

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณสมบัติของพีดับบลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์และการใช้งาน

CHARACTERISTICS OF A PWM CONVERTER AND ITS APPLICATION

สุชาติ ตังตฤณ

SUCHAT TANGTISANA B.Eng. (KMITL)



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ

ADVISOR

ASSOC. PROF. DR. VIRIYA PICHETJAMROEN

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

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

ISBN 974-8155-67-6

เลขหมู่

17104

เลขทะเบียน

วัน, เดือน, ปี 5 ก.พ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	1
1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 วรรณกรรม	
2.1 วรรณกรรมหลัก	3
2.2 วรรณกรรมช่วย	4
บทที่ 3 ลักษณะคลื่นไฟฟ้าชีวเคมีในกระแสเอซีไลน์และสัญญาณเกท	
3.1 แนวความคิดในการออกแบบลักษณะคลื่นกระแสไฟฟ้าชีวเคมี	7
3.2 ลักษณะคลื่นไฟฟ้าชีวเคมี 6, 9, 12, 15 พัลส์ในกระแสเอซีไลน์	8
3.3 การออกแบบสัญญาณเกท	11
บทที่ 4 ระบบควบคุมดิจิทัล	
4.1 ไมโครโปรเซสเซอร์	21
4.2 วงจรสร้างพัลส์	22
4.3 วงจรส่วนโวลตสลับ	31
4.4 วงจรวัดมระหว่างแรงดันกับกระแส	32
4.5 โปรแกรมควบคุมระบบ	35
บทที่ 5 การวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์	
5.1 การพิจารณาสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของกระแสไฟฟ้าชีวเคมี 6, 9, 12, 15 พัลส์	39
5.2 การพิจารณาสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ในรูปทั่วไป	
5.2.1 รูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $a_{\lambda n}$	51
5.2.2 รูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $b_{\lambda n}$	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3	องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์	59
5.4	อินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์รวม	59
บทที่ 6	การวิเคราะห์แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย	
6.1	แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยกรณีกระแสที่ดับลิวเอ็ม 6,9,12,15 พัลส์	69
6.2	สมการที่หาโวลของแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย	78
6.3	ลักษณะคลื่นแรงดันเอาต์พุต	82
บทที่ 7	คุณสมบัติของคอนเวอร์เตอร์และการใช้งาน	
7.1	คุณสมบัติทางอินพุตของคอนเวอร์เตอร์	88
7.2	คุณสมบัติทางเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์	95
7.3	แนวความคิดในการแก้เพาเวอร์แพคเตอร์	100
บทที่ 8	บทสรุป	106
	ภาคผนวก	107
	กิตติกรรมประกาศ	114
	เอกสารอ้างอิง	115



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์และทดสอบเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์ชนิดสามเฟส ซึ่งใช้จีทีโอทรินสเตอร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อโวลิตสเตรท กระแสอินพุทในเอซีไลน์ที่ได้จะมีลักษณะของคลื่นที่ดับบลิวเอ็มแบบชายน้โดยอาศัยรูปแบบของสัญญาณเกทที่ออกแบบไว้ โดยไม่จำเป็นต้องมีวงจรเพิ่มเติมจากภายนอกเพื่อช่วยในการคอมมิวเตทในวงจรกำลัง ดังนั้น คอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะมืองค์ประกอบของฮาร์โมนิกต่ำและอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงกว่า เมื่อเทียบกับคอนเวอร์เตอร์แบบเก่าซึ่งควบคุมการทำงานแบบที่ดับบลิวเอ็มในลักษณะเดียวกันโดยใช้ทรินสเตอร์ทั่วไป นอกจากนี้ ยังได้มีการพัฒนาและเพิ่มเติมอีกส่วนของวงจรเข้ากับวงจรกำลัง เพื่อทำหน้าที่แปรรูปพลังงานคอมมิวเตทซึ่งถูกเก็บกักโดยธรรมชาติในลิกเกจรีแอคแตนซ์ของ เอซีซัพพลายในช่วงระหว่างการคอมมิวเตทในวงจรกำลัง ให้อยู่ในรูปของพลังงานใช้งาน

ในตอนแรก จะกล่าวถึงโครงสร้างและหลักการทำงานของวงจรกำลังและระบบควบคุมดิจิทัล จากนั้น จะกล่าวถึงหลักการออกแบบและการสร้างรูปแบบของกระแสในลักษณะคลื่นที่ดับบลิวเอ็ม ซึ่งประกอบด้วยจำนวนพัลส์ 6, 9, 12 และ 15 พัลส์โดยละเอียด นอกจากนั้นยังกล่าวถึงผลกระทบของคลื่นกระแสที่ดับบลิวเอ็มในเอซีไลน์ ที่มีต่อคุณสมบัติของคอนเวอร์เตอร์ทั้งทางด้านอินพุทและเอาต์พุท อันเนื่องจากจำนวนและความกว้างของพัลส์ ตลอดจนการเลื่อนเฟสของกระแสในเอซีไลน์ เช่น องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์ เพาเวอร์แฟคเตอร์ด้านอินพุท และแรงดันเอาต์พุทเฉลี่ยสำหรับกรณีจำนวนพัลส์ต่างๆ และในตอนท้าย ผลจากการวิเคราะห์จะนำไปสู่การพิจารณาหลักการที่จะนำคอนเวอร์เตอร์นี้ไปใช้งานแก่เพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลัง

ในบทสุดท้ายของวิทยานิพนธ์ ได้กล่าวถึงการนำคอนเวอร์เตอร์นี้ไปใช้งานเพื่อทำหน้าที่เป็นชุดชดเชยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐาน ในระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งได้ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3-เฟสรับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย จากนั้นได้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติในการชดเชยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐานทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ซึ่งผลปรากฏเป็นที่น่าพอใจ

ABSTRACT

This thesis concerns analysis and experiment on an ac-to-dc PWM-controlled three-phase power converter using GTO thyristors as solid-state switching device in the power circuit. The ac line input current of sinusoidal PWM pattern is obtained by a specially designed gating signal pattern without any additional commutating circuit used for circuit commutation purpose. This results in a converter of lower harmonic content and higher input power factor, when compared with the conventional thyristorized PWM-controlled type. An auxiliary circuit is developed and added to the power circuit in order to handle commutating energy inevitably trapped in the ac source leakage reactance during circuit commutation.

The construction and operating principle of the power circuit and digital control system are first described. Then, the design and construction of the PWM current patterns consisting of 6-, 9-, 12- and 15-pulse are considered in detail. Besides, the effect of the PWM ac line current patterns on the input and output characteristics of the converter due to the variation of PWM pulse number, PWM pulsewidth and ac line current phase-shift control, such as the harmonic contents, input power factor and mean output voltage for these current patterns is also investigated. From the analysis and experimental results, it is shown that the converter can be used as a power factor compensator in a power supply system.

In the last chapter, the converter is applied as a fundamental power factor compensator in a power supply system in which the 3-phase induction motor is used as an energized 3-phase load. Then the fundamental power factor compensation characteristics of the converter is obtained and analyzed both theoretically and experimentally and the results appear to be satisfactory.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	วงจรกำลังของจีทีโอคอนเวอร์เตอร์	3
รูปที่ 2.2	(1) แรงดันอินพุตสามเฟส (Vu, Vv และ Vw) (2) สัญญาณเกต (G1-G8) (3) แรงดันเอาต์พุตดีซี Ed (4)-(6) กระแสที่ดับลิวเอ็ม 6 ฟัลส์ (Iu, Iv และ Iw)	6
รูปที่ 3.1	ลักษณะคลื่นกระแสเฟส U, V, W ในหนึ่งไซเคิล	8
รูปที่ 3.2	การวางแต่ละส่วนของฟัลส์กระแสในกระแสเอซีไลน์สามเฟส	9
รูปที่ 3.3	การผิดเพี้ยนเล็กน้อยที่มุมฟัลส์ของกระแสที่ดับลิวเอ็ม	11
รูปที่ 3.4	การทำงานของวงจรกำลังขณะที่คาปาซิเตอร์กำลังคายประจุ	11
รูปที่ 3.5	รูปแบบกระแสที่ดับลิวเอ็ม 6 ฟัลส์ และสัญญาณเกตทั้งแปด	13
รูปที่ 3.6	รูปแบบกระแสที่ดับลิวเอ็ม 9 ฟัลส์ และสัญญาณเกตทั้งแปด	14
รูปที่ 3.7	รูปแบบกระแสที่ดับลิวเอ็ม 12 ฟัลส์ และสัญญาณเกตทั้งแปด	15
รูปที่ 3.8	รูปแบบกระแสที่ดับลิวเอ็ม 15 ฟัลส์ และสัญญาณเกตทั้งแปด	16
รูปที่ 3.9	ลักษณะคลื่นกระแสที่ดับลิวเอ็มในเอซีไลน์สามเฟส (1) เฟส U (2) เฟส V และ (3) เฟส W	17
รูปที่ 3.10	ลักษณะคลื่นกระแสที่ดับลิวเอ็มในแต่ละครึ่งไซเคิล (1) กรณี 6 ฟัลส์ (2) กรณี 9 ฟัลส์ (3) กรณี 12 ฟัลส์ (4) กรณี 15 ฟัลส์	18
รูปที่ 3.11	ลักษณะคลื่นกระแสที่ดับลิวเอ็ม 6 ฟัลส์ที่มุมเลื่อนเฟส $-60^{\circ}, 0^{\circ}$ และ 60°	19
รูปที่ 4.1	รายละเอียดของระบบควบคุมดิจิทัล	20
รูปที่ 4.2	รายละเอียดของวงจรสร้างฟัลส์	21
รูปที่ 4.3	แผนภาพเวลาของสัญญาณ α ที่มุมเลื่อนเฟส $= -90^{\circ}, 0^{\circ}, 90^{\circ}$	23
รูปที่ 4.4	แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆจากวงจรสร้างฟัลส์ กรณี 6 ฟัลส์	27
รูปที่ 4.5	แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆจากวงจรสร้างฟัลส์ กรณี 9 ฟัลส์	28
รูปที่ 4.6	แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆจากวงจรสร้างฟัลส์ กรณี 12 ฟัลส์	29
รูปที่ 4.7	แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆจากวงจรสร้างฟัลส์ กรณี 15 ฟัลส์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8	โพล์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานของ PI-Controller	33
รูปที่ 4.9	วงจรวัดมุมระหว่างแรงดันกับกระแส	34
รูปที่ 4.10	แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆจากวงจรวัดมุมระหว่างแรงดันกับกระแส	34
รูปที่ 4.11	โพล์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานเฉพาะส่วน Main Program	37
รูปที่ 4.12	โพล์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานเฉพาะส่วน	38

Interrupt Service Routine

รูปที่ 5.1	รูปคลื่นกระแสที่ดับลิวเอ็ม 6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล	40
รูปที่ 5.2	องค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสที่ดับลิวเอ็ม 6 พัลส์	62
รูปที่ 5.3	องค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสที่ดับลิวเอ็ม 9 พัลส์	63
รูปที่ 5.4	องค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสที่ดับลิวเอ็ม 12 พัลส์	64
รูปที่ 5.5	องค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสที่ดับลิวเอ็ม 15 พัลส์	65
รูปที่ 5.6	คุณสมบัติตัวประกอบคิสทอร์ชัน สำหรับกรณี 6 และ 15 พัลส์	66
รูปที่ 5.7	คุณสมบัติอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐาน สำหรับกรณี 6 และ 15 พัลส์	67
รูปที่ 5.8	คุณสมบัติอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม สำหรับกรณี 6 และ 15 พัลส์	68
รูปที่ 6.1	การทำงานของวงจรถ้าลังหลังในช่วงเวลาตายประจุ	70
รูปที่ 6.2	ลักษณะคลื่นกระแสเอซีไลน์และแรงดันทางด้านอินพุทและ เอาท์พุท (1)-(2) กรณีมุมเลื่อนเฟส = -90° (3)-(4) กรณีมุมเลื่อนเฟส = 90°	76
รูปที่ 6.3	ผลการคำนวณแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยกับมุมเลื่อนเฟส (1) กรณี 6 พัลส์ (2) กรณี 15 พัลส์	84
รูปที่ 6.4	คลื่นแรงดันเอาท์พุทดีซีของกระแสเอซีไลน์ 6 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส = $-90^\circ, 0^\circ, 90^\circ$	85
รูปที่ 6.5	คลื่นแรงดันเอาท์พุทดีซีของกระแสเอซีไลน์ 6 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส = $-60^\circ, 60^\circ$	86
รูปที่ 6.6	คลื่นแรงดันเอาท์พุทดีซีของกระแสเอซีไลน์ 15 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส = $-60^\circ, 60^\circ$	87
รูปที่ 7.1	องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์ สำหรับกรณี 6 พัลส์	89

ที่ตัวประกอบมือคูณเลขขึ้น=0.8 (1) จากการคำนวณ (2) จากการทดลอง

รูปที่ 7.2	องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์ สำหรับกรณี 9 พัลส์ ที่ตัวประกอบมือคดูเลขชั้น=0.8 (1) จากการคำนวณ (2) จากการทดลอง	90
รูปที่ 7.3	องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์ สำหรับกรณี 12 พัลส์ ที่ตัวประกอบมือคดูเลขชั้น=0.8 (1) จากการคำนวณ (2) จากการทดลอง	91
รูปที่ 7.4	องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์ สำหรับกรณี 15 พัลส์ ที่ตัวประกอบมือคดูเลขชั้น=0.8 (1) จากการคำนวณ (2) จากการทดลอง	92
รูปที่ 7.5	ผลการทดลองของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์,ประสิทธิภาพ กรณี 6 พัลส์	93
รูปที่ 7.6	ผลการทดลองของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์,ประสิทธิภาพ กรณี 9 พัลส์	93
รูปที่ 7.7	ผลการทดลองของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์,ประสิทธิภาพ กรณี 12 พัลส์	94
รูปที่ 7.8	ผลการทดลองของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์,ประสิทธิภาพ กรณี 15 พัลส์	94
รูปที่ 7.9	แรงดันที่คาปาซิเตอร์ในวงจรช่วย Ecd กับช่วงเวลาคายประจุ τ	95
รูปที่ 7.10	คุณสมบัติทางด้านเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ กับตัวประกอบมือคดูเลขชั้น	96
รูปที่ 7.11	คุณสมบัติทางด้านเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ กับมุมเลื่อนเฟส	97
รูปที่ 7.12	แรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย E_d กับตัวประกอบมือคดูเลขชั้น สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์	98
รูปที่ 7.13	แรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย E_d กับมุมเลื่อนเฟส สำหรับกรณี 6 และ 15 พัลส์	99
รูปที่ 7.14	ระบบชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์	100
รูปที่ 7.15	ผลการคำนวณพลังงานรีแอคทีฟ กับมุมเลื่อนเฟส โดยที่ $I_d=2A$ (1) กรณี 6 พัลส์ (2) กรณี 15 พัลส์	102
รูปที่ 7.16	คลื่นกระแสอินพุทรวมของชุดชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์ระหว่างกระแสของ มอเตอร์และคอนเวอร์เตอร์ กรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์	103
รูปที่ 7.17	ผลการทดลองพลังงานรีแอคทีฟ กับมุมเลื่อนเฟสตั้งแต่ $0^\circ-60^\circ$	105

-

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการแบ่งความกว้างของพัลส์ λT	10
ตารางที่ 4.1 โหมดการทำงานและสัญญาณของแต่ละ เคาน์เตอร์	22
ตารางที่ 4.2 ความหมายของสัญญาณ αt ในรูปของสัญญาณนาฬิกา	24
ตารางที่ 4.3 ความหมายของสัญญาณ T ในรูปของสัญญาณนาฬิกาที่จำนวนพัลส์ต่างๆ	24
ตารางที่ 4.4 ช่วงเวลาของสัญญาณ λT , $X\lambda T$ และ $(1-X)\lambda T$ ที่จำนวนพัลส์ต่างๆ	26
ตารางที่ 5.1 ช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณี 6 พัลส์	41
ตารางที่ 5.2 ช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณี 9 พัลส์	42
ตารางที่ 5.3 ช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณี 12 พัลส์	43
ตารางที่ 5.4 ช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณี 15 พัลส์	45
ตารางที่ 5.5 บางเทอมในรูปทั่วไปของ $b_{\lambda n}$ สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์	58
ตารางที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่างๆกับสมการแรงดันสำหรับกรณี 6 พัลส์	72
ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่างๆกับสมการแรงดันสำหรับกรณี 9 พัลส์	73
ตารางที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่างๆกับสมการแรงดันสำหรับกรณี 12 พัลส์	74
ตารางที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่างๆกับสมการแรงดันสำหรับกรณี 15 พัลส์	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีของ ทรานซิสเตอร์ได้เจริญรุดหน้าไปมาก ได้มีการพัฒนาจีทีโอ ทรานซิสเตอร์ให้มีพิทด์กำลัง เพิ่มขึ้นและความเร็วในการทำงานสูงขึ้น เมื่อนำจีทีโอ ทรานซิสเตอร์และเทคนิคพิเศษลิเทียมมาใช้กับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ทำให้สามารถแก้ไขปัญหายของกระแสฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นในเอซีไลน์ และปัญหายของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่มีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับทรานซิสเตอร์ทั่วๆไป จากการที่จีทีโอ ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถหยุดนำกระแสได้เอง คอนเวอร์เตอร์นี้จึงไม่จำเป็นต้องมีวงจรคอมมิวเตท ทำให้โครงสร้างของวงจรง่าย ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา เมื่อคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำงานในลักษณะพิทด์ลิเทียมนี้จะมีจำนวนครั้งในการสวิตซ์สูงขึ้น ดังนั้นพลังงานคอมมิวเตทซึ่ง เกิดขึ้นในสวิตช์แอนด์แต่นซ์ของแหล่งจ่ายไฟสลับ (ac source leakage reactance) จะเกิดบ่อยครั้งขึ้น ผลที่ตามมาคือ คอนเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพต่ำลง และจีทีโอ ทรานซิสเตอร์อาจได้รับความเสียหายจากแรงดันสไปค์ที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในระหว่างการคอมมิวเตท ปัญหาเหล่านี้ได้มีผู้ศึกษามากมายสามารถแก้ไขได้หลายวิธีด้วยกัน [3]-[6] วิธีหนึ่งก็คือการพัฒนาเพิ่มเติมอีกส่วนของวงจร เข้ากับวงจรกำลังหลักของคอนเวอร์เตอร์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟสลับกับโพลดีซี วงจรส่วนเพิ่มเติมนี้จะจำกัดแรงดันสไปค์ในเอซีไลน์ เก็บและถ่ายเทพลังงานคอมมิวเตทจากด้านเอซีไปยัง โพลดีซี

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งศึกษาวิเคราะห์และทดสอบเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์ชนิดสามเฟส ซึ่งใช้จีทีโอ ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตซ์ตัดต่อโซลิตสเตท และเพิ่มเติมอีกส่วนของวงจรรช่วย (Auxiliary Circuit) เพื่อแปรรูปพลังงานคอมมิวเตทให้อยู่ในรูปของพลังงานใช้งาน เลือกและสร้างรูปแบบกระแสพิทด์ลิเทียมในเอซีไลน์ที่ห้องค์ประกอบฮาร์โมนิกน้อย และอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์สูง ศึกษาผลกระทบของจำนวนและความกว้างของพัลส์ ตลอดจนการเลื่อนเฟสของกระแสพิทด์ลิเทียมในเอซีไลน์ที่มีต่อคุณสมบัติของคอนเวอร์เตอร์ทั้งทางด้านอินพุทและเอาต์พุท นอกจากนี้ ยังศึกษาเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความเป็นไปได้ในการนำคอนเวอเตอร์นี้ไปใช้งานเป็นชุดเซตค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในระบบ แหล่งจ่ายไฟฟ้า

1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 8 บท โดยมีบทนำอยู่บนบทที่ 1 กล่าวถึงความ เป็นมาและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ส่วนรายละเอียดของบทต่างๆ อีก 7 บท มีดังต่อไปนี้ คือ

บทที่ 2 กล่าวถึง โครงสร้างและหลักการทำงานของวงจรกำลัง ซึ่งประกอบด้วย วงจรกำลังหลักและวงจรช่วย

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการออกแบบและการสร้างรูปแบบของลักษณะ คลื่นกระแสที่ดับลิว เอ็มในเอซีไลน์ ซึ่งประกอบด้วยจำนวนพัลส์ 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิลโดยละเอียด นอกจากนี้ ยังได้กล่าวถึงการออกแบบสัญญาณเกทของจีทีโอไทรสเตอร์ G₁-G₈

บทที่ 4 เป็นเรื่องของระบบควบคุมดิจิทัล ทำหน้าที่สร้างสัญญาณเกท G₁-G₈ ซึ่งประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ วงจรสร้างพัลส์ วงจรส่วนโคลสลับซึ่งทำงานในลักษณะ PI วงจรวัดมุมระหว่างแรงดันกับกระแส ในตอนท้ายของบทนี้ได้แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบอย่างละเอียด

บทที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์หาค่าประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์ อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม โดยเริ่มต้นจากการพิจารณารูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์สำหรับกรีกกระแสที่ดับลิวเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์

บทที่ 6 กล่าวถึงการวิเคราะห์หาสมการรูปทั่วไปของแรงดันเอาต์พุทเฉลี่ย สำหรับกรีกกระแสที่ดับลิวเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ จากนั้นจะศึกษาผลกระทบของจำนวนและความกว้างของพัลส์ ตลอดจนการเลื่อนเฟสของกระแสในเอซีไลน์ ที่มีต่อแรงดันเอาต์พุทเฉลี่ย

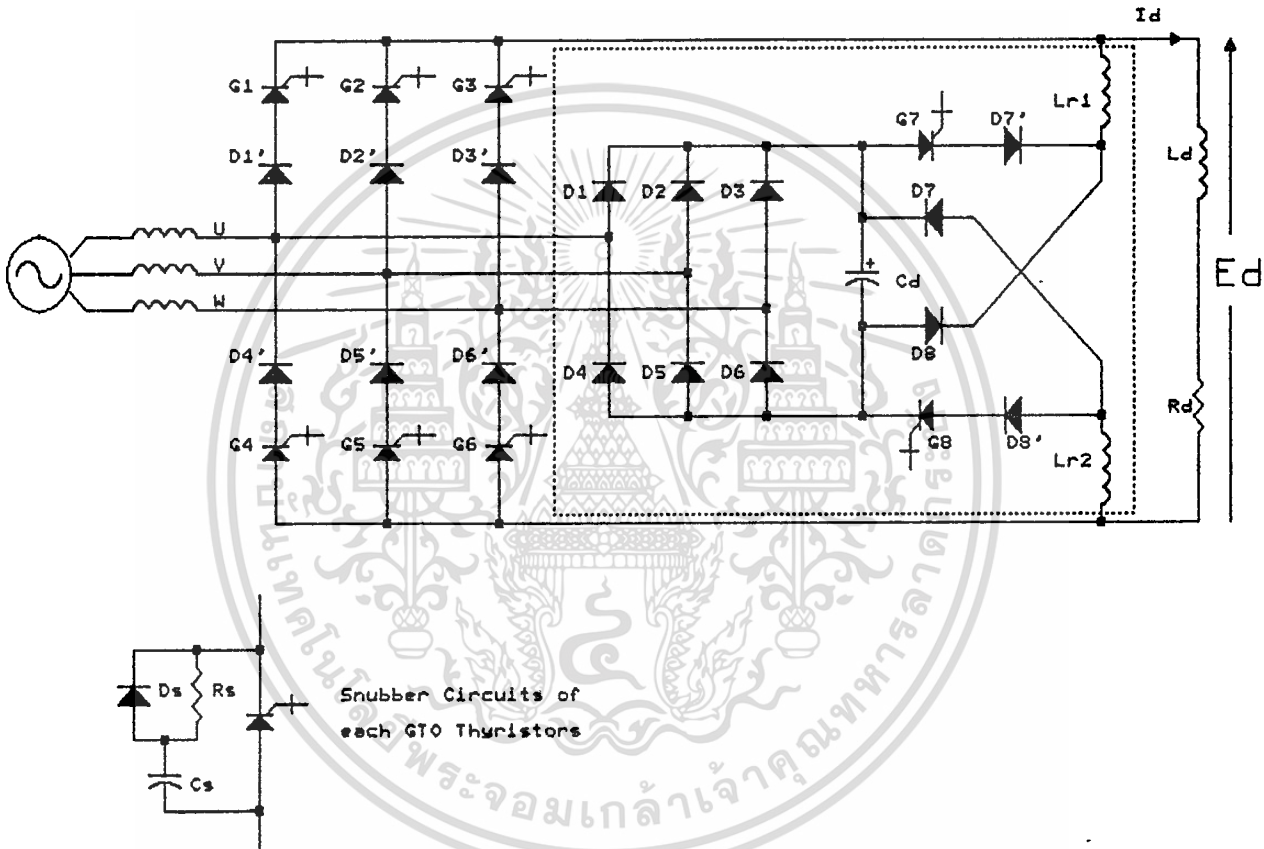
บทที่ 7 เป็นผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ทั้งทางด้านอินพุท และ เอาต์พุทของคอนเวอเตอร์ แนวความคิดในการแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์

บทที่ 8 เป็นการสรุปผลของการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2

วงจรกำลัง

วงจรกำลังของจีทีโอคอนเวอร์เตอร์ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ วงจรกำลังหลัก (Main Power Circuit) และวงจรช่วย (Auxiliary circuit) ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่อยู่ในบริเวณเส้นประ



รูปที่ 2.1 วงจรกำลังของจีทีโอคอนเวอร์เตอร์

2.1 วงจรกำลังหลัก (Main Power Circuit)

วงจรกำลังหลัก ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบฟีดแบลิว เอ็ม ซึ่งประกอบด้วยจีทีโอทริสเตอร์ 6 ตัว (G1-G6) ซึ่งสามารถต้านแรงดันย้อนกลับได้ จีทีโอทริสเตอร์เหล่านี้ใช้ในการเรียงกระแสสลับสามเฟส และควบคุมกระแสอินพุทเอซีไลน์ในลักษณะฟีดแบลิว เอ็มได้ โดยสัญญาณเกตและสมุดตั้งรีแอ็คเตอร์ L_d ที่อยู่ด้านโหลดคือซีของคอนเวอร์เตอร์

การ ON-OFF จีทีโอไทรสเตอร์แต่ละตัวจะถูกควบคุมโดยตรงด้วยสัญญาณเกท การคอมมิวเตทของวงจรถึง เป็นการคอมมิวเตทเชิงบังคับ

จีทีโอไทรสเตอร์บางชนิดนั้นไม่สามารถต้านทานแรงดันย้อนกลับได้ ฉะนั้น เมื่อจะนำใบใช้งานจึงจำเป็นต้องต่อไดโอดอนุกรมกับจีทีโอไทรสเตอร์ดังกล่าว เพื่อให้ได้จีทีโอไทรสเตอร์ที่สามารถต้านทานแรงดันย้อนกลับได้ แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ต่อไดโอดอนุกรมกับจีทีโอไทรสเตอร์ ทั้งนี้ เพื่อเพิ่มอัตราทนแรงดันย้อนกลับของจีทีโอไทรสเตอร์

วงจรถับเบอร์ (R_s , C_s และ D_s) ซึ่งต่อคร่อมจีทีโอไทรสเตอร์แต่ละตัว จะทำหน้าที่ลดอัตราการเพิ่มของแรงดัน (rate of voltage rise) และจำกัดแรงดันสไปค์เนื่องจากสเตรย์อินดักแตนซ์ตลอดช่วงสายต่อที่ขาเอาอินดและคาโอด

รูปที่ 2.2(1) แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันระหว่างไลน์สองไลน์ซึ่งแสดงอยู่ในบริเวณแรงเงาจะ ปรากฏที่โหนดดีซี กับสัญญาณเกทดังแสดงในรูปที่ 2.2(2) แรงดันเอาท์พุทดีซี E_d และกระแสเอชี่ไลน์ I_u , I_v และ I_w ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2(3)-(6)

แต่ในความเป็นจริงแล้ว แหล่งจ่ายไฟจะมีลิกเกจรีแอ็คแตนซ์ ($L_s > 0$) ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันสไปค์ขณะที่จีทีโอไทรสเตอร์แต่ละตัวเกิดการคอมมิวเตท แรงดันสไปค์นี้อาจทำให้จีทีโอไทรสเตอร์เสียหายได้ จึงได้พัฒนาจจรช่วย (Auxiliary Circuit) ขึ้นมาใหม่ซึ่งแสดงในบริเวณเส้นประ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

2.2 วงจรถช่วย (Auxiliary Circuit)

วงจรถช่วยแสดงในบริเวณเส้นประ [5] ประกอบด้วยไดโอดบริดจ์สามเฟส (D_1 - D_6) คาปาซิเตอร์ชนิดอิเล็กโตรไลต์ (C_a) ซีบเปอร์จีทีโอ (G_7, G_8) และวงจรถ่วงกัน (L_{r1} , L_{r2} และ D_7 , D_8) ไดโอดบริดจ์ (D_1 - D_6) จะต่อไฟเอชี่เข้ากับคาปาซิเตอร์ (C_a) เมื่อเกิดแรงดันสไปค์ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดันที่คาปาซิเตอร์ C_a คาปาซิเตอร์ C_a ใช้ในการเก็บสะสมพลังงานคอมมิวเตทที่เกิดขึ้นในลิกเกจรีแอ็คแตนซ์ของแหล่งจ่ายไฟ [3][4] โดยจะมีการคายพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในคาปาซิเตอร์ไปสู่ด้านโหนดดีซีเป็นระยะห่างเท่าๆ กัน โดยการควบคุมซีบเปอร์จีทีโอ (G_7, G_8) ให้นำกระแสพร้อมกันในช่วงระยะเวลา τ หลังจากเสร็จสิ้นการคอมมิวเตทนางจกรกำลังหลัก วงจรถ่วงกันจะใช้ในการประจุคาปาซิเตอร์ C_a ด้วยพลังงานแม่เหล็กซึ่งสะสม

ใน L_{r1} , L_{r2} ทางลูปกระแสฟรีวิล (L_{r2} - D_7 - C_a - D_8 - L_{r1} -LOAD) ในทันทีที่ G_7 และ G_8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้า ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยุดนำกระแส ส่วนสมุดตั้งรีแอกเตอร์ (L_d) จะเข้าในการปรับกระแสไหลดดีซีให้เรียบ และ R_d คือ ความต้านทานโหลด

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในวงจรกำลังมีค่าดังนี้ คือ

$$L_{r1}, L_{r2} = 5 \text{ mH}$$

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

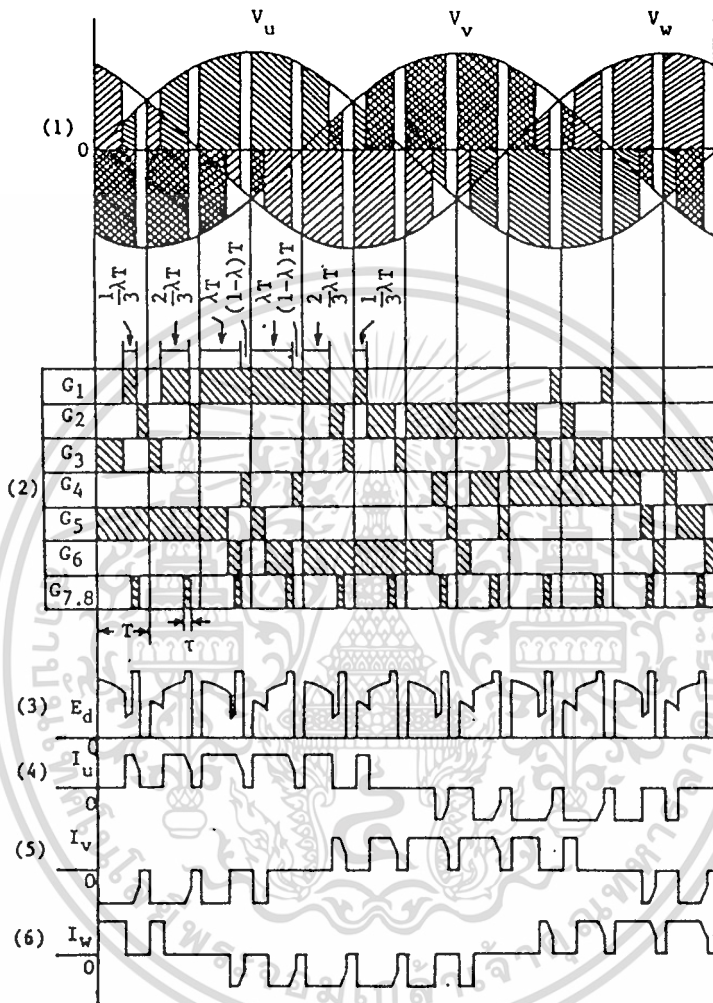
$$C_d = 120 \text{ uF}$$

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

$$C_s = 0.47 \text{ uF}$$

การที่ทำให้กระแสอินพุทเอซีไลน์มีลักษณะพีคดับลิวเอ็มนั้น ก็เพื่อลดค่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่ำในกระแสเอซีไลน์ และปรับปรุงค่าอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ให้ดีขึ้น รูปแบบกระแสพีคดับลิวเอ็มที่ใช้กับคอนเวอร์เตอร์นี้สามารถเลือกจำนวนพัลส์ได้ดังนี้ คือ 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

นอกจากนี้ รูปแบบกระแสพีคดับลิวเอ็มที่นำเสนอนี้ยังสามารถเลื่อนเฟสได้ในช่วงจากมุมล้าหน้า 90° จนถึงมุมล้าหลัง 90° จากความสามารถดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำคอนเวอร์เตอร์นี้ไปใช้งานชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.2 การสร้างรูปแบบกระแสที่ดับลิวเอ็ม 6 พัลส์
(1) แรงดันอินพุตสามเฟส (V_u , V_v และ V_w)
(2) สัญญาณเกททั้งแปด (G_1 - G_8)
(3) แรงดันเอาต์พุตดีซี E_d
(4)-(6) กระแสที่ดับลิวเอ็มเฟส u , v และ w ตามลำดับ

บทที่ 3

ลักษณะคลื่นพัลส์บลิว เอ็มในกระแสเอซีไลน์และสัญญาณเกท

3.1 แนวความคิดในการออกแบบลักษณะคลื่นกระแสพัลส์บลิว เอ็ม

เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมหนักตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน จะเป็นคอนเวอร์เตอร์ชนิดควบคุมเฟส ซึ่งมีโครงสร้างง่ายและวางจรงกำลังจะมีอุปกรณ์เพียงไม่กี่ชิ้น แต่การรั้งคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้สร้างปัญหาให้กับระบบไฟฟ้ากำลังเป็นอย่างมาก ว่าจะ เป็นปัญหาของอินพุทเพาเวอร์แฟลคเตอร์หรือฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นในกระแสเอซีไลน์ ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขให้ดีขึ้นได้โดยใช้คอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานในรูปแบบพัลส์บลิว เอ็ม ซึ่งมีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น EPWM (Equal Pulsewidth Modulation), SPWM (Sinusoidal Pulsewidth Modulation), TM (Trapezoidal Pulsewidth Modulation) เป็นต้น

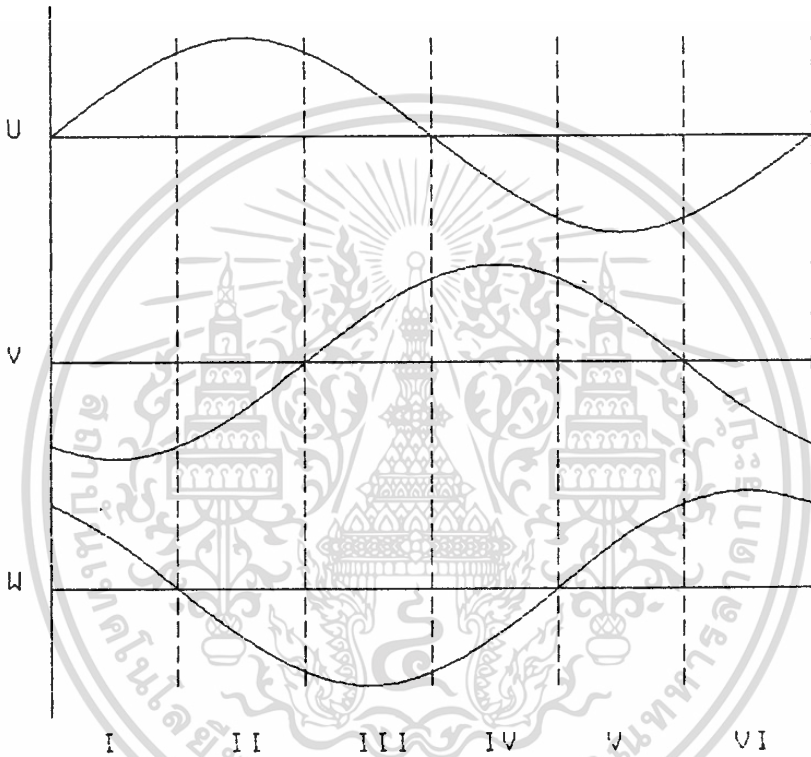
ในวิทยานิพนธ์นี้สัญญาณเกทที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ เมื่อป้อนเข้าทางขาเกทของจีทีโอไทรซิสเตอร์ เพื่อควบคุมการเปิดเบิศจีทีโอไทรซิสเตอร์ในวงจรเรียงกระแสสามเฟส จะได้กระแสอินพุทเอซีไลน์ทั้งสามเฟสในลักษณะพัลส์บลิว เอ็มแบบชายนี่ ส่วนกระแสโหลดดีซีจะถูกทำให้เรียบด้วยสมูดติ่งรีแอ็คเตอร์ และขนาดกระแสโหลดดีซีจะเป็นตัวแสดงถึงขนาดพีคของพัลส์พัลส์บลิว เอ็มของกระแสเอซีไลน์ ความกว้างของแต่ละพัลส์กระแสจะขึ้นอยู่กับความกว้างพัลส์ของสัญญาณเกทที่ป้อนให้จีทีโอไทรซิสเตอร์ ดังนั้น เราจึงสามารถปรับขนาดของกระแสพัลส์บลิว เอ็มได้ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

1. โดยการเปลี่ยนความต้านทานโหลด R_d
2. โดยการเปลี่ยนความกว้างพัลส์ของกระแสพัลส์บลิว เอ็ม ซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนตัวประกอบมอดดูเลชัน λ ของสัญญาณเกท

ในการออกแบบ รูปแบบคลื่นกระแสพัลส์บลิว เอ็มของกระแสเอซีไลน์ จะประกอบด้วย 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล ขึ้นแรกจะพิจารณาจากลักษณะคลื่นกระแสเอซีไลน์เฟส U, V และ W ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีความต่างเฟสระหว่างสองเฟสเป็น 120° โดยที่เฟส U จะมีพัลส์ที่กว้างที่สุดบริเวณมุม $90^\circ, 270^\circ, \dots$ และแคบที่สุดอยู่บริเวณมุม $0, 180^\circ, \dots$ เฟส V จะมีพัลส์ที่กว้างที่สุดบริเวณมุม $-90^\circ+120^\circ, 90^\circ+120^\circ, \dots$ และแคบที่สุดอยู่บริเวณมุม $-180^\circ+120^\circ, 120^\circ, \dots$ เฟส W พัลส์กว้างที่สุดอยู่บริเวณมุม $-90^\circ+240^\circ, 90^\circ+240^\circ, \dots$ และพัลส์ที่แคบที่สุดจะอยู่บริเวณมุม $-180^\circ+240^\circ, 240^\circ, \dots$ สำหรับพัลส์กระแสพัลส์บลิว เอ็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 "ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

เหลื่อจะวางตัวอยู่ระหว่างพัลส์ที่แคบที่สุดกับพัลส์ที่กว้างที่สุด โดยพัลส์เหล่านี้อยู่ทางซ้ายของพัลส์ที่กว้างที่สุดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากพัลส์ที่แคบที่สุดไปทางพัลส์ที่กว้างที่สุด แล้วพัลส์ที่อยู่ขวาของพัลส์ที่กว้างที่สุดจะค่อย ๆ ลดลงจากพัลส์ที่กว้างที่สุดไปยังพัลส์ที่แคบที่สุด ในการออกแบบ จำนวนพัลส์ที่กว้างที่สุดดังกล่าวข้างบนอาจจะเป็น 2, 3, 4 หรือ 5 พัลส์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนพัลส์กระแสที่ดับลิวดิเอ็มทั้งหมดในแต่ละครึ่งไซเคิล ตัวอย่างเช่น จำนวนพัลส์ที่กว้างที่สุด (m) เท่ากับ 2 สำหรับกรณีกระแสที่ดับลิวดิเอ็ม 6 พัลส์ และ 3, 4, 5 สำหรับกรณี 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ลักษณะคลื่นกระแสเฟส U, V, W ในหนึ่งไซเคิล

3.2 ลักษณะคลื่นกระแสที่ดับลิวดิเอ็ม 6, 9, 12, 15 พัลส์

เมื่อระบบควบคุมดิจิตอลทำงานร่วมกันกับวงจรกำลัง ทำให้เราสามารถสร้างคลื่นกระแสที่ดับลิวดิเอ็มสามเฟสในเอซีไลน์ได้หลายลักษณะ เช่น สามารถเลือกจำนวนพัลส์ที่ดับลิวดิเอ็มได้ 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล และปรับความกว้างของพัลส์ที่ดับลิวดิเอ็มได้ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบรูปแบบกระแสที่ดับลิวดิเอ็ม 6 พัลส์ ในแต่ละครึ่งไซเคิลเป็นดังนี้

เริ่มต้นจะแบ่งกระแสแต่ละเฟสในหนึ่งไซเคิลในรูปที่ 3.1 ออกเป็น 6 ช่วง คือ ช่วงที่

I, II, III, ..., VI ช่วงละ 60° และมีจำนวนพัลส์กระแสเท่าๆกันในแต่ละช่วง คือ จะมีจำนวนพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

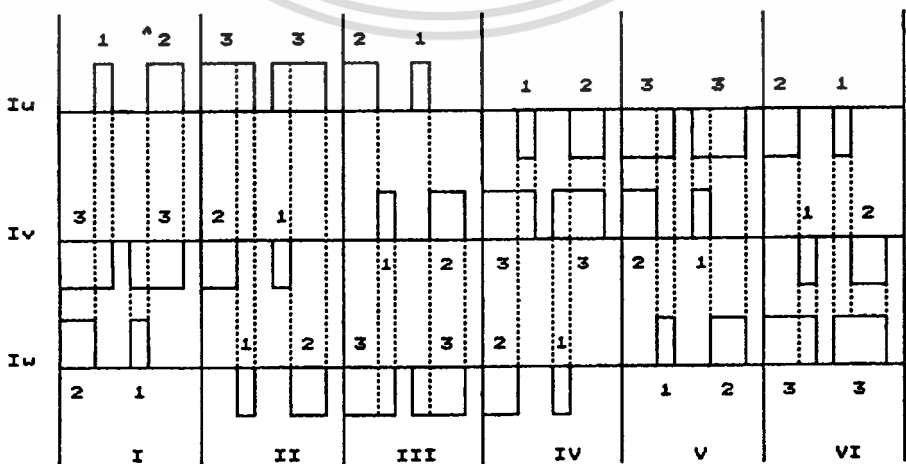
นวนพัลส์เป็น 2, 3, 4 หรือ 5 สำหรับกรณีกระแสที่ดับลิ่วเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ

พิจารณาจากพัลส์กระแสที่กว้างที่สุด มีความกว้างพัลส์เท่ากับ λT โดยที่ T คือช่วงเวลา $1/12$ ของคาบเวลาหนึ่งไซเคิลพัลส์ และสามารถปรับความกว้างพัลส์ได้ในช่วง 0 ถึง T โดยทำการปรับค่าตัวประกอบมอดดูเลขชั้น λ จาก 0 ถึง 1

พัลส์กระแสดังกล่าวจำนวน 2 พัลส์ซึ่งห่างกัน $(1-\lambda)T$ วางอยู่ในช่วงเวลา $2T$ และอยู่ในเฟส $-V$ สำหรับช่วงที่ I และอยู่ในลำดับเฟส $U, -W, V, -U$ และ W สำหรับช่วงที่ II, III, ..., VI ตามลำดับ การวางพัลส์ดังกล่าวจำนวน 2 พัลส์จะอยู่ตรงกับค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของรูปคลื่นกระแสสามเฟส

ต่อไปจะทำการแบ่งพัลส์กระแส λT ออกเป็น 2 ส่วน อัตราส่วนการแบ่งเป็น 2:1 และ 1:2 ตามลำดับ แต่ละส่วนของพัลส์กระแสที่แบ่งแล้วจะโอบรากลอยู่ในสองเฟสที่เหลือ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปคลื่นกระแสที่ดับลิ่วเอ็มสามเฟส

รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการวางแต่ละส่วนของพัลส์กระแสที่แบ่งแล้วในสองเฟสที่เหลือ ด้วยวิธีการนี้เพื่อที่จะสร้างคลื่นที่ดับลิ่วเอ็มครึ่งไซเคิลบวกในเฟส U ในช่วงที่ I ส่วนที่ 2 ของพัลส์ที่ 1 และส่วนที่ 2 ของพัลส์ที่ 2 จะวางในเฟส U ด้วยอัตราส่วน 1:2 ส่วนที่เหลือของพัลส์เดียวกันต้องวางอยู่ในเฟส W ด้วยอัตราส่วน 2:1 ในทำนองเดียวกัน ในช่วงที่ III ส่วนที่ 1 ของพัลส์ที่ 1 และส่วนที่ 1 ของพัลส์ที่ 2 จะวางอยู่ในเฟส U ด้วยอัตราส่วน 2:1 ส่วนที่เหลือจะวางอยู่ในเฟส V ด้วยอัตราส่วน 1:2 จึงสรุปได้ว่ากระแสที่ดับลิ่วเอ็ม 6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล มีอัตราส่วนความกว้างเป็น 1: 2: 3: 3: 2: 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระแสที่ดับลิ่วเอ็ม 6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการออกแบบรูปแบบกระแสที่ดับลิวเอม 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล นั้น ก็สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันกับกรณี 6 พัลส์ เพียงแต่จะมีจำนวนพัลส์ที่กว้างที่สุด λT เท่ากับ 3, 4 และ 5 พัลส์สำหรับกรณีกระแสที่ดับลิวเอม 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ โดยจะมีอัตราส่วนการแบ่งความกว้างของพัลส์ λT ดังตารางที่ 3.1 ดังนั้น รูปแบบกระแสที่ดับลิวเอม 9, 12, 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิลจะมีอัตราส่วนความกว้างของพัลส์เป็นดังนี้

กรณี 9 พัลส์ 1: 2: 3: 4: 4: 4: 3: 2: 1

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

กรณี 15 พัลส์ 1: 2: 3: 4: 5: 6: 6: 6: 6: 6: 5: 4: 3: 2: 1

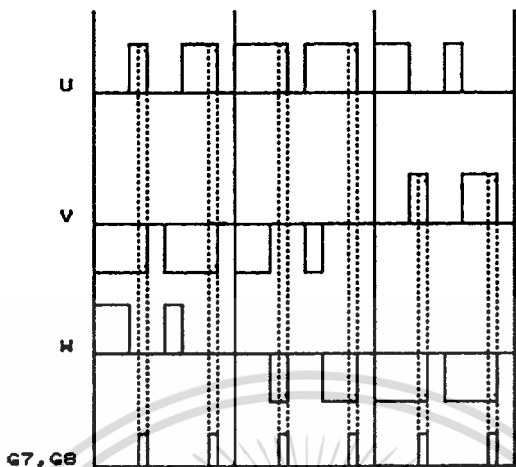
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนการแบ่งความกว้างของพัลส์ λT

พัลส์ที่	1	2	3	4	5
6 พัลส์	2:1	1:2			
9 พัลส์	3:1	1:1	1:3		
12 พัลส์	4:1	3:2	2:3	1:4	
15 พัลส์	5:1	2:1	1:1	1:2	1:5

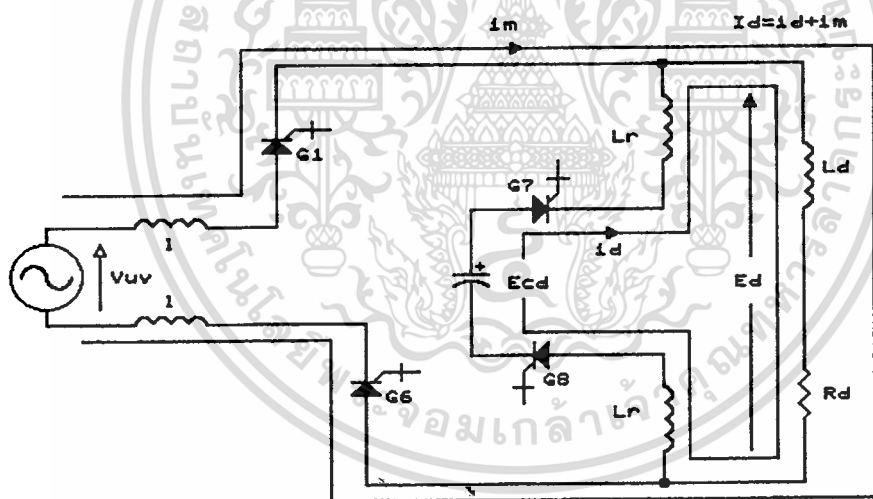
เมื่อวงจรกำลังหลักทำงานร่วมกับวงจรช่วยนั้น จะทำให้รูปแบบกระแสที่ดับลิวเอมในแต่ละเฟสผิดเพี้ยนไปเล็กน้อยที่บริเวณมุมบนด้านขวาของพัลส์กระแส 4 พัลส์แรกสำหรับกรณี 6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าการคายประจุของคาปาซิเตอร์ C_a ในวงจรช่วยไปทางด้านโพลิตีซีของที่จ็ทโรทริสเตอร์ G_7 และ G_8 กำลังนำกระแส ช่วงเวลาคายประจุนี้ จะเกิดขึ้นเป็นระยะๆ ปรากฏให้เห็นที่ช่วงปลายของพัลส์กระแสซึ่งแสดงไว้ด้วยเส้นประในรูปที่ 3.3 กระแสคายประจุจากคาปาซิเตอร์ C_a ไปทางด้านโพลิตีซีจะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันกับกระแสที่ไหลจาก 2 เฟสของแหล่งจ่ายไฟเอซี การทำงานของวงจรในช่วงเวลาที่มีคายประจุจะเป็นดังรูปที่ 3.4 ดังนั้น กระแสโพลิตีซี I_a ในช่วงเวลานั้นจะประกอบด้วยกระแส 2 ส่วน กระแสจากการคายประจุจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา $(E_{cd}-E_d)/2Lr$ ทั้งนี้เพราะว่า E_{cd} จะมีค่าสูงกว่า E_d

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นหน้าใบเซปรังเขียนขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสมอ และกระแสไอซีไลน์ (ในเฟส U และ -W) ขณะนั้นจะต้องลดลงในอัตราเดียวกันกับอัตราเพิ่มของกระแสคายประจุ ทั้งนี้เพื่อรักษาให้กระแสไหลดคีซีมีค่าคงที่



รูปที่ 3.3 การผิตเพี้ยนที่มพัลส์ของกระแสฟัดบลิวเอ็ม



รูปที่ 3.4 วงจรกำลังขณะที่คาปาซิเตอร์กำลังคายประจุ

3.3 การออกแบบสัญญาณเกท

3.3.1 สัญญาณเกทสำหรับกรรณาระแสฟัดบลิวเอ็ม 6 พัลส์

การออกแบบรูปแบบสัญญาณเกทของจีทีโอไทรสเตอร์ G_1-G_8 จะเริ่มต้นพิจารณาจากรูปคลื่นกระแสฟัดบลิวเอ็มในเอซีไลน์สามเฟสดังรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่ามีช่วงเวลาที่ไม่ม่กระแสไหล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญได้เห็นว่าใบไซประยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเอซีไลน์ทั้ง 3 เฟส คือ ช่วงเวลา $(1-\lambda)T$ ทั้งนี้เพราะว่ากระแสไหลดดีซี I_a ในช่วงเวลานั้นจะไหลผ่านจีโอโทริสเตอร์ส่วนบนและส่วนล่างในไลน์เดียวกันของวงจรกำลังหลัก ดังนั้นจะมีเพียง 2 กิ่งของวงจรเรียงกระแสสามเฟสที่สามารถเลือกเป็นทางไหลวนของกระแสไหลดดีซี I_a คือ ทางแรกประกอบด้วยจีโอโทริสเตอร์ G_1 และ G_4 และอีกทางจะประกอบด้วยจีโอโทริสเตอร์ G_2 และ G_5 เป็นทางไหลวนของกระแสไหลดดีซี I_a เพื่อทำให้ได้วงจรควบคุมที่ง่ายกว่าจึงได้เลือกเส้นทางจีโอโทริสเตอร์ G_2 และ G_5 จากที่พิจารณาข้างต้นจึงสามารถเขียนสรุปเป็นรูปแบบสัญญาณเกท G_1 - G_8 ดังรูปที่ 3.5

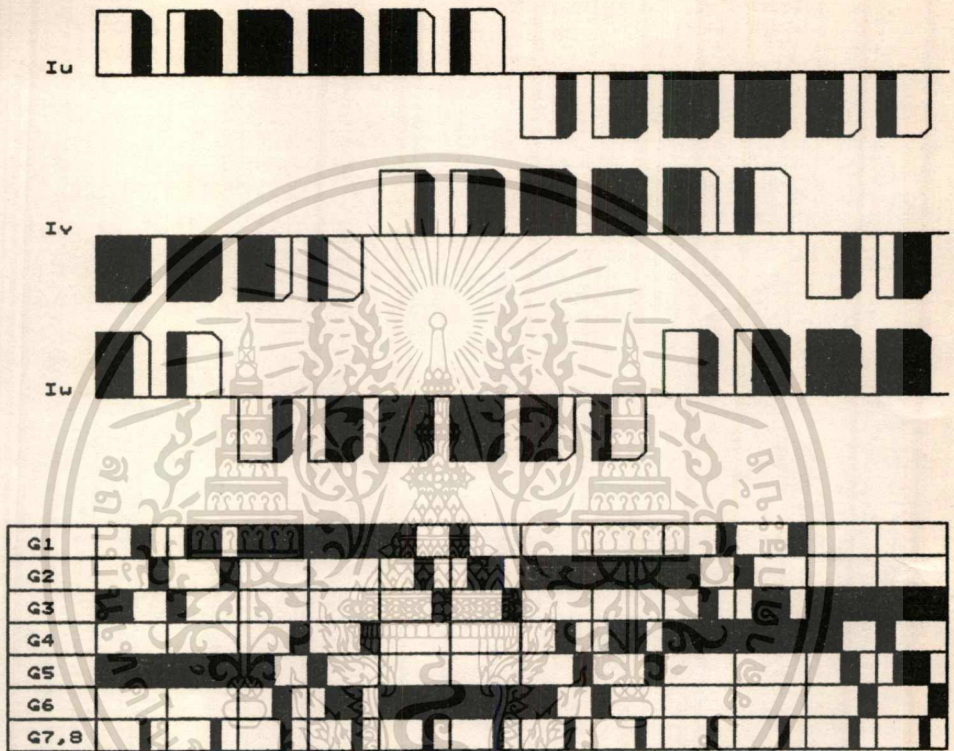
3.3.2 สัญญาณเกทสำหรับกรณีสื่อกระแสที่ดับลิ่วเอ็ม 9,12,15 พัลส์

ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึงการออกแบบสัญญาณเกทสำหรับกรณี 6 พัลส์ ในทำนองเดียวกัน สัญญาณเกทสำหรับกรณี 9, 12 และ 15 พัลส์นั้น พิจารณาในทำนองเดียวกันกับกรณี 6 พัลส์ ก็จะได้สัญญาณเกทสำหรับกรณีสื่อกระแสที่ดับลิ่วเอ็ม 9, 12, และ 15 พัลส์ดังในรูปที่ 3.6-3.8

เมื่อบ่อนสัญญาณเกทที่ออกแบบไว้แล้วเข้าทางขาเกทของจีโอโทริสเตอร์ G_1 - G_8 จะได้รับคลื่นทดลองของกระแสที่ดับลิ่วเอ็มในเอซีไลน์สามเฟส I_u, I_v และ I_w ที่ตัวประกอบมอดคูละชัน $\lambda=0.7$ คาบเวลาดายประจุ $\tau=200$ μ s ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับรูปคลื่นที่ดับลิ่วเอ็มที่เราออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.5

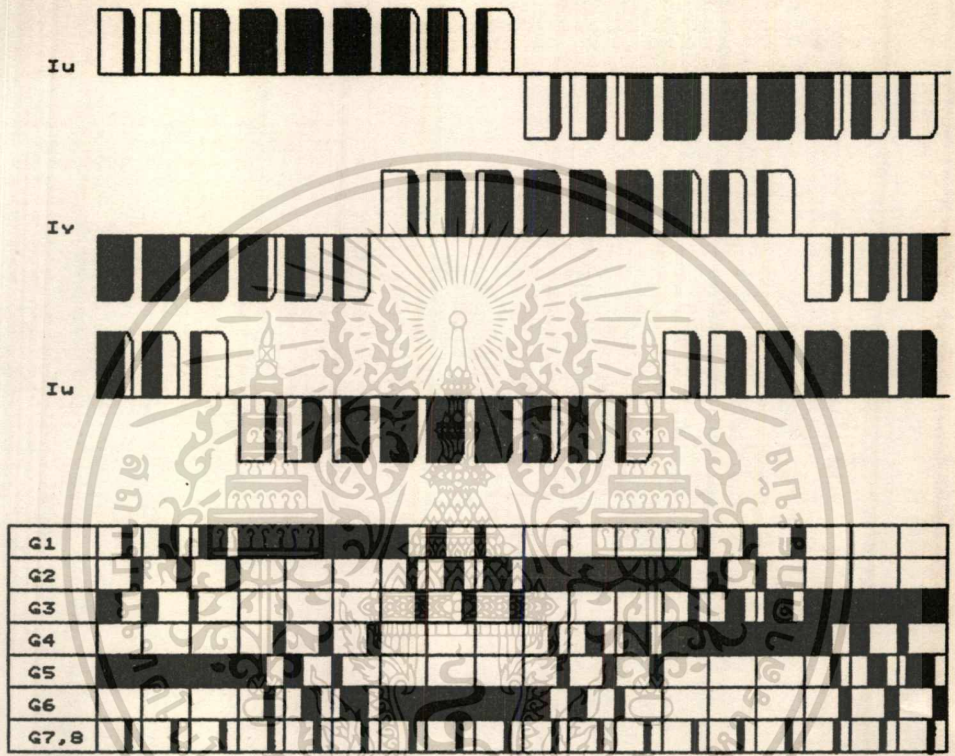
รูปที่ 3.10(1)-(4) แสดงรูปคลื่นทดลองของกระแสที่ดับลิ่วเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิลตามลำดับ

รูปที่ 3.11(1)-(3) เป็นลักษณะคลื่นกระแสที่ดับลิ่วเอ็ม 6 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส $\alpha=-60^\circ, 0^\circ$ และ 60° ตามลำดับ



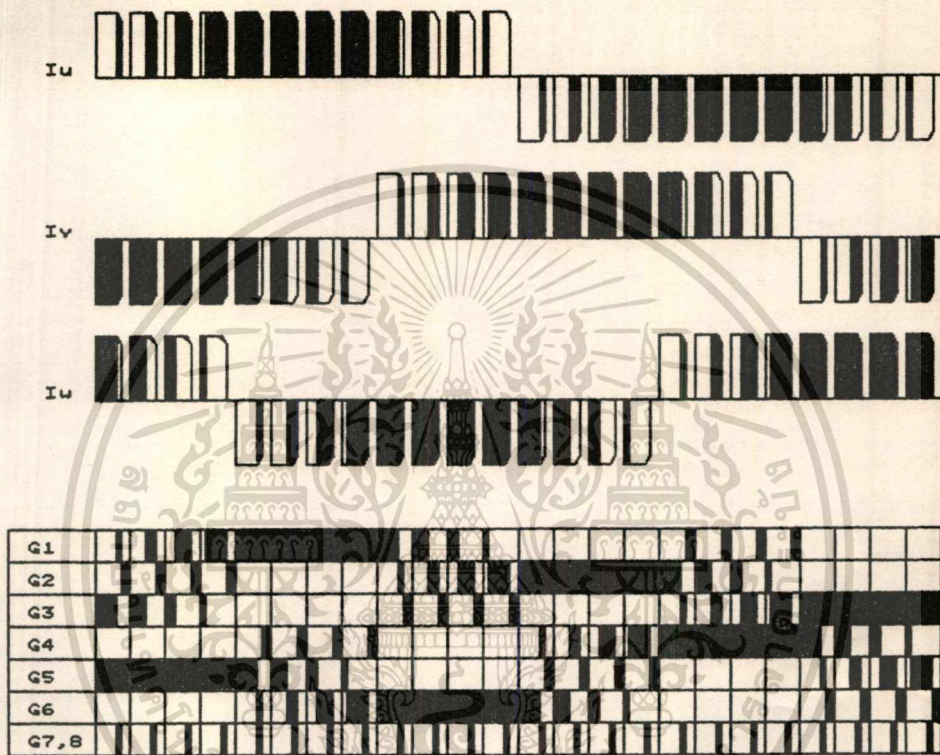
รูปที่ 3.5 รูปแบบกระแสที่กับลิวเอ็ม 6 พัลส์ และสัญญาณเกททั้งแปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



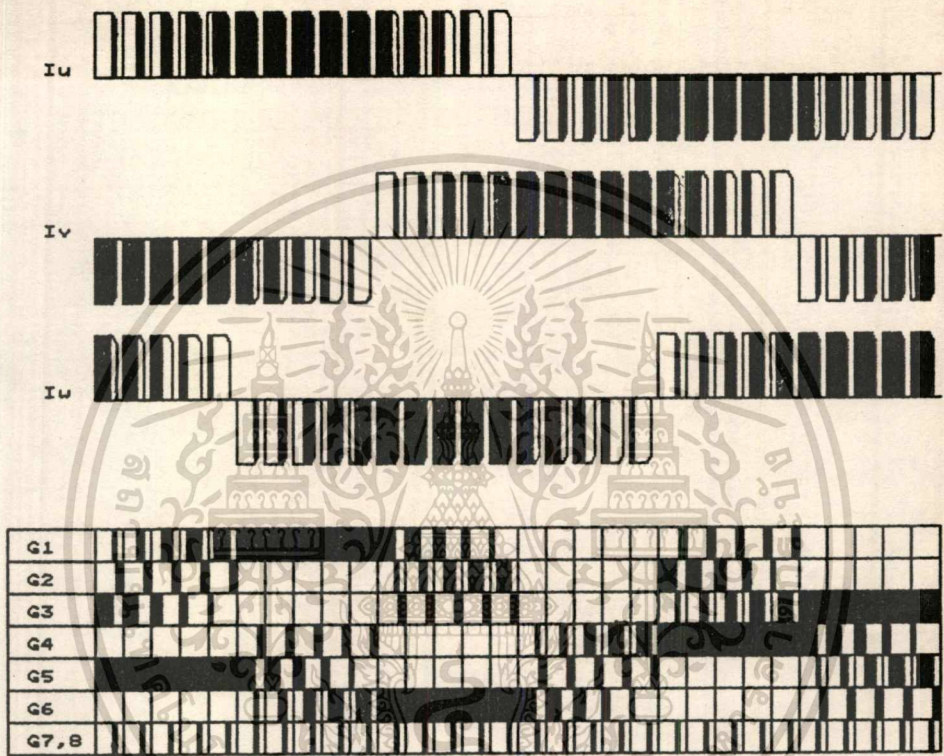
รูปที่ 3.6 รูปแบบกระแสฟีดแบ็ลลิวเอ็ม 9 พัลส์ และสัญญาณเกททั้งแปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

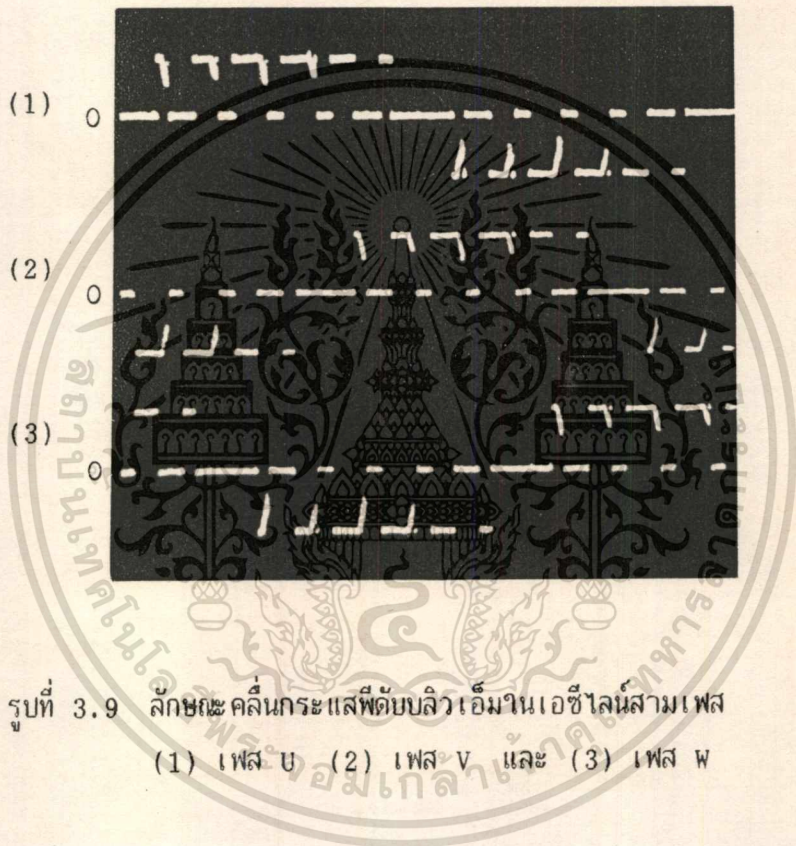


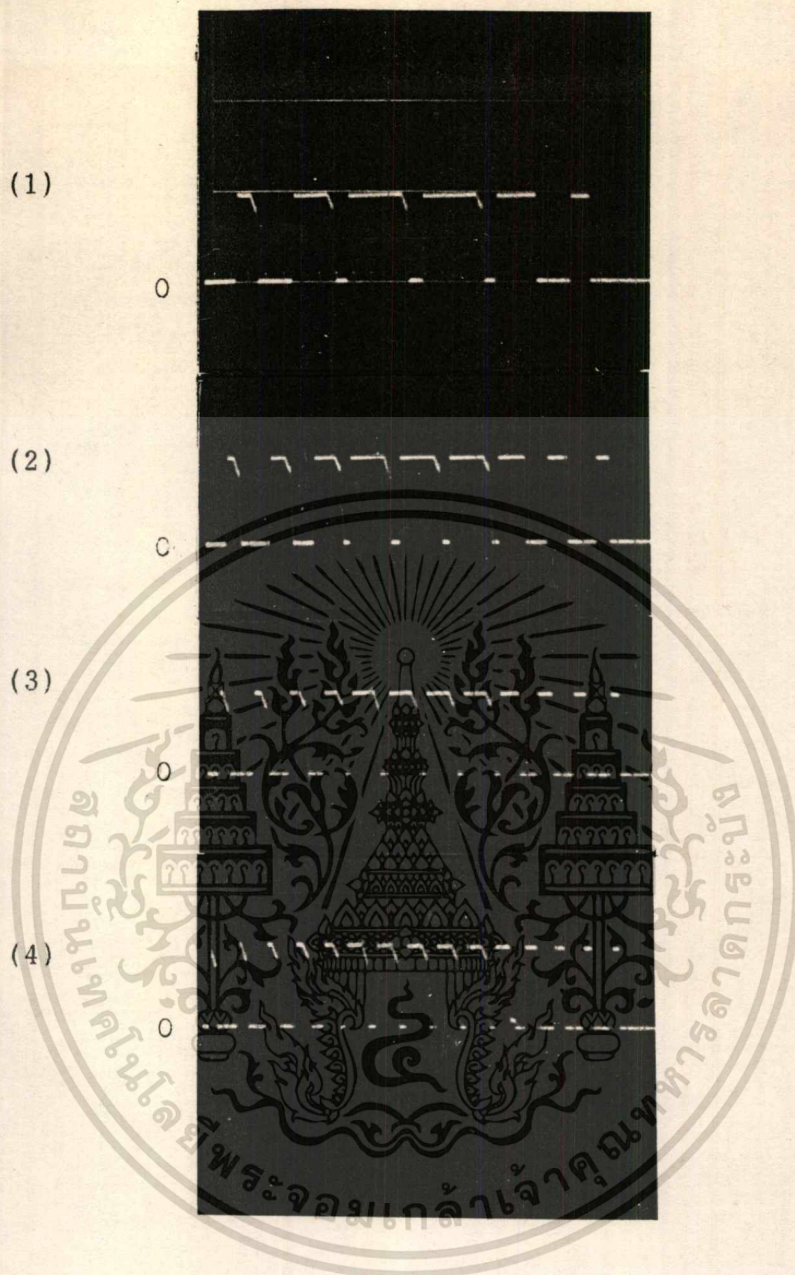
รูปที่ 3.7 รูปแบบกระแสปิทับลิวเอ็่ม 12 พัลส์ และสัญญาณเกทหั้งแปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 รูปแบบกระแสพีคิมบลิวเอ็ม 15 พัลส์ และสัญญาณเกททั้งแปด

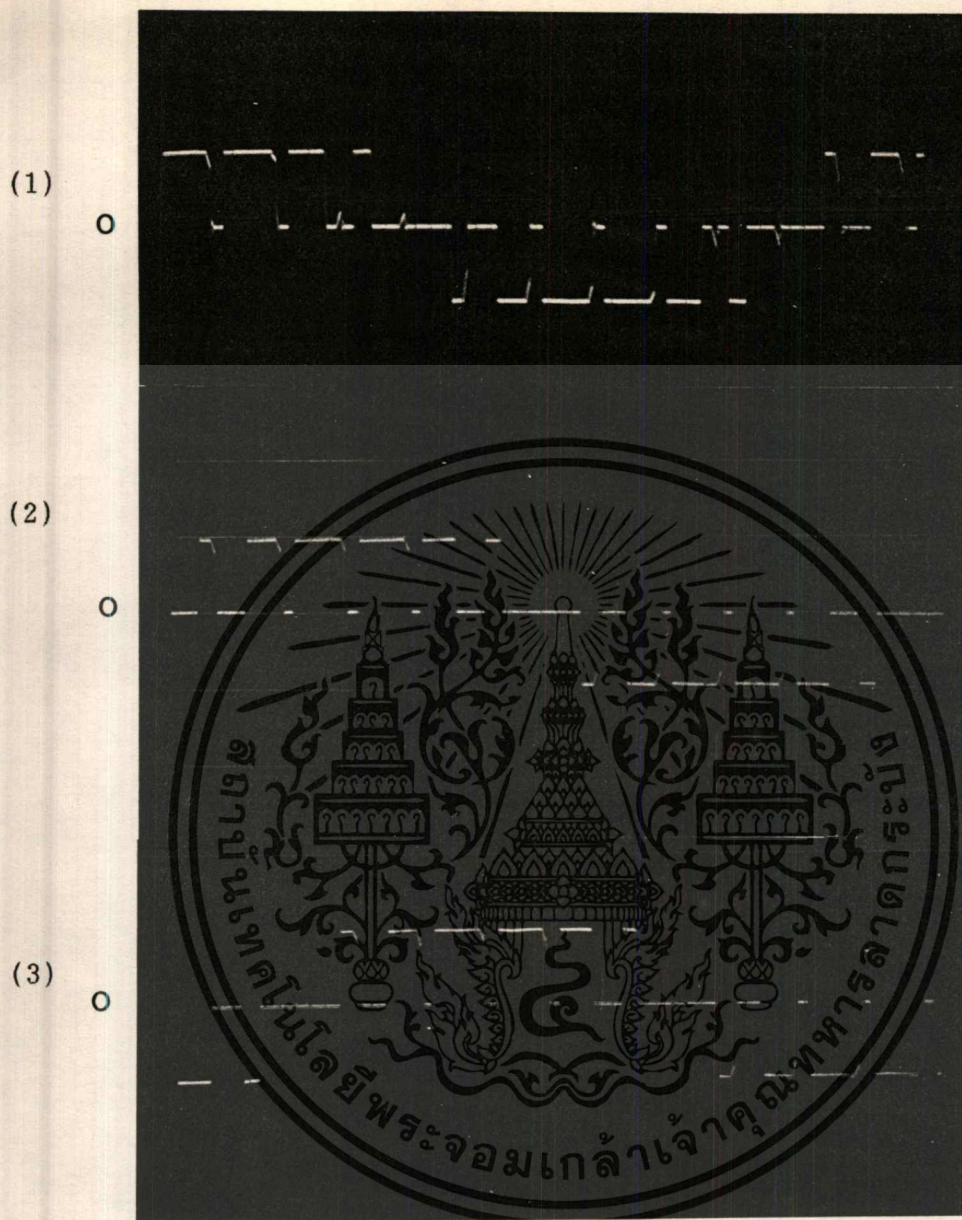




รูปที่ 3.10 ลักษณะคลื่นกระแสที่ดับลิวเอ็มนในแต่ละครั้ง 1 ซ.เคล

(1) กรณี 6 พัลส์ (2) กรณี 9 พัลส์

(3) กรณี 12 พัลส์ (4) กรณี 15 พัลส์

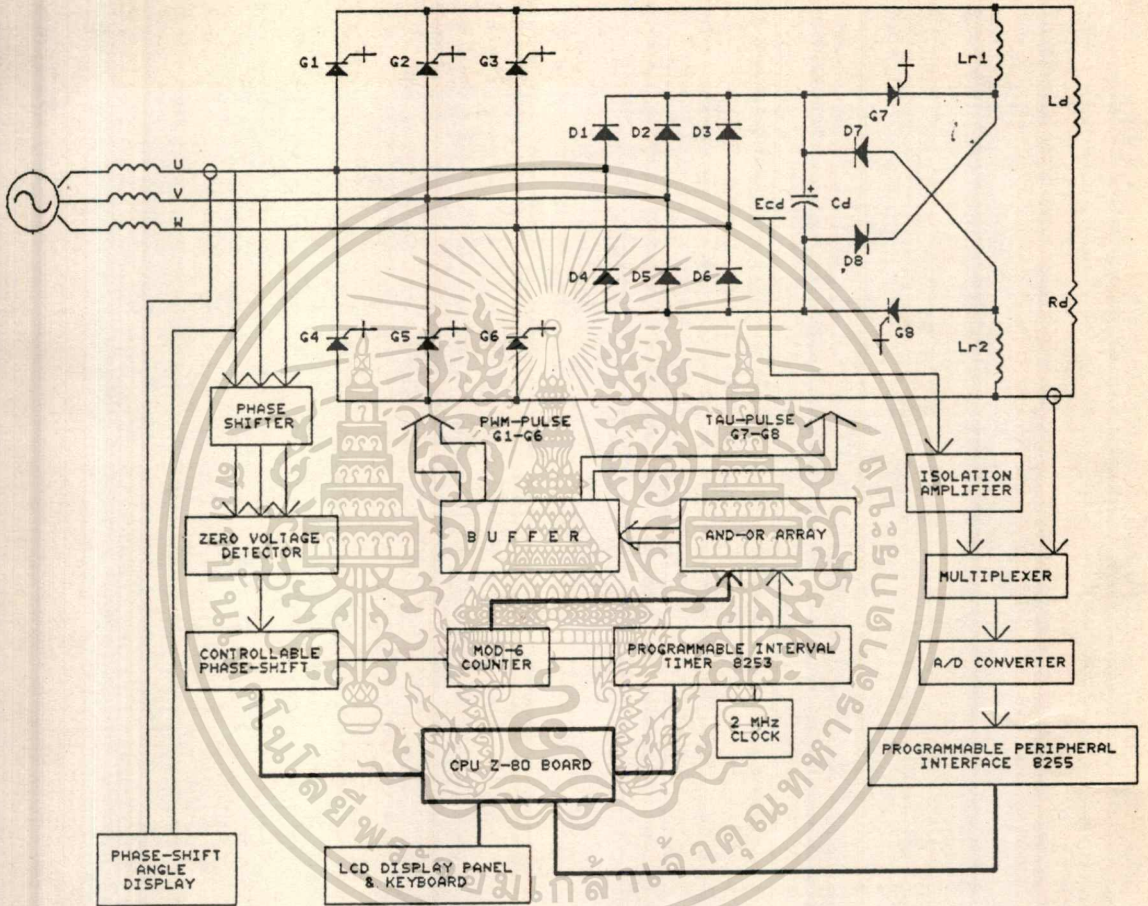


รูปที่ 3.11 คลื่นกระแสพิคดับลิวเอ็ม 6 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส
(1) -60° (2) 0° และ (3) 60°

บทที่ 4

ระบบควบคุมดิจิทัล

ระบบควบคุมดิจิทัล (Digital Control System) [1][2] สามารถใช้ในการควบคุมการทำงานบางส่วนของวงจรกำลังได้ 6 ลักษณะด้วยกัน คือ



รูปที่ 4.1 รายละเอียดของระบบควบคุมดิจิทัล

- (1) จำนวนพัลส์ของคลื่นกระแสที่ระดับลิแวนต์ (m) สามารถปรับเปลี่ยนให้อยู่ในจำนวน 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ได้
- (2) สามารถเลื่อนเฟสของกระแสเอซีไลน์ (α) ให้มีมุมเฟสแตกต่างกับแรงดันเอซีในช่วงจากมุมล้าหน้า 90° ถึงมุมล้าหลัง 90°
- (3) ความกว้างพัลส์ของคลื่นกระแสที่ระดับลิแวนต์ (λ) สามารถปรับเปลี่ยนให้มีค่า

ย่าน 0 ถึง 1 ได้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

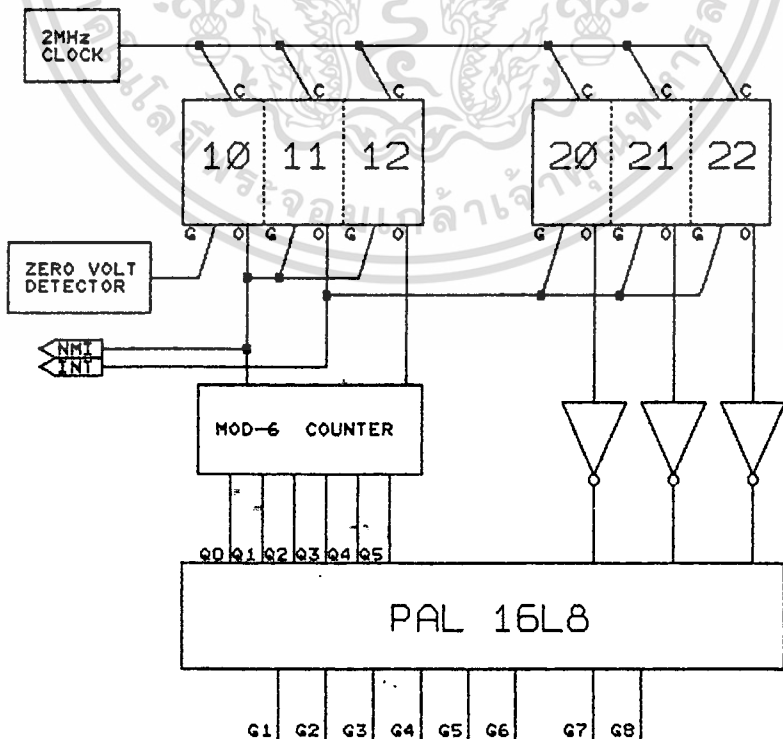
(4) สามารถปรับช่วง เวลาในการคายประจุของคาปาซิเตอร์ (τ) ในวงจรช่วยไปยังด้านโหนดดีซีที่ค่าต่างๆได้

(5) สามารถควบคุมกระแสอินพุทเอซีไลน์ และกระแสเอาท์พุทดีซี (I_d) ให้มีขนาดคงที่ ตลอดช่วงการเลื่อนเฟสจากมุมล้าหน้า 90° ถึงมุมล้าหลัง 90°

(6) สามารถควบคุมแรงดันที่คาปาซิเตอร์ในวงจรช่วย (E_{cd}) ให้มีขนาดคงที่ ระบบควบคุมดิจิทัลดังรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ Z80 วงจรสร้างพัลส์ วงจรส่วน CLOSE-LOOP วงจรวัดมุมระหว่างแรงดันกับกระแส และโปรแกรมควบคุมระบบ

4.1 ไมโครโปรเซสเซอร์

ไมโครโปรเซสเซอร์ Z80 [9] ทำงานที่ความถี่ 3.579 MHz เป็นหัวใจสำคัญของระบบควบคุมดิจิทัลนี้ มีหน้าที่ควบคุมการทำงานต่างๆของอุปกรณ์ต่อร่วม คือ การสร้างพัลส์ที่ตลับลิเทียมขนาดต่างๆจากไทเมอร์เคาน์เตอร์ PIT 8253 การทำงานของวงจรส่วน CLOSE-LOOP การคำนวณของ PI-Controller การทำงานของวงจรแสดงผล-คีย์บอร์ด ปฏิบัติงานตามคำสั่งของผู้ใช้ผ่านทางคีย์บอร์ด การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม



4.2 วงจรสร้างพัลส์

วงจรสร้างพัลส์ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยวงจรเลื่อนเฟส วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง ไทเมอร์เคาน์เตอร์ วงจรนับทศ วงจร AND-OR และวงจรแสดงผล-คีย์บอร์ด

วงจรเลื่อนเฟส (Phase Shifter) ทำหน้าที่เลื่อนเฟสของแรงดันอ้างอิงเฟส U ให้ล้าหน้าเป็นมุม 90° จากนั้นจะป้อนเข้าสู่วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง

วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง ทำหน้าที่สร้างสัญญาณกระตุ้นไทเมอร์เคาน์เตอร์ (Programmable Phase-shifter) ให้สร้างสัญญาณ αt ควบคุมการเลื่อนเฟสของสัญญาณเกททั้งหมด G1-G8

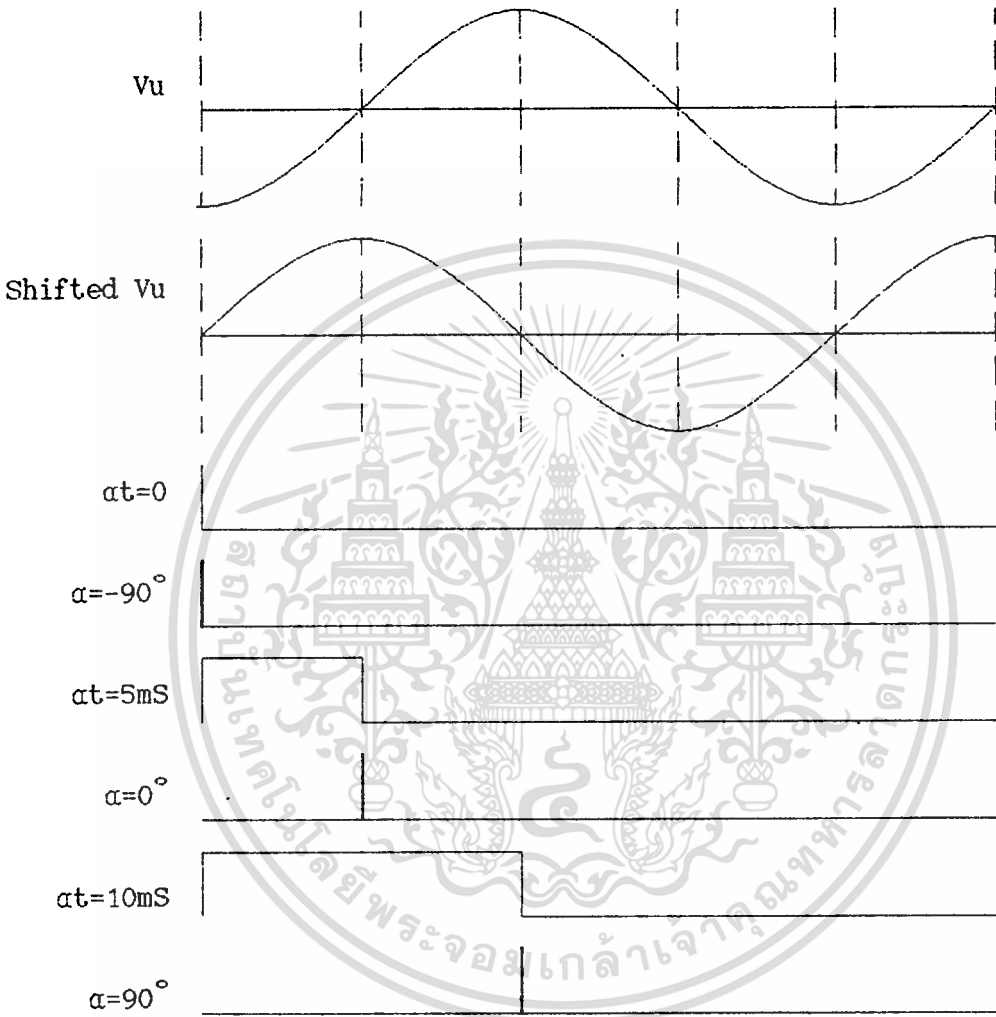
ไทเมอร์เคาน์เตอร์ ประกอบด้วย PIT 8253 จำนวน 6 เคาน์เตอร์ ดังรูปที่ 4.2 มีฐานเวลา $0.5 \mu s$ หรือความถี่ 2 MHz ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ขนาดต่างๆ คือ T, λT , $(1-\lambda)T$, $X\lambda T$, $(1-X)\lambda T$, และ τ โดยได้แสดงโหมดการทำงานและสัญญาณพัลส์ต่างๆ ของ PIT 8253 แต่ละเคาน์เตอร์ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดง โหมดการทำงานและสัญญาณของแต่ละ เคาน์เตอร์

เคาน์เตอร์	โหมดการทำงาน	สัญญาณ
10	One-shot	αt
11	Squarewave	T
12	Squarewave	mT
20	One-shot	λT
21	One-shot	$X\lambda T$
22	One-shot	τ

สัญญาณ αt ควบคุมการเลื่อนเฟสของสัญญาณเกททั้งแปดในช่วงระหว่างมุมล้าหน้า 90° จนถึงมุมล้าหลัง 90° โดยที่จะมีคาบเวลา 0 วินาที ที่มุมล้าหน้า 90° จนถึงคาบเวลา $10 \mu s$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบเซปรีเซชันดำเนินการค้า "ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

ที่มุมล่าหลัง 90° ดังแสดงในรูปที่ 4.3 นอกจากนี้ ยังได้แสดงความหมายของสัญญาณนี้ในรูปของสัญญาณนาฬิกาของ PIT 8253 ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.3 แผนภาพเวลาของสัญญาณ αt ที่มุมเลื่อนเฟส = -90° , 0° , 90° ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงความหมายของสัญญาณ αt ในรูปของสัญญาณนาฬิกาที่มุมเลื่อนเฟสต่างๆ

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

สัญญาณ T มีคาบเวลาเป็น 1/12, 1/18, 1/24, 1/30 เท่าของหนึ่งไซเคิลเฟสลับ ความถี่ 50 Hz สำหรับกรณีรูปแบบกระแสที่ดับลิวเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ ตามลำดับ สัญญาณนี้จะซิงโครไนซ์กับเฟสลับสามเฟสซึ่งได้จากวงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง ส่วนตารางที่ 4.3 แสดงความหมายของสัญญาณ T ในรูปของจำนวนลูกสัญญาณนาฬิกาที่จำนวนพัลส์ต่างๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงความหมายของสัญญาณ T ในรูปของสัญญาณนาฬิกาที่จำนวนพัลส์ต่าง ๆ

รูปแบบกระแสที่ดับลิวเอ็ม	จำนวนลูกของสัญญาณนาฬิกา
6 พัลส์	3334
9 พัลส์	2222
12 พัลส์	1666
15 พัลส์	1334

นอกจากนี้ สัญญาณ T นี้ยังป้อนกลับเพื่อทำการอินเตอร์รัพท์ไมโครโพรเซสเซอร์ ให้รับรู้คาบคาบเวลาของสัญญาณ T แล้ว และในช่วงเวลาตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ของไมโครโพรเซสเซอร์เป็นเอกสารที่ลงนามไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบโฆษณาเป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซสเซอร์ จะควบคุมการสร้างสัญญาณพัลส์ต่างๆ คือ $X_{\lambda T}$, $(1-X)_{\lambda T}$ ให้เกิดขึ้นพร้อมกับสัญญาณ T สัญญาณ mT มีคาบเวลาเป็น $\pi/3$ เรเดียน ทำหน้าที่เป็น clock ของวงจรมัลติเพล็กซ์ สัญญาณ λT มีคาบเวลาดั้งแต่ 0 ถึง T โดยที่ตัวประกอบมอดคูลุเลข λ จะเปลี่ยนจาก 0 ถึง 1

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

สัญญาณ $X_{\lambda T}$ นี้ สัญญาณพัลส์ดังกล่าวสามารถสร้างได้โดยการตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ของไมโครโพรเซสเซอร์จากสัญญาณ T ซึ่งขณะนั้นไมโครโพรเซสเซอร์จะส่งคำสั่งใหม่ไปควบคุม PIT 8253 ให้สร้างพัลส์ที่กว้างและแคบสลับกันตามจังหวะของสัญญาณ T

สัญญาณ $(1-X)_{\lambda T}$ ได้จากการทำเอ็กคลูซีฟออร์สัญญาณ $X_{\lambda T}$ กับสัญญาณ λT

สัญญาณ τ ได้จากการทำเอ็กคลูซีฟออร์สัญญาณ $\lambda T - \tau$ กับสัญญาณ λT

สัญญาณต่างๆ ดังกล่าวแสดงรายละเอียดไว้ในรูปที่ 4.4-4.7 สัญญาณเหล่านี้เมื่อนำมาผ่านวงจร AND-OR ซึ่งจะกล่าวต่อไป จะได้เป็นสัญญาณเกทของจีทีไอทริสเตอร์ G_1-G_8

วงจรมัลติเพล็กซ์ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณคาบเวลา $\pi/3$ เรเดียน (Q0-Q5) ซึ่งเป็นช่วงเวลาต่างๆ 6 ช่วงภายในหนึ่งไซเคิลของพัลส์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4-4.7 นอกจากนี้ วงจรมัลติเพล็กซ์จะเริ่มต้นนับใหม่ด้วยการรีเซ็ตจากวงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง

วงจร AND-OR ซึ่งใช้ PAL เบอร์ 16L8 [11] เมื่อพิจารณาสัญญาณเกทของจีทีไอแต่ละตัว G_1-G_8 จากรูปที่ 2.2(2) สัญญาณ G_1-G_6 จะประกอบด้วยสัญญาณ $X_{\lambda T}$, mT , $(1-X)_{\lambda T}$ และ $(1-\lambda)T$ ที่ช่วงเวลาต่างๆ ส่วนสัญญาณเกท G_7, G_8 จะประกอบด้วย $(\lambda T - \tau)$ กับ λT ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.4-4.7 และสามารถเขียนสมการบูลีนของวงจร AND-OR ได้ดังนี้

$$G_1 = X_{\lambda T}.Q_0+Q_1+(1-X)_{\lambda T}.Q_2+(1-\lambda)T.Q_4$$

$$G_2 = X_{\lambda T}.Q_2+Q_3+(1-X)_{\lambda T}.Q_4+(1-\lambda)T.Q_0$$

$$G_3 = X_{\lambda T}.Q_4+Q_5+(1-X)_{\lambda T}.Q_0+(1-\lambda)T.Q_2$$

$$G_4 = X_{\lambda T}.Q_3+Q_4+(1-X)_{\lambda T}.Q_5+(1-\lambda)T.Q_1$$

$$G_5 = X_{\lambda T}.Q_5+Q_0+(1-X)_{\lambda T}.Q_1+(1-\lambda)T.Q_3$$

$$G_6 = X_{\lambda T}.Q_1+Q_2+(1-X)_{\lambda T}.Q_3+(1-\lambda)T.Q_5$$

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

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Q0-Q5 หมายถึง สัญญาณเอาต์พุตทั้งหมดของวงจรมัลติเพลกซ์

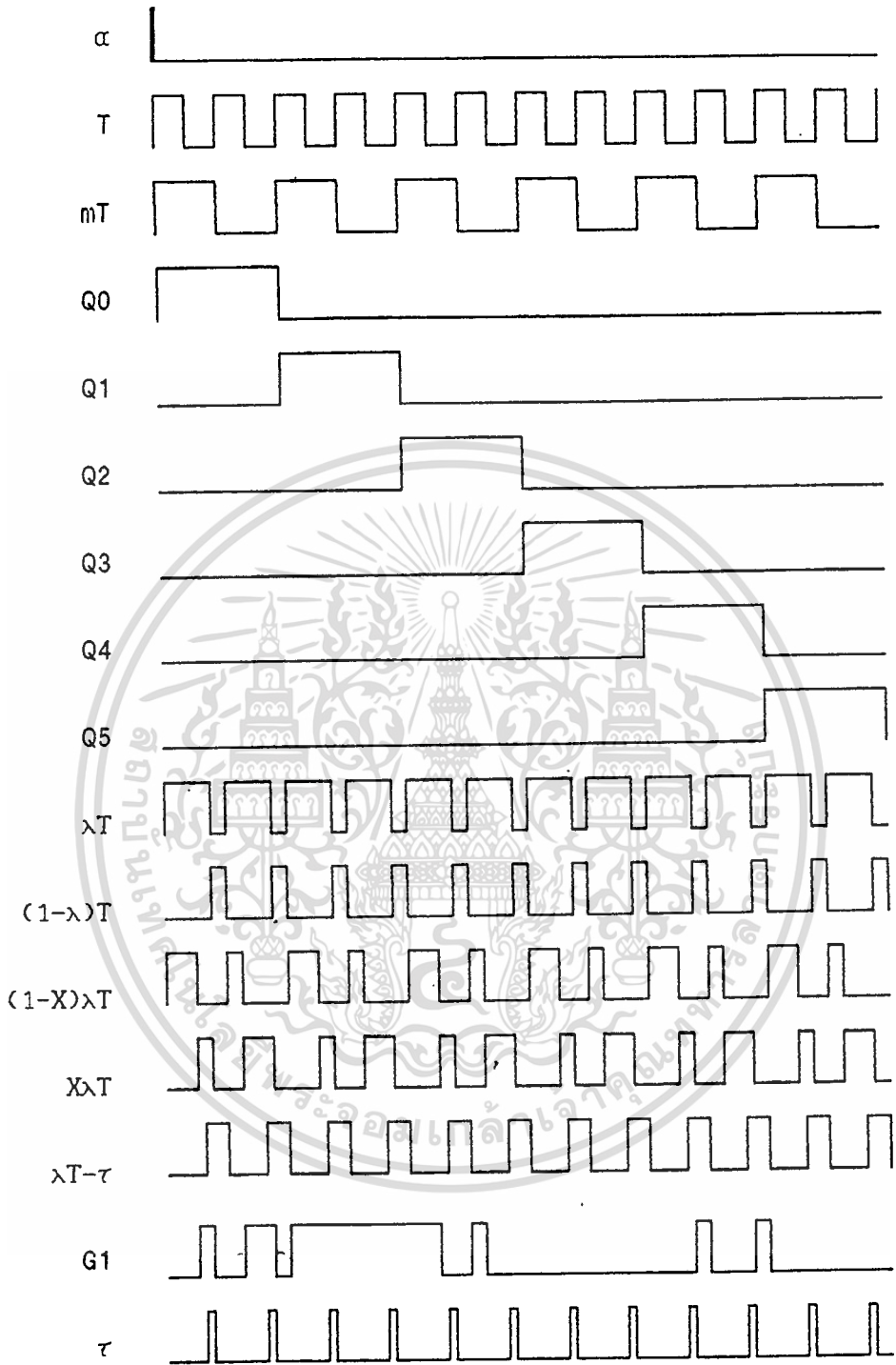
G1-G8 หมายถึง สัญญาณเกตของจีทีไอทีริสเตอร์

ส่วนสัญญาณ λT , $X\lambda T$ และ $(1-X)\lambda T$ สามารถเขียนแสดงความหมายที่จำนวนพัลส์ต่างๆได้ ดังนี้

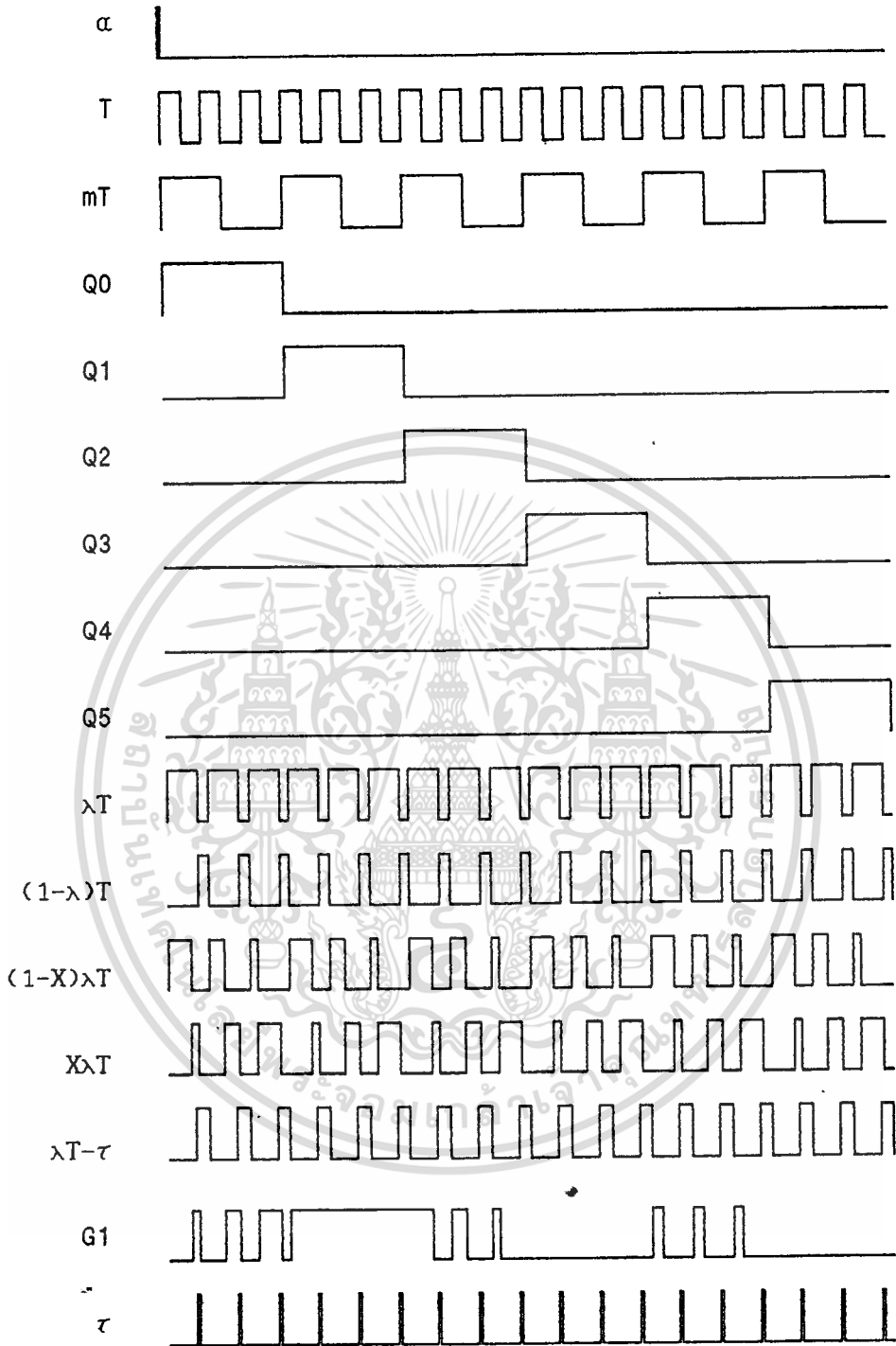
ตารางที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาของสัญญาณ λT , $X\lambda T$ และ $(1-X)\lambda T$ ที่จำนวนพัลส์ต่างๆ

พัลส์	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	$\lambda T/6, \lambda T/3, \lambda T/2, 2\lambda T/3, 5\lambda T/6$	$5\lambda T/6, 2\lambda T/3, \lambda T/2, \lambda T/3, \lambda T/6$

วงจรแสดงผล-คีย์บอร์ด ประกอบด้วย PPI 8255 ทำหน้าที่เป็นอินพุตของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อรับคำสั่งต่างๆ (Command) เช่น α , λ , τ , Ia^* , Ecd^* ทางคีย์บอร์ด และเอาต์พุตของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อแสดงค่าต่างๆ เช่น α , λ , τ , Ia^* , Ecd^* ออกทาง DOT MATRIX LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด

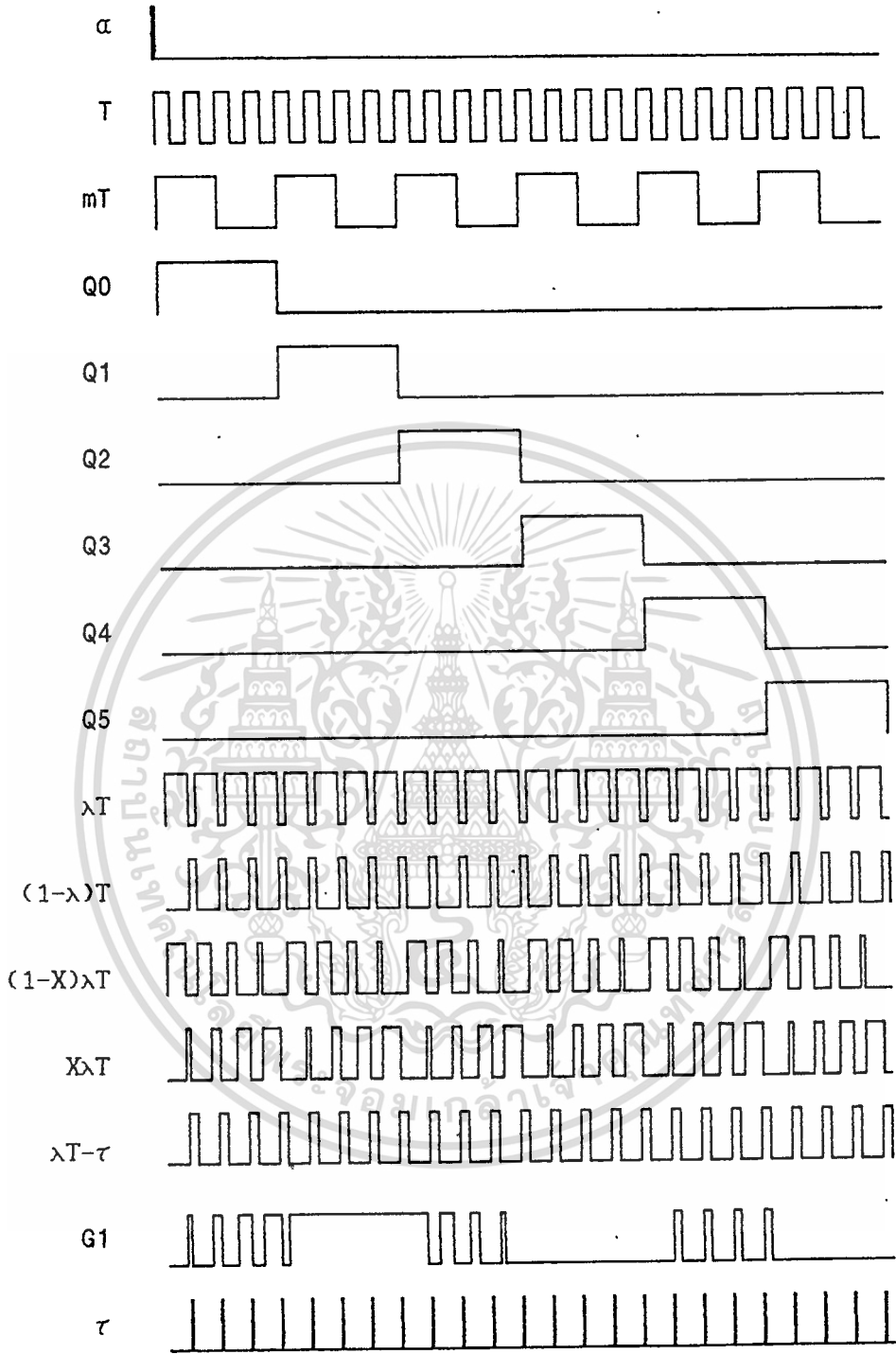


รูปที่ 4.4 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 6 พัลส์



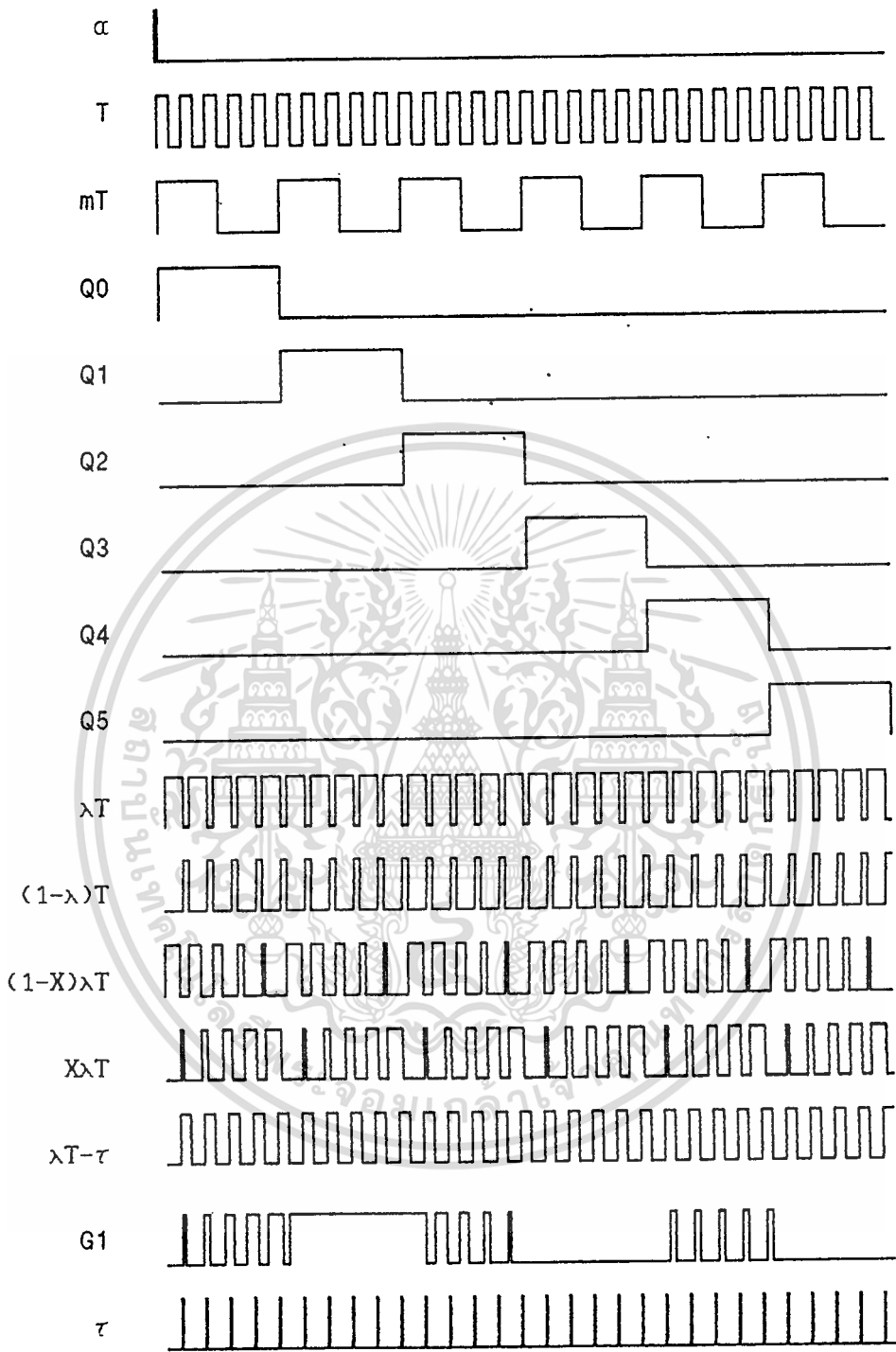
รูปที่ 4.5 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 9 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 12 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 15 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรส่วน CLOSE-LOOP

วงจรส่วน CLOSE-LOOP ประกอบด้วย หม้อแปลงกระแสตรง (DCCT), Isolation Amplifier, Multiplexer, A/D Converter และ PPI 8255

การทำงานของวงจรส่วนนี้ คือ จะแยกแรงดันคาปาซิเตอร์ Ecd ออกจากกราวด์ด้วย Isolation Amplifier และแปลงกระแสเอาท์พุทดีซี Id ให้เป็นระดับแรงดันโดยใช้หม้อแปลงกระแสตรง (DCCT) ทั้ง Ecd และ Id จะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันเชิงดิจิตอลโดย A/D Converter ในลักษณะสลับกันผ่านตัว Multiplexer หลังจากนั้น สัญญาณแรงดันเชิงดิจิตอลจะถูกป้อนผ่าน PPI 8255 เข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ โดยอาศัยการทำงานของ PI-Controller [12] ก็จะสามารถคำนวณความกว้างของพัลส์เอมพลีส์ λ และช่วงเวลาคายประจุคาปาซิเตอร์ τ ของ G7, G8 การทำงานของ PI-Controller สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ (4.1) ดังต่อไปนี้

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

โดยที่

- Kp : อัตราขยายแบบพรอพพอนชัน
- Ki : อัตราขยายแบบอินทิเกรทชัน
- E : ผลต่างระหว่าง Command กับ Input Value
- S : Operating Value

ในกรณีของ Current PI-Control ($E = Id^* - Id$) จะแสดงในรูปของค่า λ ของสัญญาณเกต (G1-G6)

ในกรณีของ Voltage PI-Control ($E = Ecd^* - Ecd$) จะแสดงในรูปของค่า τ ของ G7, G8

ตามปกติแล้วการทำงานแบบพรอพพอนชันนั้น จะคอยทำหน้าที่เสถียรผลต่าง E ที่มีอยู่ในขณะนั้น และจะได้ผลต่าง E ใหม่ซึ่งจะ ไม่เป็นศูนย์เสมอ เพื่อทำให้ผลต่างนี้เป็นศูนย์ จึงเพิ่มการทำงานส่วนของอินทิเกรทชันเข้าไป รายละเอียดการทำงานของ PI-Controller ในรูปที่ 4.8 เป็นดังนี้

เริ่มต้นจากการเตรียมค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณแบบ PI คือ Kp, Rp, Ki, Ri, E0, Command และค่า Limit ทำการคำนวณผลต่าง ERROR แล้วจะคำนวณค่า

ของส่วนพหุคูณ $KpE = Kp \cdot \text{ERROR} / Rp$ และส่วนของอินทิเกรต $KiE = Ki \cdot \text{ERROR} / Ri$ กับ $E0(\text{ใหม่}) = KiE + E0(\text{เก่า})$ ต่อไปจะได้ Operating Value $DPI = KpE + E0$ หลังจากนั้น จะตรวจสอบค่า Operating Value ว่าอยู่ในช่วงระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุดหรือไม่ ถ้า DPI มีค่ามากกว่าค่าสูงสุดจะให้ค่าสูงสุดกับ DPI หรือถ้า DPI มีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุด จะปรับ DPI ให้เป็นค่าต่ำสุด

4.4 วงจรควบคุมระหว่างแรงดันกับกระแส

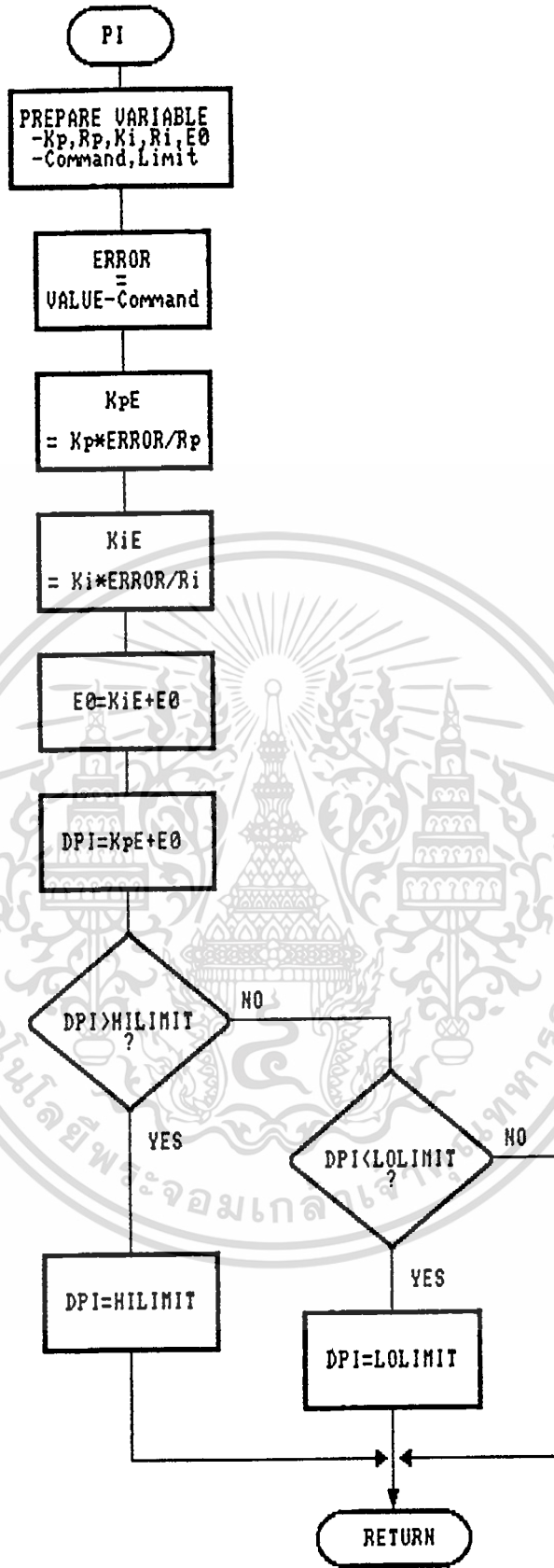
วงจรควบคุมระหว่างแรงดันกับกระแสซึ่งแสดงในรูปที่ 4.9 ประกอบด้วย วงจรกรองความถี่ วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา วงจรนับ และวงจรแสดงผล วงจรกรองความถี่ ทำหน้าที่กรองสัญญาณแรงดันจากหม้อแปลงแรงดัน และสัญญาณกระแสจากหม้อแปลงกระแส ให้เป็นสัญญาณรูปชายน้

วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง จะเปลี่ยนสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสให้เป็นสัญญาณพัลส์ V และ I ตามลำดับ

วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา เป็นสัญญาณนาฬิกาอ้างอิงของวงจรถับ 74C926 ความถี่ 180 KHz โดยความถี่นี้จะสามารถแสดงมุละเอียดได้ถึง 0.1 องศา

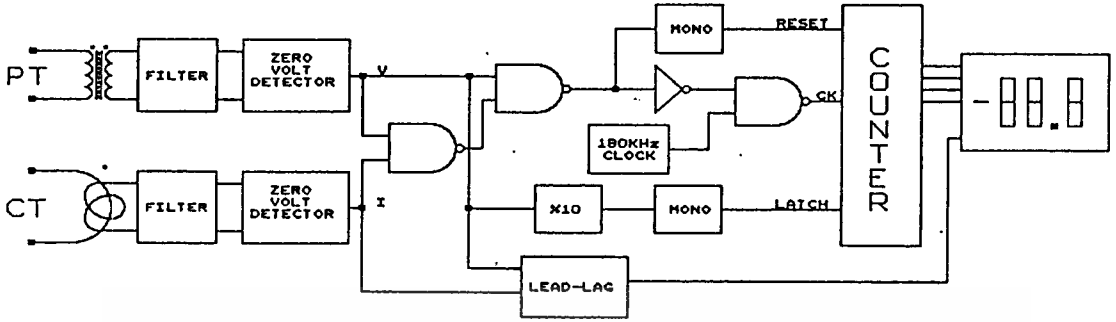
วงจรถับ 74C926 ประกอบด้วยวงจรถับ 4 หลัก วงจร LATCH และวงจร MULTIPLEXER การ latch ข้อมูลให้วงจรแสดงผลจะทำการ latch ทุกๆ 10 ไซเคิลของสัญญาณไฟสลบ ส่วนการ reset วงจรถับ 4 หลักจะทำทุกๆ ไซเคิลของสัญญาณไฟสลบ ส่วน clock ของวงจรถับได้จากการเปิดสัญญาณนาฬิกา 180 KHz ด้วยความกว้างของสัญญาณพัลส์ $V_{I.V}$ ซึ่งความกว้างของพัลส์ $V_{I.V}$ นี้จะมีความสัมพันธ์กับค่ามุมระหว่างแรงดันกับกระแส ในหน่วยองศา รายละเอียดของสัญญาณต่างๆ ของวงจรควบคุมนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10

วงจรแสดงผล ประกอบด้วย 7-segment LED จำนวน 4 หลัก และวงจรที่ทำหน้าที่แสดงเครื่องหมาย lead หรือ lag คือ เมื่อสัญญาณกระแสล้าหน้าสัญญาณแรงดัน จะแสดงเครื่องหมาย - ที่ LED ให้ทราบ

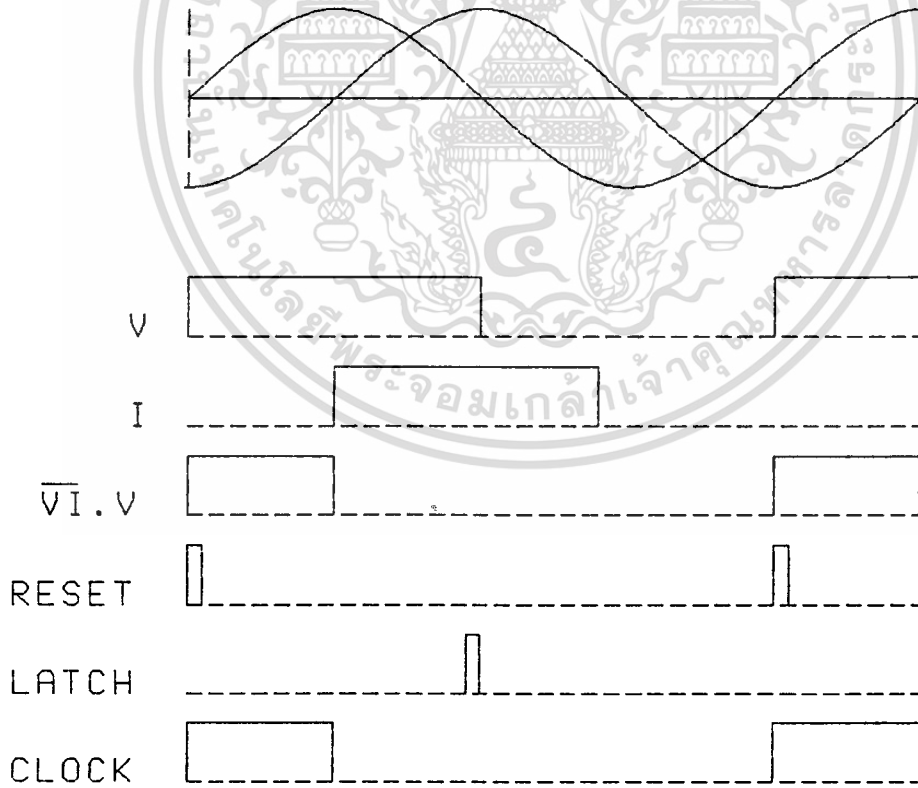


รูปที่ 4.8 โฟลว์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานของ PI-Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 วงจรวัดมุมระหว่างแรงดันกับกระแส



รูปที่ 4.10 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่างๆ จากวงจรวัดมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 โปรแกรมควบคุมระบบ

โปรแกรมควบคุมระบบนั้น เป็นภาษาเครื่องซึ่งบรรจุอยู่ใน EPROM 2764 ขนาด 8K ไบท์ ซึ่งแปลมาจากภาษาแอสเซมบลี Z-80 [10] โดยผู้ใช้ X-80 Cross Assembler บน เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC เป็นตัวแอสเซมเบลอร์

โปรแกรมควบคุมระบบ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Utility Program และ Control Program

1. Utility Program ทำหน้าที่รับ Control Program ที่ยังอยู่ในระหว่างการทดสอบพัฒนาผ่านทางสื่อสารแบบอนุกรม RS-232C จากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC มาทำการ RUN ทดสอบโปรแกรมในระบบจริง ซึ่งทำให้มีความสะดวกต่อการพัฒนาแก้ไข Control Program ค่อยไปในอนาคต

2. Control Program คือ โปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของ Digital Control System ให้สร้างสัญญาณเกทของจีโอโทริสเตอร์ทั้งแปด และสามารถปรับค่าต่างๆได้ เช่น

- มุมเลื่อนเฟส α ตั้งแต่ -90° จนถึง 90° เพิ่มทีละ 1°
- ตัวประกอบมอดดูเลชั่น λ ตั้งแต่ 0.2 จนถึง 0.9 เพิ่มทีละ 0.05
- ช่วงเวลาตายประจุ τ ตั้งแต่ 0 จนถึง $X \times T$ เพิ่มทีละ 5 μ s

Control Program ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Main Program และ Interrupt Service Routine ส่วนรูปที่ 4.11, 4.12 แสดงรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของ Main Program และ Interrupt Service Routine ดังต่อไปนี้

2.1 Main Program

ไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งคำสั่ง Control Word ไปควบคุม PPI 8255 และ PIT 8253 เพื่อกำหนดโหมดการทำงาน จากนั้นจะเตรียมค่าคงที่และตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรม ทำการเลือกจำนวนพัลส์ที่ดับลิวเอมที่จะทำงาน คือ 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ทางคีย์บอร์ด ทำการอินเวเบิลอินเตอร์รัทท์ทั้งหมด

หลังจากนั้นจะตรวจดูว่า Automatic Phase-shift อีเนเบิลหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการเลื่อนเฟสสัญญาณเกทในทิศทางล้าหน้าทีละ 1° จนถึงมุม -90°

จะตรวจดูว่า Close-loop ของ Id อีเนเบิลหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการคำนวณแบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

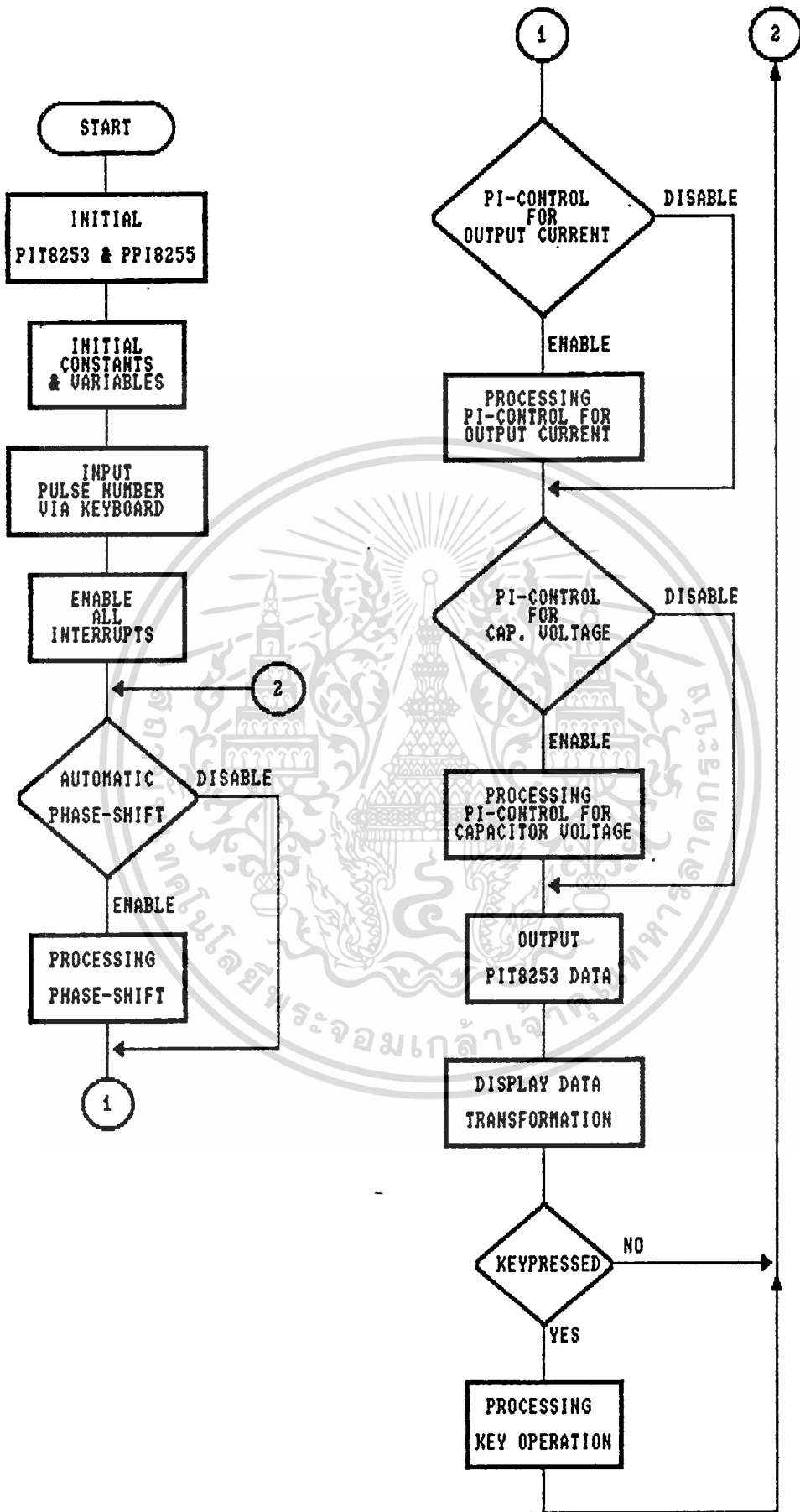
จากนั้นจะตรวจดูว่า Close-loop ของ Ecd อีเนเบิลหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการคำนวณแบบ PI

ต่อไปจะส่งค่า α , λ , τ ในรูปของสัญญาณพิกษาไปยัง PIT 8253 แล้วจะนำค่า α , λ , τ ไปแปลงเป็น ASCII สำหรับใช้ในการแสดงผลบนแผง LCD

ต่อไปจะตรวจดูการกดคีย์บอร์ดจากผู้ใช้ ถ้ามีการกดคีย์ไมโครโปรเซสเซอร์จะทำงานตามหน้าที่ของแต่ละคีย์บอร์ด เช่น คีย์เพิ่มลด λ , α , τ ก็จะทำให้เพิ่มลดค่า λ , α , τ ตามลำดับ เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานดังกล่าวแล้วจะวนกลับไปทำงานที่ Automatic Phase-shift ต่อไป

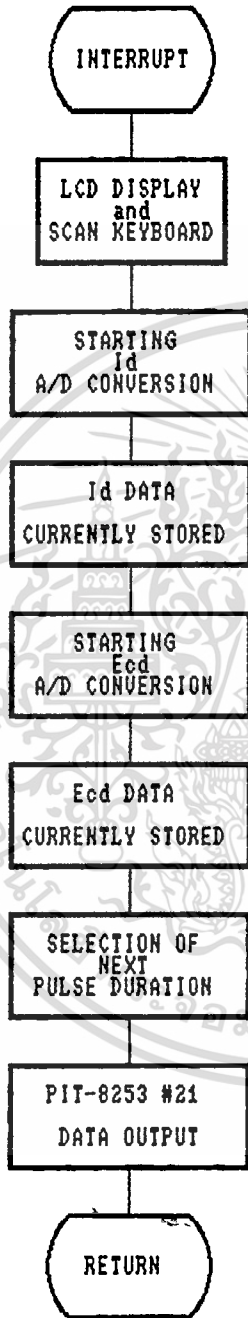
2.2 Interrupt Service Routine

ขณะที่ไมโครโปรเซสเซอร์กำลังทำงานอยู่ใน Main Program นั้น และได้รับการอินเตอร์รัพท์จากสัญญาณ T ของวงจรสร้างพัลส์ ไมโครโปรเซสเซอร์จะหยุดการทำงาน Main Program ไว้ชั่วคราว แล้วไปทำงานใน Interrupt Service Routine ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ จะเริ่มจากการส่งค่าต่างๆไปแสดงผลที่แผง LCD ทีละตัวอักษร และทำการ scan keyboard ส่งคำสั่งไปที่ ADC เพื่อเริ่มทำการแปลง Id, Ecd ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลและเก็บค่าไว้ในหน่วยความจำตามลำดับ เพื่อเตรียมค่าไว้สำหรับส่วนคำนวณ PI-Control จากนั้นจะทำการเลือกค่าความกว้างของพัลส์ XT ถัดไปส่งออกให้ PIT 8253#21 เมื่อเสร็จสิ้นแล้วจะกลับไปทำงานต่อใน Main Program



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่รูปที่ 4.11 ทั้ง ไฟล์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานส่วน Main Program เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 โพล์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานส่วน Interrupt Service Routine

บทที่ 5

การวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสอินพุทเอซีไลน์

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า การนำเทคนิคพีดับลิวเอ็มมาใช้กับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์นั้น จะทำให้คุณสมบัติทางด้านอินพุทของคอนเวอร์เตอร์ดีขึ้น คือ มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่ำในกระแสเอซีไลน์น้อย และอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์สูง คอนเวอร์เตอร์ในวิทยานิพนธ์นี้ก็ทำงานในลักษณะที่ดับลิวเอ็มเช่นกัน โดยสามารถเลือกจำนวนพัลส์พีดับลิวเอ็มได้เป็น 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ในบทนี้จะพิจารณาถึงองค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสอินพุทเอซีไลน์และค่าอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยอาศัยทฤษฎีการกระจายอนุกรมฟูเรียร์ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ จะพิจารณาถึงผลของจำนวนพัลส์ (6, 9, 12 และ 15 พัลส์) และมุมเลื่อนเฟส α ที่มีต่อองค์ประกอบฮาร์โมนิกและอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์

5.1 การพิจารณาสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของกระแสพีดับลิวเอ็มกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า กระแสอินพุทเอซีไลน์ในแต่ละเฟสของคอนเวอร์เตอร์นี้จะมีลักษณะคลื่นพีดับลิวเอ็ม ซึ่งสามารถเปลี่ยนจำนวนพัลส์เป็น 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิลของไฟสลับ ขนาดของแต่ละพัลส์จะมีค่าเท่ากับกระแสเอาท์พุทดีซี I_a อัตราส่วนความกว้างของพัลส์พีดับลิวเอ็มเหล่านี้เป็นดังนี้

กรณี 6 พัลส์ : $\lambda T/3: 2\lambda T/3: \lambda T: \lambda T: 2\lambda T/3: \lambda T/3$

กรณี 9 พัลส์ : $\lambda T/4: \lambda T/2: 3\lambda T/4: \lambda T: \lambda T: \lambda T: 3\lambda T/4: \lambda T/2: \lambda T/4$

กรณี 12 พัลส์ : $\lambda T/5: 2\lambda T/5: 3\lambda T/5: 4\lambda T/5: \lambda T: \lambda T: \lambda T: \lambda T:$

$4\lambda T/5: 3\lambda T/5: 2\lambda T/5: \lambda T/5$

กรณี 15 พัลส์ : $\lambda T/6: \lambda T/3: \lambda T/2: 2\lambda T/3: 5\lambda T/6: \lambda T: \lambda T: \lambda T: \lambda T: \lambda T:$

$5\lambda T/6: 2\lambda T/3: \lambda T/2: \lambda T/3: \lambda T/6$

โดยที่

$T : \pi/3m$

$m : \text{จำนวนพัลส์ในแต่ละ } \pi/3 \text{ เรเดียน}$

คือ $m=2, 3, 4$ และ 5 สำหรับกรณีรูปคลื่นพีดับลิวเอ็ม 6, 9, 12 และ 15

พัลส์ ตามลำดับ

λ : ตัวประกอบมีอคติเลชัน มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

อัตราส่วนของความกว้างของพัลส์พีดับบลิวเอ็มของกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์นี้สามารถเขียนแสดงในรูปอัตราส่วนความกว้างพัลส์ X ได้ดังนี้

กรณี 6 พัลส์ : $X\lambda T : (1-X)\lambda T : \lambda T : \lambda T : (1-X)\lambda T : X\lambda T$

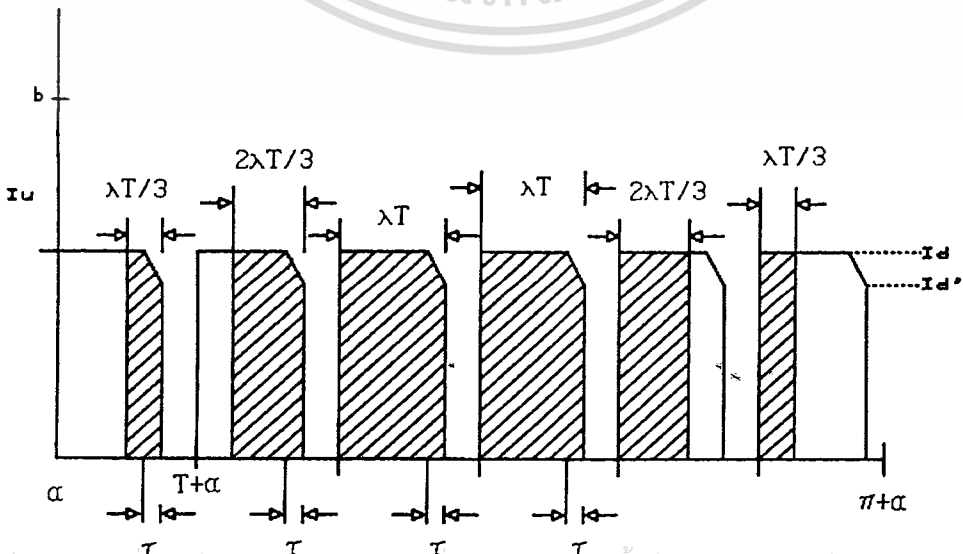
กรณี 9 พัลส์ : $X\lambda T : 0.5\lambda T : (1-X)\lambda T : \lambda T : \lambda T : \lambda T : (1-X)\lambda T : 0.5\lambda T : X\lambda T$

กรณี 12 พัลส์ : $X\lambda T : 2X\lambda T : (1-2X)\lambda T : (1-X)\lambda T : \lambda T : \lambda T : \lambda T : \lambda T : (1-X)\lambda T : (1-2X)\lambda T : 2X\lambda T : X\lambda T$

กรณี 15 พัลส์ : $X\lambda T : 2X\lambda T : 0.5\lambda T : (1-2X)\lambda T : (1-X)\lambda T : \lambda T : \lambda T : \lambda T : \lambda T : (1-X)\lambda T : (1-2X)\lambda T : 0.5\lambda T : 2X\lambda T : X\lambda T$

โดยที่ อัตราส่วนความกว้างพัลส์ $X = 1/3, 1/4, 1/5$ และ $1/6$ สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ ตามลำดับ

จากลักษณะ คลื่นกระแสพีดับบลิวเอ็มในรูปที่ 5.1 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระแสกับช่วง เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละพัลส์กระแสได้ดังตารางที่ 5.1 ตารางดังกล่าวนี้เป็นตัวอย่างของกรณีรูปคลื่นกระแสพีดับบลิวเอ็ม 6 พัลส์ เมื่อพิจารณาในทำนองเดียวกันกับกรณีรูปคลื่น 6 พัลส์ สมการกระแสสำหรับกรณีรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มที่เหลือ คือ 9, 12 และ 15 พัลส์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2-5.4 ตามลำดับ ตารางที่ 5.1-5.4 นี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ และอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 รูปคลื่นกระแสพีดับบลิวเอ็ม 6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

ตารางที่ 5.1 แสดงช่วง เวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพิสัยลิแวน 6 พัลส์

พัลส์ที่	จาก	ถึง	สมการกระแส
1	$\alpha+(1-X)\lambda T$ $\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$ $\alpha+\lambda T$	I_d $at+b$
2	$\alpha+(1+X\lambda)T$ $\alpha+(1+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(1+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(1+\lambda)T$	I_d $at+b-aT$
3	$\alpha+2T$ $\alpha+(2+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(2+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(2+\lambda)T$	I_d $at+b-2aT$
4	$\alpha+3T$ $\alpha+(3+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(3+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(3+\lambda)T$	I_d $at+b-3aT$
5	$\alpha+4T$	$\alpha+4T+(1-X)\lambda T$	I_d
6	$\alpha+5T$	$\alpha+(5+X\lambda)T$	I_d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงช่วง เวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพิสัยลิแวน 9 พัลส์

พัลส์ที่	จาก	ถึง	สมการกระแส
1	$\alpha+(1-X)\lambda T$ $\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$ $\alpha+\lambda T$	I_d $at+b$
2	$\alpha+(1+0.5\lambda)T$ $\alpha+(1+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(1+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(1+\lambda)T$	I_d $at+b-aT$
3	$\alpha+(2+X\lambda)T$ $\alpha+(2+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(2+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(2+\lambda)T$	I_d $at+b-2aT$
4	$\alpha+3T$ $\alpha+(3+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(3+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(3+\lambda)T$	I_d $at+b-3aT$
5	$\alpha+4T$ $\alpha+(4+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(4+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(4+\lambda)T$	I_d $at+b-4aT$
6	$\alpha+5T$ $\alpha+(5+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(5+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(5+\lambda)T$	I_d $at+b-5aT$
7	$\alpha+6T$	$\alpha+6T+(1-X)\lambda T$	I_d
8	$\alpha+7T$	$\alpha+(7+0.5\lambda)T$	I_d
9	$\alpha+8T$	$\alpha+(8+X\lambda)T$	I_d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงช่วง เวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพิสัยลิ่วเอ็ม 12 พัลส์

พัลส์ที่	จาก	ถึง	สมการกระแส
1	$\alpha+(1-X)\lambda T$ $\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$ $\alpha+\lambda T$	I_d $at+b$
2	$\alpha+T+(1-2X)\lambda T$ $\alpha+(1+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(1+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(1+\lambda)T$	I_d $at+b-aT$
3	$\alpha+(2+2X)\lambda T$ $\alpha+(2+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(2+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(2+\lambda)T$	I_d $at+b-2aT$
4	$\alpha+(3+X)\lambda T$ $\alpha+(3+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(3+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(3+\lambda)T$	I_d $at+b-3aT$
5	$\alpha+4T$ $\alpha+(4+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(4+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(4+\lambda)T$	I_d $at+b-4aT$
6	$\alpha+5T$ $\alpha+(5+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(5+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(5+\lambda)T$	I_d $at+b-5aT$
7	$\alpha+6T$ $\alpha+(6+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(6+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(6+\lambda)T$	I_d $at+b-6aT$
8	$\alpha+7T$ $\alpha+(7+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(7+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(7+\lambda)T$	I_d $at+b-7aT$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงช่วง เวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพิสัยลิแอม 12 พัลส์

พัลส์ที่	จาก	ถึง	สมการกระแส
9	$\alpha+8T$	$\alpha+8T+(1-X)\lambda T$	I_d
10	$\alpha+9T$	$\alpha+9T+(1-2X)\lambda T$	I_d
11	$\alpha+10T$	$\alpha+(10+2X)\lambda T$	I_d
12	$\alpha+11T$	$\alpha+(11+X)\lambda T$	I_d

ตารางที่ 5.4 แสดงช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพิชิตปลิวเอ็ม 15 พัลส์

พัลส์ที่	จาก	ถึง	สมการกระแส
1	$\alpha+(1-X)\lambda T$ $\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$ $\alpha+\lambda T$	I_d $at+b$
2	$\alpha+T+(1-2X)\lambda T$ $\alpha+(1+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(1+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(1+\lambda)T$	I_d $at+b-aT$
3	$\alpha+(2+0.5\lambda)T$ $\alpha+(2+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(2+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(2+\lambda)T$	I_d $at+b-2aT$
4	$\alpha+(3+2X\lambda)T$ $\alpha+(3+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(3+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(3+\lambda)T$	I_d $at+b-3aT$
5	$\alpha+(4+X\lambda)T$ $\alpha+(4+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(4+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(4+\lambda)T$	I_d $at+b-4aT$
6	$\alpha+5T$ $\alpha+(5+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(5+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(5+\lambda)T$	I_d $at+b-5aT$
7	$\alpha+6T$ $\alpha+(6+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(6+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(6+\lambda)T$	I_d $at+b-6aT$
8	$\alpha+7T$ $\alpha+(7+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(7+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(7+\lambda)T$	I_d $at+b-7aT$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ) แสดงช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีทีดับลิแอม 15 พัลส์

พัลส์ที่	จาก	ถึง	สมการกระแส
9	$\alpha+8T$ $\alpha+(8+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(8+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(8+\lambda)T$	I_d $at+b-8aT$
10	$\alpha+9T$ $\alpha+(9+\lambda)T-\omega\tau$	$\alpha+(9+\lambda)T-\omega\tau$ $\alpha+(9+\lambda)T$	I_d $at+b-9aT$
11	$\alpha+10T$	$\alpha+10T+(1-X)\lambda T$	I_d
12	$\alpha+11T$	$\alpha+11T+(1-2X)\lambda T$	I_d
13	$\alpha+12T$	$\alpha+(12+0.5\lambda)T$	I_d
14	$\alpha+13T$	$\alpha+(13+2X\lambda)T$	I_d
15	$\alpha+14T$	$\alpha+(14+X\lambda)T$	I_d

โดยที่

$$a = (I_d' - I_d) / \omega\tau$$

$$b = I_d' - (I_d' - I_d)(\lambda T + \alpha) / \omega\tau$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาลักษณะคลื่นกระแสที่ดับลิวเอ็มซึ่งมีจำนวน 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าในช่วงหนึ่งไซเคิลจากตำแหน่ง α ถึง $2\pi+\alpha$ นั้น ลักษณะคลื่นนั้นจะสมมาตรกับแกน $t=0$ ทั้งนี้เพราะ $i(\omega t-\alpha) = -i(\omega t-\alpha+\pi)$ ดังนั้น ฮาร์โมนิกลำดับคู่จะไม่ปรากฏขึ้นในกรณีนี้ และคงเหลือแต่ฮาร์โมนิกลำดับคี่เท่านั้นซึ่งมีปรากฏและจะต้องพิจารณาค่าโดยอาศัยทฤษฎีการกระจายอนุกรมฟูเรียร์กับรูปคลื่นนี้ ก็สามารถคำนวณขนาดกระแสเอชไอไลน์ อินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์ และขนาดฮาร์โมนิกลำดับต่างๆได้จากสมการที่ (5.1)-(5.5) ตามลำดับ

∞

$$I_u = \sum_{n=1}^{\infty} [a_{\lambda n} \cos n\omega t + b_{\lambda n} \sin n\omega t] \quad \dots(5.1)$$

$n=1$

$$I_{\lambda n} = (a_{\lambda n}^2 + b_{\lambda n}^2)^{1/2} \quad \dots(5.2)$$

$$PF1 = \cos[\tan^{-1}(a_{\lambda 1}/b_{\lambda 1})] \quad \dots(5.3)$$

$$DF = I_{\lambda 1} / \sqrt{[I_{\lambda 1}^2 + I_{\lambda 3}^2 + I_{\lambda 5}^2 + \dots + I_{\lambda 39}^2]} \quad \dots(5.4)$$

$$PF = DF \cdot PF1 \quad \dots(5.5)$$

โดยที่

$$a_{\lambda n} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} i(\omega t) \cos(n\omega t) d\omega t \quad \dots(5.6)$$

$$b_{\lambda n} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} i(\omega t) \sin(n\omega t) d\omega t \quad \dots(5.7)$$

$$a_{\lambda 1} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} i(\omega t) \cos(\omega t) d\omega t \quad \dots(5.8)$$

$$b_{\lambda 1} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} i(\omega t) \sin(\omega t) d\omega t \quad \dots(5.9)$$

เมื่อกำหนดสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ $a_{\lambda n}$ และ $b_{\lambda n}$ จากสมการที่ (5.6) และ (5.7) จากนั้นจึงนำสัมประสิทธิ์ทั้งสองมาแทนลงในสมการที่ (5.2) จะได้อันดับประกอบฮาร์โมนิกอันดับที่ n ออกมา ต่อไปนี้จะแสดงถึงผลการคำนวณขั้นสุดท้ายของสัมประสิทธิ์ฟูรีเยร์ $a_{\lambda n}$, $b_{\lambda n}$ สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ดังสมการข้างล่างนี้

กรณี 6 พัลส์

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda n} = & \frac{8}{n\pi} \cdot \frac{\cos n\omega T}{2} \cdot \frac{\cos n\omega T}{2} \cdot \left[\frac{2}{n\omega\tau} \cdot \frac{\sin n\omega\tau}{2} \cdot \frac{\sin n\{(3+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha\}}{2} \right. \\
 & \left. - \frac{\sin n(7\omega T + \alpha)}{2} \right] \cdot I_d + \frac{8}{n\pi} \cdot \frac{\sin 2n\omega T}{2} \cdot \frac{\cos n\{(5+\lambda)\omega T + \alpha\}}{2} \\
 & \frac{\cos n\{(1+(2X-1)\lambda)\omega T\}}{2} \cdot I_d + \frac{8}{n\pi} \cdot \frac{\cos n\omega T}{2} \cdot \frac{\cos n\omega T}{2} \\
 & \left[\frac{\sin n\{(3+\lambda)\omega T + \alpha\}}{2} - 2 \cdot \frac{\sin n\omega\tau}{n\omega\tau} \cdot \frac{\sin n\{(3+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha\}}{2} \right] \cdot I_d' \quad \dots(5.10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda n} = & \frac{8}{n\pi} \cdot \frac{\cos n\omega T}{2} \cdot \frac{\cos n\omega T}{2} \cdot \left[\frac{\cos n(7\omega T + \alpha)}{2} - 2 \cdot \frac{\sin n\omega\tau}{n\omega\tau} \right. \\
 & \left. \frac{\cos n\{(3+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha\}}{2} \right] \cdot I_d + \frac{8}{n\pi} \cdot \frac{\sin 2n\omega T}{2} \cdot \frac{\sin n\{(5+\lambda)\omega T + \alpha\}}{2} \\
 & \frac{\cos n\{(1+(2X-1)\lambda)\omega T\}}{2} \cdot I_d + \frac{8}{n\pi} \cdot \frac{\cos n\omega T}{2} \cdot \frac{\cos n\omega T}{2} \cdot \left[\frac{2}{n\omega\tau} \right. \\
 & \left. \frac{\sin n\omega\tau}{2} \cdot \frac{\cos n\{(3+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha\}}{2} - \frac{\cos n\{(3+\lambda)\omega T + \alpha\}}{2} \right] \cdot I_d' \quad \dots(5.11)
 \end{aligned}$$

กรณี 9 พัลส์

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda n} = & \frac{8 \cdot \cos 3n\omega T \cdot (\cos n\omega T + 0.5) \cdot \left[\frac{2 \cdot \sin n\omega\tau}{2} \right]}{n\pi} \\
 & \frac{\sin \frac{n(5+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha}{2} - \sin \frac{n(11\omega T + \alpha)}{2}}{2} \cdot I_d + \frac{8 \cdot \sin 3n\omega T}{n\pi} \\
 & \cdot \frac{\cos \frac{n(4+\lambda)\omega T + \alpha}{2} \cdot \left[\cos \frac{n(2\omega T + (2X-1)\lambda\omega T)}{2} + 0.5 \right]}{-2} \cdot I_d \\
 & + \frac{8 \cdot \cos 3n\omega T \cdot (\cos n\omega T + 0.5) \cdot \left[\frac{\sin \frac{n(5+\lambda)\omega T + \alpha}{2}}{2} \right]}{n\pi} \\
 & - \frac{2 \cdot \sin n\omega\tau \cdot \sin \frac{n(5+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha}{2}}{n\omega\tau} \cdot I_d' \quad \dots (5.12)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda n} = & \frac{8 \cdot \cos 3n\omega T \cdot (\cos n\omega T + 0.5) \cdot \left[\frac{\cos \frac{n(11\omega T + \alpha)}{2}}{2} \right]}{n\pi} \\
 & - \frac{2 \cdot \sin n\omega\tau \cdot \cos \frac{n(5+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha}{2}}{n\omega\tau} \cdot I_d + \frac{8 \cdot \sin 3n\omega T}{n\pi} \\
 & \cdot \frac{\sin \frac{n(4+\lambda)\omega T + \alpha}{2} \cdot \left[\cos \frac{n(2\omega T + (2X-1)\lambda\omega T)}{2} + 0.5 \right]}{2} \cdot I_d \\
 & + \frac{8 \cdot \cos 3n\omega T \cdot (\cos n\omega T + 0.5) \cdot \left[\frac{2 \cdot \sin n\omega\tau}{2} \right]}{n\pi} \\
 & \cdot \frac{\cos \frac{n(5+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha}{2} - \cos \frac{n(5+\lambda)\omega T + \alpha}{2}}{2} \cdot I_d' \quad \dots (5.13)
 \end{aligned}$$

กรณี 12 พัลส์

$$a_{\lambda n} = \frac{16 \cdot \cos 2n\omega T \cdot \cos n\omega T \cdot \cos n\omega T \cdot \left[\frac{2 \cdot \sin n\omega\tau}{2} \right]}{n\pi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 'ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'

$$\frac{\text{SIN } n\{(7+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha\} - \text{SIN } n(15\omega T + \alpha)}{2} \cdot \frac{I_d + 16 \cdot \text{SIN } 4n\omega T}{n\pi}$$

$$\frac{\text{COS } n\{(11+\lambda)\omega T + \alpha\} \cdot \text{COS } n\{2\omega T + (3X-1)\lambda\omega T\}}{2}$$

$$\frac{\text{COS } n\{\omega T - X\lambda\omega T\} \cdot I_d + 16 \cdot \text{COS } 2n\omega T \cdot \text{COS } n\omega T \cdot \text{COS } \frac{n\omega T}{2}}{2}$$

$$\left[\frac{\text{SIN } n\{(7+\lambda)\omega T + \alpha\} - 2 \cdot \text{SIN } n\omega\tau \cdot \text{SIN } n\{(7+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha\}}{2} \right] \cdot I_d' \dots (5.14)$$

$$b_{\lambda n} = \frac{16 \cdot \text{COS } 2n\omega T \cdot \text{COS } n\omega T \cdot \text{COS } \frac{n\omega T}{2} \cdot [\text{COS } n(15\omega T + \alpha) - 2 \cdot \text{SIN } n\omega\tau]}{n\pi}$$

$$\frac{\text{SIN } n\omega\tau \cdot \text{COS } n\{(7+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha\}}{2} \cdot \frac{I_d + 16 \cdot \text{SIN } 4n\omega T}{n\pi}$$

$$\frac{\text{SIN } n\{(11+\lambda)\omega T + \alpha\} \cdot \text{COS } n\{2\omega T + (3X-1)\lambda\omega T\}}{2}$$

$$\frac{\text{COS } n\{\omega T - X\lambda\omega T\} \cdot I_d + 16 \cdot \text{COS } 2n\omega T \cdot \text{COS } n\omega T}{2}$$

$$\cdot \frac{\text{COS } n\omega T \cdot [2 \cdot \text{SIN } n\omega\tau \cdot \text{COS } n\{(7+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha\} - \text{COS } n(7+\lambda)\omega T + \alpha]}{2}$$

$$\frac{-\text{COS } n\{(7+\lambda)\omega T + \alpha\}}{2} \cdot I_d'$$

.. (5.15)

กรณี 15 พัลส์

$$a_{\lambda n} = \frac{16 \cdot \text{COS } 5n\omega T \cdot (\text{COS } 3n\omega T \cdot \text{COS } \frac{n\omega T + 0.25}{2}) \cdot [2 \cdot \text{SIN } n\omega\tau]}{n\pi}$$

$$\frac{\text{SIN } n\{(9+\lambda)\omega T - \omega\tau + \alpha\} - \text{SIN } n(19\omega T + \alpha)}{2} \cdot \frac{I_d + 16 \cdot \text{SIN } 5n\omega T}{n\pi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 & \frac{\cos n\{(7+\lambda)\omega T+\alpha\}}{2} \cdot \frac{\cos n\{3\omega T+3X-1\}\lambda\omega T\}}{2} \\
 & \cos \frac{n\{\omega T-X\lambda\omega T\}+0.25}{2} \cdot \frac{I_d+16}{n\pi} \cdot \frac{\cos 5n\omega T}{2} \cdot \frac{\cos 3n\omega T}{2} \\
 & \frac{\cos n\omega T+0.25}{2} \cdot \left[\frac{\sin n\{(9+\lambda)\omega T+\alpha\}}{2} - \frac{2}{n\omega\tau} \cdot \frac{\sin n\omega\tau}{2} \right. \\
 & \left. \cdot \frac{\sin n\{(9+\lambda)\omega T-\omega\tau+\alpha\}}{2} \right] \cdot I_d' \quad \dots(5.16)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda n} = & \frac{16}{n\pi} \cdot \frac{\cos 5n\omega T}{2} \cdot \frac{\cos 3n\omega T}{2} \cdot \frac{\cos n\omega T+0.25}{2} \cdot \frac{\cos n(19\omega T+\alpha)}{2} \\
 & - \frac{2}{n\omega\tau} \cdot \frac{\sin n\omega\tau}{2} \cdot \frac{\cos n\{(9+\lambda)\omega T-\omega\tau+\alpha\}}{2} \cdot \frac{I_d+16}{n\pi} \cdot \frac{\sin 5n\omega T}{2} \\
 & \frac{\sin n\{(7+\lambda)\omega T+\alpha\}}{2} \cdot \frac{\cos n\{3\omega T+3X-1\}\lambda\omega T\}}{2} \\
 & \frac{\cos n\{\omega T-X\lambda\omega T\}+0.25}{2} \cdot \frac{I_d+16}{n\pi} \cdot \frac{\cos 5n\omega T}{2} \cdot \frac{\cos 3n\omega T}{2} \\
 & \cdot \frac{\cos n\omega T+0.25}{2} \cdot \left[\frac{2}{n\omega\tau} \cdot \frac{\sin n\omega\tau}{2} \cdot \frac{\cos n\{(9+\lambda)\omega T-\omega\tau+\alpha\}}{2} \right. \\
 & \left. - \frac{\cos n\{(9+\lambda)\omega T+\alpha\}}{2} \right] \cdot I_d' \quad \dots(5.17)
 \end{aligned}$$

5.2 การพิจารณาสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ในรูปทั่วไปของกระแสที่คัปปลิวเอ็ม

5.2.1 รูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $a_{\lambda n}$

จากสมการ (5.10), (5.12), (5.14) และ (5.16) ด้านขวาของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $a_{\lambda n}$ สามารถจัดรูปใหม่เพื่อจะให้ได้รูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์เหล่านี้สำหรับกรณีรูปคลื่นที่คัปปลิวเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_{\lambda n} = \frac{8}{n\pi} \left[\frac{\cos n\pi}{6} \cdot \frac{\{\cos n\pi+0+0\}}{12} \cdot \frac{\{2 \cdot \sin n\omega\tau \cdot \sin n[(3+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]\}}{2} \cdot \frac{\sin n\omega\tau}{12} \cdot \frac{\sin n[(3+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]}{2} \right] \quad (1) \quad (2)$$

$$\cdot \frac{(I_d - I_d') + \sin n[(3+2\lambda)\pi+\alpha] \cdot I_d' - \sin n[7\pi+\alpha] \cdot I_d + \sin n\pi}{n\omega\tau} \cdot \frac{\cos n[(5+\lambda)\pi+\alpha]}{12} \cdot \frac{\{\cos n[(1+(2X-1)\lambda)\pi]+0+0\}}{12} \cdot I_d \quad (3) \quad (4) \quad \dots (5.18)$$

$$a_{\lambda n} = \frac{8}{n\pi} \left[\frac{\cos n\pi}{6} \cdot \frac{\{\cos n\pi+0.5+0\}}{9} \cdot \frac{\{2 \cdot \sin n\omega\tau \cdot \sin n[(5+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]\}}{2} \cdot \frac{\sin n\omega\tau}{18} \cdot \frac{\sin n[(5+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]}{2} \right] \quad (1) \quad (2)$$

$$\cdot \frac{(I_d - I_d') + \sin n[(5+2\lambda)\pi+\alpha] \cdot I_d' - \sin n[11\pi+\alpha] \cdot I_d + \sin n\pi}{n\omega\tau} \cdot \frac{\cos n[(8+\lambda)\pi+\alpha]}{18} \cdot \frac{\{\cos n[(2+(2X-1)\lambda)\pi]+0.5+0\}}{18} \cdot I_d \quad (3) \quad (4) \quad (5) \quad (6) \quad \dots (5.19)$$

$$a_{\lambda n} = \frac{8}{n\pi} \left[\frac{\cos n\pi}{6} \cdot \frac{\{2 \cdot \cos n\pi \cdot \cos n\pi+0\}}{12} \cdot \frac{\{2 \cdot \sin n\omega\tau \cdot \sin n[(7+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]\}}{2} \cdot \frac{\sin n\omega\tau}{24} \cdot \frac{\sin n[(7+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]}{2} \right] \quad (1) \quad (2)$$

$$\cdot \frac{(I_d - I_d') + \sin n[(7+2\lambda)\pi+\alpha] \cdot I_d' - \sin n[15\pi+\alpha] \cdot I_d + \sin n\pi \cdot \cos n[(11+\lambda)\pi+\alpha]}{n\omega\tau} \cdot \frac{\cos n[(11+\lambda)\pi+\alpha]}{24} \cdot I_d \quad (3) \quad (4) \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 'ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น' อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6)

$$\left[\frac{\cos n[(3+(2X-1)\lambda)\pi]}{24} + \cos n[(1+(4X-1)\lambda)\pi+0].I_d \right] \dots(5.20)$$

(1) (2)

$$a_{\lambda n} = \frac{8}{n\pi} \left[\frac{\cos n\pi}{6} \cdot \left\{ \frac{2 \cdot \cos n\pi}{30} \cdot \cos n\pi + 0.5 \right\} \cdot \left\{ \frac{2 \cdot \sin n\omega\tau}{2} \right. \right.$$

(3)

$$\left. \frac{\sin n[(9+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]}{30} \cdot \frac{I_d - I_d'}{2} + \frac{\sin n[(9+2\lambda)\pi+\alpha].I_d'}{30} \right]$$

(4) (5)

$$\left[\frac{-\sin n[19\pi+\alpha].I_d}{30} + \frac{\sin n\pi \cdot \cos n[(14+\lambda)\pi+\alpha]}{30} \right]$$

(6)

$$\left[\frac{\cos n[(4+(2X-1)\lambda)\pi]}{30} + \cos n[(2+(4X-1)\lambda)\pi+0.5].I_d \right] \dots(5.21)$$

เทอม (1), (2), (3), ..., (6) ทางขวามือของทุกๆ สมการของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์
ดังกล่าวข้างบนสามารถเรียงจัดกลุ่มเป็นรูปทั่วไปได้ดังนี้

สำหรับทุก ๆ เทอม (1)

$$\cos \frac{n\pi}{12} + 0 + 0 = \cos \frac{n\pi}{12} + Y_1 (=0) + Y_2 (=0)$$

$$\cos \frac{n\pi}{9} + 0.5 + 0 = \cos \frac{2n\pi}{18} + Y_1 (=0.5) + Y_2 (=0)$$

$$\cos \frac{n\pi}{8} + \cos \frac{n\pi}{24} + 0 = \cos \frac{3n\pi}{24} + Y_1 (=1)\cos \frac{n\pi}{24} + Y_2 (=0)$$

$$\cos \frac{2n\pi}{15} + \cos \frac{n\pi}{15} + 0.5 = \cos \frac{4n\pi}{30} + Y_1 (=1)\cos \frac{2n\pi}{30} + Y_2 (=0.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้รูปทั่วไปเป็น $\cos \frac{n[(m-1)\pi]}{6m} + Y_1 \cos \frac{n[(m-3)\pi]}{6m} + Y_2$

สำหรับทุก ๆ เทอม (2)

$$\sin \frac{n[(3+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha]}{12 \cdot 2}$$

$$\sin \frac{n[(5+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha]}{18 \cdot 2}$$

$$\sin \frac{n[(7+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha]}{24 \cdot 2}$$

$$\sin \frac{n[(9+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha]}{30 \cdot 2}$$

จะได้รูปทั่วไปเป็น $\sin \frac{n[(2m-1+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha]}{6m \cdot 2}$

สำหรับทุก ๆ เทอม (3)

จะได้รูปทั่วไปเหมือนกับเทอม (2) คือ $\sin \frac{n[(2m-1+2\lambda)\pi + \alpha]}{6m}$

สำหรับทุก ๆ เทอม (4)

$$\sin \frac{n[7\pi + \alpha]}{12}$$

$$\sin \frac{n[11\pi + \alpha]}{18}$$

$$\sin \frac{n[15\pi + \alpha]}{24}$$

$$\sin \frac{n[19\pi + \alpha]}{30}$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\sin \frac{n[(4m-1)\pi + \alpha]}{6m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $6m$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทุก ๆ เทอม (5)

$$\frac{\cos n[(5+\lambda)\pi+\alpha]}{12}$$

$$\frac{\cos n[(8+\lambda)\pi+\alpha]}{18}$$

$$\frac{\cos n[(11+\lambda)\pi+\alpha]}{24}$$

$$\frac{\cos n[(14+\lambda)\pi+\alpha]}{30}$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\frac{\cos n[(3m-1+\lambda)\pi+\alpha]}{6m}$

สำหรับทุก ๆ เทอม (6)

$$\frac{\cos n[(1+(2X-1)\lambda)\pi]}{12} + Y_1 (=0) + Y_2 (=0)$$

$$\frac{\cos n[(2+(2X-1)\lambda)\pi]}{18} + Y_1 (=0.5) + Y_2 (=0)$$

$$\frac{\cos n[(3+(2X-1)\lambda)\pi]}{24} + Y_1 (=1)\frac{\cos n[(1+(4X-1)\lambda)\pi]}{24} + Y_2 (=0)$$

$$\frac{\cos n[(4+(2X-1)\lambda)\pi]}{30} + Y_1 (=1)\frac{\cos n[(2+(4X-1)\lambda)\pi]}{30} + Y_2 (=0.5)$$

จะได้รูปทั่วไปดังนี้ คือ

$$\frac{\cos n[(m-1+(2X-1)\lambda)\pi]}{6m} + Y_1 \frac{\cos n[(m-3+(4X-1)\lambda)\pi]}{6m} + Y_2$$

เมื่อแทนรูปทั่วไปของเทอม (1), (2), (3), ..., (6) ลงในสมการ (5.18) จนถึง (5.21) จะได้สมการรูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $a_{\lambda n}$ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda n} = & \frac{8}{n\pi} \left[\frac{\cos(n\pi)}{6} \cdot \left\{ \frac{\cos[n(m-1)\pi] + Y_1 \cos[n(m-3)\pi] + Y_2}{6m} \right. \right. \\
 & \cdot \left. \left. \frac{\{2 \sin(\frac{n\omega\tau}{2}) \cdot \sin[n((2m-1+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha)] \cdot (I_d - I_d')\}}{6m \cdot 2 \cdot n\omega\tau} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{\sin[n((2m-1+2\lambda)\pi + \alpha)] \cdot I_d' - \sin[n((4m-1)\pi + \alpha)] \cdot I_d}{6m} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{\sin(n\pi)}{3} \cdot \frac{\cos[n((3m-1+\lambda)\pi + \alpha)] \cdot \left\{ \frac{\cos[n((m-1+(2X-1)\lambda)\pi]}{6m} \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + Y_1 \cos[n((m-3+(4X-1)\lambda)\pi] + Y_2 \right\} \cdot I_d \right]}{6m} \right] \quad \dots (5.22)
 \end{aligned}$$

5.2.2 รูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $b_{\lambda n}$

สมการรูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $b_{\lambda n}$ สำหรับกรณีรูปแบบกระแสที่ดับลิวาเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ สามารถคิดคำนวณได้ในลักษณะเดียวกันกับสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $a_{\lambda n}$ เริ่มแรกจะเห็นว่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $b_{\lambda n}$ ในสมการ (5.11), (5.13), (5.15) และ (5.17) ก็สามารถจัดเรียงรูปใหม่ในลักษณะเดียวกันกับสมการ (5.10), (5.12), (5.14) และ (5.16) จะมีเพียงบางเทอมของสมการทั้งสองกลุ่มซึ่งแตกต่างกัน คือ เทอมของ Sine และ Cosine และเครื่องหมายวงเล็บเท่านั้น เทอมเหล่านี้สามารถเขียนแสดงดังในตารางที่ 5.5 จากสมการ (5.18) จนถึง (5.21) และตารางที่ 5.5 เราสามารถเขียนสมการรูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $b_{\lambda n}$ สำหรับกรณีรูปแบบกระแสที่ดับลิวาเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda n} = & \frac{8}{n\pi} \left[\frac{\cos(n\pi)}{6} \cdot \left\{ \frac{\cos[n(m-1)\pi] + Y_1 \cos[n(m-3)\pi] + Y_2}{6m} \right. \right. \\
 & \cdot \left. \left. \frac{\{2 \sin(\frac{n\omega\tau}{2}) \cdot \cos[n((2m-1+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha)] \cdot (I_d' - I_d)\}}{6m \cdot 2 \cdot n\omega\tau} \right. \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\cos \frac{n[(2m-1+2\lambda)\pi+\alpha]}{6m} \cdot I_d' + \cos \frac{n[(4m-1)\pi+\alpha]}{6m} \cdot I_d \} \\
& + \sin \frac{(n\pi)}{3} \cdot \sin \frac{n[(3m-1+\lambda)\pi+\alpha]}{6m} \cdot \{ \cos \frac{n[(m-1+(2X-1)\lambda)\pi]}{6m} \\
& + Y_1 \cos \frac{n[(m-3+(4X-1)\lambda)\pi+Y_2]}{6m} \} \cdot I_d \} \quad \dots (5.23)
\end{aligned}$$

โดยที่

กรณี 6 พัลส์ : $Y_1 = 0.0$ $Y_2 = 0.0$ $X = 1/3$

กรณี 9 พัลส์ : $Y_1 = 0.5$ $Y_2 = 0.0$ $X = 1/4$

กรณี 12 พัลส์ : $Y_1 = 1.0$ $Y_2 = 0.0$ $X = 1/5$

กรณี 15 พัลส์ : $Y_1 = 1.0$ $Y_2 = 0.5$ $X = 1/6$



ตารางที่ 5.5 บางเทอมในรูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ $b_{\lambda n}$ สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์

เทอม	สำหรับ $a_{\lambda n}$ เปลี่ยนจาก	สำหรับ $b_{\lambda n}$ เปลี่ยนเป็น
(2)	$\sin n[(2m-1+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]$ — $6m$	$-\cos n[(2m-1+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]$ — $6m$
(3)	$\cos n[(2m-1+2\lambda)\pi+\alpha]$ — $6m$	$\sin n[(2m-1+2\lambda)\pi+\alpha]$ — $6m$
(4)	$\sin n[(4m-1)\pi+\alpha]$ — $6m$	$-\cos n[(4m-1)\pi+\alpha]$ — $6m$
(5)	$\cos n[(3m-1+\lambda)\pi+\alpha]$ — $6m$	$\sin \cos n[(3m-1+\lambda)\pi+\alpha]$ — $6m$
	$(Id-Id')/n\omega\tau$	$-(Id-Id')/n\omega\tau$

5.3 องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอชไอไลน์

ในหัวข้อนี้ เราจะทำการคำนวณหาขนาดขององค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ของคลื่นกระแสที่ดับลิวเอม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ จากสมการรูปทั่วไปของ $a_{\lambda n}$ และ $b_{\lambda n}$ คือสมการที่ (5.2), (5.22) และ (5.23) โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ในที่นี้เราจะคำนวณหาองค์ประกอบฮาร์โมนิกจนถึงลำดับที่ 29 กราฟคำนวณดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 5.2, 5.3, 5.4 และ 5.5 สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ จากผลการคำนวณดังกล่าวจะเห็นว่าเมื่อจำนวนพัลส์มากขึ้น ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเกิดขึ้นที่ลำดับสูงขึ้น เช่น

- กรณี 6 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 11
- กรณี 9 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 17
- กรณี 12 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 23
- กรณี 15 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 29

เมื่อมีการเลื่อนเฟสกระแสเอชไอไลน์ ($\alpha \neq 0$) ที่ตัวประกอบมีอดดูเลข λ คงที่ คลื่นกระแสที่ดับลิวเอมจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่ามุมเลื่อนเฟส α จะเปลี่ยนไป ดังนั้นแสดงว่าฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงด้วย เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มี การเลื่อนเฟส

5.4 อินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์รวม

ในหัวข้อนี้ เราจะคำนวณหาคุณสมบัติทางอินพุทของคอนเวอร์เตอร์ เช่น ตัวประกอบดิสทอร์ชัน DF อินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์มูลฐาน PF1 และอินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์รวม PF

เมื่อแทนค่า $n=1, 5, 7, \dots, 40$ ลงในสมการที่ (5.22), (5.23) และ (5.2) จะได้องค์ประกอบฮาร์โมนิก $I_{\lambda 1}, I_{\lambda 5}, \dots, I_{\lambda 40}$ ซึ่งจะนำฮาร์โมนิกเหล่านี้ไปใช้ในการคำนวณตัวประกอบดิสทอร์ชัน DF ของกระแสเอชไอไลน์จากสมการที่ (5.4)

เมื่อแทนค่า $n=1$ ลงในสมการที่ (5.22) และ (5.23) จะได้สมการรูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรีย $a_{\lambda 1}, b_{\lambda 1}$ สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ ดังนี้

$$a_{\lambda 1} = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} \left[\cos [(m-1)\pi] + Y_1 \cos [(m-3)\pi] + Y_2 \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียน 6m ช่างงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 & \cdot \left\{ \frac{2 \sin(\omega\tau)}{2} \cdot \frac{\sin[(2m-1+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha]}{6m} \cdot \frac{(I_d - I_d')}{\omega\tau} \right. \\
 & + \frac{\sin[(2m-1+2\lambda)\pi + \alpha]}{6m} \cdot I_d' - \frac{\sin[(4m-1)\pi + \alpha]}{6m} \cdot I_d \Big\} \\
 & + \frac{\cos[(3m-1+\lambda)\pi + \alpha]}{6m} \cdot \left\{ \frac{\cos[(m-1+(2X-1)\lambda)\pi]}{6m} \right. \\
 & \left. + Y_1 \cos \frac{[(m-3+(4X-1)\lambda)\pi + Y_2]}{6m} \cdot I_d \right\} \quad \dots (5.24)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda 1} = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} & \left\{ \frac{\cos[(m-1)\pi]}{6m} + Y_1 \cdot \frac{\cos[(m-3)\pi + Y_2]}{6m} \right. \\
 & \cdot \left\{ \frac{2 \sin(\omega\tau)}{2} \cdot \frac{\cos[(2m-1+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha]}{6m} \cdot \frac{(I_d' - I_d)}{\omega\tau} \right. \\
 & - \frac{\cos[(2m-1+2\lambda)\pi + \alpha]}{6m} \cdot I_d' + \frac{\cos[(4m-1)\pi + \alpha]}{6m} \cdot I_d \Big\} \\
 & + \frac{\sin[(3m-1+\lambda)\pi + \alpha]}{6m} \cdot \left\{ \frac{\cos[(m-1+(2X-1)\lambda)\pi]}{6m} \right. \\
 & \left. + Y_1 \cos \frac{[(m-3+(4X-1)\lambda)\pi + Y_2]}{6m} \cdot I_d \right\} \quad \dots (5.25)
 \end{aligned}$$

ซึ่งจะนำไปใช้คำนวณอินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์มูลฐาน PF1 จากสมการที่ (5.3) และอินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์รวม PF จากสมการที่ (5.5) เมื่อนำผลการคำนวณของตัวประกอบคิสทอร์ชัน DF อินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์มูลฐาน PF1 อินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์รวม PF สำหรับทุกๆ ค่าของตัวประกอบมอดดูเลชั่น λ และมุมเลื่อนเฟส α มาพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 5.6, 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ

รูปที่ 5.6 เป็นกราฟคุณสมบัติของตัวประกอบคิสทอร์ชัน DF กับตัวประกอบมอดดูเลชั่น λ เมื่อจำนวนพัลส์ของกระแสที่ดับลิวเอ็มมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าตัวประกอบคิสทอร์ชัน DF ก็จะดีขึ้นในบริเวณตัวประกอบมอดดูเลชั่น λ ค่าต่ำๆ และจะมีค่าใกล้เคียงกันบริเวณตัวประกอบมอดดูเลชั่น

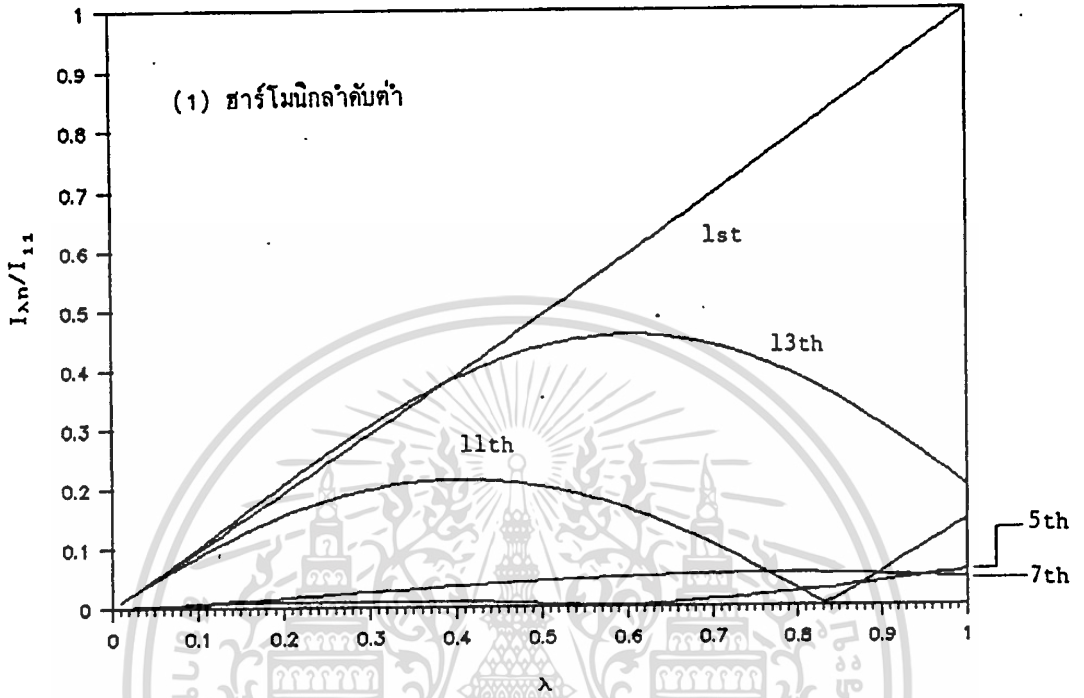
λ มีค่าสูงขึ้น

รูปที่ 5.7 แสดงคุณสมบัติของอินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์มูลฐาน PF1 กับมุมเลื่อนเฟส α ที่ตัวประกอบมีอดคูเลขชั้น λ คงที่ จะมีลักษณะเป็นรูปโคซายน์ เมื่อเพิ่มจำนวนพัลส์นั้น รูปกราฟจะเหมือนกัน

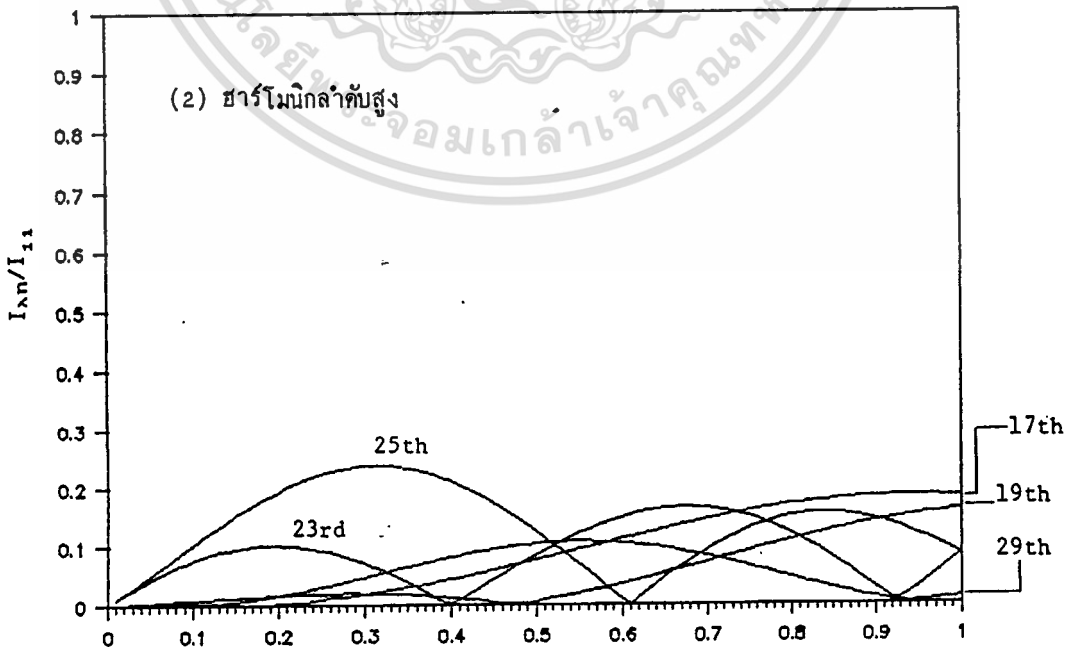
ส่วนรูปที่ 5.8 แสดงคุณสมบัติของอินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์รวม PF กับมุมเลื่อนเฟส α ที่ตัวประกอบมีอดคูเลขชั้น λ คงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะกราฟของ DF และ PF1 โดยตรง อินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์รวม PF จะแปรเปลี่ยนตามค่ามุมเลื่อนเฟส α ในลักษณะเดียวกันกับอินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์มูลฐาน PF1 โดยจะแปรเปลี่ยนในลักษณะโคซายน์ ค่าสูงสุดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าตัวประกอบคิสทอร์ชัน DF นอกจากนี้ การเพิ่มจำนวนพัลส์กระแสที่ดับลิวเอ็มนั้น จะทำให้รูปกราฟโคซายน์ที่ไม่สมมาตรของ PF เปลี่ยนแปลงไปสู่ลักษณะสมมาตร และค่าอินพุทเพาเวอร์แพคเตอร์ PF คีขึ้น



6-PULSE [LOW]

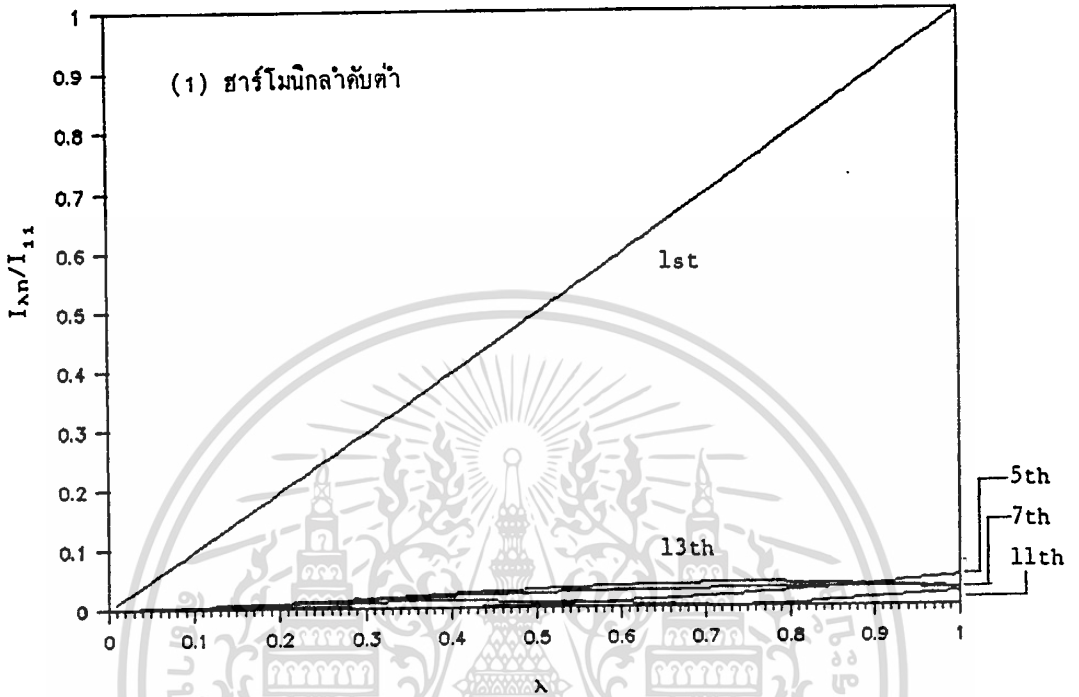


6-PULSE [HIGH]

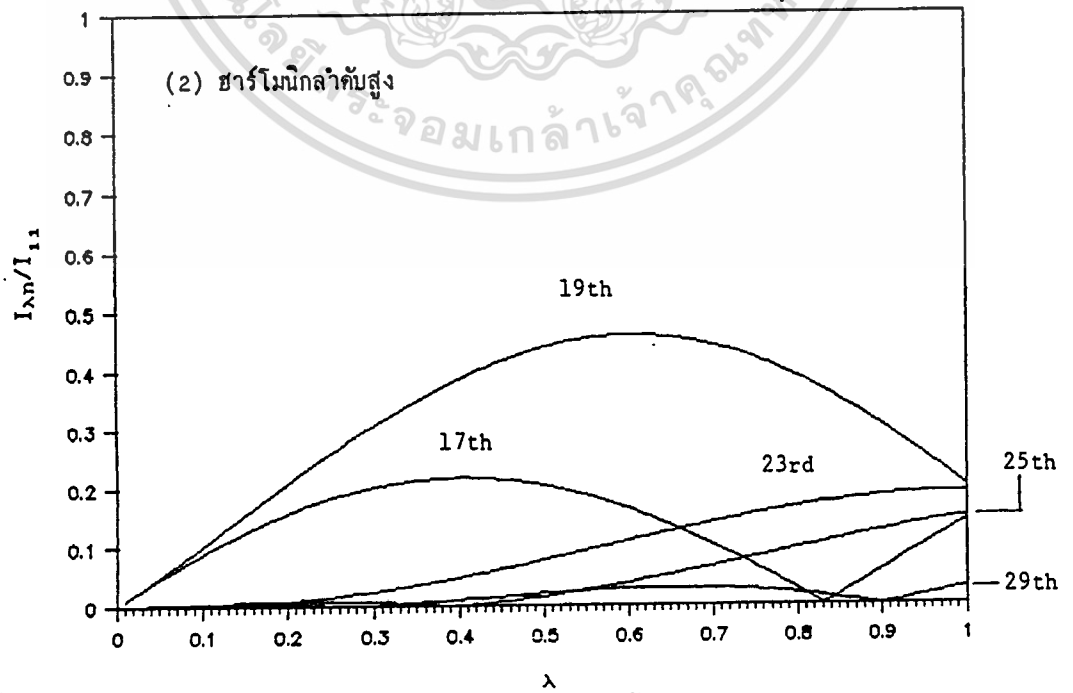


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.2 กราฟคำนวณของคปรระกอมชารโมนิกของกระแสฟักับบลิวเอ็ม
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น หากหนังสือพิมพ์ฉบับนี้ และต้องขงอิงเชิงขงเอกสารที่มการนำไปใช้
6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

9-PULSE [LOW]

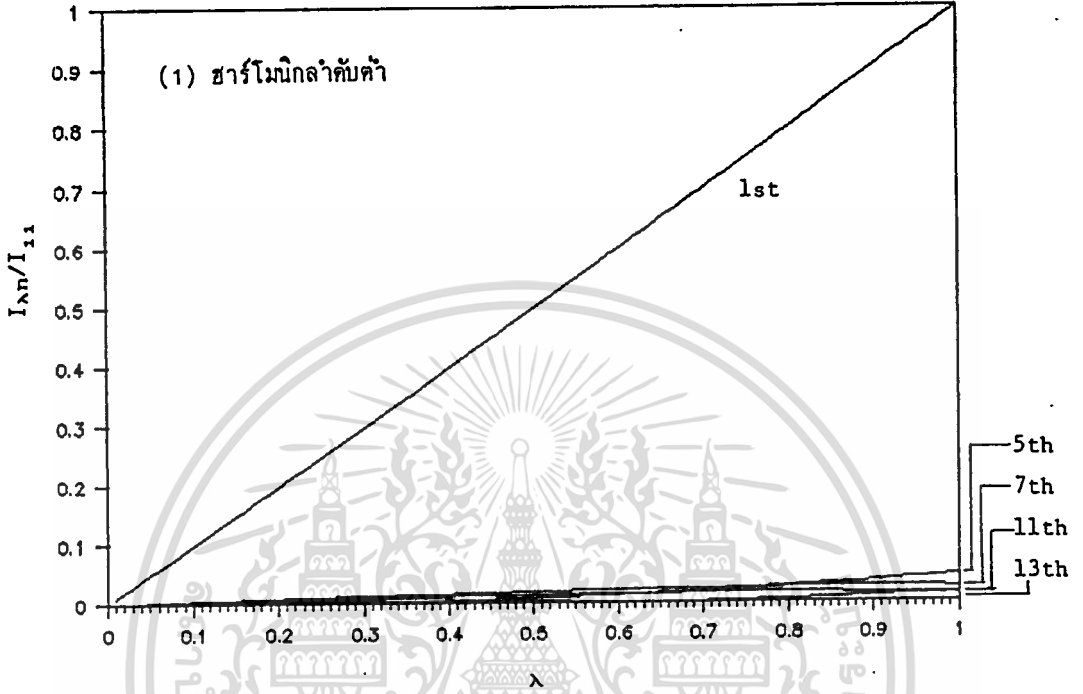


9-PULSE [HIGH]

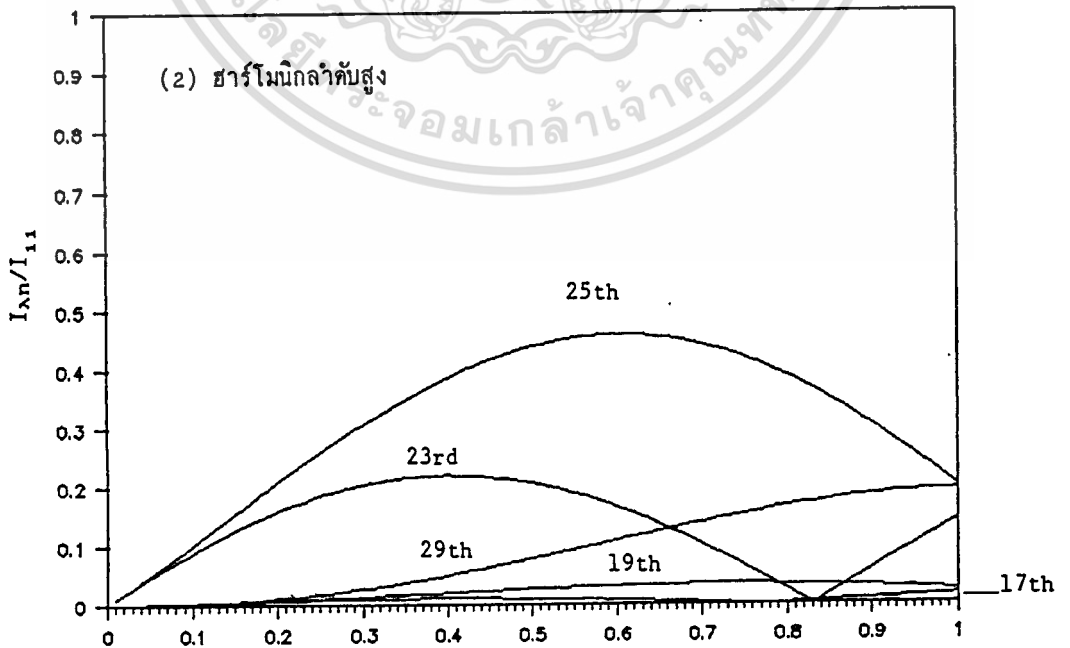


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.3 กราฟค่าแอมพลิจูดของฮาร์โมนิกของกระแสกับมุมไฟเอม
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนห้วยผะ
9 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

12-PULSE [LOW]

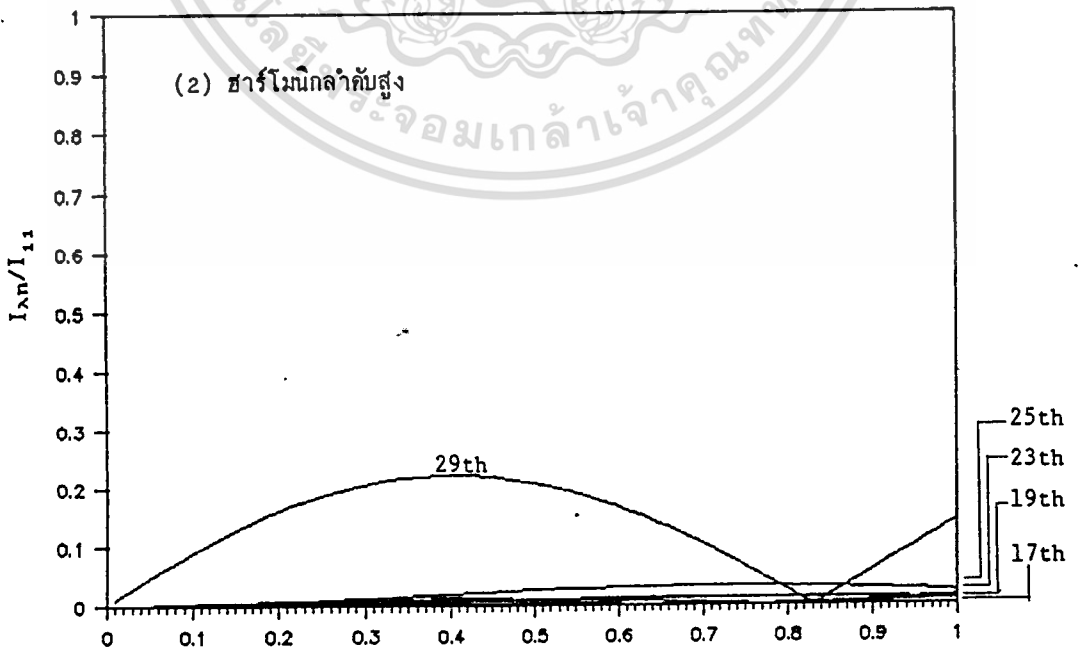
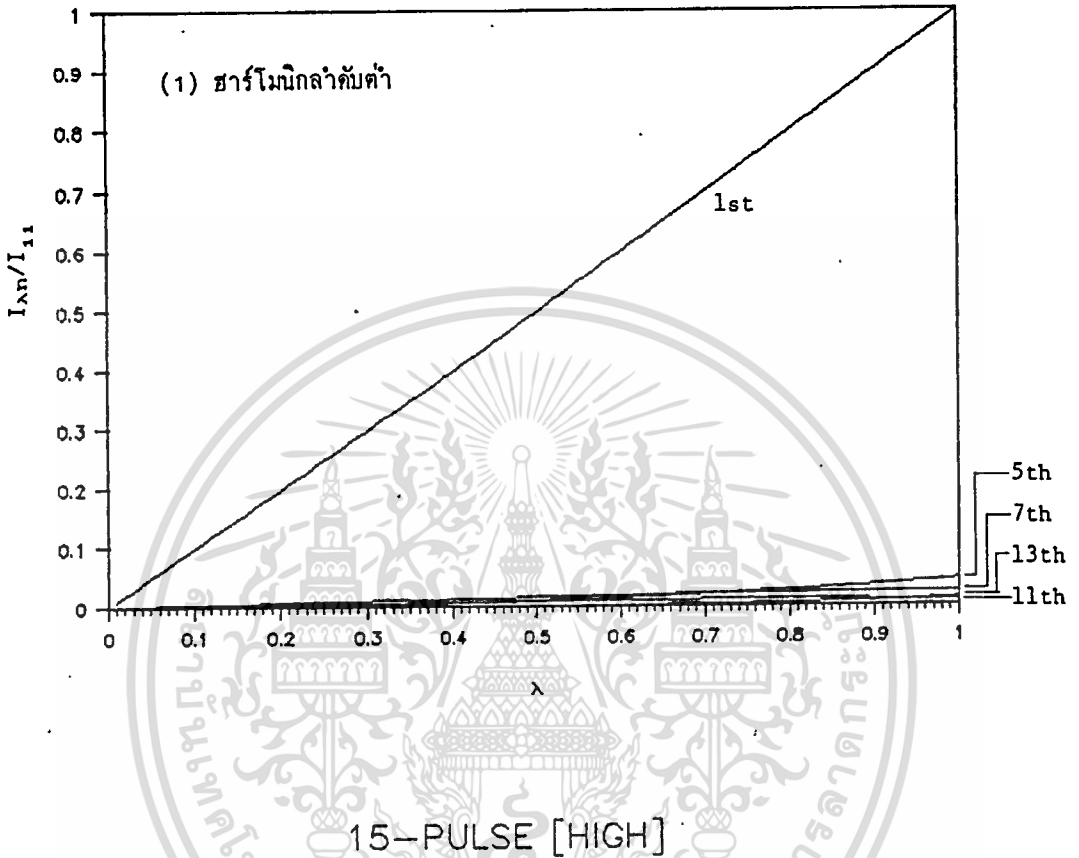


12-PULSE [HIGH]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 5.4 กราฟค่าของคประกอบฮารโมนิกของกระแสที่คัมบลิว เอ็ม
 ไม่ว่ากรณีใดทั้งสี่ ฮาทั้งที่ให้มีแต่เพียงน้อยๆ และต้องอย่างองเฟิงของเอเอกสารทุกเล่มที่มีการนำไปใช้
 12 พัลส์ในแต่ละครั้งไซเคิล

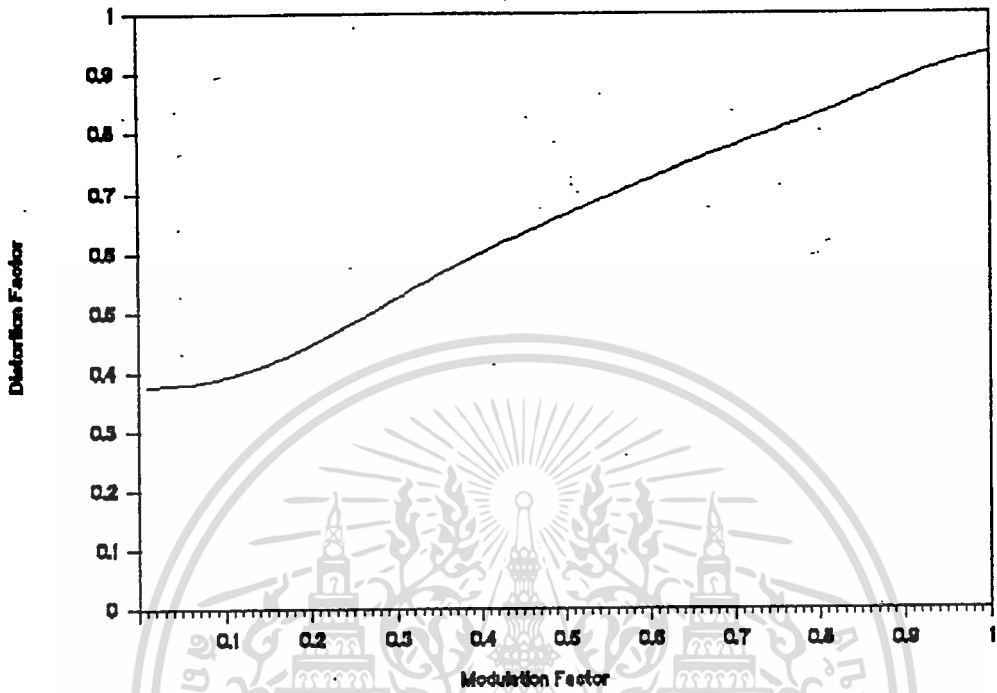
15-PULSE [LOW]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 5.5 กราฟค่าความถี่ของค้ำประกอบฮาร์โมนิกของกระแสที่ค้ำบดิว เอ็มที่มีการนำไปใช้
15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

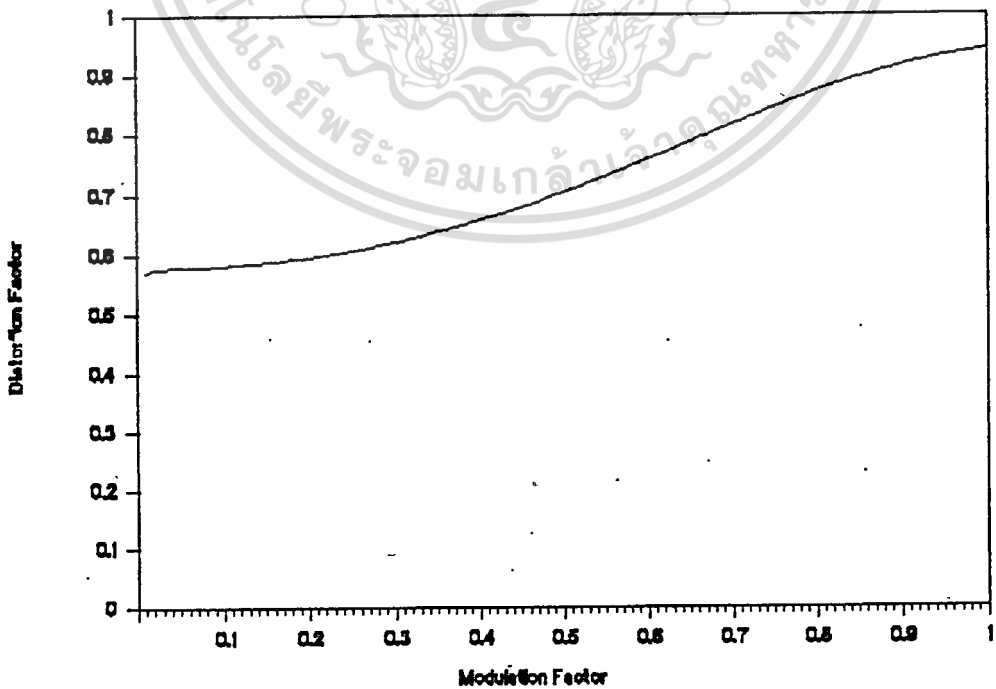
DF & rambda [6-pulse]

(1)



DF & rambda [15-pulse]

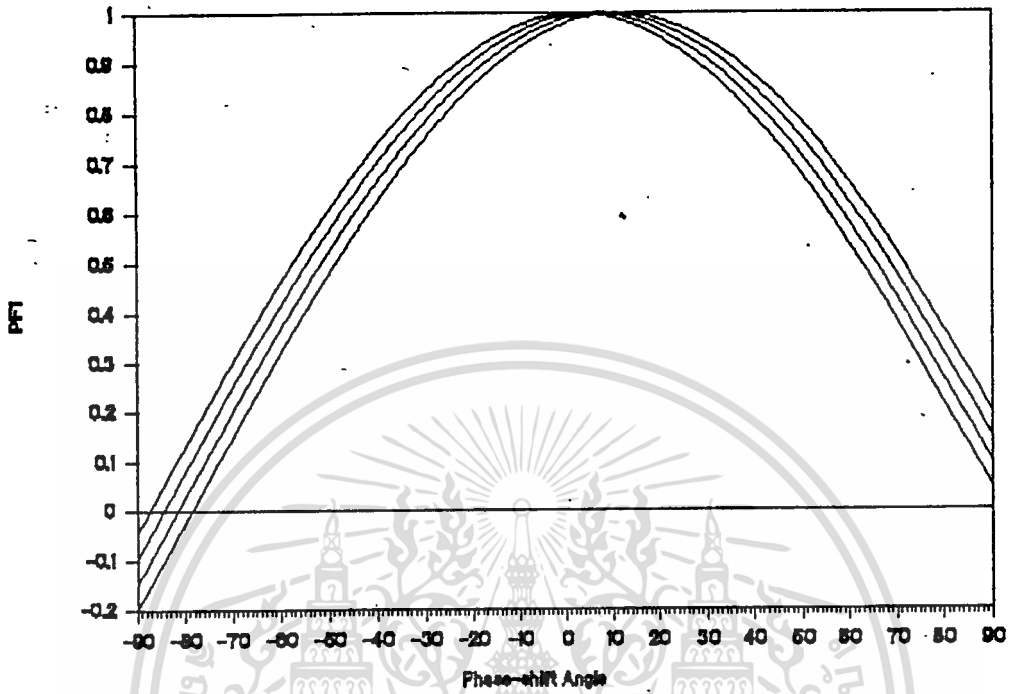
(2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 5.6 กราฟค่าความถี่ตัวประกอบคิสทอร์ชัน สำหรับกรณีนี้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง (1) 6 พัลส์ (2) 15 พัลส์ อธิบายถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

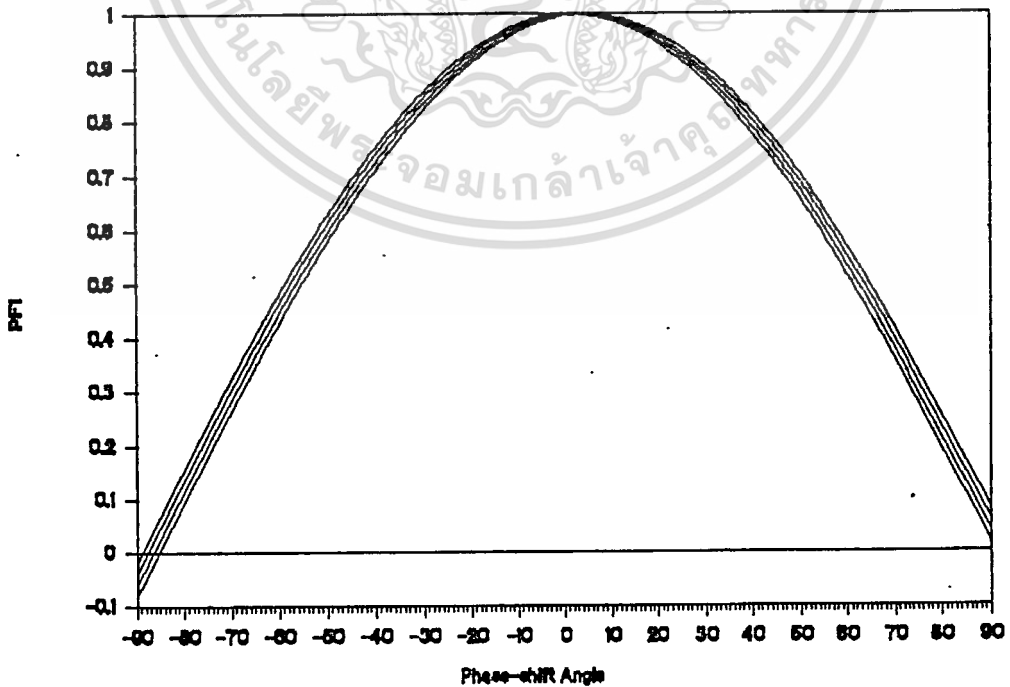
PF1 & Phase-shift Angle [6-pulse]

(1)



PF1 & Phase-shift Angle [15-pulse]

(2)



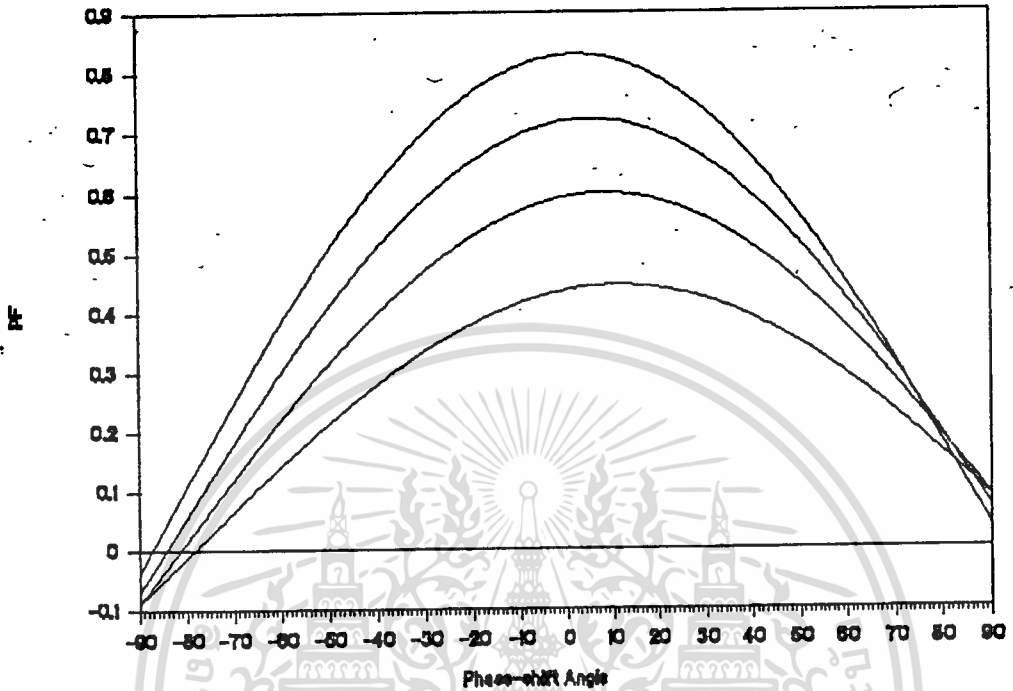
รูปที่ 5.7 กราฟค่าความอินพุทเพาเวอร์แฟกเตอร์มูลฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นโปรดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

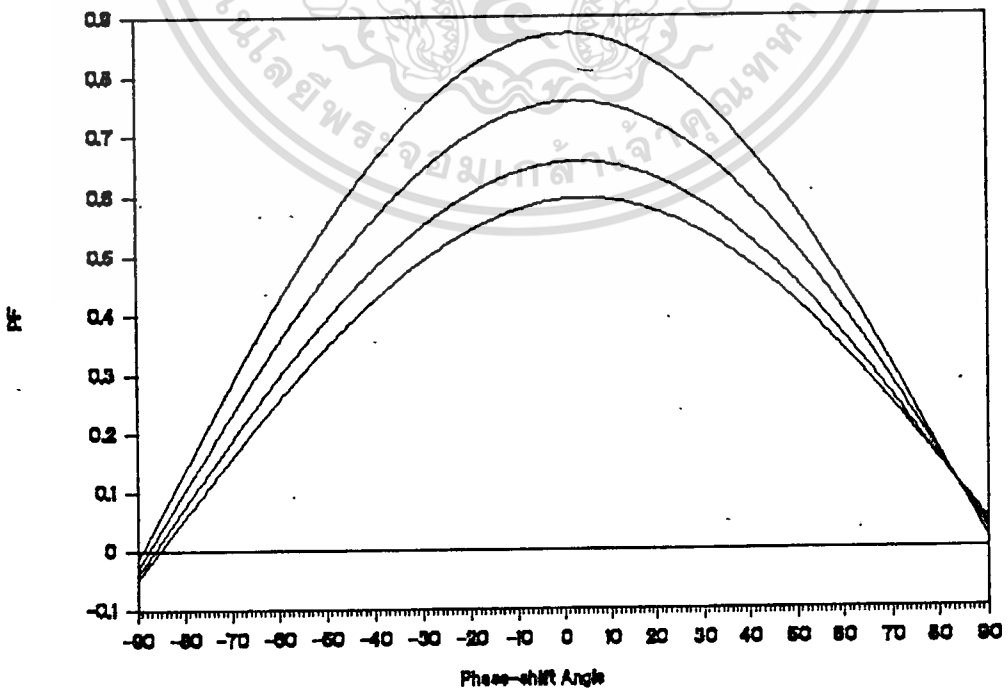
PF & Phase-shift Angle [6-pulse]

(1)



PF & Phase-shift Angle [15-pulse]

(2)



รูปที่ 5.8 กราฟค่าแอมพลิจูดอินพุตเฟาเวอร์แพคเตอร์รวม สำหรับกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น มิใช่เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์ลงเนื้อหา และห้องวิจัยจนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การวิเคราะห์แรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า มุมเลื่อนเฟสของกระแสที่ดับลิวเอ็มสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเทียบกับแรงดันจากแหล่งจ่าย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย เช่นเดียวกับกับจำนวนพัลส์ที่ดับลิวเอ็ม m ตัวประกอบมีอดดูเลขชั้น λ ดังนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลกระทบบของจำนวนพัลส์ที่ดับลิวเอ็ม m ตัวประกอบมีอดดูเลขชั้น λ และมุมเลื่อนเฟส α ที่มีต่อแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย

6.1 แรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยของกระแสที่ดับลิวเอ็มกรณี 6,9,12,15 พัลส์

พิจารณาจากรูปที่ 2.2 แรงดันเอาท์พุทที่ซึ่งจะประกอบด้วย แรงดันระหว่างไลน์สองไลน์ที่ผ่านการเรียงกระแส แรงดันจากการคายประจุของคาปาซิเตอร์ C_d ในช่วงเวลานำกระแสของ $G7$ และ $G8$ และแรงดันศูนย์โวลท์ขณะที่จีโอโทริสเตอร์ส่วนบนและส่วนล่างของวงจรกำลังหลักในไลน์เดียวกันนำกระแสพร้อมกัน ถ้านางจรช่วยปราศจากตัวเหนี่ยวนำ L_r ทั้งสองแล้ว ค่าแรงดันที่ปรากฏด้านเอาท์พุทในช่วงที่จีโอ $G7$ และ $G8$ นำกระแส จะมีค่าเท่ากับแรงดันของตัวเก็บประจุในวงจรช่วย E_{cd} อย่างไรก็ตาม ถ้านางจรช่วยจำเป็นต้องมีตัวเหนี่ยวนำ L_r ทั้งสองตัวเพื่อประโยชน์ในการป้องกันจีโอ $G7$ และ $G8$ ในขณะที่มันหยุดนำกระแส ดังนั้น ค่าแรงดันเอาท์พุทในช่วงเวลาการคายประจุจึงมีค่าไม่เท่ากับค่า E_{cd} ซึ่งเราสามารถหาค่าแรงดันนี้ได้โดยวิธีการพิจารณานางจรกำลังหลัก ขณะที่มันมีช่วงระยะเวลาการคายประจุ τ ที่ทำให้เกิดการนำกระแสของ $G7$ และ $G8$ ในวงจรช่วย ซึ่งการทำงานของวงจรแสดงไว้ในรูปที่ 6.1 โดยที่ขณะนั้น $G1$ และ $G6$ ในวงจรเรกติฟายกำลังนำกระแส i_m พร้อม ๆ กับ $G7$ และ $G8$ ในวงจรช่วยกำลังนำกระแสที่เกิดจากการคายประจุ i_d จากรูปเราจะได้สมการของแรงดัน 2 สมการ ดังนี้

รูปที่ 1

$$2L \cdot d/dt (i_m) = V_{uv} - E_d \quad \dots(6.1)$$

รูปที่ 2

$$2L_r \cdot d/dt (i_d) = E_{cd} - E_d \quad \dots(6.2)$$

จากสมการที่ (6.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2Lr \cdot d/dt (I_d - i_m) = E_{cd} - E_d$$

$$d/dt (i_m) = -(E_{cd} - E_d)/2Lr \quad \dots(6.3)$$

แทนค่าสมการที่ (6.3) ลงในสมการที่ (6.1) เราจะได้ว่า

$$(1/Lr)(E_d - E_{cd}) = V_{uv} - E_d \quad \dots(6.4)$$

กำหนดค่าให้ $1/Lr = k$ และแทนค่าลงในสมการที่ (6.4) จะได้ว่า

$$(1+k)E_d = V_{uv} + kE_{cd}$$

$$E_d = 1/(1+k)V_{uv} + k/(1+k)E_{cd} \quad \dots(6.5)$$

โดยที่

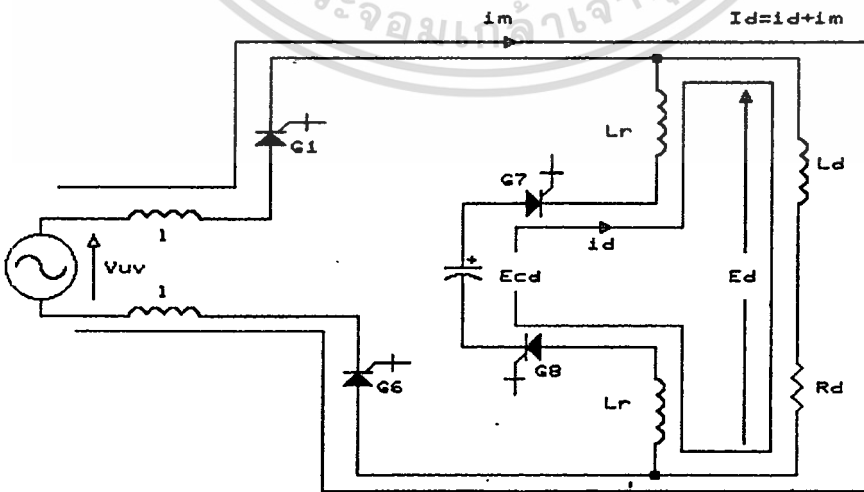
$$1/(1+k) = K \quad \dots(6.6)$$

$$k/(1+k) = 1 - K \quad \dots(6.7)$$

แทนค่าสมการที่ (6.6) และ (6.7) ลงในสมการที่ (6.5) เราจะได้ว่า

$$E_d = K \cdot V_{uv} + (1-K)E_{cd} \quad \dots(6.8)$$

จากสมการที่ (6.8) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุต E_d ตลอดช่วงเวลาการคายประจุ τ จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของตัวเหนี่ยวนำ $1/Lr$ ค่าโวลต์ทุลน์ โวลเตจ V_{uv} และค่าแรงดันของตัวเก็บประจุในวงจรช่วย E_{cd} รูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตที่คำนวณได้เมื่อเราทำการพิจารณาค่า τ จากสมการที่ (6.8) จะมีผลที่ช่วงท้ายของแต่ละช่วงพัลส์ λT ของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุต E_d รูปที่ 6.2 แสดงถึงรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตจากการคำนวณสำหรับค่ามุมเลื่อนเฟส $\alpha = -90^\circ, 90^\circ$ สำหรับกรณี 6 พัลส์



รูปที่ 6.1 การทำงานของวงจรกำลังหลักในช่วงเวลาคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตในรูปที่ 6.2 เราสามารถแสดงสมการแรงดันที่ช่วงเวลาต่างๆได้ดังตารางที่ 6.1 โดยอาศัยตารางที่ 6.1 และสมการที่ (6.8) เราสามารถเขียนสมการของแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย E_d ที่มีความสัมพันธ์กับมุมเลื่อนเฟส α และคาบเวลาการคายประจุ τ สำหรับกรณีพีดับบลิวเอ็ม 6 พัลส์ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 E_d(\alpha, \tau) = & \frac{3}{\pi} \int_{\alpha}^{(1-X)\lambda\pi/6+\alpha} E_m \cos \theta \, d\theta + \int_{(1-X)\lambda\pi/6+\alpha}^{\lambda\pi/6-\omega\tau+\alpha} E_m \sin(\theta + \pi/6) \, d\theta \\
 & + \int_{\lambda\pi/6-\omega\tau+\alpha}^{\lambda\pi/6+\alpha} \{K \cdot E_m \sin(\theta + \pi/6) + (1-K)E_{cd}\} \, d\theta \\
 & + \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/6+X\lambda\pi/6+\alpha} E_m \cos \theta \, d\theta + \int_{\pi/6+X\lambda\pi/6+\alpha}^{\pi/6+\lambda\pi/6-\omega\tau+\alpha} E_m \sin(\theta + \pi/6) \, d\theta \\
 & + \int_{\pi/6+\lambda\pi/6+\alpha}^{\pi/6+\lambda\pi/6-\omega\tau+\alpha} \{K \cdot E_m \sin(\theta + \pi/6) + (1-K)E_{cd}\} \, d\theta \quad \dots(6.9)
 \end{aligned}$$

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการที่ (6.9) แล้วจะได้สมการแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 E_d(\alpha, \tau)/E_m = & \frac{3}{\pi} \left[\frac{\sin[(1-X)\lambda\pi+\alpha]}{6} - \frac{\sin \alpha}{6} + \frac{\cos[(1-X)\lambda\pi+\alpha+\pi]}{6} - \frac{\cos \alpha}{6} \right. \\
 & - \frac{\cos[\lambda\pi+\omega\tau+\alpha+\pi]}{6} + K \cdot \frac{\cos[\lambda\pi-\omega\tau+\alpha+\pi]}{6} \\
 & - K \cdot \frac{\cos[\lambda\pi+\alpha+\pi]}{6} + (1-K)(E_{cd}/E_m)\omega\tau \\
 & + \frac{\sin[\pi+X\lambda\pi+\alpha]}{6} - \frac{\sin[\pi+\alpha]}{6} + \frac{\cos[\pi+X\lambda\pi+\alpha]}{3} - \frac{\cos[\pi+\lambda\pi-\omega\tau+\alpha]}{3} \\
 & \left. + K \cdot \frac{\cos[\pi+\lambda\pi-\omega\tau+\alpha]}{3} - K \cdot \frac{\cos[\pi+\lambda\pi+\alpha]}{3} + (1-K)(E_{cd}/E_m)\omega\tau \right] \quad \dots(6.10)
 \end{aligned}$$

โดยที่ $K : 1/(1+k)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$k : 1/Lr$

l : ลีแกจอินดัคแตนซ์จากแหล่งจ่ายโวลต์

Lr : ค่าอินดัคแตนซ์ในวงจรช่วย

สมการแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยข้างบนเป็นตัวอย่างสำหรับกรณี 6 พัลส์ ในทำนองเดียวกัน สมการแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยสำหรับกรณี 9, 12 และ 15 พัลส์ สามารถพิจารณาได้โดยอาศัยตารางที่ 6.2, 6.3, 6.4 และสมการที่ (6.9) จากนั้นจึงนำสมการแรงดันเอาต์พุตที่ได้สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ คือสมการที่ (6.11)-(6.14) ซึ่งเป็นผลการคำนวณขั้นสุดท้าย ไปทำการพิจารณาเปรียบเทียบของสมการแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยต่อไป

ตารางที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่างๆกับสมการแรงดันสำหรับกรณี 6 พัลส์

พัลส์ที่	ช่วงที่	จาก	ถึง	สมการแรงดัน
1	1	α	$\alpha+(1-X)\lambda T$	$E_m \cdot \cos \theta$
	2	$\alpha+(1-X)\lambda T$	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \cdot \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+\lambda T$	$K \cdot E_m \cdot \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$
2	1	$\alpha+T$	$\alpha+T+X\lambda T$	$E_m \cdot \cos \theta$
	2	$\alpha+T+X\lambda T$	$\alpha+T+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \cdot \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+\lambda T$	$K \cdot E_m \cdot \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$

ตารางที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่างๆกับสมการแรงดันสำหรับกรณี 9 พัลส์

พัลส์ที่	ช่วงที่	จาก	ถึง	สมการแรงดัน
1	1	α	$\alpha+(1-X)\lambda T$	$Em.\cos \theta$
	2	$\alpha+(1-X)\lambda T$	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$Em.\sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+\lambda T$	$K.Em.\sin (\theta+\pi/6)+(1-K)Ecd$
2	1	$\alpha+T$	$\alpha+T+0.5\lambda T$	$Em.\cos \theta$
	2	$\alpha+T+0.5\lambda T$	$\alpha+T+\lambda T-\omega\tau$	$Em.\sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+T+\lambda T$	$K.Em.\sin (\theta+\pi/6)+(1-K)Ecd$
3	1	$\alpha+2T$	$\alpha+2T+X\lambda T$	$Em.\cos \theta$
	2	$\alpha+2T+X\lambda T$	$\alpha+2T+\lambda T-\omega\tau$	$Em.\sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+2T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+2T+\lambda T$	$K.Em.\sin (\theta+\pi/6)+(1-K)Ecd$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่างๆกับสมการแรงดันสำหรับกรณี 12 พัลส์

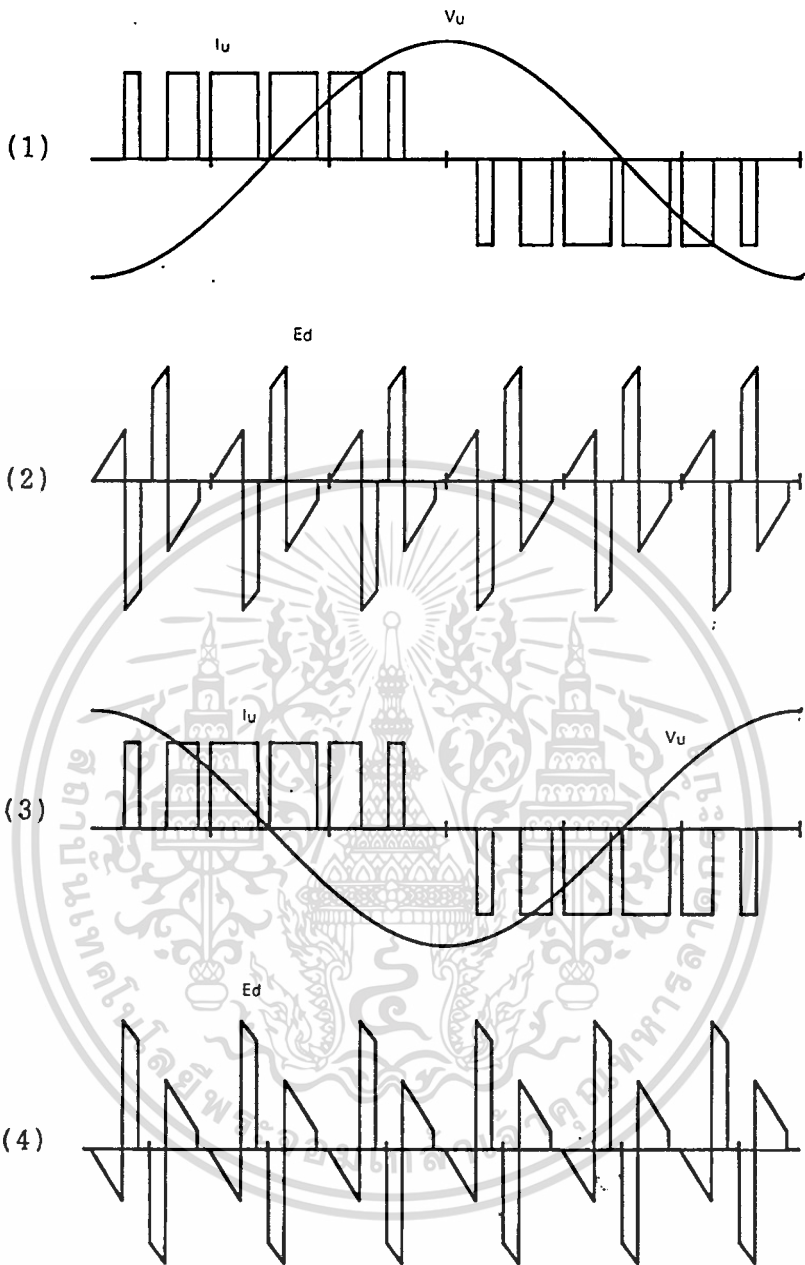
พัลส์ที่	ช่วงที่	จาก	ถึง	สมการแรงดัน
1	1	α	$\alpha+(1-X)\lambda T$	$E_m \cos \theta$
	2	$\alpha+(1-X)\lambda T$	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+\lambda T$	$K.E_m \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$
2	1	$\alpha+T$	$\alpha+T+(1-2X)\lambda T$	$E_m \cos \theta$
	2	$\alpha+T+(1-2X)\lambda T$	$\alpha+T+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+T+\lambda T$	$K.E_m \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$
3	1	$\alpha+2T$	$\alpha+2T+2X\lambda T$	$E_m \cos \theta$
	2	$\alpha+2T+2X\lambda T$	$\alpha+2T+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+2T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+2T+\lambda T$	$K.E_m \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$
4	1	$\alpha+3T$	$\alpha+3T+X\lambda T$	$E_m \cos \theta$
	2	$\alpha+3T+X\lambda T$	$\alpha+3T+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+3T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+3T+\lambda T$	$K.E_m \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่างๆกับสมการแรงดันสำหรับกรณี 15 พัลส์

พัลส์ที่	ช่วงที่	จาก	ถึง	สมการแรงดัน
1	1	α	$\alpha+(1-X)\lambda T$	$E_m \cos \theta$
	2	$\alpha+(1-X)\lambda T$	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+\lambda T$	$K.E_m \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$
2	1	$\alpha+T$	$\alpha+T+(1-2X)\lambda T$	$E_m \cos \theta$
	2	$\alpha+T+(1-2X)\lambda T$	$\alpha+T+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+T+\lambda T$	$K.E_m \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$
3	1	$\alpha+2T$	$\alpha+2T+0.5\lambda T$	$E_m \cos \theta$
	2	$\alpha+2T+0.5\lambda T$	$\alpha+2T+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+2T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+2T+\lambda T$	$K.E_m \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$
4	1	$\alpha+3T$	$\alpha+3T+2X\lambda T$	$E_m \cos \theta$
	2	$\alpha+3T+2X\lambda T$	$\alpha+3T+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+3T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+3T+\lambda T$	$K.E_m \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$
5	1	$\alpha+4T$	$\alpha+4T+X\lambda T$	$E_m \cos \theta$
	2	$\alpha+4T+X\lambda T$	$\alpha+4T+\lambda T-\omega\tau$	$E_m \sin (\theta+\pi/6)$
	3	$\alpha+4T+\lambda T-\omega\tau$	$\alpha+4T+\lambda T$	$K.E_m \sin (\theta+\pi/6)+(1-K)E_{cd}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 ลักษณะ คลื่นกระแสเอชไอไลน์ และ แรงดันทางด้านอินพุตและ เอาท์พุท
(1),(2) กรณีมุมเลื่อนเฟส = -90°
(3),(4) กรณีมุมเลื่อนเฟส = 90°

กรณี 6 พัลส์

$$\begin{aligned}
 & \text{Ed}(\alpha, \tau) / \text{Em} = \frac{3}{\pi} \left[\frac{2 \cos \left[\frac{\pi + (2X-1)\lambda\pi}{12} \right]}{12} \cdot \left\{ \frac{\sin \left[\frac{(1+\lambda)\pi + \alpha}{12} \right]}{12} + \frac{\cos \left[\frac{(3+\lambda)\pi + \alpha}{12} \right]}{12} \right\} \right. \\
 & \quad (4) \qquad (5) \qquad (6) \\
 & \quad - \frac{2 \cos \frac{\pi}{12} \left\{ \frac{\sin \left[\frac{\pi + \alpha}{12} \right]}{12} + \frac{\cos \left[\frac{(3+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha}{12} \right]}{12} \right\}}{12} \\
 & \quad (7) \qquad (8) \\
 & \quad \left. - 2K \cdot \frac{\sin \left[\frac{(3+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha}{12} \right]}{12} \cdot \frac{\sin \omega\tau}{2} + 2\omega\tau(1-K) \left(\frac{\text{Ecd}}{\text{Em}} \right) \right] \dots (6.11)
 \end{aligned}$$

กรณี 9 พัลส์

$$\begin{aligned}
 & \text{Ed}(\alpha, \tau) / \text{Em} = \frac{3}{\pi} \left[\frac{\left\{ \frac{2 \cos \left[\frac{\pi + (2X-1)\lambda\pi}{9} \right]}{9} + 1 \right\} \cdot \left\{ \frac{\sin \left[\frac{(2+\lambda)\pi + \alpha}{18} \right]}{18} + \frac{\cos \left[\frac{(5+\lambda)\pi + \alpha}{18} \right]}{18} \right\}}{18} \right. \\
 & \quad (1) \qquad (2) \qquad (3) \\
 & \quad \left. - \frac{2 \left\{ \cos \frac{\pi + 0.5}{9} \right\} \cdot \left\{ \frac{\sin \left[\frac{\pi + \alpha}{9} \right]}{9} + \frac{\cos \left[\frac{(5+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha}{18} \right]}{18} \right\}}{9} \right. \\
 & \quad (4) \qquad (5) \qquad (6) \\
 & \quad \left. - 2K \cdot \frac{\sin \left[\frac{(5+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha}{18} \right]}{18} \cdot \frac{\sin \omega\tau}{2} + 3\omega\tau(1-K) \left(\frac{\text{Ecd}}{\text{Em}} \right) \right] \dots (6.12)
 \end{aligned}$$

กรณี 12 พัลส์

$$\begin{aligned}
 & \text{Ed}(\alpha, \tau) / \text{Em} = \frac{3}{\pi} \left[\frac{2 \cos \left[\frac{3\pi + (2X-1)\lambda\pi}{24} \right]}{24} + \frac{2 \cos \left[\frac{\pi + (4X-1)\lambda\pi}{24} \right]}{24} \right. \\
 & \quad (1) \qquad (2) \qquad (3) \qquad (4) \\
 & \quad \left. \cdot \left\{ \frac{\sin \left[\frac{(3+\lambda)\pi + \alpha}{24} \right]}{24} + \frac{\cos \left[\frac{(7+\lambda)\pi + \alpha}{24} \right]}{24} \right\} - 2 \left\{ \frac{\cos \frac{3\pi}{24}}{24} + \frac{\cos \frac{\pi}{24}}{24} \right\} \right. \\
 & \quad \left. - 2K \cdot \frac{\sin \left[\frac{(3+\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha}{24} \right]}{24} \cdot \frac{\sin \omega\tau}{2} + 3\omega\tau(1-K) \left(\frac{\text{Ecd}}{\text{Em}} \right) \right]
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 & \text{(5)} \qquad \qquad \qquad \text{(6)} \qquad \qquad \qquad \text{(7)} \\
 & \frac{\sin [3\pi+\alpha]+\cos [(7+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]-2K.\sin [(7+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]}{24} \\
 & \qquad \qquad \qquad \frac{\sin \omega\tau\}+4\omega\tau(1-K)(E_{cd}/E_m)}{2} \qquad \qquad \qquad \dots(6.13)
 \end{aligned}$$

กรณี 15 พัลส์

$$\begin{aligned}
 & \text{(1)} \\
 & E_d(\alpha, \tau)/E_m = \frac{3}{\pi} \left[\frac{\{2\cos [4\pi+(2X-1)\lambda\pi]+2\cos [2\pi+(4X-1)\lambda\pi]+1\}}{30} \right. \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{(2)} \qquad \qquad \qquad \text{(3)} \qquad \qquad \qquad \text{(4)} \\
 & \qquad \qquad \qquad \frac{\{\sin [(4+\lambda)\pi+\alpha]+\cos [(9+\lambda)\pi+\alpha]\}-2\{\cos 2\pi+\cos \pi+0.5\}}{30} \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{(5)} \qquad \qquad \qquad \text{(6)} \qquad \qquad \qquad \text{(7)} \\
 & \qquad \qquad \qquad \frac{\{\sin [2\pi+\alpha]+\cos [(9+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]-2K.\sin [(9+2\lambda)\pi-\omega\tau+\alpha]}{15} \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{(8)} \\
 & \qquad \qquad \qquad \left. \frac{\sin \omega\tau\}+5\omega\tau(1-K)(E_{cd}/E_m)}{2} \right] \dots(6.14)
 \end{aligned}$$

6.2 สมการรูปทั่วไปของแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย

จากสมการที่ (6.11)-(6.14) ซึ่งเป็นสมการแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยสำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ เมื่อทำการจัดกลุ่มและ เรียงรูปใหม่กับด้านขวาของสมการแรงดันเหล่านี้ จะทำให้อยู่ในรูปสมการทั่วไปสำหรับรูปคลื่นพีคดับลิแวน 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ได้ดังนี้

สำหรับทุก ๆ เทอม (1)

$$2\cos \frac{[\pi+(2X-1)\lambda\pi]}{12} + Y_0(=0) + Y_3(=0)$$

$$2\cos \frac{[2\pi+(2X-1)\lambda\pi]}{18} + Y_0(=0) + Y_3(=1)$$

$$2\cos \frac{[3\pi+(2X-1)\lambda\pi]}{24} + Y_0(=2)\cos \frac{[\pi+(4X-1)\lambda\pi]}{24} + Y_3(=0)$$

$$2\cos \frac{[4\pi+(2X-1)\lambda\pi]}{30} + Y_0(=2)\cos \frac{[2\pi+(4X-1)\lambda\pi]}{30} + Y_3(=1)$$

จะ ได้รูปทั่วไปดังนี้ คือ $2\cos \frac{[(m-1)\pi+(2X-1)\lambda\pi]}{6m} + Y_0 \cdot \cos \frac{[(m-3)\pi+(4X-1)\lambda\pi]}{6m} + Y_3$

สำหรับทุก ๆ เทอม (2)

$$\sin \frac{[(1+\lambda)\pi+\alpha]}{12}$$

$$\sin \frac{[(2+\lambda)\pi+\alpha]}{18}$$

$$\sin \frac{[(3+\lambda)\pi+\alpha]}{24}$$

$$\sin \frac{[(4+\lambda)\pi+\alpha]}{30}$$

จะ ได้รูปทั่วไป คือ $\sin \frac{[(m-1+\lambda)\pi+\alpha]}{6m}$

สำหรับทุก ๆ เทอม (3)

$$\cos \frac{[(3+\lambda)\pi+\alpha]}{12}$$

$$\cos \frac{[(5+\lambda)\pi+\alpha]}{18}$$

$$\frac{\cos [(7+\lambda)\pi+\alpha]}{24}$$

$$\frac{\cos [(9+\lambda)\pi+\alpha]}{30}$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\frac{\cos [(2m-1+\lambda)\pi+\alpha]}{6m}$

สำหรับทุก ๆ เทอม (4)

$$\frac{\cos \pi + Y_1(=0) + Y_2(=0)}{12}$$

$$\frac{\cos 2\pi + Y_1(=0.5) + Y_2(=0)}{18}$$

$$\frac{\cos 3\pi + Y_1(=1)\cos \pi + Y_2(=0)}{24}$$

$$\frac{\cos 4\pi + Y_1(=1)\cos 2\pi + Y_2(=0.5)}{30}$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\frac{\cos [(m-1)\pi] + Y_1 \cdot \cos [(m-3)\pi] + Y_2}{6m}$

สำหรับทุก ๆ เทอม (5)

$$\frac{\sin [\pi+\alpha]}{12}$$

$$\frac{\sin [2\pi+\alpha]}{18}$$

$$\frac{\sin [3\pi+\alpha]}{24}$$

$$\frac{\sin [4\pi+\alpha]}{30}$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\frac{\sin [(m-1)\pi+\alpha]}{6m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทุก ๆ เทอม (6)

$$\frac{\cos [(3+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{12}$$

$$\frac{\cos [(5+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{18}$$

$$\frac{\cos [(7+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{24}$$

$$\frac{\cos [(9+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{30}$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\frac{\cos [(2m-1+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{6m}$

สำหรับทุก ๆ เทอม (7)

$$\frac{\sin [(3+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{12} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\frac{\sin [(5+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{18} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\frac{\sin [(7+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{24} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\frac{\sin [(9+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{30} \cdot \frac{1}{2}$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\frac{\sin [(2m-1+2\lambda)\pi+\alpha-\omega\tau]}{6m} \cdot \frac{1}{2}$

สำหรับทุก ๆ เทอม (8)

$$2\omega\tau(1-K)(Ecd/Em)$$

$$3\omega\tau(1-K)(Ecd/Em)$$

$$4\omega\tau(1-K)(Ecd/Em)$$

$$5\omega\tau(1-K)(Ecd/Em)$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $m\omega\tau(1-K)(Ecd/Em)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนสมการรูปทั่วไปของเทอม (1), (2), (3),..., (8) ลงในสมการที่ (6.11) จนถึง (6.14) จะสามารถเขียนสมการรูปทั่วไปของแรงดันดีซีเอาท์พุทเฉลี่ย E_d ได้ดังนี้

$$E_d(\alpha, \tau)/E_m = 3 \left[\frac{2 \sin \left[\frac{(m-1)\pi + (2X-1)\lambda\pi}{6m} \right] + Y_0 \cdot \cos \left[\frac{(m-3)\pi + (4X-1)\lambda\pi}{6m} \right] + Y_3}{\pi} \right. \\ \cdot \left. \frac{\sin \left[\frac{(m-1+\lambda)\pi + \alpha}{6m} \right] + \cos \left[\frac{(2m-1+\lambda)\pi + \alpha}{6m} \right]}{6m} \right. \\ \left. - 2 \left\{ \frac{\cos \left[\frac{(m-1)\pi}{6m} \right] + Y_1 \cdot \cos \left[\frac{(m-3)\pi}{6m} \right] + Y_2}{6m} \right\} \right. \\ \left. \cdot \frac{\sin \left[\frac{(m-1)\pi + \alpha}{6m} \right] + \cos \left[\frac{(2m-1+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha}{6m} \right]}{6m} \right. \\ \left. - 2K \cdot \frac{\sin \left[\frac{(2m-1+2\lambda)\pi - \omega\tau + \alpha}{6m} \right] \cdot \sin \frac{\omega\tau}{2} + m\omega\tau(1-K)(E_{cd}/E_m)}{2} \right] \quad \dots (6.15)$$

โดยที่

กรณี 6 พัลส์	$Y_0 = 0$	$Y_1 = 0$	$Y_2 = 0$	$Y_3 = 0$	$X = 1/3$
กรณี 9 พัลส์	$Y_0 = 0$	$Y_1 = 0.5$	$Y_2 = 0$	$Y_3 = 1$	$X = 1/4$
กรณี 12 พัลส์	$Y_0 = 2$	$Y_1 = 1$	$Y_2 = 0$	$Y_3 = 0$	$X = 1/5$
กรณี 15 พัลส์	$Y_0 = 2$	$Y_1 = 1$	$Y_2 = 0.5$	$Y_3 = 1$	$X = 1/6$

6.3 ลักษณะคลื่นแรงดันเอาท์พุท

เมื่อแทนค่า Y_0, Y_1, Y_2, Y_3 และ X ลงในสมการแรงดันรูปทั่วไปดังสมการที่ (6.15) จะได้กราฟคำนวณคุณสมบัติของแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย E_d กับมุมเลื่อนเฟส α สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ โดยที่ตัวประกอบมีอดดูล์เลข λ คงที่ งานที่นี้เราจะแสดงเฉพาะของกรณี 6 พัลส์และ 15 พัลส์ดังรูปที่ 6.3(1)-(2) ตามลำดับ ซึ่งจากรูปเหล่านี้จะแสดงให้เห็นผลกระทบของจำนวนพัลส์ที่มีต่อแรงดันเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ ดังนี้

เมื่อทำการเลื่อนเฟสกระแสฟีดแบค ลิวเอมโดยที่ตัวประกอบมีอดดูล์เลข λ คงที่ แรงดันเอาท์พุทจะมีค่าสูงสุดบริเวณมุมเลื่อนเฟส $\alpha=0$ จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง ลักษณะของโคไซน์ เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

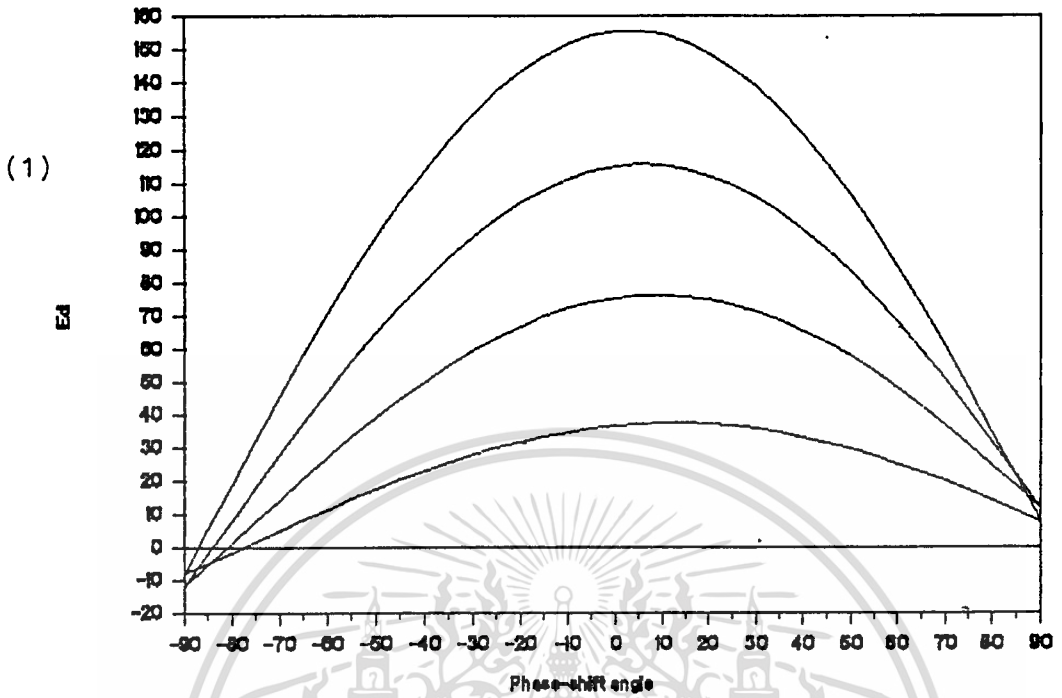
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเลือนเฟส α มากขึ้นทั้งในทิศทางล้าหน้าและล้าหลัง โดยจะมีค่ามากขึ้นเมื่อตัวประกอบมือคดูละ
ชั้นมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อเพิ่มจำนวนพัลส์ที่ดับบลิวเอ็มมากขึ้น กราฟแรงดันที่ได้จะมีความสม
มาตรมากขึ้น

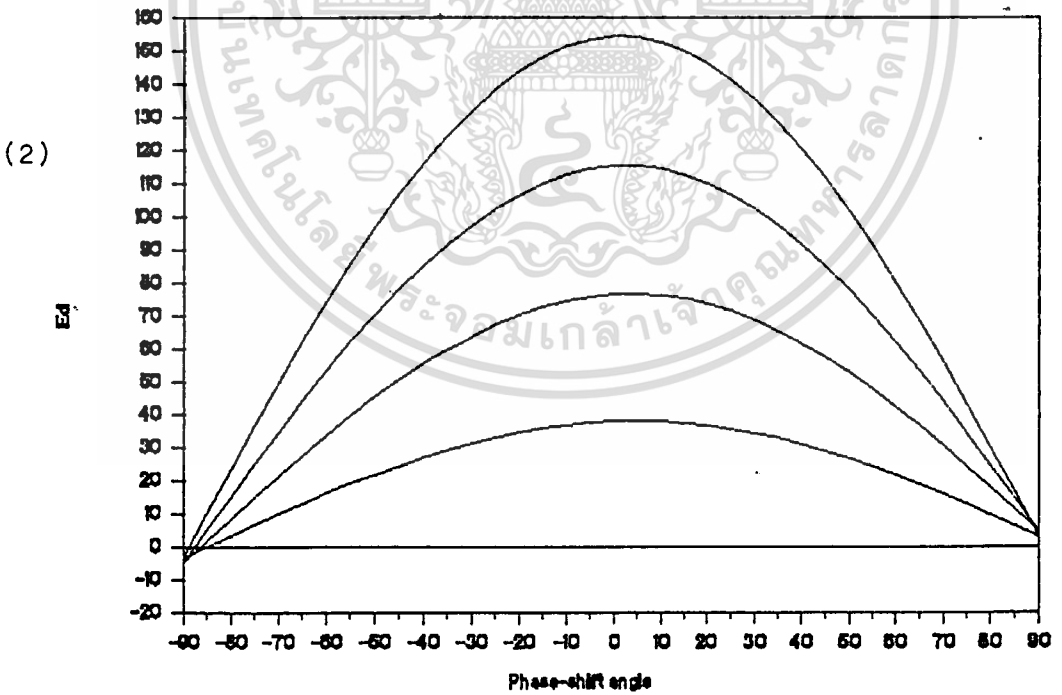
รูปคลื่นแรงดันเอาท์พุทครึ่งไซเคิลจากการคำนวณดังรูปที่ 6.2 ได้รับการพิสูจน์ด้วยรูป
คลื่นจากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นจากการทดลองกับการคำนวณมีลัก
ษณะคล้ายคลึงกัน รูปที่ 6.5(1)-(2) เป็นลักษณะคลื่นแรงดันเอาท์พุทสำหรับกรณี 6 พัลส์ ที่มุม
เลือนเฟส -60° และ 60° ส่วนรูปที่ 6.6(1)-(2) เป็นคลื่นแรงดันเอาท์พุทสำหรับกรณี 15
พัลส์ ที่มุมเลือนเฟส -60° และ 60° ตามลำดับ



Ed & Phase-shift Angle (6-pulse)



Ed & Phase-shift Angle (15-pulse)



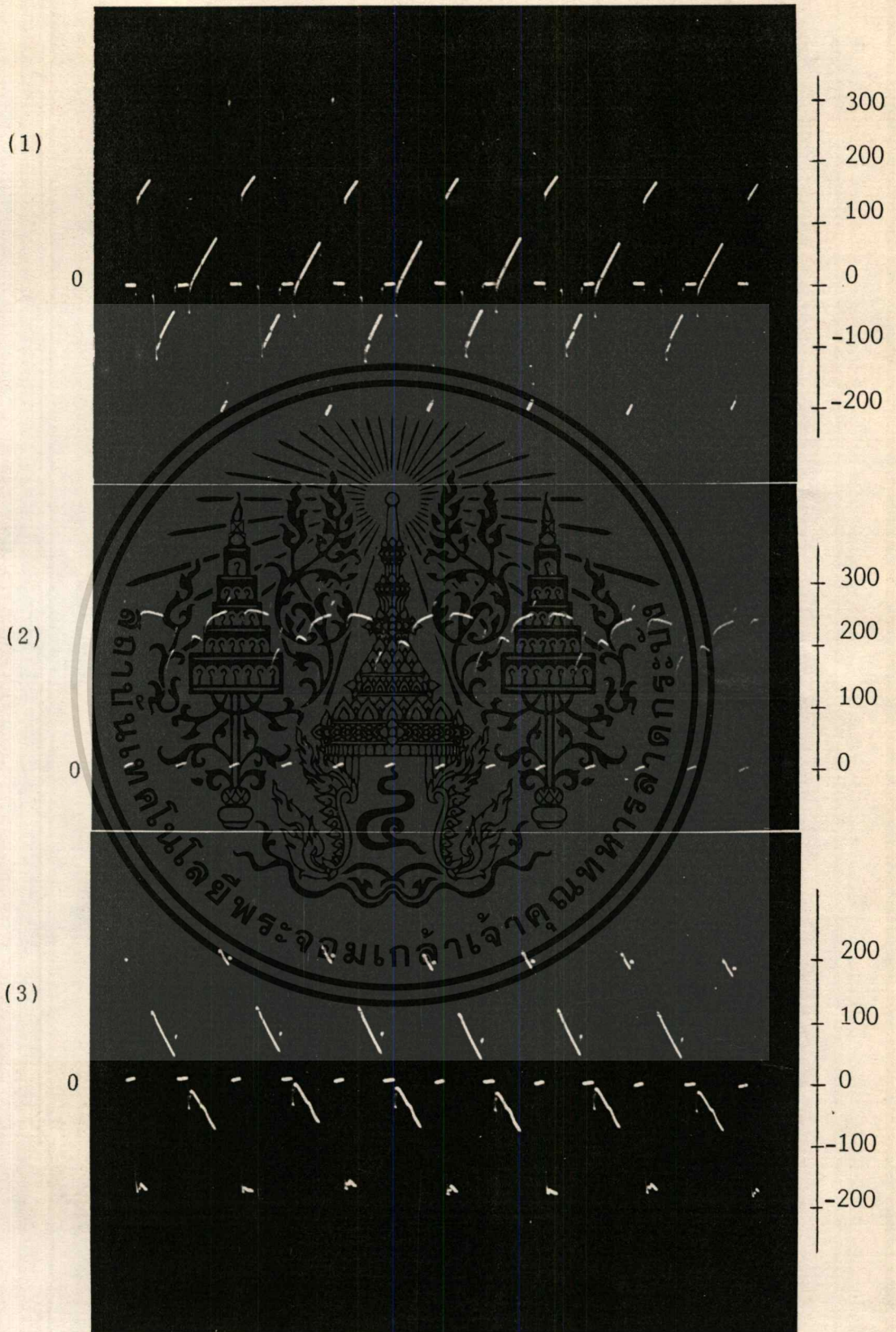
รูปที่ 6.3 ผลคำนวณแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยกับมุมเลื่อนเฟส

(จากบนลงล่าง $\lambda=0.8, 0.6, 0.4, 0.2$)

(1) กรณี 6 พัลส์ (2) กรณี 15 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

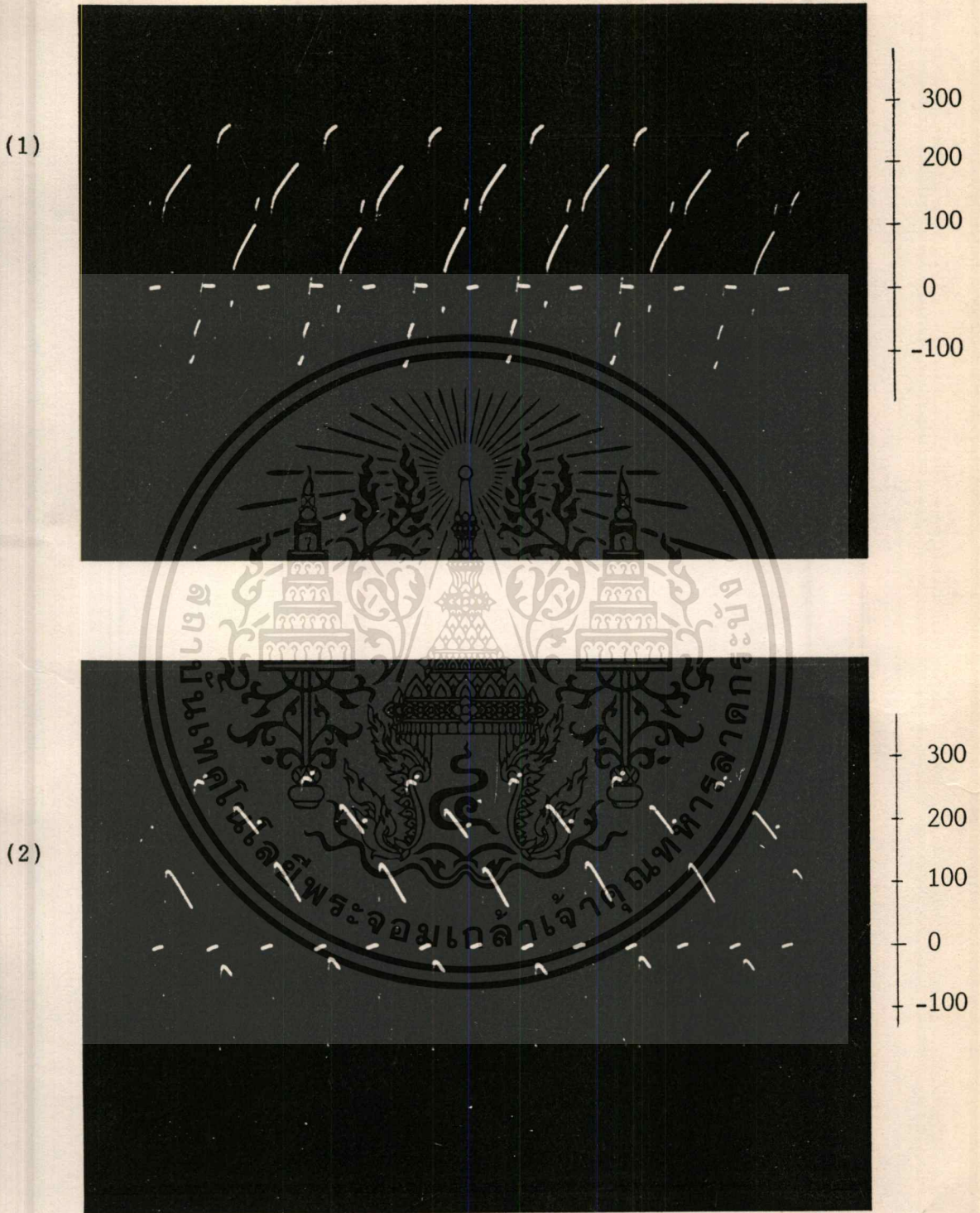


รูปที่ 6.3 คลื่นแรงดันเอาท์พุทตีซึ่ของกระแสไอโชน 6 พัลส์ ที่มุมเลื่อนเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรทำงานเพื่อการศึกษาย่างนี้ ไม่สมควรนำเข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(1) -90° (2) 0° (3) 90° ตามลำดับ

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

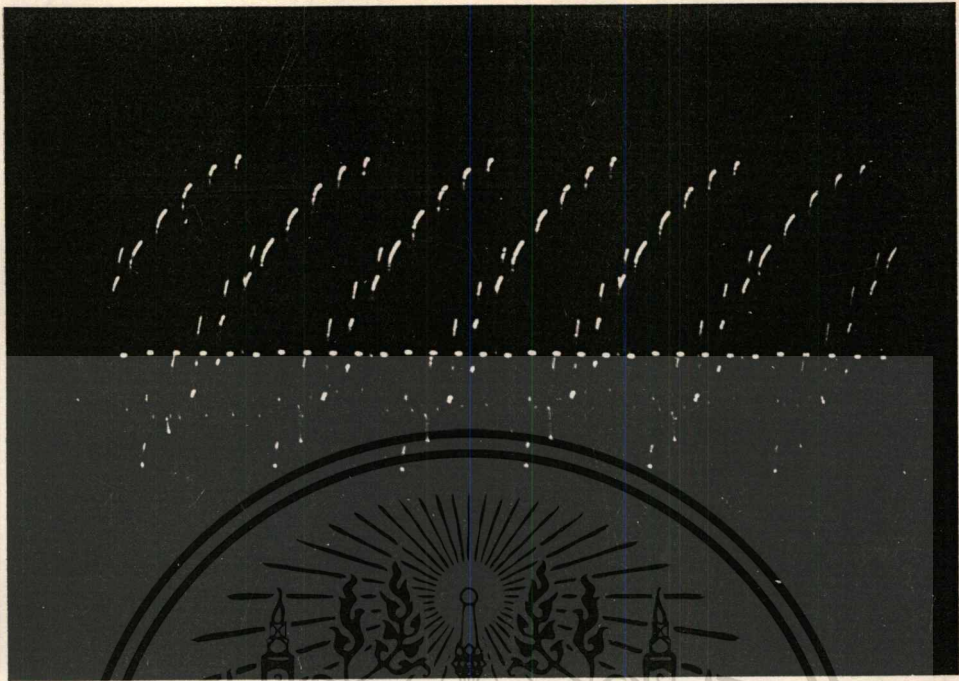


รูปที่ 6.4 ลักษณะคลื่นแรงดันอันเอาร์ทพุตซี กรณี 6 พัลส์อันครั้งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส

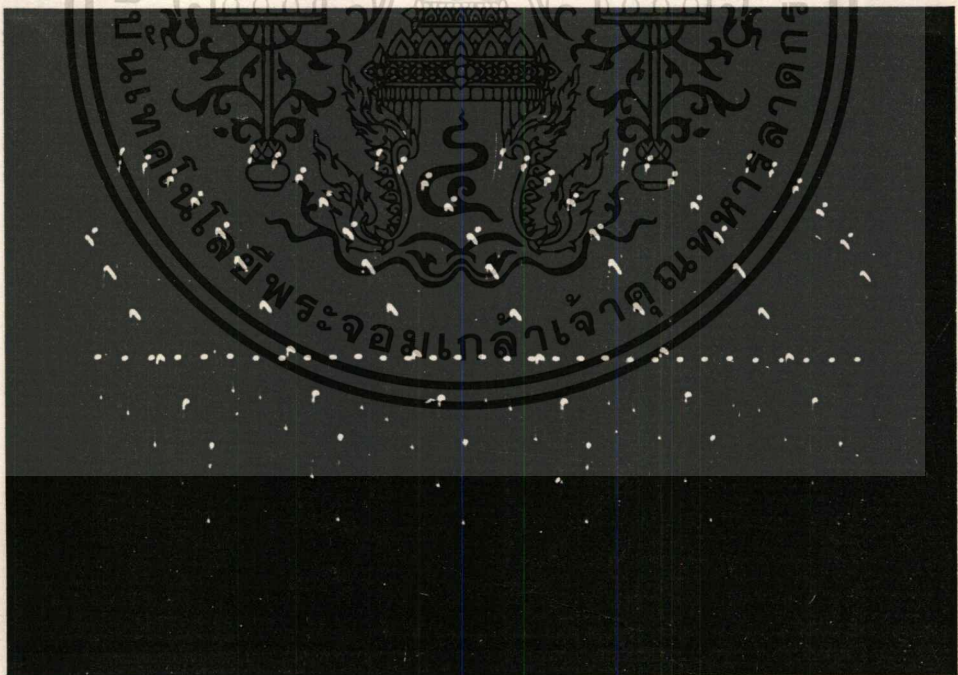
(1) -60° (2) 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1)



(2)



รูปที่ 6.5 ลักษณะคลื่นแรงดันเอาร์ทพุตตี้ กรณี 15 พัลส์ในครึ่ง ไซเคิล ที่มุมเลื่อนเพล

(1) -60° (2) 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

คุณสมบัติของคอนเวอจเตอร์และการใช้งาน

ในบทนี้ จะกล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆ ทั้งทางด้านอินพุทและ เอาท์พุทของคอนเวอจเตอร์ที่ได้จากการทดลองดังต่อไปนี้

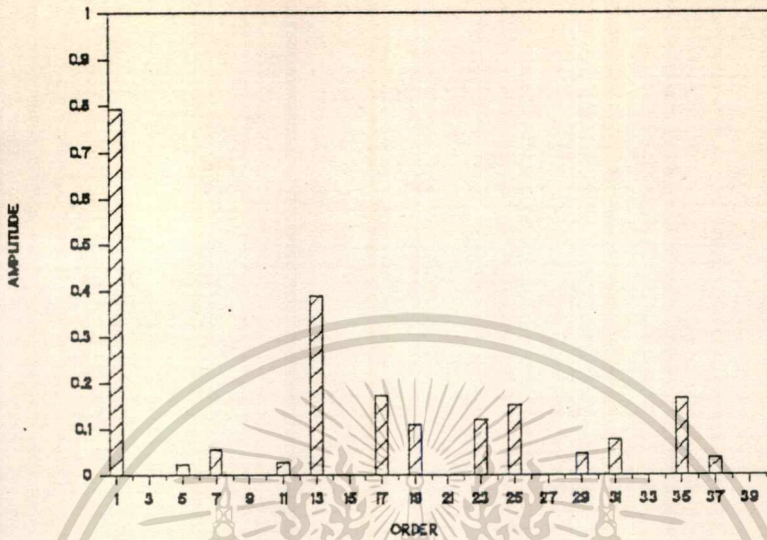
7.1 คุณสมบัติทางด้านอินพุทของคอนเวอจเตอร์

ผลจากการคำนวณองค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสเอชไอไลน์สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ ที่ตัวประกอบมอดดูเลข $\lambda=0.8$ ในบทที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 7.1(1), 7.2(1), 7.3(1) และ 7.4(1) ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่วัดจากเครื่องสเปคตรัมแอนาไลเซอร์ในรูปที่ 7.1(2), 7.2(2), 7.3(2) และ 7.4(2) ปรากฏว่าให้ผลใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบกระแสที่ดับลิวเอ็มที่ใช้สามารถลดองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่ำๆลงได้

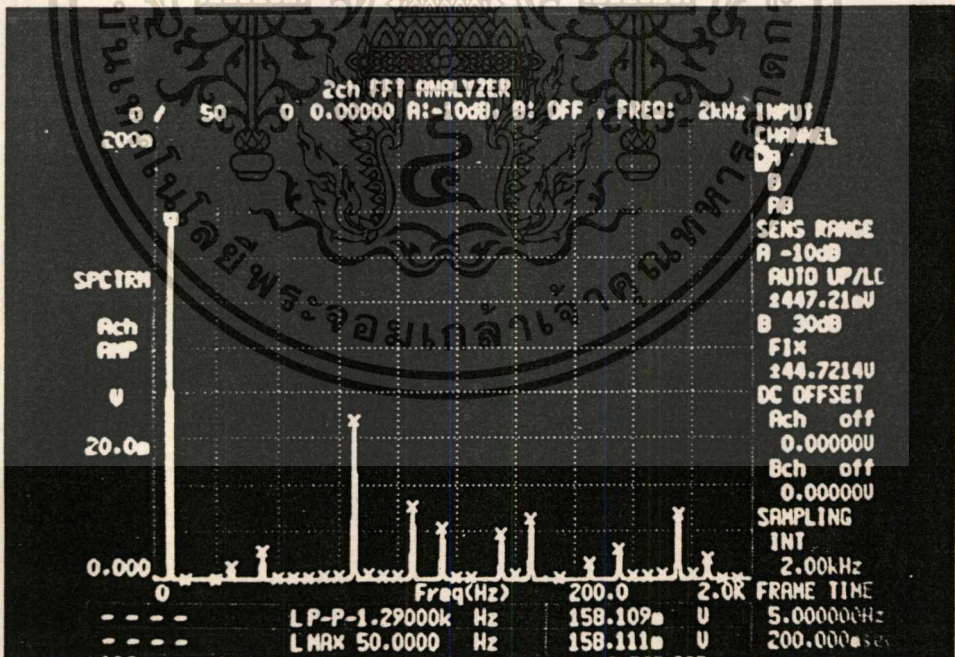
รูปที่ 7.5-7.8 แสดงผลการทดลองของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม PF, ประสิทธิภาพ η กับตัวประกอบมอดดูเลข λ เมื่อความต้านทานโหลด Rd คงที่ สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ เมื่อตัวประกอบมอดดูเลข λ มีค่าสูงขึ้น อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม และประสิทธิภาพ η ของคอนเวอจเตอร์จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

modulation factor=0.8 (6-pulse)

(1)



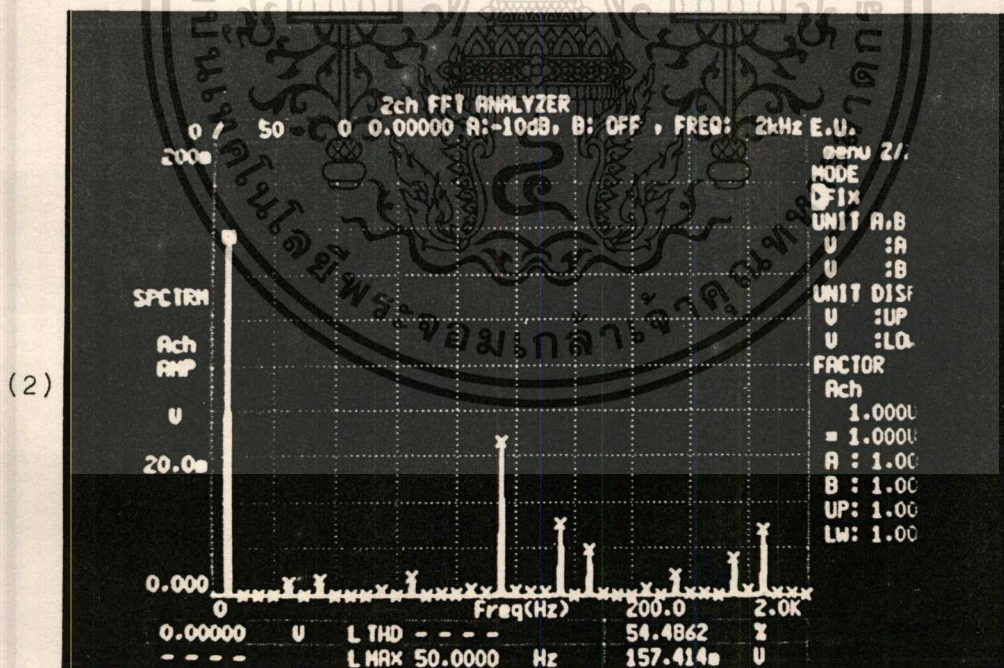
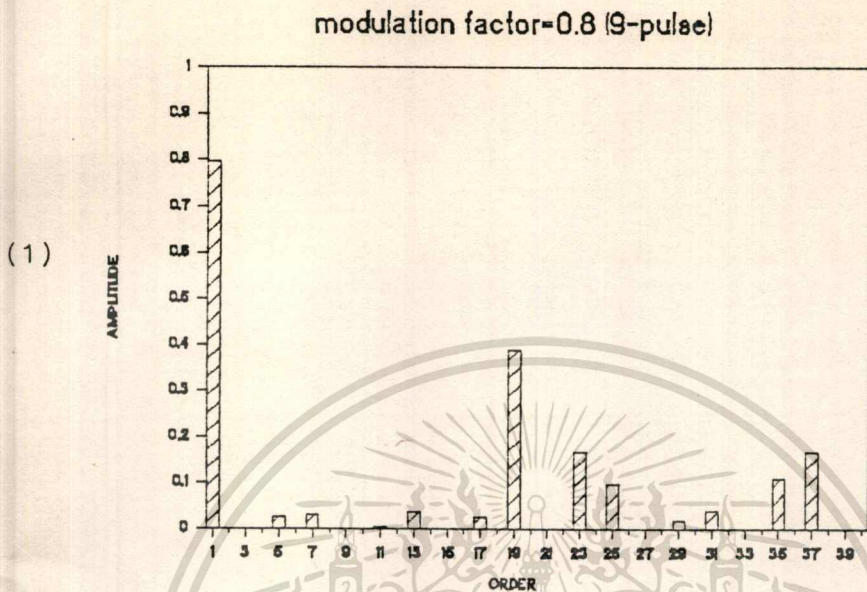
(2)



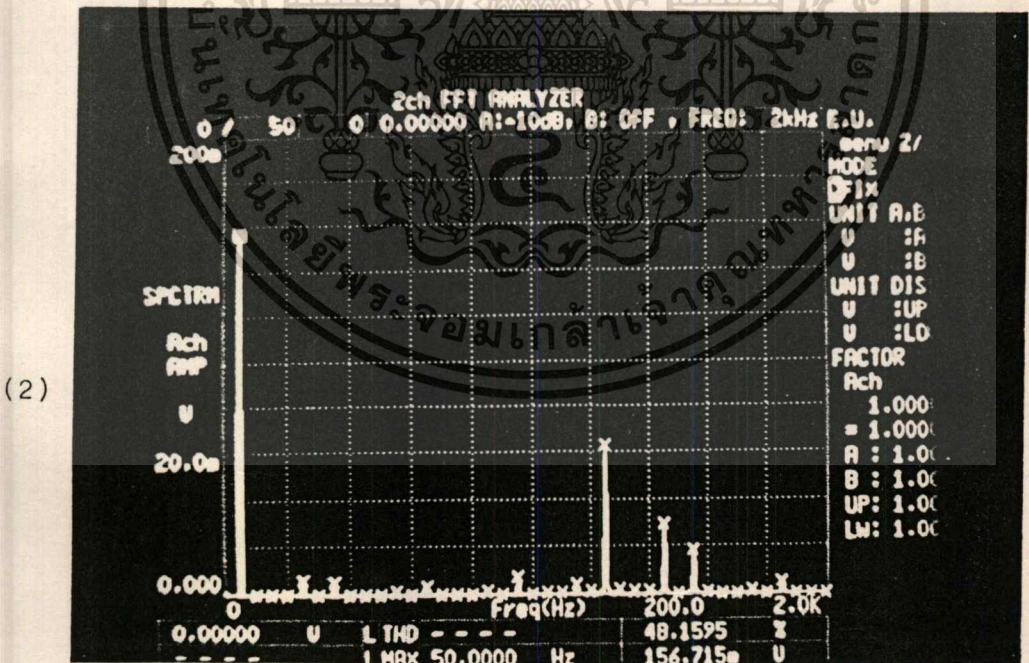
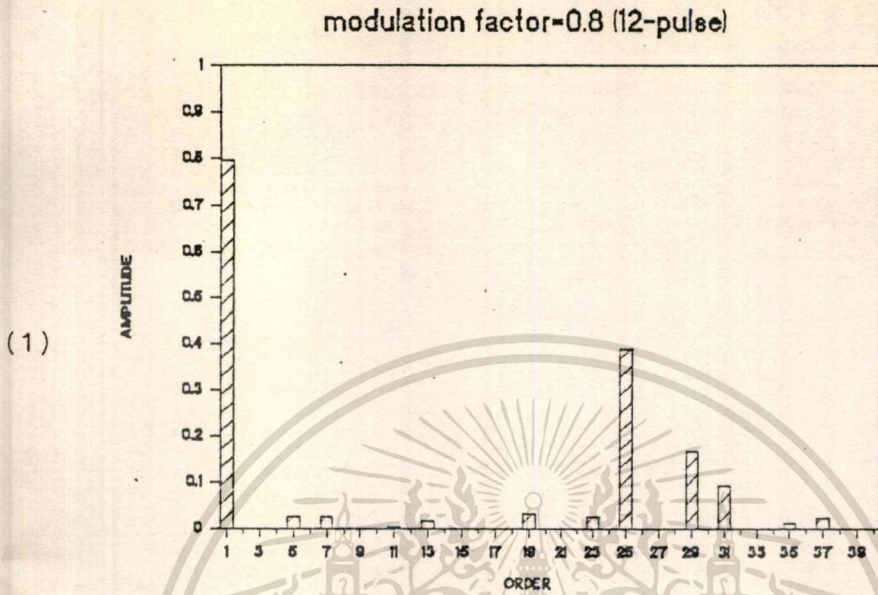
รูปที่ 7.1 องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอชไลน์ สำหรับกรณี 6 พัลส์
ที่ตัวประกอบมอดดูเลชัน = 0.8

(1) จากการคำนวณ (2) จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์ สำหรับกรณี 9 พัลส์
ที่ตัวประกอบมอดดูเลชัน = 0.8
(1) จากการคำนวณ (2) จากการทดลอง



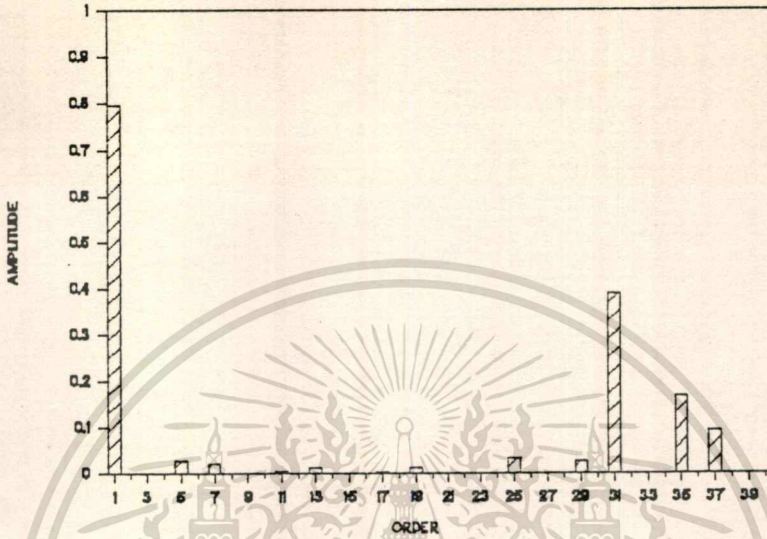
รูปที่ 7.3 องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์ สำหรับกรณี 12 พัลส์
ที่ตัวประกอบมอดดูเลชั่น = 0.8

(1) จากการคำนวณ (2) จากการทดลอง

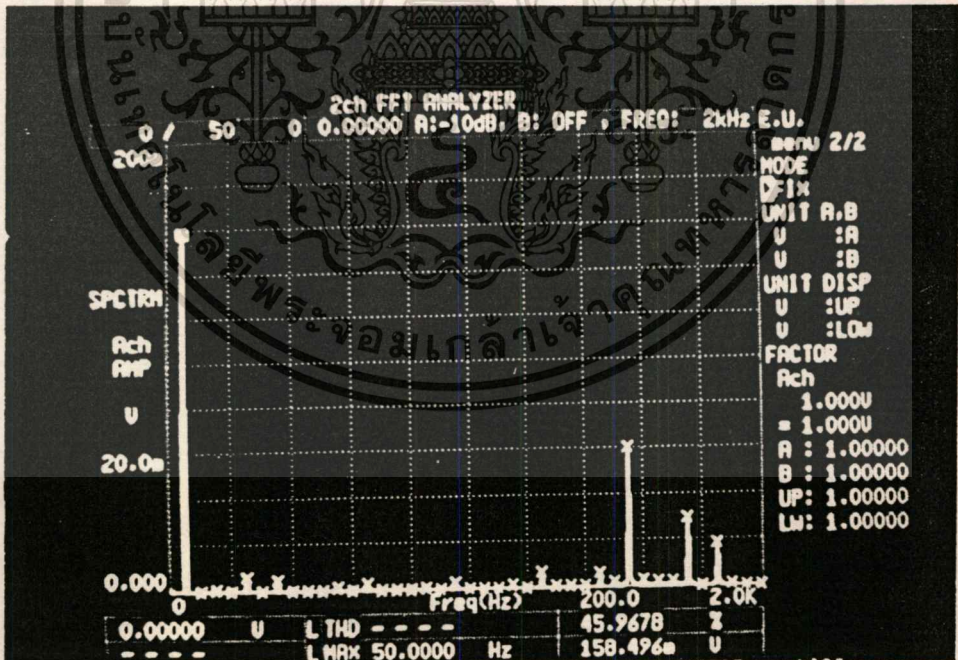
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

modulation factor=0.8 (15-pulse)

(1)



(2)



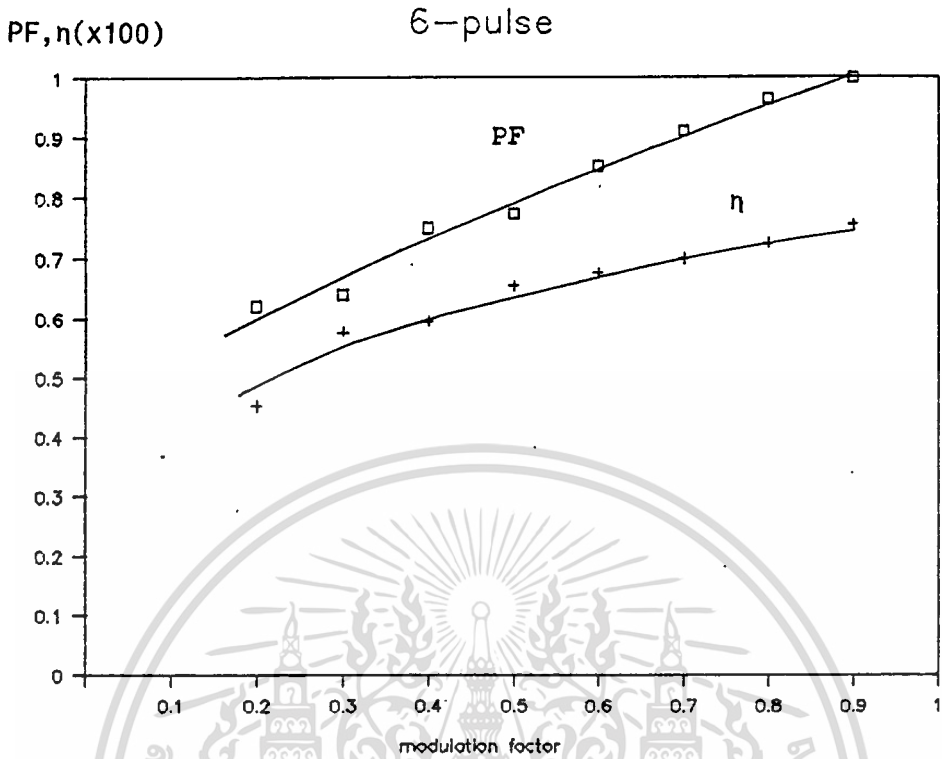
รูปที่ 7.4 องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอชไอไลน์ สำหรับกรณี 15 พัลส์

ที่ตัวประกอบมอดดูเลชัน = 0.8

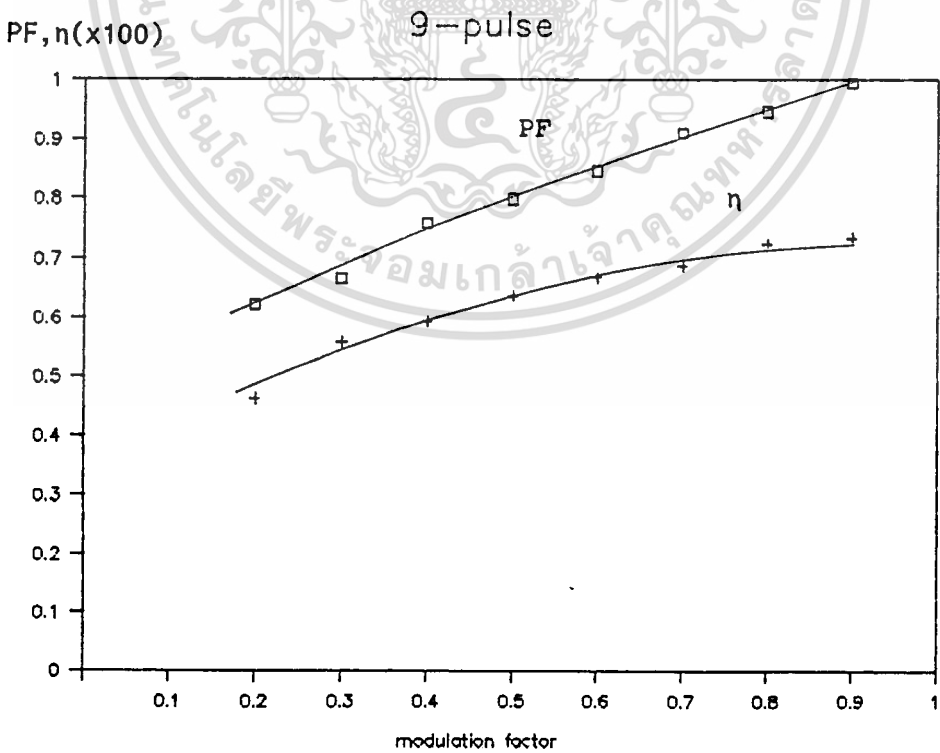
(1) จากการคำนวณ (2) จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

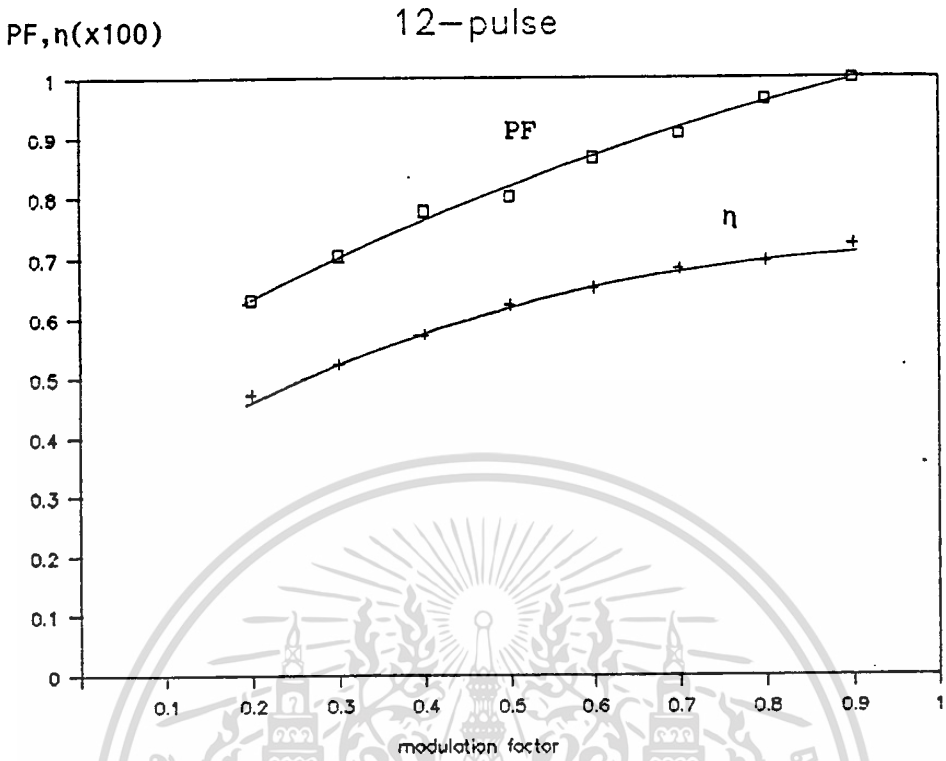


รูปที่ 7.5 ผลการทดลองของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์, ประสิทธิภาพ กรณี 6 พัลส์

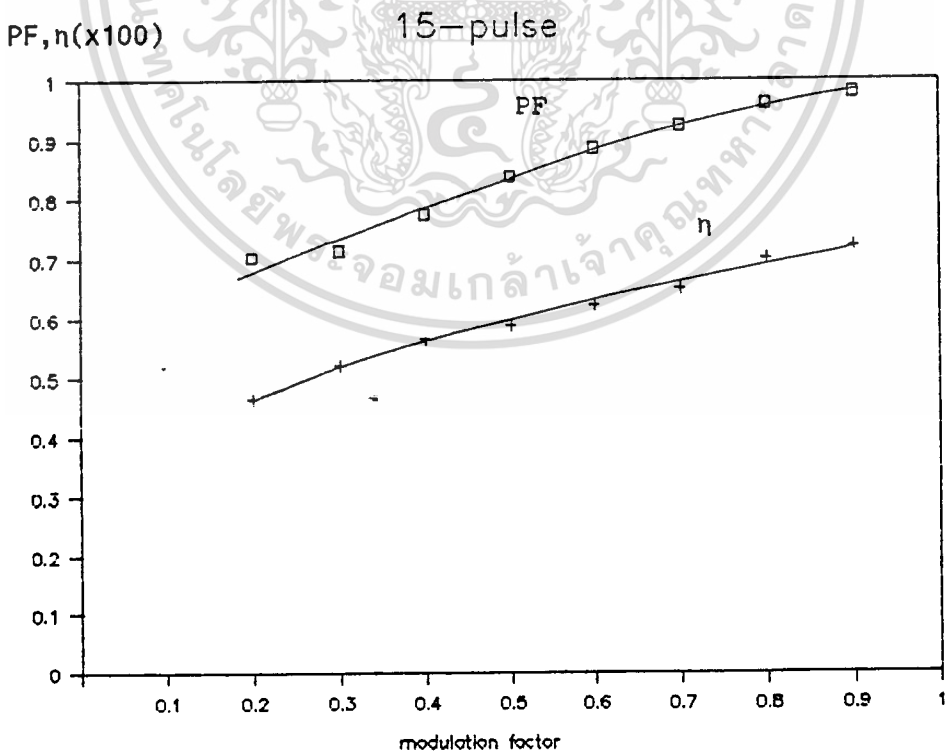


รูปที่ 7.6 ผลการทดลองของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์, ประสิทธิภาพ กรณี 9 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 ผลการทดลองของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์, ประสิทธิภาพ กรณี 12 พัลส์



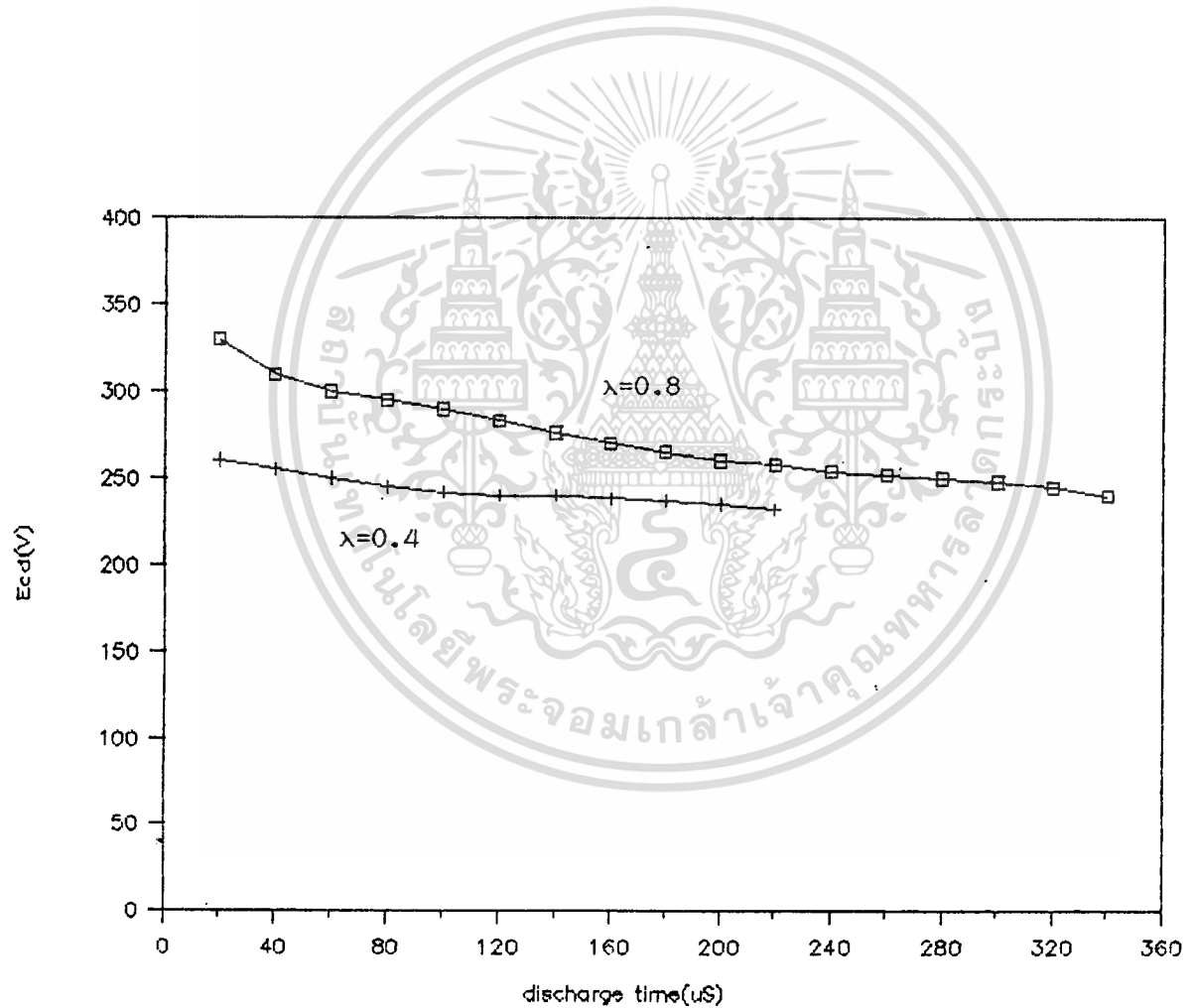
รูปที่ 7.8 ผลการทดลองของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์, ประสิทธิภาพ กรณี 15 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

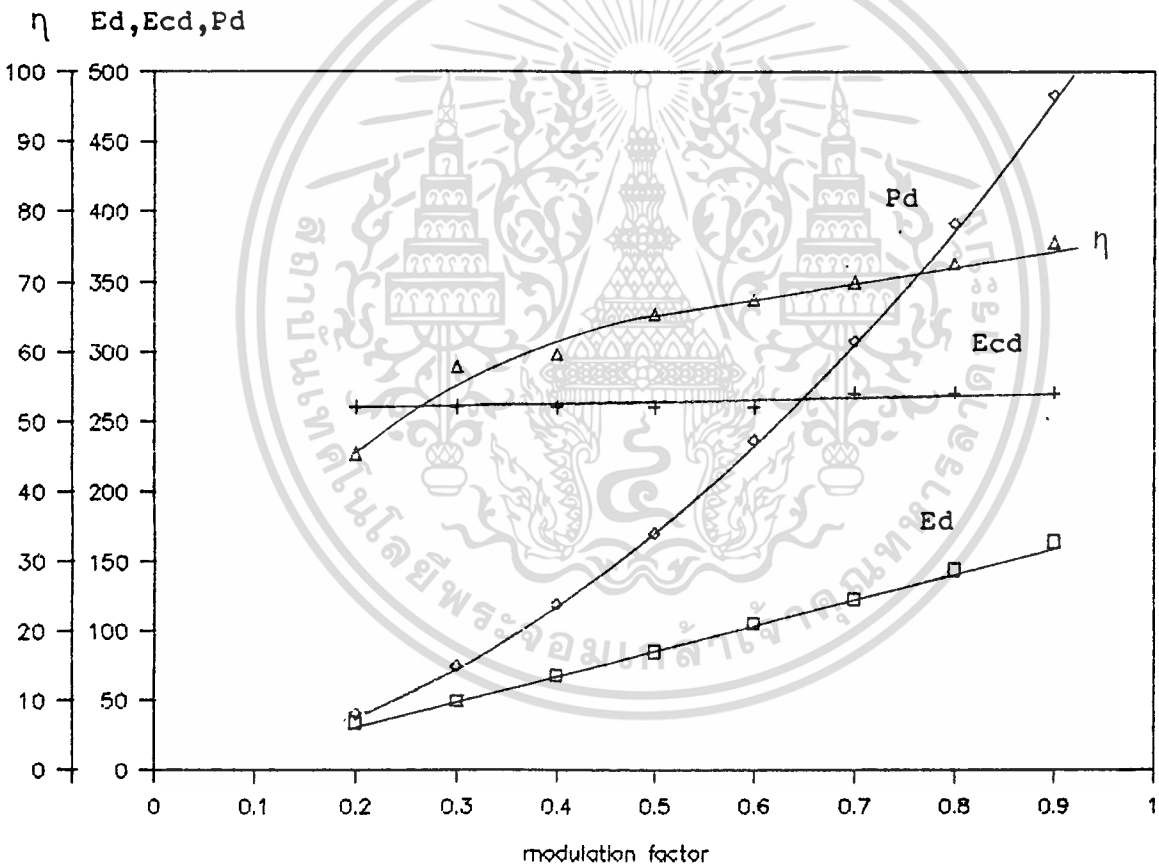
7.2 คุณสมบัติทางด้านเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 7.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่คาปาซิเตอร์ในวงจรช่วย Ecd กับช่วงเวลาคายประจุ τ เมื่อตัวประกอบมอดดูเลชัน $\lambda=0.4$ และ 0.8 แรงดันระหว่างไลน์สองไลน์ $V_i = 160V$ และความต้านทานโหลด R_d มีค่าคงที่ ที่ตัวประกอบมอดดูเลชัน $\lambda=0.4$ แรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย E_d จะมีค่าต่ำกว่าที่ตัวประกอบมอดดูเลชัน $\lambda=0.8$ จึงสามารถคายประจุจากคาปาซิเตอร์ C_d ได้มากกว่า ดังนั้น แรงดันที่คาปาซิเตอร์ในวงจรช่วย Ecd จึงมีค่าต่ำกว่า



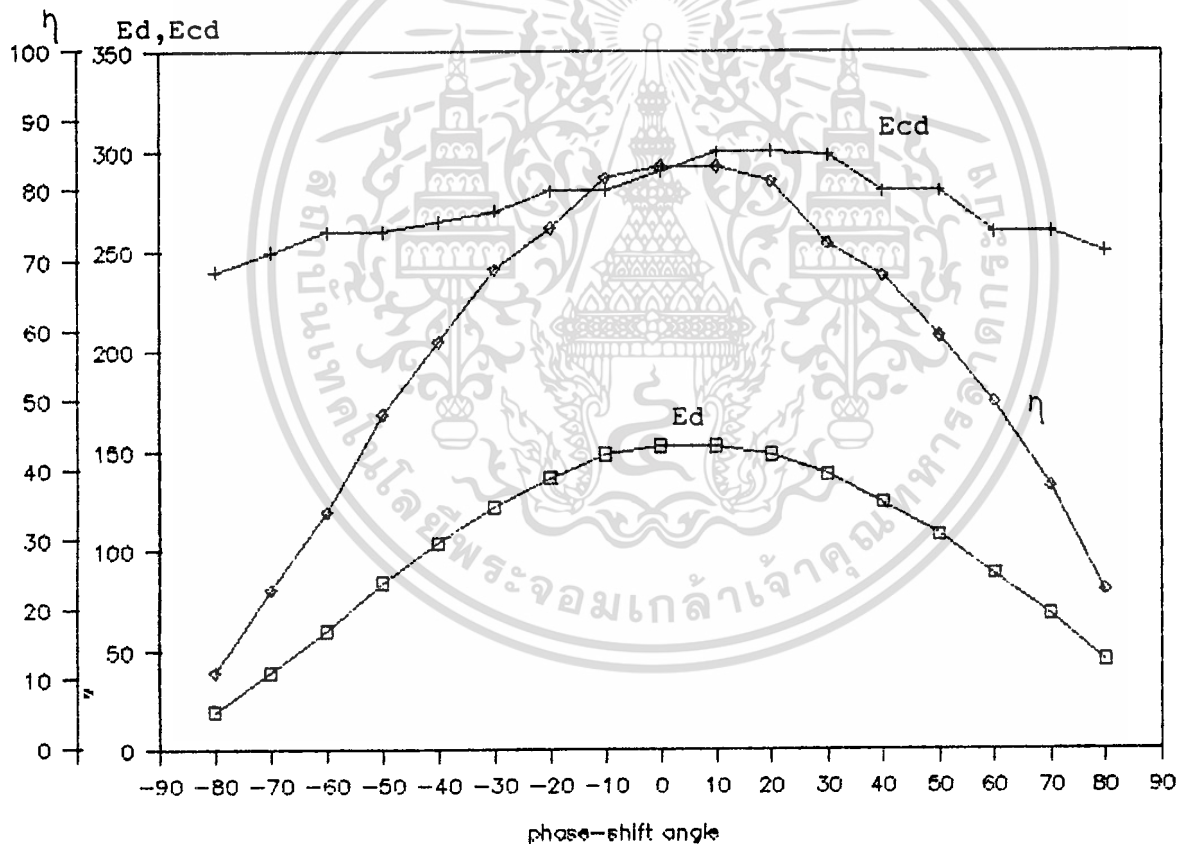
รูปที่ 7.9 แรงดันที่คาปาซิเตอร์ในวงจรช่วย กับช่วงเวลาคายประจุ

รูปที่ 7.10 แสดงคุณสมบัติของแรงดันที่คาบไซเตอร์ E_{cd} แรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย E_d กำลังเอาท์พุทดีซี P_d และประสิทธิภาพ η ของคอนเวอร์เตอร์กับค่าตัวประกอบมอดูเลชัน λ โดยที่แรงดันระหว่างสองไลน์และความต้านทานโหลดคงที่ $\tau = \lambda T / 10$ ในกรณีนี้ E_d , P_d จะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับตัวประกอบมอดูเลชัน λ ส่วน E_{cd} จะมีค่าค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวประกอบมอดูเลชัน λ กับช่วงเวลาคาบประจุ τ ในลักษณะเชิงเส้น จึงทำให้ E_{cd} ค่อนข้างคงที่ และประสิทธิภาพ η มีค่าสูงตลอดย่านของตัวประกอบมอดูเลชัน



รูปที่ 7.10 คุณสมบัติทางด้านเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ กับตัวประกอบมอดูเลชัน

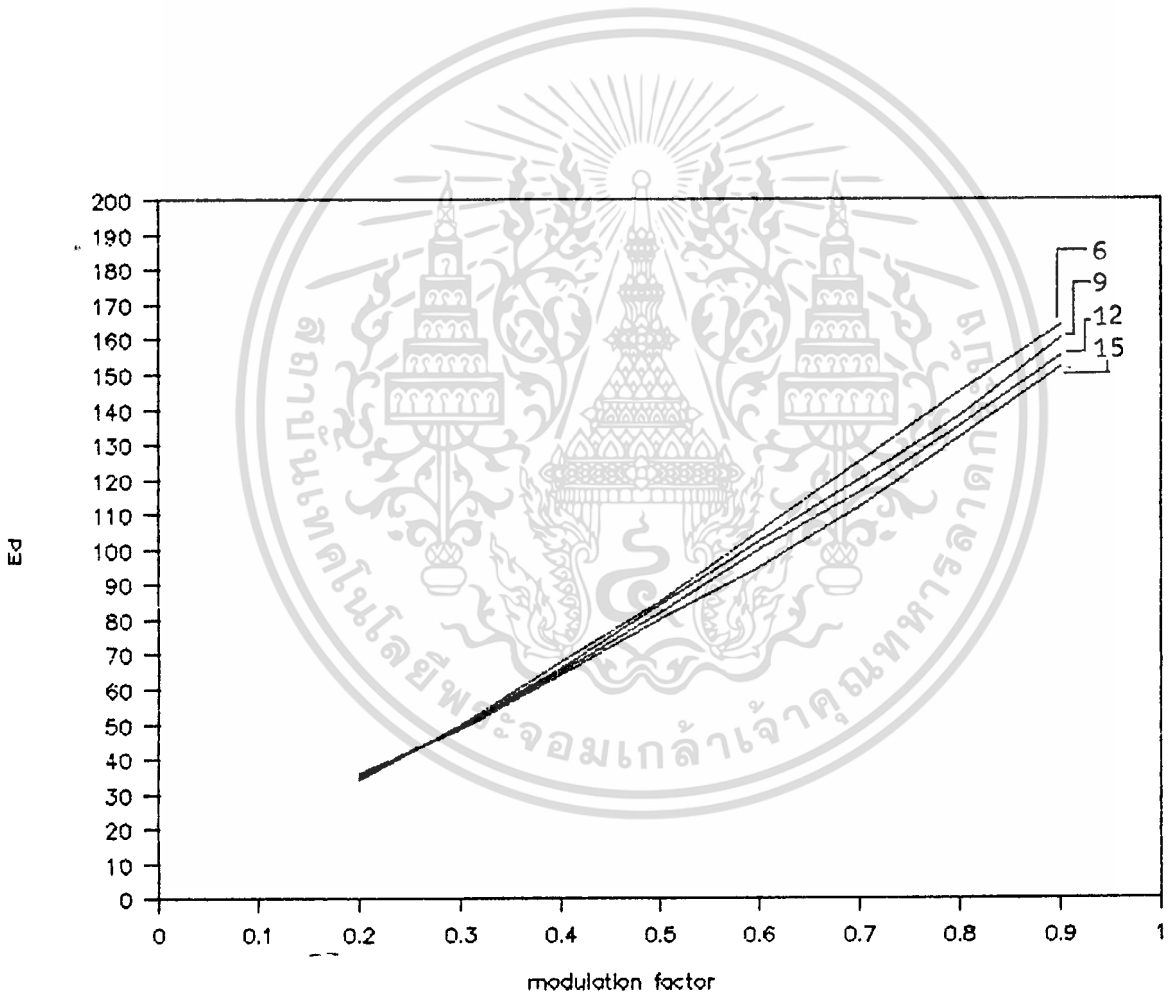
รูปที่ 7.11 แสดงคุณสมบัติของแรงดันที่คาปาซิเตอร์ E_{cd} แรงดันเอาท์พุทเฉลี่ย E_d และประสิทธิภาพ η กับมุมเลื่อนเฟส α เมื่อตัวประกอบมีอดดูละชัน $\lambda=0.8$ แรงดันระหว่างสอง โลว์ดจ์ที่ ความต้านทานโหลด R_d และช่วงเวลาคายประจุ τ มีค่าคงที่ จากรูปจะเห็นว่าค่า E_d และ η จะลดลงเมื่อมุมเลื่อนเฟส α เพิ่มขึ้นทั้งในทิศทางล้าหน้าและล้าหลัง ส่วนแรงดันที่คาปาซิเตอร์ E_{cd} จะกระเพื่อมอยู่ในช่วงจำกัดที่แน่นอน นี่แสดงว่าวงจรช่วยสามารถทำงานได้ตลอดช่วง ของมุมเลื่อนเฟส



รูปที่ 7.11 คุณสมบัติทางด้านเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ กับมุมเลื่อนเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

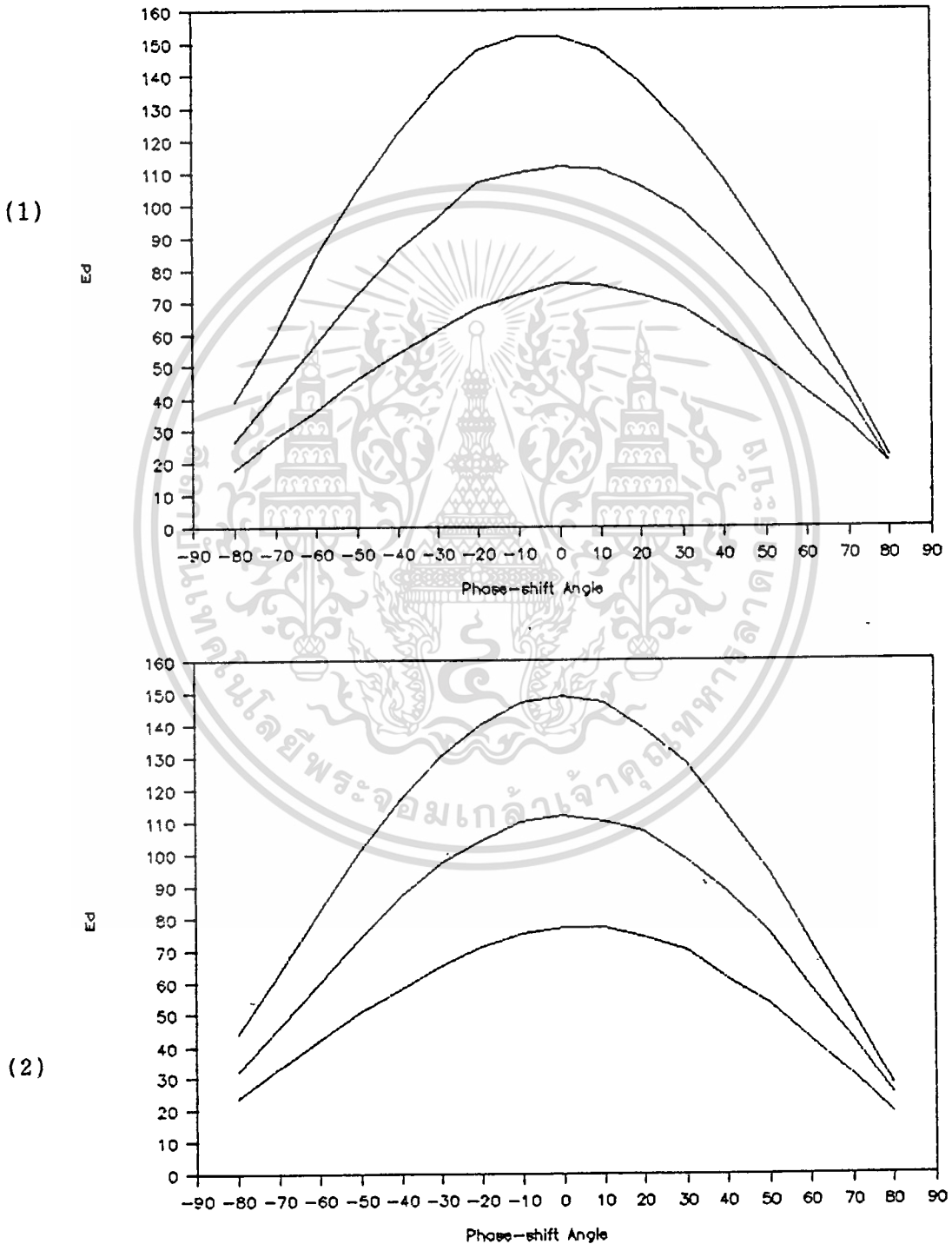
รูปที่ 7.12 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย E_d กับตัวประกอบมอดูเลชัน λ สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ ตามลำดับ โดยที่แรงดันระหว่างไลน์อินพุตมีค่าคงที่ แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย E_d จะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับตัวประกอบมอดูเลชัน λ และเมื่อจำนวนพัลส์เพิ่มขึ้น แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย E_d จะลดลง



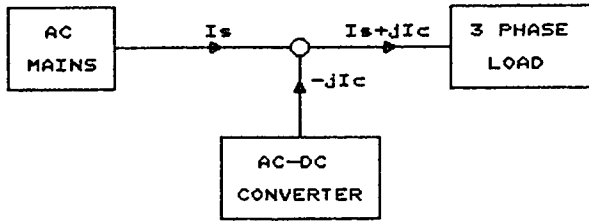
รูปที่ 7.12 แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยกับตัวประกอบมอดูเลชัน สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.13(1) และ (2) แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตที่ซีเจสีย E_d กับมุมเลื่อนเฟส α สำหรับกรณี 6 และ 15 พัลส์ตามลำดับ เมื่อแรงดันไลน์อินพุตและความต้านทานโหลดมีค่าคงที่ ตัวประกอบมอดดูเลชั่น $\lambda = 0.4, 0.6$ และ 0.8 แรงดันเอาต์พุตที่ซีเจสียจะมีค่าสูงสุดบริเวณมุมเลื่อนเฟส $= 0$ แล้วจะค่อยๆลดลงในลักษณะ โคซายน์เมื่อมุมเลื่อนเฟสเพิ่มขึ้น



7.3 แนวความคิดในการแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์



รูปที่ 7.14 แสดงระบบชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์

รูปที่ 7.14 แสดงระบบชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์ [7][8] ประกอบด้วยเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่คอมมิวเตทเชิงบังคับ ซึ่งต่อขนานอยู่กับโหลดสามเฟส เพื่อให้สามารถสร้างคลื่นกระแส I_c ได้ทั้งในทิศทางล้าหน้าและล้าหลัง เป็นมุมประมาณ 90° เมื่อเทียบกับแรงดันเฟส Van การที่เลื่อนเฟส I_c ให้ล้าหน้าและล้าหลัง เป็นมุมน้อยกว่า 90° เพื่อให้มีกระแสส่วนหนึ่งไปชดเชยการสูญเสียต่างๆ ของระบบ ปริมาณของพลังงานรีแอคทีฟที่เกิดขึ้นหรือที่ใช้ไปของคอนเวอร์เตอร์จะเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\text{var} = 3 \times V_{an} \times I_c \quad \dots(7.1)$$

ถ้ามุมเลื่อนเฟสของ I_c เป็นมุม α จะได้

$$\text{var} = 3 \times V_{an} \times I_c \times \sin \alpha \quad \dots(7.2)$$

พลังงานรีแอคทีฟที่ต้องการจะควบคุมด้วยขนาดของกระแส I_c นอกจากนี้ กระแสเอซีไลน์ I_c จะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสเอชท์พุดีซี I_d ดังนั้น เราจะควบคุมพลังงานรีแอคทีฟด้วยขนาดของกระแสดีซี I_d การปรับขนาดของ I_d นั้นทำได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ เปลี่ยนความต้านทานโหลด และ เปลี่ยนค่าตัวประกอบมอดดูเลชั่น

ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานรีแอคทีฟ var กับมุมเลื่อนเฟส α ที่ความต้านทานโหลด R_d ต่างๆ โดยที่กระแสดีซี I_d คงที่ รูปที่ 7.15(1)-(2) เป็นกราฟผลการคำนวณพลังงานรีแอคทีฟกับมุมเลื่อนเฟส α โดยที่กระแสเอชท์พุดีซี I_d คงที่ตลอดย่านของมุมเลื่อนเฟส ดังนั้น ตัวประกอบมอดดูเลชั่น λ จะเพิ่มขึ้นตามมุมเลื่อนเฟส เพื่อรักษาให้กระแสเอชท์พุดีซี I_d คงที่ ความต้านทานโหลด $R_d=0.5, 10$ และ 20Ω

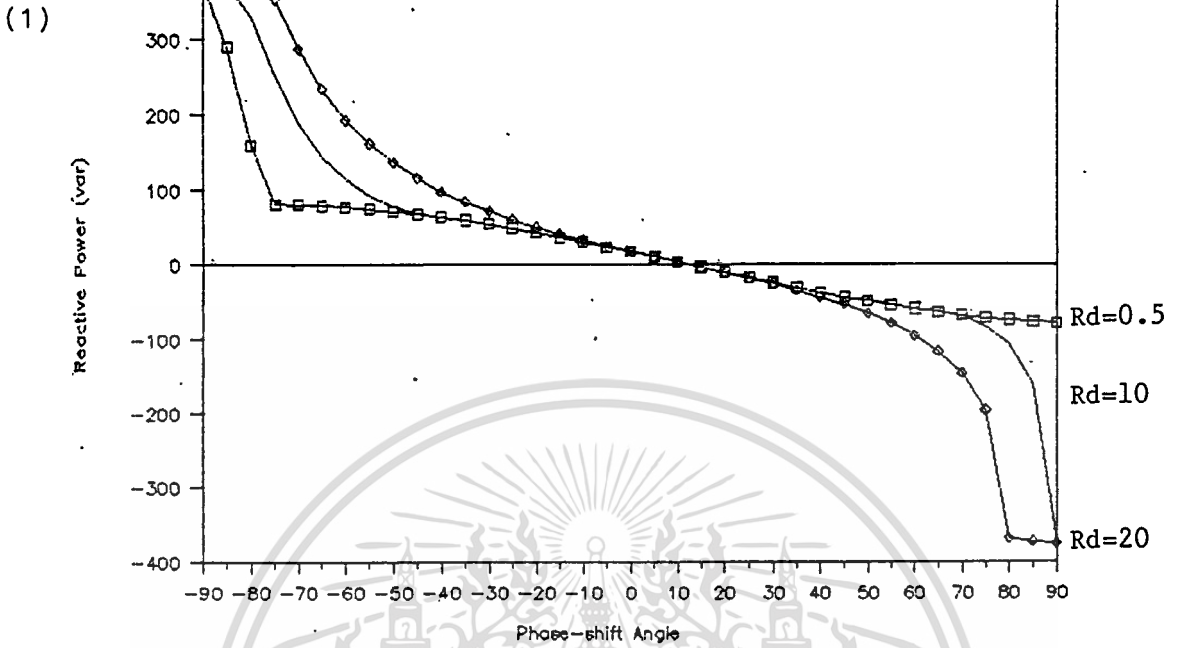
สร้างชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ และอินดิคชันมอเตอร์สามเฟสขนาด 1 แรงม้า ทำหน้าที่เป็นโหลดสามเฟส ทำการทดลองที่แรงดันอินพุทเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

160V $I_d=2A$ มุมเลื่อนเฟส $\alpha = 60^\circ$ ผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 7.16 รูปที่ 7.16(1)-(4) เป็นคลื่นกระแสรวมอินพุทของชุดชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์ ระหว่างกระแสของมอเตอร์และกระแสของคอนเวอร์เตอร์ สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 7.17(1)-(2) เป็นผลการทดลอง เรื่องพลังงานรีแอคทีฟกับมุมเลื่อนเฟส สำหรับกรณี 6 และ 15 พัลส์ตามลำดับ จะเห็นว่า พลังงานรีแอคทีฟจะ เพิ่มขึ้นตามค่ามุมเลื่อนเฟส α

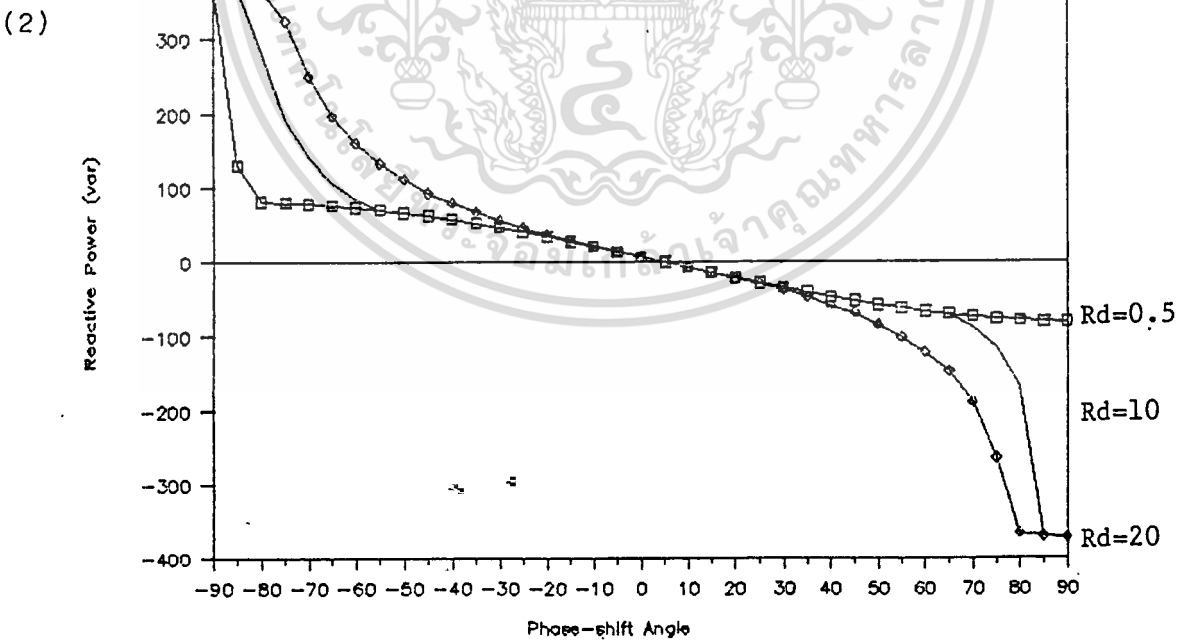
1



6-pulse



15-pulse

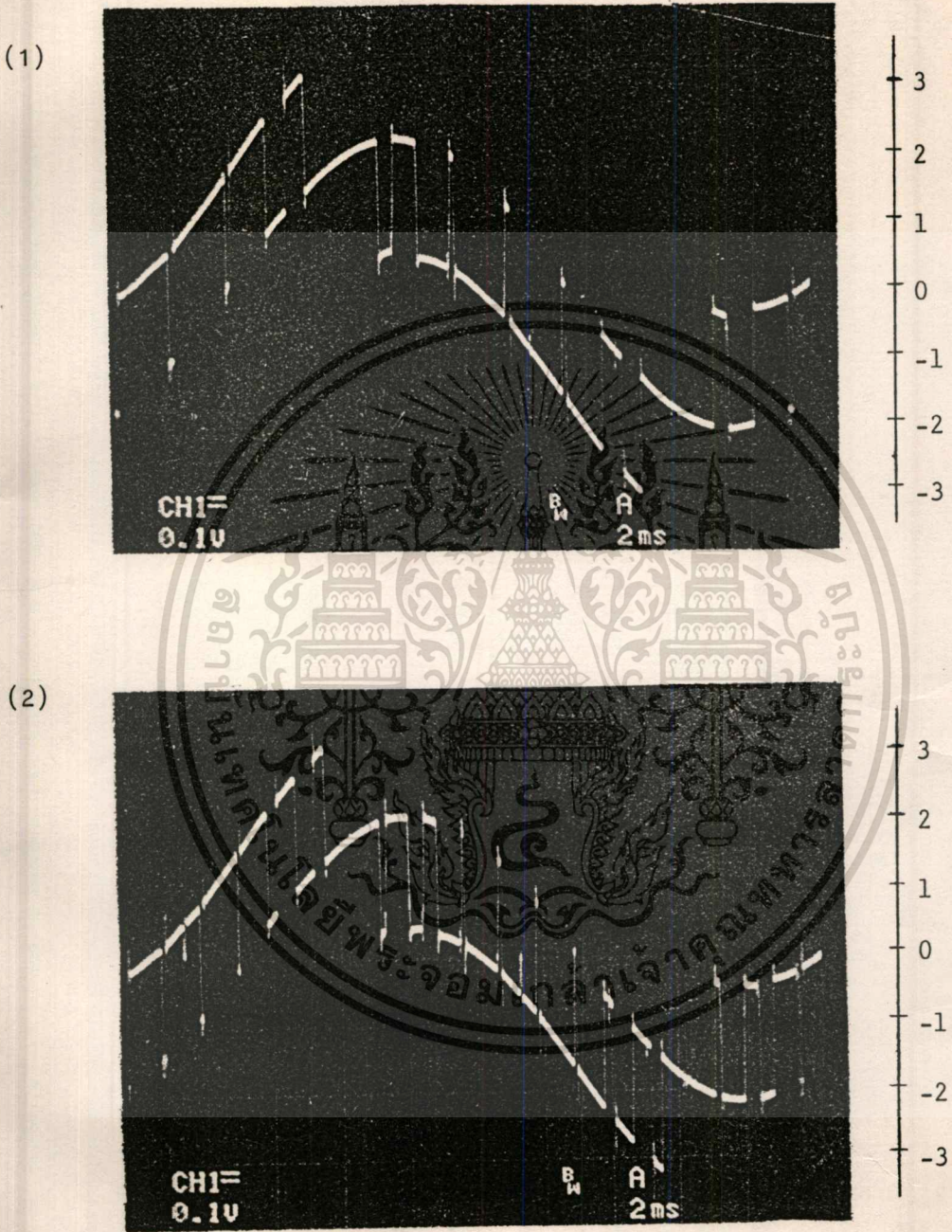


รูปที่ 7.15 ผลการคำนวณพลังงานรีแอคทีฟ กับมุมเลื่อนเฟส โดยที่ $I_d=2A$

สำหรับกรณี (1) 6 พัลส์ (2) 15 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสั่งซื้อเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.16 คลื่นกระแสอินพุทรวมของชุดขดเคียวเพาเวอร์แพคเตอร์

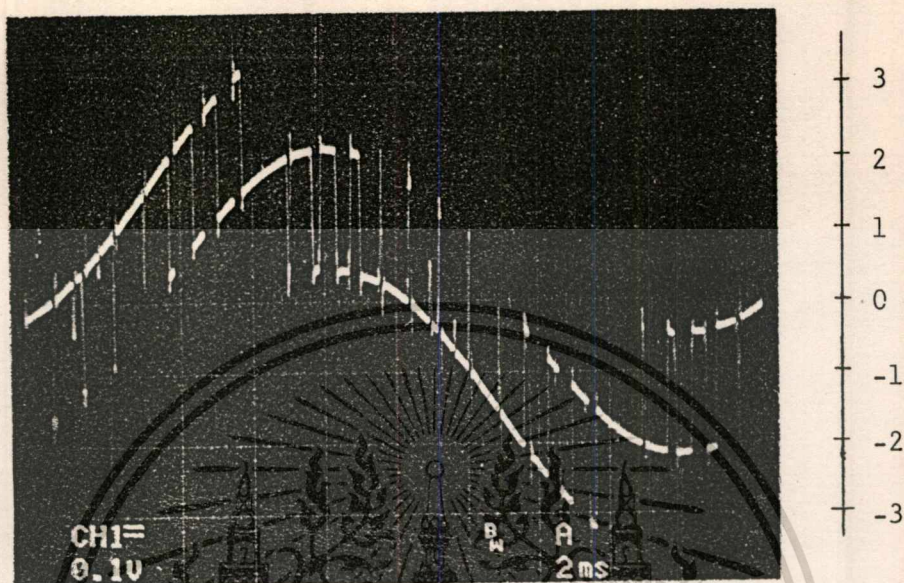
ระหว่างกระแสของมอเตอร์และคอนเวอร์เตอร์

สำหรับกรณี (1) 6 พัลส์ (2) 9 พัลส์

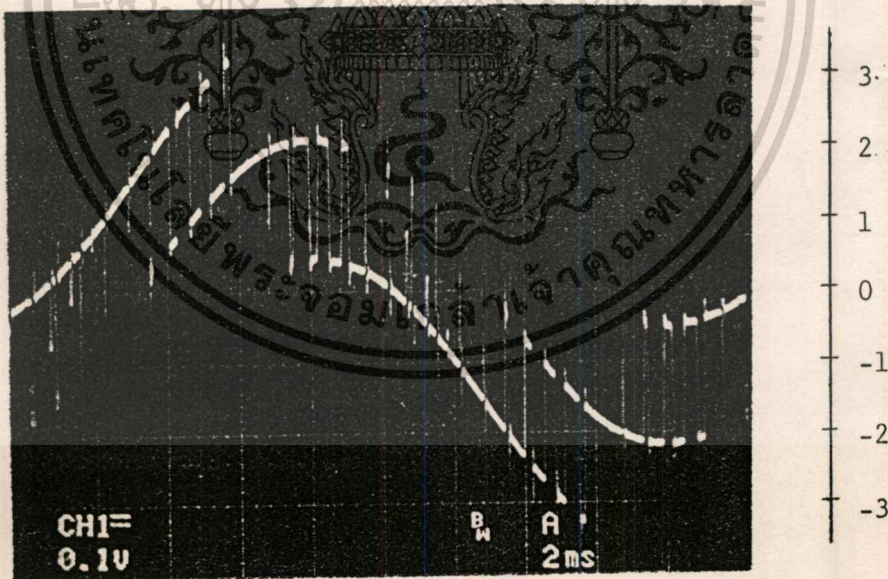
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1)



(2)

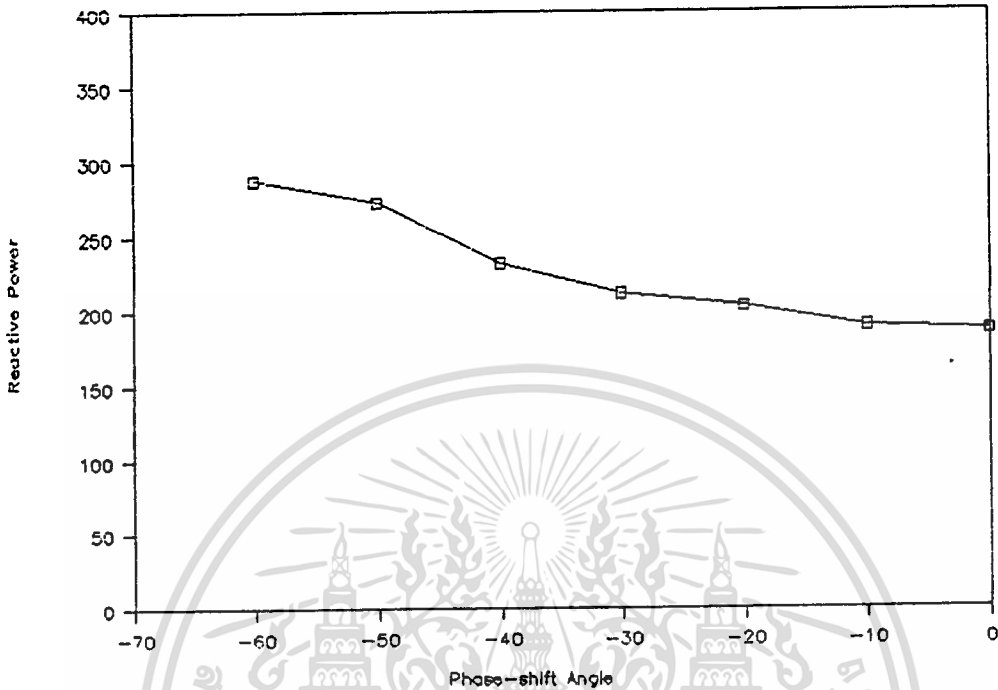


รูปที่ 7.16 คลื่นกระแสอินพุทรวมของชุดชดเชยเพาเวอร์แฟกเตอร์
ระหว่างกระแสของมอเตอร์และคอนเวอร์เตอร์ สำหรับกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

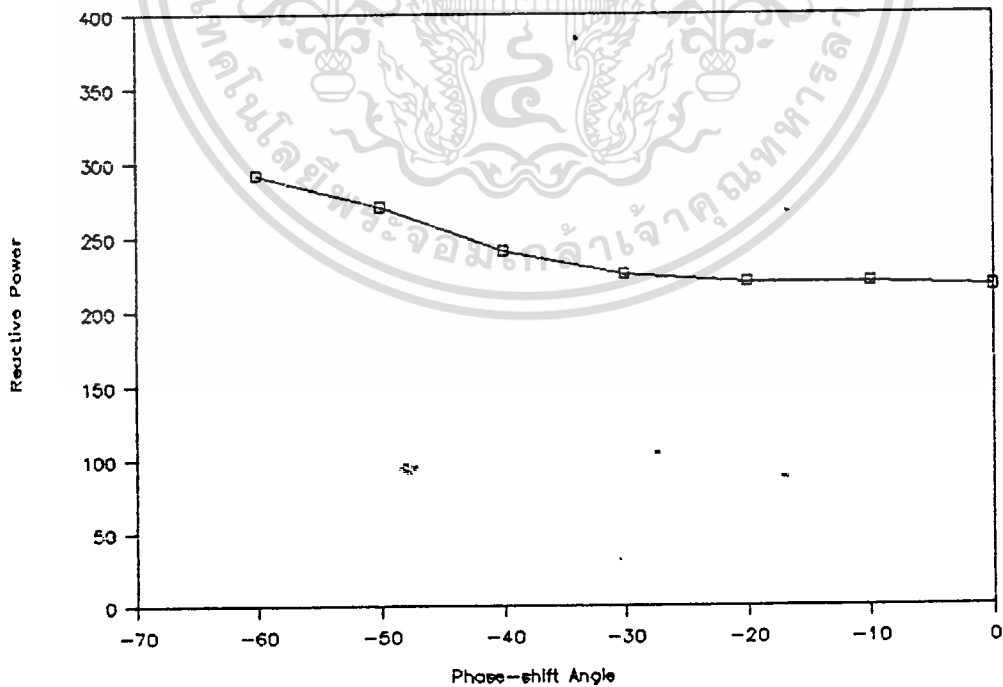
6-pulse

(1)



15-pulse

(2)



รูปที่ 7.17 ผลการทดลองพลังงานรีแอคทีฟ กับมุมเลื่อนเฟสตั้งแต่ 0 จนถึง 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณี (1) 6 พัลส์ (2) 15 พัลส์ ใช้ในงานที่ปรึกษาเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ที่โอเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดสามเฟส ซึ่งสามารถถ่ายเทพลังงานคอมมิวเตทจากแหล่งจ่ายไฟโอเอซีไปยังด้านโหลดดีซี โดยที่กระแสโอเอซี โวลต์สามารถเลื่อนเฟสได้ทั้งทางด้านเฟสข้างหน้าและล่าช้า รายละเอียดและคุณสมบัติต่างๆ ของคอนเวอร์เตอร์ทั้งทางด้านอินพุตและ เอาท์พุทสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระบบควบคุมที่นำเสนอนี้สามารถเลือกจำนวนของคลื่นกระแสที่ดับบลิวเอ็มได้ 4 ลักษณะ คือ 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ ปรับความกว้างของกระแสที่ดับบลิวเอ็มได้ และสามารถทำการเลื่อนเฟสจากมุมล่าช้า 90° , 0° และล่าช้า 90° ได้

2. วงจรช่วย (Auxiliary Circuit) ที่เพิ่มเติมเข้ากับวงจรกำลังหลักของคอนเวอร์เตอร์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟสลับกับโหลดดีซี สามารถจำกัดแรงดันสไปค์ให้อยู่ในระดับเดียวกับแรงดันที่คาปาซิเตอร์ในวงจรช่วย

3. ในเรื่องขององค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนพัลส์มากขึ้น ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเกิดขึ้นที่ลำดับสูงขึ้น เช่น

กรณี 6 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 11

กรณี 9 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 17

กรณี 12 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 23

กรณี 15 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 29

4. ในกรณีของการเลื่อนเฟสแบบล่าช้าที่มุม 90° จะเห็นว่าแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยเป็นลบเล็กน้อย ดังนั้น ถ้าจะนำคอนเวอร์เตอร์นี้ไปใช้งานแก่เพาเวอร์แฟคเตอร์ [7][8] จะต้องเลื่อนกระแสโอเอซีไลน์ให้มีค่าต่ำกว่า 90° เล็กน้อย ยิ่งจำนวนพัลส์มากขึ้น จะต้องเลื่อนกระแสโอเอซีไลน์ให้ใกล้มุม 90° มากขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้แรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยมีค่าบวกเล็กน้อย ในขณะที่ความต้านทานของโหลดมีค่าต่ำ เพื่อให้กระแสไหลเป็นบวกและมีขนาดเท่ากับกระแสของโอเอซีไลน์ตามที่ต้องการ

5. คอนเวอร์เตอร์นี้เป็นแบบแหล่งจ่ายกระแส (Current Source) สามารถนำไปใช้งานได้ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ เป็นแหล่งจ่ายกระแสดีซี เพื่อใช้ขับมอเตอร์กระแสตรง และเป็นชุดชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

รายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคของจีทีโอโทริสเตอร์ GFF200E



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Gate Turn-off Thyristor

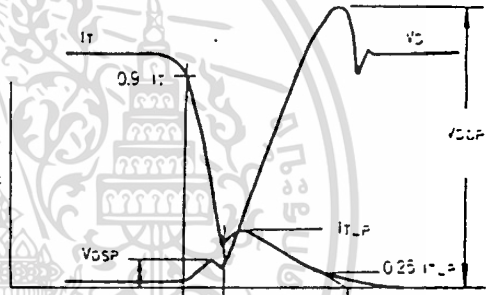
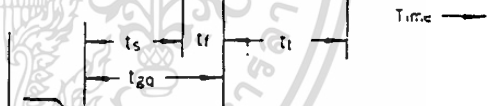
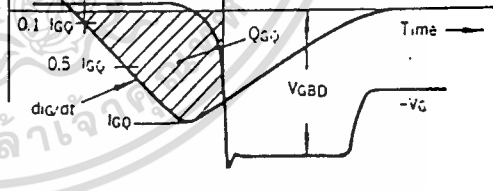
Terms	Symbols	Definitions
Repetitive Peak Off-State Voltage	V_{DRXM}	Under specified conditions, maximum allowable instantaneous value of off-state voltage having an increase rate lower than the critical rate of rise of off-state voltage applicable repeatedly to anode of GTO.
RMS On-State Current	$I_{T(RMS)}$	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	$P_{GF(AV)}$	Maximum average value of forward power dissipation during one cycle allowable between gate terminal and cathode terminal.
Repetitive Peak Forward Gate Power Dissipation	P_{GFM}	Maximum peak value of forward power dissipation continuously allowable between gate terminal and cathode terminal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terms	Symbols	Definitions
Repetitive Average Reverse Gate Power Dissipation	$P_{GR(AV)}$	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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terms	Symbols	Definitions
(Gate Controlled) Turn-On Time	t_{gt}	Under specified conditions with resistive load connected, time required for on-state current to reach 90% of its final value after the moment when gate current pulse has reached 10% of its final value and through the subsequent switching of device from off-state to on-state. ($t_d + t_r$)
Delay Time Rise Time	t_d t_r	Time required for on-state current to reach 10% of its final value after the moment when gate current pulse has reached 10% of its final value. Time required for on-state current to reach 90% from 10% of its final value.
(Gate Controlled) Turn-Off Time	t_{gg}	
Storage Time Fall Time	t_s t_f	
Turn-Off Gate Charge	Q_{GQ}	
Steady State Thermal Impedance	$R_{th(j-c)}$	Under themally steady state while device is continuously energized, value of temperature difference between junction and case, per unit power dissipation at junction. Unit is °C/W.

GATE TURN-OFF THYRISTOR



GFF200E

Unit in mm(inch)

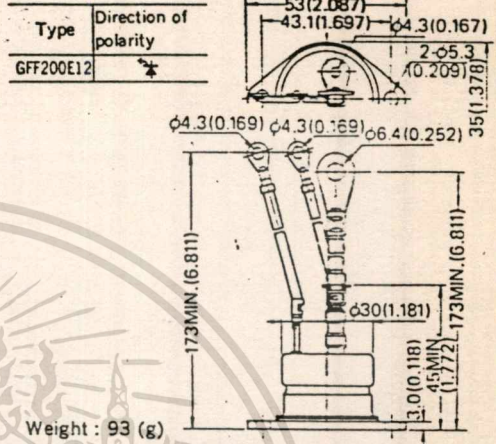
■特長

- 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	GFF200E12
Repetitive Peak Off-State Voltage	V_{DRM}	V 1,200 (1)
RMS On-State Current	$I_{T(RMS)}$	A 70 (T _c = 60°C)
Repetitive Controllable On-State Current	I_{TCM}	A 200 (2)
Non-Repetitive Controllable On-State Current	I_{TCSW}	A 260 (3)
Surge (Non-Repetitive) On-State Current	I_{TSM}	A 500 (4)
Pt Limit Value	Pt	A ² sec. 185 (5)
Critical Rate of Rise of On-State Current	di/dt	A/μsec. 200 (6)
Repetitive Peak Reverse Gate Voltage	V_{CRM}	V 13 (7)
Repetitive Average Forward Gate Power Dissipation	$P_{G(FAV)}$	W 12
Repetitive Peak Forward Gate Power Dissipation	P_{GFM}	W 36
Repetitive Average Reverse Gate Power Dissipation	$P_{G(RAV)}$	W 20
Repetitive Peak Reverse Gate Power Dissipation	P_{GRM}	W 1,500
Operating Junction Temperature	T _j	°C -40 ~ +125
Storage Temperature	T _{stg}	°C -40 ~ +125

NOTE

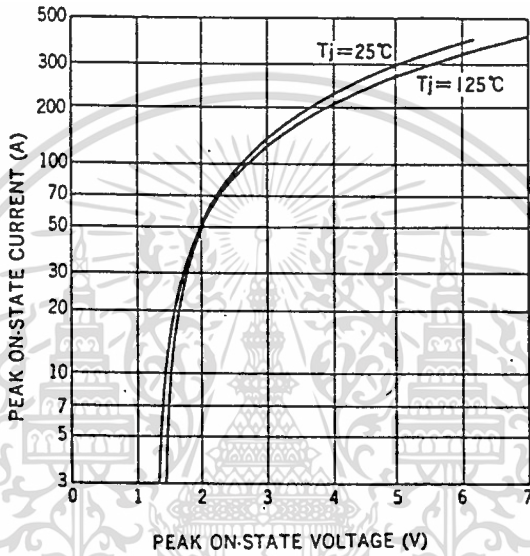
- (1) V_{ca} = 5V or R_{ca} ≤ 100Ω
- (2) V_D = 800V, Over shoot voltage = 100V, E_{soff} = 12V, C_i = 0.47μF, L_c = 0.4μH, L_l = 0.1μH, f = 1KHz.
- (3) V_D = 800V, Over shoot voltage = 100V, E_{soff} = 12V, C_i = 0.47μF, L_c = 2.7μH, L_l = 0.1μH.
- (4) 1.5msec conduction, Half sine wave, 1cycle.
- (5) 1.5msec conduction, I = RMS Value
- (6) I_{CP} = 8A, dig/dt = 4A/μs, Gate pulse width = 10μs, V_D = 800V.
- (7) This value may be exceeded at the turn-off period provided the peak reverse gate power dissipation does not exceed the rated P_{GRM} value.
- (8) The reverse voltage between anode and cathode shall not exceed the rated V_{DRM} value.

■CHARACTERISTICS (T_j = 25°C unless otherwise specified)

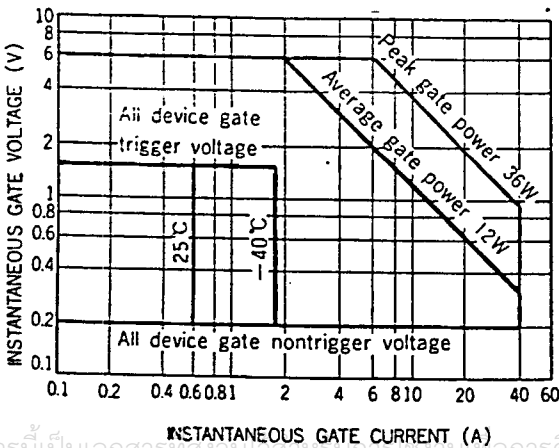
Items	Symbols	Units	Min.	Typ.	Max.	Test Conditions	
Peak Off-State Current	I _{DRM}	mA	—	—	1	V _D = V _{DRM} , R _{ca} = 100Ω	
Peak On-State Voltage	V _{TM}	V	—	—	3.8	I _{TM} = 200A	
DC Gate Trigger Current	I _{GT}	mA	—	—	600	V _D = 24V, R _i = 2Ω	
DC Gate Trigger Voltage	V _{GT}	V	—	—	1.5		
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	dv/dt	V/μsec.	1,000	—	—	V _D = 800V, T _j = 125°C, V _{ca} = 5V or R _{ca} = 100Ω	
Holding Current	I _H	A	—	4	—	V _D = 24V	
Latching Current	I _L	A	—	6	—	V _D = 24V	
Turn-On Time	t _{ei}	μsec.	—	3.0	4.0	V _D = 800V	
	(Delay Time)	t _d	μsec.	—	1.0	—	I _{TM} = 200A
	(Rise Time)	t _r	μsec.	—	2.0	—	I _{CP} = 8A
Gate Turn-Off Time	t _{ec}	μsec.	—	4.5	6.0	V _D = 800V, I _{TM} = 200A	
	(Storage Time)	t _s	μsec.	—	4.0	—	E _{soff} = 12V
	(Fall Time)	t _f	μsec.	—	0.5	—	L _c = 0.4μH
Turn-Off Gate Charge	Q _{GO}	μC	—	200	300		
Steady State Thermal Impedance	R _{th(j-c)}	°C/W	—	—	0.35	Junction to Case	

GFF200E

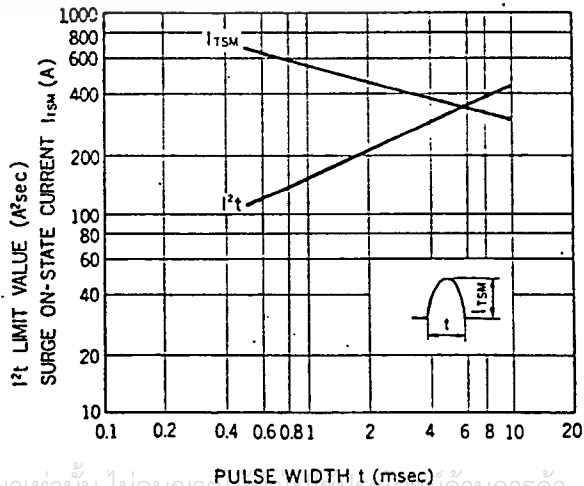
順特性 ON-STATE VOLTAGE CHARACTERISTICS



ゲートトリガ特性 GATE TRIGGERING CHARACTERISTICS



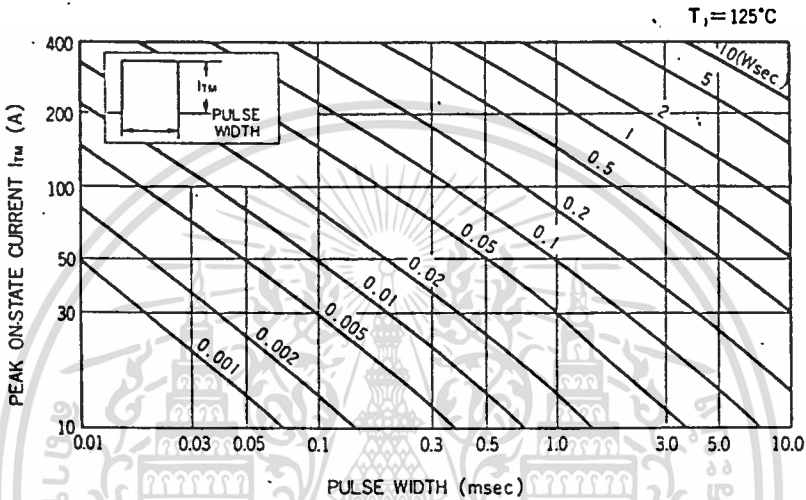
サージオン電流特性 (非繰返し) SURGE ON-STATE CURRENT CHARACTERISTICS (NON-REPETITIVE)



GFF200E

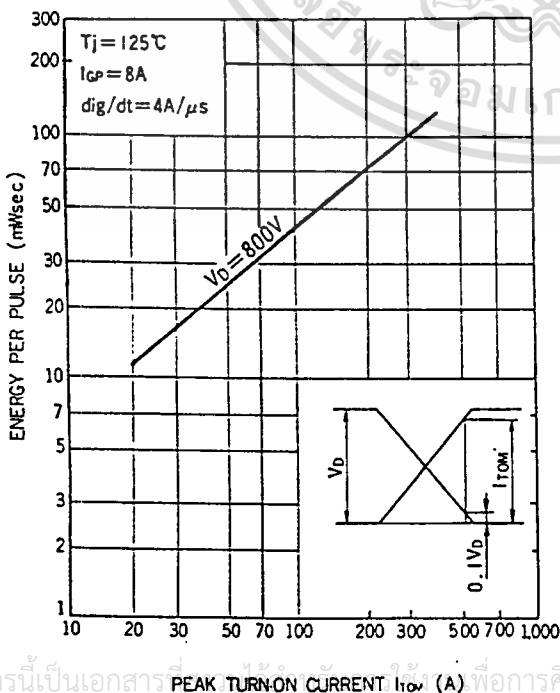
方形波1パルス当りのエネルギー損失特性(導通時)

ON-STATE ENERGY PER PULSE



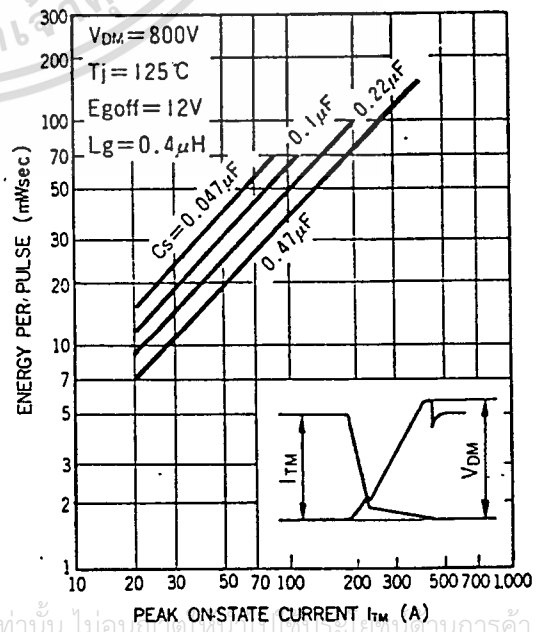
1パルス当りのエネルギー損失特性 (ターンオン時)

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)



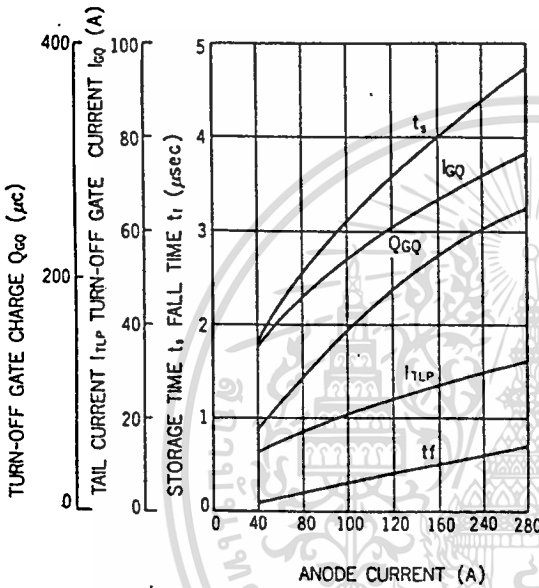
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท ก้าวไกล เทคโนโลยี จำกัด การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากทางบริษัทฯ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

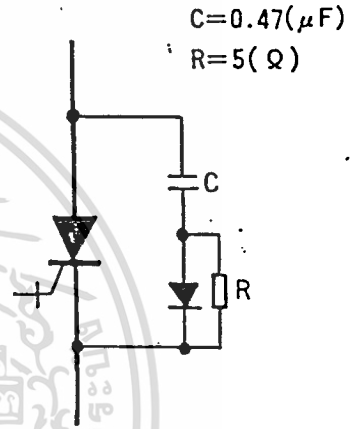
GFF200E

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

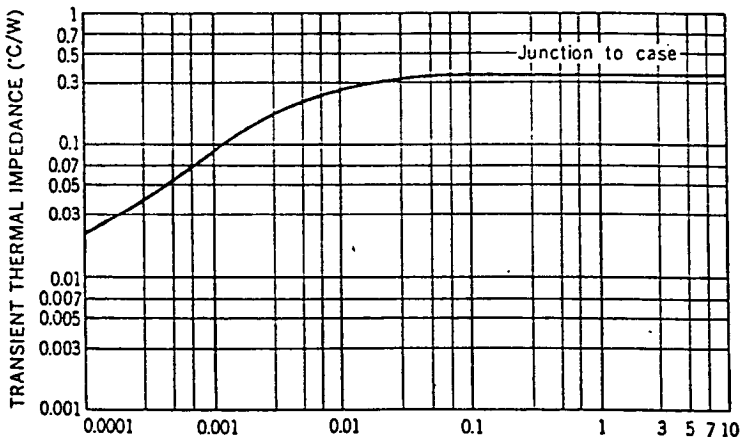
スナバ定数の推奨値
RECOMMENDED VALUES
OF SNUBBER CONSTANTS



Conditions :
 $V_D = 800V$
 $E_{goff} = 12V$
 $L_g = 0.4\mu H$
 $C_s = 0.47\mu F$
 $L_s = 0.1\mu H$
 $T_j = 125^\circ C$



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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ TIME (sec) มัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ ได้รับความช่วยเหลือในด้านต่างๆ มากมายจากบุคคลต่อไปนี้ คือ

1. รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษาแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอด
2. เจ้าหน้าที่ประจำคณะ และห้องสมุดคณะ วิศวกรรมศาสตร์ ที่เป็นแหล่งสนับสนุนทางด้านตำราและเอกสารอ้างอิง รวมทั้ง เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์
3. นักศึกษารุ่นน้องรุ่นที่ 25 และ 26 ทุกคนโดยเฉพาะบุคคลเหล่านี้ คือ

รุ่นที่ 25

นายพงษ์วัช จงเจริญยานนท์

นายสมศักดิ์ อยู่สอน

นายสุรเดช ศรีวารณภักย์

นายสุพจน์ พงษ์อัชฌา

รุ่นที่ 26

นายอนันต์ ชำนาญโลหะวานิช

นายอนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ

นายเอกชัย ชีวังกูร

นายเอกชัย ลีธรรมสาร

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุชาติ แซ่ตั้ง, วิริยะ พิเชษฐจำเริญ, "พีดับลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ชนิดไม้มิงจระคอมมิวเตท", การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันอุดมศึกษาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12, 2532
- [2] สุชาติ แซ่ตั้ง, วิริยะ พิเชษฐจำเริญ, "พีดับลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ชนิดเลื่อนเฟสกระแสเอชี่ ไลน์", การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันอุดมศึกษาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 2533
- [3] R.Palaniappan, "Voltage Clamping circuits for CSI/IM Drives", IEEE Trans.Ind.Appl., vol.IA-21, No.2, Mar./Apr. 1985.
- [4] Y.Sato and T.Kataoka, "An Analysis of Voltage Spike Clamping Circuit for Current Type PWM Power Converter", IEEE PESC Record, Vol.2, pp.813-819, April 1988.
- [5] 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.IA-15, pp.670-675, Nov./Dec.1979
- [6] T.Ise, J.J.Skiles, R.L.Kustom and J.Wang, "Circuit Configuration of the GTO Converter for Magnetic Energy Storage", IEEE PESC Record, Vol.1, pp.108-115, April 1988.
- [7] Laszlo Gyugyi, "Reactive Power Generation and Control by Thyristor Circuits", IEEE Trans.Ind.Appl., vol.IA-15, No.5, pp.521-532, 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, No.2, pp.356-365, Mar./Apr. 1989
- [9] William Barden, Jr., "The Z-80 Microcomputer Handbook", Howard W. Sam & Co., Inc. Indianapolis, Indiana, 1979
- [10] Lance A. Leventhal, Winthrop Saville, "Z80 Assembly Language

Subroutines"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

