



3 PHASE PWM CONVERTER



ปฏิญานินนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

00775๘

จนท
24/4/35

3 PHASE PWM CONVERTER

ผู้ร่วมงาน

ชัยรัตน์ ทองบริบูรณ์ 321457

ประชากร ศิริพนมน์ส 321463

ไพบูลย์ ประจางค์ 321467

รุ่งรัตน์ ฉินกระจ่างเนตร 321472

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ นิเชฐจำเริญ

B.Eng. (KMIT), M.Eng. (TOKAI), D.Eng. (MEIJI)

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วงจรกำลัง	2
- วงจรกำลังหลัก	2
- วงจรช้อว	4
บทที่ 3 ลักษณะคลื่นที่คัปปลิวเอ็ม	5
- ลักษณะคลื่นกระแสที่คัปปลิวเอ็ม	5
- ลักษณะคลื่นกระแสที่คัปปลิวเอ็ม 6, 9, 12, และ 15 มิลลิ	5
- การออกแบบสัญญาณแยก	10
บทที่ 4 ระบบควบคุม	14
- ระบบควบคุมลิจิตอล	14
- ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80	15
- วงจรสร้างพัลส์	16
- วงจรส่วน Close-Loop	16
- วงจรวัดมุมระหว่างเฟสของกระแสและแรงดัน	25
- โปรแกรมควบคุมระบบ	26
บทที่ 5 การประยุกต์นำ PWH AC-DC Converter มาใช้ ในการชดเชยค่า Power Factor	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This paper mentions studying PWM AC to DC Converter, uses GTO thyristor as solid-state power switching devices, for power factor compensation in power system. Using GTO thyristor as solid - state power switching devices, complexity in converter power circuit is reduced because of its easy controlled turn on/off by controlled gate signal, so the power circuit, uses GTO thyristor as power switching device, need not commutation circuit which causes the complexity.

PWM technic is applied in AC to DC Converter, the input characteristic is improved, low harmonic component in ac-line is decreased, and higher input power factor. PWM converter is designed to has the ability for shifting PWM current phase angle in ac-line from -90 to 90 . Shifting PWM current phase angle in ac - line to leading position causes leading reactive power in PWM AC to DC Converter, more leading angle more reactive power is occurred. By this characteristic, the PWM AC to DC converter can be used for power factor compensation in power system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

INTRODUCTION

วิทยาการทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศกำลังก้าวมาในปัจจุบันนี้พัฒนาขึ้นมา อุปกรณ์
สวิตซ์สารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถทนกระแสและแรงดันได้สูง มีการทำงานรวดเร็วได้ถูก
พัฒนาขึ้นมาหลาย รวมทั้งการพัฒนา จีทีโอ ทรานซิสเตอร์ อุปกรณ์สวิตซ์สารกึ่งตัวนำซึ่ง
สามารถควบคุม การเปิด-ปิด ได้ด้วยสัญญาณเกต เมื่อนำอุปกรณ์นี้มาใช้ในวงจรกำลัง
ของคอนเวอร์เตอร์จะช่วยลดความยุ่งยากของวงจรลงได้มากเนื่องจากไม่จำเป็นต้อง
มี วงจรคอมมิวเตทในวงจรกำลัง มีเพียงวงจรสำหรับจำกัดแรงดันสไปค์ในเอซีไลน์
เก็บและถ่ายเทพลังงานคอมมิวเตทจากทางด้านเอซีไปยังโวลต์สกีเท่านั้น

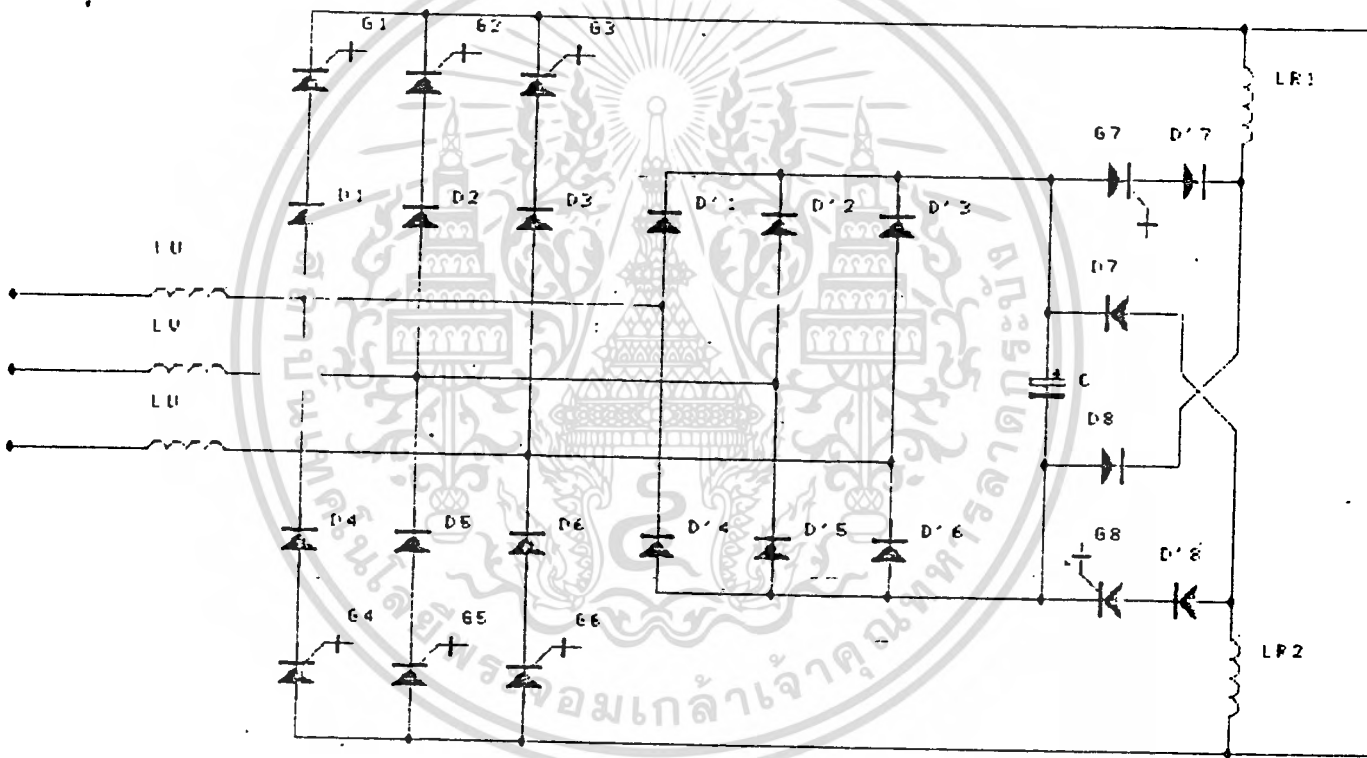
ปัญหานี้มีต้นกำเนิดมาจากคุณสมบัติของ จีทีโอ ฟีลด์เอฟเฟกต์ ทรานซิสเตอร์
ทางด้านรูปแบบของกระแสฟีลด์เอฟเฟกต์ อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ ผลกระทบของจำ
นวนและความกว้างของพัลส์ รวมถึงการเลื่อนเฟสของกระแสฟีลด์เอฟเฟกต์ในเอซีไลน์
ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านอินพุทและเอาต์พุท เพื่อหาความเป็นไปได้ในการนำฟีลด์เอฟเฟกต์
เอฟเฟกต์ ทรานซิสเตอร์ไปใช้ในการชดเชยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลัง.

บทที่ 2

วงจรกำลังหลัก

วงจรกำลังของ GTO. CONVERTER แสดงดังรูป 2.1 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. วงจรกำลังหลัก Main Power Circuit
2. วงจรช่วย Auxilary Circuit

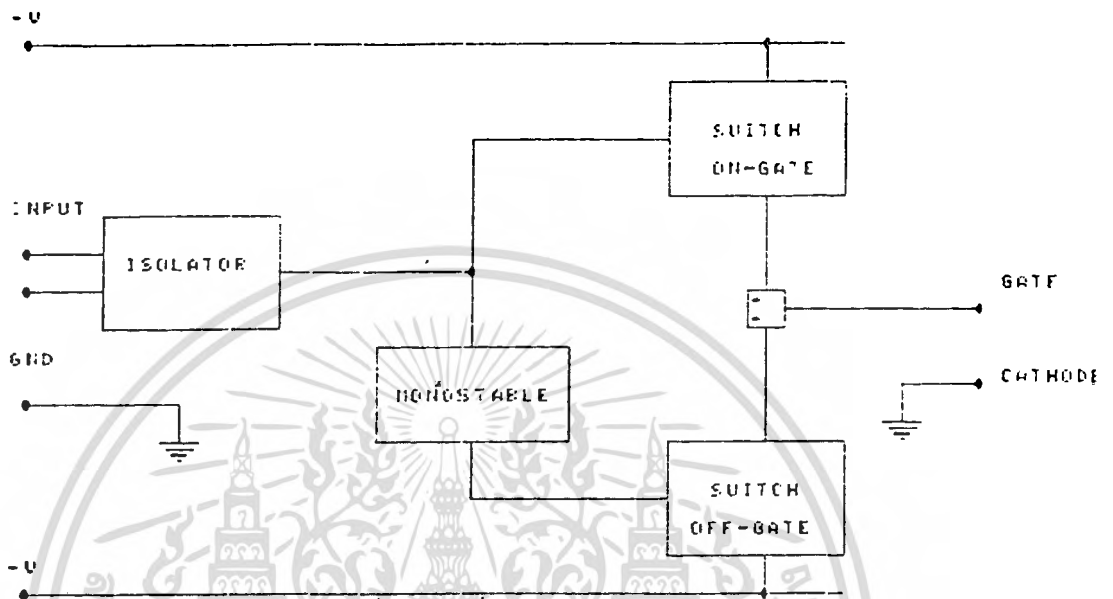


รูป 2.1 วงจรกำลังของ GTO. CONVERTER

2.1 วงจรกำลังหลัก

วงจรกำลังหลัก ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบ PWM. ประกอบด้วย GTO,Thyristor 6 ตัว (G1-G6) โดยมี Diode (D1-D6) 6 ตัวเป็นตัวเร็วค่อนุกรมเพื่อป้องกัน reverse voltage ที่อาจจะทำอันตรายให้กับ GTO. ได้โดยกระแสด้าน Input 3 Phase นำไปใช้จะมีลักษณะเป็น PWM ได้โดยสัญญาณที่ GATE และสมุคตั้งรีเลย์คเตอร์ Ld ซึ่งค่ออยู่ทางด้าน DC LOAD

การ ON-OFF ของ GTO แต่ละตัวจะถูกควบคุมโดยตรงจากสัญญาณเกต การคอมมิวเตทของ วงจรจึงเป็นการคอมมิวเตทเชิงบังคับ โดยมีวงจรคอมมิวเตทดังรูปข้างล่าง



รูป 2.2 แสดงวงจรยับยั้งเกตของ GTO.

การทำงานจะมี ISOLATOR แยกวงจร CONTROL กับวงจร POWER ออกจากกัน โดยช่วง ON จะไป CONTROL ให้ Transistor ด้านไฟบวก ON มีสัญญาณไป trig ให้กับ GTO. เข้าสู่สภาวะนำกระแส ส่วนช่วง OFF จะ Control ให้ Monostable ทำงานโดยมี เวลามากกว่า turn-off time ของ GTO. transistor จะ ON ใหม่อีก ให้แก่ GTO. เป็นการ คอมมิวเตท ให้ GTO. เข้าสู่สภาวะหยุดนำกระแส

วงจรสับเบอว์ ซึ่งประกอบด้วย R_s และ C_s จะต่อพร้อม GTO. ที่ขั้วแอโนดและคาโทดเพื่อ ลดอัตราการเพิ่มของแรงดัน dv/dt และแรงดันสไปค์เนื่องจากสเตรย์อินดักแตนซ์ตลอดช่วงสายต่อ ขั้วแอโนดและคาโทด

ในความจริงแล้วจะมี ลีคเกจ รีแอคแตนซ์ ($L_s > 0$) ที่แหล่งจ่ายไฟ ซึ่งจะก่อให้เกิดแรงดัน สไปค์ขณะที่ GTO. เกิดการคอมมิวเตทซึ่งอาจจะทำให้ GTO. เสียหายได้ ซึ่งมีวงจรช่วย Auxiliary Circuit อันมาแก้ไขปัญหาดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจรช่วย

วงจรช่วยแสดงดังรูป 2.1 ในเส้นประกอบด้วย Diode Bridge 3 phase Rectifier (D1-D6) Capacitor ชนิดอิเล็กโทรไลต์ (cd) Chopper GTO. (G7,G8) วงจรป้องกัน (Lr1, Lr2, D7 และ D8) โดยมีการทำงานดังนี้ ไดโอดบริดจ์จะ rectifier AC ให้กับ คาปาซิเตอร์ (cd) เมื่อเกิดแรงดันสไปค์ ซึ่งมีความมากกว่าแรงดันที่ cd คาปาซิเตอร์ cd จะเก็บสะสมพลังงาน โดยจะมีการคายพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในคาปาซิเตอร์ ไปสู่ด้านโหลด ซี ซี เป็นระลอกห่างเท่า ๆ กัน โดยการควบคุม GTO. G7,G8 ให้นำกระแสรอมกันในช่วงเวลา หลังจากเสร็จสิ้นการคอมมิวเตท ในวงจรหลัก โดยวงจรส่วนป้องกัน จะใช้ในการประจุคาปาซิเตอร์ cd ด้วยพลังงานแม่เหล็กที่สะสม ใน Lr1,Lr2 ทางลูปกระแสรีเวิร์ล (Lr2-D7-Cd-D8-Lr1-LOAD) ในทันที ที่ G7 และ G8 หยุดนำกระแส

อุปกรณ์ต่าง ๆ มีค่าดังนี้

$$Lr1, Lr2 = 5 \text{ mH}$$

$$Ld = 400 \text{ mH}$$

$$Cd = 120 \text{ mH}$$

$$Rs = 5 \text{ } \Omega$$

$$Cs = 0.47 \text{ } \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ลักษณะคลื่นพัลส์บลิวเอมในกระแสเอซีไลน์และสัญญาณ

3.1 ลักษณะคลื่นกระแสพัลส์บลิวเอม

AC TO DC CONVERTER ในปฏิยานิพนธ์นี้ GTO. thyristor จะเปิดปิดกระแสตามสัญญาณ เกทที่ป้อนให้ซึ่งจะได้กระแสอินพุทเอซีไลน์ ทั้ง สามเฟสเป็น PWM. แบบชานน์โศกกระแสไหลค คือจะ เป็นตัวแสดงถึงขนาดพีคของ พัลส์พัลส์บลิวเอม ของกระแส เอซีไลน์โดยความกว้างของแต่ละพัลส์กระแส จะขึ้นอยู่กับความกว้างของสัญญาณ

ดังนั้นเราจึงสามารถปรับขนาดของกระแสพัลส์บลิวเอมได้ 2 ลักษณะคือ

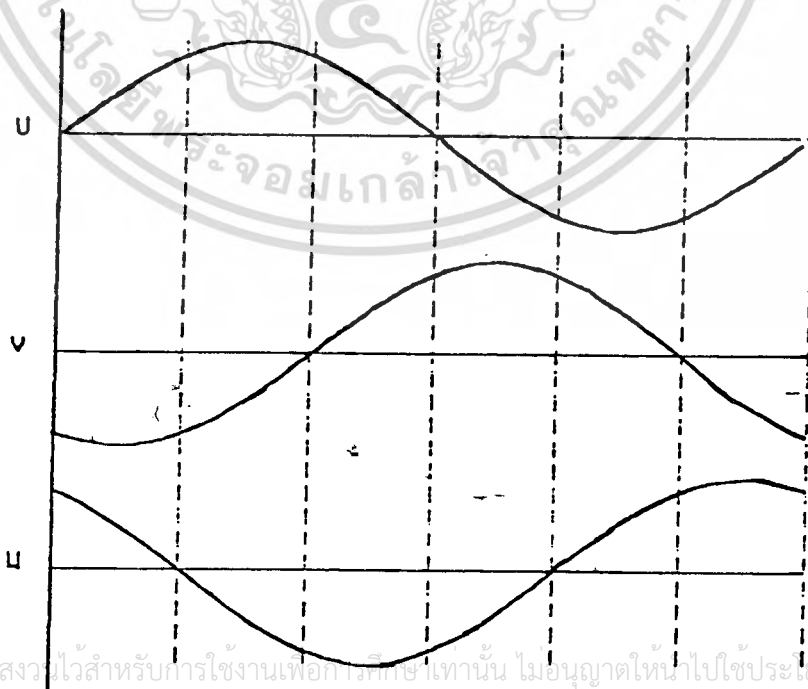
1. โศกการเปลี่ยนความถี่งาน Rd
2. โศกการเปลี่ยนความกว้าง พัลส์ ของกระแสพัลส์บลิวเอม ซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยน

ตัวประกอบมอดูเลชั่น λ ของสัญญาณ

AC TO DC CONVERTER ชุดนี้สามารถมีรูปคลื่น PWM. ของกระแสเอซีไลน์ได้ 6, 9

12, 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

3.2 ลักษณะคลื่นกระแสพัลส์บลิวเอม 6, 9, 12, 15 พัลส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแะส่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.1

เมื่อระบบควบคุมดิจิทัลทำงานร่วมกับวงจรกำลัง ทำให้เราสามารถสร้างคลื่นกระแส นี้นับขดลวด เอ็มสามเฟสในเอชไอไลน์ได้หลายลักษณะเช่น สามารถเลือกจำนวนขดลวดนี้นับขดลวด เอ็มได้ 6, 9, 12 และ 15 ขดลวดในแต่ละครั้งไซเคิล และปรับความกว้างของขดลวดนี้นับขดลวด เอ็มได้ต่อไปนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการ ออกแบบรูปกระแส นี้นับขดลวด เอ็ม 6 ขดลวด ในแต่ละครั้งไซเคิลเป็นดังนี้

เริ่มต้นจะแบ่งกระแสแต่ละเฟสในหนึ่งไซเคิลในรูปที่ 3.1 ออกเป็น 6 ช่วง คือ ช่วงที่ I, II, III, IV, V, VI ช่วงละ 60 องศา และมีจำนวนขดลวดกระแสเท่า ๆ กันในแต่ละช่วงคือจะมีจำนวนขดลวดเป็น 2, 3, 4 หรือ 5 สำหรับกรณีกระแส นี้นับขดลวด เอ็ม 6, 9, 12 และ 15 ขดลวด ตามลำดับ

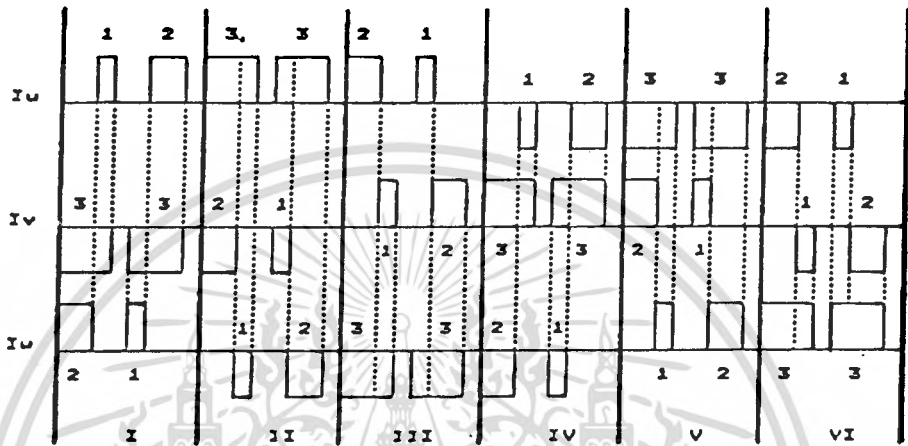
พิจารณาจากขดลวดกระแสที่กว้างที่สุด มีความกว้างขดลวดเท่ากับ λT โดยที่ T คือช่วงเวลา $1/12$ ของคาบเวลาหนึ่งไซเคิลไฟสลับ และสามารถปรับความกว้างขดลวดได้ในช่วง 0 ถึง T โดยทำการปรับค่าตัวประกอบมีออคูลูเลชัน λ จาก 0 ถึง 1

ขดลวดกระแสตั้งกล่าวจำนวน 2 ขดลวดซึ่งห่างกัน $(1-\lambda)T$ วางอยู่ในช่วงเวลา $2T$ และอยู่ในเฟส $-v$ สำหรับช่วงที่ I และอยู่ในเฟส $u, -w, v, -u$ และ w สำหรับช่วงที่ II, III, ..., VI ตามลำดับ การวางขดลวดตั้งกล่าวจำนวน 2 ขดลวดจะอยู่ตรงกับค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของรูปคลื่นกระแสสามเฟส

ต่อไปจะทำการแบ่งขดลวดกระแส λT ออกเป็น 2 ส่วน อัตราส่วนการแบ่งเป็น 2:1 และ 1:2 ตามลำดับ แต่ละส่วนของขดลวดกระแสที่แบ่งแล้วจะไปปรากฏอยู่ในสองเฟสที่เหลือนั่นคือทำให้เกิดเป็นรูปคลื่นกระแส นี้นับขดลวด เอ็มสามเฟส

รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการวางแต่ละส่วนของขดลวดกระแสที่แบ่งแล้วในสองเฟสที่เหลือนั่นคือด้วยวิธีการนี้เพื่อที่จะสร้างคลื่นนี้นับขดลวด เอ็มครั้งไซเคิลบวกเฟส u ในช่วงที่ I ส่วนที่ 2 ของขดลวดที่ 1 และส่วนที่ 2 ของขดลวดที่ 2 จะวางในเฟส u ด้วยอัตราส่วน 2:1 ส่วนที่เหลือนั้นคือขดลวดเดียวกันจะวางอยู่ในเฟส w ด้วยอัตราส่วน 2:1 ในทำนองเดียวกัน ในช่วงที่ III ส่วนที่ 1 ของขดลวดที่ 1 และส่วนที่ 1 ของขดลวดที่ 2 จะวางอยู่ในเฟส u ด้วยอัตราส่วน 2:1 ส่วนที่เหลือนั้นคือขดลวดเดียวกันจะวางอยู่ในเฟส v ด้วยอัตราส่วน 1:2 จึงสรุปได้ว่ากระแส นี้นับขดลวด เอ็ม 6 ขดลวดในแต่ละครั้งไซเคิล มีอัตราส่วนความกว้างเป็น 1: 2: 3: 3: 2: 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 กระแสพัลส์ระดับลิวเอ็ม 6 บิตส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

ส่วนการออกแบบรูปแบบกระแสพัลส์ระดับลิวเอ็ม 9, 12 และ 15 บิตส์ในแต่ละครึ่งไซเคิลนั้นก็สามารกทำได้ในลักษณะเดียวกันกับกรณี 6 บิตส์ เพียงแต่จะมีจำนวนบิตส์ที่กว้างที่สุด WT เท่ากับ 3, 4 และ 5 บิตส์สำหรับกรณีกระแสพัลส์ระดับลิวเอ็ม 9, 12 และ 15 บิตส์ตามลำดับ โดยจะมีอัตราส่วน การแบ่งความกว้างของบิตส์ WT ดังตารางที่ 3.1 ดังนั้นรูปแบบกระแสพัลส์ระดับลิวเอ็ม 9, 12, 15 บิตส์ในแต่ละครึ่งไซเคิลจะมีอัตราส่วนความกว้างของบิตส์เป็นดังนี้

กรณี 9 บิตส์ 1: 2: 3: 4: 4: 4: 3: 2: 1

กรณี 12 บิตส์ 1: 2: 3: 4: 5: 5: 5: 5: 4: 3: 2: 1

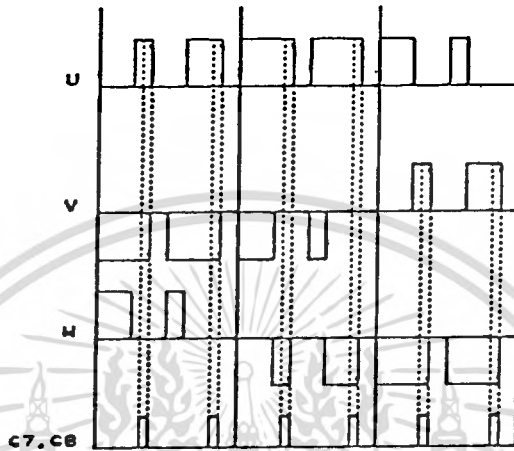
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ภายในหน่วยงานราชการเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ภายในหน่วยงานราชการเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนแบ่งความกว้างของนัลส์ λT

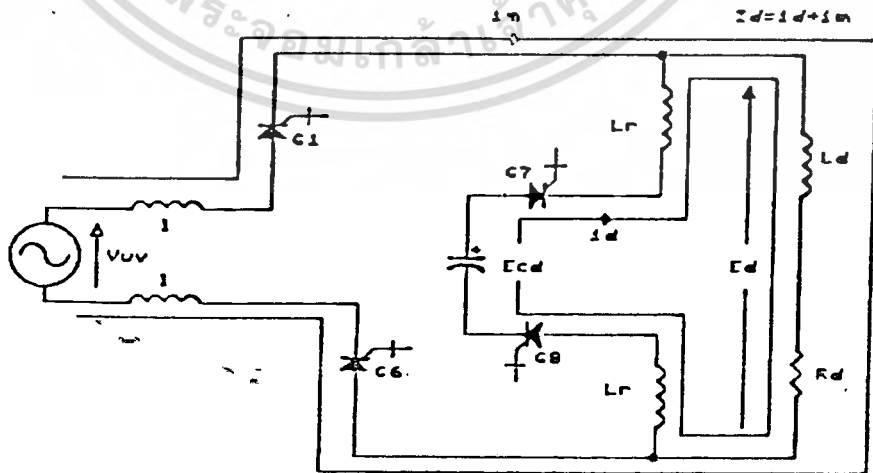
นัลส์ที่	1	2	3	4	5
6 นัลส์	2:1	1:2			
9 นัลส์	3:1	1:1	1:3		
12 นัลส์	4:1	3:2	2:3	1:4	
15 นัลส์	5:1	2:1	1:1	1:2	1:5

เมื่อวงจรถ่ายกำลังหลักทำงานร่วมกับวงจรช่วยนั้น จะทำให้รูปแบบกระแสที่คืบลิวเอ็มนในแต่ละเฟสผิดเพี้ยนไปเล็กน้อยที่บริเวณมุมบนค้ำวของนัลส์กระแส 4 นัลส์แรกสำหรับกรณี 6 นัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าการคายประจุของคาปาซิเตอร์ Cd ในวงจรช่วยไปทางด้านโทลด์คิตีขณะที่จิกโทริสเคอร์ G7 และ G8 กำลังนำกระแส ช่วงเวลาคายประจุนี้จะเกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ ปรากฏให้เห็นที่ช่วงปลายของนัลส์กระแสซึ่งแสดงไว้ด้วยเส้นประในรูปที่ 3.3 กระแสคายประจุจากคาปาซิเตอร์ Cd ไปทางด้านโทลด์คิตีจะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกับ กระแสที่ไหลจาก 2 เฟสของแหล่งจ่ายไฟเอชการทำงาน ของวงจรในช่วงเวลาที่มีคายประจุ จะเป็นดังรูปที่ 3.4 ดังนั้น กระแสโทลด์คิตี I_d ในช่วงเวลานั้นจะประกอบด้วยกระแส 2 ส่วน กระแสจากการคายประจุจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา $(E_{cd}-E_d)/2Lr$ ทั้งนี้เพราะว่า E_{cd} จะมีค่าสูงกว่า E_d เสมอ และกระแสเอชไลน์ (ในเฟส U และ -W) ขณะนั้นจะต้องลดลงในอัตราเดียวกับอัตราเพิ่มของกระแสคายประจุ ทั้งนี้เพื่อรักษาให้กระแสโทลด์คิตีมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การผลิตเอนทอนท์มัพัฒ์ลัของกรแอส์นัคัขบควเอ็ม

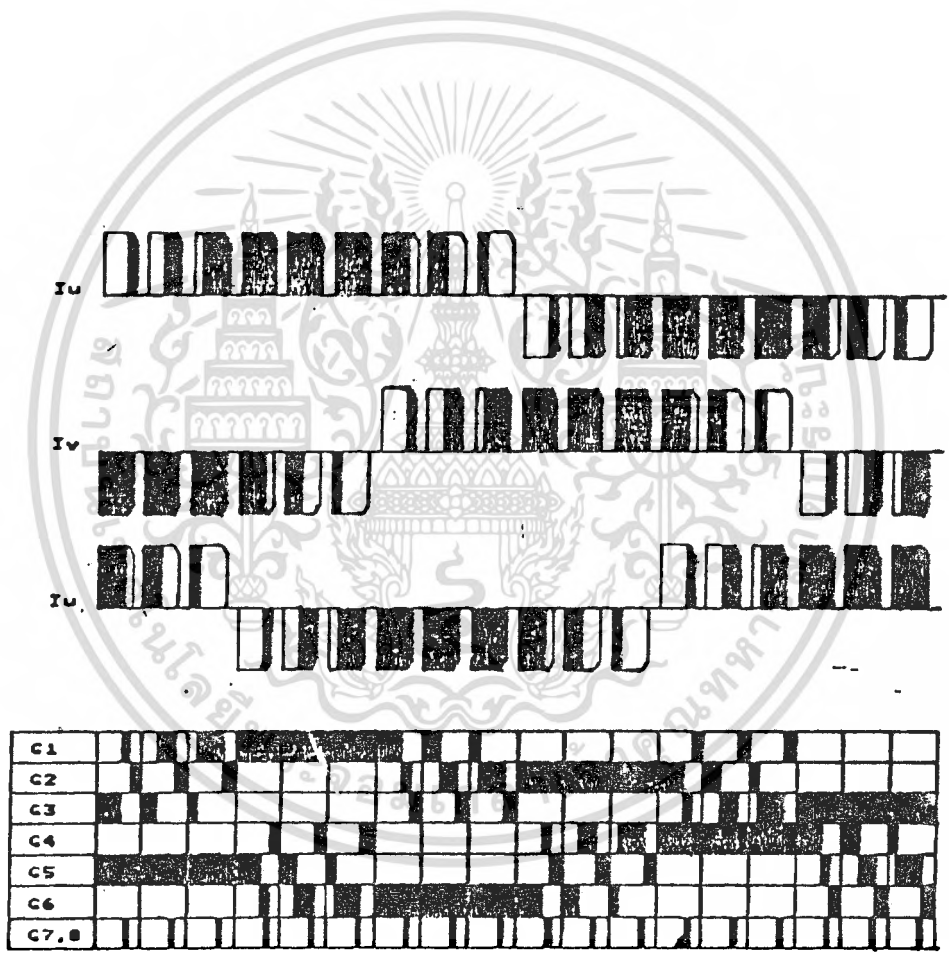


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 วงจรกำลังขณะทักปาซีแอส์นัคัขบควเอ็ม

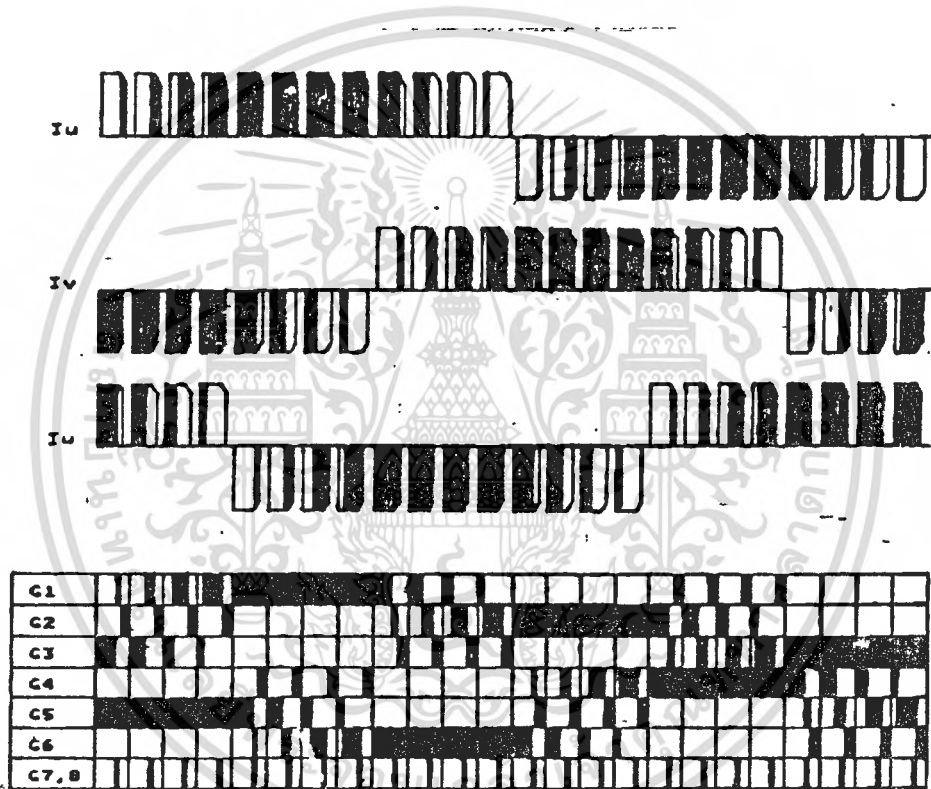
3.3.2 สัญญาณเอกสำหรับกรณีกระแสนีดับบลิวเอ็ม 9,12,15 นิลส์

ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึงการออกแบบสัญญาณเอกสำหรับกรณี 6 นิลส์ ในทำนองเดียวกัน สัญญาณเอกสำหรับกรณี 9, 12 และ 15 นิลส์ นั้น นิยามเท่าทำนองเดียวกันกับ กรณีที่ 6 นิลส์ ก็จะได้สัญญาณเอกสำหรับกรณีกระแสนีดับบลิวเอ็ม 9, 12, และ 15 นิลส์ ดังในรูปที่ 3.6-3.8

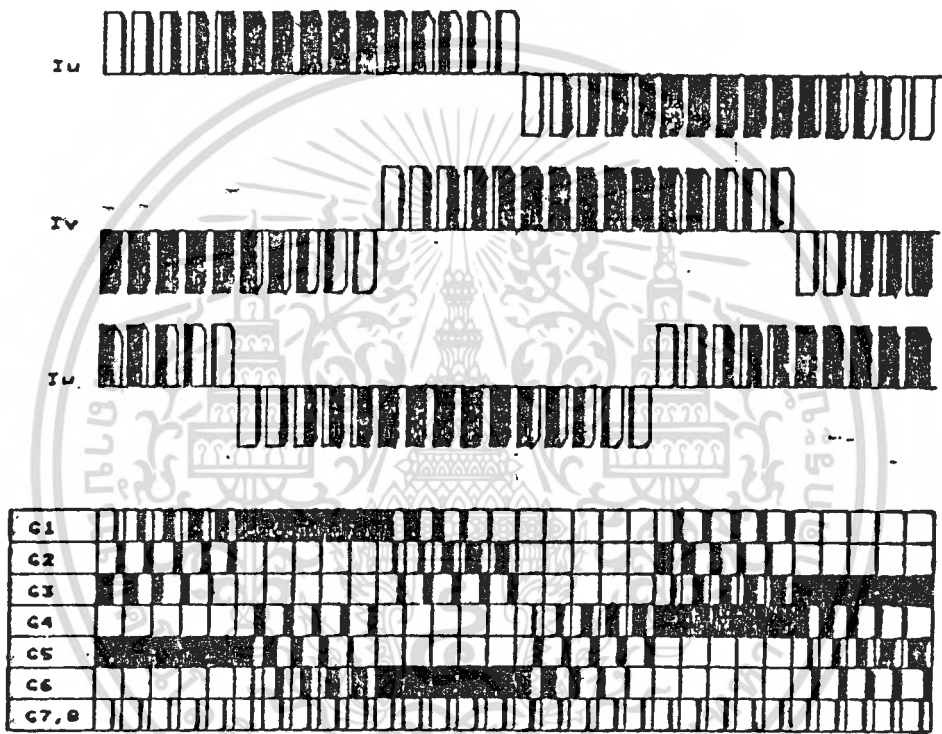


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 รูปแบบกระแสนีดับบลิวเอ็ม 9 นิลส์ และสัญญาณเอกทั้งแปด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.7 รูปแบบกระแสนี้ด้วยลิวด์ 12 บิตส์ และสี่เหลี่ยมทุกทั้งแปด



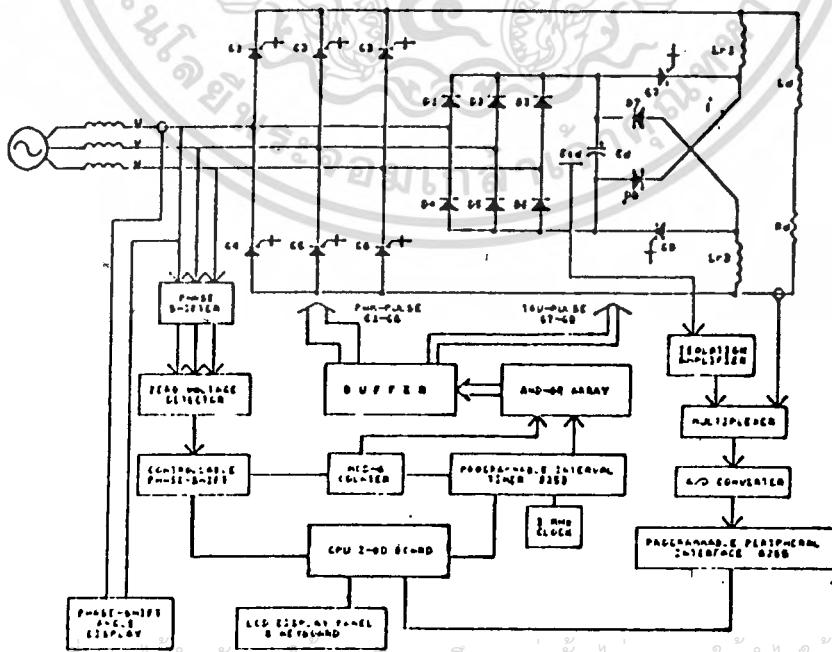
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.8 รูปแบบกระแสนี้ด้วยเลเซอร์ 15 บิตส์ และสัญญาณทุกทั้งแปด

บทที่ 4

ระบบควบคุมดิจิทัล

ระบบควบคุมดิจิทัล (DIGITAL CONTROL SYSTEM) สามารถใช้ในการควบคุมการทำงานในส่วนของวงจรกำลังได้ 6 ลักษณะด้วยกัน คือ

- 1.) จำนวน Plus ของคลื่นกระแส PWM (μ) สามารถปรับเปลี่ยนให้คู่ในจำนวน 6, 9, 12, และ 15 Plus ได้
- 2.) สามารถเตือนเฟสของกระแส AC. LINE (α) ให้มีมุมเฟสแตกต่างกับแรงดันเอชในในช่วงจากมุมหน้า 90 องศา ถึงมุมด้านหลัง 90 องศา
- 3.) ความกว้าง Pulse ของคลื่นกระแส PWM (δ) สามารถปรับเปลี่ยนให้มีความในย่าน 0 ถึง 1 ได้
- 4.) สามารถปรับเวลาในการคาบประจุของคาปาซิเตอร์ (τ) ในวงจรช่วยไปทั้งด้านโหลดค้ำที่ค่าต่างๆได้
- 5.) สามารถปรับควบคุมกระแสอินพุตเอชไลน์ และกระแสเอาท์พุทค้ำ (I_d) ให้มีขนาดคงที่ ตลอดช่วงการเคลื่อนเฟสจากมุมหน้า 90 องศา ถึงมุมด้านหลัง 90 องศา
- 6.) สามารถควบคุมแรงดันที่คาปาซิเตอร์ในวงจรช่วย (E_{cd}) ให้มีขนาดคงที่



รูปที่ 4.1 รายละเอียดของระบบควบคุมดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

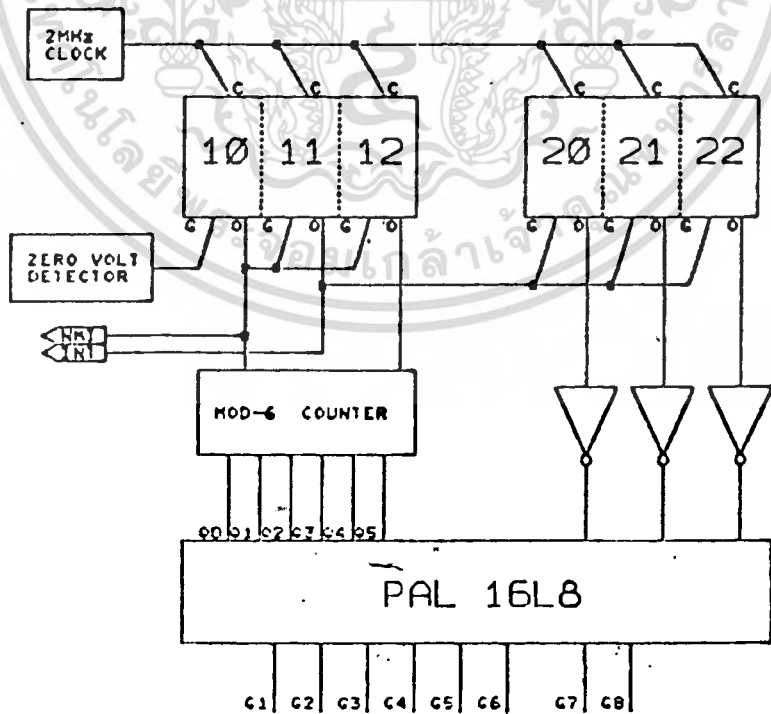
ระบบควบคุมดิจิทัลดังรูปที่ 4.1 ประกอบด้วย

1. ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80
2. วงจรสร้าง Pulse
3. วงจร CLOSE - LOOP
4. วงจร วัดมุมระหว่างแรงดันกับกระแส
5. โปรแกรมควบคุมระบบ

1.) ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80

ไมโครโปรเซสเซอร์ Z-80 ทำงานที่ความถี่ 3.579 MHz ซึ่งเป็นตัวจักรสำคัญของระบบควบคุมดิจิทัลนี้ มีหน้าที่ควบคุมการทำงานต่างๆ ของชุด CONTROL ที่มาต่อร่วม ดังนี้

- การสร้าง Pulse PWM ขนาดต่างๆจาก TIMER COUNTER PIT 8253
- การทำงานของ วงจรส่วน CLOSE - LOOP
- การคำนวณ ของ PI- CONTROLLER
- การทำงานของ วงจรแสดงแสดังผล KEY BOARD การทำงานของเครื่องจะถูก SET ค่าโดยผู้ใช้ผ่านทาง KEY BOARD และรับส่งข้อมูลทาง SERIAL PORT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 รายละเอียดของวงจรสร้าง Pulse

2.) วงจรสร้าง Pulse

วงจรสร้าง Pulse ดังในรูปที่ 4.1 ประกอบด้วย

2.1 วงจรเลื่อนเฟส (PHASE SHIFTER)

2.2 วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง

2.3 TIMER COUNTER

2.4 วงจรนับทศ

2.5 วงจร AND - OR

2.6 วงจร แสดงผล-ฮีบอร์ต

2.1 วงจรเลื่อนเฟส (PHASE SHIFTER) ทำหน้าที่เลื่อนเฟสของแรงดันอ้างอิงเฟส U

ให้หน้าหน้าเป็นมุม 90 องศา จากนั้นจะป้อนให้วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง

2.2 วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง ทำหน้าที่สร้าง สร้างสัญญาณกระตุ้นไทม์เมอร์เคาน์เตอร์

(Program Phase-Shift) ให้สร้างสัญญาณ αt ควบคุมการเลื่อนเฟสของสัญญาณ
เกททั้งหมด G1 - G8

2.3 TIMER COUNTER ประกอบด้วย PIT 8253 จำนวน 6 เคาน์เตอร์ดังรูปที่ 4.2

มีฐานเวลา 0.5 μs หรือ ความถี่ 2 MHz ทำหน้าที่สร้าง Pulse ขนาดต่างๆ คือ
 T , $X\lambda T$, $(1-\lambda)T$, $(1-X)\lambda T$, และ γ โดยได้แสดงโหมดการทำงานและ
สัญญาณ Pulse ต่าง ๆ ของ PIT 8253 แต่ละเคาน์เตอร์ ดังตารางที่ 4.1

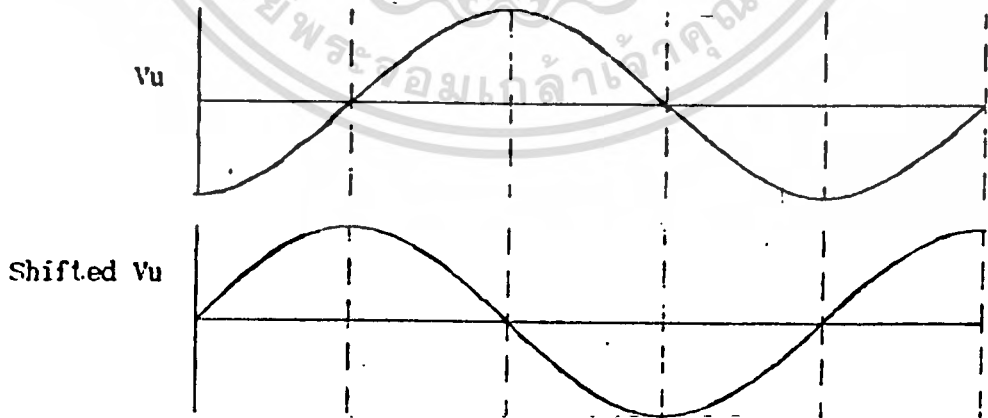
เคาน์เตอร์	โหมดการทำงาน	สัญญาณ
PORT 10	One Shot	αt
PORT 11	Square wave	T
PORT 12	Square wave	λT
PORT 20	One Shot	$X\lambda T$
PORT 21	One Shot	$(1-X)\lambda T$
PORT 22	One shot	γ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ข้าพเจ้าขอสงวนสิทธิ์ในลิขสิทธิ์ของเอกสารนี้ไว้ทั้งหมด
90 องศา จนถึงมุมแล้วถึง 90 องศา โดยที่จะมีคาบเวลา 0 วินาที ที่มุมหน้าหน้า

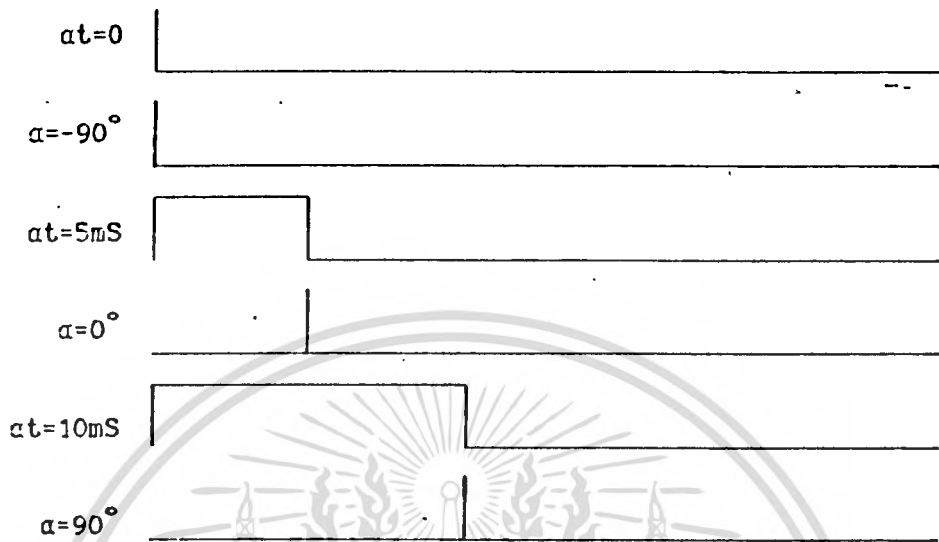
90 องศา จนถึงคาบเวลา 10 ms ที่มุมล้าหลัง 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.3 นอกจากนี้ ยังได้แสดงความหมายของสัญญาณนี้ในรูปของสัญญาณนาฬิกาของ PIT 8253 ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความหมายของสัญญาณ αt ในรูปของสัญญาณนาฬิกาที่มุมเลื่อนเฟสต่าง ๆ

มุม α	คาบเวลา αt	จำนวนลูกของสัญญาณนาฬิกา
-90	0.0 ms	0001
-45	2.5 ms	5000
0	5.0 ms	10000
45	7.5 ms	13334
90	10.0 ms	20000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แผนภาพเวลาของสัญญาณ α ที่มุมเลื่อนเฟส = - 90 องศา, 0 องศา, 90 องศา ตามลำดับ

สัญญาณ T มีความยาวเป็น 1/12; 1/18; 1/24; 1/30 เท่าของหนึ่งไซเคิลไฟสลับ ความถี่ 50 Hz สำหรับกรณีรูปแบบกระแส PWM 6, 9, 12, 15 บิตส์ ตามลำดับ สัญญาณนี้จะซิงโครไนซ์ กับไฟสลับสามเฟส ซึ่งได้จาก วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง ส่วนตารางที่ 4.3 แสดงความหมายของสัญญาณ T ในรูปของจำนวนลูกสัญญาณนาฬิกาที่ จำนวนบิตส์ต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงความหมายของสัญญาณ T ในรูปของสัญญาณนาฬิกาที่จำนวนบิตส์ต่างๆ

รูปแบบกระแสที่ดับลิวเต็ม	จำนวนลูกของสัญญาณนาฬิกา
6 บิตส์	3334
9 บิตส์	2222
12 บิตส์	1666
15 บิตส์	1334

นอกจากนี้ สัญญาณ T นี้ยังป้อนกลับ เพื่อทำการอินเวอร์ตที่ไมโครโปรเซสเซอร์ ให้รับรู้ว่ามีคาบเวลาของสัญญาณ T แล้ว และในช่วงเวลาตอบสนองการอินเวอร์ตที่ไมโครโปรเซสเซอร์ จะควบคุมการสร้างสัญญาณพัลส์ต่าง ๆ คือ $X\lambda T$, $(1-X)\lambda T$ ให้เกิดขึ้นพร้อมๆกับสัญญาณ T

สัญญาณ λT มีคาบเวลาเป็น $\pi/3$ เรเดียน ทำหน้าที่เป็น clock ของวงจรนับทศ

สัญญาณ T มีคาบเวลาดั้งเดิม 0 ถึง T โดยที่ตัวประกอบมอดคูลุเลชั่น จะเปลี่ยนจาก 0 ถึง 1

สัญญาณ $(1-\lambda T)$ ได้จากการอินเวอร์ตที่สัญญาณ λT

สัญญาณ $X\lambda T$ นี้ สัญญาณพัลส์ดังกล่าวสามารถสร้างได้โดยการตอบสนองการอินเวอร์ตที่ไมโครโปรเซสเซอร์ จากสัญญาณ T ซึ่งขณะนั้นไมโครโปรเซสเซอร์ จะส่งคำสั่งไปควบคุม PIT 8253 ให้สร้างพัลส์ที่กว้างและแคบสลับกันตามจังหวะของสัญญาณ T

สัญญาณ $(1-X)\lambda T$ ได้จากการทำเอ็กคลูซีฟออร์สัญญาณ $X\lambda T$ กับสัญญาณ λT
สัญญาณ γ ได้จากการทำเอ็กคลูซีฟออร์สัญญาณ $\lambda T - \gamma$ กับสัญญาณ λT

สัญญาณต่าง ๆ ดังกล่าว แสดงรายละเอียดเอาไว้ในรูปที่ 4.4 - 4.7 สัญญาณเหล่านี้เมื่อนำมาผ่านวงจร AND-OR ซึ่งจะกล่าวต่อไป จะได้เป็นสัญญาณเกตของ GTO Thyristor $G_1 - G_6$

2.4 วงจรนับทศ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณคาบเวลา $\pi/3$ เรเดียน ($Q_0 - Q_6$) ซึ่งเป็นช่วงเวลาต่าง ๆ 6 ช่วง ภายในหนึ่งไซเคิลของไฟสลับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 - 4.7 นอกจากนี้ วงจรนับทศ จะเริ่มต้นนับใหม่ ด้วยการรีเซ็ตจากวงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง

2.5 วงจร AND-OR ซึ่งใช้ PAL เบอร์ 16L8 เมื่อนิยามาสัญญาณเกตของ GTO แต่ละตัว ($G_1 - G_6$) จากรูปที่ 2.2 สัญญาณ $G_1 - G_6$ จะประกอบด้วยสัญญาณ $X\lambda T$, λT , $(1-X)\lambda T$ และ $(1-\lambda)T$ ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ส่วนสัญญาณเกต G_7, G_8 จะประกอบด้วย $(\lambda T - \gamma)$ กับ λT ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.4 - 4.7 และสามารถเขียนสมการบูลีนของวงจร AND-OR ได้ดังนี้

$$G_1 = X\lambda T * Q_0 + Q_1 + (1-X)\lambda T * Q_2 + (1-\lambda)T * Q_4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$G_2 = X\lambda T * Q_2 + Q_3 + (1-X)\lambda T * Q_4 + (1-\lambda)T * Q_0$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_3 = X\lambda T * Q_4 + Q_5 + (1-X)\lambda T * Q_0 + (1-\lambda)T * Q_2$$

$$G_4 = X\lambda T * Q3 + Q4 + (1-X)\lambda T * Q5 + (1-\lambda)T * Q1$$

$$G_5 = X\lambda T * Q5 + Q0 + (1-X)\lambda T * Q1 + (1-\lambda)T * Q3$$

$$G_6 = X\lambda T * Q1 + Q2 + (1-X)\lambda T * Q3 + (1-\lambda)T * Q5$$

$$G_7, G_8 = (\lambda T - \tau) \bullet \lambda T$$

โดยที่

$(\lambda T - \tau)$ หมายถึง สัญญาณคาบเวลา τ

Q0-Q5 หมายถึง สัญญาณทั้งหมดของวงจรรีบหก

G_7, G_8 หมายถึง สัญญาณแยกของ OTO ไทวีส์เตอร์

ส่วนสัญญาณ $\lambda T, X\lambda T$ และ $(1-X)\lambda T$ สามารถเขียนแสดงความหมายที่จำนวนพัลส์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

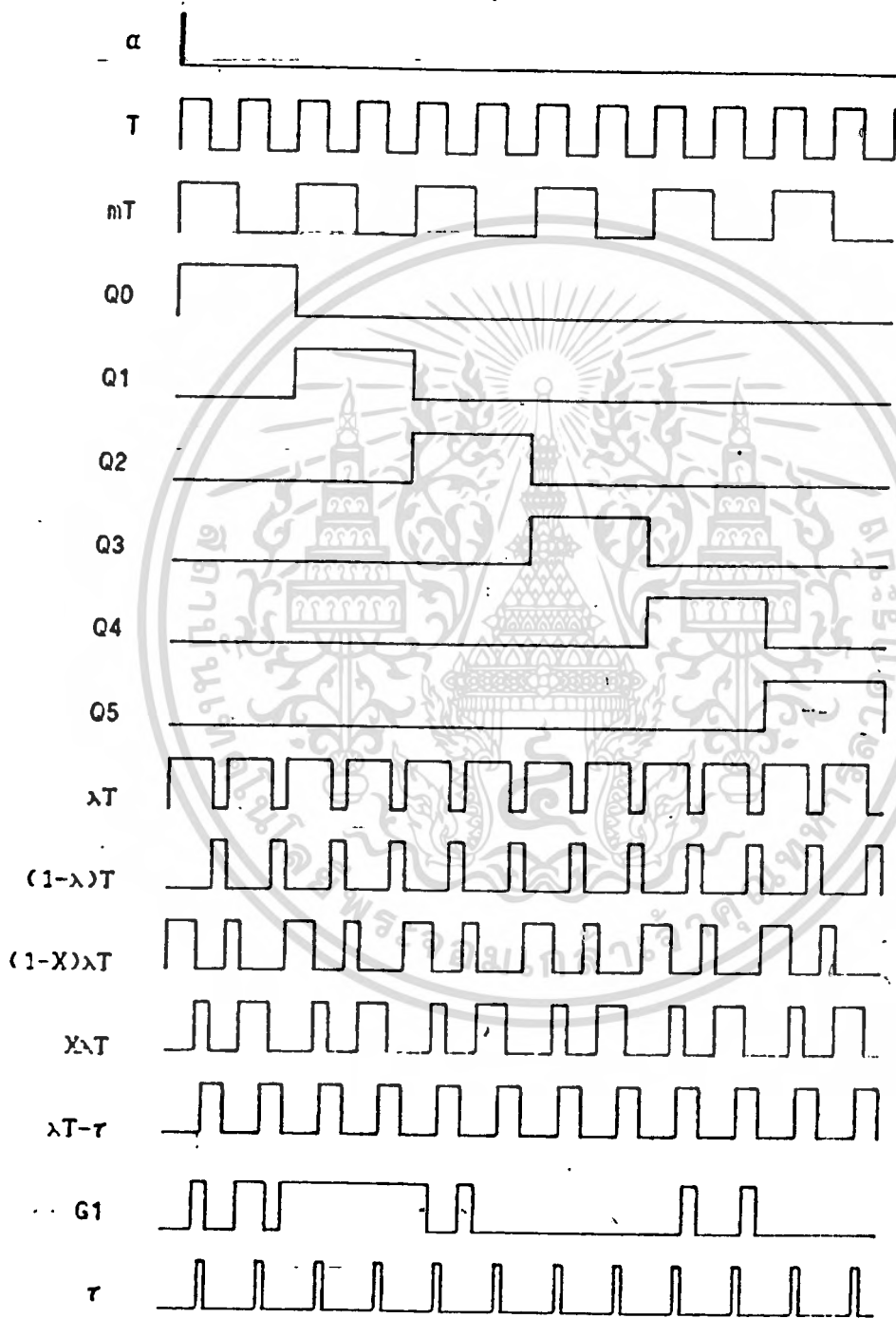
ตารางที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาของสัญญาณ $T, X T$ และ $(1-X) T$ ที่จำนวนพัลส์ต่าง ๆ

pulse	λT	$X\lambda T$	$(1-X)\lambda T$
6	T/12	$\lambda T/3, 2\lambda T/3$	$2\lambda T/3, \lambda T/3$
9	T/18	$\lambda T/4, \lambda T/2, 3\lambda T/4$	$3\lambda T/4, \lambda T/2, \lambda T/4$
12	T/24	$\lambda T/5, 2\lambda T/5, 3\lambda T/5, 4\lambda T/5$	$4\lambda T/5, 3\lambda T/5, 2\lambda T/5, \lambda T/5$
15	T/30	$\lambda T/6, \lambda T/3, \lambda T/2, 2\lambda T/3, 5\lambda T/6$	$5\lambda T/6, 2\lambda T/3, \lambda T/2, \lambda T/3, \lambda T/6$

2.6 วงจรแสดงผล-คีย์บอร์ด ประกอบด้วย PPI 8255 ทำหน้าที่เป็นอินพุทของ ไมโครโปรเซสเซอร์ เนื่องรับคำสั่งต่าง ๆ (Command) เช่น $\alpha, \lambda, \tau, Id', Ecd'$ ทางคีย์บอร์ด และเอาต์พุทของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อแสดงคำสั่งต่าง ๆ เช่น $\alpha, \lambda, \tau, Id', Ecd'$ ออกทาง DOT MATRIX

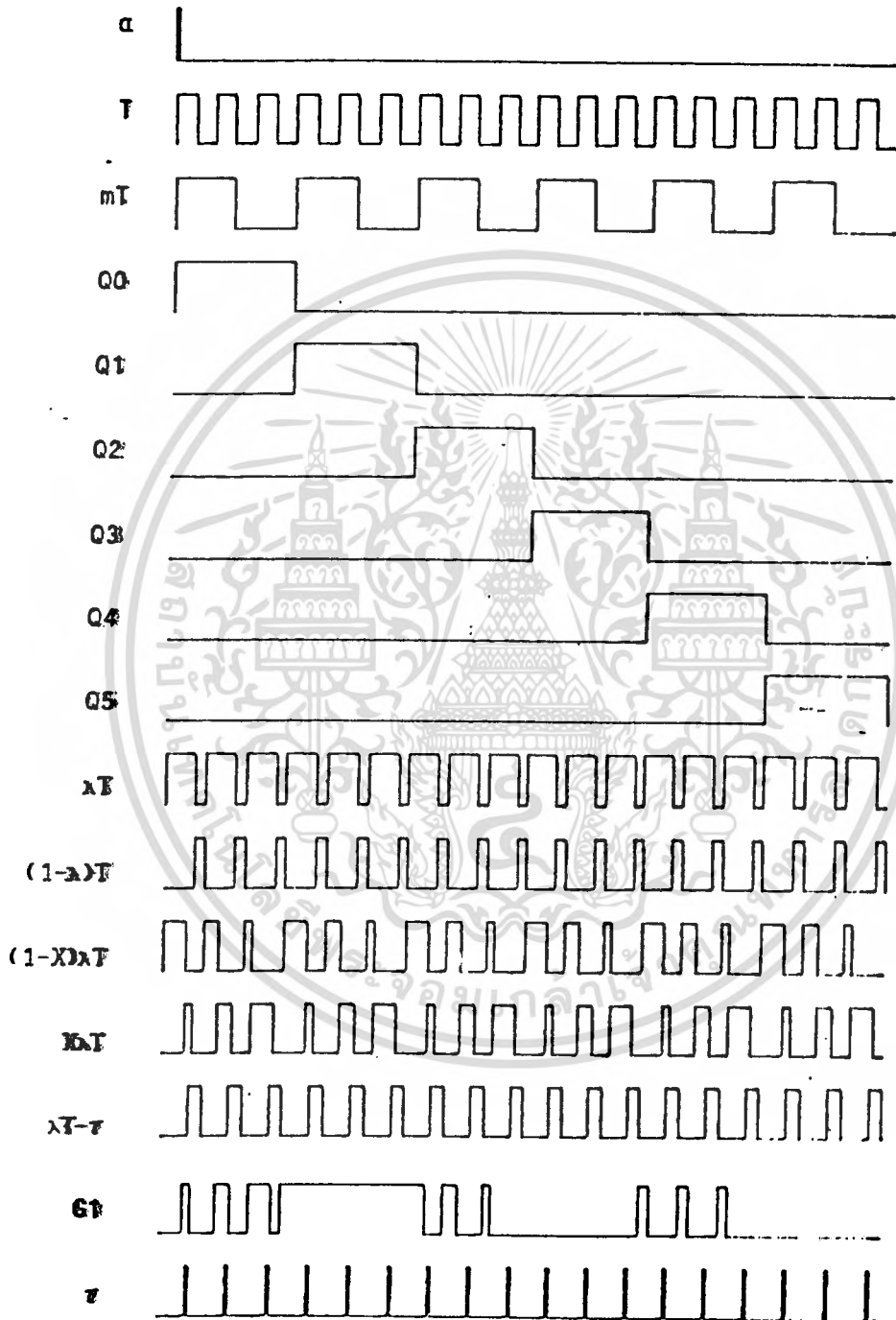
LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

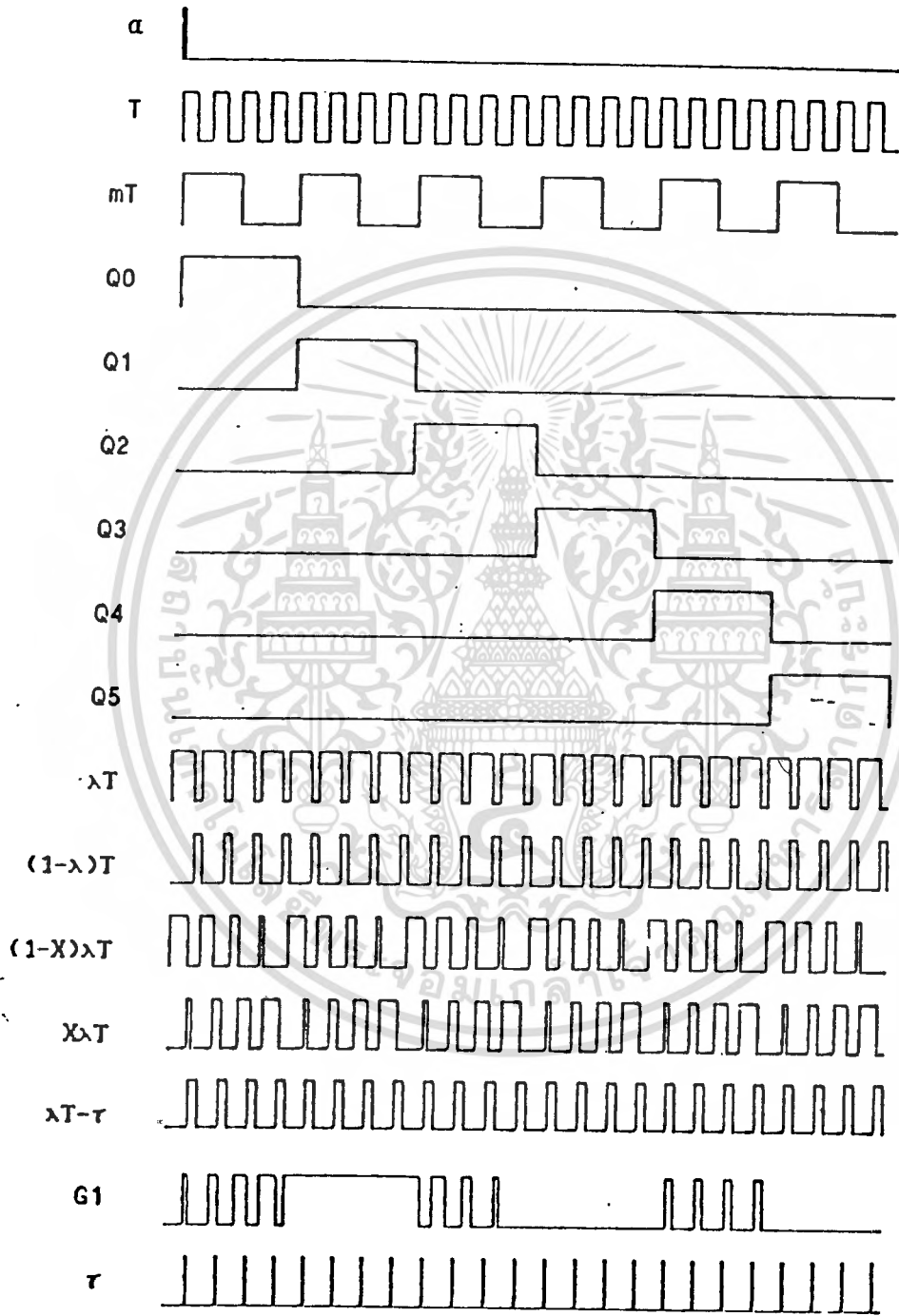


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

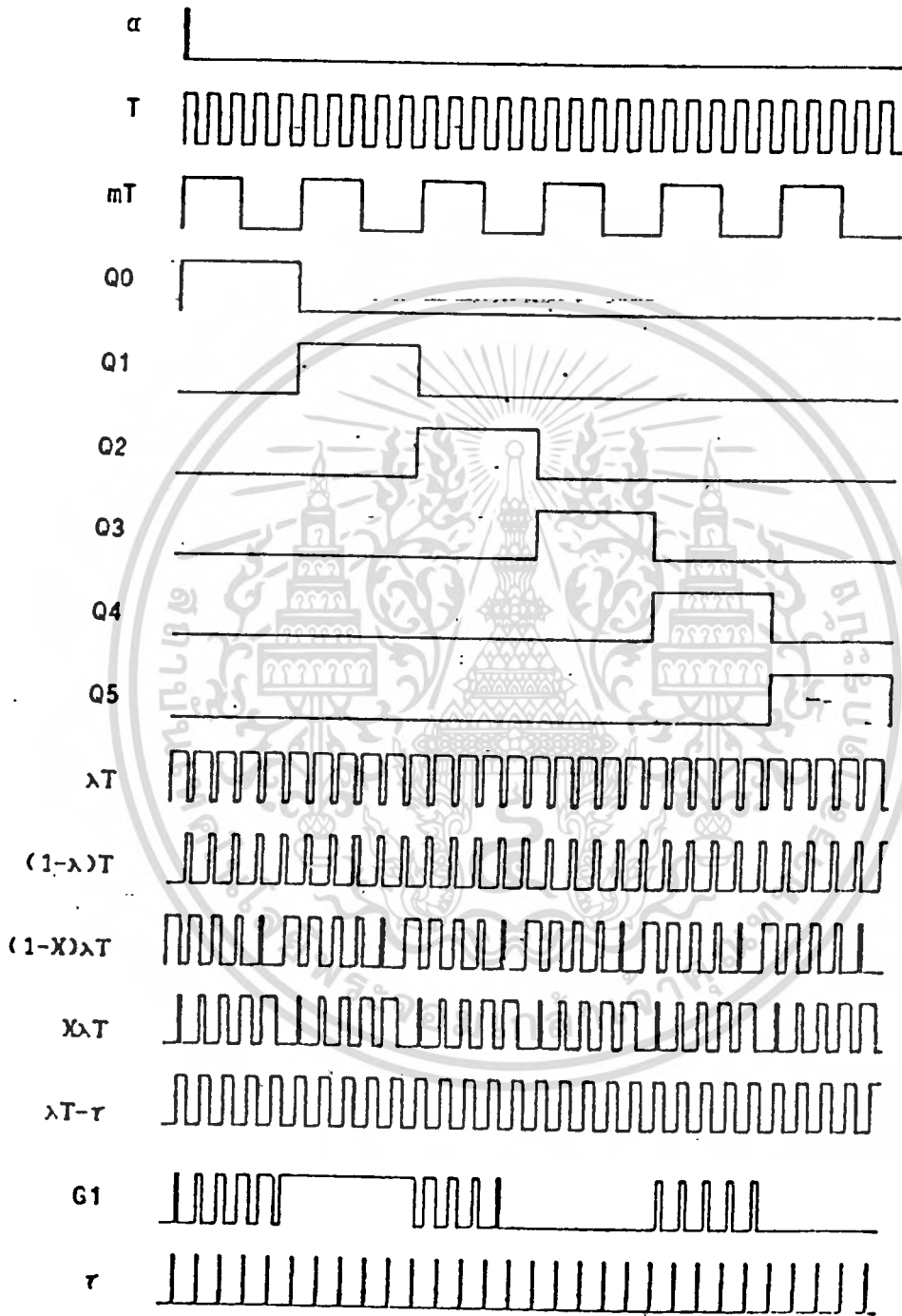
รูปที่ 4.4 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 6 บิตส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.5 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างพัลส์ ภาณี 9 นัลส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.6 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 12 บิตส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.7 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 15 บิตส์

3.) วงจรส่วน Close Loop

วงจรส่วน Close Loop ประกอบด้วยหม้อแปลงกระแสตรง (DCCT), Isolation Amplifier, Multiplexer, A/D Converter และ PPI 8255 การทำงานของวงจรส่วนนี้คือ จะแยกแรงดันคาปาซิเตอร์ E_{c} ออกจากกราวด์ด้วย Isolation Amplifier และแปลงกระแสเอาท์พุทคือ I_u ให้เป็นระดับแรงดันโดยให้หม้อแปลงกระแสตรง (DDCT) ทั้ง E_{c} และ I_u จะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันเชิงดิจิตอลโดย A/D Converter ในลักษณะสลับกันผ่าน Multiplexer หลังจากนั้นสัญญาณแรงดันเชิงดิจิตอลจะถูกป้อนผ่าน PPI 8255 เข้าสู่ ไมโครโปรเซสเซอร์โดยอาศัยการทำงาน ของ PI Controller ดังแสดงในสมการที่ (4.1)

$$S = K_p E + K_i \int E dt \dots (4.1)$$

โดยที่

K_p = อัตราขยายแบบพรอพอซัน

K_i = อัตราขยายแบบอินทิกรัล

E = ผลต่างระหว่าง Command กับ Input Voltage

S = Operating Voltage

ในกรณีของ Current PI-Control ($E = I_u^* - I_u$) จะแสดงในรูปของค่าของสัญญาณเกก ($G_1 - G_0$)

ในกรณีของ Voltage PI-Control ($E = E_{c}^* - E_{c}$) จะแสดงในรูปของค่า E ของ G_1 และ G_0 ตามปกติแล้วการทำงานแบบพรอพอซันนั้นจะคอยทำหน้าที่ลดผลต่าง E ที่มีอยู่ในขณะนั้น และจะได้ค่าผลต่าง E ใหม่ซึ่งจะไม่เป็นศูนย์เสมอเพื่อทำให้ผลต่างนี้เป็นศูนย์ จึงเพิ่มการทำงานส่วนของอินทิเกรชันเข้าไป รายละเอียดการทำงาน ของ PI-Controller ที่แสดงในรูปที่ 4.8 มีดังนี้

เริ่มต้นจากการเตรียมค่าตัวแปรต่างๆที่จะนำไปใช้ในการคำนวณแบบ PI คือ $K_p, R_p, K_i, R_i, E_c, Command$ และค่า Limit ทำการคำนวณผลต่าง (Error) จากนั้นทำการคำนวณค่าของส่วนประกอบพรอพอซัน $K_p E = K_p * ERROR / R_p$ และส่วนประกอบของอินทิเกรชัน $K_i E = K_i * ERROR / R_i$ รวมทั้งค่า E_u ใหม่ซึ่งมีค่าเท่ากับ $K_p E + E_c$ และจากค่านี้จะสามารถคำนวณค่า Operating Value DPI ได้จากผลบวกของ $K_p E$ และ E_c

หลังจากนั้นทำการตรวจสอบค่า Operating Value ว่าค่าอยู่ในช่วงระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดหรือไม่ ถ้า DPI มีค่ามากกว่าค่าต่ำสุด ก็จะปรับค่า DPI ให้มีค่าเท่ากับค่าต่ำสุด

4.) วงจรวัดมุมระหว่างเฟสของแรงดันและกระแส

วงจรวัดมุมระหว่างแรงดันและกระแสซึ่งแสดงในรูปที่ 4.9 ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

- 4.1 วงจรกรองความถี่
- 4.2 วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง
- 4.3 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา
- 4.4 วงจรนับ
- 4.5 วงจรแสดงผล

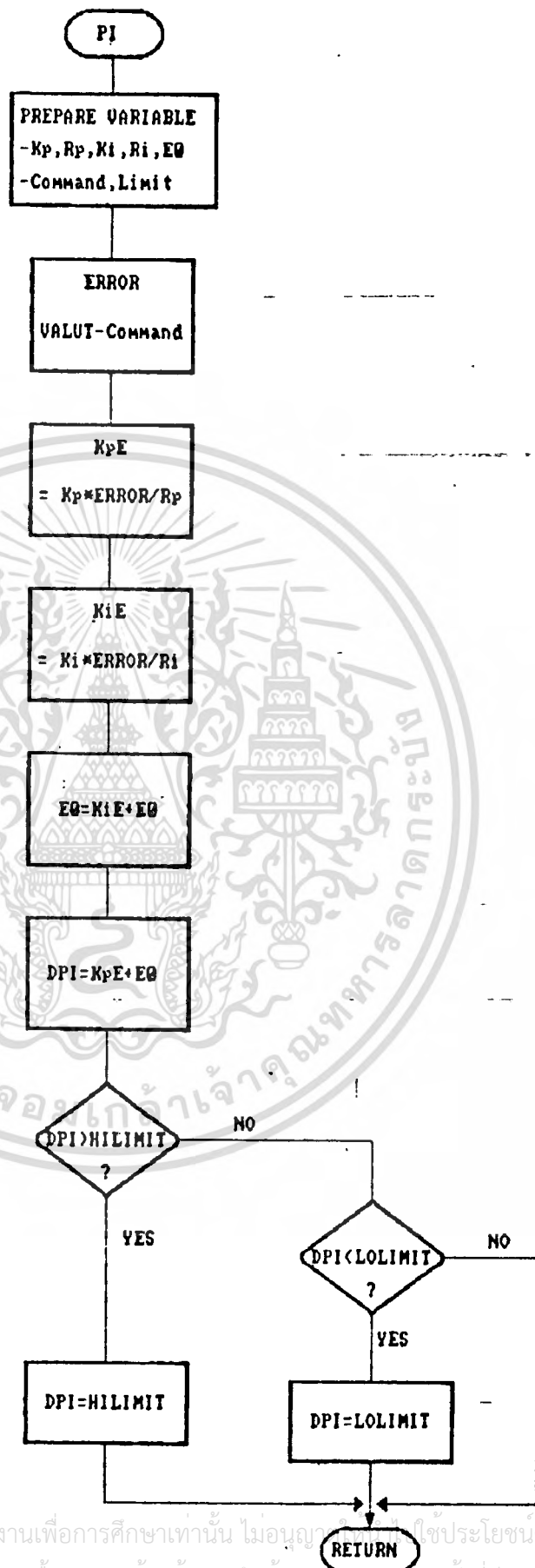
- 4.1 วงจรกรองความถี่ ทำหน้าที่กรองสัญญาณแรงดันจากหม้อแปลงแรงดัน และสัญญาณกระแสจากหม้อแปลง 7 ให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณรูปไซน์
- 4.2 วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง จะเปลี่ยนสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสให้เป็นสัญญาณพัลส์ V และ I ตามลำดับ
- 4.3 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา เป็นสัญญาณนาฬิกาอ้างอิงของวงจรถับ 74C926 ความถี่ 180 MHz โดยความถี่นี้จะสามารถแสดงมุมละเอียดได้ถึง 0.1 องศา

4.4 วงจรนับ 74C926 ประกอบด้วย:

- วงจรนับสี่บิต 4 หลัก
- วงจร Latch
- วงจร Multiplexer

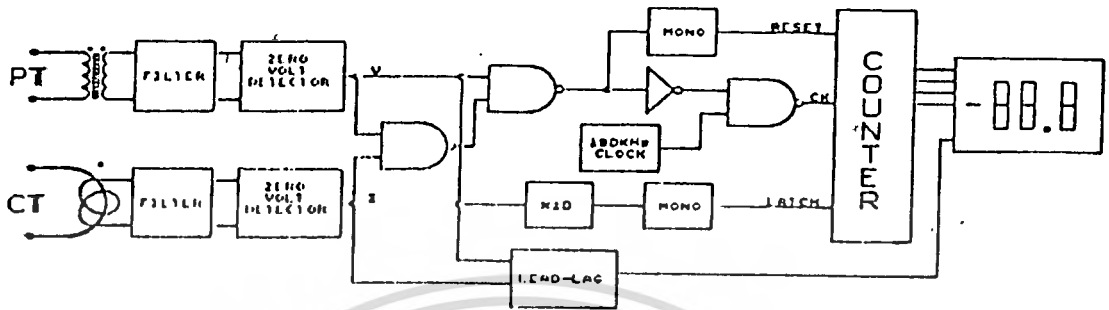
การ Latch ข้อมูลจะทำทุก 10 Cycle ของสัญญาณไปสลับ ส่วนการรีเซ็ตวงจรถับสี่บิตนั้นทำทุก Cycle ของสัญญาณไปสลับ สัญญาณ Clock ของวงจรถับได้จากการเปิดสัญญาณนาฬิกา 180 kHz ด้วยความกว้างของพัลส์สัญญาณ $V_{I\#}$ V ความกว้างของพัลส์นี้มีความสัมพันธ์กับมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแสในหน่วยของศา รายละเอียดต่างของสัญญาณเหล่านี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10

- 4.5 วงจรแสดงผล ประกอบไปด้วย 7-Segment LED จำนวน 4 หลัก และวงจรที่ทำหน้าที่แสดงเครื่องหมาย Lead หรือ Lag คือ เมื่อสัญญาณกระแสล่าหน้าสัญญาณแรงดันจะแสดงเครื่องหมาย - ที่ LED ให้ทราบ

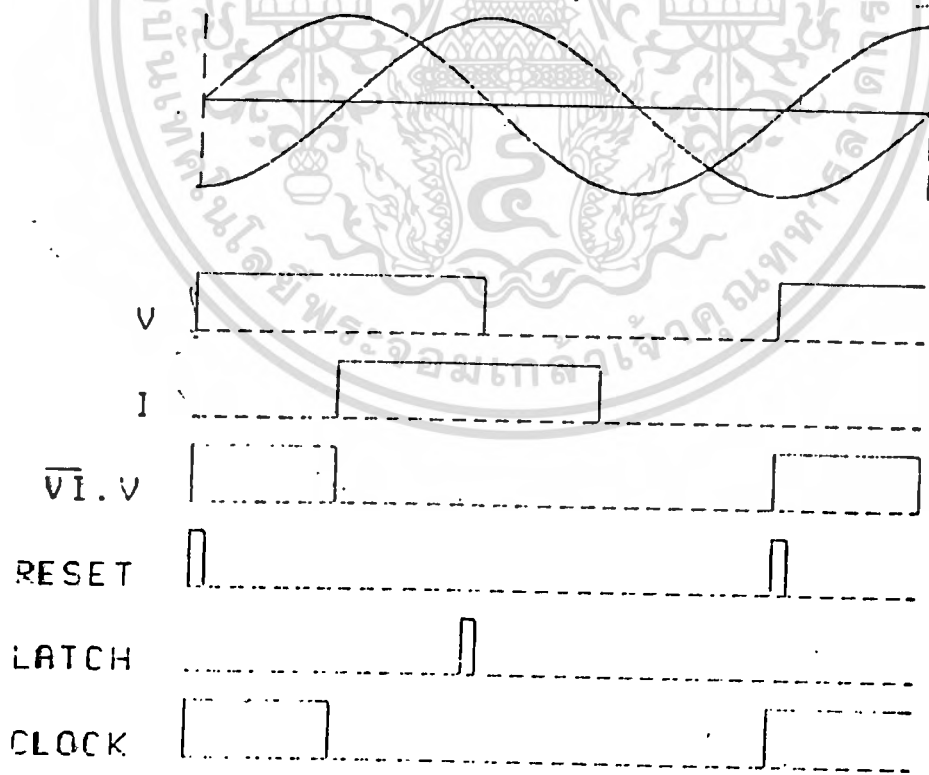


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 โปรแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของ PI-Controller



รูปที่ 4.9 วงจรวัดมุมระหว่างแรงดันกับกระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แผนเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรวัดมุม

5.) โปรแกรมควบคุมระบบ

โปรแกรมควบคุมระบบนั้นเป็นภาษาเครื่องซึ่งอยู่ภายใน EPROM 2764 ขนาด 8 KB ซึ่งแปลมาจากภาษาแอสเซมบลี Z-80 โดยใช้ X-80 Cross Assembler บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC เป็นตัวแอสเซมเบลอร์

โปรแกรมควบคุมระบบ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

5.1 Utility Program ทำหน้าที่รับ Control Program ที่ยังอยู่ระหว่างการทดสอบพัฒนาผ่านทาง การสื่อสารแบบอนุกรม RS 232 จากเครื่อง IBM PC มาทำการ RUN ทดสอบโปรแกรมในระบบจริง ซึ่งทำให้มีความสะดวกต่อการพัฒนาแก้ไขตัวโปรแกรมต่อไปในอนาคต

5.2 Control Program คือ โปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของ Digital Control System ให้สร้างสัญญาณเกทของจ็ทไอทริสเตอร์ทั้งแปด รวมทั้งสามารถปรับค่าต่างๆเหล่านี้ได้

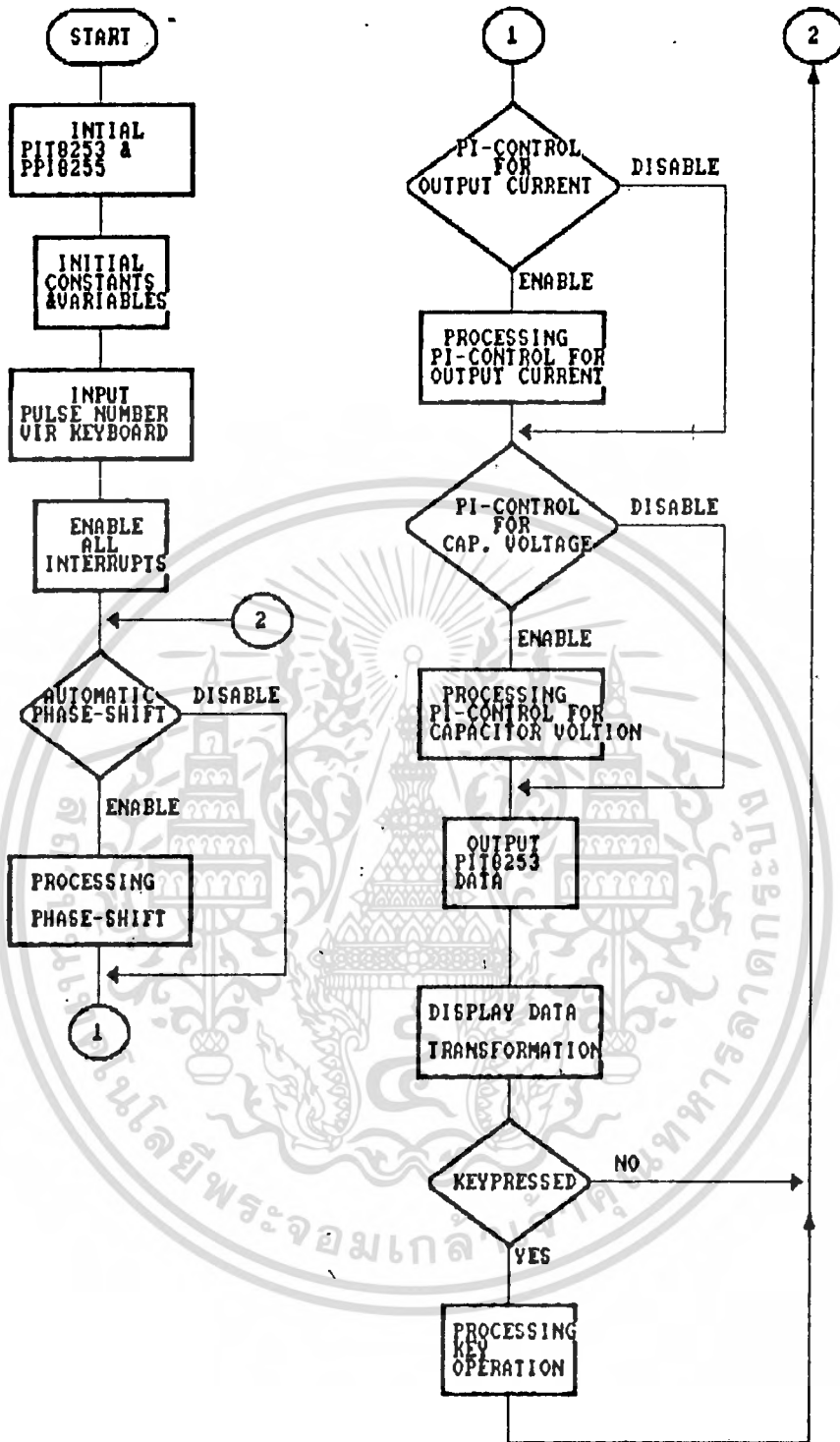
มุมเลื่อนเฟส α สามารถเลื่อนได้ตั้งแต่ $-90 - 90$ องศา เพิ่มครึ่งละองศา
ตัวประกอบมอดูเลชัน สามารถปรับได้ตั้งแต่ $0.2 - 0.0$ เพิ่มครึ่งละ 0.05
ช่วงเวลาคาบประจุ สามารถปรับได้ตั้งแต่ $0 - XAT$ เพิ่มครึ่งละ $5 \mu s$

Control Program ประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ

- Main Program
- Interrupt Service Routine

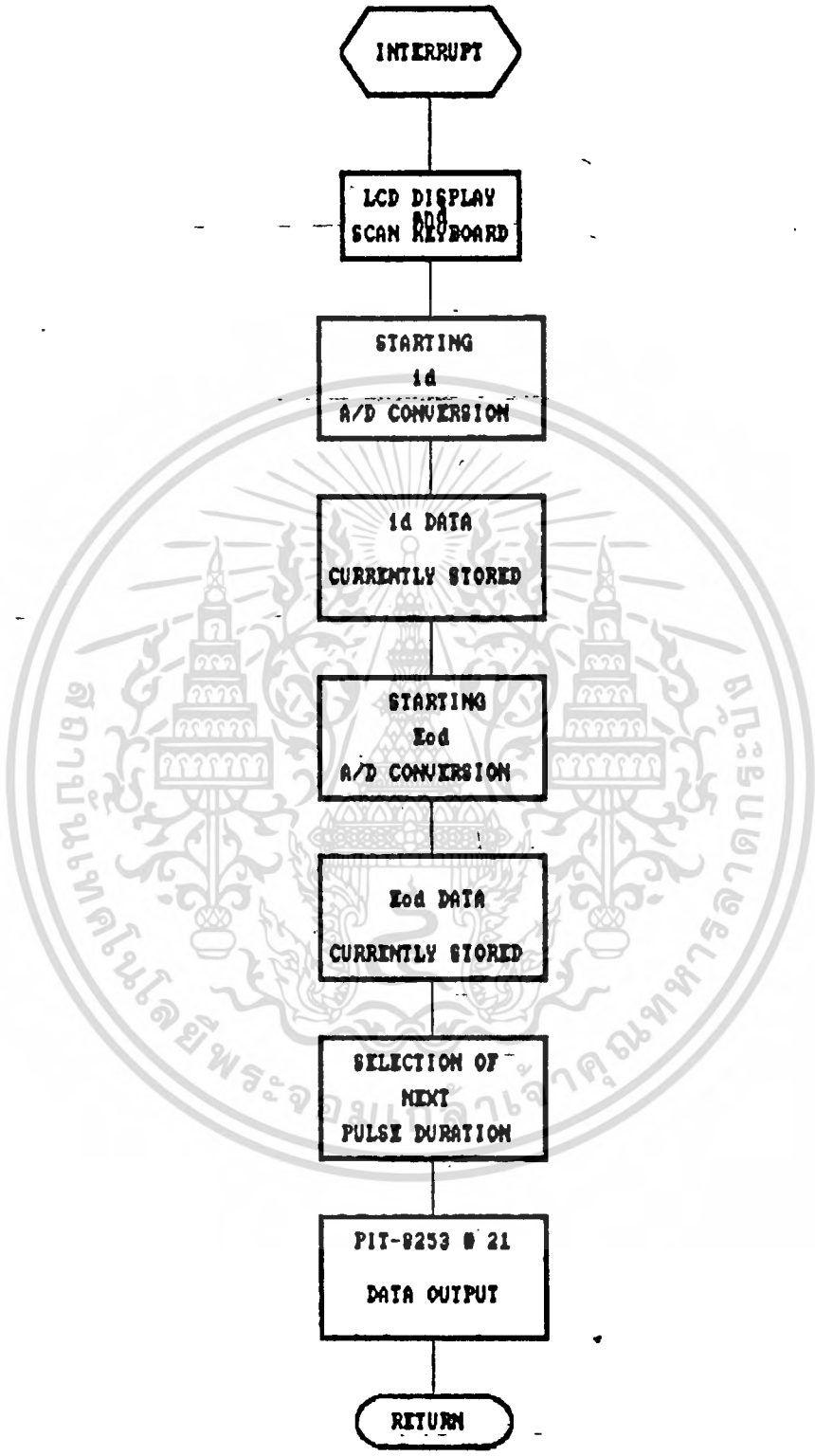
Main Program ไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งคำสั่ง Control Word ไปควบคุม PPI 8255 และ PIT 8253 เพื่อกำหนดโหมดการทำงาน จากนั้น จะทำการเตรียมค่าคงที่และตัวแปรต่างๆที่ต้องใช้ในการควบคุมระบบ จากนั้น รับข้อมูลจำนวนพัลส์จากแป้น Keyboard สดท้ายทำการ Enable Interrupt ทั้งหมด หลังจากนั้นทำการตรวจสอบการ Enable ของ Phase Shift เมื่อทำการเลื่อนเฟสของสัญญาณเกทโดยอัตโนมัติครึ่งละ 1 องศาจนกระทั่ง นำหน้าเป็นมุม 90 องศา ต่อจากนั้นตรวจสอบการ Enable ของ Close -Loop สำหรับ I_c เพื่อทำการคำนวณแบบ PI จากนั้นจะตรวจสอบว่า Close -loop ของ Ecd อีเนเบิลหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการคำนวณแบบ PI ต่อไป

จะส่งค่าหรือ α, λ, τ ในรูปของสัญญาณนาฬิกาไปยัง PIT 8253 แล้วจะนำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ค่า α, λ, τ ไปแปลงเป็น ASCII สำหรับใช้ในการแสดงผลบนแผง LCD ต่อไปจะตรวจการกดคีย์บอร์ดจากผู้ให้ ถ้ามีการกดคีย์บอร์ดไมโครโปรเซส



รูปที่ 4.11 จอภาพแสดงขั้นตอนการทำงานส่วน Main Program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 โปรแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานส่วน Interrupt Service Routine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซอร์จะทำงานตามหน้าที่ของแต่ละคีย์บอร์ด เช่น คีย์เพิ่ม/ลด α , β , γ ตามลำดับ เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานดังกล่าวแล้วจะวนกลับไปทำงานที่ Automatic Phase Shift ต่อไป

Interrupt Service Routine ขณะที่ไมโครโปรเซสเซอร์กำลังทำงาน อยู่ใน Main Program นั้นอาจมีการขอ Interrupt จากสัญญาณ T จาก วงจรสร้างพัลส์ไมโครโปรเซสเซอร์จะหยุดการทำงานของ Main Program ไว้ชั่วคราวแล้วไปทำงานใน Interrupt Service routine ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เริ่มจากการส่งค่าต่างๆไปแสดงผลที่จอ LCD ที่ละตัวอักษร และทำการ Scan Keyboard เพื่อรับค่าสิ่งใหม่และส่งค่าสิ่งนี้ไปที่ ADC เพื่อเริ่มทำการแปลง I_{pr} , E_{pr} ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลและเก็บค่าไว้ในหน่วยความจำตามลำดับ เพื่อเตรียมค่าไว้สำหรับส่วนคำนวณ PI-Control จากนั้นทำการเลือกค่าความกว้างของพัลส์ จัดส่งออกไปที่ PIT 8253 เสร็จแล้วกลับไปทำงานที่ Main Program ตามเดิม

บทที่ 5

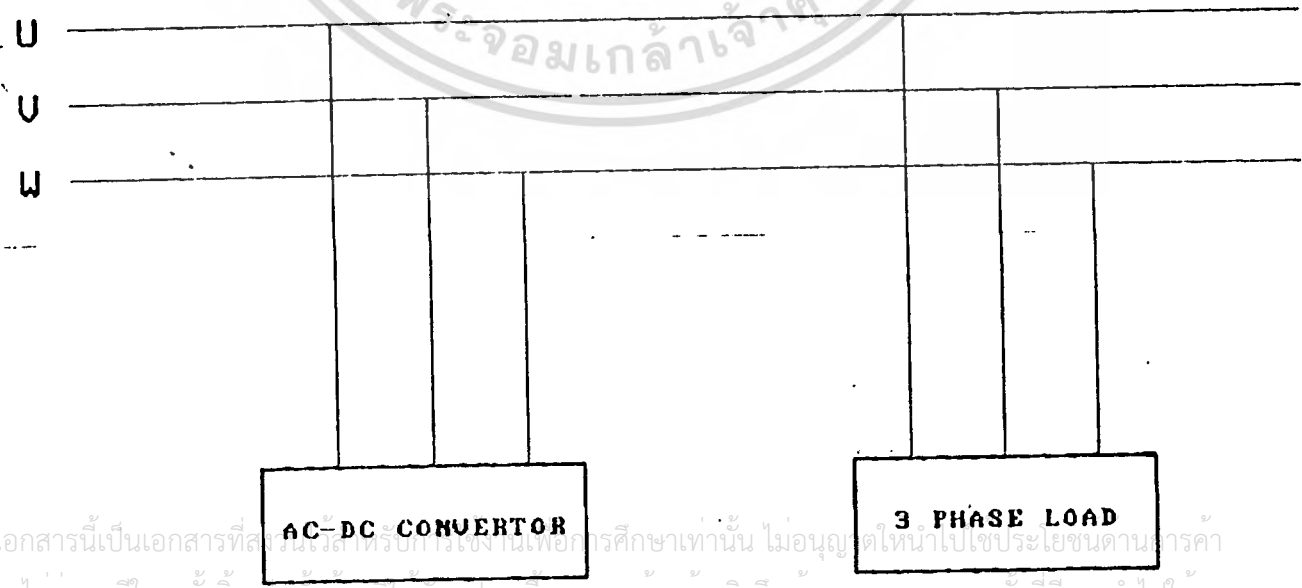
การประยุกต์นำ PWM AC TO DC CONVERTOR มาใช้ในการชดเชยค่า POWER FACTOR.

คุณลักษณะที่สำคัญของ PWM AC TO DC CONVERTOR ที่นำมาใช้ในการศึกษาหาแนวทางการนำไปชดเชยค่า POWER FACTOR ของระบบไฟฟ้ากำลังนี้คือ

- 1) สามารถเลื่อนมุมต่างเฟสของกระแส PWM ใน AC LINE ได้ตั้งแต่ -90° ถึง 90°
- 2) สามารถควบคุมขนาดของกระแสดีซีเอาท์พุท (I_d) ให้มีค่าคงที่ตลอดช่วงการเปลี่ยนแปลงของมุมต่างเฟสของกระแส PWM ใน AC LINE

ด้วยความสามารถในการเลื่อนเฟสของกระแส PWM ใน AC LINE ในช่วงนำหน้าตั้งแต่ 0 ถึง -90° นี้ ทำให้ PWM AC TO DC CONVERTOR สามารถสร้างกำลังงานไฟฟ้รีแอคทีฟขึ้นได้ เมื่อทำการควบคุมให้กระแส PWM ใน AC LINE นำหน้าแรงดันเป็นมุม α กำลังงานรีแอคทีฟส่วนที่ PWM AC TO DC CONVERTOR สร้างขึ้นมานี้จะเป็นค่ากำลังงานไฟฟ้รีแอคทีฟที่นำไปชดเชยค่ากำลังงานไฟฟ้รีแอคทีฟส่วนที่เกิดจาก LOAD ประเภทอินดักเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังนั่นเอง ซึ่งส่งผลให้ POWER FACTOR ของระบบดีขึ้น

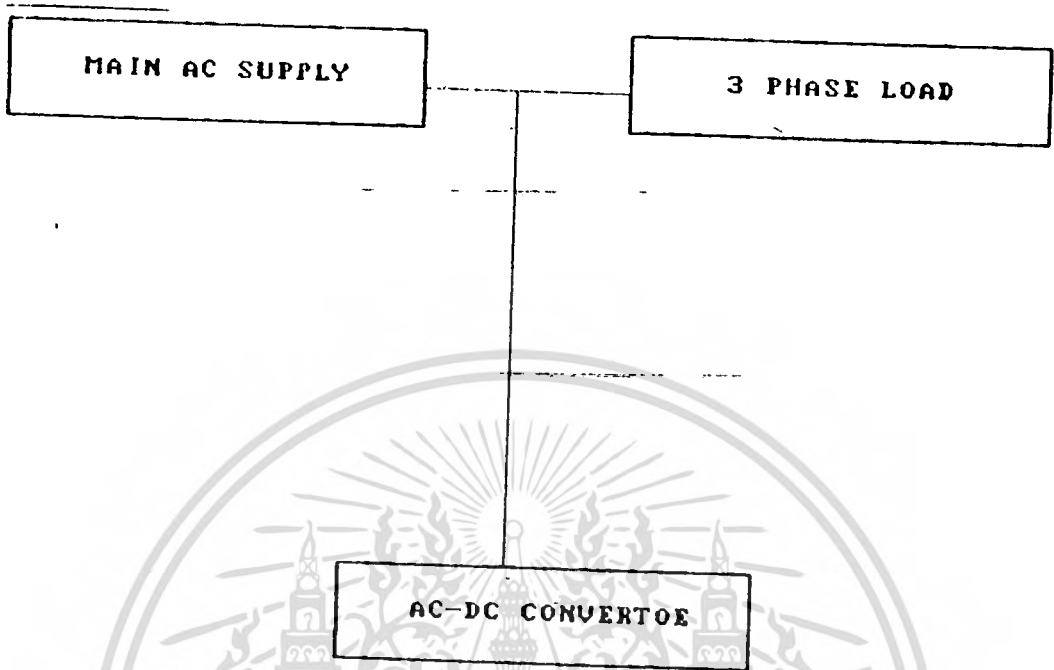
วงจรสำหรับการประยุกต์นำ PWM AC TO DC CONVERTOR ไปประยุกต์ใช้ในการชดเชยค่า Power factor ของระบบไฟฟ้ากำลังเป็นการต่อ PWM AC TO DC CONVERTOR เข้าไปขนานกับโหลด 3 เฟส ประเภทอินดักทีฟ ของระบบไฟฟ้ากำลังตามปกติ ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นทำมาเพื่อเผยแพร่เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแสดงการต่อ PWM AC DC CONVERTOR สำหรับชดเชย POWER FACTOR

หรือเขียนรูปให้ง่ายขึ้นด้วยการแทนด้วย ONE LINE DIAGRAM ได้ดังรูป



one line diagram แสดงการต่อ PWM CONVERTOR เพื่อชดเชยค่า P.F.
 จากรูปถ้าหาก 3-LOAD เป็น LOAD ประเภทอินดักทีฟ กระแส I_L จะมีมุมเฟสล่าหลัง
 แรงดันอยู่เป็นมุม เป็นผลทำให้เกิดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟขึ้นที่ 3-LOAD มีขนาด

$$Q_L = 3V_{an} I_L \sin \phi$$

ถ้าหาก 3-LOAD นี้ต่อกับ AC MAIN โดยตรง ขณะนี้ I_L จะมีค่าเท่ากับ I_L หรือ

$$I_L = I_2 e^{j\phi}$$

นั่นคือในระบบไฟฟ้ากำลังเกิดกำลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟขึ้นมีค่าเท่ากับ $3 V_{an} I_L \sin \phi$
 การที่จะทำให้ AC MAIN ไม่ต้องรับภาระกำลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟส่วนนี้ไปก็จะต้อง
 ทำให้ PWM AC-DC CONVERTOR สร้างกำลังงานไฟฟ้ารีแอกทีฟขนาดเดียวกัน
 นี้ขึ้นมาโดยให้มีทิศทางตรงข้ามกันหรือให้กระแสที่ไหลเข้าสู่ PWM AC-DC CONVERTOR
 มีมุมเฟสนำหน้าแรงดันนั่นเอง ถ้าหากควบคุมให้กระแสที่ไหลเข้าสู่ PWM AC-DC
 CONVERTOR มีมุมเฟสนำหน้าแรงดันน้อยกว่า 90° เล็กน้อย จะได้กำลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้
 ใดๆโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

$$Q_c = 3 V_{an} I_c$$

จากสมการเห็นได้ว่าค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแปรผันตามกระแสที่ไหลเข้าสู่ PWM AC - DC CONVERTOR โดยตรง กระแสที่ไหลเข้า PWM AC-DC CONVERTOR นี้แปรผันโดยตรงกับกระแส output ของ convertor (I_c), ดังนั้นการควบคุมกระแส output ที่เหมาะสมก็จะสามารถทำให้ PWM AC-DC CONVERTOR สามารถชดเชยค่า power factor ของระบบได้ตามต้องการ ในอีกกรณีหนึ่งคือเมื่อควบคุมให้กระแสไหลเข้า PWM AC-DC CONVERTOR มีมุมเฟสหน้าหน้าอยู่เป็นมุม α ไม่นิ่ง 90 จะได้สมการสำหรับกำลังงานไฟฟ้าแอคทีฟของ PWM AC-DC CONVERTOR คือ

$$Q_c = 3V_{an} I_c \sin\alpha$$

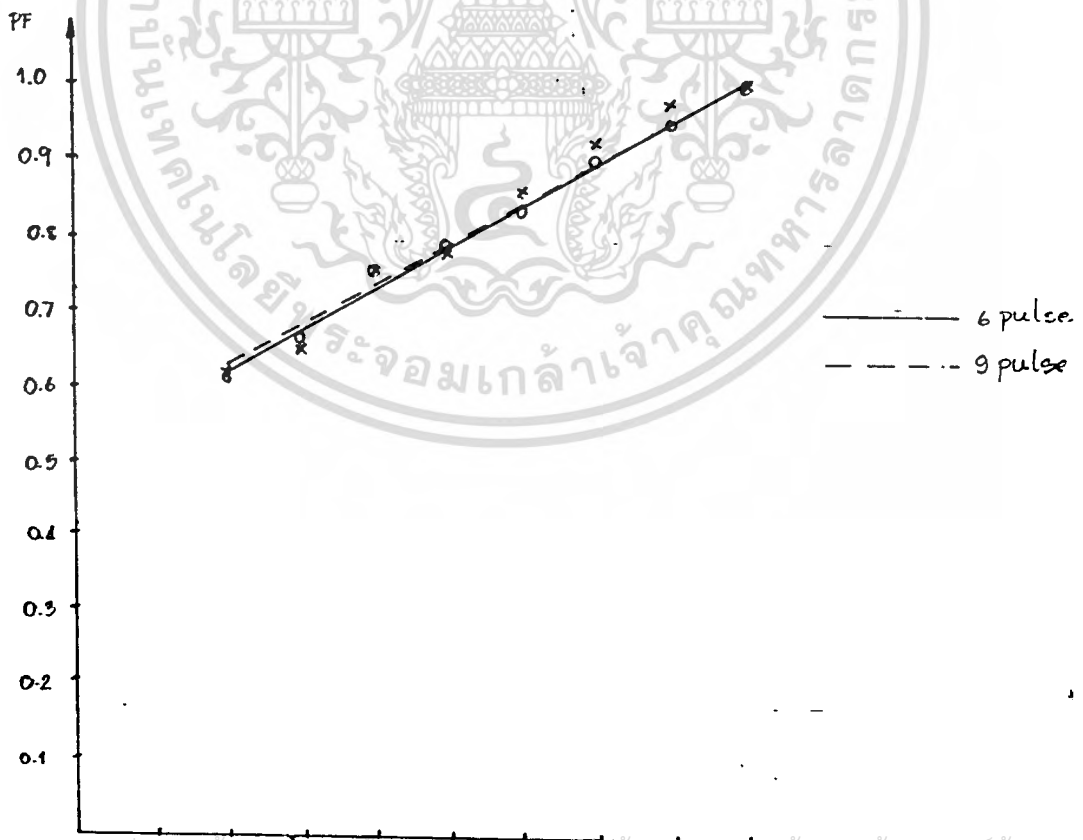
จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าค่ากำลังงานไฟฟ้าแอคทีฟของ PWM AC-DC CONVERTOR แปรผันตามตัวแปร 2 ตัวคือ I_c และ α ในกรณีนี้ PWM CONVERTOR ที่ใช้ในการศึกษาได้รับการออกแบบมาให้สามารถควบคุมค่ากระแส output ของ PWM CONVERTOR มีค่าคงที่เสมอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมต่างเฟสของกระแส PWM (α) ใน AC LINE ดังนั้น จึงเหลือตัวแปรเพียงตัวเดียวคือ α สำหรับควบคุมให้ค่ากำลังงานไฟฟ้ามีขนาดตามความต้องการสำหรับชดเชยค่า POWER FACTOR ของระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นการควบคุมค่า α ให้มีค่าเหมาะสมก็จะทำให้สามารถชดเชยค่า POWER FACTOR ของระบบได้ตามต้องการ

สรุปผลการทดลอง

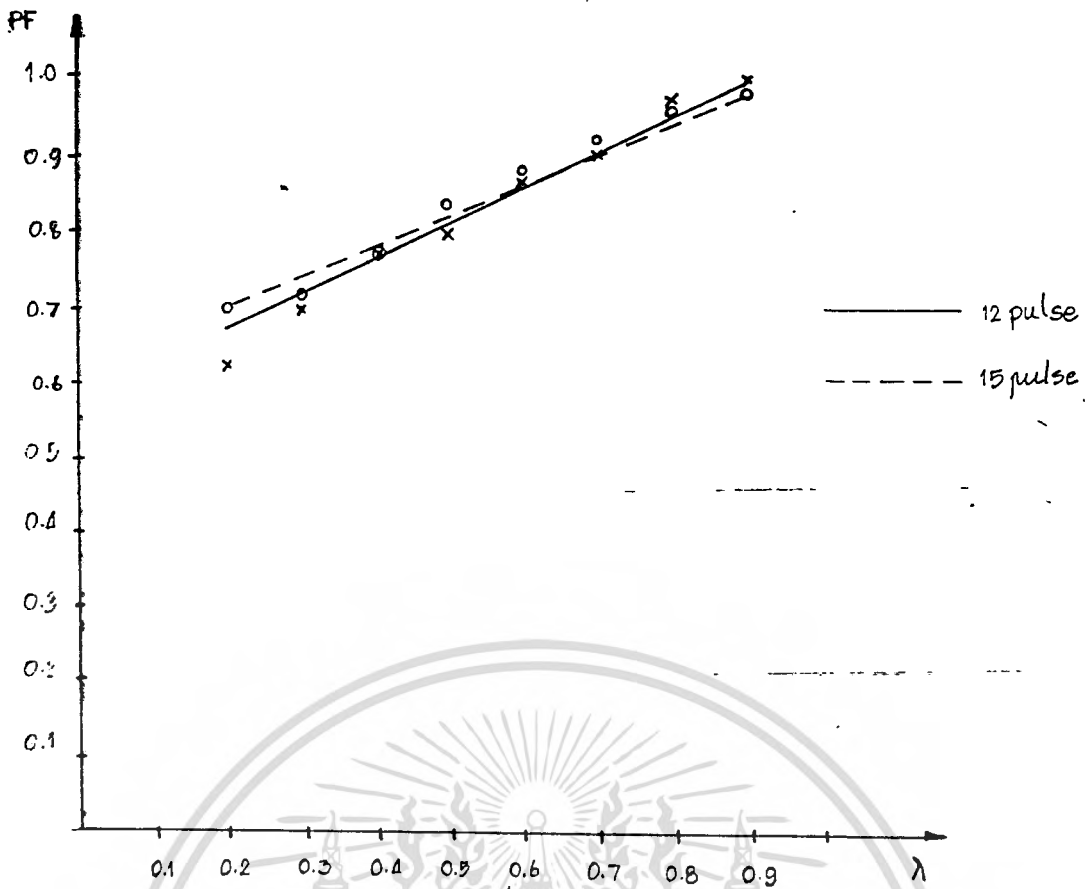
จากที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่า PWH คอนเวอเตอร์นี้ถูกออกแบบมาสำหรับสร้างกำลังงานรีแอคทีฟเพื่อชดเชยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้กับระบบ ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของ PWH คอนเวอเตอร์นี้เพื่อศึกษาหาแนวทางสำหรับการนำไปใช้ในการชดเชยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้กับระบบโดยเริ่มจากศึกษาคุณสมบัติของอินพุทของคอนเวอเตอร์และคุณสมบัติทางด้านเอาต์พุทของคอนเวอเตอร์ โดยทำการศึกษาลงของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวประกอบมอดูลชันว่ามีผลต่อคุณสมบัติทั้งทางด้านอินพุทและเอาต์พุทอย่างไรบ้าง และศึกษาผลของการเลื่อนมุมของกระแสที่ดับฟิวเอ็่มในเอซีไลน์ คว้ามีผลต่อคุณสมบัติทางด้านอินพุทและเอาต์พุทอย่างไร โดยได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้.

คุณสมบัติทางด้านอินพุทของคอนเวอเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบมอดูลชันและอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยควบคุมให้ความต้านทานโหลดคงที่ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของกระแสที่ดับฟิวเอ็่ม และแรงดันเอาต์พุทดังนี้



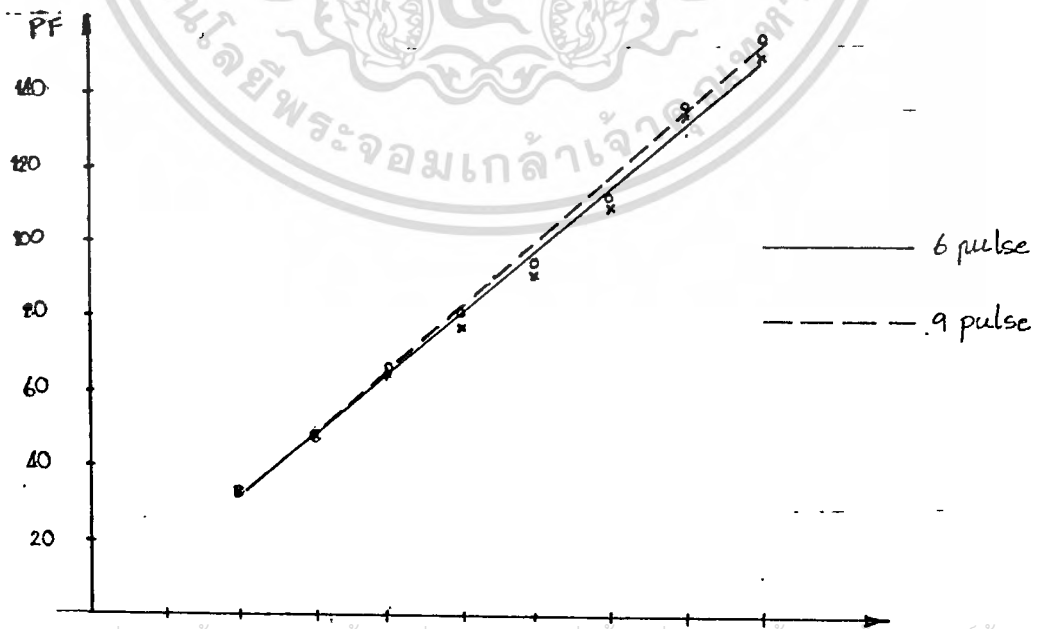
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 0.1 หรือ 0.3 หรือ 0.4 หรือ 0.5 หรือ 0.6 หรือ 0.7 หรือ 0.8 หรือ 0.9 หน้าไป ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวมอดูลชันและอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและเชิงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ของ 6 Plus และ 9 Plus



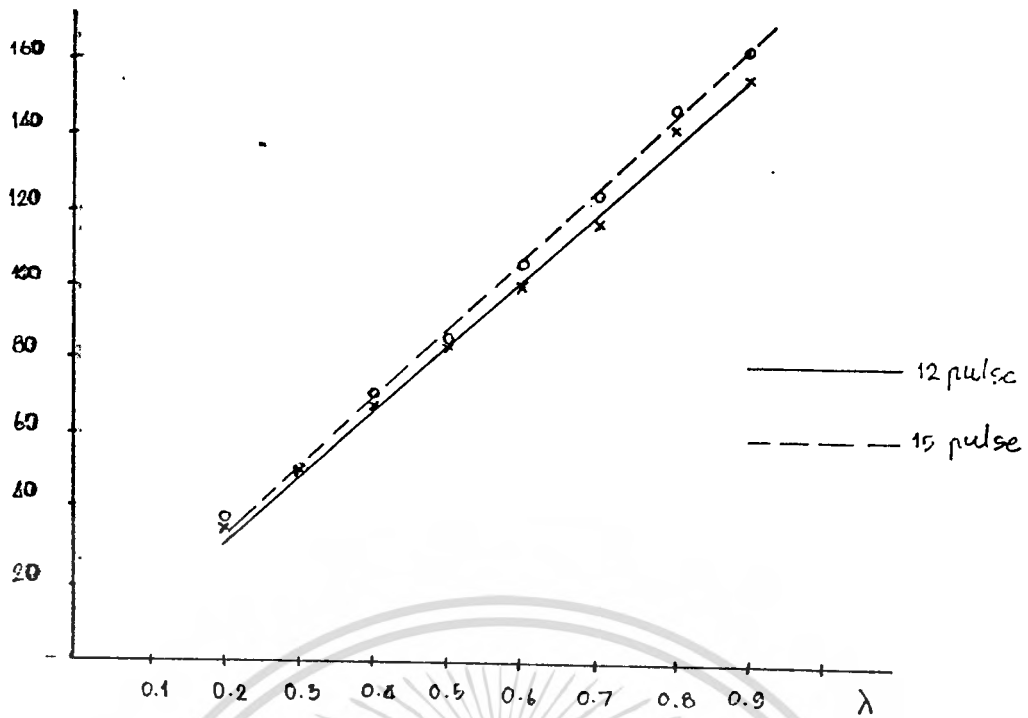
รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณคลื่นและอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์
ของ 12 Plus และ 15 Plus

คุณสมบัติทางด้านเอาทพุทของคอนเวอร์เตอร์

เมื่อทำการควบคุมให้มุมของกระแส PWM ในอินพุทคงที่ และความต้านทานโหลดคงที่ จะ
ได้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบคูณคลื่นกับแรงดันเอาพุทคือ รูปที่ 7.3 และ 7.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง 0.1 วัสดุ 0.2 รับ 0.3 ช่าง 0.4 เพื่อ 0.5 ศึกษา 0.6 ทราบ 0.7 ไม่ 0.8 อนุญาต 0.9 นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อี รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณคลื่นและเอาพุทคี่
ของ 6 Plus และ 9 Plus



รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่คลื่นและเอกซ์พดิสซี
ของ 12 Plus และ 15 Plus

ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงค่ามุมของกระแสดับพลิวเอ้ม โดยให้ค่าตัวประกอบมอดูเลชัน
คงที่และความต้านทานโหลดคงที่ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอกซ์พดิสซีกับมุมเลื่อน
เฟสของกระแสดับพลิวเอ้มดังตารางที่ 1

α	Ecd		α	Ecd	
	6 Plus	15 Plus		6 Plus	15 Plus
-90	-10	-5	0	-	-
-80	15	22	10	155	153
-70	45	50	20	148	145
-60	68	73	30	140	133
-50	80	98	40	125	120
-40	110	118	50	110	102
-30	128	131	60	78	84
-20	142	143	70	65	54
-10	150	150	80	40	32
0	156	155	90	8	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองสรุปได้ว่าแรงดันเอาต์พุตคี่ของคอนเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับตัวประกอบ 2 ตัวหลัก คือ ตัวประกอบมอดูเลชันและมุมของกระแสที่คัปปลิวเม โดยแรงดันเอาต์พุตคี่จะแปรผันตามค่าตัวประกอบมอดูเลชัน นั่นคือเมื่อเพิ่มค่าตัวประกอบมอดูเลชันจะทำให้แรงดันคี่เอาต์พุตเพิ่มขึ้นตามด้วย สำหรับความสัมพันธ์ของแรงดันเอาต์พุตคี่ กับ มุมของกระแสที่คัปปลิวเม้นั้น มีลักษณะเป็นรูปโคไซน์นั่นคือเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่ามุมของกระแสที่คัปปลิวเม้น์ จะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตคี่สูงสุดเมื่อมุมของกระแสที่คัปปลิวเม้น์ เป็นศูนย์ องศาและค่าอื่น ๆ ลดลงเมื่อเพิ่มมุมของกระแสที่คัปปลิวเม้น์ขึ้น โดยเมื่อเพิ่มมุมของกระแสที่คัปปลิวเม้น์ให้นำหน้าแรงดันจะได้แรงดันเอาต์พุตคี่เป็นลบเล็กน้อย เมื่อกระแสที่คัปปลิวเม้น์นำหน้าแรงดันไป 90 องศา ส่วนทางด้านล้าหลัง 90 องศา นั้นจะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตคี่เป็นบวกเล็กน้อย จากคุณสมบัติที่ได้มานี้แสดงว่าคอนเวอร์เตอร์นี้สามารถนำมาใช้ในการสร้างกำลังงานรีแอกทีฟ ให้กับระบบเพื่อชดเชยค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบได้จึงได้ทำการทดสอบการสร้างกำลังงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยควบคุมให้กระแสคี่เอาต์พุตคงที่ และเปลี่ยนแปลงค่ามุมของกระแสที่คัปปลิวเม้น์ รั้นคอนเวอร์เตอร์ใน close-loop mode เพื่อคำนวณค่าตัวประกอบมอดูเลชันที่เหมาะสมในการควบคุมให้กระแสเอาต์พุตคี่คงที่ ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 7.2

α	Reactive Power	
	6 Plus	15 Plus
-70	290	250
-60	200	170
-50	130	110
-40	100	90
-30	85	75
-20	60	30
-10	40	20

ตาราง 7.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาท์พุทคี่ของคอนเวอร์ชันอยู่กับตัวประกอบ 2 ตัวคือ ตัวประกอบมอดูเลชัน () และมุมของกระแส PWM ใน AC LINE การเพิ่มค่าตัวประกอบมอดูเลชันทำให้แรงดันเอาท์พุทคี่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าได้แรงดันเอาท์พุทคี่แปรผันตามค่าตัวประกอบมอดูเลชัน ส่วน ในกรณีของมุมของกระแส PWM จะได้ค่าแรงดันเอาท์พุทคี่สูงสุดเมื่อมุมของกระแส PWM อินเฟสกับแรงดันหรือมุมเป็นศูนย์ของค่ามันเอง การเพิ่มมุมของกระแสฟีดแบคชีวเอ็ม ทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังมีผลทำให้แรงดันเอาท์พุทคี่ต่ำลง ในด้านหน้านั้นที่มุมหน้า 90 องศา แรงดันเอาท์พุทคี่มีค่าเป็นลบเล็กน้อย ส่วนทางด้านหลังได้แรงดันเอาท์พุทคี่เป็นบวกเล็กน้อย และเมื่อทดลองให้คอนเวอร์เตอร์สร้างกำลังงานไฟฟ้ารีแอคตีฟขึ้นมา โดยควบคุมให้กระแสเอาท์พุทคี่คงที่นั้นปรากฏว่าคอนเวอร์เตอร์สามารถสร้างกำลังงานไฟฟ้ารีแอคตีฟขึ้นได้จริง โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมของกระแสฟีดแบคชีวเอ็มนำหน้าแรงดันมากขึ้น ดังนั้นคอนเวอร์เตอร์นี้จึงมีความสามารถในการสร้างกำลังงานไฟฟ้ารีแอคตีฟเพื่อชดเชยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยแนวทางการนำไปใช้งานสามารถทำได้สองลักษณะคือ

1. ปรับมุมของกระแสฟีดแบคชีวเอ็มให้หน้าหน้าแรงดันน้อยกว่า 90 องศาเล็กน้อยเพื่อให้แรงดันเอาท์พุทคี่เป็นบวกเล็กน้อย ใช้ความต้านทานโหลดซึ่งมีค่าค่า ๆ อันจะทำให้มีกระแสเอาท์พุทคี่ไหลได้เป็นจำนวนมากได้ จากนั้นควบคุมขนาดของกระแสเอาท์พุทคี่นี้ด้วยการใช้งานในลักษณะนี้ตัวคอนเวอร์เตอร์จะมีลักษณะเป็น Reactor Power Converter ซึ่งหมายความว่า จะไม่ได้ใช้ประโยชน์จากกำลังงานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นด้วยคอนเวอร์เตอร์นี้เลย คอนเวอร์เตอร์มีหน้าที่เพียงสร้างกำลังงานไฟฟ้า Redextor เพื่อชดเชยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เท่านั้น

2. นำเอาท์พุทคี่ของคอนเวอร์เตอร์นี้ไปต่อกับภาระคี่ซึ่งต้องการกระแสค่อนข้าง เช่น มอเตอร์ ล้อเลี้ยง หัดลม หรือ ขดลวดทำความร้อน เป็นต้น จากนั้นใช้การปรับมุมของกระแสฟีดแบคชีวเอ็มใน AC LINE เพื่อสร้างกำลังงานไฟฟ้ารีแอคตีฟขึ้นมาชดเชยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ระบบ ในกรณีนี้ตัวคอนเวอร์เตอร์จะไม่ได้ถูกใช้งานเพื่อเป็น Reactor Power Generator โดยตรง แต่จะใช้งาน Dc Supply ดังนั้นแรงดันเอาท์พุทคี่จึงต้องมีค่าสูงพอที่จะขับให้ได้ ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงค่ามุมของกระแสฟีดแบคชีวเอ็ม ทำได้ในช่วงจำกัด นั่นคือกำลังงานไฟฟ้ารีแอคตีฟ ที่จะสร้างได้นั้นก็มีค่าอยู่ช่วงที่จำกัดด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ มากมายจากบุคคลต่อไปนี้ คือ

1. รศ.ดร. วิริยะ นิเชฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำ และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับปริญญานิพนธ์นี้มา โดยตลอด
2. คุณ สุชาติ ตั้งคฤหษา วิศวกรรรมหาบัณฑิต ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับปริญญานิพนธ์นี้มา โดยตลอด
3. เจ้าหน้าที่บรรณารักษะ และห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เป็นแหล่งสนับสนุนทางด้านตำราและเอกสารอ้างอิง รวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำปริญญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุชาติ ตั้งตฤณา, วิริยะ นิเชษฐาเรือง , " คุณสมบัติของพีดับบลิวคอนเวอร์เตอร์และการใช้งาน "
- [2] สุชาติ แซ่ตั้ง, วิริยะ นิเชษฐาเรือง , " พีดับบลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ชนิดไม่มีวงจรถ่อมมิวเตค ", การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันอุดมศึกษาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 , 2532
- [3] สุชาติ แซ่ตั้ง, วิริยะ นิเชษฐาเรือง , " พีดับบลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ชนิดเลื่อนเฟสกระแสเอชไอไลน์ ", การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันอุดมศึกษาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 , 2533
- [4] R.Palaniappan, "Voltage Clamping circuits for CSI/IM Drives", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 1A-21, No.2, mar./Apr. 1985
- [5] Y.Sato and T.Kataoka, "An Analysis of voltage Spike Clamping Circuit for Current Type PWM Converter", IEEE PESC Record, vol.2, pp.813-819, April 1988
- [6] T.Kataoka, K.Mizumachi , and S.Miyairi, "A Pulsewidth Controlled AC to DC Converter to Improve Power Factor and Waveform of AC Line Current" IEEE Trans. Ind Appl., Vol. 1A-15 ,pp.670-675, Nov./Dec 1979,
- [7] T. Ise, J.J. Skiles, R.L. Kistom and J.wang, "Circuit Configuration of The GTO Converter for Magnetic Energy Storage". IEEE PESC Record ,Vol.1, pp. 108-115 .vol .1A-15, No .5 ,pp. 512-532, Sep./Oct. 1979.
- [8] Luis T. Moran, Phoivos D. Ziogas, Geza Joos, "Analysis and design of a Three-Phase Current Source Solid-State Var Compensator", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 25 ,pp. 356-365, March. /Apr. 1989.
- [9] William Barden, Jr., "The Z-80 Microprocessor Handbook",
Howard W. Sam & Co., Inc. Indianapolis, Indiana, 1979.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่มีเหตุอันสมควรและต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] Lance A. Leventhal, Winthrof Saville, "Z-80 Assembly Language Subroutine"

[11] The Staff of Monolithic Memories, Inc., "Designing with Programmable Logic Array". Monolithic Memories Inc.

[12] Cutris D. Johnson, "Microprocessor-Based Control", Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey Office, 1984.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Gate Turn-off Thyristor

Terms	Symbols	Definitions
Repetitive Peak Off-State Voltage	V_{DRM}	Under specified conditions, maximum allowable instantaneous value of off-state voltage having an increase rate lower than the critical rate of rise of off-state voltage applicable repeatedly to anode of GTO.
RMS On-State Current	$I_{T(RMS)}$	Maximum continuous RMS current flowable in forward direction under specified conditions.
Repetitive Controllable On-State Current	I_{TCM}	Maximum allowable instantaneous value of on-state current applicable repeatedly when to cause switching from on-state to off-state by off gate current under specified conditions.
Non-Repetitive Controllable On-State Current	I_{TCSM}	Maximum allowable instantaneous value of on-state current applicable without repetition when to cause switching from on-state to off-state by off gate current under specified conditions.
(Non-Repetitive) Surge On-State Current	I_{TSM}	When device is in operation at specified junction temperature, allowable non-repetitive peak current flowable during one half sine wave (1.5ms duration) in forward direction with resistive load.
I_t Limit Value	I_t	Scale to express forward non-repetitive overcurrent capacity with respect to current pulse of very short duration (1.5ms unless otherwise specified). I stands for ampere in RMS value, and t for pulse duration in seconds.
Critical Rate of Rise of On-State Current	di/dt	Under specified conditions, maximum allowable increase rate of on-state current without any damage to the device after triggering.
Repetitive Peak Reverse Gate Voltage	V_{GRM}	Maximum allowable instantaneous value of voltage between cathode terminal and gate terminal for applying reverse bias to gate-cathode junction.
Repetitive Average Forward Gate Power Dissipation	$PG(AV)$	Maximum average value of forward power dissipation during one cycle allowable between gate terminal and cathode terminal.
Repetitive Peak Forward Gate Power Dissipation	$PG(M)$	Maximum peak value of forward power dissipation continuously allowable between gate terminal and cathode terminal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terms	Symbols	Definitions
Repetitive Average Reverse Gate Power Dissipation	$P_{G(RAV)}$	Maximum average value of reverse power dissipation during one cycle allowable between gate terminal and cathode terminal.
Repetitive Peak Reverse Gate Power Dissipation	P_{GRM}	Maximum peak value of reverse power dissipation continuously allowable between gate terminal and cathode terminal.
Operating Junction Temperature	T_j	Temperature at junction which defined as basis of ratings and indicated by range of allowable temperature.
Storage Temperature	T_{stg}	Range of allowable temperature for storage of device.
Peak Off-State Current	I_{DRM}	Maximum instantaneous value of forward leakage current for applying specified forward voltage under specified conditions.
Peak On State Voltage	V_{TM}	Maximum instantaneous value of on-state voltage obtained when repetitive controllable on-state current flows under specified conditions.
DC Gate Trigger Current	I_{GT}	Minimum value of DC forward gate current capable of triggering any GTO of the same type at specified conditions.
DC Gate Trigger Voltage	V_{GT}	Minimum value of DC forward gate voltage capable of triggering any GTO of the same type at specified conditions.
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	dv/dt	Under specified conditions, minimum increase rate of off-state voltage to cause switching of device from off-state to on-state.
Holding Current	I_H	When device is in on-state under specified conditions, critical value of on-state current below which the device return to off-state.
Latching Current	I_L	Under specified conditions and load state, minimum on-state current required to keep on-state after switching of device to on-state and removal of gate signal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GATE TURN-OFF THYRISTOR

GTT200E

Unit in mm (inch)

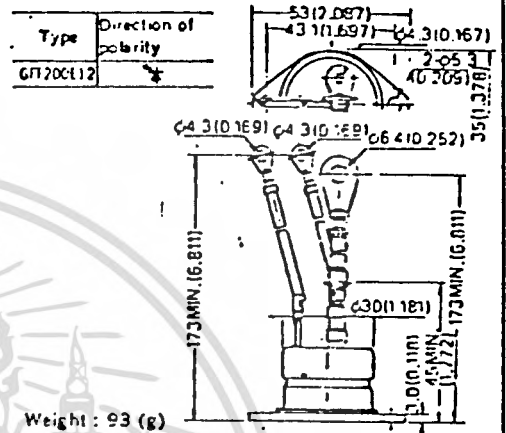
●特長

- 大きな可制御電流
- 重金属ノンドープによるオン電圧の低減
- グラシベーションチップ使用による、高耐圧、高信頼性

■FEATURES

- High controllable on-state current.
- Lower on-state voltage due to non-doping heavy metal.
- High off-state voltage and high reliability due to glass-passivated chip.

OUTLINE DRAWING



■MAXIMUM ALLOWABLE RATINGS

Items	Type	GTF200E12
Repetitive Peak Off-State Voltage	V_{DRM} V	1,200 (1)
RMS On-State Current	$I_{T(RMS)}$ A	70 (2) $T_c = 60^\circ\text{C}$.
Repetitive Controllable On State Current	I_{TCM} A	200 (2)
Sur. Repetitive Controllable On State Current	I_{TCSM} A	2E0 (3)
Sur. Non-Repetitive On State Current	I_{TSM} A	500 (4)
PI Limit Value	PI A ² sec.	165 (5)
Critical Rate of Rise of On-State Current	di/dt A/ μ sec.	200 (6)
Repetitive Peak Reverse Gate Voltage	V_{GRM} V	13 (7)
Repetitive Average Forward Gate Power Dissipation	$P_{G(ave)}$ W	12
Repetitive Peak Forward Gate Power Dissipation	$P_{G(pk)}$ W	36
Repetitive Average Reverse Gate Power Dissipation	$P_{GR(ave)}$ W	20
Repetitive Peak Reverse Gate Power Dissipation	$P_{GR(pk)}$ W	1,500
Operating Junction Temperature	T_j °C	-40 ~ +125
Storage Temperature	T_{stg} °C	-40 ~ +125

NOTE

- $V_{DRM} = 5V$ or $R_{th} \leq 1000$
- $V_{DRM} = 600V$, Over shoot voltage = 100V, $E_{off} = 12V$, $C_g = 0.47\mu F$, $L_g = 0.4\mu H$, $L_s = 1\mu H$, $I = 1KA$.
- $V_{DRM} = 600V$, Over shoot voltage = 100V, $E_{off} = 12V$, $C_g = 0.47\mu F$, $L_g = 2\mu H$, $L_s = 1\mu H$.
- 1.5-sec conduction, Half sine wave, 1 cycle.
- 1.5-sec conduction, I = RMS Value
- $L_g = 4A$, dig. di = 4A/ μ s, Gate pulse width = 10 μ s, $V_{GR} = 600V$.
- This value may be exceeded at the turn off period provided the peak reverse gate power dissipation does not exceed the rated $P_{GR(pk)}$ value.
- The reverse voltage between anode and cathode shall not exceed the rated V_{DRM} value.

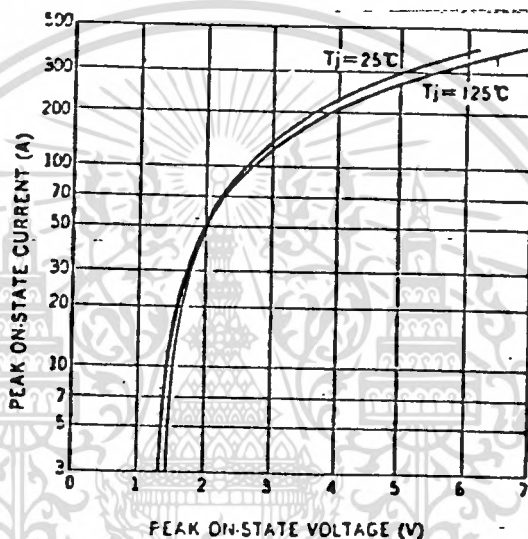
■CHARACTERISTICS ($T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Items	Symbol	Units	Min.	Typ.	Max.	Test Conditions
Peak Off-State Current	I_{DPM}	mA	—	—	1	$V_G = V_{DRM}$, $R_{th} = 1000$
Peak On-State Voltage	V_{TM}	V	—	—	3.8	$I_{TM} = 200A$
DC Gate Trigger Current	I_{GT}	mA	—	—	600	$V_G = 24V$, $R_G = 2\Omega$
DC Gate Trigger Voltage	V_{GT}	V	—	—	1.5	
Critical Rate of Rise of Off State Voltage	dv/dt	V/ μ sec.	1,000	—	—	$V_G = 80V$, $T_j = 125^\circ\text{C}$, $V_{DRM} = 5V$ or $R_{th} = 1000$
Holding Current	I_H	A	—	4	—	$V_G = 24V$
Latching Current	I_L	A	—	6	—	$V_G = 24V$
Turn-On Time	t_{on}	μ sec.	—	3.0	4.0	$V_G = 600V$
(Delay Time)	t_d	μ sec.	—	1.0	—	$I_{TM} = 200A$
(Rise Time)	t_r	μ sec.	—	2.0	—	$I_{GT} = 4A$
Gate Turn-Off Time	t_{off}	μ sec.	—	4.5	6.0	$V_G = 600V$, $I_{TM} = 200A$
(Storage Time)	t_s	μ sec.	—	4.0	—	$E_{off} = 12V$
(Fall Time)	t_f	μ sec.	—	0.5	—	$L_g = 0.4\mu H$
Turn-Off Gate Charge	Q_{Goff}	μC	—	200	300	
Steady State Thermal Impedance	$R_{th(j-c)}$	°C/W	—	—	0.35	Junction to Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

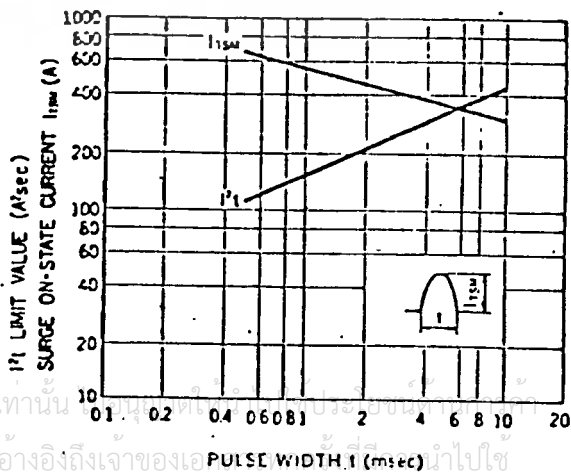
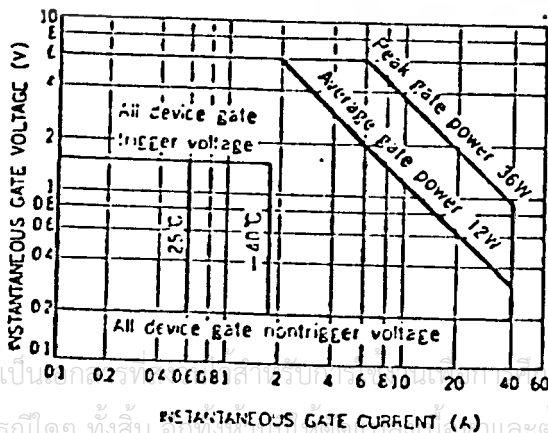
GFF200E

特性 ON-STATE VOLTAGE CHARACTERISTICS



ゲートトリガ特性
GATE TRIGGERING CHARACTERISTICS

サージオン電流特性 (非繰返し)
SURGE ON-STATE CURRENT CHARACTERISTICS (NON-REPETITIVE)

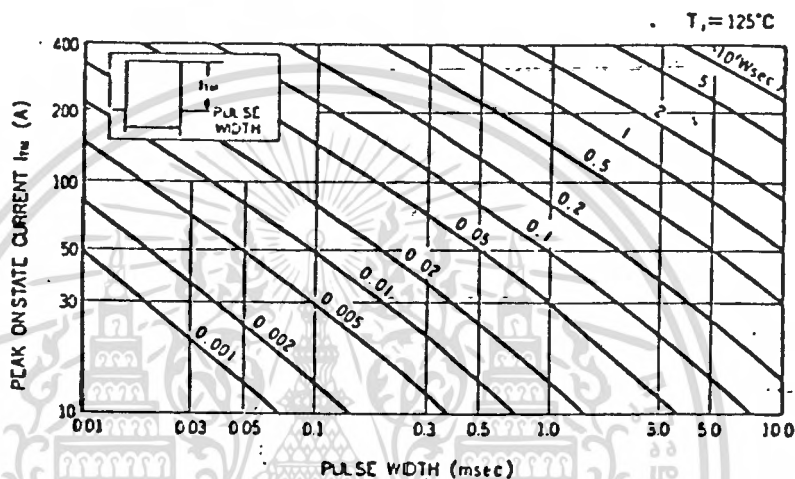


เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท เซมิคอนดักเตอร์ จำกัด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาต

GFF200E

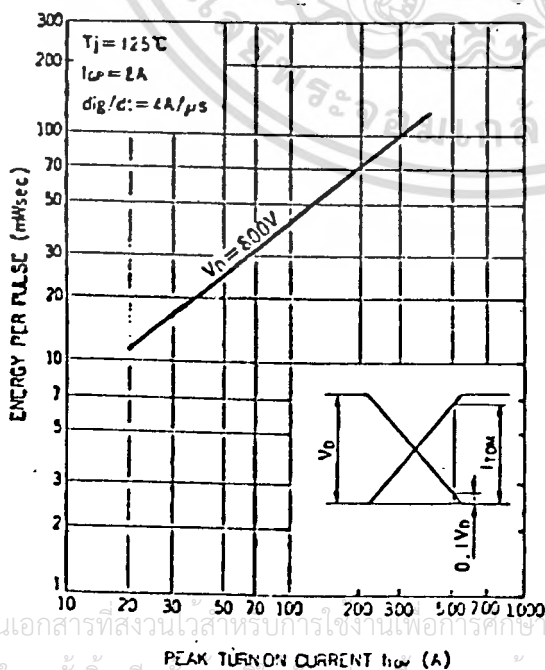
万形波1パルス当りのエネルギー損失特性(導通時)

ON-STATE ENERGY PER PULSE



1パルス当りのエネルギー損失特性 (ターンオン時)

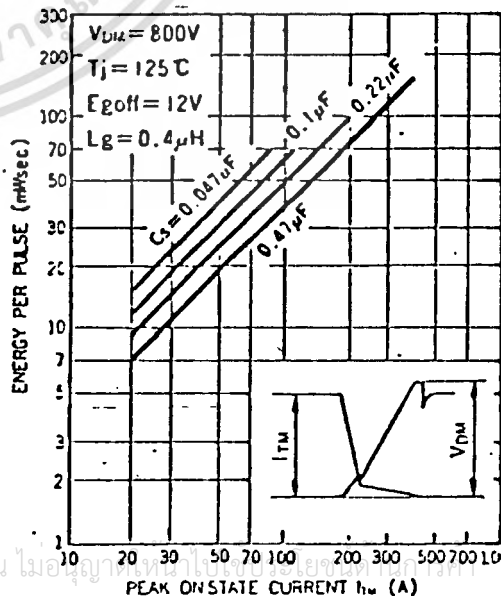
ENERGY PER PULSE (AT TURN-ON)



1パルス当りのエネルギー損失特性

(ゲートターンオフ時)

ENERGY PER PULSE (AT GATE TURN-OFF)



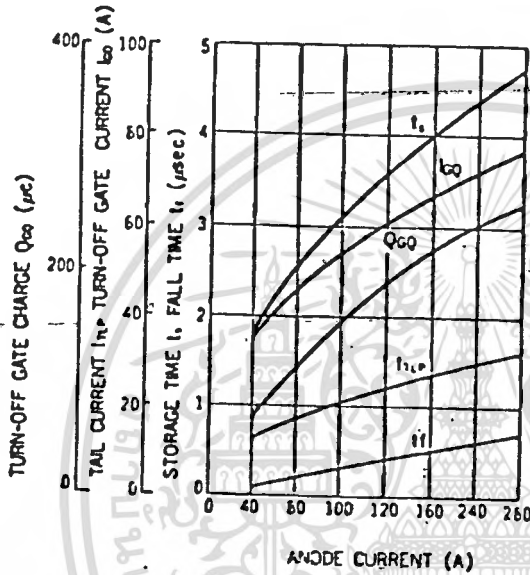
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

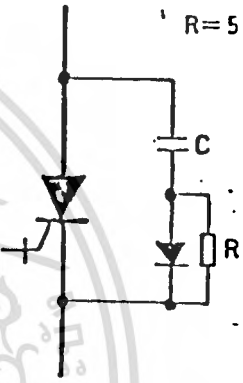
GFF200E

ターンオフ特性 (代表値)
TURN-OFF CHARACTERISTICS (TYPICAL)

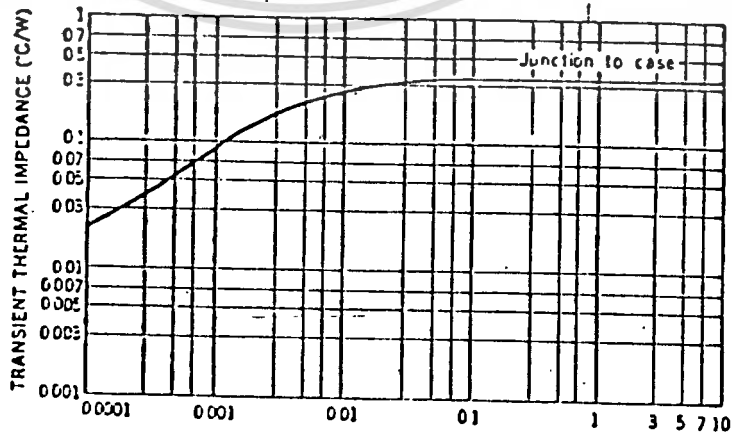
スナバ定数の推奨値
RECOMMENDED VALUES
OF SNUBBER CONSTANTS



$C = 0.47(\mu F)$
 $R = 5(\Omega)$



過渡熱インピーダンス
TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้