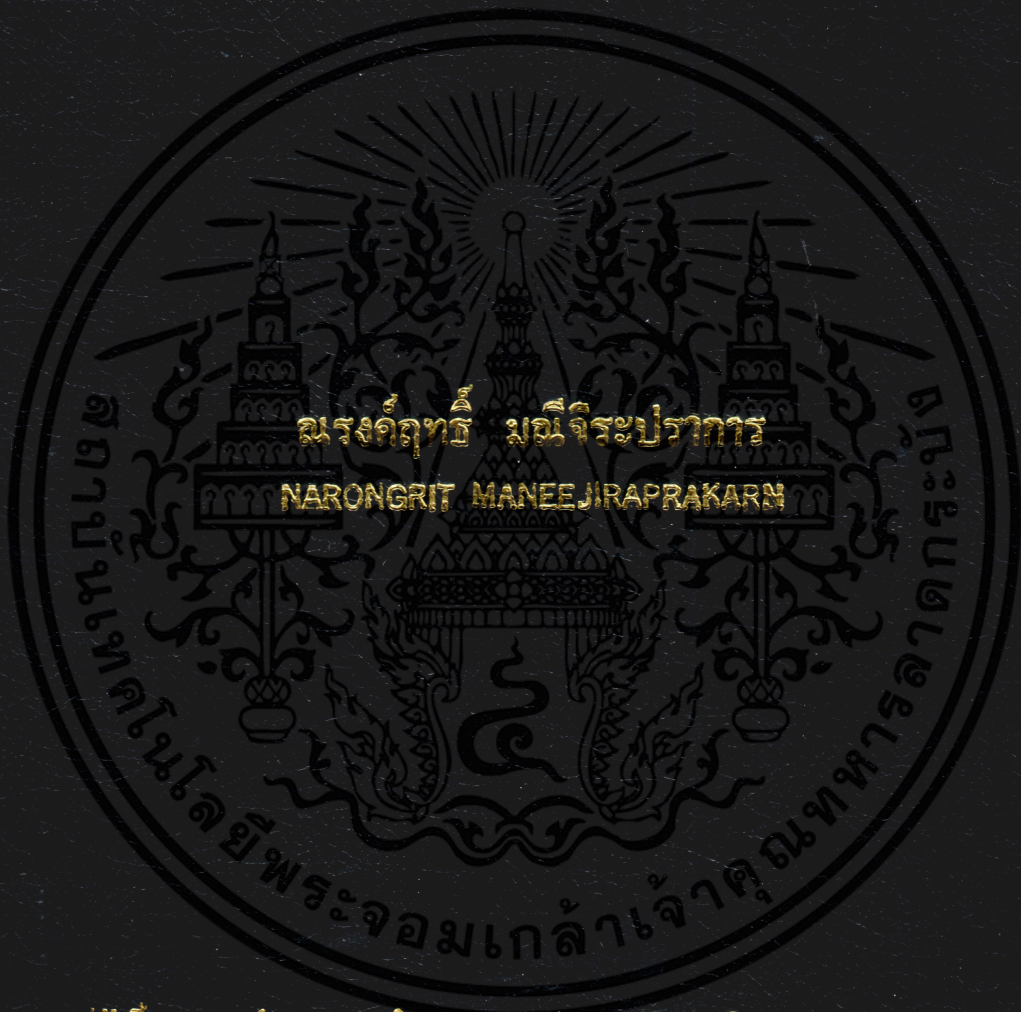


พัลส์โพสิชันมอดูเลตชั่นแบบไม่มีสัญญาณซิงโครไนซ์

PULSE POSITION MODULATION SYSTEM WITHOUT
SYNCHRONIZE SIGNAL



ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปราการ
NARONGRIT MANEEJIRAPRAKARN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-058-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พัลส์โพสิชันมอดูเลตชันแบบไม่มีสัญญาณซิงโครไนซ์

Pulse Position Modulation System without Synchronize Signal



เลขหม.....
เลขทะเบียน **47523**
วัน, เดือน, ปี **19 ส.ค. 2546**

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN

974-648-058-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pulse Position Modulation System without Synchronize Signal



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEER IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

ISBN

974-648-058-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พัลส์โพสิชันมอดูเลชันแบบไม่มีสัญญาณซิงโครไนซ์
 PULSE POSITION MODULATION SYSTEM WITHOUT SYNCHRONIZE SIGNAL

ชื่อนักศึกษา นายณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปราการ

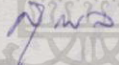


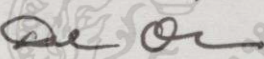
รหัสประจำตัว 37061157

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวันภาค	
ผศ.ดร.จรรยา	เลิศจรัสอร่ามดี	
ผศ.วิภา	แสงพิสิทธิ	
รศ.ดร.ปราโมทย์	วาดเขียน	เปทิมัท กาดไซง
รศ.อิทธิชัย	อรุณศรีแสงไชย	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 13 ธันวาคม 2543 เวลา 12.00 – 13.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

 (รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัคร)

 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... 5เดือน..... พฤษภาคม..... พ.ศ. 2544.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

พัลส์โพสิชันมอดูเลตชันแบบไม่มีสัญญาณซิงโครไนซ์

นักศึกษา

นายณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปรากฏ

รหัสประจำตัว

37061157

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2544

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์รหัสแปรคอดด้วยคณิตศาสตร์ของสัญญาณพัลส์โพสิชันมอดูเลตชัน (PPM, Pulse Position Modulation)[1-6] เพื่อต้องการปรับปรุงให้การตีมอดูเลชันทำได้ง่ายขึ้น โดยใช้หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางคณิตศาสตร์ของสเปกตรัมพีพีเอ็ม ซึ่งพบว่าองค์ประกอบของพีพีเอ็มที่เทอมความถี่ต่ำสุดเป็นเทอมของข่าวสารที่ถูกดิฟเฟอเรนทิเอท จากผลดังกล่าวทำให้การตีมอดูเลตทำได้ง่ายขึ้นและวงจรสำหรับการตีมอดูเลตก็มีขนาดเล็กลงด้วย โดยการตีมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็มนั้นสามารถทำได้โดยใช้ตัวกรองความถี่ต่ำและตัวอินทิเกรตก็จะได้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมา นอกจากนั้นวิทยานิพนธ์นี้ยังได้เสนอระบบการสร้างสัญญาณ พีพีเอ็ม ใหม่เพิ่มเติม โดยการสร้างสัญญาณ พีพีเอ็ม ที่ภาคส่งให้มีการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งพัลส์แปรผกผันกับข่าวสารแทนที่จะแปรผันตรงเหมือนระบบทั่วไป ซึ่งจากการวิเคราะห์รหัสแปรคอดของสัญญาณ พีพีเอ็ม ดังกล่าวพบว่าเทอมความถี่ต่ำสุดก็คือผลคูณของสัญญาณข่าวสารกับค่าคงที่ ดังนั้นการตีมอดูเลตชัน พีพีเอ็ม ในระบบใหม่จึงง่ายต่อการตีเทกต์ โดยใช้เพียงวงจรกรองความถี่ต่ำที่ภาครับเท่านั้น ซึ่งผลจากการเลียนแบบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice ก็ให้ผลสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว

Thesis Title	Pulse Position Modulation System without Synchronize Signal
Student	Mr. Narongrit Maneejiraprakarn
Student ID.	37061157
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2001
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Itthichai Arungsrisangchai
Thesis Co-Advisor	Assoc.Prof.Dr.Pramote Wardkrieng

ABSTRACT

This Thesis presents a mathematics spectrum analysis of Pulse Position Modulation (PPM) signal for the purpose of simple demodulation. The analysis result shows that the lowest frequency terms of PPM is the first derivative of information data. Thus PPM signal can easily be demodulated with a low-pass filter associated with an integrator. In addition the novel method of PPM signal generation at the transceiver was purposed that has the property that the pulse position vary inversely with the information data. The result of spectrum analysis shown that its lowest frequency term is the product of information data with a constant term. Then, PPM demodulation can be done very easy by using only low-pass filter. The simulation result by program also confirms the correctness of our spectrum mathematics analysis.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นความสำเร็จที่เพิ่มพูนประสบการณ์มากมายหลายด้าน ซึ่งมีคุณค่ายิ่งในชีวิตของผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร่วม ผู้ให้คำปรึกษา ชี้แนะ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างสม่ำเสมอ ตลอดจน ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ กิรานนท์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไกรสิน สงวัฒนา ที่กรุณาชี้แนะ ให้ความรู้และประสบการณ์ตรงในการทำวิจัย

ขอขอบคุณน้องๆ ห้องA404 ทุกคนที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกสิ่งต่างๆด้วยดี ตลอดมา ขอขอบคุณสำหรับความห่วงใย เอื้ออาทร จากเพื่อนๆพี่ๆ ตลอดจนผู้ช่วยเหลือทุกท่านที่ไม่สามารถกล่าวนามได้หมดอีกหลายท่าน

ขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับ คุณภัทรมนัส กล่อมจันทร์ เป็นส่วนสำคัญที่ผลักดันให้เกิด กำลังใจ เกิดความมานะ อุตสาหะ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งอย่างยิ่ง

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา, มารดา และ พี่สาวผู้มีพระคุณ และเนื่องจากทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัย ของราชกรีฑาสโมสร จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปรากฏ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.5 โครงประกอบวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานการส่งสัญญาณแบบ พียูเอ็ม (Pulse Position Modulation)	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 การวิเคราะห์สัญญาณมีคาบและการวิเคราะห์สัญญาณไร้คาบ.....	7
2.3 ทฤษฎีการซีกค่าตัวอย่าง(Sampling Theorem)	19
2.4 การวิเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพียูเอ็ม.....	23
2.5 ภาคมอดูเลตสัญญาณพียูเอ็ม	29
2.6 ภาคดีมอดูเลตสัญญาณพียูเอ็ม	34
2.7 สรุป.....	34
บทที่ 3 หลักการในการมอดูเลตชั้นแบบ พียูเอ็ม (Pulse Position Modulation) ที่นำเสนอ..	35
3.1 กล่าวนำ.....	35
3.2 การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (Pulse Width Modulation).....	35
3.3 การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณพียูเอ็ม (Pulse Position Modulation)	38
3.4 สรุป.....	39

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบวงจรและผลการทดสอบ.....	41
4.1. กล่าวนำ.....	41
4.2 การออกแบบวงจรที่ใช้และผลการในการเลียนแบบวงจรโดยโปรแกรม Pspice..	41
4.3 การออกแบบวงจรจริงที่ใช้สร้างสัญญาณพีพีเอ็มและผลการทดลอง.....	48
4.4 ผลจากการเลียนแบบสมการด้วย Matlab.....	51
4.5 สรุป.....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	59
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก	
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	89



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบ PAM, PWM, PPM ตามลำดับ.....	6
2.2 แสดงแผนผังวงจรระบบการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม และพีพีเอ็ม.....	6
2.3 แสดงองค์ประกอบของฟังก์ชัน $f(t)$ เมื่อจำนวนฟังก์ชันออร์โทกอนัลมีค่าเป็น 1,3,5 และ 7 ตามลำดับ.....	9
2.4 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมแอมพลิจูด และเฟสของสัญญาณ.....	12
2.5 ภาพแสดงประกอบเพื่ออธิบายว่าสัญญาณไร้คาบ คือ สัญญาณมีคาบที่มีเวลาเป็นอนันต์.....	15
2.6 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณคาบ $f_T(t)$	17
2.7 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ถูกซัดค่าตัวอย่าง.....	20
2.8 แสดงแอมพลิจูดสเปกตรัมของฟังก์ชันซามปลิง.....	21
2.9 แสดงแอมพลิจูดสเปกตรัมของฟังก์ชันซามปลิงเมื่อ $\tau \ll T$	22
2.10 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการสุ่มค่าสัญญาณ.....	23
2.11 แสดงแสดงวงจรในการมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็มและรูปของสัญญาณพีพีเอ็มที่ได้จากวงจร.....	28
2.12 แสดงแผนผังวงจรในการมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็ม.....	30
2.13 (ก) สัญญาณ PWM ที่ใช้วิธี Natural sampling.....	31
(ข) สัญญาณ PWM ที่ใช้วิธี Uniform sampling.....	31
2.14 แผนผังของวงจรมอดูเลตแบบความกว้างของพัลส์โดยทั่วไป.....	32
2.15 ตัวอย่างสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรมอดูเลตแบบความกว้างพัลส์.....	32
2.16 วงจรสร้างสัญญาณพีพีเอ็ม.....	33
2.17 แสดงภาคตัดมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็ม.....	34
3.1 แสดงขั้นตอนการมอดูเลตชั้นสัญญาณ พีดับบลิวเอ็ม.....	36
3.2 ผลการตอบสนองตัวกรองความถี่ต่ำที่ใช้เป็นอินทิเกรเตอร์.....	39
4.1 (ก) แสดงแผนผังของวงจรส่วนการสร้างสัญญาณพีพีเอ็ม.....	42
(ข) แสดงแผนผังของวงจรส่วนการรับสัญญาณพีพีเอ็ม.....	42
4.2 แสดงวงจรพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Pspice.....	43
4.3 แสดงผลการเลียนแบบเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาพุต.....	44

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 (ก)แสดงผลการเลียนแบบวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม โดยใช้โปรแกรมPspice.....	45
(ข)แสดงผลการเลียนแบบวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม โดยใช้โปรแกรม Pspice.....	45
4.5 แสดงวงจรพีพีเอ็มที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Pspice ใช้สัญญาณซาวซาร์รูปคลื่นสี่เหลี่ยม	46
4.6 แสดงผลการเลียนแบบเปรียบเทียบสัญญาณปริพันธ์สัญญาณอินพุตและสัญญาณ เอาพุต.....	47
4.7 แสดงผลการทดลองวัดสเปกตรัมสัญญาณ ที่ดับบลิวเอ็มจากวงจรจริง.....	49
4.8 แสดงผลการทดลองวัดสเปกตรัมสัญญาณ พีพีเอ็ม.....	49
4.9 ผลการวัดสัญญาณซาวซาร์อินพุตเทียบกับสัญญาณเอาพุต.....	50
4.10 ผลการวัดสัญญาณซาวซาร์อินพุตรูปสามเหลี่ยมเทียบกับสัญญาณเอาพุต.....	50
4.11 ผลการวัดสัญญาณซาวซาร์อินพุตรูปสี่เหลี่ยมเทียบกับสัญญาณเอาพุต.....	51
4.12 แสดงกราฟที่สังเคราะห์สัญญาณที่ดับบลิวเอ็มเทียบกับสัญญาณซาวซาร์.....	52
4.13 กราฟที่สังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มตามสมการ (3.8) เทียบกับสัญญาณซาวซาร์.....	52
4.14 กราฟที่สังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มตามสมการ (2.67) เทียบกับสัญญาณซาวซาร์.....	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันเป็นยุคของการสื่อสาร การปรับปรุงและพัฒนาระบบสื่อสารให้มีประสิทธิภาพ จึงเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจและได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งด้านความถูกต้องในการรับส่งข้อมูล, วิธีการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูลในการส่ง ตลอดจนการพัฒนาเทคนิคและวิธีการรับส่งข้อมูลข่าวสาร ซึ่งกระบวนการรับส่งข้อมูลที่สำคัญคือ การมอดูเลตสัญญาณ(Modulation)

การมอดูเลตที่ใช้ในระบบสื่อสารมีหลายแบบ กระบวนการมอดูเลตที่มีความสำคัญต่อระบบสื่อสารกระบวนการหนึ่ง ได้แก่ การมอดูเลตพัลส์(Pulse Modulation หรือ Analogue Pulse Modulation) ซึ่งเป็นวิธีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลโดยใช้สัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณคลื่นพาห้(Carrier) จากนั้นส่งสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วไปในช่องสัญญาณ(Channel) แบบอนาล็อก(Analog)[1] ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบใหญ่ๆ ด้วยกันคือ การมอดูเลตเชิงแอมพลิจูด(Pulse Amplitude Modulation: PAM), การมอดูเลตเชิงความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)หรือเรียกย่อๆว่า พีดับบลิวเอ็ม และ การมอดูเลตเชิงตำแหน่งพัลส์ (Pulse Position Modulation: PPM) หรือเรียกย่อๆว่า พีพีเอ็ม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำวิธีการมอดูเลตแบบพีพีเอ็ม (PPM) ไปประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสารทางแสง อันเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารใหม่ที่มีบทบาทสำคัญ

กระบวนการส่งสัญญาณโดยการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบพีพีเอ็ม ในปัจจุบันนั้นมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและยุ่งยาก ในกระบวนการมอดูเลตหรือสร้างสัญญาณพีพีเอ็มนั้น ทำโดยการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มก่อน จากนั้นจึงนำสัญญาณพีดับบลิวเอ็มไปผ่านวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์[7] นั่นคือจำเป็นต้องสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มให้ได้ก่อน จึงจะสามารถสร้างสัญญาณพีพีเอ็มได้ ในส่วนการดีมอดูเลต(Demodulation) สัญญาณหรือส่วนของการกู้สัญญาณข่าวสาร เกิดขึ้นโดยเมื่อส่วนดีมอดูเลตรับสัญญาณพีพีเอ็มได้แล้ว ต้องแปลงสัญญาณพีพีเอ็มให้เป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มก่อน แล้วจึงกู้สัญญาณข่าวสารคืนมา ซึ่งในกระบวนการแปลงสัญญาณพีพีเอ็มเป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม มีความจำเป็นจะต้องใช้สัญญาณพัลส์อ้างอิง(Pulse Synchronize) ดังนั้นปัญหาของระบบการส่งสัญญาณที่กล่าวมา มีอยู่ตรงที่ความยุ่งยาก และจำนวนขั้นตอนในกระบวนการดีมอดูเลตสัญญาณ ซึ่งต้องผ่านขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากสัญญาณพีพีเอ็มไปเป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มก่อน จึงจะสามารถกู้สัญญาณข่าวสารคืนมาได้ รวมทั้งในขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากสัญญาณพีพีเอ็มไปเป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ยังจำเป็นต้องใช้สัญญาณพัลส์อ้างอิง ซึ่งถ้าสัญญาณพัลส์อ้างอิงเกิดการผิดพลาดก็จะทำให้ข้อมูลที่รับได้

ไม่ตรงกับทางด้านส่ง ดังนั้นหากมีการปรับปรุงการตีมอดูเลตสัญญาณพีซีเอ็มให้ง่ายขึ้น โดยทำให้สามารถกู้สัญญาณข่าวสารคืนมาได้จากสัญญาณพีซีเอ็มโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณพีซีเอ็มไปเป็นสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม กล่าวคือเป็นแบบที่ไม่ต้องใช้สัญญาณซิงโครไนซ์(Synchronize Signal) ก็จะช่วยลดความซับซ้อนของการตีมอดูเลตสัญญาณลงได้และจะขจัดปัญหาต่างๆ ที่เกิดเนื่องจากการใช้สัญญาณซิงโครไนซ์อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์และข้อกำหนดในการทำวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งเน้นการวิเคราะห์สัญญาณพีซีเอ็ม ซึ่งในปัจจุบันได้มีแนวคิดในการวิเคราะห์สัญญาณไว้บ้างแล้วอยู่ 2 แนวคิด พบว่าการวิเคราะห์สัญญาณพีซีเอ็มตามแนวคิดแรก[1] ใช้การวิเคราะห์พีซีเอ็มจากการวิเคราะห์สัญญาณการชั่งค่าตัวอย่าง(Sampling Signal) ซึ่งจะได้สมการของสัญญาณพีซีเอ็มมาค่าหนึ่ง และจากแนวคิดที่ 2 [4,6] วิเคราะห์สัญญาณพีซีเอ็มจากการสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม ทำให้ได้สมการของสัญญาณพีซีเอ็มมาอีกหนึ่งค่า ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สัญญาณตาม 2 แนวคิดดังที่กล่าวมา ได้ถูกนำไปสร้างเป็นวงจรการมอดูเลตและตีมอดูเลตที่ใช้กันในปัจจุบัน ในวิทยานิพนธ์นี้ขอเสนอวิธีการวิเคราะห์สัญญาณพีซีเอ็มอีกแนวคิดหนึ่ง ซึ่งการหาค่าสัญญาณพีซีเอ็มตามแนวคิดนี้ให้หลักการวิเคราะห์ที่ว่า สัญญาณพีซีเอ็มคือผลของการอนุพันธ์สัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม และสมมติฐานเบื้องต้นว่าสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม ที่นำมาสร้างเป็นสัญญาณพีซีเอ็มนั้น เป็นสัญญาณแบบคาบ(Periodic Signal) โดยมีความกว้างคาบในแต่ละคาบเวลาเท่ากับคาบของสัญญาณคลื่นพาห์ ซึ่งจากสมมติฐานดังกล่าวทำให้สามารถวิเคราะห์สัญญาณที่ดับบลิวเอ็มในเชิงความถี่(Frequency Domain) ด้วยคณิตศาสตร์อย่างง่ายได้คือใช้ออนุกรมฟูเรียร์(Fourier Series) จากผลการวิเคราะห์สัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีซีเอ็มที่นำเสนอ จะทำการพิสูจน์ว่าผลที่ได้จากการทดสอบสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สัญญาณตามสมมติฐานที่นำเสนอจริง รวมทั้งได้ทดสอบสังเคราะห์รูปสัญญาณพีซีเอ็มตามสมการที่ได้จากตามแนวคิดใหม่ที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ 2 แนวคิดเดิมเพื่อทดสอบว่าสมการรูปสัญญาณพีซีเอ็มที่วิเคราะห์ได้ตามแนวคิดต่างๆ สามารถสร้างเป็นรูปสัญญาณพีซีเอ็มได้จริง และจากความจริงดังกล่าว สามารถนำผลจากการวิเคราะห์ตามสมมติฐานมาปรับปรุงกระบวนการมอดูเลตสัญญาณสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม และสัญญาณพีซีเอ็มให้มีกระบวนการที่ง่ายขึ้น โดยเฉพาะสัญญาณพีซีเอ็มจะสามารถลดขั้นตอน ตลอดจนความยุ่งยากของวงจรในการรับส่งข่าวสารได้

1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

แนวทางที่วิทยานิพนธ์นี้ได้จากการตั้งสมมุติฐานเบื้องต้นว่า สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่นำมาทำการวิเคราะห์สัญญาณนั้นเป็นสัญญาณแบบคาบ(Periodic Signal) ดังนั้นในการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม จึงใช้การวิเคราะห์ด้วยคณิตศาสตร์อย่างง่ายในเชิงความถี่(Frequency Domain) เป็นพื้นฐาน นั่นคือคณิตศาสตร์อนุกรมฟูเรียร์ในรูปแบบเอกโปเนนเชียล จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มพบว่าในเทอมความถี่ต่ำสุดหรือเทอมแรกขององค์ประกอบความถี่ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม มีค่าสัญญาณข่าวสารเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย

จากผลการวิเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มดังกล่าว ได้นำผลการวิเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มมาใช้ในการหาองค์ประกอบของสัญญาณพีพีเอ็มในเชิงความถี่ โดยใช้ความสัมพันธ์คือสัญญาณพีพีเอ็ม สามารถหาได้จากค่าอนุพันธ์ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มหรือ $\phi_{ppm}(t) = \frac{d\phi_{pwm}(t)}{dt}$ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้ทราบองค์ประกอบของสัญญาณพีพีเอ็ม และพบว่าเทอมความถี่ต่ำสุดของสัญญาณพีพีเอ็ม มีค่าสัญญาณข่าวสารที่ถูกอนุพันธ์อยู่ด้วย จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มนั้น หากมีการส่งสัญญาณพีพีเอ็มไปในระบบแล้ว ในส่วนภาครับสัญญาณพีพีเอ็ม สามารถกู้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมาได้โดยการนำเอาสัญญาณพีพีเอ็มที่รับได้ไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำและนำเอาที่พุดที่ได้ไปผ่านวงจรอินทิเกรตสัญญาณ ก็จะได้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมาโดยไม่ต้องใช้สัญญาณอ้างอิง รวมทั้งลดความยุ่งยากวงจรในภาครับลงได้ โดยกระบวนการกู้ข่าวสารดังกล่าว สอดคล้องกับวิธีการวิเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มที่ได้นำเสนอ

1.4 ขั้นตอนการศึกษาวิทยานิพนธ์

เนื่องจากสัญญาณพีพีเอ็มมีขั้นตอนการสร้างสัญญาณมาจากสัญญาณพีดับบลิวเอ็มในวิทยานิพนธ์นี้ จึงเริ่มจากพื้นฐานการวิเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม โดยมีสมมุติฐานเบื้องต้นว่าสัญญาณมอดูเลตความถี่กว้างพัลส์ในแต่ละคาบเวลานั้น เป็นสัญญาณแบบคาบ(Periodic Signal) จึงสามารถวิเคราะห์ค่าสัญญาณพีดับบลิวเอ็มในเชิงความถี่ด้วยคณิตศาสตร์ฟูเรียร์ได้ จากการวิเคราะห์ได้ผลลัพธ์ที่น่าสนใจค่าหนึ่ง ซึ่งพบว่าเทอมความถี่ต่ำสุดของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มคือเทอมของสัญญาณข่าวสาร ดังนั้นในการตีเทกต์สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม จึงใช้เพียงตัวกรองความถี่ต่ำที่เหมาะสมไปกรองสัญญาณข่าวสารกลับคืนมาได้ จากนั้นนำค่าของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่วิเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ต่อ เพื่อให้ได้องค์ประกอบของสัญญาณพีพีเอ็ม สำหรับผลลัพธ์ที่ได้การวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณพีพีเอ็ม พบความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพีพีเอ็ม กับสัญญาณพีดับบลิวเอ็มว่า สัญญาณพีพีเอ็มก็คือสัญญาณพีดับบลิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ็มที่ถูกดิฟเฟอเรนทิเอตนั่นเอง จากนั้นจึงนำค่าสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็มที่วิเคราะห์ได้ไปทดลองโดยการสร้างวงจรเลียนแบบเพื่อทดสอบ โดยใช้โปรแกรม Pspice และยืนยันผลอีกครั้ง โดยการนำไปทดสอบความถูกต้อง โดยทดลองต่อวงจรจริงแล้ววัดผลการทดสอบ เพื่อพิสูจน์ว่าผลที่ได้จากการทดสอบสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จริง นอกจากนี้ได้นำสมการของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็มที่วิเคราะห์ได้ไปทดลองสังเคราะห์ด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อสร้างเป็นรูปสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็ม เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ตามแนวคิดที่นำเสนอสามารถนำมาสังเคราะห์เป็นรูปสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็มได้จริง

1.5 โครงประกอบวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีรายละเอียดในแต่ละบทดังต่อไปนี้

บทที่ 1 ประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญ แนวคิดพื้นฐาน ตลอดจนปัญหาต่างๆ และวิถีทางในการแก้ปัญหาของการมอดูเลตสัญญาณเวลาพัลส์ (Timing Pulse) ทั้งแบบสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็ม

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการพีพีเอ็มทั้งภาคมอดูเลตและภาคดีมอดูเลตสัญญาณ

บทที่ 3 กล่าวถึงแนวคิดสมมุติฐานพื้นฐานของการพีพีเอ็มที่นำเสนอ, วิธีการวิเคราะห์สัญญาณด้วยคณิตศาสตร์ฟูเรียร์ รวมทั้งแนวทางการปรับปรุงภาคมอดูเลตและภาคดีมอดูเลตสัญญาณพัลส์ ตามผลการวิเคราะห์ที่นำเสนอ

บทที่ 4 กล่าวถึงการนำเอาผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 3 มาทดลองสร้างเป็นวงจร ทั้งวงจรเลียนแบบด้วยโปรแกรม Pspice และวงจรใช้งานจริง เพื่อใช้ในการทดสอบ และผลที่ได้จากการทดสอบ และ ผลการสังเคราะห์รูปสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็มที่ได้จากการวิเคราะห์ที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับรูปสัญญาณในอุดมคติ

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ รวมทั้งปัญหาและอุปสรรคในการวิจัยของวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 2

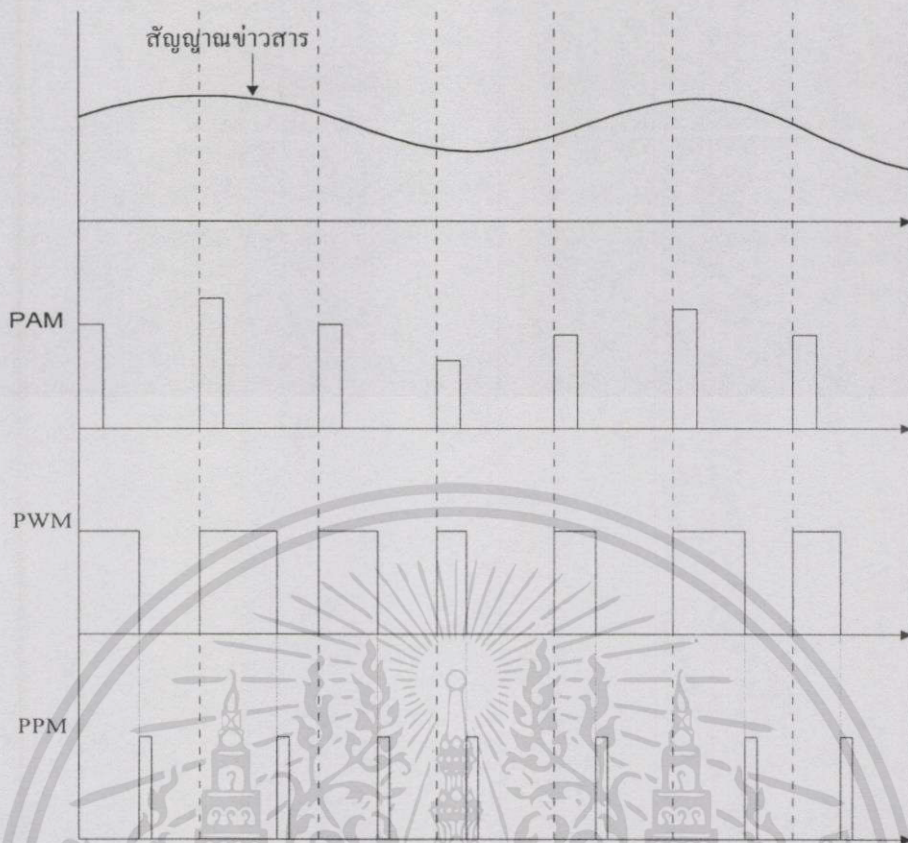
ทฤษฎีพื้นฐานการส่งสัญญาณแบบพีพีเอ็ม

(Pulse Position Modulation : PPM)

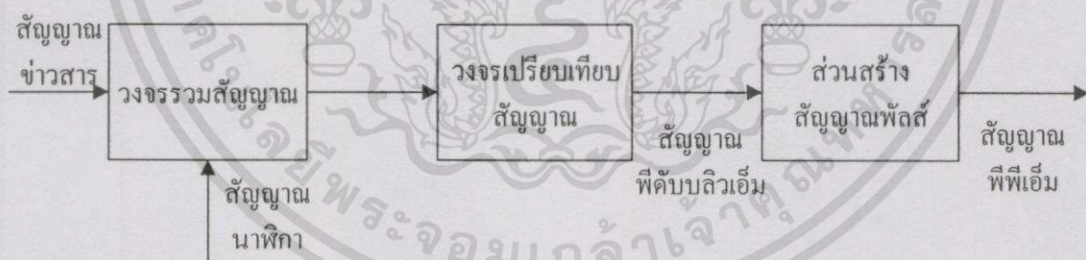
2.1 กล่าวนำ

การมอดูเลตสัญญาณ หมายถึง การฝากข้อมูลของสัญญาณข่าวสารในแบนด์พื้นฐาน (Baseband) ไปกับคลื่นพาห้ที่เป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ โดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณข่าวสารเป็นตัวการควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของคลื่นพาห้ ในการมอดูเลตสัญญาณข่าวสารอนาลอกนั้น นอกจากการมอดูเลตด้วยคลื่นพาห้ต่อเนื่อง (Continuous Wave) แล้ว ยังมีอีกแบบหนึ่งซึ่งเรียกว่า การมอดูเลตพัลส์ (pulse modulation) การมอดูเลตสัญญาณข่าวสารด้วยคลื่นพาห้ที่เป็นขบวนพัลส์ (pulse train) สามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ แบบแรกคือ มอดูเลตชั้นเชิงแอมพลิจูด (Pulse Amplitude Modulation : PAM) ค่าแอมพลิจูดของพัลส์ในขบวนพัลส์จะแปรค่าตามความแรงของค่าตัวอย่างของสัญญาณข่าวสาร แบบที่สองการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM หรือ Pulse Duration Modulation : PDM) ใช้ความกว้างของแต่ละพัลส์ในขบวนพัลส์ แปรผันตามค่าความแรงของตัวอย่างสัญญาณข่าวสาร และแบบสุดท้ายการมอดูเลตชั้นตำแหน่งพัลส์ (Pulse Position Modulation : PPM) ใช้การเลื่อนตำแหน่งของพัลส์แต่ละพัลส์ แปรผันตามค่าตัวอย่างสัญญาณข่าวสาร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สำหรับการมอดูเลตพัลส์สองแบบหลังคือมอดูเลตชั้นตำแหน่งพัลส์และการมอดูเลตความกว้างพัลส์นั้นบางครั้งถูกเรียกว่า การมอดูเลตเวลาพัลส์ (pulse-timing modulation)[1]

จากการศึกษาการมอดูเลตพัลส์ดังกล่าวพบว่า วิธีการมอดูเลตชั้นตำแหน่งพัลส์ หรือพีพีเอ็มและการมอดูเลตความกว้างพัลส์หรือพีดับบลิวเอ็ม ได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้มากเป็นพิเศษ[8-9] เนื่องจากมีข้อดีคือสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี หากใช้ความกว้างของช่องสัญญาณ (bandwidth) ที่กว้างพอ ในทางปฏิบัตินั้นกระบวนการในมอดูเลตสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและการมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็มนั้นแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ซึ่งมีขั้นตอนคร่าวๆ ดังนี้คือสัญญาณข่าวสารจะถูกนำมารวมกับสัญญาณนาฬิกาเพื่อทำการซีกค่าตัวอย่างก่อน จากนั้นนำไปสร้างเป็นสัญญาณที่ได้ไปสร้างเป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มโดยการผ่านวงจรเปรียบเทียบ (Comparator Circuit) หลังจากนั้นจึงนำสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ได้ไปสร้างเป็นสัญญาณพีพีเอ็มต่อไป จากขั้นตอนการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ดังกล่าว มีขั้นตอนบางอย่างเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญนั้นคือ การซีกค่าตัวอย่าง ซึ่งทฤษฎีการซีกค่าตัวอย่างจะถูกกล่าวถึงอย่างละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.3



รูปที่ 2.1 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบ PAM, PWM, PPM ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังวงจรระบบการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม และพีพีเอ็ม

จากรูปที่ 2.2 เป็นการแสดงกระบวนการมอดูเลตพีดับบลิวเอ็มและการมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็มในทางปฏิบัติ ซึ่งกระบวนการต่างๆ ที่แสดงในทางปฏิบัติ นั้น มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์สัญญาณด้วยคณิตศาสตร์ทั้งสิ้น จากการศึกษาพบว่ามีแนวคิดในการวิเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็มอยู่ 2 แนวคิดหลัก[1,4-5] ซึ่งจากแนวคิดเดิมดังกล่าวนี้มีแนวคิดเบื้องต้นว่าสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็มนั้นมีรูปสัญญาณแต่ละช่วงคาบเวลาไม่เหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 2.1 กล่าวคือรูปสัญญาณทั้งสองจะเป็นแบบสัญญาณไม่มีคาบ ซึ่งจากแนวคิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบื้องต้นดังกล่าวทำให้ขั้นตอนในการวิเคราะห์สัญญาณที่ดับลิวิเอ็มและพีพีเอ็มมีขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งรายละเอียดในการวิเคราะห์สัญญาณที่ดับลิวิเอ็มและพีพีเอ็ม ตามแนวคิดทั้ง 2 แนวคิดได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.4 และเนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแนวคิดใหม่อีก 1 แนวคิด โดยใช้สมมุติฐานเบื้องต้นว่ารูปสัญญาณที่ดับลิวิเอ็มเป็นสัญญาณแบบมีคาบ โดยค่าความกว้างของคาบสัญญาณมีค่า เท่ากับคาบของสัญญาณพาห้ ในกระบวนการวิเคราะห์สัญญาณที่ดับลิวิเอ็มและพีพีเอ็มจากแนวคิดเดิม 2 แนวคิดและจากแนวคิดใหม่ที่น่าเสนอนั้น จำเป็นต้องใช้คณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ทั้งสิ้น ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงพื้นฐานการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณแบบมีคาบและแบบไม่มีคาบต่อไป

2.2 การวิเคราะห์สัญญาณมีคาบและการวิเคราะห์สัญญาณไม่มีคาบ

กระบวนการพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการสื่อสารนั้นได้แก่ การวิเคราะห์สัญญาณที่นำมาใช้ในการสื่อสาร เราทราบว่าสัญญาณเป็นปริมาณทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นจึงสามารถแทนสัญญาณต่างๆ ด้วยฟังก์ชันของเวลาได้ และผลจากการแทนสัญญาณต่างๆ ด้วยฟังก์ชันของเวลา จะทำให้การวิเคราะห์สัญญาณเชิงคณิตศาสตร์สะดวกยิ่งขึ้น การวิเคราะห์สัญญาณเชิงคณิตศาสตร์นี้ จะช่วยอธิบายคุณสมบัติของสัญญาณนั้นให้สะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น วิธีการวิเคราะห์สัญญาณ จะทำการกระจายสัญญาณนั้นๆ ที่ปรากฏในโดเมนของเวลา (Time Domain) ออกเป็นส่วนประกอบย่อยที่เป็นคลื่นรูปไซน์ที่มีขนาด ความถี่ และเฟสตามความเหมาะสม จำนวนอนันต์

2.2.1 การวิเคราะห์สัญญาณมีคาบ (periodic signal)

สัญญาณมีคาบ(Periodic Signal) สัญญาณที่เกิดขึ้นแล้ว มีรูปแบบของสัญญาณซ้ำรูปเดิมทุกๆ ช่วงเวลาที่มีค่าจำกัดค่าหนึ่ง ซึ่งเขียนในรูปฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$f(t+T) = f(t) \quad \text{ที่ทุกค่า } (t) \quad (2.1)$$

โดยในที่นี้ T เป็นช่วงเวลาคงที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ สมการ 2.1 เป็นจริง โดยจะเรียกค่า T นี้ว่าคาบเวลา(period) ของสัญญาณ $f(t)$ นั้น

ชุดของฟังก์ชันที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณมีคาบนั้น ได้แก่ฟังก์ชันที่มีชื่อว่า ฟังก์ชันออร์โทกอนัล (Orthogonal Function) ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ฟังก์ชัน $f(t)$ และ $f^*(t)$ ซึ่งต่างไม่ได้มีค่าเป็นศูนย์ตลอดช่วงเวลา $t_0 < t < t_1$ จะเป็นฟังก์ชันที่เรียกว่า ออร์โทกอนัลซึ่งกันและกัน ในช่วง (t_0, t_1) เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\int_0^1 f_1(t)f_2^*(t)dt = 0 \quad (2.2)$$

หมายถึง การทำคอนจูเกต(Conjugate) ของฟังก์ชันนั้น แต่ถ้าฟังก์ชันมีมากกว่า 2 ฟังก์ชัน กล่าวคือมี $f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)$ แล้วฟังก์ชันเหล่านี้ จะเป็นฟังก์ชันออร์ทอกอนัลซึ่งกันและกัน ในช่วง (t_0, t_1) เมื่อ

$$\int_0^1 f_i(t)f_j^*(t)dt = k \quad \begin{cases} 0, i \neq j \\ k_i, i = j \end{cases} \quad (2.3)$$

โดยในที่นี้ $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ และ k_i คือค่าตัวเลขใดๆ ที่เหมาะสมค่าหนึ่ง

2. แต่ละฟังก์ชันในกลุ่มออร์ทอกอนัลฟังก์ชันจะต้องเป็นอิสระเชิงเส้นซึ่งกันและกัน ในช่วงเวลา (t_0, t_1) หมายความว่าในช่วงเวลานี้ไม่มีฟังก์ชันใดเลยจากฟังก์ชันกลุ่มนี้ที่สามารถสร้างขึ้นได้จากการใช้ฟังก์ชันอื่นๆ ที่เหลือในกลุ่ม โดยการรวมกันเชิงเส้น หรืออธิบายในรูปสมการได้คือ

$$f_i(t) \neq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n c_j f_j(t) \quad (2.4)$$

เมื่อ C_j คือ ค่าคงที่

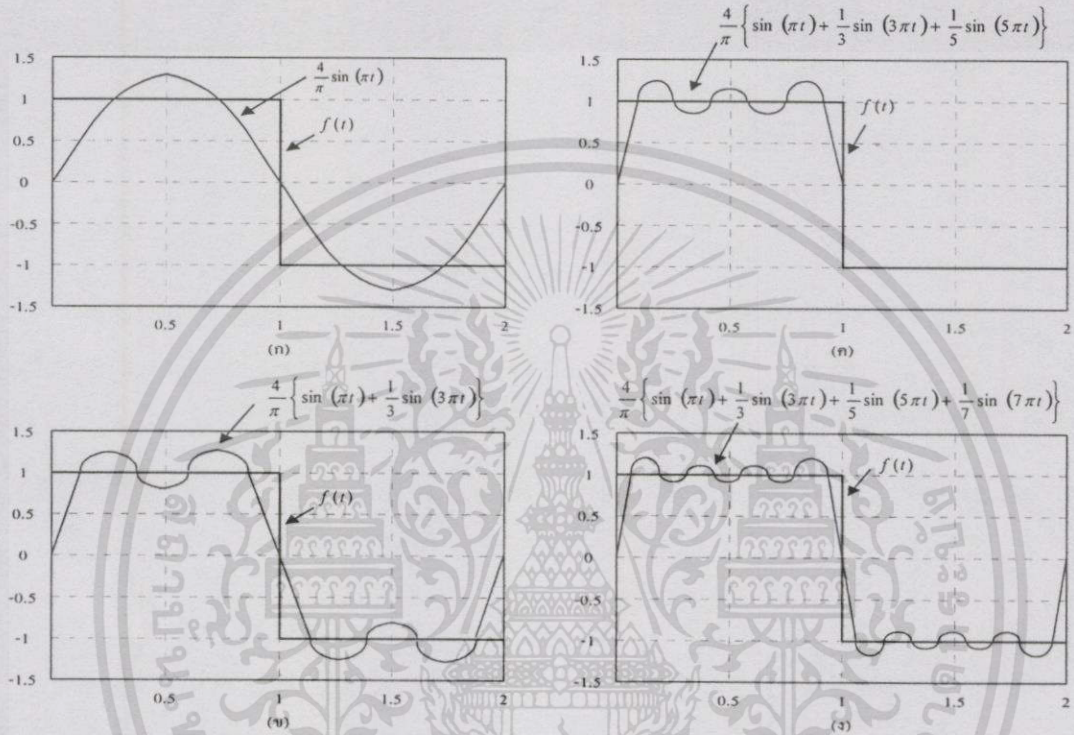
กลุ่มของฟังก์ชันหรือสัญญาณที่เป็นออร์ทอกอนัลซึ่งกันและกันที่กล่าวข้างต้นสามารถนำมาใช้ประกอบรวมกันเพื่อประมาณฟังก์ชันใดๆ ทั่วไปได้ โดยที่ฟังก์ชันออร์ทอกอนัลแต่ละฟังก์ชันจะเพิ่มสาระหรือองค์ประกอบที่ไม่ซ้ำซ้อนกัน กับการประมาณฟังก์ชันนั้นได้เสมอ อธิบายในรูปสมการได้คือ

$$f(t) \approx \tilde{f}(t) \approx \sum_{i=1}^n c_i f_i(t) \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากมีการปรับค่า ให้เหมาะสม เราสามารถทำให้ฟังก์ชัน $f(t)$ จะมีลักษณะคล้ายกับฟังก์ชัน $f(t)$ ใดๆ ได้ ในช่วงเวลา (t_0, t_1) และถ้าหากค่า n หรือจำนวนฟังก์ชันออร์ทอกอนัลมีมากขึ้น การประมาณโดยนัยของสมการ ก็ยิ่งใกล้เคียงมากขึ้นทุกที ดังนั้น ถ้าให้ n มีค่าเป็นอนันต์ เราจะได้

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n f_n(t) , t_0 < t < t_1 \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของฟังก์ชัน $f(t)$ เมื่อจำนวนฟังก์ชันออร์ทอกอนัลมีค่าเป็น 1,3,5 และ 7 ตามลำดับ

ทำให้กล่าวได้ว่าฟังก์ชัน $f(t)$ ใดๆ สามารถประกอบได้จากองค์ประกอบของฟังก์ชันออร์ทอกอนัล $f_n(t)$ จำนวนมาก และหากฟังก์ชันออร์ทอกอนัลเพิ่มมากขึ้นจนเป็นจำนวนอนันต์ ค่าความผิดพลาดของการประมาณฟังก์ชันก็ควรจะมีค่าเฉลี่ยลดลงสู่ศูนย์ นั่นคือผลรวมของฟังก์ชันออร์ทอกอนัลจำนวนอนันต์สามารถแทนฟังก์ชันใดๆ ได้ดังแสดงในสมการที่ (2.6) ซึ่งในทางคณิตศาสตร์จะเรียกว่าอนุกรมฟูรีเยร์ (General Fourier Series) ซึ่งรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนฟังก์ชันออร์ทอกอนัลมากขึ้น จะสามารถประกอบกันได้รูปแบบใกล้เคียงกับฟังก์ชันใดๆ มากขึ้น

ฟังก์ชันออร์ทอกอนัลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณนั้น ไม่ได้จำกัดว่าต้องมีรูปแบบเป็นอย่างไร ดังนั้นในการวิเคราะห์สัญญาณจึงใช้ฟังก์ชันรูปไซน์แทนฟังก์ชันออร์ทอกอนัล

เนื่องจากเป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่เกิดขึ้นเป็นปกติ ใช้ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ได้ง่าย รวมทั้งยังเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติการอย่างมาก ซึ่งเมื่อแทนฟังก์ชันออร์โทกอนัลด้วยฟังก์ชันรูปไซน์แล้ว สมการที่ (2.6) จะถูกแปลงรูปเป็นสมการที่ (2.7) และมีชื่อเรียกเฉพาะว่าอนุกรมฟูรีเยร์เชิงตรีโกณ (Trigonometric Fourier Series) ซึ่งมีรูปแบบโดยทั่วไปในลักษณะกระชับรูป(Compact form) ดังนี้ คือ

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n \cos(n\omega_0 t + \phi_n) \quad t_0 < t < t_1 \quad (2.7)$$

หรือกระจายได้เป็น

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=0}^{\infty} \{a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)\} \quad t_0 < t < t_1 \quad (2.8)$$

โดยที่ ω_0 , a_n , b_n , c_n และ ϕ นั้นสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้ คือ
(ในที่นี้ กำหนดให้ $T = t_1 - t_0$)

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{t_1 - t_0} = \frac{2\pi}{T} \quad (2.9)$$

$$a_0 = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} f(t) dt \quad (2.10)$$

$$a_n = \frac{2}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.11)$$

$$b_n = \frac{2}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt \quad n = 0, 1, \dots \quad (2.12)$$

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (2.13)$$

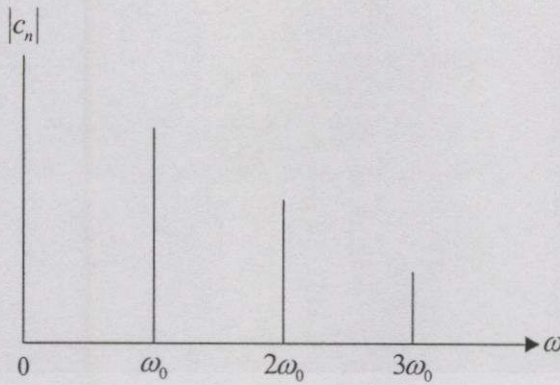
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

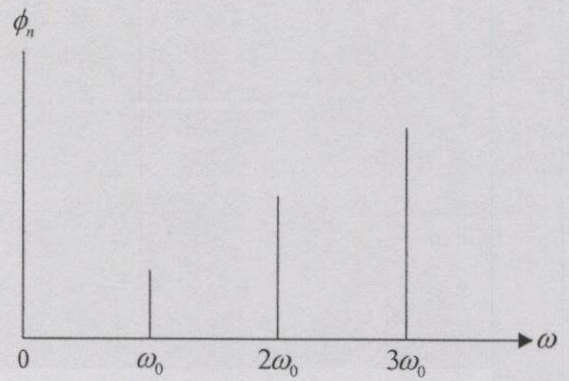
$$\phi_n = \tan^{-1}\left(\frac{-b_n}{a_n}\right) \quad (2.14)$$

จากสมการข้างต้นนั้นเป็นสมการที่ใช้ในการหาค่าต่างๆ ของอนุกรมฟูรีเยร์ ซึ่งประโยชน์ของอนุกรมฟูรีเยร์ที่สำคัญคือ เพื่อใช้วิเคราะห์สัญญาณที่มีคาบ เพราะเมื่อสัญญาณใดๆ ถูกแยกออกเป็นองค์ประกอบย่อยที่มีสัญญาณรูปไซน์แล้ว จะทำการคำนวณหาค่าผลตอบสนองของระบบเชิงเส้นที่มีต่อสัญญาณนั้นๆ ได้ง่าย เพียงใช้หลักการซ้อน (Superposition principle) และทฤษฎีเบื้องต้นอื่นที่เกี่ยวข้องกับระบบมาใช้ให้เป็นประโยชน์

เกี่ยวเนื่องกับเรื่องสัญญาณพื้นฐาน $f(t)$ ที่สามารถแยกส่วนประกอบออกเป็นคลื่นรูปไซน์หลายๆ คลื่นมารวมกันนี้ ได้มีการกำหนดเรียกชื่อคลื่นรูปไซน์ที่เป็นองค์ประกอบย่อยของสัญญาณนั้นว่า ฮาร์โมนิก(Harmonic) ของสัญญาณนั้น ความถี่ของฮาร์โมนิกต่างๆ จะมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม n เท่าของความถี่ของสัญญาณพื้นฐาน ซึ่งสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งจะมีฮาร์โมนิกต่างๆ ประกอบรวมกันอยู่เป็นจำนวนมาก ลักษณะของการของการประกอบรวมกันของฮาร์โมนิกต่างๆ ในสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งนั้นเรียกว่า สเปกตรัมฟูรีเยร์ (Fourier spectrum) ของสัญญาณ หรือเรียกสั้นๆ ว่า สเปกตรัมของสัญญาณ สเปกตรัมของสัญญาณนั้นมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์สัญญาณมาก เพราะสเปกตรัมของสัญญาณเป็นตัวบอกให้เราทราบว่าสัญญาณนั้นประกอบด้วยสัญญาณย่อยที่เป็นคลื่นรูปไซน์ด้วยสัดส่วนอย่างไร เพื่อให้ง่ายต่อการแสดงภาพสเปกตรัมโดยทั่วไปจึงมักจะแสดงภาพสเปกตรัมด้วยภาพ 2 มิติ ในแต่ละสัญญาณจะต้องแสดงภาพสเปกตรัมที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์สัญญาณนั้นๆ 2 ภาพ คือสเปกตรัมแอมพลิจูด (amplitude spectrum) แสดงถึงขนาดของฮาร์โมนิกที่เป็นองค์ประกอบของสัญญาณบนแกนความถี่ และสเปกตรัมเฟส(phase spectrum)แสดงถึงค่าเฟสของฮาร์โมนิกที่เป็นองค์ประกอบของสัญญาณบนแกนความถี่ ตัวอย่างภาพสเปกตรัมทั้งสองแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) สเปกตรัมแอมพลิจูด



(ข) สเปกตรัมเฟส

รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมแอมพลิจูด และเฟสของสัญญาณ

เนื่องจากฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Fourier Series) นั้นเป็นพื้นฐานอีกฟังก์ชันหนึ่งที่ใช้แทนฟังก์ชันตรีโกณมิติได้ ประกอบกับเมื่อทำการกระจายฟังก์ชันเป็นอนุกรมฟูรีเยร์ที่มีพจน์ย่อยเป็นเชิงฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลแล้ว รูปแบบอนุกรมจะมีรูปแบบที่กระชับกว่ารูปแบบอนุกรมฟูรีเยร์เชิงตรีโกณ และยิ่งกว่านั้นการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของพจน์ในอนุกรมฟูรีเยร์เชิงเอกซ์โพเนนเชียลนี้จะทำได้ง่ายและสะดวกกว่า ดังนั้นจึงทำให้อนุกรมฟูรีเยร์เชิงเอกซ์โพเนนเชียลเป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณมีคาบ ในการหาค่าอนุกรมฟูรีเยร์เชิงเอกซ์โพเนนเชียลนั้น มีขั้นตอน ดังนี้ คือ

$$\sin x = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j} \quad (2.15)$$

และ

$$\cos x = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2} \quad (2.16)$$

ดังนั้นสมการอนุกรมฟูรีเยร์ 2.8 จึงกระจายได้เป็น

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{a_n}{2} (e^{jn\omega_0 t} + e^{-jn\omega_0 t}) + \frac{b_n}{2j} (e^{jn\omega_0 t} - e^{-jn\omega_0 t}) \right\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n - jb_n}{2} e^{jn\omega_0 t} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n + jb_n}{2} e^{-jn\omega_0 t} \quad (2.17)$$

โดยการเปลี่ยน $n = -n$ ในนิพจน์ของ \sum ชุดหลังของสมการที่ (2.17) จะได้

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n - jb_n}{2} e^{jn\omega_0 t} + \sum_{n=-1}^{\infty} \frac{a_{-n} + jb_{-n}}{2} e^{jn\omega_0 t} \quad (2.18)$$

เพราะ $a_n = a_{-n}$ และ $b_n = b_{-n}$ ดังนั้นสมการที่ (2.18) จึงมีรูปแบบเป็น

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n - jb_n}{2} e^{jn\omega_0 t} + \sum_{n=-1}^{\infty} \frac{a_n + jb_n}{2} e^{jn\omega_0 t} \quad (2.19)$$

โดยการกำหนดให้ $F_n = \frac{a_n - jb_n}{2}$, $F_0 = a_0$, $F_{-n} = \frac{a_n + jb_n}{2}$ ทำให้สามารถจัดรูปแบบอนุกรมในสมการ (2.19) นี้ได้กระชับขึ้น คือ

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_0 t} \quad (2.20)$$

จะเรียกสมการที่ (2.20) ว่า อนุกรมฟูริเยร์เชิงเอกซ์โพเนนเชียล ส่วนความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูริเยร์เชิงเอกซ์โพเนนเชียลกับอนุกรมฟูริเยร์เชิงตรีโกณมิติ สามารถสรุปได้ดังนี้

$$F_0 = c_0 \quad (2.21)$$

$$2|F_n| = |c_n| \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.22)$$

$$F_n = \frac{1}{2} \phi_n \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.23)$$

$$F_{-n} = F_n^* \quad \text{เมื่อ } n \text{ เป็นเลขจำนวนเต็ม} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_n = \frac{1}{2}(a_n - jb_n) \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.25)$$

และ

$$a_0 = F_0 \quad (2.26)$$

$$a_n = 2 \operatorname{Re}\{F_n\} \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.27)$$

$$b_n = -2 \operatorname{Im}\{F_n\} \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.28)$$

สำหรับการหาค่า F_n นั้น หาจากสมการที่ (2.25) ได้ แต่ไม่เป็นที่ยอมรับ โดยปกติแล้ว การหาค่า F_n จะหาค่าโดยตรงจาก $f(t)$ โดยการคูณค่า $e^{-jm\omega_0 t}$ ในสมการที่ (2.20) ทั้งสองข้าง และทำการอินทิเกรตในช่วงเวลา T จะได้

$$\begin{aligned} \int_0^1 f(t) e^{-jm\omega_0 t} dt &= \int_0^1 \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_0 t} e^{-jm\omega_0 t} dt \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n \int_0^1 e^{j(n-m)\omega_0 t} dt \end{aligned} \quad (2.29)$$

แต่เนื่องจากกลุ่มของฟังก์ชัน $e^{jn\omega_0 t}$ เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็มนั้น เป็นกลุ่มของฟังก์ชันออร์โทกอนัล กล่าวคือ

$$\int_0^1 e^{j(n-m)\omega_0 t} dt = \begin{cases} 0, & n \neq m \\ T, & n = m \end{cases} \quad (2.30)$$

$$\text{โดยในที่นี้ } T = t_1 - t_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

ดังนั้นพจน์ต่างๆ ในอนุกรม (2.29) จึงมีค่าเป็นศูนย์หมด ยกเว้นพจน์ที่ $n = m$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\int_0^1 f(t) e^{-jm\omega_0 t} dt = TF_m \quad (2.31)$$

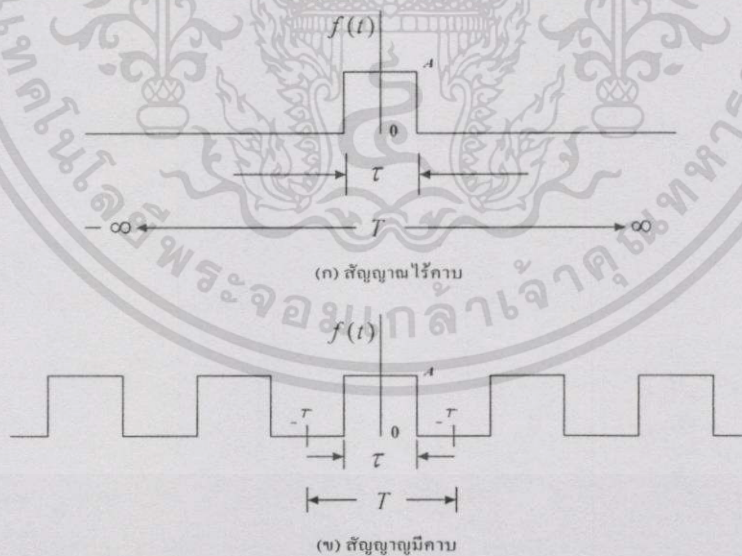
โดยการเปลี่ยนใช้ค่า n แทน m และจัดพจน์ จะได้สูตรความสัมพันธ์ที่ใช้หาค่า F_n โดยตรงจาก $f(t)$ ดังนี้คือ

$$F_n = \frac{1}{T} \int_0^1 f(t) e^{-jm\omega_0 t} dt \quad (2.32)$$

2.2.2 การวิเคราะห์สัญญาณไร้คาบ (Aperiodic signal)

โดยนิยามแล้วสัญญาณไร้คาบหมายถึงสัญญาณใดๆ ที่ไม่สามารถหารูปแบบซ้ำเดิมได้ในทุกๆ ช่วงเวลาจำกัดค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อสัญญาณเป็นสัญญาณไร้คาบเช่น มีลักษณะเป็นพัลส์เดียวโดดๆ จะเห็นว่าอนุกรมฟูรีเยร์ ไม่สามารถแทนที่ฟังก์ชันนั้นได้ตลอดเวลา ดังนั้นในการวิเคราะห์สัญญาณไร้คาบ จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขวิธีการให้เหมาะสมมากขึ้น เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณไร้คาบนั้นเรียกว่า การแปลงฟูรีเยร์ (Fourier's transform) การแปลงฟูรีเยร์นี้ทำให้สามารถวิเคราะห์สัญญาณไร้คาบในโดเมนเวลา ว่ามีองค์ประกอบความถี่เป็นเช่นไรได้

2.2.2.1 การแทนสัญญาณไร้คาบในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงประกอบเพื่ออธิบายว่าสัญญาณไร้คาบ คือ สัญญาณมีคาบที่มีเวลาเป็นอนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาสัญญาณไร้คาบ $f(t)$ ตามที่แสดงในรูป 2.5 (ก) ให้นึกภาพว่าเป็นสัญญาณมีคาบเช่นเดียวกับ $f_T(t)$ ตามรูป 2.5 (ข) แต่คาบเวลา T นั้นถูกขยายลิมิต(limit) เข้าไปสู่ค่าอนันต์ กล่าวคือ

$$f(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \{f_T(t)\} \quad (2.33)$$

หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าการคิดค่า $T \rightarrow \infty$ นั้นมีผลเท่ากับการเคลื่อนย้ายพัลส์ทั้งสองข้างของพัลส์ตัวกลางใน $f_T(t)$ ออกไปจนไกลสุด จนเหมือนกับเหลือเพียงพัลส์ $f(t)$ อยู่เพียงพัลส์เดียวโดดๆ เท่านั้น เมื่อมองภาพจินตนาการดังกล่าวนี้ได้แล้ว ก็มีความพร้อมที่จะพิจารณาถึงกระบวนการที่จะแทน $f(t)$ ด้วยองค์ประกอบของสัญญาณย่อย เช่นเดียวกับที่ทำกับสัญญาณมีคาบ เพื่อที่จะหาสเปกตรัมของ $f(t)$ ในโดเมนความถี่ การเริ่มต้นจะเริ่มพิจารณาจาก $f_T(t)$ โดยใช้คุณสมบัติของสัญญาณมีคาบของ $f(t)$ เราจะได้อนุกรมฟูริเยร์ ตามสมการที่ (2.33) คือ

$$f_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{-jn\omega_0 t} \quad (2.34)$$

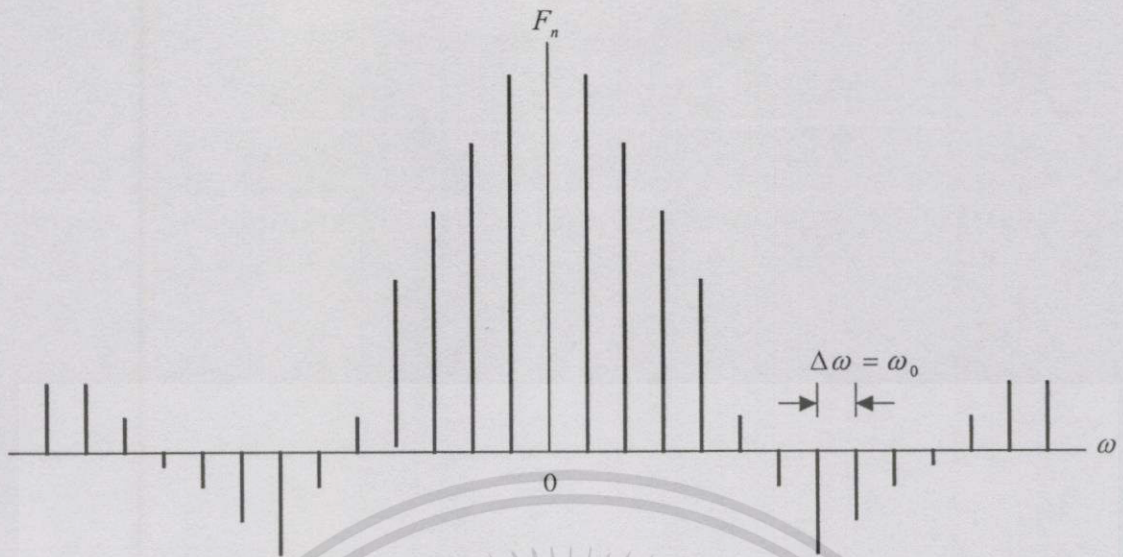
โดยที่ F_n หาได้จาก

$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f_T(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (2.35)$$

และ ω_0 ในที่นี้มีค่าคือ $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$

ตามปกติ ω_0 นี้จะหมายถึงความถี่เชิงมุมของคลื่นมูลฐานของสัญญาณ $f_T(t)$ แต่เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของ $f_T(t)$ ตามรูปที่ 2.6 จะเห็นว่ายังหมายถึงช่วงของความถี่ที่ห่างกันระหว่างแต่ละฮาร์มอนิกในสเปกตรัมของ $f_T(t)$ นั้นด้วย ดังนั้นถ้ากำหนดให้ $\Delta\omega$ คือช่วงความถี่ระหว่างฮาร์มอนิกดังกล่าวมาแล้ว จะได้ว่า

$$\omega_0 = \Delta\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.36)$$



รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณคาบ $f_T(t)$

ตามที่ได้อธิบายว่า ให้จินตนาการว่า $f(t)$ คือ $f_T(t)$ ที่มีคาบเวลา $T \rightarrow \infty$ ดังนั้นขั้นตอนต่อจากสมการ คือ ทำการเพิ่มลิมิต $T \rightarrow \infty$ เข้าไป อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถดำเนินขั้นตอนนี้ได้โดยตรง ทั้งนี้เพราะเมื่อ $T \rightarrow \infty$ จะทำให้ค่า F_n ตามสมการที่ (2.35) มีลิมิตเข้าสู่ 0 ซึ่งจะไม่ให้ความหมายอะไร ดังนั้นจึงต้องมีการดัดแปลงความคิดเล็กน้อย โดยการคูณ T ทั้งสองข้างของสมการที่ (2.35) ก่อน ซึ่งจะได้

$$TF_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f_T(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (2.37)$$

โดยการทำเช่นนี้พบว่า แม้เราให้ค่า $T \rightarrow \infty$ ค่าผลคูณ TF_n ก็ยังจะมีค่าจำกัดเพราะค่าขวามือของสมการที่ (2.37) นั้นมีค่าจำกัด

เพื่อให้เกิดความสะดวกในการจัดรูปสมการต่อไปเราจะกำหนดใช้สัญลักษณ์ ω_n แทนค่า $n\omega_0$

$$\omega_n = n\omega_0 \quad (2.38)$$

และกำหนดให้

$$F\omega_0 = TF_n \quad (2.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสมการที่ (2.34) และ (2.37) จะเขียนได้เป็น

$$f_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{F(\omega_n)}{T} e^{-j\omega_n t} \quad (2.40)$$

และ

$$F(\omega_n) = \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f_T(t) e^{-j\omega_n t} dt \quad (2.41)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่(2.36) ลงในสมการที่ (2.41) จะได้

$$f_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(\omega_n) e^{-j\omega_n t} \frac{\Delta\omega}{2\pi} \quad (2.42)$$

เมื่อ T มีค่าเพิ่มขึ้น $\Delta\omega$ จะแคบลงฮาร์มอนิกในสเปกตรัมก็จะหนาแน่นขึ้น เมื่อ $T \rightarrow \infty$ ฮาร์มอนิกข้างเคียงก็จะมาเรียงชิดต่อกัน ซึ่งเมื่อเป็นดังนี้ ค่า ω_n ที่เคยห่างกันเป็นช่วงๆ ก็จะมาเรียงชิดต่อกันทำให้ ω_n กลายเป็นตัวแปรที่ต่อเนื่อง เมื่อเป็นเช่นนั้นจึงสมควรที่จะกำหนดสัญลักษณ์ใหม่ให้เป็น ω ในขณะเดียวกันเมื่อ $T \rightarrow \infty$ $\Delta\omega$ จะมีค่ากลายเป็น $d\omega$ และตัวปฏิบัติการ Σ ก็จะกลายเป็น \int กล่าวคือ เมื่อคิดลิมิต $T \rightarrow \infty$ กับสมการที่ (2.42) แล้วจะได้

$$\lim_{T \rightarrow \infty} f_T(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(\omega_n) e^{-j\omega_n t} \Delta\omega \quad (2.43)$$

ซึ่งจะมีค่าเป็น

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{-j\omega t} d\omega \quad (2.44)$$

และโดยนัยการพิจารณาเดียวกัน เมื่อ $T \rightarrow \infty$ สมการที่ (2.41) จะกลายเป็น

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2.45)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.44) และ (2.45) เป็นที่รู้จักกันดี โดยทั่วไปว่าคู่การแปลงฟูริเยร์(Fourier's Transform pair) โดยที่ความสัมพันธ์ของ $F(\omega)$ ตามสมการที่ (2.45) มีชื่อเรียกว่าการแปลงฟูริเยร์(Fourier's Transform) ของ $f(t)$ และเรียก $f(t)$ ตามความสัมพันธ์สมการที่ (2.44) ว่า การแปลงฟูริเยร์กลับ (invert Fourier's Transform) ของ $F(\omega)$ และสามารถเขียนสัญลักษณ์แสดงคู่การแปลงฟูริเยร์ของ $f(t)$ และ $F(\omega)$ ด้วยเครื่องหมายดังนี้คือ $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$

เนื่องจากความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.38) และ (2.39) ทำให้หาค่าสัมประสิทธิ์ F_n ของอนุกรมฟูริเยร์เชิงเอกไปเนนเชียลได้ คือ

$$F_n = \frac{f(\omega)}{T} \Big|_{\omega=n\omega_0} \quad (2.46)$$

ทั้งนี้โดยมีเงื่อนไขว่า ณ ตำแหน่ง $\omega = n\omega_0$ นั้น $F(\omega)$ จะต้องมีค่าที่กำหนดได้แน่นอนและค่า $f(t)$ ที่ $t = \pm \frac{T}{2}$ นั้นจะต้องมีค่าเป็นศูนย์

การแปลงฟูริเยร์นี้มีความสำคัญมากในการวิเคราะห์สัญญาณทั่วไป ซึ่งมีความหมายทางกายภาพคือ เป็นการกำหนดความหนาแน่นของสเปกตรัมของสัญญาณในโดเมนความถี่ หรือเป็นการแสดงข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณไร้คาบในโดเมนความถี่นั่นเอง

2.3 ทฤษฎีการช้ค่าตัวอย่าง(Sampling Theorem)

ทฤษฎีการช้ค่าตัวอย่างนั้นสรุปได้ว่า สัญญาณอนาลอกใดก็ตาม ที่มีองค์ประกอบความถี่หรือความหนาแน่นสเปกตรัมอยู่ในช่วงความถี่ที่มีแบนด์วิดท์จำกัดไม่เกิน B เฮิรตซ์แล้ว สามารถเลือกช้ค่าตัวอย่าง (Sampling) ของสัญญาณนั้น ที่ช่วงเวลาที่ย่างกันอย่างสม่ำเสมอเป็นคาบไม่เกิน $\frac{1}{2B}$ วินาที หรือให้สามารถเลือกช้ค่าตัวอย่างของสัญญาณนั้นด้วยค่าความถี่ไม่น้อยกว่า 2 เท่าของค่าความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้น [1,4] จะทำให้สามารถหารูปสัญญาณอนาลอกเดิมกลับคืนมาได้จากสัญญาณช้ค่าตัวอย่างเหล่านั้น หรือสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$f_s \geq 2f_{\max} \quad (2.47)$$

f_s คือความถี่ที่ใช้ในการช้ค่าตัวอย่าง

f_{\max} คือความถี่สูงสุดของสัญญาณข่าวสารอนาลอก

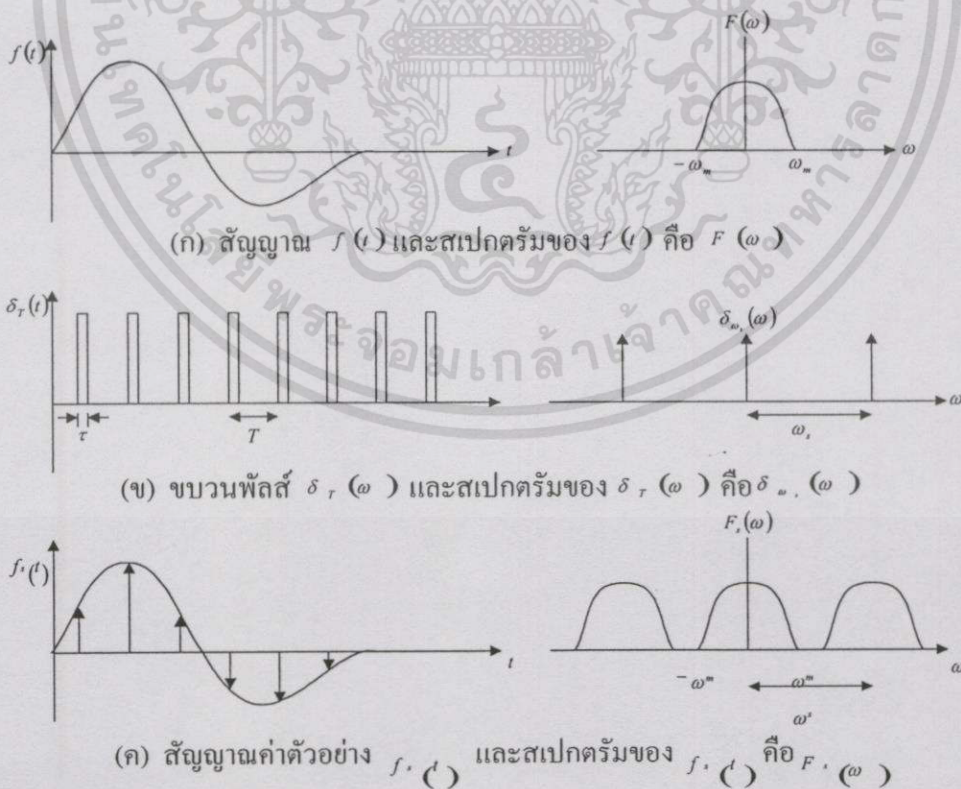
หรือ

$$T \leq \frac{1}{2B} \tag{2.48}$$

T คือคาบเวลาที่ใช้ในการซักราค่าตัวอย่าง

B คือแบนด์วิดท์ของสัญญาณข่าวสารอนาลอก

กระบวนการพื้นฐานของการซักราค่าตัวอย่างนั้นคือ การใช้ฟังก์ชันเกทคูณกับสัญญาณอนาลอกทุกๆ คาบเวลา[1] ซึ่งสัญญาณเกทแบบคาบหรือฟังก์ชันการซักราค่าตัวอย่าง(sampling function) $\delta_T(t)$, นั้นคือขบวนพัลส์ที่พัลส์มีความสูงคงที่ มีความยาว τ วินาที และมีคาบเท่ากับ T ดังรูปที่ 2.7(ข) ส่วนสัญญาณอนาลอก $f(t)$ แสดงในรูปที่ 2.7(ก) ผลลัพธ์ที่ได้จากการคูณสัญญาณทั้งสองจะเรียกว่า สัญญาณดิสครีต (discrete signal) แทนด้วยสัญลักษณ์ $f_s(t)$ ซึ่งสัญญาณดิสครีตที่ได้จะมีข้อมูลสำหรับสัญญาณอนาลอกเดิมอยู่ครบถ้วน โดยภาพแสดงสัญญาณดิสครีตจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.7(ค) และสามารถสรุปความสัมพันธ์เป็นรูปสมการได้ดังสมการที่ (2.49)



รูปที่ 2.7 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ถูกซักราค่าตัวอย่าง

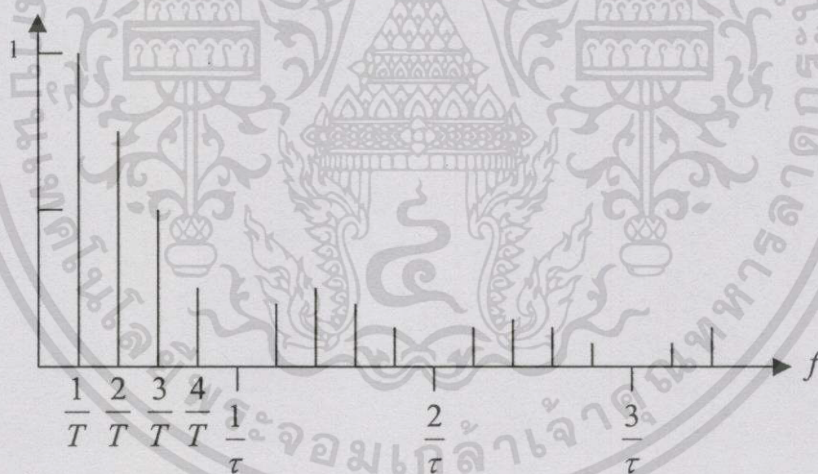
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_s(t) = f(t)\delta_T(t) \quad (2.49)$$

ก่อนที่จะวิเคราะห์หาค่าของฟังก์ชันการซัดค่าตัวอย่าง $\delta_T(t)$ ก่อน เนื่องจากฟังก์ชันการซัดค่าตัวอย่าง $\delta_T(t)$ เป็นขบวนพัลส์แคบที่เป็นคาบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7(ข) ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาค่าสเปกตรัมด้วยฟูริเยร์ [9] ซึ่งได้ตามสมการที่ (2.50) คือ

$$\delta_T(t) = \frac{\tau}{T} \left\{ 1 + 2 \left[\left(\sin c \frac{\pi\tau}{T} \right) \cos \omega_c t + \left(\sin c \frac{2\pi\tau}{T} \right) \cos 2\omega_c t + \dots \right] \right\} \quad (2.50)$$

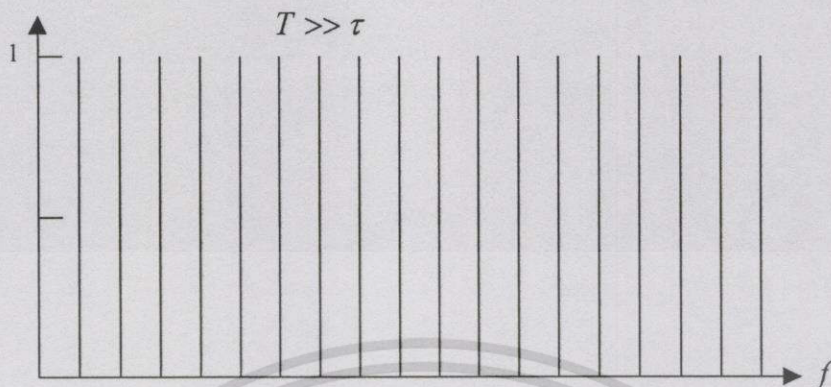
จากสมการที่ (2.50) สามารถเขียนเป็นสเปกตรัมได้ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งพบว่าแต่ละฮาร์มอนิกห่างกันเท่ากับ $f_s = \frac{1}{T}$ และจะมีฟังก์ชันแซมปลิง (sampling function) หรือ sinc เป็นกรอบ (envelope) บังคับอยู่ ซึ่งค่าฮาร์มอนิกจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ $\frac{1}{\tau}$



รูปที่ 2.8 แสดงแอมพลิจูดสเปกตรัมของฟังก์ชันแซมปลิง

เนื่องจากช่วงเวลาในการซัดค่าตัวอย่างสัญญาณเป็นช่วงเวลาสั้นๆ จึงอนุมานได้ว่า เมื่อ $\tau \ll T$ แล้วจะทำให้ $\sin c \left(\frac{n\pi\tau}{T} \right) \cong 1$ ดังนั้นจึงทำให้สมการ (2.50) เปลี่ยนรูปเป็นสมการที่ (2.51) และมีค่าเป็นแอมพลิจูดสเปกตรัม และเรียกสมการที่ (2.51) ว่าฟังก์ชันแซมปลิงอย่างง่าย ดังรูปที่ 2.9

$$\delta_T(t) = \frac{\tau}{T} (1 + 2 \cos \omega_s t + 2 \cos 2\omega_s t + 2 \cos 3\omega_s t + \dots) \quad (2.51)$$



รูปที่ 2.9 แสดงแอมพลิจูดสเปกตรัมของฟังก์ชันแซมปลิงเมื่อ $\tau \ll T$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (2.51) ลงในสมการที่ (2.49) จะได้

$$f_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(nt) \delta(-nTt) \quad (2.52)$$

จากคู่การแปลงฟูริเยร์เบื้องต้น จะได้ $\delta_T(t) \leftrightarrow \delta_{\omega_s}(\omega) \omega_s$

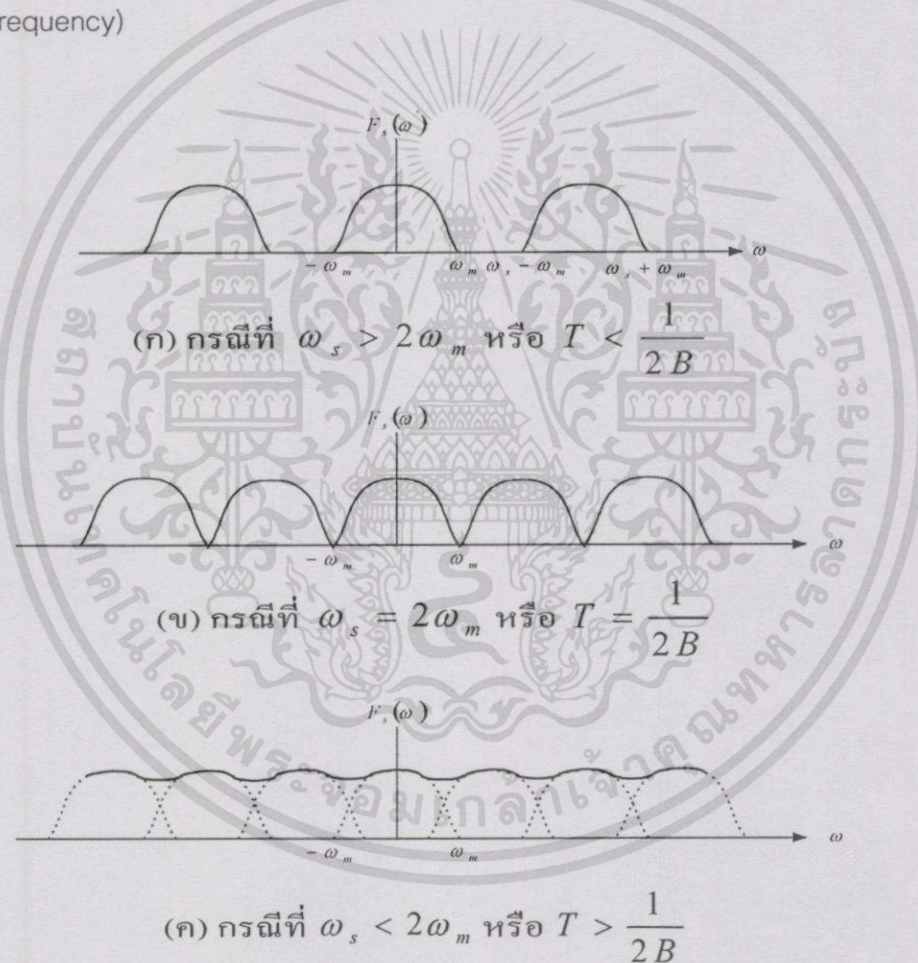
ถ้ากำหนดให้ $f_s(t) \leftrightarrow F_s(\omega)$ และ $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$ จะได้

$$\begin{aligned} F_s(\omega) &= F(\omega) \otimes \delta_{\omega_s}(\omega) \omega_s \\ &= \frac{\omega_s}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(z) f(\omega - n\omega_s - z) dz \\ &= \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(\omega - n\omega_s) \end{aligned} \quad (2.53)$$

จากสมการที่ (2.53) ทำให้ทราบว่า $f_s(t)$ หรือสัญญาณดิสครีตที่เกิดจากการซิกค่าตัวอย่าง จะมีฟังก์ชันความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมที่มีรูปร่างเหมือนฟังก์ชันความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของ $f(t)$ โดยจะเกิดซ้ำกันทุกคาบความถี่ ω_s ดังแสดงในรูปที่ 2.7(ค) เมื่อ $f(t)$ มีองค์ประกอบของความถี่สูงสุดคือ B เฮิรตซ์ ค่าความถี่เชิงมุมที่ตรงกับค่าความถี่สูงสุดนี้มีค่า $\omega_m = 2\pi B$ และพบว่า ถ้า $\omega_s > 2\omega_m$ หรือ $T < \frac{1}{2B}$ แล้ว $F_s(\omega)$ จะมีลักษณะเหมือนกับการนำ

$F(\omega)$ มาเรียงกันห่างๆ บนแกนความถี่ ω ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก) แต่เมื่อค่า $\omega_s = 2\omega_m$ หรือ $T = \frac{1}{2B}$ แล้ว $F_s(\omega)$ จะมีลักษณะเหมือนรูปที่ 2.10 (ข) และถ้าค่า $\omega_s < 2\omega_m$ หรือ $T > \frac{1}{2B}$ แล้ว $F_s(\omega)$ จะมีลักษณะเหมือนรูปที่ 2.10 (ค) ซึ่งมีการทับซ้อนกันของส่วนประกอบสเปกตรัม ซึ่งปรากฏการณ์ในรูปที่ 2.10 (ค) นี้เรียกว่าการเกิดเอเลียสซิง(aliasing)

จากรูปที่ 2.10 ค่า $T = \frac{1}{2B}$ นี้มีความสำคัญต่อทฤษฎีการซำคค่าตัวอย่างมาก เพราะมันเป็นค่าวิกฤตที่จะบอกว่าสามารถดีเทกต์แยกสัญญาณข่าวสารออกมาได้อย่างสมบูรณ์หรือไม่ ค่าคาบเวลา $T = \frac{1}{2B}$ นี้มีชื่อเรียกว่า ช่วงเวลาในการซำคค่าตัวอย่างไนควิสต์ บางครั้งเรียกสั้นๆ ว่าช่วงเวลาไนควิสต์(Nyquist Interval) และได้ค่าความถี่ที่ $f = 2B$ และถูกเรียกว่าความถี่ไนควิสต์(Nyquist frequency)



รูปที่ 2.10 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการซำคค่าสัญญาณ

2.4 การวิเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็ม

ทฤษฎีที่กล่าวถึงการวิเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็ม ได้มีการกล่าวถึงไว้ในเอกสารอ้างอิง[1,3-5] การวิเคราะห์สัญญาณดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวคิด ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละแนวคิดนั้น มีวิธีการในการหาสัญญาณพีพีเอ็มด้วยคณิตศาสตร์ที่ต่างกัน และมักต้องอ้างถึงการวิเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มด้วย ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

ในการวิเคราะห์ตามแนวคิดแรก [1] ใช้พื้นฐานของการซักราค่าตัวอย่างสัญญาณ (Sampling) ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้ว โดยพิจารณาจากสมการผลลัพธ์ของสัญญาณดิสครีตที่ถูกซักราค่าตัวอย่างในโดเมนของเวลา ว่าเกิดเนื่องจากผลคูณระหว่างสัญญาณแซมปลิงกับสัญญาณข่าวสาร นั่นคือ

$$v_s = v_m \cdot \delta_T(t) \quad (2.54)$$

โดยที่

v_s แทนสัญญาณดิสครีตที่ถูกซักราค่าตัวอย่างในโดเมนของเวลา

v_m แทนสัญญาณข่าวสาร

$\delta_T(t)$ แทนสัญญาณซักราค่าตัวอย่าง (Sampling Signal) ในโดเมนของเวลา

แทนค่า v_m ด้วย $E_m(1 + \cos \omega_m t)$ และแทนค่า $\delta_T(t)$ จากสมการที่ (2.51) ลงในสมการที่ (2.54) จะได้

$$\begin{aligned} v_s &= E_m(1 + \cos \omega_m t) \frac{\tau}{T} (1 + 2 \cos \omega_s t + 2 \cos 2\omega_s t + 2 \cos 3\omega_s t + \dots) \\ &= \frac{E_m \tau}{T} (1 + \cos \omega_m t + 2 \cos \omega_s t + 2 \cos \omega_s t \cos \omega_m t + 2 \cos 2\omega_s t \dots) \\ v_s &= \frac{E_m \tau}{T} [1 + \cos \omega_m t + \cos(\omega_s - \omega_m)t + 2 \cos \omega_s t + \cos(\omega_s + \omega_m)t + \dots] \quad (2.55) \end{aligned}$$

เป็นที่ทราบกันดีว่าความกว้างพลัสส์ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ซึ่งในที่นี้แทนด้วยสัญญาณลักษณะ τ จะแปรผันตามขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณดิสครีตแทนด้วย v_s ดังนั้นความสัมพันธ์ของค่าความกว้างของพลัสส์ (τ) และค่าแอมพลิจูดของสัญญาณดิสครีต (v_s) มีค่าดังสมการ (2.56)

$$\tau \propto v_s \quad (2.56)$$

ซึ่งค่า τ คือความกว้างพัลส์ในแต่ละช่วงคาบของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม
 v_s คือแอมพลิจูดสัญญาณดิสครีตที่ได้จากการซักราค่าตัวอย่าง

จากการแทนค่า v_s เป็นคลื่นรูปไซน์และคูณค่าคงที่ τ_0 ในเทอมขวาของสมการ (2.56) ทำให้จัดรูปสมการ(2.56)ใหม่ได้เป็น

$$\tau = \tau_0 (1 + \cos \omega_m t) \quad (2.57)$$

τ_0 คือค่าคงที่ใดๆ

สำหรับการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบความถี่ของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มนั้น ใช้การแทนค่าจากสมการ(2.57) ลงในสมการการซักราค่าสัญญาณตัวอย่าง นั่นคือสมการที่ (2.51) ทำให้ได้

$$\begin{aligned} f_{pwm}(t) &= \left[\frac{\tau_0 (1 + \cos \omega_m t)}{T} \right] [1 + 2 \cos \omega_s t + 2 \cos 2\omega_s t + 2 \cos 3\omega_s t + \dots] \\ &= \left(\frac{\tau_0}{T} \right) (1 + \cos \omega_m t + 2 \cos \omega_s t + 2 \cos \omega_m t \cos \omega_s t \\ &\quad + 2 \cos \omega_m t \cos 2\omega_s t + \dots) \end{aligned}$$

หรือจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} f_{pwm}(t) &= \left[\frac{\tau_0}{T} \right] [1 + \cos \omega_m t + \cos(\omega_s - \omega_m)t + 2 \cos \omega_s t \\ &\quad + \cos(\omega_s + \omega_m)t + \cos(2\omega_s - \omega_m)t + \dots] \quad (2.58) \end{aligned}$$

ซึ่งสเปกตรัมของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มที่ได้ในสมการที่(2.58) นั้นจะเหมือนกับลักษณะสเปกตรัมของสัญญาณพีเอเอ็มทั่วไป กล่าวคือมีองค์ประกอบของสัญญาณข่าวสารอยู่ครบถ้วน แต่เนื่องจากค่าที่หาได้จากสมการที่(2.58) สมการการซักราค่าสัญญาณตัวอย่างที่มีการประมาณค่าว่าค่า $\tau \ll T$ ดังนั้นหากเป็นกรณีทั่วไปคือเมื่อค่า τ มีค่ามาก จำเป็นต้องคิดค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันไซน์[1]ด้วย ทำให้สเปกตรัมของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มได้เป็นสมการที่(2.59)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_{pwm}(t) = \left[\frac{\tau_0}{T} \right] \left(1 + \cos \omega_m t + \frac{2}{\pi} \sin \left[\frac{1}{2} \omega_s \tau_0 (1 + \cos \omega_m t) \right] \cos \omega_s t + \dots \right) \quad (2.59)$$

ในสมการที่ (2.59) พบว่าฮาร์มอนิกองค์ประกอบในเทอมถัดๆ ไป ยกเว้นเทอมแรก จะอยู่ในรูปของฟังก์ชันเบสเซล (Bessel Function)

ในส่วนของกาวิเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็ม พบว่าค่าการเลื่อนเวลาของพัลส์ (t_d) จะแปรผันตามค่าแอมพลิจูดของสัญญาณดิสครีต (v_s) นั่นคือ

$$t_d \propto v_s$$

$$t_d = t_{d0} \cdot v_s$$

ถ้ากำหนดให้สัญญาณข่าวสารเป็นคลื่นรูปไซน์ จะได้

$$t_d = t_{d0} (1 + \cos \omega_m t) \quad (2.60)$$

จากข้อกำหนดเบื้องต้นนั้น ไม่สามารถวิเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มได้ จึงจำเป็นต้องใช้การแก้ไขค่า T และค่า τ โดยการประมาณให้

$$t \equiv t + t_d = t + t_{d0} (1 + \cos \omega_m t) \quad (2.61)$$

และ $T \equiv T_s + \delta T$

$$= T_s + \frac{dt_d}{dt} \cdot \delta t$$

$$= T_s - \omega_m t_{d0} \sin \omega_m t \cdot T_s$$

$$= T_s (1 - \omega_m t_{d0} \sin \omega_m t) \quad (2.62)$$

เมื่อแทนสมการที่ (2.61) ลงในสมการที่ (2.51) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

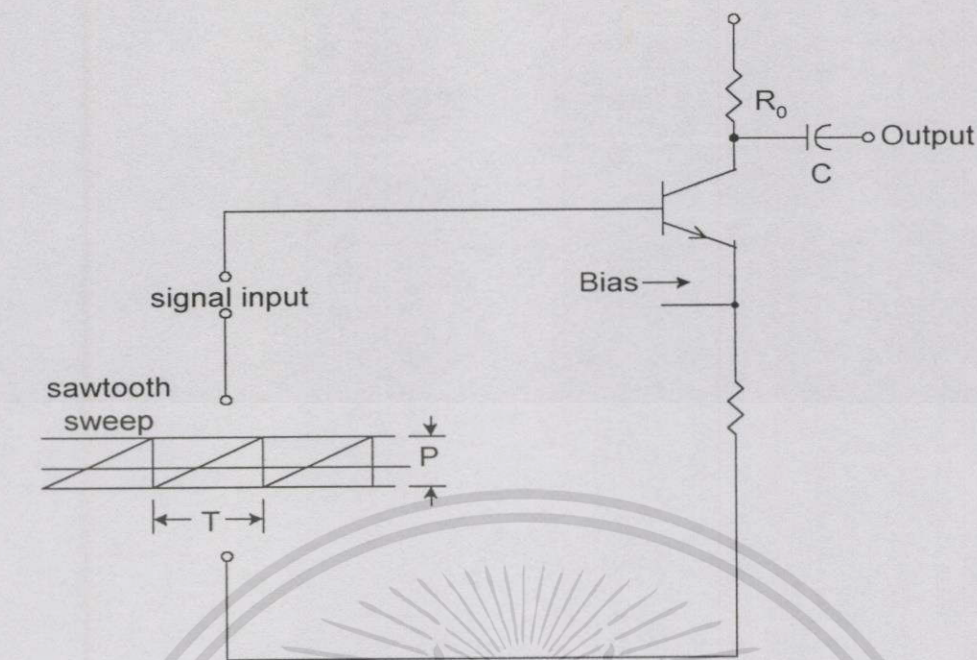
$$f_{ppm}(t) = (\tau/T_s)(1 - \omega_m t_{d0} \sin \omega_m t) \times \left[1 + 2 \cos \left(\frac{2\pi [t + t_{d0} (1 + \cos \omega_m t)]}{T_s (1 - \omega_m t_{d0} \sin \omega_m t)} \right) + \dots \right] \quad (2.63)$$

ในกรณีที่ส่งสัญญาณตามสมการที่ (2.63) แบบ TDM จะทำให้ค่า $\omega_m t_{d0}$ มีค่าน้อยมาก และเมื่อค่า $\frac{2\pi}{T_s} = \omega_s$ จะได้

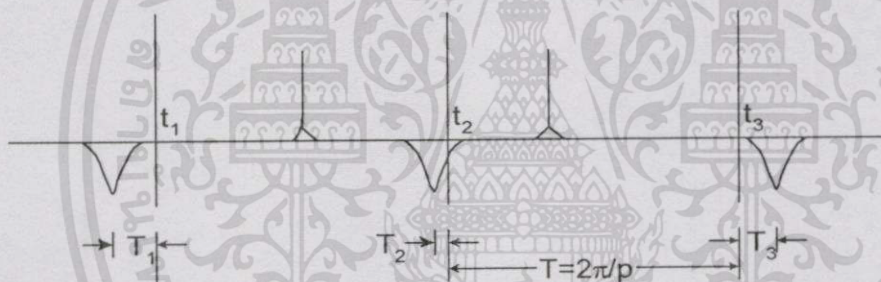
$$f_{ppm}(t) = (\tau/T_s)(1 - \omega_m t_{d0} \sin \omega_m t) \times \{1 + 2 \cos \omega_s [(t + t_{d0}) + t_{d0} \cos \omega_m t] + \dots\} \quad (2.64)$$

จากการวิเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มด้วยคณิตศาสตร์ พบว่าเทอมแรกของสมการที่ (2.64) คือเทอมข่าวสาร ซึ่งในการดีมอดูเลตจำเป็นต้องแปลงสัญญาณพีพีเอ็มให้เป็นสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มก่อนจะทำการดีมอดูเลตสัญญาณข่าวสารออกจากสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มอีกครั้งหนึ่ง

ในแนวคิดที่ 2 [3-5] กล่าวไว้ว่าการหาค่าองค์ประกอบสัญญาณพีพีเอ็มนั้นสามารถหาค่าได้จากการวิเคราะห์คณิตศาสตร์ตามวิธีการปฏิบัติจริง ซึ่งใช้การสร้างสัญญาณพีพีเอ็มแบบ Natural sampling และมีวงจรในการสร้างสัญญาณพีพีเอ็มดังรูปที่ 2.11ก และผลของรูปสัญญาณพีพีเอ็มแสดงไว้ในรูปที่ 2.11ข



(ก) แสดงวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพีพีเอ็ม



(ข) แสดงรูปสัญญาณพีพีเอ็มที่สร้างจากวงจรในรูป(ก)

รูปที่ 2.11 แสดงวงจรในการมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็มและรูปของสัญญาณพีพีเอ็มที่ได้จากวงจร

จากรูปที่ 2.11 อธิบายวงจรในรูป (ก) ได้ว่า เมื่อสัญญาณอินพุตถูกชักค่าด้วยสัญญาณด้วยสัญญาณฟันเลื่อยที่มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ V โวลต์ ที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ ซึ่งในช่วงที่ไม่ปรากฏสัญญาณเอาพุตนั้น ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณฟันเลื่อยทำให้ค่ากระแสในขาเบสมีค่ามากกว่าค่ากระแสของขาคอลเลคเตอร์ ซึ่งปกติค่ากระแสที่ขาคอลเลคเตอร์ จะมีค่ามาก แต่บางช่วงเวลาของสัญญาณฟันเลื่อยจะเกิดกระแสที่ขาคอลเลคเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีค่าโวลเตจตกคร่อมที่ตัว R_0 ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดพลัสค่าลบ ในส่วนของพลัสค่าบวก เกิดขึ้นในช่วงการพีดแบ็กของค่าสัญญาณฟันเลื่อย แต่พลัสค่าบวกนี้สามารถกำจัดได้โดยใช้วงจร Half-wave Rectifier และจากรูป ข จะเห็นว่าค่า t_1, t_2, t_3 เป็นค่าอ้างอิงของแต่ละคาบ และค่า T_1, T_2, T_3 เป็นระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห่างจากค่าอ้างอิง ซึ่งค่านี้ขึ้นกับค่าขนาดของสัญญาณข่าวสาร

ให้ ค่าคาบของสัญญาณพื้นเลื่อยที่เป็นสัญญาณพาร์ แทนด้วย T

ค่าแอมพลิจูดขณะใดๆของสัญญาณพาร์ แทนด้วย

$$V = \frac{2P}{T}(t - rT) ; rT - \frac{T}{2} < t < rT + \frac{T}{2}$$

เมื่อ P คือค่าแอมพลิจูดของสัญญาณพาร์

r คือลำดับลูกของสัญญาณพาร์

ค่าของสัญญาณข่าวสาร แทนด้วย $Q \cos(qt_r + \theta)$

เมื่อใช้สมมติฐานเบื้องต้นว่า สัญญาณพลัสจะเกิดเมื่อ ผลรวมของค่าแอมพลิจูดขณะใดๆของสัญญาณพาร์กับค่าสัญญาณข่าวสารมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$Q \cos(qt_r + \theta) + \frac{2P}{T}(t - rT) = 0 \quad (6.25)$$

หากให้ แทนพลัสสัญญาณพีพีเอ็มที่ $t=0$ แล้วสัญญาณพีพีเอ็มที่สมบูรณ์สามารถแทนได้ด้วยสมการที่ (6.26) คือ

$$E(t) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} g(t - t_r) \quad (6.26)$$

ในการแก้สมการที่ (6.26) นั้นต้อง ฟังก์ชันตัวแปรอิสระในรูปของฟังก์ชัน t 2 ตัวแปร มาแทนค่าลงในสมการ (6.26) เพื่อหาค่า $E(t)$ ซึ่งตัวแปรดังกล่าวใช้ค่าความถี่ของสัญญาณข่าวสาร (q) และค่าความถี่ของสัญญาณพาร์(ω) ซึ่งจากการแทนค่าด้วยฟังก์ชันดังกล่าว และทำการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ตามที่กล่าวไว้โดยละเอียดในหนังสืออ้างอิง[6] ทำให้ได้สมการพีพีเอ็มที่สมบูรณ์ ดังสมการที่ (6.27) คือ

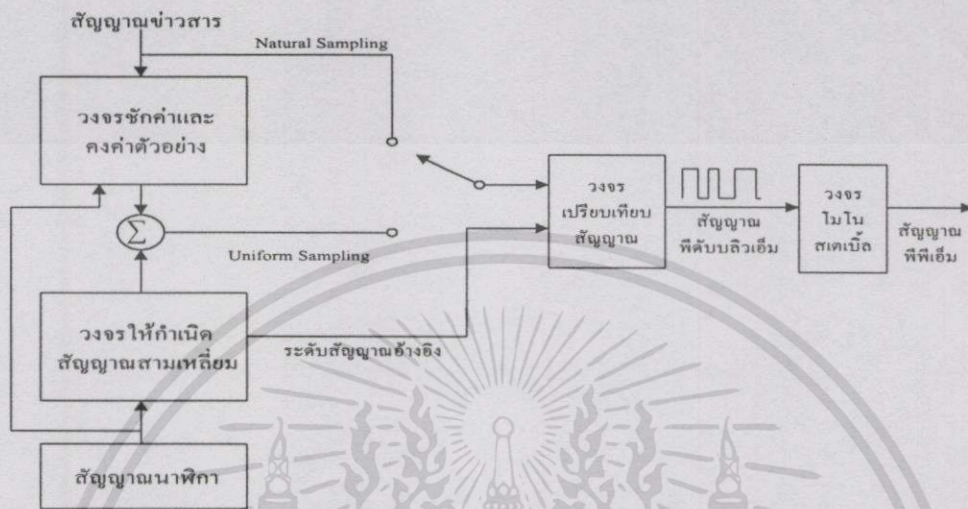
$$E(t) = \frac{P}{2\pi} - \frac{qQ}{2P} \sin qt + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{mp + nq}{m\pi} J_n \left(\frac{m\pi Q}{P} \right) \cos \left[(mp + nq)t + \frac{n\pi}{2} \right] \quad (6.27)$$

2.5 ภาคมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็ม (Pulse Position Modulation)

โดยทั่วไปในทางปฏิบัติของการสร้างสัญญาณพีพีเอ็มสัญญาณหรือการมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็มนั้นทำโดยสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มก่อน แล้วจึงนำสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ได้ผ่านไปในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ (monostable multivibrator)[9] เพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณพีพีเอ็ม โครงสร้างภาคส่งสัญญาณพีพีเอ็มแสดงไว้ในรูป 2.12 ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละส่วนประกอบดังนี้

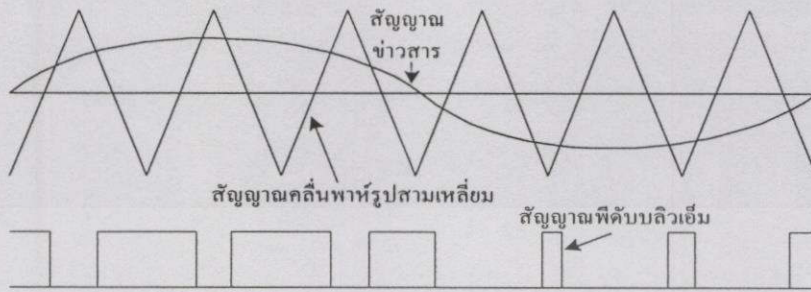


รูปที่ 2.12 แสดงแผนผังวงจรในการมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็ม

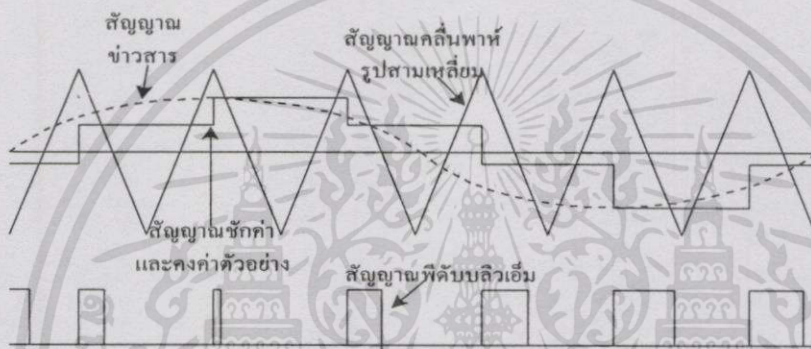
ในส่วนแรกจะกล่าวถึงส่วนของวงจรพีดับบลิวเอ็ม โดยทั่วไปแล้วการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มจะมีอยู่ 2 รูปแบบ แบบแรกได้แก่ การสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่เรียกว่าวิธี Natural sampling (NPWM) และการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบที่ 2 เรียกว่าวิธี Uniform sampling (UPWM)[8] โดยมีโครงสร้างตามที่แสดงในรูปที่ 2.12 และรูปแบบของสัญญาณทั้งสองแสดงไว้ในรูปที่ 2.13

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มจะใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าของสัญญาณข่าวสารกับสัญญาณคลื่นพาห์ที่เป็นรูปสามเหลี่ยมโดยตรง ค่าคาบเวลาของ NPWM มีค่าไม่คงที่โดยขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตที่เข้ามา ในส่วนของ UPWM นั้นจะใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่างค่าของสัญญาณข่าวสารที่ถูกชักร้าตัวอย่างและคงค่าสัญญาณไว้กับสัญญาณคลื่นพาห์ ซึ่งเป็นผลให้สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ได้คาบเวลาจะมีค่าคงที่ อย่างไรก็ตามจากสัญญาณทั้งสองแบบสามารถพิจารณาได้ว่า ถ้าหากความถี่ของสัญญาณพาห์คือสัญญาณสามเหลี่ยมที่นำมาเปรียบเทียบนั้นมีค่าสูงกว่าสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณข่าวสารมาก (คือมากกว่า 10 เท่า) ก็จะมีสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่มีคาบเวลาคงที่ได้[14] ส่วนสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้เป็นคลื่นพาห์นั้นมีอยู่ 2 แบบ คือ สัญญาณสามเหลี่ยมแบบฟันเลื่อยและสัญญาณสามเหลี่ยมธรรมดา สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ได้จากการเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมแบบ

พื้นที่อยู่จะเป็นสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มแบบ single side ส่วนสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มที่เปรียบเทียบ กับสัญญาณสามเหลี่ยมธรรมดาจะเป็นสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มแบบ Double side [9]



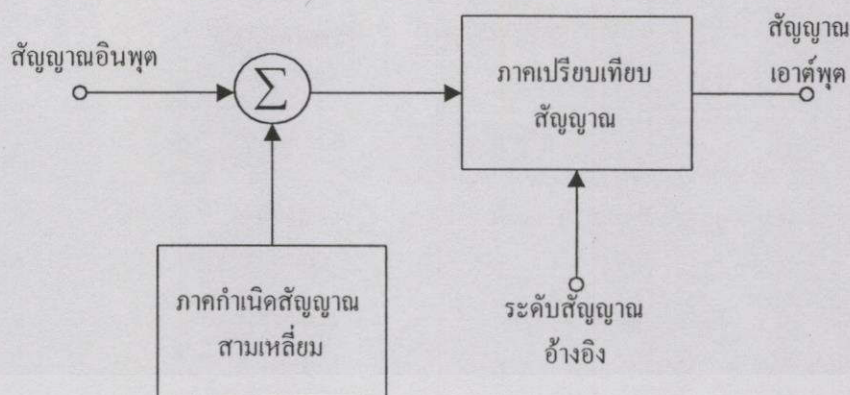
(ก)



(ข)

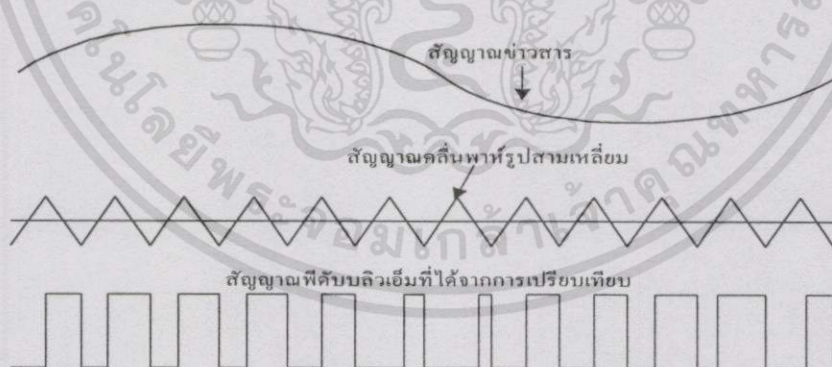
รูปที่ 2.13 (ก) สัญญาณ PWM ที่ใช้วิธี Natural sampling
(ข) สัญญาณ PWM ที่ใช้วิธี Uniform sampling

โดยทั่วไปเลือกใช้การสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มที่เป็นแบบ Double side NPWM และเพื่อให้สามารถปรับค่าระดับอ้างอิงของสัญญาณที่มีผลต่อการควบคุมค่าความกว้างของพัลส์ได้ จึงได้ออกแบบวงจรสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มที่มีโครงสร้างของวงจรตามแผนผังการทำงานดังรูปที่ 2.14 [8-9]



รูปที่ 2.14 แผนผังของวงจรมอดูเลเตอร์แบบความกว้างของพัลส์โดยทั่วไป

จากแผนผังวงจรมอดูเลเตอร์แบบความกว้างพัลส์โดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.14 เมื่อสัญญาณอินพุต ซึ่งเป็นสัญญาณข่าวสาร (Modulating signal) ตามสัญญาณเส้นบนของรูปที่ 2.15 รวมกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่ถูกกำเนิดมาจากภาคกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมแล้ว สัญญาณที่ได้จากผลรวมจะเป็นสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณอินพุตโดยที่ความถี่ยังมีค่าคงเดิมตามสัญญาณเส้นที่สองของรูปที่ 2.15 เมื่อนำสัญญาณนี้มาผ่านภาคเปรียบเทียบสัญญาณกับระดับอ้างอิง (reference level) จะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เปลี่ยนแปลงความกว้างของรูปคลื่นไปตามแอมพลิจูดของผลรวมสัญญาณอินพุตกับสัญญาณสามเหลี่ยมตามสัญญาณเส้นล่างสุดของรูปที่ 2.15

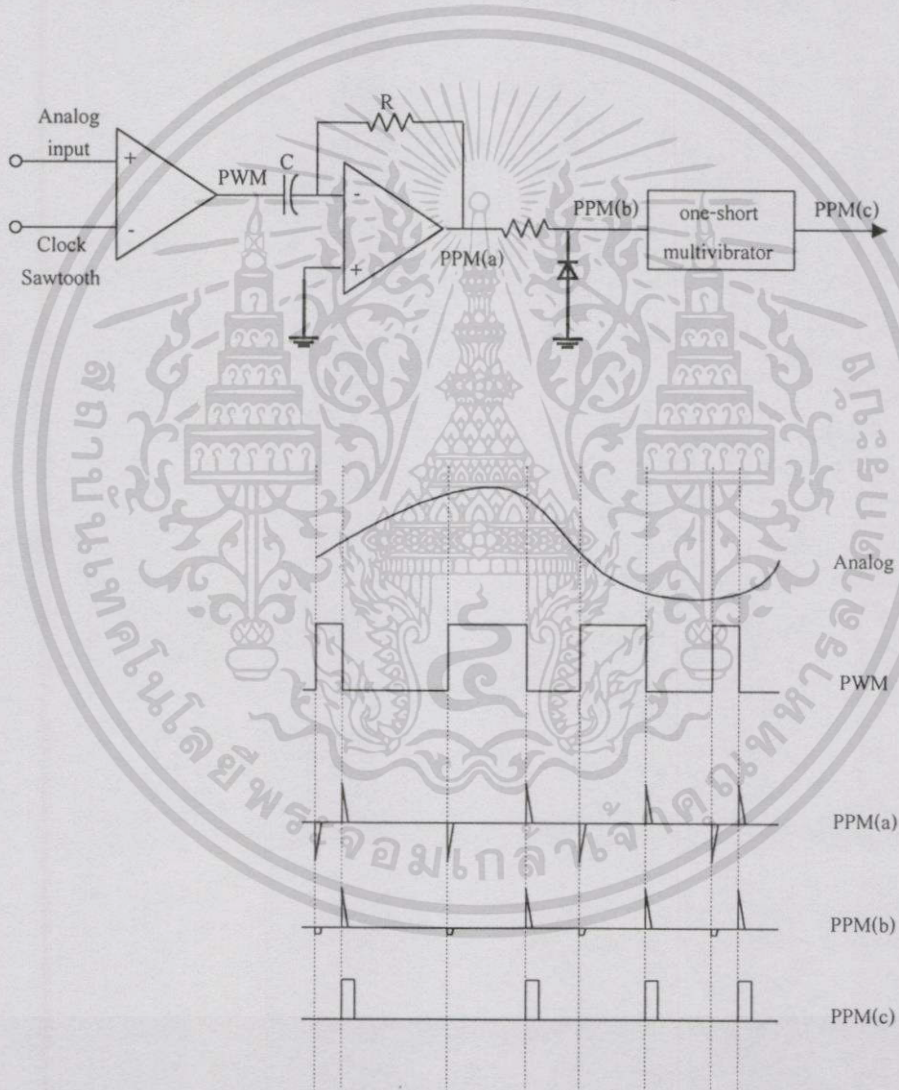


รูปที่ 2.15 ตัวอย่างสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรมอดูเลเตอร์แบบความกว้างพัลส์

เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณเป็นสัญญาณที่ดับบลิเอ็มดังแสดงในรูปที่ 2.14 จากสัญญาณที่ดับบลิเอ็มนี้ ถ้าเราต้องการจะสร้างสัญญาณพีพีเอ็ม สามารถทำได้โดยนำสัญญาณที่ดับบลิเอ็มนั้น ส่งไปยังวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (monostable multivibrator)[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

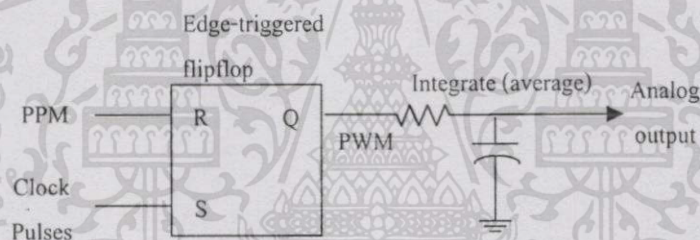
ที่ทำการกระตุ้นโดยขอบตก (trailing edge) ของพัลส์ ขอบตกของพัลส์ที่ดับลิวิตเอ็ม จะกระตุ้น วงจรมัลติไวยเบรเตอร์ให้สร้างเอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณพีพีเอ็ม ดังรูปที่ 2.16 ในรูปที่ 2.16 นั้น แสดงถึงวงจรที่ใช้การสร้างสัญญาณพีพีเอ็มโดยละเอียด พร้อมทั้งแสดงผลของรูปสัญญาณที่ได้ จากวงจรในทุกขั้นตอนอีกด้วย ซึ่งขั้นตอนต่างๆมีดังนี้คือ ในขั้นตอนสร้างสัญญาณ ppm(a)ทำโดย นำสัญญาณที่ดับลิวิตเอ็มที่ได้มาทำผ่านวงจรถอดรูป ซึ่งผลที่ได้คือพัลส์สัญญาณแคบๆที่มีทั้งค่า บวกและค่าลบแสดงในกราฟรูป ppm(a) จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านวงจร half wave rectify เพื่อตัดพัลส์ค่าลบ ซึ่งผลที่ได้แสดงในกราฟรูป ppm(b) จากนั้นจึงนำพัลส์ที่ได้ไปผ่านวงจร one-short multivibrator ก็จะได้เป็นสัญญาณพีพีเอ็มที่สมบูรณ์ดังกราฟรูป ppm(c)



รูปที่ 2.16 วงจรสร้างสัญญาณพีพีเอ็ม

2.6 ภาคติมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็ม (Pulse Position Demodulation)

ในส่วนของภาครับสัญญาณพีพีเอ็มหรือภาคติมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็ม เพื่อแยกสัญญาณข่าวสาร $m(t)$ ออกจากสัญญาณพีพีเอ็มนั้น มีขั้นตอนดังรูปที่ 2.17 สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ เมื่อภาครับได้รับสัญญาณพีพีเอ็ม จะทำได้โดยการแปลงสัญญาณพีพีเอ็มให้กลับเป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม โดยการใช้อาร์เอสฟลิปฟลอป (RS flip-flop) คือ ใช้ขบวนพัลส์ที่ยังไม่ได้มอดูเลตเป็นสัญญาณอ้างอิง (Synchronous Signal) เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเซต (set) ค่าเอาต์พุตของฟลิปฟลอป และใช้สัญญาณพีพีเอ็มเป็นสัญญาณรีเซต (reset) ค่าเอาต์พุต ทำให้เอาต์พุตของฟลิปฟลอปกลายเป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มตามต้องการ จากนั้นจึงนำสัญญาณ $m(t)$ ออกจากสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ในการที่จะนำสัญญาณข่าวสาร $m(t)$ กลับคืนมาจากสัญญาณพีดับบลิวเอ็มนั้น ทำได้โดยการใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งมีความถี่ของจุดตัด (cutoff frequency) ที่ค่าความถี่สูงสุด f_m สัญญาณ $m(t)$ มากกรองสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม จะได้สัญญาณข่าวสาร $m(t)$ กลับคืนมา



รูปที่ 2.17 แสดงภาคติมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็ม

2.7 สรุป

การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามทฤษฎีพื้นฐานตามที่กล่าวมาข้างต้นนั้น มีขั้นตอนในการมอดูเลตและติมอดูเลตที่ซับซ้อน รวมทั้งยังต้องอาศัยการเข้าจังหวะสัญญาณในขั้นตอนการติมอดูเลตสัญญาณเพื่อให้ได้ข่าวสารกลับคืนมาอย่างถูกต้อง จึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยากต่อการสร้างวงจรใช้งาน ตลอดจนการนำไปใช้งานจริง หากมีวิธีการที่ทำให้ลดขั้นตอนในการมอดูเลตลงได้ ก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการมอดูเลตได้เป็นอย่างดี

บทที่ 3

หลักการในการมอดูเลตพีพีเอ็มที่นำเสนอ

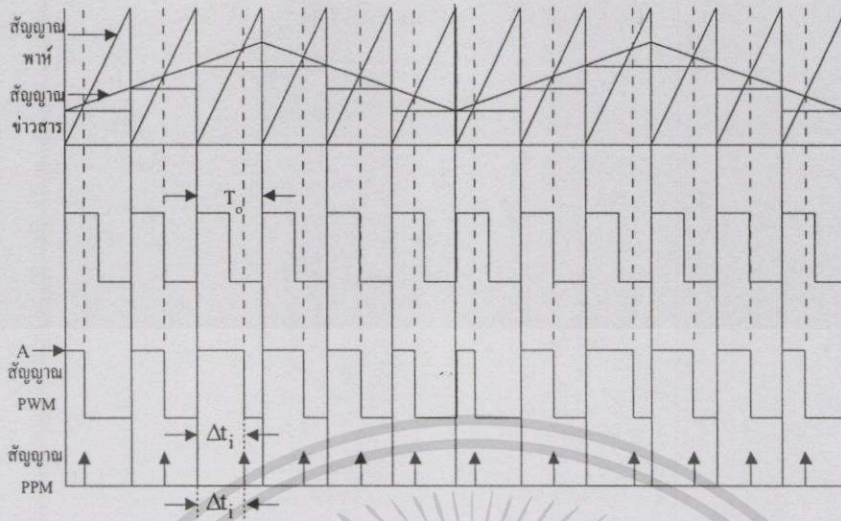
3.1 กล่าวนำ

จากการวิเคราะห์สัญญาณด้วยคณิตศาสตร์ที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.4 ของบทที่ 2 จะเห็นว่าในการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็ม ด้วยคณิตศาสตร์ดังกล่าวนั้นมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน ยากต่อการทำความเข้าใจ ตลอดจนไม่มีความชัดเจนในการตั้งสมมุติฐานเบื้องต้น นอกจากนั้นแล้วสมการผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ตามแนวคิดที่ได้เสนอมานั้น ยังไม่เคยมีการนำมาพิสูจน์ความถูกต้องของสมการเลยว่าจะสามารถนำไปสร้างเป็นสัญญาณพีพีเอ็มจริง สืบเนื่องจากการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้กระบวนการมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็มในทางปฏิบัติมีหลายขั้นตอน และที่สำคัญกระบวนการในการทำสัญญาณ พีพีเอ็ม กลับมาเป็นสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม จำเป็นต้องใช้พัลส์อ้างอิง[1] ซึ่งในขั้นตอนนี้มักจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการรับสัญญาณ หากค่าเริ่มต้นสัญญาณพีพีเอ็มไม่ตรงกับสัญญาณนาฬิกาที่ใช้เป็นพัลส์อ้างอิง นอกจากนั้นยังส่งผลให้วงจรที่ใช้ในการตีเทกต์มีขนาดใหญ่อีกด้วย ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดใหม่ในการวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งมีสมมุติฐานเบื้องต้นว่าสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็มเป็นสัญญาณที่มีคาบ โดยมีช่วงคาบสัญญาณเท่ากับคาบของสัญญาณพัลส์ที่ใช้เป็นสัญญาณพาห์ ดังนั้นจึงใช้คณิตศาสตร์ฟูรีเยร์ในการวิเคราะห์สัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็ม ซึ่งจากแนวคิดนี้จะสามารถแสดงการขึ้นตอนการวิเคราะห์ให้ดูง่ายและชัดเจนมากขึ้น โดยขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณเริ่มจากการวิเคราะห์สัญญาณที่ดับบลิวเอ็มก่อน จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปวิเคราะห์เป็นสัญญาณพีพีเอ็มต่อไป และเมื่อได้ผลสมการของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและสัญญาณพีพีเอ็มที่จากการวิเคราะห์แล้ว จะนำไปตรวจสอบความถูกต้องซึ่งกล่าวไว้ในบทต่อไป) ในส่วนของรายละเอียดการวิเคราะห์สัญญาณด้วยคณิตศาสตร์ตามแนวคิดที่เสนอมีดังต่อไปนี้

3.2 การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม

(Pulsewidth Modulation) ที่นำเสนอ

การพิจารณาสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มในรูปที่ 3.1 ซึ่งหลักการของการมอดูเลตสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม ก็คือการทำให้ช่วงเวลาความกว้างของพัลส์บวกรมีการแปรผันโดยตรงกับข่าวสาร คือ $\Delta t_i \propto m(t)$ โดยที่ $m(t)$ คือสัญญาณข่าวสาร และ Δt_i คือช่วงเวลาความกว้างของพัลส์ลูกที่ i โดยที่ i เป็นจำนวนเต็มบวก ($i = 0, 1, 2, \dots$)



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการมอดูเลตชั้นสัญญาณ พีดับบลิวเอ็ม

เนื่องจากแนวคิดที่ว่าสัญญาณพีดับบลิวเอ็มเป็นสัญญาณที่เป็นคาบเวลา ดังนั้นในการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบของสัญญาณในที่นี่จะใช้อนุกรมฟูเรียร์ในรูปแบบเอกซ์โปเนนเชียล โดยกำหนดให้ $\phi_{pwm}(t)$ แทนเป็นสัญญาณ พีดับบลิวเอ็ม ดังนั้นจะได้ตามสมการที่ (3.1) คือ

$$\phi_{pwm}(t+T) = \phi_{pwm}(t) = F_0 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_o t} \quad (3.1)$$

โดยที่

F_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟูเรียร์ในรูปแบบเอกโปเนนเชียล

n คือ เลขจำนวนเต็มโดยที่ค่า

$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \phi_{pwm}(t) e^{-jn\omega_o t} dt \quad (3.2)$$

ω_o คือความถี่มูลฐานของสัญญาณ มีค่าเท่ากับ $\frac{2\pi}{T}$ โดยที่ T คือคาบเวลาของสัญญาณ และด้วยการพิจารณาสัญญาณคาบที่ i จะได้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 F_n &= \frac{1}{T} \int_{t_o}^{t_o + \Delta t_i} A e^{-jn\omega_o t} dt \\
 &= \frac{A}{T} \int_0^{\Delta t_i} e^{-jn\omega_o t} dt \\
 &= \frac{A}{2jn\pi} [1 - e^{-jn\omega_o \Delta t_i}] \quad (3.3)
 \end{aligned}$$

และค่า

$$\begin{aligned}
 F_o &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \phi_{pwm}(t) dt \\
 &= \frac{1}{T} \int_{t_o}^{t_o + \Delta t_i} A dt \\
 &= \frac{A\Delta t_i}{T} \quad (3.4)
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \phi_{pwm}(t) &= \frac{A\Delta t_i}{T} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{A}{2jn\pi} \{1 - e^{-jn\omega_o \Delta t_i}\} e^{jn\omega_o t} \\
 &= \frac{A\Delta t_i}{T} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\left\{ \frac{A}{2jn\pi} \right\} e^{jn\omega_o t} + \left\{ \frac{-A}{2jn\pi} e^{-jn\omega_o \Delta t_i} e^{jn\omega_o t} \right\} \right] \\
 &= \frac{A\Delta t_i}{T} + \frac{A}{2j\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\left\{ \frac{e^{jn\omega_o t}}{n} + \frac{e^{-jn\omega_o t}}{-n} \right\} - \left\{ \frac{e^{jn\omega_o(t-\Delta t_i)}}{n} + \frac{e^{-jn\omega_o(t-\Delta t_i)}}{-n} \right\} \right] \\
 &= \frac{A\Delta t_i}{T} + \frac{A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\left\{ \frac{e^{jn\omega_o t} - e^{-jn\omega_o t}}{2jn} \right\} - \left\{ \frac{e^{jn\omega_o(t-\Delta t_i)} - e^{-jn\omega_o(t-\Delta t_i)}}{2jn} \right\} \right]
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{A\Delta t_i}{T} + \frac{A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{\text{Sin}(n\omega_o t)}{n} - \frac{\text{Sin}(n\omega_o(t - \Delta t_i))}{n} \right\} \quad (3.5)$$

เนื่องจาก $\Delta t_i \propto m(t)$ และ $\Delta t_i = km(t)$ โดยที่ค่า k คือ ค่าคงที่ ดังนั้น

$$\phi_{pwm} = \frac{Akm(t)}{T} + \frac{A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{\text{Sin}(n\omega_o t)}{n} - \frac{\text{Sin}(n\omega_o(t - km(t)))}{n} \right\} \quad (3.6)$$

จากสมการที่ (3.6) พบว่าเทอมแรกของสมการนั้นคือเทอม $\frac{Akm(t)}{T}$ ซึ่งเป็นผลคูณระหว่าง ขาวสาร $m(t)$ และค่าคงที่ $\frac{AK}{T}$ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของความถี่ต่ำ ดังนั้นถ้าเราใช้วงจรกรอง ความถี่ต่ำที่เหมาะสมคือมีสเกลเป็น $\frac{T}{AK}$ กรองสัญญาณพีดับบลิวเอ็มดังกล่าว ก็จะได้ขาวสาร ที่แท้จริงกลับคืนมาจากสัญญาณพีดับบลิวเอ็มได้

3.3 การวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณพีพีเอ็ม (Pulse Position Modulation)

ในส่วนของการวิเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้สมมุติฐานเบื้องต้น เดียวกับในหัวข้อ 3.2 ว่าสัญญาณพีพีเอ็มเป็นสัญญาณคาบเช่นเดียวกับสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม และเมื่อ พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มกับพีพีเอ็ม พบว่าถ้าเรากำหนดให้พัลส์ที่ใช้ กำหนดตำแหน่งประมาณเป็นสัญญาณอิมพัลส์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 แล้ว จะได้ว่าสัญญาณ พีพี เอ็มเกิดจากการหาค่าอนุพันธ์สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ด้วยค่าสเกลลบหนึ่ง ดังสมการที่ (3.7)

$$\frac{-d\phi_{pwm}(t)}{dt} = \phi_{ppm}(t) \quad (3.7)$$

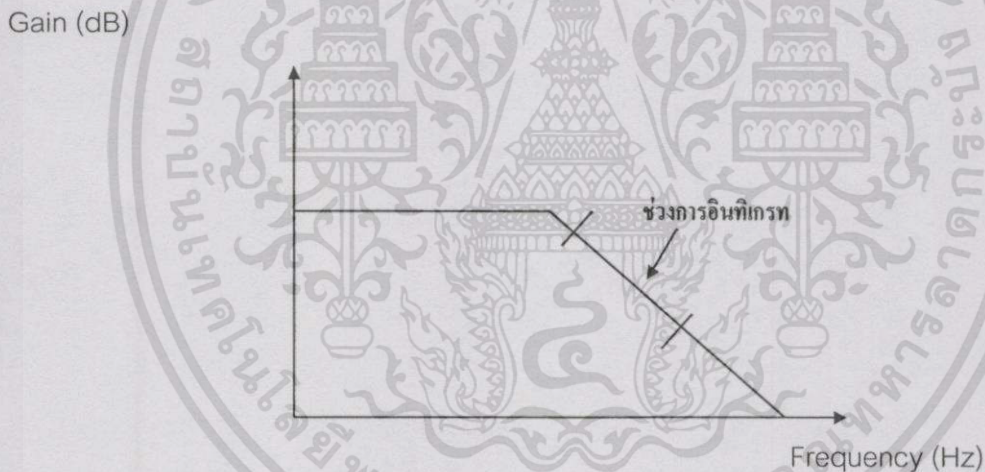
โดยที่ $\phi_{ppm}(t)$ คือ สัญญาณพีพีเอ็ม

ดังนั้นเราจึงสามารถหาค่าองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณพีพีเอ็มได้ โดยการหาค่าอนุพันธ์ สมการที่ (3.7) ซึ่งได้ผลดังในสมการที่ (3.8)

$$\phi_{ppm}(t) = -\frac{Akm'(t)}{T} - \frac{A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \omega_o \text{Cos}(n\omega_o t) - (n\omega_o(1 - km'(t))) \text{Cos}(n\omega_o(t - m(t))) \right\} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณพีพีเอ็มที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นแสดงในสมการที่ (3.8) ซึ่งได้ลักษณะของสมการคล้ายกับสมการของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มที่แสดงในสมการที่ (3.6) ซึ่งจากลักษณะของสมการดังกล่าวพบว่า ในเทอมแรกของสมการที่ (3.8) นั้นเป็นเทอมองค์ประกอบความถี่ต่ำสุดของสัญญาณพีพีเอ็ม ซึ่งในเทอมนี้ประกอบด้วยผลคูณของค่าคงที่ $-\frac{T}{AK}$ กับค่าอนุพันธ์ของสัญญาณข่าวสาร $(m'(t))$ ดังนั้นถ้าหากนำเอาสัญญาณ $\phi_{ppm}(t)$ ที่ได้รับไปผ่านวงจรรองความถี่ที่เหมาะสม จะได้เทอม $-\frac{km'(t)}{T}$ ออกมา โดยค่าอัตราขยายของวงจรรองความถี่ต่ำมีค่าเท่ากับหนึ่ง และถ้าต้องการกู้สัญญาณข่าวสารที่แท้จริงคืนมา จะต้องนำสัญญาณ $-\frac{km'(t)}{T}$ ไปทำการอินทิเกรตด้วยวงจรรองความถี่ที่มีค่าสเกล $-\frac{T}{K}$ จะทำให้ได้สัญญาณ $m(t)$ กลับคืนมา ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าวถ้าเลือกวงจรรองความถี่ให้ผลการตอบสนองเป็นตัวกรองความถี่ต่ำที่เหมาะสมในตัวด้วยแล้ว จะทำให้ลดวงจรในการดีมอดูเลตสัญญาณพีพีเอ็มลงไปได้ 1 วงจร ในรูปที่ 3.2 แสดงช่วงผลการตอบสนองความถี่ต่ำที่เหมาะสมของตัวกรองความถี่ในวงจรรองความถี่



รูปที่ 3.2 ผลการตอบสนองตัวกรองความถี่ต่ำที่ใช้เป็นอินทิเกรเตอร์

3.4 สรุป

จากการวิเคราะห์สัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็ม โดยใช้สมมติฐานว่าสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มเป็นสัญญาณคาบนั้น ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์สัญญาณทั้งสองด้วยคณิตศาสตร์ฟูรีเยร์นั้นได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับแล้ว พบว่าการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ตามสมมติฐานดังกล่าวนี้ สามารถทำความเข้าใจตามขั้นตอนได้โดยง่าย รวมทั้งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มเป็นไปตามสมการที่ (3.6) และ

(3.8) นั้น สามารถตีמודูเลตสัญญาณข่าวสารได้จากเทอมแรกของทั้งสองสมการได้โดยง่าย และเมื่อดูที่องค์ประกอบในเทอมแรกของสัญญาณพีพีเอ็มตามสมการที่ (3.8) แล้ว พบว่าสามารถนำไปใช้ในการออกแบบวงจรที่เล็กลงรวมทั้งยังไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณซิงโครนัสในการตีמודูเลตสัญญาณอีกด้วย ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีดังกล่าว จะนำไปพิสูจน์ด้วยผลการเลียนแบบวงจรและผลการทดลองจากวงจรจริงในบทต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบวงจรเพื่อใช้เลียนแบบและทดสอบจริง

4.1 กล่าวนำ

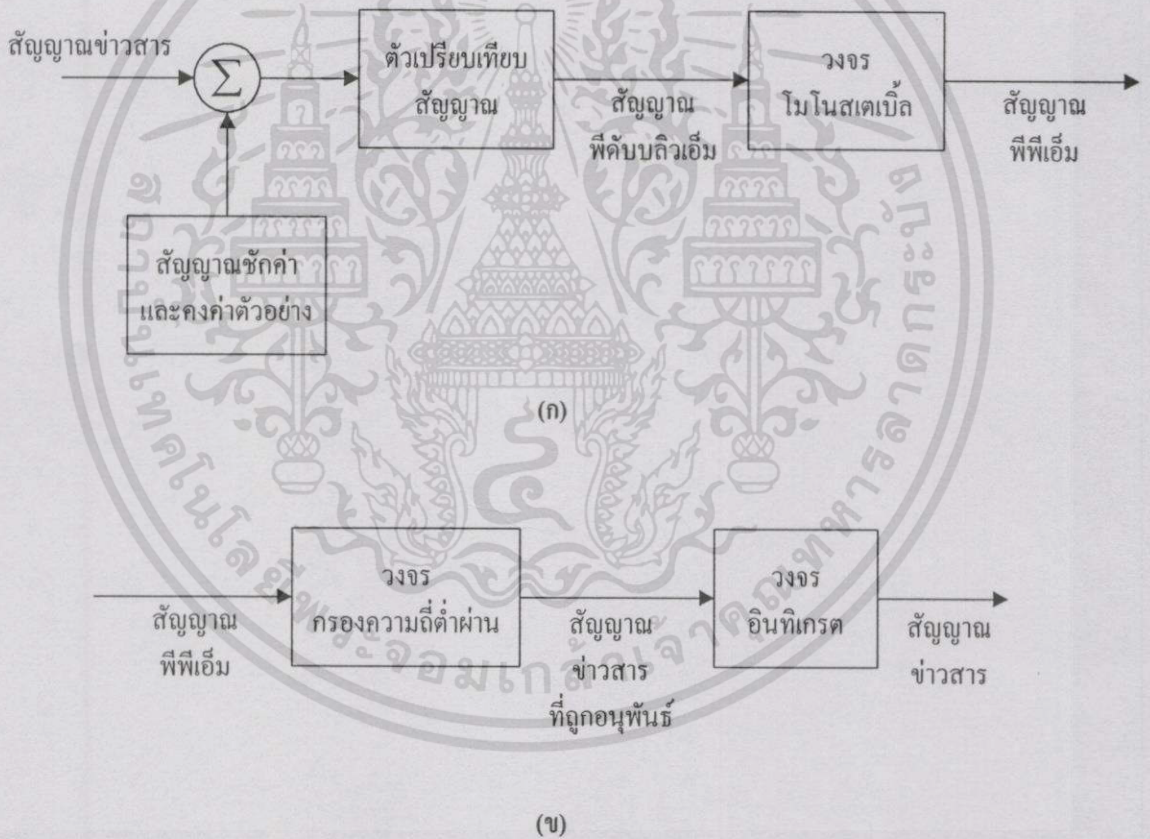
จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ตามแนวคิดที่นำเสนอในบทที่ 3 นั้น พบว่าสมการของสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและของสัญญาณพีพีเอ็มนั้น เป็นไปตามสมการที่ (3.6) และสมการที่ (3.8) ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มในสมการ(3.8)นั้นพบว่าในเทอมแรกของสมการประกอบด้วยสัญญาณข่าวสารที่ถูกอนุพันธ์ ซึ่งหากผลดังกล่าวนี้มีความถูกต้องจะทำให้เราสามารถปรับปรุงการดีมอดูเลทสัญญาณพีพีเอ็มได้ โดยในส่วนของ การดีมอดูเลทสัญญาณพีพีเอ็ม ให้เป็นสัญญาณข่าวสาร ทำโดยการนำสัญญาณพีพีเอ็มไปผ่านวงจรรองความถี่ต่ำและวงจรอินทิเกรต ก็จะสามารถกู้สัญญาณข่าวสารได้ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการทดสอบและทดลอง เพื่อใช้ในการยืนยันว่าผลจากการวิเคราะห์สัญญาณตามแนวคิดที่ได้เสนอดังกล่าวข้างต้นนั้น มีความถูกต้องมากน้อยเท่าใด ซึ่งกระบวนการที่ใช้ในการพิสูจน์นั้น ทำด้วยกัน 3 กระบวนการ ในกระบวนการแรกทำการออกแบบและเลียนแบบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมเลียนแบบการทำงานของ Pspice กระบวนการที่สองทำการออกแบบและทดลองการทำงานของวงจรจริง รวมทั้งทดสอบวงจรประยุกต์ที่ใช้สร้างสัญญาณพีพีเอ็มที่ประกอบด้วยส่วนอินทิเกรทในภาคส่งเพื่อทำให้ภาครับสัญญาณพีพีเอ็มทำได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้สัญญาณซิงโครนัส กระบวนการสุดท้ายทำการยืนยันว่าผลเฉลยของสมการสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ตามแนวคิดที่นำเสนอตลอดจนผลเฉลยของสมการที่วิเคราะห์ได้จากแนวคิดเดิมที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.4 นำไปสร้างเป็นรูปสัญญาณพีพีเอ็ม เพื่อดูลักษณะของรูปสัญญาณที่สังเคราะห์ว่ามีรูปใกล้เคียงกับสัญญาณที่สร้างจากอุดมคติมากน้อยเพียงไร และเพื่อเปรียบเทียบกับรูปสัญญาณในอุดมคติว่าค่าความผิดพลาดของรูปสัญญาณที่สร้างขึ้นจากแนวคิดต่างๆ มีค่ามากน้อยเท่าใด ในการสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มนั้น เราใช้วิธีการสังเคราะห์รูปสัญญาณตามสมการคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Matlab

4.2 การออกแบบวงจรเลียนแบบการทำงานด้วย Pspice

ในกระบวนการแรกนี้ได้ทำการเลียนแบบวงจรในการสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็ม โดยในเบื้องต้นส่วนการมอดูเลทสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มนั้นใช้แบบเดิมทั่วไป ซึ่งในรูปที่ 4.1(ก) แสดงแผนผังของวงจรและมีหลักการทำงานดังนี้ คือ ในส่วนของการสร้างสัญญาณ มีขั้นตอนดังนี้วงจรกำเนิดสัญญาณจะสร้างข่าวสารป้อนให้ร่วมกับสัญญาณซีกค่า

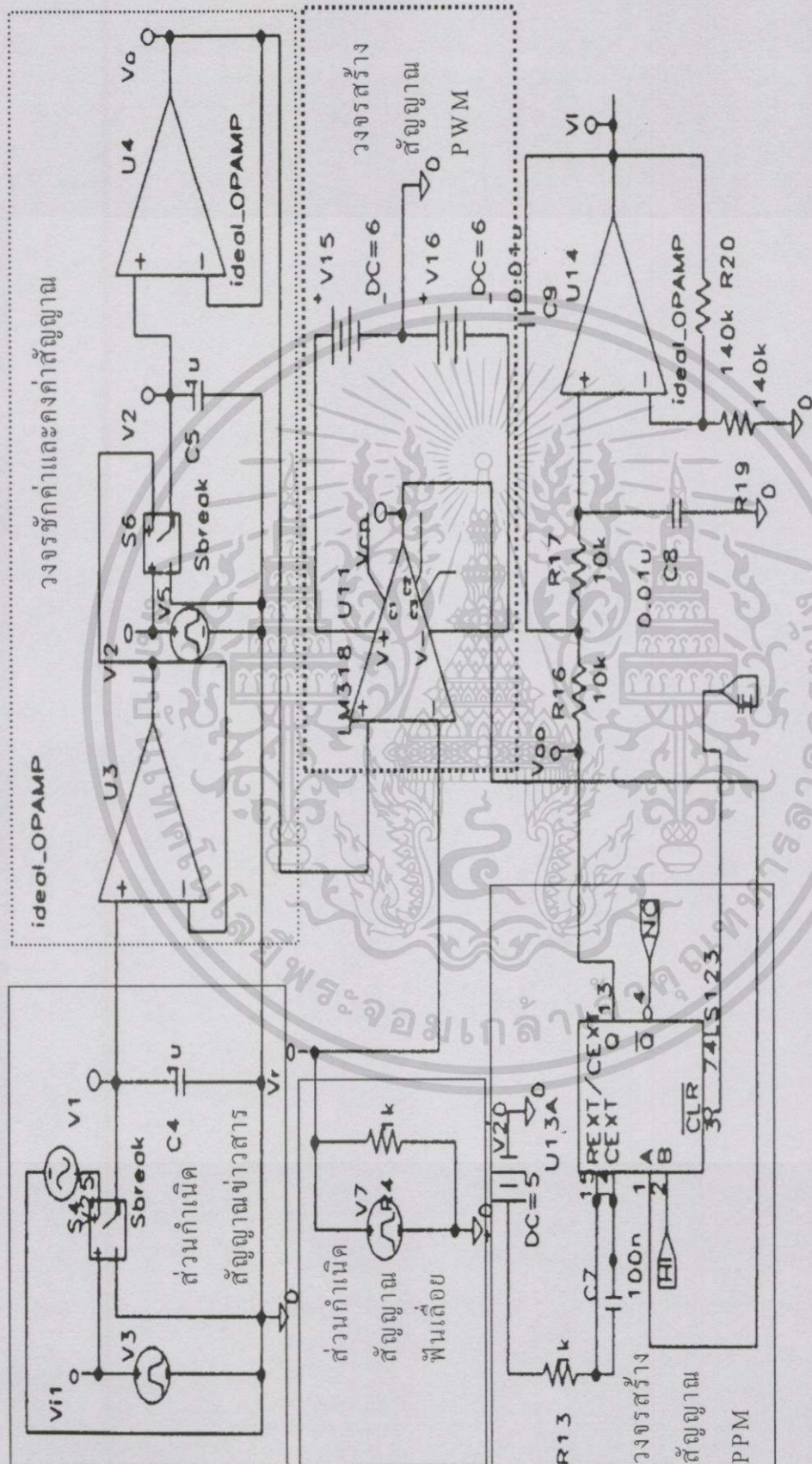
ตัวอย่าง (Sampling Signal) เพื่อให้ได้สัญญาณชักรค่าและคงค่าตัวอย่าง(sampling and hold) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อย(Saw Tooth) ที่มีค่าความถี่เดียวกัน โดยใช้ตัวเปรียบเทียบสัญญาณ(Comparator) สัญญาณที่ได้จากตัวเปรียบเทียบก็คือสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม และเมื่อนำสัญญาณพีดับบลิวเอ็มไปผ่านวงจรมอนอสเตเบิลก็จะได้สัญญาณพีพีเอ็ม ในส่วนของภาคดีมอดูเลทสัญญาณได้ออกแบบปรับปรุงจากแบบเดิมคือ ให้มีส่วนประกอบเพียงสองส่วนคือ วงจรรองความถี่ต่ำและวงจรอินทิเกรตเพื่อใช้ในการกู้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข)

ในการทดลองเลียนแบบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม Psipce ในการครั้งแรกใช้สัญญาณข่าวสารที่เป็นรูปคลื่นไซน์ความถี่ 600 เฮิร์ตและใช้ความถี่สัญญาณพัลส์คลื่นพาห้ 20 กิโลเฮิร์ตซึ่งวงจรที่ออกแบบได้แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 (ก) แสดงแผนผังของวงจรส่วนการสร้างสัญญาณพีพีเอ็ม
 (ข) แสดงแผนผังของวงจรส่วนการรับสัญญาณพีพีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

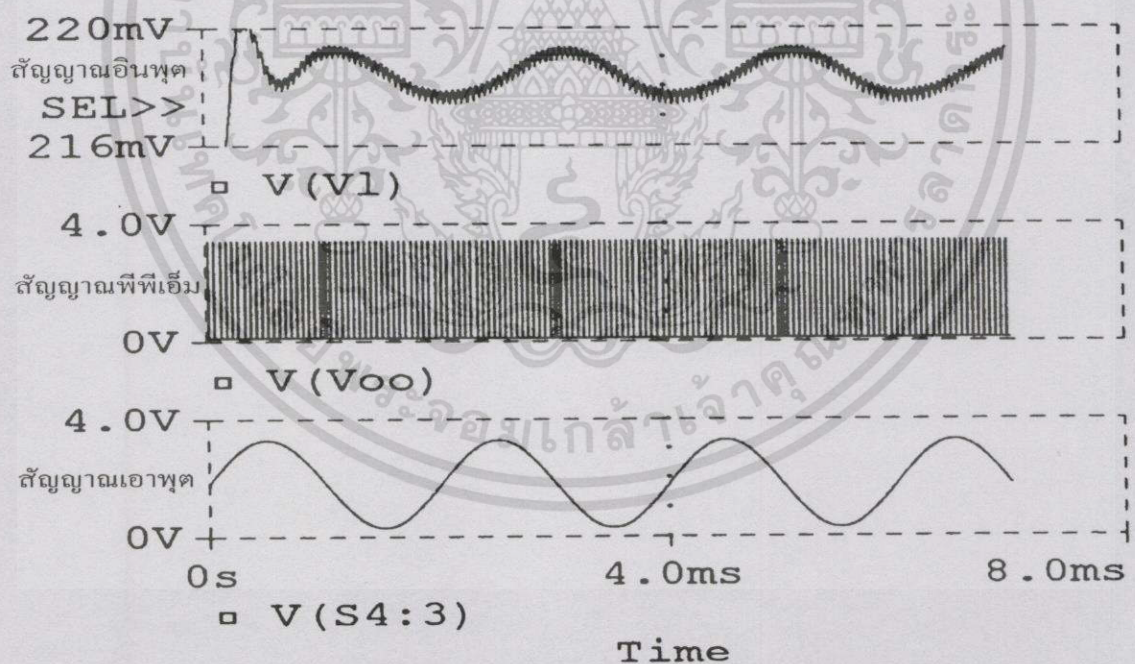


รูปที่ 4.2 แสดงวงจรพีพีเอ็มที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Pspice ใช้สัญญาณขาออกของตัวกำเนิดสัญญาณ

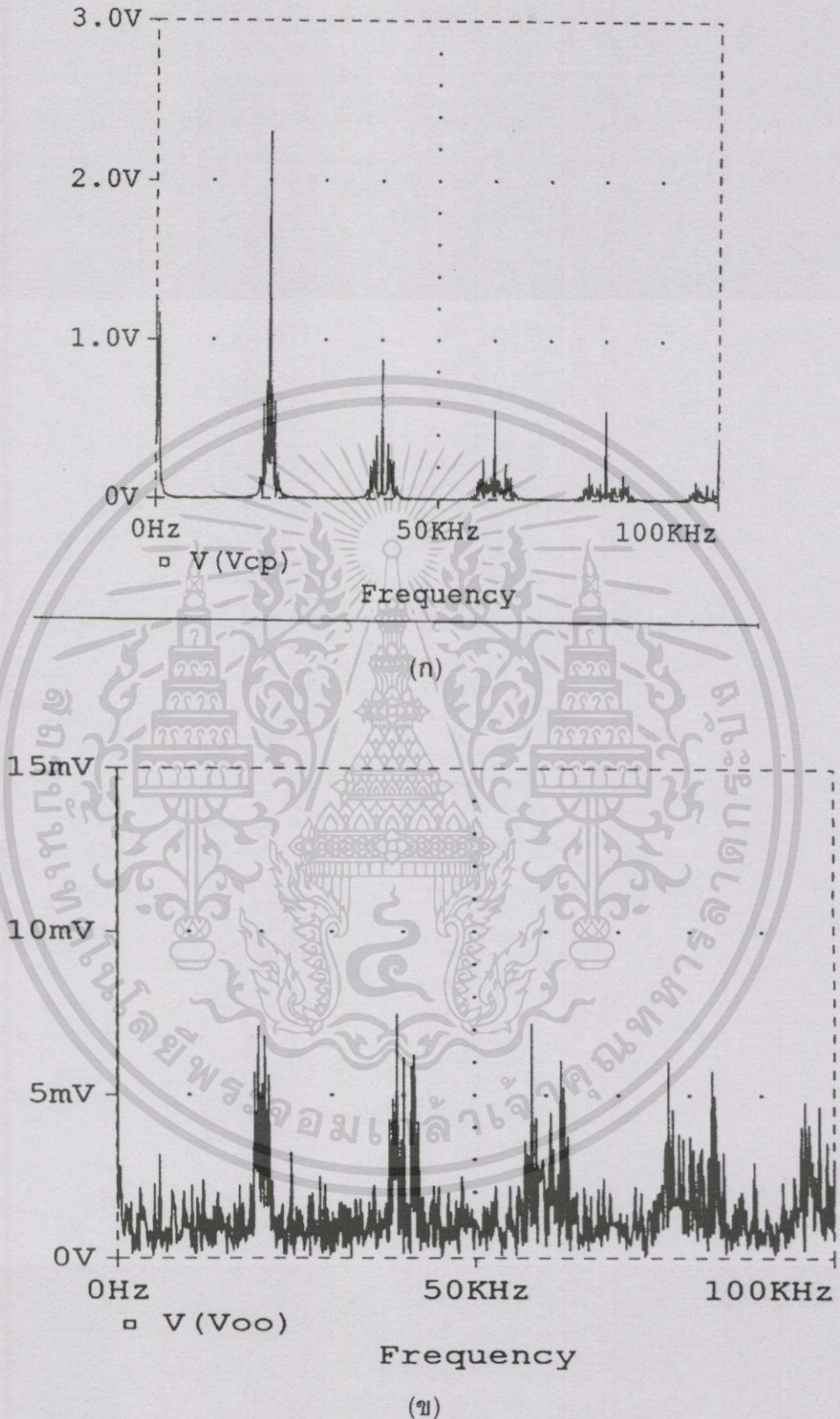
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณิตใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวัดผลการที่ได้จากการเลียนแบบวงจร ได้ทำการวัดสัญญาณขาอินพุต คลื่นรูปไซน์ที่สร้างขึ้นจากวงจรสร้างสัญญาณขาอินพุต เปรียบเทียบกับสัญญาณขาอินพุตที่ ถูกอนุพันธ์ที่ได้จากการตีโมดูลสัญญาณโดยนำสัญญาณพีพีเอ็มผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน เพียงอย่างเดียว เพื่อทดสอบว่าผลที่ได้จากการทดลองนั้นสอดคล้องกับสมการที่(3.8) นอกจากนั้น ยังวัดสัญญาณพีพีเอ็มที่ใช้ในการส่งอีกด้วย จากการทดลองวัดผลดังกล่าวเมื่อใส่สัญญาณขา อินพุตคลื่นรูปไซน์เข้าไป ผลสัญญาณเอาพุตที่วัดได้ควรจะเป็นสัญญาณโคไซน์ ซึ่งเป็น สัญญาณขาอินพุตที่เป็นคลื่นรูปไซน์ที่ถูกอนุพันธ์ ปรากฏว่าสัญญาณเอาพุตที่วัดได้มีรูปสัญญาณ คล้ายกับสัญญาณโคไซน์ที่มีดีเอสของสัญญาณ ซึ่งน่าจะสอดคล้องกับผลทางคณิตศาสตร์ตาม สมการที่ (3.8) ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.3

นอกจากการวัดสัญญาณเปรียบเทียบรูปสัญญาณระหว่างอินพุตและเอาพุตแล้ว ในส่วน ของการเลียนแบบวงจรยังได้ทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มด้วย เพื่อ ดูลักษณะของสเปกตรัมของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็ม ว่าองค์ประกอบทางความถี่ของ สัญญาณทั้งสองจะมีลักษณะที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์อย่างไร ซึ่งรูปผลจากการ ทดสอบการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 แสดงผลการเลียนแบบเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาพุต

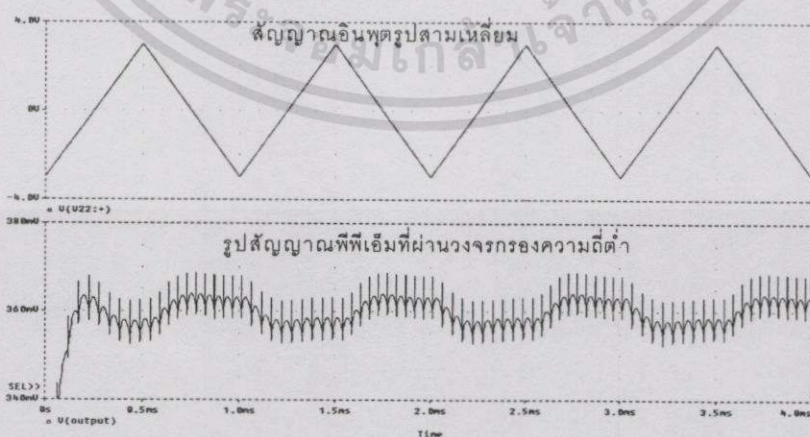


รูปที่ 4.4 (ก) แสดงผลการเลียนแบบวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม
 (ข) แสดงผลการเลียนแบบวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณพีพีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

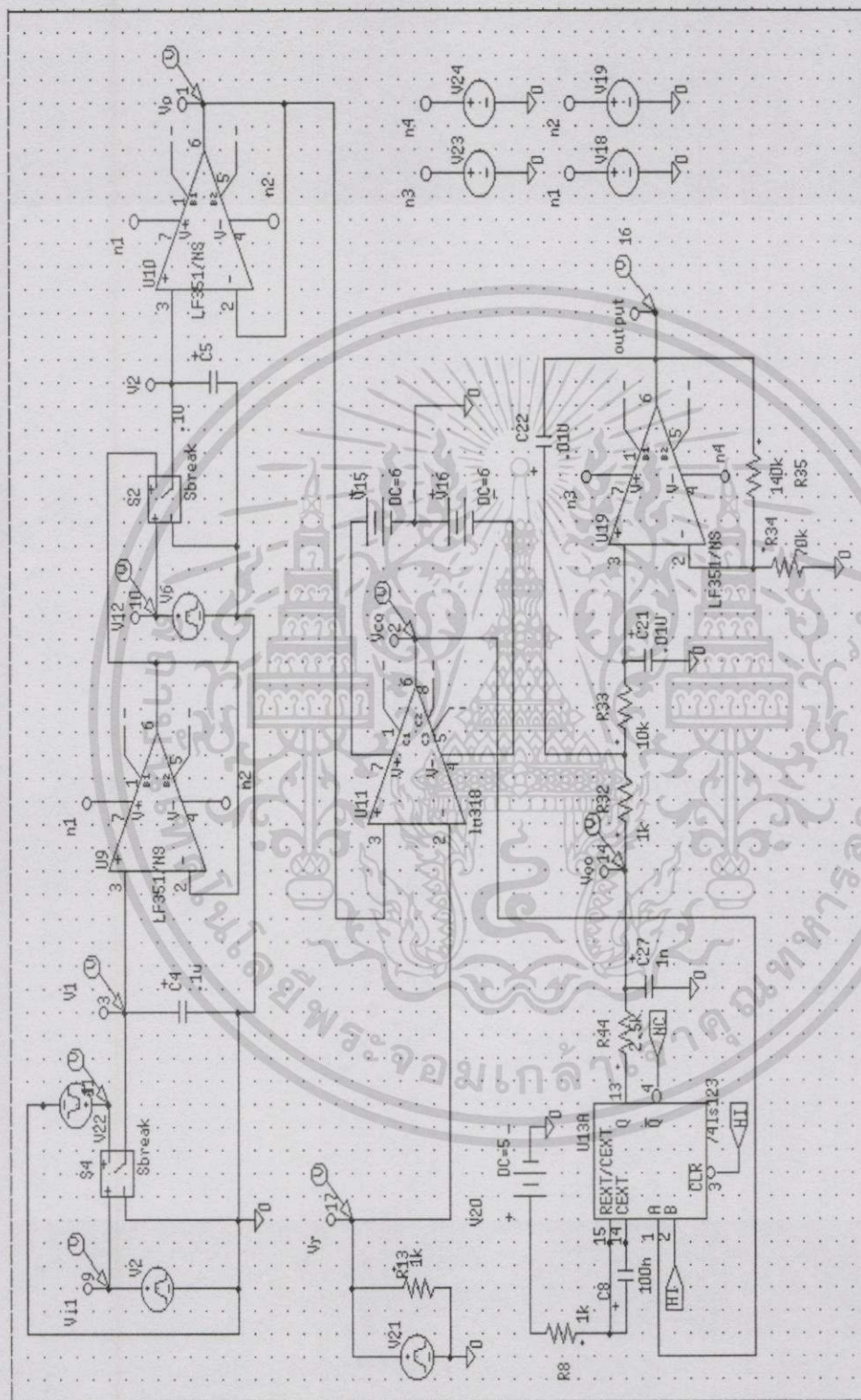
จากรูปที่ 4.4 (ก) ซึ่งเป็นผลการทดลองวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มจากการเลียนแบบวงจร พบว่าเทอมองค์ประกอบแรกของสเปกตรัมของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบของสัญญาณข่าวสารซึ่งสอดคล้องกับสมการทางคณิตศาสตร์ที่วิเคราะห์ไว้ ในสมการที่ (3.6) กล่าวคือในเทอมแรกของสเปกตรัมของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มจะมีส่วนประกอบของสัญญาณข่าวสารอยู่ และสามารถนำสัญญาณข่าวสารกลับคืนมาได้สมบูรณ์ โดยการกรองด้วยวงจรความถี่ต่ำผ่านที่เหมาะสม ในทำนองเดียวกัน รูปที่ 4.4 (ข) ที่แสดงถึงสเปกตรัมของสัญญาณพีเอ็มที่ได้จากการเลียนแบบวงจรมานั้น แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบแรกของสเปกตรัมของสัญญาณพีเอ็มนั้น สอดคล้องสมการที่ (3.8) กล่าวคือองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณพีเอ็มนั้น หากสังเกตจากเทอมแรกของสมการที่(3.8) แล้ว จะพบว่าองค์ประกอบดังกล่าวจะประกอบด้วยสัญญาณข่าวสารที่ถูกอนุพันธ์อยู่ด้วย

จากการทดลองที่ผ่านมาได้ใช้สัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ในการส่งสัญญาณแบบพีเอ็ม ซึ่งในภาครับได้ใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมากรองสัญญาณ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นรูปสัญญาณอินพุตที่ถูกอนุพันธ์ ผลที่ได้ควรเป็นรูปสัญญาณโคไซน์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบระหว่างอินพุตและเอาพุตดังกล่าวดูค่อนข้างยาก ดังนั้นในครั้งนีจึงได้ทำการทดลองส่งสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมและทำการวัดรูปสัญญาณเอาพุตที่ได้ ซึ่งผลที่ได้ควรจะได้รูปสัญญาณสี่เหลี่ยม ทั้งนี้เพื่อให้เห็นผลของรูปสัญญาณระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาพุตได้ชัดเจน สัญญาณอินพุตสามเหลี่ยมที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิร์ต และใช้ความถี่ของสัญญาณพาห์ 20 กิโลเฮิร์ต ซึ่งผลการเปรียบเทียบสัญญาณข่าวสารอินพุตกับสัญญาณเอาพุตที่ได้จากการกรองสัญญาณพีเอ็มด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และรูปวงจรที่ใช้ในการเลียนแบบแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 ซึ่งจากผลที่ได้จากการเลียนแบบจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสัญญาณเอาพุตที่ได้เป็นสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมจริง



รูปที่ 4.5 แสดงผลการเลียนแบบเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตรูปสามเหลี่ยมและสัญญาณเอาพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรพีพีเอ็มที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Pspice ใช้ศึกษาหาสารรูปคลื่นสามเหลี่ยม

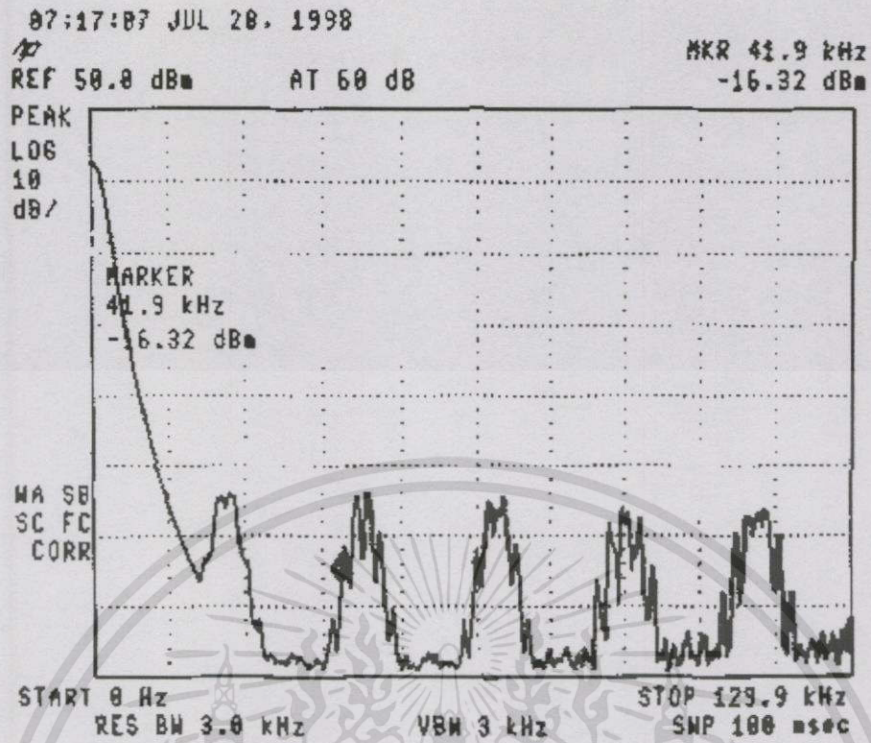
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการเลียนแบบที่บ่อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณสามเหลี่ยมและได้สัญญาณเอาพุตซึ่งเป็นค่าของสัญญาณอินพุตที่ถูกอนุพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 นั้น หากทำให้ปรับปรุงวงจรในส่วนภาคส่งสัญญาณพีพีเอ็ม โดยการนำสัญญาณขาจรที่ต้องการส่งไปทำการปริพันธ์ก่อน แล้วจึงนำสัญญาณขาจรที่ถูกริพันธ์ไปทำการมอดูเลทเป็นสัญญาณพีพีเอ็ม จะทำให้ส่วนดีมอดูเลทสัญญาณสามารถนำสัญญาณขาจรออกจากสัญญาณพีพีเอ็มได้ง่ายขึ้น เพียงกรองสัญญาณพีพีเอ็มด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่เหมาะสมเท่านั้น ก็จะได้สัญญาณขาจรกลับคืนมา

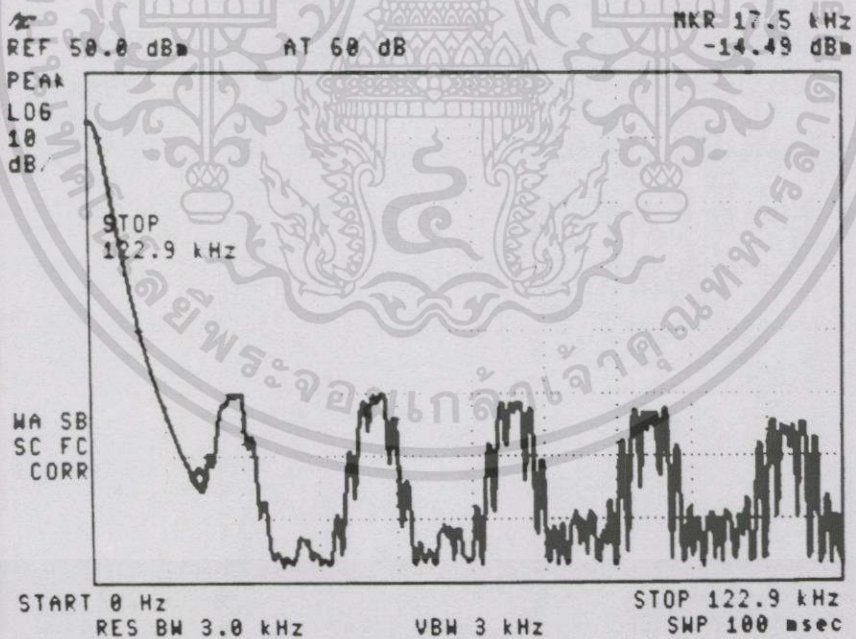
4.3 การออกแบบวงจรจริงที่ใช้สร้างสัญญาณพีพีเอ็มและผลการทดลอง

ในหัวข้อที่ 4.2 ได้ทำการทดสอบวงจรด้วยโปรแกรมเลียนแบบแล้ว เพื่อเป็นการยืนยันว่าหลักการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้จริง ได้ทำการสร้างวงจรจริงสำหรับมอดูเลทสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มตามแบบวงจรที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรมเลียนแบบวงจร Pspice ซึ่งให้หลักการเดียวกับการมอดูเลทสัญญาณแบบเดิม ส่วนวงจรดีมอดูเลทในการทดลองจริงนั้นประกอบด้วยส่วนวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและส่วนของวงจรอินทิเกรต ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองนั้นรูปสัญญาณเอาพุตที่ได้จากวงจรดีมอดูเลทสัญญาณควรจะต้องได้รูปสัญญาณที่เหมือนสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าในภาคมอดูเลท ซึ่งในการทดลองได้ทำการวัดผลสัญญาณอินพุตเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาพุตที่ได้เพื่อยืนยันว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับหลักการวิเคราะห์สัญญาณตามแนวคิดที่นำเสนอ โดยทำการบ่อนสัญญาณอินพุต 3 แบบ คือ สัญญาณขาจรเป็นคลื่นรูปไซน์ สัญญาณขาจรเป็นคลื่นรูปสามเหลี่ยม และสัญญาณขาจรเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้ความถี่คลื่นพาห์ 20 KHz ใช้สัญญาณขาจรความถี่ 600 Hz

ในครั้งแรกทำการบ่อนสัญญาณอินพุตเป็นคลื่นรูปไซน์แล้ววัดผลโดยในการเก็บผลการทดลองนี้ ได้ทำการวัดสเปคตรัมของสัญญาณทั้งพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็ม และแสดงไว้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีความถี่ต่ำสอดคล้องกับการวิเคราะห์ และรูปที่ 4.9 แสดงผลการวัดสัญญาณเอาพุตที่เทียบกับสัญญาณขาจรอินพุตที่เป็นสัญญาณไซน์ ซึ่งพบว่าสามารถตีเทกต์สัญญาณเอาพุตได้คล้ายกับรูปสัญญาณอินพุต จากนั้นทำการบ่อนสัญญาณขาจรอีก 2 รูปแบบ คือ สัญญาณคลื่นรูปสามเหลี่ยม และสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมแล้วทำการวัดผล ซึ่งได้ทำการวัดผลสัญญาณขาจรอินพุตเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาพุตที่เท่านั้น เพื่อดูผลที่ได้ว่าสัญญาณเอาพุตที่วัดได้นั้นมีรูปร่างเหมือนกับสัญญาณขาจรอินพุตจริงแต่มีความล่าช้าของสัญญาณอยู่ด้วย ซึ่งผลการทดลองที่มีสัญญาณอินพุตคลื่นรูปสามเหลี่ยมแสดงในรูปที่ 4.10 และผลการทดลองที่มีสัญญาณอินพุตคลื่นรูปสี่เหลี่ยมแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการเลียนแบบและผลการวิเคราะห์สัญญาณในสมการที่(3.8)



รูปที่ 4.7 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมสัญญาณ พัดบลิแวมจากวงจรจริง

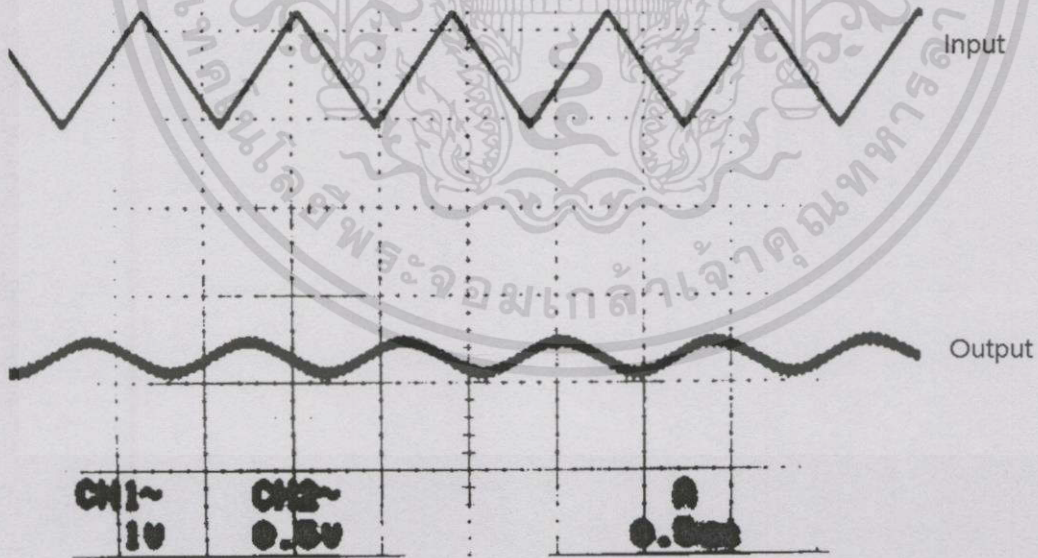


รูปที่ 4.8 ผลการทดลองวัดสเปกตรัมสัญญาณพีพีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณิต่างสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

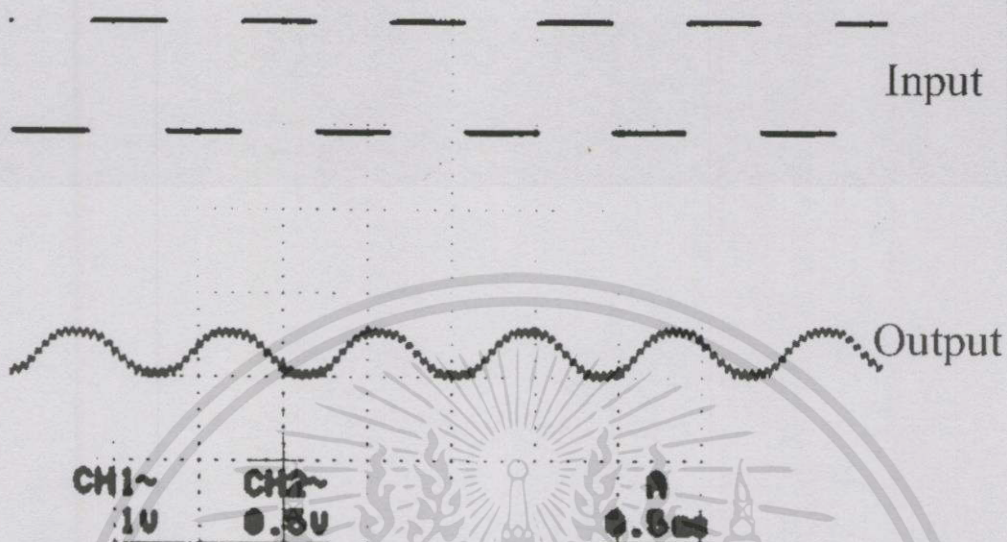


รูปที่ 4.9 ผลการวัดสัญญาณเอาพุทรูปไซน์เทียบกับสัญญาณข่าวสารอินพุท



รูปที่ 4.10 ผลการวัดสัญญาณข่าวสารอินพุทรูปสามเหลี่ยมเทียบกับสัญญาณเอาพุทท์

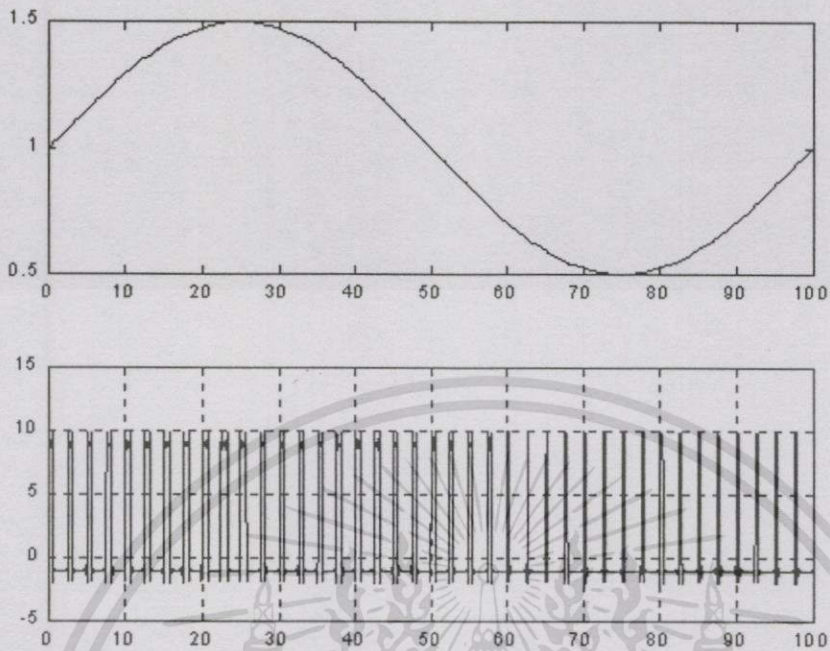
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



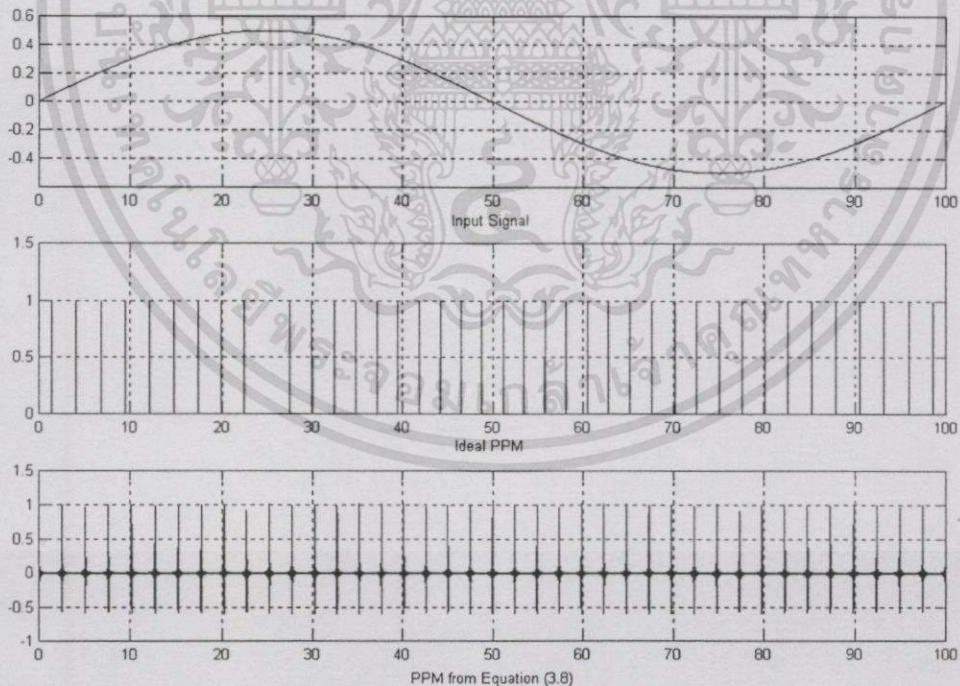
รูปที่ 4.11 ผลการวัดสัญญาณขาออกอินพุตรูปสี่เหลี่ยมเทียบกับสัญญาณเอาพุต

4.4 ผลจากโปรแกรม Matlab

เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ได้นำเสนอการวิเคราะห์สัญญาณด้วยอีกแบบหนึ่ง ซึ่งวิธีคิดทางคณิตศาสตร์ตลอดจนผลที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นแตกต่างจากการวิเคราะห์แบบเดิม ดังนั้นวิธีการตรวจสอบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ จึงใช้โปรแกรม Matlab เพื่อสังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มและพีพีเอ็มที่นำเสนอตามสมการคณิตศาสตร์ (3.6) และ (3.8) ตามลำดับ เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าสมการทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอ นั้นเป็นคณิตศาสตร์อย่างง่ายที่ใช้สร้างสัญญาณดังกล่าวได้จริง นอกจากนั้นยังได้ทดลองสังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มที่นำได้จากการวิเคราะห์ตามแนวคิดเดิม นั่นคือสมการที่ 2. ตามแนวคิดที่ 1 และสมการที่ 2. ตามแนวคิดที่ 1 รวมทั้งยังได้ทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณพีพีเอ็มที่สังเคราะห์ขึ้นตามแนวคิดทุกแนวคิดกับสัญญาณพีพีเอ็มในอุดมคติ เพื่อดูผลว่าสัญญาณพีพีเอ็มที่สังเคราะห์ขึ้นตามแนวคิดใดมีค่าความผิดพลาดมากกว่ากัน ในเบื้องต้นได้ทำการสร้างสัญญาณตามสมการที่ได้ของทุกแนวคิดเทียบกับสัญญาณขาออกโดยรูปที่ 4.12 แสดงกราฟที่สังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มตามสมการ (3.6) เทียบกับสัญญาณขาออก และรูปที่ 4.13 กราฟที่สังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มตามสมการ (3.8) เทียบกับสัญญาณขาออก ส่วนในรูปที่ 4.14 เป็นกราฟที่สังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มตามแนวคิดที่ 2 หรือตามสมการ (2.67) เทียบกับสัญญาณขาออก

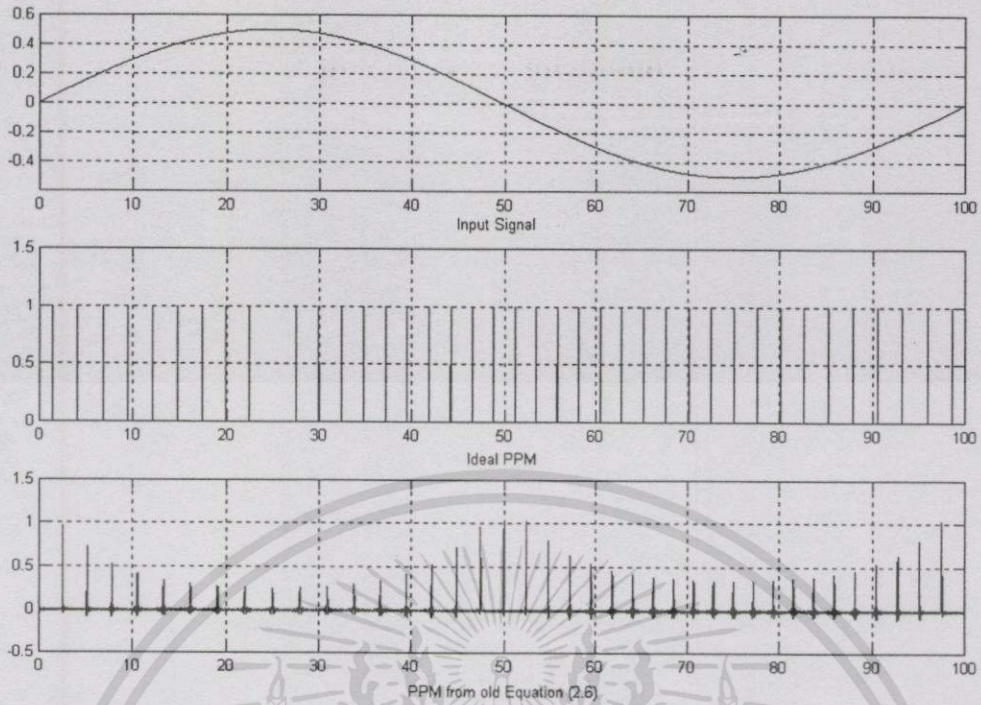


รูปที่ 4.12 แสดงกราฟที่สังเคราะห์สัญญาณพัลส์วอล์เอมเทียบกับสัญญาณข่าวสาร



รูปที่ 4.13 กราฟที่สังเคราะห์สัญญาณพีเอ็มตามสมการ (3.8) เทียบกับสัญญาณข่าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟที่สังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มตามสมการ (2.67) เทียบกับสัญญาณ
ข่าวสาร

จากผลการสังเคราะห์รูปสัญญาณพีพีเอ็มตามสมการของทุกแนวคิดพบว่า สมการของ
สัญญาณพีพีเอ็มตามแนวคิดที่ 1 ไม่สามารถนำมาสร้างเป็นสัญญาณพีพีเอ็มด้วยการสังเคราะห์ได้
และเมื่อดูผลของสัญญาณพีพีเอ็มที่สังเคราะห์ตามแนวคิดที่เสนอ ตามสมการที่ (3.8) กับแนวคิดที่
2 ตามสมการที่ (2.67) แล้วพบว่า สัญญาณพีพีเอ็มที่สังเคราะห์ตามแนวคิดที่เสนอ มีรูปคล้าย
สัญญาณพีพีเอ็มมากกว่า

โปรแกรมที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มตามแนวคิดต่างๆ มีดังนี้

****โปรแกรมการสังเคราะห์สัญญาณพีดับบลิวเอ็มตามแนวคิดที่นำเสนอ****

%****PWM****

t=0:0.0005:100;

m=1+(0.5*sin(2*pi*t/100));

w=0;

n=-1-(sin(2*pi*t/100));

for k=1:50

w11=10*sin(2*pi*k*40*t/100);

w12=10*sin(2*pi*k*40*((t-(0.5*m))/100))/k;

w=w+w11-w12;

end

s1=-n+(w/pi);

subplot(211),plot(t,m),...

subplot(212),plot(t,s1),...

grid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

****โปรแกรมการสังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มตามแนวคิดที่นำเสนอ****

```
%*****PPM*****
```

```
t=0:0.0005:100;
```

```
m=0.5*sin(2*pi*t/100);
```

```
m2=0.5*2*pi/100.*cos(2*pi*t/100);
```

```
w=0;
```

```
n=0.5*(0.5*2*pi/100.*cos(2*pi*t/1000))*(40/100);
```

```
for k=1:100
```

```
w11=(80/100)*pi.*cos(2*pi*k*40*t/100);
```

```
w12=(2*pi*40*(1-(0.5*m2)))/100.*cos(2*pi*k*40*((t-(0.5*m))/100));
```

```
w=w+w11-w12;
```

```
end
```

```
s1=-n-(w/pi);
```

```
subplot(211),plot(t,s1),...
```

```
f1=0;
```

```
for l=1:200
```

```
f=(-2/(l*pi))*sin(2*i*pi*40*((t/100)-0.0001));
```

```
g=(-2/(l*pi))*sin(2*i*pi*40*((t/100)+0.0001));
```

```
a=(f-g);
```

```
f1=f1+a;
```

```
end
```

```
f2=2.1-f1;
```

```
subplot(212),plot(t,m),...
```

```
grid
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

****โปรแกรมการสังเคราะห์สัญญาณพีพีเอ็มตามแนวคิดอุดมคติเปรียบเทียบกับแบบ
ที่นำเสนอและแบบเก่า****

```

%*****ideal pwm waveform from general process*****%
%*****%
clc;clear;clf;
t=0:0.005:100; %t is timing step for plot graph 0.05
z=length(t); %z is nuber of timing step
ms=0.5*sin(2*pi*t/100); % ms is message sinwave ; w=2*pi/T
s=0.5*sawtooth(2*pi*40*t/100); % s is sampling signal(sawtooth)
frequency (40 time of message)
p=ms-s; % p is diff value for compare
y=sign(p); % y decide value to 1 or -1 this
process is pwm signal
n=0.005:0.005:100; % n define to x axes point that math
with differentiate % diff pwm signal with minus value
x=-diff(y); % define matrix for keep value
[a,b]=size(n); % define variable W is zero matrix a
w=zeros(a,b); % row*b column
for k=1:length(n) % this process compare value 1*2000
    if x(k)>0
        w(k)=1;
    else
        w(k)=0;
    end
end
op=zeros(1,20001);
for k=1:20000
    op(k+1)=w(k);
end
subplot(311),plot(t,ms),... % plot graph input signal
grid
%subplot(512),plot(t,y),... % plot graph output pwm signal
%grid
%subplot(612),plot(n,w),... % plot graph output ppm signal in
2000 point
%grid
subplot(312),plot(t,op),... % plot graph output ideal ppm signal
2001 point per t
grid
%*****%
%***** the following part is New PPM *****%
%*****%
%*mnd=0.5*2*pi/100.*cos(2*pi*t/100); % mnd is message had
differentiate ; w=2*pi/T
%*tn1=0.5*(0.5*2*pi/100.*cos(2*pi*t/100))*(40/100); % tn1 is term 1
of new eq PPM
wn=0;
for kn=1:100
w11=(80/100)*pi.*cos(2*pi*kn*40*t/100);
w12=(2*kn*pi*40*(1-(0.5*mnd)))/100.*cos(2*pi*kn*40*(t-
(0.5*ms)/100));
wn=wn-w11-w12;
end
s1=-(tn1)-(0.5*wn/pi);
onp1=zeros(1,2001);
onp1=s1;
onp1=onp1/2000;
%subplot(514),plot(t,s1),...

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%grid
%%subplot(413),plot(t,onp1),...    % plot graph output new ppm
signal 2001 point per t
grid
dil=op-onp1;                       % value of diff between ideal and
new ppm signal
subplot(414),plot(t,dil),...      % plot graph output diff between
ideal and new ppm signal 2001 point per t
grid

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%*****Old Analysis PPM  ref principle of communication p.220 eq 3.179
*****%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
fs=40/100;                          % fs is sampling frequency in Hertz unit
(40 time of message)
fm=1/100;                          % fm is message frequency in Hertz unit
b=2;                                % b is modulation index
y=0;sum=0;
for m=1:100
    for n=-100:100
        x=((1/(2*m))*((m*fs)+(n*fm))*(BESSELJ(n,m*pi*b)))*(cos((2*pi)*
((m*fs)+(n*fm))*t)+((n*pi)/2)));
        y=y+x;
    end
    sum=sum+y;
end
zum=(fs-((b*fm)*sin(2*pi*fm*t)))+sum;
abz=zeros(1,2001);
abz=zum/1000;
%oop=zeros(1,2001);
%for k=1:2001
%    if abz(k)>0.1
%        oop(k)=1;
%    else
%        oop(k)=0;
%    end
%end
di2=(op-abz);                       % absolute value of diff between
ideal and old ppm signal
subplot(313),plot(t,abz);...      % plot graph output  old ppm signal
2001 point per t
grid
%%subplot(414),plot(t,dil),...      % plot graph output diff between
ideal and old ppm signal
%grid

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สรุป

จากผลการทดสอบด้วยวิธีการเลียนแบบวงจรและทดลองปฏิบัติจริงโดยใช้วงจรจริง พบว่าผลที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์สัญญาณตามวิธีที่ได้นำเสนอ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นอีกว่าสามารถนำไปออกแบบวงจรดีมอดูเลตสัญญาณพีซีเอ็มที่มีขนาดเล็กลง และไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณซิงโครนัสในการดีเทกต์สัญญาณข่าวสารกลับคืนมาอีกด้วย โดยยืนยันได้จากผลการทดลองดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.2-4.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่า การหากใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม และพีพีเอ็ม โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นว่าสัญญาณพีดับบลิวเอ็มเป็นสัญญาณแบบมีคาบโดยมีคาบเท่ากับความถี่ของสัญญาณพาหุนั้น ซึ่งหากใช้สมมติฐานเบื้องต้นนี้เราพบว่าขั้นตอนในการวิเคราะห์สัญญาณทางคณิตศาสตร์ทำได้ง่ายและมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน และจากการวิเคราะห์ดังกล่าว ได้ผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและของสัญญาณพีพีเอ็ม อย่างละ 1 สมการ คือสมการที่ (3.6) และ สมการที่ (3.8) ตามลำดับ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาเรื่องสัญญาณพีพีเอ็ม จึงมุ่งเน้นเรื่องการวิเคราะห์สมการของสัญญาณพีพีเอ็มหรือสมการที่ (3.8) ซึ่งผลขององค์ประกอบแรกของสมการที่ (3.8) อยู่ในรูปสัญญาณข่าวสารที่ถูกอนุพันธ์ ซึ่งหมายความว่าหากเราส่งสัญญาณพีพีเอ็มในระบบทั่วไปแล้ว สามารถทำการกู้สัญญาณกลับคืนมาโดยง่ายเพียงใช้วงจรรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรบริพันธ์เท่านั้น ซึ่งได้ทำการพิสูจน์ผลวิเคราะห์ โดยทำการทดสอบด้วยการสร้างสัญญาณพีพีเอ็มด้วยการเลียนแบบวงจรโดยใช้โปรแกรม Pspice และการทดลองด้วยวงจรจริง พบว่าผลการทดลองทั้ง 2 วิธีให้ผลการทดสอบและทดลองที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จริง ซึ่งมีผลต่อทางปฏิบัติคือ ในการสร้างวงจรเพื่อสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มในภาคต้นสุดของสัญญาณจะสามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากขั้นตอนในการกู้สัญญาณข่าวสารลดลง นอกจากนั้นข้อดีของสัญญาณที่สร้างจากวงจรลดรูปนี้คือ ในการกู้สัญญาณกลับคืนมาไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณซิงโครไนส์ กล่าวคือมีผลทำให้ความผิดพลาดในการกู้สัญญาณกลับคืนมาน้อยลงอีกด้วย นอกจากนั้นผลรูปสัญญาณพีพีเอ็มที่สร้างจากการสังเคราะห์ตามสมการที่ (3.8) ก็มีรูปสัญญาณคล้ายกับสัญญาณพีพีเอ็มในอุดมคติด้วย จากผลการทดลองที่ให้ผลสอดคล้องกันนี้ หากนำสมมติฐานดังกล่าวไปทดลองใช้กับระบบการสื่อสารอื่นๆ ซึ่งใช้วิธีการส่งสัญญาณแบบพีดับบลิวเอ็มและพีพีเอ็มแล้ว น่าจะทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบได้ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. J.E. Pearson. **Basic Communication Theory**. Prentice Hall. 1995.
2. P.H. Young. **Electronic Communication Techniques**. Merrill. Third edition. 1994.
3. Philip F. Panter. **Modulation, Noise and Spectral analysis**. McGraw-Hill. 1965.
4. R.E. Ziemer, W.H. Tranter. **Principle of Communication systems modulation and Noise**. Houghton Mifflin. 1990.
5. M. Schwartz. **Information Transmission, Modulation and Noise**. McGraw-Hill. 1987.
6. M. Schwartz, W.R. Bennett, Seymour Stein. **Communication Systems and Techniques**. McGraw-Hill. 1996.
7. นภัทร วัจนเทพินทร์. **ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์**. บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด. 2538.
8. "A Review of Three PWM Techniques", Proceeding of the American Control Conference Albuquerque, New Mexico June 1997.
9. Joachim Holtz , "Plusewidth Modulation – A survey" , IEEE transactions on industrial electronics, Vol.39, No.5, December 1992. pp .
10. K. Sam Shanmugam. **Digital and Analog communication systems**. John Wiley&Sons. 1985.
11. วิวัฒน์ กิรานนท์. **วิศวกรรมการสื่อสาร**. อักษรสยามการพิมพ์. 2540.
12. สุศักดิ์ ทองธรรมชาติ. **คณิตศาสตร์สำหรับไฟฟ้าสื่อสาร**. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539.
13. Philip F. Panter. **Modulation, Noise and Spectral Analysis**. McGraw-Hill. 1965.
14. Leon W. Couch II. **Digital and Analog Communication System**. Prentice-Hall Inc. Fifth edition. 1996.
15. Martin S. Roden. **Analog and Digital Communication System**. Prentice-Hall Inc. Fouth edition. 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลาดกระบัง

คณาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRANBANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 15 ฉบับที่ 2

ธันวาคม 2541

1. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคาร์บอนไฮโดรเจนด้วยเทคนิคไมโครเวฟ	1
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
2. เติบโตโครงสร้างนาโนแบบเส้นใยด้วยวิธี	7
ประสิทธิ์ บุญงาม, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
3. เติบโตโครงสร้างนาโนแบบเส้นใยด้วยเทคนิคไมโครเวฟ	13
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
4. การวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของวัสดุโพลีเมอร์	19
ประสิทธิ์ บุญงาม, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
5. การแยกแยะอนุภาคนาโนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์	25
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์, สุวิทย์ เอื้ออำนวย, กิตติพร นิลสุก	
6. การหาค่าการนำความร้อนของวัสดุโพลีเมอร์	31
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
7. การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	37
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
8. เติบโตโครงสร้างนาโนแบบเส้นใยด้วยเทคนิคไมโครเวฟ	45
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
9. การหาค่าการนำความร้อนของวัสดุโพลีเมอร์	52
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
10. มอดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีซิลิคอน	56
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
11. การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับคำนวณค่าการนำความร้อนของวัสดุโพลีเมอร์	64
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
12. การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับคำนวณค่าการนำความร้อนของวัสดุโพลีเมอร์	70
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
13. การหาค่าการนำความร้อนของวัสดุโพลีเมอร์	76
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
14. การจำลองการไหลของของไหลในท่อ	82
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
15. ไปนการออกแบบวงจรไฟฟ้า	88
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
16. การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้า	93
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
17. การออกแบบของสัญญาณนาฬิกา	99
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
18. ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	105
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
19. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	114
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
20. การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	123
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
21. เทคนิคการตัดวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	129
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
22. การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า	135
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	
23. การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	142
ศรัณย์ ไชยรัตน์, อภิสิทธิ์ มณีจันทร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของสเปกตรัม PWM และ PPM เพื่อการดีมอดูเลชันอย่างง่าย

A Mathematical Analysis of PWM and PPM Spectrum for Simple Demodulation

ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปรากฏ ปราโมทย์ วาดเขียน อิทธิชัย วรคุณศรีแสงไชย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของสเปกตรัมพัลส์บวลิเอ็ม (PWM, Pulse Width Modulation) และ พืพีเอ็ม (PPM, Pulse Position Modulation) เพื่อต้องการให้การดีมอดูเลชันทำได้ง่ายขึ้น โดยใช้หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางคณิตศาสตร์ของสเปกตรัม PWM และ PPM ซึ่งพบว่าองค์ประกอบของพัลส์บวลิเอ็มที่เทอมความถี่ต่ำสุดเป็นเทอมของข่าวสาร และของพืพีเอ็มที่เทอมความถี่ต่ำสุดก็เป็นเทอมของข่าวสารที่ถูกดิฟเฟอเรนทิเอท จากผลดังกล่าวทำให้การดีมอดูเลชันทำได้ง่ายขึ้นและจะจริงสำหรับการดีมอดูเลชันที่มีขนาดเล็กด้วย โดยการดีมอดูเลชันสัญญาณพัลส์บวลิเอ็มสามารถทำได้โดยใช้เพียงตัวกรองความถี่ต่ำ ส่วนการดีมอดูเลชันสัญญาณพืพีเอ็มนั้นสามารถทำได้โดยใช้ตัวกรองความถี่ต่ำและตัวอินทิเกรเตอร์ ผลจากการเลียนแบบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice ก็ให้ผลสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว

Abstract

This paper presents a mathematical analysis of pulse width modulation (PWM) and pulse position modulation (PPM) spectrum for the purpose of simple demodulation. The analysis result shows that the lowest frequency terms of both PWM and PPM are information data of its first derivative respectively. Thus, PWM signal can be demodulated with a low-pass filter and PPM signal also can be demodulated with a low-pass filter associated with an integrator. The circuit simulation result by PSpice program also confirms spectrum mathematical analysis.

1. บทนำ

ในระบบการสื่อสาร การมอดูเลชันโดยใช้สัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณคลื่นพาห์ นับได้ว่ามีความสำคัญมากสำหรับการสื่อสารทางแสง ซึ่งกระบวนการมอดูเลชันโดยใช้สัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณคลื่นพาห์ที่สำคัญ ได้แก่ PWM และ PPM โดยทั่วไปแล้วหลักการในการดีเทกต์สัญญาณ PWM จะใช้วง

จรกรองความถี่ต่ำที่มีขนาดใหญ่ ส่วนการดีเทกต์สัญญาณ PPM จะใช้การแปลงสัญญาณ PPM กลับไปเป็นสัญญาณ PWM เสียก่อน แล้วจึงใช้ตัวกรองความถี่ต่ำกรองข่าวสารกลับคืนมา ซึ่งกระบวนการในการทำสัญญาณ PPM กลับมาเป็นสัญญาณ PWM จำเป็นต้องใช้พัลส์อ้างอิง[1] ซึ่งเป็นการยุ่งยากพอสมควร และส่งผลทำให้วงจรที่ใช้ในการดีเทกต์ มีขนาดใหญ่ตามไปด้วย

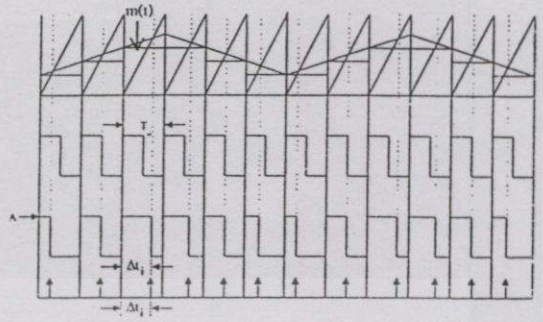
บทความนี้จึงเสนอวิธีการคิมอดูเลท PWM และ PPM อย่างง่าย ๆ โดยได้แนวคิดพื้นฐานจากการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบสเปกตรัมทางความถี่ของพีคดับลิเวียมและพีซีเอ็ม ดังในเอกสารอ้างอิง [2-4] ได้มีการวิเคราะห์ไว้แล้ว แต่พบว่าเป็นวิธีการที่ซับซ้อนและยากแก่การทำความเข้าใจ ในบทความนี้ได้เสนอวิธีวิเคราะห์และได้ผลพบว่าองค์ประกอบเทอมความถี่ต่ำสุดของสัญญาณ PWM เป็นเทอมของข่าวสาร ดังนั้นในการคิมอดูเลทสัญญาณ PWM จึงใช้เพียงตัวกรองความถี่ต่ำที่เหมาะสมไปกรองสัญญาณก็สามารถได้ข่าวสารกลับคืนมาได้ ซึ่งจะสามารถลดขนาดของวงจรลงได้ด้วย สำหรับกรวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ PPM พบความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ PPM กับ PWM ก็คือสัญญาณ PPM เป็นสัญญาณ PWM ที่ถูกคิฟเฟอเรนทิเอทนั่นเอง ดังนั้นหลังจากที่วิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ PWM แล้วนำไปทำการคิฟเฟอเรนทิเอทก็จะได้องค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ PPM ออกมาได้โดยง่าย ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวจะประกอบไปด้วยเทอมจำนวนมากเช่นเดียวกับ PWM แต่จะมีเทอมความถี่ต่ำอยู่หนึ่งเทอม ซึ่งเป็นเทอมของสัญญาณข่าวสารที่ถูกคิฟเฟอเรนทิเอท ดังนั้นกระบวนการคิมอดูเลทสัญญาณ PPM ตามที่วิเคราะห์องค์ประกอบ จึงใช้ตัวกรองความถี่ต่ำในการแยกเทอมดังกล่าวออกมาก่อน แล้วนำไปทำการอินทิเกรตเพื่อกู้เอาสัญญาณข่าวสารกลับคืนมา ซึ่งถ้าใช้หลักการดังกล่าวในการคิมอดูเลทสัญญาณ PPM แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณพัลส์อ้างอิงเพื่อใช้ในการแปลงสัญญาณจาก PPM เป็น PWM ซึ่งจะช่วยให้วงจรในการคิมอดูเลทสัญญาณมีขนาดเล็กกลงและง่ายในทางปฏิบัติ

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ PWM

พิจารณาสัญญาณ PWM ในรูปที่ 1 จากหลักการของการมอดูเลชันสัญญาณ PWM ก็คือการทำให้ช่วงความกว้างของพัลส์บวกรมีการแปรผัน โดยตรงกับข่าวสาร คือ $\Delta t_i \propto m(t)$ โดยที่ $m(t)$ คือสัญญาณข่าวสาร และ Δt_i คือช่วงความกว้างของพัลส์ลูกที่ i โดยที่ i เป็นจำนวน

เต็มบวก ($i = 0, 1, 2, \dots$)



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการมอดูเลชันสัญญาณ PWM

เนื่องจากสัญญาณ PWM เป็นสัญญาณที่เป็นคาบเวลา ดังนั้นในการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบของสัญญาณในที่นี่จะใช้อนุกรมฟูเรียร์ในรูปแบบเอกโปเนนเชียล โดยกำหนดให้ $\phi_{pwm}(t)$ คือ สัญญาณ PWM ในช่วงเวลา T คาบ ดังนั้นจะได้ตามสมการที่ (1) คือ

$$\begin{aligned} \phi_{pwm}(t+T) &= \phi_{pwm}(t) \\ &= F_0 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_0 t} \end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่ F_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟูเรียร์ในรูปแบบเอกโปเนนเชียล และ n คือ เลขจำนวนเต็ม โดยที่ค่า

$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \phi_{pwm}(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (2)$$

ω_0 คือความถี่มูลฐานของสัญญาณ มีค่าเท่ากับ $2\pi/T$ โดยที่ T คือคาบเวลาของสัญญาณ และจากการพิจารณาสัญญาณคาบที่ i จะได้ว่า

$$\begin{aligned} F_n &= \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t_i} A c^{-jn\omega_0 t} dt \\ &= \frac{A}{T} \int_0^{\Delta t_i} c^{-jn\omega_0 t} dt \\ &= \frac{A}{2jn\pi} \left[1 - e^{-jn\omega_0 \Delta t_i} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่า

$$\begin{aligned}
 F_o &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \phi_{pwm}(t) dt \\
 &= \frac{1}{T} \int_{t_o}^{t_o + \Delta t_i} A dt \\
 &= \frac{A \Delta t_i}{T}
 \end{aligned} \tag{4}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \phi_{pwm}(t) &= \frac{A \Delta t_i}{T} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{A}{2jn\pi} \left\{ 1 - e^{-jn\omega_0 \Delta t_i} \right\} e^{jn\omega_0 t} \\
 &= \frac{A \Delta t_i}{T} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\left\{ \frac{A}{2jn\pi} \right\} e^{jn\omega_0 t} + \left\{ \frac{-A}{2jn\pi} e^{-jn\omega_0 \Delta t_i} e^{jn\omega_0 t} \right\} \right] \\
 &= \frac{A \Delta t_i}{T} + \frac{A}{2j\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\left\{ \frac{e^{jn\omega_0 t}}{n} + \frac{e^{-jn\omega_0 t}}{-n} \right\} - \left\{ \frac{e^{jn\omega_0 (t-\Delta t_i)}}{n} + \frac{e^{-jn\omega_0 (t-\Delta t_i)}}{-n} \right\} \right] \\
 &= \frac{A \Delta t_i}{T} + \frac{A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\left\{ \frac{e^{jn\omega_0 t} - e^{-jn\omega_0 t}}{2jn} \right\} - \left\{ \frac{e^{jn\omega_0 (t-\Delta t_i)} - e^{-jn\omega_0 (t-\Delta t_i)}}{2jn} \right\} \right] \\
 &= \frac{A \Delta t_i}{T} + \frac{A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{\text{Sin}(n\omega_0 t)}{n} - \frac{\text{Sin}(n\omega_0 (t-\Delta t_i))}{n} \right\}
 \end{aligned}$$

เนื่องจาก $\Delta t_i \propto m(t)$ และ $\Delta t_i = km(t)$ โดยที่ค่า k คือ ค่าคงที่ ดังนั้น

$$\phi_{pwm} = \frac{Akm(t)}{T} + \frac{A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{\text{Sin}(n\omega_0 t)}{n} - \frac{\text{Sin}(n\omega_0 (t - km(t)))}{n} \right\} \tag{5}$$

จากสมการที่ (5) พบว่ามีเทอมของข่าวสาร $\frac{Akm(t)}{T}$

ที่ถูกสเกลด้วย $\frac{Ak}{T}$ อยู่ที่ความถี่ค่า ดังนั้นถ้าใช้วงจร กรอง ความถี่ต่ำที่เหมาะสมก็จะได้ข่าวสารกลับคืนมา

2.2 การวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางความถี่ของ สัญญาณ PPM

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ PWM กับ PPM ในแต่ละคาบเวลา พบว่าถ้ากำหนดให้พัลส์ ที่ใช้กำหนดตำแหน่งประมาณเป็นสัญญาณอิมพัลส์ ดัง แสดงในรูปที่ 1 แล้ว จะได้ว่าสัญญาณ PPM ในแต่ละ คาบเวลาเกิดจากการคิเฟอเรนทิเอทสัญญาณ PWM ของคาบเวลานั้นด้วยค่าสเกลหนึ่ง ดังในสมการที่ (6)

$$\frac{-d\phi_{pwm}(t)}{dt} = \phi_{ppm}(t) \tag{6}$$

โดยที่ $\phi_{ppm}(t)$ คือ สัญญาณ PPM

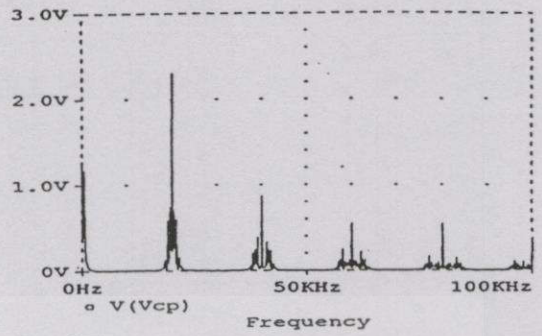
ดังนั้นจึงสามารถหาค่าองค์ประกอบทางความถี่ของ สัญญาณ PPM ได้ โดยการคิเฟอเรนทิเอทสมการ (5) ดังนั้น จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 \phi_{ppm}(t) &= -\frac{Akm'(t)}{T} - \frac{A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \omega_0 \text{Cos}(n\omega_0 t) - [n\omega_0 (t - km'(t))] \text{Cos}(n\omega_0 [t - m(t)]) \right\} \tag{7}
 \end{aligned}$$

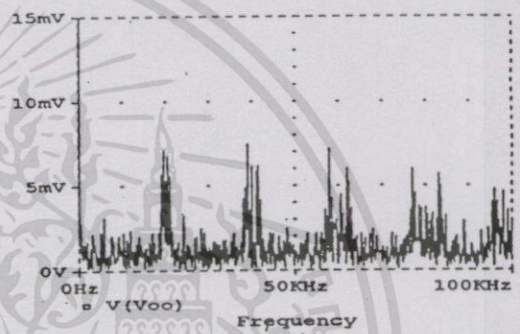
จากสมการ (7) ถ้านำเอาสัญญาณ $\phi_{ppm}(t)$ ไปผ่านวงจรกรองความถี่ที่เหมาะสม ก็จะได้เทอม $-\frac{km'(t)}{T}$ ออกมา โดยค่าอัตรากาขยของวงจรกรองความถี่ที่มีค่าเท่ากับหนึ่ง คั้งนั้นถ้าต้องการกู้สัญญาณข่าวสารที่แท้จริงคืนมา จึงต้องนำสัญญาณ $-\frac{km'(t)}{T}$ ไปทำการอินทิเกรตด้วยวงจรอินทิเกรตที่มีค่าสเกล $-\frac{T}{k}$ ก็จะทำให้ได้สัญญาณ $m(t)$ กลับคืนมา

3. การทดลองและการเลียนแบบ

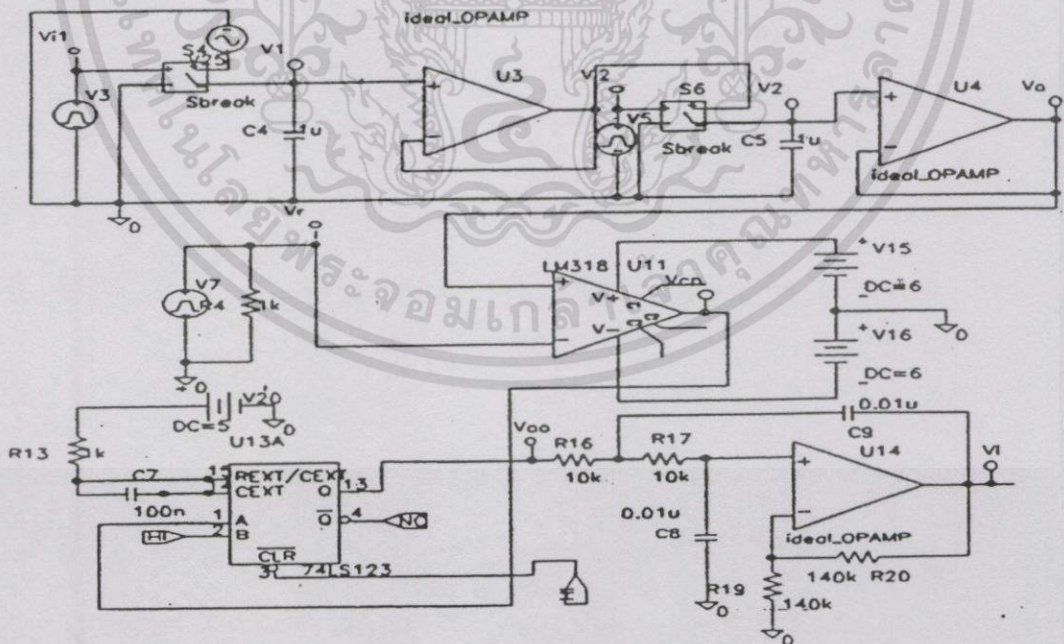
ขั้นแรกเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องขององค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ PWM และ PPM ได้ทำการออกแบบวงจรรวมทั้งทำการเลียนแบบวงจรในการสร้างสัญญาณทั้งสองด้วยโปรแกรม PSpice โดยใช้ความถี่สัญญาณพัลส์คลื่นพาห์ 20 kHz และสัญญาณข่าวสารเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ความถี่ 600 Hz ซึ่งวงจรที่ออกแบบแสดงในรูปที่ 2 และผลการเลียนแบบวิเคราะห์สเปกตรัมของ PWM และ PPM ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 สำหรับผลการเลียนแบบการวิเคราะห์สัญญาณเอาท์พุทเปรียบเทียบกับอินพุท แสดงได้ดังรูปที่ 5 จะเห็นว่าเอาท์พุทที่วิเคราะห์ได้มีรูปสัญญาณเหมือนกับอินพุท



รูปที่ 3 แสดงผลการเลียนแบบวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ PWM โดยใช้โปรแกรม PSpice

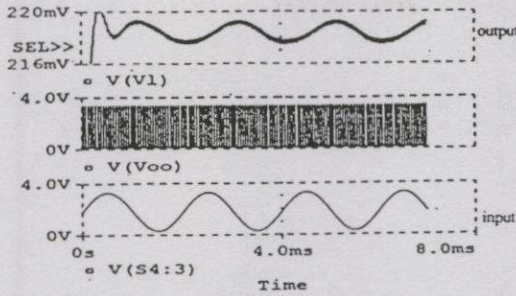


รูปที่ 4 แสดงผลการเลียนแบบวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ PPM โดยใช้โปรแกรม PSpice

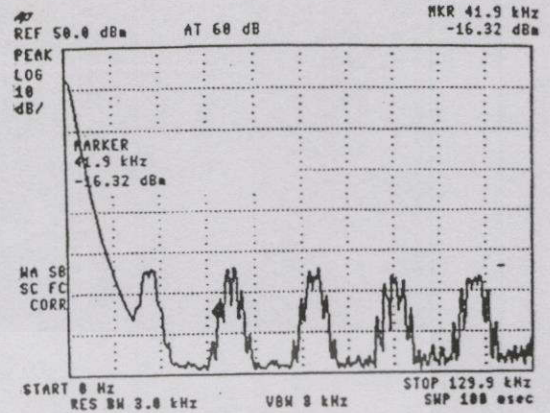


รูปที่ 2 แสดงวงจรสร้างสัญญาณของ PWM และ PPM ที่ออกแบบขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

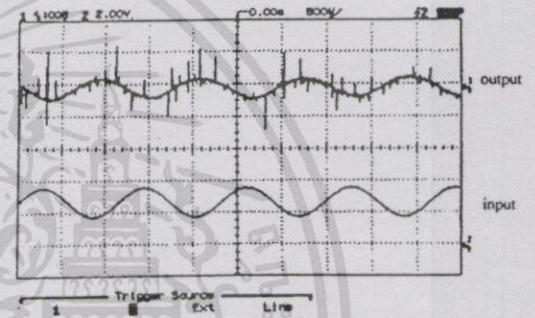


รูปที่ 5 แสดงผลการเขียนแบบการคิเทกต์สัญญาณเอาท์พุทเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุท

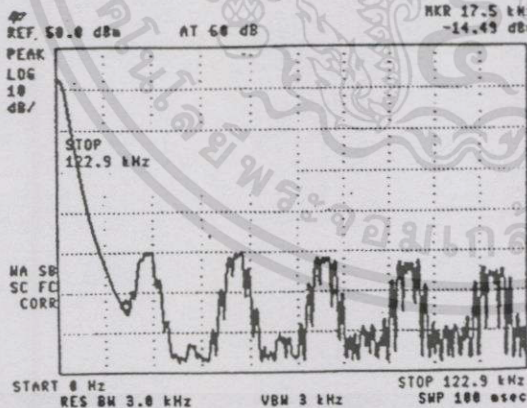


รูปที่ 6 (b) ผลการวัดสเปกตรัมสัญญาณ PPM จากวงจรจริง

เพื่อเป็นการยืนยันว่าหลักการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้จริง ได้ทดลองต่อวงจรทดสอบจริง โดยสร้างวงจรส่วนสร้างสัญญาณ PWM และ PPM รวมทั้งวงจรกรองความถี่ต่ำที่ใช้ในการคิเทกต์สัญญาณด้วย โดยใช้ความถี่คลื่นพาห์ 20 kHz สัญญาณข่าวสารเป็นคลื่นรูปไซน์ความถี่ 600 Hz โดยผลการทดลองวัดสเปกตรัมของสัญญาณทั้ง 2 แบบ แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่ามีเทอมความถี่ต่ำสอดคล้องกับการวิเคราะห์ และรูปที่ 7 แสดงผลการวัดสัญญาณเอาท์พุทเทียบกับสัญญาณข่าวสารอินพุทที่เป็นสัญญาณไซน์ พบว่าสามารถคิเทกต์สัญญาณเอาท์พุทที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำซึ่งเป็นสัญญาณข่าวสารรูปไซน์ได้เหมือนกับรูปสัญญาณอินพุทจริง



รูปที่ 7 ผลการวัดสัญญาณข่าวสารเอาท์พุทเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุท



รูปที่ 6 (a) ผลการวัดสเปกตรัมสัญญาณ PWM จากวงจรจริง

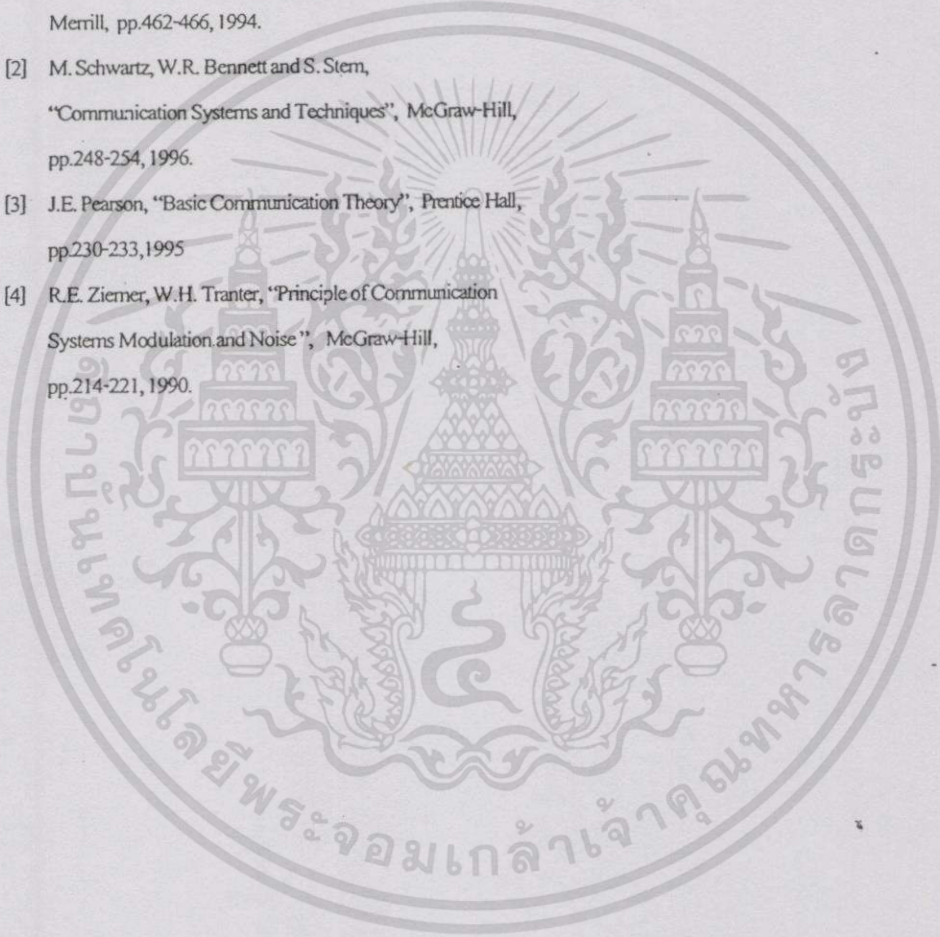
4. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ องค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ PWM แสดงได้ดังสมการที่ 5 ซึ่งประกอบไปด้วยเทอมข่าวสารกับเทอมความถี่สูงที่มีการมอดูเลชันแบบ PM (Phase Modulation) จำนวนอนันต์เทอม ซึ่งก็ยืนยันความถูกต้องได้จากผลการเขียนแบบดังในรูปที่ 3 และผลการทดลองแสดงในรูปที่ 6 ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณ PPM ไปผ่านตัวกรองความถี่ต่ำก็จะได้ข่าวสารกลับมา และสำหรับองค์ประกอบด้านความถี่ของสัญญาณ PPM จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์แสดงดังสมการที่ (7) ซึ่งประกอบไปด้วยเทอมข่าวสารที่ถูกคิฟเฟอเรนทิเอทกับเทอมความถี่สูง ซึ่งเป็นสัญญาณการมอดูเลชันกึ่ง AM (Amplitude Modulation) และ PM โดยแอมพลิจูดแปรผันโดยตรงกับข่าวสารที่ถูกคิฟเฟอเรนทิเอท ซึ่งผล

การเขียนแบบและการทดลองสอดคล้องกันเป็นอย่างดี และถ้านำเอาสัญญาณ PPM ไปผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ แล้วนำเอาสัญญาณที่ได้ไปอินทิเกรตก็จะได้สัญญาณข่าวสารคืนมา หรือนำสัญญาณ PPM ไปผ่านตัวอินทิเกรตที่ทำหน้าที่กรองความถี่ต่ำในตัวก็จะลดวงจรการกู้สัญญาณลงไปได้ ซึ่งผลการกู้สัญญาณแสดงดังในรูปที่ 7

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] P.H. Young, "Electronic Communication Techniques", Merrill, pp.462-466, 1994.
- [2] M. Schwartz, W.R. Bennett and S. Stern, "Communication Systems and Techniques", McGraw-Hill, pp.248-254, 1996.
- [3] J.E. Pearson, "Basic Communication Theory", Prentice Hall, pp.230-233, 1995
- [4] R.E. Ziener, W.H. Tranter, "Principle of Communication Systems Modulation and Noise", McGraw-Hill, pp.214-221, 1990.





The 1994 Engineering Technology Conference
and Exhibition



การประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรม
ประจำปี 2537

กรุงเทพมหานคร

5-8 ตุลาคม 2537

Bangkok

October 5-8, 1994

ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

การประยุกต์ใช้นิวรอลเน็ตเวิร์คในการประมวลผลเชิงพูด.....	EE ๑1 - 15
An Integrable Sinusoidal Oscillator Using Bondwire Inductors and Balance Structures for Auto Cancellation of Interferences	EE 17 - 22
Detection of Sensor Failures	EE 23 - 32
การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่ชนิดควบคุมด้วยกระแสโดยใช้ OTA	EE 33 - 37
การควบคุมแบบ PID 8 ชุด โดยไมโครโปรเซสเซอร์	EE 39 - 50
การประดิษฐ์หัววัดออกซิเจน	EE 51 - 61
ระบบช่วยการขับรถยนต์ในทางโค้งโดยการประมวลผลภาพ	EE 63 - 74
นิวรอลเน็ตเวิร์คบนทรานสพิวเตอร์กับการหาขอบภาพ	EE 75 - 90
การเพิ่มรายละเอียดจุดภาพ โดยใช้เทคนิคการต่อкасาดของตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	EE 91 - 104
การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์แบบดิจิทัล	EE 105 - 113
การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรแม่เหล็ก	EE 115 - 125
การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ปรับปรุงกำลังรีแอกทีฟในระบบไฟฟ้าโดยมีผลตอบสนองแบบเวลาจริง	EE 127 - 136
เครื่องตัดโลหะแบบอัตโนมัติ 2 มิติ ที่ควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์	EE 137 - 150
บทความรับเชิญ	
การสื่อสารผ่านดาวเทียม	EE 153 - 161

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

การศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นความดันขนาดใหญ่หนึ่งลูกผ่านหม้อพักแบบเฮล์มโฮลต์ซ	ME 01 - 15
การสร้างปั้มน้ำแบบขด	ME 17 - 26
การศึกษาสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นเมื่อใช้สารทำความเย็น HFC-134a ตอนที่ 2	ME 17 - 47
การควบคุมระยะเคลื่อนที่ของลูกสูบไฮโดรลิกด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โมเดลระบบเป็นตัวควบคุม	ME 49 - 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบบัตรแม่เหล็ก

DEVELOPMENT OF MAGNETIC CARD TELEPHONE SET

ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปรากการ
นักศึกษาระดับปริญญาโท

รศ. มนูญ สุขเกษม
รองศาสตราจารย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

รศ. ถวิล พึ่งมา
รองศาสตราจารย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ ประเทศไทย

NARONGRIT MANEEJIRAPRAKRAN
Graduate Student

MANOON SUKKASEM
Associate Professor
Faculty of Engineering

TAWIL PAUNGMA
Associate Professor

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

การขยายตัวทางเศรษฐกิจในประเทศไทยค่อนข้างสูง ส่งผลให้การสื่อสารทางโทรศัพท์ขยายตัวอย่างรวดเร็ว มากจนโครงข่ายโทรศัพท์เดิมไม่มีเบอร์โทรศัพท์เพียงพอต่อความต้องการ แนวทางแก้ไขอันหนึ่งก็คือเพิ่มจำนวนโทรศัพท์สาธารณะให้มีประสิทธิภาพและมากขึ้น ในขณะที่โทรศัพท์สาธารณะส่วนใหญ่จะเป็นแบบหยอดเหรียญ ที่มีอัตราเสี่ยงในการถูกจกแฉะค่อนข้างสูง ทางองค์การโทรศัพท์จึงได้นำเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้การ์ดมาใช้ แต่ก็ยังมีจำนวนน้อย เนื่องจากเครื่องชนิดนี้มีราคาแพงมากทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราออกไปต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ในบทความวิจัยนี้จึงเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้การ์ดแม่เหล็กนี้ โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ 8031 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดและแสดงผลของจำนวนเงินที่เหลือ เวลาที่ใช้โทรศัพท์ และสถานะต่างๆของโทรศัพท์บนจอ LCD ส่วนบัตรแม่เหล็กนั้นจะมีรหัสป้องกันการปลอมแปลงและรหัสมูลค่าเงินที่ยังเหลืออยู่ โดยบันทึกลงบนแถบของเทปเพลงทั่วไปแล้วนำมาติดบนบัตรโทรศัพท์เพื่อลดต้นทุนในการสร้างบัตรได้เป็นอย่างดี

SUMMARY

Due to a high economic growth rate in Thailand reflected high demands of telephone communications, number of waiting list of telephone are always long including density of mobile telephone, any offered would be disappeared so soon to nothing more. One way to solve such shortage problem is to increase a great number of public telephones by reduce an inferior of coinbox to a superior public card phone, which the Telephone Organization of Thailand (TOT) started some but few due to expensive, anyhow to increase more the TOT have to invest a lot. Then our group would like to propose a "development of magnetic card public telephone set" by using microprocessor 8031 to control all operation with LCD displays, the amount of remaining, spent time and subscriber conditions. A coding system to protect imitate one and coding remaining numbers records into a general music tape attached into our development card to reduce a capital cost.

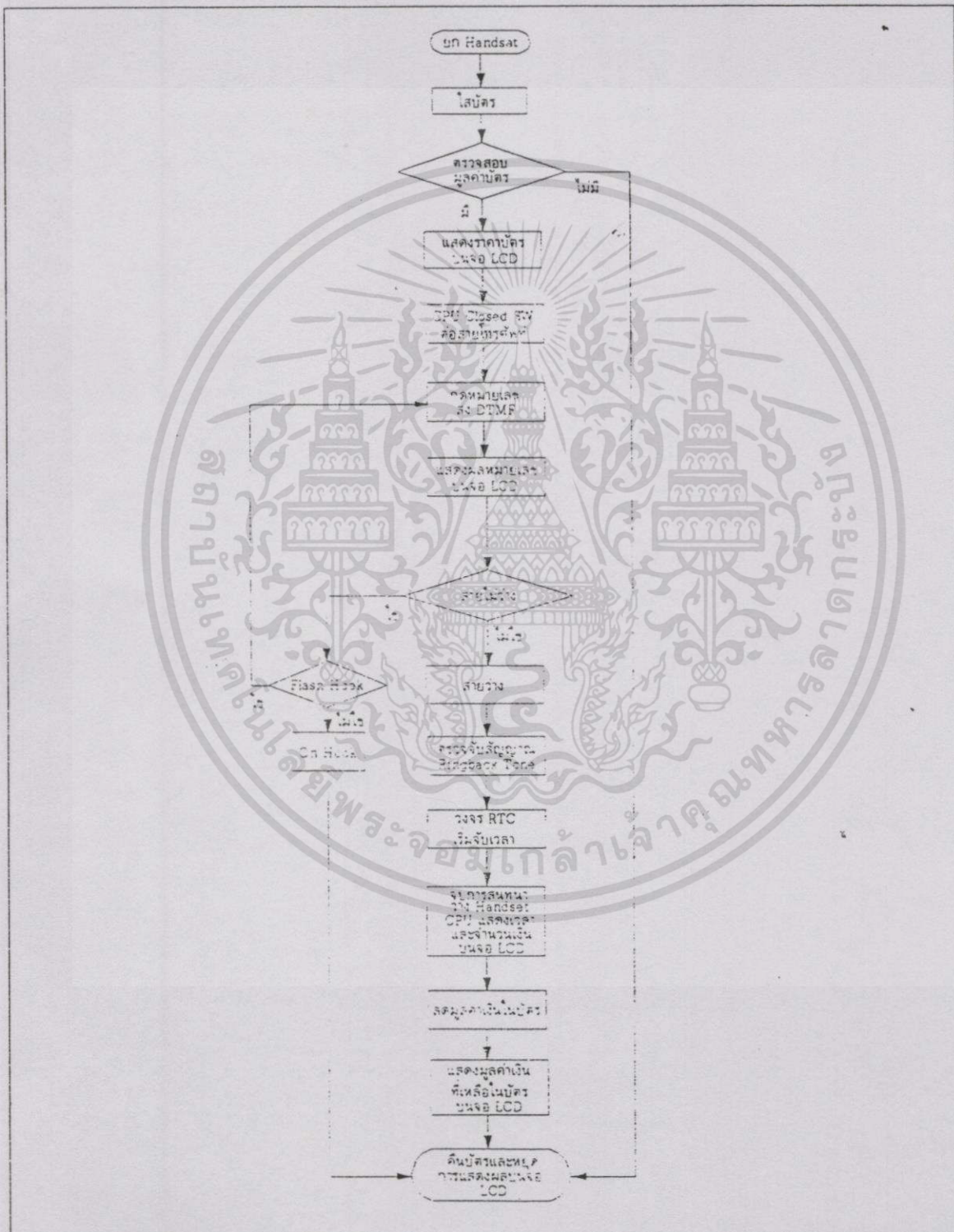
บทนำ

เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นไปอย่างรวดเร็วความต้องการใช้งานอุปกรณ์สื่อสารเพิ่มมากขึ้น โทรศัพท์ที่เป็นบริการหนึ่งของรัฐที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นความต้องการใช้งานจึงมีมาก[1]ทำให้โครงข่ายโทรศัพท์ที่ให้บริการอยู่มีไม่เพียงพอเพราะมีจำนวนเลขหมายอยู่จำกัด วิธีแก้ปัญหาวีธีหนึ่งคือการเพิ่มปริมาณของโทรศัพท์สาธารณะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะเห็นได้ว่าโทรศัพท์สาธารณะที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบหยอดเหรียญและแบบใช้บัตรแม่เหล็ก[2] แบบหยอดเหรียญที่ให้บริการอยู่นั้นยังไม่สะดวกในการใช้งานเท่าที่ควร เพราะต้องใช้เหรียญหยอด และยังมีปัญหาเครื่องเกิดขัดข้องได้ง่าย เนื่องจากเหรียญค้างหรือให้บริการไม่ได้เมื่อเหรียญเต็ม รวมทั้งความเสียหายที่เกิดจากการจัดแงะเพื่อเอาเหรียญส่วนโทรศัพท์แบบใช้บัตรแม่เหล็กที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบัน ยังมีจำนวนไม่มากนักไม่เพียงพอที่จะให้บริการเนื่องจากมีราคาของเครื่องและตัวบัตรยังมีราคาแพงอยู่ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและลดการเสียดุลการค้ากับต่างประเทศทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการออกแบบเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรแม่เหล็กขึ้น โดยส่วนของตัวบัตรที่ใช้จะมีลักษณะที่บาง สะดวกในการพกพา มีปริมาณของราคาบัตรที่เหมาะสมกับการใช้งาน และมีความเชื่อถือได้สูงในการอ่านและการบันทึกข้อมูลของบัตรรวมทั้งต้นทุนในการผลิตบัตรยังมีราคาต่ำ ส่วนตัวเครื่องที่ออกแบบจะประกอบด้วยวงจรรีเลย์ทรานซิสต์ประกอบด้วย ส่วนตรวจสอบสัญญาณ Ringback tone ส่วนเชื่อมต่อกับจอแสดงผล(LCD module)[3] ส่วนเชื่อมต่อ keyboard ส่วนเชื่อมต่อกับ RTC โดยส่วนต่างๆจะถูกไมโครคอนโทรลเลอร์[4]ควบคุมให้สามารถทำงานร่วมกันตามโปรแกรมที่ได้เขียนไว้ซึ่งรายละเอียดต่างๆจะอธิบายในส่วนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลักการทำงานของเครื่อง

การทำงานของเครื่องจะทำงานตามขั้นตอนตาม flow chart ดังแสดงในรูปที่ 1



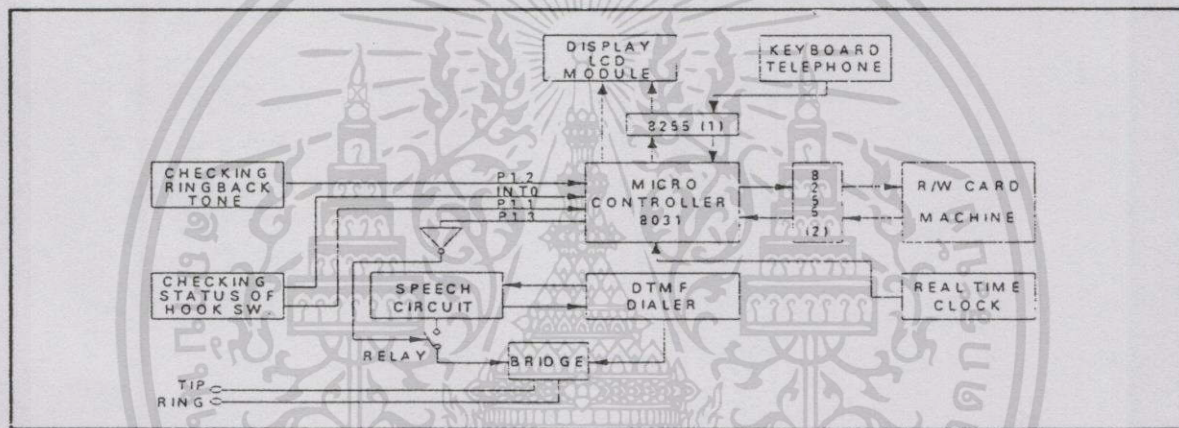
รูปที่ 1 แสดง flow chart การทำงานของเครื่อง โทรศัพท์สาธารณะแบบบัตรแม่เหล็ก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา EE-117 นี้โดยต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การออกแบบ

การออกแบบจะแบ่งออกได้ 3 ส่วน ประกอบ 1.ส่วนเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรแม่เหล็ก 2.ส่วนการออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงาน(solf ware) 3.ส่วนบัตรแม่เหล็กที่ใช้กับเครื่องโทรศัพท์

3.1การออกแบบส่วนตัวเครื่อง

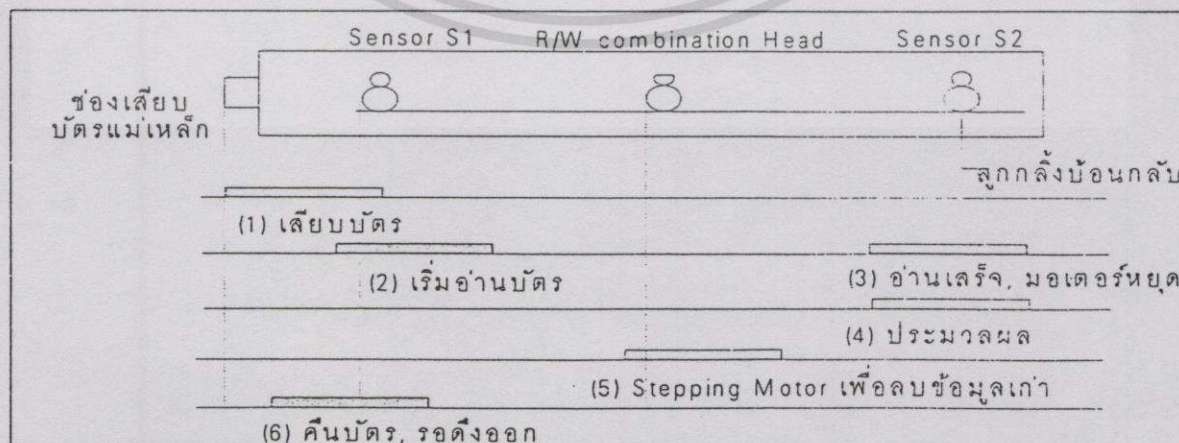
ส่วนนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนควบคุมการติดต่อกับคู่สายขององค์การโทรศัพท์ ส่วนนับเวลาการใช้งานเพื่อคิดค่าบริการ ส่วนที่สำคัญที่สุดคือส่วนการอ่าน-บันทึกข้อมูลบัตรแม่เหล็ก และส่วนควบคุมการทำงานของ stepping motor โดยแต่ละส่วนทำงานตามโปรแกรมภายใต้การควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ รายละเอียดของแต่ละส่วนดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดง บล็อก ไดอะแกรมของโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรแม่เหล็ก

ส่วนอ่านและบันทึกข้อมูล

การอ่านและบันทึกข้อมูลใช้หัวเทปแม่เหล็ก โดยมี stepping motorเป็นตัวเลื่อนบัตรแม่เหล็กเข้าออกผ่านหัวเทป ซึ่งควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ดังแสดงในรูปที่ 3.

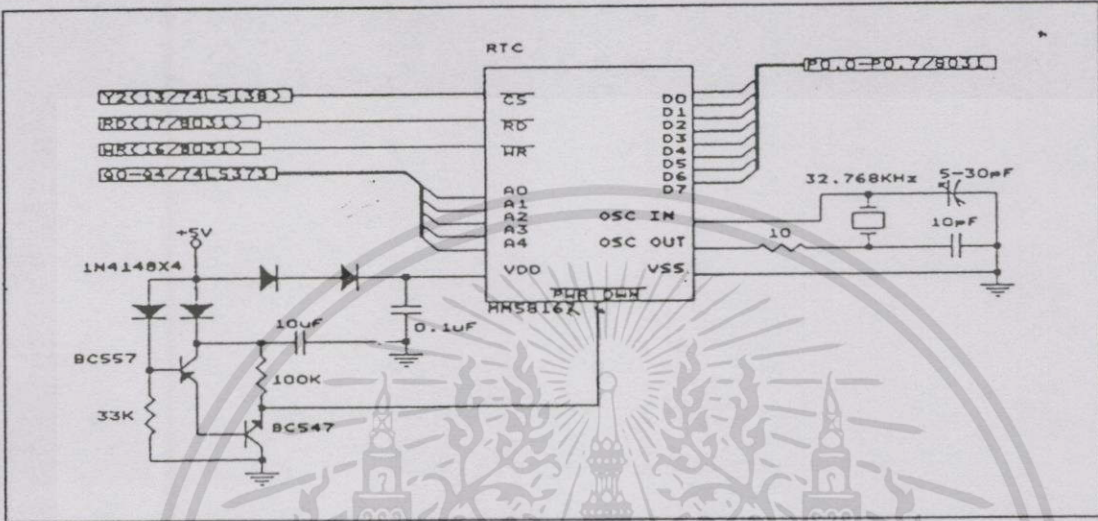


รูปที่ 3 แสดงไดอะแกรมการเลื่อนบัตรและการคืนบัตรของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา EE-118อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนวงจรสร้างสัญญาณ RTC (Real time clock)

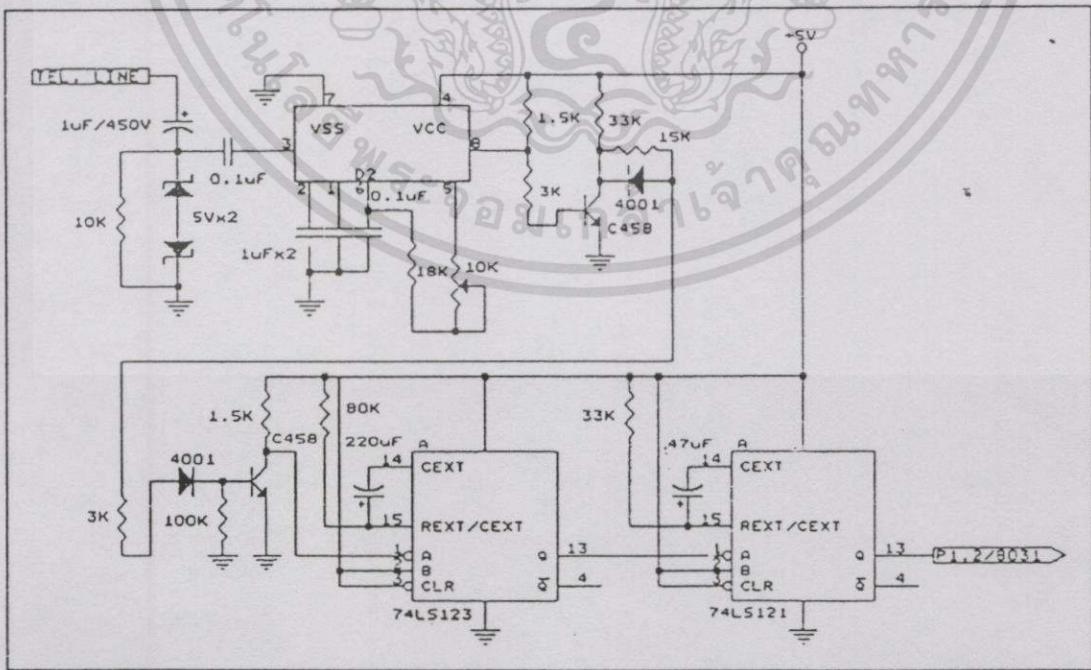
เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เราจะใช้ไอซีเบอร์ MM 58167 และการทำงานต้องมีการต่อแบตเตอรี่ใช้สำรองในกรณี เมื่อเกิดไฟดับ นาฬิกาจะได้เดินตลอดเวลา วงจรส่วนนี้แสดงในรูปที่ 4.



รูปที่ 4 แสดงวงจรสร้างสัญญาณ RTC

ส่วนตรวจจับสัญญาณเรียกกลับ (Ringback tone)

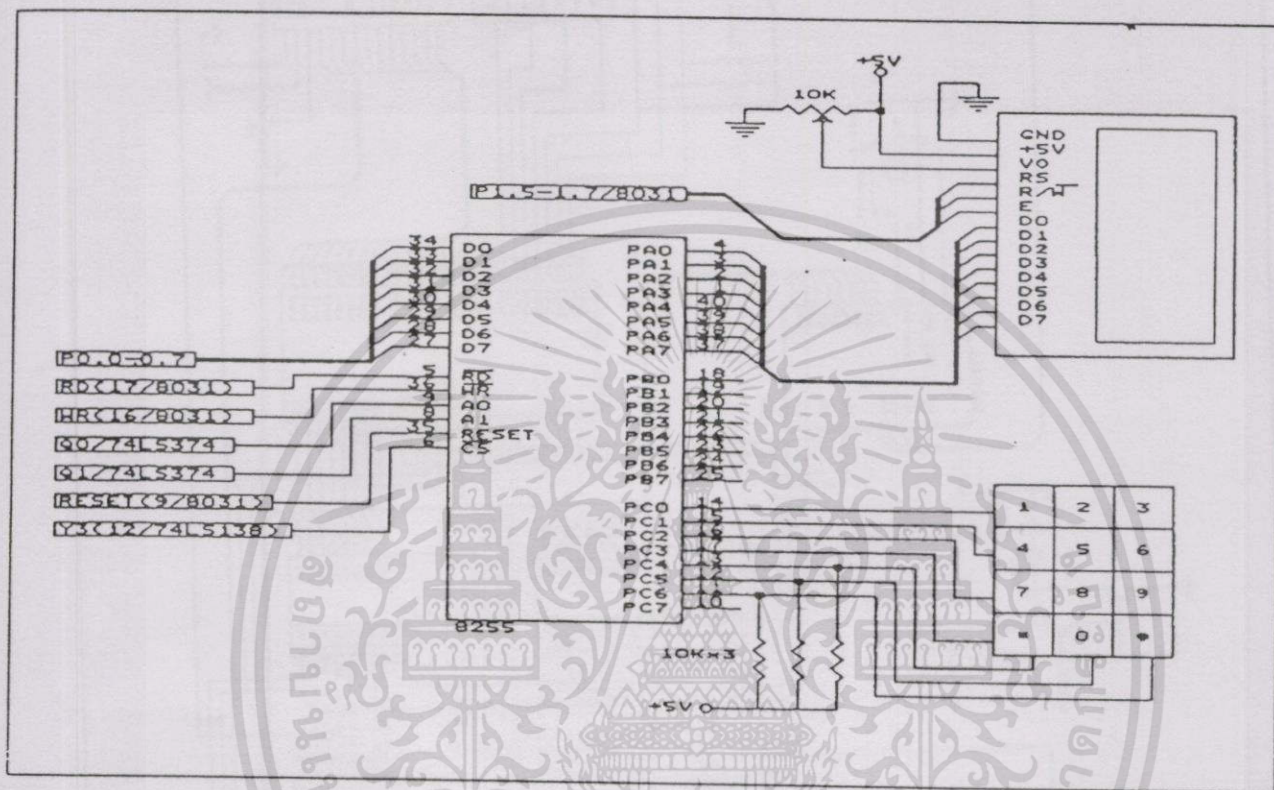
ส่วนนี้จะใช้ ไอซี เฟสล็อกคูล (PLL) เบอร์ NE 567 ทำงานร่วมกับ ไอซี 74LS123 ในการตรวจจับสัญญาณเรียกกลับ วงจรการส่วนนี้แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงวงจรของส่วนตรวจสอบสัญญาณเรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ EE-119 อย่างเป็นทางการหรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HD 44780 ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ผ่านส่วนเชื่อมต่ออินพุทเอาต์พุท(I/O interface) ใช้ไอซีเบอร์ 8255 วงจรแสดงในรูปที่ 7



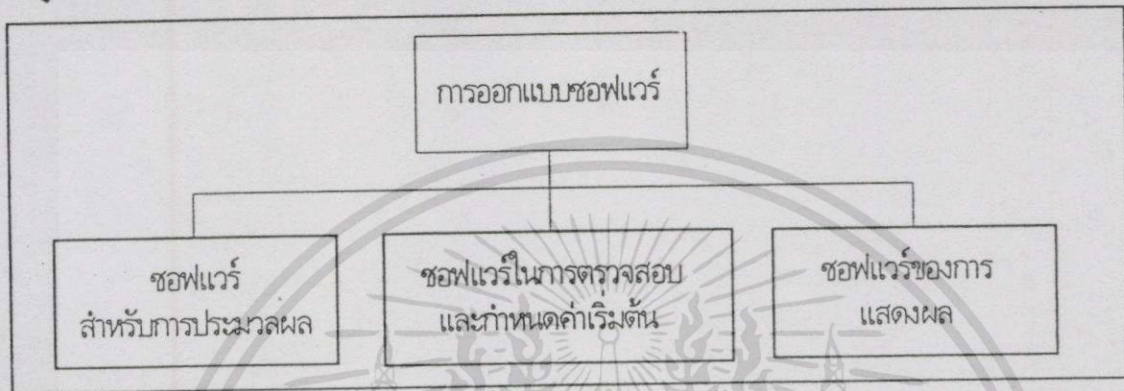
รูปที่ 7 แสดงวงจร LCD กับส่วนเชื่อมต่ออินพุทเอาต์พุท

ส่วนควบคุมกลาง

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ โดยใช้ CPU 8031 ทำงานร่วมกับ EPROM 2732 ซึ่งเป็นส่วนเก็บข้อมูลโปรแกรมการทำงาน และ ไอซี 6264 เป็น Static RAM ซึ่งสามารถเขียนหรืออ่านข้อมูลได้ และใช้ไอซี 74LS138 ทำหน้าที่เปลี่ยนรหัสข้อมูลฐานสองแบบ 3 to 8 line decoders ทำหน้าที่ถอดรหัสตำแหน่งของหน่วยความจำโดยต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่ออินพุท/เอาต์พุท ใช้ไอซี 8255 รายละเอียดของวงจรแสดงในรูปที่ 8

3.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

ส่วนของการออกแบบ โปรแกรมเป็นที่สำคัญเพราะเป็นส่วนที่ควบคุมให้เครื่องทำงานตามที่ต้องการ โปรแกรมการทำงานจะใช้ภาษาแอสเซมบลี (ASM51) และใช้ตัวคอมไพเลอร์ CROSS 32 โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเพื่อความสะดวก ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงส่วนประกอบของการออกแบบโปรแกรม

3.2.1 โปรแกรมสำหรับประมวลผล เป็นโปรแกรมที่ให้บริการเกี่ยวกับการประมวลผลทุกชนิด เริ่มตั้งแต่ การอ่านบันทึกมูลค่าบัตร การคำนวณเวลาในการสนทนา การคิดค่าบริการตามเวลาการใช้งาน

3.2.2 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบสถานะและกำหนดค่าเริ่มต้น เป็นโปรแกรมที่ใช้กำหนดเวลาเริ่มต้นในการสนทนา โดยการอ่านเวลาเริ่มต้น นอกจากนั้นยังใช้ตรวจสอบคีย์บอร์ด ตรวจสอบระยะเวลาในการสุกสวิตช์และแสดงสถานะของกลุ่มสายของคาร์ทโทรศัพท์

3.2.3 โปรแกรมสำหรับแสดงผล เป็นโปรแกรมส่วนสุดท้ายที่ออกแบบไว้เพื่อนำข้อมูลที่ได้รับจากหน่วยความจำมาแสดงผลทางจอ LCD เช่นมูลค่าบัตร เวลาที่ใช้สนทนา เลขหมายที่เรียกซึ่งจะแสดงผลบนจอให้ทราบ

3.3 ส่วนของบัตรแม่เหล็ก

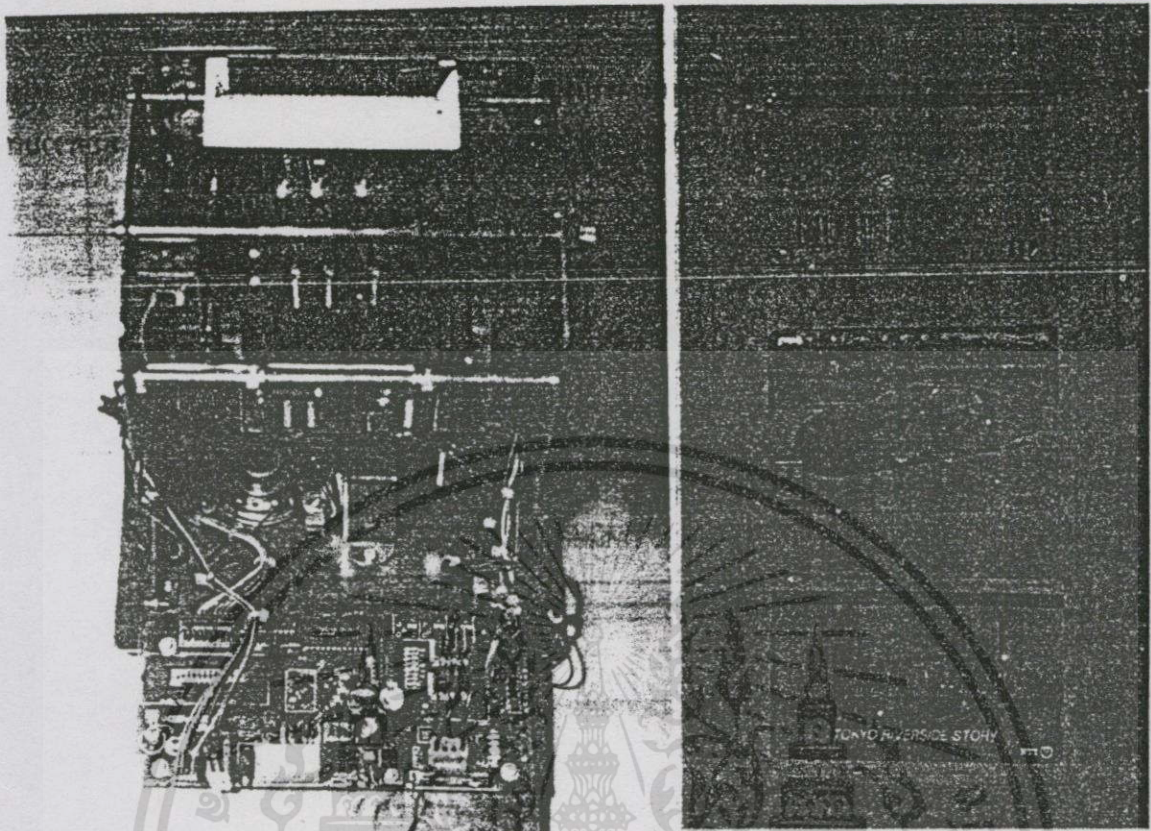
บัตรแม่เหล็กที่ออกแบบขึ้นจะใช้หลักการ การอ่านและการบันทึกเทปคลาสเซ็ท แต่จะมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากเทปทั่วไป โดยเทปแม่เหล็กที่ใช้บันทึกข้อมูลจะประกอบด้วย 2 track โดย track แรกใช้บันทึกรหัสหรือแบบของข้อมูล ส่วน track ที่ 2 จะใช้สำหรับบันทึกมูลค่าบัตรซึ่งระยะห่างระหว่าง 2 track เรากำหนดเพื่อไม่ให้เหมือนกับเทปคลาสเซ็ททั่วไป ตัวอย่างบัตรแม่เหล็กแสดงในรูปที่ 11(ข)

4. การทดสอบและผลของการทดสอบ

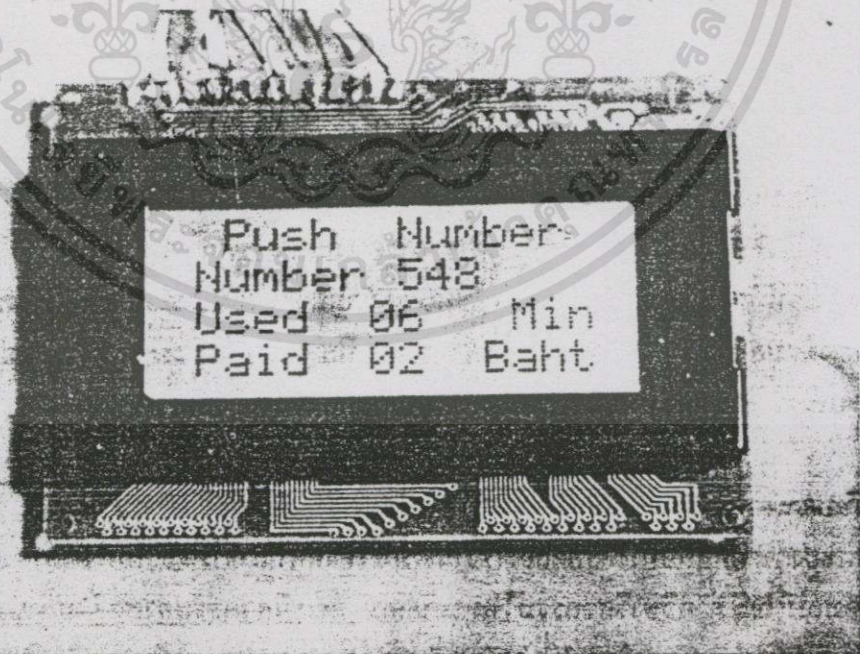
ในส่วนของการทดสอบทำโดยทดลองใช้งานเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรแม่เหล็กกับกลุ่มสายของสถาบันฯ โดยการทดสอบ ณ. ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ซึ่งต้นแบบแสดงในรูปที่ 11 สำหรับผลการทดสอบการใช้งานเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบบัตรแม่เหล็กแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง EE-123 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)
รูปที่ 11 (ก) แสดงเครื่องค้นแบบของเครื่องโทรศัพท์สาธารณะแบบบัตรแม่เหล็ก
(ข) ค้นแบบบัตรแม่เหล็ก



รูปที่ 12 แสดงผลทดสอบที่ได้

EE-124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.บทสรุป

จากการทดลองสร้างเครื่องต้นแบบโทรศัพท์สาธารณะแบบใช้บัตรแม่เหล็กดังรูปที่ 11(ก) และได้ทำการทดลองค่อใช้กับคู่สายโทรศัพท์ของสถาบันฯ ปรากฏผลการใช้งานดังรูปที่ 12 ซึ่งแสดงหมายเลขที่ต้องการเรียก เวลาที่ใช้โทรศัพท์ ค่าบริการที่เสีย จากการทดลองทดสอบหลายๆครั้งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยไม่มีการผิดพลาดเลย แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะบัตรดังรูปที่ 11(ข) ได้ใช้บัตรโทรศัพท์ที่ใช้งานแล้วจากญี่ปุ่น นำมาติดแถบแม่เหล็กเพื่อเป้าหมายในการสร้างบัตรราคาถูก คุณภาพของบัตรแต่ละใบอาจไม่เท่ากัน เนื่องจากความคาดเคลื่อนในการติดแถบแม่เหล็ก ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาเพื่อนำไปใช้เพื่อเป็นอุตสาหกรรมจึงควรจะใช้เครื่องผลิตบัตรโดยตรงเพื่อให้มาตรฐานของบัตรเท่าเทียมกันทุกใบ

6.หนังสืออ้างอิง

- [1] ถวิล พึ่งมาและ มนูญ สุขเกษม "โครงการพัฒนาอุปกรณ์โทรคมนาคม เครื่องบันทึกตอบรับและแจ้งภัยทางโทรศัพท์" กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] J.L Fike and GE Frind "Under standing Telephone Electronic" HOWARD W. SAMS COMPANY,1989
- [3] บริษัท ETT จำกัด "Dot Matrix LCD Module",บริษัท ETT จำกัด ,1981
- [4] Intel Corporation "MSC 51 Family of single ship Microcomputers User 's Manual ",1981.

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16

The 16th Conference of Electrical Engineering



25 - 26 พฤศจิกายน 2536

ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 14.00-14.20 PW 018 การสับสวิทช์คาปาซิเตอร์ให้กระแสทรานเซียนท์ต่ำ
นายเจริญ ทะมังกกลาง ผศ. คร. สัมฤทธิ์ หังสะสุตร (97)

สาขาไฟฟ้าสื่อสาร

ห้องประชุม B ภาคประชุมที่ B-3

- 09.10-09.30 CM 010 เครื่องชุมสายโทรศัพท์แบบไร้สายเพื่อชนบท
ฉรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปรากการ มนูญ สุขเกษม ถวิล พึ่งมา (138)
- 09.30-09.50 CM 011 การออกแบบเซลล์ไซท์เพื่อแก้ปัญหาการเกิดโฮลของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่
แบบเซลลูล่าในพื้นที่เป็นเนิน
สหะไชย วิชาสุวรรณ สุพจน์ องค์สรณะคมกุล ถวิล พึ่งมา (143)
- 09.50-10.10 CM 012 การวิเคราะห์การวางแผนเส้นทางลัดในโครงข่ายโทรคมนาคม
วิโรจน์ พลสูงเนิน ถวิล พึ่งมา มนูญ สุขเกษม (149)
- 10.10-10.30 CM 013 ปรัชญาการบริการเบี่ยงเบนของสัญญาณโทรศัพท์ในเขตกรุงเทพฯ
ยุพิน พงษ์พรหม นิภา ลีลาธิ รศ.ฉรงค์ เหมกรณ์ (153)

ห้องประชุม B ภาคประชุมที่ B-4

- 10.50-11.10 CM 014 การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากน้ำฝน ในความถี่ย่าน Ku
สามารถ สิงห์โตศา ราชันย์ เหล็กกล้า รศ.ฉรงค์ เหมกรณ์ (158)
- 11.10-11.30 CM 015 การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม
ย่าน C และ Ku
วิสุทธิ อธิพรธรรม สมชาย หมั่นสายญาติ รศ.ฉรงค์ เหมกรณ์
โยชิอากิ โมริยะ (162)
- 11.30-11.50 CM 016 การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม
ย่าน C แบนด์ ที่มุมเงยต่ำ
สมชาย หมั่นสายญาติ วิสุทธิ อธิพรธรรม รศ.ฉรงค์ เหมกรณ์ (170)
- 11.50-12.10 CM 017 ปรัชญาการคอปเปิลอร์ในการรับสัญญาณดาวเทียมวิทยุสมัครเล่น
ซึ่งมีวงโคจรแบบวงรี
คมกฤษ ขำยัง สนธยา คุ้มแสน รศ. ฉรงค์ เหมกรณ์ (174)

เครื่องชุมสายโทรศัพท์แบบไร้สายเพื่อชนบท Rural Private Automatic Branch Exchange

ณรงค์ฤทธิ์ มณีระประภากร * มนุญ สุเกษม ** ถวิล พึ่งมา **

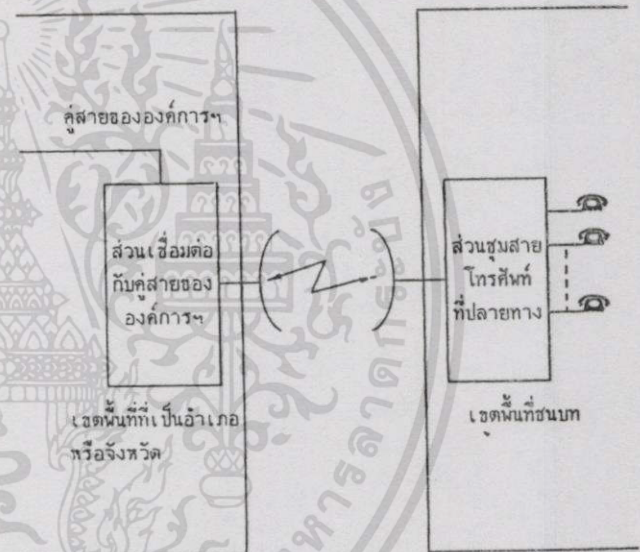
บทคัดย่อ : บทความนี้นำเสนอเครื่องชุมสายโทรศัพท์แบบไร้สายเพื่อชนบท (Rural Private Automatic Branch Exchange : RPABX) ที่นำเอาหลักการของการรับและส่งสัญญาณผ่านไมโครเวฟความถี่ 20 GHz. มาใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างคู่สายขององค์การโทรศัพท์ ที่จัดให้บริการในเขตจังหวัดหรืออำเภอกับคู่สายของเครื่อง RPABX ที่จัดไว้ในพื้นที่ชนบท ซึ่งจะเป็นการกระจายการสื่อสารไปสู่ชนบทหรือพื้นที่ห่างไกล โดยที่ระบบโทรศัพท์ยังให้บริการไปไม่ถึง ชุมสายโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถรับคู่สายขององค์การโทรศัพท์ได้ 1 คู่สายและจะให้บริการคู่สายของเครื่อง RPABX ที่ปลายทางได้ 6 หมายเลขโดยมีการรับส่งสัญญาณไมโครเวฟผ่านสายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลา (Offset Parabola Antenna) และใช้หลักการ SPC (Store Program Control) สำหรับการควบคุมการทำงาน ผลที่ได้จากการพัฒนาชุมสายโทรศัพท์นี้ ทำให้ความเจริญทางด้านสื่อสารนั้นกระจายไปสู่ชนบทมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมเป็นอย่างมาก

Abstract: This paper presents the Rural Private Automatic Branch Exchange (RPABX). The exchange use microwave link between the Central Office Line Interface and the Subscriber Line Circuit at 20 GHz. This RPABX can service one central office line to six extension lines in rural area under 10 km. Offset parabola antennas are used for microwave communication. The Store Program Control (SPC) method is used to control this system. The result of this development will distribute telephone communication system to rural area. This is the advantage for economic and social development.

1. บทนำ

ในประเทศที่กำลังพัฒนาเช่นประเทศไทยนั้น ปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ รัฐบาลไม่สามารถกระจายรายได้และความเจริญให้ทั่วถึงครอบคลุมทั่วประเทศได้ โดยที่ความเจริญส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในเขตตัวเมืองและมักจะหยุดอยู่เพียงแค่นั้น ไม่มีการกระจายออกไป ทำให้ประชาชนในแถบชนบทมักย้ายเข้ามาทำงานในตัวเมืองจนทำให้เกิดชุมชนแออัดและสภาพแวดล้อมเสียหาย รัฐบาลก็ได้แก้ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ด้วยการพยายามจัดสาธารณูปโภคไปสู่ชนบทมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการจัดระบบไฟฟ้าและน้ำประปาให้ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด รวมทั้งพยายามกระจายการสื่อสารไปยังพื้นที่นั้นๆ แต่ทั้งนี้ก็ยังมิปัญหาที่ไม่ได้เท่าที่ควรเพราะงบประมาณมีจำกัดและอุปกรณ์สื่อสารทั้งหมดต้องซื้อมาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง ซึ่งในการลงทุนนั้นจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมด้วย ไม่ว่าจะเป็นค่าปริมาณการใช้งานโทรศัพท์หรือระยะเวลาของพื้นที่ที่จะให้บริการ ด้วยเหตุผลดังกล่าวทางคณะผู้ทำการ

วิจัยซึ่งสังกัดภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสร้างเครื่องชุมสายโทรศัพท์แบบไร้สายเพื่อชนบท (Rural Private Automatic Branch Exchange : RPABX) ขึ้นมา ซึ่งจะสามารถจัดบริการทางการสื่อสารโทรศัพท์ให้กับชนบทที่ห่างไกลได้โดยเป็นอุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่รับส่งสัญญาณเสียงจากคู่สายขององค์การโทรศัพท์ ที่จัดให้บริการไว้ในท้องถื่นหรือพื้นที่ที่เจริญเช่น เขตจังหวัดหรืออำเภอแล้วส่งไปให้กับ RPABX ที่ติดตั้งไว้ที่ชนบท สำหรับ RPABX ที่ว่านี้จะเป็นการนำเอาเทคโนโลยี 2 อย่างมาผสมผสานกันคือ ชุมสายโทรศัพท์ปลายทาง-อัตโนมัติและการสื่อสารผ่านไมโครเวฟ ซึ่งจะมีความคิดเกี่ยวกับการออกแบบดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแนวคิดในการออกแบบ RPABX

จากรูปที่ 1 แสดงแนวคิดในการออกแบบ RPABX ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนเชื่อมต่อกับคู่สายขององค์การ โทรศัพท์และส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทาง โดยส่วนแรกจะเป็นส่วนที่รับสัญญาณควบคุมต่างๆ จากคู่สายขององค์การโทรศัพท์เป็นต้นว่า สัญญาณไดอัล (Dial Tone) สัญญาณเรียก (Ringing Tone) ฯลฯ โดยเฉพาะสัญญาณเรียกที่มีระดับแรงดันสูงมากจะมีส่วนของวงจรที่จะจัดให้มีระดับแรงดันต่ำลง เพื่อที่จะจัดส่งไปให้กับส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทางได้ นอกจากนั้นแล้วในส่วนนี้จะมียังวงจรที่จัดการเกี่ยวกับการรับและส่งสัญญาณไมโครเวฟย่าน 20 GHz. อีกด้วย ในส่วนที่สองคือส่วนของส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทางจะเป็นส่วนที่ทำงานตามฟังก์ชันของชุมสายโทรศัพท์ปลายทาง (PABX) ไม่ว่าจะเป็นการจัดการสนทนาให้กับคู่สายภายในต่างๆ ฟังก์ชันการตรวจสอบสัญญาณ DTMF การให้บริการในการเรียกโทรศัพท์ เป็นต้น สำหรับส่วนประกอบต่างๆ ของบทความนี้จะประกอบไปด้วยส่วนที่สองจะกล่าวถึงการออกแบบซึ่งจะเกี่ยวกับส่วนอาร์ตเวิร์กและซอฟต์แวร์ ส่วนที่สามจะเป็นส่วนที่กล่าวถึงการผลิตและการใช้งานของเครื่องฯ และในส่วนสุดท้ายของบทความนี้จะเป็นการสรุปและข้อเสนอแนะของบทความ โดยรายละเอียดของส่วนต่างๆ มิได้กล่าวถึง

* นักศึกษาทดลองวิจัยระดับปริญญาโท
** รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

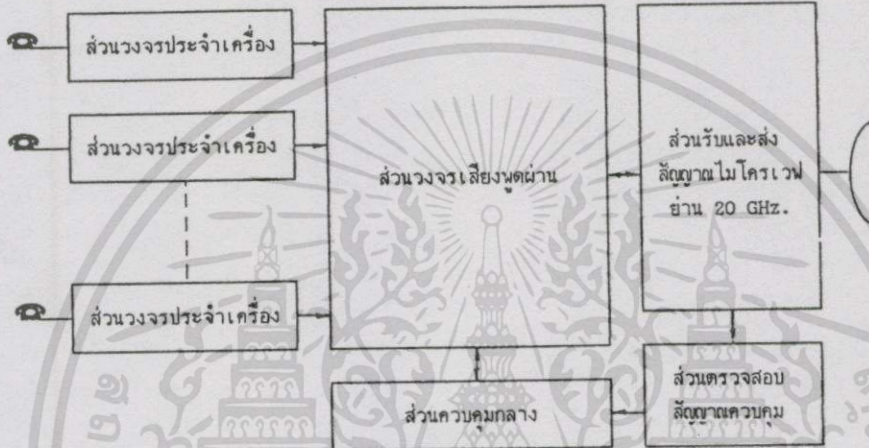
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

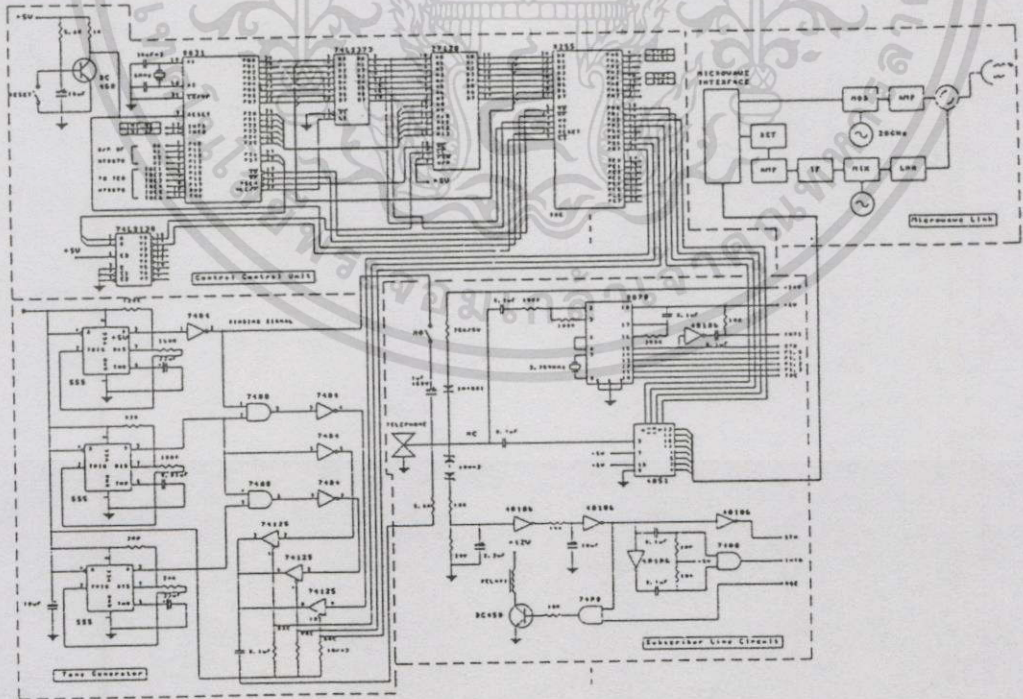
2.2 การออกแบบส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทาง

ส่วนประกอบอีกส่วนหนึ่งของ RPABX ก็คือส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทาง ซึ่งเป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่ที่ชั้นบนเพื่อให้บริการกับประชาชนในเขตพื้นที่ การทำงานของส่วนนี้จะมีลักษณะเหมือนกับชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติ (PABX) ที่เพิ่มส่วนของการรับและส่งสัญญาณไมโครเวฟย่าน 20 GHz. เข้าไป เพื่อที่จะเชื่อมต่อกับคู่สายขององค์การโทรศัพท์ในเขตพื้นที่ที่เจริญแล้วได้ โดยจะมีลักษณะของโครงสร้างดังรูปที่ 4 สำหรับโครงสร้างของส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทางส่วนแรกเป็นส่วนวงจรประจำเครื่องที่จะจัดให้บริการกับเครื่องโทรศัพท์โดยจะให้บริการกับเครื่องโทรศัพท์แบบกดปุ่ม ส่วนวงจรประจำเครื่องนี้จะทำหน้าที่ต่างๆ เป็นต้นว่า จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับเครื่องโทรศัพท์ ควบคุมการส่งสัญญาณต่างๆ ตรวจสอบสถานะของเครื่องโทรศัพท์ รวมไปถึงหน้าที่ตรวจสอบสัญญาณ DTMF ด้วย ส่วนต่อไปคือส่วนวงจรเสียงพูดผ่าน (Speech Path Circuit) ในการออกแบบส่วนนี้เอาหลักการ

สเปซดิวิชันสวิทชิง (Space-Division Switching) มาใช้งาน สำหรับส่วนรับส่งสัญญาณไมโครเวฟ 20 GHz. นั้น จะเหมือนกับที่จัดไว้ที่ส่วนเชื่อมต่อกับคู่สายขององค์การโทรศัพท์ สัญญาณที่ผ่านการคัดเลือกจากส่วนนี้จะถูกส่งให้กับส่วนวงจรเสียงพูดผ่านและส่วนตรวจสอบสัญญาณควบคุม ถ้าสัญญาณที่ถูกส่งมานั้นเป็นสัญญาณควบคุมที่แจ้งว่ามีสัญญาณเรียกเข้ามาจะมีลิจิกทางไฟฟ้าส่งส่วนควบคุมกลาง ถ้าไม่ใช่แสดงว่าเป็นสัญญาณเสียงที่เกิดจากการสนทนากัน สำหรับส่วนสุดท้ายคือส่วนควบคุมกลางซึ่งจะเป็นสิ่งที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของ RPABX นี้ จะทำหน้าที่รับสัญญาณสถานะจากส่วนต่าง ๆ เป็นต้นว่าสัญญาณจากส่วนวงจรประจำเครื่อง สัญญาณที่ได้จากส่วนตรวจสอบสัญญาณควบคุม ฯลฯ แล้วนำมาประมวลผลเพื่อที่จะจัดการกับส่วนต่างตามที่ได้กำหนดไว้ในส่วนของซอฟต์แวร์ สำหรับวงจรของส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทางนี้จะแสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทาง

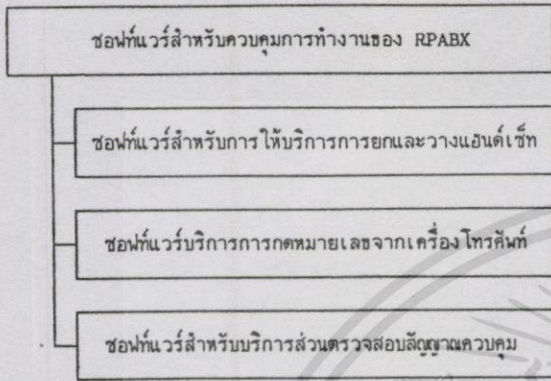


รูปที่ 5 แสดงวงจรของส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ที่จัดได้ว่า เป็นส่วนที่สำคัญสำหรับระบบที่นำเอาอุปกรณ์ไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งาน RPABX นี้ก็เช่นกันเมื่อนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาใช้งาน ซึ่งจะต้องมีซอฟต์แวร์เพื่อใช้ควบคุมการทำงาน สำหรับบทความนี้จะนำเสนอซอฟต์แวร์ที่อยู่ในรูปแบบของอัลกอริทึม โดยจะมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 6 แสดงส่วนประกอบของซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ RPABX

จากรูปที่ 6 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ RPABX ซึ่งจะสามารถแยกอธิบายได้ดังนี้

1. ซอฟต์แวร์สำหรับการให้บริการการยกและวางแอนด์เซ็ค
ซอฟต์แวร์ที่ออกแบบในส่วนนี้ เป็นส่วนที่ให้บริการ เกี่ยวกับการยกและวางแอนด์เซ็คของเครื่อง โทรศัพท์ที่ต่ออยู่กับส่วนวงจรประจำเครื่อง สำหรับการตรวจสอบการยกแอนด์เซ็คยังสามารถแยกการให้บริการได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการบริการยกแอนด์เซ็คเพื่อการเรียกโทรศัพท์และส่วนของการบริการยกแอนด์เซ็คเพื่อการรับโทรศัพท์

2. ซอฟต์แวร์บริการการกดหมายเลขจากเครื่อง โทรศัพท์
ซอฟต์แวร์ส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนที่ออกแบบเพื่อรับสัญญาณหมายเลข (DTMF) จากการกดปุ่มที่เครื่อง โทรศัพท์ สำหรับสัญญาณ DTMF ที่ได้จากการกดหมายเลขนั้น จะถูกส่งไปยังส่วนเชื่อมต่อกับคู่สายขององค์การโทรศัพท์ด้วย ถ้าผู้เรียกโทรศัพท์กดหมายเลข "0" ส่วนตรวจสอบสัญญาณ DTMF ของส่วนเชื่อมต่อกับคู่สายขององค์การ โทรศัพท์จะตรวจจับ ได้แล้วจะส่งสัญญาณควบคุมไปให้กับส่วนยกและวางแอนด์เซ็คทางอิเล็กทรอนิกส์ให้ทำงาน โดยเป็นการยกแอนด์เซ็คและถ้าตรวจสอบว่าเป็นการกดหมายเลข "*" ส่วนนี้จะทำงานในลักษณะของการวางแอนด์เซ็ค แต่ถ้าเป็นการกดหมายเลขอื่นส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทางจะจัดการให้บริการในส่วนชุมสายเอง

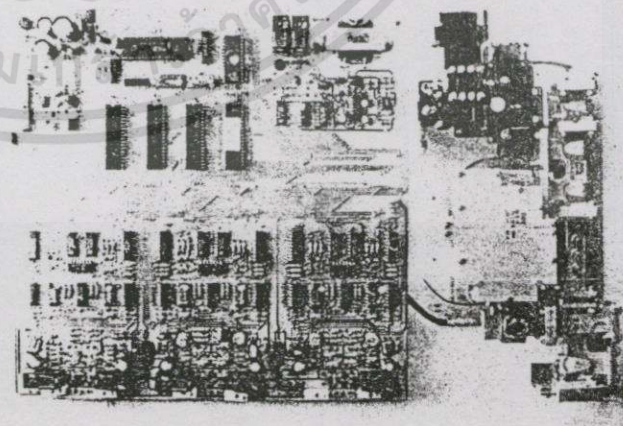
3. ซอฟต์แวร์สำหรับบริการส่วนตรวจสอบสัญญาณควบคุม
ซอฟต์แวร์ที่ออกแบบไว้ในส่วนนี้ จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ให้บริการเมื่อมีสัญญาณล่อจิกส่งมาจากส่วนตรวจสอบสัญญาณควบคุม ซึ่งจะบอกกับส่วนควบคุมกลางของ RPABX ว่ามีการเรียกเข้ามาที่คู่สายขององค์การโทรศัพท์ที่ต่ออยู่กับ RPABX ซึ่งซอฟต์แวร์ส่วนนี้จะส่งให้จ่ายสัญญาณเรียกไปยังคู่สายภายในเมื่อผู้ใช้ยกแอนด์เซ็ครับแล้วทำการกดหมายเลข "0" ก็จะสามารถสนทนากับคู่สายภายนอกได้ เมื่อจะทำการวางแอนด์เซ็คผู้ใช้ก็กดหมายเลข "*" ส่วนยกและวางแอนด์เซ็คทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกจัดไว้ที่ส่วนเชื่อมต่อกับคู่สายขององค์การโทรศัพท์ก็จะวางแอนด์เซ็คเอง ถ้าผู้ใช้ไม่กดหมายเลข "*" คู่สายนั้นก็ยังไม่วาง ซึ่งจะไม่สามารถเรียกเข้าได้

3. การทดสอบและผลการทดสอบ

ในการทดสอบการทำงานของ RPABX นี้ ได้ทำการทดสอบ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. โดยจัดให้ส่วนเชื่อมต่อกับคู่สายขององค์การ โทรศัพท์อยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำหรับส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทางนั้นติดตั้งไว้ที่ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ซึ่งมีระยะห่างกันประมาณ 200 เมตร การรับและส่งสัญญาณจะใช้ความถี่ไมโครเวฟย่าน 20 GHz. โดยใช้สายอากาศแบบออฟเซ็ทพาราโบลา (Offset Parabola) ซึ่งรูปของเครื่องต้นแบบของ RPABX นี้จะแสดงไว้ในรูปที่ 7 และ 8 โดยรูปที่ 7 แสดงสายอากาศแบบออฟเซ็ทพาราโบลาที่ใช้ในการวิจัย สำหรับรูปที่ 8 เป็นรูปที่แสดงส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทาง สำหรับรูปที่ 9 จะเป็นกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับการจัดบริการโทรศัพท์ในพื้นที่ชนบท

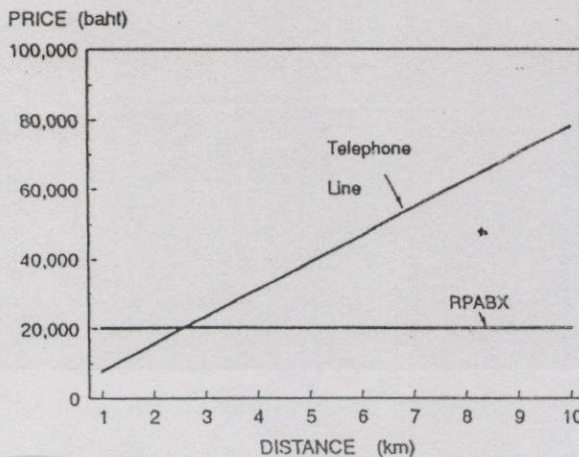


รูปที่ 7 แสดงสายอากาศแบบออฟเซ็ทพาราโบลาที่ใช้ใน RPABX

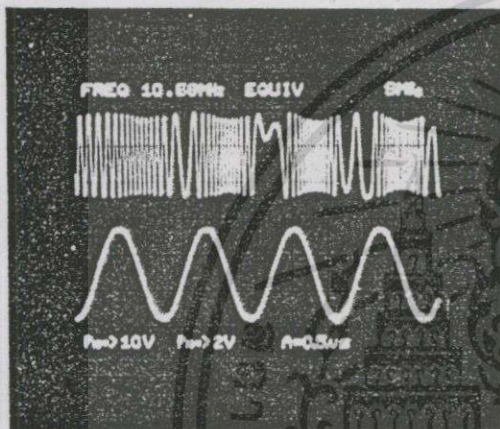


รูปที่ 8 แสดงเครื่องต้นแบบของส่วนชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทาง

สำหรับผลของการทดสอบการใช้งานของเครื่อง RPABX นี้ จะแสดงในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ โดยรูปที่ 9 แสดงถึงการทดสอบส่งสัญญาณไซน์ ซึ่งจากรูปผลการทดสอบสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตจะมีการผิดเพี้ยนของสัญญาณ อันเนื่องมาจากการบิดเบือนสัญญาณทางอิมพัลส์แรงมากเกินไป ส่วนในรูปที่ 10 เป็นการทดสอบการส่งสัญญาณสแควร์เวฟ โดยรูปที่ 9 เป็นผลของการทดสอบจะมีการผิดเพี้ยนของสัญญาณทางแอมพลิจูด อันเนื่องมาจากการบิดเบือนสัญญาณเข้าที่ทางอิมพัลส์แรงเกินไป แต่ที่ส่วนทางด้านรับจะมีส่วนที่ทำงานในลักษณะลิมิตเตอร์อยู่สามารถกำจัดการผิดเพี้ยนได้ ส่วนรูปที่ 11 จะแสดงกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่าง RPABX ที่ได้ออกแบบขึ้นกับคู่สายที่ให้บริการโดยองค์การโทรศัพท์



รูปที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่าง RPABX ที่ได้ออกแบบขึ้นกับคู่สายที่ให้บริการ โดยองค์การโทรศัพท์



รูปที่ 9 แสดงการทดสอบการส่งสัญญาณไซน์ผ่าน RPABX

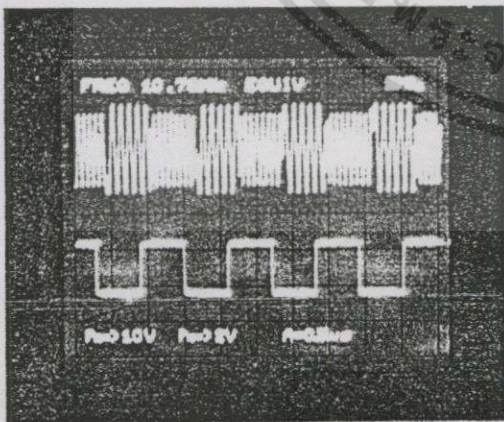
จากรูปที่ 11 จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายสำหรับ RPABX ที่จัดให้บริการกับพื้นที่ในเขตชนบทนั้นจะคงที่ในช่วงระยะที่ใช้งานคือ 10 กม. เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินทางสายโทรศัพท์เพื่อให้บริการกับพื้นที่นั้นๆ แล้วจะใช้จ่ายน้อยกว่ามาก ซึ่งค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินสายนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับระยะทาง

4. บทสรุป

RPABX นี้มีพื้นฐานมาจากชุมสายโทรศัพท์ที่ปลายทางอัตโนมัติ แต่การออกแบบนั้น จะเน้นในส่วนของการเชื่อมต่อระหว่างส่วนที่เชื่อมต่อกับคู่สายขององค์การโทรศัพท์กับส่วนคู่สายของ RPABX ที่จัดไว้ในพื้นที่ที่ต้องการให้บริการ ในบทความนี้ได้นำเอาหลักการการสื่อสารไมโครเวฟมาใช้ซึ่งให้ผลของการทดสอบเป็นที่น่าพอใจและมีแนวโน้มของการที่จะพัฒนา RPABX นี้ ให้เป็นชุมสายโทรศัพท์ ที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น สำหรับเครื่องต้นแบบในรูปที่ 7 และ 8 สามารถที่จะนำมาทดสอบและประเมินผลรวมไปถึงราคาของ RPABX ก็สามารถเปรียบเทียบได้กับราคาของคู่สายโทรศัพท์ได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 11 ซึ่งจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายลดลงเป็นอย่างมาก อันจะเป็นพื้นฐานของการพัฒนาระบบของการสื่อสารเพื่อชนบทได้เป็นอย่างดี

5. เอกสารอ้างอิง

1. John C. Bellamy, "Digital Telephony", John Wiley & Son Inc., 1982.
2. J.L. Fike and G.E. Friend, "Understanding Telephone Electronics", HOWARD W. SAMS & COMPANY, 1989
3. นีเชช เสนาะล้ำ, นิชย์ บุญตราและถวิล นิ่งมา, " การศึกษาเส้นทางแสงสำหรับชุมสายโทรศัพท์สาขาอัตโนมัติ ", การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 13, หน้า 541-550, 2533
4. นิชย์ บุญตรา, KANAME HIRAGULI, มนูญ สุธงษาและถวิล นิ่งมา, " การออกแบบวงจรสลบช่องเวลาสำหรับการบริการร่วมในชุมสายโทรศัพท์ปลายทางระบบดิจิทัล ", การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า 9 สถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 14, หน้า 4-61 ถึง 4-64, 2534
5. ถวิล นิ่งมา, อธิธิชัย อรุณศรีแสงไชยและโยชิเอกิ โมริยะ, " การวิเคราะห์ผลกระทบของผลต่อสัญญาณไมโครเวฟย่านความถี่ 20 GHz. ในประเทศไทย ", การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2534 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 633 - 642, 2534
6. Lucien Boithias, " Radiowave Propagation " British Library Cataloguing in Publish Data, 1987



รูปที่ 10 แสดงการส่งสัญญาณสแควร์เวฟผ่าน RPABX

ประวัติผู้เขียน

นายณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปรากฏ เกิดวันที่ 4 พฤศจิกายน 2513 ที่โรงพยาบาลราชวิถี กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ จาก มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2536 ประสบการณ์การทำงาน ในปี พ.ศ. 2537-2540 เป็นนักวิจัยที่คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2542 เข้า ทำงานที่บริษัทแอดทวาน ซิสเต็มส์ จำกัด ในตำแหน่งรองผู้จัดการฝ่ายระบบเครือข่ายจนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้