



จีทีโอ เอซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์
และ การใช้งาน
GTO AC-DC CONVERTER
AND APPLICATIONS



ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032607

ปีการศึกษา 2535

จิกโก เอช-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ และ การใช้งาน
GTO AC-DC CONVERTER AND APPLICATIONS



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิวิธะ พิเศษจำเริญ

ปฏิญานินพนธ์ปีการศึกษา 2535

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

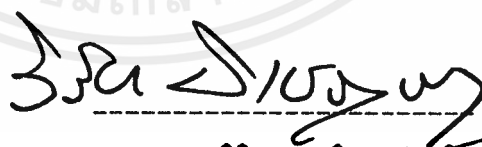
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง จีทีโอ เอซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ และ การใช้งาน

(GTO AC-DC CONVERTER AND APPLICATIONS)

ผู้จัดทำ

1. นาย ณรงค์ สุวรรณรงค์ 321088
2. นาย สมภพ ผลไม้ 321152
3. นาย สมศักดิ์ คุณรัตนารักษ์ 321155
4. นาย สุนันท์ กองศักดิ์ 321382


อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. วิริยะ พิเศษจำเริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จีทีโอ เอช-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ และ การใช้งาน

นาย ณรงค์ สุวรรณรงค์

นาย สมภพ ผลไม้

นาย สมศักดิ์ คุณรัตนากรณ์

นาย สุปจน์ กองศักดิ์

รศ.ดร. วิริยะ - พิเศษจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2535

บทคัดย่อ

ปฏิญานาพินชนักกล่าวถึงการออกแบบสร้าง วิเคราะห์และทดสอบเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้แปลงไฟเอชเป็นไฟดีซีชนิดสามเฟสโดยใช้จีทีโอทรินสเตอร์เป็นสวิตซ์ตัดต่อกระแสในวงจร กระแสอินพุทที่ได้จะมีลักษณะของคลื่นพีคดับลิวเอ็มแบบชานส์ โดยอาศัยรูปแบบของสัญญาณเกทที่ออกแบบและสร้างจากระบบควบคุมดิจิทัล เพื่อกำจัดองค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสอินพุทลำดับต่ำ ทำให้ได้คอนเวอร์เตอร์ที่มีองค์ประกอบของฮาร์โมนิกลำดับต่ำทางด้านอินพุท และอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงกว่าคอนเวอร์เตอร์ลักษณะเดียวกันที่ใช้ทรินสเตอร์ทั่วไป นอกจากนี้คอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้ยังสามารถเลื่อนเฟสของกระแสเอชไลน์ให้มีมุมหน้าหรือล่าหลังได้ทำให้สามารถนำไปใช้ในงานชดเชยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังได้

ในตอนแรกจะกล่าวถึงการทำงานของวงจรกำลังและระบบควบคุมดิจิทัลซึ่งใช้ MCS-51 ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานหลัก จากนั้นจะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบและสร้างรูปแบบของกระแสในลักษณะคลื่นพีคดับลิวเอ็ม ซึ่งประกอบด้วยจำนวนพัลส์ 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ โดยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่คำนวณค่าความกว้างพัลส์และจำนวนพัลส์ต่างๆ โดยไม่ต้องอาศัยการตั้งค่าต่างๆจากตารางเข้าไปยังไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ยูนิต เพื่อเป็นการประหยัดหน่วยความจำโปรแกรมและเพิ่มความละเอียดของข้อมูลให้มากขึ้น ตลอดจนให้ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ในย่านกว้าง นอกจากนี้ยังกล่าวถึงผลขององค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอชไลน์, อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์และแรงดันเอาต์พุทและแรงดันเอาต์พุทเฉลี่ย เนื่องมาจากผลของจำนวนพัลส์ ความกว้างของพัลส์ และการเลื่อนเฟสของกระแสในเอชไลน์ ในตอนท้ายได้นำจีทีโอคอนเวอร์เตอร์นี้ไปใช้งานแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ ซึ่งปรากฏว่าสามารถทำหน้าที่ชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังได้เป็นที่น่าพอใจ

GTO AC-DC CONVERTER AND APPLICATIONS

Narong Suwannarong

Sompob Polmai

Somsak Kunrattanaporn

Supot Kongsak

Associate Professor Viriya Pichetjamroen Advisor

1992

Abstract

This thesis concerns analysis and experiment on an ac-to-dc PWM controlled three-phase power converter using GTO thyristors as solid-state power switching device in the main power circuit. The ac line input current of sinusoidal PWM pattern is obtained by gating signal pattern to eliminate low-order input current harmonics. The ac line input current can also be phase-shift controlled both in the leading or lagging phase. This result in the possibility of using this converter as a fundamental input power factor compensator in a power supply system.

The principle of main power circuit operation and digital control system, using MCS-51 microcontroller as a main control unit, are first described. Then, the design and construction of PWM current patterns consisting of 6, 9, 12, and 15-pulse are considered in details, using microcontroller to calculate the pulsewidth and various pulse numbers without loading data from look-up table to timer/counter unit in order to reduce the size of program memory, increase the precision of data and also increase the flexibility of parameter setting in wide range.

Moreover, The effect of changing of PWM ac line input current pattern 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 controlled, such as the harmonic contents, input power factor and average output voltage for these current patterns is also investigated in

this thesis.

In the last chapter of this thesis ,The GTO converter is applied for power factor compensating in the power supply system.The results shown that this converter can compensate the power factor in the power system satisfactorily.



สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		i
สารบัญรูป		iv
สารบัญตาราง		vi
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	วงจรถ่วง	
2.1	วงจรถ่วงหลัก	2
2.2	วงจรถ่วง	3
บทที่ 3	ลักษณะคลื่นพีดบิลวาเอมในกระแสเอซีไลน์และสัญญาณเกท	
3.1	แนวความคิดในการออกแบบลักษณะคลื่นกระแสพีดบิลวาเอม	6
3.2	ลักษณะคลื่นพีดบิลวาเอม 6, 9, 12, 15 พัลส์ในกระแสเอซีไลน์	7
3.3	การออกแบบสัญญาณเกท	11
บทที่ 4	ระบบควบคุมดิจิทัล	
4.1	ไมโครคอนโทรลเลอร์	20
4.2	วงจรรีจิสเตอร์	21
4.3	โปรแกรมควบคุมระบบ	30
บทที่ 5	การวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์	
5.1	การพิจารณาสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของกระแสพีดบิลวาเอม 6, 9, 12, 15 พัลส์	35
5.2	การพิจารณาสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ในรูปทั่วไป	
5.2.1	รูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ a_n	46
5.2.2	รูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ b_n	51
5.3	องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์	53
5.4	อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม	53
บทที่ 6	การวิเคราะห์แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย	
6.1	แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยกรณีกระแสพีดบิลวาเอม 6, 9, 12, 15 พัลส์	62
6.2	สมการทั่วไปของแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย	72

6.3	ลักษณะคลื่นแรงดันเอาก์พุท	75
บทที่ 7	บทสรุป	80
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
เอกสารอ้างอิง		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	วงจรกำลังของจีทีไอคอนเวอร์เตอร์	2
รูปที่ 2.2	(1) แรงดันอินพุตสามเฟส (V_u, V_v และ V_w) (2) สัญญาณเกท (G1-G8) (3) แรงดันเอาต์พุตคี่ (4)-(6) กระแสฟีดแบ็คลิวดิโอด 6 ฟัลส์ (I_u, I_v และ I_w)	5
รูปที่ 3.1	ลักษณะคลื่นกระแสเฟส U, V, W ในหนึ่งไซเคิล	7
รูปที่ 3.2	การวางแต่ละส่วนของฟัลส์กระแสในกระแสเอชี่ไลน์สามเฟส	8
รูปที่ 3.3	การผิดเพี้ยนเล็กน้อยที่มุมฟัลส์ของกระแสฟีดแบ็คลิวดิโอด	10
รูปที่ 3.4	การทำงานของวงจรกำลังขณะที่คาปาซิเตอร์กำลังคายประจุ	10
รูปที่ 3.5	รูปแบบกระแสฟีดแบ็คลิวดิโอด 6 ฟัลส์ และ สัญญาณเกททั้งแปด	12
รูปที่ 3.6	รูปแบบกระแสฟีดแบ็คลิวดิโอด 9 ฟัลส์ และ สัญญาณเกททั้งแปด	13
รูปที่ 3.7	รูปแบบกระแสฟีดแบ็คลิวดิโอด 12 ฟัลส์ และ สัญญาณเกททั้งแปด	14
รูปที่ 3.8	รูปแบบกระแสฟีดแบ็คลิวดิโอด 15 ฟัลส์ และ สัญญาณเกททั้งแปด	15
รูปที่ 3.9	ลักษณะคลื่นกระแสฟีดแบ็คลิวดิโอดในเอชี่ไลน์สามเฟส (1) เฟส U (2) เฟส V (3) เฟส W	16
รูปที่ 3.10	ลักษณะคลื่นกระแสฟีดแบ็คลิวดิโอดในแต่ละครึ่งไซเคิล (1) กรณี 6 ฟัลส์ (2) กรณี 9 ฟัลส์ (3) กรณี 12 ฟัลส์ (4) กรณี 15 ฟัลส์	17
รูปที่ 3.11	ลักษณะคลื่นกระแสฟีดแบ็คลิวดิโอด 6 ฟัลส์ที่มุมเลื่อนเฟส $-60^\circ, 0^\circ, 60^\circ$	18
รูปที่ 4.1	รายละเอียดของระบบควบคุมดิจิทัล	19
รูปที่ 4.2	รายละเอียดของวงจรสร้างฟัลส์	20
รูปที่ 4.3	แผนภาพเวลาของสัญญาณ αt ที่มุมเลื่อนเฟส $= -90^\circ, 0^\circ, 90^\circ$	22
รูปที่ 4.4	แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างฟัลส์ กรณี 6 ฟัลส์	26
รูปที่ 4.5	แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างฟัลส์ กรณี 9 ฟัลส์	27
รูปที่ 4.6	แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างฟัลส์ กรณี 12 ฟัลส์	28

รูปที่ 4.7	แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 15 พัลส์	29
รูปที่ 5.1	รูปคลื่นกระแสฟีดแบคชีวเอ็ม 6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล	36
รูปที่ 5.2	องค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสฟีดแบคชีวเอ็ม 6 พัลส์	55
รูปที่ 5.3	องค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสฟีดแบคชีวเอ็ม 9 พัลส์	56
รูปที่ 5.4	องค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสฟีดแบคชีวเอ็ม 12 พัลส์	57
รูปที่ 5.5	องค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสฟีดแบคชีวเอ็ม 15 พัลส์	58
รูปที่ 5.6	คุณสมบัติตัวประกอบคิสทอร์ชัน สำหรับกรณี 6 และ 15 พัลส์	59
รูปที่ 5.7	คุณสมบัติอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐานสำหรับกรณี 6 พัลส์และ 15 พัลส์	60
รูปที่ 5.8	คุณสมบัติอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม สำหรับกรณี 6 พัลส์และ 15 พัลส์	61
รูปที่ 6.1	การทำงานของวงจรกำลังหลักในช่วงเวลาคายประจุ	63
รูปที่ 6.2	ลักษณะคลื่นกระแสเอซีไลน์และแรงดันทางด้านอินพุทและเอาต์พุท (1)-(2) กรณ์มุมเลื่อนเฟส = -90° (3)-(4) กรณ์มุมเลื่อนเฟส = 90°	69
รูปที่ 6.3	ผลการคำนวณแรงดันเอาต์พุทเฉลี่ยกับมุมเลื่อนเฟส (1) กรณี 6 พัลส์ (2) กรณี 15 พัลส์	76
รูปที่ 6.4	คลื่นแรงดันเอาต์พุทดีซีของกระแสเอซีไลน์ 6 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส = $-90^\circ, 0^\circ, 90^\circ$	77
รูปที่ 6.5	คลื่นแรงดันเอาต์พุทดีซีของกระแสเอซีไลน์ 6 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส = $-60^\circ, 0^\circ$	78
รูปที่ 6.6	คลื่นแรงดันเอาต์พุทดีซีของกระแสเอซีไลน์ 15 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส = $-60^\circ, 0^\circ$	79

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการแบ่งความกว้างของพัลส์ λT	9
ตารางที่ 4.1 โหมดการทำงานและสัญญาณของแต่ละเคาน์เตอร์	21
ตารางที่ 4.2 ความหมายของสัญญาณ αt ในรูปของสัญญาณนาฬิกา	23
ตารางที่ 4.3 ความหมายของสัญญาณ T ในรูปของสัญญาณนาฬิกาที่จำนวนพัลส์ต่าง ๆ	23
ตารางที่ 4.4 ช่วงเวลาของสัญญาณ $\lambda T, X\lambda T$ และ $(1-X)\lambda T$ ที่จำนวนพัลส์ต่าง ๆ	25
ตารางที่ 5.1 ช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณี 6 พัลส์	37
ตารางที่ 5.2 ช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณี 9 พัลส์	38
ตารางที่ 5.3 ช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณี 12 พัลส์	49
ตารางที่ 5.4 ช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณี 15 พัลส์	41
ตารางที่ 5.5 บางเทอมในรูปทั่วไปของ b_{kn} สำหรับกรณี 6, 9, 12, 15 พัลส์	52
ตารางที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่าง ๆ กับสมการแรงดันสำหรับกรณี 6 พัลส์	65
ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่าง ๆ กับสมการแรงดันสำหรับกรณี 9 พัลส์	66
ตารางที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่าง ๆ กับสมการแรงดันสำหรับกรณี 12 พัลส์	67
ตารางที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่าง ๆ กับสมการแรงดันสำหรับกรณี 15 พัลส์	68

บทที่ 1

บทนำ

ปริญญาโทฉบับนี้ได้จัดทำการศึกษาเรื่องของคอนเวอร์เตอร์ ที่มีจีโอโทริสเตอร์เป็นอุปกรณ์
สวิตซ์ซึ่งในแต่ละบทจะมีรายละเอียดคร่าว ๆ ดังนี้คือ

บทที่ 2 กล่าวถึงโครงสร้างและหลักการทำงานของวงจรกำลัง

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการออกแบบและสร้างรูปแบบของลักษณะคลื่นกระแสฟีดแบลิวเอ็มในเอซี
ไลน์ และ กล่าวถึงการออกแบบสัญญาณเกทของจีโอโทริสเตอร์ G1-G8

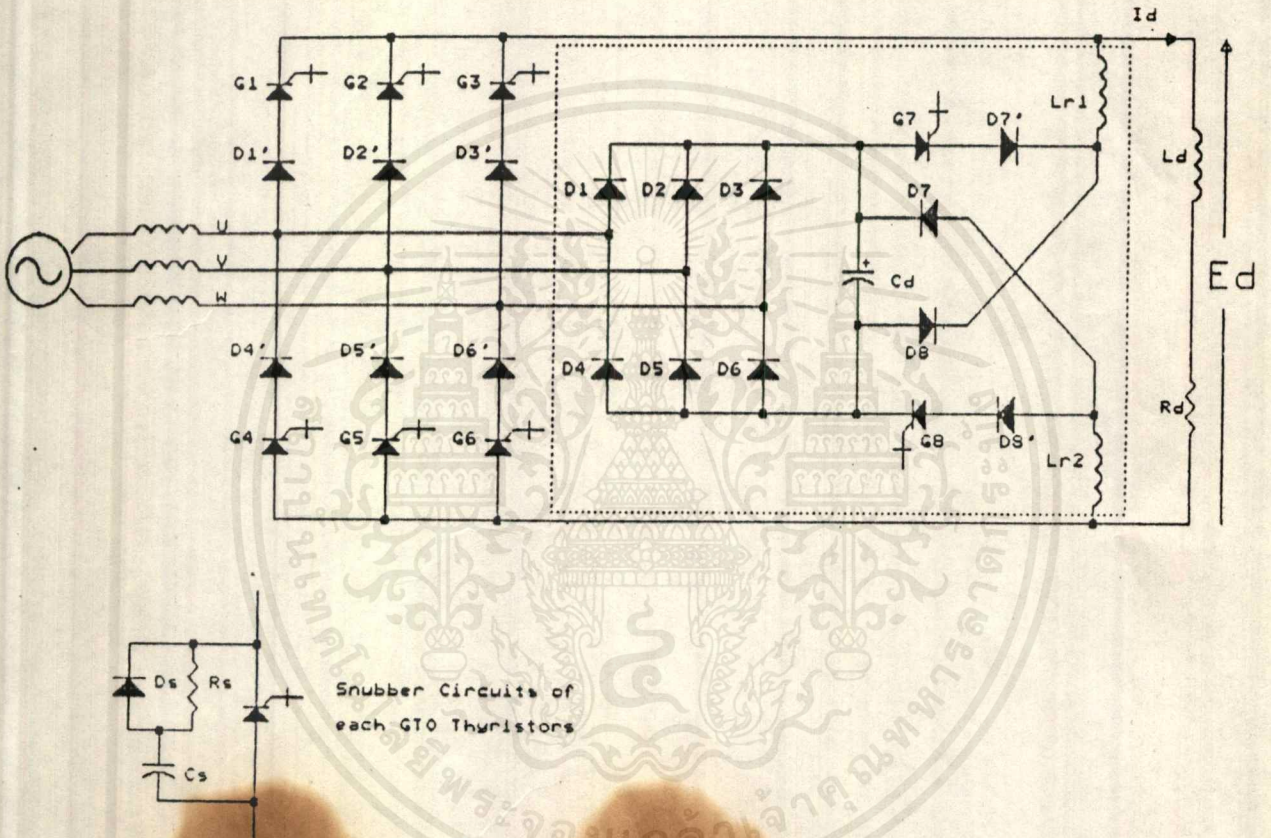
บทที่ 4 เป็นเรื่องของระบบควบคุมดิจิตอล ทำหน้าที่สร้างสัญญาณเกท G1-G8 ซึ่งประกอบด้วย
ไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรสร้างพัลส์ วงจรส่วนโคลลอปซึ่งทำงานในลักษณะ PI วงจรวัดมุมระ
หว่างแรงดันกระแส

บทที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์ทางคัพประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอซีไลน์ อินพุทเพาเวอร์แฟค
เตอร์รวม โดยเริ่มต้นจากการพิจารณาทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์สำหรับกรณีกะแสฟีดแบลิวเอ็ม 6,
9, 12 และ 15 พัลส์

บทที่ 6 กล่าวถึงการวิเคราะห์หาสมการทั่วไปของแรงดันเอาต์พุทเฉลี่ย สำหรับกรณีกะแส
ฟีดแบลิวเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ จากนั้นศึกษาผลกระทบของจำนวนและความกว้างพัลส์
ตลอดจนการเลื่อนเฟสของกระแสในเอซีไลน์ ที่มีต่อแรงดันเอาต์พุทเฉลี่ย

บทที่ 7 เป็นการสรุปผลของการศึกษาและทำปริญญาโทฉบับนี้

วงจรกำลังของจีโอคอนเวอร์เตอร์ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ วงจรกำลังหลัก (Main Power Circuit) และวงจรช่วย (Auxiliary circuit) ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ในบริเวณเส้นประ



รูปที่ 2.1 วงจรกำลังของจีโอคอนเวอร์เตอร์

2.1 วงจรกำลังหลัก (Main Power circuit)

วงจรกำลังหลัก ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบพีดับบลิวเอ็ม ซึ่งประกอบด้วยจีโอ-ไทรสเตอร์ 6 ตัว (G1-G6) ซึ่งสามารถต้านแรงดันย้อนกลับได้ จีโอไทรสเตอร์เหล่านี้ใช้ในการเรียงกระแสสลับสามเฟส และควบคุมกระแสอินพุทเอซีไลน์ในลักษณะพีดับบลิวเอ็มได้โดยสัญญาณเกตและสมตตั้งรีแอคเตอร์ L_d ที่อยู่ด้านโหลดค้ำของคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ ON-OFF จีทีโอไทรซิสเตอร์แต่ละตัวจะถูกควบคุมโดยตรงด้วยสัญญาณเกต การคอมมิวเตทของวงจรจึงเป็นการคอมมิวเตทเชิงบังคับ

จีทีโอไทรซิสเตอร์บางชนิดนั้นไม่สามารถต้านทานแรงดันย้อนกลับได้นั้น เมื่อนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องต่อไดโอดอนุกรมกับจีทีโอไทรซิสเตอร์ดังกล่าว เพื่อให้ได้จีทีโอไทรซิสเตอร์ที่สามารถต้านทานแรงดันย้อนกลับได้ แต่ในปริวิตถุณานิพจน์ก็ได้ต่อไดโอดอนุกรมกับจีทีโอไทรซิสเตอร์ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มอัตราทนแรงดันย้อนกลับของจีทีโอไทรซิสเตอร์

วงจรสับเบอร์ (Rs, Cs และ Ds) ซึ่งต่อคร่อมจีทีโอไทรซิสเตอร์แต่ละตัว จะทำหน้าที่ลดอัตราการเพิ่มของแรงดัน (ratio of voltage rise) และจำกัดแรงดันสไปค์เนื่องจากสเตรย์อินดักแตนซ์ตลอดช่วงสายต่อที่ขาเอาโนดและคาโทด

รูปที่ 2.2(1) แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันระหว่างไลน์สองไลน์ซึ่งแสดงอยู่ในบริเวณแรเงาจะปรากฏที่โหลดคิตซี กับสัญญาณเกตซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2(2) แรงดันเอาท์พุทคิตซี E_d และกระแสเอชี่ไลน์ $I_{u,iv}$ และ I_w ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2(3)-(6)

แต่ในความเป็นจริงแล้ว แหล่งจ่ายไฟจะมีลิกเกจรีแอคแตนซ์ ($L_s > 0$) ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันสไปค์ขณะที่จีทีโอไทรซิสเตอร์แต่ละตัวเกิดการคอมมิวเตท แรงดันสไปค์นี้อาจทำให้จีทีโอไทรซิสเตอร์เสียหายได้ จึงได้พัฒนาวงจรช่วย (Auxiliary Circuit) ขึ้นมาใหม่ซึ่งแสดงในบริเวณเส้นประ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

2.2 วงจรช่วย (Auxiliary Circuit)

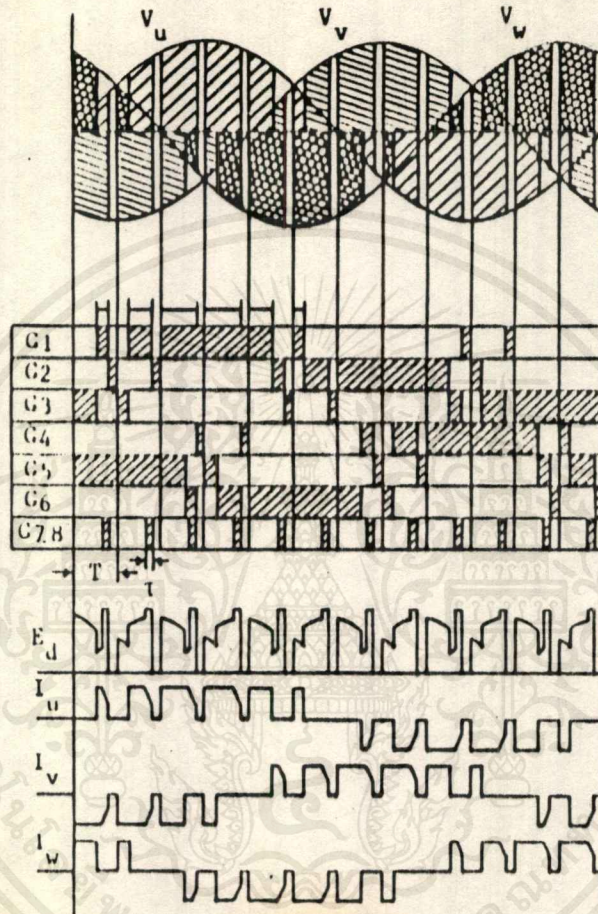
วงจรช่วยแสดงในบริเวณเส้นประ [5] ประกอบด้วยไดโอดบริดจ์สามเฟส (D1-D6) คาปาซิเตอร์ชนิดอิเล็กโตรไลต์ (Cd) ซี้อปเปอร์จีทีโอ (G7,G8) และวงจรป้องกัน (Lr1,Lr2 และ D7,D8) ไดโอดบริดจ์ (D1-D6) จะต่อไฟเอชี่เข้ากับคาปาซิเตอร์ (Cd) เมื่อเกิดแรงดันสไปค์ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงดันที่คาปาซิเตอร์ Cd คาปาซิเตอร์ Cd ใช้ในการจัดเก็บสะสมพลังงานคอมมิวเตทที่เกิดขึ้นในลิกเกจรีแอคแตนซ์ของแหล่งจ่ายไฟ [3][4] โดยจะมีการคายพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในคาปาซิเตอร์ไปสู่ด้านโหลดคิตซีเป็นระยะห่างเท่าๆกัน โดยการควบคุมซี้อปเปอร์จีทีโอ (G7,G8) ให้นำกระแสพร้อมกันในช่วงระยะเวลา τ หลังจากเสร็จสิ้นการคอมมิวเตทในวงจรกำลังหลัก วงจรส่วนป้องกัน จะใช้ในการประจุคาปาซิเตอร์ Cd ด้วยพลังงานแม่เหล็กซึ่งสะสมใน Lr1, Lr2 ทางลูปกระแสฟรีวิล (Lr2-D7-Cd-D8-Lr1-Load) ในทันทีที่ G7 และ G8 หยุดนำกระแส ส่วนสมุดตั้งรีแอคเตอร์ (Ld) จะใช้ในการปรับกระแสโหลดคิตซีให้เรียบ และ Rd คือความต้านทานโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในวิทยาลัยศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ทำให้กระแสอินพุทเอซีไลน์มีลักษณะพีคบิดเบี้ยวขึ้น ก็เพื่อลดค่าองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่ำในกระแสเอซีไลน์ และปรับปรุงค่าอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ให้ดีขึ้น รูปแบบกระแสพีคบิดเบี้ยวที่เข้ากับคอนเวอร์เตอร์นี้สามารถเลือกจำนวนพัลส์ได้ดังนี้ คือ 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

นอกจากนี้ รูปแบบกระแสพีคบิดเบี้ยวที่นำเสนอนี้ยังสามารถเลื่อนได้ในช่วงจากมุมล้าหน้า 90° จนถึงมุมล้าหลัง 90° จากความสามารถดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำคอนเวอร์เตอร์นี้ไปใช้งานชดเชยเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง





รูปที่ 2.2 การสร้างรูปแบบกระแสฟีดบิลวเอ็ม 6 พัลส์

- (1) แรงดันอินพุตสามเฟส (V_u, V_v และ V_w)
- (2) สัญญาณเกททั้งแปด (G1-G8)
- (3) แรงดันเอาต์พุตดีซี E_d
- (4)-(6) กระแสฟีดบิลวเอ็มเฟส U, V และ W ตามลำดับ

ลักษณะคลื่นพัลส์บลิวเอมในกระแสไอ้และสัญญาณเกท

3.1 แนวความคิดในการออกแบบลักษณะคลื่นกระแสพัลส์บลิวเอม

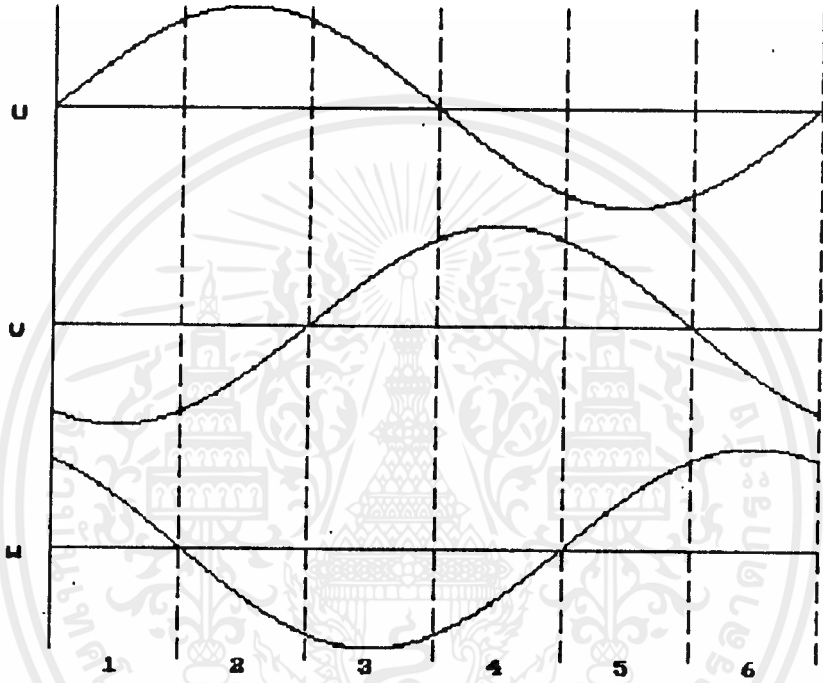
เอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมหนักตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันจะเป็นคอนเวอร์เตอร์ชนิดความคุมเฟส ซึ่งมีโครงสร้างง่ายและวงจรถูกจัดจะมีอุปกรณ์เพียงไม่กี่ชิ้น แต่การใช้คอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้สร้างปัญหาให้กับระบบไฟฟ้ากำลังเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นปัญหาของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์หรือฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นในกระแสเอชไอ้ ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขให้ดีขึ้นได้โดยใช้คอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานในรูปแบบพัลส์บลิวเอม ซึ่งมีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น EPWM (Equal Pulsewidth Modulation), SPWM (Sinusoidal Pulsewidth Modulation), TM (Trapezoidal Pulsewidth Modulation) เป็นต้น ในปฏิญานพบนันสัญญาณเกทที่ได้รับ การออกแบบพิเศษ เมื่อป้อนเข้าทางขาเกทของจ็ทไอ้ไทรซิสเตอร์ เพื่อควบคุมการเปิดปิดจ็ทไอ้ไทรซิสเตอร์ในวงจรรีซิงกระแสสามเฟส จะได้กระแสอินพุทเอชไอ้ทั้งสามเฟสในลักษณะพัลส์บลิวเอมแบบซายน์ ส่วนกระแสโหลดค้จะถูกทำให้เรียบด้วยสมุดค้รีแอคเตอร์ และขนาดกระแสโหลดค้จะเป็นตัวแสดงถึงขนาดพิดของพัลส์พัลส์บลิวเอมของกระแสเอชไอ้ไลน์ ความกว้างของแต่ละพัลส์กระแสจะขึ้นอยู่กับความกว้างของสัญญาณเกทที่ป้อนให้จ็ทไอ้ไทรซิสเตอร์ ดังนั้น เราจึงสามารถปรับขนาดของกระแสพัลส์บลิวเอมได้ 2 ลักษณะด้วยกันคือ

1. โดยการเปลี่ยนความต้านทานโหลด R_d
2. โดยการเปลี่ยนความกว้างพัลส์ของกระแสพัลส์บลิวเอม ซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนตัว

ประกอบมีอดดูเลขที่ n ของสัญญาณเกท

ในการออกแบบ รูปคลื่นกระแสพัลส์บลิวเอมของกระแสเอชไอ้ไลน์ จะประกอบด้วย 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล ขึ้นแรกจะพิจารณาจากลักษณะคลื่นกระแสเอชไอ้ไลน์เฟส U, V และ W ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีความต่างเฟสระหว่างสองเฟสเป็น 120° โดยที่เฟส U จะมีพัลส์ที่กว้างที่สุดบริเวณมุม $90^\circ, 270^\circ, \dots$ และแคบที่สุดอยู่บริเวณมุม $0^\circ, 180^\circ, \dots$ เฟส V จะมีพัลส์ที่กว้างที่สุดบริเวณมุม $-90^\circ + 120^\circ, 90^\circ + 120^\circ, \dots$ และแคบที่สุดอยู่บริเวณมุม $-180^\circ + 120^\circ, 120^\circ, \dots$ เฟส W พัลส์กว้างที่สุดอยู่บริเวณมุม $-90^\circ + 240^\circ, 90^\circ + 240^\circ, \dots$ และที่แคบที่สุดจะอยู่บริเวณมุม $-180^\circ + 240^\circ, \dots$ และที่แคบที่สุดอยู่บริเวณมุม $-180^\circ + 240^\circ, 240^\circ, \dots$ สำหรับพัลส์กระแสพัลส์บลิวเอมที่เหลือจะวางตัวอยู่ระหว่างพัลส์ที่แคบที่สุดกับพัลส์ที่กว้างที่สุด โดยพัลส์เหล่านี้ที่อยู่ทางซ้ายของพัลส์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กว้างที่สุดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากพัลส์ที่แคบที่สุดไปทางพัลส์ที่กว้างที่สุด แล้วพัลส์ที่อยู่ขวาของพัลส์ที่กว้างที่สุดจะค่อย ๆ ลดลงจากพัลส์ที่กว้างที่สุดไปยังพัลส์ที่แคบที่สุด ในการออกแบบ จำนวนพัลส์ที่กว้างที่สุดดังกล่าวข้างบนอาจจะเป็น 2, 3, 4 หรือ 5 พัลส์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนพัลส์กระแสฟีดแบ็คลิวดำเนินทั้งหมดในแต่ละครึ่งไซเคิล ตัวอย่างเช่น จำนวนพัลส์ที่กว้างที่สุด (๓) เท่ากับ 2 สำหรับกรณีกระแสฟีดแบ็คลิวดำเนิน 6 พัลส์ และ 3, 4, 5 สำหรับกรณี 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ลักษณะคลื่นกระแสเฟส U, V, W ในหนึ่งไซเคิล

3.2 ลักษณะคลื่นกระแสฟีดแบ็คลิวดำเนิน 6, 9, 12, 15 พัลส์

เมื่อวงจรควบคุมดิจิทัลทำงานร่วมกับวงจรกำลัง ทำให้เราสามารถสร้างคลื่นกระแสฟีดแบ็คลิวดำเนินสามเฟสในเอซีไลน์ได้หลายลักษณะ เช่น สามารถเลือกจำนวนพัลส์ฟีดแบ็คลิวดำเนินได้ 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล และปรับความกว้างของพัลส์ฟีดแบ็คลิวดำเนินได้ ต่อไปนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบรูปแบบกระแสฟีดแบ็คลิวดำเนิน 6 พัลส์ ในแต่ละครึ่งไซเคิลเป็นดังนี้

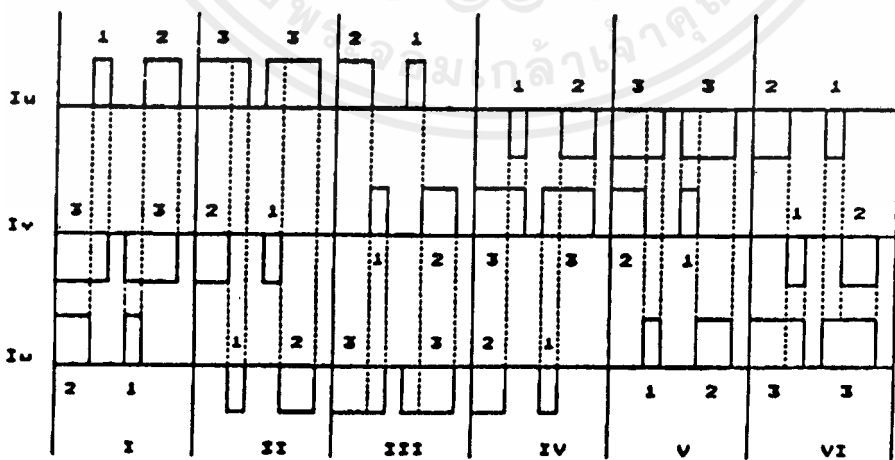
เริ่มต้นจะแบ่งกระแสแต่ละเฟสในหนึ่งไซเคิลในรูปที่ 3.1 ออกเป็น 6 ช่วง คือ ช่วงที่ I, II, III, ..., VI ช่วงละ 60° และมีจำนวนพัลส์กระแสเท่า ๆ กันในแต่ละช่วง คือ จะมีจำนวนพัลส์เป็น 2, 3, 4 หรือ 5 สำหรับกรณีกระแสฟีดแบ็คลิวดำเนิน 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากพัลส์กระแสที่กว้างที่สุด มีความกว้างพัลส์เท่ากับ λT โดยที่ T คือช่วงเวลา $1/12$ ของคาบเวลาหนึ่งไซเคิลไฟสลับ และสามารถปรับความกว้างพัลส์ได้ในช่วง 0 ถึง T โดยการปรับค่าตัวประกอบหือคคูณนั้น 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 แต่ละส่วนของพัลส์กระแสที่แบ่งแล้วจะไปปรากฏอยู่ในสองเฟสที่เหลือ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปคลื่นกระแสพีคดับลิวาเอ็มสามเฟส

รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการวางแต่ละส่วนของพัลส์กระแสที่แบ่งแล้วในสองเฟสที่เหลือ ด้วยวิธีการนี้เพื่อที่จะสร้างคลื่นพีคดับลิวาเอ็มครึ่งไซเคิลบวกในเฟส 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 จึงสรุปได้ว่ากระแสพีคดับลิวาเอ็ม 6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล มีอัตราส่วนความกว้างเป็น 1: 2: 3: 3: 2: 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระแสพีคดับลิวาเอ็ม 6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล



ส่วนการออกแบบรูปแบบกระแสน้ำในหลอดเข็ม 9, 12 และ 15 มิลลิเมตรในแต่ละครั้งไซเคิลนั้น ก็สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันกับกรณี 6 มิลลิเมตร เพียงแต่จะมีจำนวนพัลส์ที่กว้างที่สุด λT เท่ากับ 3, 4 และ 5 พัลส์สำหรับกรณีกระแสน้ำดับลิวเอ็ม 9, 12 และ 15 มิลลิเมตรตามลำดับ โดยจะมีอัตราส่วนการแบ่งความกว้างของพัลส์ λT ดังตารางที่ 3.1 ดังนั้น รูปแบบกระแสน้ำดับลิวเอ็ม 9, 12, 15 มิลลิเมตรในแต่ละครั้งไซเคิลจะมีอัตราส่วนความกว้างของพัลส์เป็นดังนี้

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

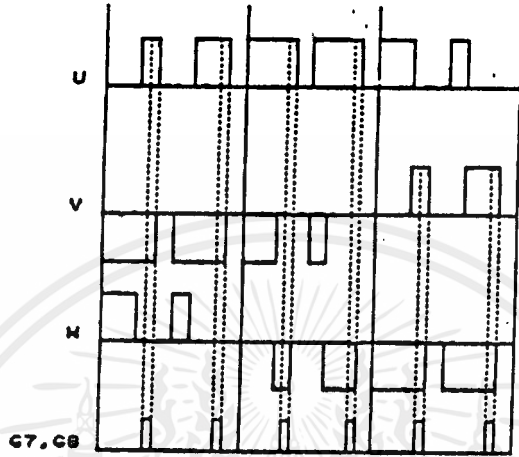
กรณี 15 พัลส์ 1:2:3:4:5:6:6:6:6:6:5:4:3:2:1

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนการแบ่งความกว้างของพัลส์ λT

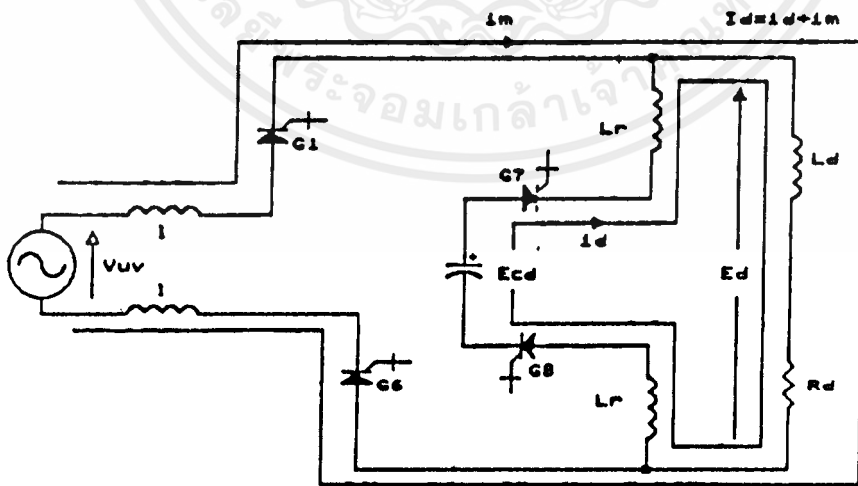
พัลส์ที่	1	2	3	4	5
6 พัลส์	2:1	1:2			
9 พัลส์	3:1	1:1	1:3		
12 พัลส์	4:1	3:2	2:3	1:4	
15 พัลส์	5:1	2:1	1:1	1:2	1:5

เมื่อวงจรกำลังหลักทำงานร่วมกับวงจรช่วยนั้น จะทำให้รูปแบบกระแสน้ำดับลิวเอ็มในแต่ละเฟส ผิดเพี้ยนไปเล็กน้อยที่บริเวณมุมบนด้านขวาของพัลส์กระแส 4 พัลส์แรกสำหรับกรณี 6 พัลส์ในแต่ละครั้งไซเคิล ที่เป็นเช่นนี้เพราะการคายประจุของคาปาซิเตอร์ Cd ในวงจรช่วยไปทางด้านโหนดคัตซีของที่จ็ทโทไตรสเตอร์ G7 และ G8 กำลังนำกระแส ช่วงเวลาคายประจุนี้ก็จะเกิดขึ้นเป็นระยะ ปรากฏให้เห็นที่ช่วงปลายของพัลส์กระแสซึ่งแสดงไว้ด้วยเส้นประในรูปที่ 3.3 กระแสคายประจุจากคาปาซิเตอร์ Cd ไปทางด้านโหนดคัตซีจะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันกับกระแสที่ไหลจาก 2 เฟสของแหล่งจ่ายไฟเอซี การทำงานของวงจรในช่วงเวลาที่มีการคายประจุจะเป็นดังรูปที่ 3.4 ดังนั้น กระแสโหนดคัตซี I_d ในช่วงเวลานั้นจะประกอบด้วยกระแส 2 ส่วน กระแสจากการคายประจุเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา $(E_{cd}-E_d)/2Lr$ ทั้งนี้เพราะว่า E_{cd} จะมีค่าสูงกว่า E_d เสมอ และกระแสเอซีไลน์ (ในเฟส U และ -W) ขณะนั้นจะต้องลดลงในอัตราเดียวกันกับอัตราเพิ่มของกระแสคายประจุ ทั้งนี้เพื่อรักษากระแสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดค้ำมีค่าคงที่



รูปที่ 3.3 การผลิตเฟสที่มมพัลส์ของกระแสฟัดับลิวเอ็ม



รูปที่ 3.4 วงจรกำลังขณะทำงานที่ค่าปาคิเตอร์กำลังค้ายประจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบสัญญาณเกท

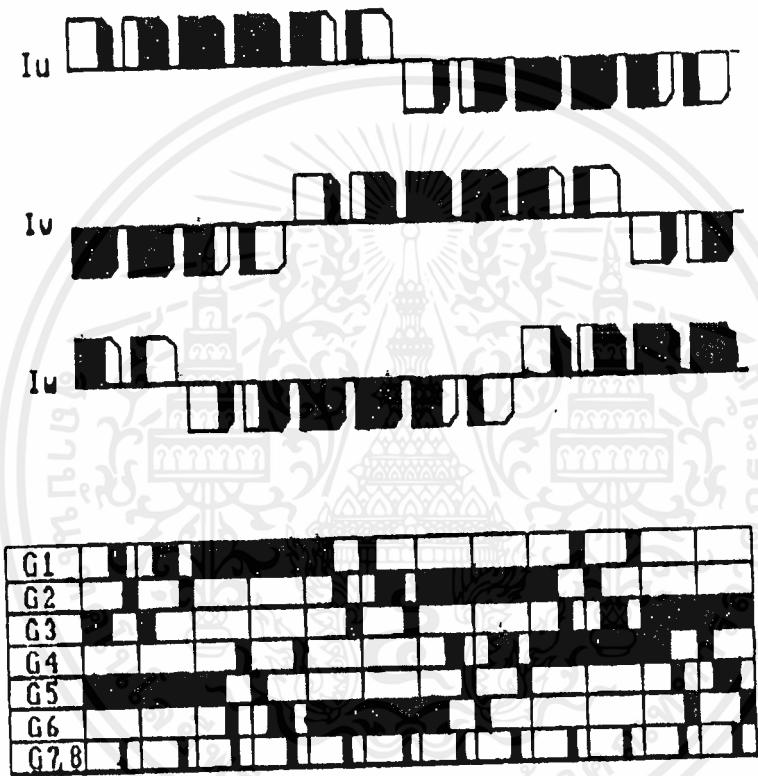
3.3.1 สัญญาณเกทสำหรับกรณีกระแสไฟฟ้าเต็ม 6 พัลส์

การออกแบบรูปแบบสัญญาณเกทของจิกไอโทริสเคอร์ G1-G8 จะเริ่มต้นพิจารณาจากรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเต็มในเอซีไลน์สามเฟสดังรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่ามีช่วงเวลาที่ไม่มีกระแสไหลในเอซีไลน์ทั้ง 3 เฟส คือช่วงเวลา $(1-\lambda)T$ ทั้งนี้เพราะว่ากระแสไหลคือ I_d ในช่วงเวลานั้นจะไหลวนผ่านจิกไอโทริสเคอร์ส่วนบนและส่วนล่างในไลน์เดือวกันของวงจรกำลังหลัก ดังนั้นจะมีเพียง 2 กิ่งของวงจรเรียงกระแสสามเฟสที่สามารถเลือกเป็นทางไหลวนของกระแสไหล I_d คือ ทางแรกประกอบด้วยจิกไอโทริสเคอร์ G1 และ G4 และอีกทางจะประกอบด้วยจิกไอโทริสเคอร์ G2 และ G5 เป็นทางไหลวนของกระแสไหล I_d เพื่อทำให้ได้วงจรควบคุมที่ง่ายกว่าจึงได้เลือกเส้นทางจิกไอ G2 และ G5 จากที่พิจารณาข้างต้นจึงสามารถเขียนสรุปเป็นรูปแบบสัญญาณเกท G1-G8 ดังรูปที่ 3.5

3.3.2 สัญญาณสำหรับกรณีกระแสไฟฟ้าเต็ม 9, 12, 15 พัลส์

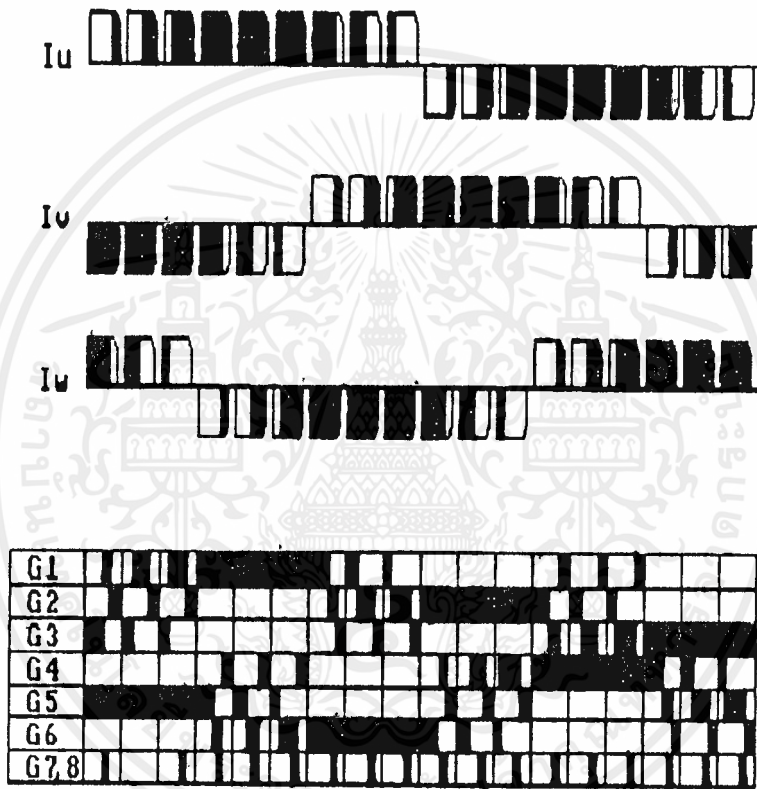
ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึงการออกแบบสัญญาณเกทสำหรับกรณี 6 พัลส์ ในทำนองเดียวกัน สัญญาณเกทสำหรับกรณี 9, 12 และ 15 พัลส์นั้น พิจารณาในทำนองเดียวกันกับกรณี 6 พัลส์ก็จะได้สัญญาณเกทสำหรับกรณีกระแสไฟฟ้าเต็ม 9, 12 และ 15 พัลส์ดังในรูปที่ 3.6-3.8

เมื่อป้อนสัญญาณเกทที่ออกแบบไว้แล้วเข้าข้างขาเกทของจิกไอโทริสเคอร์ G1-G8 จะได้รูปคลื่นทดลองของกระแสไฟฟ้าเต็มในเอซีไลน์สามเฟส I_u, I_v และ I_w ที่ตัวประกอบมือคูละขึ้น $\lambda=0.7$ คาบเวลาคาบประจุ $\tau=200 \mu\text{s}$ ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับรูปคลื่นไฟฟ้าเต็มที่เราออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.5



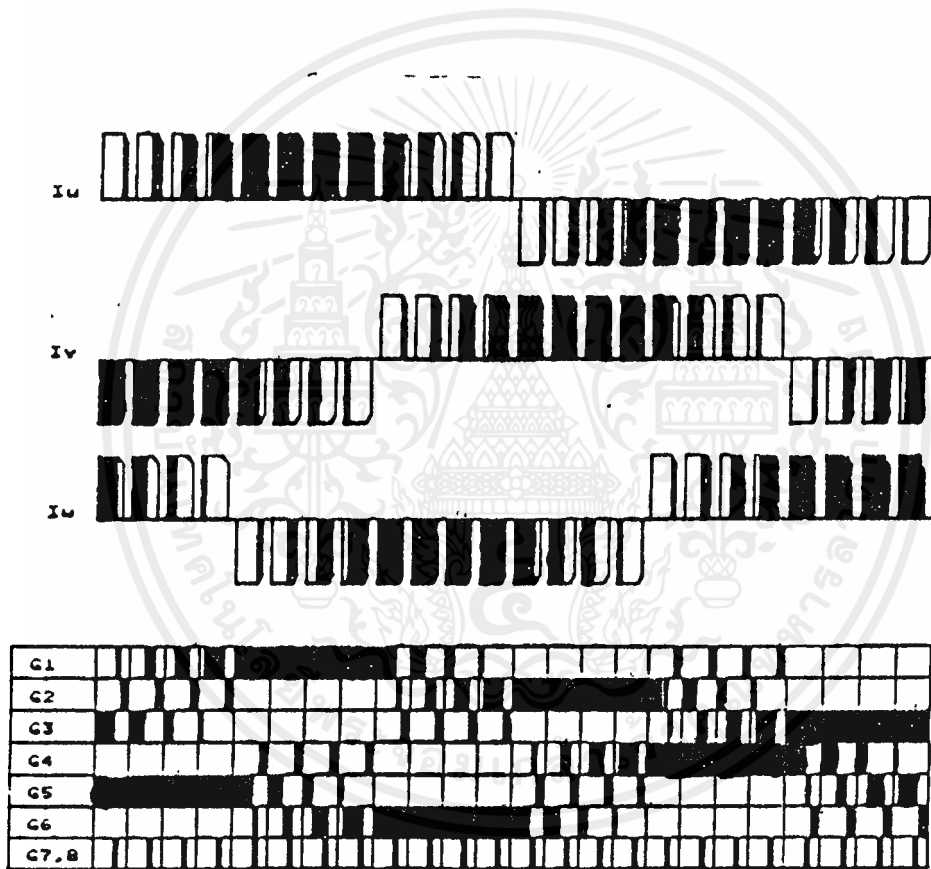
รูปที่ 3.5 รูปแบบกระแสดัชนีระดับลิเวอเอ็ม 6 พัลส์และสัญญาณเกกทั้งแปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



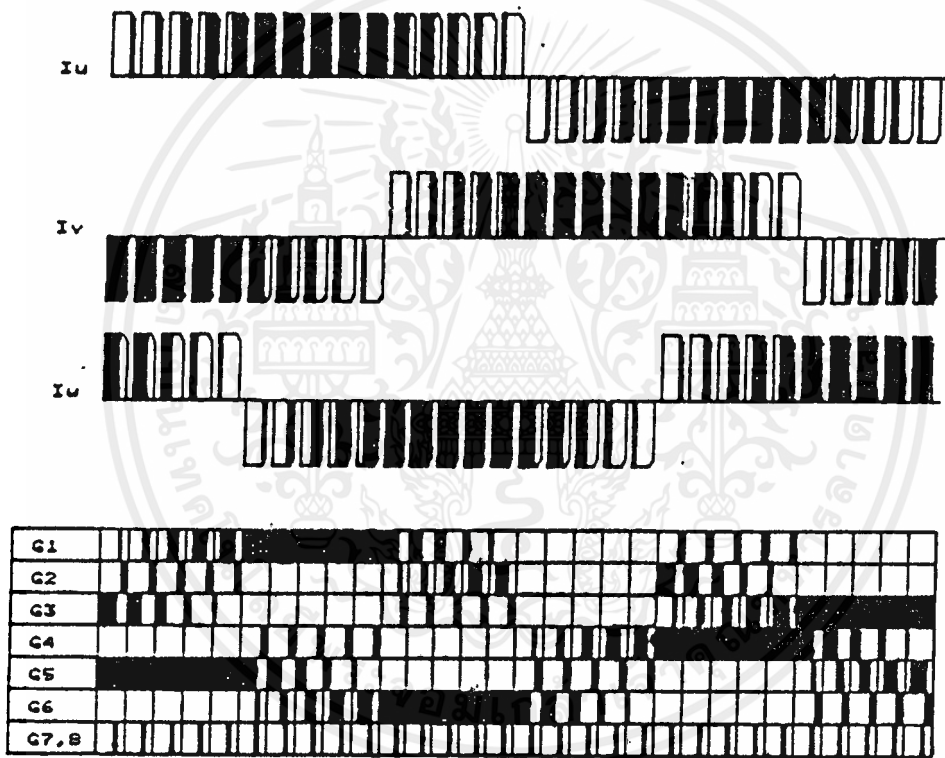
รูปที่ 3.6 รูปแบบกระแสพีดับบลิวเอ็ม 9 พัลส์และสัญญาณเกททั้งแปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



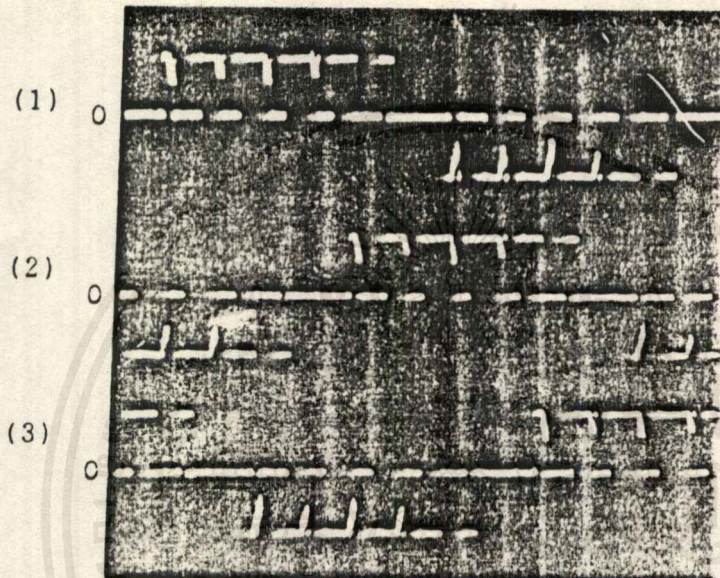
รูปที่ 3.7 รูปแบบกระแสนีดับบลิวเอ็ม 12 บิตส์และสัญญาณเกททั้งแปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



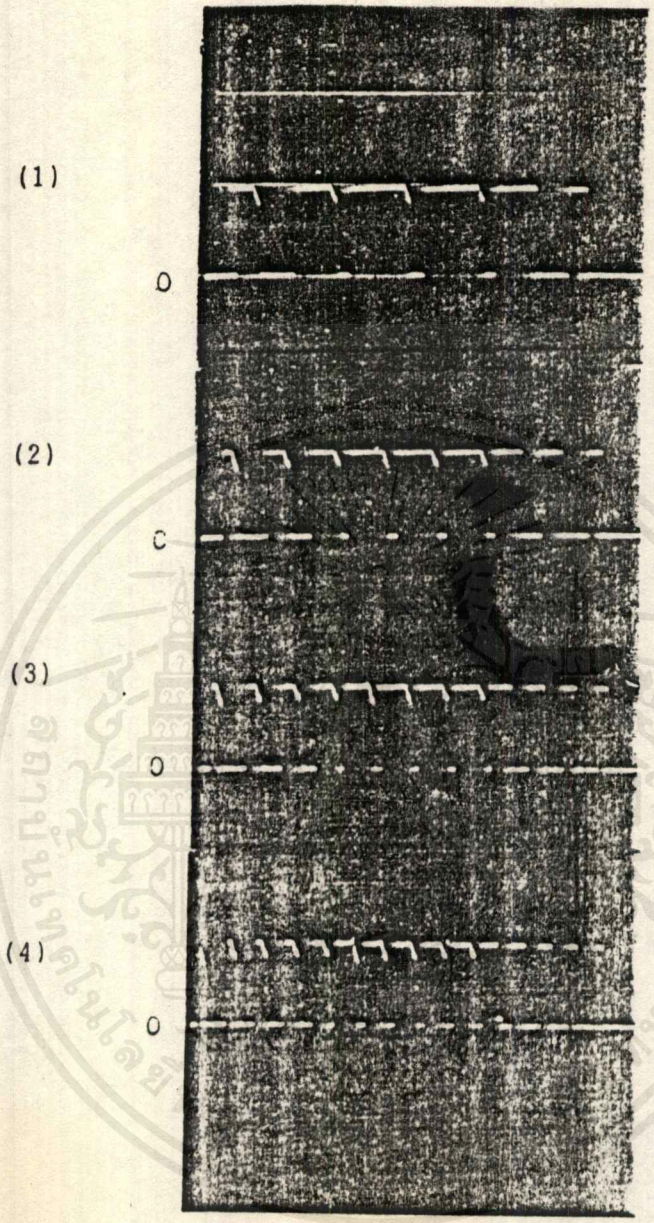
รูปที่ 3.8 รูปแบบกระแสพีคิบลิวเอ็ม 15 บิตส์และสัญญาณเกททั้งแปด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



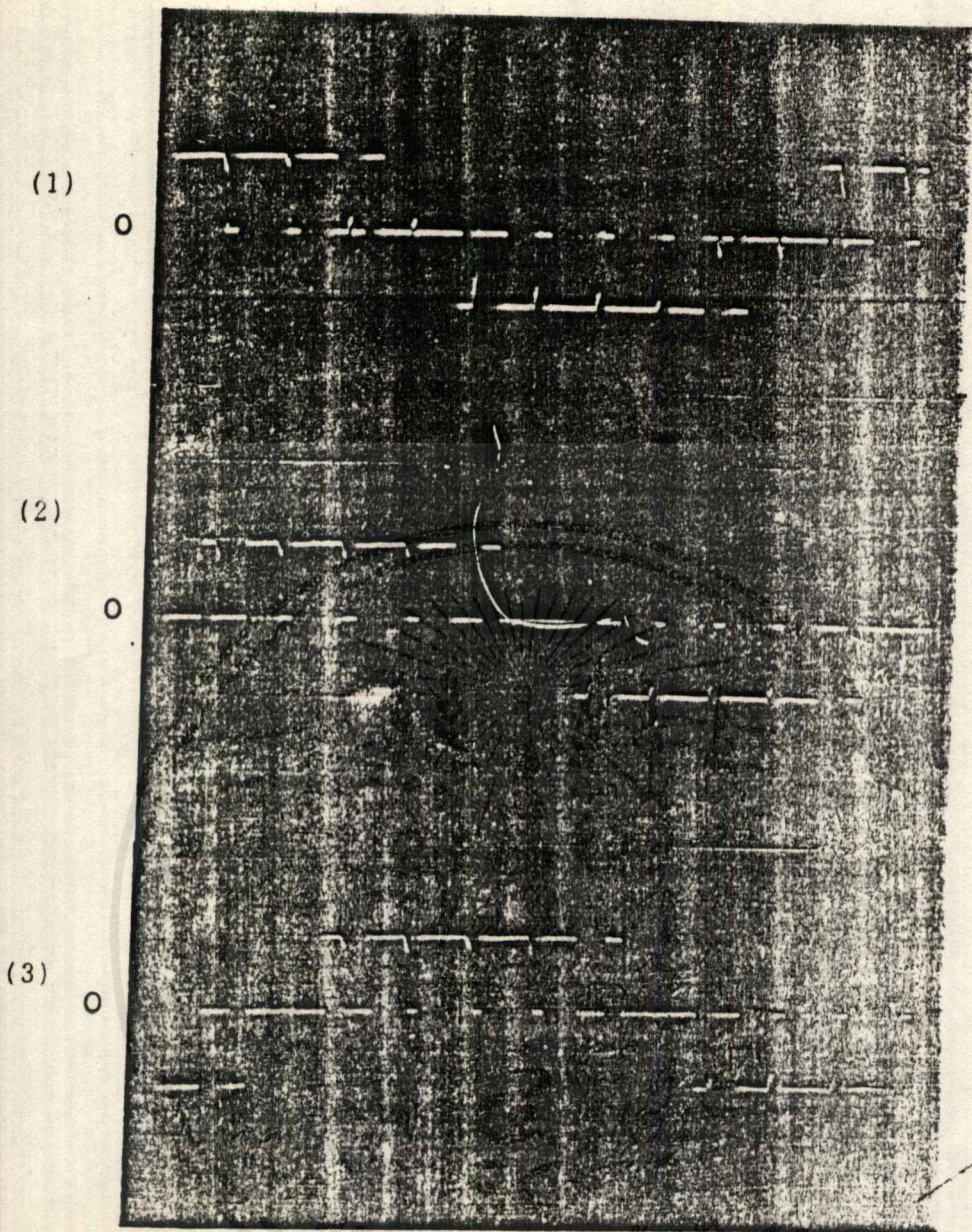
รูปที่ 3.9 ลักษณะคลื่นกระแสฟีดแบคในเอชไอไลน์สามเฟส

(1) เฟส U (2) เฟส V และ (3) เฟส W



รูปที่ 3.10 ลักษณะคลื่นกระแสน้ำดับลิ้วเอ็มในแต่ละครึ่งไขเคล็ด

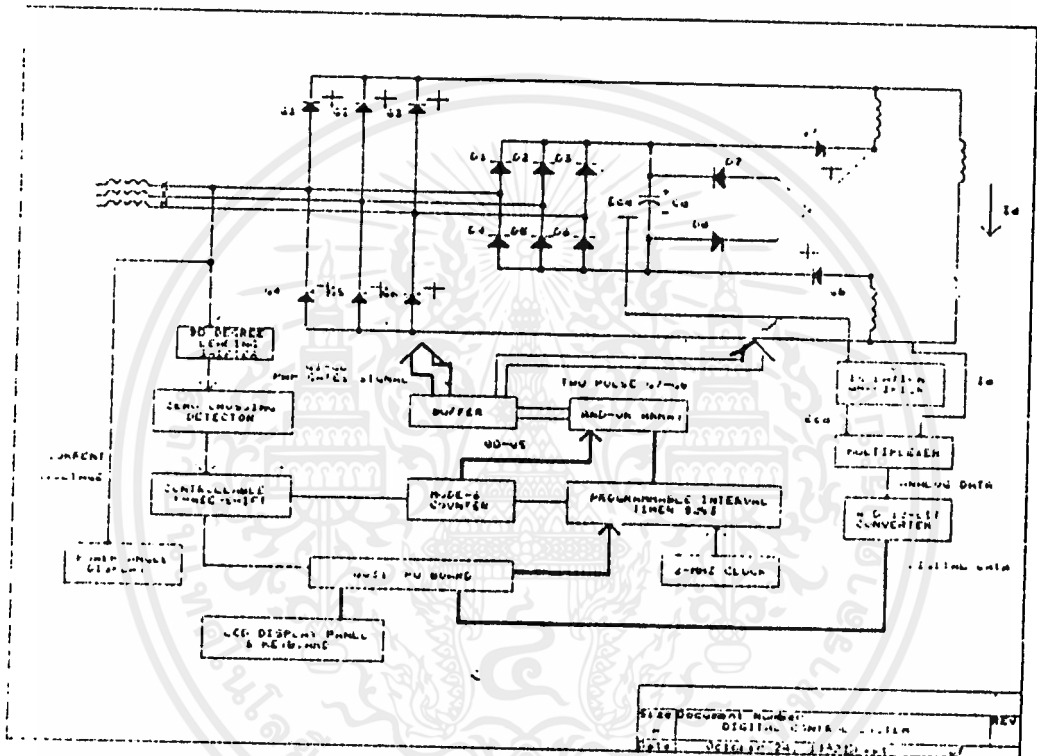
- | | |
|--------------------|--------------------|
| (1) กรณี่ 6 พัลส์ | (2) กรณี่ 9 พัลส์ |
| (3) กรณี่ 12 พัลส์ | (4) กรณี่ 15 พัลส์ |



รูปที่ 3.11 คลื่นกระแสปัดขยับลวดเอ็น 6 พัดส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส
(1) -60° (2) 0° และ (3) 60°

ระบบควบคุมดิจิทัล

ระบบควบคุมดิจิทัล (Digital Control System) สามารถใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรกำลังได้ 6 ลักษณะด้วยกันคือ



รูปที่ 4.1 รายละเอียดของระบบควบคุมดิจิทัล

- (1) จำนวนพัลส์ของคลื่นกระแสไฟฟ้าดับลิวเอ็ม (๓) สามารถปรับเปลี่ยนให้อยู่ในจำนวน 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ได้
- (2) สามารถเลื่อนเฟสของกระแสเอชไลน์ (α) ให้มีมุมเฟสที่แตกต่างกับแรงดันเอชในช่วงจากมุมล้าหน้า 90° ถึงมุมล้าหลัง 90°
- (3) ความกว้างพัลส์ของคลื่นกระแสไฟฟ้าดับลิวเอ็ม (λ) สามารถปรับเปลี่ยนให้มีค่าในย่าน 0 ถึง 1 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) สามารถปรับช่วงเวลาในการคายประจุของคาปาซิเตอร์ (τ) ในวงจรช่วยไปยังด้านโพลดิซที่ค่าต่าง ๆ ได้

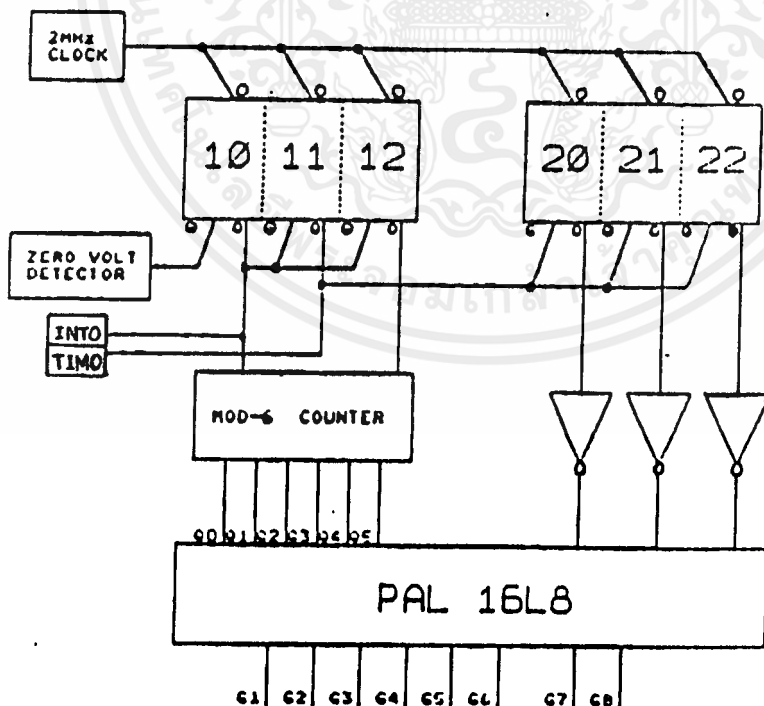
(5) สามารถควบคุมกระแสอินพุทเอซีไลน์ และกระแสเอาต์พุทดิซ (I_d) ให้มีขนาดคงที่ตลอดช่วงการเคลื่อนเฟสจากมุมล้าหน้า 90° ถึงมุมล้าหลัง 90°

(6) สามารถควบคุมแรงดันที่คาปาซิเตอร์ในวงจรช่วย (E_{cd}) ให้มีขนาดคงที่

ระบบควบคุมดิจิทัลดังรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8032 วงจรสร้างพัลส์ วงจรส่วน CLOSE-LOOP วงจรวัดมุมระหว่างแรงดันกับกระแส และโปรแกรมควบคุมระบบ

4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8032 ทำงานที่ความถี่ 12 MHz เป็นหัวใจสำคัญของระบบควบคุมดิจิทัลนี้ มีหน้าที่ควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของอุปกรณ์ต่อรวม คือ การสร้างพัลส์พีดีบีบลิวเอ็มขนาดต่าง ๆ จากไทเมอร์เคาน์เตอร์ PIT 8253 การทำงานของวงจรส่วน CLOSE-LOOP การคำนวณ PI-Controller การทำงานของวงจรแสดงผลบอร์ด ปฏิบัติงานตามคำสั่งของผู้ใช้ผ่านทางคีย์บอร์ด



รูปที่ 4.2 รายละเอียดของวงจรสร้างพัลส์

4.2 วงจรสร้างพัลส์

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

วงจรเลื่อนเฟส (Phase Shifter) ทำหน้าที่เลื่อนเฟสของแรงดันอ้างอิงเฟส U ให้ล้าหน้าเป็นมุม 90° จากนั้นจะป้อนเข้าสู่วงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง

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

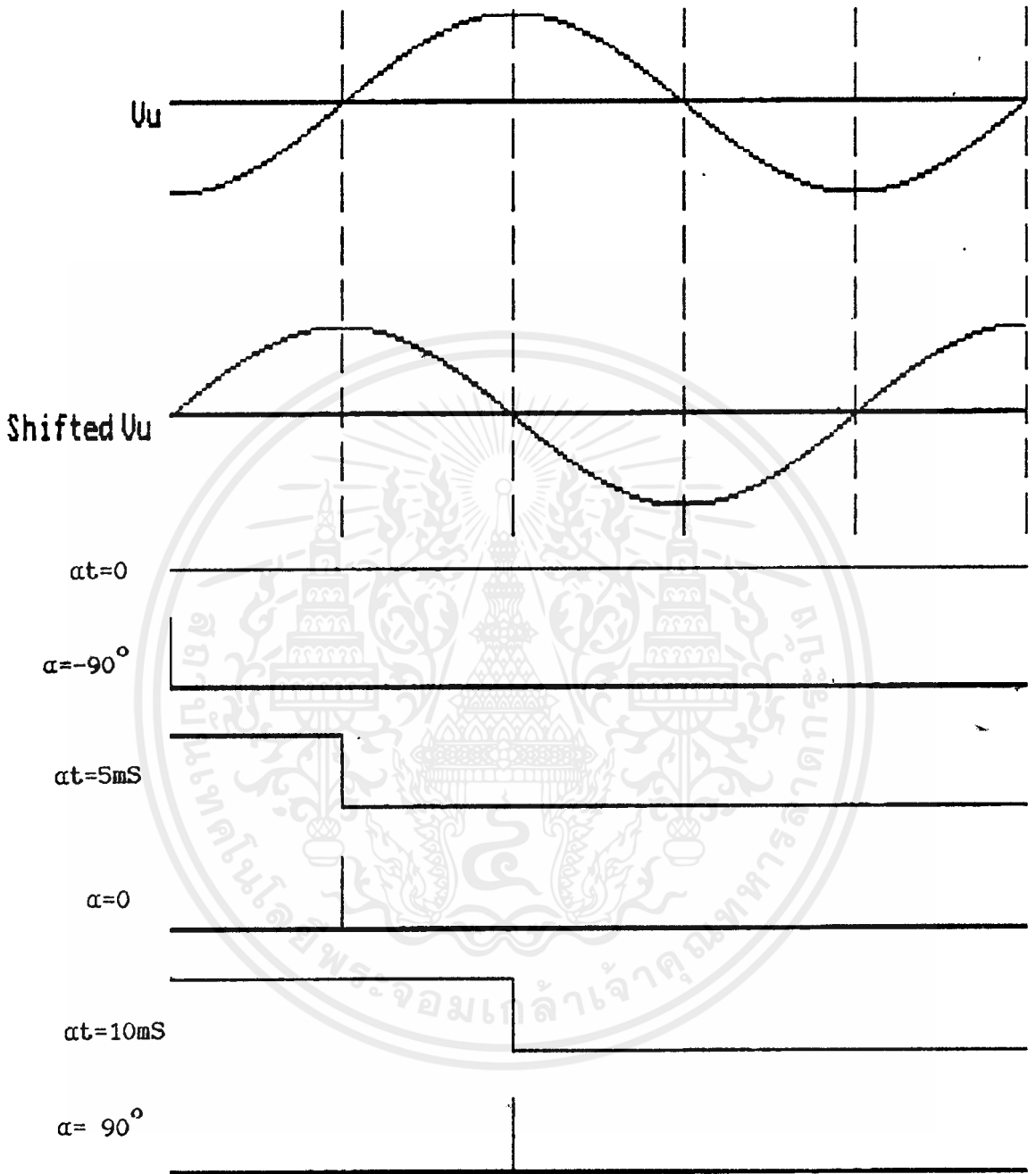
ไทเมอร์เคาน์เตอร์ ประกอบด้วย PIT 8253 จำนวน 6 เคาน์เตอร์ ดังรูปที่ 4.2 มีฐานเวลา 0.5 μ S หรือความถี่ 2 MHz ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ขนาดต่าง ๆ คือ T, λT , $(1-\lambda)T$, $X\lambda T$, $(1-X)\lambda T$ และ τ โดยได้แสดงโหมคการทำงานและสัญญาณพัลส์ต่าง ๆ ของ PIT 8253 แต่ละเคาน์เตอร์ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงโหมคการทำงานและสัญญาณของแต่ละเคาน์เตอร์

เคาน์เตอร์	โหมคการทำงาน	สัญญาณ
10	One-Shot	αt
11	Squarewave	T
12	Squarewave	λT
20	One-Shot	λT
21	One-Shot	$X\lambda T$
22	One-Shot	τ

สัญญาณ αt ควบคุมการเลื่อนเฟสของสัญญาณเกททั้งหมดในช่วงระหว่างมุมล้าหน้า 90° จนถึงมุมล้าหลัง 90° โดยที่จะมีคาบเวลา 0 วินาที ที่มุมล้าหน้า 90° จนถึงคาบเวลา 10 μ S ที่มุมล้าหลัง 90° ดังแสดงในรูปที่ 4.3 นอกจากนี้ ยังได้แสดงความหมายของสัญญาณนี้ในรูปของสัญญาณของ PIT เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8253 ดังตารางที่ 4.2



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความหมายของสัญญาณ αt ในรูปของสัญญาณนาฬิกาที่มุมเลื่อนเฟสต่าง ๆ

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

สัญญาณ T มีคาบเวลาเป็น $1/12, 1/18, 1/24, 1/30$ เท่าของหนึ่งไซเคิลไฟฟส์ลับความถี่ 50 Hz สำหรับกรณีรูปแบบกระแสที่คัมบลิวเอม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ ตามลำดับสัญญาณนี้จะซิงโครไนซ์กับไฟฟส์ลับสามเฟสซึ่งได้จากวงจรตรวจจับตำแหน่งอ้างอิง ส่วนตารางที่ 4.3 แสดงความหมายของสัญญาณ T ในรูปของจำนวนลูกสัญญาณนาฬิกาที่จำนวนพัลส์ต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงความหมายของสัญญาณ T ในรูปของสัญญาณนาฬิกาที่จำนวนพัลส์ต่าง ๆ

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

นอกจากนี้สัญญาณ T ยังป้อนกลับเพื่อทำการอินเตอร์รัพท์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้รับรู้ว่าครบคาบเวลาของสัญญาณ T แล้ว และในช่วงเวลาตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการสร้างพัลส์ต่าง ๆ คือ $X \wedge T, (1-X) \wedge T$ ให้เกิดขึ้นพร้อมกับสัญญาณ T เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สัญญาณ λT มีคาบเวลาตั้งแต่ 0 ถึง T โดยที่ตัวประกอบมีอคติเลข λ จะเปลี่ยนจาก 0 ถึง 1

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

สัญญาณ $X\lambda T$ นี้ สัญญาณพัลส์ดังกล่าวสามารถสร้างได้โดยการตอบสนองการอินเตอร์รัพท์ของไมโครคอนโทรลเลอร์จากสัญญาณ T ซึ่งขณะนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งคำสั่งใหม่ไปควบคุม PIT 8253 ให้สร้างพัลส์ที่กว้างและแคบสลับกันตามจังหวะของสัญญาณ T

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

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

สัญญาณต่าง ๆ ดังกล่าวแสดงรายละเอียดไว้ในรูปที่ 4.4-4.7 สัญญาณเหล่านี้เมื่อนำมาผ่านวงจรถ่าย AND-OR ซึ่งจะกล่าวต่อไป จะได้สัญญาณเกตของจีโอโทรวิสเตอร์ G1-G8

วงจรมัลติเพลกซ์ ทำหน้าที่สร้างสัญญาณคาบเวลา $\pi/3$ เรเดียน (Q0-Q5) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ต่าง ๆ 6 ช่วง ภายในหนึ่งไซเคิลของไฟสลับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4-4.7 นอกจากนี้ วงจรมัลติเพลกซ์จะเริ่มต้นนับใหม่ด้วยการรีเซ็ตจากวงจรถ่ายจับตำแหน่งอ้างอิง

วงจรถ่าย AND-OR ซึ่งใช้ PAL เบอร์ 16L8 เมื่อพิจารณาสัญญาณเกตของจีโอแต่ละตัว G1-G8 จากรูปที่ 2.2(2) สัญญาณ G1-G6 จะประกอบด้วยสัญญาณ $X\lambda T$, λT , $(1-X)\lambda T$ และ $(1-X)\lambda T$ ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ส่วนสัญญาณเกต G7, G8 จะประกอบด้วย $(\lambda T - \tau)$ กับ λT ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.4-4.7 และสามารถเขียนสมการบูลีนของวงจรถ่าย AND-OR ได้ดังนี้

$$G1 = X\lambda T.Q0 + Q1 + (1-X)\lambda T.Q2 + (1-\lambda)T.Q4$$

$$G2 = X\lambda T.Q2 + Q3 + (1-X)\lambda T.Q4 + (1-\lambda)T.Q0$$

$$G3 = X\lambda T.Q4 + Q5 + (1-X)\lambda T.Q0 + (1-\lambda)T.Q2$$

$$G4 = X\lambda T.Q3 + Q4 + (1-X)\lambda T.Q5 + (1-\lambda)T.Q1$$

$$G5 = X\lambda T.Q5 + Q0 + (1-X)\lambda T.Q1 + (1-\lambda)T.Q3$$

$$G6 = X\lambda T.Q1 + Q2 + (1-X)\lambda T.Q3 + (1-\lambda)T.Q5$$

$$G7, G8 = (\lambda T - \tau) + \lambda T$$

โดยที่

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

Q0-Q5 หมายถึง สัญญาณเอาท์พุททั้งหมดของวงจรมัลติเพลกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

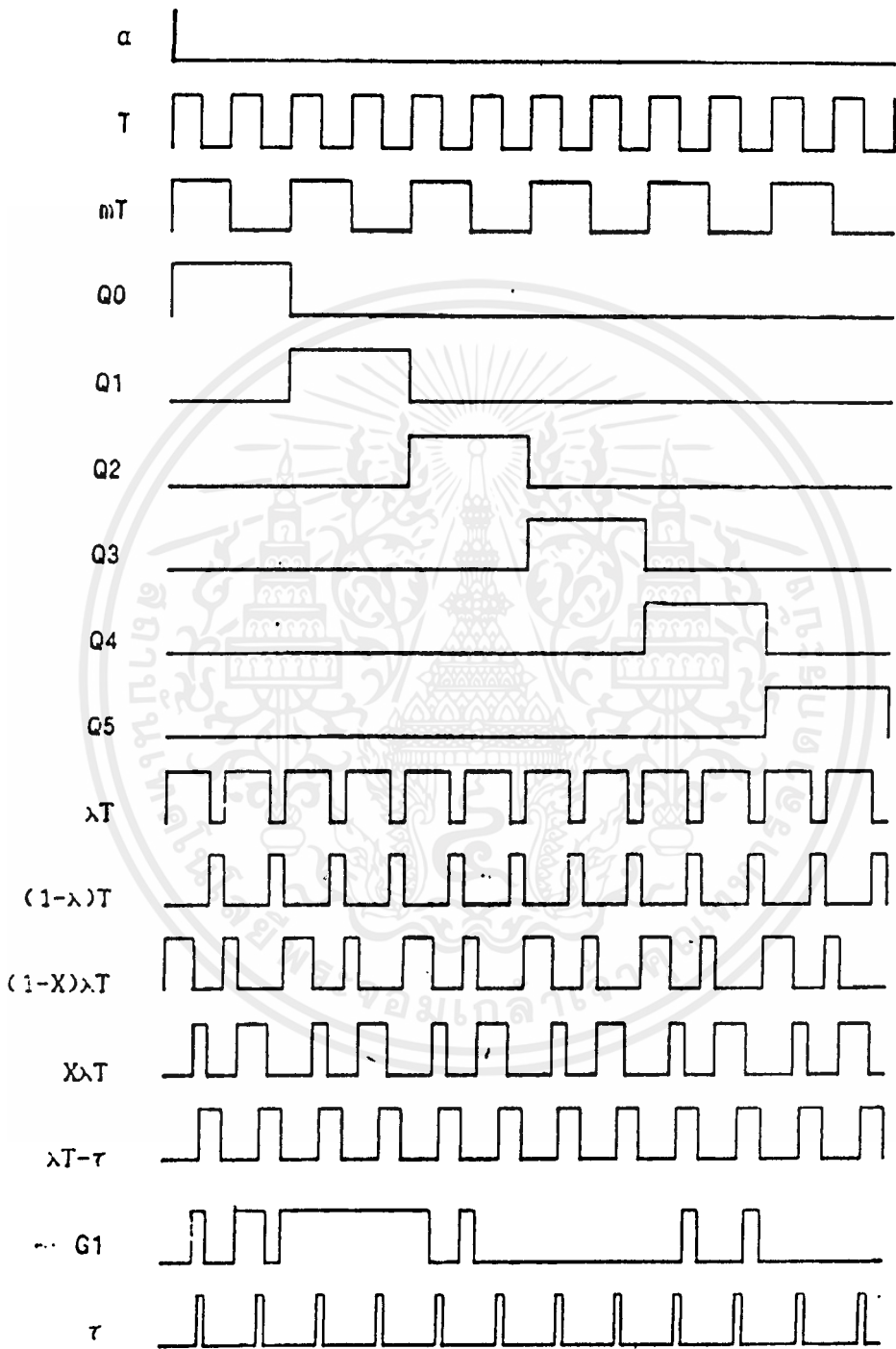
G1-G8 หมายถึงสัญญาณเกทของจ็ทีโอไตรสเตอร์

ส่วนสัญญาณ λT , $X\lambda T$ และ $(1-X)\lambda T$ สามารถเขียนแสดงความหมายที่จำนวนพัลส์ต่าง ๆ ได้
ดังนี้

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

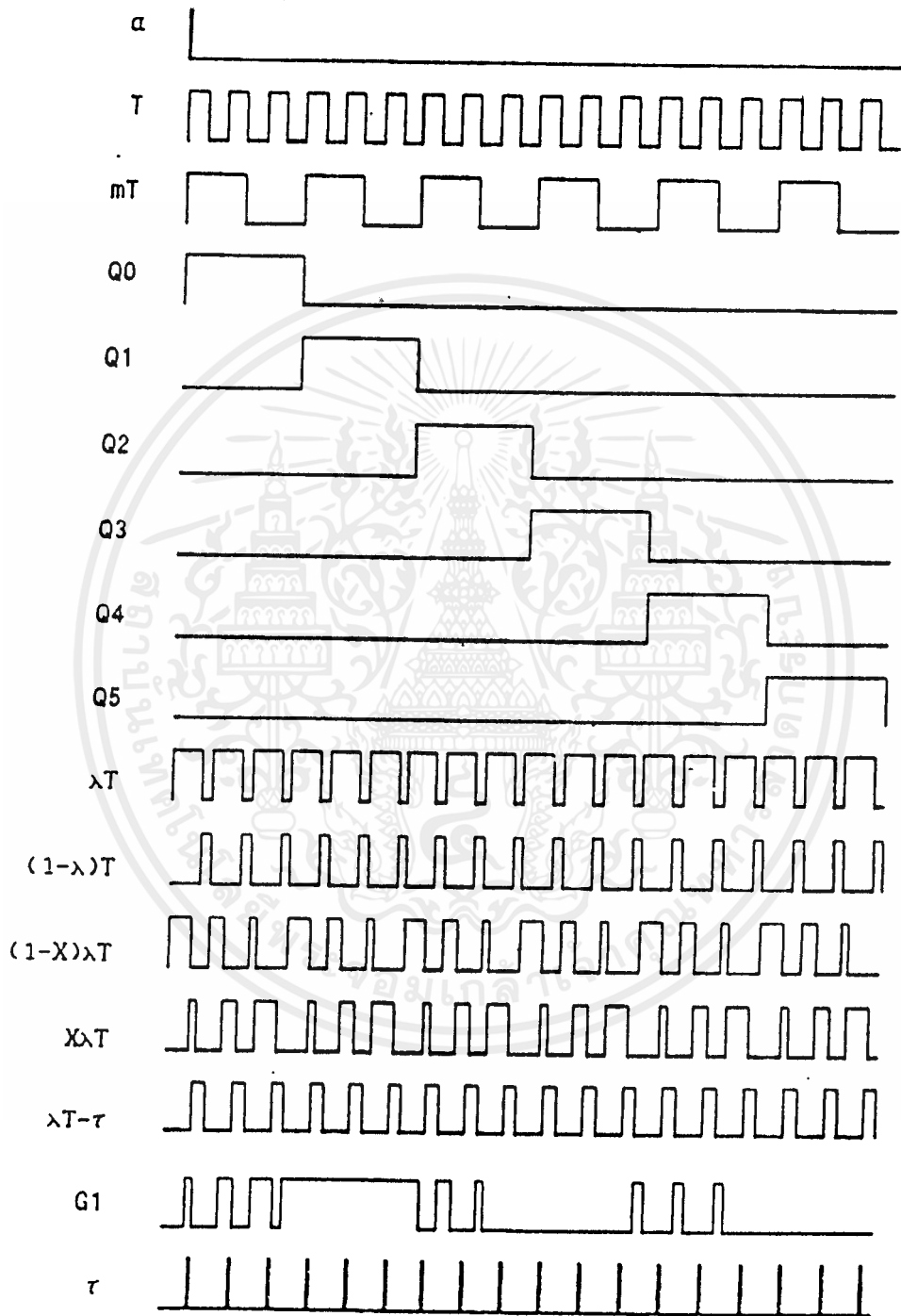
พัลส์	λT	$X\lambda T$	$(1-X)\lambda T$
6	T/12	$\lambda T/3, 2\lambda T/3$	$2\lambda T/3, \lambda T/3$
9	T/18	$\lambda T/4, \lambda T/2, 3\lambda T/4$	$3\lambda T/4, \lambda T/2, \lambda T/4$
12	T/24	$\lambda T/5, 2\lambda T/5, 3\lambda T/5, 4\lambda T/5$	$4\lambda T/5, 3\lambda T/5, 2\lambda T/5, \lambda T/5$
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 ทำหน้าที่เป็นอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อรับคำสั่งต่าง ๆ (command) เช่น $\alpha, \lambda, \tau, I_d^*, Ecd^*$ ทางคีย์บอร์ด และเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงค่าต่าง ๆ เช่น $\alpha, \lambda, \tau, I_d^*, Ecd^*$ ออกทาง DOT MATRIX LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด



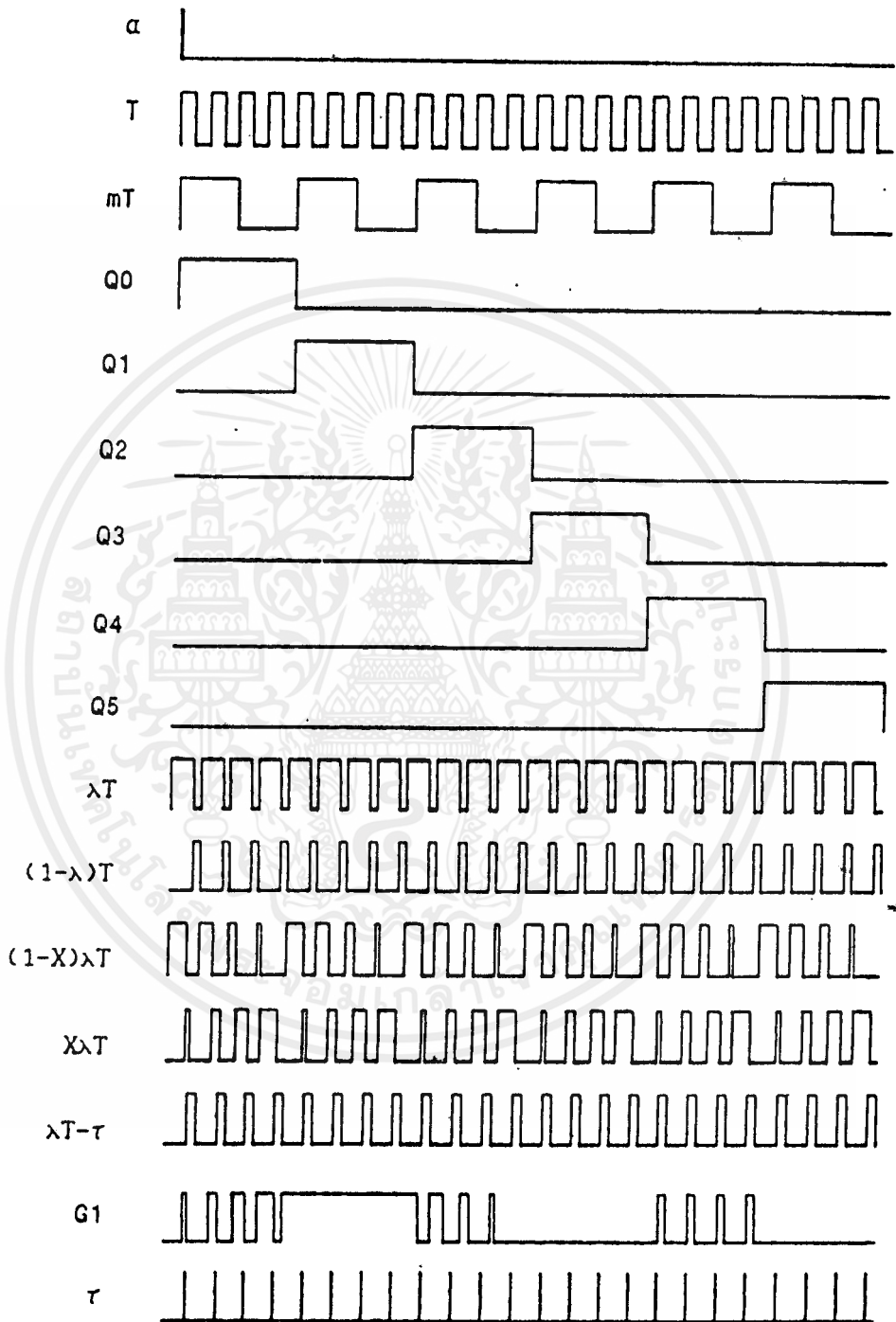
รูปที่ 4.4 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 6 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



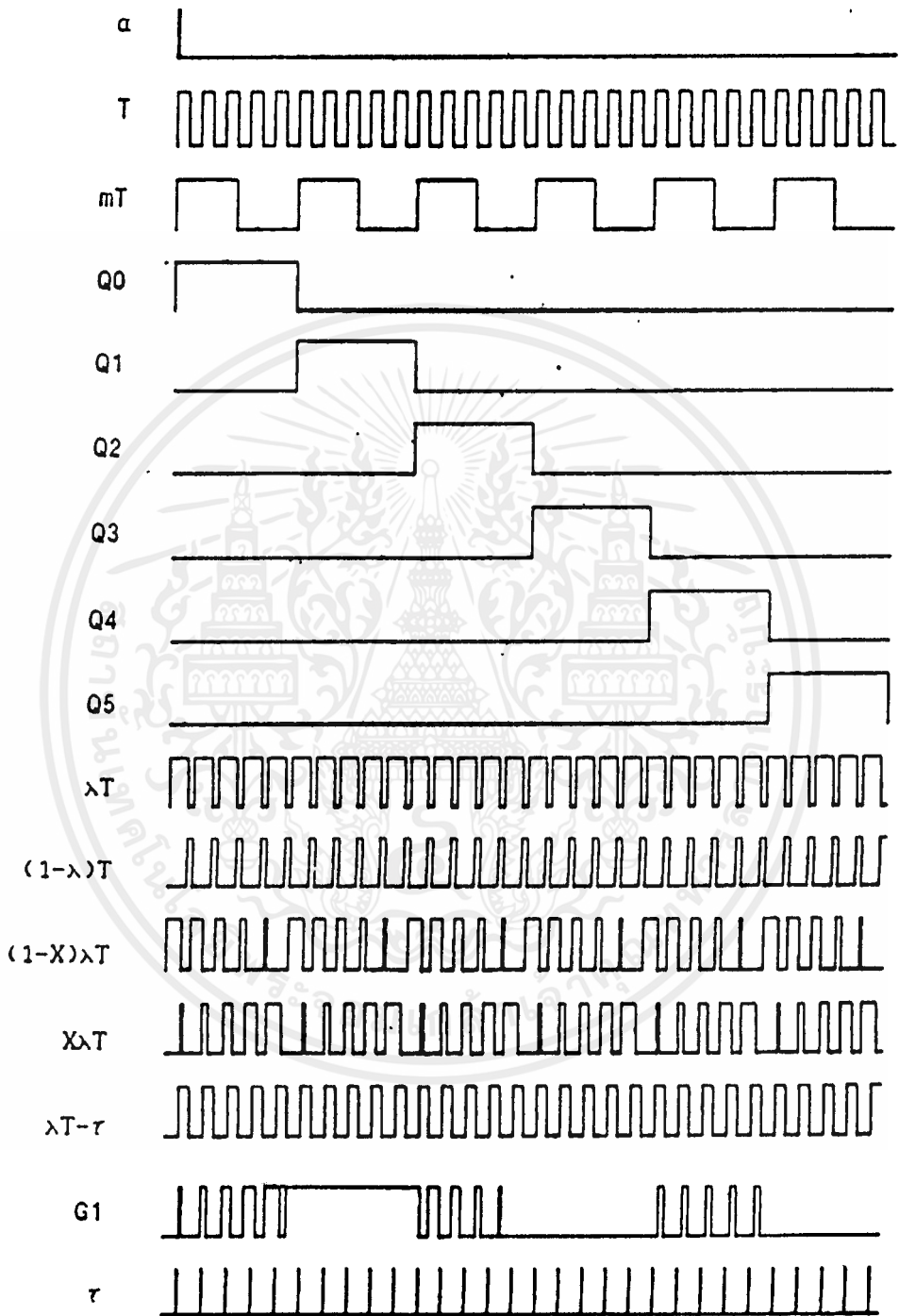
รูปที่ 4.5 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 9 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 12 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แผนภาพเวลาของสัญญาณต่าง ๆ จากวงจรสร้างพัลส์ กรณี 15 บิตส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 โปรแกรมควบคุมระบบ

โปรแกรมควบคุมระบบ เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลีของ MCS-51 โดยบรรจุอยู่ใน EPROM 2764 ขนาด 8K ไบท์ โปรแกรมควบคุมระบบนี้ จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ทางคีย์บอร์ดและแสดงผลบนจอภาพแบบ LCD ขนาด 16 x 4 ตัวอักษร การทำงานจะเริ่มจากให้ผู้ใช้กำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับระบบ คือ จำนวนพัลส์, ตัวประกอบมอดดูเลขขึ้น, ค่าเวลาคายประจุและมุมเลื่อนเฟส เพื่อให้ชิพซีพียู ทำการคำนวณค่าต่าง ๆ แล้วส่งให้ส่วนกำเนิดพัลส์ทำการสร้างพัลส์ขึ้นมาเพื่อเป็นสัญญาณเกทสำหรับจีโอต่อไป

ในส่วนของการกำหนดค่าตัวประกอบมอดดูเลขขึ้นค่าเวลาคายประจุ มุมเลื่อนเฟสนั้นสามารถกำหนดค่าได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการคำนวณค่าโดยชิพซีพียูไม่ได้ใช้การเปิดค่าตาราง ดังนั้นเราจึงสามารถตั้งค่าต่าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่องและใช้พื้นที่ในหน่วยความจำโปรแกรมน้อยลงและสามารถทำงานได้เร็วเพราะใช้หน่วยความจำภายในชิพซีพียูซึ่งมีค่า access time ต่ำมาก

เมื่อมีการสร้างสัญญาณเกทออกมาแล้วถ้าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนค่าต่าง ๆ คือจำนวนพัลส์ (m) ตัวประกอบมอดดูเลขขึ้น (n) ค่ามุมเลื่อนเฟส (α) และการกำหนดการควบคุมแบบป้อนกลับก็ทำได้โดยการกดคีย์บอร์ดและทำการเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ได้จากคีย์บอร์ด

สำหรับการตั้งโหมดการทำงานของส่วนป้อนกลับให้เป็นแบบ PI นั้นก็ทำผ่านทางคีย์บอร์ดได้เช่นกัน และสามารถตั้งโหมดได้แยกกันระหว่างกระแสเอาท์พุทและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในวงจรช่วยโดยต้องเข้าไปในเมนูของกระแสและโวลท์เตจก่อนต่อหนึ่งแล้วจึงสามารถเลือกเปลี่ยนโหมด PI ได้

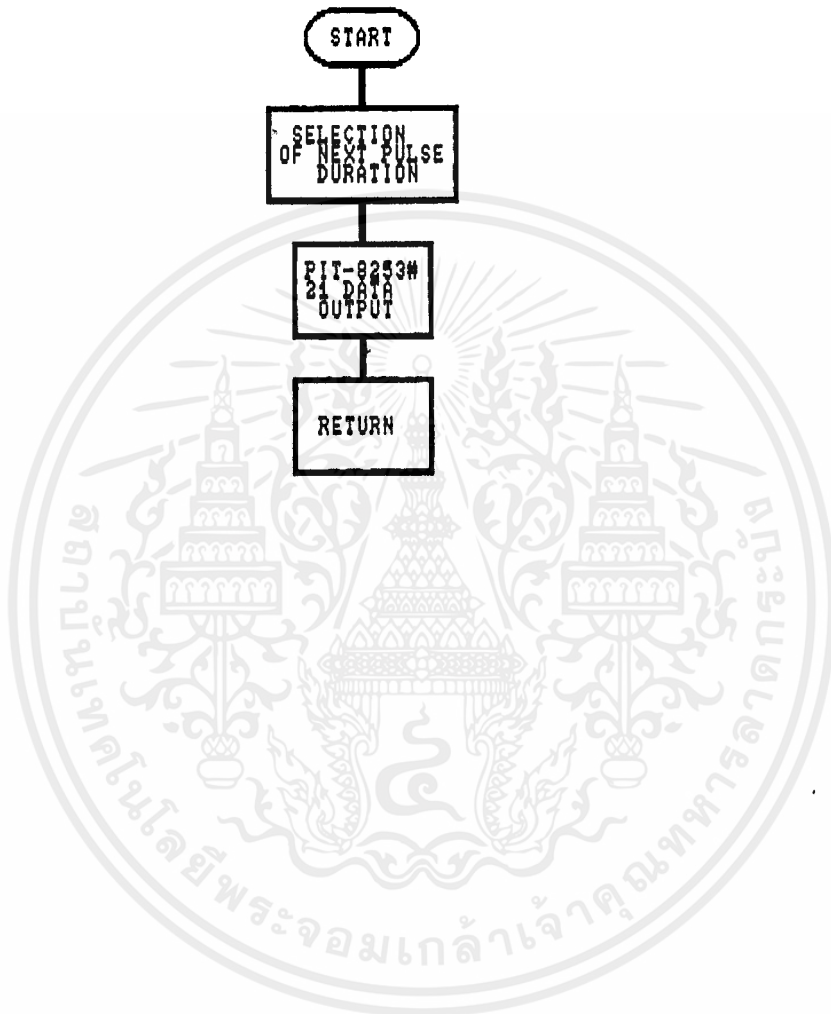
ในส่วนโปรแกรมที่ควบคุมการป้อนกลับนั้นจะมีการสุ่มข้อมูลเข้ามาทุก ๆ 2.5 ms โดยอาศัยการอินเทอร์รัพจากไทเมอร์ภายในของชิพซีพียูแล้วชิพซีพียูก็จะอ่านค่าแรงดันและกระแสจาก Isolation Amplifier และ DC Current Transformer ตามลำดับแล้วจะทำการปรับปรุุงค่าสัญญาณเพื่อการแสดงผลต่อไป จากนั้นจะเช็คดูว่ามีการตั้งโหมดการทำงานเป็น PI หรือไม่ ถ้ามีการคำนวณและปรับปรุุงค่าโอเปอเรตติ้งต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่าตามที่ตั้งไว้

เมื่ออยู่ในโหมด PI แล้วการตั้งค่าตัวประกอบมอดดูเลขขึ้นและช่วงเวลาคายประจุจะไม่มีผลต่อโปรแกรมเนื่องจากการทำงานแบบ PI จะทำการคำนวณค่าตัวประกอบมอดดูเลขขึ้นสำหรับค่ากระแสที่ตั้งเอาไว้โดยอัตโนมัติ และจะทำการคำนวณค่าเวลาคายประจุสำหรับค่าแรงดันที่ตั้งเอาไว้โดยอัตโนมัติ

ในมิติเช่นกัน

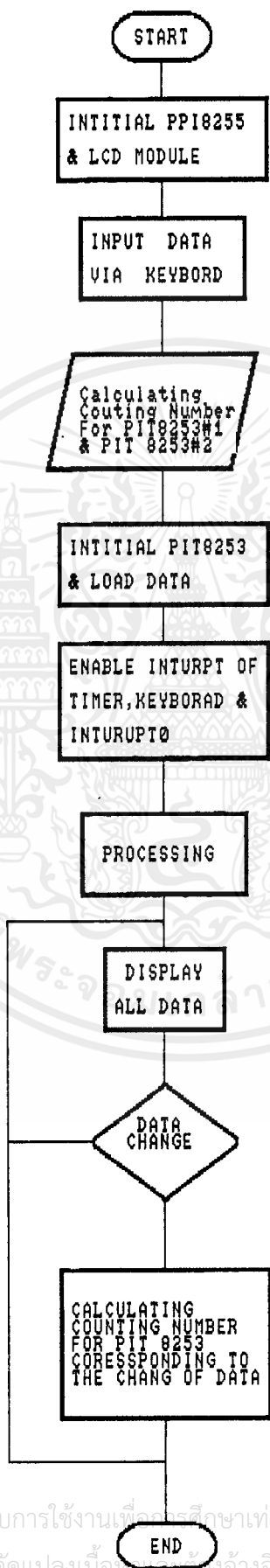
แผนผังการทำงานของโปรแกรมทั้งหมดแสดงได้ดังไฟล์ชาร์ต

INTERUPT FROM T PULSE



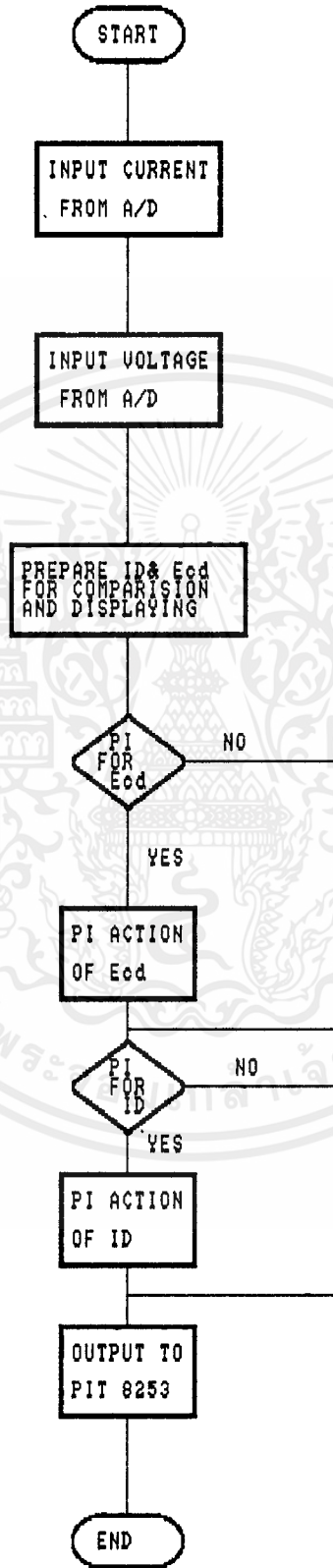
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAM MAIN

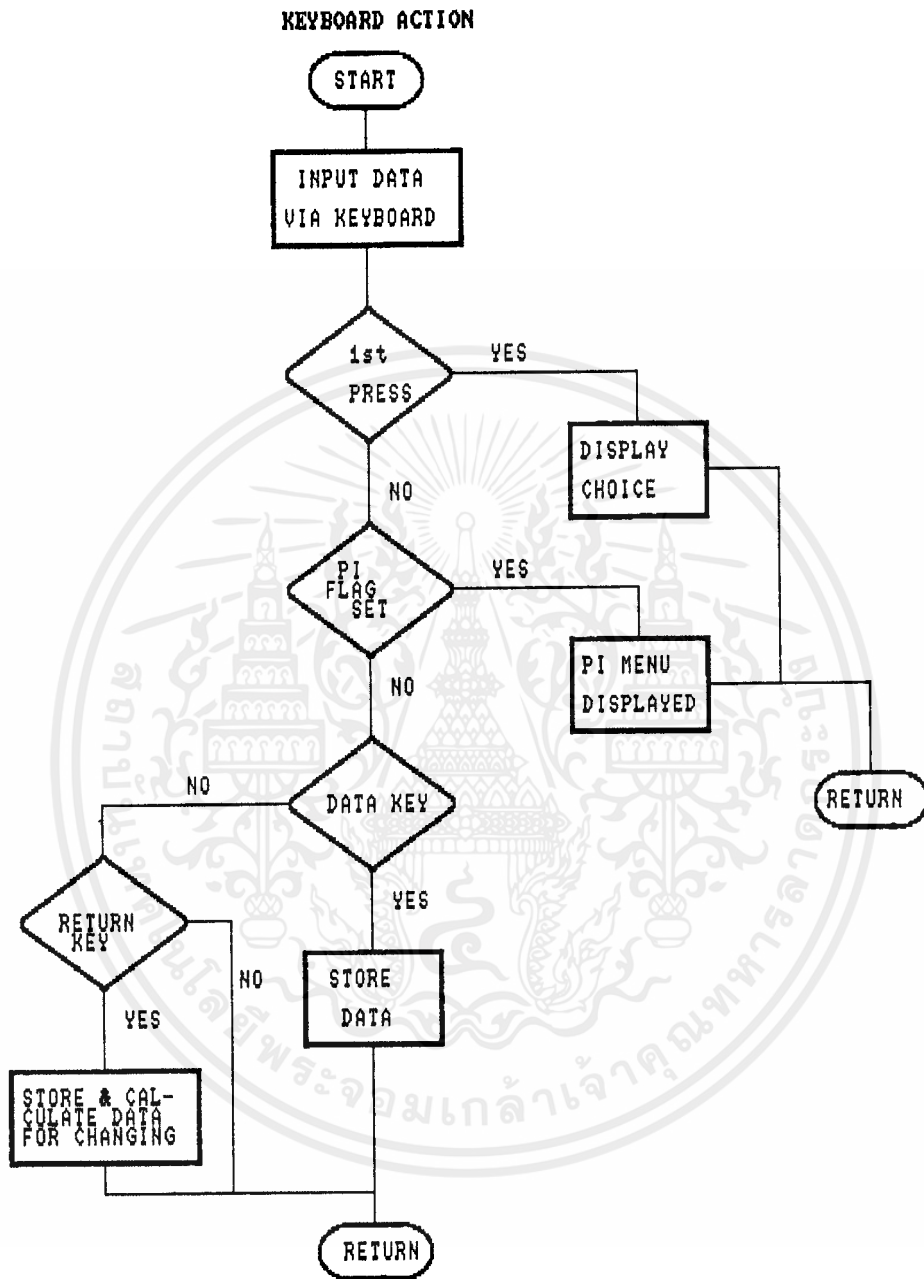


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาใดๆ ซึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEEDBACK CONTROL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสอินพุทเอซีไลน์

เป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่าการนำเทคนิคพีคดับลิวเอ็่มมาใช้กับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์นั้น จะทำให้คุณสมบัติทางด้านอินพุทของคอนเวอร์เตอร์ดีขึ้นคือ มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่ำในกระแสเอซีไลน์น้อย และอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์สูง คอนเวอร์เตอร์ในปัญหานี้ก็ทำงานในลักษณะพีคดับลิวเอ็่มเช่นกัน โดยสามารถเลือกจำนวนพัลส์พีคดับลิวเอ็่มได้เป็น 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ในบทนี้จะพิจารณาถึงองค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสอินพุทเอซีไลน์และค่าอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยอาศัยทฤษฎีการกระจายอนุกรมฟูเรียร์ในการวิเคราะห์ห้นอกจากนี้ จะพิจารณาถึงผลของจำนวนพัลส์ (6, 9, 12 และ 15 พัลส์) และมุมเลื่อนเฟส α ที่มีต่อองค์ประกอบและอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์

5.1 การพิจารณาสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ของกระแสพีคดับลิวเอ็่มกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า กระแสอินพุทเอซีไลน์ในแต่ละเฟสของคอนเวอร์เตอร์นี้จะมีลักษณะคลื่นพีคดับลิวเอ็่ม ซึ่งสามารถเปลี่ยนจำนวนพัลส์เป็น 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ ในแต่ละครึ่งไซเคิลของไฟสลับ ขนาดของพัลส์จะมีค่าเท่ากับกระแสเอาท์พุทดีซี I_d อัตราส่วนความกว้างของพัลส์พีคดับลิวเอ็่มเหล่านี้เป็นดังนี้

- 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 สำหรับกรณีรูปคลื่นพีคดับลิวเอ็่ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

λ : ตัวประกอบมอดคูลเลชั่น มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

อัตราส่วนของความกว้างของพัลส์พีคดับลิวเอ็มของกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์นี้ สามารถเขียนแสดงในรูปอัตราส่วนความกว้างพัลส์ X ได้ดังนี้

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

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

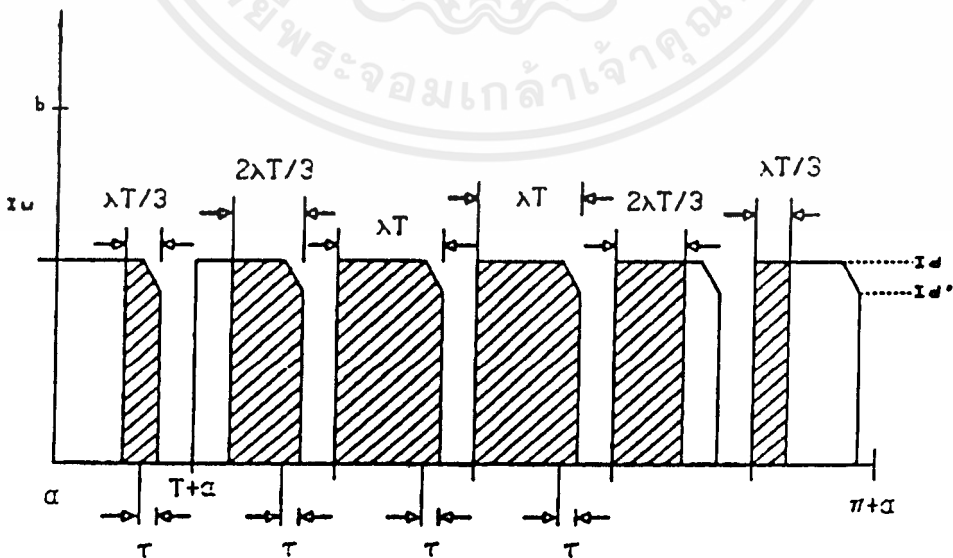
กรณี 12 พัลส์ : $X\lambda T$: $2X\lambda T$: $(1-2X)\lambda T$: $(1-X)\lambda T$: λT : λT : λT : λT :
 $(1-X)\lambda T$: $(1-2X)\lambda T$: $2X\lambda T$: $X\lambda T$

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

โดยที่

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

จากลักษณะคลื่นกระแสพีคดับลิวเอ็มในรูปที่ 5.1 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมการกระแสกับช่วงเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละพัลส์กระแสได้ดังตารางที่ 5.1 ตารางดังกล่าวนี้เป็นตัวอย่างของกรณีรูปคลื่นกระแสพีคดับลิวเอ็ม 6 พัลส์ เมื่อนิยามาในทำนองเดียวกันกับกรณีรูปคลื่น 6 พัลส์ สมการกระแสสำหรับกรณีรูปคลื่นพีคดับลิวเอ็มที่เหลือ คือ 9, 12 และ 15 พัลส์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2 - 5.4 ตามลำดับ ตารางที่ 5.1 - 5.4 นี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่าง ๆ และอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่อไป



รูปที่ 5.1 รูปคลื่นกระแสพีคดับลิวเอ็ม 6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพีคดับลิเอ็ม 6 พัลส์

พัลส์ที่	จาก	ถึง	สมการกระแส
1	$\alpha + (1-X)\lambda T$ $\alpha + \lambda T - u\tau$	$\alpha + \lambda T - u\tau$ $\alpha + \lambda T$	I_d $at+b$
2	$\alpha+(1+ X\lambda)T$ $\alpha+(1+\lambda)T- u\tau$	$\alpha + (1+\lambda)T- u\tau$ $\alpha + (1+\lambda)T$	I_d $at+b-aT$
3	$\alpha + 2T$ $\alpha + (2+\lambda)T- u\tau$	$\alpha + (2+\lambda)T - u\tau$ $\alpha + (2+\lambda)T$	I_d $at+b-2aT$
4	$\alpha + 3T$ $\alpha + (3+\lambda)T- u\tau$	$\alpha + (3+\lambda)T -u\tau$ $\alpha + (3+\lambda)T$	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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพีดับลิวเอ็ม 9 พัลส์

พัลส์ที่	จาก	ถึง	สมการกระแส
1	$\alpha + (1-X)\lambda T$ $\alpha + \lambda T - u\tau$	$\alpha + \lambda T - u\tau$ $\alpha + \lambda T$	I_d $at+b$
2	$\alpha+(1+0.5 \lambda)T$ $\alpha+(1+\lambda)T- u\tau$	$\alpha + (1+\lambda)T- u\tau$ $\alpha + (1+\lambda)T$	I_d $at+b-aT$
3	$\alpha+(2+X\lambda)T$ $\alpha + (2+\lambda)T- u\tau$	$\alpha + (2+\lambda)T - u\tau$ $\alpha + (2+\lambda)T$	I_d $at+b-2aT$
4	$\alpha + 3T$ $\alpha + (3+\lambda)T- u\tau$	$\alpha + (3+\lambda)T- u\tau$ $\alpha + (3+\lambda)T$	I_d $at+b-3aT$
5	$\alpha + 4T$ $\alpha + (4+\lambda)T- u\tau$	$\alpha + (4+\lambda)T- u\tau$ $\alpha + (4+\lambda)T$	I_d $at+b-4aT$
6	$\alpha + 5T$ $\alpha + (5+\lambda)T- u\tau$	$\alpha + (5+\lambda)T- u\tau$ $\alpha + (5+\lambda)T$	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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพีคดับลิวเอ็ม 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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แสดงช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพีดับบลิวเอ็ม 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีพิสัยบลิวเอ็ม 15 พัลส์

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

ตารางที่ 5.4 (ต่อ) แสดงช่วงเวลาและสมการกระแสสำหรับกรณีนี้ด้วยนิวเอม 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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาลักษณะคลื่นกระแสไฟฟ้าเดิมซึ่งมีจำนวน 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ดังแสดงในรูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าในช่วงไซเคิลจากตำแหน่ง α ถึง $2\pi+\alpha$ นั้น ลักษณะคลื่นนั้นจะสมมาตรกับแกน $t = 0$ ทั้งนี้เพราะ $i(\omega t - \alpha) = -i(\omega t - \alpha + \pi)$ ดังนั้น ฮาร์โมนิกลำดับคู่จะไม่ปรากฏขึ้นในกรณีนี้ และคงเหลือแต่ฮาร์โมนิกลำดับคี่เท่านั้นซึ่งมีปรากฏและจะต้องพิจารณาต่อไปโดยอาศัยทฤษฎีการกระจายอนุกรมฟูเรียร์กับรูปคลื่นนี้ ก็สามารถคำนวณขนาดกระแสเอชไอไลน์ อินพุทเพาเวอร์แพลคเตอร์ และขนาดฮาร์โมนิกลำดับต่าง ๆ ได้จากสมการที่ (5.1)-(5.5) ตามลำดับ

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

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

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

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

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

โดยที่

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

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

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

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

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

กรณี 6 พัลส์

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda n} &= (8/n\pi) \cdot \text{COS} (n\omega T/2) \cdot \text{COS} n\omega T [(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \\
 &\text{SIN} n\{(3/2+\lambda)\omega T - \omega\tau/2 + \alpha\} - \text{SIN} n\{(7\omega T/2) + \alpha\}] \cdot I_d \\
 &+ (8/n\pi) \cdot \text{SIN} 2n\omega T \cdot \text{COS} n\{(5+\lambda)\omega T/2 + \alpha\} \cdot \\
 &\text{COS} n\{((1+(2K-1)\lambda)\omega T)/2\} \cdot I_d + (8/n\pi) \cdot \text{COS} (n\omega T/2) \\
 &\text{COS} n\omega T \cdot [\text{SIN} n\{(3/2 + \lambda)\omega T + \alpha\} - (2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN} (n\omega\tau/2) \cdot \\
 &\text{SIN} n\{((3/2) + \lambda)\omega T - (\omega\tau/2) + \alpha\}] \cdot I_d' \quad \dots (5.10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda n} &= (8/n\pi) \cdot \text{COS}(n\omega T/2) \cdot \text{COS} n\omega T \cdot [\text{COS} n\{(7\omega T/2) + \alpha\} \\
 &- (2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \text{COS} n\{(3/2+\lambda)\omega T - (\omega\tau/2) + \alpha\}] \cdot I_d \\
 &+ (8/n\pi) \cdot \text{SIN} 2n\omega T \cdot \text{SIN} n\{((5+\lambda)\omega T/2) + \alpha\} \cdot \\
 &\text{COS} n\{((1+(2K-1)\lambda)\omega T)/2\} \cdot I_d + (8/n\pi) \cdot \text{COS}(n\omega T/2) \cdot \\
 &\text{COS} n\omega T \cdot [(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \text{COS} n\{(3/2+\lambda)\omega T - (\omega\tau/2) + \alpha\} \\
 &- \text{COS} n\{(3/2+\lambda)\omega T + \alpha\}] \cdot I_d' \quad \dots (5.11)
 \end{aligned}$$

กรณี 9 พัลส์

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda n} &= (8/n\pi) \cdot \text{COS} (3n\omega T/2) \cdot (\text{COS} n\omega T + 0.5) \cdot \\
 &[(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \text{SIN} n\{(5/2+\lambda)\omega T - \omega\tau/2 + \alpha\} \\
 &- \text{SIN} n\{(11\omega T/2) + \alpha\}] \cdot I_d + (8/n\pi) \cdot \text{SIN} 3n\omega T \cdot \\
 &\text{COS} n\{(4+\lambda/2)\omega T + \alpha\} \cdot [\text{COS} n\{(2\omega T + (2K-1)\lambda\omega T)/2\} + 0.5] \cdot I_d \\
 &+ (8/n\pi) \cdot \text{COS}(3n\omega T/2) \cdot (\text{COS} n\omega T + 0.5) \cdot \\
 &[\text{SIN} n\{(5/2+\lambda)\omega T + \alpha\} - (2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN} (n\omega\tau/2) \cdot \\
 &\text{SIN} n\{(5/2+\lambda)\omega T - (\omega\tau/2) + \alpha\}] \cdot I_d' \quad \dots (5.12)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda n} &= (8/n\pi) \cdot \text{COS}(3n\omega T/2) \cdot (\text{COS } n\omega T + 0.5) \cdot \\
 &[\text{COS } n\{((11\omega T/2)+\alpha)-(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \\
 &\text{COS } n\{(5/2+\lambda)\omega T-(\omega\tau/2)+\alpha}\}] \cdot I_d \\
 &+ (8/n\pi) \cdot \text{SIN } 3n\omega T \cdot \text{SIN } n\{((4+\lambda/2)\omega T)+\alpha\} \cdot \\
 &[\text{COS } n\{(2\omega T+(2K-1)\lambda\omega T)/2\}+0.5] \cdot I_d \\
 &+ (8/n\pi) \cdot \text{COS}(3n\omega T/2) \cdot (\text{COS } n\omega T + 0.5) \cdot \\
 &[(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \text{COS } n\{(5/2+\lambda)\omega T-(\omega\tau/2)+\alpha\} \\
 &-\text{COS } n\{(5/2+\lambda)\omega T+\alpha\}] \cdot I_d' \quad \dots(5.13)
 \end{aligned}$$

กรณี 12 พัลส์

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda n} &= (16/n\pi) \cdot \text{COS } 2n\omega T \cdot \text{COS } n\omega T \cdot \text{COS}(n\omega T/2) \cdot \\
 &[(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \text{SIN } n\{(7/2+\lambda)\omega T-\omega\tau/2+\alpha\} \\
 &-\text{SIN } n\{(15\omega T/2)+\alpha\}] \cdot I_d + (16/n\pi) \cdot \text{SIN } 4n\omega T \cdot \\
 &\text{COS } n\{(11/2+\lambda)\omega T+\alpha\} \cdot \text{COS } n\{(2\omega T+(3K-1)\lambda\omega T)/2\} \cdot \\
 &\text{COS } n\{(\omega T-K\lambda\omega T)/2\} \cdot I_d + (16/n\pi) \cdot \text{COS } 2n\omega T \cdot \text{COS } n\omega T \cdot \\
 &\text{COS } (n\omega T/2) \cdot [\text{SIN } n\{(7/2+\lambda)\omega T+\alpha\}-(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN } (n\omega\tau/2) \cdot \\
 &\text{SIN } n\{(7/2+\lambda)\omega T-(\omega\tau/2)+\alpha\}] \cdot I_d' \quad \dots(5.14)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda n} &= (16/n\pi) \cdot \text{COS } 2n\omega T \cdot \text{COS } n\omega T \cdot \text{COS } (n\omega T/2) \cdot \\
 &[\text{COS } n\{(15\omega T/2)+\alpha\}-(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \\
 &\text{COS } n\{(7/2+\lambda)\omega T-(\omega\tau/2)+\alpha\}] \cdot I_d \\
 &+ (16/n\pi) \cdot \text{SIN } 4n\omega T \cdot \text{SIN } n\{((11+\lambda)/2)\omega T+\alpha\} \cdot \\
 &\text{COS } n\{(2\omega T+(3K-1)\lambda\omega T)/2\} \cdot \text{COS } n\{(\omega T-K\lambda\omega T)/2\} \cdot I_d \\
 &+ (16/n\pi) \cdot \text{COS } 2n\omega T \cdot \text{COS } n\omega T \cdot \text{COS}(n\omega T/2) \cdot \\
 &[(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \text{COS } n\{(7/2+\lambda)\omega T-(\omega\tau/2)+\alpha\} \\
 &-\text{COS } n\{(7/2+\lambda)\omega T+\alpha\}] \cdot I_d' \quad \dots(5.15)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 15 พัลส์

$$\begin{aligned}
a_{\lambda n} = & (16/n\pi) \cdot \text{COS}(5n\omega T/2) \cdot (\text{COS}(3n\omega T/2) \cdot \text{COS}(n\omega T/2) \\
& + 0.25) \cdot [(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \text{SIN} n\{(9/2+\lambda)\omega T - \omega\tau/2 + \alpha\} \\
& - \text{SIN} n\{(19\omega T/2) + \alpha\}] \cdot I_d + (16/n\pi) \cdot \text{SIN} 5n\omega T \cdot \\
& \text{COS} n\{(7+\lambda/2)\omega T + \alpha\} \cdot [\text{COS} n\{(3\omega T + (3X-1)\lambda\omega T)/2\} \cdot \\
& \text{COS} n\{(\omega T - X\lambda\omega T)/2\} + 0.25] \cdot I_d + (16/n\pi) \cdot \text{COS}(5n\omega T/2) \cdot \\
& (\text{COS}(3n\omega T/2) \cdot \text{COS}(n\omega T/2) + 0.25) \cdot \\
& [\text{SIN} n\{(9/2+\lambda)\omega T + \alpha\} - (2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \\
& \text{SIN} n\{(9/2+\lambda)\omega T - (\omega\tau/2) + \alpha\}] \cdot I_d' \quad \dots(5.16)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
b_{\lambda n} = & (16/n\pi) \cdot \text{COS}(5n\omega T/2) \cdot (\text{COS}(3n\omega T/2) \cdot \text{COS}(n\omega T/2) \\
& + 0.25) [\text{COS} n\{(19\omega T/2) + \alpha\} - (2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \\
& \text{COS} n\{(9/2+\lambda)\omega T - (\omega\tau/2) + \alpha\}] \cdot I_d + (16/n\pi) \cdot \text{SIN} 5n\omega T \cdot \\
& \text{SIN} n\{(7+\lambda/2)\omega T + \alpha\} \cdot [\text{COS} n\{(3\omega T + (3X-1)\lambda\omega T)/2\} \cdot \\
& \text{COS} n\{(\omega T - X\lambda\omega T)/2\} + 0.25] \cdot I_d + (16/n\pi) \cdot \\
& \text{COS}(5n\omega T/2) \cdot (\text{COS}(3n\omega T/2) \cdot \text{COS}(n\omega T/2) + 0.25) \cdot \\
& [(2/n\omega\tau) \cdot \text{SIN}(n\omega\tau/2) \cdot \text{COS} n\{(9/2+\lambda)\omega T - (\omega\tau/2) + \alpha\} \\
& - \text{COS} n\{(9/2+\lambda)\omega T + \alpha\}] \cdot I_d' \quad \dots(5.17)
\end{aligned}$$

5.2 การพิจารณาสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ในรูปทั่วไปของกระแสดับเบิลโวลุ่ม

5.2.1 รูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $a_{\lambda n}$

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

(1)

(2)

$$a_{\lambda n} = (8/n\pi) [\cos (n\pi/6) \cdot (\cos(n\pi/12)+0+0) \{2 \cdot \sin (n\pi/2) \cdot$$

$$\sin n[(3+2\lambda)(\pi/12) - (\pi/2) + \alpha].$$

(3)

$$(I_d - I_d') / n\pi + \sin n[(3+2\lambda)(\pi/12) + \alpha] \cdot I_d'$$

(4)

(5)

$$- \sin n[(7\pi/12) + \alpha] \cdot I_d + \sin(n\pi/3) \cdot \cos n[(5+\lambda)(\pi/12) + \alpha]$$

(6)

$$\cdot \{ \cos n[(1+(2X-1)\lambda)(\pi/12)] + 0 + 0 \} \cdot I_d]$$

... (5.18)

(1)

(2)

$$a_{\lambda n} = (8/n\pi) [\cos (n\pi/6) \cdot (\cos(n\pi/9)+0.5+0) \cdot \{2 \cdot \sin (n\pi/2) \cdot$$

$$\sin n[(5+2\lambda)(\pi/18) - (\pi/2) + \alpha].$$

(3)

$$(I_d - I_d') / n\pi + \sin n[(5+2\lambda)(\pi/18) + \alpha] \cdot I_d'$$

(4)

(5)

$$- \sin n[(11\pi/18) + \alpha] \cdot I_d + \sin(n\pi/3) \cdot \cos n[(8+\lambda)(\pi/18) + \alpha]$$

(6)

$$\cdot \{ \cos n[(2+(2X-1)\lambda)(\pi/18)] + 0.5 + 0 \} \cdot I_d]$$

... (5.19)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1)

$$a_{\lambda n} = (8/n\pi) [\cos(n\pi/6) \cdot \{2\cos(n\pi/12) \cdot \cos(n\pi/24) + 0\} - \{2\sin(n\pi/24) \cdot$$

(2)

$$\sin n[(7+2\lambda)((\pi/24) - (W\tau/2)) + \alpha] \cdot \{(I_d - I_d')/n\pi\tau\}$$

(3)

(4)

$$+ \sin n[7+2\lambda)(\pi/24) + \alpha] \cdot I_d' - \sin n[(15\pi/24) + \alpha] \cdot I_d)$$

(5)

$$+ \sin(n\pi/3) \cos n[(11+\lambda)(\pi/24) + \alpha].$$

(6)

$$\{ \cos n[(3+(2x-1)\lambda)(\pi/24)] + \cos n[(1+(4x-1)\lambda)(\pi/24)] + 0 \} \cdot I_d] \dots (5.20)$$

(1)

(2)

$$a_{\lambda n} = (8/n\pi) [\cos(n\pi/6) \cdot \{2\cos(n\pi/30) \cdot \cos(n\pi/10) + 0.5\} \cdot \{2\sin(n\pi/24) \cdot$$

$$\sin n[(9+2\lambda)((\pi/30) - (W\tau/2)) + \alpha] \cdot \{(I_d - I_d')/n\pi\tau\}$$

(3)

(4)

$$+ \sin n[9+2\lambda)(\pi/30) + \alpha] \cdot I_d' - \sin n[(19\pi/30) + \alpha] \cdot I_d)$$

(5)

$$+ \sin(n\pi/3) \cos n[(14+\lambda)(\pi/30) + \alpha].$$

(6)

$$\{ \cos n[(4+(2x-1)\lambda)(\pi/30)] + \cos n[(2+(4x-1)\lambda)$$

$$(\pi/30)] + 0.5 \} \cdot I_d]$$

... (5.21)

เทอม (1), (2), (3), ..., (6) ทางขวามือของทุกๆสมการของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ดังกล่าวข้างบนสามารถเรียงจัดกลุ่มเป็นรูปทั่วไปได้ดังนี้

สำหรับทุก ๆ เทอม (1)

$$\cos(n\pi/12)+0+0 = \cos(n\pi/12)+Y_1(=0)+Y_2(=0)$$

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

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

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

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

สำหรับทุก ๆ เทอม (2)

$$\sin n[(3+2\lambda)(\pi/12)-(\omega\tau/2)+\alpha]$$

$$\sin n[(5+2\lambda)(\pi/18)-(\omega\tau/2)+\alpha]$$

$$\sin n[(7+2\lambda)(\pi/24)-(\omega\tau/2)+\alpha]$$

$$\sin n[(9+2\lambda)(\pi/30)-(\omega\tau/2)+\alpha]$$

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

สำหรับทุก ๆ เทอม (3)

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

สำหรับทุก ๆ เทอม (4)

$$\sin n[7\pi/12+\alpha]$$

$$\sin n[11\pi/18+\alpha]$$

$$\sin n[15\pi/24+\alpha]$$

$$\sin n[19\pi/30+\alpha]$$

จะได้รูปทั่วไปคือ $\sin n[(4m-1)(\pi/6m)+\alpha]$

สำหรับทุก ๆ เทอม (5)

$$\cos n[(5+\lambda)(\pi/12)+\alpha]$$

$$\cos n[(8+\lambda)(\pi/18)+\alpha]$$

$$\cos n[(11+\lambda)(\pi/24)+\alpha]$$

$$\cos n[(14+\lambda)(\pi/30)+\alpha]$$

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

สำหรับทุก ๆ เทอม (6)

$$\cos n[(1+(2x-1)\lambda)(\pi/12)] + Y_1 (=0) + Y_2 (=0)$$

$$\cos n[(2+(2x-1)\lambda)(\pi/18)] + Y_1 (=0.5) + Y_2 (=0)$$

$$\cos n[(3+(2x-1)\lambda)(\pi/24)] + Y_1 (=1) \cos n[(1+(4x-1)\lambda)(\pi/24)] + Y_2 (=0)$$

$$\cos n[(4+(2x-1)\lambda)(\pi/30)] + Y_1 (=1) \cos n[(2+(4x-1)\lambda)(\pi/30)] + Y_2 (=0.5)$$

จะได้รูปทั่วไปดังนี้ คือ

$$\cos n[(m-1+(2x-1)\lambda)(\pi/6m)] + Y_1 \cos n[(m-3+(4x-1)\lambda)(\pi/6m)] + Y_2$$

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

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

5.2.2 รูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $b_{\lambda n}$

สมการรูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $b_{\lambda n}$ สำหรับกรณีรูปแบบกระแสดับเบิลวอล์กเอม 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 และเครื่องหมายลบเท่านั้น เทอมเหล่านี้สามารถเขียนแสดงดังในตารางที่ 5.5 เราสามารถเขียนสมการรูปทั่วไปของสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ $b_{\lambda n}$ สำหรับกรณีรูปแบบกระแสดับเบิลวอล์กเอม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda n} = & (8/n\pi) [\cos(n\pi/6) \cdot \{2\cos[n(m-1)\pi/6m] + Y_1 \cos[n(m-3)\pi/6m] + Y_2 \\
 & \cdot \{2\sin(n\pi/2) \cdot \cos n[(2m-1+2\lambda)(\pi/6m) - (\pi/2) + \alpha] \cdot (I_d - I_d') / n\pi \\
 & + \cos n[(2m-1+2\lambda)(\pi/6m) + \alpha] \cdot I_d' - \cos n[(4m-1)(\pi/6m) + \alpha] \cdot I_d\} \\
 & + \sin(n\pi/3) \cdot \cos n[(3m-1+\lambda)(\pi/6m) + \alpha] \cdot \{\cos n[(m-1+(2x-1)\lambda)(\pi/6m)] \\
 & + Y_1 \cos n[(m-3+(4x-1)\lambda)(\pi/6m)] + Y_2 \cdot I_d\}] \dots (5.23)
 \end{aligned}$$

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)	$\sin n[(2m-1+2\lambda)(\pi/6m) - (\pi\tau/2)+\alpha]$	$-\cos n[(2m-1+2\lambda)(\pi/6m) - (\pi\tau/2)+\alpha]$
(3)	$\cos n[(2m-1+2\lambda)(\pi/6m)+\alpha]$	$\sin n[(2m-1+2\lambda)(\pi/6m)+\alpha]$
(4)	$\sin n[(4m-1)(\pi/6m)+\alpha]$	$-\cos n[(4m-1)(\pi/6m)+\alpha]$
(5)	$\cos n[(3m-1+\lambda)(\pi/6m)+\alpha]$	$\sin n[(3m-1+\lambda)(\pi/6m)+\alpha]$
	$(I_d - I_d')/n\omega\tau$	$-(I_d - I_d')/n\omega\tau$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 องค์ประกอบฮาร์โมนิกในกระแสเอชไอไลน์

ในหัวข้อนี้ เราจะทำการคำนวณหาขนาดขององค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ของคลื่นกระแสพีคดับลิวเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ จากสมการรูปทั่วไปของ $a_{n,n}$ และ $b_{n,n}$ คือสมการที่ (5.2), (5.22) และ (5.23) โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในที่นี้เราจะคำนวณหาองค์ประกอบฮาร์โมนิกจนถึงลำดับที่ 29 กราฟคำนวณดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 5.2, 5.3, 5.4 และ 5.5 สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ จากผลการคำนวณดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนพัลส์มากขึ้น ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเกิดขึ้นที่ลำดับสูง เช่น

กรณี 6 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 11

กรณี 9 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 17

กรณี 12 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 23

กรณี 15 พัลส์ ฮาร์โมนิกลำดับต่ำจะเริ่มที่ลำดับ 29

เมื่อมีการเลื่อนเฟสกระแสเอชไอไลน์ (α ไม่เท่ากับ 0) ที่ตัวประกอบมีอดคูล์เลขขึ้น n คงที่ คลื่นกระแสพีคดับลิวเอ็มจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่ามุมเลื่อนเฟส α จะเปลี่ยนไป ดังนั้นแสดงว่าฮาร์โมนิกลำดับต่ำๆ จะไม่เปลี่ยนแปลงด้วย เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มี การเลื่อนเฟส

5.4 อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม

ในหัวข้อนี้ เราจะคำนวณหาคุณสมบัติทางอินพุทของคอนเวอร์เตอร์ เช่น ตัวประกอบคิสทอร์ขึ้น DF อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐาน PF1 และอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม PF

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

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

$$\begin{aligned}
 a_{\lambda_1} = & (4/3/\pi) [\{ \cos [(m-1)(\pi/6m) + Y_1 \cos [(m-3)(\pi/6m) + Y_2] \\
 & \cdot \{ 2 \sin (\omega\tau/2) \cdot \sin [(2m-1+2\lambda)(\pi/6m) - (\omega\tau/2) + \alpha] \cdot (I_d - I_d') / \omega\tau \\
 & + \sin [(2m-1+2\lambda)(\pi/6m) + \alpha] \cdot I_d' - \sin [(4m-1)(\pi/6m) + \alpha] \cdot I_d \} \\
 & + \cos [(3m-1+\lambda)(\pi/6m) + \alpha] \cdot \{ \cos [(m-1+(2x-1)\lambda)(\pi/6m)] \\
 & + Y_1 \cos [(m-3+(4x-1)\lambda)(\pi/6m)] + Y_2 \} \cdot I_d] \quad \dots (5.24)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{\lambda_1} = & (4/3/\pi) [\{ \cos [(m-1)(\pi/6m) + Y_1 \cos [(m-3)(\pi/6m) + Y_2] \\
 & \cdot \{ 2 \sin (\omega\tau/2) \cdot \cos [(2m-1+2\lambda)(\pi/6m) - (\omega\tau/2) + \alpha] \cdot (I_d - I_d') / \omega\tau \\
 & - \cos [(2m-1+2\lambda)(\pi/6m) + \alpha] \cdot I_d' + \cos [(4m-1)(\pi/6m) + \alpha] \cdot I_d \} \\
 & + \sin [(3m-1+\lambda)(\pi/6m) + \alpha] \cdot \{ \cos [(m-1+(2x-1)\lambda)(\pi/6m)] \\
 & + Y_1 \cos [(m-3+(4x-1)\lambda)(\pi/6m)] + Y_2 \} \cdot I_d] \quad \dots (5.25)
 \end{aligned}$$

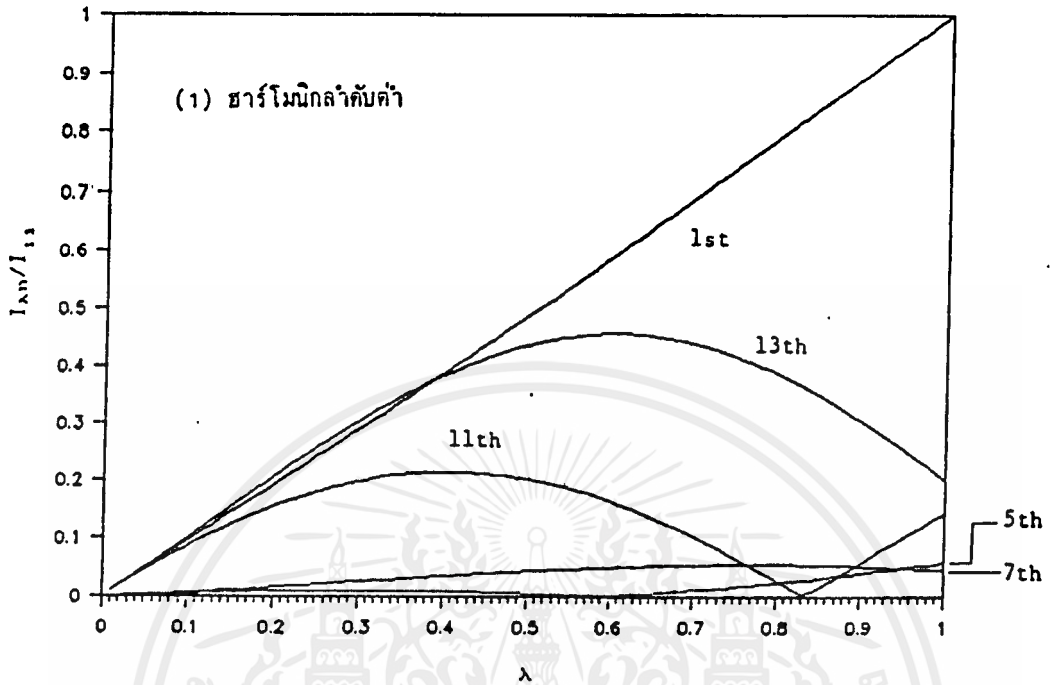
ซึ่งจะนำไปใช้คำนวณอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐาน PF1 จากสมการที่ (5.3) และอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม PF จากสมการที่ (5.5) เมื่อนำผลการคำนวณของตัวประกอบคิซทอร์ซัน DF อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐาน PF1 อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม PF สำหรับทุก ๆ ค่าของตัวประกอบมอดคูลเลชัน λ และมุมเลื่อนเฟส α มาพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 5.6, 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ

รูปที่ 5.6 เป็นกราฟคุณสมบัติของตัวประกอบคิซทอร์ซัน DF กับตัวประกอบมอดคูลเลชัน λ เมื่อจำนวนพัลส์ของกระแสฟีดแบคชีวเอ็มมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าตัวประกอบคิซทอร์ซัน DF ก็จะคั้งขึ้นในบริเวณตัวประกอบมอดคูลเลชัน λ ค่าต่ำ ๆ และจะมีค่าใกล้เคียงกันบริเวณตัวประกอบมอดคูลเลชัน λ มีค่าสูงขึ้น

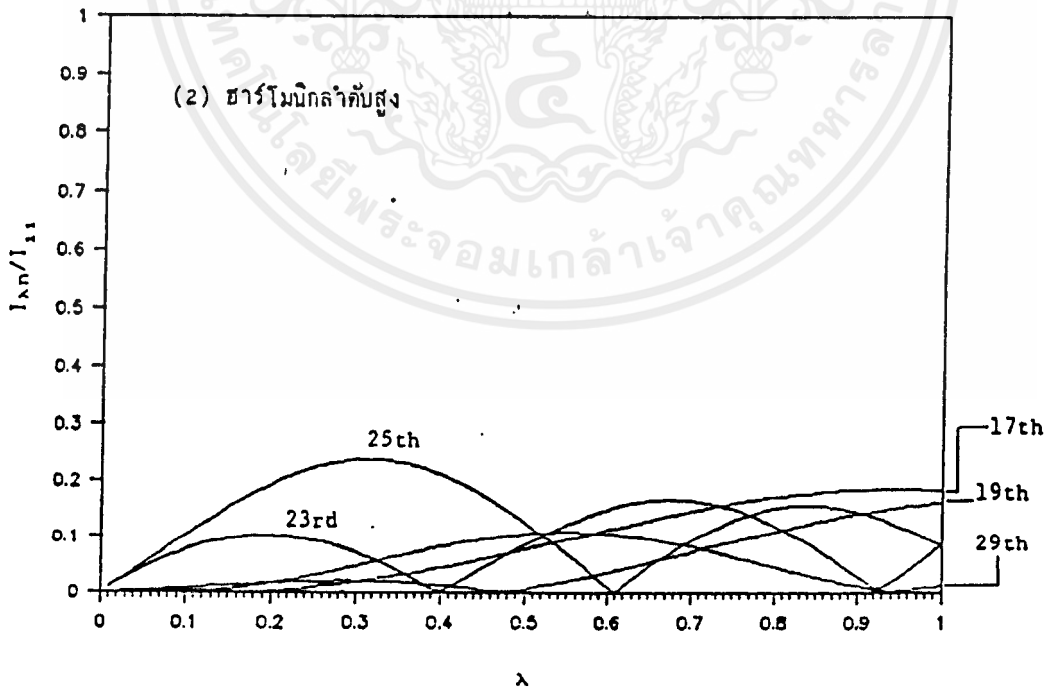
รูปที่ 5.7 แสดงคุณสมบัติของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐาน PF1 กับมุมเลื่อนเฟส α ที่ตัวประกอบมอดคูลเลชัน λ คงที่ จะมีลักษณะเป็นรูปโคซายน์ เมื่อเพิ่มจำนวนพัลส์นั้นรูปกราฟจะเหมือนกัน

รูปที่ 5.8 แสดงคุณสมบัติของอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม PF กับมุมเลื่อนเฟส α ที่ตัวประกอบมอดคูลเลชัน λ คงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กัลักษณะกราฟของ DF และ PF1 โดยตรง อินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม PF จะแปรเปลี่ยนตามค่ามุมเลื่อนเฟส α ในลักษณะเดียวกันกับอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐาน PF1 โดยจะแปรเปลี่ยนในลักษณะโคซายน์ ค่าสูงสุดนั้นจะขึ้นอยู่กัค่าตัวประกอบคิซทอร์ซัน DF นอกจากนี้ การเพิ่มจำนวนพัลส์กระแสฟีดแบคชีวเอ็มนั้น จะทำให้รูปกราฟโคซายน์ที่ไม่สมมาตรของ PF เปลี่ยนแปลงไปสู่ลักษณะสมมาตร และค่าอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์ PF คั้งขึ้น

6-PULSE [LOW]



6-PULSE [HIGH]

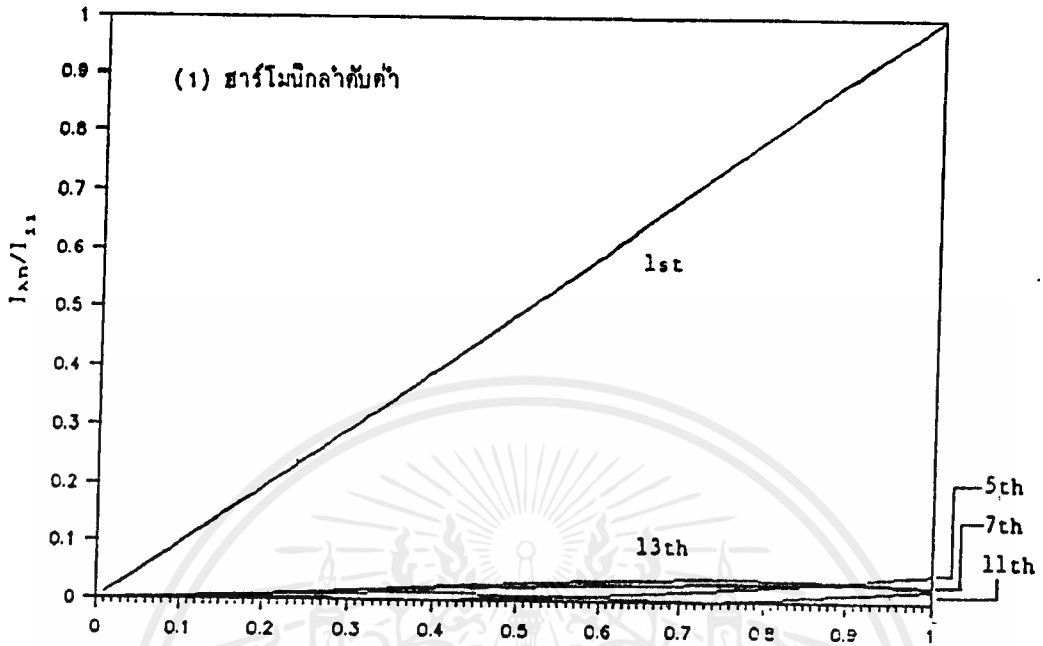


รูปที่ 5.2 กราฟคำนวณองค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสฟัดดับลิวเอ็ม

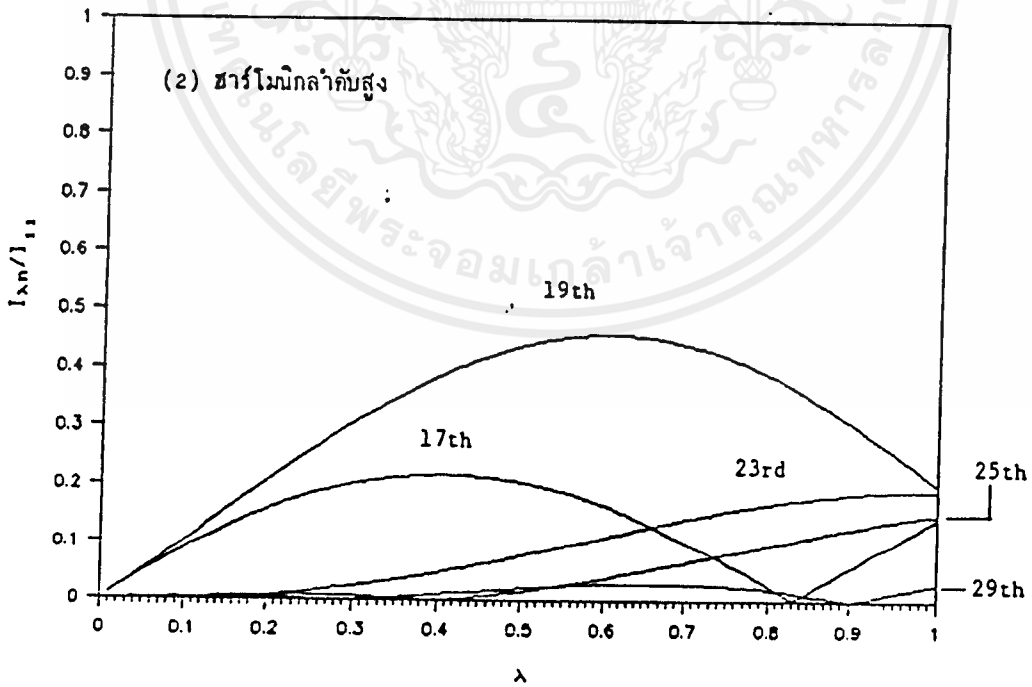
6 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9-PULSE [LOW]



9-PULSE [HIGH]

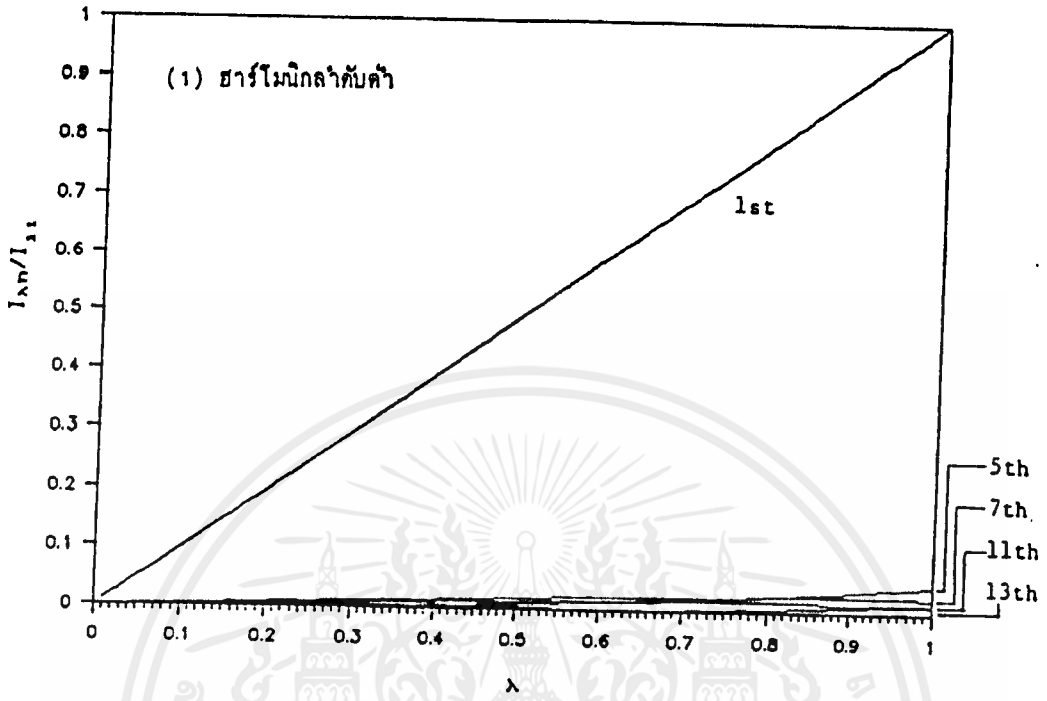


รูปที่ 5.3 กราฟคำนวณองค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสฟีดแบ็ค

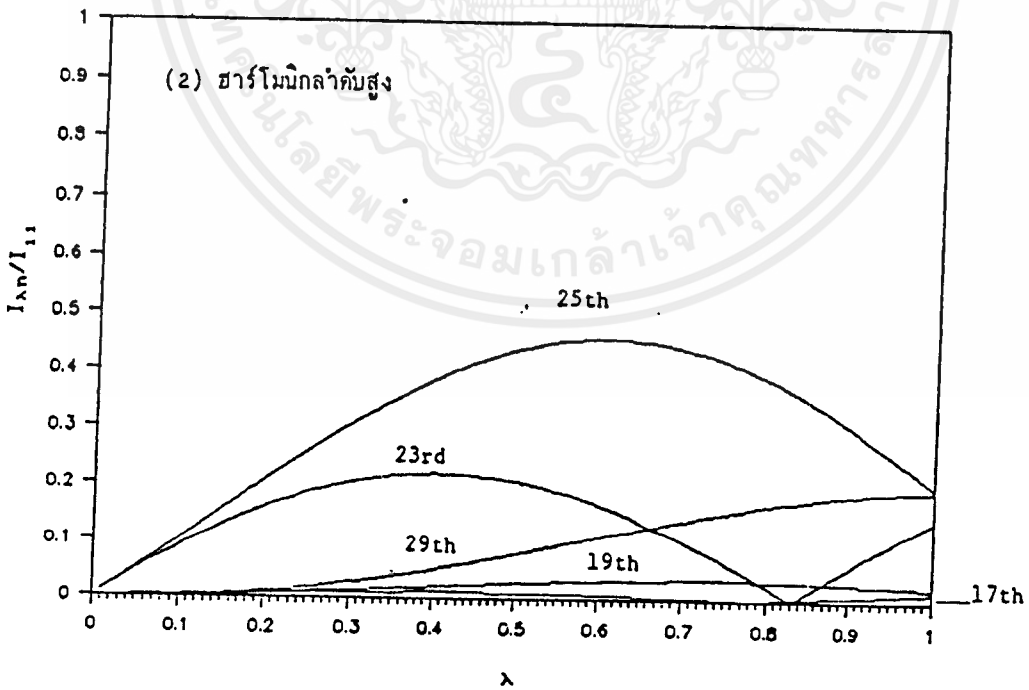
9 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12-PULSE [LOW]



12-PULSE [HIGH]

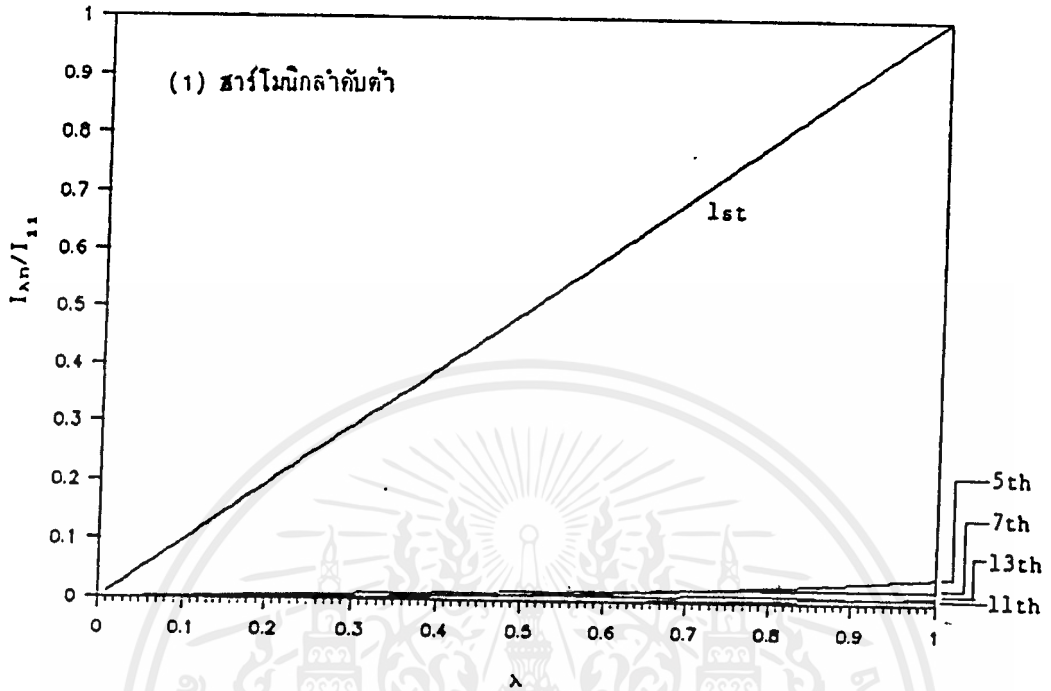


รูปที่ 5.4 กราฟคำนวณองค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสที่ดับตัวเอ็ม

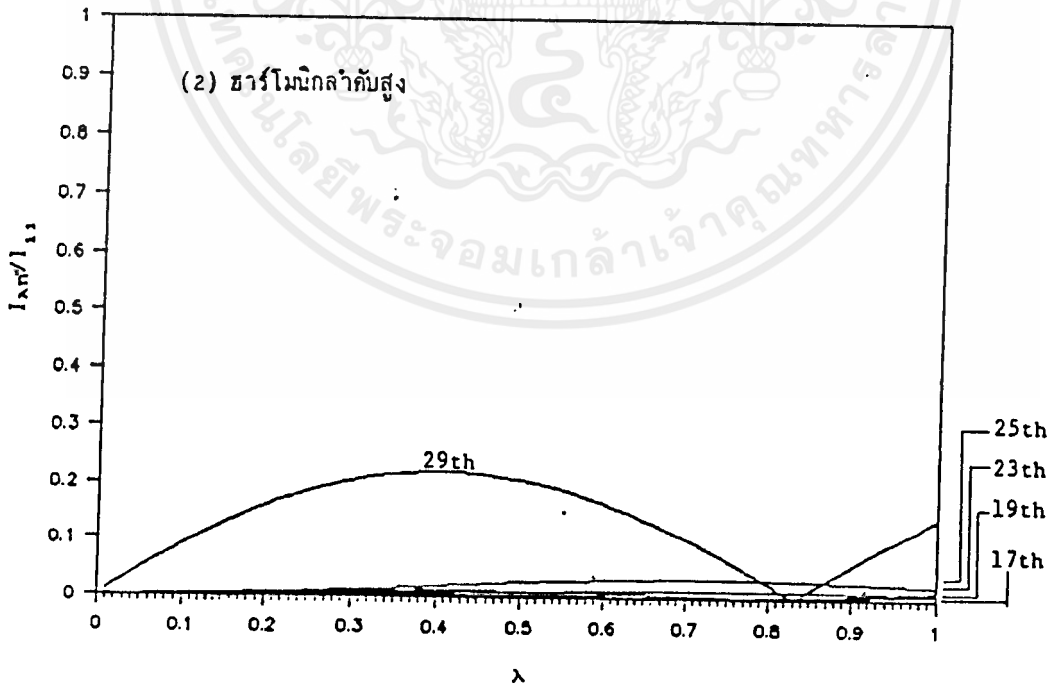
12 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15-PULSE [LOW]



15-PULSE [HIGH]



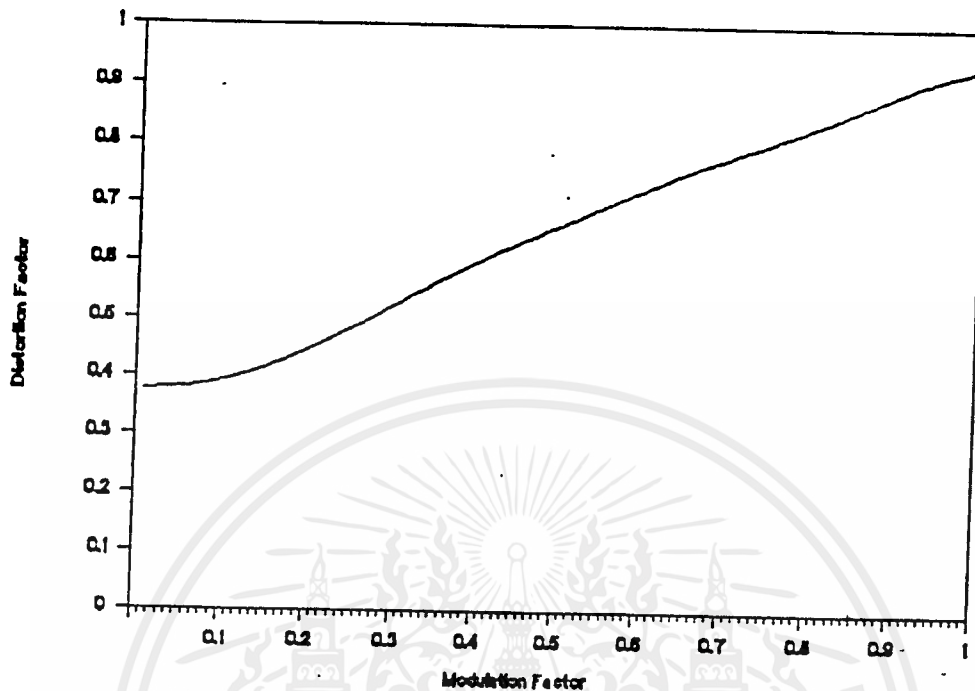
รูปที่ 5.5 กราฟคำนวณองค์ประกอบชาร์โมนิกของกระแสพัลส์ดับลิวเอ็ม

15 พัลส์ในแต่ละครึ่งไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

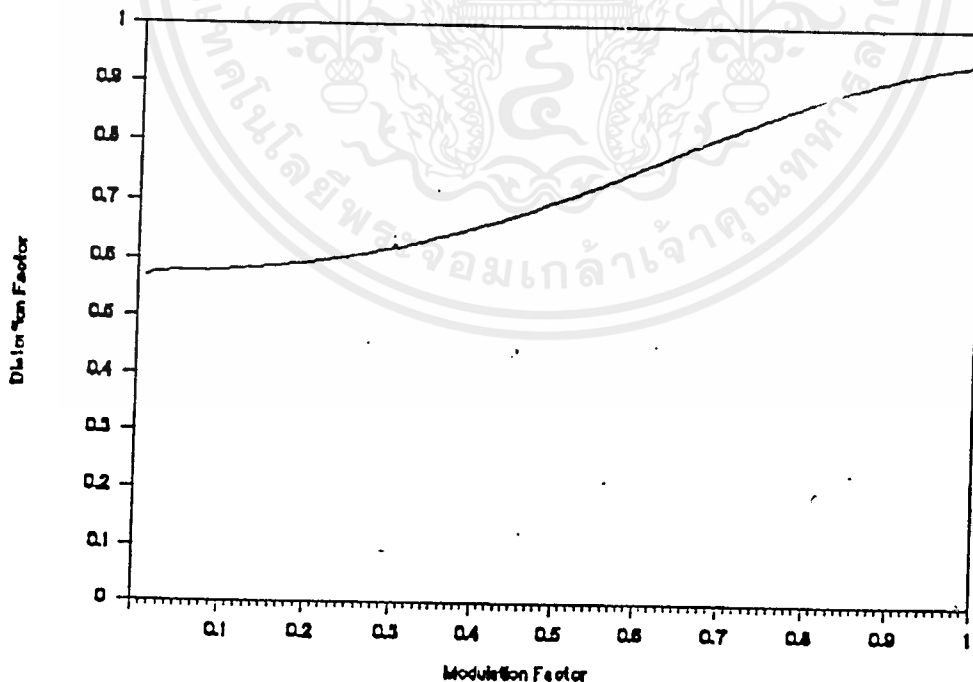
DF & rambda [6-pulse]

(1)



DF & rambda [15-pulse]

(2)

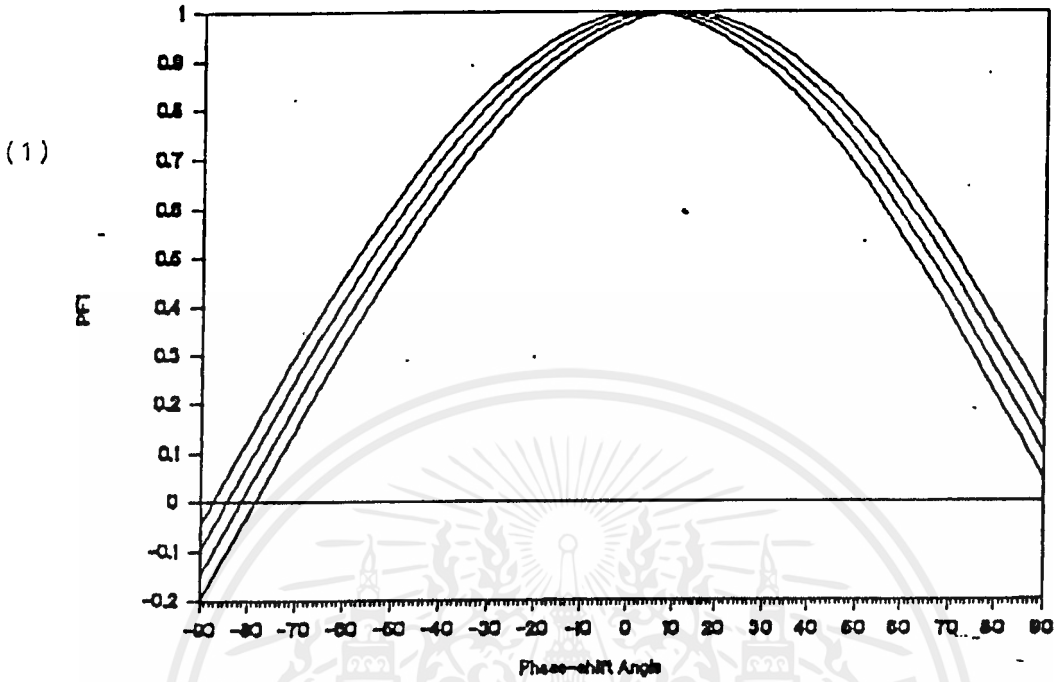


รูปที่ 5.6 กราฟคำนวณตัวประกอบคิสทอร์ชั่น สำหรับกรณี

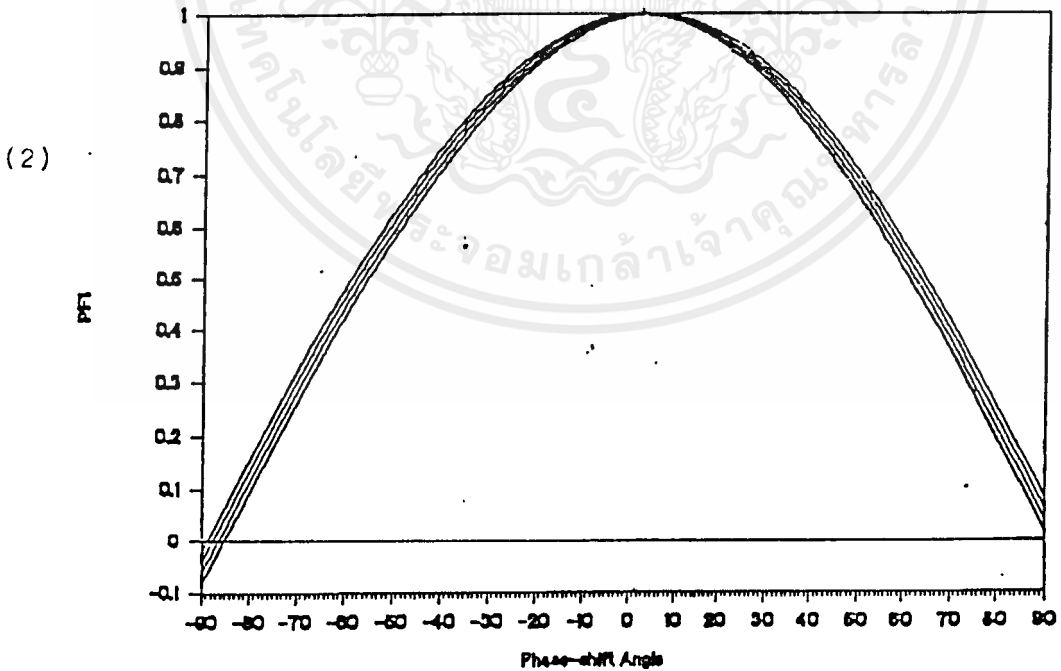
(1) 6 พัลส์ (2) 15 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PF1 & Phase-shift Angle (6-pulse)



PF1 & Phase-shift Angle (15-pulse)

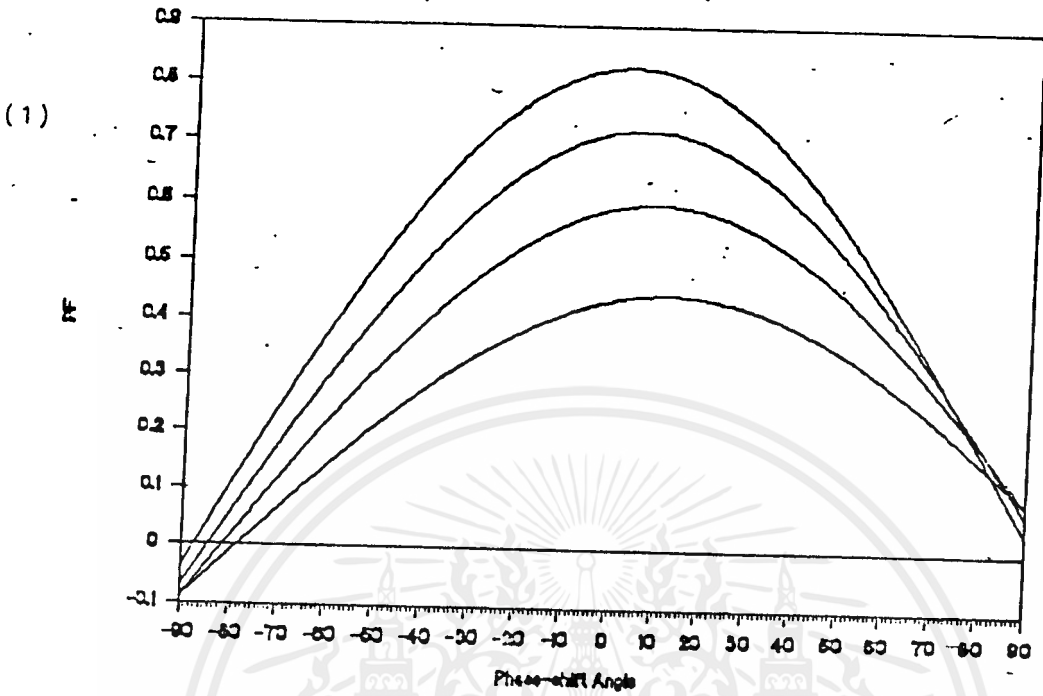


รูปที่ 5.7 กราฟค่านวมอินพุทเฟาเวอร์แฟคเตอร์มูลฐาน สำหรับกรณี

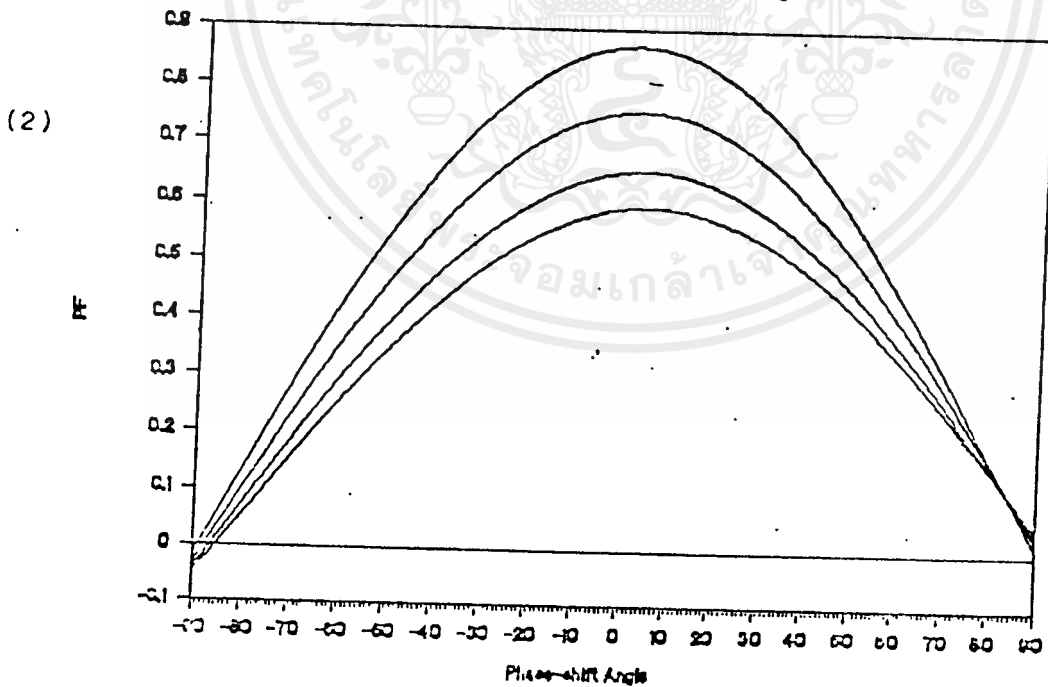
(1) 6 พัลส์ (2) 15 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PF & Phase-shift Angle (6-pulse)



PF & Phase-shift Angle (15-pulse)



รูปที่ 5.8 กราฟคำนวณอินพุทเพาเวอร์แฟคเตอร์รวม สำหรับกรณี

(1) 6 พัลส์ (2) 15 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การวิเคราะห์แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่ามุมเลื่อนเฟสของกระแสฟีดแบ็คบิลวี่เอ็มสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเทียบกับแรงดันจากแหล่งจ่าย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย เช่นเดียวกับจำนวนพัลส์ฟีดแบ็คบิลวี่เอ็ม m ตัวประกอบมือคูล์เลข n ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึง การวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนพัลส์ฟีดแบ็คบิลวี่เอ็ม ตัวประกอบมือคูล์เลข และมุมเลื่อนเฟส ที่มีต่อแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย

6.1 แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยของกระแสฟีดแบ็คบิลวี่เอ็มกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์

พิจารณาจากรูปที่ 2.2 แรงดันเอาต์พุตคี่จะประกอบด้วย แรงดันระหว่างไลน์สองไลน์ที่ผ่านการเรียงกระแส แรงดันจากการคายประจุของคาปาซิเตอร์ Cd ในช่วงเวลานำกระแสของ G7 และ G8 และแรงดันศูนย์โวลท์ขณะที่จ็ทไอทริสเตอร์ส่วนบนและส่วนล่างของวงจรถูกกักหลักในไลน์เดียวกันนำกระแสพร้อมกัน ถ้าในวงจรถูกปราศจากตัวเหนี่ยวนำ Lr ทั้งสองแล้ว ค่าแรงดันที่ปรากฏด้านเอาต์พุตในช่วงที่จ็ทไอ G7 และ G8 นำกระแส จะมีค่าเท่ากับแรงดันของตัวเก็บประจุในวงจรถั่ว Ecd อย่างไรก็ตาม ในวงจรถั่วจำเป็นต้องมีตัวเหนี่ยวนำ Lr ทั้งสองเพื่อประโยชน์ในการป้องกันจ็ทไอ G7 และ G8 ในขณะที่มันหยุดนำกระแส ดังนั้นค่าแรงดันเอาต์พุตในช่วงเวลาการคายประจุจึงมีค่าไม่เท่ากับค่า Ecd ซึ่งเราสามารถหาค่าแรงดันนี้ได้โดยวิธีการพิจารณาในวงจรถั่วหลัก ขณะที่ในช่วงเวลาการคายประจุ t ที่ทำให้เกิดการนำกระแสของ G7 และ G8 ในวงจรถั่ว ซึ่งวงจรถั่วทำงานแสดงไว้ในรูปที่ 6.1 โดยที่ขณะนั้น G1 และ G6 ในวงจรถั่วคี่พาสกำลังนำกระแส i_m พร้อมกับ G7 และ G8 ในวงจรถั่วกำลังนำกระแสที่เกิดจากการคายประจุ i_d จากรูปเราจะได้สมการของแรงดัน 2 สมการ ดังนี้

รูปที่ 1

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

รูปที่ 2

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (6.2)

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

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

แทนค่าในสมการที่ (6.3) ลงในสมการที่ (6.1) เราจะได้ว่า

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

กำหนดให้ $1/Lr = k$ 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

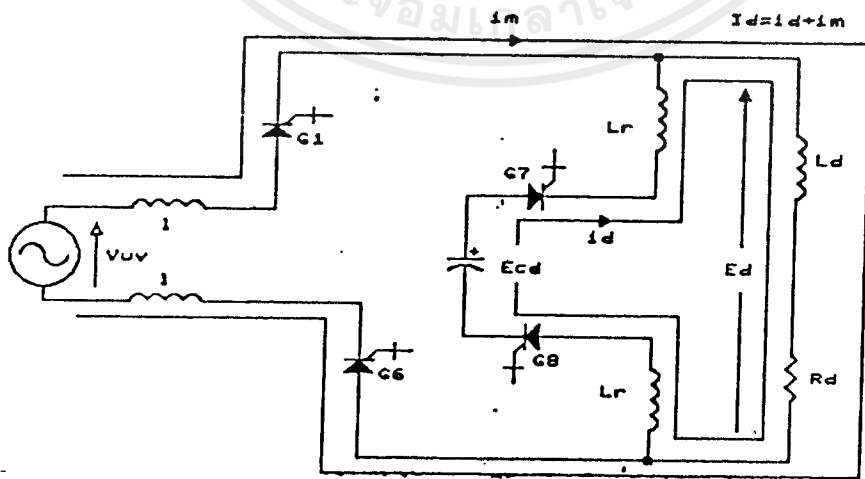
$$1/(1+k) = K \quad \dots(6.6)$$

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

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



รูปที่ 6.1 การทำงานของวงจรกำลังหลักในช่วงเวลาคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปคลื่นแรงดันเอาท์พุทในรูปที่ 6.2 เราสามารถแสดงสมการแรงดันที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ดัง ตารางที่ 6.1 โดยอาศัยตารางที่ 6.1 และสมการที่ (6.8) เราสามารถเขียนสมการของแรงดัน เอาท์พุทเฉลี่ย E_{cd} ที่มีความสัมพันธ์กับมุมเลื่อนเฟส α และคาบเวลาการคายประจุ τ สำหรับกรณีพี ดับบลิวเอ็ม 6 พัลส์ได้ดังนี้

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

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการที่ (6.9) แล้วจะได้สมการแรงดันเอาท์พุทเฉลี่ยเป็นดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่
- K : $1/(1+k)$
 - k : l/Lr
 - l : ลีแกจอินดิคแตนต์จากแหล่งจ่ายไฟสลับ
 - Lr : ค่าอินดิคแตนต์ในวงจรช้อย

สมการแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยข้างบนเป็นตัวอย่างสำหรับกรณี 6 พัลส์ ในทำนองเดียวกันสมการแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยสำหรับกรณี 9, 12 และ 15 พัลส์สามารถพิจารณาได้โดยอาศัยตารางที่ 6.2, 6.3, 6.4 และสมการที่ 6.9 จากนั้นจึงนำสมการแรงดันเอาต์พุตที่ได้สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ คือ สมการที่ (6.11)-(6.14) ซึ่งเป็นผลการคำนวณขั้นสุดท้าย ไปทำการพิจารณารูปทั่วๆ ไปของสมการแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยต่อไป

ตารางที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่าง ๆ กับสมการแรงดันสำหรับกรณี 6 พัลส์

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

ตารางที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่าง ๆ กับสมการแรงดันสำหรับกรณี 9 พัลส์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

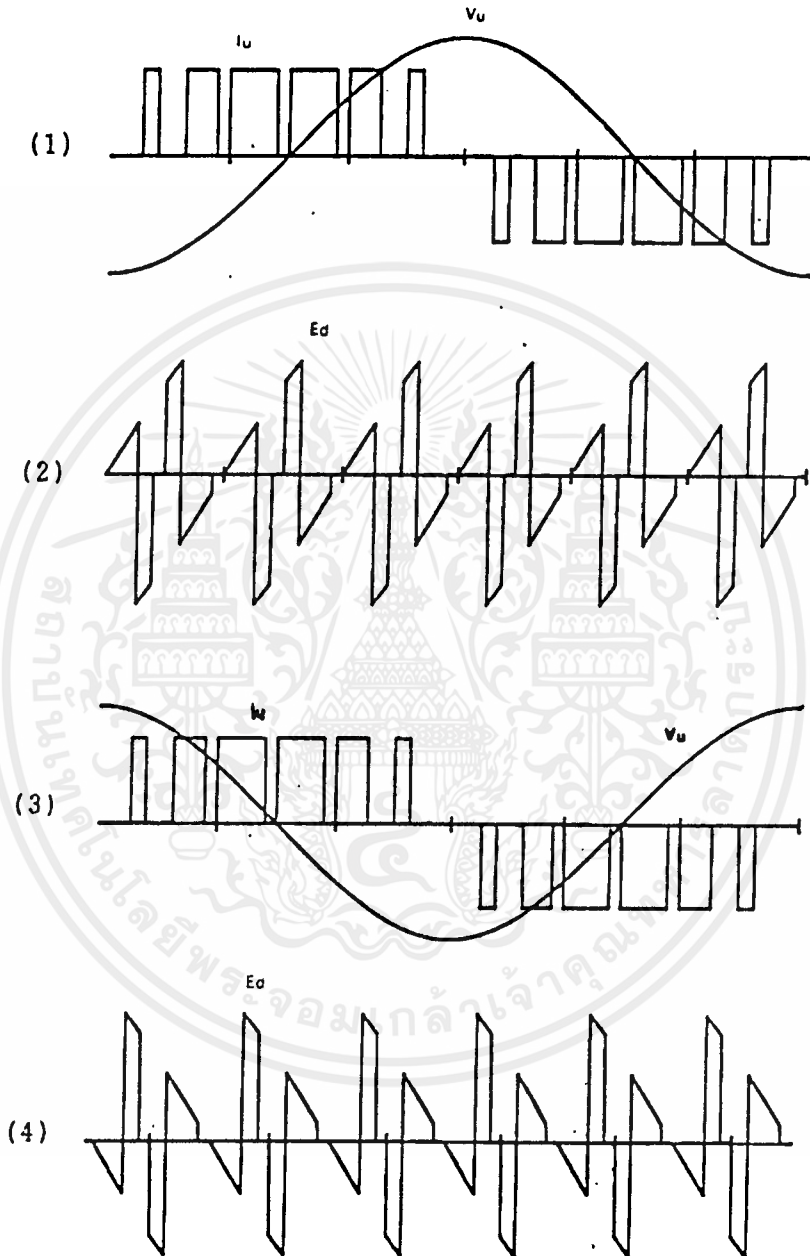
ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่าง ๆ กับสมการแรงดันสำหรับกรณี 12 พัลส์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาต่าง ๆ กับสมการแรงดันสำหรับกรณี 15 พัลส์

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



รูปที่ 6.2 ลักษณะคลื่นกระแสเอชไอไลน์และแรงดันทางด้านอินพุทและเอาต์พุท

(1), (2) กรณีมุมเลื่อนเฟส = -90°

(3), (4) กรณีมุมเลื่อนเฟส = 90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 6 พัลส์

$$\begin{aligned}
 & \text{(1)} \qquad \qquad \qquad \text{(2)} \\
 E_d(\alpha, \tau)/E_m &= 3/\pi [2\cos [\pi/12+(2K-1)\lambda\pi/12].\{\sin [(1+\lambda)\pi/12+\alpha] \\
 & \text{(3)} \qquad \qquad \qquad \text{(4)} \\
 & +\cos [(3+\lambda)\pi/12+\alpha]\} -2\cos \pi/12 \\
 & \text{(5)} \qquad \qquad \qquad \text{(6)} \\
 & \{\sin [\pi/12+\alpha]+ \cos [(3+2\lambda)\pi/12-\omega\tau+\alpha] \\
 & \text{(7)} \\
 & -2K.\sin [(3+2\lambda)\pi/12-\omega\tau/2+\alpha].\sin \omega\tau/2\} \\
 & \text{(8)} \\
 & +2\omega\tau(1-K)(E_{cd}/E_m)] \qquad \qquad \qquad \dots(6.11)
 \end{aligned}$$

กรณี 9 พัลส์

$$\begin{aligned}
 & \text{(1)} \qquad \qquad \qquad \text{(2)} \\
 E_d(\alpha, \tau)/E_m &= 3/\pi [\{2\cos [\pi/9+(2K-1)\lambda\pi/18]+1\}.\{\sin [(2+\lambda)\pi/18+\alpha] \\
 & \text{(3)} \qquad \qquad \qquad \text{(4)} \\
 & +\cos [(5+\lambda)\pi/18+\alpha]\} -2\{\cos \pi/9+0.5\} \\
 & \text{(5)} \qquad \qquad \qquad \text{(6)} \\
 & .\{\sin [\pi/9+\alpha]+ \cos [(5+2\lambda)\pi/18-\omega\tau+\alpha] \\
 & \text{(7)} \\
 & -2K.\sin [(5+2\lambda)\pi/18-\omega\tau/2+\alpha].\sin \omega\tau/2\} \\
 & \text{(8)} \\
 & +3\omega\tau(1-K)(E_{cd}/E_m)] \qquad \qquad \qquad \dots(6.12)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 12 พัลส์

(1)

$$E_d(\alpha, \tau)/E_m = 3/\pi [\text{(2)} \cos [3\pi/24 + (2X-1)\lambda\pi/24] + \text{(3)} \cos [\pi/24 + (4X-1)\lambda\pi/24]]$$

(2) (3) (4)

$$\cdot \{ \sin [(3+\lambda)\pi/24 + \alpha] + \cos [(7+\lambda)\pi/24 + \alpha] \} - 2 \{ \cos 3\pi/24 + \cos \pi/24 \}$$

(5) (6)

$$\cdot \{ \sin [3\pi/24 + \alpha] + \cos [(7+2\lambda)\pi/24 - u\tau + \alpha]$$

(7)

$$- 2K \cdot \sin [(7+2\lambda)\pi/24 - u\tau/2 + \alpha]$$

(8)

$$\cdot \sin u\tau/2 + 4u\tau(1-K)(E_{cd}/E_m)] \dots (6.13)$$

กรณี 15 พัลส์

(1)

$$E_d(\alpha, \tau)/E_m = 3/\pi [\text{(2)} \cos [4\pi/30 + (2X-1)\lambda\pi/30] + \text{(3)} \cos [2\pi/30 + (4X-1)\lambda\pi/30] + \text{(4)} 1]$$

(2) (3) (4)

$$\cdot \{ \sin [(4+\lambda)\pi/30 + \alpha] + \cos [(9+\lambda)\pi/30 + \alpha] \} - 2 \{ \cos 2\pi/15 + \cos \pi/15 + 0.5 \}$$

(5) (6)

$$\cdot \{ \sin [2\pi/15 + \alpha] + \cos [(9+2\lambda)\pi/15 - u\tau + \alpha]$$

(7)

$$- 2K \cdot \sin [(9+2\lambda)\pi/15 - u\tau/2 + \alpha]$$

(8)

$$\cdot \sin u\tau/2 + 5u\tau(1-K)(E_{cd}/E_m)] \dots (6.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 สมการรูปทั่วไปของแรงดันเอกาททุกเฉลี่ย

จากสมการที่ (6.11)-(6.14) ซึ่งเป็นสมการแรงดันเอกาททุกเฉลี่ยสำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ตามลำดับ เมื่อทำการจัดกลุ่มและเรียงรูปใหม่กับด้านขวาของสมการแรงดันเหล่านี้ จะทำให้ได้อยู่ในรูปสมการทั่วไปสำหรับรูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็ม 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ได้ดังนี้

สำหรับทุก ๆ เทอม (1)

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

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

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

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

จะได้รูปทั่วไปดังนี้ คือ

$$2\cos [(m-1)\pi/6m+(2X-1)\lambda\pi/6m]+Y_0.\cos [(m-3)\pi/6m+(4X-1)\lambda\pi/6m]+Y_3$$

สำหรับทุก ๆ เทอม (2)

$$\sin [(1+\lambda)\pi/12+\alpha]$$

$$\sin [(2+\lambda)\pi/18+\alpha]$$

$$\sin [(3+\lambda)\pi/24+\alpha]$$

$$\sin [(4+\lambda)\pi/30+\alpha]$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\sin [(m-1+\lambda)\pi/6m+\alpha]$

สำหรับทุก ๆ เทอม (3)

$$\cos [(3+\lambda)\pi/12+\alpha]$$

$$\cos [(5+\lambda)\pi/18+\alpha]$$

$$\cos [(7+\lambda)\pi/24+\alpha]$$

$$\cos [(9+\lambda)\pi/30+\alpha]$$

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

สำหรับทุก ๆ เทอม (4)

$$\cos \pi/12 + Y_1 (=0) + Y_2 (=0)$$

$$\cos 2\pi/18 + Y_1 (=0.5) + Y_2 (=0)$$

$$\cos 3\pi/24 + Y_1 (=1)\cos \pi/24 + Y_2 (=0)$$

$$\cos 4\pi/30 + Y_1 (=1)\cos 2\pi/30 + Y_2 (=0.5)$$

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

สำหรับทุก ๆ เทอม (5)

$$\sin [\pi/12+\alpha]$$

$$\sin [2\pi/18+\alpha]$$

$$\sin [3\pi/24+\alpha]$$

$$\sin [4\pi/30+\alpha]$$

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

สำหรับทุก ๆ เทอม (6)

$$\cos [(3+2\lambda)\pi/12+\alpha-u\tau]$$

$$\cos [(5+2\lambda)\pi/18+\alpha-u\tau]$$

$$\cos [(7+2\lambda)\pi/24+\alpha-u\tau]$$

$$\cos [(9+2\lambda)\pi/30+\alpha-u\tau]$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\cos [(2m-1+2\lambda)\pi/6m+\alpha-u\tau]$

สำหรับทุก ๆ เทอม (7)

$$\sin [(3+2\lambda)\pi/12+\alpha-u\tau/2]$$

$$\sin [(5+2\lambda)\pi/18+\alpha-u\tau/2]$$

$$\sin [(7+2\lambda)\pi/24+\alpha-u\tau/2]$$

$$\sin [(9+2\lambda)\pi/30+\alpha-u\tau/2]$$

จะได้รูปทั่วไป คือ $\sin [(2m-1+2\lambda)\pi/6m+\alpha-u\tau/2]$

สำหรับทุก ๆ เทอม (8)

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

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

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

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

จะได้รูปทั่วไป คือ $n\sigma\tau(1-K)(Ecd/Em)$

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

$$\begin{aligned}
E_d(\alpha, \tau)/E_m &= 3/\pi [\{ 2\cos [(m-1)\pi/6m + (2X-1)\lambda\pi/6m] + Y_0 \cdot \cos [(m-3)\pi/6m + (4X-1)\lambda\pi/6m] + Y_3 \cdot \{ \sin [(m-1)\pi/6 + \alpha] + \cos [(2m-1+\lambda)\pi/6m + \alpha] \} \\
&\quad - 2 \{ \cos [(m-1)\pi/6m] + Y_1 \cdot \cos [(m-3)\pi/6m] + Y_2 \cdot \sin [(m-1)\pi/6m + \alpha] + \cos [(2m-1+2\lambda)\pi/6m + \alpha - \sigma\tau] \\
&\quad - 2K \cdot \sin [(2m-1+2\lambda)\pi/6m - \sigma\tau/2 + \alpha] \cdot \sin \sigma\tau/2 \} \\
&\quad + n\sigma\tau(1-K)(Ecd/Em)] \dots (6.15)
\end{aligned}$$

โดยที่

<u>กรณี 6 พัลส์</u>	$Y_0 = 0$	$Y_1 = 0$	$Y_2 = 0$	$Y_3 = 0$	$Y_4 = 1/3$
<u>กรณี 9 พัลส์</u>	$Y_0 = 0$	$Y_1 = 0.5$	$Y_2 = 0$	$Y_3 = 1$	$Y_4 = 1/4$
<u>กรณี 12 พัลส์</u>	$Y_0 = 2$	$Y_1 = 1$	$Y_2 = 0$	$Y_3 = 0$	$Y_4 = 1/5$
<u>กรณี 15 พัลส์</u>	$Y_0 = 2$	$Y_1 = 1$	$Y_2 = 0.5$	$Y_3 = 1$	$Y_4 = 1/6$

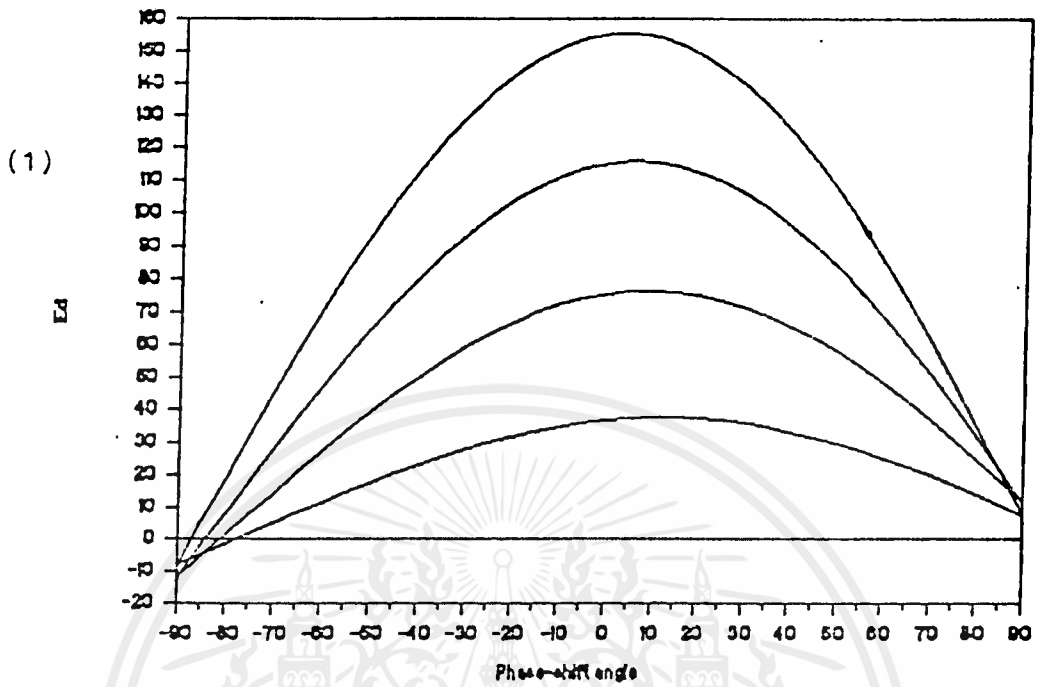
6.3 ลักษณะคลื่นแรงดันเอาต์พุต

เมื่อแทนค่า Y_0 , Y_1 , Y_2 , Y_3 และ X ลงในสมการแรงดันรูปทั่วไปดังสมการที่ (6.15) จะได้กราฟค่าแอมพลิจูดของแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย E_d กับมุมเลื่อนเฟส α สำหรับกรณี 6, 9, 12 และ 15 พัลส์ดังรูปที่ 6.3(1)-(2) ตามลำดับ ซึ่งจากรูปเหล่านี้จะแสดงให้เห็นผลกระทบของจำนวนพัลส์ที่มีต่อแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ดังนี้

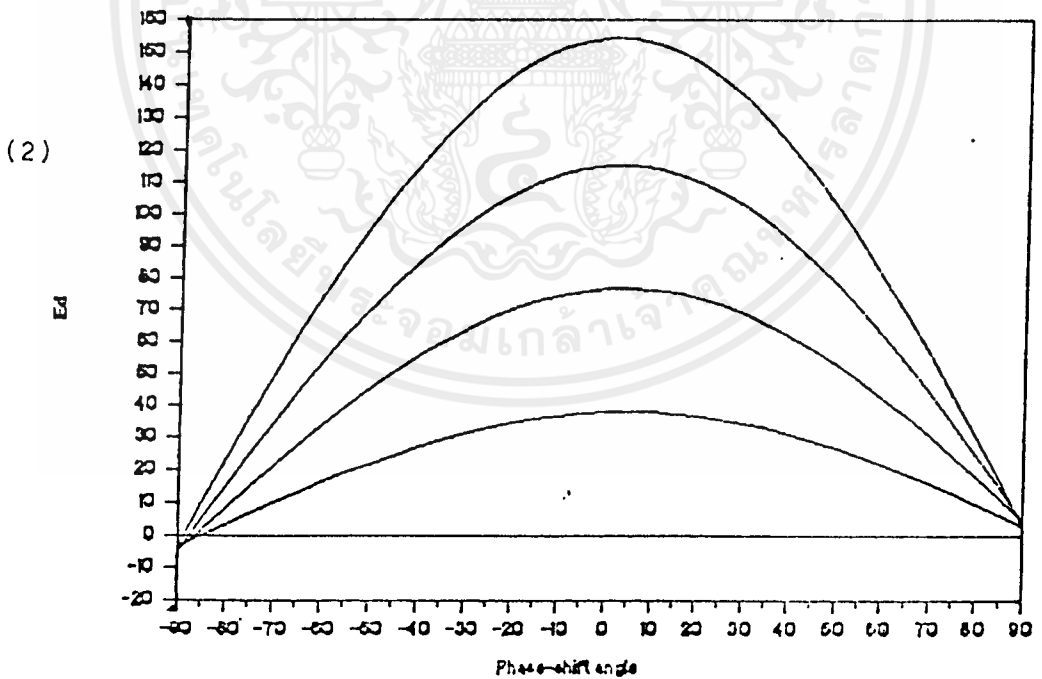
เมื่อทำการเลื่อนเฟสกระแสฟีดแบคโวลุ่มโดยที่ตัวประกอบมีอคติเลขชั้น λ คงที่ แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าสูงสุดบริเวณมุมเลื่อนเฟส $\alpha=0$ จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงในลักษณะของโคไซน์ เมื่อมุมเลื่อนเฟส α มากขึ้นทั้งในทิศทางข้างหน้าและด้านหลัง โดยจะมีค่ามากขึ้นเมื่อตัวประกอบมีอคติเลขชั้นมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อเพิ่มจำนวนพัลส์ฟีดแบคโวลุ่มมากขึ้น กราฟแรงดันที่ได้จะมีความสมมาตรมากขึ้น

รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตครึ่งไซเคิลจากการคำนวณดังรูปที่ 6.2 ได้รับการพิสูจน์ด้วยรูปคลื่นจากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นจากการทดลองกับการคำนวณมีลักษณะคล้ายคลึงกัน รูปที่ 6.5(1)-(2) เป็นลักษณะคลื่นแรงดันเอาต์พุตสำหรับกรณี 15 พัลส์ ที่มุมเลื่อนเฟส -60° และ 60° ตามลำดับ

Ed & Phase-shift Angle (6-pulse)



Ed & Phase-shift Angle (15-pulse)

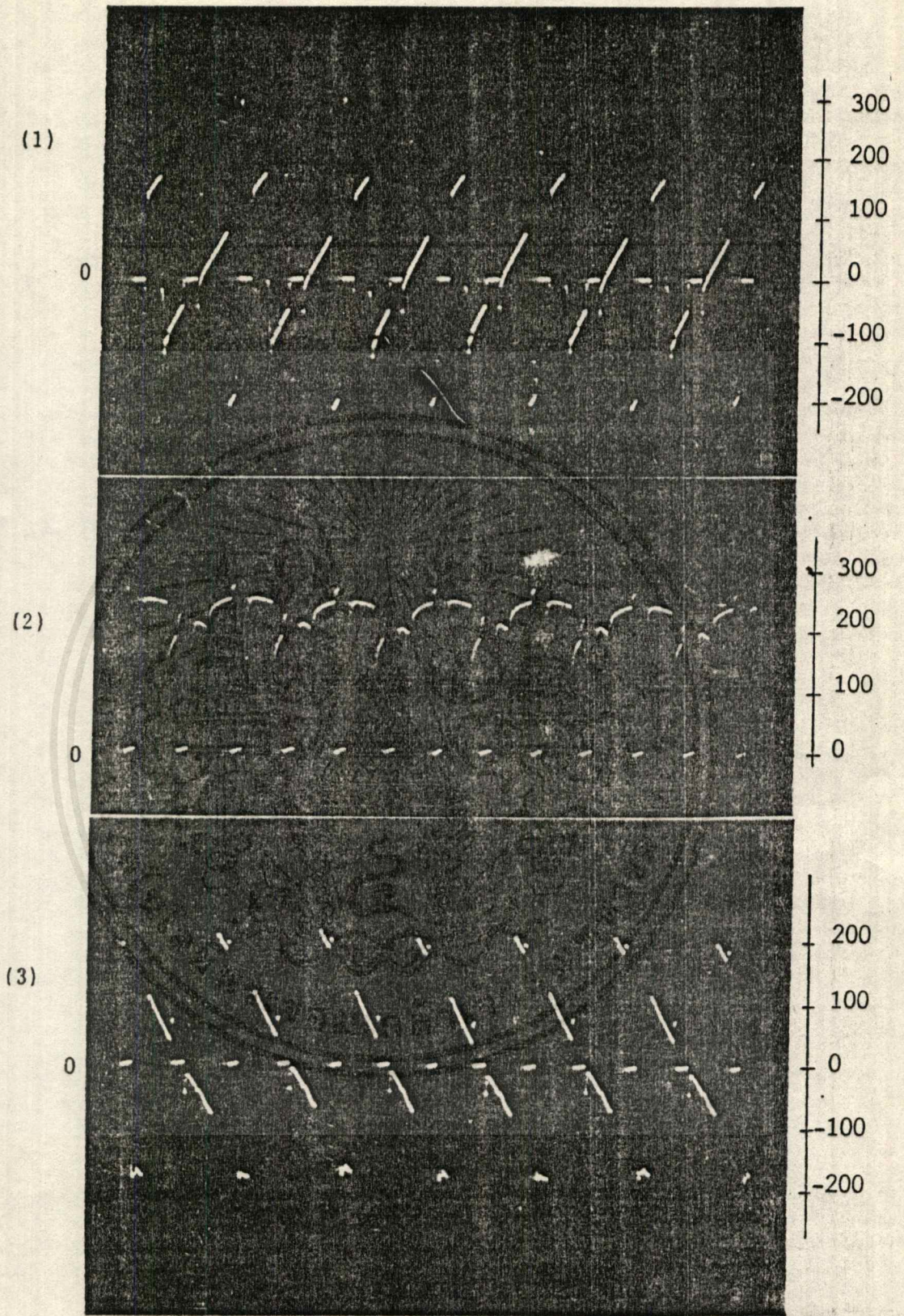


รูปที่ 6.3 ผลคำนวณแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยกับมุมเลื่อนเฟส

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

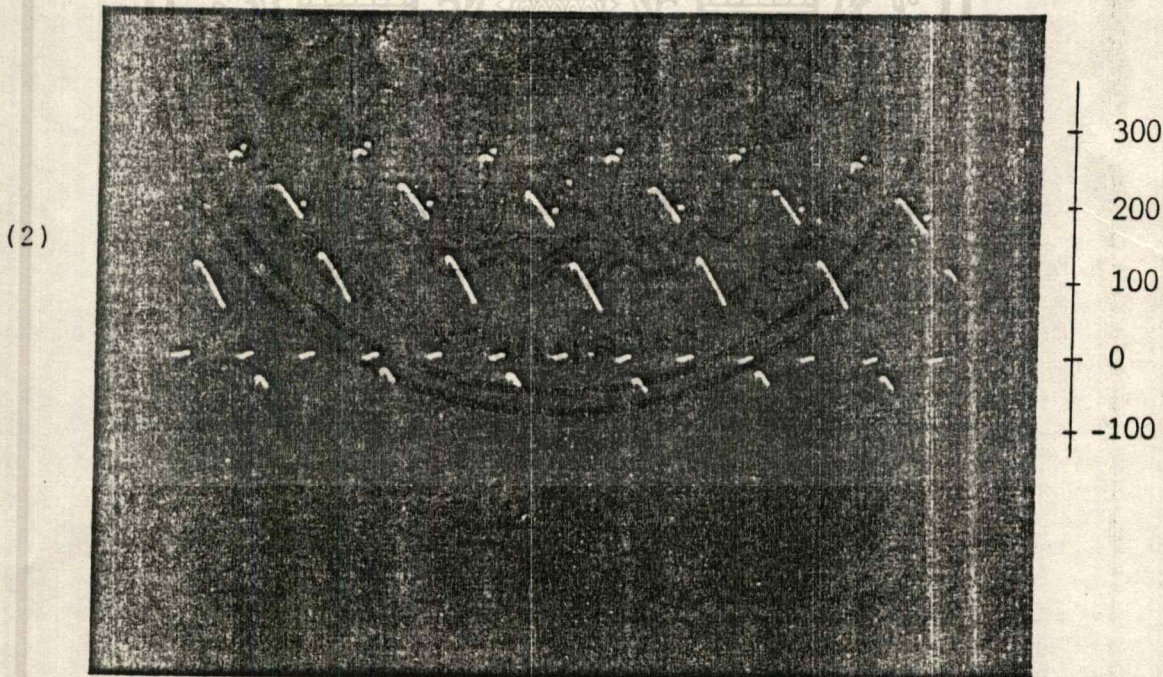
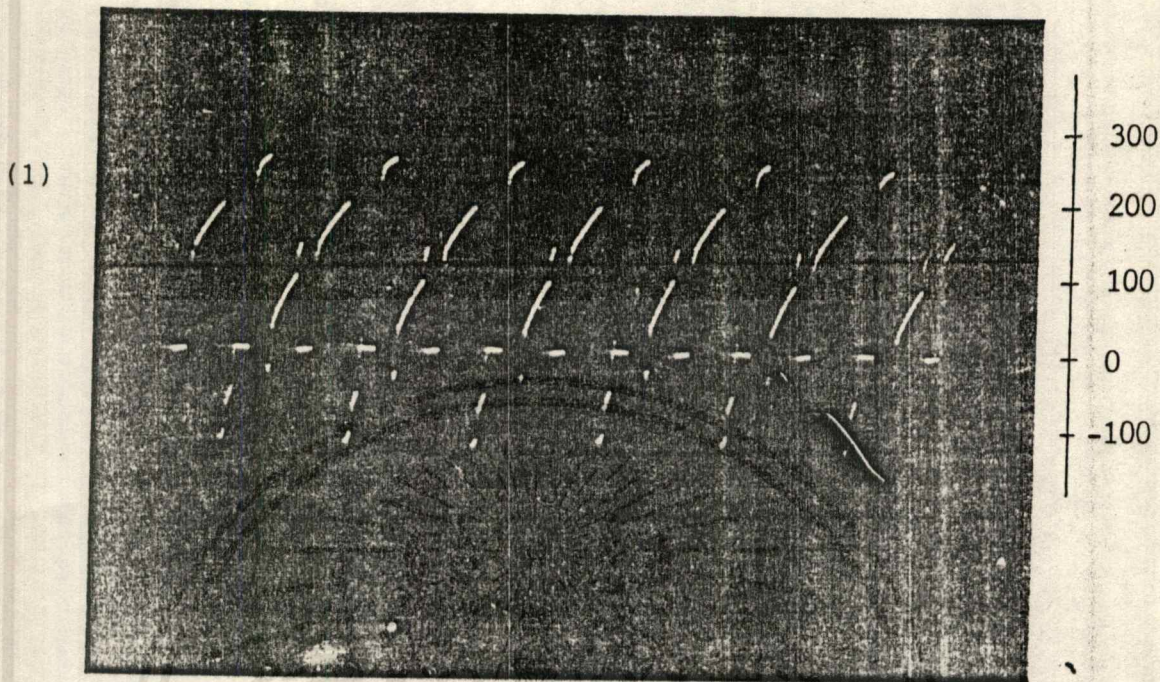
(1) กรณี 6 พัลส์ (2) กรณี 15 พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 คลื่นแรงดันเอกซ์โพทิซีของกระแสวิ่ง 6 พัลส์ ที่มุมเลี้ยวเฟส
(1) -90° (2) 0° (3) 90° ตามลำดับ

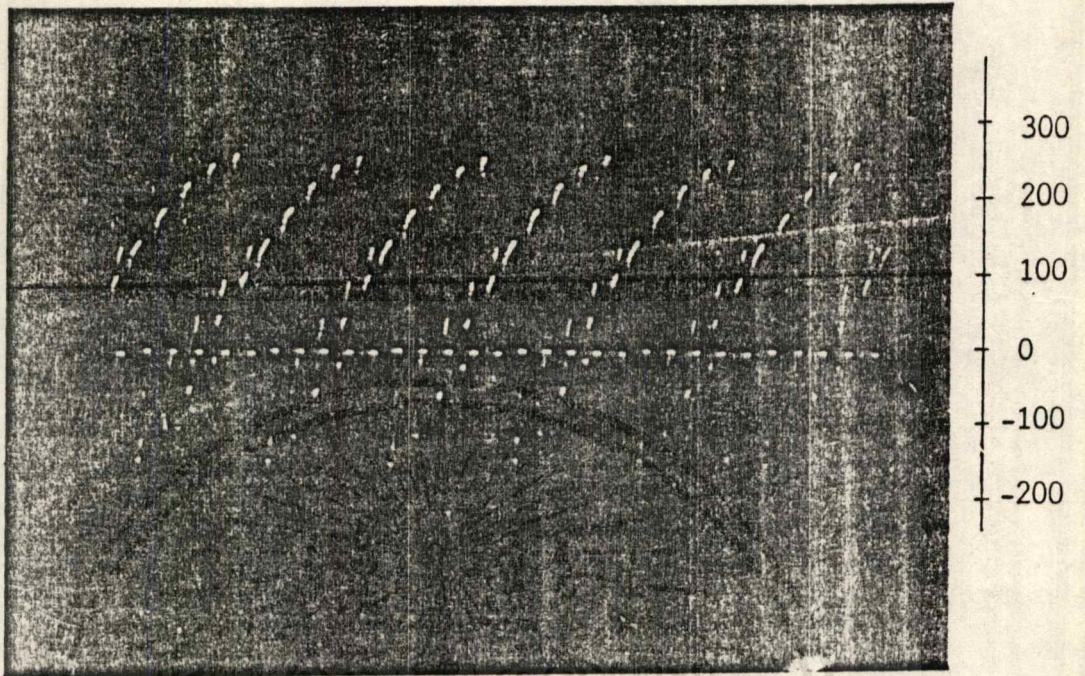
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



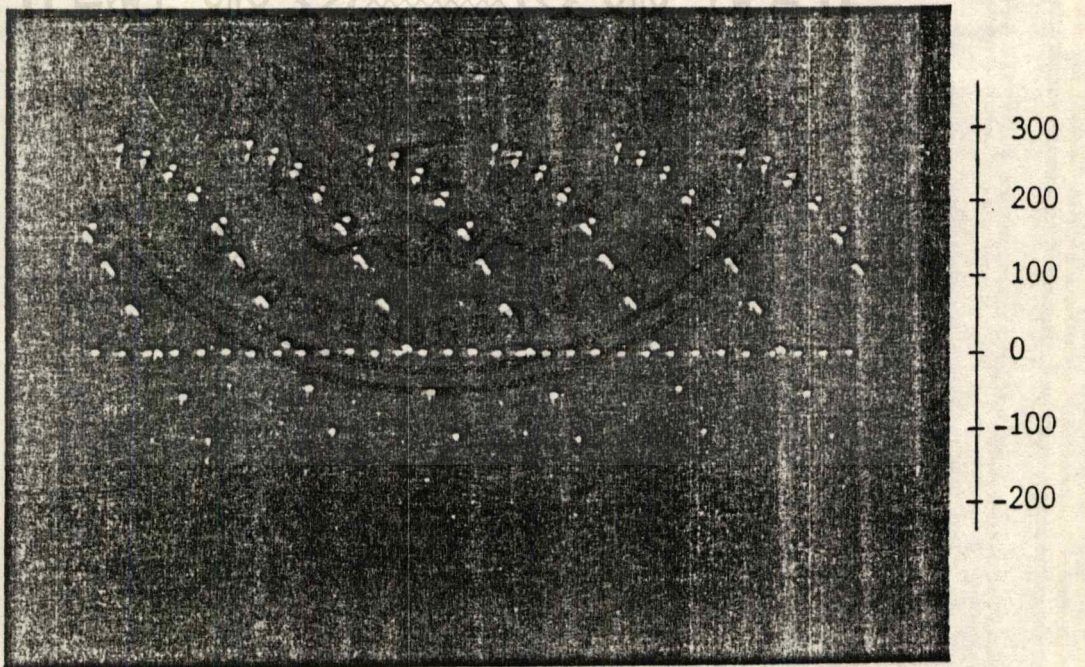
รูปที่ 6.5 ลักษณะคลื่นแรงดันเอาท์พุทตีซี กรณี 6 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส
(1) -60° (2) 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1)



(2)



รูปที่ 6.6 ลักษณะคลื่นแรงดันเอาก์พทดีซี กรณี 15 พัลส์ในครึ่งไซเคิล ที่มุมเลื่อนเฟส

(1) -60°

(2) 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากการสร้างวงจรควบคุมดิจิทัล โดยอาศัยการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการสร้างแพทเทิร์นของคลื่น PWM ได้ผลการทดสอบดังนี้

1. สามารถสร้างพัลส์ของ PWM ให้มีจำนวนพัลส์ได้ตั้งแต่ 6 พัลส์ จนถึง 48 พัลส์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 และ ตั้งแต่ 6 พัลส์ จนถึง 108 พัลส์ สำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8032

2. สามารถกำหนดค่าความกว้างของพัลส์(ค่าตัวประกอบมือคดูเลขขึ้น) ได้ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.95 โดยสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ละเอียดถึง 0.01

3. สามารถกำหนดค่ามุมเลื่อนเฟสได้ตั้งแต่ 90 องศาหน้าจนถึง 90 องศาหลัง(-90° ถึง $+90^{\circ}$) โดยสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ละเอียดถึง 1 องศา

4. นอกจากนี้ยังสามารถตั้งค่ากระแสและแรงดันเอาต์พุตได้อย่างต่อเนื่อง

สำหรับผลการทดสอบคอนเวอร์เตอร์นี้ไม่สามารถกระทำได้นื่องจากระหว่างการทดลองจี้ทีโอได้เบรคดาวนไม่สามารถทำการทดลองต่อได้เพราะไม่มีจี้ทีโอสำรอง สาเหตุของการเบรคดาวนนี้เองมาจาก

-ไดโอดที่นำมาต่ออนุกรมกับจี้ทีโอได้เสียไปก่อนแล้วดังนั้นจึงไม่สามารถบล็อกแรงดันย้อนกลับได้ประกอบกับจี้ทีโอไม่สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้ ทำให้เมื่อมีแรงดันย้อนกลับระหว่างอาโนดและคาโทดของจี้ทีโอ จี้ทีโอจึงเบรคดาวน

สามารถป้องกันปัญหาดังกล่าวได้โดยใช้ไดโอดอนุกรมกันหลายตัว เมื่อตัวใดตัวหนึ่งเบรคดาวนก็ยังมีตัวอื่นที่เหลือช่วยแบ็คอัพอีกต่อหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมเอเบิลอาร์เรย์ ลอจิก (PALs)

PALs (Programmable Array Logic) คือ อุปกรณ์ที่มีหน่วยความจำขนาดใหญ่รวมกันตระกูลหนึ่งซึ่งสามารถโปรแกรมแอนเกตได้โดยที่ออร์เกตจะมีค่าคงที่ในทางสถาปัตยกรรมอุปกรณ์เหล่านี้พบได้ในทั้ง TTL และ CMOS

PALs จะมี 20 ขา โดยแต่ละชนิดจะแสดงในรูปที่ 12.2-1 และ รายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละชนิดจะแสดงในตารางที่ 2

PALs อย่างง่ายที่ไม่มีรีจิสเตอร์ภายในคือ 10L8 ซึ่งมี 10 อินพุตและ 8 เอาต์พุต แอคทีฟโวลต์สัญญาณหลักของ 10L8 และโครงสร้างของลอจิกไดอะแกรมแสดงในรูปที่ 12.2-1 ส่วนรายละเอียดทางโครงสร้างของลอจิกไดอะแกรมแสดงในรูปที่ 12.2-2 ขา 1 ถึง 9 และเป็นขาอินพุตแต่ละขาของอินพุตจะเป็นบัฟเฟอร์ ตัวแปรอินพุตแต่ละตัวเป็นได้ทั้งรูปแบบปกติ และ คอมพลีเมนต์สำหรับแต่ละเส้นผลคูณส่วนขาเอาต์พุตคือขา 12-19 ขา 10 เป็นกราวด์และขา 20 คือ ไฟเลี้ยง 5 โวลต์

ขั้นแรกในการออกแบบ PAL เพื่อความสะดวกจะใช้ PALASM (พาล แอสเซมเบลอร์) ขั้นแรกของ PALASM คือแปลงสมการบูลีนให้เป็นฟังก์ชันตามต้องการเป็นดัง Fuse map โดย Fuse map คือ การแสดงให้เห็นถึงการกำหนดพิวส์ใน พาล โดยเครื่องมือที่แสดงรายละเอียดของฟังก์ชันบูลีนเครื่องมือโปรแกรมจะสามารถโปรแกรมพาล โดย พิวส์ แม้ปจะเทียบเท่ากับอินพุตที่เหมาะสมของพาล พิวส์แม้ปจะถูกส่งจากคอมพิวเตอร์ไปเครื่องมือโปรแกรมซึ่งต่อขนานกันโดยใช้ RS232 ในตารางที่ 1 จะแสดงรายละเอียดของการจัดรูปแบบของ PALASM

ตารางที่ 1 รายละเอียดการจัดรูปแบบของการออกแบบ PAL โดยใช้ PALASM

เป็นการออกแบบ PAL โดยการใช้เพิ่มข้อมูลของ PALASM รูปแบบของการออกแบบ PAL มีดังนี้

บรรทัดที่ 1 จะเป็นชื่อของ PAL ว่าใช้เบอร์อะไร

บรรทัดที่ 2 ชื่อของไฟล์ที่ผู้ใช้จะตั้ง

บรรทัดที่ 3 ชื่อของอุปกรณ์ที่นำมาใช้

บรรทัดที่ 4 ชื่อ บริษัท, เมือง, ผู้ใช้

บรรทัดที่ 5 แสดงรายละเอียดของขา PALS ชื่อสัญลักษณ์จะเรียงตามขา

ต้องมีที่ของขาไฟเลี้ยงและขากราวด์ ยกเว้นเครื่องหมาย =*/+() ไม่ต้องมีชื่อ

/ จะนำหน้าลอจิกที่เป็นคอมพลิเมนต์

บรรทัด ๓ สมการ

จะมี 3 แบบ

1. สัญลักษณ์ = สมการ

2. ถ้า(ผลคูณ)แล้ว สัญลักษณ์ = สมการ

3. สัญลักษณ์ = สมการ

เทอมต่อไปนี้จะใช้โครงสร้างตามสมการดังนี้

สัญลักษณ์ ชื่อขาตามด้วย /

ผลคูณ เรียงตามลำดับของสัญลักษณ์โดยใช้แอนเกตทำการคูณ(" * ")

ถ้า(IF)...แล้ว เงื่อนไขจะเท่ากันเมื่อผลคูณถูก กรณีอื่นจะเป็น ไช อิมพีแคนซ์

สมการ เรียงกันตามลำดับสัญลักษณ์แยกกันด้วยเครื่องหมายต่าง ๆ

เครื่องหมายต่าง ๆ

: คำอธิบาย

/ คอมพลิเมนต์นำหน้าชื่อขา

* ผลคูณ(AND)

+ ผลบวก(OR)

+: XOR

*: XNOR

() กรณีสามสถานะ (ประโยค IF) หรือสัญลักษณ์มีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= เท่ากับ
 := แทนการเปลี่ยน คล็อกจาก 0 เป็น 1

บรรทัดที่ n ความหมายของสถานะจากตารางฟังก์ชัน
 H ลอจิกมีค่าเป็น 1
 L ลอจิกมีค่าเป็น 0
 X ไม่มีผล
 C การเปลี่ยนแปลงจากสภาวะ 0 เป็น 1
 Z off (high impedance)

บรรทัดที่ o คำอธิบาย (การเลือกใช้กรณีที่มีตารางฟังก์ชัน)
 จะอธิบายเกี่ยวกับการทำงานและการใช้อุปกรณ์
 ในส่วนนี้จะเริ่มต้นด้วยคำว่า DESCRIPTION

ตารางรายชื่อ 2 ละเอียดของ PALs 20 ขา จากรูปที่ 1

Part number	รายละเอียด
PAL 10H8	ออร์เกท 6 ตัว 10 อินพุท แอนด์-ออร์ เกท อาร์เรย์
PAL 12H6	ออร์เกท 8 ตัว 12 อินพุท แอนด์-ออร์ เกท อาร์เรย์
PAL 14H4	ออร์เกท 4 ตัว 14 อินพุท แอนด์-ออร์ เกท อาร์เรย์
PAL 16H2	ออร์เกท 2 ตัว 16 อินพุท แอนด์-ออร์ เกท อาร์เรย์
PAL 16H1	16 อินพุท แอนด์-ออร์/แอนด์-ออร์ อินเวอร์เตอร์ อาร์เรย์
PAL 10L8	ออร์เกท 6 ตัว 10 อินพุทแอนด์-ออร์ อินเวอร์เตอร์เกท อาร์เรย์
PAL 12L6	ออร์เกท 8 ตัว 12 อินพุทแอนด์-ออร์ อินเวอร์เตอร์เกท อาร์เรย์
PAL 14L4	ออร์เกท 4 ตัว 14 อินพุทแอนด์-ออร์ อินเวอร์เตอร์เกท อาร์เรย์
PAL 16L2	ออร์เกท 2 ตัว 16 อินพุทแอนด์-ออร์ อินเวอร์เตอร์เกท อาร์เรย์
PAL 16L8	ออร์เกท 8 ตัว 16 อินพุทแอนด์-ออร์ อินเวอร์เตอร์เกท อาร์เรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางรายละเอียดของ PALs 20 ขา จากรูปที่ 1 (ต่อ)

Part number	รายละเอียด
PAL 16R8	ออร์เกท 8 ตัว 16 อินพุท รีจิสเตอร์ แอนด์-ออร์เกท อาร์เรย์
PAL 16R6	ออร์เกท 6 ตัว 16 อินพุท รีจิสเตอร์ แอนด์-ออร์เกท อาร์เรย์
PAL16R4	ออร์เกท 4 ตัว 16 อินพุท รีจิสเตอร์ แอนด์-ออร์เกท อาร์เรย์
PAL16X4	ออร์เกท 4 ตัว 16 อินพุท รีจิสเตอร์ แอนด์-ออร์-เอ็็กคลูซีฟออร์เกท อาร์เรย์
PAL16A4	ออร์เกท 4 ตัว 16 อินพุท รีจิสเตอร์ แอนด์-แคร์-ออร์-เอ็็กคลูซีฟออร์เกท

รายละเอียดของการออกแบบ PAL สำหรับแอดเดรสของตัวถอดรหัสแสดงดังรูปที่ 1
 รายละเอียดในการออกแบบนี้คือ อินพุทของ PALASM บรรทัดแรกระบุการเลือก PAL บรรทัดที่ 5 จะเป็นสัญลักษณ์ขาของ PAL ขา 1 คือ A15 ขา 2 คือ A14...ไปเรื่อย ๆ
 สัญลักษณ์อินพุทใช้แทนโดยคอมพลิเมนต์ของ IO/M ขาอินพุทที่ไม่ใช้จะแทนด้วย NC เอาท์พุทจะนำหน้าด้วย / แสดงให้เห็นว่าเป็นแอกทีฟ โลว์ สมการ SOP ของเอาท์พุทจะแสดงในบรรทัดที่ 6 และ 7 โดยจะแสดงเฉพาะเอาท์พุทในเทอมปกติ เอาท์พุทที่เป็นแอกทีฟโลว์ของ 10L8 จะเป็นคอมพลิเมนต์และท้ายสุดจะแสดงตารางฟังก์ชัน

PAL10L8

PAL DESIGN SPECIFICATION

EXAMPLE1

KENNETH L. SHORT

ADDRESS DECODE LOGIC

SUNY STONY BROOK

A15 A14 A13 A12 A11 IO NC NC NC GND NC NC NC NC NC NC NC /RWMCS /EPROMCS VCC

EPROMCS = /A15 * /A14 * /A13 * /IO

RWMCS = /A15 * /A14 * A13*/A12 * /A11 */IO

FUNCTION TABLE

A15 A14 A13 A12 A11 IO RWMCS EPROMCS

X	X	X	X	X	H	L	L	;MEMORY NOT SELECTED
L	L	L	X	X	L	H	H	;ALL LOCATION IN 8 K EPROM
L	L	H	L	L	L	H	L	;ALL LOCATION IN 2 K SRAM
X	X	H	L	H	L	L	L	;ALL LOCATION NOT IMPLEMENTED

DESCRIPTION

FULL DECODED ADDRESS DECODED : 8K EPROM ,0000H-1FFFH,2K SRAM, 2000H-27FFH

รูปที่ 1 รายละเอียดของการออกแบบ PAL สำหรับแอดเดรสของตัวถอดรหัส

สำหรับรูปที่ 2 จะแสดงพินส์ แม็ปของ PALASH รุ่นใหม่ที่สั้นกว่าเดิม โดยเฉพาะ เทอมของผลคูณจะแสดง พินส์ โบล เส้นของผลคูณจะมีตัวเลขแสดงทางซ้ายของแถว เฉพาะ เส้นของผลคูณเส้น 0 และ 8 มีพินส์โบลในตัวอย่างจะมีตัวเลขในคอลัมน์ข้างบนของ พินส์ แม็ป คอลัมน์จะแสดงทั้งรูปแบบปกติและคอมพลิเมนต์ของตัวแปรความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขคอลัมน์และ ตัวแปรอินพุทจะรู้ได้จากลอจิกไดอะแกรมของ 10L8 ในรูปที่ 12.2-2 ตัวแปรอินพุท A15 จะ ป้อนขา 1 เป็นสัญญาณปกติบนคอลัมน์ 2 และคอมพลิเมนต์บนคอลัมน์ 3 กรณีที่ไม่เกิด พินส์ โบล จะแทนด้วย X ถ้าเกิดแทนด้วย - ดังนั้น A15 คืออินพุทของแอนเทคคูณกับเส้น 0 ช่องว่างจะ ใช้แทนพินส์ที่ไม่มีอยู่ใน PAL สำหรับตัวอย่างที่ไม่มีพินส์อินเตอร์เซ็คชั่นของแถว 0 และคอลัมน์ 6 จะตรวจสอบลอจิกไดอะแกรมสำหรับ 10L8 ที่นี้ เส้นผลคูณระหว่างเส้น 0 กับเส้น 1 จะทำ ให้เกิดเอาท์พุทของอินพุทที่ขา 19 รายละเอียดสุดท้ายของพินส์ยังคงอยู่ ในเส้นผลคูณเส้น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะแสดงเทอมของผลคูณเพียงเทอมเดียวที่ต้องการและสามารถแปลงได้โดยใช้ตัวอักษรดังรูปที่ 12.2-2 และรูปที่ 1 เพื่อคูณรายละเอียดของขาที่เส้น 5 ผลรวมของผลคูณกับผลคูณเส้น 1 จะมีค่าลอจิกเป็น 0 เสมอ เพราะทั้งรูปแบบปกติและคอมพลีเมนต์ของตัวแปรอินพุตเกิดขึ้นที่อินพุตของแอนเดท

PAL20 V1.7D - PAL10L8 - ADDRESS DECODE LOGIC

11 1111 1111 2222 2222 2233

0123 4567 8901 2345 6789 0123 4567 8901

0 -X-X -X -- -- -X -- -- ----/A15*/A14*?A13*/IO

8 -X-X X- -X -X -X -- -- ----/A15*/A14*A13*/A12*/A11*/IO

รูปที่ 2 PALASM fuse map แบบสั้นสำหรับแอดเดรสของตัวถอดรหัส

บางส่วนของ 10L8 สามารถทำได้ดังตัวอย่าง ถ้าไม่ใช่เอาต์พุตของ 10L8 สามารถใช้ตำแหน่งตัวถอดรหัส อินพุต/เอาต์พุตได้ A8-A15 และ IO/M จะคล้ายอินพุตประกอบด้วยตำแหน่งตัวถอดรหัสของลอจิกต่าง ๆ สำหรับระบบ 8085A เอาต์พุต 8 ตัวสามารถ โปรแกรมโดยใช้ตำแหน่งตัวถอดรหัสเลือกหน่วยความจำของอุปกรณ์ 256 ไบท์ หรือมากกว่าและเลือกแยกอินพุต เอาต์พุตของอุปกรณ์ด้วยรีจิสเตอร์ตั้งแต่ 1 ถึง 256 อุปกรณ์อินพุต เอาต์พุตและหน่วยความจำที่ต้องการนี้มีส่วนแยก ชิป ซีเล็ค ชารிட และ ชารัท โดสทั้งสองจะทำงานสลับกันสามารถรวมกันได้เช่นเดียวกับอินพุตของ PAL โดยย้ายจาก A8 เหมือนอินพุต จะอนุญาตให้เลือกเอาต์พุตโดยใช้เงื่อนไขของชาริดและชารัท อุปกรณ์ส่วนน้อยที่จะใช้ตัวถอดรหัสได้หมด ในกรณี 512 x 8 และ แยก อินพุต/เอาต์พุตด้วยตัวถอดรหัสจะไม่มีทางใช้หมด ในกรณีอื่นที่คล้าย ๆ กันในการเลือก PAL ด้วยจำนวนอินพุตที่มากแต่เอาต์พุตน้อย เช่น ใน 12L6 ดังนั้น ในระบบเล็ก ๆ ทั้งหมด ตำแหน่งตัวถอดรหัส ทั้งหมดควรเท่ากับหรือน้อยกว่า PAL

การเลือกจากตารางฟังก์ชันซึ่งเป็นรายละเอียดอินพุตของ PAL ทำได้จากทั้งเอกสารและการออกแบบไปเรื่อย ๆ ตารางฟังก์ชันประกอบด้วยการเลือกขาของอินพุตและเอาต์พุตที่เกิดขึ้นโดยการเลือกของ Test vector ซึ่งก็คือ ลำดับของสถานะในคำสั่งเช่นเดียวกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกขาคจากตารางฟังก์ชัน รายละเอียดของสถานะอินพุทจะทำให้เห็นถึงค่าสถานะเอาต์พุทของ PAL สถานะ H คือ 1 L คือ 0 และกรณี don't careค่าของตารางฟังก์ชันจะเหมือนกันกับตารางค่าความจริง สำหรับฟังก์ชันที่จะใช้เป็นเครื่องมืออย่างไรก็ตามสิ่งที่ไม่เหมือนตารางค่าความจริงคือ อินพุททั้งคู่ไม่มีรายละเอียดในตารางฟังก์ชันค่าเท็จใน PALASM จะช่วยผู้ออกแบบในด้านความแน่นอนในการตรวจจับค่าผลคูณของเส้นทั้งหมดที่ไม่เกิดขึ้น โดยทำที่ 1 หรือ 0 ขบวนการทำของค่าเท็จที่ใช้ทดสอบจะหยุดเมื่อค่าที่ไม่เกิดขึ้นของการเข้ารหัสจากตารางฟังก์ชันไม่ถูกตรวจจับ PALASM เป็นเครื่องแสดงถึงเทอมผลคูณและชนิดของค่าเท็จที่ไม่สามารถตรวจจับได้ ดังรูปที่ 3 แสดงผลการตอบสนองเอาต์พุทของ PALASM สำหรับค่าเท็จของตำแหน่งตัวถอดรหัส

OUTPUT POLARITY WORD XXXXXXXX

LEGEND: X : FUSE NOT BLOWN (L,N,0) --: FUSE BLOWN (H,P,1)

NUMBER OF FUSE BLOWN = 54

SECURITY FUSE XX

ADDRESS DECODE LOGIC

1 XXXXX1XXXXXXXXXXXXHH1

2 000XX0XXXXXXXXXXXXHL1

3 001000XXXXXXXXXXXXLH1

4 `XX1010XXXXXXXXXXXXHH1

PASS SIMULATION

NUMBER OF STUCK AT ONE (SA1) FAULTS ARE = 2

NUMBER OF STUCK AT ZERO (SA0) FAULTS ARE = 2

PRODUCT TERM COVERAGE = 100 %

รูปที่ 3 แสดงผลการตอบสนองเอาต์พุทของ PALASM สำหรับค่าเท็จ
ของตำแหน่งตัวถอดรหัส

PALASM จะรวมการขีมือเลเตอร์ซึ่งสามารถตรวจสอบรายละเอียดของสมการกับการเข้าตารางฟังก์ชันและจะแสดงค่าความผิดพลาดที่แตกต่างกันแต่ละอย่าง อินพุตทั้งหมดในสมการบูลีนจะมีค่ารายละเอียดเฉพาะในตารางฟังก์ชันเวคเตอร์และสมการจะถูกคำนวณผลนี้และรายละเอียดเอาต์พุตจะถูกเปรียบเทียบโดยตารางฟังก์ชัน don't care ,x จะเป็นไปดังนี้เช่นเดียวกับ อินพุต test vector จะถูกแทนด้วย 0s ของขีมือเลเตอร์ ฟังก์ชันของขีมือเลเตอร์จะแปลตารางฟังก์ชันเวคเตอร์ให้เข้าอยู่ในระบบของ test vector นั่นคือต้องใช้สำหรับฟังก์ชันทดสอบของอุปกรณ์ PAL หลังจากประดิษฐ์ขึ้นแล้ว อุปกรณ์ PAL ที่ซับซ้อนขึ้นจะมีโครงสร้างเอาต์พุตที่เป็นไปได้จำนวนมาก 4. โครงสร้างที่จะพิจารณาทั้งหมดจะประกอบด้วย การป้อนกลับจากขาเอาต์พุต PALs กับโปรแกรมเอเบิลอินพุตเอาต์พุตจะยอมให้ขาเป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ดูรูปที่ 12.2-7 (a) เอาต์พุตของออร์เกตจะเป็นบัฟเฟอร์โดยใช้อินเวอร์ตบัฟเฟอร์เป็นบัฟเฟอร์สามสถานะก่อนต่อเชื่อมกับขา อินพุต/เอาต์พุตของ PAL บัฟเฟอร์สามสถานะเกิดขึ้นได้โดยใช้เทอมผลคูณเมื่อบัฟเฟอร์เกิดขึ้นขา I/O จะเป็นขาเอาต์พุตและเป็นขาขับโดยใช้คอมพลิเมนต์ของเอาต์พุตออร์เกต ถ้า I/O ถูกโปรแกรมโดยฟังก์ชันให้เหมือนกับเอาต์พุตเท่านั้น ดังนั้น PALASM จะต้องระบุคำสั่งทั้งหมดในเส้นผลคูณของแอนเกตต้องควบคุมบัฟเฟอร์สามสถานะนั้นให้เปิดออก ถ้าคองที่เอาต์พุตแอนเกตมีค่าลอจิก 1 เอาต์พุตและคอมพลิเมนต์ของมันจะเป็นเช่นเดียวกับอินพุตของเทอมผลคูณเมื่อไม่เกิดบัฟเฟอร์ ขา I/O จะเป็นขาอินพุตทั้งแอนเกตและออร์เกตที่เชื่อมต่อกับขา I/O จะไม่ถูกใช้เมื่อขา I/O ถูกโปรแกรมโดยอินพุตคองที่ 1 คำสั่งทั้งหมดบนเส้นผลคูณของแอนเกตจะถูกทำให้หลุดออกจากกันโดยสมบูรณ์ให้อเอาต์พุตคองที่มีค่าทางลอจิกเป็น 0 โปรแกรม I/O จะยอมให้ผู้ออกแบบเปลี่ยนอัตราส่วนของอินพุตและเอาต์พุตที่เกิดขึ้นบน PAL โดยจัดแบ่งขาสำหรับอินพุตและขาอื่น ๆ สำหรับเอาต์พุต เช่น 16L8 มีอินพุต 10 ขาคองที่เอาต์พุต 2 ขาคองที่ และ 6 ขาโปรแกรม I/O โดยสองในสามสถานะของเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะไม่มี การป้อนกลับต่อเชื่อมกับแอนอาเรย์และสามารถใช้เฉพาะเอาต์พุตดังนั้น 16L8 สามารถใช้ได้ตั้งแต่ 10 อินพุต 8 เอาต์พุต จนถึง 16 อินพุต และ 2 เอาต์พุต

ส่วนสำคัญของโปรแกรม I/O จะประกอบด้วย อินพุต เอาต์พุต สองทิศทาง ซึ่งจะทำสำเร็จได้โดยระบุเอาต์พุตโดยสมการในลักษณะดังนี้คือ

$$\text{ถ้า (ผลคูณ) แล้ว สัญญลักษณ์} = \text{สมการ}$$

จะแสดงในตารางที่ 1 ผลคูณ คือเทอมของผลคูณจะเกิดขึ้นโดย แอนเกทควบ
คุมเอาก์พุกบัพเฟอ์ เมื่อเทอมผลคูณมีค่าลจิกเป็น 1 ซาI/O จะเป็นซาเอาก์พุกและจะแสดงค่า
ลจิกเป็น 0 หรือค่า 1 ขึ้นอยู่กับสมการกรณีอื่น เอาก์พุกบัพเฟอ์มีสถานะเป็น ไซ อิมพีแคนซ์
และซา 1 จะเป็นซาอินพุก

PALS ที่มี รีจิสเตอร์คาค้าเอาก์พุกจะยอมให้เอาก์พุกของออร์เกทเป็นซาทริก
ซาบวทของดีฟลิปฟลอปครูปที่ 12.2-7(b) อินพุกเดีซาของ PAL จะประกอบด้วยสัญญาณคล็อก
ซึ่งเป็นสัญญาณปกติของฟลิปฟลอปทุกตัวบน PAL เอาก์พุกรีจิสเตอร์จะระบุโดยสมการ

สัญญาณลักษณะ = สมการ

เอาก์พุกของดีฟลิปฟลอปจะนำค่าของสมการออกเมื่อพัลส์ของคล็อกเปลี่ยนจากศูนย์เป็นหนึ่ง
กรณีอื่นของ PAL อินพุกจะควบคุมเอาก์พุกสามสถานะของฟลิปฟลอป ทั้งหมด เอาก์พุก Q
ของฟลิปฟลอปจะป้อนกลับเป็นบัพเฟอ์ประกอบด้วยทั้งสัญญาณปกติและคอมพลีเมนต์ของข้อมูลที่
เก็บไว้ในฟลิปฟลอปจนถึงเทอมผลคูณ /การป้อนกลับจะทำให้ PAL จำสถานะป้อนกลับที่เกิดขึ้น
ก่อนและทำให้เกิดสถานะของเครื่องมือที่เป็นได้

กรณีโครงสร้างของเอาก์พุกประกอบด้วยฟังก์ชันเอ็กคลูซีฟออร์ของสมการ SOP สม
การในการรวมเป็น รีจิสเตอร์คาค้าเอาก์พุก ครูปที่ 12.2-7(c) อุปกรณ์ชนิดนี้ใช้ใน 16X4
การรวมกันของผลการป้อนกลับของเกทสำหรับ เอ็กคลูซีฟออร์จะแสดงในรูปที่ 12.2-7(d)
โครงสร้างนี้ใช้ใน 16A4 ใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์เช่นเดีซากับการบวท, ลบ, มากกว่าและน้อยกว่า
ตามประสิทธิภาพของเครื่องมือ

คุณสมบัติที่อธิบายนี้จะพบได้ใน PALชนิด 20 ซาในกรณี PAL ที่ไม่ใช่ 20 ซา จะมีข้อ
แนะนำการใช้ประกอบกับคุณสมบัติ คุณสมบัติอย่างหนึ่งที่พบได้ในบางส่วนของอุปกรณ์คือ รีจิส
เตอร์จะแล็ชอินพุกไว้ อินพุกรีจิสเตอร์จะมีดีฟลิปฟลอปแปดตัว ซึ่งก็คือโปรแกรมเอเบิลตั้งนั้นมันจึง
สามารถเป็นฟังก์ชันเช่นเดีซากับรีจิสเตอร์หรือเช่นเดีซากับอินพุกบัพเฟอ์ คุณสมบัติอื่น ๆ เอาก์
พุกสามารถเลือกได้ คือสามารถเลือกที่จะโปรแกรมเอาก์พุกได้ ผ่านเอาก์พุกจากอินพุกหนึ่ง
ของสองอินพุกเอ็กคลูซีฟออร์เกท จะทำได้โดยอินพุกที่สองของเกทจะต่อเชื่อมพิวส์กับกราวน์เมื่อ
พิวส์ถูกเปิดออกอินพุกจะถูกคอมพลีเมนต์ PALจะมีทั้งชนิด 24, 40 และ 80 ซา

final fuse เป็นคุณสมบัติของ PAL ที่ยอมให้ช่วย พิวส์ถูกเปิดออกหลังจาก PAL
ถูกโปรแกรมและตรวจสอบแล้ว เมื่อพิวส์ถูกเปิดออก พิวส์แม่ปของ PAL ไม่สามารถอ่านจาก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAL ได้ อีกทั้งไม่สามารถที่จะป้องกันการลอกเลียนแบบหรือการแสดงผลฟังก์ชันของเครื่องมือ โดยโปรแกรม PAL ได้

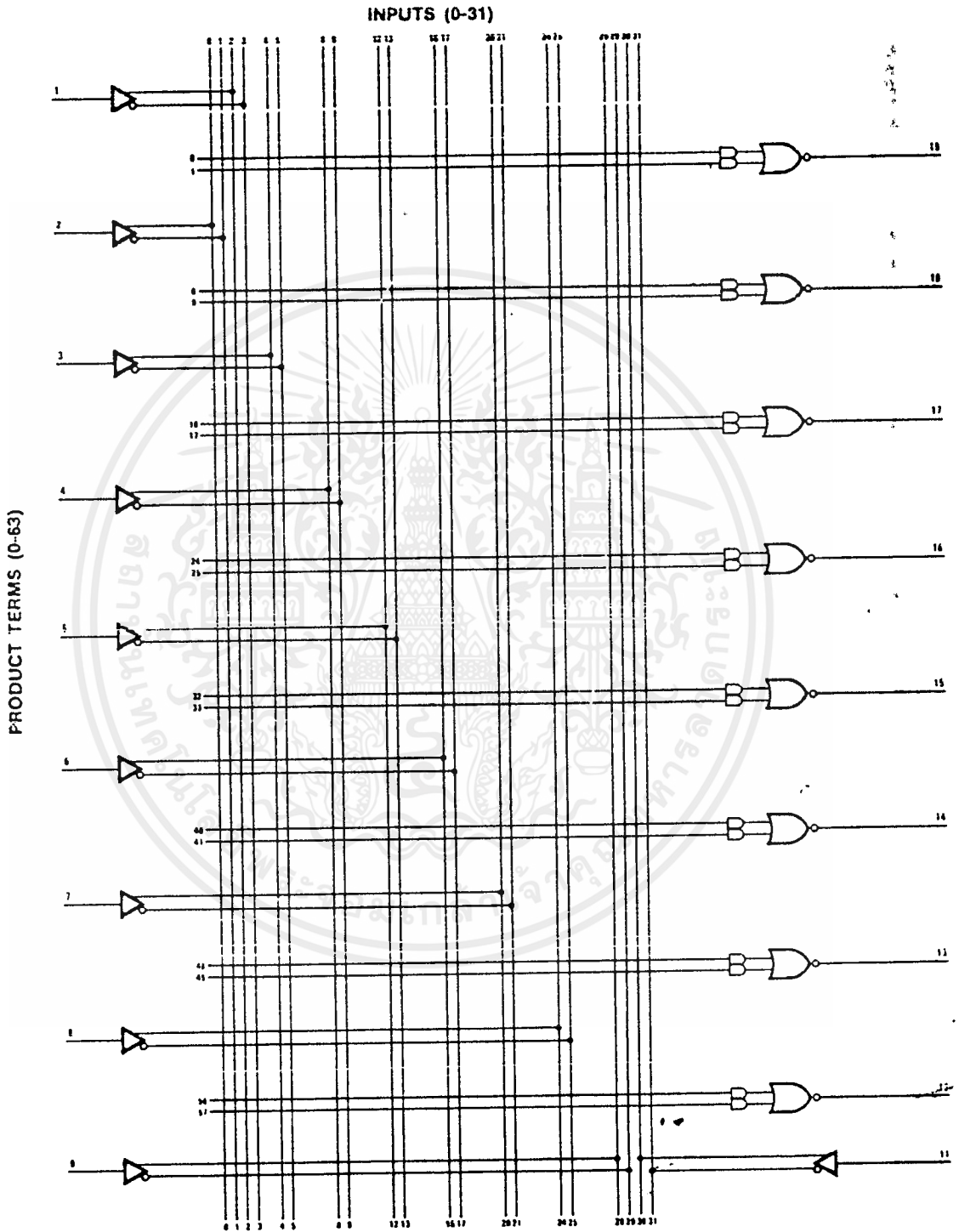
การสร้าง PAL อีกทางโดยใช้โปรแกรมเอเบิ้ลเอาท์พุทที่มีจำนวนเซลล์ขนาดใหญ่ ซึ่งแต่ละเซลล์จะโปรแกรมตัวเองด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ของ โครงสร้างเอาท์พุทที่อธิบายมาแล้วเช่น AmPAL 22V10 จะมี 24 ขา จะหลอมอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรมเอเบิ้ล ทางสถาปัตยกรรมของ เซลล์ขนาดใหญ่ แต่ละเซลล์เอาท์พุทขนาดใหญ่สามารถโปรแกรมได้ โดยประกอบด้วยเอาท์พุท 4 ตัว คือ รีจิสเตอร์แอกทีฟโวล , รีจิสเตอร์ แอกทีฟ โย, เอาท์พุทสองทิศทาง แอกทีฟ โวลและ โย AmPAL ยังสามารถที่จะออกแบบได้อีกหลายวิธีในกรณีที่ออกแบบโดยใช้วิธีแรก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAL Family

Logic Diagram PAL10L8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

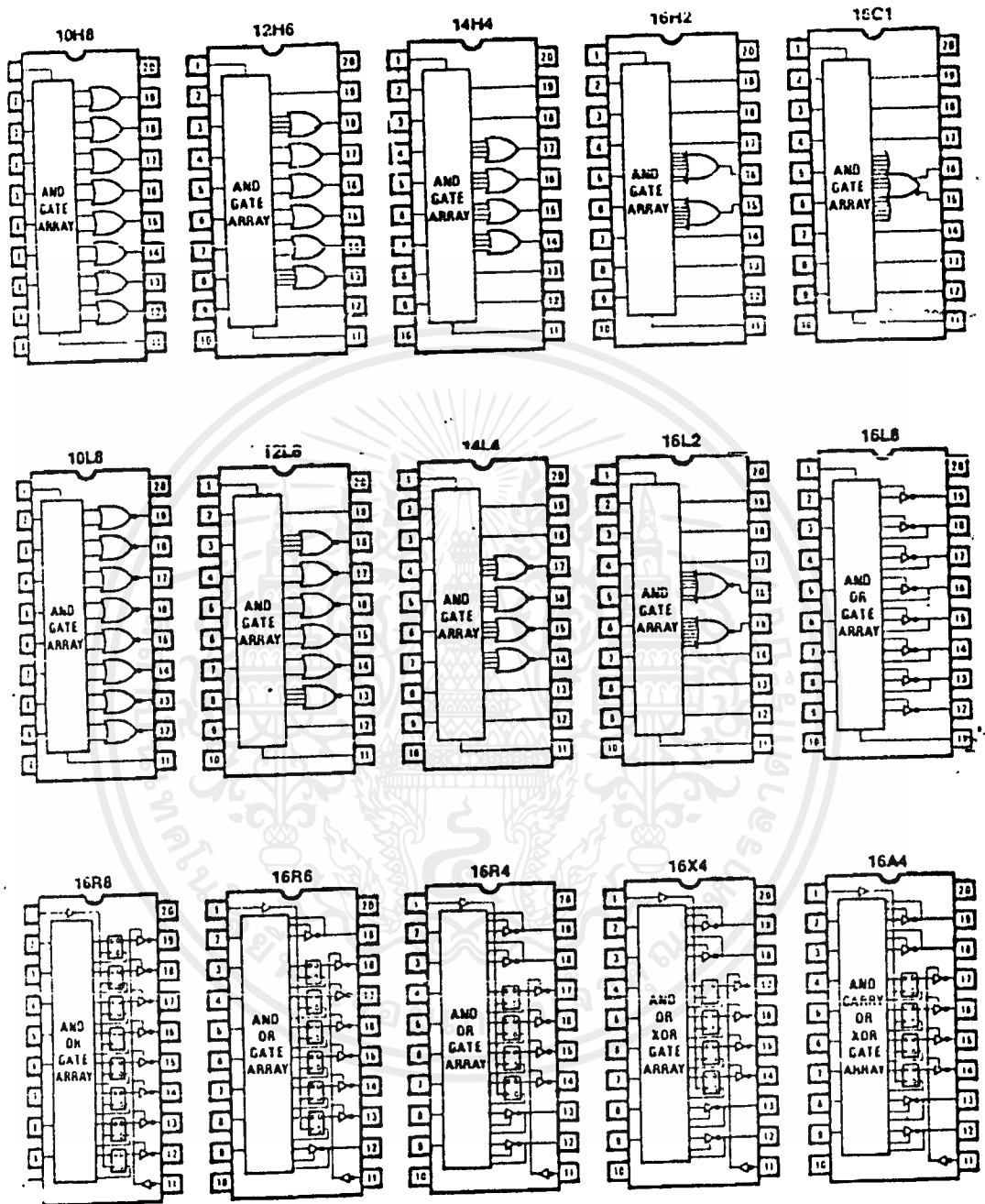


Figure 12.2-1 20-pin PALs. (Courtesy of Monolithic Memories.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

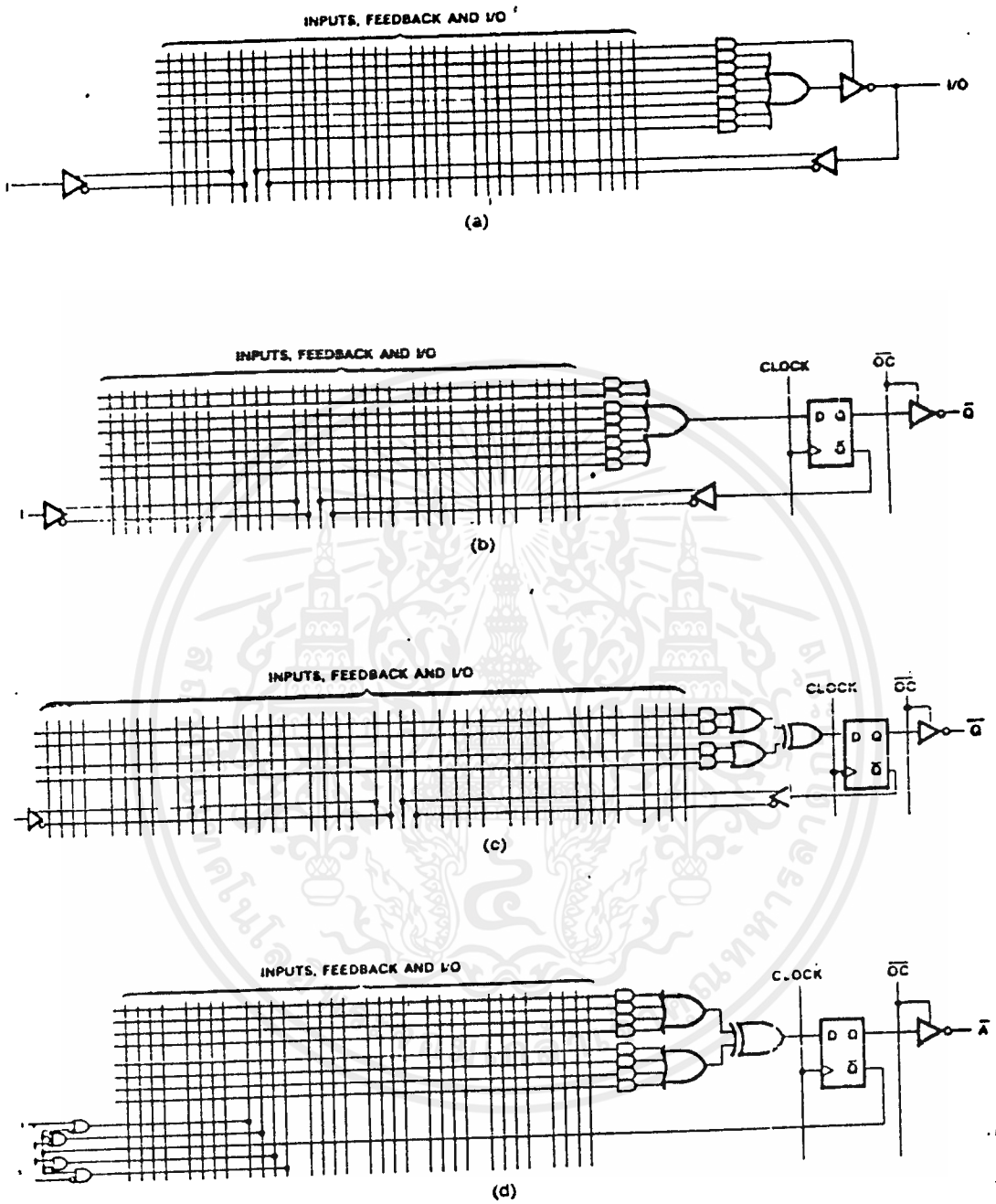
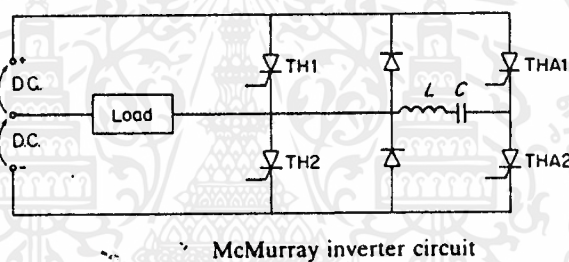


Figure 12.2-7 PAL output structures: (a) programmable I/O; (b) registered data outputs; (c) EX-OR function; (d) arithmetic gated feedback. (Courtesy of Monolithic Memories.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

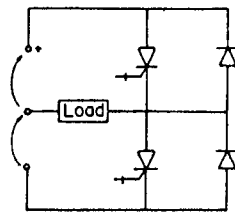
1. จีทีโอ ไทริสเตอร์ (Gate turn off thyristor)

ไทริสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งที่ใช้มาเป็นเวลานาน การเปลี่ยนสภาวะจาก turn on เป็น turn off นั้นถ้าในกรณีของวงจรวจรเอชไอ ไทริสเตอร์จะถูกเปลี่ยนสภาวะจาก นำกระแส ไปเป็น turn off โดยธรรมชาติในทุก ๆ ไซเคิล ส่วนในกรณีของวงจรวจรดีซีนั้น การที่จะทำให้ ไทริสเตอร์เปลี่ยนจาก นำกระแส เป็นหยุดนำกระแส นั้น จำเป็นต้องอาศัยวงจรรายนอก โดยใช้วงจรวจร ฟอรัช คอมมิวเตชัน ซึ่งประกอบด้วย ขดลวดและตัวเก็บประจุดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจร แม็ค เมอเลย์ อินเวอร์เตอร์

จีทีโอไทริสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งที่สามารถเปลี่ยนสภาวะจากหยุดนำกระแสได้โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าบวกหรือลบเข้าที่ขาเกต ฉะนั้นถ้าใช้จีทีโอไทริสเตอร์ วงจรวจร ฟอรัช คอมมิวเตชันจึงไม่จำเป็น จีทีโอไทริสเตอร์อาจเปรียบเสมือนเพาเวอร์ไทริสเตอร์ซึ่งจัดเป็นอุปกรณ์ fully gate controlled power switches ถ้าวงจรวจรดังรูปที่ 1 นั้นใช้ จีทีโอไทริสเตอร์แทนดังแสดงในรูปที่ 2 นั้นลักษณะวงจรมีรูปแบบที่ง่ายในอุปกรณ์น้อยกว่ามีน้ำหนักเบาและประสิทธิภาพสูงกว่า

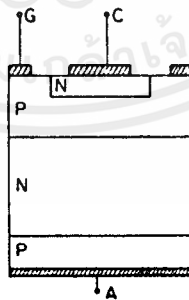


Simple GTO inverter circuit

รูปที่ 2 วงจรจี้โอไทรสเตอร์

๒. ภายนอกของจี้โอไทรสเตอร์

จี้โอไทรสเตอร์มีลักษณะคล้ายกับส่วนประกอบพื้นฐานของ ไทรสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3



Basic cell structure of a GTO thyristor

รูปที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานของจี้โอไทรสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จีโอโทริสเตอร์และ ทริสเตอร์มีส่วนแตกต่างกันที่สำคัญคือ จีโอโทริสเตอร์มีรูปทรงยาวกว่า ชั้นอีมีเตอร์แคบ และ ถูกล้อมรอบด้วยขั้วเกต (ชั้นพี) ในช่วงการ นำกระแส ขาเกตถูกไบแอสโดยให้ เกตมีศักย์สูงกว่าคาโธดทำให้จีโอ หยุคนำกระแส ซึ่งเหมือนกับการ นำกระแส ของทริสเตอร์เงื่อนไข ที่ทำให้จีโอ นำกระแส คือ

$$\alpha_{nbn} + \alpha_{pnp} > 1$$

เมื่อ α_{nbn} และ α_{pnp} เป็น common base current gain ของ ทรานซิสเตอร์ npn และ pnp การ นำกระแส เริ่มต้นที่ขอบรอยต่อของชั้นอีมีเตอร์ที่ติดอยู่กับขั้วเกตและจีโอ ทริสเตอร์

เข้าสู่สภาวะการนำกระแสโดยสมบูรณ์ โดยขบวนการแผ่กระจายของพลาสมา

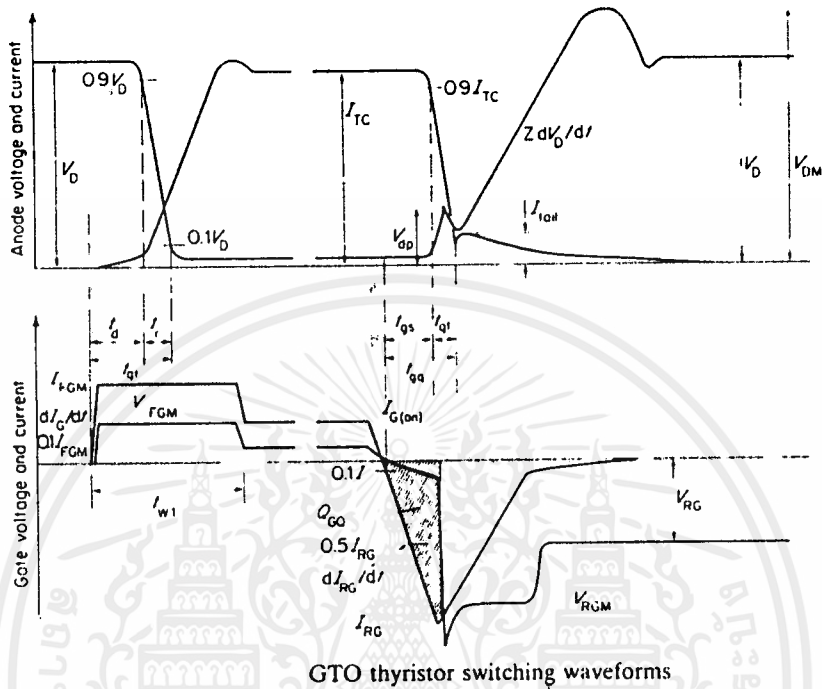
การ turn off ขาเกตถูกไบแอสโดยให้เกตมีศักย์ต่ำกว่าคาโธดทำให้กระแสไฟฟ้า ไหลออกที่เกตซึ่งเปรียบเสมือนดึงกระแสไฟฟ้าออกจากชั้นพีเบสดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 จีโอโทริสเตอร์ขณะ หยุคนำกระแส

ขั้นตอนที่ จีโอโทริสเตอร์ หยุคนำกระแส เริ่มต้นขึ้นที่ขอบรอยต่อของชั้นอีมีเตอร์ที่ติดกับขั้วเกต เมื่อ J3 (รอยต่อระหว่างชั้นพีเบส และ อีมีเตอร์ ,G และ C) ถูก รีเวอร์สไบอัส และระหว่างที่การหยุคนำกระแสกำลังดำเนินอยู่นั้นความกว้างของพื้นที่นำกระแสไฟฟ้าในชั้น เอ็น-อีมีเตอร์ ค่อย ๆ ลดลงจนเหลือเฉพาะบริเวณกึ่งกลางและเมื่อถูกรีเวอร์สไบอัส มากขึ้นความกว้างของพื้นที่นำกระแสในชั้น เอ็น-อีมีเตอร์ลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่จะทำให้ จีโอโทริสเตอร์นำกระแสอยู่ได้ ช่วงนี้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าบริเวณกึ่งกลางชั้น เอ็น-อีมีเตอร์มีค่าสูงมากซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า

storage period เมื่อถึงกระแสไฟฟ้าออกจากขาเกตมากขึ้นจนทำให้กระแสที่ขั้วแอนโอดลดลงและมีค่าน้อยกว่าที่จะทำให้จังก์ชันไอโทริสเตอร์ นำกระแสอยู่ได้ จังก์ชันไอโทริสเตอร์ก็จะเข้าสู่สภาวะหยุดนำกระแส รายละเอียดการนำกระแส และ หยุดนำกระแสของจังก์ชันไอโทริสเตอร์แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 waveforms ของจังก์ชันไอโทริสเตอร์

จากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของประจุต่างๆในตัวจังก์ชันไอโทริสเตอร์สามารถหาค่าต่าง ๆ

ได้ดังนี้

$$t_{\text{off}} = (g-1)t_{\text{ce}} \ln \left[\frac{SL_n^2/W_D^2 + 2L_n^2/W_D^2 - g + 1}{4L_n^2/W_D^2 - g + 1} \right]$$

เมื่อ

$g = I_A/I_G$ turn-off gain

t_{ce} = P-base transit time

s = ความกว้างของชั้นอิมิตเตอร์

L_n = ความยาวของการแพร่โอเด็คตรอนในชั้น พีเบส

W_D = ความกว้างของชั้น พีเบส

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่า storage time มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่า turn-off gain หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือการหยุดนำกระแสใช้เวลามากขึ้นเมื่อกระแสเกตลดลง ค่า turn-off gain มีค่าสูงสุดเท่ากับ

$$g_{max} = 1 + 4L_n^2 / W_p^2$$

ซึ่งค่า L_n ในสมการข้างต้นนั้นคือค่าความกว้างของพื้นที่นำกระแสไฟฟ้าที่จำเป็นที่จะทำให้อิโทไดโอดทรานซิสเตอร์นำกระแสอยู่ได้ ค่า turn-off gain สามารถหาได้จากแบบจำลองทรานซิสเตอร์ 2 ตัว (แบบสมมูลของอิมิตอร์) กระแสเบสที่ทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นต้องการมีค่าเท่ากับ $(1 - \alpha_{npn}) I_K$ เมื่อกระแสที่แท้จริงคือ $(\alpha_{npn} I_A + I_G)$ และ อิมิตอร์ทรานซิสเตอร์จะหยุดนำกระแสก็ต่อเมื่อ

$$\alpha_{npn} I_A + I_G < (1 - \alpha_{npn}) I_K$$

แต่ $I_A + I_G = I_K$

$$g = I_A / I_G < \alpha_{npn} / (\alpha_{npn} + \alpha_{pnp} - 1)$$

ปัจจัยสำคัญอื่น ๆ ที่มีผลต่อการหยุดนำกระแสของอิมิตอร์ทรานซิสเตอร์ คือค่าความต้านทานของชั้นพีเบสมีผลต่อค่ากระแสเกตสูงสุดซึ่งเท่ากับ

$$I_G = 4V_{GK} / R_B$$

เมื่อ

V_{GK} : Breakdown voltage ของ J3 (พีเบสและอิมิตอร์)

R_B : ความต้านทานขอบรอยต่อของชั้นพีเบส

R_B สามารถหาได้โดย

$$R_B = \rho_n S / L$$

เมื่อ

ρ_n : ความต้านทานของแผ่นชั้นพีเบส

L : ความยาวชั้นอิมิตอร์

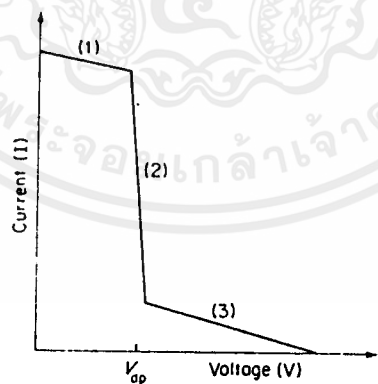
S : ความกว้างชั้นอิมิตอร์

ส่วนสำคัญในการออกแบบอิมิตอร์ทรานซิสเตอร์คือความสามารถในการหยุดนำกระแส การหยุดนำกระแสที่กระแสอาโนดและอาโนดโวลเตจสูง ๆ จะเกิดความเค้นสูงมากกระทำต่ออิมิตอร์ทรานซิสเตอร์ส่งผลทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นจนทำให้เกิดอิมิตอร์ทรานซิสเตอร์เสียหาย แต่ถ้ามีการออกแบบและใช้งานอย่างถูกต้องแล้วการเสียหายจะไม่เกิดขึ้นจากการศึกษาพบว่าในช่วงการหยุดนำกระแสอุณหภูมิ :

เวท J2 สามารถสูงถึง 600 องศาเซลเซียส และถ้าสูงถึง 700 องศาเซลเซียส ความร้อนจะทำให้เกิดการเจเนอเรทกระแสขึ้นในบางพื้นที่ในตัวจีทีโอไทรซิสเตอร์และถ้าสูงกว่า turn - off gate current แล้วทำให้การหยุดนำกระแสผิดพลาด อาโนดโวลเตจในช่วง fall time นั้นสมมติให้เป็น V_{dp} เมื่อ V_{dp} พิจารณาได้จากอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ npn โดยที่ค่า V_{dp} ลดลงเมื่ออัตราขยายของทรานซิสเตอร์มีค่าสูงขึ้นหรือพิจารณาได้จากความกว้างของขึ้น เอ็น-เบส โดยที่ V_{dp} แปรผันกับ W_n

หลังจากช่วง fall time เมื่อรอต่อขึ้นอีมีเตอร์ J3 เข้าสู่สภาวะปกติแล้ว ถ้าบริเวณที่กระแสไฟฟ้าไหลในตัวจีทีโอไทรซิสเตอร์เพิ่มขึ้นและอาโนดโวลเตจมีค่าสูงขึ้นแม้ว่าปริมาณกระแสจะน้อย อาโนดโวลเตจอาจจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงนี้ และส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมาจากค่าความจุไฟฟ้า dv/dt ซึ่งอาจทำให้เกิดการทรักซ์และทำให้อุปกรณ์เสียหาย

จากสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสียหายข้างต้นนั้นเป็นผลจากการที่กระแสอาโนดเพิ่มขึ้นนั้นจึงจำเป็นต้องจำกัดค่ากระแสอาโนดสูงสุด ($I_{a, max}$) ซึ่งเป็นค่ากระแสอาโนดสูงสุดที่สามารถหยุดนำกระแสได้ด้วยสัญญาณเกต เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานจีทีโอไทรซิสเตอร์จึงมีการกำหนด Safe Operating Area (SOA) ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6



Safe operating area for a GTO thyristor

รูปที่ 6 Safe Operating Area ของจีทีโอไทรซิสเตอร์

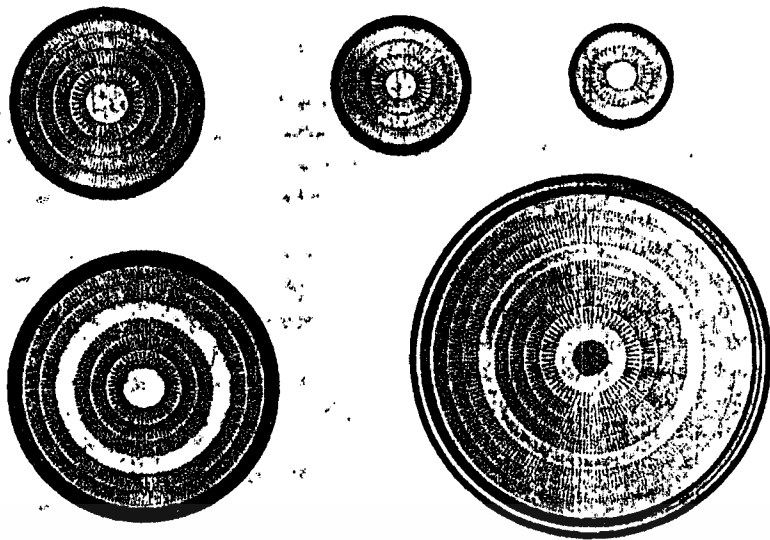
ซึ่งสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. แสดงขีดจำกัดของ I_{cem}
2. แสดงขีดจำกัดของ V_{dp}
3. แสดงขีดจำกัดของกระแสในช่วง fall time

ถ้ามีการใช้งานนอกขอบเขตนี้จะทำให้จีโอโทรวิสเตอร์เสียหายได้

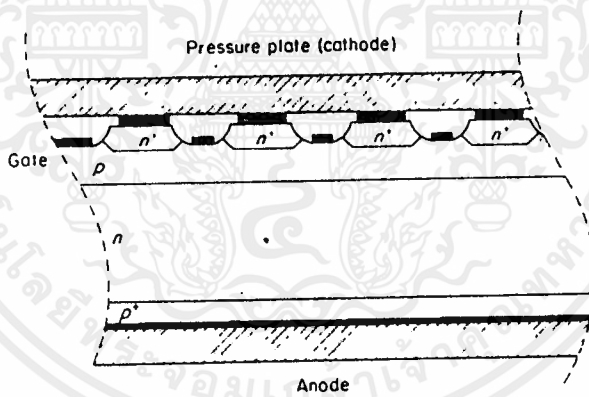
3. การออกแบบจีโอโทรวิสเตอร์

ข้อแม้ในการออกแบบที่จำเป็นได้กล่าวไว้ในหัวข้อข้างต้นแล้ว และส่วนสำคัญคือค่าความต้านทานในชั้นพีเบส (R_b) ค่า R_b มีผลต่อ เบรคดาวน์โวลเตจ (V_{ok}) โดยในทางปฏิบัติพยายามให้ R_b มีค่าน้อยเพื่อให้ npn gain มีค่ามาก คือให้ R_b มีค่าระหว่าง 100-250 โอห์ม และ V_{ok} มีค่าประมาณ 15-25 โวลต์ การที่จะทำให้ความต้านทานในชั้นพีเบสมีค่าน้อย ทำได้โดยให้ความกว้างชั้นอีมิเตอร์ (S) มีค่าน้อยและความยาวชั้นอีมิเตอร์ (L) มีค่ามาก ส่วนจีโอโทรวิสเตอร์กำลังสูงควรมีลักษณะ radial cell array ดังรูปที่ 7 และลักษณะรอยต่อเป็นดังรูปที่ 8 ข้อได้เปรียบของโครงสร้างแบบนี้คือ ความยาวชั้นอีมิเตอร์มีค่ามาก ทำให้หยุดนำกระแสได้ดีขึ้นและค่า dI/dt ขณะนำกระแสสูงด้วย ส่วนข้อเสียคือกระแสเกตเมื่อนำกระแสมีค่าสูงและพื้นที่ชั้นอีมิเตอร์ต่อพื้นที่ทั้งหมดของจีโอโทรวิสเตอร์มีค่าน้อยประมาณ 25% ซึ่งทำให้ระบายความร้อนได้ไม่ดี



Typical GTO thyristor basic cell arrays; the smallest is 22 mm and the largest 75 mm diameter. (Reproduced by permission of Marconi Electronic Devices Limited)

รูปที่ 7 จีทีโอไทรสเตอร์ ชนิดที่เป็น cell arrays



High power GTO thyristor in cross-section showing pressure contact cathode and mesa cathode structure

รูปที่ 8 ภาคตัดขวางของจีทีโอไทรสเตอร์กำลังสูง

กติการมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. วิริยะ พิเศษฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็น
อย่างสูงที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางต่าง ๆ มาตลอด และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้
แก่คณะผู้จัดทำ ตลอดจนทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้โครงการนี้สามารถสำเร็จขึ้นมาได้เป็นอย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุชาติ แซ่ตั้ง, วิริยะ พิเชษฐจำเริญ, "พีดีบีบลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ชนิดเลื่อนเฟสกระแสเอชไอไลน์", การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันอุดมศึกษาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 2533
- [2] สุชาติ ตั้งตฤณา "คุณสมบัติของพีดีบีบลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์และการใช้งาน", วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2534
- [3] P.Viriya and K.Matsuse, "Low-Harmonic GTO Converter for Fundamental Power Factor Compensation", IEEE Trans.Power Electron., Vol.6, No.3, pp.371-379, July 1991
- [4] Kenneth J. Alaya, "The 8051 Microcontroller Architecture, Programming and Applications", West Publishing Company, 1991
- [5] The staff of Monolithic Memory, Inc., "Designing with Programmable Logic Array", Monolithic Memory Inc.