อไปในบทที่ 3 เรื่องการออกแบบ และปฏิบัติการทดลอง

2.5.3 เปรียบเทียบการสร้างสัญญาณทั้ง 2 วิธี

2.5.3.1 เปรียบเทียบการออกแบบโดยวงจรรีเลย์ลอคโทรนิคส์ กับ โดยคอมพิวเตอร์

1. แบบคอมพิวเตอร์จะมีความยืดหยุ่น มากกว่าเพราะการเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณ ทำได้ง่าย โดยเปลี่ยนเพียงซอฟต์แวร์แต่ถ้าใช้วงจรรีเลย์ลอคโทรนิคส์ จะต้องเปลี่ยนทั้งวงจรทำให้ยุ่งยาก

2. ลดสัญญาณรบกวนลงเพราะคอมพิวเตอรืจะทำงานโดยอาศัยระดับตักดาเชิงตรรก 0v - 5v จึงสามารถตัดสัญญาณรบกวนออกได้ง่ายกว่าวงจรรีเลคทรอนิกส์

3. ขนาดวงจรถางฮาร์ดแวร์จะเล็กกว่ากันมากเพราะใช้เพียง ชิพเดียว, timer, พอร์ตกับ เกท อีกไม่มากนัก

4. ช่วงเวลาที่คำนวณโดยคอมพิวเตอรืจะไม่พอดีกับสัญญาณชายน์เนื่องจากเวลาที่คอมพิวเตอรืใช้ในการรอแต่ละช่วงสัญญาณไม่ใช่เวลาจริง(real time)แต่เป็นเวลาที่เกิดจากการคำนวณซึ่งมีการปัดจุดทศนิยมเพื่อให้พอดีกับค่าเลขฐาน 16 ที่จะต้องเก็บไว้ในหน่วยความจำ ทำให้เมื่อนับเวลารวมทั้งหมดช่วงสัญญาณทริกแล้วจะน้อยกว่าความยาวช่วงลูกคลื่นชายน์อยู่เล็กน้อย แต่ปัญหาเหล่านี้จะมีผลน้อยลงเมื่อจัดให้โปรแกรมมีการตรวจหาเฟส 0 ของลูกคลื่นชายน์ ทุกครั้งที่หมด 1 ลูกคลื่นชายน์ ทำให้ความผิดพลาดไม่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 ลูกคลื่นชายน์ แต่จะเท่าเดิมตลอดไป จึงสามารถควบคุมปัญหานี้ได้

แต่อย่างไรก็ตามข้อได้เปรียบที่สำคัญก็คือ ความยืดหยุ่นของการทำงาน (ข้อ 1) ดังนั้นจึงมีแนวโน้มสูงที่การออกแบบสัญญาณรุ่นหลัง ๆ จะเปลี่ยนไปใช้ในแนวทาง discrete (ดิจิทัล) มากกว่า อานาลอก(electronic) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการออก ไมโครโพรเซสเซอร์ชิพเดี่ยว(single chip) มากทำให้มีความสะดวกมากในการออกแบบและราคาก็จะถูกลงมากด้วย เนื่องจากมี timer และหน่วยความจำในตัว ทำให้ลดอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่น(chip support) ลงไปได้

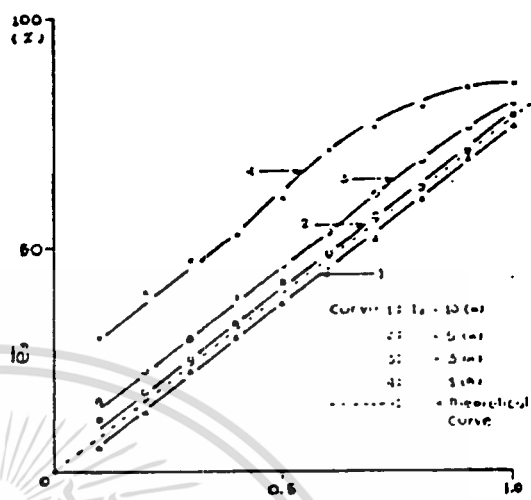
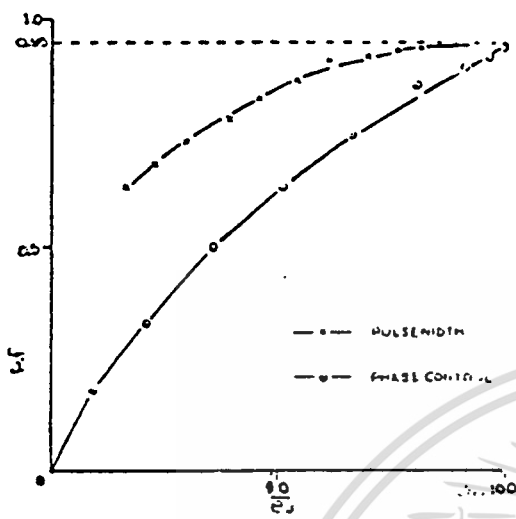
2.5.3.2 เปรียบเทียบการออกแบบโดยคอมพิวเตอรืทั้ง 2 แบบ

เนื่องจากมีข้อดีและข้อเสียของแต่ละแบบอยู่มากจึงขอกล่าวเพียงข้อที่สำคัญ ๆ อันจะนำไปเป็นเหตุผลในการเลือกออกแบบจริงของโครงการนี้เท่านั้น

1. จำนวนของอุปกรณ์ต่อพ่วง แบบใช้ timer จะมีมากกว่า ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวหลัก ๆ ถึง 4 ตัว คือ timer, eeprom, พอร์ต, เกท แต่แบบไม่ใช้ timer จะใช้เพียงพอร์ตเพียงอย่างเดียว

2. ความละเอียดในการทดลอง เนื่องจากแบบมี timer ได้มีการบันทึก timing code ของทุก ๆ มอดดูเลขชั้น และแลมบ์ดา ลงบน eeprom เป็นช่วง ๆ ไปแล้วแต่จะออกแบบจึงทำให้การวัดผลการทดลองจะทำได้ไม่ทุกค่าของ แลมบ์ดา, ta1 ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าแบบให้ ชิพเดียว ทำงานด้วยตัวเอง และเนื่องจากเป็นโครงการวิจัยโครงการแรกที่นำระบบคอมพิวเตอรืมาใช้ จึงจำเป็นต้องมีการวัดเปรียบเทียบที่ละเอียดในช่วง แลมบ์ดา, ta1 ที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้ ชิพเดียว จำนวนและเป็นตัวนับเวลาด้วย และเมื่อหาช่วงการทำงานของ แลมบ์ดา, ta1 ที่เหมาะสมที่จะใช้งานจริงว่าอยู่ในช่วงใดแล้วจึงนำรหัสข้อมูลของช่วงนั้น บันทึก ลง eeprom บนโพรเซสเซอร์ชิพเดี่ยวเป็นชิพอีกทีหนึ่ง เพราะในการใช้งานจริงจะใช้เพียงบางค่าของการมอดดูเลขชั้น(แลมบ์ดา) และบางค่าของ ta1 เท่านั้น

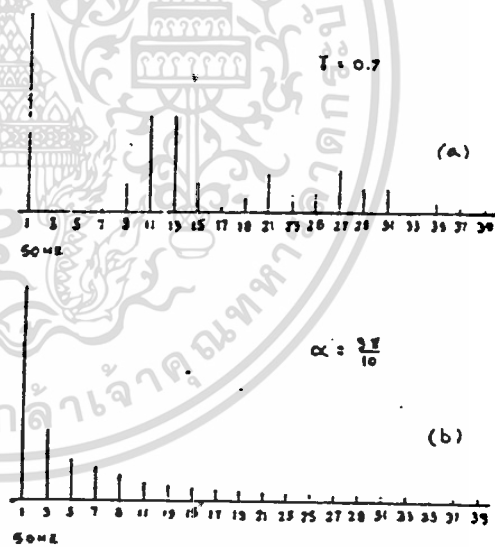
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟจากการทดลองแสดงค่า Power factor  
 พัลสวาระของคอนเวอร์เตอร์แบบควบคุมพัลส์  
 เมื่อเปรียบเทียบกับแบบควบคุมเฟส

กราฟความสัมพันธระหวาระ  $\eta$  กับ Modulation ratio ( $\gamma$ )

รูป 2.14



Frequency spectrum ของกระแสโวลเทจ  
 ที่ได้จากสกราว์ ควบระหว่างพหุขง

(a) คอนเวอร์เตอร์แบบควบคุมพัลส์ (b) คอนเวอร์เตอร์แบบควบคุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ก็มีข้อเสียของแบบไม่ใช้ timer อยู่บ้างคือ ซีพียู จะไม่มีเวลาไปใช้ในการทำงานอย่างอื่น เช่น การ feedback ซึ่งจะต้องมีการนำค่าจริง ๆ ของระบบ เปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้คำนวณออกมาเป็น error ที่จะต้องปรับแล้วเปลี่ยนค่า แลम्บ์ดา ในการส่งสัญญาณทริกใหม่ เวลาที่ต้องการใช้ในการนี้มากพอสมควร ดังนั้นจึงเป็นปัญหาถ้าจะนำเวลาของซีพียูมาทำงานดังกล่าว ๆ แต่หากจะทำจริง ๆ จะต้องใช้อินเตอร์รัทแบบ NMI เข้าช่วยโดยให้มีการ NMI เมื่อต้องการปรับค่าและต้องเสียเวลาอย่างน้อย 1 ลูกคลื่นชาयน์ (50 hz) ในการคำนวณความผิดพลาดและปรับค่าแลम्บ์ดาใหม่ แต่จะไม่มีปัญหาเหล่านี้เมื่อใช้ timer เพราะเวลาส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำงานคือเวลาที่ใช้ในการหน่วงเวลาของสัญญาณทริกแต่ละช่วง ซึ่งก็ได้ใช้ timer ทำหน้าที่นี้ ดังนั้นซีพียูจึงมีเวลาเหลือพอที่จะทำงานอื่นได้

## 2.6 เปรียบเทียบกับ คอนเวอเตอร์ชนิดควบคุมเฟส

1. ช่วงการควบคุม Ed ของควบคุมเฟสกว้างกว่า คือควบคุมได้ตั้งแต่ 0-2Ed แต่แบบ จีทีโอ ฟี ดับบลิว เอ็ม ทำได้จาก 0-Ed ที่มีกระแสหน้า 90 องศา

2. ฮาโมนิกส์ อันดับต้น ๆ ของแบบฟีดับบลิวเอ็ม จะน้อยกว่ามาก และยังสามารถควบคุมฮาโมนิกส์เหล่านี้ให้ด้วยการปรับจำนวนพัลส์ หรือปรับอัตราส่วนความถี่

3. แบบ ฟี ดับบลิว เอ็ม สามารถควบคุมตัวประกอบกำลังได้โดยตรง ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4. แบบ ฟี ดับบลิว เอ็ม ต้องการอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งมีความเร็วสูง เนื่องจากมีการสวิตซ์ซึ่งหลายครั้งใน 1 คาบเวลา (50 hz) จึงมีผลต่อเนื่องถึง ฮีทซิงค์ และวงจรขับด้วย

5. แบบ ฟี ดับบลิว เอ็ม มีการสูญเสียในการคอมมิวเตชันมากกว่า เนื่องจากมีการสวิตซ์ซึ่งหลายครั้ง

ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนฮาโมนิกส์ ของแบบ ฟี ดับบลิว เอ็ม และควบคุมเฟสเป็นดังภาพ

## บทที่ 3

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบคำนวณและการสร้างอย่างละเอียด โดยจะแบ่งออกเป็นหัวข้อ ใหญ่ ๆ คือ

- 3.1 การออกแบบซอฟต์แวร์ (software design)
  - 3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ (hardware design).
  - 3.3 การออกแบบวงจรหลัก (main circuit designing specification)
- 3.1 SOFTWARE DESIGN**

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบวิธีการเข้ารหัสสัญญาณการคำนวณเวลา และการเข้ารหัสโปรแกรมรวมถึง อธิบายการทำงานของตัวโปรแกรมดังต่อไปนี้

#### 3.1.1 การเข้ารหัสสัญญาณทริกให้เป็นเลขฐาน 16

เมื่อเข้ารหัสเสร็จจะพบว่าทุก ๆ  $1/12$  คาบ (T) ที่ติดกันจะซ้ำกันเป็นคู่ ๆ ดังรูป 3.1

#### 3.1.2 การคำนวณช่วงสัญญาณเวลาจากสัญญาณทริก

ในรูปจากหัวข้อ 3.1.1 จะพบว่ารูปแบบของการจัดเรียงช่วงเวลาจาก  $t_1 - t_8$  จะซ้ำกันเป็นเช่นนี้ตลอดช่วง นั่นคือสามารถจะคำนวณเพียง  $t_1 - t_8$  แล้วทำไปใช้ในอีก 10 คาบที่เหลือได้ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$t_1 = 2 * \lambda * T / 3$$

$$t_5 = \lambda * T / 3$$

$$t_2 = \lambda * T / 3 - t_{a1}$$

$$t_6 = 2 * \lambda * T / 3 - t_{a1}$$

$$t_3 = t_{a1}$$

$$t_7 = t_{a1}$$

$$t_4 = (1 - \lambda) * T$$

$$t_8 = (1 - \lambda) * T$$

จะสังเกตเห็นว่าเมื่อรวม  $t_1 - t_4$  จะเท่ากับ รวม  $t_5 - t_8$  คือเท่ากับ Tพอดี ดังนี้

$$T = 2 * \lambda * T / 3 + \lambda * T / 3 - t_{a1} + t_{a1} + (1 - \lambda) * T$$

$$= \lambda * T / 3 + 2 * \lambda * T / 3 - t_{a1} + t_{a1} + (1 - \lambda) * T$$

แต่อย่างไรก็ตามค่า  $t_1 - t_8$  ที่คำนวณได้จะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นรหัสฐาน 16 เพื่อซีพียูจะได้นำไปใช้ในการนับในช่วงหน่วยเวลาและส่งแต่ละช่วงของสัญญาณทริกออกไป โดยมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

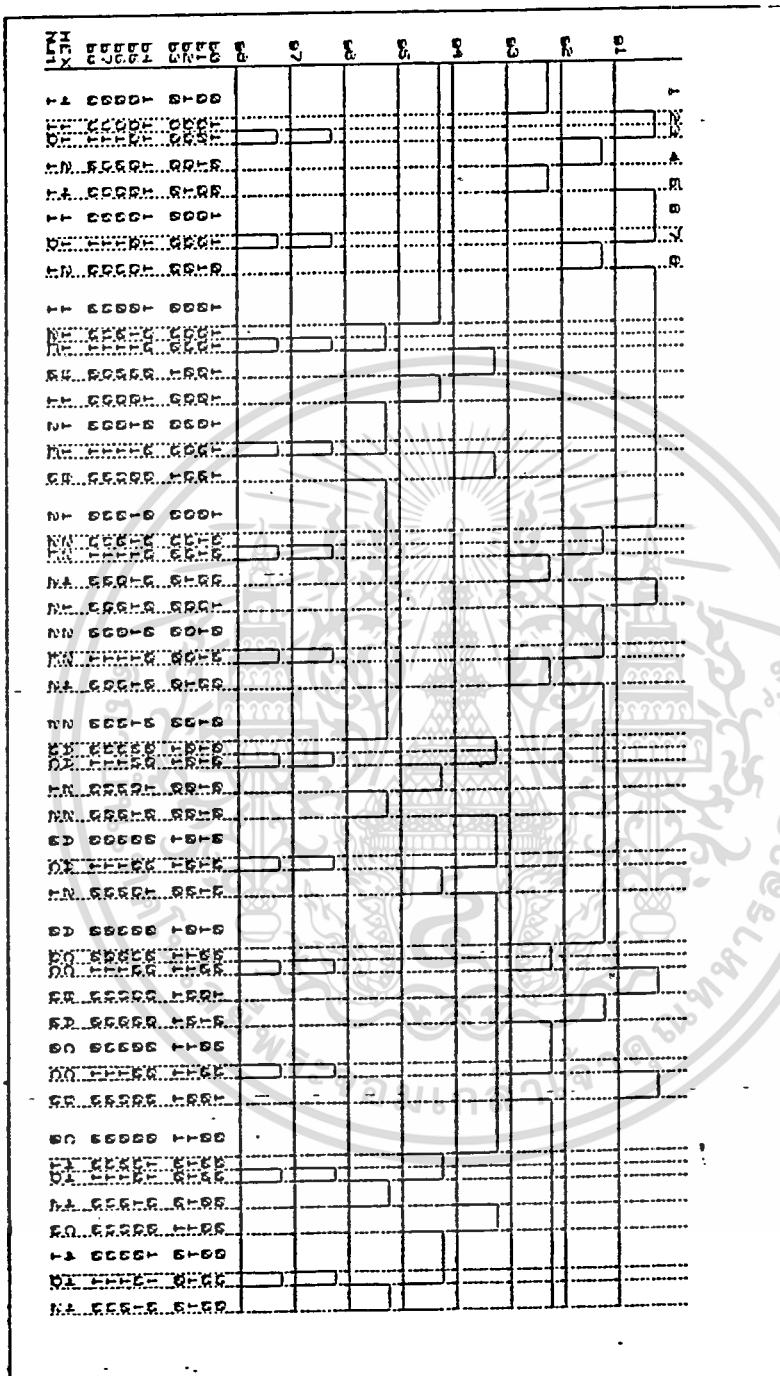
1 คาบของวัฏจักรเครื่อง (machine cycle) ใช้เวลา  $1 / (4.7 * 10^6)$  sec

เวลาที่ห้องการใช้ t

จะต้องใช้  $t * 4.7 * 10^6$  คาบของวัฏจักรเครื่อง (machine cycle)

คาบของคำสั่งเฉลี่ยทั้งหมดต่อการวนการทำงานทั้งหมดต่อ 1 loop = alpha คาบ

จะต้องทำทั้งหมด =  $(t * 4.7 * 10^6) / \alpha$  loop



รูป 3.1

ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับช่วงเวลา  $t$  โดยจะนำเอาค่าจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวน loop นี้เข้าไปเก็บในหน่วยความจำในระบบเลขฐาน 16 เพื่อที่จะให้โปรแกรมเรียกออกมาทำการวนเป็นจำนวน loop เท่ากับที่คำนวณไว้ กล่าวคือเมื่อเครื่องทำงานวน 1000 ครั้งตามที่คำนวณไว้ เสร็จก็จะใช้เวลาทั้งหมดเท่ากับ  $t$  ที่กำหนดพอดี ตัวอย่างเช่น  $\lambda = 0.75$  ,  $T = 1/600$  sec

$$t = 2 * \lambda * T / 3 \quad \alpha = 26$$

$$\text{จำนวน loop} = (2 * \lambda * T * 4.7 * 10^6) / \alpha * 3 \quad \text{loop}$$

$$= 150 \quad \text{loop ( โดยประมาณ )}$$

### 3.1.3 ลักษณะการจัดการหน่วยความจำ

ส่วนของรหัสสัญญาณทริกที่เข้ารหัสไว้แล้วในหัวข้อ 3.1.1 จะถูกนำไปเก็บไว้ในไฟล์ข้อมูลในฟลอปปีดิสก์ ซึ่งก็จะมีการถ่ายเทเข้ามาในแรมในตอนต้นของการทำงานดังรูป

configuration of signal which stored in disk

14h
11h
031h
12h
14h
11h
031h
12h
11h
11h
021h
...

รูป 3.2

ส่วนจำนวน loop ที่แทนแต่ละช่วงเวลาจะเก็บไว้อีกส่วนหนึ่งของหน่วยความจำดังรูป

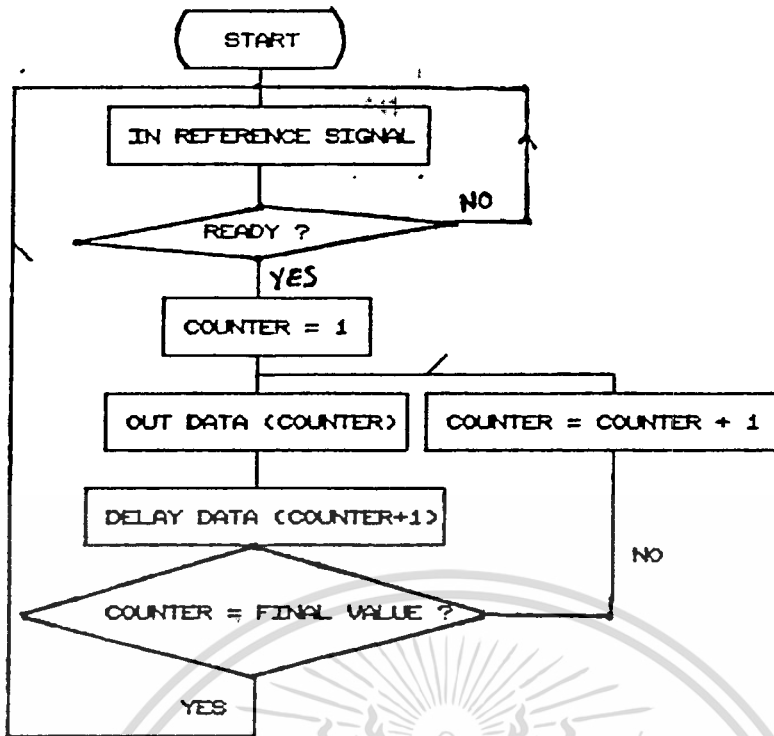
configuration of timing code which stored in memory

num of	loop of	1
num of	loop of	2
num of	loop of	3
num of	loop of	4
num of	loop of	5
num of	loop of	6
num of	loop of	7
num of	loop of	8

รูป 3.3

ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำเอาข้อมูลสัญญาณทริกมารวมกับข้อมูลเวลาโดยให้ข้อมูลเวลาของสัญญาณทริกให้อยู่ในไบต์ถัดมาจากสัญญาณทริกตัวนั้น ๆ ดังแผนภาพ

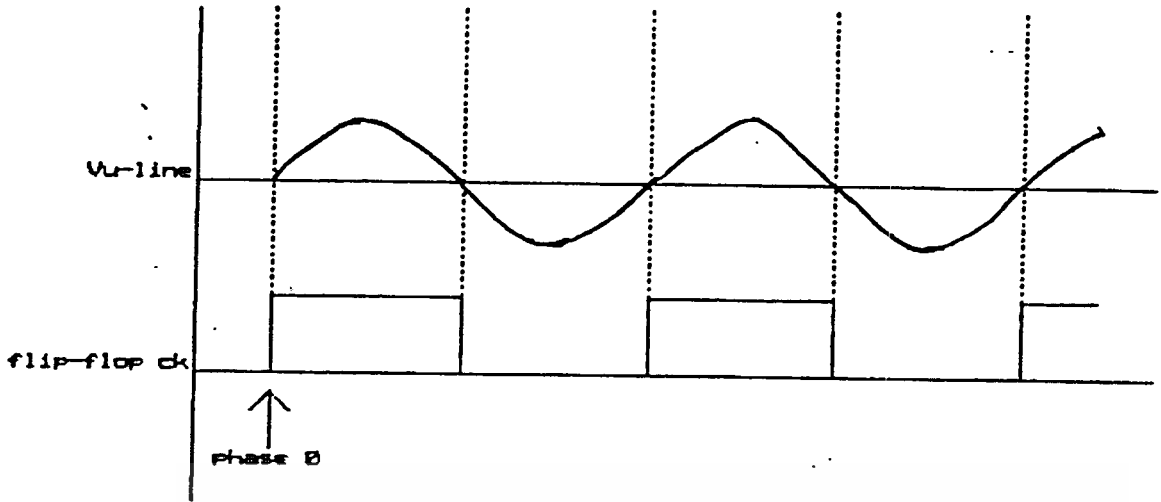




รูป 3.5

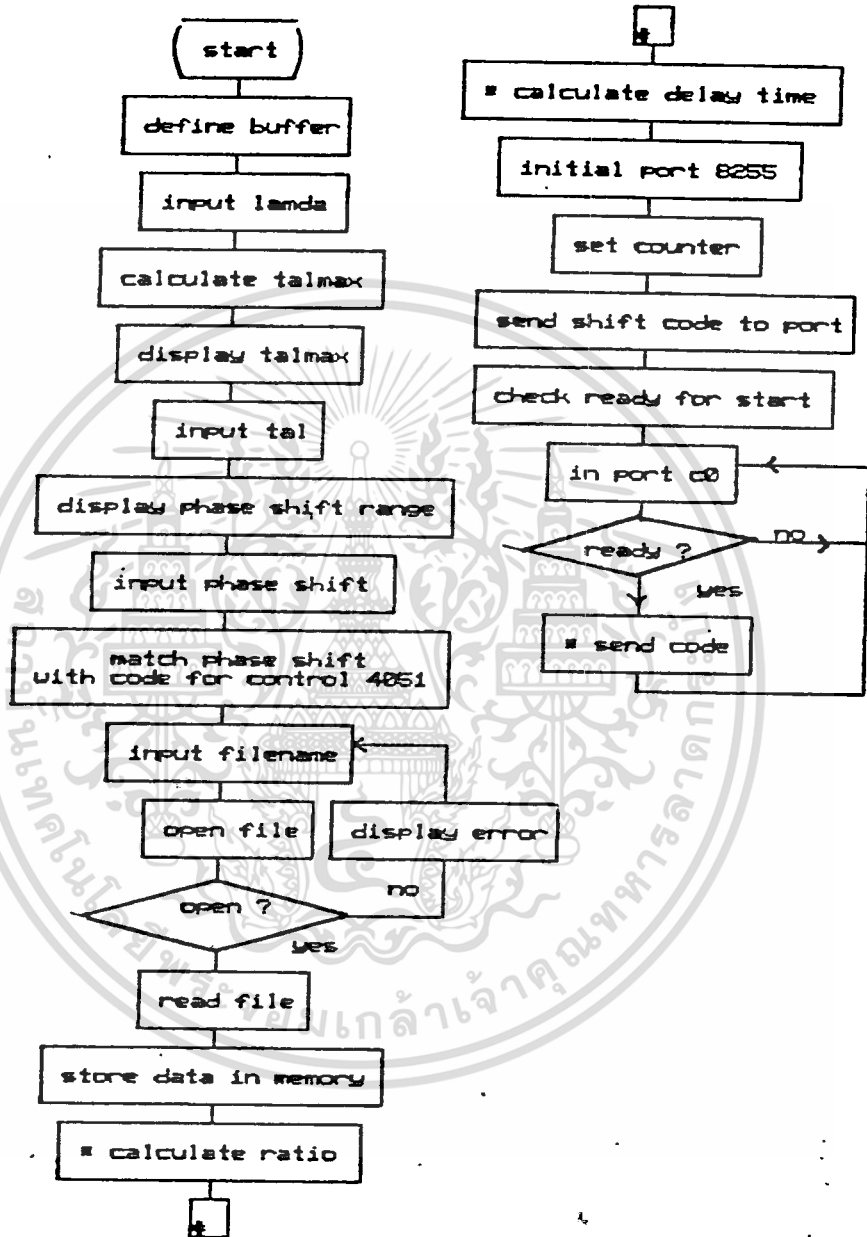
ในการทำงานของโปรแกรมหลักนี้จะมีการกำหนดค่าตัวนับเริ่มแรก( $n$ ) ในที่นี้จะให้เป็น 1 จากนั้นส่งค่า สัญญาณข้อมูล ตัวที่  $n$  (จาก หน่วยความจำ) ออก พอร์ต จากนั้นนำสัญญาณเวลาตัวที่  $n$  ออกมาจากหน่วยความจำ (ที่คำนวณแล้วเก็บไว้ ในหัวข้อ 3.1.3) นำมาเป็นตัวกำหนดในการใช้หน่วยเวลา เพื่อให้ค่าสัญญาณข้อมูลค้างอยู่ที่พอร์ตเป็นเวลาเท่าที่ต้องการ จากนั้นเพิ่มค่าตัวนับอีก 1 แล้วตรวจสอบว่าค่าตัวนับมากกว่าค่าตัวนับตัวสุดท้ายหรือยัง โดยตัวนับตัวสุดท้ายหาได้จากจำนวนของสัญญาณข้อมูลว่ามีกี่ตัว โดยในที่นี้จะมีทั้งหมดเท่ากับ  $4 \times 12$  ชุด 1 คาบ(T) มี 4 ชุด มีทั้งหมด  $12T$  ดูได้จากหัวข้อ 3.1.1 นั่นคือ ถ้าตัวนับน้อยกว่า 48 ก็คือยังทำงานได้ไม่ครบ 1 ลูกคลื่นชายนี้นั้นก็ต้องไปเอาสัญญาณข้อมูลตัวต่อไปออกมาทำงานต่อ ถ้าหากมากกว่า 48 ชุดแล้วแสดงว่าครบ 1 ลูกคลื่นชายนี้นี้แล้ว ต่อไปให้ไปตั้งตัวนับใหม่ให้มีค่าเป็น 1 แล้วกระทำต่อไป

ในทางปฏิบัติแล้ว พบว่าไม่สามารถทำเช่นนี้ได้โดยตรงกล่าวคือ ขณะที่ทำข้อมูลครบ 48 ตัวแล้ว ยังมีเวลาเหลืออยู่ ก่อนจะถึงเฟส ๒ ของคลื่นชายนี้นักต่อไปเนื่องมาจากการคำนวณค่าตัวนับเวลาในหัวข้อ 3.1.2 นั้น มีการบิดเศษลงในการหารและยังมีการบิดเศษทั้งในกรณีทำเป็นเลขฐาน 16 ในการเก็บเข้าหน่วยความจำดังรูป



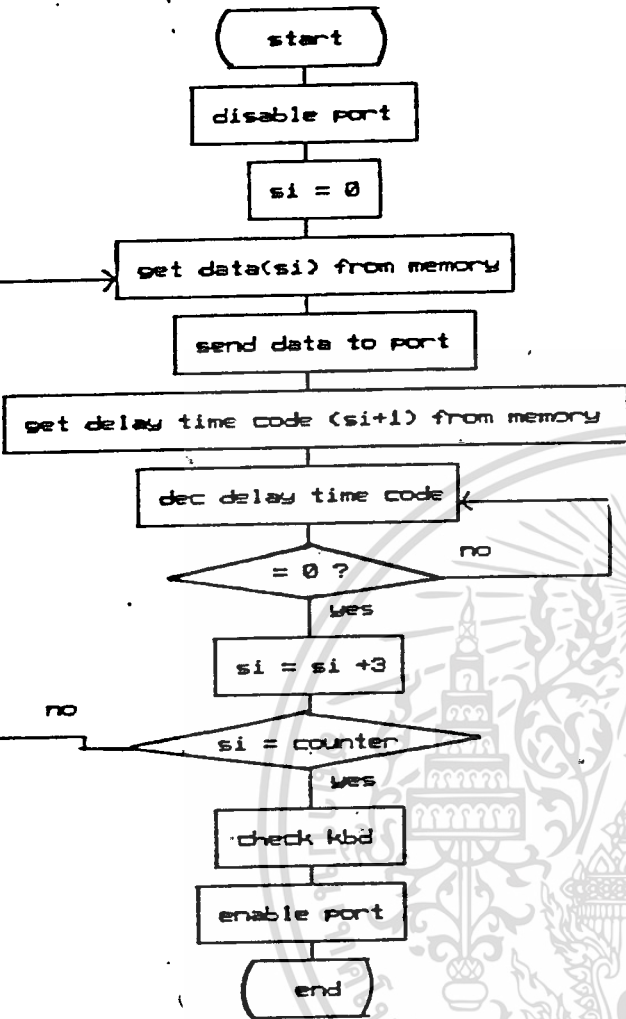
รูป 3.6

หากทำตามกระบวนการข้างต้นจะเกิด error ขึ้น 1 ครั้งใน  $1/50$  sec (1 คาบ)  
 ถ้าเวลาผ่านไป 1 sec จะมีชายน์ผ่านไป 50 ลูก เพราะฉะนั้นจะเกิดผิดพลาด  
 $50 * \text{error}$  เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าสัญญาณทริกและสัญญาณชายน์ในลายน์จะไม่สอดคล้องกัน  
 ในที่สุด จึงจะต้องมีการใช้เวลาที่เหลือดังกล่าวในการตรวจสอบหาเฟส 0 ของคลื่นรูป  
 ชายน์เสียก่อน จึงส่งสัญญาณทริกออกไป ดังโฟลชาร์จ

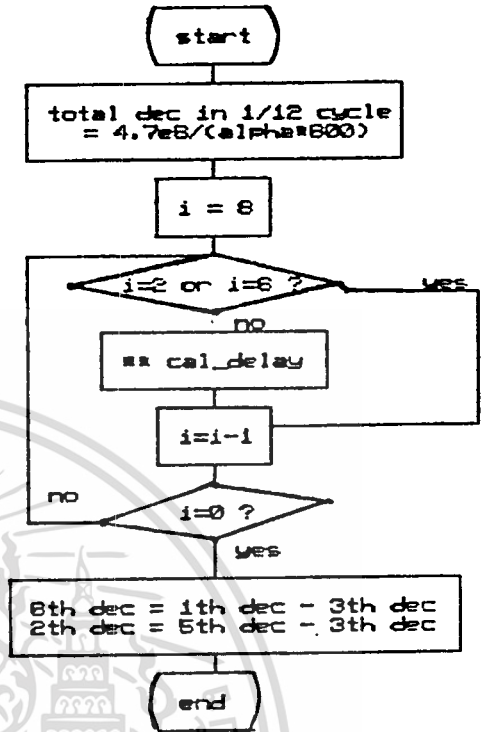


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

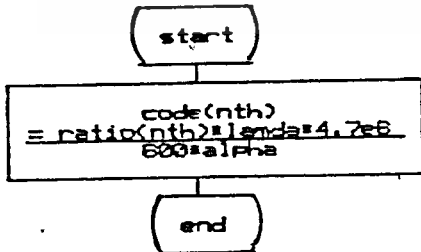
send code



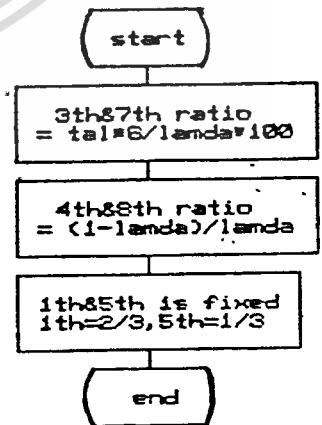
routine calculate delay time



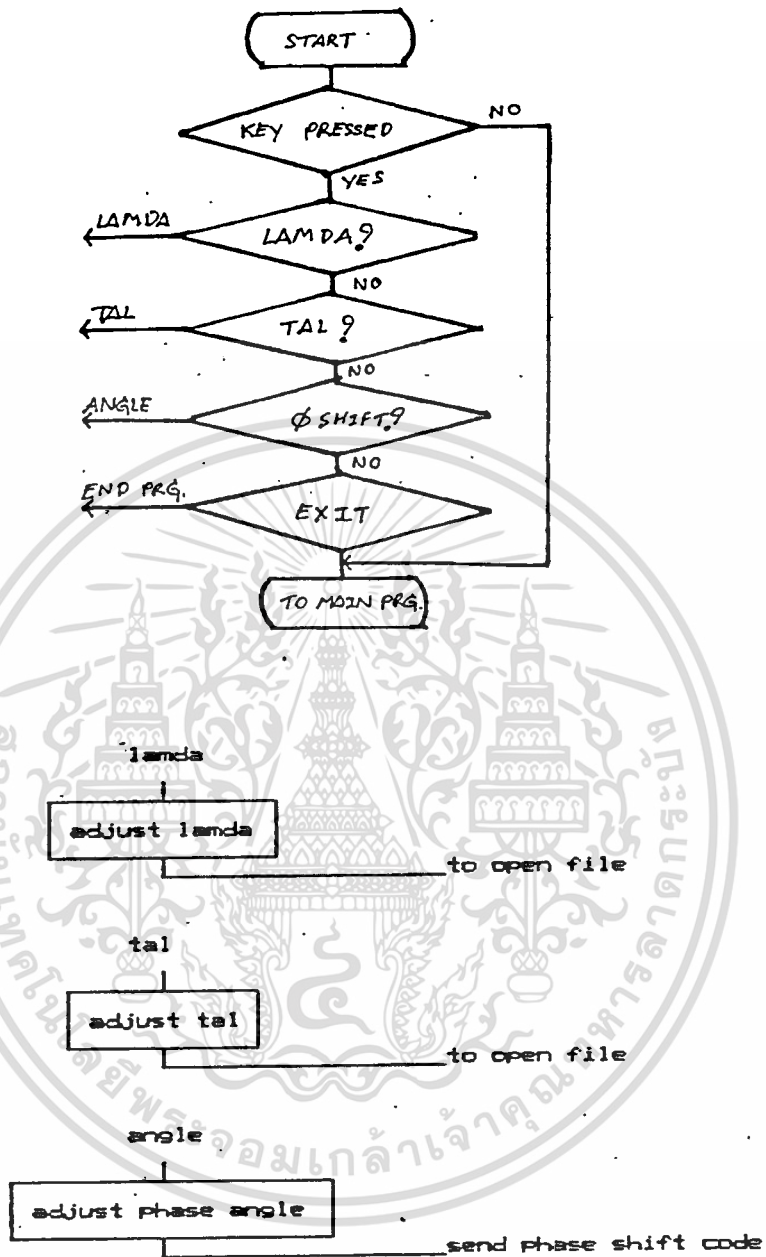
routine cal\_delay



routine calculate ratio



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากวิธีการข้างต้นทำให้ลด error ลงเหลือเพียง 1 error เท่าเดิมไม่ว่าจะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมทำงานนานเท่าใด แต่อย่างไรก็ตามในการทำงานจริง ๆ นั้น จำเป็นจะต้องมีการคำนวณอื่น ๆ ประกอบการทำงานด้วย เช่น การคำนวณ แลम्บ์ดา และคำนวณค่า  $t_{a1}$  เป็นต้น ซึ่งจะแยกเป็นหัวข้อโดยละเอียดดังนี้

### 1. การกำหนดค่าตัวแปรและกำหนดบัพเฟออร์ต่าง ๆ

เพื่อเป็นวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไปและเพื่อความสะดวกในการเรียกใช้ในโปรแกรมต่อไป

### 2. รับค่าแลम्บ์ดา

ช่วงแรกจะมีการถามจากโปรแกรมว่า จะใช้แลम्บ์ดาเท่าใดในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำค่าที่ผู้ใช้ให้มาคำนวณเป็นค่าแลम्บ์ดาจริง ๆ ในฐาน 16 เช่น ผู้ใช้ป้อนค่า 75 แต่ในแลम्บ์ดาบัพเฟออร์ จะเป็น 37H, 35H ดังนั้นจะต้องหาค่าแลम्บ์ดาจาก

$$((37H-30H) \times 10d) + ((35H-30H) \times 1d)$$

จึงจะได้แลम्บ์ดาจริง ๆ เป็นฐาน 16 เก็บไว้ในแลम्บ์ดาเพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

### 3. คำนวณค่า $t_{almax}$

ที่จะใช้ได้สำหรับแต่ละแลम्บ์ดา จากความจริงที่ว่า  $t_{a1}$  จะต้องไม่มากไปกว่า  $\lambda * T/3$  (ดูจากรูปในหัวข้อ 3.1.1)

$$t_{almax} = \lambda / 100 * 1/600 * 1/3 * 10^6 \text{ microsec}$$

$$= \lambda * 100/18$$

เมื่อได้  $t_{almax}$  แล้ว ในการนำไปเก็บจะต้องทำให้เป็นค่าที่พร้อมจะแสดงผลออกจอกภาพได้ทันที เช่น ถ้าแลम्บ์ดาเท่ากับ 75  $t_{a1}$  จะคำนวณได้ประมาณ 413 microsec จะต้องแยกเลข 413 ออกเป็น 4,1,3 โดยตรง จากนั้นเพื่อให้พร้อมในการใช้ฟังก์ชัน 9 ในการเรียก int 21 เรียก คอส แล้วต้องทำเลข 4,1,3 เป็นรหัส ascii โดยการบวกอีก 30H แล้วจึงนำไปเก็บในหน่วยความจำ  $max_{t_{a1}}$  ดังนั้นถ้าใช้ตัวอย่างดังนี้จะได้ค่าในหน่วยความจำเป็น

-d6963:150

6963:0150	00	00	00	00	00	00	4B	00-00	00	00	00	34	31	37	24
6963:0160	00	00	00	66	69	6C	65	20-6E	6F	74	20	66	6F	75	6E
6963:0170	64	20	24	74	6F	6F	20	6D-61	6E	79	20	6F	70	65	6E
6963:0180	20	66	69	6C	65	73	20	24-61	63	63	65	73	73	20	64
6963:0190	65	6E	69	65	64	20	24	69-6E	76	61	6C	69	64	20	61
6963:01A0	63	63	65	73	73	20	63	6F-64	65	20	24	69	6E	70	75
6963:01B0	74	20	6E	61	6D	65	20	6F-66	20	64	61	74	61	20	66
6963:01C0	69	6C	65	20	65	6E	64	20-77	69	74	68	20	30	20	66

### รูป 3.7

ในการเคมรหัส 24H ลงบิตท้ายนั้นเป็นข้อกำหนดในการเรียกฟังก์ชันของคอสออกมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ int รุทีน ทราบว่าจบข้อมูลที่ต้องการจะแสดงผลทางจอภาพแล้ว

54

#### 4. แสดงผล maxtal

เป็นการใช้ฟังก์ชัน 9 ของ int 21H เรียก ดอส ในการส่งข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำแสดงออกทางจอภาพและใช้ int 10H เรียก รุทีน ของ วิตีโอโรม ออกมาใช้ในการกำหนดจุดบนจอภาพเพื่อจัดการให้การแสดงผลเป็นระเบียบขึ้น

#### 5. รับค่า tal จากคีย์บอร์ด

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมคล้ายกับตอนรับค่าแลมป์ดาในหัวข้อ 2 เช่นผู้ใช้ส่งค่า 317 ก็จะมีการคำนวณค่า 317 ในระบบฐาน 16 โดยคำนวณจาก

$$(33H-30H)*100 + (31H-30H)*10 + (37H-30H)*1$$

จากนั้นจึงนำค่านี้เก็บลงในหน่วยความจำ tal

#### 6. จัดจอภาพแสดงช่วงเวลาเฟลชชีฟที่สามารถเลือกได้

ในส่วนนี้จะมีการเรียก int 10H และ int 21H ในการจัดจอภาพ และส่งข้อมูลจากหน่วยความจำขึ้นจอภาพตามลำดับ

#### 7. รับค่าเฟลชชีฟ

โดยใช้ int 21H ฟังก์ชัน 0AH ในการรับค่าจากคีย์บอร์ดมาเก็บไว้ในหน่วยความจำที่กำหนดไว้ ในที่นี้กำหนดไว้ที่ ชิพบัฟเฟอร์

#### 8. จับคู่ค่ารหัสเลือกเฟลชกับค่าที่ได้รับจากคีย์บอร์ด

เพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนค่าตามต้องการจึงมีการกำหนดรหัสการเลือกเฟลชไว้ในส่วนต้นของโปรแกรมโดยใช้คำสั่งเทียมที่ชื่อ equ แล้วจึงนำเอาค่าที่กำหนดให้เท่ากันนั้นมาจับคู่ให้ตรงกับค่าที่รับมาจากคีย์บอร์ด โดยนำค่าแรก(ซ้ายสุด) จากหน่วยความจำมาตรวจสอบถ้าเป็น 30h, 33h, 36h, 39h แสดงว่าผู้ใช้บ่อนค่า 0, 30, 60, 90 ตามลำดับ หากตรวจสอบค่าแรกได้ผลล้นหรือออกมาเป็น 31h แสดงว่าค่าแรกมีค่าจริง ๆ เป็น 1 ในฐาน 10 ถ้าเป็นกรณีนี้ แสดงว่าผู้ใช้บ่อนค่าเป็นเลข 3 หลัก ดังนั้นจำเป็นต้องนำหลักที่ 2 ออกมาตรวจสอบโดยถ้าหลักที่ 2 = 32h, 35h, 38h แสดงว่าผู้ใช้บ่อนค่า 120, 150, 180, ตามลำดับ

#### 9. การบ่อนชื่อไฟล์ข้อมูล

ในขั้นแรกเป็นการรับชื่อไฟล์ข้อมูลมาเก็บเอาไว้ใน namebuffer จากนั้นจึงนำเอามาเก็บไว้ในหน่วยความจำ filename อีกทีหนึ่ง เมื่อเป็นความสะดวกในการอ้างอิงถึงในโปรแกรมต่อไป

## 10. เปิดไฟล์ข้อมูล

ก่อนจะนำข้อมูลในไฟล์มาใช้จะต้องมีการเปิดไฟล์ข้อมูลทุกครั้งโดยการเรียก `int 21h` ฟังก์ชัน `3DH` โดยใช้คำสั่ง `00h` เพื่อเป็นการเปิดไฟล์เพื่ออ่านข้อมูลเท่านั้น หลังจากเรียก `int 21h` หากเกิดความผิดพลาดในการเปิดไฟล์ `CF` (carry flag) จะเป็น 1 แล้วรีจิสเตอร์ `ax` จะเก็บรหัสความผิดพลาดนั้นเอาไว้ แต่หากไม่มีข้อผิดพลาดอะไรแล้ว `CF` จะเป็น 0 และ `ax` จะเก็บรหัสประจำไฟล์เอาไว้เพื่อเป็นการสะดวกในการเรียกใช้ไฟล์นี้ในคราวต่อไป

## 11. การแสดงผลความผิดพลาด

ในส่วนนี้เป็นการแสดงให้เห็นผู้ใช้ทราบประเภทของความผิดพลาดว่าเป็นแบบใด เพื่อจะได้สะดวกในการแก้ไขต่อไป โดยกลับไปยังขั้นตอนที่ 9 อีกครั้ง

## 12. การเปรียบเทียบแยกชนิดของความผิดพลาด

เนื่องจากรหัสความผิดพลาดจะเก็บไว้ที่ `ax` เมื่อ `CF` เป็น 1 ดังนั้นจึงสามารถใช้รีจิสเตอร์ดังกล่าวแยกประเภทความผิดพลาดได้เช่น ถ้า `CF = 1`, `ax = 2` แสดงว่าหาไฟล์ที่ผู้ใช้กำหนดไม่พบ จากนั้นให้กระโดดไปยังส่วนของการแสดงผลความผิดพลาดเพื่อไปสู่การบอกรหัสไฟล์ใหม่อีกครั้ง ถ้าหากไม่มีความผิดพลาด (`CF = 0` หลังจากการเปิดไฟล์) ก็จะกระโดดไปยังส่วนอ่านไฟล์ต่อไป

## 13+14. การอ่านไฟล์

สามารถจะกระทำได้โดยเรียกใช้ ดอส `int 21h` ฟังก์ชันที่ `3FH` โดย `cx` เป็นจำนวนข้อมูลเป็นไบต์ที่ต้องการอ่าน `dx` เป็น address ของหน่วยความจำที่ต้องการจะนำข้อมูลไปเก็บ หลังจากทำคำสั่ง `int 21h` แล้ว `ax` จะเก็บจำนวนข้อมูลที่อ่านได้ และหากอ่านจนหมดไฟล์แล้ว `ax = 0` จากเงื่อนไขดังกล่าวทำให้สามารถตรวจสอบได้ โดยเปรียบเทียบ `ax` ว่า = 0 หรือไม่ หากไม่เท่ากับ 0 ให้ไปอ่านใหม่อีกหากเท่ากับ 0 ให้ทำงานในส่วนต่อไป จะสังเกตว่าในโปรแกรมไม่ได้มีการเก็บค่า `ax` ไว้เพราะทราบแน่นอนแล้วว่ามิข้อมูลทั้งหมด 48 ไบต์ (จากหัวข้อ 3.1.1)

## 15. คำนวณอัตราส่วนของการหน่วงเวลา

จากหัวข้อ 3.1.2 ได้ช่วงเวลาที่แต่ละช่วงออกมาแล้ว แต่จะนำมาเขียนใหม่ให้ง่ายต่อการคำนวณของคอมพิวเตอร์ได้ว่า

$$t_1 = 2 * \lambda * T / 3 = 2/3 * \lambda * T$$

$$t_2 = t_5 - t_3$$

$$t_3 = t_{a1} = (t_{a1} / \lambda * T) * \lambda * T$$

$$t_4 = (1 - \lambda) * T = (1 - \lambda) / \lambda * \lambda * T$$

$$t_5 = \lambda * T / 3 = 1/3 * \lambda * T$$

$$t_6 = t_1 - t_7$$

$$t_7 = t_3$$

$$t_8 = t_4$$

จะเห็นได้ว่าไม่มีการคำนวณอัตราส่วนของ  $t_2, t_6$  เพราะเราสามารถจะหาช่วงเวลาจริง ๆ ได้จากผลต่างของช่วงเวลา  $t_5, t_3, t_1, t_7$  ข้างต้น และอัตราส่วนของ  $t_1$  กับ  $t_5$  จะเป็นค่าคงที่เท่ากับ  $2/3$  และ  $1/3$  ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถกำหนดไว้ได้ที่ต้นโปรแกรมในส่วนของการกำหนดไบต์ ก่อนการทำงานส่วนนี้ค่าในหน่วยความจำ ratio เป็นดังนี้

ratio+0															
RT1		RT2		RT3		RT4		RT5		RT6		RT7		RT8	
+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	+11	+12	+13	+14	+15
02	03	00	00	00	00	00	00	01	03	00	00	00	00	00	00

รูป 3.8

หลังจากทำงานในส่วนนี้แล้วค่าในหน่วยความจำ ratio เป็นดังนี้

ratio+0															
RT1		RT2		RT3		RT4		RT5		RT6		RT7		RT8	
+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	+11	+12	+13	+14	+15
02	03	00	00	$7/4 \lambda$	$1-\lambda$	$\lambda$	01	03	00	00	$7/4 \lambda$	$\lambda$	$1-\lambda$	$\lambda$	

รูป 3.9

1.6 คำนวณรหัสที่ใช้หน่วยเวลา

โปรแกรมในส่วนนี้จะมีการเรียกโปรแกรมย่อยที่ชื่อว่า cal delay มาช่วย โดยหน้าที่ของโปรแกรมย่อยนี้จะทำการคำนวณหาค่ารหัสที่ใช้หน่วยเวลาเป็นเลขฐาน 16 พร้อมทั้งจะนำไปใช้โดยตรง โดยก่อนเข้าโปรแกรมย่อยผู้ใช้จะต้องนำค่าอัตราส่วนใส่ไว้ใน รีจิสเตอร์ dh, d1 ตามลำดับ เมื่อจบโปรแกรมย่อย (return กลับมายังโปรแกรมหลัก) ค่ารหัสหน่วยเวลาจะอยู่ในรีจิสเตอร์ ax

โปรแกรมหลักของส่วนนี้จะวนทำทั้งหมด 8 รอบ (มีช่วงเวลา 8 ช่วง) แต่จะไม่ทำงานในช่วงเวลา  $t_2, t_6$  เพราะในช่วงนี้สามารถหาได้โดยผลต่างของช่วงเวลาที่เหลือ ดังที่กล่าวมาแล้ว เมื่อทำงานเสร็จ 1 รอบ ก็จะนำค่ารหัสหน่วยเวลาเก็บไว้ในหน่วยความจำที่ ratio + 16 ก็คือที่ ratiobuffer นั้นเอง (สังเกตได้จากหัวข้อการกำหนดไบต์ที่ต้นโปรแกรมว่า ratio + 16 ก็คือ ratiobuffer) ที่ส่วนท้ายของโปรแกรมส่วนนี้จะมีการคำนวณค่า  $t_2, t_6$  โดย  $t_2 = t_5 - t_3, t_6 = t_1 - t_3$  แล้วเก็บเข้าคินที่ ratiobuffer + 2, ratiobuffer + 10 ตามลำดับ

แผนภาพแสดงลักษณะการเก็บค่าต่าง ๆ ในหน่วยความจำ

ratio+0															
RT1		RT2		RT3		RT4		RT5		RT6		RT7		RT8	
+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	+11	+12	+13	+14	+15
02	03	00	00	12	AB	19	AB	01	03	00	00	12	4B	19	4B
ratio buffer+0															
+16	+17	+18	+19	+20	+21	+22	+23	+24	+25	+26	+27	+28	+29	+30	+31
A3	00	17	00	3A	00	51	00	51	00	69	00	3A	00	51	00

รูป 3.10

โดยที่ค่าจริงในหน่วยความจำเป็นดังนี้ (lambda = 75% , ta1 = 300 microsec)

```

-d6963:120
6963:0120 67 24 02 03 00 00 12 4B-19 4B 01 03 00 00 12 4B
6963:0130 19 4B A3 00 17 00 3A 00-51 00 51 00 69 00 3A 00
6963:0140 51 00 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00
6963:0150 00 00 00 00 00 00 4B 2C-01 49 01 00 34 31 37 24
6963:0160 00 00 00 66 69 6C 65 20-6E 6F 74 20 66 6F 75 6E
6963:0170 64 20 24 74 6F 6F 20 6D-61 6E 79 20 6F 70 65 6E
6963:0180 20 66 69 6C 65 73 20 24-61 63 63 65 73 73 20 64
6963:0190 65 6E 69 65 64 20 24 69-6E 76 61 6C 69 64 20 61
    
```

รูป 3.11

ในส่วนสุดท้ายของโปรแกรมช่วงนี้ เป็นการรวบรวมเอาสัญญาณข้อมูลมารวมกับรหัสหน่วยเวลา แล้วนำไปเก็บไว้ในส่วนเดียวกัน เพื่อสะดวกในการนำเอาไปใช้ในโปรแกรมส่วนของการส่งค่าไปยังพอร์ท โดยสัญญาณข้อมูลถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ databuffer รหัสหน่วยเวลาถูกเก็บไว้ที่ ratiobuffer เมื่อรวมกันตามรูปแบบที่กล่าวไว้ในภาพ ในหัวข้อ 3.1.3 ในชื่อของ databuffer (รวมเสร็จแล้วเก็บไว้ที่เดิม) โดยหลักการมีอยู่ว่าเลื่อนสัญญาณข้อมูลออกให้มีช่องว่างระหว่างสัญญาณข้อมูลแต่ละตัว 2 ไบต์ แล้วจึงนำเอารหัสหน่วยเวลาเข้าแทรกกระหว่างช่องว่างนั้นเป็นลำดับไป ให้สอดคล้องกับสัญญาณข้อมูลนั้น เมื่อแทรกเสร็จแล้วจะมีการจัดค่าในหน่วยความจำดังนี้

```

-d6963:0
6963:0000 70 72 6F 6A 65 63 74 33-2E 64 74 61 30 00 00x14
6963:0010 A3 00 11 17 00 D1 3A 00-12 51 00 14 51 00 11 69
6963:0020 00 D1 3A 00 12 51 00 11-A3 00 21 17 00 E1 3A 00
6963:0030 09 51 00 11 51 00 21 69-00 E1 3A 00 09 51 00 21
6963:0040 A3 00 22 17 00 E2 3A 00-24 51 00 21 51 00 22 69
6963:0050 00 E2 3A 00 24 51 00 22-A3 00 0A 17 00 CA 3A 00
6963:0060 12 51 00 22 51 00 0A 69-00 CA 3A 00 12 51 00 0A
6963:0070 A3 00 0C 17 00 CC 3A 00-09 51 00 0A 51 00 0C 69
-d
6963:0080 00 CC 3A 00 09 51 00 0C-A3 00 14 17 00 D4 3A 00
6963:0090 24 51 00 0C 51 00 14 69-00 D4 3A 00 24 51 00 00
6963:00A0 00 00 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00
6963:00B0 00 00 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00
6963:00C0 00 00 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00
6963:00D0 00 00 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00
6963:00E0 00 00 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00
6963:00F0 00 00 00 00 00 00 00 00-00 00 00 00 00 00 00

```

### รูป 3.12

เมื่อโปรแกรมทำงานมาถึงช่วงนี้จะเป็นการเสร็จสิ้นการเตรียมข้อมูลโดยสมบูรณ์ตั้งแต่หัวข้อที่ 17 - 21 จะเป็นการเตรียมอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ เพื่อรองรับโปรแกรมในการทำงานในส่วนของการส่งค่าออกพอร์ต

#### 17. การตั้งค่าเริ่มต้นให้พอร์ต 8255

พอร์ตควบคุม (control port) ทางฮาร์ดแวร์ ได้ถูกออกแบบไว้แล้วที่แอดเดรส OFF3FH ดังนั้นการส่งค่าเริ่มต้น (initial code) ให้พอร์ตจะส่งไปที่ OFF3FH โดยรหัสเริ่มต้นคือ 1000001b แต่ละบิตมีความหมายดังนี้คือ

d0 : port lower c , 1 = i/p, 0 = o/p  
d1 : port b , 1 = i/p, 0 = o/p  
d2 : mode , 1 mode 1 , 0 mode 0  
d3 : port upper c , 1 = i/p, 0 = o/p  
d4 : port a , 1 = i/p, 0 = o/p  
d5,d6: select mode, 00 mode 0, 01 mode 1 , 1X mode 2  
d7 : set flag , active 1

#### 18. ตั้งค่าตัวนับ (set counter)

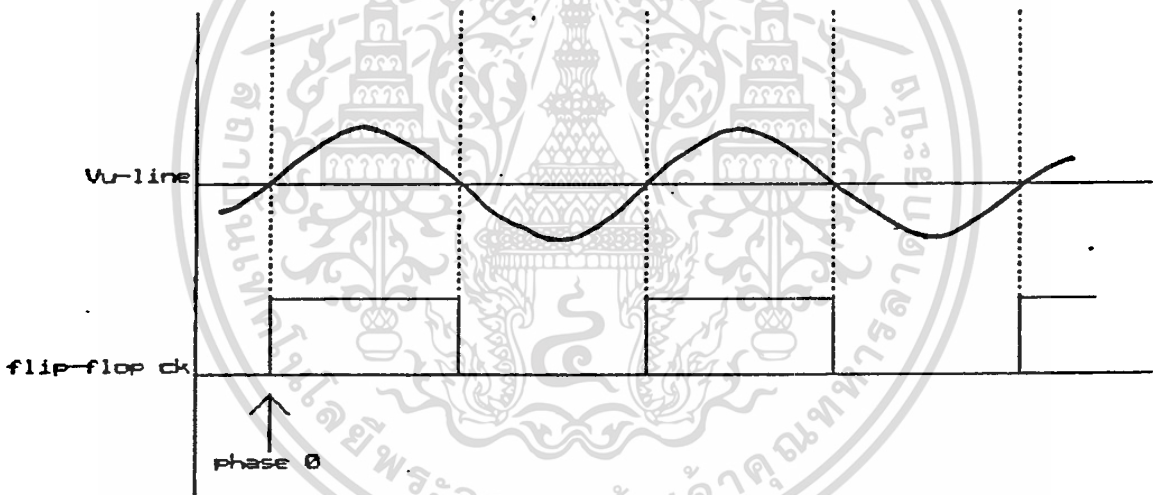
ในส่วนนี้มีไว้เพื่อจำกัดจำนวนครั้งที่จะต้องส่งค่าสัญญาณข้อมูลออกไปในระยะเวลา 1 คาบ ลูกคลื่นซายน์ ในที่นี้คือ 144 ( $144 = 3 \times 4 \times 12$ ) ซึ่ง 144 จะถูกเก็บไว้ที่หน่วยความจำ max โดย max ถูกคำนวณไว้แล้วในหัวข้อ 16 (1 คาบ สัญญาณซายน์แบ่งเป็น 12 ส่วน 1 ส่วนมี 4 ชุด 1 ชุด ใช้ที่เก็บ 3 ไบต์)

### 19. การตั้งค่ามุมที่จะเลื่อนไป (phase shift)

จะมีการนำค่ารหัสของการควบคุมอนุภาคสวิตช์ (4051) ที่ถูกเลือกเอาไว้แล้วในหัวข้อ 7-8 ส่งออกไปที่พอร์ท b โดยที่ทางฮาร์ดแวร์ได้ต่อ พอร์ท b ไว้กับขาควบคุมสวิตช์ของ 4051 แล้ว หมายความว่าผู้ใช้สามารถควบคุมการเลือกของ 4051 ในการเลือกมุมโดยการส่งค่าผ่านพอร์ท b นั้นเอง

### 20. ตรวจสอบความพร้อม

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการตั้ง ไตรเซตตรท และ ฟลิปฟลอป ให้ทำงานเพื่อให้  $c0$   $c1$  ไม่สามารถปรับค่าได้โดยการส่งค่า  $c4$   $c5 = 1$  ไปที่พอร์ท c (ดูวงจรทางฮาร์ดแวร์ประกอบ) ส่วนที่ 2 เป็นการตรวจหาค่าคล็อกของฟลิปฟลอปที่เป็น 0 โดยการอ่านค่าจากพอร์ท c1 เป็น 0 ให้ผ่านไปยังส่วนที่ 3 หากยังไม่เป็น 0 ให้อ่านต่อไป จนกว่าจะพบค่า 0 เมื่อพบแล้วให้ผ่านไปยังส่วนที่ 3 ซึ่งจะเป็นการตั้งค่า ไตรเซตตรท และฟลิปฟลอปให้ทำงาน เพื่อให้  $c0$   $c1$  สามารถปรับค่าได้ โดยส่งค่า  $c4$   $c5 = 0$  ไปยังพอร์ท c แล้วจึงเข้าไปยังส่วนที่ 21 ต่อไป เหตุที่ต้องทำเช่นนี้เพื่อตรวจหาเฟส 0 ของสัญญาณชายน์ เพื่อที่จะเริ่มต้นของสัญญาณทริกที่จุดนั้น



รูป 3.13

### 21. อ่านค่า $c0$ จากพอร์ท c

เพื่อใช้ในการตรวจหามุม 0 ของลูกคลื่นชายน์

### 22. ตรวจค่า $c0$

ในโปรแกรมส่วนนี้หาก  $c0 = 1$  แสดงว่าถึงมุม 0 ของสัญญาณชายน์แล้ว ให้เข้าไปโปรแกรมส่งค่าสัญญาณทริก หาก  $c0 \neq 1$  แสดงว่ายังไม่ถึงมุม 0 ของสัญญาณชายน์ ให้กลับไปอ่านค่า  $c0$  ใหม่

### 23. โปรแกรมส่งค่าสัญญาณทริก

ส่วนนี้นับว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในโปรแกรมทั้งหมด เพราะการคำนวณค่าต่าง ๆ และการ

เตรียมตั้งค่าควบคุมฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ก็ทำเพื่อให้โปรแกรมส่วนนี้ทำงานได้นั่นเอง ดังนั้น จะแบ่งโปรแกรมส่วนนี้ออกเป็นส่วนย่อย ๆ ตามลำดับการทำงานดังนี้

23.1 เคลียร์พอร์ท c เนื่องจาก พอร์ท c0 c1 ใช้สำหรับตรวจสอบมุม  $\theta$  ของสัญญาณชายน์ เพื่อให้การส่งสัญญาณทริกทำเมื่อถึงมุม  $\theta$  เท่านั้น ดังนั้นเมื่อเข้ามาถึงส่วนของการส่งสัญญาณแล้วจึงจะต้องเคลียร์ พอร์ท c0 c1 ไม่ให้รับค่าได้ โดยการส่ง c4 c5 = 1 เพื่อให้ทำให้ไตรสเตรท และ ฟลิปฟลอป ไม่ทำงาน

23.2 ตั้งค่าตัวนับ เนื่องจากโปรแกรมส่วนนี้ใช้ bx อ้างแอดเดรสหน่วยความจำ ใช้ dx อ้างแอดเดรสพอร์ท ใช้ cx เป็นตัวจำกัดค่าสูงสุดของการส่งค่าสัญญาณทริกในหนึ่งค่าสัญญาณชายน์ และใช้ ax เป็นรีจิสเตอร์เก็บข้อมูล ดังนั้นจึงต้องใช้รีจิสเตอร์ si ในการเป็นตัวนับย่อยในโปรแกรมส่วนนี้ ก่อนเข้าโปรแกรมการส่งให้ si = 0

23.3 นำสัญญาณข้อมูลมาจากหน่วยความจำ โดยนำมาจากหน่วยความจำ databuffer ที่เตรียมไว้เรียบร้อยแล้วจะส่งแก่ตัวจะนำมาเพียง 1 ไบต์ (ใช้ move เข้า a1) เพราะถ้า move เข้า ax จะเป็น 2 ไบต์ จะนำเอารหัสหนึ่งเวลาเข้ามาด้วย ซึ่งจะผิดวัตถุประสงค์ในการทำงาน

23.4 ส่งสัญญาณข้อมูลออกพอร์ท ในโปรแกรมนี้ใช้พอร์ท a เป็น พอร์ทส่งสัญญาณข้อมูล

23.5 นำรหัสหนึ่งเวลาจากหน่วยความจำ จะสังเกตเห็นว่านำเอารหัสหนึ่งเวลาจากหน่วยความจำที่มีแอดเดรสหลังจากสัญญาณข้อมูล 1 ตำแหน่ง ตามที่ได้ออกแบบหน่วยความจำเอาไว้แล้ว และจะต้องนำมา 2 ไบต์ คือ move เข้า ax

23.6 หนึ่งเวลาเพื่อให้โปรแกรมสั้นที่สุด และง่ายที่สุด ในส่วนหนึ่งเวลานี้จะใช้การลดลงของรหัสหนึ่งเวลา (dec)

23.7 ตรวจสอบการสิ้นสุดการหนึ่งเวลา ในที่นี้จะทำให้ตรวจว่าค่ารหัสหนึ่งเวลาลดลงจนเป็น 0 หรือยัง หากยังไม่ถึง 0 ให้กลับไปยัง 23.6 คือ ลดค่าลงไปอีก แต่หากเป็น 0 แล้ว ให้สิ้นสุดการหนึ่งเวลามาทำที่ 23.8 ต่อไป

23.8 เพิ่มตัวนับ จะเพิ่มตัวนับอีก 3 เพราะใน data ที่ใช้ส่งออก 1 ชุด จะประกอบไปด้วยสัญญาณข้อมูล 1 ไบต์ รหัสหนึ่งเวลาอีก 2 ไบต์ ดังนั้นจึงต้องเพิ่ม ตัวนับ (si) อีก 3 จึงจะถึงตำแหน่งของข้อมูลชุดต่อไป

23.9 ตรวจสอบการสิ้นสุด 1 คาบ ทำได้โดยการเปรียบเทียบตัวนับ (si) กับค่า max(cx) ว่าเท่ากันหรือยัง ถ้ายังไม่เท่าแสดงว่าการส่งยังไม่สิ้นสุดถึง 360 องศาของสัญญาณชายน์ ถ้าหาก si = cx แสดงว่าส่งเสร็จ 1 คาบสัญญาณชายน์แล้ว จึงไปตรวจค่าจากคีย์บอร์ด ในหัวข้อ 23.10 ปรับค่า แลมป์ดา, ta1, มุม (phase shift) ต่อไป

23.10 ปรับค่าแลมป์ดา, ta1, มุม เริ่มแรกจะมีการตรวจว่าคีย์บอร์ดถูกกดหรือไม่โดยใช้ int 16h ฝั่งที่ขึ้น 00 เรียกบริการจาก ไบออส ถ้าคีย์บอร์ดไม่ถูกกดก็จะออกไปที่

23.11 ทันที หากถูกกดโปรแกรมในส่วนต่อไป โดยจะใช้ int 16h ฝั่งที่ขึ้น 01 เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่ารหัสสแกนของคีย์บอร์ดที่ถูกกดแล้วนำไปแยกประเภทของรหัสสแกนว่า อยู่ในช่วงใด กัดเพื่อต้องการให้เปลี่ยนค่าใด (แลมบ์ดา,  $\lambda$ , มม) และเพื่อเปลี่ยนเป็นเท่าไร หรือกดเพื่อต้องการยกเลิกการทำงานของโปรแกรม หากต้องการเปลี่ยนค่าก็จะจำแนก ประเภทแล้วกระโดดไปยังโปรแกรม เปลี่ยนค่าเหล่านั้นทันที เมื่อเสร็จจากการคำนวณ ค่า แลมบ์ดา,  $\lambda$  ใหม่แล้ว จะกระโดดไปยังจุดที่จะต้องเปิดไฟล์ใหม่ จะมีการจัดไฟล์ ใหม่ แล้วจึงทำโปรแกรมต่อไป แต่ถ้าค่ามมถูกเปลี่ยนไป เมื่อเสร็จแล้วจะกระโดดกลับไป ยังจุดที่มีการส่งรหัสชีพเฟสออกพอร์ท b เพื่อคัม 4051 (อนาลอกสวิทช์) จึงจะเห็นได้ว่า หากปรับมมชีพเฟสจะไม่มีการเปิดไฟล์ใหม่ จึงสามารถลดเวลาลงไปได้มาก แต่อย่างไร ก็ตามหากให้คอมพิวเตอร์ทำงานติดต่อกับแรมดิสต์ ปัญหาเรื่องเวลาในการติดต่อฟลอปปี ดิสต์ จะหมดไปเพราะการติดต่อกับแรมดิสต์จะใช้เวลาน้อยกว่ามาก

## KEY TABLE

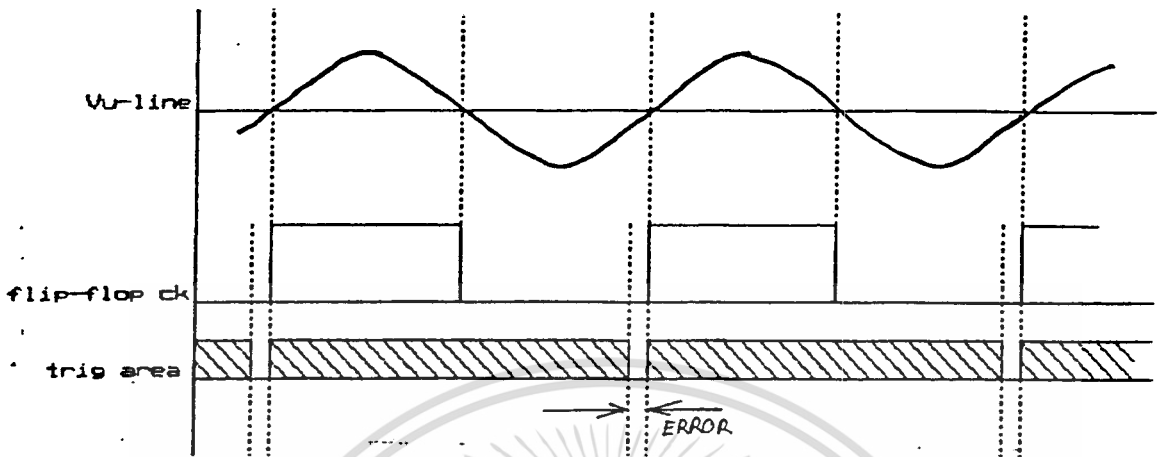
key	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
lambda (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
maxtal (microsec)	56	111	167	222	278	333	389	444	500	560

key	q	w	e	r	t	y	u
angle phase shift	0	30	60	90	120	150	180

key	d	f	g	h	j	k	l	;	'	,
tal (microsec)	40	70	100	130	160	190	220	250	280	310

23.11 เอนเนเบิลพอร์ท c หลังจากพอร์ท c0 c1 ถูกดิสเอเบิล เมื่อตอนต้นโปรแกรม การส่งสัญญาณ เมื่อนำวงจรทำงานเสร็จเรียบร้อยคือครบ 1 คาบสัญญาณชาयน์แล้ว ก่อนจะ ออกไปตรวจสอบมม 0 ของสัญญาณชาयน์ใหม่ จะต้องมีการเอนเนเบิลพอร์ท c0 c1 ให้สามารถอ่านค่าได้ โดยส่งค่า c4 c5 = 0 ไปทำให้ไทรสเตอร์ทและฟลิปฟลอป ส่งค่ามาให้ c0 c1 รับไปอ่านได้ จากนั้นจึงกระโดดไปที่การอ่านค่า c0 จากพอร์ท c ใหม่ (หัวข้อ 21) เพื่อจะหาค่า 1 ซึ่งคือมม 0 ของสัญญาณชาयน์ต่อไป จะสังเกตเห็นว่าในการกลับไป ทำใหม่นี้ไม่ต้องไปที่หัวข้อ 20 เพื่อตรวจหาค่า 0 อีก เพราะขณะที่สัญญาณทริกถูกส่งออก ครบ 1 ลูกคลื่นชาयน์แล้ว ในช่วงเวลาที่เหลือค่าที่มารอไว้ที่ c0 เป็น 0 อยู่แล้ว ดังรูป



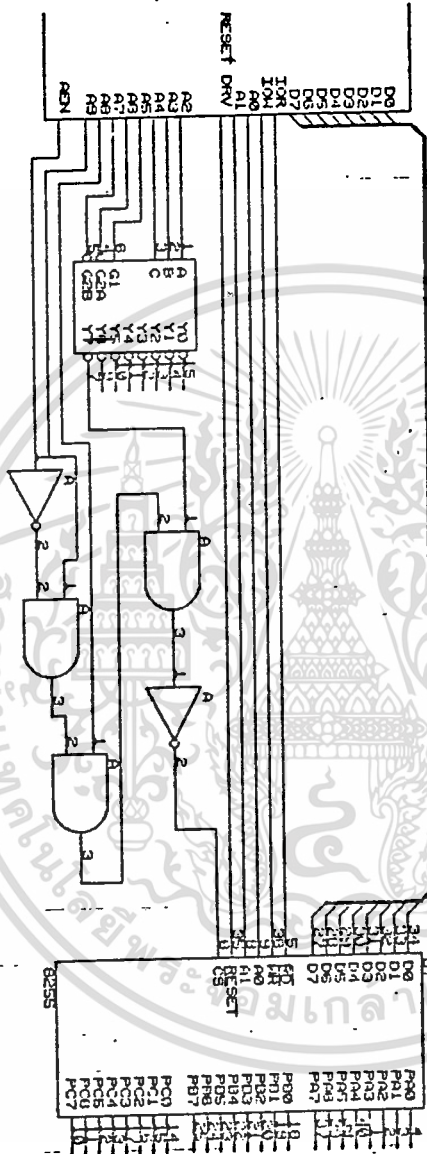
รูป 3.14

แต่ถ้าเป็นการเริ่มทำงานครั้งแรก จะต้องมีกรตรวจหาสถานะ 0 ก่อนเสมอเพื่อการตรวจ  
หาค่า 1 ในครั้งต่อจะเป็นนม 0 พอดี

### 3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบส่วนนี้จำเป็นจะต้องให้สอดคล้องกับการทำงานของซอฟต์แวร์ เป็นอย่างมาก

#### 3.2.1 การต่อ สล็อต กับ พอร์ต

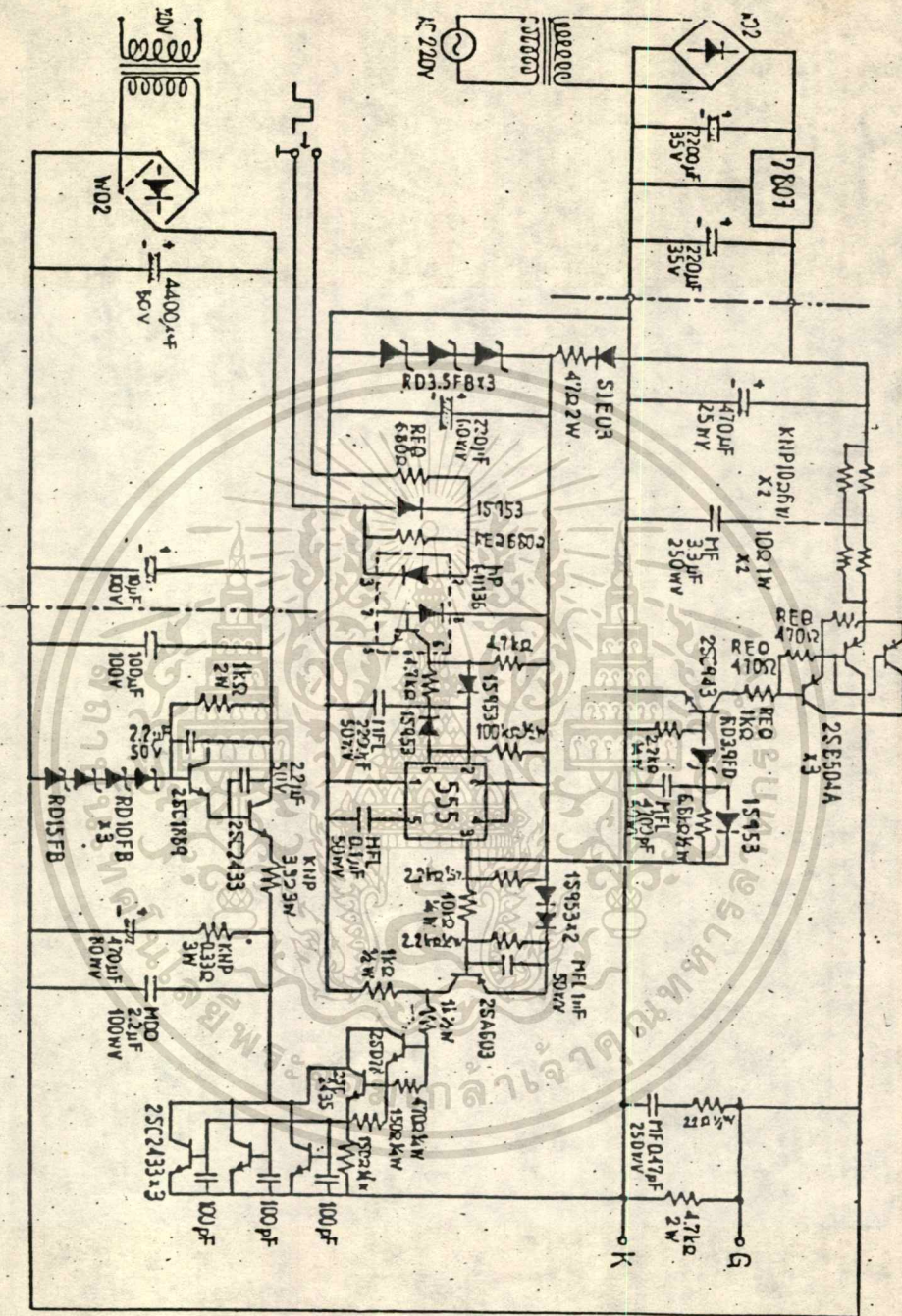


รูป 3.15

รูป 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





วงจรถูกขับ

รูป 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบวงจรหลัก

66

#### วงจรหลัก

- |  |   |     |
|--|---|-----|
| 1. จีทีโอ 1 ถึง จีทีโอ 6 แบบ $\text{gffr200e12}$ | 6 | ตัว |
| 2. ความต้านทาน สนับเบอร์ 5 โอห์ม                 | 6 | ตัว |
| 3. ตัวเก็บประจุ สนับเบอร์ 0.47 ไมโครฟารัด        | 6 | ตัว |
| 4. ไดโอด สนับเบอร์ 7 A 1000 V                    | 6 | ตัว |
| 5. ไดโอด อนุกรม 7 A 1000 V                       | 6 | ตัว |
| 6. ตัวเหนี่ยวนำเรียงกระแส 260 mH                 | 1 | ตัว |

#### วงจรช่วย

- |  |   |     |
|--|---|-----|
| 1. จีทีโอ 7 - จีทีโอ 8 แบบ $\text{gffr200e12}$ | 2 | ตัว |
| 2. ความต้านทาน สนับเบอร์ 5 โอห์ม               | 6 | ตัว |
| 3. ตัวเก็บประจุ สนับเบอร์ 0.47 ไมโครฟารัด      | 6 | ตัว |
| 4. ไดโอด สนับเบอร์ 7 A 1000 V                  | 2 | ตัว |
| 5. ไดโอด อนุกรม 7 A 1000 V                     | 2 | ตัว |
| 6. ตัวเหนี่ยวนำ 50 mH 10 A                     | 2 | ตัว |
| 7. ไดโอด ฟรีวิล D7, D8                         | 2 | ตัว |
| 8. ไดโอด บริดจ์ 10 A 1000 V                    | 6 | ตัว |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#####
DATA TEST #4
#####
angle  Vin  Lin  Min  Ed  Id  Ecd  outcose  cose  mu  eff  Ecd/3  Idt10
#####
0  100  2.30  515  128  3.00  300  74.63768  1.0000  74.6377  74.5631  100.00  30.00
5  106  2.30  540  134  3.00  320  73.83100  0.9962  74.1130  74.4444  106.67  30.00
10  110  2.30  540  136  3.00  335  71.14624  0.9848  72.2438  75.5556  111.67  30.00
15  116  2.30  555  138  3.00  355  69.34032  0.9659  71.7864  74.5946  118.33  30.00
20  110  2.20  475  124  2.75  340  65.42699  0.9397  69.6260  71.7895  113.33  27.50
25  114  2.10  440  118  2.60  350  61.26427  0.9063  67.5976  69.7273  116.67  26.00
30  110  2.00  380  108  2.50  350  57.57575  0.8660  66.4828  71.0526  116.67  25.00
35  90  1.60  240  76  2.00  290  55.55555  0.8192  67.8208  63.3333  96.67  20.00
40  102  1.65  250  78  2.00  330  49.51475  0.7660  64.6369  62.4000  110.00  20.00
45  96  1.45  190  64  1.75  310  45.49808  0.7071  64.3440  58.9474  103.33  17.50
50  92  1.30  150  50  1.50  300  41.80602  0.6428  65.0386  50.0000  100.00  15.00
55  92  1.20  115  42  1.30  300  34.72222  0.5736  60.5363  47.4783  100.00  13.00
60  88  0.90  65  22  1.00  270  27.35690  0.5000  54.7138  33.8462  90.00  10.00
#####
tal = 340-microsec          lamda = 80Z
#####

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

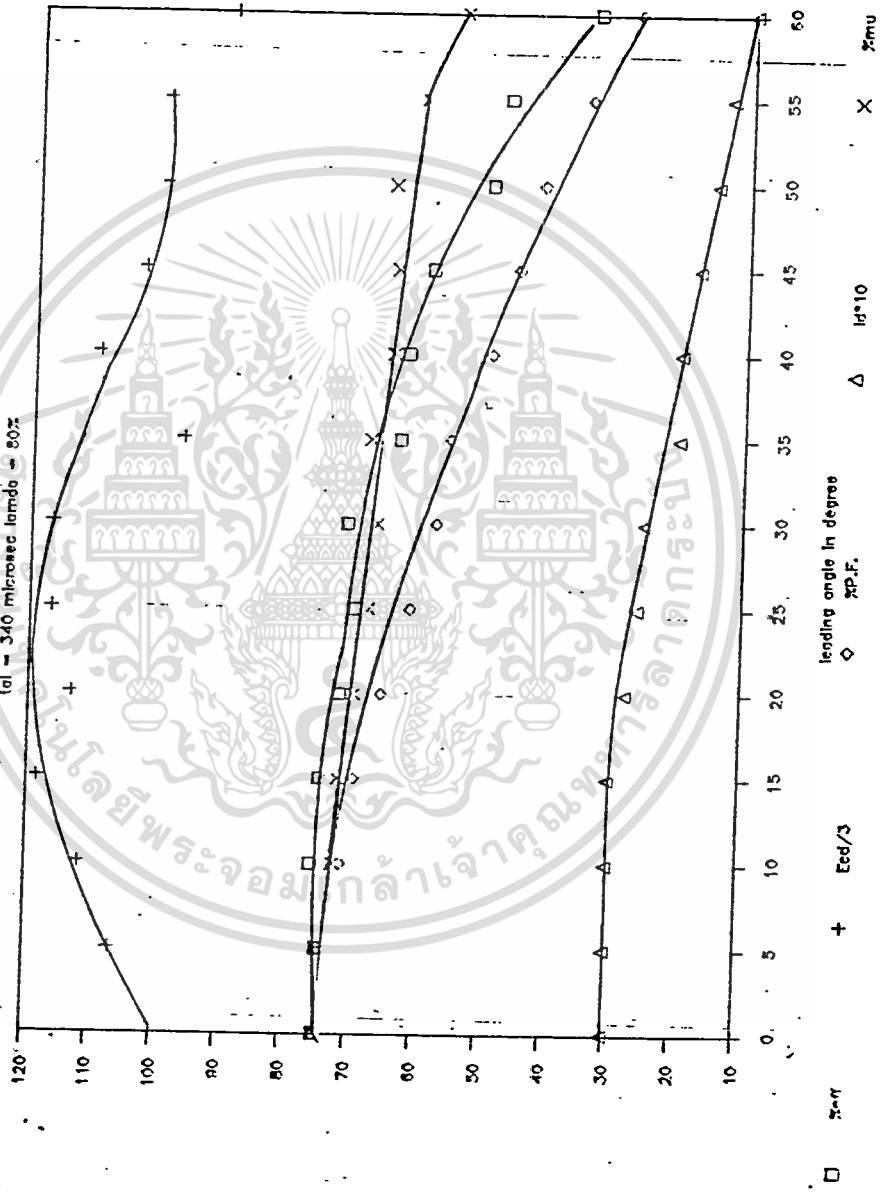
angle	mod	Vin	lin	Win	Ed	Id	Ecd	μuse	cosε	μu	eff	Ecd/3	Idt10
0	0.4	98	1.00	170	58	1.75	350	57.823	1.000	57.82313	59.706	116.67	17.5
0	0.5	98	1.30	230	75	2.00	350	60.178	1.000	60.17792	65.217	116.67	20.0
0	0.6	98	1.60	300	92	2.30	350	63.776	1.000	63.77551	70.533	116.67	23.0
0	0.7	98	1.90	380	108	2.60	350	68.027	1.000	68.02721	73.895	116.67	26.0
0	0.8	98	2.20	460	126	2.80	348	71.119	1.000	71.11936	76.696	116.00	28.0
0	0.9	98	2.50	550	142	3.10	325	74.830	1.000	74.82993	80.036	108.33	31.0
30	0.4	78	0.50	75	28	1.20	250	64.103	0.8660	74.01927	44.800	83.33	12.0
30	0.5	78	1.00	100	38	1.45	250	42.735	0.8660	49.34618	55.100	83.33	14.5
30	0.6	78	1.15	135	50	1.60	250	50.167	0.8660	57.92812	59.259	83.33	16.0
30	0.7	78	1.35	165	58	1.75	250	52.232	0.8660	60.31199	61.515	83.33	17.5
30	0.8	78	1.60	210	68	2.00	240	56.090	0.8660	64.76686	64.762	80.00	20.0
30	0.9	78	1.80	240	80	2.20	220	56.980	0.8660	65.79490	73.333	73.33	22.0
45	0.4	100	0.40	35	16	0.90	350	29.167	0.7071	41.24790	41.143	116.67	9.0
45	0.5	100	0.60	60	24	1.10	369	33.333	0.7071	47.14045	44.000	123.00	11.0
45	0.6	100	1.00	80	34	1.25	365	26.667	0.7071	37.71236	53.125	121.67	12.5
45	0.7	100	1.15	100	40	1.40	365	28.986	0.7071	40.99170	56.000	121.67	14.0
45	0.8	100	1.35	140	52	1.60	355	34.568	0.7071	48.88639	59.429	118.33	16.0
45	0.9	100	1.50	160	60	1.80	338	35.556	0.7071	50.28315	67.500	112.67	18.0

tal = 220 microsec constant load (10 lamp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

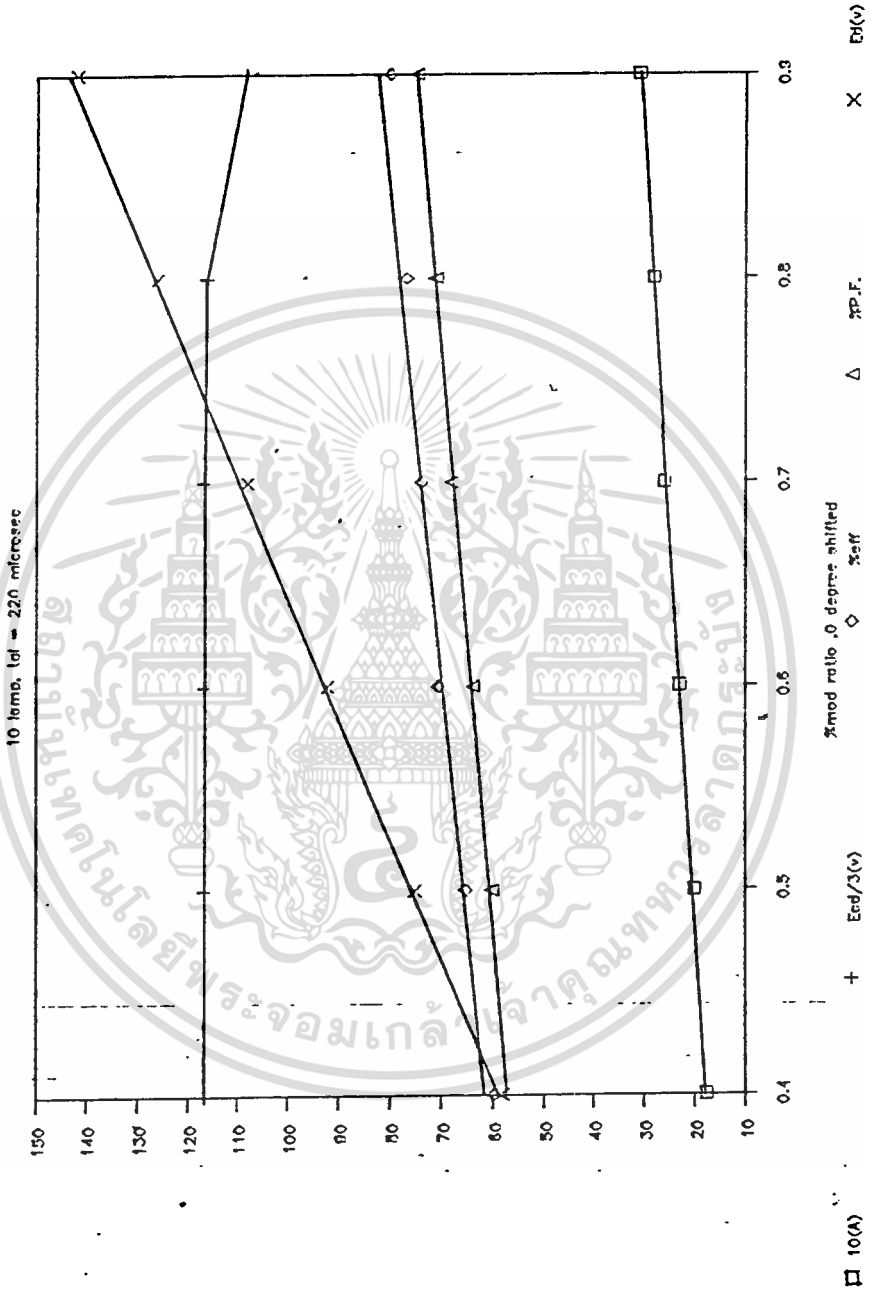
# DATA GRAPH TEST #4

$\lambda = 340 \text{ microns}$   $\lambda = 80\%$



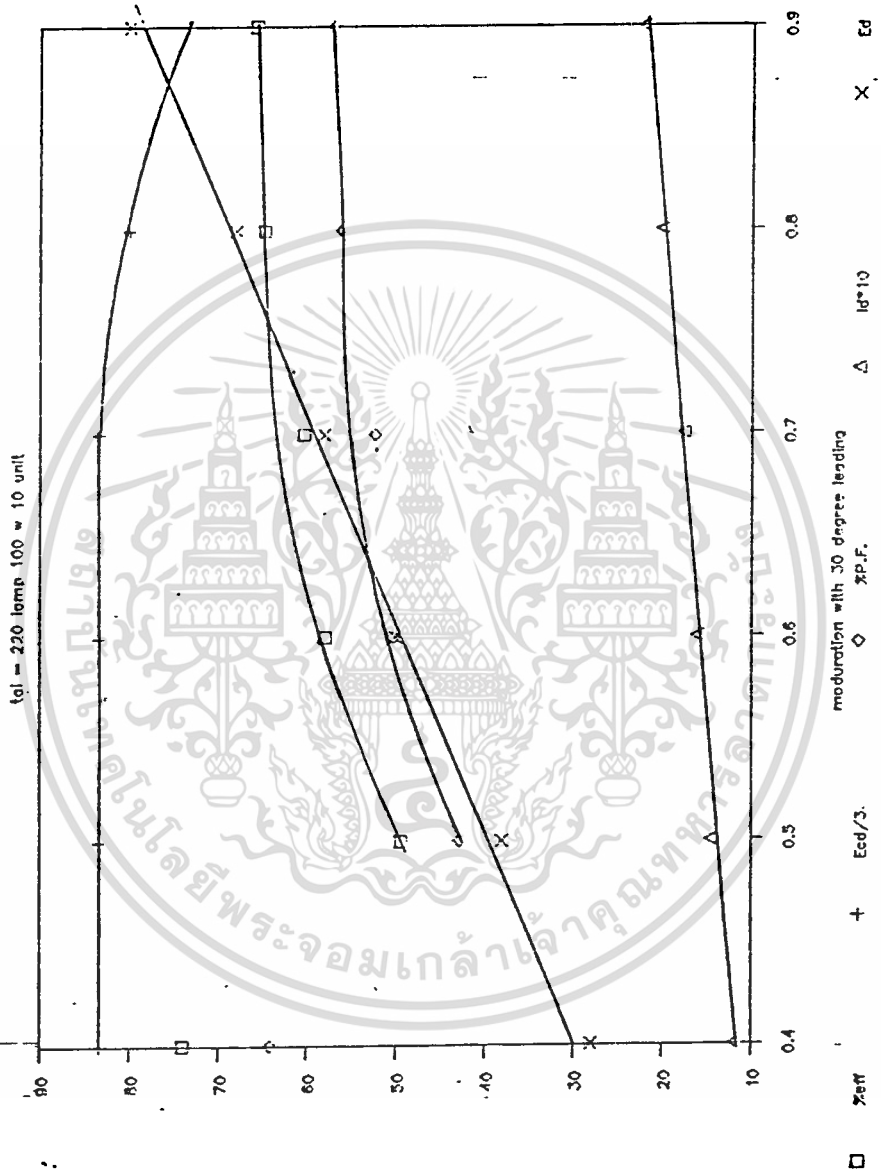
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DATA GRAPH TEST #2



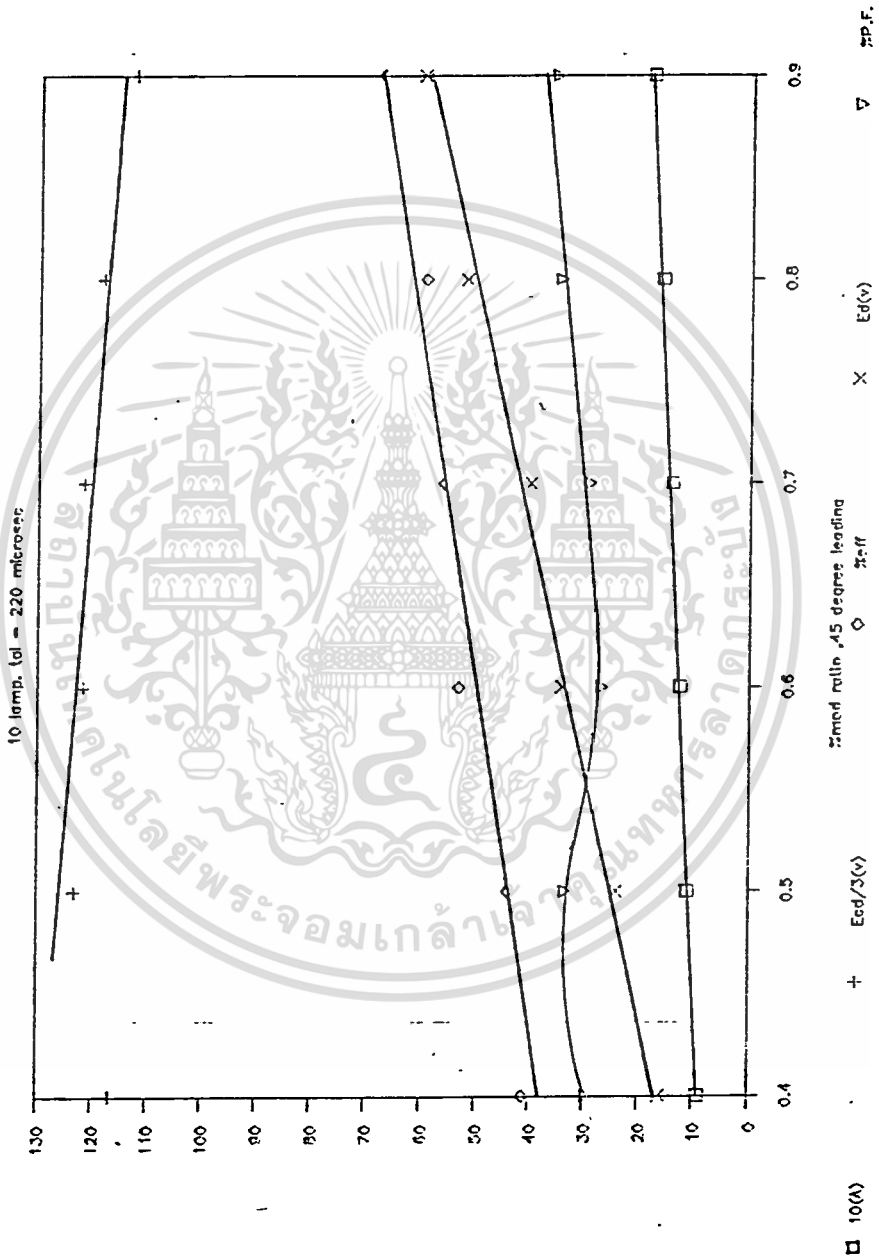
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA GRAPH TEST #4

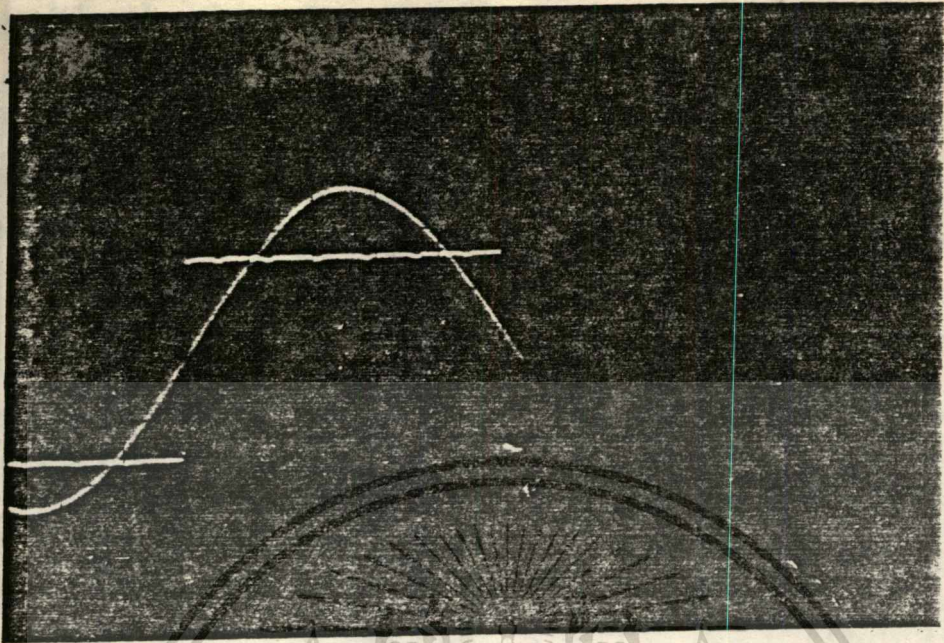


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DATA GRAPH TEST #3



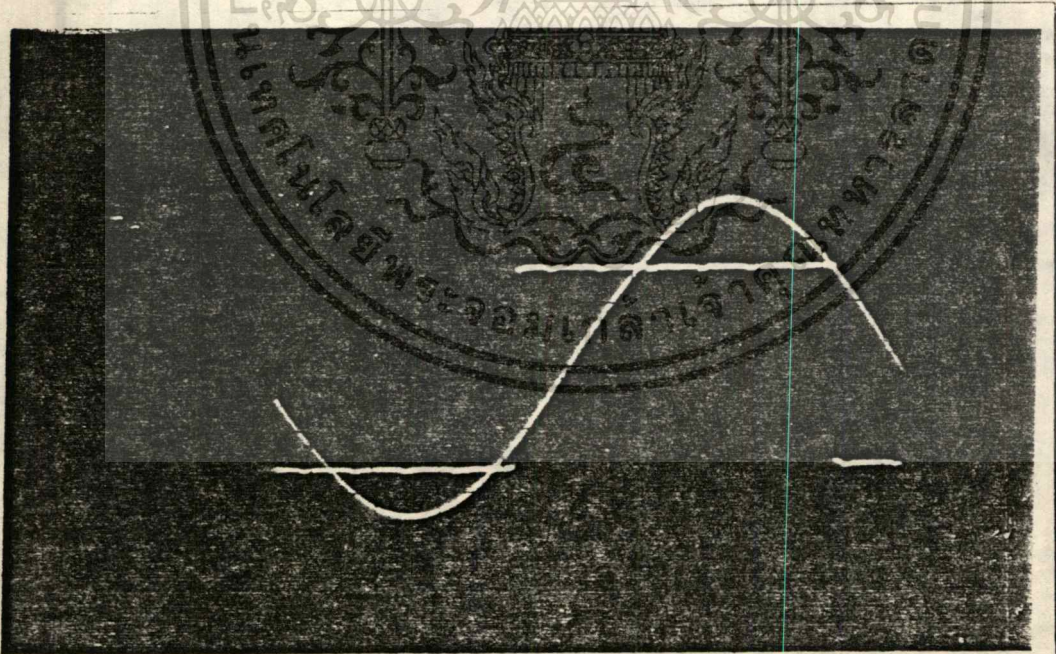
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



-5

-0

แสดงการเคลื่อนสัญญาณอ้างอิงออกจาก Vu ที่ ๑

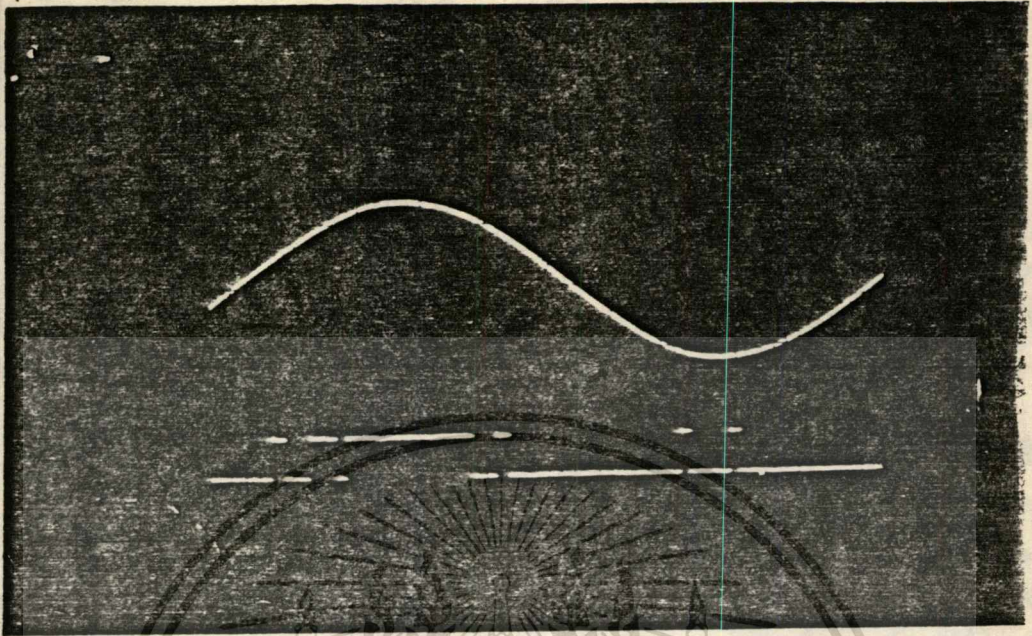


-5

-0

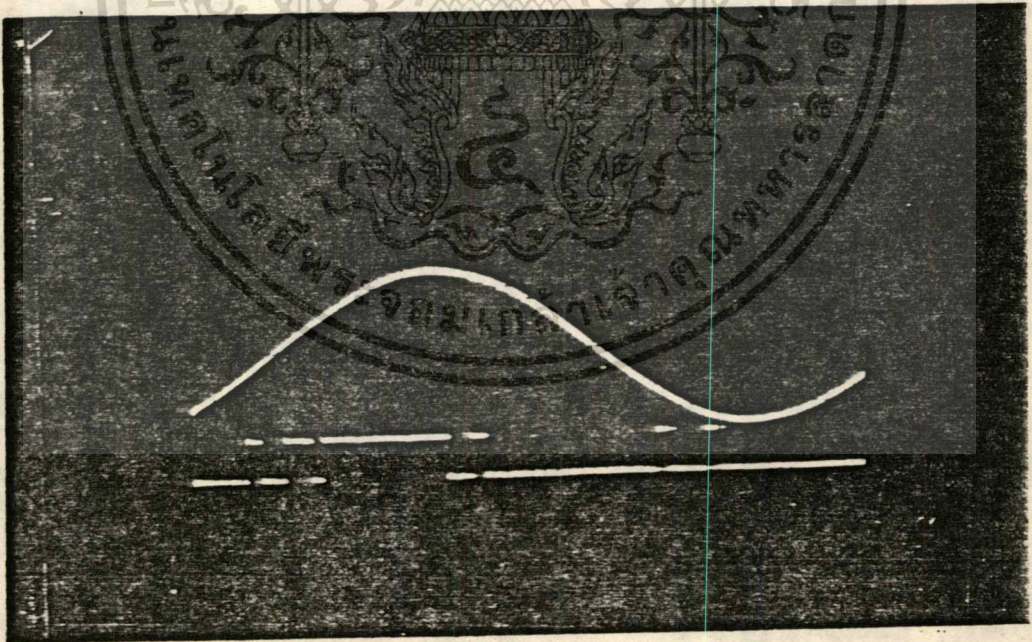
แสดงการเคลื่อนสัญญาณอ้างอิงออกจาก Vu ที่ ๓๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



-5  
-0

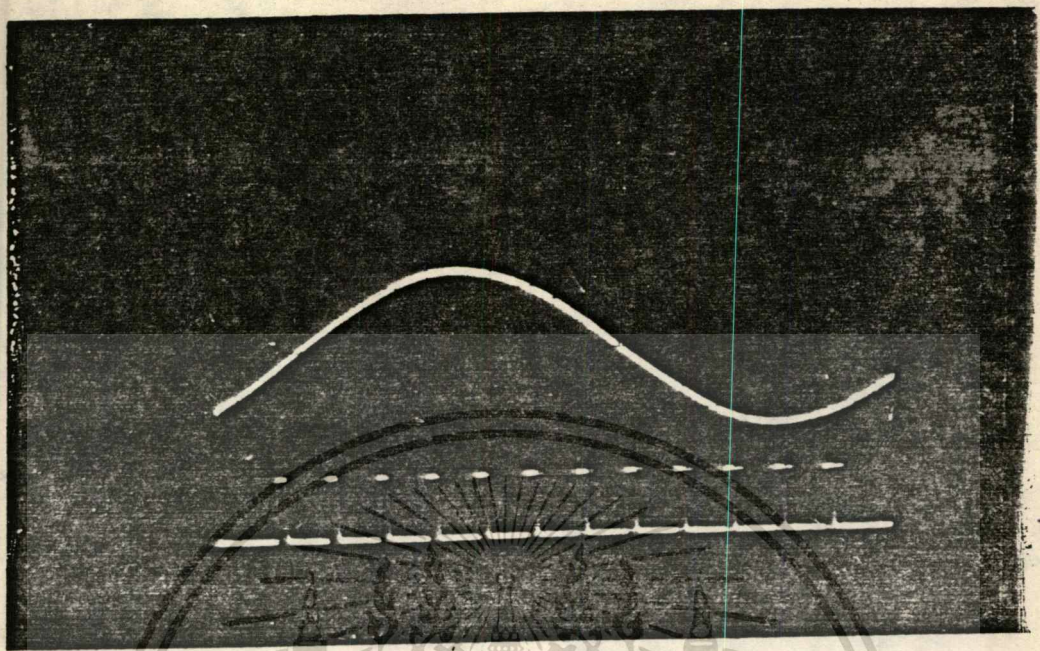
G1 เทียบ Vu 0 leading  $\tau = 300$  microsec.,  $\lambda = 80\%$



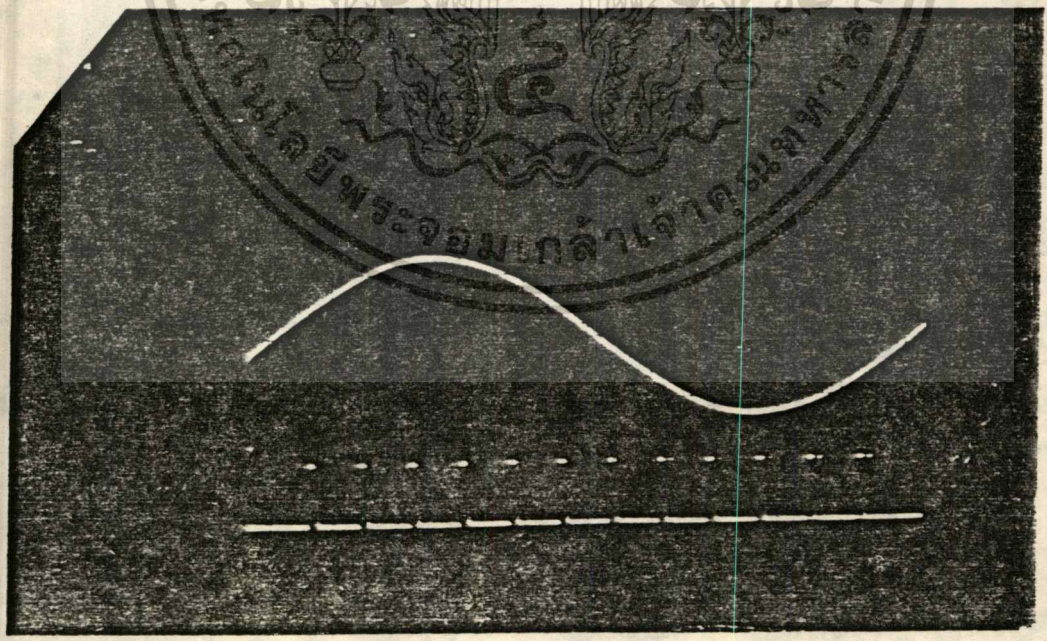
-5  
-0

G1 เทียบ Vu 30' leading  $\tau = 300$  microsec.,  $\lambda = 80\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

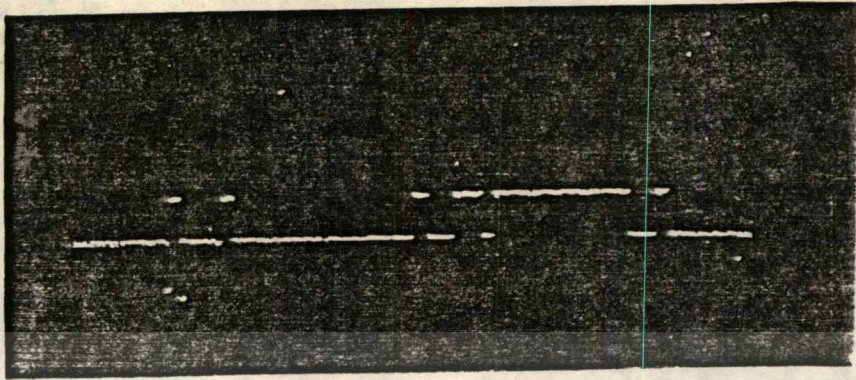


G7 เทียบ Vu 30 leading  $\tau = 300$  microsec.



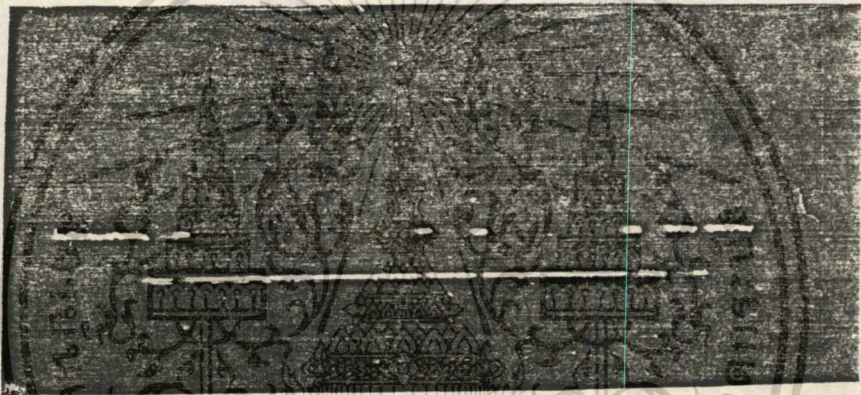
G7 เทียบ Vu 0 leading  $\tau = 220$  microsec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



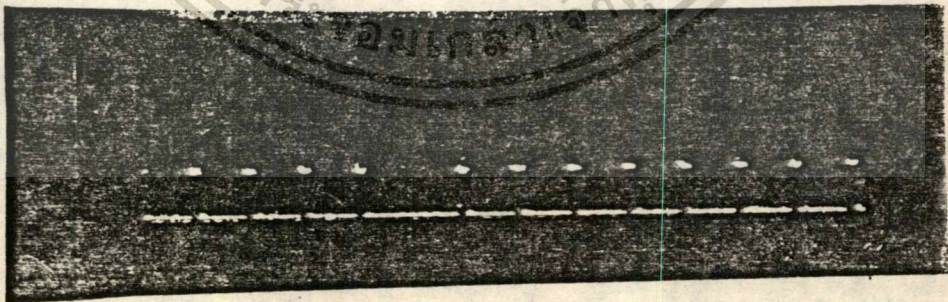
-5  
-0

G1 lamda=80% ,  $T=300$  microsec.,  $\theta$  leading



-5  
-0

G2 lamda=80% ,  $T=300$  microsec.,  $\theta$  leading



-5  
-0

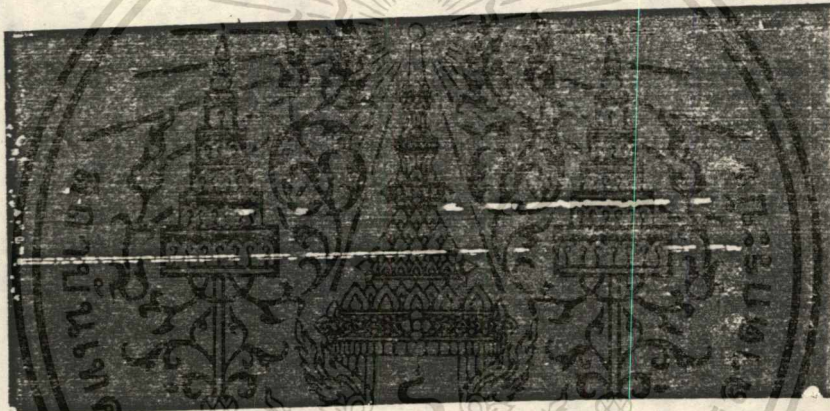
G7 lamda=80% ,  $T=300$  microsec.,  $\theta$  leading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



-5  
-0

G1 lamda=80% ,  $\tau$  =220 microsec., 60° leading



-5  
-0

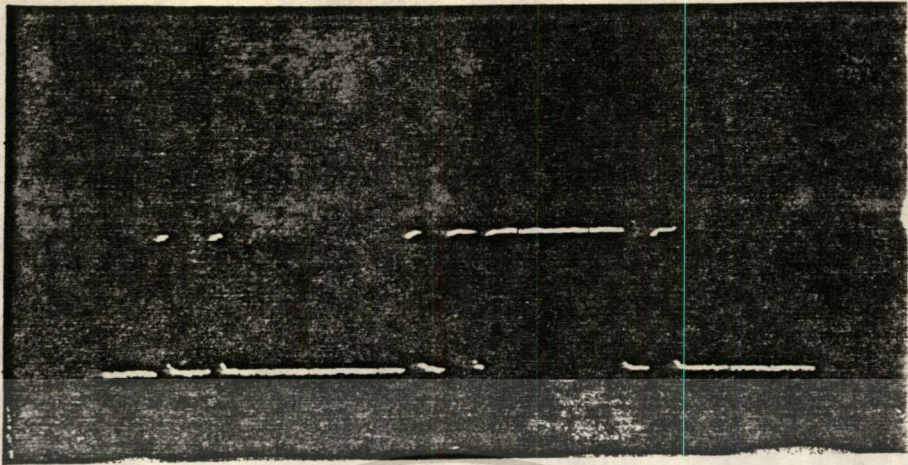
G2 lamda=80% ,  $\tau$  =220 microsec., 60° leading



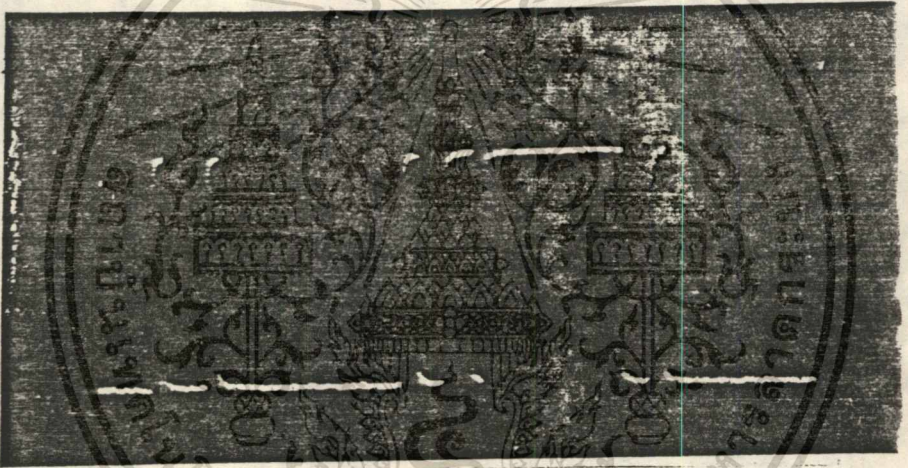
-5  
-0

G7 lamda=80% ,  $\tau$  =220 microsec., 60° leading

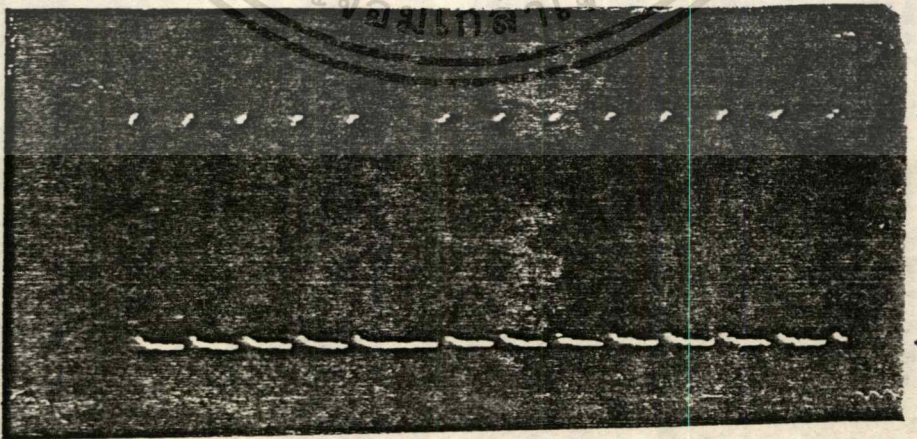
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Drive G1  $\tau=220$  microsec.,  $\phi$  leading, loaded

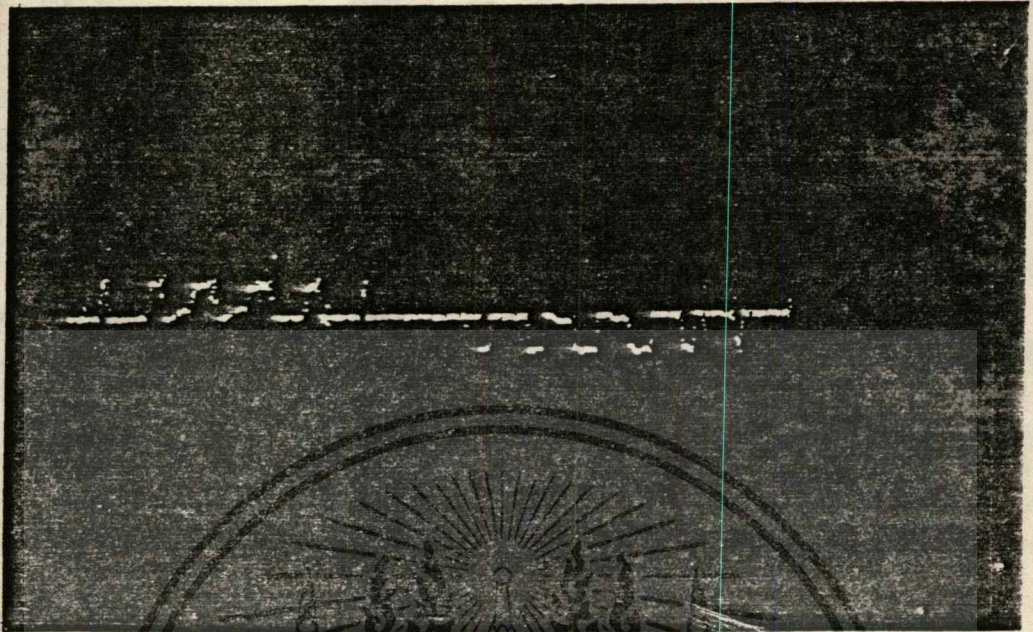


Drive G1  $\tau=220$  microsec.,  $\phi$  leading, no load

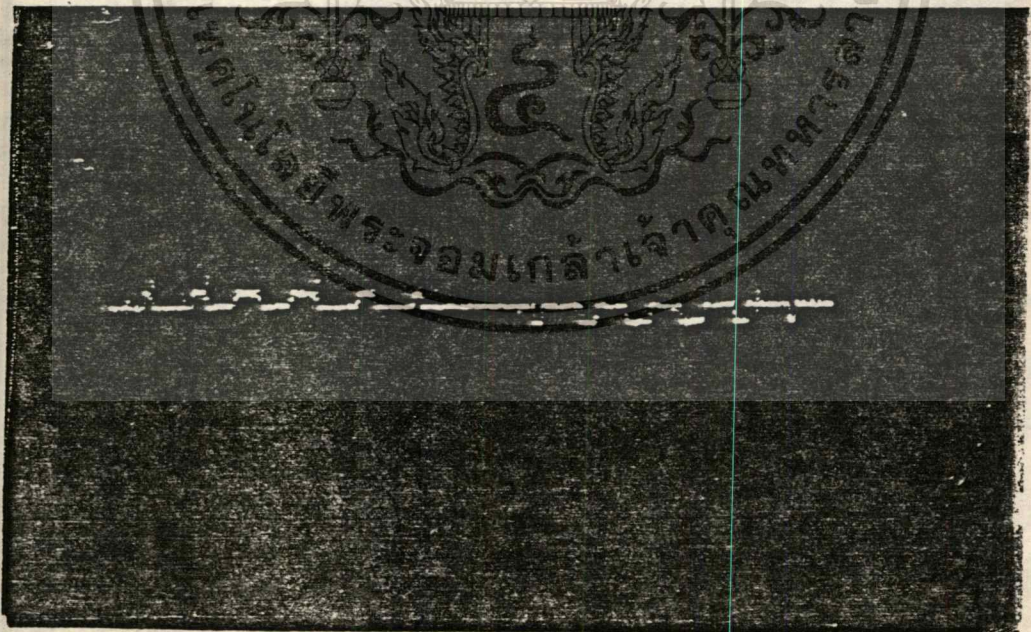


Drive G7  $\tau=220$  microsec.,  $\phi$  leading, no load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

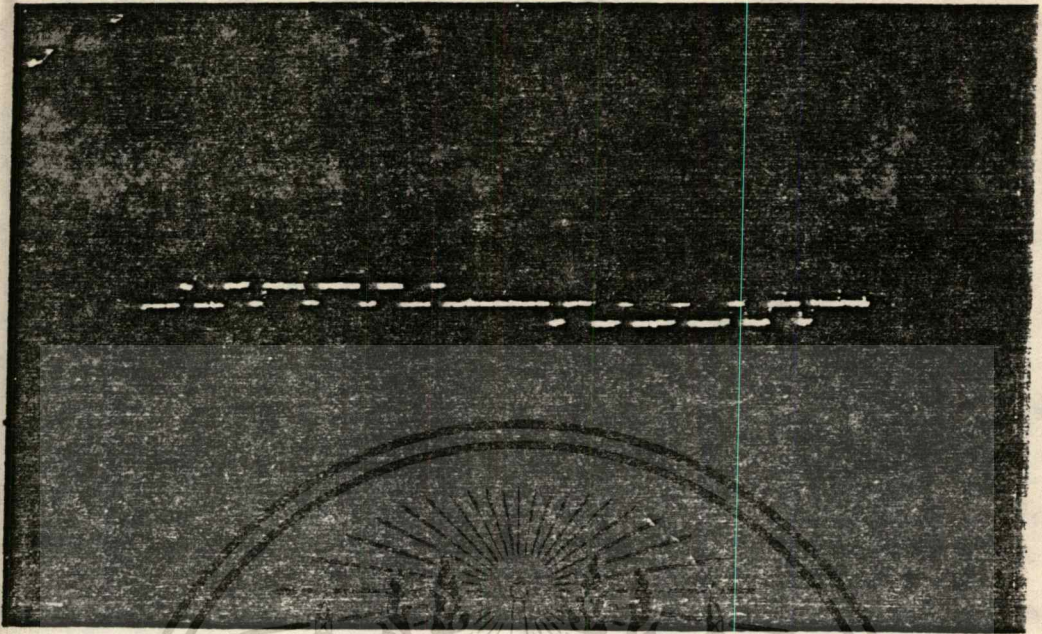


Iu lamda=40%  $\tau$ =200 microsec. 0 leading

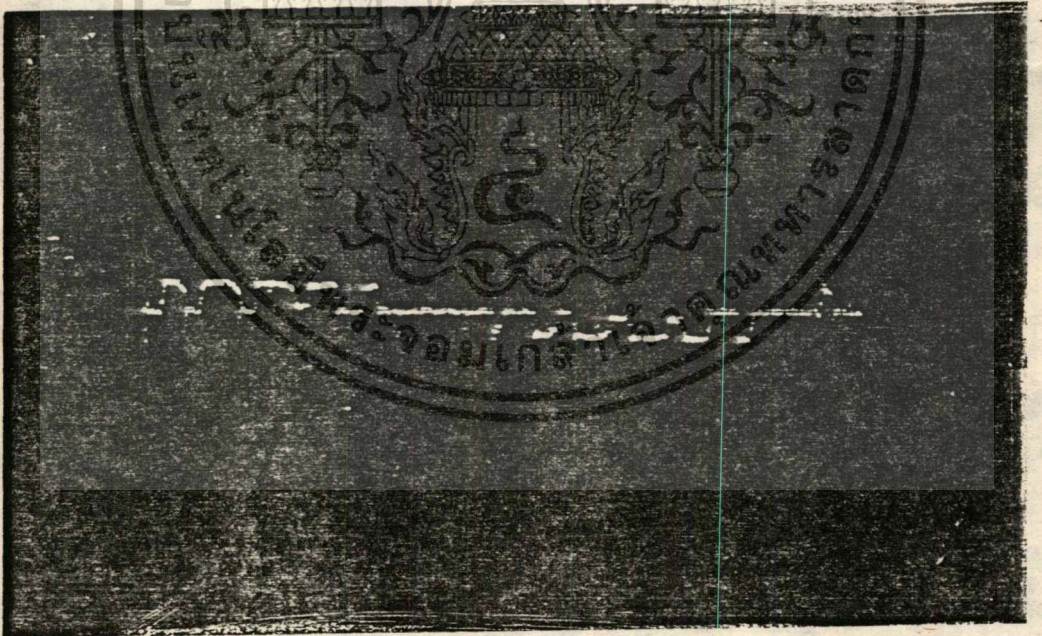


Iu lamda=40%  $\tau$ =200 microsec. 30 leading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

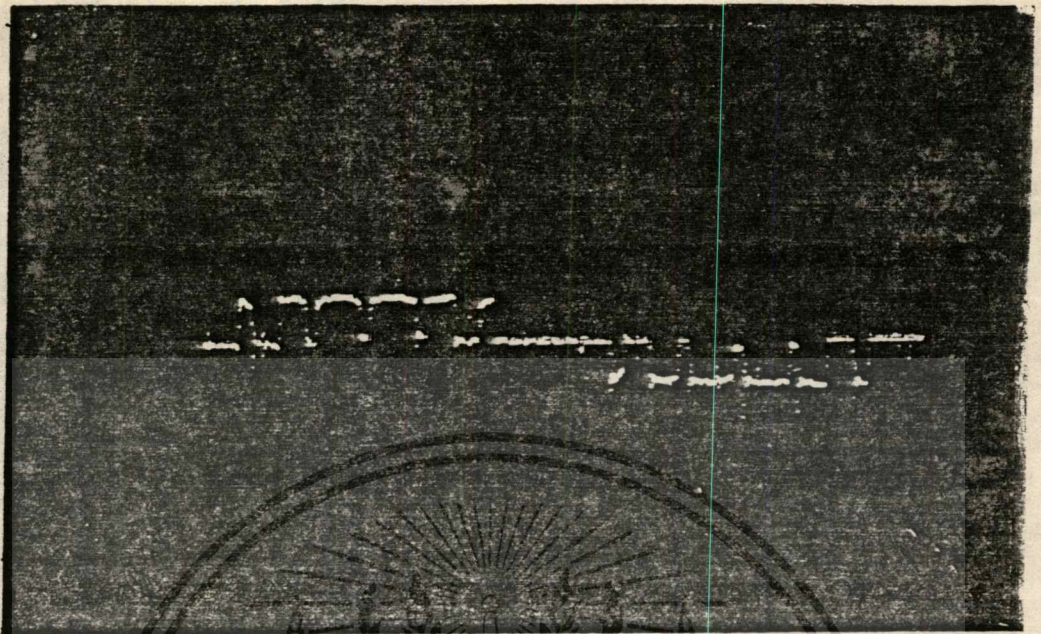


$I_u$  lamda=70%  $\tau$ =200 microsec. 0 leading

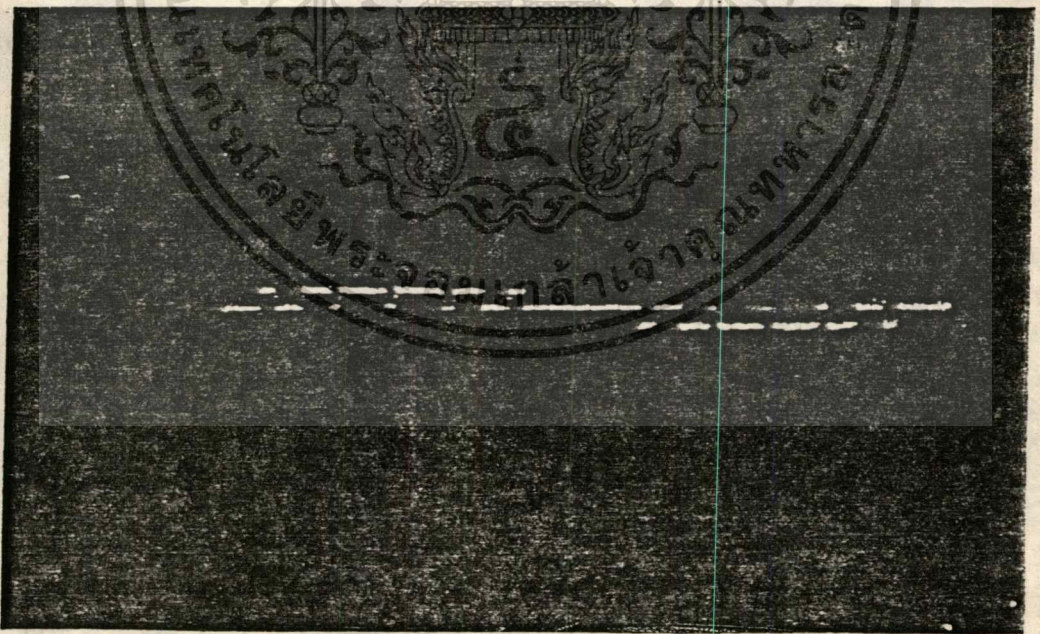


$I_u$  lamda=70%  $\tau$ = 200 microsec., 30' leading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

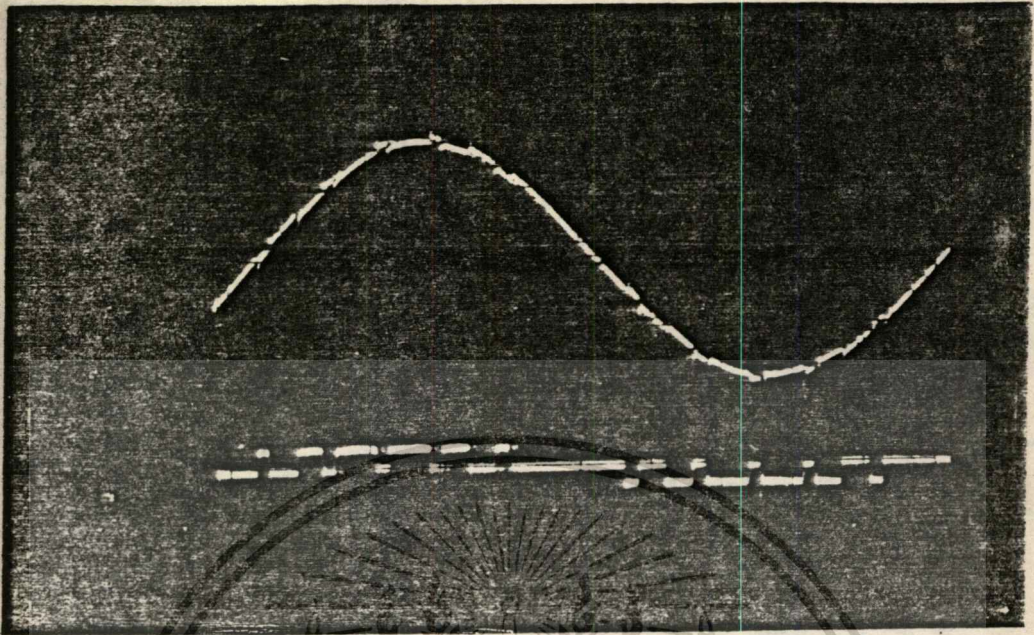


Iu lamda=80%  $\gamma$ =200 microsec. 0 leading

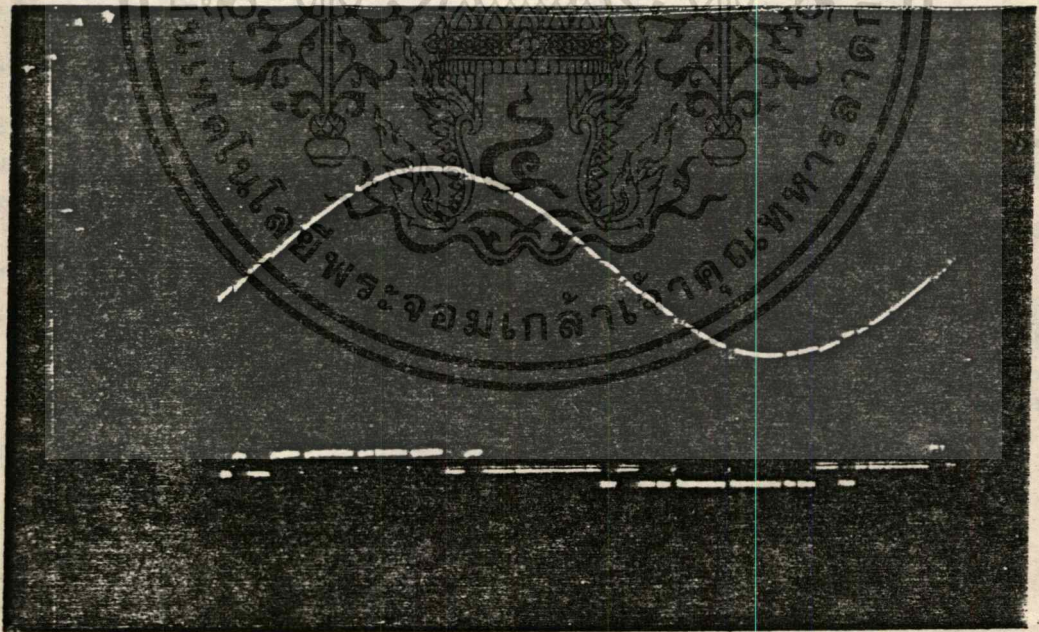


Iu lamda=80%  $\gamma$ =200 microsec. 20' leading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

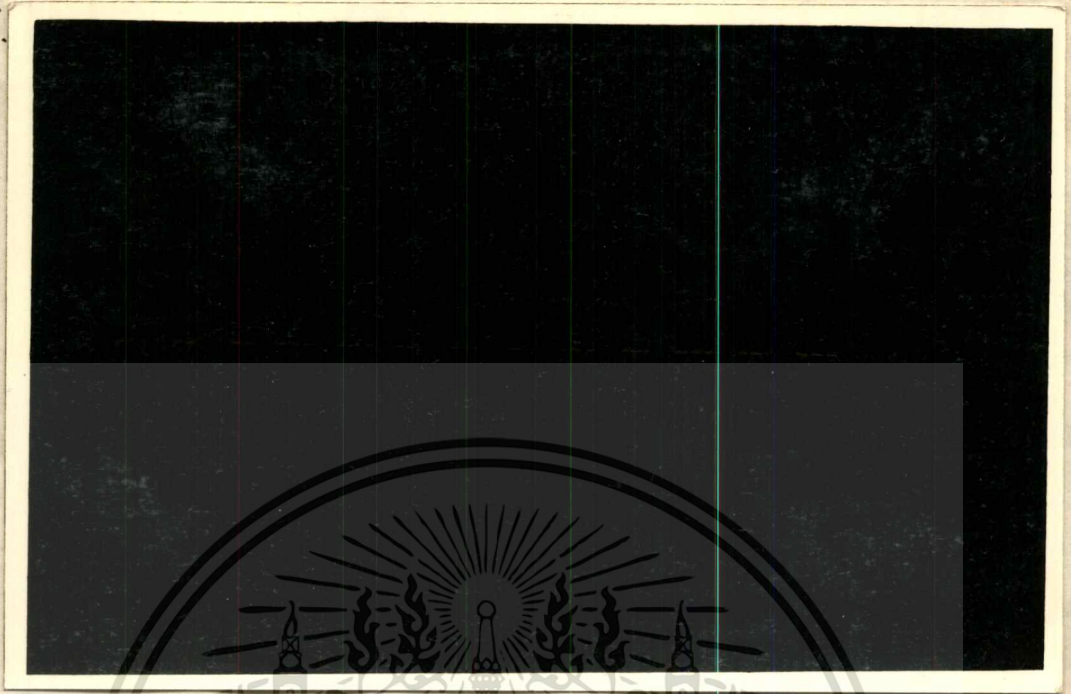


Iu เทียบ Vu  $0^\circ$  leading  $\tau = 150$  microsec.,  $\lambda = 75\%$



Iu เทียบ Vu  $20^\circ$  leading  $\tau = 150$  microsec.,  $\lambda = 90\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Ed lamda=90%,  $\tau = 300$  microsec., 45 leading

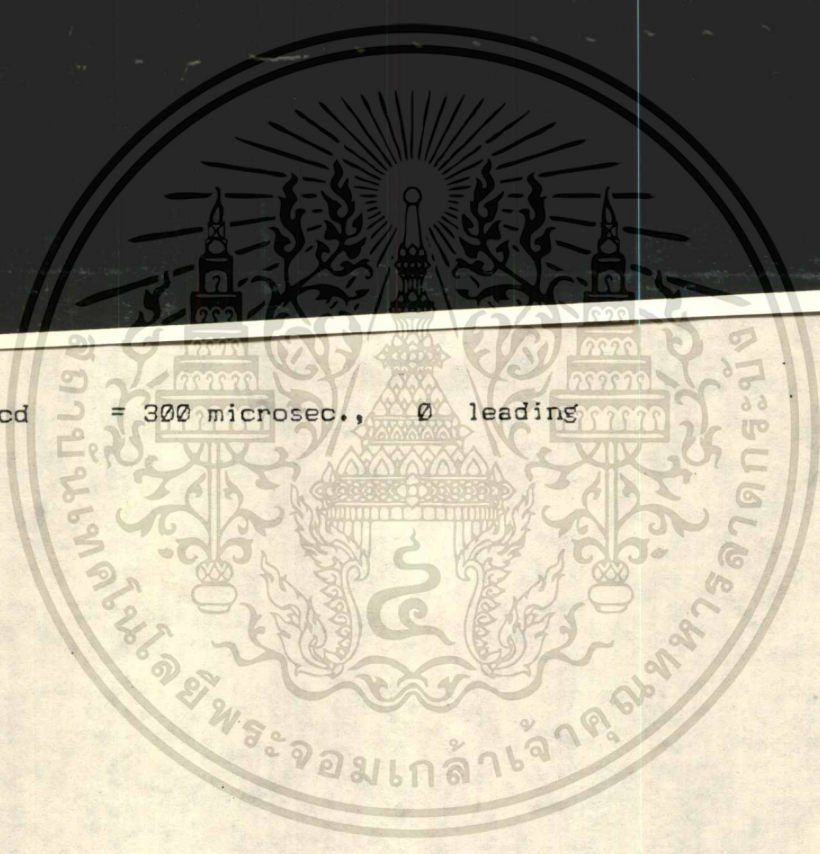


Ed lamda=90%,  $\tau = 103$  microsec., 0 leading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Icd = 300 microsec., 0 leading



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลองให้คอนเวอเตอร์ทำงานจริงที่ภาระเต็มพิกัดในตอนแรก ผลปรากฏว่าอุปกรณ์สวิตซึ่งเสียหายมาก ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลที่ภาระเต็มพิกัดได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะจิทโอเป็นอุปกรณ์ตัวใหม่มากสำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ดังนั้นจึงมีตัวอย่างวงจรและข้อมูลน้อยมากทำให้ไม่สามารถทราบขีดความสามารถ และขอบเขตการทำงาน ซึ่งรวมไปถึงการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน ดังนั้นการทดสอบทำได้เพียงวัดค่า และคุณสมบัติต่าง ๆ ที่จุดต่ำกว่าพิกัด ซึ่งจะมีผลทำให้คุณสมบัติรวมของคอนเวอเตอร์ผิดพลาดไปบ้าง แต่พอจะสรุปได้เป็นแนวทางพัฒนาต่อไปดังนี้

1. ที่ภาระ (Id) คงที่ ค่าหนึ่ง ๆ เมื่อเพิ่มมุมของกระแสให้นำหน้าคัทดา โดยการเลื่อนมุมสัญญาณทริกจะทำให้ประสิทธิภาพ ( $\eta$ ), ตัวประกอบกำลัง (P.F.), สัมประสิทธิ์ความเพี้ยน (distortion factor) ลดลง

2. ที่เงื่อนไขดังข้อ 1 ค่า Ecd จะเปลี่ยนไปอย่างไม่แน่นอน แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่สามารถควบคุมได้ช่วงหนึ่งคือประมาณ 300-350 V ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก

3. ที่มุมของกระแสนำหน้าคงที่และคัทดาเอชี่น้อนเข้า (Vin) คงที่ เมื่อเปลี่ยนค่าอัตราส่วนมอดดูเลขขึ้นเพิ่มขึ้น Id, Ed, P.F. จะเพิ่มขึ้นตาม

4. ที่เงื่อนไขดังข้อ 3., Ecd จะลดลงเล็กน้อยที่ประมาณอัตราส่วนมอดดูเลขขึ้น 0.7-0.8 ขึ้นไป

แม้ว่าจะไม่สามารถทดสอบได้ที่พิกัดกำลังของคอนเวอเตอร์ แต่จากเวลาและอุปกรณ์ตลอดจนแหล่งข้อมูลของอุปกรณ์สวิตซึ่งตัวนี้เท่าที่มีอยู่ทำให้ได้ข้อมูลเหล่านี้ออกมา นับได้ว่าประสบผลสำเร็จในขั้นต้น โดยเฉพาะเมื่อจะต้องนำไมโครคอมพิวเตอร์มาควบคุมด้วยแล้ว ทำให้ความเสถียรของระบบในเบื้องต้นยังไม่ได้เท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ตามจากข้อมูลเหล่านี้และแนวโน้มของการพัฒนาประสิทธิภาพของจิทโอ รวมไปถึงราคาที่จะลดลงด้วยแล้ว คาดว่าคอนเวอเตอร์และอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังทุกแบบจะมีการประยุกต์นำเอาจิทโอมาใช้กันอย่างกว้างขวางต่อไปในอนาคตอย่างแน่นอน

ในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง และการออกแบบสร้าง ซึ่งผู้จัดทำคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ที่จะพัฒนาระบบนี้ต่อไป และเนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นมีมากมาย จะขอแบ่งเป็นหัวข้อความแหล่งที่ก่อปัญหาดัง

## 1. วงจรควบคุม

1.1 จากทางด้านระบบและวิธีการทางคอมพิวเตอร์ เพราะว่าเวลาที่ใช้ในการควบคุมและกำหนดรูปแบบของสัญญาณทริกที่คำนวณ โดยใช้คอมพิวเตอร์ไม่ใช่เป็นเวลาจริง (REAL TIME) จึงมีการบิดเคสในการคำนวณทำให้ช่วงเวลาของสัญญาณทริกไม่ครบตามระยะเวลาของ  $i$  ลูกคลื่นไซน์ ( $1/50 \text{ sec}$ ) ซึ่งปัญหานี้ได้กล่าวถึงไว้แล้วโดยละเอียดในหัวข้อ 3.1

1.2 สัญญาณที่ใช้อ้างอิงในการเลื่อนเฟสของระบบนำมาจากคักดาในลายน์ผ่านหม้อแปลงลดระดับลงให้เหลือ  $6 \text{ V}$  เพื่อให้เข้ากับระดับคักดาของวงจรควบคุม ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือเมื่อระบบทำงานจะมีการสวิตซ์ของคักดาในลายน์ ทำให้เกิดสไปรค์ขึ้นในลายน์ ซึ่งสไปรค์เหล่านี้จะสามารถผ่านหม้อแปลงมาได้ เข้ามารบกวนระบบควบคุมโดยมีผลทำให้คักดาของชั้นพลาสมาที่ต่อชานมาจากระบบคอมพิวเตอร์ไม่เรียบตามไปด้วย ดังนั้นในการพัฒนาต่อไปจะต้องมีการแยก (ISOLATE) ส่วนนี้ออกจากกันให้เด็ดขาด หรือมีการนิลเตอร์สไปรค์ออกก่อนที่สัญญาณนี้จะผ่านหม้อแปลง

3 เสถียรภาพของระบบคอมพิวเตอร์ เนื่องจากขณะให้ระบบทำงานจะเกิดความไม่เรียบขึ้นที่ชั้นพลาสมาของระบบคอมพิวเตอร์ นั่นคือเกิดสไปรค์ขึ้นมาเป็นระยะ ๆ ตามสัญญาณในลายน์ แต่จะปรากฏที่ชั้นพลาสมาประกอบด้วยแผงวงจรควบคุมต้องใช้ชั้นพลาสมาจากคอมพิวเตอร์ ทำให้ชั้นพลาสมาทั้งหมดตกลงมาพอสมควร และยังไม่เรียบอีกด้วยซึ่งจะมีผลต่อระดับตรรกทั้งหมดของระบบคอมพิวเตอร์ จะทำให้ระบบคอมพิวเตอร์ไม่ทำงานหรือที่เรียกว่าแองค์ ได้โดยง่าย ทางแก้ปัญหาคือที่ดีที่สุดคือควรแยกชั้นพลาสมาออกจากระบบคอมพิวเตอร์

1.4 วงจรเลื่อนเฟสที่ออกแบบไว้ จะอยู่ในช่วง  $0, 30, 60, 90, 120, 150, 180$  ซึ่งห่างไปมาก ในการทดสอบจริง ๆ จำเป็นต้องใช้ค่าที่ละเอียดกว่านี้ จึงต้องมีการปรับกันหลาย ๆ ครั้ง ทำให้ไม่สะดวก จะต้องออกแบบให้เลื่อนได้มากกว่านี้ โดยเพิ่ม 4051 (อนาลอกสวิตซ์) อีก 2-3 ตัว เพื่อเพิ่มช่วงการเลือกให้ได้ละเอียดยิ่งขึ้น

## 2. วงจรขับ

2.1 เนื่องจากมีการนำวงจรขับชุดเดิมมาใช้อีกครั้ง ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบว่าอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งบางตัวในวงจรขับเสื่อมลงไปบ้าง โดยเฉพาะทรานซิสเตอร์พบว่าชำรุดมาก

และวงจรชุดนี้ก็ไม่สามารถขับจิจิโ ๕6c12 ได้ ขับได้แต่จิจิโ ๕๙๙2๐๐e12 ซึ่งไม่มีข้อมูลของจิจิโ ๕๙๙2๐๐e12 เหล่านี้เลย จึงทำให้ไม่ทราบแนวทางและขอบเขตของการออกแบบของวงจรหลักไปด้วย ดังนั้นจึงควรออกแบบชุดขับใหม่ทั้งหมด 8 ชุด เพื่อให้ขับจิจิโ ๕6c12 ได้ ซึ่งจะได้ทดสอบได้ผลที่แน่นอนยิ่งขึ้น

2.2 รอยต่อและรอยบัดกรีบนแผ่นลายทองแดง เลื่อมหลุดกระเทาะออกทำให้ยากแก่การตรวจหาที่ผิดของลายทองแดง เป็นอย่างมาก

### 3. วงจรหลัก

3.1 ขาดข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติของจิจิโ ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าขณะนี้จิจิโกำลังทำงานอยู่ในช่วงปกติหรือไม่ ตลอดจนไม่ทราบขนาดของวงจรสับเปอร์ที่ควรจะใช้กับจิจิโตัวนี้ แต่ในการทดสอบได้ใช้วงจรสับเปอร์ของจิจิโ ๕6c12 มาใช้แทน ซึ่งก็ให้ผลพอสมควร

3.2 คุณสมบัติของจิจิโ ที่ไม่เหมือนกันอย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะช่วงเวลา ON-OFF ทำให้มีการส่ง - รับ ช่วง ON-OFF ของจิจิโแต่ละตัว ทำให้ลักษณะของกระแสในลายน์ที่ต้องการแยกออกเป็นบางส่วน ดังจะเห็นได้จากภาพถ่ายในส่วนของการทดลอง

3.3 จิจิโบางตัวต้องการกระแสมีเกทมากกว่าตัวอื่น ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ตามสัญญาณทริกที่กำหนด แต่ก็สามารถแก้ไขได้โดยสลับจิจิโแต่ละตัวเพราะชุดขับแต่ละชุดสามารถจ่ายกระแสได้ไม่เท่ากันเช่นกัน

### แนวทางการพัฒนา

จุดประสงค์หลักของคอนเวอร์เตอร์ชุดนี้คือปรับ P.F. ในลายน์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบว่าสามารถจ่ายพลังงานรีแอกทีฟได้จริง ๆ โดยการต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำนานเข้ากับทางเอซีลายน์ แต่อย่างไรก็ตามก่อนจะมีการทดสอบที่จุดนั้นควรจะมีการปรับปรุงเสถียรภาพของระบบและการป้องกันอุปกรณ์สวิตซิ่ง (จิจิโ) ให้ดีขึ้นอีก เพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ขณะทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแล้วระบบเกิดหยุดทำงานเนื่องจากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด นอกจากนี้การทำการควบคุมแบบลูปปิด (close loop) ก็เป็นอีกก้าวหนึ่งที่ทำหยาการพัฒนาต่อไปอีกมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;PROGRAM TRANSFER SWITCHING SIGNAL CODE
;TD GTD POWER MAIN SYS

```

```

; readdata file from project.dta
; store in memory

```

```

port_a equ 0ff3ch
port_b equ 0ff3dh
port_c equ 0ff3eh
port_ctrl equ 0ff3fh
ctrl_code equ 10000001b
time equ 600d
freq1 equ 4700d
freq2 equ 1000d
gain1 equ 2400
gain11 equ 1200

```

```

i0deg equ 000b
i30deg equ 001b
i60deg equ 010b
i90deg equ 011b
i120deg equ 100b
i150deg equ 101b
i180deg equ 110b

```

```

;
data segment

```

```

filename db 15 dup (?)
databuffer db 250 dup (?)
text db 'NOW ! machine is running$'
ratio db 02,03,00,00,00,00,00,00,01,03,00,00,00,00,00,00
ratiobuff db 32 dup (?)
lamda db 00
tal db 00,00
max db 00
maxtal db 00,00,00,00
shift db 00

```

```

;error message for open file

```

```

error2 db 'file not found $'
error4 db 'too many open files $'
error5 db 'access denied $'
error12 db 'invalid access code $'

```

```

;form input all data

```

```

nametext1 db 'input name of data file end with 0 follow with returns$'
nametext2 db 'HERE ——> $'
namebuffer db 15
free1 db 15 dup (?)

```

```

lamdatext1 db 'input lamda in percen with out percen sigh$'
lamdatext2 db 'HERE ——> $'
lamdabuffer db 5
free2 db 5 dup (?)

```

```

taltext1 db 'input tal in micro sec$'
taltext2 db 'HERE ——> $'
talbuffer db 6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หากท่านมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

shifttext1 db 'input shift angle from main signal in degrees'
shifttext2 db 'HERE ——> $'
shifttext3 db 'you MUST use only 0 30 60 90 120 150 180$'
shiftbuffer db 6
free4 db 6 dup (?)

```

```

maxtaltext db 'tal which you use MUST less than $'
unittext db 'micro sec$'

```

```
data ends
```

```

;-----
read segment                ;define code segment

```

```

main proc far                ;define main process
assume cs:read,ds:data

```

```
start:
```

```

push ds                    ;store ds and
sub ax,ax                  ;set ax to 0
push ax                    ;both stored in stack
                           ;use for return

```

```

mov ax,data                ;set ds
mov ds,ax                  ;to data segment

```

```
;clear screen
```

```

mov ah,6 ;scroll up fnc
mov al,0 ;ascii blank
mov ch,0 ;row up left
mov cl,0 ;colua up left
mov dh,24 ;row down right
mov dl,79 ;colua down right
mov bh,7 ;blank line attribute
int 10h ;call video roc

```

```
;set position of cursor
```

```

mov ah,2 ;position cursor fnc
mov dh,0 ;starting row
mov dl,0 ;starting col
mov bh,0 ;current page
int 10h ;call veido roc

```

```

;input lamda from keyboard
;store in lamdabuffer
;after calculation
;lamda store in [lamda]

```

```
;fore input
```

```

mov dx,offset lamdatext1 ;set address of text1
mov ah,9                 ;set dos function
int 21h                  ;call dos

```

```
;set position of cursor
```

```

mov ah,2 ;position cursor fnc
mov dh,2 ;starting row
mov dl,0 ;starting col
mov bh,0 ;current page
int 10h ;call veido roc

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov ah,9                 ;set dos function
mov dx,offset lamdatext2 ;set address of text2

```

```

mov dx,offset lamdabuffer ;set address of buffer
mov ah,0ah                ;set dos function
int 21h                   ;call dos
mov dl,0ah                ;set line feed code
mov ah,2                  ;set dos function
int 21h                   ;call dos function
int 21h                   ;call again

```

;calculate

```

mov bx,offset lamdabuffer ;set address of lamdabuffer
add bx,2                  ;bx = bx+2
mov ax,[bx]              ;al = upper digit ah = lower digit
sub al,30h                ;find real upper digit
sub ah,30h                ;find real lower digit
mov dx,ax                 ;transfer to dx
mov ah,00                 ;clear lower digit in ah
mov cl,10d                ;upper digit * 10
mul cl                    ;(upper digit * 10) + lower digit
add al,dh

```

;save in lamda

```

mov bx,offset lamda      ;set address of lamda
mov [bx],al              ;save
;cal maximum tal which can be input
;tal max will beless than (lamda*10e6)/(3*600) micro sec
;tal max = lamda*100/18

```

```

mov bx,offset lamda      ;bx=address of lamda
mov al,[bx]              ;al=lamda
mov ah,0                 ;ah=0
mov cl,100               ;cl=100
mul cl                   ;ax=lamda*100
mov cx,18                ;cx=18
mov dx,0                 ;clear
div cx                   ;ax=result dx=remain
cmp dx,9                 ;compare dx with 9
jl hhh                  ;remain < 9 jmp to hhh
inc ax                   ;remain >= 9 result = ax+1
mov dx,0                 ;set dx=0
mov bx,offset maxtal     ;bx=address of max tal
mov cx,10                ;cx=10
div cx                   ;ax/cx result in ax remain in dx
add dx,30h               ;dx=dx+30h
mov [bx+2],dl            ;save in first digit
mov dx,0                 ;clear remain
div cx                   ;ax/cx result in ax remain in dx
add dx,30h               ;dx=dx+30h
mov [bx+1],dl            ;save in second digit
add ax,30h               ;ax=ax+30h
mov [bx],al              ;save in third digit
mov dl,24h               ;dl=24h
mov [bx+3],dl            ;save string behind max tal text

```

;show max tal text

```

mov dx,offset maxtaltext ;set address of text1
mov ah,9                 ;set dos function
int 21h                   ;call dos

```

hhh:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov bh,0 ;current page
int 10h ;call veido rom

mov dx,offset maxtal ;set address of maxtal
mov ah,9 ;set dos function
int 21h ;call dos

mov ah,2 ;position cursor fnc
mov dh,4 ;starting row
mov dl,38 ;starting col
mov bh,0 ;current page
int 10h ;call veido rom

mov dx,offset unittext ;set address of unittext
mov ah,9 ;set dos function
int 21h ;call dos

mov dl,0ah ;set line feed code
mov ah,2 ;set dos function
int 21h ;call dos function
int 21h ;call again

;input tal from keyboard
;store in talbuffer
;after calculation
;tal store in [tal]

;form input

;set position of cursor
mov ah,2 ;position cursor fnc
mov dh,6 ;starting row
mov dl,0 ;starting col
mov bh,0 ;current page
int 10h ;call veido rom

mov dx,offset taltext1 ;set address of text1
mov ah,9 ;set dos function
int 21h ;call dos

;set position of cursor
mov ah,2 ;position cursor fnc
mov dh,8 ;starting row
mov dl,0 ;starting col
mov bh,0 ;current page
int 10h ;call veido rom

mov ah,9 ;set dos function
mov dx,offset taltext2 ;set address of text2
int 21h ;call dos
mov dx,offset talbuffer ;set address of buffer
mov ah,0ah ;set dos function
int 21h ;call dos
mov dl,0ah ;set line feed code
mov ah,2 ;set dos function
int 21h ;call dos function
int 21h ;call again

;calculate tal from talbuffer
;save in [tal]

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งยังต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov bx,offset talbuffer ;set bx=address of talbuffer
mov al,[bx*2] ;get first digit store in al
sub al,30h ;al=al-30h

```

```

mov cx,1000 ;cl=100
mov ah,0 ;set ah=0
mul cl ;third digit * 100
mov dx,ax ;store in dx
mov al,[bx+3] ;get second digit store in al
sub al,30h ;al=al-30h
mov cl,10d ;cl=10
mov ah,0 ;set ah=0
mul cl ;second digit * 10
add ax,dx ;ax=third * 100 + second * 10
mov dx,ax ;store in dx
mov al,[bx+4] ;get last digit store in al
sub al,30h ;al=al-30h
mov ah,0 ;set ah=0
add dx,ax ;dx=third*100+second*10+last
mov bx,offset tal ;set bx=address of tal
mov [bx],dx ;save tal in tal

```

```

;input shift angle from keyboard
;store in shift

```

```

;form input

```

```

;set position of cursor

```

```

mov ah,2 ;position cursor fnc
mov dh,10 ;starting row
mov dl,0 ;starting col
mov bh,0 ;current page
int 10h ;call veido ror

```

```

mov dx,offset shifttext1 ;set address of text1
mov ah,9 ;set dos function
int 21h ;call dos

```

```

;set position of cursor

```

```

mov ah,2 ;position cursor fnc
mov dh,11 ;starting row
mov dl,0 ;starting col
mov bh,0 ;current page
int 10h ;call veido ror

```

```

mov ah,9 ;set dos function
mov dx,offset shifttext3 ;set address of text2
int 21h ;call dos

```

```

;set position of cursor

```

```

mov ah,2 ;position cursor fnc
mov dh,12 ;starting row
mov dl,0 ;starting col
mov bh,0 ;current page
int 10h ;call veido ror

```

```

mov ah,9 ;set dos function
mov dx,offset shifttext2 ;set address of text2
int 21h ;call dos
mov dx,offset shiftbuffer ;set address of buffer
mov ah,0ah ;set dos function
int 21h ;call dos
mov dl,0ah ;set line feed code
mov ah,2 ;set dos function
int 21h ;call dos function
mov ah,2 ;set dos function
int 21h ;call dos function

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในลักษณะใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

match shift which was be inputed with table

```
mov bx,offset shiftbuffer ;set bx address of buffer
mov al,[bx+2] ;get first digit of shift angle
mov bx,offset shift ;set bx address of shift
```

93

```
cmp al,30h ;first digit = 0 ?
jz deg0 ;if yes jump to deg 0
cmp al,33h ;first digit = 3 ?
jz deg30 ;if yes jump to deg 30
cmp al,36h ;first digit = 6 ?
jz deg60 ;if yes jump to deg 60
cmp al,39h ;first digit = 9 ?
jz deg90 ;if yes jump to deg 90
cmp al,31h ;first digit = 1 ?
jz newfind ;if yes -> shift angle have 3 digits
```

```
deg0: mov cl,i0deg ;compare with table
mov [bx],cl ;store in shift
jmp ip_f_name ;do continue
```

```
deg30: mov cl,i30deg ;compare with table
mov [bx],cl ;store in shift
jmp ip_f_name ;do continue
```

```
deg60: mov cl,i60deg ;compare with table
mov [bx],cl ;store in shift
jmp ip_f_name ;do continue
```

```
deg90: mov cl,i90deg ;compare with table
mov [bx],cl ;store in shift
jmp ip_f_name ;do continue
```

```
newfind: mov bx,offset shiftbuffer ;bx = address of shiftbuffer
mov al,[bx+3] ;al = second digit
mov bx,offset shift ;bx = offset of shift
```

```
cmp al,32h ;second digit = 2 ?
jz deg120 ;if yes jump to deg 120
cmp al,35h ;first digit = 5 ?
jz deg150 ;if yes jump to deg 150
cmp al,38h ;first digit = 8 ?
jz deg180 ;if yes jump to deg 180
```

```
deg120: mov cl,i120deg ;compare with table
mov [bx],cl ;store in shift
jmp ip_f_name ;do continue
```

```
deg150: mov cl,i150deg ;compare with table
mov [bx],cl ;store in shift
jmp ip_f_name ;do continue
```

```
deg180: mov cl,i180deg ;compare with table
mov [bx],cl ;store in shift
```

```
ip_f_name: ;input file name store in [filename]
```

```
;fore input
```

```
mov dx,offset nametxt1 ;set address of txt1
mov ah,9 ;set dos function
int 21h ;call dos
```

```
;set position of cursor
```

```
mov ah,2 ;position cursor fnc
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารราชการสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

```
mov dh,16 ;starting row
```

```
mov dl,0 ;starting col
```

```
mov bh,0 ;current page
```

```
int 10h ;call veido row
```

ไม่มีการเปิดเผยข้อมูลให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov ah,9 ;set dos function
input_again:mov dx,offset nametext2 ;set address of text2
int 21h ;call dos
mov dx,offset namebuffer ;set address of buffer
mov ah,0ah ;set dos function
int 21h ;call dos
mov dl,0ah ;set line feed code
mov ah,2 ;set dos function
int 21h ;call dos function
int 21h ;call dos again

```

;save in [filename]

```

load: mov dx,0
mov bx,offset namebuffer
add bx,2
add bx,dx
mov al,[bx]
mov bx,offset filename
add bx,dx
mov [bx],al
inc dl
cmp dl,13
jnz load

```

----- operate with file -----

;open file project.dta

```

open_again: mov dx,offset filename ;offset add of filename
mov al,0 ;00h code for read only
mov ah,3dh ;fnc 3d for open file
int 21h ;call dos
mov bx,ax ;store file handle
jnb read_again ;if no error goto read file

```

```

cmp ax,2
jz not_found
cmp ax,4
jz many_file ;compare error code
cmp ax,12
jz invalid
jmp read_again

```

;show error text when file can not be opened

```
not_found: mov dx,offset error2
```

jmp show

```
many_file: mov dx,offset error4 ;show error text
```

jmp show

```
invalid: mov dx,offset error12
```

```
show: mov ah,9 ;fnc display
int 21h ;call dos
```

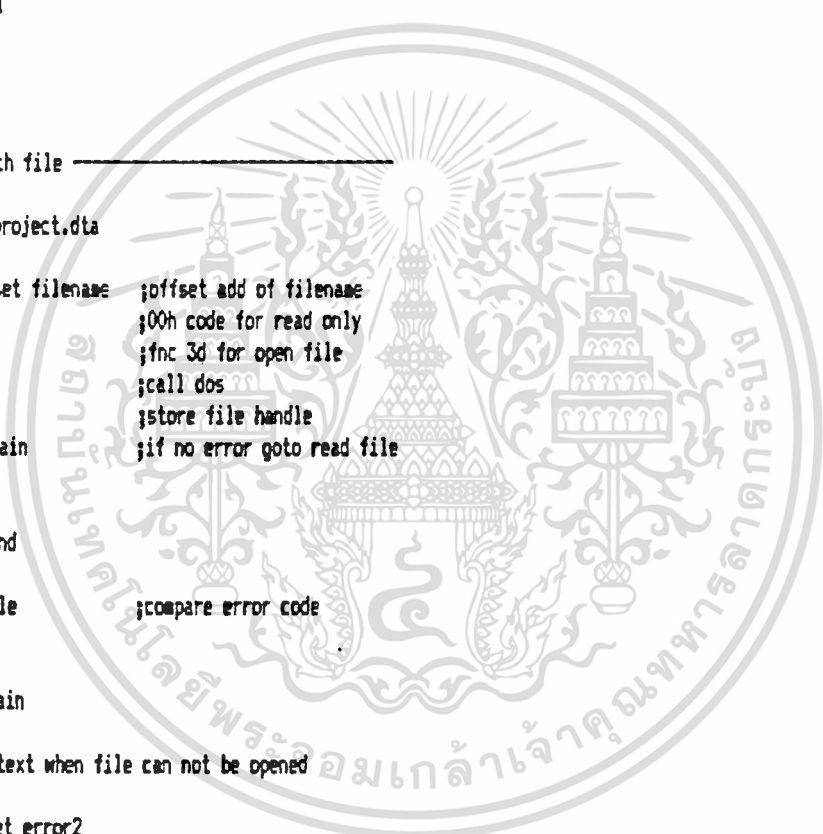
jmp input\_again ;input again

;readfile

```

read_again: mov cx,240 ;240 byte max for read
mov dx,offset databuffer ;offset add of buffer
mov ah,3fh ;fnc 3f for read file
int 21h ;call dos
cmp ax,0 ;end of file ?
jz continue ;yes to exit
loop read_again ;no read again

```



```

continue: ;first and fifth period is const

;now start calculate second period
;because second period = fifth period - third period
;end of second period

;now start calculate third and seventh period
;because they are equal

mov bx,offset tal ;set bx=address of tal
mov ax,[bx] ;ax=tal
mov cx,6
mul cx ;ax=ax*6
mov dx,00 ;dx=00
mov cx,100
div cx ;ax=result dx=remain
cmp dx,50 ;compare dx with 50
jl notadd2 ;if dx<50 then ax=result
inc ax ;if dx>=50 then ax=result+1
notadd2:
mov bx,offset ratio ;set bx=address of ratio
mov [bx+4],al ;store al in [bx+4]
mov [bx+12],al ;store al in [bx+12],too
mov bx,offset lamda ;set bx=address of lamda
mov al,[bx] ;al=lamda
mov bx,offset ratio ;set bx=address of ratio
mov [bx+5],al ;store al in [bx+5]
mov [bx+13],al ;store al in [bx+13],too

;end of third and seven period
;now start calculate forth and eighth period
;because they are equal

mov bx,offset lamda ;set bx=address of lamda
mov cl,[bx] ;cl=lamda
mov al,100 ;al=100
sub al,cl ;al=al-cl
mov bx,offset ratio ;set bx=address of ratio
mov [bx+7],cl ;store cl in [bx+7]
mov [bx+15],cl ;store cl in [bx+15],too
mov [bx+6],al ;store al in [bx+6]
mov [bx+14],al ;store al in [bx+14],too

;end of forth and eighth period

;now start calculate sixth period
;because sixth period = first period - seventh period
;end of sixth period
    
```

calculate delay time

```

mov cx,8
mov bx,offset ratio
cal_again:
cmp cx,3 ;check second period if ture then jump
jz go ;jump to shift ratio
cmp cx,7 ;check seven period if ture then jump
jz go ;jump to shift ratio
back:
mov dh,[bx] ;bh=upper ratio
mov dl,[bx+1] ;bl=lower ratio
call cal_delay ;call subrutine
mov [bx+16],ax ;store out put in buffer
add bx,2 ;step ratio address
loop cal_again ;do again while cx (>) 0
jmp to_mix
    
```

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าในกรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov bx,2 ;shift ratio
dec cx ;dec counter
jmp back ;jump back to calculate again

```

```

to_six: mov bx,offset ratio;set bx=address of ratio
mov ax,[bx+0+16] ;get first period from memory
mov cx,[bx+4+16] ;get third period from memory
sub ax,cx ;ax=first period - third period
mov [bx+10+16],ax ;store sixth period

mov ax,[bx+8+16] ;get fifth period from memory
mov cx,[bx+4+16] ;get third period from memory
sub ax,cx ;ax=fifth period - third period
mov [bx+2+16],ax ;store second period

```

96

```

;----- mix data and time delay together -----

```

```

;data store in data buffer
;delay time store in ratio buffer
;result = complete data swithing signal
;result store in data buffer again

```

```

;program expend space between data for
;place time delay 2 byte

```

```

mov ax,30h
mov cx,ax ;store in cx

```

```

;spacial routine for find max
;use for count in another routine

```

```

mov bx,offset max
mov dl,3
mul dl ;number * 3
mov [bx],ax ;store in max
mov ax,cx ;set cx = ax

```

```

transfer: mov ax,cx
mov bx,offset databuffer ;store address of data buffer
add bx,ax ;bx = bx + number of data
mov dl,[bx] ;get data
mov dh,2
mul dh
add bx,ax
mov [bx],dl ;save data
dec cx ;ax = ax-1
jnz transfer ;if ax < 0 do again

```

```

;transfer time delay from ratio buffer
;to space between data 2 byte

```

```

do: mov ax,0 ;set ratio buffer index
mov cx,1 ;set data buffer index
mov bx,offset ratiobuff ;set address of ratio
add bx,ax ;add address with index ratio
mov dx,[bx] ;get ratio store in dx
mov bx,offset databuffer ;set address of data
add bx,cx ;add address with index data
add cx,3 ;increase index data
mov [bx],dx ;store in data buffer
mov bx,offset max ;set address of max
mov dl,[bx] ;get max store in dl
inc dl ;private reason
cmp cx,145 ;al < 60
jz out ;al = 60 go out
add ax,2 ;increase index ratio

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cap ax,10      ;al < 10
jnz do         ;al < 10 go do
mov ax,0       ;set start address of ratio again
jap do        ;do again

```

```

out_prg:      ;clear screen for showing text
              ;while machine running

mov ah,6      ;scroll up fnc
mov al,0      ;ascii blank
mov ch,0      ;row up left
mov cl,0      ;colom up left
mov dh,24     ;row down right
mov dl,79     ;colom down right
mov bh,7      ;blank line attribute
int 10h       ;call video rom

```

```

;set position of cursor

```

```

mov ah,2      ;position cursor fnc
mov dh,12     ;starting row
mov dl,30     ;starting col
mov bh,0      ;current page
int 10h       ;call veido rom

```

```

;print text

```

```

mov ax,data   ;store data segment
mov ds,ax     ;in ds
mov dx,offset text ;store off set in dx
mov ah,9      ;fnc display
int 21h       ;call dos
jap mouse     ;jump accross subroutine

```

```

;subroutine for calculate amount of delay time
;this formula is
;amount of delay = (bh*lamda*freq)/(2*bl*100*time)
;input store in dh and dl
;output store in ax

```

```

cal_delay proc near

```

```

push cx
push bx

```

```

mov bx,offset lamda ;set address of lamda buffer
mov ax,[bx]         ;lamda store in ax
mov ah,00           ;set ah=00 for use low byte
mov bx,dx           ;store ratio in bx
mov cx,freq1        ;cx=freq1
mul cx              ;dx=upper ax=lower of lamda*4700
mov cx,gain1        ;cx=2600
div cx              ;dx=remain ax=result of lamda*4700/200
cmp dx,gain11       ;compare remain with 2600/2
jl not1             ;if dx<100 then ax=result
inc ax              ;if dx>100 then ax=result+1
not1:               ;
mov cx,freq2        ;cx=1000
mul cx              ;dx=upper ax=lower of lamda*4700*1000/200
mov cx,time         ;cx=time
div cx              ;dx=remain ax=result of lamda*4.7e6/200*time
cmp dx,300          ;compare remain with time/2
jl not2             ;if dx<300 then ax=result
inc ax              ;if dx>300 then ax=result+1

```

```

;calculate with ratio

```

```

not2:  mov cl,bl      ;store low ratio in cl
        mov bl,bh      ;store bh in bl
        mov bh,00      ;clear hi byte
        mul bx         ;ax=landa*dh
        mov ch,00      ;clear hi byte
        div cx         ;ax=(dh*landa*4.7e6)/(2*dl*100*time)
        ,
        pop bx
        pop cx
        ret           ;return from subroutine

```

```
cal_delay endp
```

```

;-----
mouse:  ;initialize port 8255
        ;port a and b is and in out put port

        mov al,ctrl_code ;set control code
        mov dx,port_ctrl
        out dx,al        ;sent to control port

        ;-----set counter-----

        mov bx,offset max ;set address of max
        mov cx,[bx]       ;get max store in cx

        ;----- select shift angle -----
        ;by out code to port x

shift2: mov bx,offset shift ;set address of shift
        mov al,[bx]       ;get to al
        mov dx,port_b     ;set port b
        out dx,al        ;out for control 4066

        ;-----for check ready-----

        mov al,110000b    ;set initial
        mov dx,port_c     ;use upper c
        out dx,al

pp:     mov dx,port_c     ;delay for ck low
        in al,dx          ;use lower c
        and al,10b
        jnz pp

        mov dx,port_c     ;set wait
        mov al,000000b    ;use upper c
        out dx,al

in_again: mov dx,port_c ;use lower c
in_a:    in al,dx        ;in status delay for q hi
        and al,1b        ;cmp with 1
        jz in_a          ;result=0 --> not ready
        jmp int_routine  ;result=1 --> ready go to routine

```

```

;service routine
;routine for transfer switching signal data
;out to port a of 8255
;and use port upper c for clear and enable interrupt

```

```

int_routine: mov al,110000b ;set al=03h
             mov dx,port_c   ;use upper c
             out dx,al       ;sent code for clear interrupt

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ สัน อีพีเอ็ม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    mov dx,port_a      ;set dx = port a
    mov si,0           ;set index = 0

out_again: mov bx,offset databuffer ;set bx = address of data buffer
           mov al,[bx+si]           ;get data from data buffer to al
           out dx,al                ;out data to port a
           mov ax,[bx+si+1]         ;get delay time from data buffer
goback:   dec ax                    ;delay
           jnz goback              ;ax < 0 go back
           inc si
           inc si                   ;si = si+3
           inc si
           cmp si,cx               ;compare si with max data
           jnz out_again           ;si < max data go out again

           mov ah,1                ;int fnc 1
           int 16h                 ;call bios for chk kbd
           jnz adjust              ;if kbd pressed -> adjust value

           mov al,000000b
           mov dx,port_c           ;use upper c
           out dx,al               ;sent code for enable int again

           jmp in_again            ;return from interrupt routine
;-----
exit:     ret                    ;return to dos
;----- adjust new value -----
adjust:  mov ah,0                ;int fnc 0
           int 16h                 ;call bios for get scan code
           mov al,ah               ;al=ah
           and ax,0f00fh

           cmp ah,00h             ;chk landa
           jz  landal              ;if true goto landa

           cmp ah,20h             ;chk tal
           jz  tall                ;if true goto tal

           cmp ah,10h             ;chk phase shift angle
           jz  shiftl              ;if true goto shift

           jmp in_again           ;to continue prg

;----- calculate new landa -----
landal:  sub al,1h                ;al=al-1
           mov cl,10d             ;cl=10
           mul cl                  ;al=al*10
           mov bx,offset landa    ;bx=address of landa
           mov [bx],al            ;store new landa in landa
           jmp open_again         ;to continue prg

;----- calculate new tal -----
tall:    cmp al,0d               ;chk exit code
           jz  exit               ;out prg
           mov cl,30d             ;cl=30
           mul cl                  ;al=al*30
           add ax,40d             ;ax=ax+40
           mov bx,offset tal      ;bx=address of tal
           mov [bx],ax           ;store new tal in tal

```

;----- calculate new phase shift angle -----

```
shift1:  mov  bx,offset shift  ;bx=address of shift
        mov  [bx],al      ;store new angle in shift
        jmp  shift2       ;to continue prg

main     endp           ;end main procedure
read    ends           ;end code segment
end start ;end from essembly
```

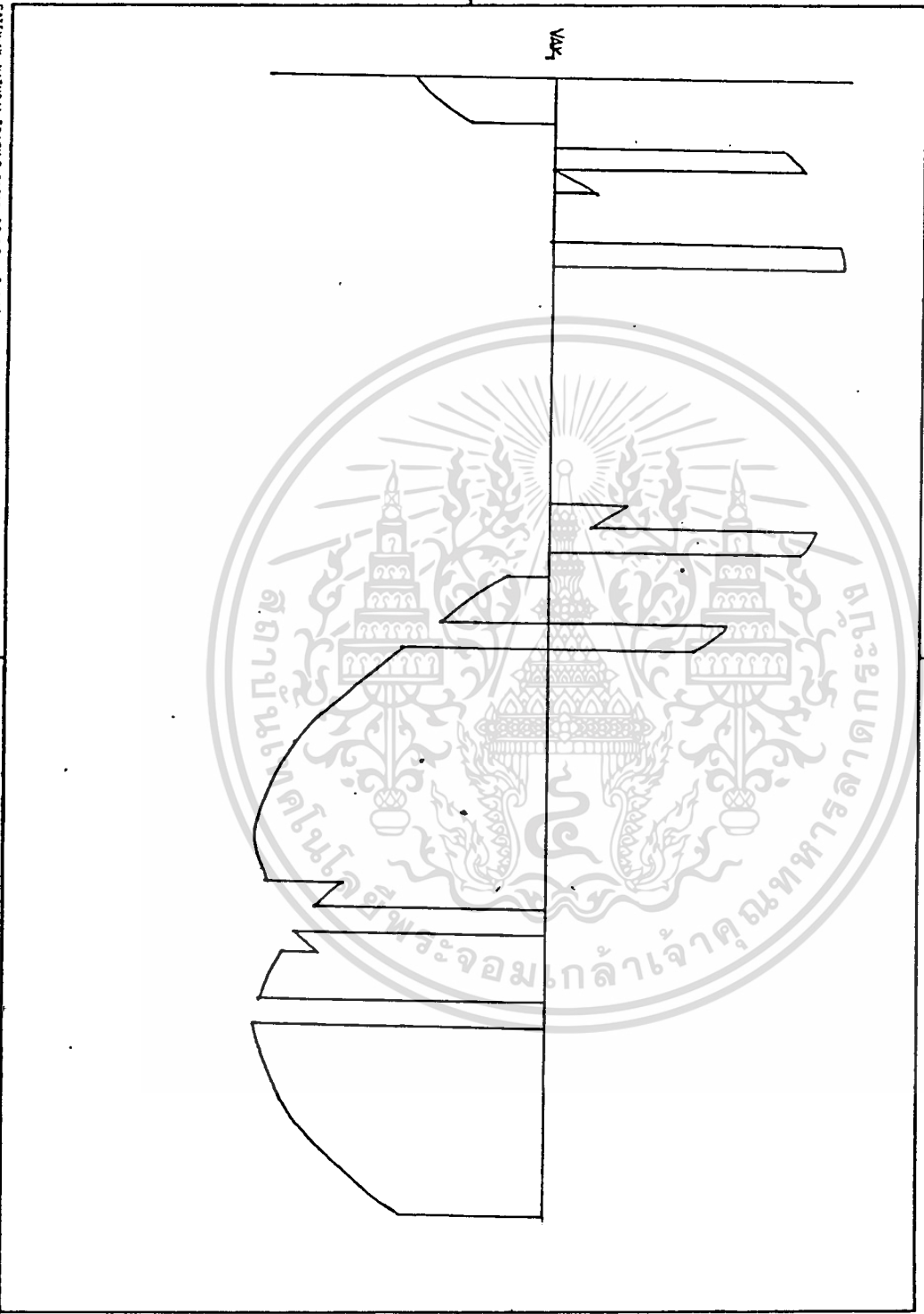
100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

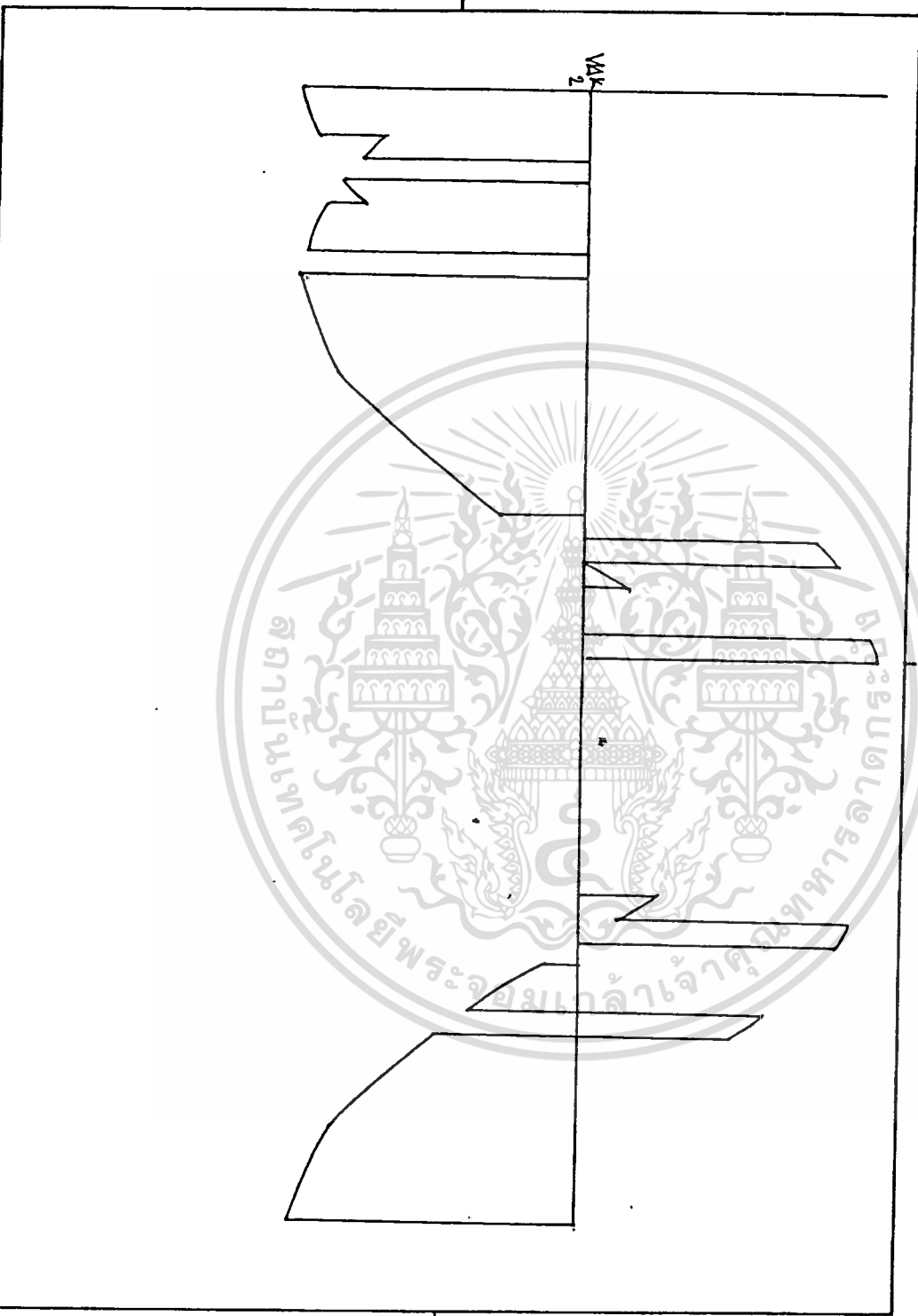
CATINAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gsm<sup>2</sup> SIZE A4

MADE IN ENGLAND



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

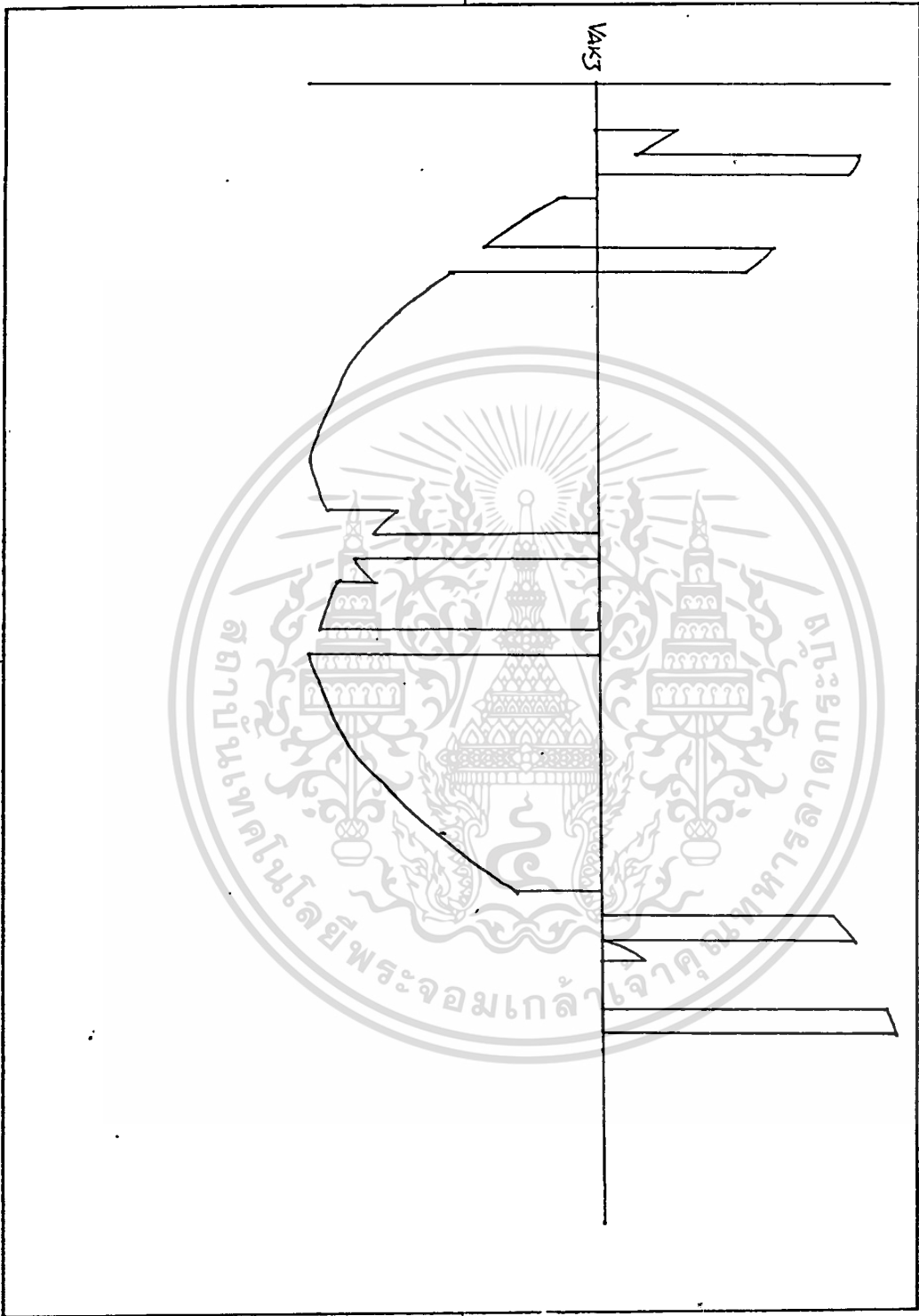
SCITWAY NATURAL TRACING PAPER 90/95 gm<sup>2</sup> SIZE A4



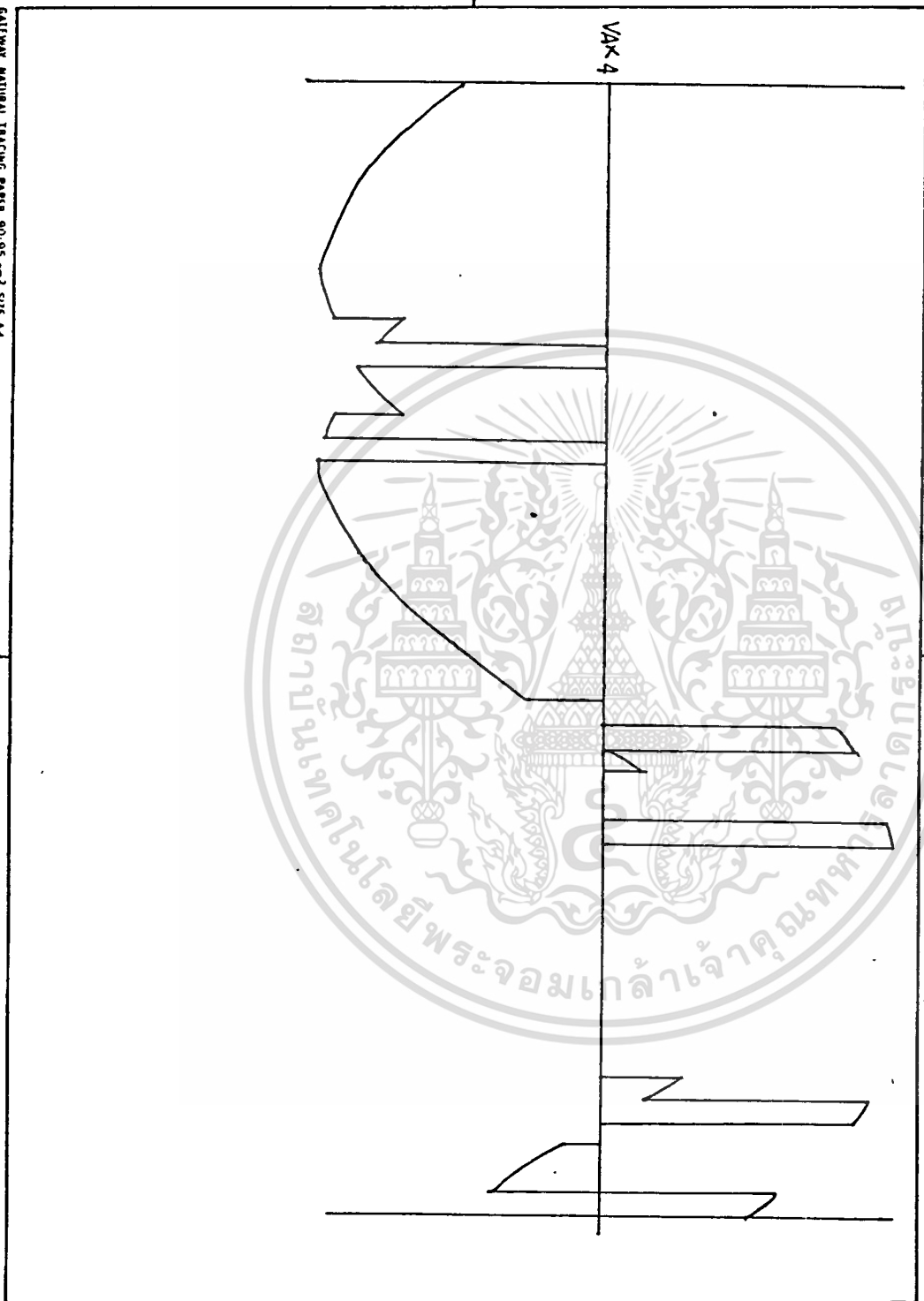
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GATEWAY NATURAL TEACHING PAPER 90/95 ๓๗ SIZE A4

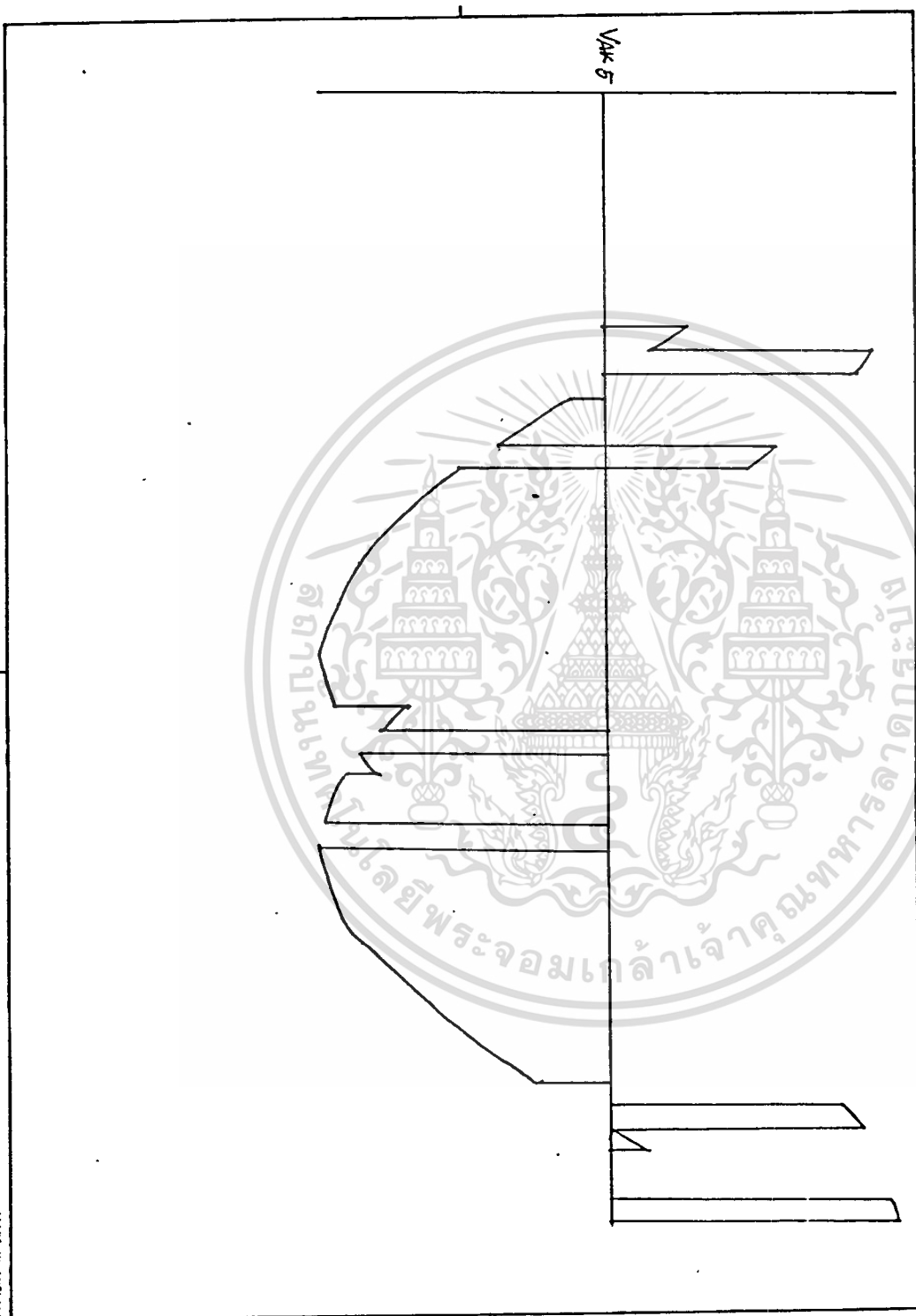
MADE IN ENGLAND



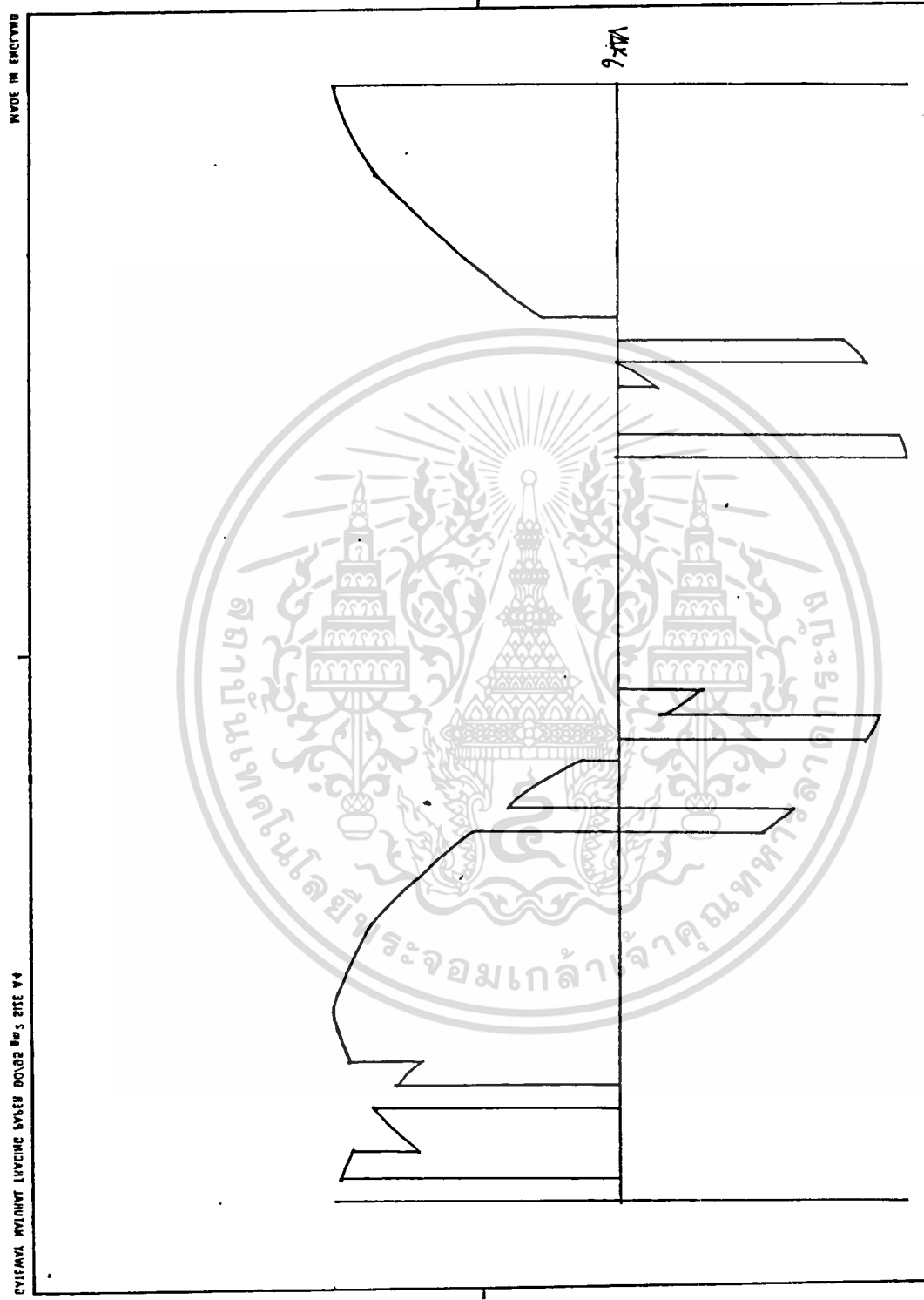
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

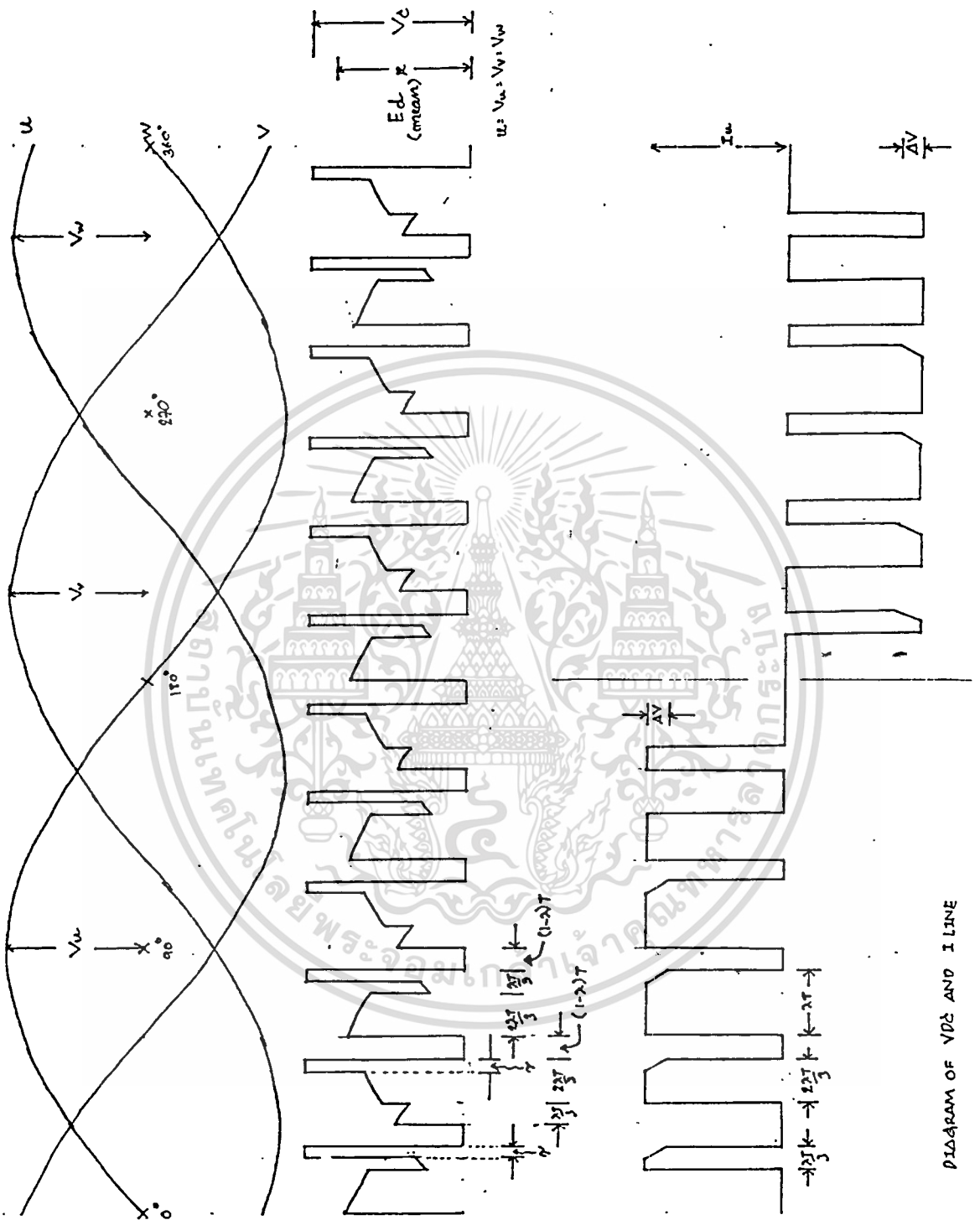


DIAGRAM OF VDE AND I LINE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cur-Pulse Pair	Phase	Pulse	Division Ratio	Main GTO		Auxiliary GTO
				Upper Part	Lower Part	
I	U	1	2	1	2'	7, 6
			1		3'	
		Gap: (1-λT)			1'	7, 8
		2	1		2'	
			2		3'	
Gap: (1-λT)		1'				
II	-W	1	2	1	3'	7, 8
			1	2		
		Gap: (1-λT)		3	7, 8	
		2	1	1		
			2	2		
Gap: (1-λT)		3				
III	V	1	2	2	3'	7, 8
			1		1'	
		Gap: (1-λT)			2'	7, 8
		2	1		3'	
			2		1'	
Gap: (1-λT)		2'				
IV	-U	1	2	1	1'	7, 8
			1			
		Gap: (1-λT)			1	7, 8
		2	1		2	
			2		3	
Gap: (1-λT)		1				
V	W	1	2	3	1'	7, 8
			1		2'	
		Gap: (1-λT)			3'	7, 8
		2	1		1'	
			2		2'	
Gap: (1-λT)		3'				
VI	-V	1	3	2'	7, 8	
			1			1
		Gap: (1-λT)			2	7, 8
		2	3		1	
			1		2	
Gap: (1-λT)		2				

ตารางที่ การควบคุมช่วงเวลากระแสทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

var   i,n,final:integer;
      a,b,c,short,tal,lambda,Vc:real;
      f: array[1..411]of real;
      x: array[1..411]of real;

const
      omega =314.1592654; { 2pif }
      alpha =0;          { shift phase }
      t     =0.523598775; { rad }
      pi    =3.141592654; { rad }
      num   =40;         { the remain of (num+nna+6)/4 }
      nna   =30;         { must be zero }

{ ----- calculate 1 and 5 ----- }

```

```

procedure value1(i:integer);
var index:integer;
begin

      a:=((i-1)/4)*t;
      b:=a+(((9-i)/4)*((lambda*t)/3));
      c:=(b-a)/num;
      index:=trunc((short*i)+1-short);
      x[index]:=a/(100*pi);

      repeat
            f[index]:=abs(sin((omega*x[index])+alpha+(2/3)*pi));
            index:=index+1;
            x[index]:=x[index-1]+c/(100*pi);
      until index > (short*i)+1-short+num;

end;

{ ----- calculate 2 and 6 ----- }

```

```

procedure value2(i:integer);
var index:integer;
begin

      a:=((i-2)/4)*t+(10-i)*(lambda*t)/12;
      b:=((i-2)/4)*t+(lambda*t)-tal;
      c:=(b-a)/nna;
      index:=trunc((short*i)+nna+2-(short*2));
      x[index]:=a/(100*pi);

      repeat
            f[index]:=abs(sin((omega*x[index])+alpha));
            index:=index+1;
            x[index]:=x[index-1]+c/(100*pi);
      until index > (short*i)+nna+2-(short*2)+nna;

end;

{ ----- calculate 3 and 7 ----- }

```

```

procedure value3(i:integer);
var index:integer;
begin

```

```
x[index]:=((i-3)/4)*t + (lamda*t)-tal)/(100*pi);
f[index]:=Vc;
```

```
index:=trunc((short#i)+num+nas+3-(short#3)+1);
x[index]:=((i-3)/4)*t + (lamda*t))/(100*pi);
f[index]:=Vc;

end;
```

```
{ --- calculate 4 and 8 --- }
```

```
procedure value4(i:integer);
var index:integer;
begin

    index:=trunc((short#i)+num+nas+5-(short#4));
    x[index]:=((i/4)-1)*t+(lamda*t))/(100*pi);
    f[index]:=0;

    index:=trunc((short#i)+num+nas+5-(short#4)+1);
    x[index]:=((i/4)-1)*t+(lamda*t))/(100*pi);
    f[index]:=0;
```

```
end;

{ --- calculate all period --- }
```

```
procedure value(n:integer);
begin

    if (n=1) or (n=5) then value1(n);
    if (n=2) or (n=6) then value2(n);
    if (n=3) or (n=7) then value3(n);
    if (n=4) or (n=8) then value4(n);
```

```
end;

{ --- set heading and initial value --- }
```

```
procedure heading;
begin

    writeln('input lamda in percent without percent sign');
    readln (lamda);
    writeln('input tal in microsec');
    readln (tal);
    writeln('input Vc in volt per 1 volt peak');
    readln(Vc);
```

```
    lamda:=lamda/100;
    tal:=100*pi*tal#1e-6;
```

```
end;

{----- main -----}
```

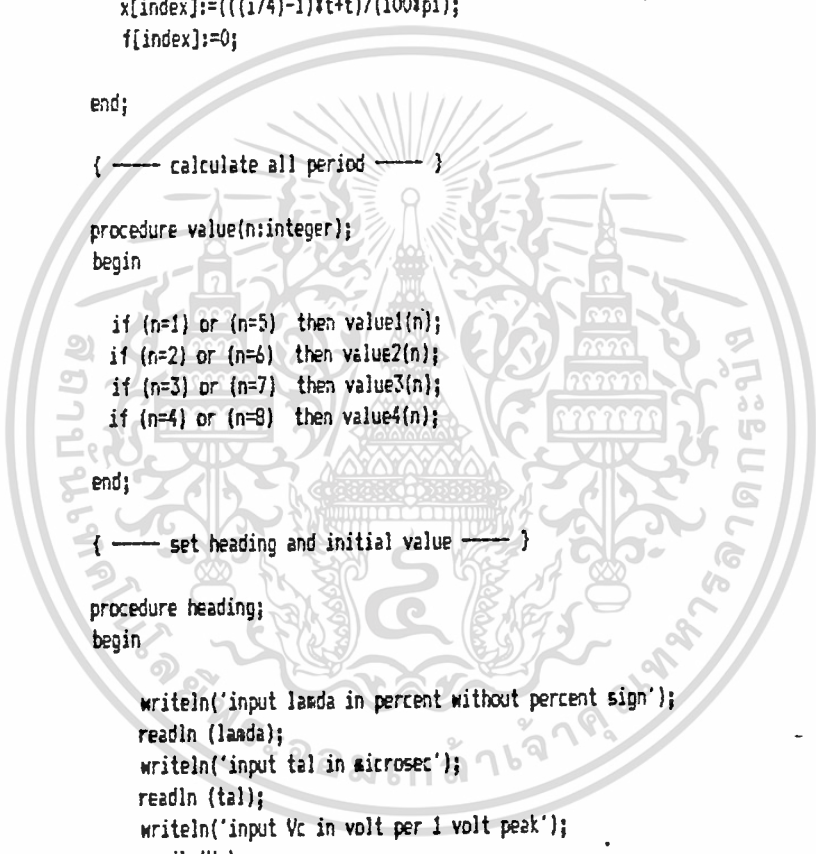
```
begin

    heading;

    short:=(num+nas+6)/4;
    final:=trunc((short#8)+num+nas+5-(short#4)+1);
```

```
    for n:=1 to 8 do value(n);
    for i:=1 to final do writeln (i, ' ', x[i]:9, ' ', f[i]:6:4);
```

```
end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DATA FOR PLOTTING

=====

mod EG% led 90%

tal=300 microsec

=====

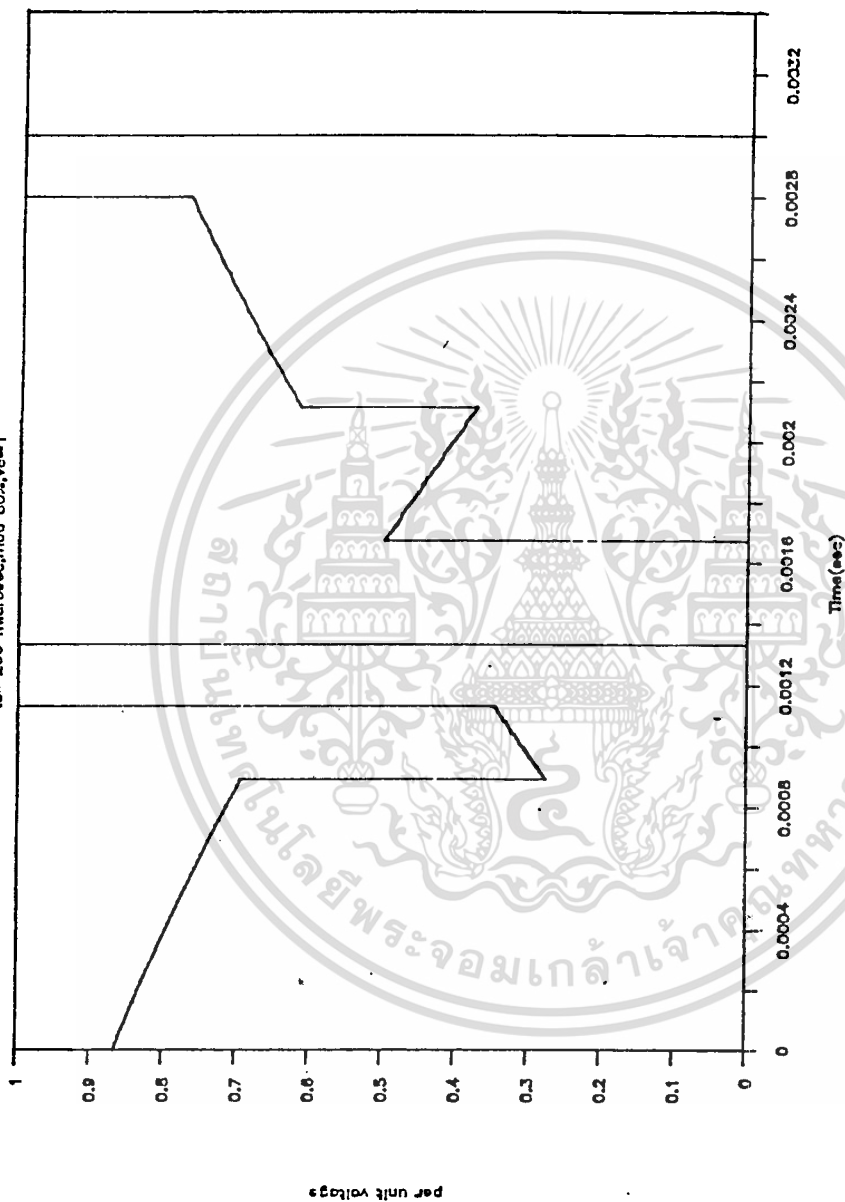
## DATA FOR PLOTTING

0.00	0.0	264.00	0.0
16.00	0.0	270.00	0.0
16.00	1.0	270.00	-1.0
19.50	1.0	289.50	-1.0
24.00	0.5	294.00	-0.9
24.00	0.0	294.00	0.0
38.00	0.0	300.00	0.0
38.00	1.0	300.00	-1.0
49.50	1.0	316.00	-1.0
54.00	0.5	316.00	0.0
54.00	0.0	330.00	0.0
60.00	0.0	330.00	-1.0
60.00	1.0	338.00	-1.0
79.50	1.0	338.00	0.0
84.00	0.5	360.00	0.0
84.00	0.0		
90.00	0.0		
90.00	1.0		
109.50	1.0		
114.00	0.5		
114.00	0.0		
120.00	0.0		
120.00	1.0		
136.00	1.0		
136.00	0.0		
150.00	0.0		
150.00	1.0		
158.00	1.0		
158.00	0.0		
180.00	0.0		
196.00	0.0		
196.00	-1.0		
199.50	-1.0		
204.00	-0.9		
204.00	0.0		
216.00	0.0		
216.00	-1.0		
229.50	-1.0		
234.00	-0.9		
234.00	0.0		
240.00	0.0		
240.00	-1.0		
259.50	-1.0		
264.00	-0.9		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# GRAPH Ed

tol=200 microsec,mod 80F,Vc=1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
program plot_lline;
```

113

```
var lamda,De,tal:real;  
    i,n:integer;  
    x,y:array[1..60] of real;
```

```
const T =30;  
    Vc=0.9;  
    Iu=1;
```

```
begin
```

```
    writeln('input lamda in percent');  
    readln(lamda);  
    writeln('input tal in microsec');  
    readln(tal);  
    tal:=18*tal*0.001;  
    De:=lamda*T/300;
```

```
    y[1]:=0; y[2]:=0; y[3]:=Iu; y[4]:=Iu; y[5]:=Vc;  
    y[29]:=0; y[59]:=0; y[53]:=0;
```

```
    for i := 1 to 5 do y[i+29]:= y[i]*(-1) ;
```

```
    for n:= 1 to 3 do  
    begin  
        for i:= 1 to 5 do y[i+5*n]:= y[i] ;  
    end;
```

```
    for n:= 1 to 3 do  
    begin  
        for i:= 30 to 34 do y[i+5*n]:= y[i];  
    end;
```

```
    y[21]:=0; y[22]:=0; y[23]:=1; y[24]:=1;
```

```
    for i:=21 to 24 do y[i+29]:=y[i]*(-1);
```

```
    for i:=21 to 24 do y[i+4]:=y[i];
```

```
    for i:= 50 to 53 do y[i+4]:=y[i];
```

```
    x[1]:=0;      x[2]:=2*De;      x[3]:=2*De;      x[4]:=3*De-tal;  
    x[5]:=3*De;  x[6]:=3*De;      x[7]:=T+De;      x[8]:=T+De;  
    x[9]:=T+3*De-tal;x[10]:=T+3*De;  x[11]:=T+3*De;  x[12]:=2*T;  
    x[13]:=2*T;  x[14]:=2*T+3*De-tal;x[15]:=2*T+3*De;  x[16]:=2*T+3*De;  
    x[17]:=3*T;  x[18]:=3*T;      x[19]:=3*T+3*De-tal;x[20]:=3*T+3*De;  
    x[21]:=3*T+3*De; x[22]:=4*T;      x[23]:=4*T;      x[24]:=4*T+2*De;  
    x[25]:=4*T+2*De; x[26]:=5*T;      x[27]:=5*T;      x[28]:=5*T+De;  
    x[29]:=5*T+De; x[30]:=6*T;
```

```
    for i:= 2 to 30 do x[i+29]:=x[i]+180;
```

```
    for i:= 1 to 59 do writeln(i, ' ',x[i]:5:2, ' ',y[i]:3:1);
```

```
end.
```

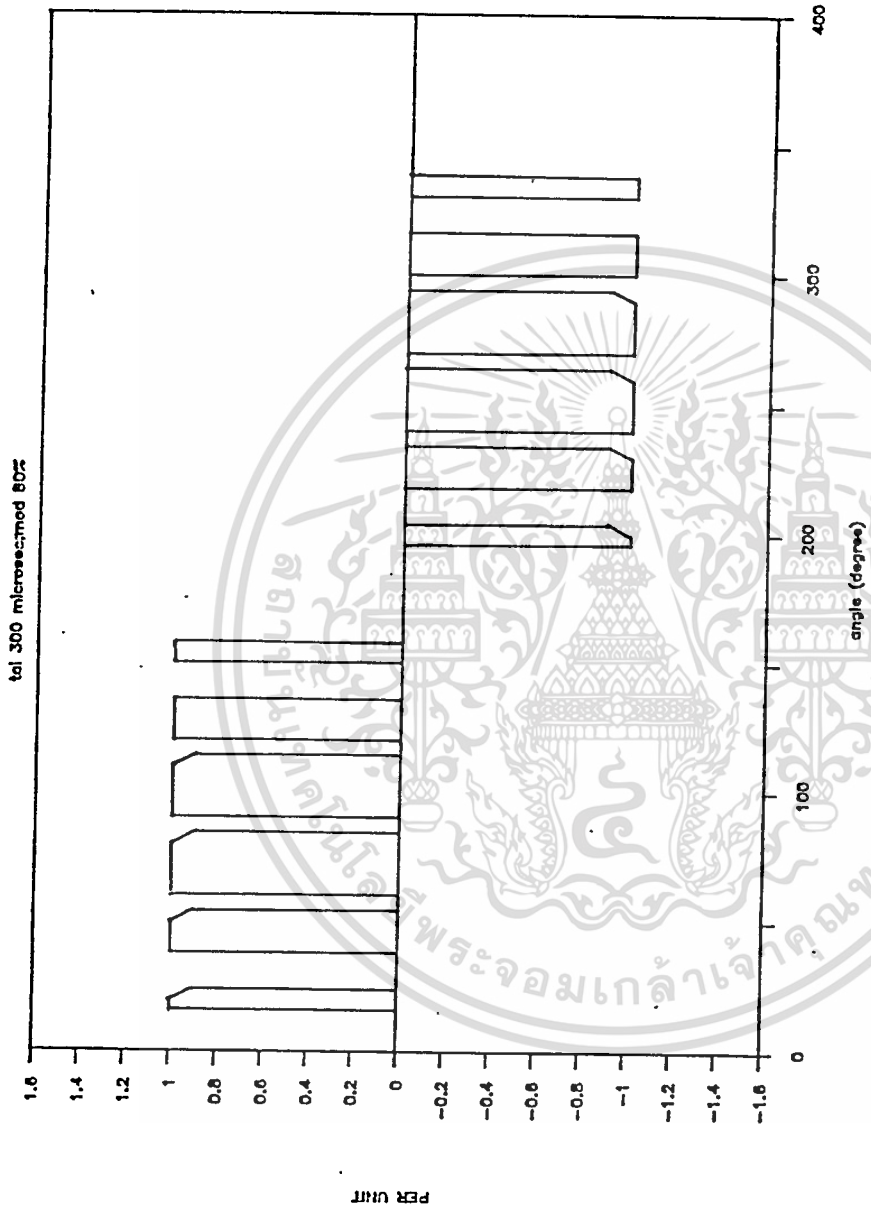
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DATA FOR PLOTING

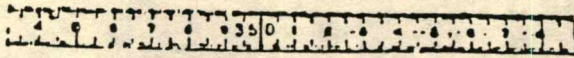
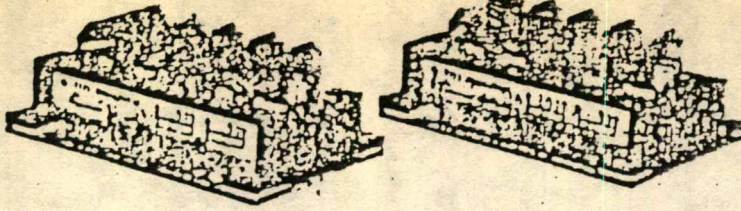
=====	0.000913	0.2630	0.001840	0.4509	0.002640	0.7374
mod 80% Vc = 1	0.000921	0.2655	0.001840	0.4476	0.002660	0.7422
t=1=200 microsec	0.000930	0.2679	0.001870	0.4446	0.002650	0.7470
=====	0.000936	0.2904	0.001880	0.4415	0.002710	0.7518
0.000000	0.8660	0.000946	0.2928	0.001890	0.4384	0.002730
0.000022	0.8625	0.000954	0.2953	0.001900	0.4352	0.002750
0.000044	0.8590	0.000962	0.2977	0.001910	0.4321	0.002750
0.000067	0.8554	0.000970	0.3002	0.001920	0.4289	0.002800
0.000089	0.8517	0.000979	0.3026	0.001930	0.4258	0.002800
0.000111	0.8480	0.000987	0.3050	0.001940	0.4226	0.002800
0.000133	0.8443	0.000995	0.3075	0.001960	0.4195	0.003000
0.000156	0.8406	0.001000	0.3099	0.001970	0.4163	0.003330
0.000178	0.8368	0.001010	0.3123	0.001980	0.4131	
0.000200	0.8329	0.001020	0.3148	0.001990	0.4099	
0.000222	0.8290	0.001030	0.3172	0.002000	0.4067	
0.000244	0.8251	0.001040	0.3196	0.002010	0.4035	
0.000267	0.8211	0.001040	0.3220	0.002020	0.4003	
0.000289	0.8171	0.001050	0.3245	0.002030	0.3971	
0.000311	0.8131	0.001060	0.3269	0.002040	0.3939	
0.000333	0.8090	0.001070	0.3293	0.002060	0.3907	
0.000356	0.8049	0.001080	0.3317	0.002070	0.3875	
0.000378	0.8007	0.001080	0.3341	0.002080	0.3843	
0.000400	0.7965	0.001090	0.3365	0.002090	0.3811	
0.000422	0.7923	0.001100	0.3390	0.002100	0.3778	
0.000444	0.7880	0.001110	0.3414	0.002110	0.3746	
0.000467	0.7837	0.001120	0.3438	0.002110	0.6157	
0.000489	0.7793	0.001130	0.3462	0.002130	0.6213	
0.000511	0.7749	0.001130	0.3486	0.002160	0.6270	
0.000533	0.7705	0.001130	1.0000	0.002180	0.6326	
0.000556	0.7660	0.001130	1.0000	0.002200	0.6381	
0.000578	0.7615	0.001130	0.0000	0.002230	0.6437	
0.000600	0.7570	0.001670	0.0000	0.002250	0.6492	
0.000622	0.7524	0.001670	0.5000	0.002270	0.6547	
0.000644	0.7478	0.001680	0.4970	0.002290	0.6601	
0.000667	0.7431	0.001690	0.4939	0.002320	0.6655	
0.000689	0.7385	0.001700	0.4909	0.002340	0.6709	
0.000711	0.7337	0.001710	0.4879	0.002360	0.6762	
0.000733	0.7290	0.001720	0.4848	0.002390	0.6815	
0.000756	0.7242	0.001730	0.4818	0.002410	0.6867	
0.000778	0.7193	0.001740	0.4787	0.002430	0.6920	
0.000800	0.7145	0.001760	0.4756	0.002460	0.6972	
0.000822	0.7096	0.001770	0.4726	0.002480	0.7023	
0.000844	0.7046	0.001780	0.4695	0.002500	0.7074	
0.000867	0.6997	0.001790	0.4664	0.002520	0.7125	
0.000889	0.6947	0.001800	0.4633	0.002550	0.7176	
0.000911	0.6896	0.001810	0.4602	0.002570	0.7226	
0.000933	0.6846	0.001820	0.4571	0.002590	0.7275	
0.000955	0.6796	0.001830	0.4540	0.002620	0.7325	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

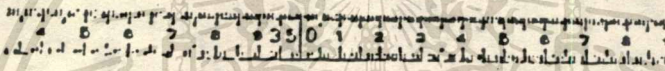
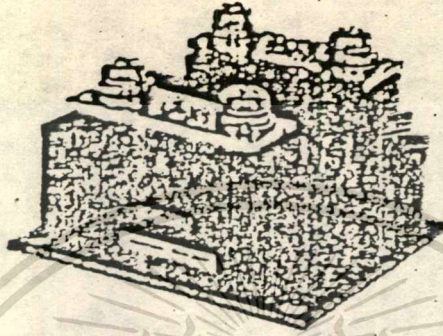
# GRAPH I LINE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

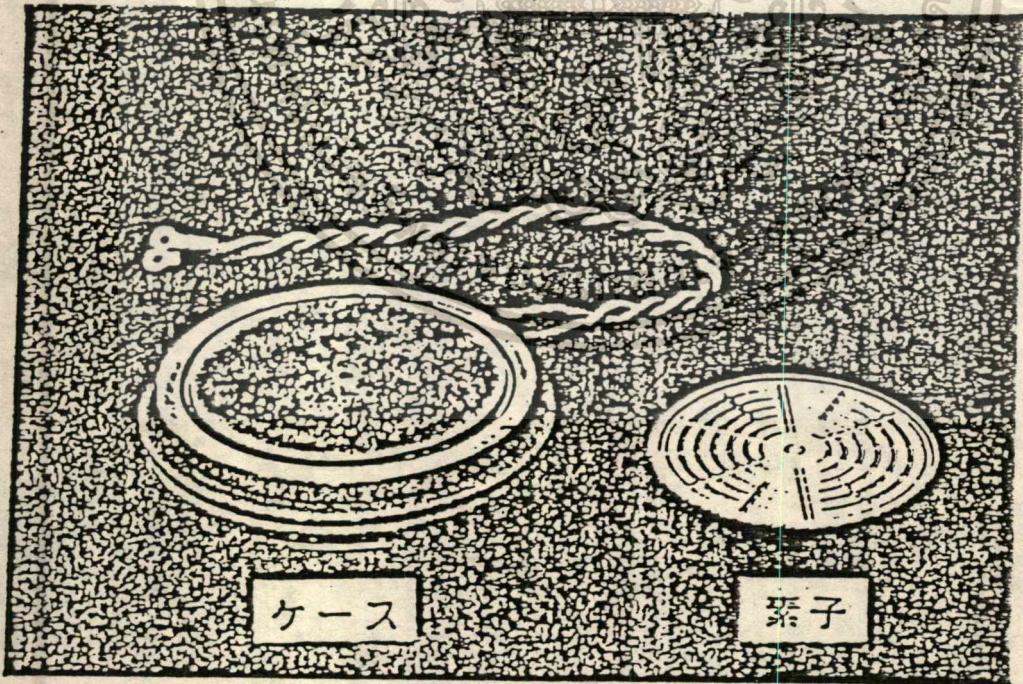


(a) 200A・300A, 1,200V GTOモジュール



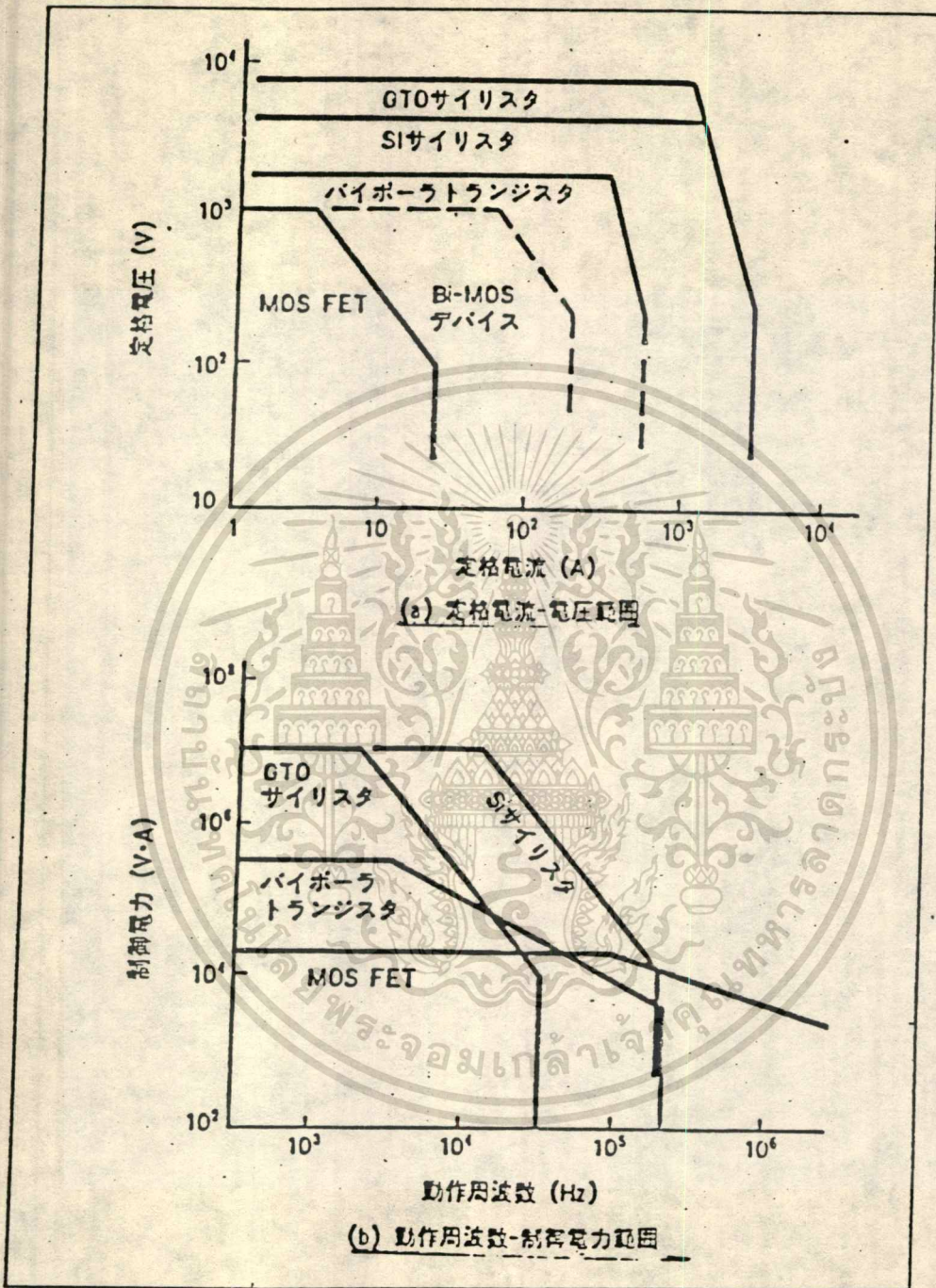
(b) 600A, 1,200V GTOモジュール

GTOサイリスタモジュール外觀 200A・300A・600A, 1,200V  
 左様のGTOサイリスタモジュールが実用化されている。



開発したGTO素子

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ (5000V 4500A) เอนญาตให้แก่วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไมใช้



各種パワーデバイスの適用領域(I) いずれのデバイスも不  
 断の進歩を続けており、この領域を更に拡大する方向へ展開しているので、一  
 つで万能なデバイスはありません

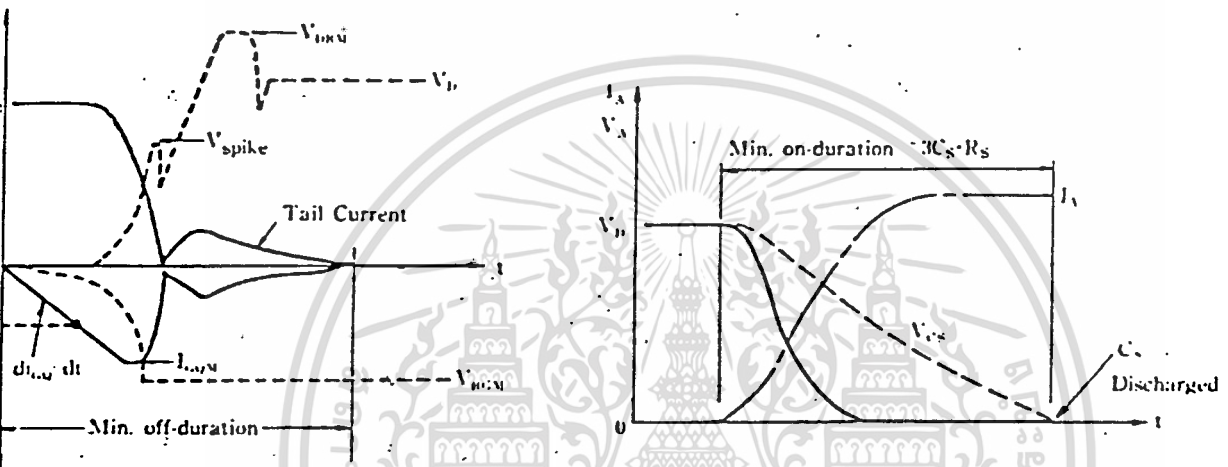
Table 3 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Item	Symbol	Unit	Min.	Typ.	Max.	Condition
Peak off-state current	$I_{DRM}$	mA			40	$V_{DRM}$ G-K: Short $T_j: 125^\circ\text{C}$
Peak off-state reverse current	$I_{RRM}$	mA			40	$V_{RRM}$ $T_j: 125^\circ\text{C}$
Peak reverse gate current	$I_{GRM}$	mA			40	$V_{GRM}$ $T_j: 125^\circ\text{C}$
Peak on-state voltage	$V_{TM}$	V			1.8	800A
					2.0	1000A
					2.3	1200A
Gate trigger current	$I_{GT}$	A			1.40	$T_j: -40^\circ\text{C}$
					0.56	$T_j: 0^\circ\text{C}$
					0.38	$T_j: 25^\circ\text{C}$
Gate trigger voltage	$V_{GT}$	V			1.80	$T_j: -40^\circ\text{C}$
					1.60	$T_j: 0^\circ\text{C}$
					1.45	$T_j: 25^\circ\text{C}$
Holding current	$I_H$	A		6	$T_j: 25^\circ\text{C}$	
Critical rate of rise of off-state voltage	$dv/dt$	V/ $\mu\text{s}$	1000			$2/3 V_{DRM}$ VGR: 5V $T_j: 125^\circ\text{C}$
Turn-on time (delay time)	$t_{gt}$	$\mu\text{s}$			5.6	$1/2 \cdot V_{DRM}$ $I_{TM}: 1000\text{A}$ $I_{GP}: 3\text{A}$ $di_{GP}/dt \geq 3\text{A}/\mu\text{s}$
	$t_d$	$\mu\text{s}$	1.8			
Gate turn-off time	$t_{gq}$	$\mu\text{s}$			5.5	800A
					6.4	1000A
					7.3	1200A
(storage time)	$t_s$	$\mu\text{s}$	4.5			800A
			5.0			1000A
			6.0			1200A
Turn-off gate charge	$Q_{GO}$	$\mu\text{C}$			900	800A
					1100	1000A
					1300	1200A
Thermal resistance	$R_{th(j-f)}$	$^\circ\text{C/W}$			0.03	Junction to $I_{in}$ . Double side cooled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

When reverse voltage is required, a value close to the forward voltage can be guaranteed.

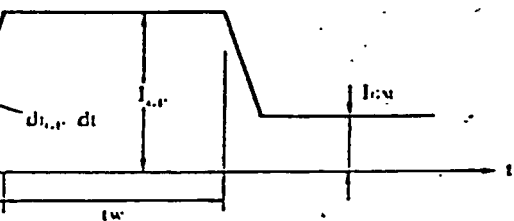
	ITGOM	VDRM	VD	V <sub>spike</sub>	dI <sub>G</sub> /dt	VGRM	C <sub>s</sub>	R <sub>s</sub>	Min. on-duration	Min. off-duration
2	800A	1200V	1000V	≤ 300V	≥ 100 A/μs	60V	2 μF	8 Ω	50 μs	50 μs
12	1000						3	6		
12	1200						4	4		



For PWM control, minimum on- and off-duration must be established. The minimum on-duration is a duration required to discharge the snubber capacitor, and minimum off-duration is a duration until the tail current is fully dissipated.

Off-gate current

$$V_{D1} = 1.2 V_{DRM} \cdot I_{GR} / I_{DGM}$$



$I_{Gp}: 3A, dI_{Gp}/dt: 3A/\mu s, I_{Gq}: 1A$   
 $I_{Gr}: 1\mu s, tw: 6\mu s$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้.

MEIDEN GTO THYRISTOR

120

MAXIMUM ALLOWABLE RATING

Type G6C12

Item	Symbol	Unit	Rating
Repetitive peak off-state voltage	$V_{DRM}$	V	1200
Non-repetitive peak off-state voltage	$V_{DSM}$	V	1400
Repetitive peak reverse voltage	$V_{RRM}$	V	200 (Note 1)
Repetitive peak reverse gate voltage	$V_{GRM}$	V	60
Repetitive controllable on-state current	$I_{TGQM}$	A	600 (Note 2)
On-state current	$I_T(RMS)$	A	300
Large on-state current (Non-repetitive)	$I_{TSM}$	A	3000 Half-sine wave, 1 cycle (50Hz)
Limit value	$I_{t2}$	A s	40000 1ms~10ms
Critical rate of rise on-state current	di/dt	A/ $\mu$ s	150 (Note 3)
Repetitive average forward gate power dissipation	$P_{GF(AV)}$	W	20
Repetitive average reverse gate power dissipation	$P_{GR(AV)}$	W	10
Operating junction temperature	$T_j$	$^{\circ}$ C	-40~125
Average temperature	$T_{stg}$	$^{\circ}$ C	-40~125
Mounting force	-	Kg	600~800 Recommended mounting force: 650Kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note 1

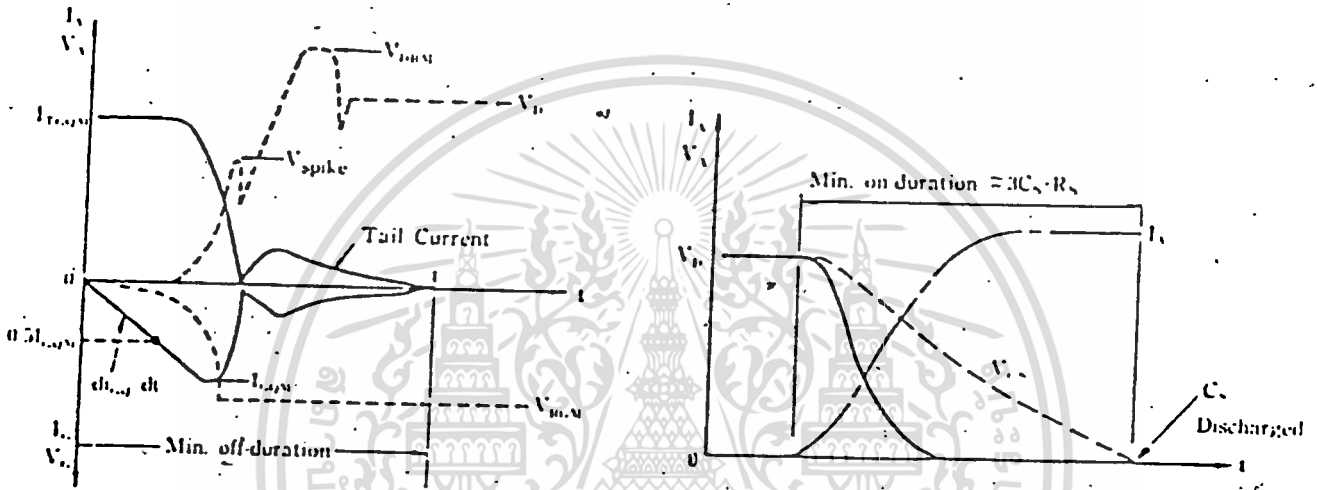
Type G6C12

When reverse voltage is required, a value close to the forward voltage can be guaranteed.

121!

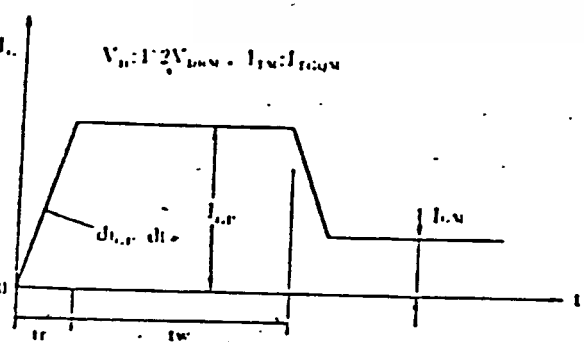
Note 2

Type	ITGOM	VDRM	VD	V <sub>spike</sub>	diGO/dt	VGRM	C <sub>s</sub>	R <sub>s</sub>	Min. on-duration	Min. off-duration
G6C12	500A	1200V	1000V	≤ 300V	≥ 100 A/μs	60V	2 μF	8 Ω	50 μs	50 μs



For PWM control, minimum on- and off-duration should be established. The minimum on-duration is a duration required to discharge the snubber capacitor, and the minimum off-duration is a duration until the tail current is fully dissipated.

Note 3 On-gate current



$I_{GS} = 3A$ ,  $dI_{GS}/dt = 3A/\mu s$ ,  $I_{GS} = 1A$   
 $t_r = 1\mu s$ ,  $t_w = 6\mu s$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Type G6C12

Item	Symbol	Unit	Min.	Typ.	Max.	Condition
Break off-state current	$I_{DRM}$	mA			40	$T_j : 125^\circ\text{C}$ $V_{DRM}, V_{GR} : 10\text{V}$
Break off-state reverse current	$I_{RRM}$	mA			40	$T_j : 125^\circ\text{C}$ $V_{RRM}$
Break reverse gate current	$I_{GRM}$	mA			40	$T_j : 125^\circ\text{C}$ $V_{GRM}$
Break on-state voltage	$V_{TM}$	V			2.5	$T_j : 125^\circ\text{C}, 600\text{A}$
Gate trigger current	$I_{GT}$	A			1.40 0.56 0.38	$T_j : -40^\circ\text{C}$ $T_j : 0^\circ\text{C}$ $T_j : 25^\circ\text{C}$ $V_D : 12\text{V}$
Gate trigger voltage	$V_{GT}$	V			1.80 1.60 1.45	$T_j : -40^\circ\text{C}$ $T_j : 0^\circ\text{C}$ $T_j : 25^\circ\text{C}$ $R_L : 1\Omega$
Holding current	$I_H$	A		5		$T_j : 25^\circ\text{C}$
Critical rate of rise of off-state voltage	$dv/dt$	V/ $\mu\text{s}$	1000			$T_j : 125^\circ\text{C}$ $2/3 V_{DRM}, V_{GR} : 5\text{V}$
Turn-on time (delay time)	$t_{gt}$ $t_d$	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$			5.4 2.0	$1/2 V_{DRM}, I_{GP} : 3\text{A}$ $I_{TM} : 600\text{A}$ $di/dt \geq 3\text{A}/\mu\text{s}$ $GP$
Gate turn-off time (storage time)	$t_{gq}$ $t_s$	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$			4.7 4.2	$600\text{A}, V_{DRM}$ $T_j : 125^\circ\text{C}$ $di/dt$ $GQ$ $\geq 100\text{A}/\mu\text{s}$
Turn-off gate charge	$Q_{GQ}$	$\mu\text{C}$			550	
Thermal resistance	$R_{th(j-f)}$	$^\circ\text{C}/\text{W}$			0.05	Junction to fin, Double side cooled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GFF200E

圖外形圖番号

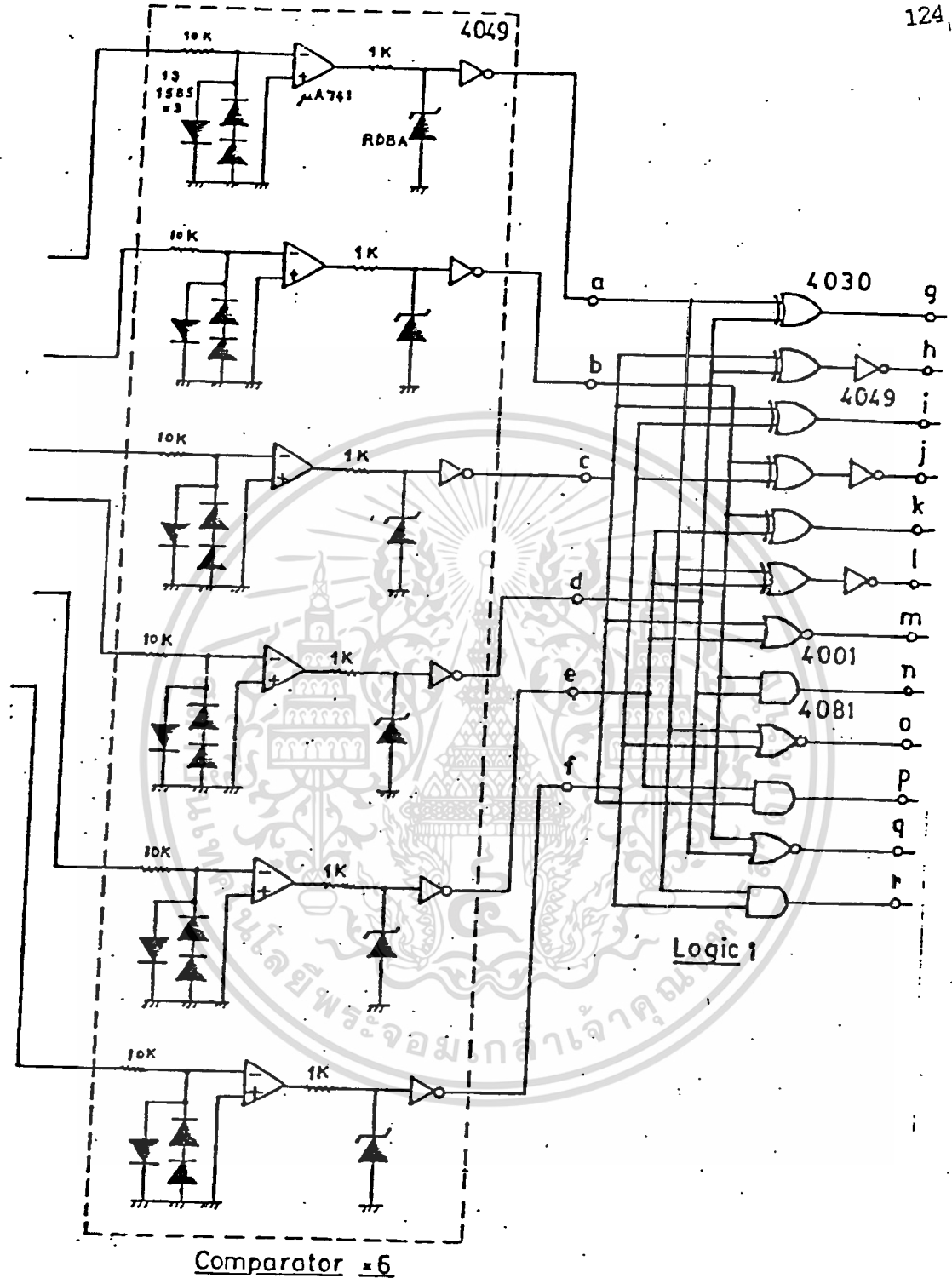
圖電氣的特性 (Tj=25°C)

圖電氣的特性		圖電氣的特性 (Tj=25°C)	
記号	單位	記号	單位
VDRM	V	VDRM	V
IRMS	A	IRMS	A
ICM	A	ICM	A
ICSM	A	ICSM	A
IRSM	A	IRSM	A
di/dt	A/μs	di/dt	V/μs
I <sub>0.1</sub>	A/S	I <sub>0.1</sub>	A
V <sub>DM</sub>	V	V <sub>DM</sub>	V
P <sub>DM</sub>	W	P <sub>DM</sub>	W
P <sub>DMV</sub>	W	P <sub>DMV</sub>	W
Tj	°C	Tj	°C
T <sub>th</sub>	°C	T <sub>th</sub>	°C/W

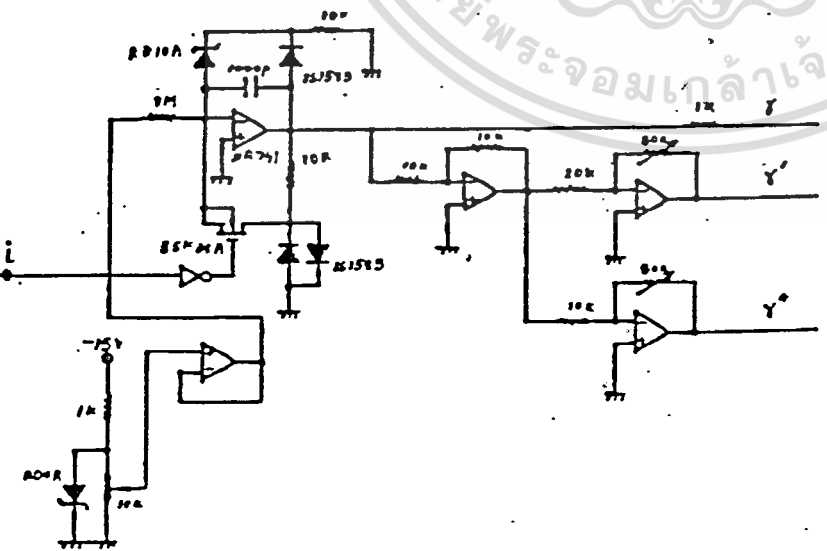
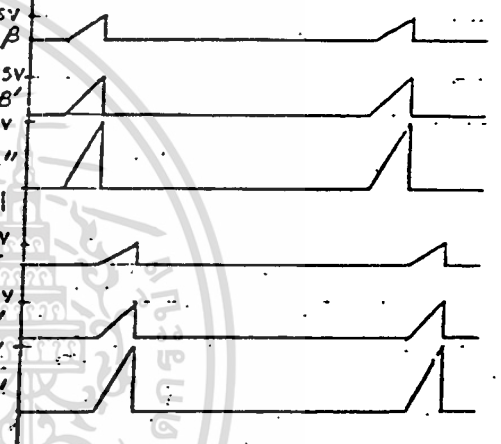
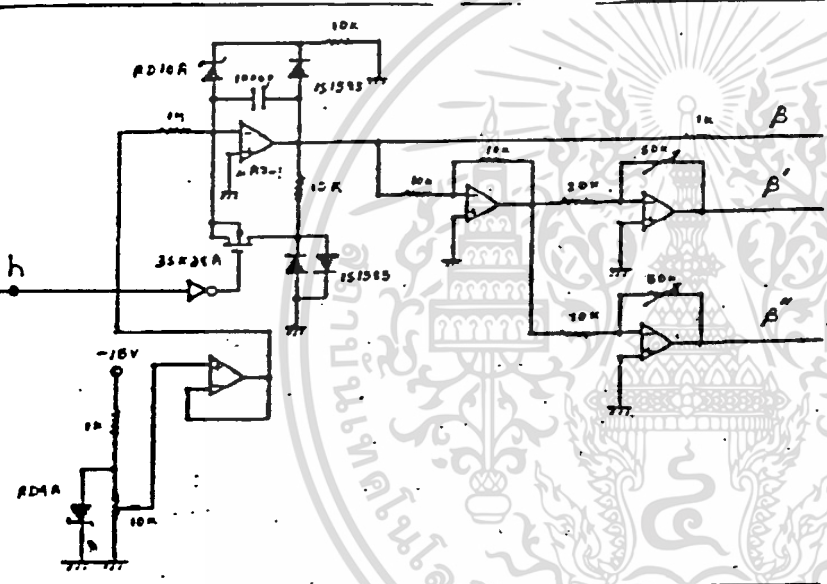
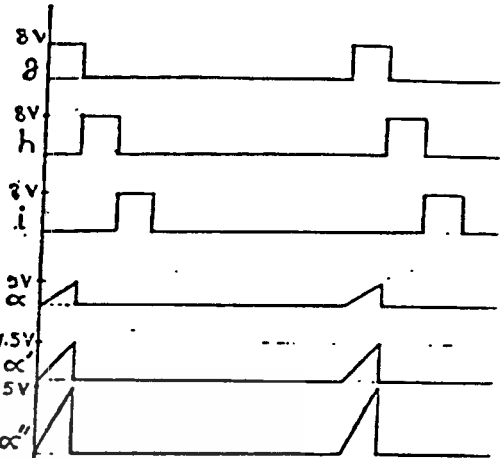
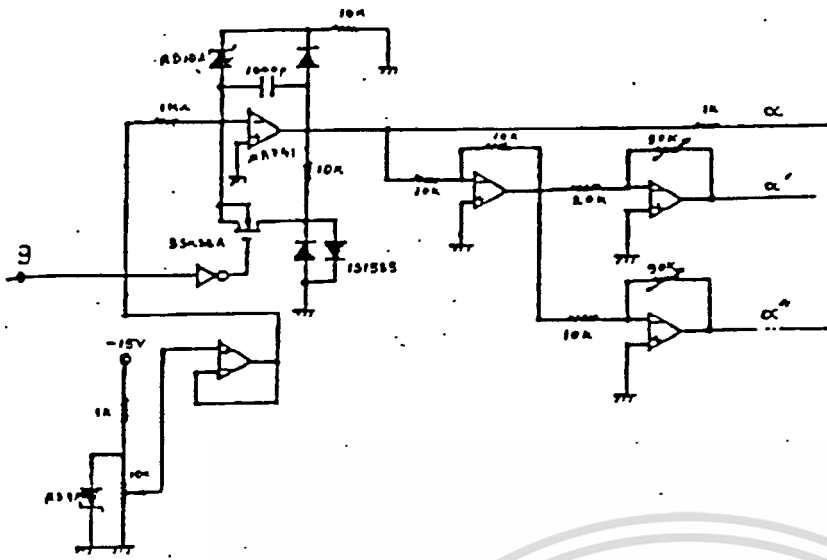
記号	測定条件	Min	Typ	Max	單位
V <sub>DRM</sub>	V <sub>D</sub> = V <sub>DRM</sub> , R <sub>GR</sub> = 100Ω			1	mA
I <sub>RM</sub>	I <sub>RM</sub> = 200A			3.8	V
V <sub>CT</sub>	V <sub>D</sub> = 12V, R <sub>L</sub> = 2Ω			1.5	V
I <sub>CT</sub>				600	mA
di/dt	T <sub>j</sub> = 125°C, V <sub>D</sub> = 800V, R <sub>GR</sub> = 300Ω	1000			V/μs
I <sub>0.1</sub>	V <sub>D</sub> = 24V		4		A
I <sub>LATCH</sub>	V <sub>D</sub> = 24V		6		A
I <sub>0.1</sub>	V <sub>D</sub> = 800V		3	4	A
I <sub>0.1</sub>	I <sub>RM</sub> = 200A		1		μs
I <sub>0.1</sub>	I <sub>CT</sub> = 8A		2		μs
I <sub>0.1</sub>	V <sub>D</sub> = 800V, I <sub>RM</sub> = 200A		4.5	6	μs
I <sub>0.1</sub>	E <sub>OFF</sub> = 12V		4		μs
I <sub>0.1</sub>	L <sub>G</sub> = 0.4μH		0.5		μs
Q <sub>GD</sub>			200	300	μs
R <sub>th</sub>	接合ケース間			0.35	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



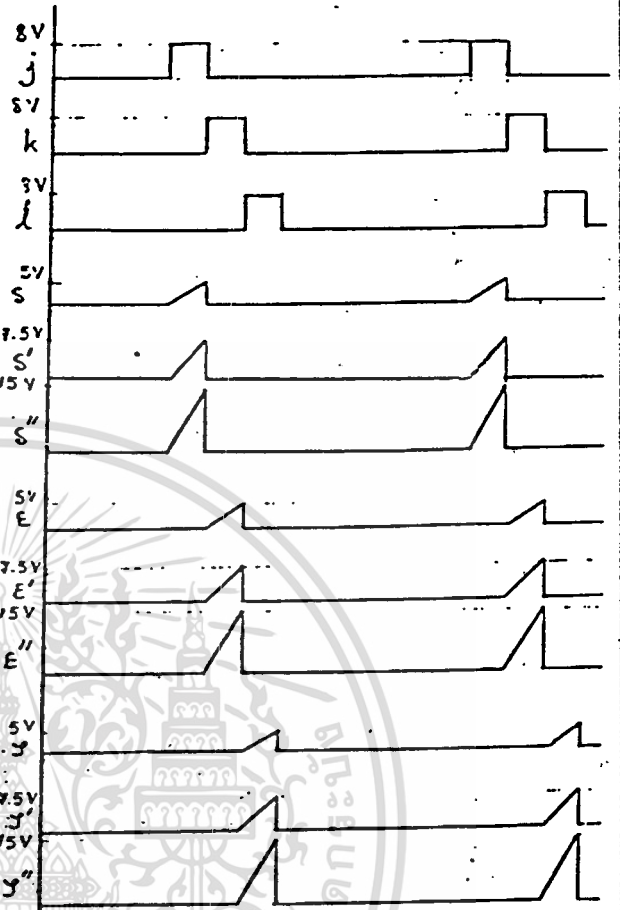
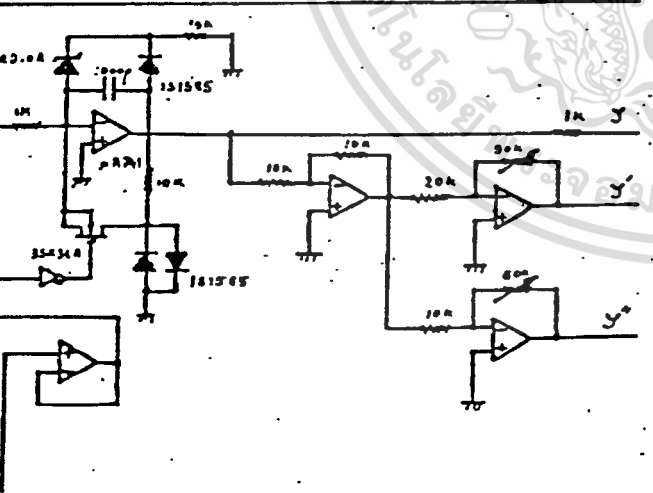
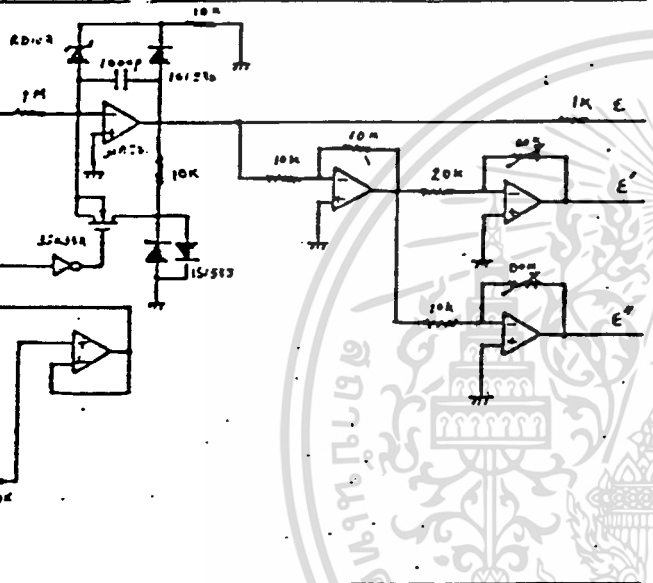
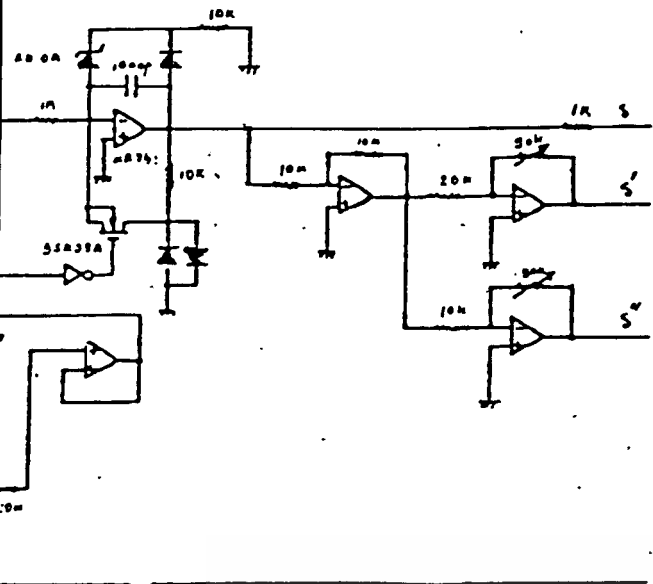
แสดงวงจรเปรียบเทียบ และลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



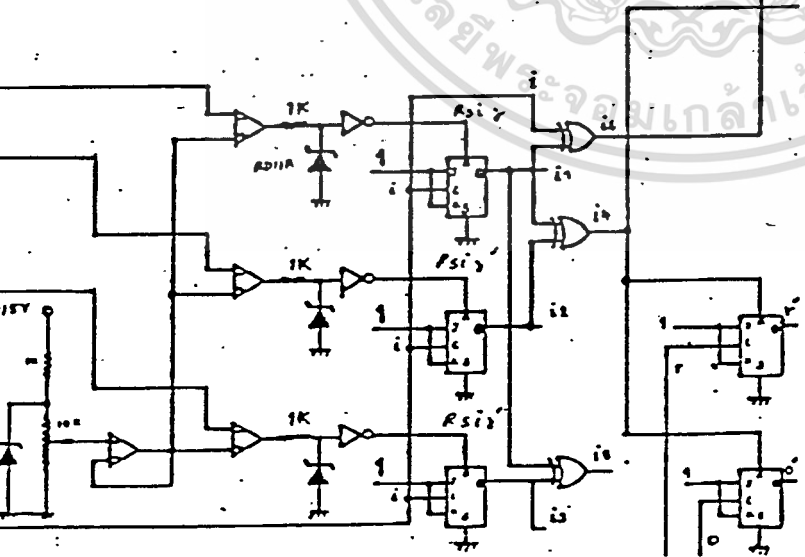
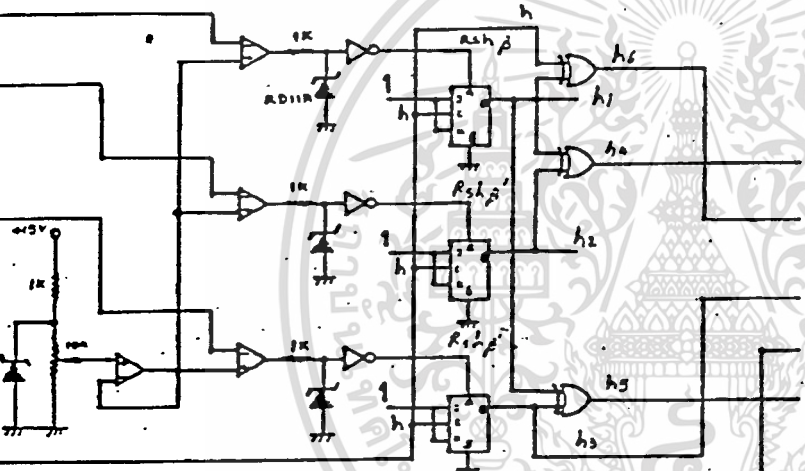
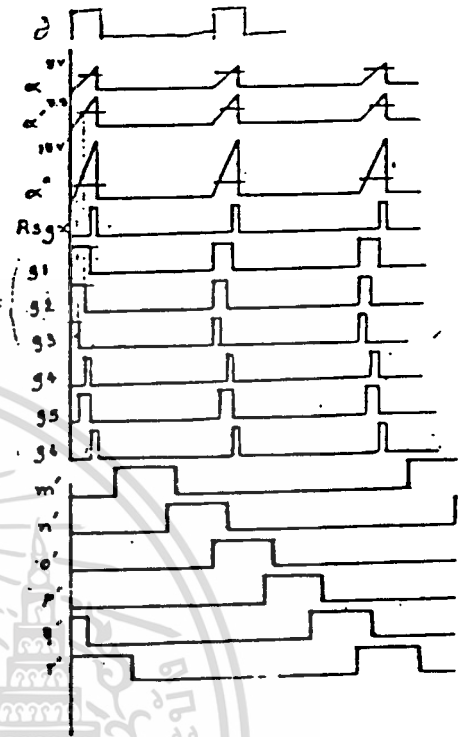
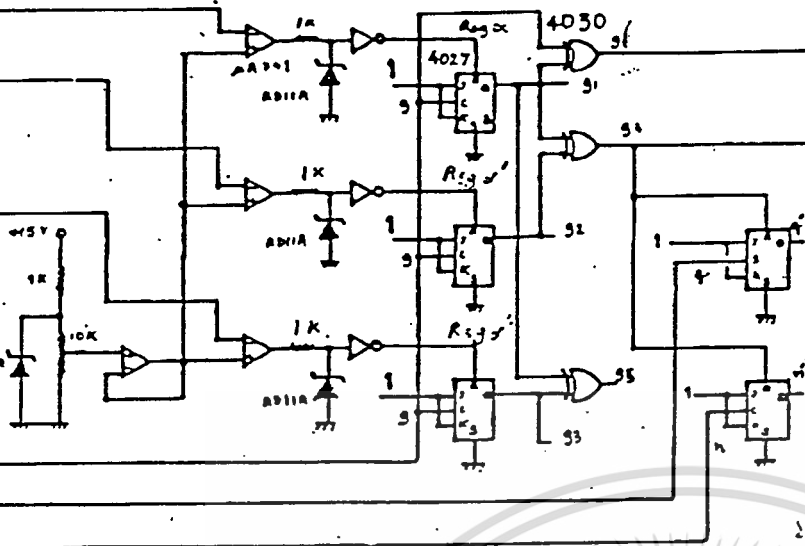
วงจรและรูปคลื่นของวงจร ramp และวงจรขยายที่ 1,2,3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



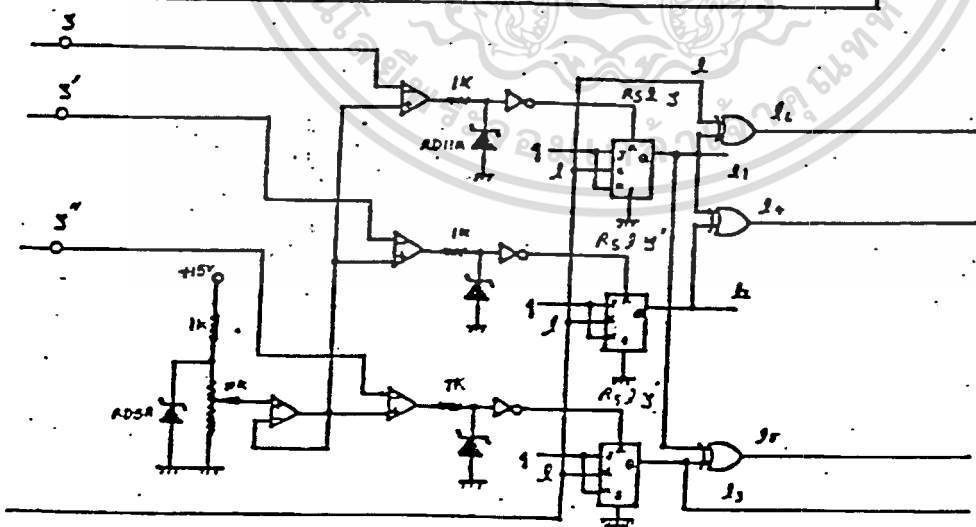
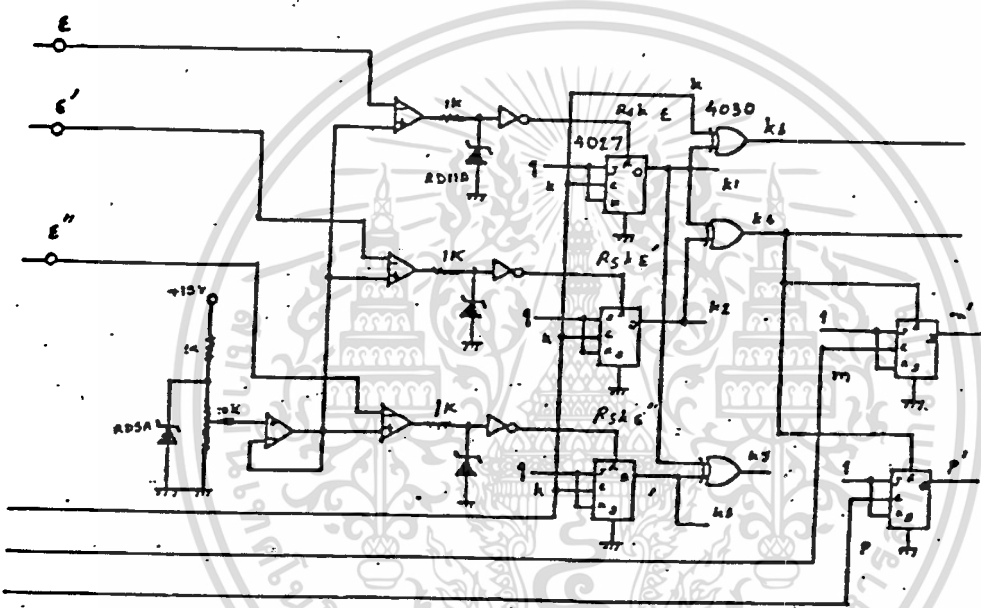
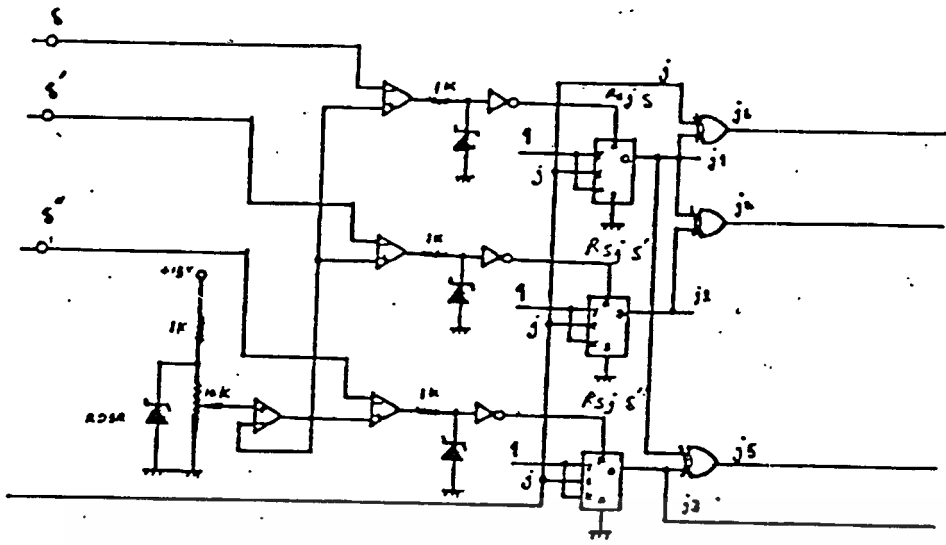
วงจรและรูปคลื่นของวงจร ramp และวงจรขมายที่ 4,5,6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรที่ 1, 2, 3

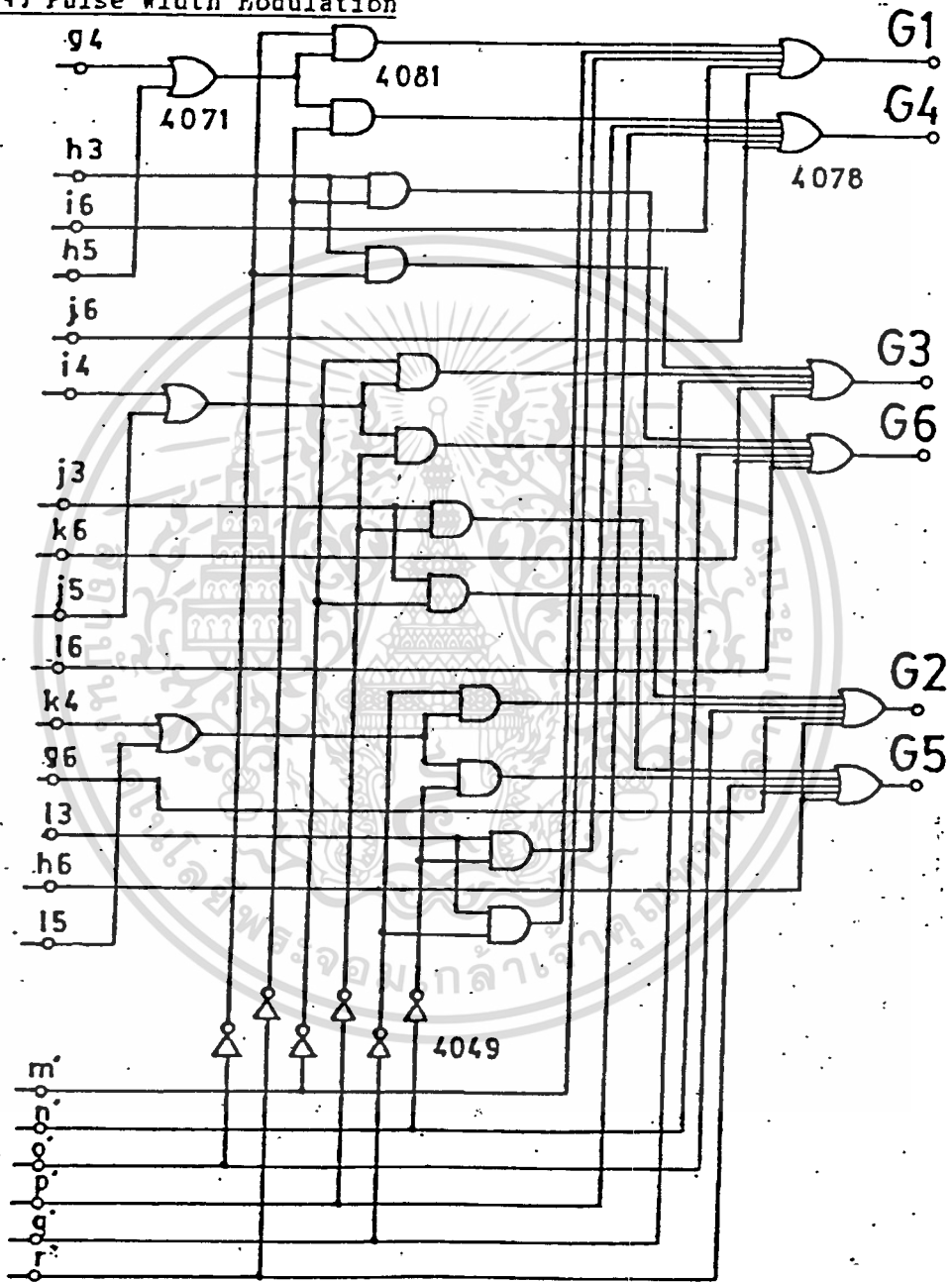
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรรหาค่าที่ 4, 5, 6

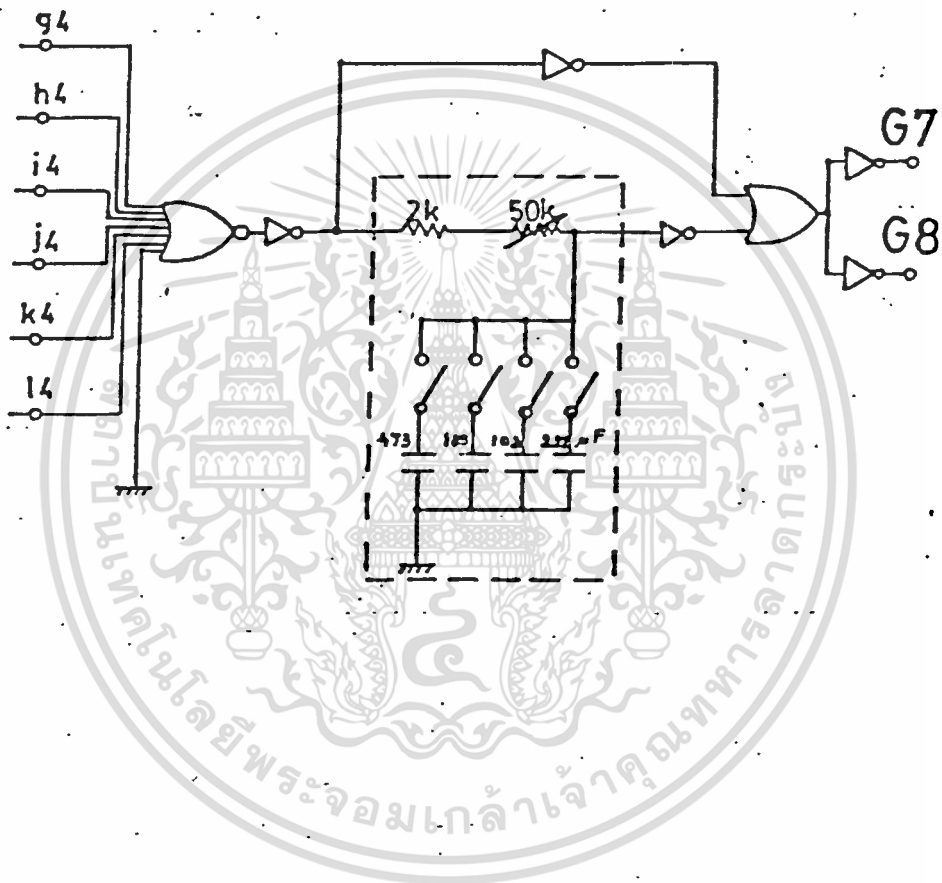
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร Pulse Width Modulation



รูปที่ 3.16 วงจร Pulse Width Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชัยวัฒน์ โควาริสารัช และ โชคชัย ธรรมานุธรรม ,ปริญญานิพนธ์ " เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงและปรับตัวประกอบกำลัง โดย จีทีโอ ไทริสเตอร์ ", ปีการศึกษา 2530
2. สุชาติ แซ่ตั้ง, " เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบพีดับบลิวเอ็ม ", รายงานสัมมนาหนึ่งระดับปริญญาโท, ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2531
3. Cyril Lander, " Power Electronics ",McGRAW-HILL, 386 P.,1981
4. Erwin Kreyszig, " Advanced Engineering Mathematics ", John Wiley & Sons, 939 P., 1979
5. P. Viriya,U. Tatsumi," Consideration of Sinusoidal PWM AC current in a New GTO Converter ",Proceedings of The Faculty of Engineering TOKAI University,Vol. XII,1986.



## กิติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ วีริยะ นิเชษฐ์จำเริญ อย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ประกอบการทำโครงการนี้จนสำเร็จลงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ คุณวิจิตร กิณเรศ สำหรับคำปรึกษา แนะนำ คุณอนุรัตน์ เนตรรัตนะ และคุณอาทิตย์ วรกุลพาณิชย์ สำหรับโปรแกรมการคำนวณในบางส่วน

ท้ายที่สุดสำหรับเพื่อน ๆ วิชาวิศวกรรมศาสตร์ ลาดกระบัง รุ่นที่ 24 ที่ร่วมเรียนมาตลอดเวลา 4 ปี ผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้