

เครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

DEVICE FOR MEASURING TOTAL HARMONIC DISTORTION OF
AC VOLTAGE



วท.
๘๖๓๖ ค
๙๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 60493
วัน,เดือน,ปี... - 3 ก.ค. 2549

b. 11๗๘๖๘13
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1518-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVICE FOR MEASURING TOTAL HARMONIC DISTORTION OF
AC VOLTAGE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

ISBN 974-15-1518-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ
นักศึกษา	นายรุ่งโรจน์ เมาลานนท์
รหัสประจำตัว	43065004
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์วิชิต ศิริโชค

บทคัดย่อ

ได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เครื่องมือประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สองส่วน ส่วนที่หนึ่งคือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ตระกูล 51 ทำหน้าที่เก็บสัญญาณด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ความละเอียด 12 บิต หน่วยความจำแรมขนาด 32 กิโลไบต์ วงจรแสดงผลด้วยจอแอลซีดี และพอสต์สือสาร RS485 ส่วนที่สองคือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ทำหน้าที่ประมวลผลด้วยโปรแกรมฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม และคำนวณค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์จำนวน 64 ลำดับ การทำงานเริ่มต้นจากบอร์ดส่วนที่หนึ่งเก็บบันทึกสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและส่งข้อมูลไปบอร์ดส่วนที่สองผ่านพอสต์สือสาร RS485 เพื่อคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์แล้วส่งกลับมายังผลการคำนวณลงในหน่วยความจำ ได้รายงานตัวอย่างผลการวัด THDV ที่บ้านพักอาศัย และตึกคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Thesis	Device for Measuring Total Harmonic Distortion of AC Voltage
Student	Mr.Rungroj Maolanon
Student ID	43065004
Degree	Master of Science
Programme	Applied Physics
Year	2005
Thesis Advisor	Associate Professor Wichit Sirichote

ABSTRACT

A device used for measuring Total Harmonic Distortion of AC Voltage i.e. THDV has been designed and built. The device consists of two microcontroller boards; 1) an 8-bit MCU for signal capture and 2) 16-bit MCU for Fast Fourier Transform (FFT) computing. The 8-bit MCS51 board has 12-bit analog-to-digital converter, 32kB nonvolatile memory, LCD display, and RS485 port. The 16-bit 80C186 MCU has embedded firmware for computing 128 points FFT. The FFT software is capable for computing THDV up to 64-order of harmonic components. The first board captures AC signal, sends data to the second board, receives and saves the computed THDV to the memory. The exemplory of using the device for measuring THDV of residential and academic building has also reported.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิจิต ศิริโชติ ที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาในช่วงเวลาที่งานวิจัยมีอุปสรรคมากจนผ่านพ้นมาด้วยดีและคอยบรมสั่งสอนตลอดจนแนวทางการทำงานที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง ความรู้ที่ข้าพเจ้าได้รับมากเกินกว่าเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าจะส่งสมความรู้ที่ได้รับให้เพิ่มพูนขึ้น และขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงที่เป็นจุดเริ่มต้นและเป็นแบบอย่างที่ดีให้ข้าพเจ้า

งานวิจัยนี้จะไม่สมบูรณ์ถ้าไม่ได้รับการแนะนำแนวทางที่ทำให้ผลงานวิจัยประสบความสำเร็จจาก ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา ที่เสียสละเวลาช่วงที่ท่านมีปัญห สุขภาพช่วยเหลือแนะนำข้าพเจ้าเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าขอให้ท่านหายป่วยโดยเร็วและถ่ายทอดความรู้แก่ลูกศิษย์ต่อไป

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ฐิตินัย แก้วแดง ที่อบรมสั่งสอนให้คำแนะนำและปรึกษาปัญหา งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

และขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชนากร โอสดจันทร์ ที่ทุกคำถามของอาจารย์ล้วนแต่เป็นคำถามที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทำให้ข้าพเจ้ามีความคิดและมองปัญหาในแง่มุมที่กว้างมากขึ้น และคำตอบที่ได้รับทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจอย่างกระจ่างในปัญหาที่เกิดขึ้น

คำแนะนำของอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอน ข้าพเจ้าจะจดจำไว้และนำความรู้ที่ได้รับไปสร้างให้เกิดประโยชน์ต่อไป

สุดท้ายนี้การเรียนระดับมหาบัณฑิตตลอดจนถึงการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนของบิดาและมารดา ที่ให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน เป็นกำลังใจคอยให้คำปรึกษาข้าพเจ้าสำนึกในพระคุณอย่างสูง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 คุณภาพและการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	3
2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	3
2.2 สิ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	6
2.2.1 ทรานเซียนท์.....	6
2.2.2 แรงดันเกิน.....	8
2.2.3 แรงดันตก.....	8
2.2.4 การเปลี่ยนระดับแรงดันระยะสั้น.....	9
2.2.5 อินเตอร์รัพท์.....	9
2.2.6 แรงดันลดชั่วขณะ.....	11
2.2.7 แรงดันเพิ่มชั่วขณะ.....	12
2.2.8 ความเพี้ยนของรูปคลื่น.....	13
2.2.9 ฮาร์มอนิกส์.....	13
2.2.10 ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์.....	14
2.2.11 ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์.....	17
2.3 มาตรฐาน IEEE Std 519-1992.....	17
2.4 การวิเคราะห์สัญญาณเป็นคาบด้วยอนุกรมฟูเรียร์.....	18
2.4.1 ฟังก์ชันเป็นคาบ.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV นี้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ฟังก์ชันคู่และฟังก์ชันคี่.....	20
2.4.3 อนุกรมฟูรีเยร์.....	22
2.4.4 ฟังก์ชันฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม.....	24
บทที่ 3 การออกแบบ.....	28
3.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51.....	30
3.2 วงจรภาครับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	32
3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล.....	33
3.4 วงจรฐานเวลาแบบ Real Time Clock.....	36
3.5 วงจรพอดสื่อสารแบบอนุกรม RS232 และวงจรถูกสื่อสารมาตรฐาน RS485.....	37
3.6 วงจรเชื่อมต่อจอแสดงผลแอลซีดี.....	40
3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต.....	41
3.8 โปรแกรมควบคุม.....	43
บทที่ 4 การทดลอง.....	48
4.1 ผลการออกแบบวงจร.....	49
4.2 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ.....	50
4.3 การทดลองเพื่อทดสอบมาตรฐานการทำงานของเครื่องมือ.....	52
4.4 การทดลองเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์เปรียบเทียบ HP VEE ด้วยสัญญาณทราบค่า ที่สร้างขึ้น.....	60
4.4.1 สัญญาณ โคไซน์.....	61
4.4.2 สัญญาณสี่เหลี่ยม.....	64
4.5 การทดลองเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์จากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน KENWOOD CR OSCILLATOR AG-203.....	68
4.6 การวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสสลับปกติที่มีโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้นต่อฟ่วง.....	71
4.7 การวัดเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์เมื่อจำแนกตามสถานที่.....	74
4.7.1 สถานที่ทดลอง: บ้านพักอาศัย.....	74

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7.2 สถานที่ทดลอง:	
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	79
4.8 แสดงการทำงานของเครื่องวัดฮาร์ดดิสก์เมื่อเก็บบันทึกข้อมูลและโอน ข้อมูลผ่านจอมอนิเตอร์พีซีคอมพิวเตอร์.....	84
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	86
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	86
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข.....	89
5.3 แนวทางการวิจัยและการประยุกต์ใช้ในอนาคต.....	91
เอกสารอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	94
ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้เครื่องวัดฮาร์ดดิสก์.....	95
ภาคผนวก ข. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51.....	102
ภาคผนวก ค. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต 80C186.....	105
ภาคผนวก ง. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต 80C188.....	107
ภาคผนวก จ. Firmware MCS51.....	109
ภาคผนวก ฉ. Firmware FFT for Intel 80C186.....	121
ประวัติผู้เขียน.....	129

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อจำกัดผลรวมความถี่ของแรงดันไฟฟ้า.....	18
2.2 มาตรฐานเครื่องมือวัดขั้นต่ำเมื่อแบ่งตามค่าความถี่.....	18
3.1 ระดับความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล.....	35
4.1 ลำดับฮาร์มอนิกส์ของผลรวมสัญญาณ ไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ อัตราการแซมปลิง 256 จุด และ 128 จุด.....	59
4.2 ลำดับฮาร์มอนิกส์ของผลการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์และ HP VEE ของสัญญาณ โคไซน์.....	63
4.3 ลำดับฮาร์มอนิกส์ของผลการคำนวณเปรียบเทียบเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ โปรแกรม HP VEE และการคำนวณสมการอนุกรมฟูเรียร์ของสัญญาณสี่เหลี่ยม.....	66
5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานเมื่อปรับอัตราการแซมปลิง.....	86



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่เพียงพอค่อโหลด.....	5
2.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่เพียงพอค่อโหลด.....	5
2.3 ลักษณะทรานเซียนท์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใด.....	7
2.4 ลักษณะทรานเซียนท์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะต่อเนื่อง.....	7
2.5 แรงดันเกิน.....	8
2.6 แรงดันตก.....	9
2.7 การเกิดอินเตอร์รัพท์.....	10
2.8 การเกิดอินเตอร์รัพท์ส่งผลต่อการลดลงของแรงดันไฟฟ้า.....	10
2.9 แรงดันลดชั่วขณะ.....	11
2.10 แรงดันเพิ่มชั่วขณะ.....	12
2.11 ความเพี้ยนของรูปคลื่น.....	13
2.12 คลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดความเพี้ยนจากโหลดวงจรเรียงกระแสด้วยไดโอด.....	15
2.13 พื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยการแปลงตามทฤษฎีฟูเรียร์.....	16
2.14 ฟังก์ชันเป็นคาบรูปไซน์.....	19
2.15 ฟังก์ชันคู่รูปโคไซน์.....	20
2.16 ตัวอย่างฟังก์ชันคู่แบบใด ๆ.....	21
2.17 ฟังก์ชันคี่รูปไซน์.....	21
2.18 ฟังก์ชันคี่แบบใด ๆ.....	22
3.1 แผนภาพเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	29
3.2 การจัดวางตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51.....	30
3.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51.....	31
3.4 วงจรภาครับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	32
3.5 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ผ่านการลดขนาดแรงดันและยกระดับขึ้น.....	33
3.6 การจัดวางตำแหน่งขาของ LTC1298.....	34
3.7 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 ผ่านทางพอด SPI.....	34
3.8 กราฟระดับความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล.....	35
3.9 การจัดวางตำแหน่งขาของ DS1307.....	36
3.10 วงจรฐานเวลาแบบ Real Time Clock.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา [viii](#) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 การจัดวางตำแหน่งขาของ MAX232.....	38
3.12 การจัดวางตำแหน่งขาของ SN75176.....	39
3.13 วงจรพอดสื่อสารแบบอนุกรม RS232 และ RS485.....	39
3.14 วงจรเชื่อมต่อจอแสดงผลแอลซีดี.....	40
3.15 การจัดวางตำแหน่งขาของ Intel 80C186EB.....	41
3.16 แผนภาพวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต.....	42
3.17 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต.....	43
3.18 แผนภาพโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51.....	46
3.19 แผนภาพโปรแกรมการคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม.....	47
4.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51.....	49
4.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต.....	50
4.3 ออสซิลโลสโคป Tektronix TDS340A.....	51
4.4 ซอฟต์แวร์ HP VEE Version 5.01.....	51
4.5 แผนผังการเปรียบเทียบผลการแชนเปลิ่งความละเอียด 256 จุด และ 128 จุด.....	52
4.6 สัญญาณรูปไซน์บริสุทธิ์ที่มีอัตราการแชนเปลิ่ง 256 จุด.....	53
4.7 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ ที่มีอัตราการแชนเปลิ่ง 256 จุด.....	54
4.8 สัญญาณรูปไซน์บริสุทธิ์ที่มีอัตราการแชนเปลิ่ง 128 จุด.....	54
4.9 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ ที่มีอัตราการแชนเปลิ่ง 128 จุด.....	55
4.10 สัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ อัตราการแชนเปลิ่ง 256 จุด.....	56
4.11 การรวมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ อัตราการแชนเปลิ่ง 256 จุด.....	56
4.12 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของผลรวมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ ที่มีอัตราการแชนเปลิ่ง 256 จุด.....	57
4.13 สัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ อัตราการแชนเปลิ่ง 128 จุด.....	57
4.14 การรวมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ อัตราการแชนเปลิ่ง 128 จุด.....	58

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของผลรวมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ ที่มีอัตราการใช้แอมพลิจูด 128 จุด.....	58
4.16 แผนผังการทดลองเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบกับ HP VEE ด้วยสัญญาณทราบค่าที่สร้างขึ้น.....	60
4.17 สัญญาณโคไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 100 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์.....	61
4.18 การรวมสัญญาณโคไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 100 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์.....	62
4.19 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของผลรวมสัญญาณโคไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 100 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ ของเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์.....	62
4.20 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของผลรวมสัญญาณโคไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 100 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ จากการประมวลผลด้วย HP VEE.....	63
4.21 สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม.....	64
4.22 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ประมวลผลด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์.....	65
4.23 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ประมวลผลด้วย HP VEE.....	65
4.24 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ประมวลผลการคำนวณด้วยมือตามสมการอนุกรมฟูเรียร์.....	66
4.25 แผนผังการทดลองเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์จากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน.....	69
4.26 สัญญาณรูปไซน์จากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน.....	69
4.27 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน KENWOOD.....	70
4.28 ผลการทดลองเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์เมื่อทำการบันทึกผลการวัดจากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน KENWOOD ต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง.....	71
4.29 แผนผังการทดลองการวัดผลรวมความถี่ฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับปกติที่มีโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้นต่อพ่วง.....	72
4.30 วงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดและตัวเก็บประจุ.....	72
4.31 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ต่อพ่วงกับโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น.....	73
4.32 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับต่อพ่วงกับโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น.....	73
4.33 แผนผังการวัดเปอร์เซ็นต์ผลรวมความถี่ฮาร์มอนิกส์เมื่อจำแนกตามสถานที่.....	75
4.34 ผลการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2548 เวลา 21.10 น.....	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2548 เวลา 21.10 น.....	76
4.36 ผลการวัดต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง วันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2548 เวลา 00.00-23.55 น. ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที.....	77
4.37 ผลการวัด วันที่ 17-22 มกราคม พ.ศ. 2548 ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที.....	78
4.38 ผลการวัด วันที่ 22-27 มกราคม พ.ศ. 2548 ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที.....	78
4.39 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อวัดด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป.....	79
4.40 ผลการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เวลา 09.00 น. ด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์.....	80
4.41 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เวลา 09.00 น.....	80
4.42 ผลการวัดต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง วันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เวลา 00.00-23.55 น. ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที.....	81
4.43 ผลการวัด วันที่ 1-5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที.....	82
4.44 ผลการวัด วันที่ 8-15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที.....	82
4.45 ผลการวัดต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง วันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เวลา 00.00-23.55 น. ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที.....	83
4.46 ผลการคำนวณจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ชั้นที่หนึ่ง.....	84
4.47 ผลการคำนวณจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ชั้นที่สอง.....	84
4.48 ผลการคำนวณจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ชั้นที่สาม.....	85
4.49 การโอนข้อมูลผลการบันทึกเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ผ่านพีซีคอมพิวเตอร์.....	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีคุณภาพคือปัจจัยสำคัญของเศรษฐกิจ พื้นฐานทางการผลิตในระบบอุตสาหกรรมต้องการระบบจ่ายไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพและมีคุณภาพ คุณภาพของระบบจ่ายไฟฟ้าหมายถึงคุณภาพของรูปทรง (Waveshape) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วิธีการเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของระบบจ่ายไฟฟ้าคือการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า การที่แรงดันไฟฟ้าจะมีลักษณะของรูปทรงที่มีคุณภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหนึ่งคือ โหลดไฟฟ้ากระแสสลับ และแบ่งโหลดไฟฟ้ากระแสสลับออกได้สองลักษณะ คือ โหลดชนิดที่เป็นเชิงเส้น (Linear load) โหลดชนิดนี้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดจะมีการตอบสนองแบบเชิงเส้นกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม โหลดชนิดที่สองคือโหลดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear load) เช่น วงจรเรียงกระแสที่ประกอบไปด้วยไดโอดและตัวเก็บประจุ จะดึงกระแสไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันที่ตกคร่อมการดึงกระแสแบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้ทำให้เกิดความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้า (Voltage waveform distortion) ในส่วนวิธีการวิเคราะห์จะนำหลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์แบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Fast Fourier Transform, FFT) เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิก (%THDV) ในส่วนของการออกแบบสร้างเครื่องมือวัดได้เลือกใช้อุปกรณ์ทางไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างเครื่องต้นแบบที่มีขนาดเล็กสามารถนำไปใช้วัดได้ในทุกสถานที่ รวมทั้งสามารถบันทึกข้อมูลได้ในระยะเวลาหนึ่ง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

เพื่อนำความรู้ทางด้านฟิสิกส์มาวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้ทราบถึงคุณภาพของระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และนำความรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์และหลักการออกแบบวงจรควบคุมเครื่องมือระบบการสั่งการเครื่องมือด้วยภาษาซี และภาษาแอสเซมบลี เพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถนำไปใช้งานได้และใช้ทรัพยากรการผลิตที่คุ้มค่า

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยจะศึกษาในเรื่องของการใช้สมการทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ผนวกกับการสร้างเครื่องมือเพื่อนำไปใช้วัดคุณภาพระบบจ่ายไฟฟ้าตามสถานที่ต่าง ๆ เช่น บ้านพักอาศัย และสถานการศึกษา ตลอดช่วงเวลานาน 1 สัปดาห์ และบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงทุก 5 นาที โดย การสอบเทียบเครื่องมือจะใช้วิธีวัดสัญญาณจริง เทียบกับการคำนวณ และการใช้เครื่องมือในการวัดสัญญาณที่มีความเพี้ยนตามค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อปรับแต่งเครื่องมือให้แม่นยำและเที่ยงตรงที่สุด

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

วิธีดำเนินการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเรื่องเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เริ่มตั้งแต่ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้นทางฟิสิกส์ การวิเคราะห์สัญญาณด้วยทฤษฎีฟูรีเยร์ การสร้างสมการการคำนวณแบบฟาสต์ฟูรีเยร์ทรานฟอร์มด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาซี เนื่องจากในการออกแบบสมการฟาสต์ฟูรีเยร์ทรานฟอร์มมีหลักการคำนวณคือการแปลงสัญญาณที่อยู่ในรูปโคไซน์ของเวลามาวิเคราะห์สัญญาณบนโคไซน์ของความถี่ การแปลงลักษณะนี้จะต้องใช้ขั้นตอนการคำนวณเป็นจำนวนมากการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาซี เพื่อใช้ในการลดเวลาการคำนวณลง และเพื่อความเหมาะสมในการนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นไปใช้งานอย่างสะดวก การออกแบบวงจรให้มีขนาดเล็กเป็นสิ่งสำคัญและได้คัดเลือกอุปกรณ์ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถสูงและเหมาะสมที่จะใช้ในการคำนวณลักษณะนี้แทนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่และสามารถนำคอมพิวเตอร์ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นต่อไป การออกแบบเครื่องมือได้พัฒนาส่วนการบันทึกสัญญาณที่ต้องการความละเอียดของสัญญาณที่บันทึกให้ใกล้เคียงกับสภาพสัญญาณจริงมากที่สุด และในส่วนเนื้อหาได้แสดงการทดสอบความละเอียดของสัญญาณที่บันทึกได้ เพื่อนำไปสู่การคำนวณแบบฟาสต์ฟูรีเยร์ทรานฟอร์มที่รวดเร็วและถูกต้องที่สุด ในส่วนของวงจรประกอบไปด้วยส่วนแสดงผลและส่วนบันทึกข้อมูลการวัดผลแสดงวันเดือนปี เพื่อเก็บบันทึกเป็นข้อมูลอ้างอิงและใช้ในการวิเคราะห์ในรูปแบบต่าง ๆ วิธีการและรายละเอียดทั้งหมดของวิทยานิพนธ์จะนำเสนอโดยแยกเป็นบท พร้อมรูปภาพและตารางประกอบตามลำดับต่อไป

คุณภาพและการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ระบบไฟฟ้ากำลังที่ต้องการศึกษาคือคุณภาพกำลังไฟฟ้าหรืออีกนัยหนึ่งคือรูปทรงของสัญญาณเพราะถ้าทราบถึงความเพี้ยนของรูปทรงที่เพี้ยนไปจากสัญญาณปกติก็จะเป็นแนวทางในการออกแบบและวิเคราะห์ในส่วนของการปรับปรุงต่อไป สัญญาณพื้นฐานที่เกี่ยวข้องแบ่งได้เป็นหลักการดังนี้ หนึ่งสัญญาณเป็นคาบมีลักษณะเป็นสัญญาณได้หลายรูปแบบ เช่น สามเหลี่ยมสี่เหลี่ยม หรือรูปร่างใด ๆ แต่มีช่วงเวลาซ้ำคาบต่อเนื่อง สองคือสัญญาณเป็นคาบรูปไซน์ (Sinusoidal Waveform) มีลักษณะเป็นรูปไซน์ต่อเนื่องซ้ำคาบ และสามคือสัญญาณไม่เป็นคาบเป็นสัญญาณที่มีลักษณะได้หลายรูปแบบและไม่มีข้อจำกัดเรื่องคาบเวลา โดยสัญญาณที่ทำการศึกษาจะเป็นไปตามหลักการที่กล่าวมา ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจะมีสัญญาณเป็นคาบความถี่คงที่ 50 เฮิรตซ์ จากระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับและเมื่อระบบประกอบด้วยโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นจึงส่งผลกระทบต่อแหล่งกำเนิดให้เกิดความเพี้ยนแต่ยังคงรูปลักษณะสัญญาณเป็นคาบที่มีความต่อเนื่องและมีลักษณะของสัญญาณเป็นรูปไซน์ที่ซ้ำคาบในสภาวะคงที่

2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power quality)

เมื่อความจำเป็นของระบบไฟฟ้ามีมากขึ้นซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการบริโภคโดยทั่วไป รวมถึงภาคการผลิตซึ่งปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องควบคุมคือเรื่องของคุณภาพกำลังไฟฟ้า กรณีเกิดปัญหาขึ้นจะต้องได้รับการแก้ไข โดยทันทีก่อนที่จะเกิดความเสียหายกับระบบทั้งหมด และปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นนั้นในความหมายคือปริมาณของโหลดที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าตามบริเวณต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

โหลดคือปัจจัยที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าซึ่งแบ่งได้สองประเภท คือ โหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น และโหลดชนิดเป็นเชิงเส้นซึ่งเป็นชนิดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า ดังนั้นโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้นเป็นโหลดที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า เนื่องจากค่ากระแสที่ไหลผ่าน โหลดมีการตอบสนองแบบไม่เป็นเชิงเส้นกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม ตัวอย่างของโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น คือ วงจรเรียงกระแสที่ประกอบไปด้วยไดโอด และตัวเก็บประจุ อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ไตรแอก วงจรปรับความเร็วมอเตอร์ เต้าหลอม โลหะ เป็นต้น

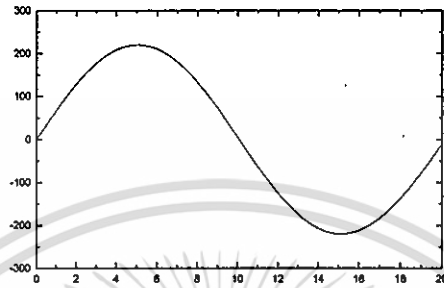
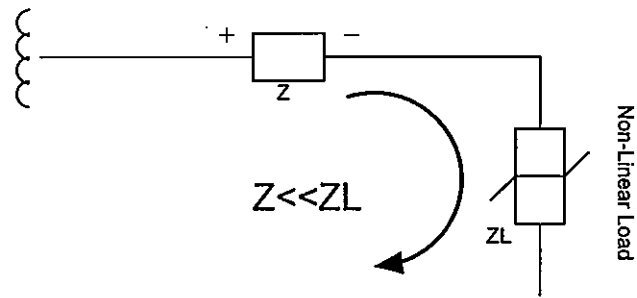
การทำความเข้าใจถึงปัญหาของคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้มีการศึกษาและแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งคือปัญหาที่ส่งผลต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าโดยรวมในภาคการผลิต ลำดับที่หนึ่งคือปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้ามากที่สุด ลำดับที่สองคือโหลดที่จำเป็นในขบวนการผลิต ลำดับที่สามคือ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไป และลำดับสุดท้ายคือความเสียหายจากบริเวณใกล้เคียงที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า

กลุ่มที่สองคือปัญหาที่ส่งผลต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าโดยรวมสำหรับผู้บริโภค ลำดับที่หนึ่งคือปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ ลำดับที่สองคือ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไป ลำดับที่สามคือบริเวณใกล้เคียงที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า ซึ่งแตกต่างไปจากในภาคการผลิตคือเรื่องของโหลดที่ใช้ในขบวนการผลิตเท่านั้น

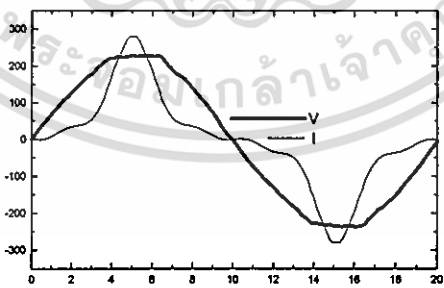
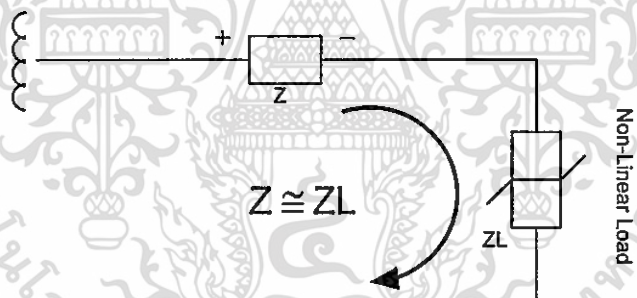
จากลำดับสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกำลังไฟฟ้า สิ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้ามากที่สุดคือธรรมชาติซึ่งเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก แต่สิ่งที่สามารถศึกษาและควบคุมได้คือลำดับที่สอง โหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และเป็นสิ่งที่ต้องหาทางในการปรับปรุง เช่น การดูแลเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพ แต่โหลดบางประเภท เช่น ภาชนะจ่ายไฟฟ้าชนิดสวิตซ์ซึ่ง จะกำเนิดแรงดันไฟฟ้าที่สูงเกินระดับในบางช่วงเวลาและทำให้ส่งผลต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า ในอนาคตต้องหาวิธีการพัฒนาโหลดให้มีประสิทธิภาพและส่งผลต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด

สาเหตุทั้งหมดนี้เป็นที่ตระหนักดี จึงได้มีการศึกษาอย่างจริงจังในการหาวิธีการวัดเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่แตกต่าง เช่น คุณภาพกำลังไฟฟ้าที่คิมมีลักษณะอย่างไร และหาวิธีการที่กำหนดเป็นมาตรฐานควบคุมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า ในทางปฏิบัติเป็นเรื่องยากที่จะกำหนดมาตรฐานในการควบคุม โหลดหรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดที่ส่งผลกระทบต่อระบบจ่ายไฟฟ้าได้

ในด้านของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสาเหตุหนึ่งของคุณภาพกำลังไฟฟ้า กรณีที่มีโหลดเชื่อมต่อเป็นจำนวนมากในบริเวณหนึ่งที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เพียงพอ ค่ากระแสที่ไหลผ่าน โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะส่งผลต่อคุณภาพของรูปทรงของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับนั้นคือส่งผลต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า ดังนั้นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่มีกำลังการจ่ายเหมาะสมต่อโหลดเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญ รูปที่ 2.1 แสดงแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายไฟฟ้าเพียงพอต่อโหลด ดังนั้นอิมพีแดนซ์ (Z) ภายในวงจรมีค่าน้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับอิมพีแดนซ์ของโหลด (ZL) และส่งผลให้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถจ่ายไฟฟ้าได้เพียงพอต่อโหลด เมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด ลักษณะรูปทรงของสัญญาณจะไม่เปลี่ยนแปลงไปจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่เพียงพอสอดคล้องต่อโหลด



รูปที่ 2.2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่เพียงพอสอดคล้องต่อโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 เมื่อแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับไม่สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อโหลดได้เพียงพอ เนื่องจากอิมพีแดนซ์ภายในวงจรมีค่าใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของโหลด ส่งผลกระทบต่อการดึงกระแสของโหลดปรากฏผลเมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด ลักษณะรูปทรงของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไปจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

คุณภาพกำลังไฟฟ้าเป็นค่าที่ได้ถูกนิยามขึ้นและให้ความหมายโดยรวมเพื่อเป็นการแสดงผลจากโหลดที่มีต่อระบบ ในการออกแบบเครื่องมือวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือนิยามของคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่กำหนดขึ้นเพื่ออธิบายคุณภาพในการให้พลังงานจากแหล่งกำเนิดระบบไฟฟ้ากับโหลด ซึ่งแหล่งกำเนิดเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และความหมายโดยสรุปคือ คุณภาพกำลังไฟฟ้าคือคุณภาพของแรงดันไฟฟ้า และคุณภาพรูปทรงของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยตามมาตรฐานจะมีขอบเขตและข้อจำกัดกับแหล่งกำเนิดเพื่อให้เกิดความแน่นอนในการใช้กับโหลด เช่น แหล่งกำเนิดกระแสสลับจะมีความถี่อยู่ในช่วง 50 เฮิร์ตซ์ หรือ 60 เฮิร์ตซ์ และในระบบจะมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส โดยระบบที่ดีจะมีการจัดการให้สัญญาณจากแหล่งกำเนิดมีรูปสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรูปไซน์มากที่สุดตลอดจนถึงระดับแรงดันของสัญญาณเมื่อนำมาเป็นแหล่งจ่ายให้กับอุปกรณ์จะอยู่ในสภาวะคงที่ที่สุด

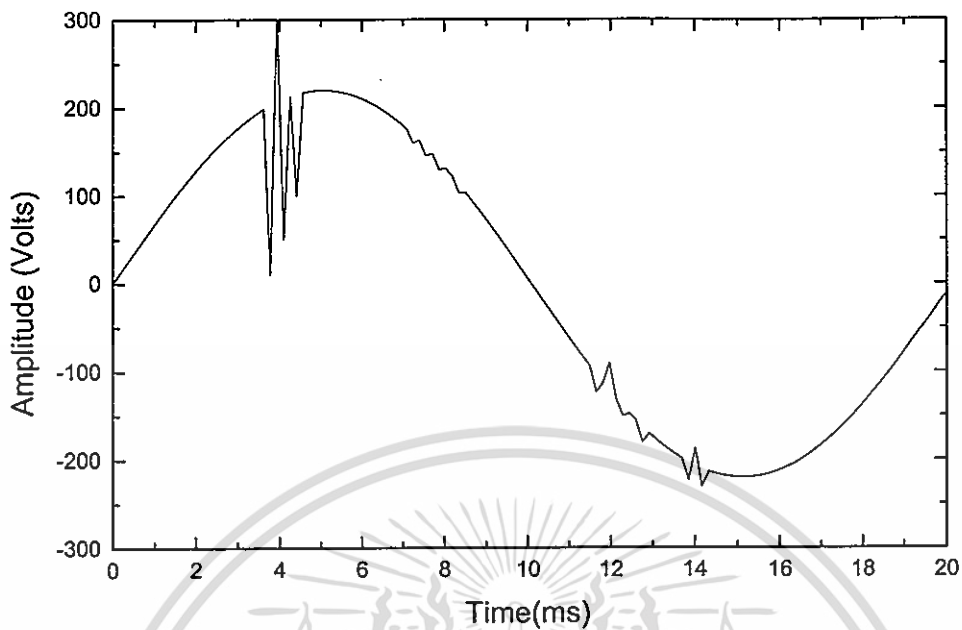
2.2 สิ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า

การอธิบายถึงสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้แบ่งตามมาตรฐาน The Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Coordinating Committee 22 (IEEE SCC22) และ The International Electrotechnical Commission (IEC) แสดงตามลำดับดังนี้

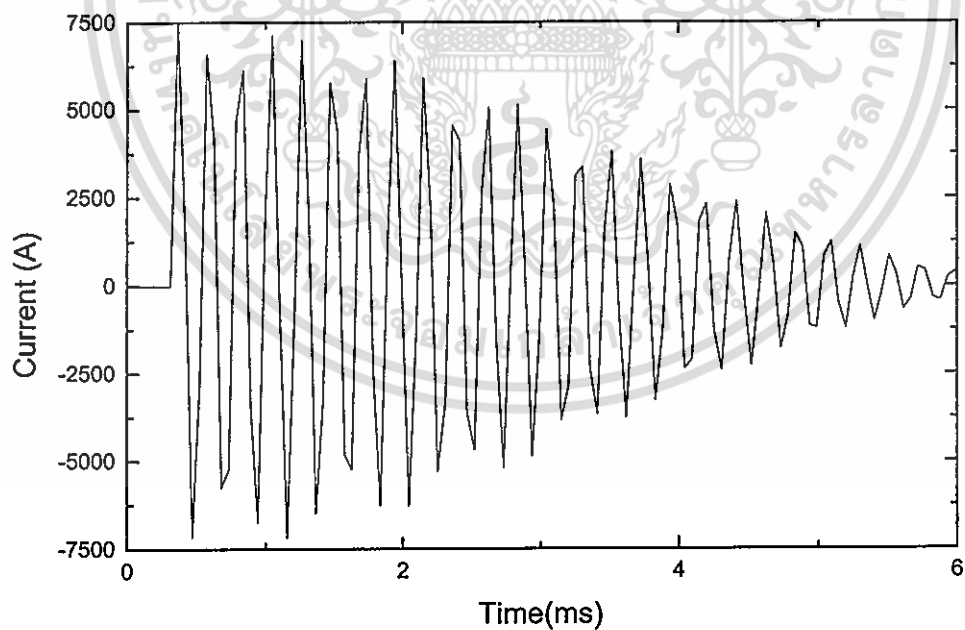
2.2.1 ทรานเซียนท์ (Transients)

ทรานเซียนท์เป็นคำนิยามที่เรียกลักษณะของสัญญาณลักษณะหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า ในวงจรที่ประกอบไปด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และขดลวดเหนี่ยวนำ โดยธรรมชาติของวงจรนี้ให้กำเนิดสัญญาณรบกวนชั่วขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นและค่อยลดลงไป

ลักษณะของทรานเซียนท์แบ่งออกได้สองลักษณะคือลักษณะของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใดจากสัญญาณปกติ (Impulsive Transient) ลักษณะของแรงดันจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาประมาณ 50 ไมโครวินาที การเกิดลักษณะนี้มีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า



รูปที่ 2.3 ลักษณะทรานเซียนท์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใด



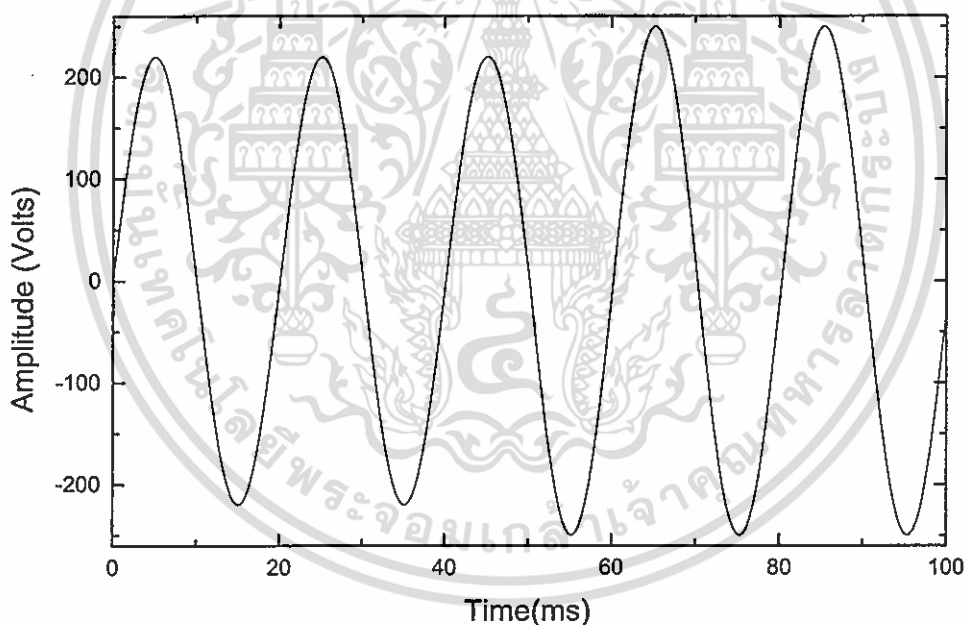
รูปที่ 2.4 ลักษณะทรานเซียนท์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่สองคือทรานเซียนท์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นจังหวะ ต่อเนื่องไประยะเวลาหนึ่งและระดับแรงดันเฉลี่ยจะค่อยลดลงและหายไป (Oscillatory Transient) ลักษณะของทรานเซียนท์แบบนี้จะประกอบด้วยความถี่อื่นนอกเหนือจากความถี่หลักมูล โดยความถี่ของทรานเซียนท์ลักษณะนี้เมื่อเกิดขึ้นกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีสาเหตุ เช่นการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านหม้อแปลงและเกิดการสั่นพ้องความถี่ช่วงเวลาที่ลำดับฮาร์มอนิกที่ 2 และลำดับที่ 3 ส่งผลต่อรูปทรงของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า

2.2.2 แรงดันเกิน (Overvoltage)

แรงดันเกินหมายถึงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าสูงมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในภาวะเสถียรต่อเนื่องมากกว่า 1 นาที สาเหตุที่ทำให้ระดับแรงดันเกินเนื่องมาจากช่วงการปิดสวิตช์โหลดที่มีขนาดใหญ่ หรือการเลือกใช้หม้อแปลงไม่ถูกต้อง

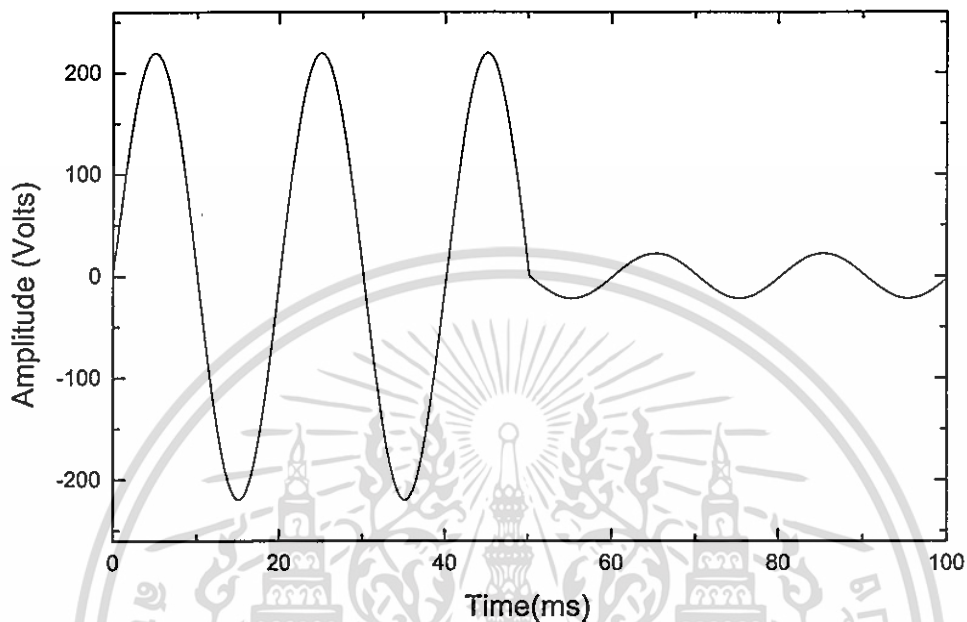


รูปที่ 2.5 แรงดันเกิน

2.2.3 แรงดันตก (Undervoltage)

แรงดันตกหมายถึงระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าลดลงต่ำกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในภาวะเสถียรต่อเนื่องมากกว่า 1 นาที

การเกิดแรงดันตกมีสาเหตุจากการเปิดสวิตช์ทำงานของโหลดที่มีขนาดใหญ่และจะมีลักษณะตรงข้ามกับกรณีแรงดันเกิน หรืออีกนัยหนึ่งเกิดจากระดับพลังงานลดลงจากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกินสมดุล



รูปที่ 2.6 แรงดันตก

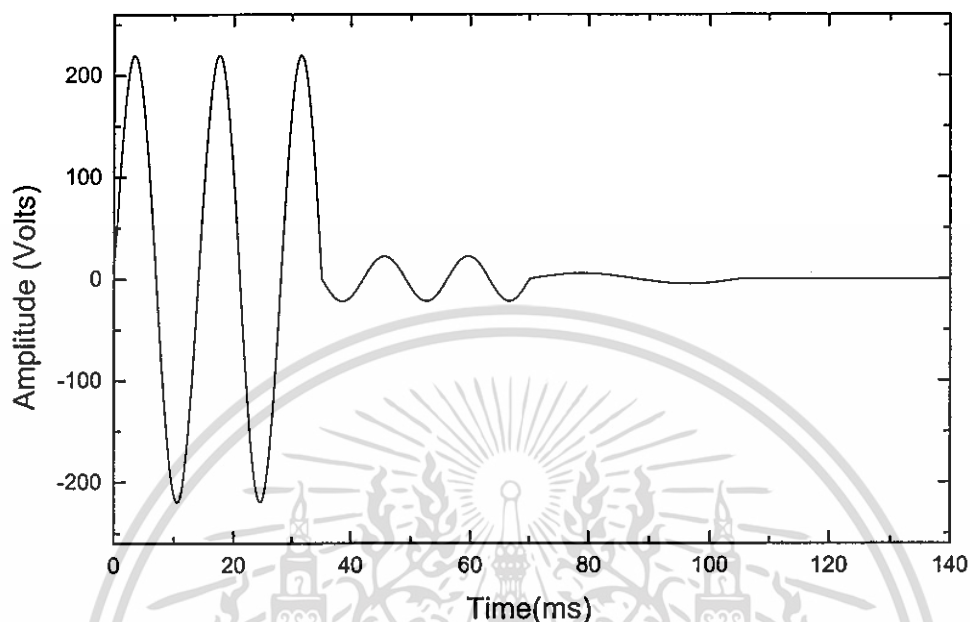
2.2.4 การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันระยะสั้น (Short-Duration Voltage Variations)

การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันระยะสั้น ความหมายของระยะสั้นคือเวลาชั่วขณะหนึ่งที่ไม่เกิน 1 นาที การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันระยะสั้นมีสาเหตุมาจากความผิดปกติของโหลดขนาดใหญ่ที่มีช่วงการใช้กระแสไฟฟ้าสูงเกินระดับปกติ หรือการเชื่อมต่อในจุดที่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าไม่สนิททำให้เกิดการติดและดับเป็นระยะ การแบ่งประเภทของการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันระยะสั้น จำแนกได้สามประเภทเมื่อวิเคราะห์ถึงคุณลักษณะเฉพาะดังนี้

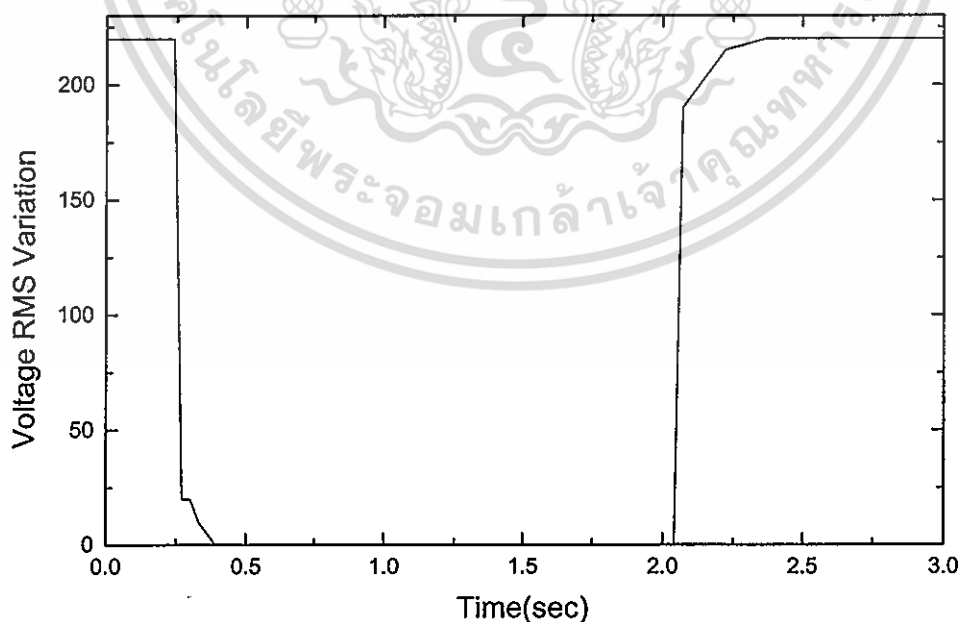
2.2.5 อินเตอร์รัพท์ (Interruption)

อินเตอร์รัพท์เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากการผิดปกติของระบบไฟฟ้า อุปกรณ์หรือระบบควบคุมทำงานผิดพลาด ทำให้หยุดการทำงานชั่วขณะ ในระยะเวลาไม่เกิน 1 นาที และสำหรับระบบหรือเครื่องมือ การหยุดการทำงานชั่วขณะเป็นการปกป้องเครื่องมือจากความเสียหาย

ใด ๆ ที่เกิดขึ้น การปกป้องเครื่องมือด้วยการอินเทอร์รัพท์จะมีลักษณะคือแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเป็นศูนย์ในระยะเวลาประมาณ 1.8 วินาที ไม่เกิน 1 นาที และเพิ่มระดับแรงดันสู่ภาวะปกติ



รูปที่ 2.7 การเกิดอินเทอร์รัพท์

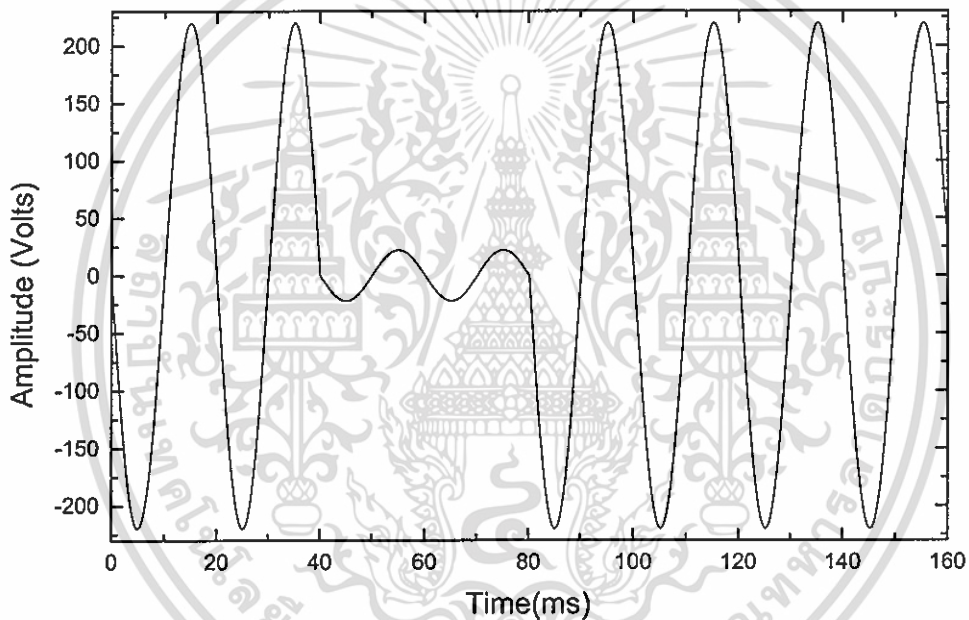


รูปที่ 2.8 การเกิดอินเทอร์รัพท์ส่งผลต่อการลดลงของแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 แรงดันลดชั่วขณะ (Sags or Dips)

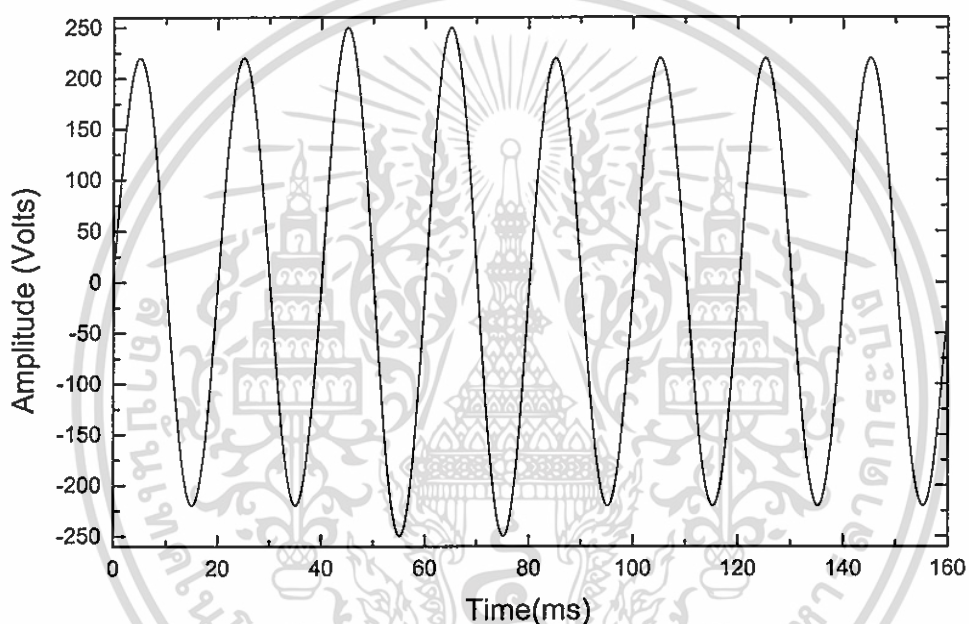
การเกิดแรงดันลดลงชั่วขณะมีระดับแรงดันลดลงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ภาวะเสถียรและมีช่วงเวลาไม่เกิน 1 นาที การที่ระดับแรงดันลดลงต่ำกว่าใน ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ จากแรงดันปกติแสดงถึงระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสูญเสียความสามารถไป เนื่องจากโหลดขนาดใหญ่กำลังดึงกระแสไฟฟ้าหรือการทำงานของมอเตอร์ขนาดใหญ่ในช่วงเริ่ม หมุนมอเตอร์ ในกรณีที่แรงดันลดในระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบจากระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ การเข้าสู่ภาวะแรงดันปกติจะมีช่วงเวลาไม่เกิน 3 วินาที



รูปที่ 2.9 แรงดันลดชั่วขณะ

2.2.7 แรงดันเพิ่มชั่วขณะ (Swells)

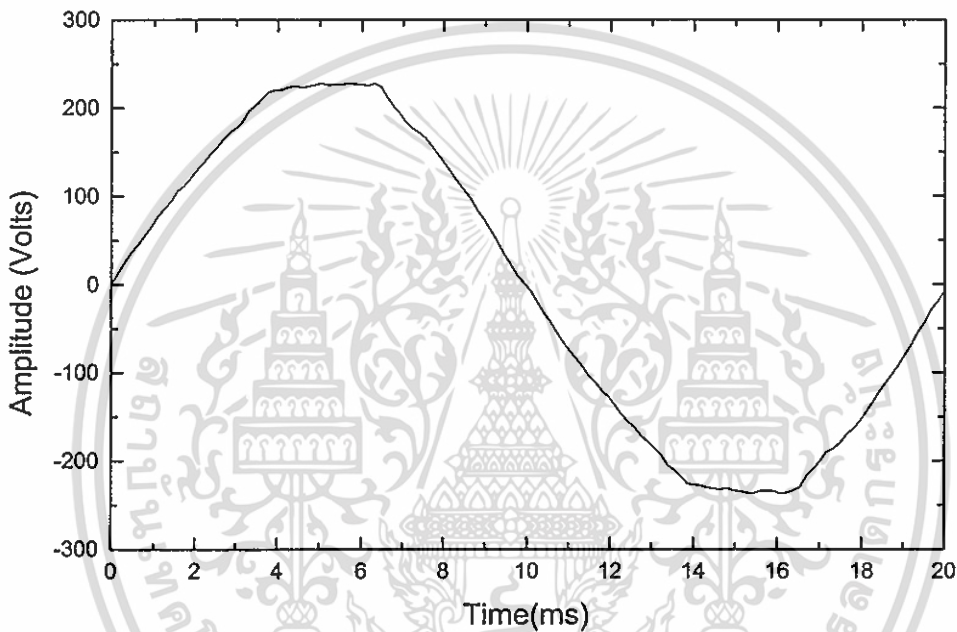
แรงดันเพิ่มชั่วขณะคือการเพิ่มขึ้นของระดับแรงดันมีช่วงเวลาไม่เกิน 1 นาที สาเหตุเกิดจากความผิดปกติของระบบ หรือเกิดจากช่วงเวลาการปิดสวิตช์โหลดขนาดใหญ่ทำให้ระดับแรงดันเพิ่มขึ้นชั่วระยะเวลาหนึ่ง อีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากการวางระบบที่กราวด์ไม่เป็นศูนย์ ทำให้เกิดระดับแรงดันเพิ่มได้ การพิจารณาแรงดันเพิ่มในช่วงระยะเวลาสั้นนั้นจะมีความหมายเหมือนกับแรงดันเกิน



รูปที่ 2.10 แรงดันเพิ่มชั่วขณะ

2.2.8 ความเพี้ยนของรูปคลื่น (Waveform Distortion)

ความเพี้ยนของรูปคลื่นนิยามได้คือการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงของสัญญาณไปจากสัญญาณรูปไซน์อุดมคติ การเปลี่ยนแปลงของรูปทรงสัญญาณส่งผลกระทบต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า สาเหตุที่ทำให้เกิดความเพี้ยนของรูปคลื่นคือการต่อโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้นเข้ากับระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.11 ความเพี้ยนของรูปคลื่น

2.2.9 ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics)

การอธิบายฮาร์โมนิกส์เริ่มจากการพิจารณาเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวนมากที่ใช้ไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดหรือโรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับเป็นคลื่นรูปไซน์ ในบริเวณใกล้เคียงโรงไฟฟ้าพบว่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมากกว่า 1,000 เฮอร์เซ็นต์ไปเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อศึกษาในแหล่งที่มีการใช้โหลดมากขึ้นผลของความเพี้ยนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในโหลดบางชนิดเมื่อวัดรูปสัญญาณในเชิงกระแสไฟฟ้าพบว่ามีรูปสัญญาณเป็นคลื่นรูปไซน์ แต่โหลดที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พบว่ามีส่วนช่วงของรูปคลื่นขาดช่วงไปไม่เป็นรูปไซน์อธิบายได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นลักษณะของโพลคชนิดไม่เป็นเชิงเส้นที่เมื่อถูกป้อนด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลบริสุทธิ์ และไม่คิดค่าอิมพีแดนซ์ของระบบจะมีผลทำให้รูปร่างสัญญาณของกระแสมีความแตกต่างไปจากแรงดันที่ป้อนให้กับระบบ และกรณีนี้คือตัวอย่างของความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น การพิจารณาความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์จะมีลักษณะโดยสรุปคือสัญญาณเป็นคาบที่ถูกรบกวนจนรูปร่างสัญญาณมีลักษณะเปลี่ยนไป

ระบบการผลิตที่มีโพลคประเภทเครื่องปรับความเร็วมอเตอร์ เต้าหลอมโลหะแบบอาร์คในช่วงเริ่มต้นของการหลอมกระแสอาร์คยังไม่เสถียร ทำให้คาบของกระแสไม่แน่นอน เช่นคาบของความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ใช้เวลา 20 มิลลิวินาที แต่ขณะที่กระแสอาร์คที่ยังไม่เสถียรในแต่ละคาบจะมีเวลาไม่เป็น 20 มิลลิวินาทีทุกคาบส่งผลให้เกิดฮาร์มอนิกส์ โพลคในลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ระบบไฟฟ้าในบริเวณนี้มีความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์

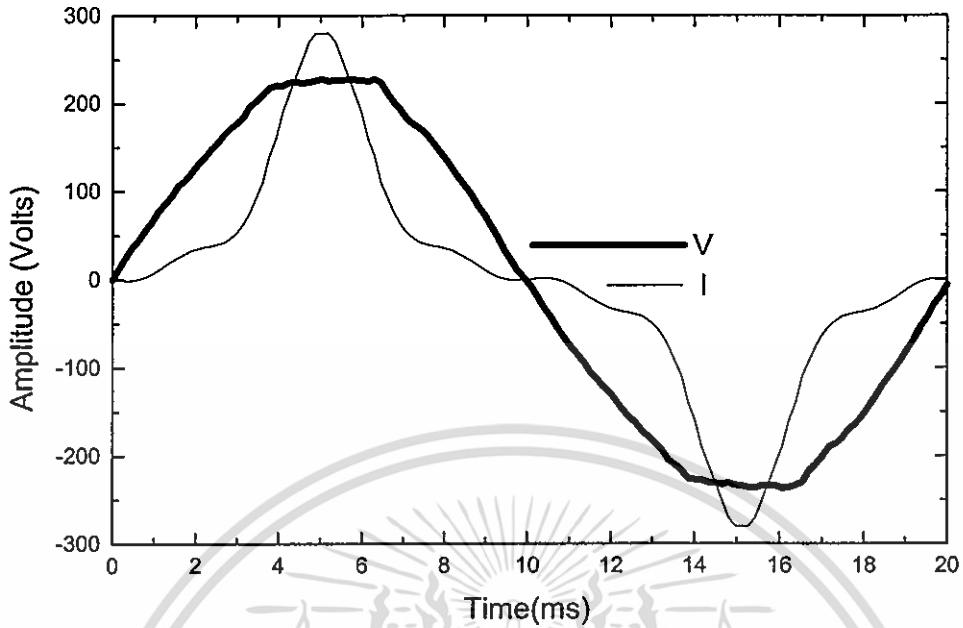
ฮาร์มอนิกส์สามารถกำหนดเป็นนิยามได้คือสัญญาณรูปไซน์ของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูลหรือความถี่ตั้งต้น โดยฮาร์มอนิกส์นั้นเกิดมาจากความเพี้ยนของสัญญาณปกติ ซึ่งความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณเกิดจากการเปลี่ยนแปลงไปจากคลื่นไซน์บริสุทธิ์ การวิเคราะห์หาค่าการแปลงฟูเรียร์ช่วยจำแนกรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนออกเป็นองค์ประกอบของคลื่นไซน์และโคไซน์บริสุทธิ์ที่มีค่าความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล องค์ประกอบของคลื่นไซน์และโคไซน์บริสุทธิ์ตามค่าความถี่นั้นเรียกให้กระชับขึ้นว่า ฮาร์มอนิกส์ของความถี่ และเขียนเป็นสมการรูปทั่วไปคือ

$$\text{ความถี่ฮาร์มอนิกส์(เฮิร์ตซ์)} = \text{ลำดับฮาร์มอนิกส์} \times \text{ความถี่หลักมูล(50 เฮิร์ตซ์)} \quad (2.1)$$

เช่น ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่หลักมูลเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์ ฮาร์มอนิกส์ที่ 3 คือ 150 เฮิร์ตซ์ และฮาร์มอนิกส์ที่ 5 คือ 250 เฮิร์ตซ์ เป็นต้น

2.2.10 ความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ (Harmonic Distortion)

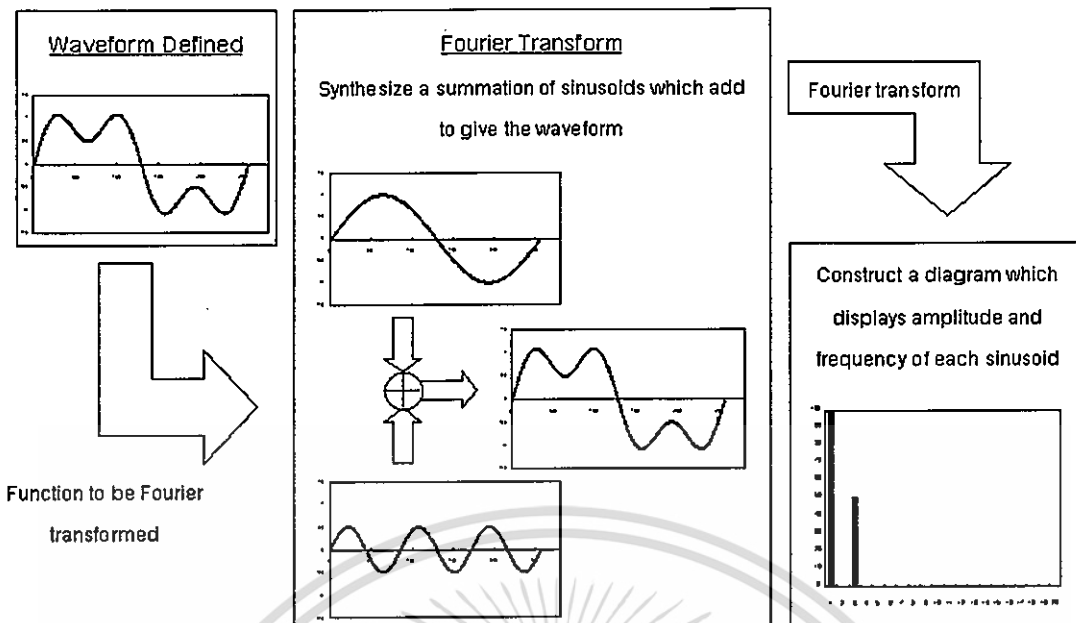
ความถี่ฮาร์มอนิกส์มีต้นกำเนิดมาจากโพลคชนิดไม่เป็นเชิงเส้นที่ต่อเข้ากับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และโพลคชนิดไม่เป็นเชิงเส้นคือ โพลคที่มีสัดส่วนของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ส่งผลให้รูปคลื่นของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เป็นรูปไซน์มีรูปร่างสัญญาณเปลี่ยนรูปไป ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 คลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดความเพี้ยนจากโพลดวงจรเรียงกระแสด้วยไดโอด

จากรูปพบว่าเมื่อจ่ายแรงดันคลื่นรูปไซน์เข้าไปในระบบผ่านโพลคซนิกไม่เป็นเชิงเส้นผลปรากฏว่ารูปร่างของคลื่นเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์คือการที่ระบบจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีรูปทรงของคลื่นเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ฟังก์ชันเป็นคาบทุกชนิดที่รูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากคลื่นรูปไซน์สามารถหาความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ที่เกิดได้ โดยนำทฤษฎีฟูเรียร์เข้ามาวิเคราะห์คืออนุกรมที่ประกอบด้วยรูปแบบของฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ซึ่งเป็นการอธิบายถึงรูปแบบทั่วไปของฟังก์ชันสัญญาณตามธรรมชาติที่แสดงอยู่ในรูปโดเมนของเวลา สามารถสร้างเป็นอนุกรมของฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ที่มีขนาดและความถี่ที่แตกต่างกัน รวมเข้าด้วยกันตามลำดับความถี่ฮาร์มอนิกส์เพื่อจำลองแบบฟังก์ชันสัญญาณตามธรรมชาติให้ใกล้เคียงที่สุดและวิเคราะห์สัญญาณ โดยการแปลงให้อยู่ในรูปแบบโดเมนของความถี่ แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 พื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยการแปลงตามทฤษฎีฟูเรียร์

การรวมอนุกรมของคลื่นรูปไซน์หรือโคไซน์ที่มีขนาดและความถี่ที่แตกต่างกัน รวมเข้าด้วยกัน ซึ่งการหาความถี่ฮาร์มอนิกส์หาได้จากสมการที่ (2.1) และในแต่ละความถี่ฮาร์มอนิกส์สามารถคำนวณหาขนาดหรือแอมพลิจูดได้จากทฤษฎีฟูเรียร์ในลำดับต่อไป

ระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามารถเกิดความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์เนื่องจากโหลดทั้งสองประเภท และสามารถเกิดความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ขึ้นได้จากปรากฏการณ์ชั่วขณะของอุปกรณ์บางประเภทที่ให้กำเนิดความถี่สูงในช่วงเวลาขณะใดขณะหนึ่ง เช่นการเปิดสวิตช์ไฟฟ้าให้แสงสว่างหรือเปิดสวิตช์เพื่อให้โหลดทำงาน ซึ่งในลักษณะเช่นนี้สัญญาณรูปไซน์จะเกิดความเพี้ยนไปชั่วขณะในระยะเวลาสั้นมาก แตกต่างไปจากโหลดที่ประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งมีตัวเก็บประจุหรือหม้อแปลงที่เกิดการสั่นและมีการเหนี่ยวนำ ลักษณะนี้จะกำเนิดความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ที่ทำให้สัญญาณรูปไซน์ผิดรูปไปเป็นเวลานาน

2.2.11 ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ (Total Harmonic Distortion, THD)

สามารถให้คำนิยามได้ว่าเป็นการแสดงผลของฮาร์โมนิกส์ที่มาจากระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในที่นี้จะหมายถึงระบบที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำ แรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง และแรงดันไฟฟ้าขนาดใหญ่ และสามารถแสดงได้ด้วยสมการทั่วไปในรูปเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$THD = \sqrt{\frac{\sum (V_n)^2}{(V_1)^2}} \times 100\%, \quad n := 2,3,\dots \quad (2.2)$$

เมื่อ THD เปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
 V ความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
 n ลำดับฮาร์โมนิกส์

ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์เป็นผลจากการคำนวณที่เป็นเครื่องมือซึ่งถึงรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในบริเวณที่ทำการวัดยังคงมีรูปร่างสัญญาณเป็นรูปไซน์หรือผิดเพี้ยนจากรูปไซน์ โดยปกติผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้าควรมีค่าเพียงเล็กน้อยในระดับประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และในบางกรณีพบว่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์สูงขึ้นชั่วขณะ ซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้าผิดรูปทรงไปจากรูปไซน์อย่างมากช่วงระยะเวลาหนึ่ง เมื่อพิจารณาจากระบบโดยรวมถือว่าไม่กระทบกระเทือนแต่อย่างใด ในกรณีนี้อาจสร้างความเข้าใจผิดในผู้ใช้งานโดยทั่วไปถึงอันตรายจากกระแสไฟฟ้าที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบ จากกรณีวิเคราะห์ถึงผลกระทบลักษณะนี้สรุปได้ว่าความต้องการกระแสในปริมาณสูงสุดช่วงเวลาขณะใดขณะหนึ่งเป็นเรื่องที่พบได้ตามปกติ สามารถวัดได้ในรูปของผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

2.3 มาตรฐาน IEEE Std 519-1992

มาตรฐาน IEEE Std 519-1992 ได้แนะนำการปฏิบัติที่จำเป็นต่อการควบคุมคุณภาพระบบไฟฟ้า โดยมีเนื้อหาครอบคลุมรายละเอียดที่สำคัญหลายหัวข้อ หนึ่งในหัวข้อที่กล่าวถึงคือข้อกำหนดของ THDV-ของระบบจ่ายไฟฟ้ากำลัง โดยแสดงค่ามาตรฐานตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดผลรวมความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้า

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion	Total Harmonic Voltage Distortion THDV(%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานเครื่องมือวัดขั้นต่ำเมื่อแบ่งตามค่าความถี่

Injected Frequency (Hz)	Frequency-Domain Instrument (dB)	Time-Domain Instrument (dB)
30	0	0
60	50	60
120 to 720	30	50
720 to 1200	20	40
1200 to 2400	15	35

ตามมาตรฐานที่กำหนด เครื่องมือวัดที่ผลิตขึ้นต้องสามารถแยกความละเอียดได้ในระดับตามค่ามาตรฐาน โดยแบ่งเป็นช่วงความถี่ที่ทำการวัด เครื่องมือที่ได้รับมาตรฐานและมีประสิทธิภาพเฉลี่ยแล้วสามารถทำการวัดในทุกฮาร์โมนิกส์ได้ความละเอียด 60 เดซิเบล สำหรับเครื่องมือวัดที่ได้รับมาตรฐานความละเอียดสูงสามารถแยกความละเอียดได้ในระดับ 90 เดซิเบล

2.4 การวิเคราะห์สัญญาณเป็นคาบด้วยอนุกรมฟูเรียร์

ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นในปัญหาทางกายภาพจะมีลักษณะเป็นฟังก์ชันแบบเป็นคาบ ซึ่งฟังก์ชันเหล่านี้สามารถแทนให้อยู่ในเทอมของฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ทั้งนี้ฟังก์ชันทั้งสองมีความสำคัญมากเพราะเป็นฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับการพิจารณาสัญญาณอื่น ๆ

อนุกรมฟูเรียร์จะประกอบไปด้วยสมการของรูปคลื่นฮาร์โมนิกส์หลักมูลหรือฮาร์โมนิกส์แรก (Fundamental Harmonic) และสมการของรูปคลื่นพจน์ถัดไปจะมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล

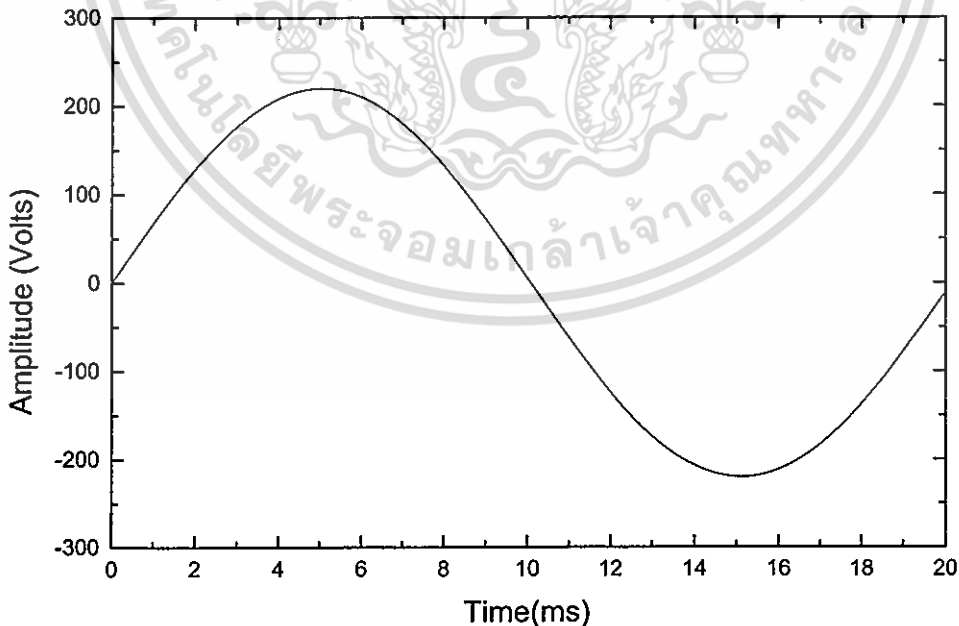
2.4.1 ฟังก์ชันเป็นคาบ

ฟังก์ชันเป็นคาบเป็นรูปคลื่นที่เกิดขึ้นซ้ำตัวเองในช่วงสม่ำเสมอซึ่งเรียกว่าคาบเวลา (Period, T) เป็นฟังก์ชันที่มีคาบครบรอบ T เมื่อ T เป็นค่าจริงใด ๆ และไม่เท่ากับศูนย์ แสดงได้ตามสมการตลอดทุกค่าของ t ดังนี้

$$y(t + T) = y(t) \quad (2.3)$$

เมื่อ T คาบครบรอบของฟังก์ชัน $y(t)$

เมื่อกำหนดให้ฟังก์ชันเป็นคาบคือ $y(t)$ แล้วพิจารณาจากทฤษฎีฟูเรียร์ ฟังก์ชัน $y(t)$ สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของอนุกรมฟูเรียร์ได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้โดยลำดับ



รูปที่ 2.14 ฟังก์ชันเป็นคาบรูปไซน์

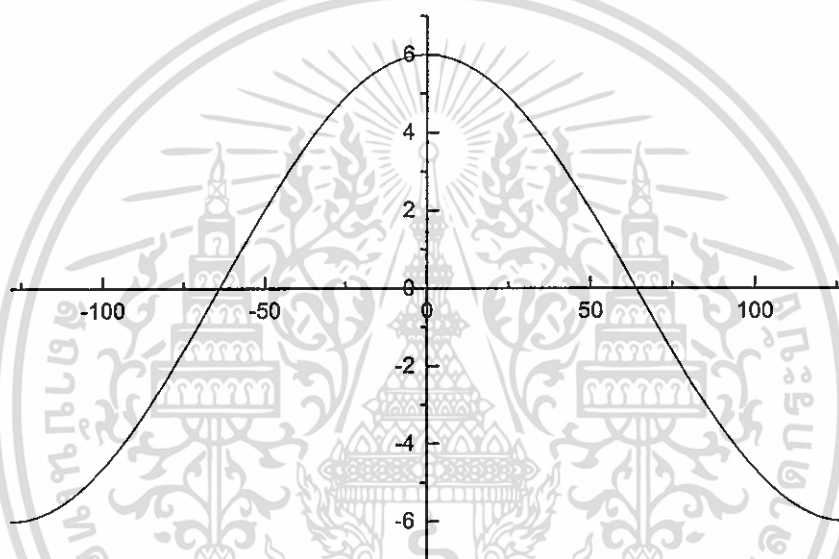
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.3) ฟังก์ชันมีคาบครบรอบเท่ากับ T และเกิดขึ้นซ้ำคาบกันทุกค่าของ T ดังนั้นถ้า n เป็นเลขจำนวนเต็ม สามารถกำหนดได้คือ

$$y(t + nT) = y(t) \quad (2.4)$$

2.4.2 ฟังก์ชันคู่และฟังก์ชันคี่

ฟังก์ชันคู่ (Even Function) เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.15 ประกอบ และพิจารณาตามแนวแกนตั้ง รูปทางด้านซ้ายจะทับกับรูปด้านขวาพอดี ลักษณะดังกล่าวจะเรียกฟังก์ชันนี้ว่า ฟังก์ชันคู่

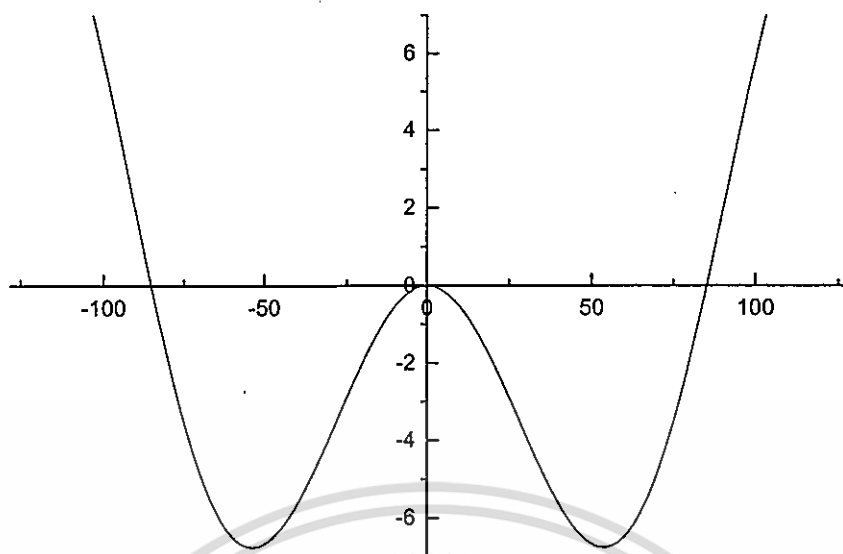


รูปที่ 2.15 ฟังก์ชันคู่รูปโคไซน์

จากรูปที่ 2.15 เป็นกราฟฟังก์ชันโคไซน์ กราฟจะมีลักษณะสมมาตรบริเวณแกนตั้ง แสดงคุณสมบัติได้ดังสมการ

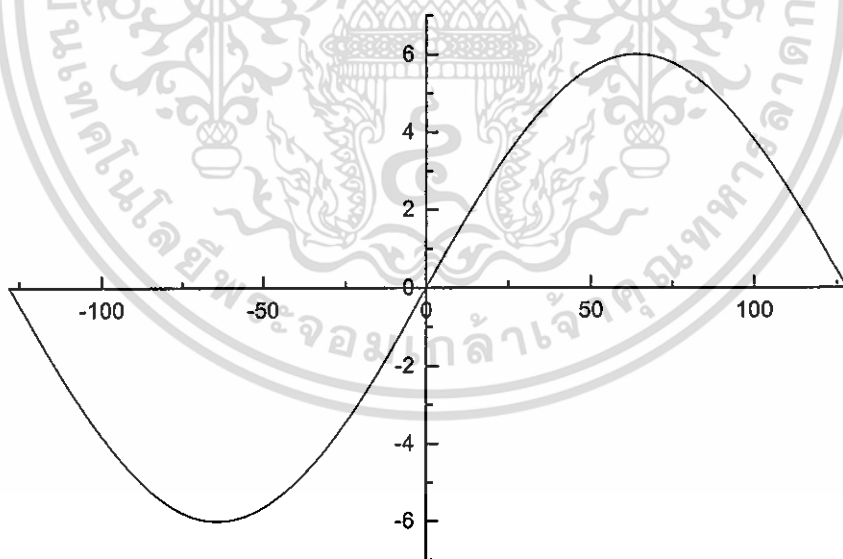
$$y(t) = y(-t) \quad (2.5)$$

ฟังก์ชันคู่ที่มีลักษณะอื่นนอกจากฟังก์ชันรูปโคไซน์ แสดงตัวอย่างฟังก์ชันคู่แบบใด ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างฟังก์ชันคู่แบบใด ๆ

ฟังก์ชันคี่ (Odd Function) เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.17 ลักษณะของกราฟจะไม่สมมาตรตามแนวแกนตั้ง คือเมื่อพิจารณาตามแนวแกนตั้งฟังก์ชันด้านซ้ายจะอยู่ตรงข้ามกับด้านขวา



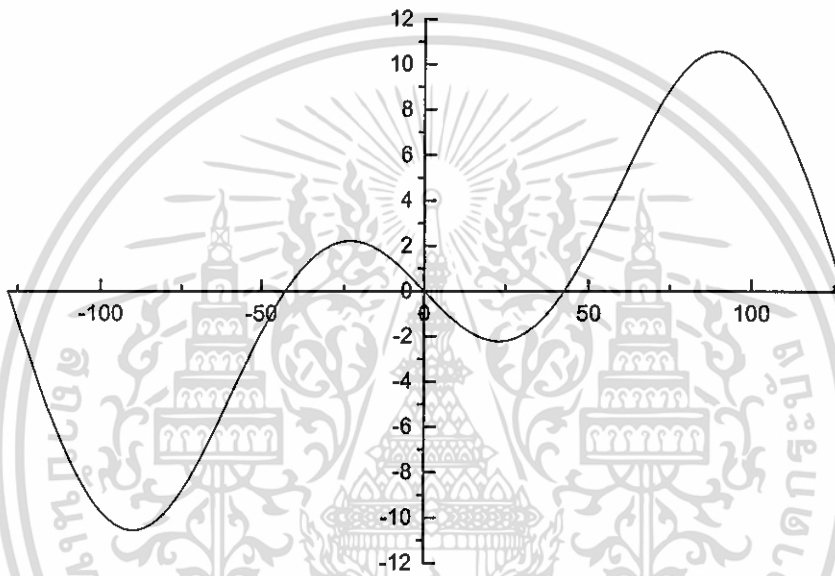
รูปที่ 2.17 ฟังก์ชันคี่รูปไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.17 เป็นกราฟฟังก์ชันไซน์ ซึ่งกราฟจะมีลักษณะไม่สมมาตรบริเวณแกนตั้ง แสดงคุณสมบัติได้ดังสมการ

$$y(-t) = -y(t) \quad (2.6)$$

ฟังก์ชันที่มีลักษณะอื่นนอกจากฟังก์ชันรูปไซน์ และรูปต่อไปนี้จะแสดงตัวอย่างฟังก์ชันที่แบบใด ๆ



รูปที่ 2.18 ฟังก์ชันที่แบบใด ๆ

2.4.3 อนุกรมฟูเรียร์

การวิเคราะห์ฟังก์ชันเป็นคาบสามารถแสดงด้วยอนุกรมฟูเรียร์ ซึ่งเป็นผลรวมของฟังก์ชันไซน์และโคไซน์รวมกับความถี่ฮาร์มอนิกส์ของความถี่หลักมูล ซึ่งขนาดหรือแอมพลิจูดหาได้จาก การกระจายความถี่ฮาร์มอนิกส์แยกแต่ละฮาร์มอนิกส์หรือเรียกว่าสเปกตรัมของฮาร์มอนิกส์

แสดงอนุกรมฟูเรียร์เชิงตรีโกณของสัญญาณแรงดัน คาบเวลา T_0 คือ

$$y(t) = a_0 + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + \dots + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + \dots \quad (2.7)$$

$$y(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega t \quad (2.8)$$

เมื่อ ความถี่หลักมูล $\omega = 2\pi/T_0$ และ $a_0 =$ ค่าเฉลี่ย \bar{y}

ค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ คือ

$$a_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{i=N} y_i \cos(n\omega_i \Delta T) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{i=N} y_i \cos(2\pi n \frac{i}{N}) \quad (2.9)$$

$$b_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{i=N} y_i \sin(n\omega_i \Delta T) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{i=N} y_i \sin(2\pi n \frac{i}{N})$$

เมื่อ $\Delta T = \frac{T_0}{N}$

แสดงเป็นอนุกรมฟูเรียร์เชิงเอกซ์โพเนนเชียล คือ

$$y(t) = \sum_{i=-M}^M Y_i e^{j2\pi i \omega_i t} \quad (2.10)$$

เมื่อ M คือ ลำดับฮาร์มอนิกสูงสุด และ Y_i คือส่วนประกอบจำนวนเชิงซ้อนตามลำดับที่ i เมื่อพิจารณา การแปลงกลับฟูเรียร์ (Inverse Fourier Transform) จะได้

$$Y_i = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} y(t) e^{-j2\pi i \omega_i t} dt \quad (2.11)$$

ถ้าพิจารณาให้ฮาร์มอนิกที่ n มีค่า $a_n \cos n\omega t$ ตกคร่อมตัวต้านทานที่มีค่า 1 โอห์ม กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวต้านทาน ณ เวลา t คือ $a_n^2 \cos^2 n\omega t$ วัตต์ และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าคือ

$$P_{av} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} a_n^2 \cos^2 n\omega t dt = \frac{a_n^2}{2} \quad (2.12)$$

และในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณา ค่าเฉลี่ยกำลังงานในความต้านทาน 1 โอห์ม เนื่องจาก $b_n \sin n\omega t$ มีค่าคือ $\frac{b_n^2}{2}$

ดังนั้นกำลังงานเนื่องจากความถี่ฮาร์มอนิกที่ n คือ

$$w_n = \frac{1}{2} (a_n^2 + b_n^2) \quad (2.13)$$

2.4.4 ฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม

การวิเคราะห์สัญญาณด้วยฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการหาวิธีที่มีความเหมาะสมมาทำการแปลงฟังก์ชันใน โดเมนของเวลาให้อยู่ในรูปโดเมนของความถี่ด้วยวิธีการคำนวณให้เร็วที่สุดและใช้ได้กับการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มเป็นวิธีการหรือลำดับในการคำนวณที่ช่วยให้การคำนวณแบบดิสครีตทรานฟอร์มทำได้รวดเร็วขึ้น การนำสมการคำนวณแบบดิสครีตทรานฟอร์มมาผ่านกระบวนการที่สามารถลดการคำนวณลงได้จึงเรียกรวมว่าฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม ซึ่งแบ่งแยกได้หลายวิธี ในวิทยานิพนธ์ได้ใช้วิธีการคำนวณฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มแบบฐานสอง (Radix 2 FFT) วิธีนี้จะมีการคำนวณใกล้เคียงหลักการแปลงแบบดิสครีตทรานฟอร์มมากที่สุด การประยุกต์ใช้มีหลักการสำคัญคือลดจำนวนครั้งในการคูณของพจน์จำนวนเชิงซ้อนลง โดยอาศัยภาวะเป็นคาบของจำนวนเชิงซ้อน พิจารณาร่วมกับสมการ (2.19) ซึ่งส่งผลให้ลดขั้นตอนการคำนวณลงและเวลาโดยรวมของการคำนวณจะเร็วขึ้น ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณ ได้แสดงดังต่อไปนี้

การแปลงแบบฟาส์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มเริ่มต้นด้วยสมการดิคริตทรานฟอร์ม คือ

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x_0(k) e^{-j2\pi nk/N} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.14)$$

และกำหนดให้

$$W_N = e^{-j2\pi/N} \quad (2.15)$$

เขียนสมการใหม่ได้

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x_0(k) W_N^{nk} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.16)$$

ถ้ากำหนดให้ $N = 4$ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} X(0) &= x_0(0)W_4^0 + x_0(1)W_4^0 + x_0(2)W_4^0 + x_0(3)W_4^0 \\ X(1) &= x_0(0)W_4^0 + x_0(1)W_4^1 + x_0(2)W_4^2 + x_0(3)W_4^3 \\ X(2) &= x_0(0)W_4^0 + x_0(1)W_4^2 + x_0(2)W_4^4 + x_0(3)W_4^6 \\ X(3) &= x_0(0)W_4^0 + x_0(1)W_4^3 + x_0(2)W_4^6 + x_0(3)W_4^9 \end{aligned} \quad (2.17)$$

และเขียนได้ในรูปแบบเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_4^0 & W_4^0 & W_4^0 & W_4^0 \\ W_4^0 & W_4^1 & W_4^2 & W_4^3 \\ W_4^0 & W_4^2 & W_4^4 & W_4^6 \\ W_4^0 & W_4^3 & W_4^6 & W_4^9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0(0) \\ x_0(1) \\ x_0(2) \\ x_0(3) \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ เมื่อกำหนดให้ $nk=6$ สามารถหา W_N^{nk} ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} W_N^{nk} &= W_4^6 = \exp\left[\left(\frac{-j2\pi}{4}\right)(6)\right] = \exp[-j3\pi] \\ &= \exp[-j\pi] = \exp\left[\left(\frac{-j2\pi}{4}\right)(2)\right] = W_4^2 = W_N^{nk \bmod(N)} \end{aligned} \quad (2.19)$$

เมื่อใช้ทฤษฎีของออยเลอร์ร่วมพิจารณา ตามสมการดังนี้

$$\begin{aligned} e^{2\pi j} &= 1, e^{\frac{\pi j}{2}} = j \\ e^{\pi j} &= -1, e^{-\frac{\pi j}{2}} = -j \\ e^{-\pi j} &= -1 \end{aligned} \quad (2.20)$$

สมการที่ (2.19) เป็นตัวอย่างการลดขั้นตอนการคำนวณลงได้ เช่น เมื่อ $nk = 6$ มีค่าซ้ำกับ $nk = 2$ และการซ้ำค่าใด ๆ สามารถหาได้ตามสมการที่ (2.19) ดังตัวอย่างที่แสดงไว้

จากสมการที่ (2.18) เมื่อกำหนดค่า $x_4[k] = \{1, 1, 0, 0\}$ สามารถคำนวณหาค่าได้คือ

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -j & -1 & j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & j & -1 & -j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1-j \\ 0 \\ 1+j \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

การแปลงแบบฟาส์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มสมการที่ใช้สามารถขยายเมตริกซ์ได้ตามขนาดของข้อมูลที่ทำการแปลง ซึ่งผลการแปลงจะได้ค่าตามสมการที่ (2.21)

และจากสมการที่ (2.21) เราสามารถคำนวณหาขนาด และเฟส ดังสมการที่ (2.22) และ (2.23) ตามลำดับ

$$\text{Magnitude} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2.22)$$

$$\text{Phase} = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (2.23)$$

ในลำดับสุดท้ายเมื่อต้องการตรวจสอบค่าเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ หาได้จากนำสมการที่ (2.22) แทนค่าในสมการที่ (2.2)

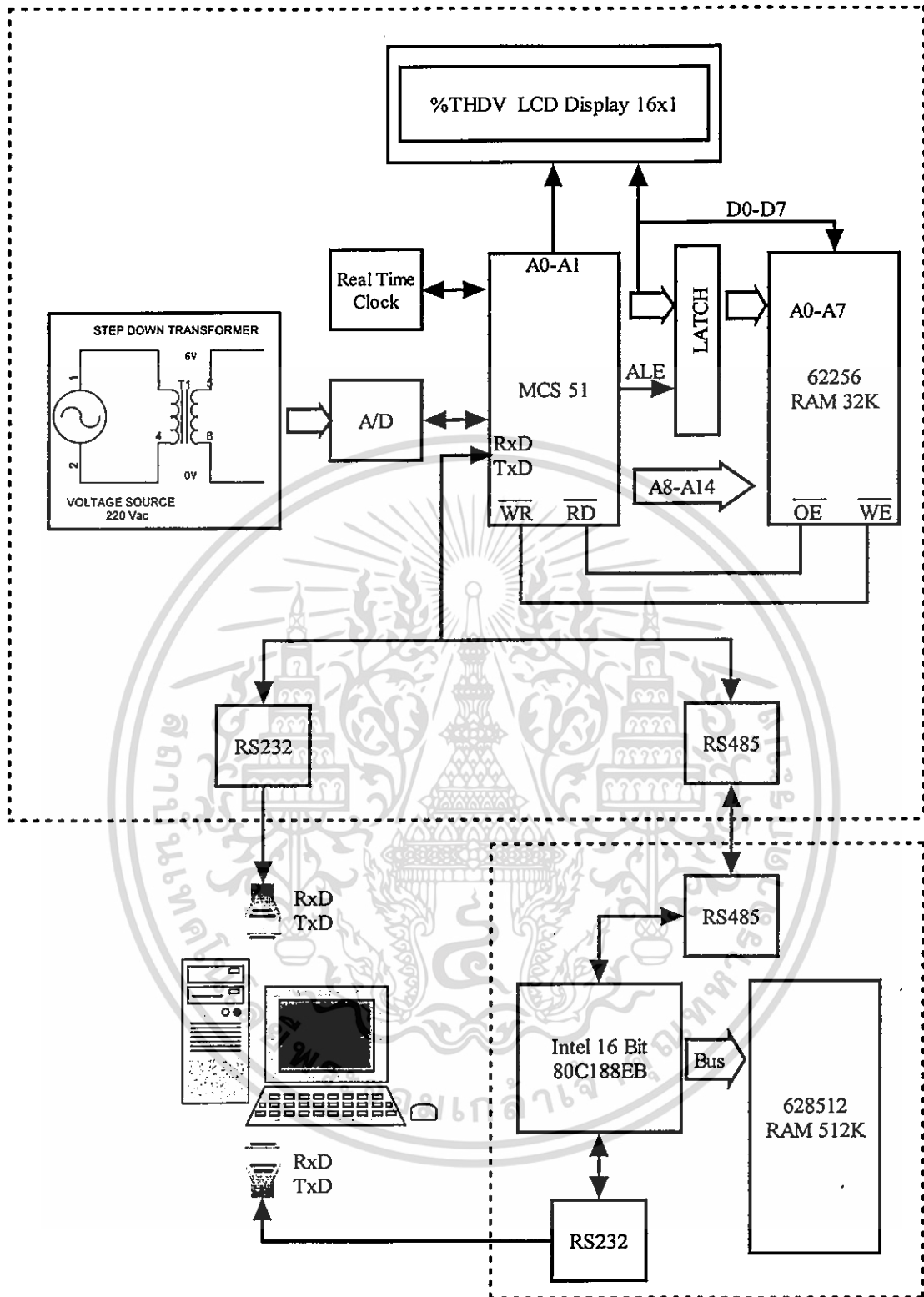


บทที่ 3

การออกแบบ

บทนี้กล่าวถึงการออกแบบทั้งหมดซึ่งในวิทยานิพนธ์ได้แบ่งการออกแบบเป็นส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ แต่ละส่วนจะแสดงรายละเอียดเรียงตามลำดับตามการปฏิบัติ ส่วนที่หนึ่งคือการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 มีหน้าที่ในการควบคุมวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล และพักข้อมูลดิจิทัลที่ทำการแปลงไว้บนหน่วยความจำแรมชั่วคราวก่อนประมวลผล ส่วนที่สองเป็นวงจรสำหรับภาครับสัญญาณจากหม้อแปลงแรงดันต่ำเพื่อส่งสัญญาณอนาล็อกที่มีระดับแรงดันเหมาะสมส่งต่อให้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ส่วนที่สามทำหน้าที่ส่งข้อมูลในการประมวลผล โดยข้อมูลจะส่งแบบอนุกรมผ่านสายสัญญาณ และสามารถส่งได้ 2 มาตรฐานคือ มาตรฐานพ็อตตีสื่อสารแบบอนุกรม RS232 และพ็อตตีสื่อสาร RS485 ส่วนที่สี่คือส่วนแสดงผลผ่านจอแอลซีดี และส่วนที่ห้าคือวงจรฐานเวลาแบบ Real Time Clock ทั้งหมดนี้ประกอบเป็นวงจรรอบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 หลังจากที่วงจรทั้งหมดทำงาน ในลำดับต่อมาคือการพัฒนาโปรแกรมการคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มซึ่งในขั้นแรกเริ่มพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซี โดยทำงานบนพีซีคอมพิวเตอร์และพัฒนาการคำนวณโดยทำการทดลองคำนวณเพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณ ลำดับต่อมาคือการนำโปรแกรมการคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มมาประยุกต์ใช้บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้เลือกนำไอซีตระกูลอินเทล 16 บิต มาทดแทนการใช้พีซีคอมพิวเตอร์ และลำดับสุดท้ายคือการสร้างโปรแกรมภาษาซีเพื่อควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ให้ทำการคำนวณ และเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ได้

รายละเอียดการทำงานทั้งหมดรวมถึงวงจรที่แบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ มีขั้นตอนการทำงานดังแสดงได้ในแผนภาพแสดงการทำงาน โดยรวมของเครื่องวัดผลรวมความถี่ขึ้นฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปที่ 3.1 และแสดงรายละเอียดของวงจรแยกเป็นส่วนที่สำคัญดังนี้

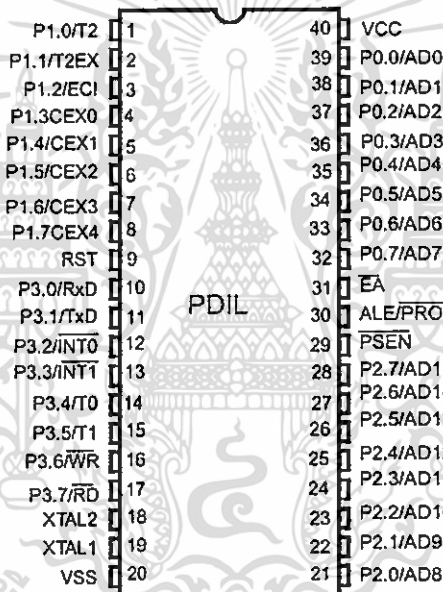


รูปที่ 3.1 แผนภาพเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51

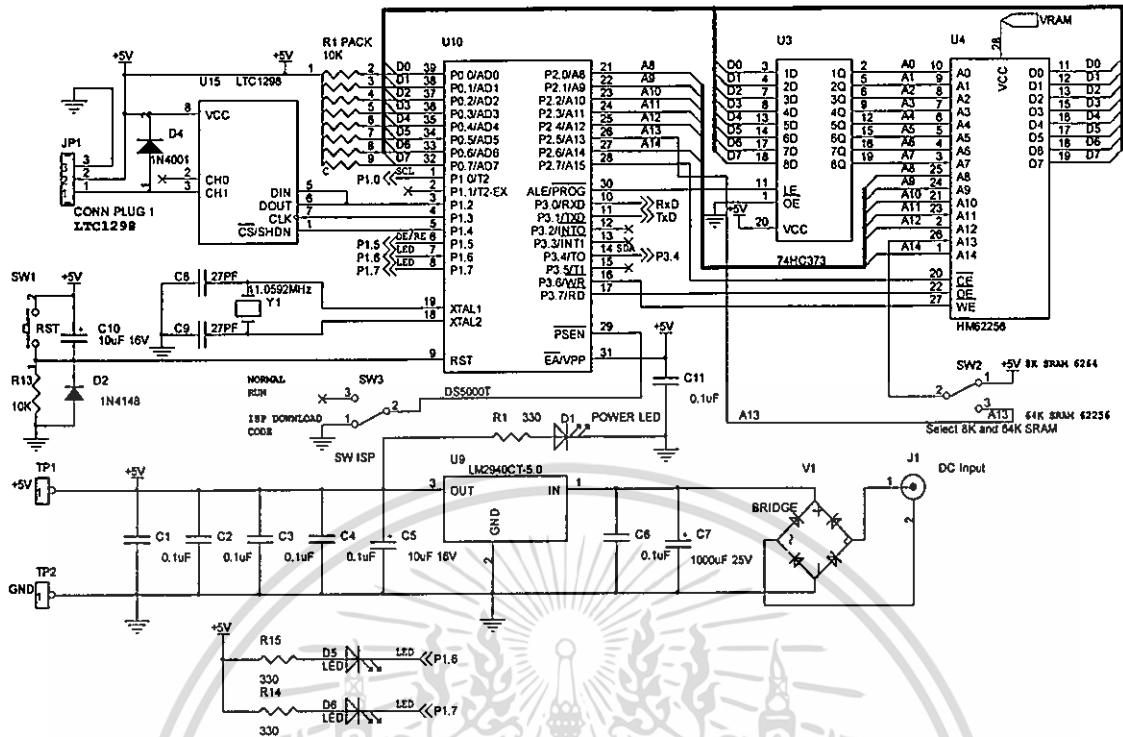
การออกแบบวงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 ในขั้นแรกของการออกแบบได้ทดลองใช้ไอซีตระกูล51 ดังนี้ P89C51RD+ P89C51RD2 ซึ่งทั้งหมดได้ผ่านการทดลองออกแบบโปรแกรมควบคุมปรากฏผลคือทั้งหมดสามารถทำงานได้ดีใกล้เคียงกัน แต่มีข้อเสียในเรื่องของการเขียนโปรแกรมข้อมูลบนชิพนั้นทำได้ไม่สะดวก ดังนั้นในขั้นตอนของการออกแบบได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 เบอร์ DS5000T ซึ่งเป็นเบอร์ที่มีสถาปัตยกรรมเดียวกับตระกูล51 มีจุดเด่นเรื่องการโหลดโปรแกรมลงบนชิพทำได้สะดวกและรวดเร็ว เมื่อเสร็จขั้นตอนการออกแบบการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 สามารถเลือกใช้เบอร์อื่นที่สามารถหาใช้ได้อย่างสะดวกและมีราคาถูก เช่น AT89S52 เป็นต้น



รูปที่ 3.2 การจัดวางตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 เป็นส่วนที่สำคัญของเครื่องวัดผลรวมความเข้มข้นของรังสีของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน้าที่ถ่ายทอดคำสั่งให้ส่วนต่าง ๆ ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ P89C51RD2 หรือ DS5000T หน่วยความจำโปรแกรมขนาด 64 กิโลไบต์ โปรแกรมที่บันทึกไว้ภายในเก็บได้นาน 10 ปี ออสซิลเลเตอร์ 11.0592 เมกะเฮิร์ตซ์ หน่วยความจำแรมภายนอก 64 กิโลไบต์ แบตเตอรี่สำรองชนิดลิเทียมเบอร์ CR2032 +3V ทำหน้าที่ในการเก็บรักษาข้อมูลที่บันทึกไว้เมื่อหยุดการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟหลัก และหน่วยความจำแรมภายนอกสามารถถ่ายข้อมูลที่ทำการบันทึกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51

การถ่ายข้อมูลสามารถทำได้โดยผ่านช่องทางพอดอนุกรม COM1 และ COM2 อัตราที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล 9600 บิตต่อวินาที เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์หรือบันทึกเป็นฐานข้อมูลทางเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์

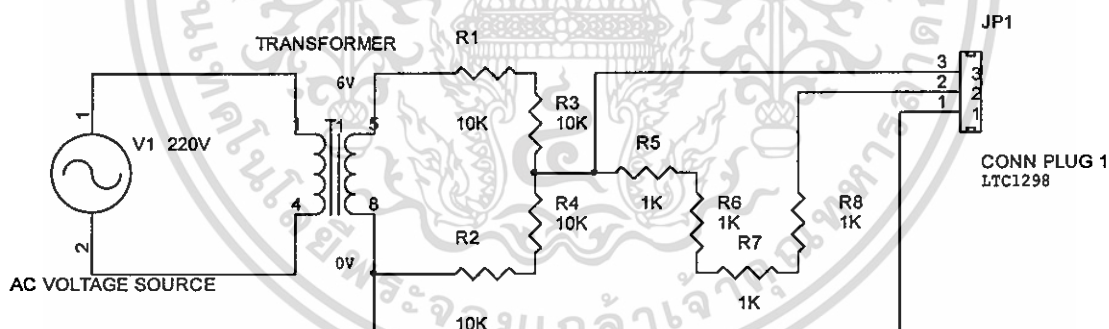
การเชื่อมต่อพอดที่สำคัญสำหรับติดต่อวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลใช้พอดที่ P1.2 P1.3 และ P1.4 สำหรับการติดต่อวงจรฐานเวลา Real Time Clock ใช้พอดที่ P1.0 และ P3.4 และในส่วนของการสื่อสารมาตรฐาน RS485 ใช้การควบคุมผ่านพอด P1.5 ร่วมกับพอด RxD และ TxD เช่นเดียวกับมาตรฐาน RS 232 และมี LED Debug แสดงการทำงานผ่านทางพอด P1.6 และ P1.7 รวม 2 ดวง สำหรับรายละเอียดการเชื่อมต่อและรูปภาพประกอบแสดงไว้ในแต่ละวงจร โดยแยกเป็นส่วนตามลำดับ

ในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ใช้ภาษาซีเป็นหลักในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งผู้ผลิตได้ให้ความสามารถของวงจรภายในชิพให้มีความเหมาะสมกับการใช้ภาษาซี และจะมีบางคำสั่งที่ต้องการความเร็วสูงในการควบคุมวงจรเช่น ส่วนควบคุมการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลจะใช้ภาษาแอสเซมบลีร่วมกับภาษาซี และในบางคำสั่ง เช่น การติดต่อกับหน่วยความจำแรมภายนอก โครงสร้างของภาษาซีสามารถใช้กับชิพ

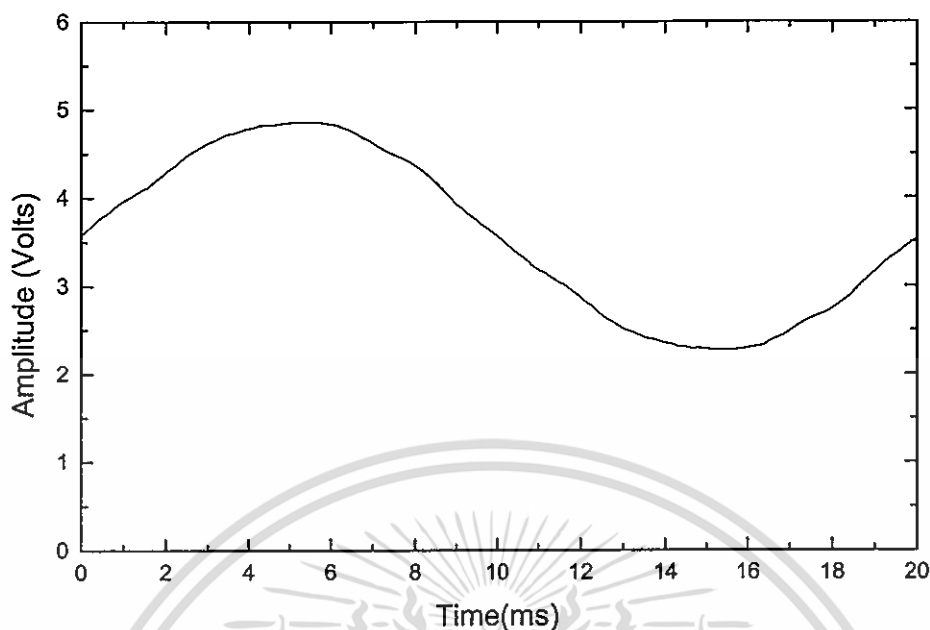
ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับภาษาแอสเซมบลี แต่การสั่งงานและการเรียกใช้ทำได้ง่ายกว่ามาก

3.2 วงจรภาครับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรภาครับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะทำหน้าที่รับสัญญาณ โดยตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ณ จุดที่ทำการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ หน้าที่ของวงจรในส่วนนี้คือปรับระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดแรงดัน 220 โวลต์ ให้ลดระดับลงและมีค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 6 โวลต์ ทำการยกระดับแรงดันไฟฟ้าที่เป็นคลื่นรูปไซน์ทั้งหมดให้อยู่ในซีกบวก เพื่อความเหมาะสมในการส่งสัญญาณให้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่รับสัญญาณเฉพาะซีกบวก การปรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในส่วนนี้คำนึงถึงความเพี้ยนที่อาจจะกระทบต่อผลของการวัด ดังนั้นในส่วนภาครับสัญญาณจำเป็นต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่ส่งผลกระทบต่อเรื่องของความเพี้ยนน้อยที่สุด เช่น ตัวต้านทานซึ่งมีคุณลักษณะความเป็นเชิงเส้น และหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการเหนี่ยวนำสัญญาณในทิศทางเดียวกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นจริง



รูปที่ 3.4 วงจรภาครับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



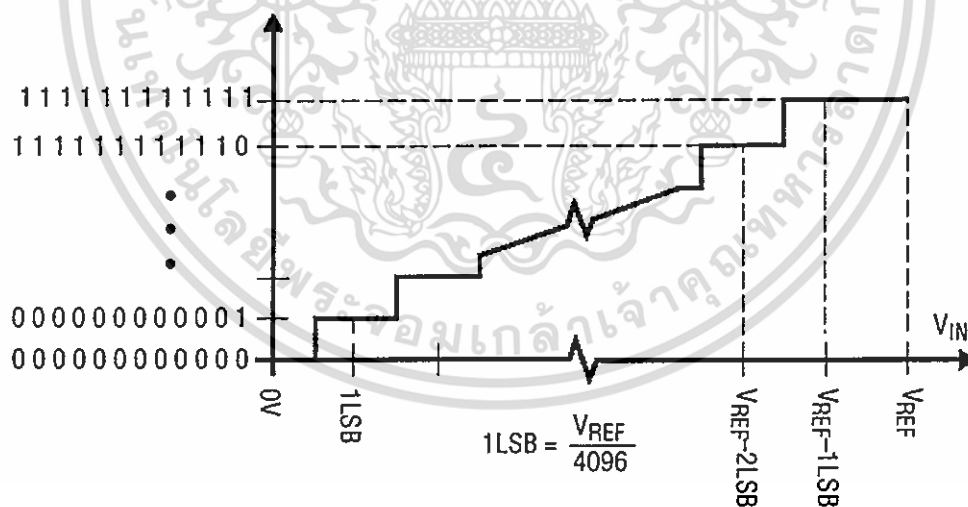
รูปที่ 3.5 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ผ่านการลดขนาดแรงดันและยกระดับขึ้น

3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

วงจรในส่วนนี้ทำหน้าที่รับสัญญาณอนาลอกรูปไซน์ที่สะท้อนจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับในจุดที่พิจารณาทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ส่วนประกอบที่สำคัญคือไอซีเบอร์ LTC1298 ของ Linear Technology ที่มีคุณสมบัติในอัตราการแซมปลิง (Sampling Rates) 12.8 กิโลเฮิร์ตซ์ มีพอดแบบ I/O Compatible SPI interface รับสัญญาณได้สองช่องทางและมีความละเอียดในการแปลงขนาด 12 บิต ทั้งหมดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและผลจากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลด้วยอัตราการแซมปลิงสูงสุดสามารถให้ความละเอียดของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์ 1 คาบ ต่อ 256 จุด และในการทดลองบทที่ 4 ได้ทดลองปรับระดับความเร็วของอัตราการแซมปลิงสองระดับ เพื่อเปรียบเทียบความละเอียดของรูปสัญญาณ 256 จุด และ 128 จุด ได้ทำการทดลองวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ และผลการทดลองที่ปรากฏจะนำมาปรับระดับความเร็วของอัตราการแซมปลิงให้เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 3.1 ระดับความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

OUTPUT	INPUT VOLTAGE	INPUT VOLTAGE (Vref = 5.000V)
111111111111	Vref-1LSB	4.99878V
111111111110	Vref-2LSB	4.99756V
111111111101	Vref-3LSB	4.99634V
.	.	.
.	.	.
.	.	.
000000000010	2LSB	0.00244V
000000000001	1LSB	0.00122V
000000000000	0V	0V



รูปที่ 3.8 กราฟระดับความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

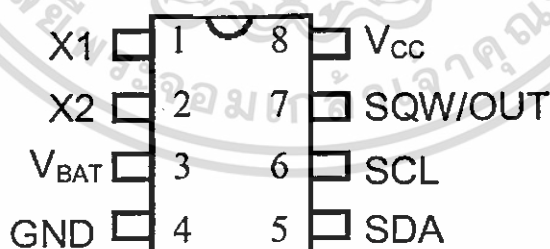
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรฐานเวลาแบบ Real Time Clock

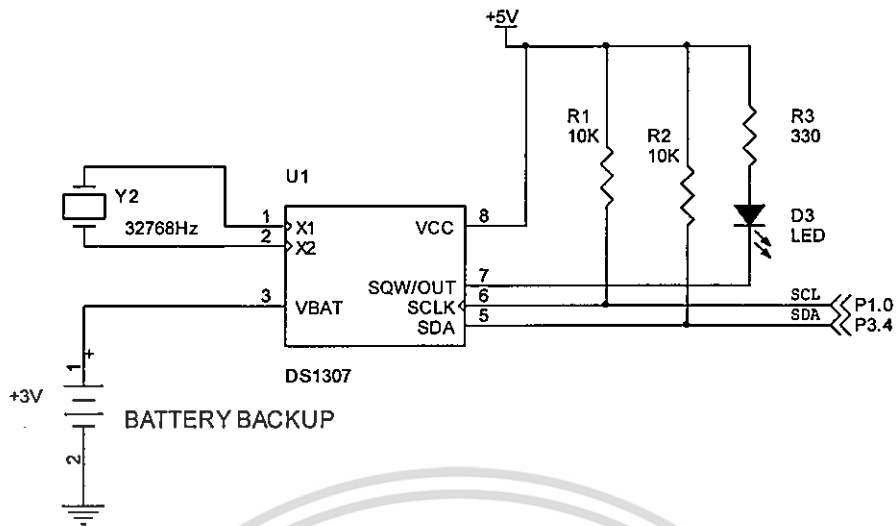
วงจรถฐานเวลาใช้ไอซี เบอร์ DS1307 ทำหน้าที่ในการสร้างฐานเวลาจริงให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลเกี่ยวกับเวลาทั้งหมด ได้แก่ วินาที นาที ชั่วโมง วันที่ วันในสัปดาห์ เดือน และปี โดยสามารถปรับวันเดือนปีให้ตรงตามปฏิทินได้อย่างถูกต้องรวมถึงกำหนดวันในปีอธิกสุรทินด้วย คุณสมบัตินี้ใช้ในการตั้งเวลาเพื่อบันทึกข้อมูลอ้างอิงกับฐานเวลา เมื่อต้องการนำเครื่องมือวัดไปติดตั้งและทำการวัดในสถานที่ต่าง ๆ ตามเวลาที่กำหนด และคุณสมบัติที่สำคัญของไอซี DS1307 คือ สามารถให้ข้อมูลเวลาได้อย่างเที่ยงตรงถึงปี พ.ศ. 2643 มีหน่วยความจำภายใน 56 ไบต์ ใช้การเชื่อมต่อกับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบัส I²C และมีระบบตรวจวัดระดับไฟเลี้ยงแรงดันต่ำและวงจรสำรองไฟด้วยแบตเตอรี่

การเชื่อมต่อกับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบัส I²C โดยผู้ผลิตมีจุดมุ่งหมายหลักคือต้องการให้ไอซีสามารถติดต่อส่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณ 2 เส้น ได้แก่สายสัญญาณข้อมูล SDA (Serial Data Line) และสายสัญญาณนาฬิกา SCL (Serial Clock Line)

การทำงานของ DS1307 จะใช้ผลึกควอตซ์ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 32.768 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับวงจรออสซิลเลเตอร์ที่อยู่ภายในไอซี วงจรควบคุมพลังงานภายในไอซีจะคอยตรวจสอบสถานะไฟเลี้ยงไอซี หากไฟเลี้ยงต่ำกว่าค่าของแบตเตอรี่สำรองไฟ จะควบคุมไอซีให้เข้าสู่โหมดของการสำรองข้อมูลกระแสต่ำทันที และจะหยุดการส่งสัญญาณนาฬิกาออกมาที่ขา SQW/OUT แต่วงจรสร้างฐานเวลายังคงทำงานเพื่อให้ค่าของเวลาเดินไปอย่างไม่มีผิดพลาด ส่วนรายละเอียดการจัดวางตำแหน่งขาของ DS1307 แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การจัดวางตำแหน่งขาของ DS1307



รูปที่ 3.10 วงจรฐานเวลาแบบ Real Time Clock

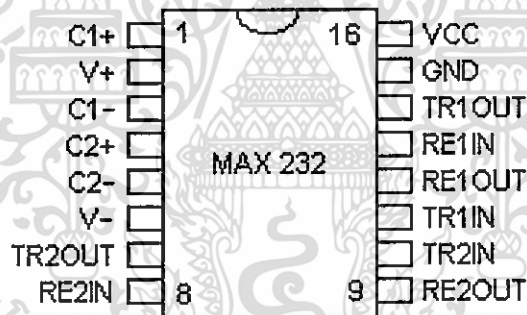
3.5 วงจรพอดสื่อสารแบบอนุกรม RS232 และวงจรสื่อสารมาตรฐาน RS485

วงจรพอดสื่อสารแบบอนุกรม RS232 เป็นวงจรสำหรับสื่อสารแบบอนุกรม สำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกและสามารถใช้เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์โดยกระทำการผ่านทางพอด COM1 และ COM2 ที่มีหัวต่อเป็นแบบ DB9 อัตราเร็วที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลมีค่า 9600 บิตต่อวินาที โดยใช้ไอซี MAX232 หรือ DS275 ทำหน้าที่แปลงระดับลอจิกที่ทีแอลให้เป็นระดับลอจิกตามมาตรฐาน RS232 พอดอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 จะใช้ขา TxD และ RxD ในการรับส่งข้อมูล โดยขาทั้งสองจะอยู่ในพอดที่ 3 คือ P3.1 TxD และ P3.0 RxD พอดอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 สามารถทำงานแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ได้ คือสามารถรับและส่งข้อมูลในเวลาเดียวกัน โดยในการรับส่งข้อมูลจะมีบัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูล ด้วยรีจิสเตอร์ที่สำคัญในการรับส่งข้อมูลคือ SBUF (Serial Port Buffer) และรีจิสเตอร์ที่ควบคุมการทำงาน SCON (Serial Port Control Register)

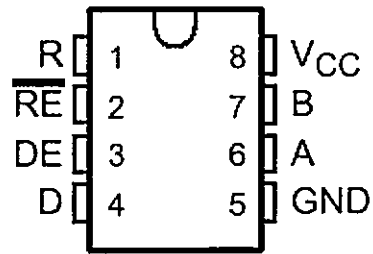
วงจรสื่อสารมาตรฐาน RS485 เป็นระบบการสื่อสารแบบอนุกรมชนิดฮาร์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) ผ่านสายส่งสัญญาณ 2 เส้น ด้วยอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล 9600 บิตต่อวินาที ใช้ไอซีเบอร์ SN75176 ทำหน้าที่ในการสื่อสารมาตรฐาน RS485 ขา TxD และ RxD ของชิพ 8051 จะใช้สำหรับรับส่งข้อมูลร่วมกับวงจรพอดสื่อสารแบบอนุกรม RS232 ไอซีลอจิกชนิดแอนเกตใช้

เลือกสัญญาณจากขา RxD ระหว่าง RS232 และ RS485 การควบคุมการรับและส่งข้อมูลของพอดสื่อสาร RS485 กระทำโดยโปรแกรมควบคุมผ่านทางพอด P1.5

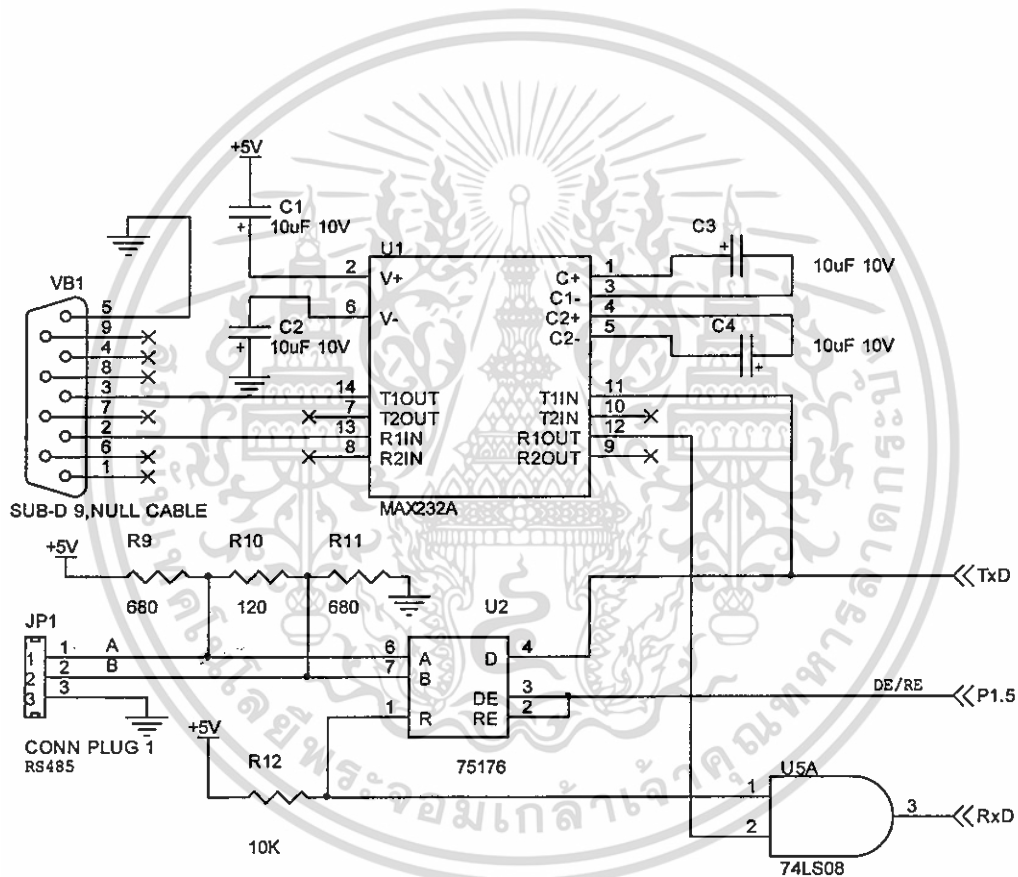
พอดสื่อสาร RS232 ใช้เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์เพื่อโหลดข้อมูลที่ได้จากการบันทึกในหน่วยความจำแรมผ่านโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัลของระบบปฏิบัติการ Windows98 หรือ WindowsXP แล้วนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ต่อไป ส่วนของพอดสื่อสารแบบ RS485 ใช้เชื่อมต่อกับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลจากวงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ส่งผ่านสายสัญญาณ 2 เส้น ข้อมูลดิจิตอลจะถูกประมวลผลด้วยการคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม และผลที่ได้จากการคำนวณจะถูกส่งกลับและทำการบันทึกลงบนหน่วยความจำแรม ในรูปของเปอร์เซ็นต์ผลรวม ความเพี้ยนฮาร์มอนิกสี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ การใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ทำให้การเชื่อมต่อในลักษณะนี้ทำได้โดยง่ายและสามารถขยายการต่อพ่วงของอุปกรณ์ได้เป็นจำนวนมาก โดยอุปกรณ์ต่อพ่วงแต่ละตัวสามารถรับและส่งข้อมูลด้วยการจัดลำดับการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งภาครับและภาคส่งด้วยการเขียนโปรแกรมควบคุม



รูปที่ 3.11 การจัดวางตำแหน่งขาของ MAX232



รูปที่ 3.12 การจัดวางตำแหน่งขาของ SN75176



รูปที่ 3.13 วงจรพอดสื่อสารแบบอนุกรม RS232 และ RS485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรเชื่อมต่อจอแสดงผลแอลซีดี

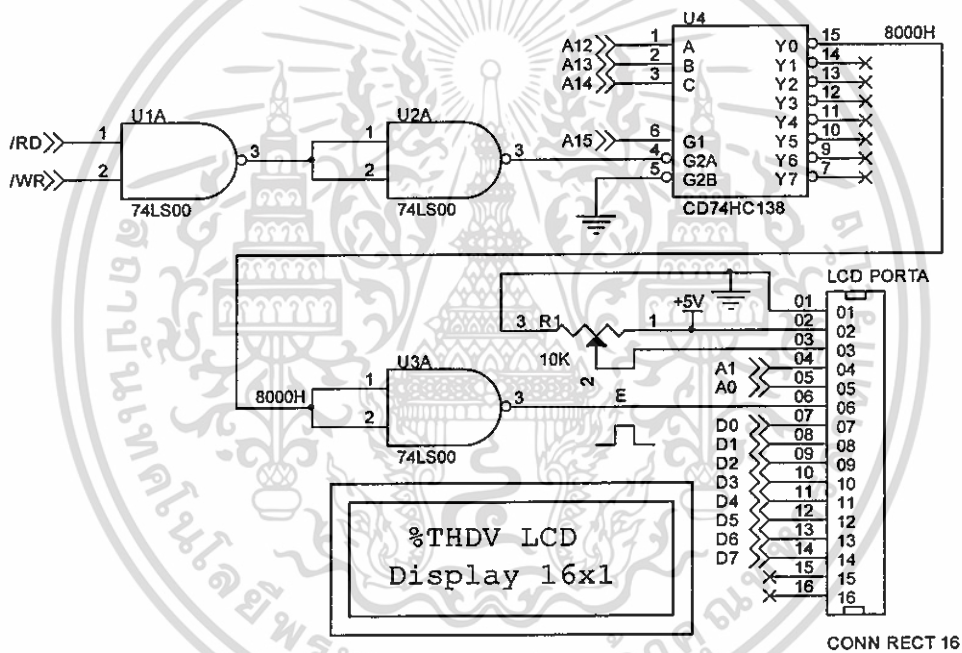
ภาคแสดงผลด้วยจอแอลซีดี (Liquid Crystal Displays, LCD) ใช้การเชื่อมต่อในลักษณะ Memory Mapped I/O การถอดรหัสตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้ไอซีถอดรหัส 74HC138 ร่วมกับไอซีลอจิกชนิดแนนเกต ประกอบเข้าด้วยกันดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.14 และตำแหน่งที่ถูกถอดรหัสจะอยู่ที่ตำแหน่งตั้งแต่ 8000H–8003H

ตำแหน่ง 8000H คือตำแหน่งการเขียนข้อมูลคำสั่ง

ตำแหน่ง 8001H คือตำแหน่งการอ่านข้อมูลคำสั่ง

ตำแหน่ง 8002H คือตำแหน่งการเขียนข้อมูลตัวอักษร

ตำแหน่ง 8003H คือตำแหน่งการอ่านข้อมูลตัวอักษร



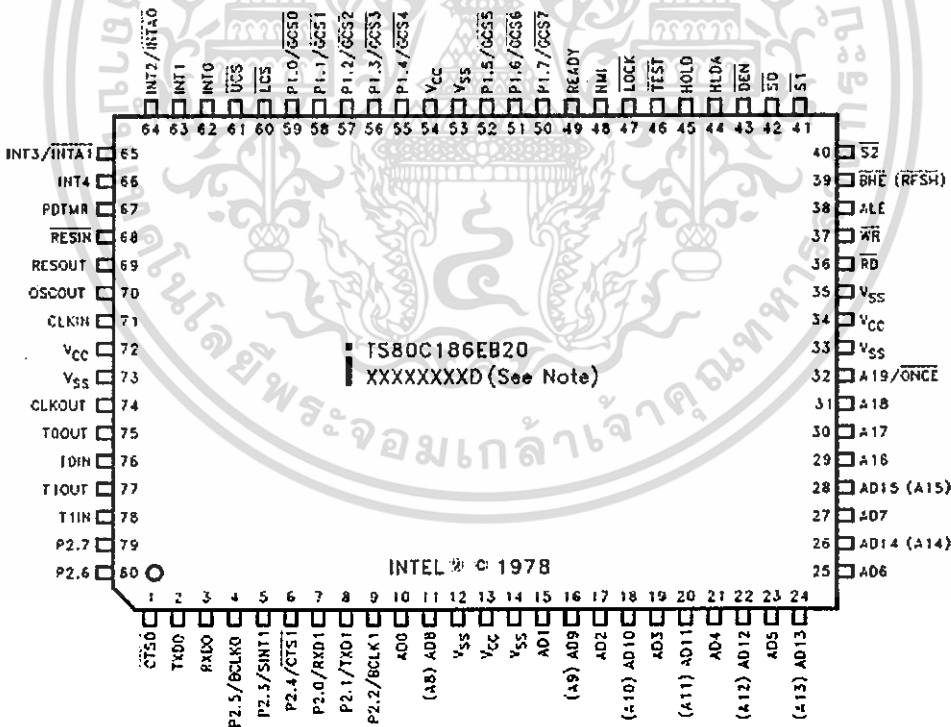
รูปที่ 3.14 วงจรเชื่อมต่อจอแสดงผลแอลซีดี

การแสดงผลด้วยจอแอลซีดีสามารถแสดงค่าการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในรูปของเปอร์เซ็นต์ และแสดงเวลา วันเดือนปี ที่ทำการวัด ด้วยขนาดของจอแสดงผล 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด และสามารถขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นเป็น 16 ตัวอักษร 2 บรรทัดได้ โปรแกรมที่ควบคุมสามารถรองรับได้ทั้งสองแบบ การแสดงผลด้วยจอแอลซีดีช่วยให้เครื่องมือสามารถนำไปติดตั้งได้ทุกสถานที่ โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ของพีซีคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต

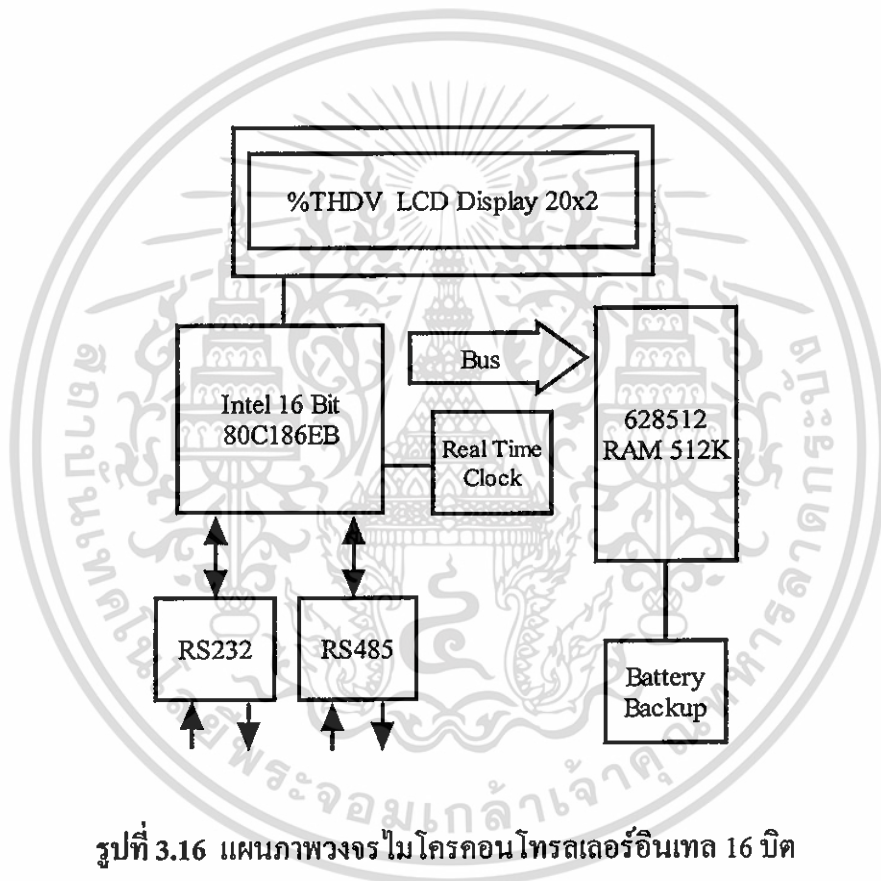
การประมวลผลของเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องใช้การคำนวณแบบฟลัทฟูเรียร์ทรานฟอร์มที่มีขั้นตอนของโปรแกรมที่ซับซ้อนและมีปริมาณข้อมูลในการคำนวณมากประกอบกับการสร้างตัวแปรที่กำหนดในโครงสร้างภาษาซีที่มีขนาดใหญ่ การคำนวณทั้งหมดไม่สามารถกระทำบนวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ได้ ในขั้นตอนการทดสอบเครื่องมือได้ทดลองนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 มาทำการคำนวณซึ่งผลปรากฏว่าสามารถใช้คำนวณได้ที่ความละเอียด 16 จุด และใช้เวลาในการคำนวณในแต่ละชุดข้อมูลมาก ได้นำวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต มาใช้คำนวณแบบฟลัทฟูเรียร์ทรานฟอร์มปรากฏผลการคำนวณได้อย่างถูกต้องและสามารถคำนวณได้ละเอียดมากถึง 256 จุด เวลาในการประมวลผลประมาณ 28 วินาที ซึ่งสามารถนำโปรแกรมคำนวณด้วยภาษาซีทั้งหมดที่ได้ทดลองการทำงานบนพีซีคอมพิวเตอร์มาใช้ ด้วยการอัปเดตโปรแกรมลงบนหน่วยความจำแฟลชที่เชื่อมต่อกับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต โดยมีการปรับโครงสร้างของโปรแกรมภาษาซีให้เหมาะสมกับวงจรซึ่งมีความแตกต่างจากพีซีคอมพิวเตอร์



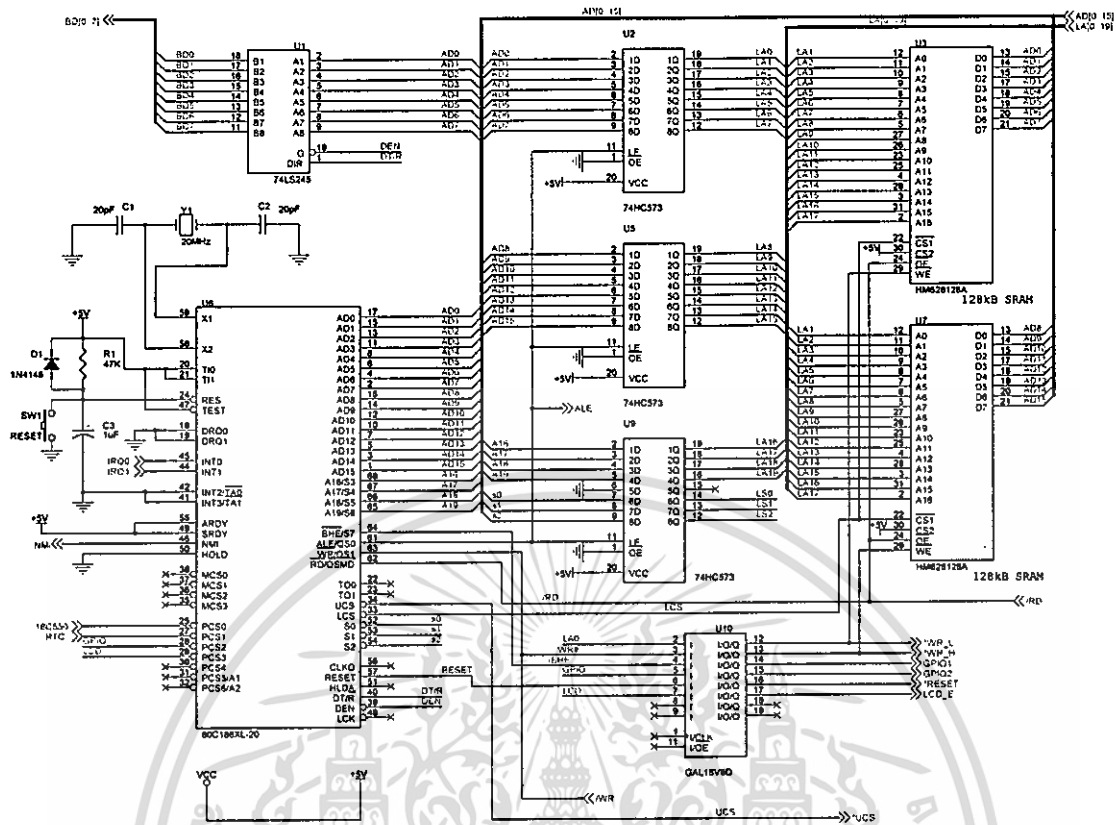
รูปที่ 3.15 การจัดวางตำแหน่งขาของ Intel 80C186EB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรได้เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอินเทล 16 บิต เบอร์ 80C186EB ออสซิลเลเตอร์ ความถี่ 16 เมกะเฮิรตซ์ ประกอบเข้าในวงจรทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลการคำนวณขั้นสูง รายละเอียดของวงจรประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือหน่วยความจำแรมขนาด 512 กิโลไบต์ แบตเตอรี่สำรองชนิดลิเทียมเบอร์ CR2032 +3V ทำหน้าที่ในการรักษาโปรแกรมหลักทั้งหมด วงจรพอสตสื่อสารแบบอนุกรม RS232 และพอสตสื่อสารแบบ RS485 สามารถเพิ่มการทำงานด้วยวงจรฐานเวลา Real Time Clock และส่วนจอแสดงผลแบบแอลซีดี 20 ตัวอักษร 2 บรรทัด ในส่วนวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอินเทล 16 บิต ทั้งหมดเป็นวงจรสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติในการทำงานสามารถใช้ประมวลผลการคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม์และการคำนวณขั้นสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.16 แผนภาพวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต



รูปที่ 3.17 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต

3.8 โปรแกรมควบคุม

ส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวัดผลรวมความเข้มข้นอนุภาคของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งการทำงานออกได้สองส่วน ส่วนที่หนึ่งคือ โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ได้แบ่งการทำงานออกเป็นฟังก์ชันซึ่งในแต่ละฟังก์ชันจะมีความสัมพันธ์กับวงจรในส่วนต่าง ๆ เช่นฟังก์ชันควบคุมการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ฟังก์ชันควบคุมฐานเวลา Real Time Clock ฟังก์ชันจอแสดงผลแอลซีดี ฟังก์ชันควบคุมการรับส่งข้อมูลผ่านมาตรฐานพ็อตสื่อสาร RS485 เป็นต้น ซึ่งการทำงานทั้งหมดจะมีความสอดคล้องกันตามหน้าที่

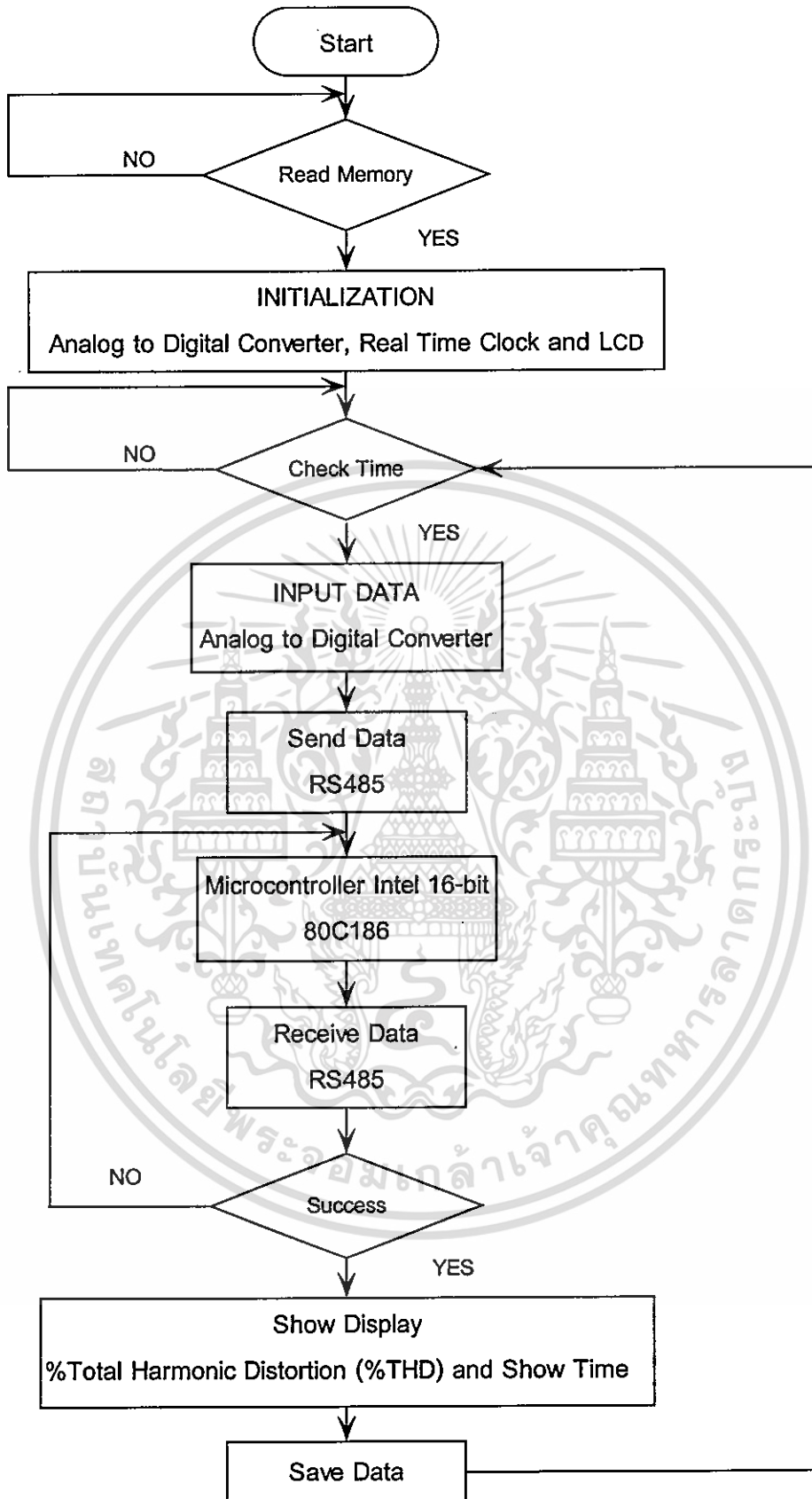
การทำงานในส่วนนี้เริ่มต้นด้วยการประกาศค่าเริ่มต้นของทุกฟังก์ชันและเริ่มเข้าสู่การทำงานของฟังก์ชันหลัก เริ่มจากการอ่านค่าที่บันทึกภายในหน่วยความจำแรมทั้งหมด เมื่ออ่านเสร็จฟังก์ชันฐานเวลา Real Time Clock จะเริ่มนับเวลาในขั้นตอนการทำงานทั้งหมดซึ่งสามารถกำหนดได้จากผู้ใช้งาน เช่น ต้องการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที ฟังก์ชันฐานเวลาจะทำงานตามเวลา และวันเดือนปี จริงตามกำหนดในปฏิทิน เมื่อครบกำหนดเวลาผู้ใช้งานต้องทำการถ่ายข้อมูล เนื่องจากหน่วยความจำแรมที่เลือกใช้มีความจุสูงสุดตามที่ได้ทดสอบแล้วไม่เกิน 1,500 ข้อมูล กรณีที่กำหนดให้อัตราการทำงานทุก ๆ 5 นาที จะสามารถบันทึกข้อมูลได้สูงสุด 5 วัน เมื่อฟังก์ชันฐานเวลา Real Time Clock ทำงานถึงตามเวลาที่กำหนดจะทำการอ่านค่าเวลาและบันทึกค่าเวลา วันเดือนปี ลงในหน่วยความจำแรม และเตรียมรอบันทึกผลการคำนวณ ลำดับต่อมาฟังก์ชันหลักจะสั่งให้วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเริ่มทำงานซึ่งกระบวนการควบคุมของฟังก์ชันนี้จะใช้ภาษาแอสเซมบลีควบคุมเพื่อให้อัตราเร็วในการแปลงข้อมูลสูงสุดตามที่กำหนดไว้สำหรับไอซีเบอร์ LTC1298 และส่งค่าการแปลงทั้งหมดบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำแรมที่แบ่งเนื้อที่ไว้โดยเฉพาะ ข้อมูลจะถูกบันทึกไว้เพียงชั่วคราว หลังจากนั้นพอด P1.5 ทำหน้าที่ควบคุมมาตรฐานการสื่อสาร RS485 จะส่งสถานะ High เพื่อเริ่มการส่งข้อมูล การส่งจะเริ่มจากการเข้ารหัสและส่งให้วงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต เมื่ออ่านพบรหัสถูกต้องจะต้องรับข้อมูลทันที เมื่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ส่งข้อมูลทั้งหมดเสร็จสิ้น พอด P1.5 จะเปลี่ยนสถานะจาก High เป็น Low เพื่อรอรับข้อมูลจากการคำนวณส่งกลับ และก่อนการรับข้อมูลจะตรวจสอบรหัสการรับข้อมูลลักษณะเดียวกับการส่ง เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้นวงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต จะส่งผลการคำนวณกลับข้อมูลส่วนแรกจะเป็นการเข้ารหัส เมื่อวงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ตรวจสอบรหัสถูกต้องฟังก์ชันหลักจะรับและแสดงผลการคำนวณ เวลาที่ทำการคำนวณ หลังจากนั้นจะส่งผลการคำนวณบันทึกลงในหน่วยความจำแรม และเริ่มการตรวจสอบเวลาจากฟังก์ชันฐานเวลา Real Time Clock อีกครั้ง

ส่วนที่สองเป็น โปรแกรมการคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ทำหน้าที่รับข้อมูลดิจิทัลผ่านช่องทาง RS485 จากโปรแกรมในส่วนที่หนึ่ง โดยมีการตรวจสอบการรับข้อมูลก่อนเริ่มการคำนวณและเมื่อคำนวณเสร็จจะส่งผลการคำนวณกลับสองช่องทางคือผ่านทาง RS232 เพื่อแสดงผลการคำนวณทุกขั้นตอนและช่องทาง RS485 เพื่อส่งผลการคำนวณในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์

การทำงานในส่วนที่สองสำหรับ โปรแกรมคำนวณเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอินเทล 16 บิต มีความแตกต่างไปจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 การกำหนดค่าใด ๆ จึงมีความแตกต่างกัน แต่มีพื้นฐานบนภาษาคอมไพเลอร์เดียวกัน คือภาษาซี การกำหนดค่าเริ่มต้นนั้นได้ใช้ข้อกำหนดตามที่ผู้ผลิต ไอซีอินเทล ได้กำหนดไว้ ซึ่งเมื่อทุกอย่างได้กำหนดไว้ถูกต้องแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์อิน

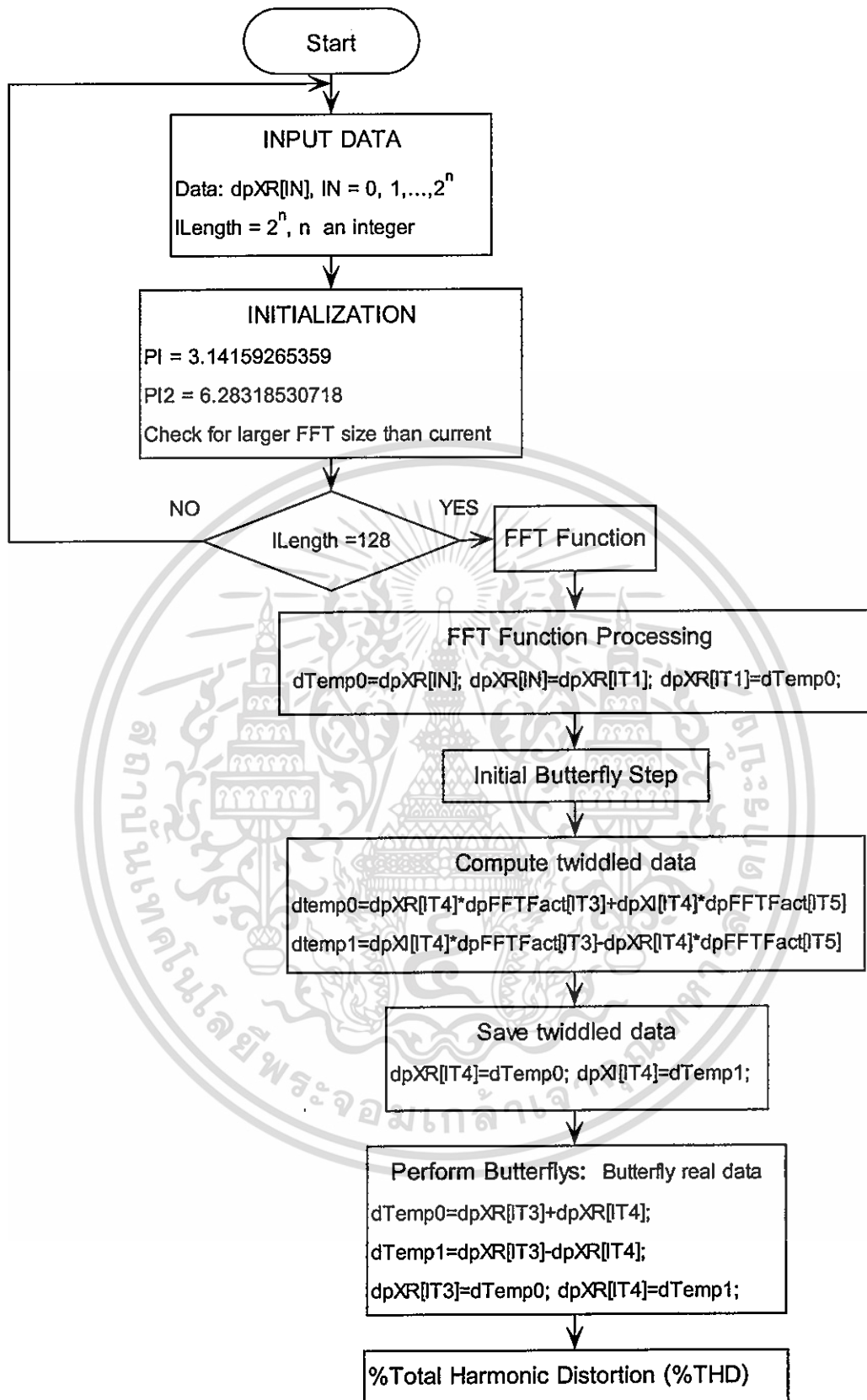
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทล 16 บิต สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์เทียบเคียงคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเครื่องหนึ่งที่สามารถทำบรรจุกฎทำให้กระทัดรัด และสามารถทดแทนเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ในงานที่กำหนดได้ หลังจากการกำหนดค่าเริ่มต้นแล้ว โปรแกรมหลักจะกำหนดให้ พอต P1.0 มีสถานะ Low เพื่อส่งให้ พอต RS485 รับผิดชอบต่อและรอรับรหัสที่ส่งมาจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 เมื่อตรวจสอบรหัสถูกต้องจะรับข้อมูลทั้งหมด จำนวนหนึ่งชุดมีข้อมูลทั้งหมด 128 จุด เข้าสู่ฟังก์ชันคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม และกำหนดให้ พอต P1.0 มีสถานะ High เพื่อส่งให้พอดสื่อสาร RS485 เตรียมการส่งค่า ส่วนโปรแกรมการคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม กำหนดไว้เป็นฟังก์ชัน FFT ซึ่งจากจำนวนข้อมูลที่มีจำนวนมากและขั้นตอนในการคำนวณมีความซับซ้อนมากการจัดสรรหน่วยความจำภายในให้พอเพียงเป็นเรื่องที่สำคัญดังนั้นการจัดสรรหน่วยความจำสำหรับวงจรในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต จะใช้การจัดสรรหน่วยความจำแบบไดนามิก (Dynamic Allocation) อธิบายได้คือ การจองพื้นที่แบบชั่วคราวสำหรับเก็บค่าของตัวแปร การทำงานเมื่อเริ่ม โปรแกรมตัวแปรจะยังไม่ถูกสร้างขึ้น ดังนั้นพื้นที่ในหน่วยความจำจะไม่ถูกจองไว้ก่อนและเมื่อต้องการใช้งานตัวแปรจึงทำการจองพื้นที่สำหรับเก็บค่าของตัวแปรนั้นขึ้นมา นอกจากนี้เมื่อใช้งานตัวแปรเสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถคืนพื้นที่ในหน่วยความจำส่วนนั้นเพื่อใช้งานอย่างอื่น หรือสำหรับตัวแปรอื่น การจองพื้นที่ในหน่วยความจำแบบไดนามิกสามารถทำได้โดยเรียกผ่านฟังก์ชัน malloc() ซึ่งย่อมาจาก Memory Allocation และพื้นที่การจัดสรรหน่วยความจำแบบไดนามิกจะเรียกว่าฮีป (heap) ซึ่งข้อมูลหรือค่าของตัวแปรจะเก็บในพื้นที่ฮีป ได้คือเรียกใช้ฟังก์ชัน malloc() เพื่อทำการจองพื้นที่ในส่วนของฮีปเอาไว้ก่อนจากนั้นจึงนำข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ในฮีปได้ หลักการนี้เหมือนกับการกำหนดข้อมูลกับตัวแปรทั่ว ๆ ไป แต่ช่วยให้โปรแกรมการคำนวณในส่วนฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มมีพื้นที่หน่วยความจำพอเพียงต่อการใช้งานสำหรับข้อมูลและการคำนวณจำนวนมาก หลังจากนั้นเมื่อผ่านโปรแกรมการคำนวณทั้งหมดแล้วจะส่งผลการคำนวณในรูปการกระจายของลำดับฮาร์มอนิกส์แสดงผลส่งผ่านพอต RS232 สามารถเชื่อมจอมอนิเตอร์ของพีซีคอมพิวเตอร์คู่ลำดับฮาร์มอนิกส์ได้ และจะคำนวณผลรวมของทุกลำดับฮาร์มอนิกส์ในรูปของเปอร์เซ็นต์ผลรวมความถี่ฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับส่งกลับให้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ผ่านพอต RS485 เพื่อแสดงค่าผ่านจอแสดงผลแอลซีดี และทำการบันทึกค่าลงหน่วยความจำแรมต่อไป ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดในส่วนของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต แสดงไว้ดังรูปที่ 3.18 และ 3.19



รูปที่ 3.18 แผนภาพโปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แผนภาพโปรแกรมการคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

การทดลองและผลการทดลองเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นขั้นตอนวิชัยลำดับต่อมาเมื่อผ่านการออกแบบวงจรสำเร็จ ผลการออกแบบวงจรและวงจรที่ประกอบสำเร็จแล้วแสดงในหัวข้อที่ 4.1

ในส่วนของ การทดลอง ได้แบ่งลำดับขั้นตอนออกเป็นห้าส่วนที่สำคัญและได้แสดงด้วยแผนผังการทำงานแบ่งตามลำดับหัวข้อ โดยแต่ละการทดลองมีดังนี้

ส่วนที่หนึ่งคือการทดลองเพื่อทดสอบมาตรฐานการทำงานของเครื่องวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยโปรแกรม HP VEE Version 5.01 ของ บริษัทฮิวเลตต์-แพคการ์ด เพื่อตรวจสอบอัตราการแซมปลิงที่เหมาะสม

ส่วนที่สองคือการทดลองด้วยการสร้างสัญญาณรูปแบบที่แตกต่างกันและทราบค่าความเพี้ยนเพื่อทดสอบเครื่องวัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับกับ HP VEE และเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยมือตามสมการอนุกรมฟูเรียร์ เมื่อทดสอบด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยม

ส่วนที่สามคือการนำเครื่องทดลองวัดสัญญาณจากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน KENWOOD CR OSCILLATOR AG-203

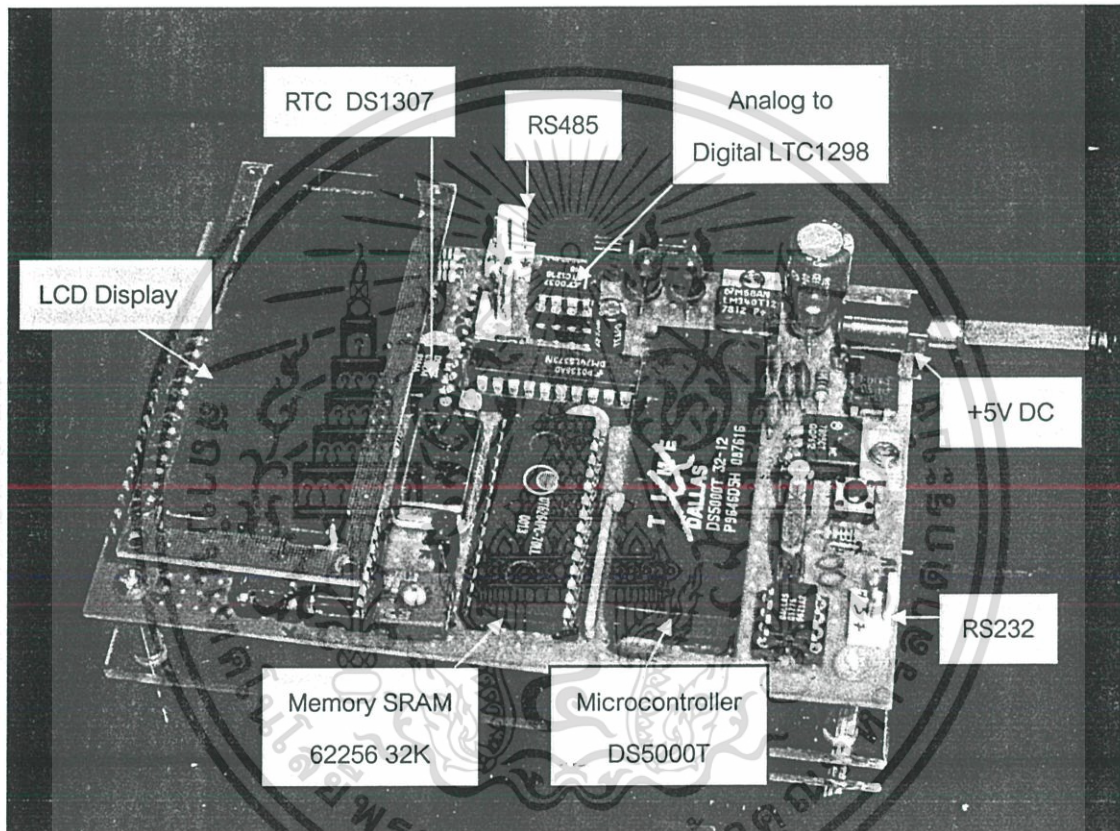
ส่วนที่สี่คือการทดลองวัดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับปกติเมื่อมีการเชื่อมต่อโหลดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่สร้างขึ้น

ส่วนที่ห้าทำการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์จำแนกตามจุดใช้งานที่บ้านพักอาศัยและสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและบันทึกผลการวัดทุก 5 นาที

เมื่อเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ประกอบสำเร็จและทำการทดลองตามลำดับขั้นตอนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ ดังนั้นตั้งแต่หัวข้อต่อไปนี้จะเรียกชื่อเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับใหม่เพื่อให้เกิดความกระชับขึ้นคือ เครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ (Harmonic Meter) ตั้งแต่นี้

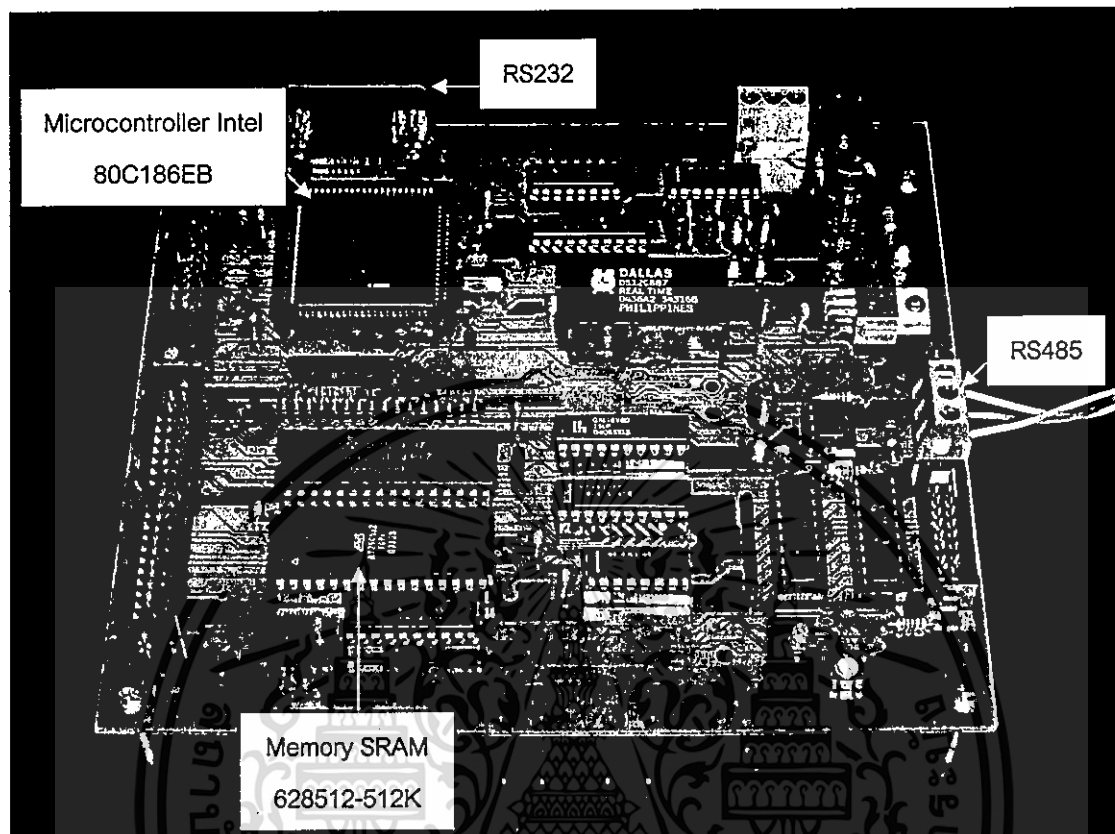
4.1 ผลการออกแบบวงจร

เมื่อประกอบวงจรเสร็จสมบูรณ์ ผลการออกแบบวงจรจะแบ่งออกเป็นสองส่วน แสดงส่วนวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 ดังรูปที่ 4.1 และส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



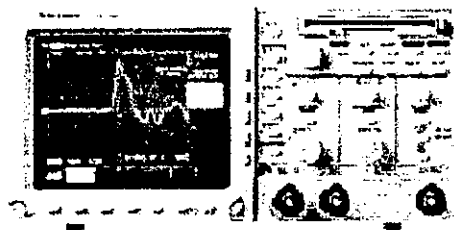
รูปที่ 4.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต

4.2 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

การทดลองในบทนี้ได้นำเครื่องมือมาตรฐานเพื่อช่วยในการทดลองและเพื่อให้ผลการทดลองเป็นไปอย่างถูกต้อง ซึ่งเครื่องมือที่นำมาใช้ประกอบไปด้วย

ดิจิตอลออสซิลโลสโคป Tektronix TDS340A Band width 100MHz อัตราการแซมปลิง 10 จุด/วินาที ถึง 500 ล้านจุด/วินาที ความละเอียดของฐานเวลา 5 นาโนวินาที/ช่อง และสามารถบันทึกรูปสัญญาณได้

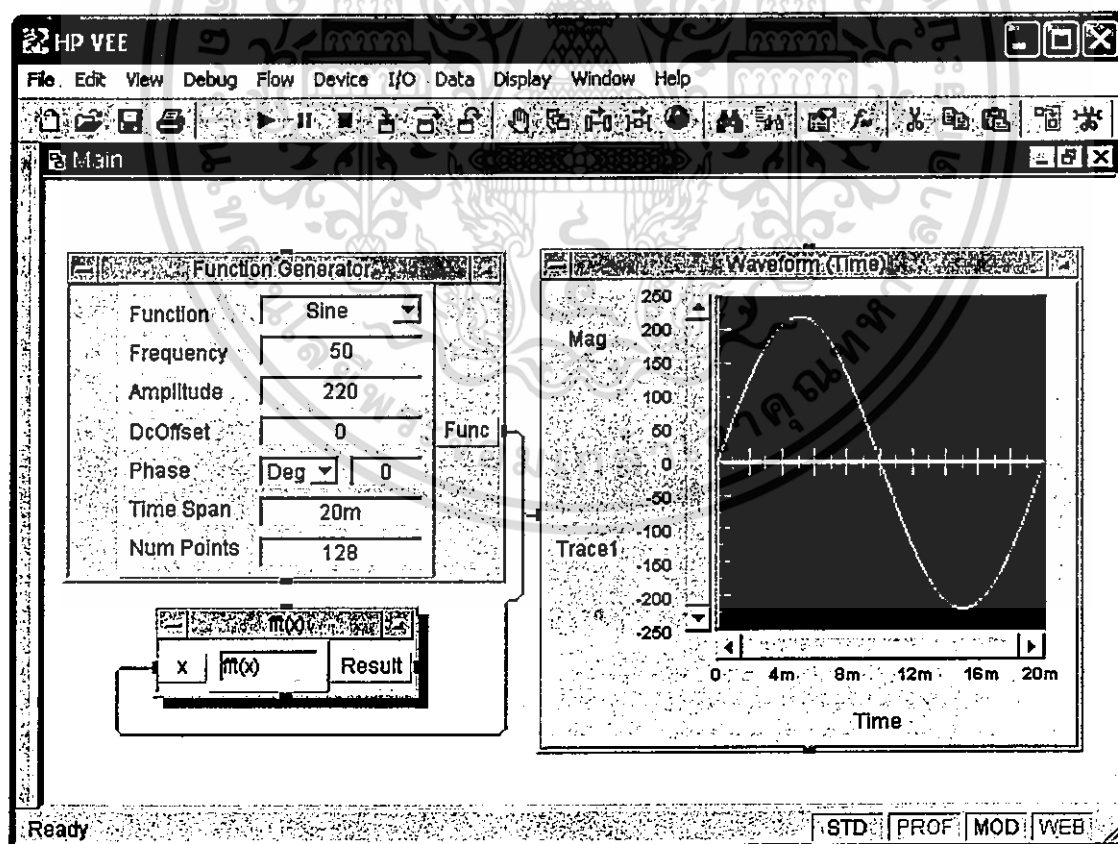
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ออสซิลโลสโคป Tektronix TDS340A

แหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน KENWOOD CR OSCILLATOR AG-203 ทำหน้าที่ให้กำเนิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 เฮิร์ตซ์ ที่มีคลื่นรูปไซน์บริสุทธิ์และไม่ถูกรบกวนจากโหลดบริเวณใกล้เคียง

ซอฟต์แวร์ HP VEE Version 5.01 ของ บริษัทฮิวเลตต์-แพคการ์ด ทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปไซน์ สัญญาณรูปโคไซน์ สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม การผสมสัญญาณแบบต่าง ๆ ตามรูปแบบการทดลอง และการคำนวณแบบฟาส์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม เพื่อหาผลรวมความถี่ฮาร์มอนิกส์

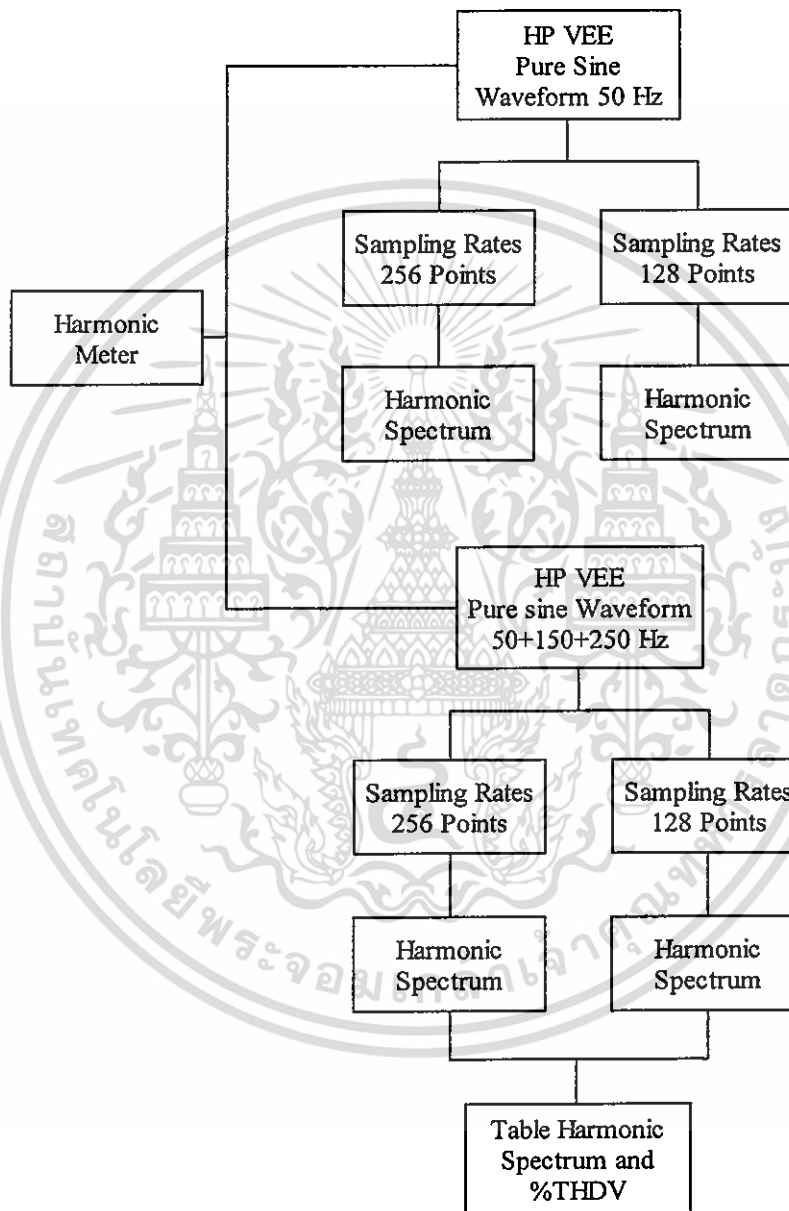


รูปที่ 4.4 ซอฟต์แวร์ HP VEE Version 5.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองเพื่อทดสอบมาตรฐานการทำงานของเครื่องมือ

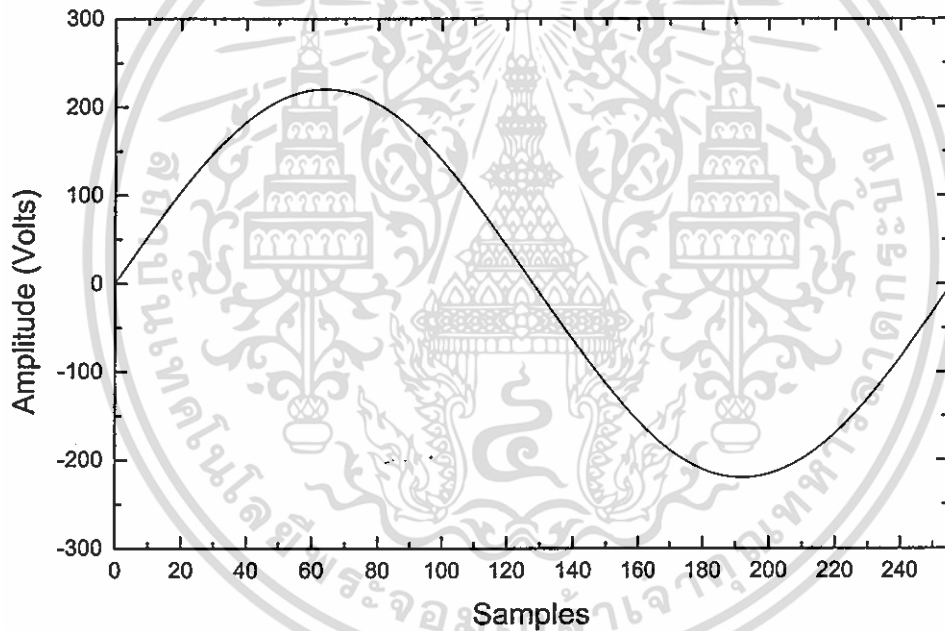
การทดลองแบ่งลำดับการทำงานออกเป็น ส่วน โดยเรียงลำดับความขั้นตอนที่สอดคล้องกับความ เป็นจริง แสดงด้วยแผนผังการทำงานต่อไปนี้



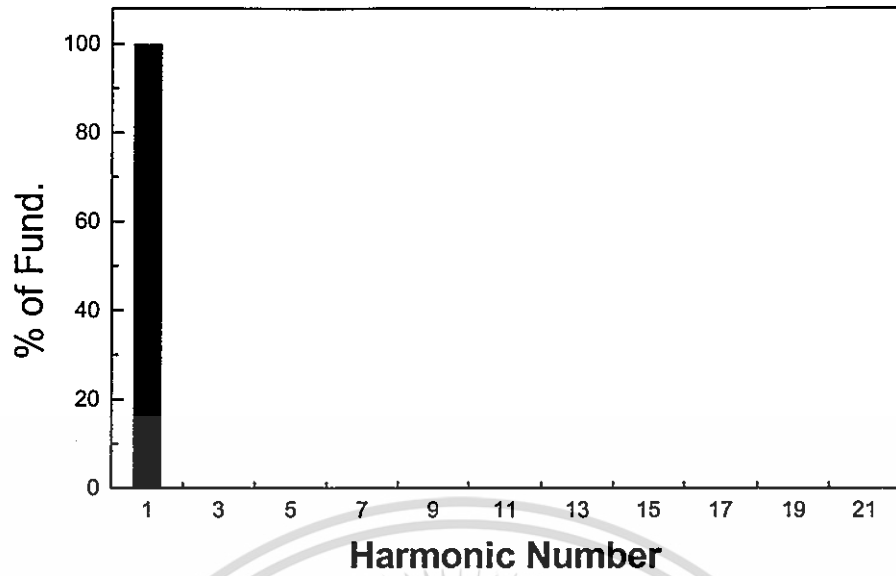
รูปที่ 4.5 แผนผังการเปรียบเทียบผลการแชนปถึงความละเอียด 256 จุด และ 128 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

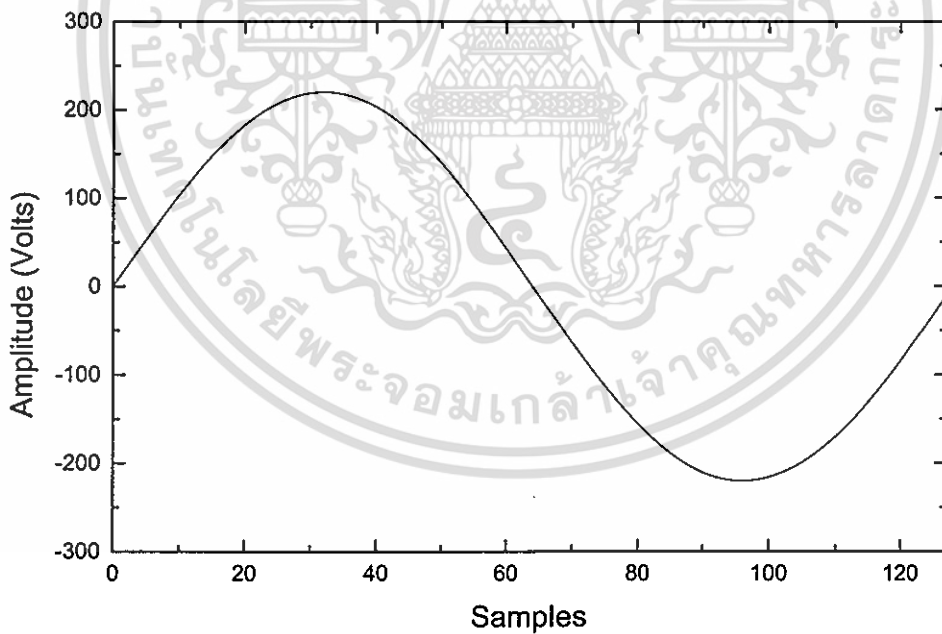
การทดลองเพื่อทดสอบหาความเหมาะสมของวงจรในส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ซึ่งเรียกว่าอัตราการแซมปลิง (Sampling rates) จากประสิทธิภาพของไอซี LTC1298 มีอัตราการแซมปลิงสูงสุดที่ 12.8 กิโลเฮิร์ตซ์ เมื่อทำการแซมปลิงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สามารถแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ระดับความละเอียดสูงสุด 256 จุด และสามารถปรับความละเอียดเป็น 128 จุด จากการออกแบบ โปรแกรมในส่วนการคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มสามารถปรับ โปรแกรมให้สอดคล้องกับการทำงานของฮาร์ดแวร์ ดังนั้นการทดลองในส่วนนี้เพื่อหาความเหมาะสมในการเลือกอัตราการแซมปลิงของวงจรส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ความเหมาะสมความหมายคือ เครื่องมือสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยการทำงานที่เร็วที่สุด การทดลองเริ่มด้วยการสร้างสัญญาณทดสอบรูปไซน์ด้วย HP VEE อัตราการแซมปลิง 256 จุด และทำการวัดด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์และอ่านค่าเปอร์เซ็นต์ผลรวมความถี่ฮาร์มอนิกส์ซึ่งผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 สัญญาณรูปไซน์บริสุทธิ์ที่มีอัตราการแซมปลิง 256 จุด

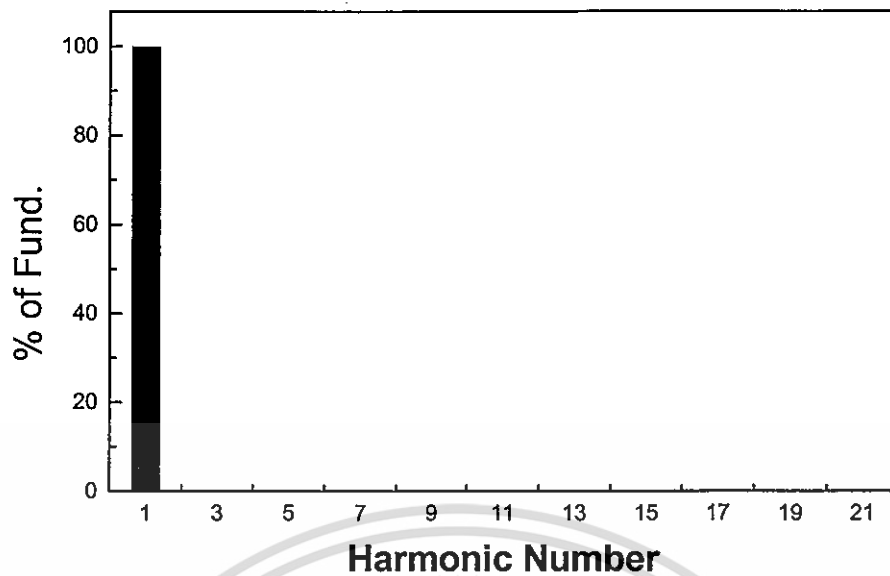


รูปที่ 4.7 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกของสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ ที่มีอัตราการแซมปลิง 256 จุด



รูปที่ 4.8 สัญญาณรูปไซน์บริสุทธิ์ที่มีอัตราการแซมปลิง 128 จุด

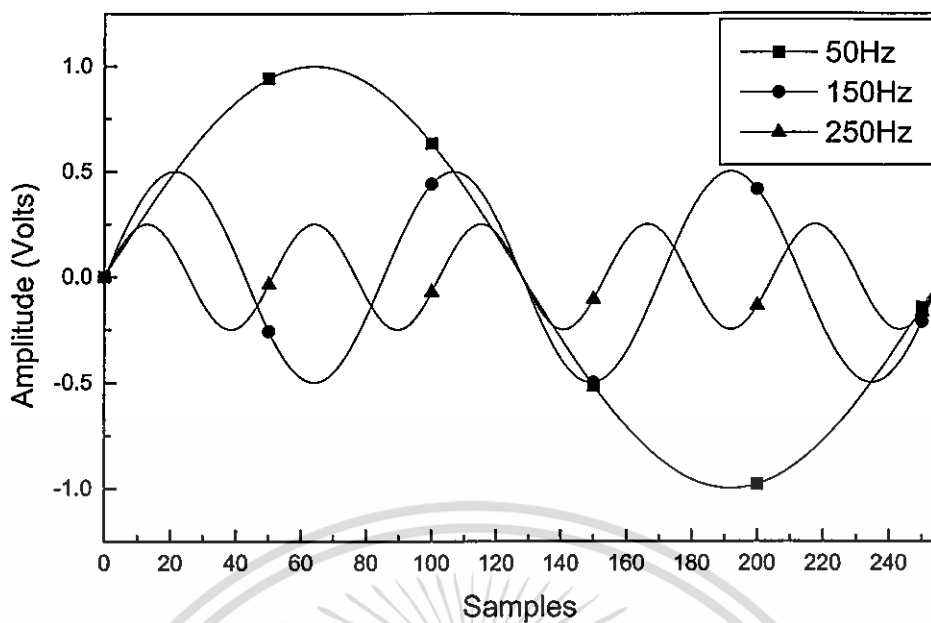
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



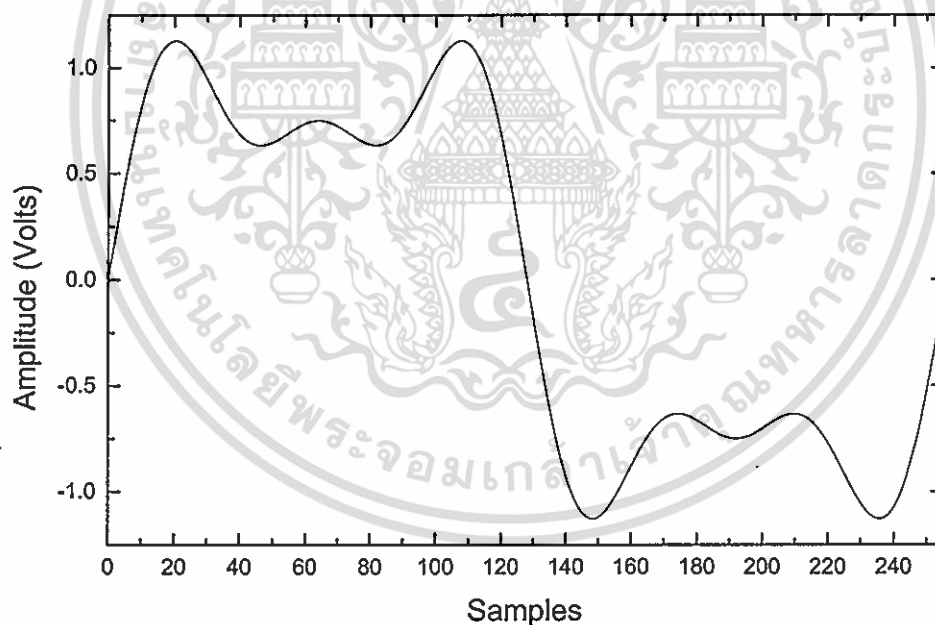
รูปที่ 4.9 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกของสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ ที่มีอัตราการแซมปลิ่ง 128 จุด

ผลการทดลองเมื่อทำการวัดสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ สรุปได้ว่าอัตราการแซมปลิ่งของเครื่องวัดฮาร์มอนิกที่ 256 จุด และ 128 จุด ทำการวัดหาค่าปริมาณผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ปรากฏผลการทดลองแสดงด้วยกราฟสเปกตรัมถูกต้องและอ่านค่าเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกที่อัตราการแซมปลิ่ง 256 จุด คือ 0.000001717 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราการแซมปลิ่ง 128 จุด คือ 0.000001785 เปอร์เซ็นต์

การทดลองเครื่องวัดฮาร์มอนิกในลำดับต่อมาคือการนำสัญญาณที่สร้างขึ้นจากการผสมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ มาทำการวัด โดยการแบ่งความละเอียดของอัตราการแซมปลิ่งออกเป็น 256 จุด และ 128 จุด เพื่อหาข้อสรุปของเครื่องวัดฮาร์มอนิกเมื่อทำการวัดสัญญาณที่ทราบค่าและปรับอัตราการแซมปลิ่งที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการวัดแสดงดังรูปต่อไปนี่

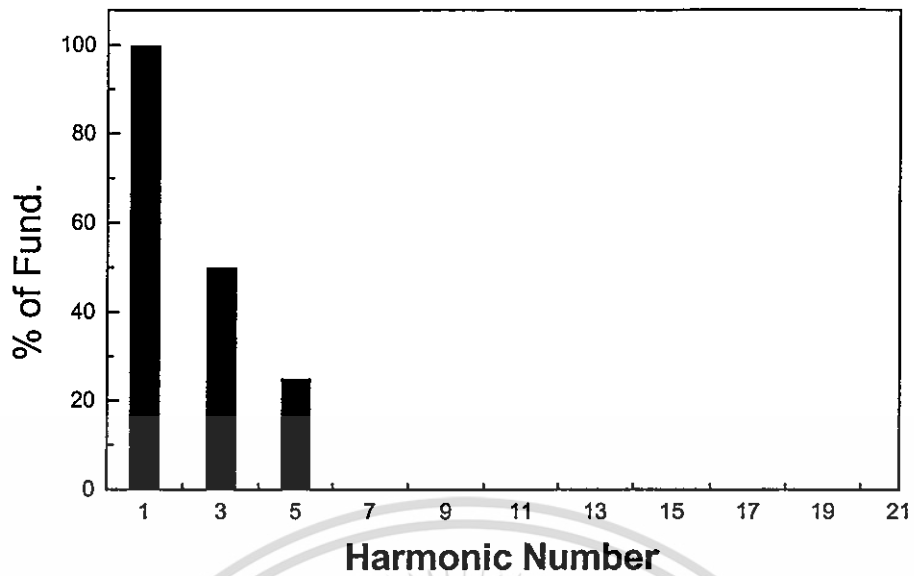


รูปที่ 4.10 สัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ อัตราการแซมปลิง 256 จุด

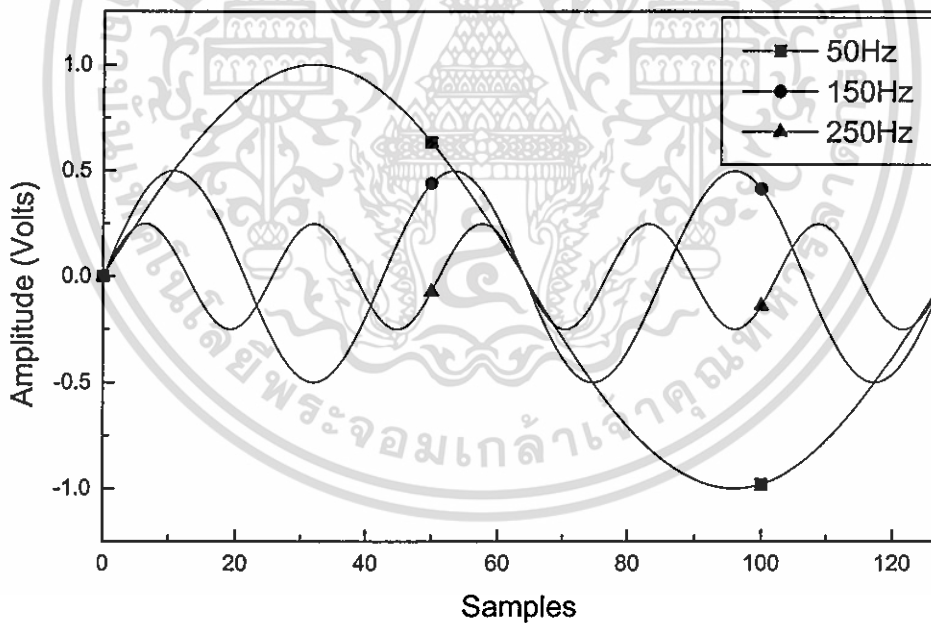


รูปที่ 4.11 การรวมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ อัตราการแซมปลิง 256 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

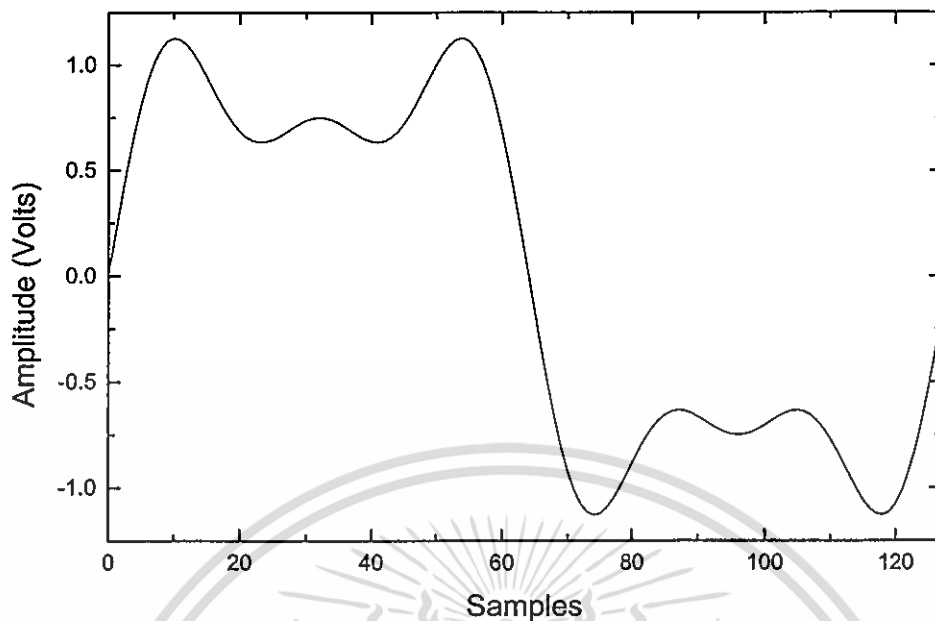


รูปที่ 4.12 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกของผลรวมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ ที่มีอัตราการแซมปลิง 256 จุด



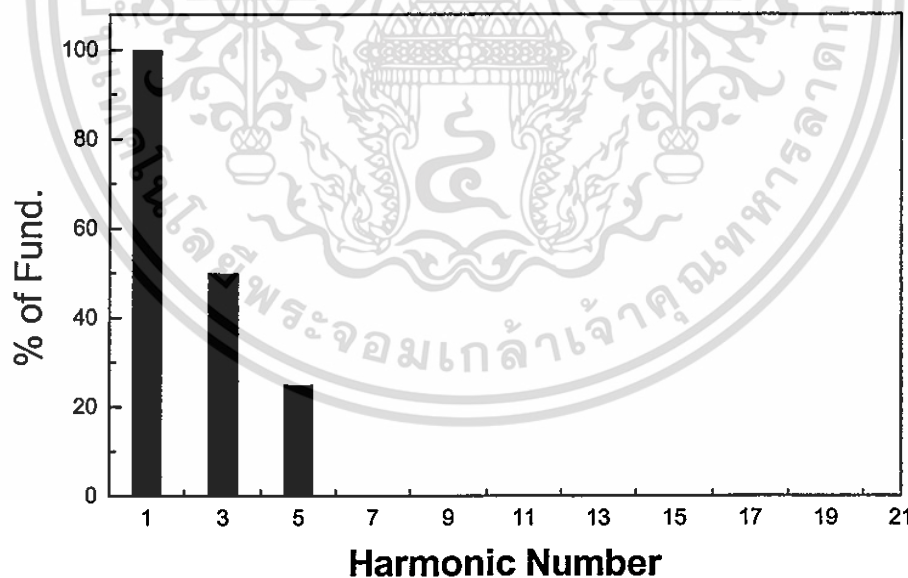
รูปที่ 4.13 สัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ อัตราการแซมปลิง 128 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การรวมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ อัตราการแซมปลิง

128 จุด



รูปที่ 4.15 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของผลรวมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ ที่มีอัตราการแซมปลิง 128 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ลำดับฮาร์มอนิกส์ของผลรวมสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ อัตราการแซมปลิง 256 จุด และ 128 จุด

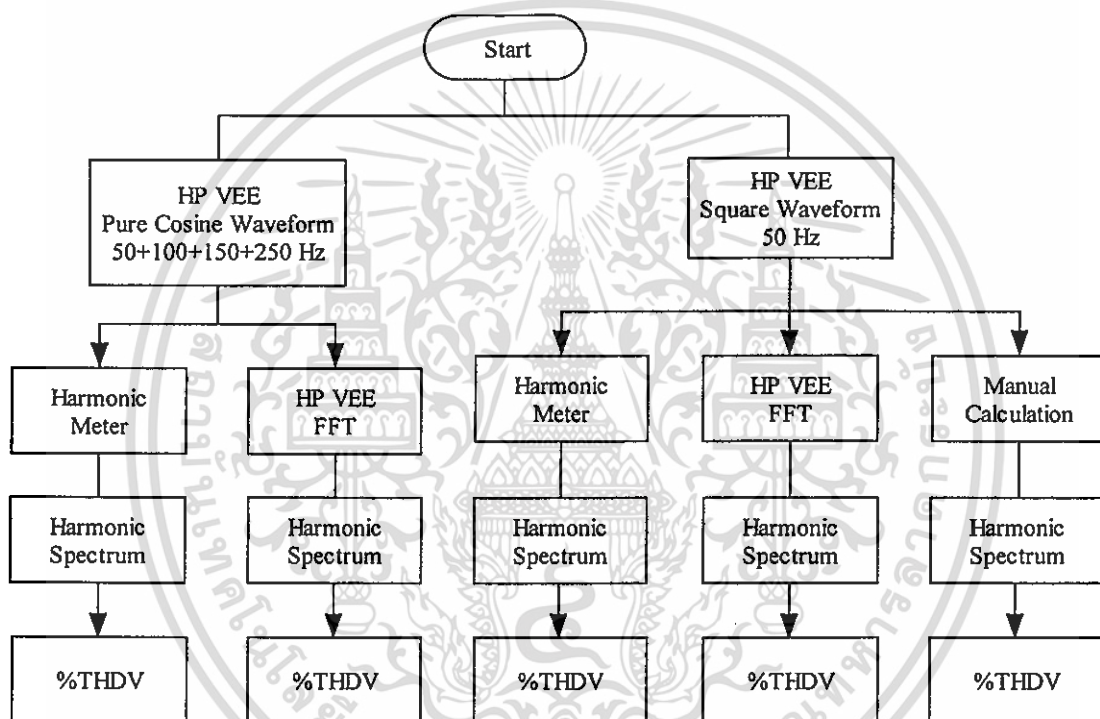
ลำดับฮาร์มอนิกส์	อัตราการแซมปลิง 256 จุด	อัตราการแซมปลิง 128 จุด
1	128.000	64.000
2	0.000	0.000
3	64.000	32.000
4	0.000	0.000
5	31.999	16.000
6	0.000	0.000
7	0.000037	0.000051
8	0.000	0.000
9	0.000001	0.000002
10	0.000	0.000
11	0.000006	0.000005
%THDV =	55.901714590	55.901734220

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ด้วยสัญญาณทดสอบที่สร้างขึ้นจาก HP VEE ได้ผลการทดลองคือ เครื่องวัดฮาร์มอนิกส์เมื่อปรับอัตราการแซมปลิงให้มีความแตกต่างกันที่ความละเอียด 256 จุด และ 128 จุด ผลการทดลองปรากฏว่าได้ค่า %THDV ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ในการทดลองลำดับต่อไปทั้งหมดจะเลือกอัตราการแซมปลิงที่ความละเอียด 128 จุด เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ และพื้นที่บนหน่วยความจำแรม และสามารถทำให้เครื่องมือทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ได้เร็วขึ้น ประมาณการเวลาคำนวณขั้นสูงสุดขณะที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต เบอร์ 80C186EB ในอัตราการแซมปลิงความละเอียดข้อมูล 128 จุด ใช้เวลาในประมวลผลรวมทั้งหมดประมาณ 28 วินาที

4.4 การทดลองเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์เปรียบเทียบ HP VEE ด้วยสัญญาณทราบค่าที่สร้างขึ้น

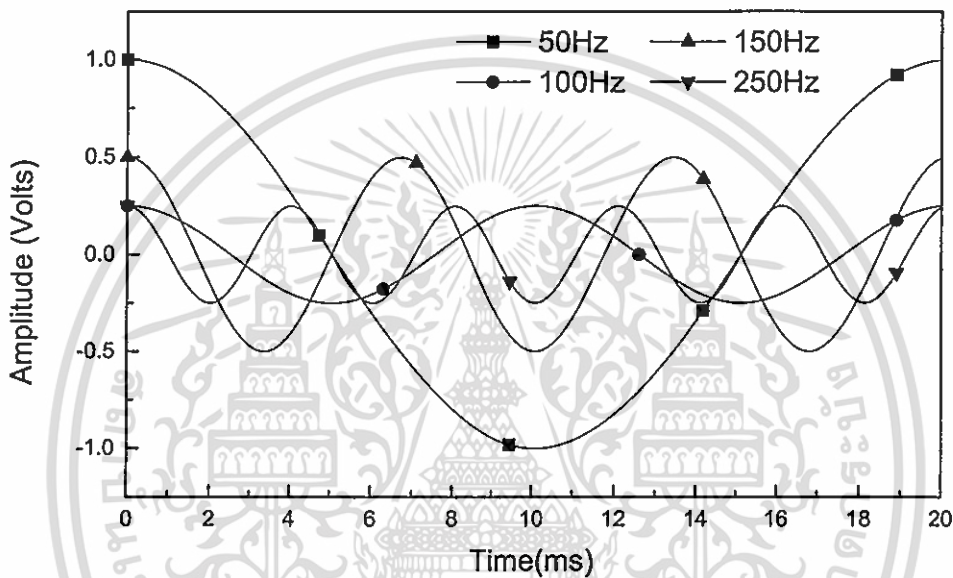
การทดลองด้วยการสร้างสัญญาณในรูปแบบที่แตกต่างกันและทราบค่าด้วย HP VEE อัตราการแซมปลิง 128 จุด เพื่อทดสอบเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ การทดลองเริ่มจากการสร้างสัญญาณในรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นและทำการวัด โดยใช้เครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ นำสัญญาณชนิดเดียวกันทำการวัดโดยใช้ HP VEE คำนวณ FFT บันทึกผลการทดลอง ขั้นตอนการทำงานแสดงด้วยแผนผังต่อไปนี้



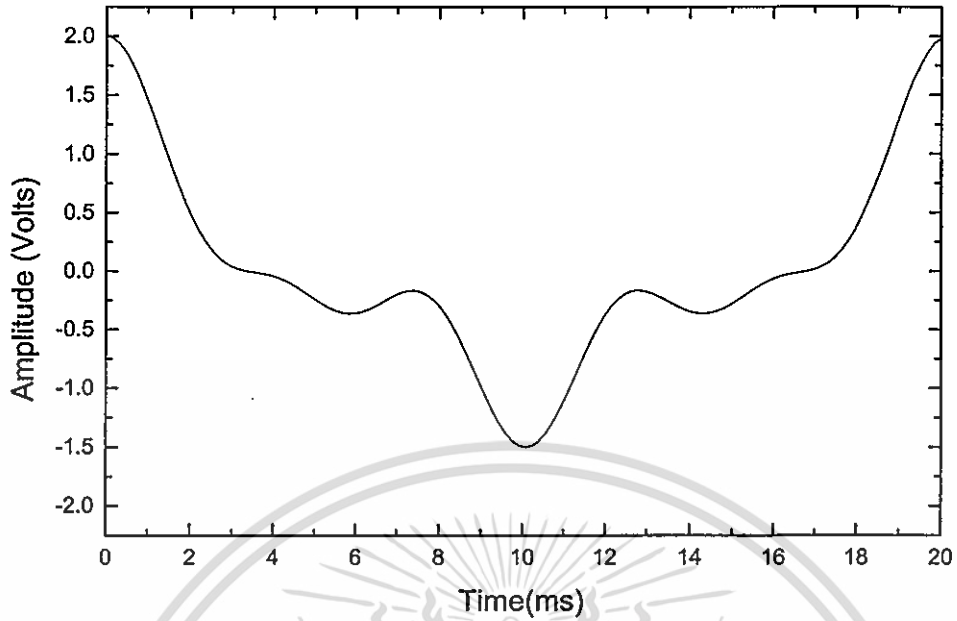
รูปที่ 4.16 แผนผังการทดลองเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์เปรียบเทียบ HP VEE ด้วยสัญญาณทราบค่าที่สร้างขึ้น

4.4.1 สัญญาณโคไซน์

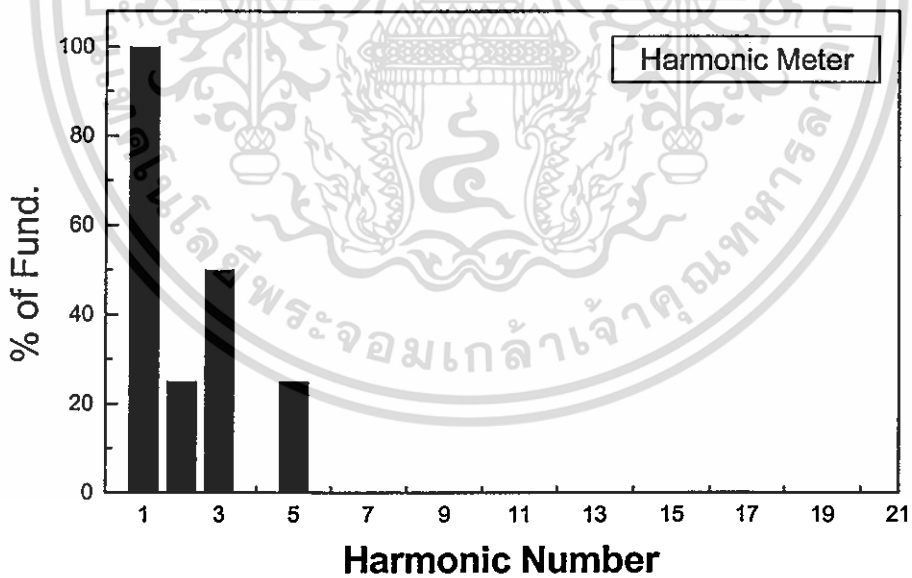
การทดลองด้วยการสร้างสัญญาณ โคไซน์บริสุทธิ์ที่นำมาผสมกันด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ 100 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ ด้วยขนาดแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน คือ 1 โวลต์ 0.25 โวลต์ 0.5 โวลต์ และ 0.25 โวลต์ ตามลำดับ ซึ่งรูปสัญญาณ โคไซน์ที่มีความถี่แตกต่างกัน และการผสมสัญญาณ โคไซน์ แสดงดังรูปต่อไปนี้ และแสดงกราฟสเปกตรัมจากการประมวลผลด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ เปรียบเทียบการคำนวณด้วย HP VEE ดังรูปในลำดับต่อไป



รูปที่ 4.17 สัญญาณโคไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 100 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์

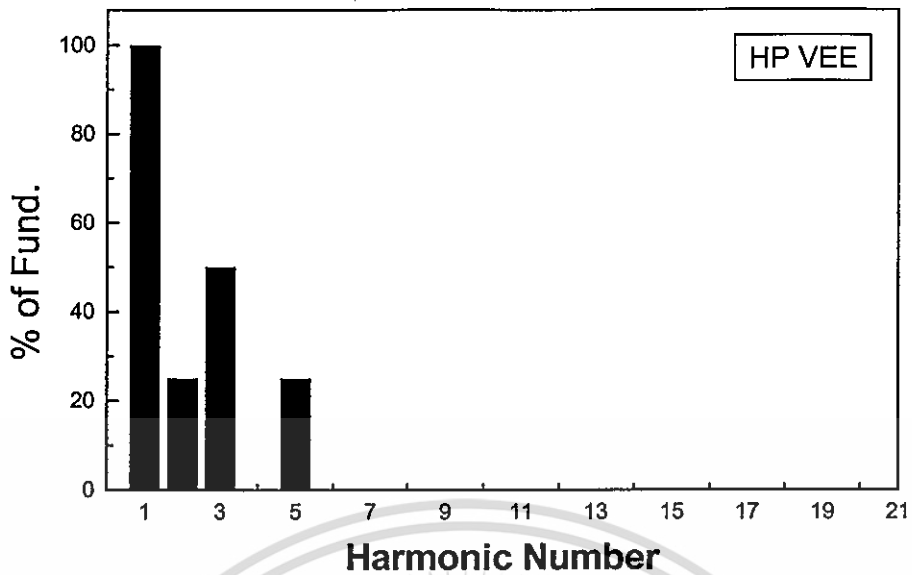


รูปที่ 4.18 การรวมสัญญาณ โคไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 100 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.19 กราฟสเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของผลรวมสัญญาณ โคไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 100 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ ของเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของผลรวมสัญญาณ โคไซน์บริสุทธิ์ 50 เฮิรตซ์ 100 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ จากการประมวลผลด้วย HP VEE

ตารางที่ 4.2 ลำดับฮาร์มอนิกส์ของผลการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์และ HP VEE ของสัญญาณ โคไซน์

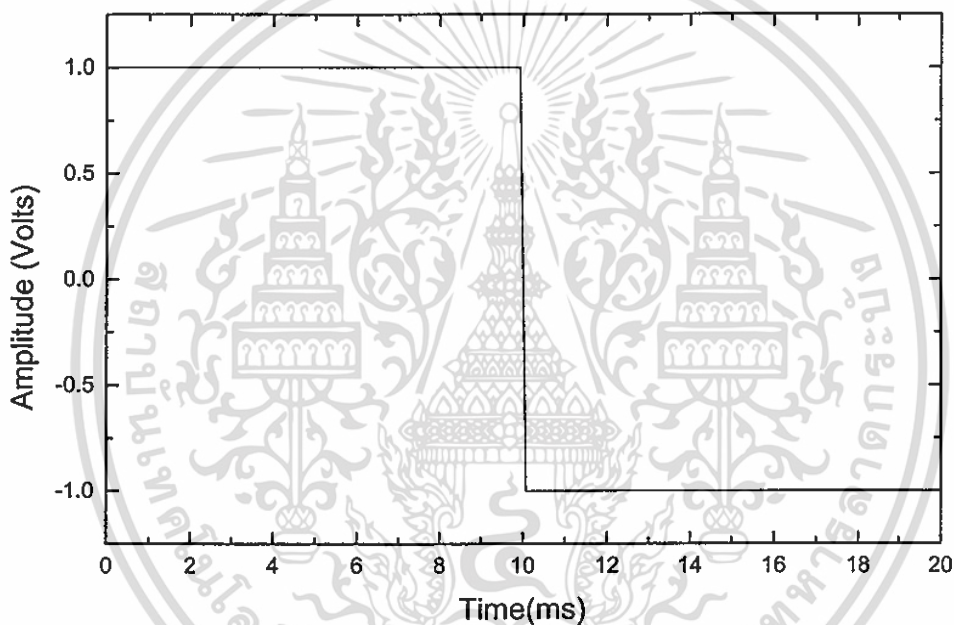
ลำดับฮาร์มอนิกส์	เครื่องวัดฮาร์มอนิกส์	HP VEE จำนวน FFT
1	63.999	63.999
2	15.999	15.999
3	31.999	31.999
4	0.000003	0.000003
5	16.000	16.000
6	0.000016	0.000016
7	0.000020	0.000020
8	0.000021	0.000021
9	0.000039	0.000039
10	0.000005	0.000005
11	0.000048	0.000048
%THDV =	61.237238870	61.237243570

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

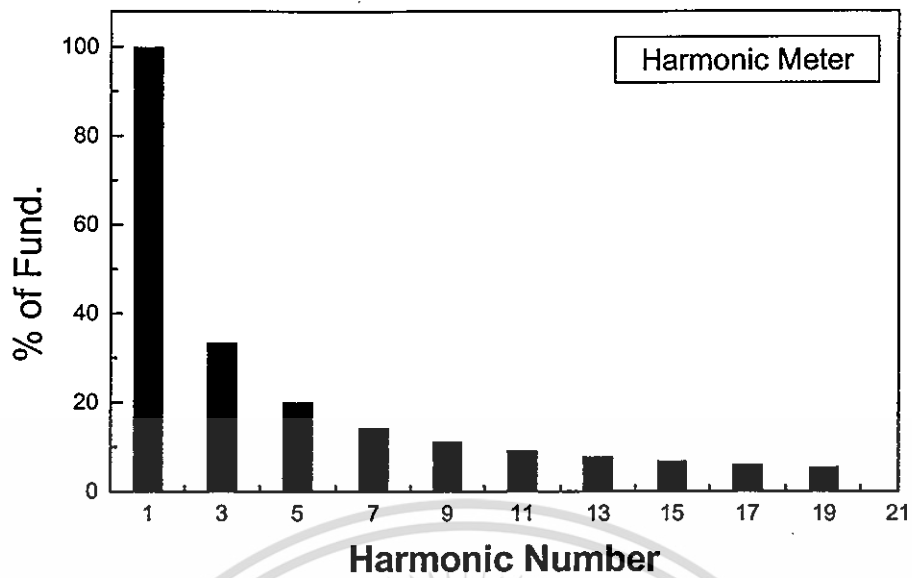
การทดลองวัดสัญญาณ โคไซน์ที่สร้างขึ้นปรากฏผลดังตารางที่ 4.2 ซึ่งเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์สามารถประมวลผลได้ใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับ HP VEE จำนวนแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม

4.4.2 สัญญาณสี่เหลี่ยม

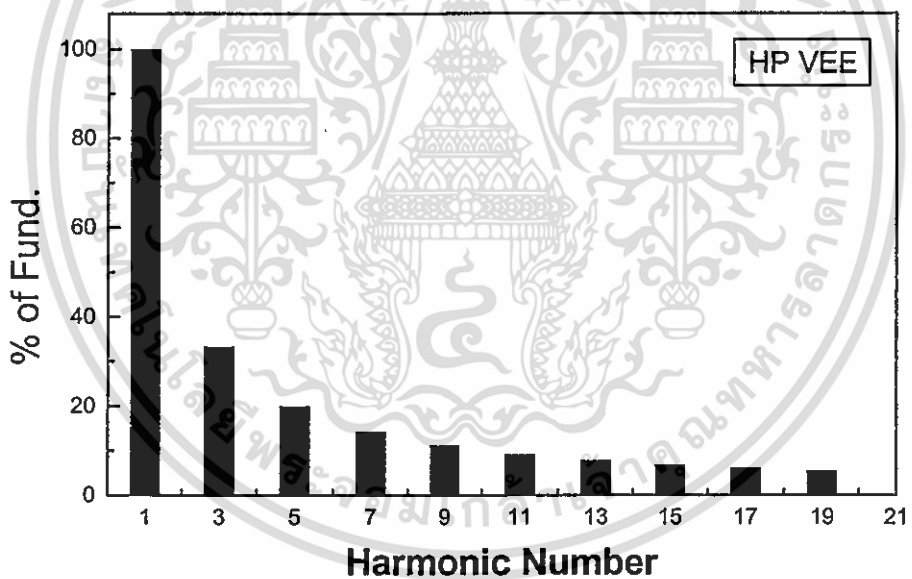
ลำดับต่อมาในการทดลองคือการนำสัญญาณสี่เหลี่ยมที่สร้างขึ้นจาก HP VEE ทำการทดลองวัดด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วย HP VEE และเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยมือตามสมการอนุกรมฟูเรียร์ แสดงการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.21 สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม

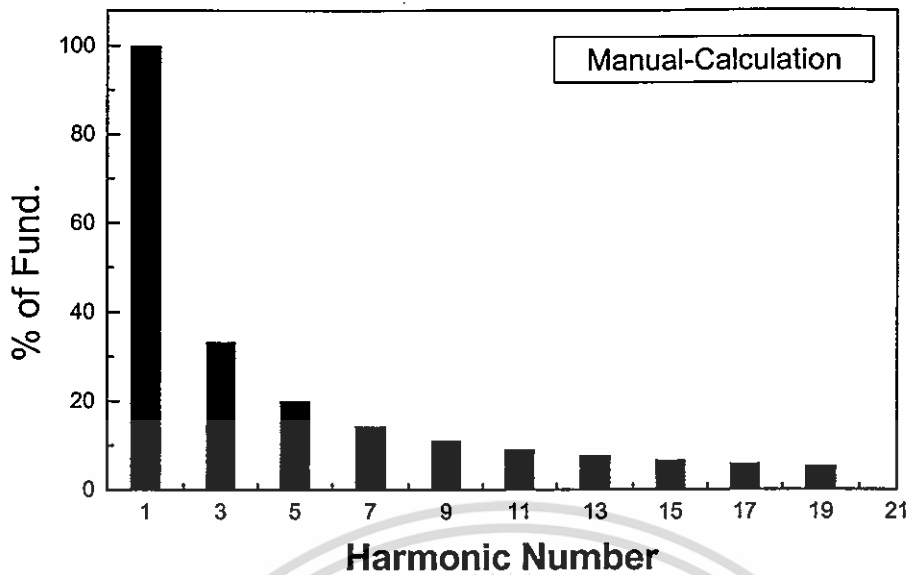


รูปที่ 4.22 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ประมวลผลด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์



รูปที่ 4.23 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ประมวลผลด้วย HP VEE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ประมวลผลการคำนวณด้วยมือตามสมการอนุกรมฟูเรียร์

ตารางที่ 4.3 ลำดับฮาร์มอนิกส์ของผลการคำนวณเปรียบเทียบเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ โปรแกรม HP VEE และการคำนวณสมการอนุกรมฟูเรียร์ของสัญญาณสี่เหลี่ยม

ลำดับฮาร์มอนิกส์	เครื่องวัดฮาร์มอนิกส์	HP VEE คำนวณ FFT	การคำนวณด้วยมือสมการอนุกรมฟูเรียร์
1	81.500	81.502	81.496
2	0.008	0.011	0.000
3	27.190	27.182	27.165
4	0.002	0.008	0.000
5	16.338	16.326	16.299
6	0.006	0.011	0.000
7	11.692	11.693	11.643
8	0.006	0.003	0.000
9	9.129	9.126	9.055
10	0.008	0.006	0.000
11	7.501	7.498	7.409
%THDV =	48.318258260	48.300150070	47.527748280

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณด้วยทฤษฎีอนุกรมฟูเรียร์ตามสมการที่ (2.8) และ (2.9) เริ่มจากการอินทิเกรตสมการที่ (2.8) และ (2.9) ทั้งทางด้านซ้ายและขวาในช่วง $-\pi$ ถึง π เมื่อคาบครบรอบ $T = 2\pi$ ดังนั้นจะสามารถแสดงรายละเอียดการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ ตามสมการในรูปทั่วไปดังต่อไปนี้

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} y(t) dt \quad (4.1)$$

พื้นที่ใต้กราฟในช่วง $-\pi$ ถึง π เป็นศูนย์ ดังนั้น $a_0 = 0$

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} y(t) \cos ntdt \\ &= \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^0 (-k) \cos ntdt \right] + \left[\int_0^{\pi} (k) \cos ntdt \right] \\ &= \frac{1}{\pi} \left[-\frac{k}{n} \sin(nt) \Big|_{-\pi}^0 + \frac{k}{n} \sin(nt) \Big|_0^{\pi} \right] = 0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} y(t) \sin ntdt \\ &= \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^0 (-k) \sin ntdt \right] + \left[\int_0^{\pi} (k) \sin ntdt \right] \\ &= \frac{1}{\pi} \left[\frac{k}{n} \cos(nt) \Big|_{-\pi}^0 - \frac{k}{n} \cos(nt) \Big|_0^{\pi} \right] \\ &= \frac{k}{n\pi} [\cos 0 - \cos(-n\pi) - \cos(n\pi) + \cos 0] \end{aligned} \quad (4.3)$$

เนื่องจาก $\cos(-A) = \cos(A)$ และ $\cos 0 = 1$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{k}{n\pi} (1 - \cos(n\pi) - \cos(n\pi) + 1) \\ &= \frac{k}{n\pi} (2 - 2\cos(n\pi)) \\ &= \frac{2k}{n\pi} (1 - \cos(n\pi)) \end{aligned} \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $\cos \pi = -1$, $\cos 2\pi = 1$, $\cos 3\pi = -1$ ดังนั้น

$$\cos(n\pi) = \begin{cases} -1, & n = 1, 3, 5, 7, \dots \\ 1, & n = 2, 4, 6, 8, \dots \end{cases} \text{ และ } (1 - \cos(n\pi)) = \begin{cases} 2, & n = 1, 3, 5, 7, \dots \\ 0, & n = 2, 4, 6, 8, \dots \end{cases}$$

ดังนั้น

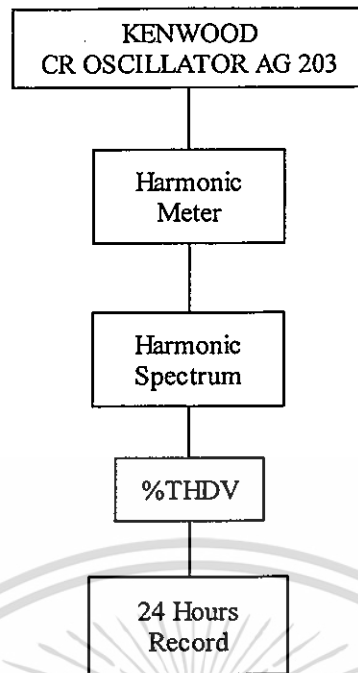
$$b_n = \frac{4k}{n\pi}, n = 1, 3, 5, 7, \dots \quad (4.5)$$

เมื่อ k ขนาดของแรงดันไฟฟ้า

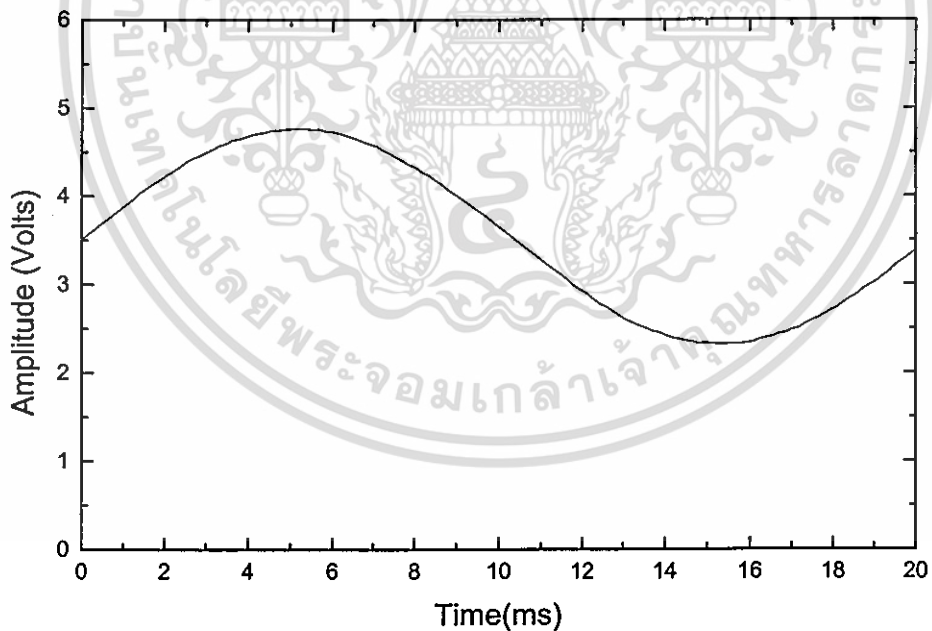
ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมสามารถคำนวณและแสดงผลการคำนวณแยกเป็นลำดับฮาร์มอนิกส์ และเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ ดังตารางที่ 4.3

4.5 การทดลองเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์จากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน KENWOOD CR OSCILLATOR AG-203

การทดลองด้วยการนำแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐานแทนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับปกติโดยทั่วไปและไม่มีโหลดทุกชนิดต่อพ่วง เพื่อเป็นการทดสอบเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์เมื่อทดลองวัดแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐานที่มีรูปสัญญาณเป็นรูปไซน์บริสุทธิ์ เมื่อทำการวัดผลที่ได้คือสัญญาณรูปไซน์จะต้องมีรูปทรงใกล้เคียงรูปไซน์บริสุทธิ์มากที่สุด และผลการวัดฮาร์มอนิกส์ควรอ่านค่าเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ได้ใกล้เคียงกับสัญญาณไซน์บริสุทธิ์ที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม HP VEE ดังนั้นเมื่อทดลองบันทึกผลการวัดไว้ระยะเวลาหนึ่งผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ควรจะมีลักษณะที่คงที่สม่ำเสมอ เนื่องจากไม่มีโหลดคิงกระแสไฟให้เกิดความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ขึ้น ขั้นตอนการทำงาน และผลการทดลองแสดงด้วยแผนผังและรูปภาพในลำดับต่อไปนี้



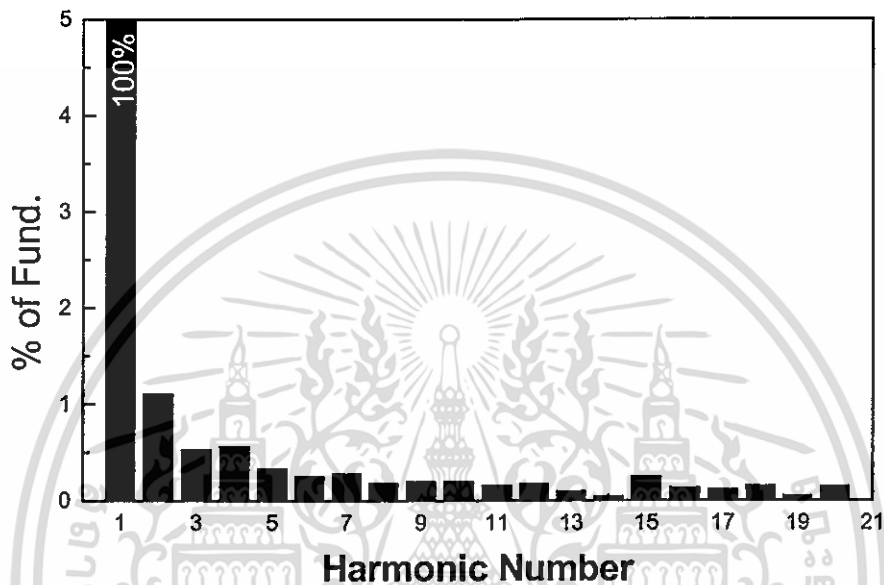
รูปที่ 4.25 แผนผังการทดลองเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์จากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน



รูปที่ 4.26 สัญญาณรูปไซน์จากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน

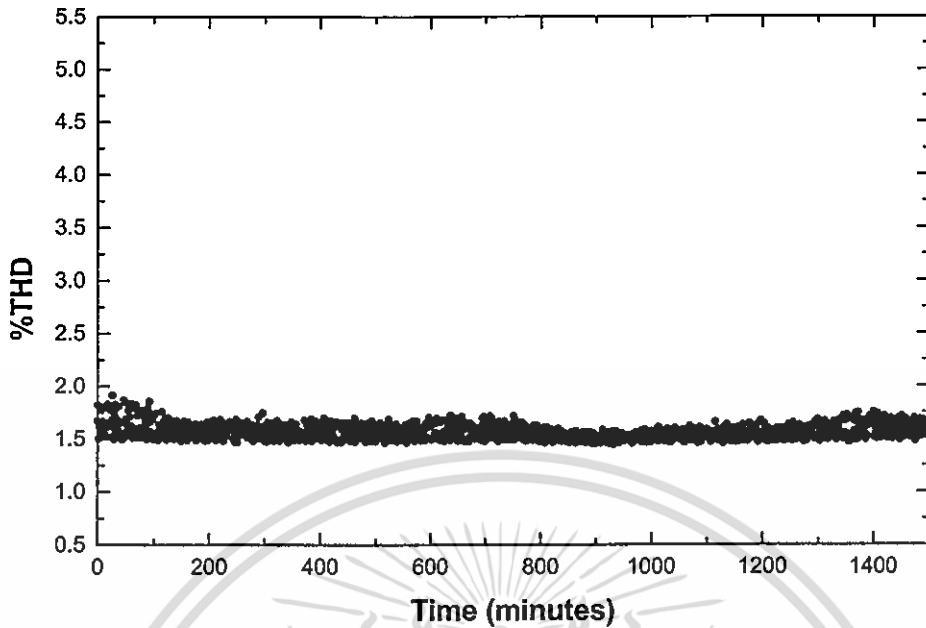
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการประมวลผลด้วยเครื่องวัดฮาร์โมนิกพบว่าลำดับฮาร์โมนิกที่เป็นลำดับคี่ เช่น ลำดับที่สาม มีขนาดแอมพลิจูดต่ำกว่าลำดับคู่อย่างเด่นชัด เนื่องจากไม่มีโหนดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้น ต่อพ่วง เพราะโหนดประเภทนี้จะให้กำเนิดกระแสฮาร์โมนิกที่เป็นลำดับคี่เป็นส่วนใหญ่ เช่น ฮาร์โมนิกลำดับที่สาม และลำดับที่ห้า ดังนั้นกราฟแสดงลำดับฮาร์โมนิกจะเป็นลักษณะดังรูปซึ่งเมื่อ เครื่องมือประมวลผลเสร็จจะแสดงผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิก คือ 1.682953789 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.27 กราฟสเปกตรัมฮาร์โมนิกของสัญญาณจากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน KENWOOD

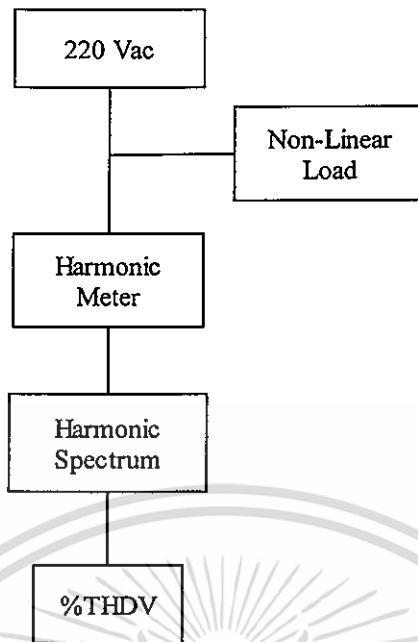
เมื่อทำการทดลองวัดสัญญาณจากแหล่งสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐานด้วยเครื่องวัดฮาร์โมนิก ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง พร้อมทำการบันทึกสัญญาณทุก 2 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาทำการถ่าย ข้อมูลจากหน่วยความจำแรมบนบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ซึ่งผลการบันทึกเมื่อสร้าง เป็นกราฟแล้วแสดงผลการทดลองดังนี้



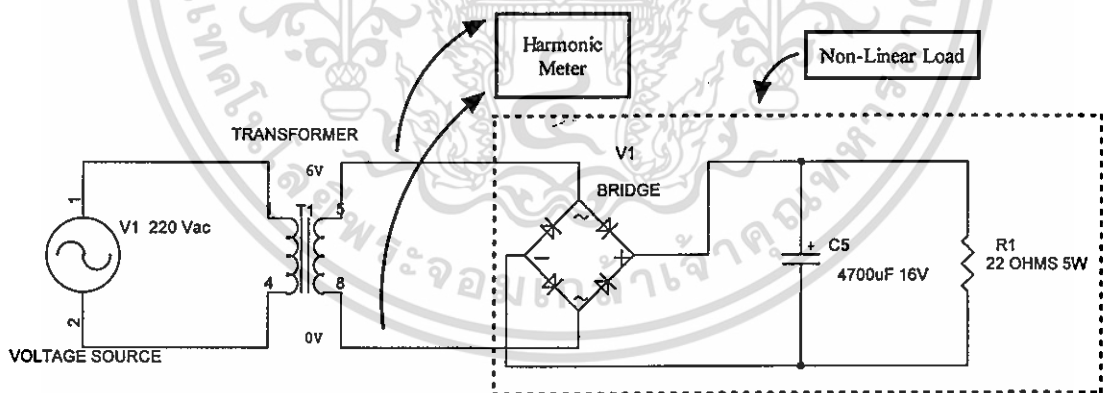
รูปที่ 4.28 ผลการทดลองเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์เมื่อทำการบันทึกผลการวัดจากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน KENWOOD ต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง

4.6 การวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับปกติที่มีโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้นต่อพ่วง

การทดลองลำดับต่อไปนี้ได้้นำเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับปกติที่จุดใช้งาน โดยทั่วไป สถานที่คือบ้านพักอาศัย ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ส่งให้ผู้บริโภคใช้งานจริง ในการทดลองได้ทำการสร้างอุปกรณ์อย่างง่ายที่ประกอบด้วยโหลดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้น ได้แก่ วงจรเรียงกระแสด้วยไดโอด และตัวเก็บประจุ โหลดลักษณะนี้พบได้มากในอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตช์ซึ่งในพีซีคอมพิวเตอร์ เมื่อประกอบวงจรและต่อเข้ากับเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ที่จุดแรงดันต่ำของหม้อแปลงพบว่าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อผ่านหม้อแปลงแล้วถูกโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้นดึงกระแสปริมาณสูงทำให้รูปร่างของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับผิดไปจากสัญญาณรูปไซน์ รูปแสดงวงจรและรูปสัญญาณที่เกิดความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์แสดงดังต่อไปนี้

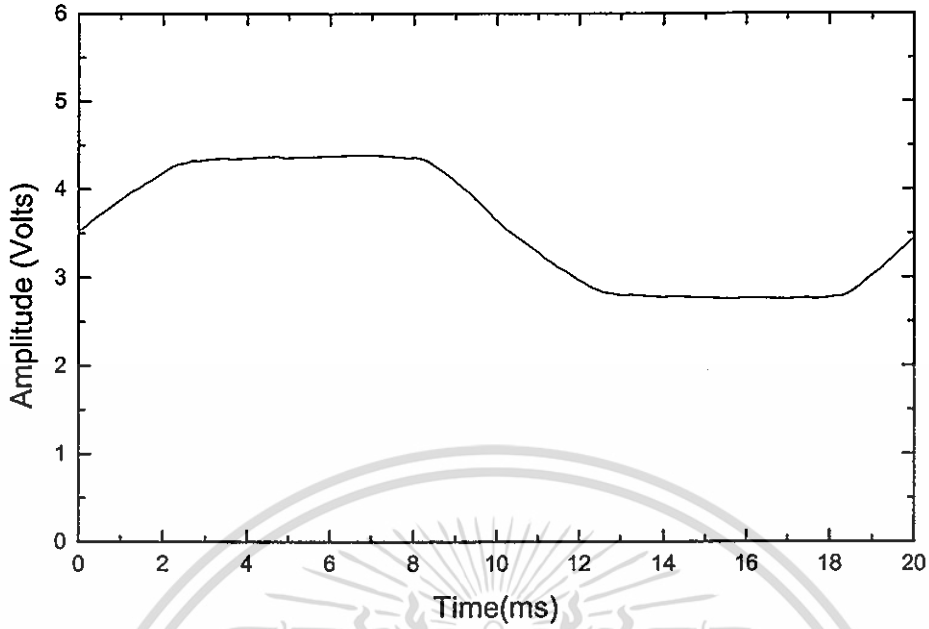


รูปที่ 4.29 แผนผังการทดลองการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของสัญญาณจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับปกติที่มีโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้นต่อพ่วง

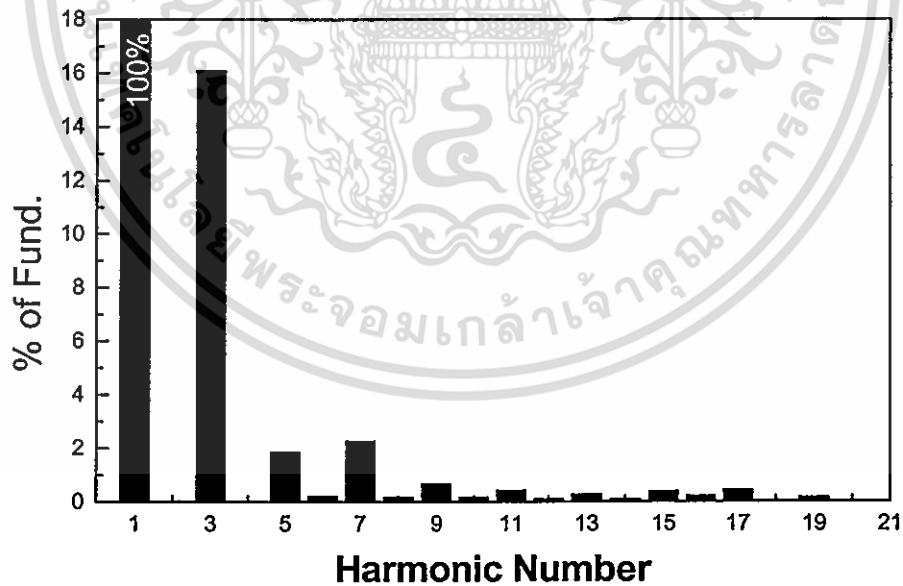


รูปที่ 4.30 วงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดและตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ต่อพ่วงกับโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 4.32 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับต่อพ่วงกับโหลดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการประมวลผลด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์พบว่าลำดับฮาร์มอนิกส์ที่เป็นลำดับคี่มีขนาดแอมพลิจูดสูงมากกว่าลำดับคู่อย่างเด่นชัด เนื่องจากมีโพลชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้นต่อพ่วง และโพลประเภทนี้จะให้กำเนิดกระแสฮาร์มอนิกส์ที่เป็นลำดับคี่เป็นส่วนใหญ่ เช่น ฮาร์มอนิกส์ลำดับที่สาม ซึ่งจากรูปกราฟฮาร์มอนิกส์ลำดับที่สาม มีแอมพลิจูดสูงมาก และฮาร์มอนิกส์ที่เป็นลำดับคี่ต่อมาจะมีขนาดแอมพลิจูดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับฮาร์มอนิกส์ลำดับคู่ เมื่อเครื่องมือประมวลผลแล้วเสร็จจะแสดงผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับคือ 16.443796041 เปอร์เซ็นต์

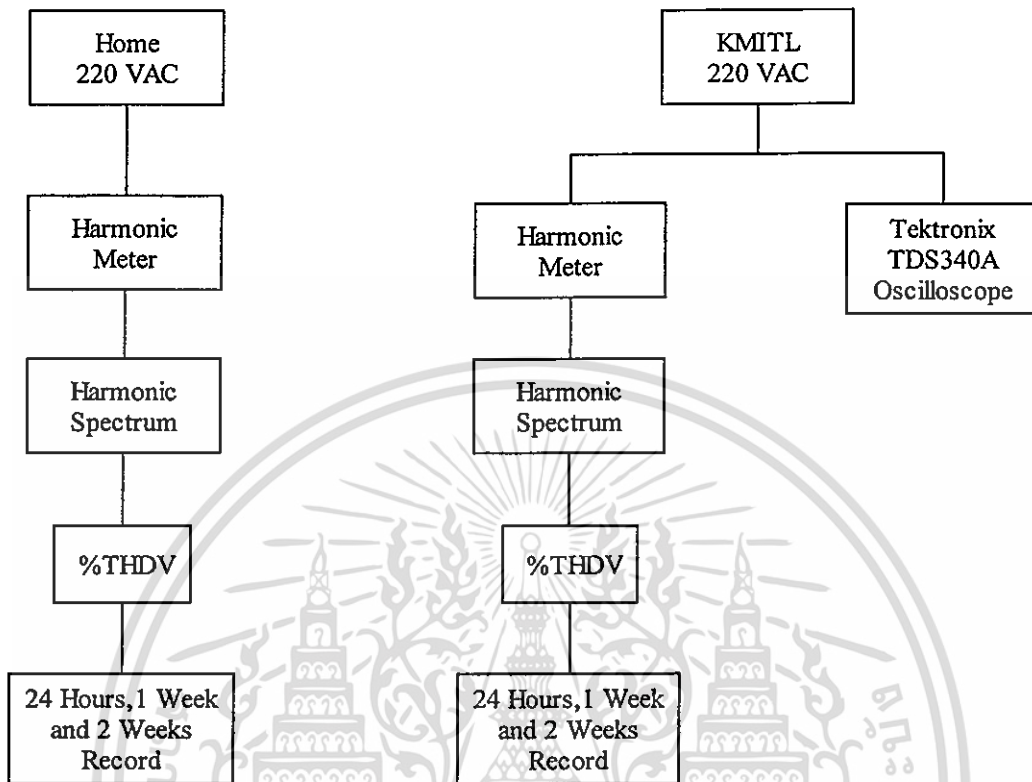
4.7 การวัดเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์เมื่อจำแนกตามสถานที่

ขั้นตอนการทดลองในลำดับที่หนึ่งคือการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการใช้งานตลอดเวลาแบ่งตามสถานที่คือบ้านพักอาศัยและบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง การวัดแบ่งออกเป็นการบันทึกผลต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง สัปดาห์ที่หนึ่งและสัปดาห์ที่สอง

ลำดับที่สองคือการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการใช้งานตลอดเวลาสถานที่คือสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง การวัดแบ่งออกเป็นการบันทึกผลต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง สัปดาห์ที่หนึ่งและสัปดาห์ที่สอง

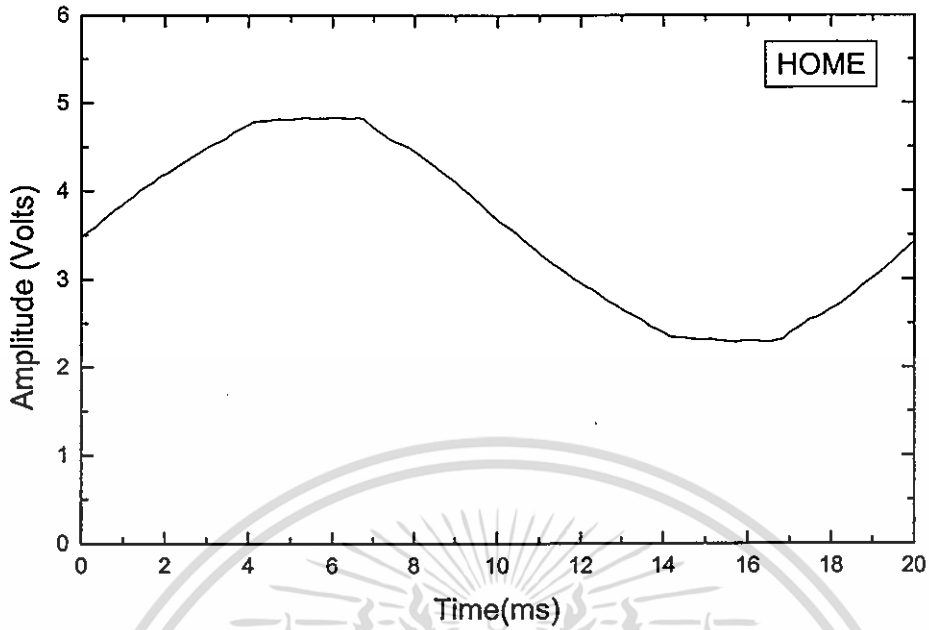
4.7.1 สถานที่ทดลอง: บ้านพักอาศัย

การทดลองวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในบริเวณบ้านพักอาศัยทั่วไปจะทำการวัดและบันทึกผลแยกเป็นสามระยะเวลาคือ ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง สัปดาห์ที่หนึ่ง และสัปดาห์ที่สอง เก็บผลการทดลองมาสร้างเป็นกราฟผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ ซึ่งสัญญาณที่วัดได้เป็นสัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจุดที่พิจารณาว่ามีผู้ใช้งานจากโพลที่เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไป เช่น พัดลม โทรทัศน์ วิทยุ เครื่องคัมน้ำร้อน พืชคอมพิวเตอร์ และ เครื่องปรับอากาศ และผลการวัดทั้งหมดแสดงดังต่อไปนี้

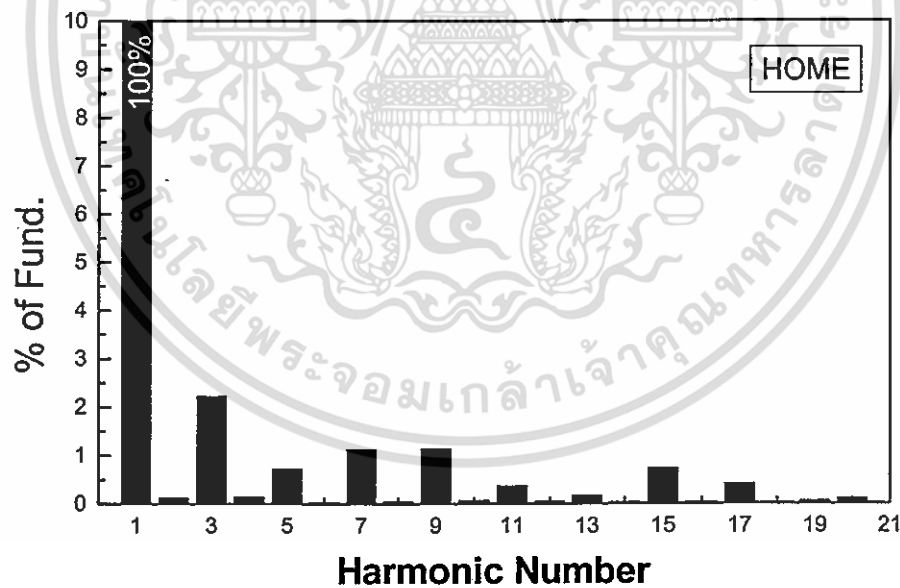


รูปที่ 4.33 แผนผังการวัดเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์เมื่อจำแนกตามสถานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 ผลการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2548 เวลา 21.10 น.

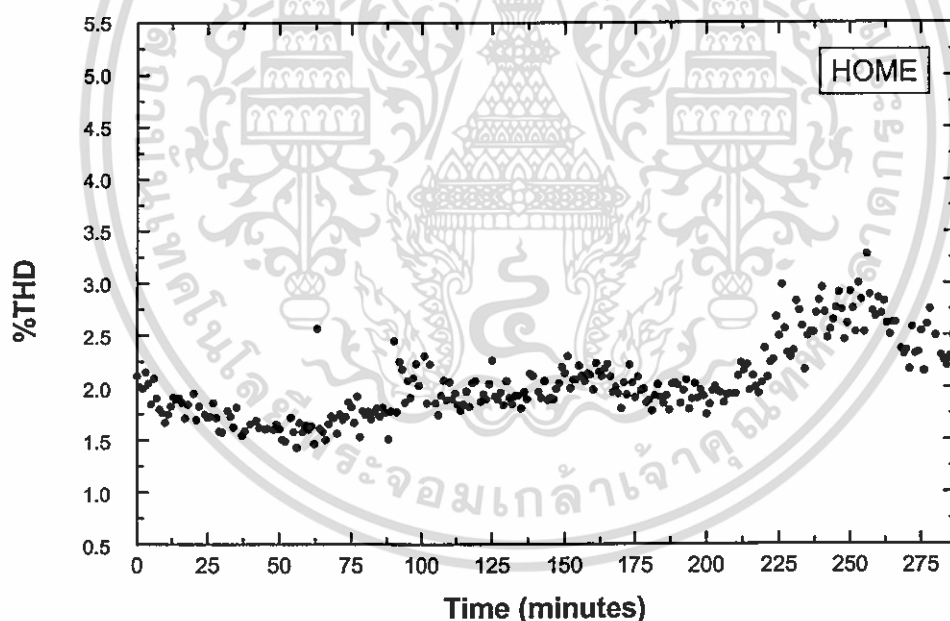


รูปที่ 4.35 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2548 เวลา 21.10 น.

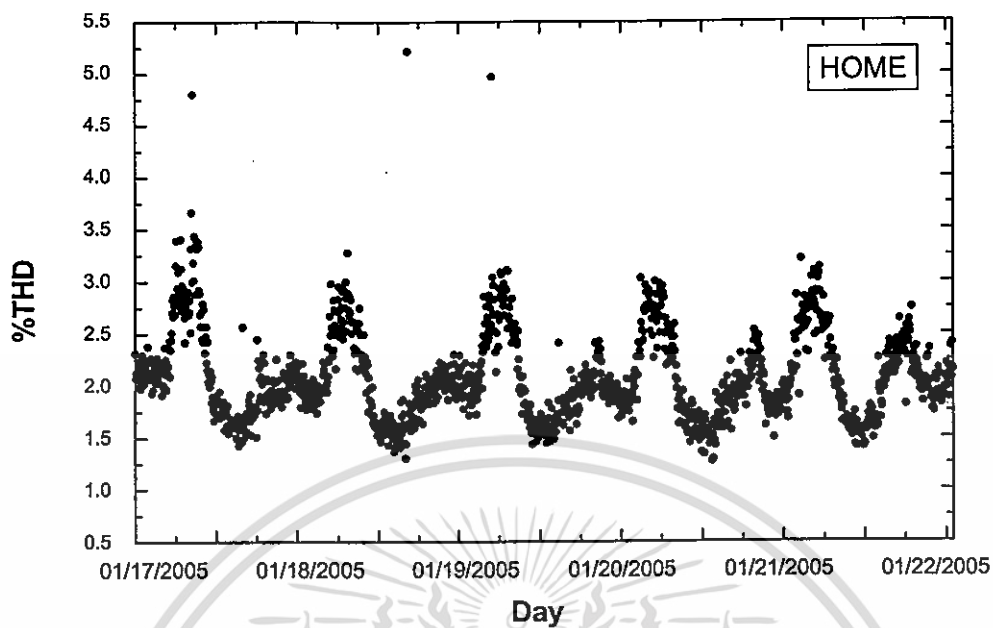
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลำดับฮาร์มอนิกส์ทั้งหมดเมื่อทำการประมวลผลด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์พบว่าลำดับฮาร์มอนิกส์ที่เป็นลำดับที่มีขนาดแอมพลิจูดสูงมากกว่าลำดับคู่ เนื่องจากโหลดที่ต่อพ่วงส่วนใหญ่เป็นโหลดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้น และโหลดประเภทนี้จะให้กำเนิดกระแสฮาร์มอนิกส์ที่เป็นลำดับคู่เป็นส่วนใหญ่ จากรูปกราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ลำดับที่สาม มีแอมพลิจูดสูงมารองลงมาจากความถี่หลักมูล 50 เฮิร์ตซ์ ผลการวัดสัญญาณที่วัดจากบ้านพักอาศัยพบว่าฮาร์มอนิกส์ลำดับที่สาม มีค่าความเพี้ยนในระดับที่ถือว่าไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่นำโหลดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้นมาต่อพ่วงในหัวข้อที่ผ่านมา และเมื่อเครื่องมือประมวลผลแล้วเสร็จจะแสดงผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับคือ 3.085792738 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับ 16.443796041 เปอร์เซ็นต์ ของการทดลองวัดโหลดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่สร้างขึ้น โดยตรง

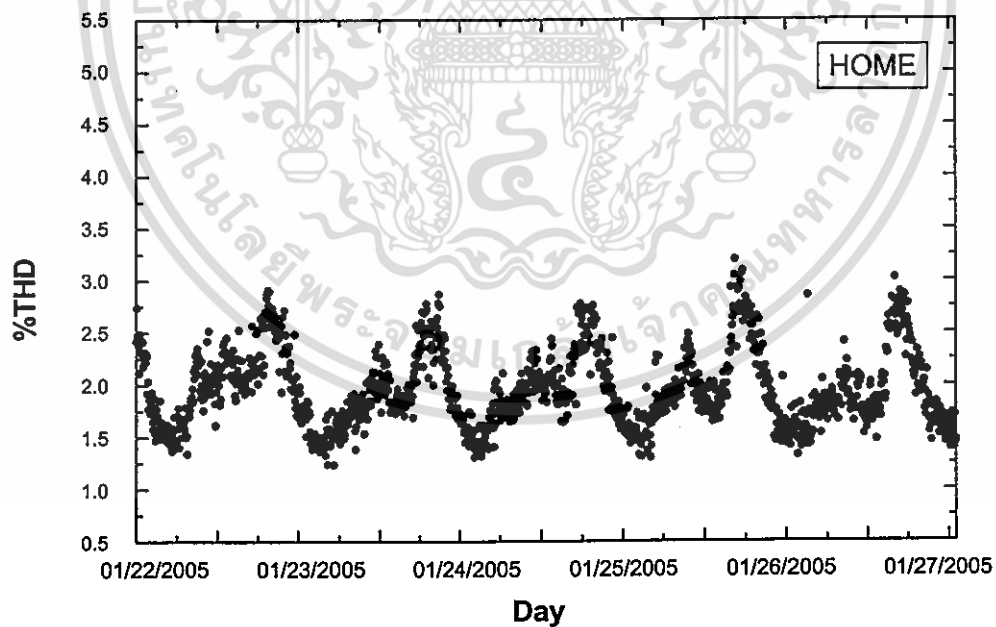
เมื่อทำการทดลองด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง และหนึ่งสัปดาห์ ตามลำดับผลการวัดแสดงได้คือ



รูปที่ 4.36 ผลการวัดต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง วันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2548 เวลา 00.00-23.55 น. ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที



รูปที่ 4.37 ผลการวัด วันที่ 17-22 มกราคม พ.ศ. 2548 ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที

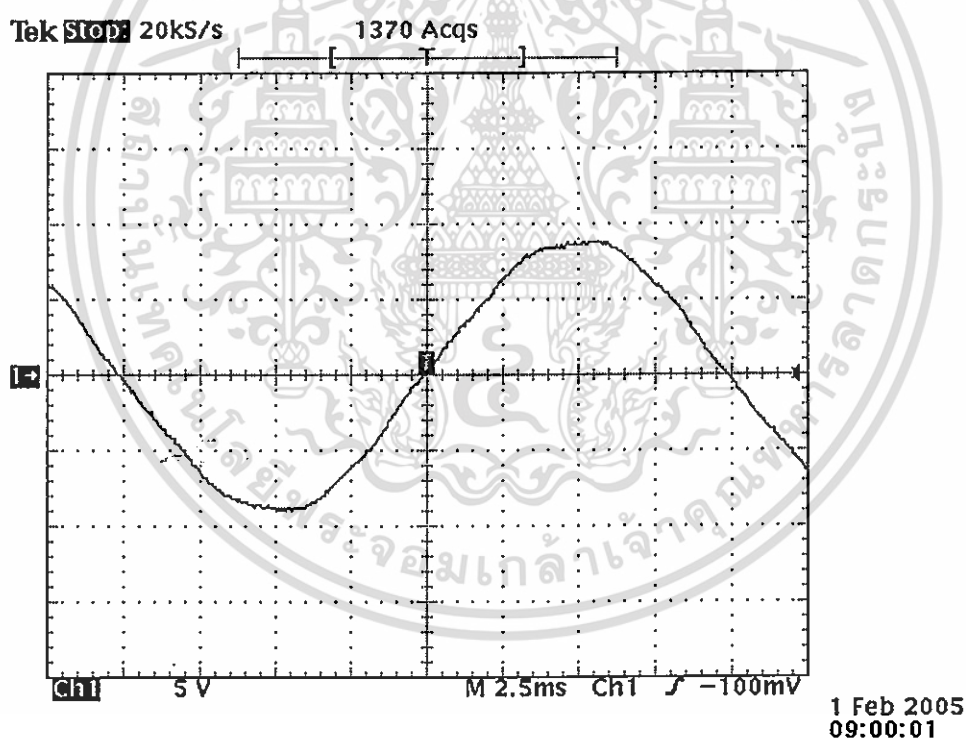


รูปที่ 4.38 ผลการวัด วันที่ 22-27 มกราคม พ.ศ. 2548 ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที

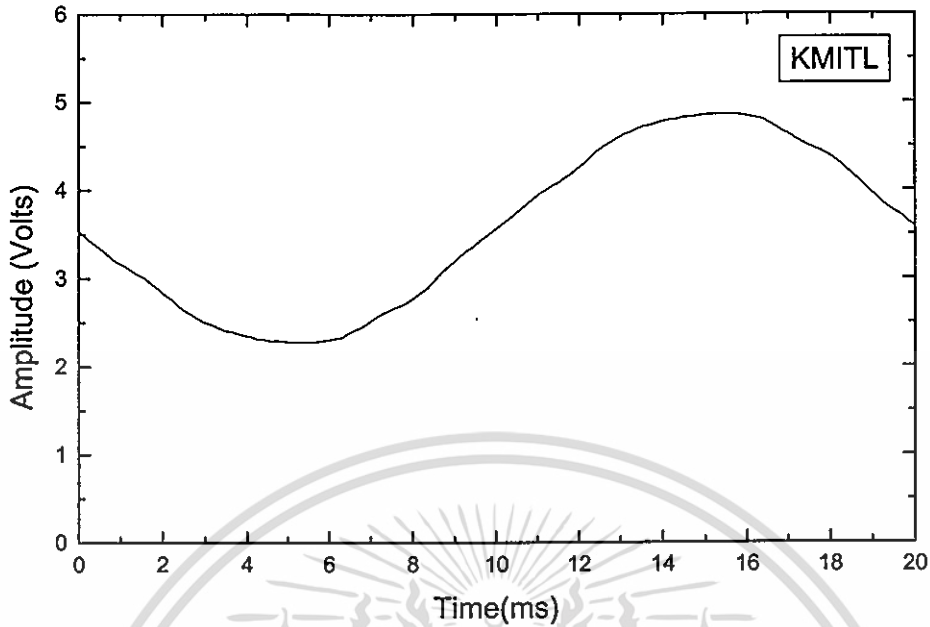
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 สถานที่ทดลอง: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

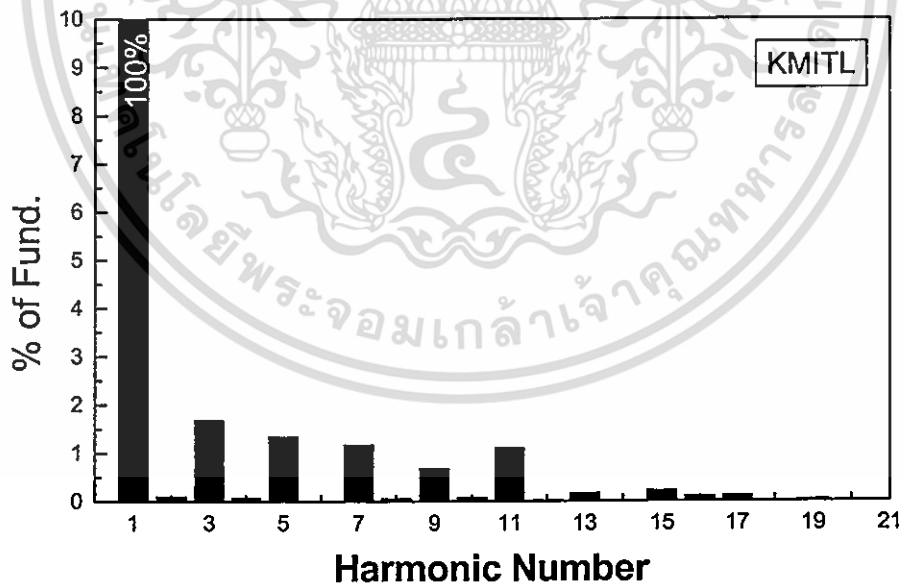
การทดลองวัดผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จุดจำหน่ายไฟฟ้า ชั้นที่ 3 ตึกคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ทำการวัดและบันทึกผลแยกเป็นสองระยะเวลาคือ ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมงและระยะเวลาสัปดาห์ที่หนึ่ง และสัปดาห์ที่สอง เช่นเดียวกับบ้านพักอาศัยและเก็บผลการทดลองมาสร้างเป็นกราฟผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์ ซึ่งสัญญาณที่วัดเป็นสัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีโหนดที่เป็นเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์ต่อพ่วงจำนวนมาก เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และเครื่องปรับอากาศ ผลการวัดในส่วนของรูปสัญญาณได้ทำการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องออสซิลโลสโคป และผลการบันทึกข้อมูลทั้งหมดแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.39 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อวัดด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4.40 ผลการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เวลา 09.00 น.
ด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์

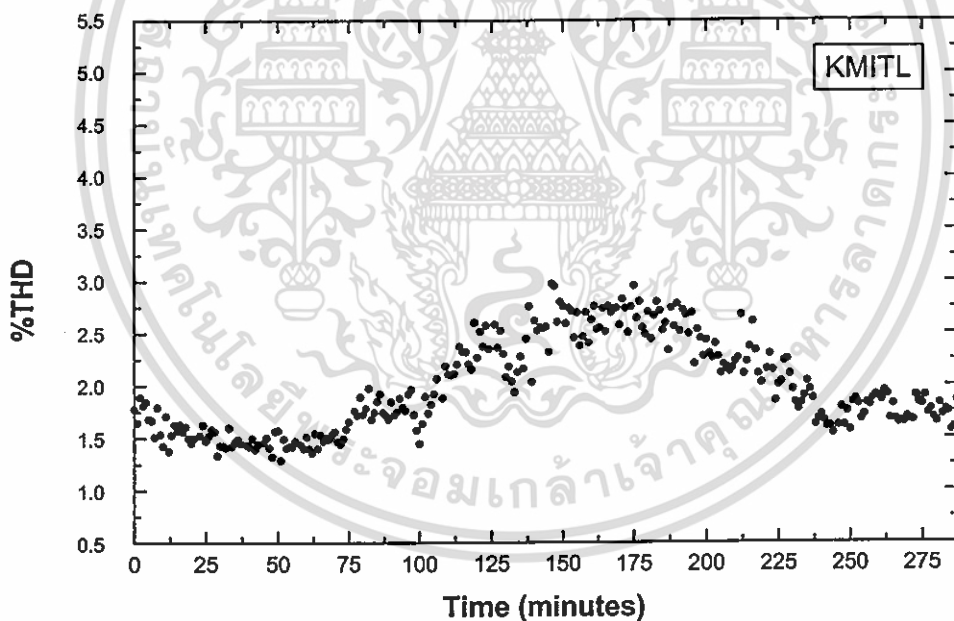


รูปที่ 4.41 กราฟสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
วันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เวลา 09.00 น.

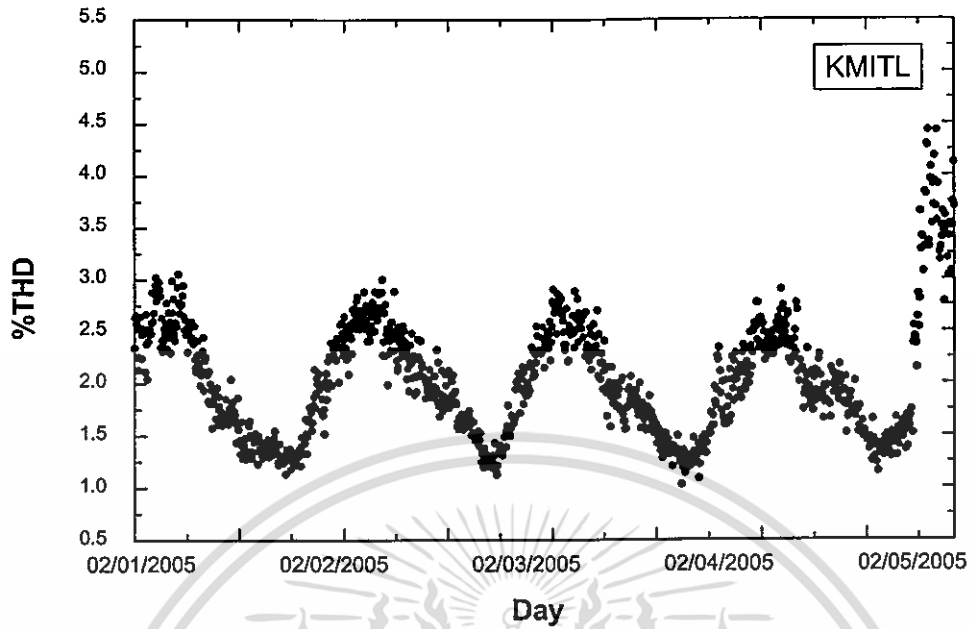
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลำดับฮาร์มอนิกส์ทั้งหมดเมื่อทำการประมวลผลด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์พบว่าลำดับฮาร์มอนิกส์ที่เป็นลำดับที่มีขนาดแอมพลิจูดสูงมากกว่าลำดับคู่ เนื่องจากโหลดที่ต่อพ่วงส่วนใหญ่เป็นเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์ที่ประกอบไปด้วยโหลดชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้น และโหลดประเภทนี้จะให้กำเนิดกระแสฮาร์มอนิกส์ที่เป็นลำดับที่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากรูปกราฟฮาร์มอนิกส์ลำดับที่สาม มีขนาดแอมพลิจูดสูงมารองลงมาจากความถี่หลักมูล 50 เฮิร์ตซ์ และฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ห้า มีขนาดแอมพลิจูดรองลงมาตามลำดับ ซึ่งจากผลการวัดสัญญาณที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีค่าความเพี้ยนในระดับที่ถือว่าไม่สูงมากเนื่องจากช่วงเวลาที่บันทึกสัญญาณเป็นช่วงเวลาเข้าการต่อพ่วง โหลดที่ทำให้สัญญาณเกิดความเพี้ยนมีปริมาณไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาหลังสับนาฬิกา ไปแล้วที่ปริมาณการใช้โหลดจะเพิ่มมากขึ้น และเมื่อทำการประมวลผลแล้วเสร็จจะแสดงผลในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับคือ 2.855533406 เปอร์เซ็นต์

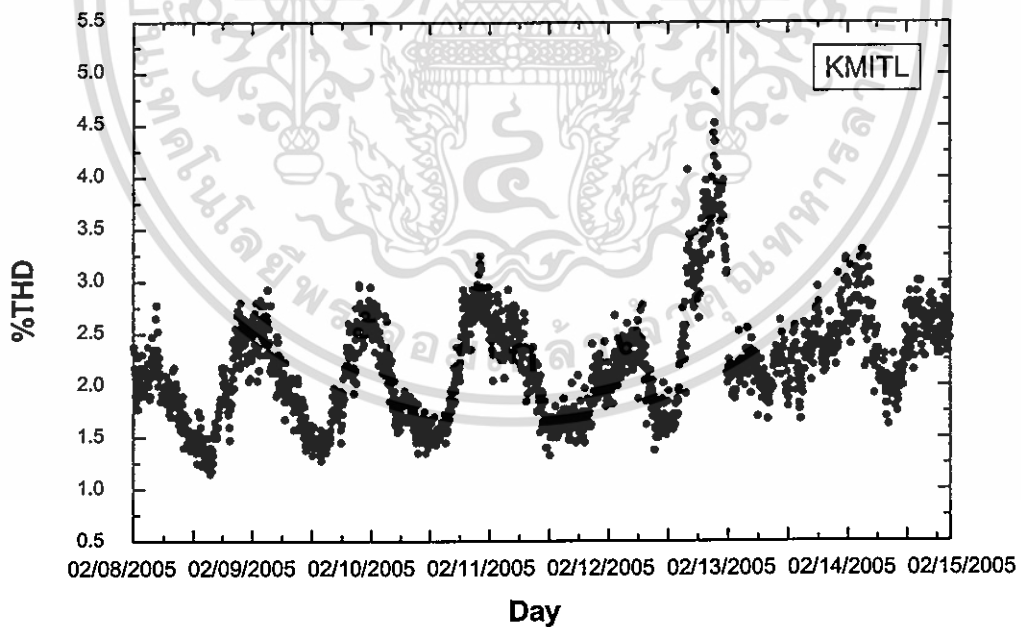
เมื่อทำการทดลองโดยวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับต่อเนื่องเป็นระยะเวลา ประมาณ 24 ชั่วโมง และหนึ่งสัปดาห์ ตามลำดับผลการวัดแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4.42 ผลการวัดต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง วันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เวลา 00.00-23.55 น. ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที



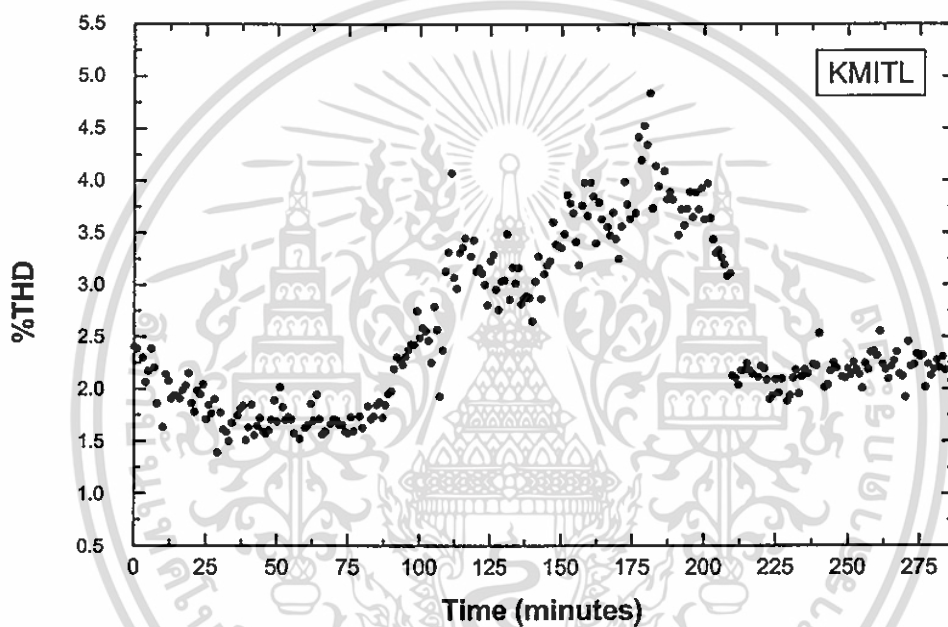
รูปที่ 4.43 ผลการวัด วันที่ 1-5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที



รูปที่ 4.44 ผลการวัด วันที่ 8-15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการบันทึก วันที่ 8-15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที พบว่า วันอาทิตย์ที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 กราฟมีลักษณะสูงมากกว่าปกติ และมีลักษณะเดียวกับผลการวัดเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์ วันที่ 1-5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ในวันเสาร์ที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 กราฟมีลักษณะสูงมากกว่าปกติก่อนที่การบันทึกจะหยุดเนื่องจากไฟฟ้าดับ จากการตรวจสอบพบว่าช่วงวันเสาร์ และอาทิตย์เป็นวันที่นักศึกษาปริญญาตรีนำเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในบริเวณที่เครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ทำการบันทึกค่าเป็นจำนวนมากกว่าในวันปกติที่มีการเรียนการสอน รูปต่อไปนี้แสดงตัวอย่างผลการวัดเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง เมื่อวันอาทิตย์ที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548



รูปที่ 4.45 ผลการวัดต่อเนื่องประมาณ 24 ชั่วโมง วันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 เวลา 00.00-23.55 น. ตลอดช่วงเวลาทุก 5 นาที

4.8 แสดงการทำงานของเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์เมื่อเก็บบันทึกข้อมูลและโอนข้อมูลผ่านจอมอนิเตอร์พีซีคอมพิวเตอร์

k	Real Part	Imaginary Part
0	374120.000000	0.000000
1	-61102.202560	27841.479299
2	-14.369882	-96.769969
3	1107.257626	339.682545
4	-25.733283	71.290159
5	-312.275584	-244.637218
6	-34.517149	-8.077873
7	-788.396889	-553.303121
8	15.566717	77.675779
9	-435.954114	240.181908
10	-60.071391	9.125119
11	99.209348	158.310080
12	34.853740	-90.397089
13	67.707619	-126.625576
14	-37.764448	4.746972
15	-164.679368	-232.907583
16	-24.727922	22.928932

รูปที่ 4.46 ผลการคำนวณจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ชั้นที่หนึ่ง

k	Magnitude Spectrum	Phase Spectrum
0	374084.000000	0.000000
1	67231.360804	-36.571872
2	26.013442	-64.958150
3	1060.305456	-26.908314
4	28.509280	-54.634340
5	409.766111	-12.763871
6	129.358573	-82.101186
7	936.407941	-46.982155
8	84.412337	-72.599130
9	515.818062	49.143010
10	54.782801	-86.706944
11	96.459904	69.046824
12	93.447884	45.075286
13	221.453397	-30.304369
14	27.573535	9.396229
15	270.821561	37.462812
16	24.033478	-63.220663

รูปที่ 4.47 ผลการคำนวณจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ชั้นที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

114	41.491641	87.464283
115	109.589524	43.051944
116	1.025787	89.479365
117	166.325809	-1.683729
118	74.227552	-29.231995
119	708.792005	-75.220725
120	117.045862	-77.669077
121	1020.337885	84.887063
122	17.148838	63.672175
123	191.104830	-76.829791
124	95.916195	13.846657
125	1205.335351	1.903110
126	189.327368	75.509139
127	66422.692498	-87.983247

%Thdv (Magnitude 64 order) = 2.829640947

Sent complete

รูปที่ 4.48 ผลการคำนวณจากวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ชั้นที่สาม

Start	Date	Time	%THDV
0001	22/04/05	17.40	2.627025481
0002	22/04/05	17.45	2.671630103
0003	22/04/05	17.50	2.616544511
0004	22/04/05	17.55	2.458436182
0005	22/04/05	18.00	2.482501336
0006	22/04/05	18.05	2.594918198
0007	22/04/05	18.10	2.405587818
0008	22/04/05	18.15	2.606146753
0009	22/04/05	18.20	2.491845380
0010	22/04/05	18.25	2.684492706
0011	22/04/05	18.30	2.552207406
0012	22/04/05	18.35	2.737064723
0013	22/04/05	18.40	2.604552197
0014	22/04/05	18.45	2.797481403

รูปที่ 4.49 การโอนข้อมูลผลการบันทึกเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้า กระแสลัดจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ผ่านพีซีคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองและผลการทดลองเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทดสอบเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ให้มีเสถียรภาพในการทำงานและประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่ออกแบบไว้และเป็นไปตามมาตรฐาน เมื่อสร้างวงจรตามที่ออกแบบสำเร็จ เครื่องสามารถวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ได้ และคำนวณได้ถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบการคำนวณด้วย HP VEE และคำนวณด้วยมือ ทดลองทำการบันทึกผลการวัดต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณหนึ่งสัปดาห์ตลอดทุก 5 นาที ผลปรากฏว่าเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์สามารถบันทึกข้อมูล วัน เดือน ปี และผลการคำนวณได้ถูกต้อง

การสรุปผลการทดลองแบ่งออกได้ตามลำดับขั้นตอนในการทดลอง โดยรายละเอียดแสดงดังผลการทดลอง และสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองในลำดับที่หนึ่งเป็นการทดลองเพื่อทดสอบมาตรฐานการทำงานของเครื่องมือวัดวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการแซมปลิงที่มีความเหมาะสม ผลจากการทดลองโดยใช้เครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ทำการปรับอัตราการแซมปลิงเป็น 256 จุด และ 128 จุด ผลการคำนวณเมื่อใช้สัญญาณที่สร้างจาก HP VEE ความถี่ 50 เฮิรตซ์ 150 เฮิรตซ์ และ 250 เฮิรตซ์ ขนาดแอมพลิฟายด์ 1 โวลต์ 0.5 โวลต์ และ 0.25 โวลต์ ตามลำดับ สร้างด้วย HP VEE ผสมสัญญาณและคำนวณด้วย HP VEE FFT เปรียบเทียบเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ ผลการคำนวณแสดงด้วยกราฟสเปกตรัม และตารางเปรียบเทียบได้ผลใกล้เคียงกัน แต่มีข้อแตกต่างกันเรื่องเวลาที่ใช้ในการคำนวณดังตัวอย่างแสดงตารางการเปรียบเทียบต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานเมื่อปรับอัตราการแซมปลิง

Sampling rate 256 points With 80C186EB 16 bit		Sampling rate 128 points With 80C186EB 16 bit	
%THDV	55.901714590	%THDV	55.901734220
Time(sec)	56	Time(sec)	28

การทดลองในลำดับที่สองเป็นการทดลองเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบ HP VEE ด้วยสัญญาณทราบค่าที่สร้างขึ้นวัดอุปสงค์เพื่อนำสัญญาณที่ทราบค่าเป็นตัวเปรียบเทียบผลการทดลอง การสร้างสัญญาณทราบค่าใช้ HP VEE เป็นเครื่องมือในการสร้าง และทำการวัดด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบผลการทดลองกับ HP VEE และในสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้ใช้การคำนวณด้วยมือประกอบในการเปรียบเทียบผลการทดลอง สัญญาณที่สร้างขึ้นมีดังนี้

สัญญาณ โคไซน์บริสุทธิ์ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ 100 เฮิร์ตซ์ 150 เฮิร์ตซ์ และ 250 เฮิร์ตซ์ ขนาดแอมพลิจูด 1 โวลต์ 0.25 โวลต์ 0.5 โวลต์ และ 0.25 โวลต์ ตามลำดับ ที่สร้างด้วย HP VEE ผสมสัญญาณและคำนวณด้วย HP VEE FFT เปรียบเทียบเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ ผลการคำนวณแสดงด้วยกราฟสเปกตรัมและตารางแสดงผล ค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์เมื่อคำนวณด้วย HP VEE FFT ได้ผล %THDV = 61.237243570 และค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์เมื่อคำนวณด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ %THDV = 61.237238870

สัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ขนาดแอมพลิจูด 1 โวลต์ สร้างสัญญาณด้วย HP VEE และคำนวณด้วย HP VEE FFT เปรียบเทียบเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ และการคำนวณด้วยมือตามสมการอนุกรมฟูเรียร์ ผลการคำนวณแสดงด้วยกราฟสเปกตรัมและตารางแสดงผล ค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์เมื่อคำนวณด้วย HP VEE FFT ได้ผล %THDV = 48.300150070 ค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์เมื่อคำนวณด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ %THDV = 48.318258260 และค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ เมื่อคำนวณด้วยมือตามสมการอนุกรมฟูเรียร์ %THDV = 47.527748280

การทดลองในลำดับที่สามเป็นการทดลองโดยการนำเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ทำการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์จากแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน KENWOOD CR OSCILLATOR AG-203 วัดอุปสงค์เพื่อทำการวัดแหล่งจ่ายสัญญาณที่มีรูปสัญญาณใกล้เคียงสัญญาณรูปไซน์มากที่สุดและไม่มีโหนดต่อพ่วง สรุปผลการทดลองเมื่อใช้เครื่องวัดฮาร์มอนิกส์บันทึกผลต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทุก 2 นาที ปรากฏผลคือผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์มีระดับที่ต่ำและไม่เปลี่ยนแปลงมากตลอดเวลา 24 ชั่วโมง กราฟผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ที่ทำการบันทึกลักษณะเป็นเส้นตรง

การทดลองในลำดับที่สี่เป็นการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับปกติที่มีโหนดชนิดไม่เป็นเชิงเส้นต่อพ่วง วัดอุปสงค์เพื่อทดลองผลการวัดเมื่อใช้แหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่เป็นจุดต่อพ่วงโหนดปกติ และนำโหนดที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วยโหนดชนิดไม่เป็นเชิงเส้น ได้แก่ วงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดและตัวเก็บประจุ ทำการวัดความเพี้ยนที่จุดแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเป็นจุดที่โหนดคั้งกระแสไฟฟ้ามาก และเป็นจุดที่สัญญาณรูปไซน์เกิดความเพี้ยนไปมากที่สุด ปรากฏผลการทดลองคือกราฟสัญญาณรูปไซน์ที่วัดได้มีลักษณะเป็นกราฟสัญญาณรูปไซน์ที่มีลักษณะหวัคคมากกว่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับโหนดทั่วไป เมื่อคำนวณจากเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์แล้วกราฟสเปกตรัมแสดงฮาร์มอนิกส์ลำดับที่

สามที่มีขนาดแอมป์ลิจูดสูงมากประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับความถี่หลักมูล และผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ที่วัดได้มีค่า 16.443796041 เปอร์เซ็นต์

การทดลองในลำดับที่ห้าเป็นการทดลองการวัดเปอร์เซ็นต์ผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์เมื่อจำแนกตามสถานที่ โดยการแบ่งสถานที่ออกเป็นสองสถานที่คือบ้านพักอาศัยและสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วัดถูประสงค์เพื่อต้องการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณหนึ่งสัปดาห์และบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดตลอดระยะเวลาทุก 5 นาที การแบ่งสถานที่ทำการทดลองเนื่องจากสถานที่แต่ละแห่งมีพฤติกรรมการบริโภคไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ผลการทดลองจำแนกตามสถานที่สรุปผลได้ดังนี้

สถานที่ทดลองบ้านพักอาศัย เมื่อทำการทดลองวัดฮาร์โมนิกส์บริเวณจุดต่อฟ่วงโหลคการใช้งานตามปกติ กราฟสัญญาณรูปไซน์ที่วัดได้มีลักษณะเพี้ยนไปจากรูปไซน์บริสุทธิ์โดยเฉพาะบริเวณส่วนยอดมีลักษณะหัวตัด กราฟสเปกตรัมแสดงฮาร์โมนิกส์ลำดับที่สาม มีขนาดแอมป์ลิจูดสูงที่สุดรองจากความถี่หลักมูลมีส่วนประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการบันทึกผลการวัดฮาร์โมนิกส์อย่างต่อเนื่องประมาณหนึ่งสัปดาห์พบว่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ในช่วงกลางคืนมีลักษณะเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลาประมาณศูนย์ถึงหนึ่งนาฬิกาและลดลงต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณสามถึงสี่นาฬิกา ในช่วงกลางวันตั้งแต่หกนาฬิกาผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์เริ่มสูงขึ้นและขึ้นสูงสุดประมาณช่วงสิบสองถึงสิบสามนาฬิกา และในช่วงเวลากลางวันเมื่อผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์เพิ่มสูงสุดนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงสูงสุดในเวลากลางคืนผลปรากฏว่าช่วงกลางวันมีระดับต่ำกว่ากลางคืน และลักษณะผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์จะมีรูปแบบใกล้เคียงกันทุกวัน เมื่อทำการทดลองซ้ำในสัปดาห์ที่สองผลปรากฏในลักษณะเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่หนึ่ง

จากการออกสำรวจในภาคสนามพบว่าบริเวณใกล้เคียงแหล่งบ้านพักอาศัยในรัศมีประมาณ 100 เมตร มีสถานประกอบการ เช่น ร้านอาหาร คาราโอเกะ ร้านบริการอินเทอร์เน็ตและเกมคอมพิวเตอร์จำนวนมากที่มีผู้ใช้บริการสูงสุดในช่วงตั้งแต่หลังยี่สิบสองนาฬิกาเป็นต้นไป

อีกประการหนึ่งบริเวณบ้านพักอาศัยเป็นบริเวณที่หม้อแปลงที่ได้รับติดตั้งจากการไฟฟ้านครหลวงมีขนาดการจ่ายไฟฟ้าไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณสถาบันการศึกษาหรือบริเวณแหล่งที่ตั้งหน่วยงานและบริษัทประกอบการต่าง ๆ เป็นผลให้ในช่วงเวลาที่มีการใช้ปริมาณไฟฟ้าจากโหลคชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้นเป็นจำนวนมากทำให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์เพี้ยนไป

สถานที่ทดลองสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อทำการทดลองวัดฮาร์โมนิกส์บริเวณจุดจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการต่อฟ่วงโหลคใช้งานตามปกติในห้องปฏิบัติการ กราฟสัญญาณรูปไซน์ที่วัดได้มีลักษณะเพี้ยนไปจากรูปไซน์บริสุทธิ์เล็กน้อย โดยเฉพาะบริเวณส่วนยอดมีลักษณะหัวตัดและกราฟสเปกตรัมแสดงฮาร์โมนิกส์ลำดับที่สาม มีขนาดแอมป์ลิจูดสูงที่สุดรองจากความถี่หลักมูลมีส่วนประมาณ 1.8 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการบันทึกผลการวัดฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิกส์อย่างต่อเนื่องประมาณหนึ่งสัปดาห์พบว่าผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลาประมาณสิบสองนาฬิกาถึงสิบสี่นาฬิกาและลดลงต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณหนึ่งถึงสี่นาฬิกา ตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าช่วงเวลากลางวันมีระดับผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์สูงสุด และลดลงต่ำสุดในช่วงเวลากลางคืน และลักษณะผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์จะมีรูปแบบใกล้เคียงกันทุกวันในวันทำการ เมื่อทำการบันทึกต่อเนื่องถึงวันเสาร์และวันอาทิตย์ผลปรากฏว่าผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้นสูงสุดในวันเสาร์ช่วงเวลากลางวันเป็นปริมาณสูงกว่าในวันทำการปกติ จึงทำการทดลองซ้ำในสัปดาห์ที่สองผลปรากฏในลักษณะเช่นเดียวกับสัปดาห์ที่หนึ่งแต่ผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลากลางวันของวันอาทิตย์

จากผลการทดลองพบว่าบริเวณห้องปฏิบัติการในวันทำการปกติจะมีนักศึกษาเข้ามาทำการทดลองและใช้เครื่องมือในช่วงเวลาประมาณ สิบสองถึงสิบสามนาฬิกา ส่วนในเวลาอื่นมีการเรียนการสอนตามปกติ ดังนั้นปริมาณการใช้ไฟฟ้าในห้องที่มีการวัดผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์จึงมีปริมาณสูงสุดในช่วงกลางวันของทุกวันทำการ และในช่วงเวลาอื่นได้รับอิทธิพลจากการใช้ไฟฟ้าจากบริเวณใกล้เคียง และในช่วงกลางคืนไม่มีการเรียนการสอน ผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์ที่วัดได้จึงมีลักษณะลดต่ำลง และกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาเช้าของวันต่อไป

ในช่วงวันเสาร์หรืออาทิตย์ที่ผลการบันทึกมีขนาดของผลรวมความเข้มข้นสูงขึ้นผิดปกติมากกว่าวันทำการ เป็นผลมาจากมีกลุ่มนักศึกษาปริญญาตรี เข้ามาใช้ห้องปฏิบัติการเป็นจำนวนมาก และมีการนำเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์ส่วนตัวเข้ามาใช้งาน ส่งผลกระทบต่อผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์ในบริเวณที่มีการติดตั้งเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ทำให้ผลการบันทึกค่าผิดปกติไป และในวันหยุดที่ไม่มีการใช้ห้องปฏิบัติการผลปรากฏคือปริมาณผลรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์มีขนาดน้อยกว่าทุกวันในหนึ่งสัปดาห์ เช่นวันเสาร์ที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ดังแสดงในรูปที่ 4.44

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

การสร้างเครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ในลำดับแรกได้ทำการออกแบบโปรแกรมคำนวณแบบ ฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม ที่ทำงานบนเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์ และทำการออกแบบวงจรในส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 เมื่อโปรแกรมคำนวณออกแบบสำเร็จได้ทำการทดสอบบนเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้ผลถูกต้องตามที่ได้ออกแบบ เมื่อทดลองอัดโปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 51 ปัญหาที่พบคือบอร์ดไม่สามารถรองรับตัวแปรที่เป็นตัวเลขจำนวนจริง และฟังก์ชันการทำงานบางฟังก์ชันที่ไม่สามารถใช้ได้กับบอร์ดตระกูล 51 ขึ้นคอนต่อมาได้ทดลองเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันให้เป็นคำสั่งที่ไม่ซับซ้อนและลดขีดความสามารถของโปรแกรมลง

เหลือความละเอียดในการคำนวณแบบ 16 จุด ผลการทำงานสามารถใช้งานได้ในระดับหนึ่ง แต่การคำนวณในระดับความละเอียด 16 จุด เป็นความละเอียดที่น้อยเกินไป การออกแบบโปรแกรมจึงคงระดับความละเอียดในระดับ 128 จุด ขึ้นไป

ขั้นตอนต่อมาได้นำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ที่มีวงจรสำเร็จรูปมาทำการประกอบเป็นบอร์ดขึ้น ลำดับแรกเลือกใช้บอร์ดที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต เบอร์ 80C186EB เมื่อทดลองโปรแกรมคำนวณแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มผลปรากฏว่าสามารถทำงานได้ เมื่อมีการปรับแต่งโปรแกรมบางส่วนให้เหมาะสมกับ 80C186EB และทดลองวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ เครื่องวัดฮาร์มอนิกส์สามารถทำงานได้ถูกต้องและรวดเร็ว แต่ปัญหาที่พบคือบอร์ดที่ประกอบสำเร็จที่เลือกใช้ เบอร์ 80C186EB ยังไม่ได้รับการออกแบบเพื่อจำโปรแกรมแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มไว้ในตัว จึงต้องอัปเดตโปรแกรมใหม่ทุกครั้งที่ปลดกระแสไฟฟ้าหลักออกจากการใช้งาน

เมื่อทดลองเปลี่ยนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ด้วยการปรับเปลี่ยนวงจรและไมโครคอนโทรลเลอร์ นำเบอร์ 80C188EB แทนเบอร์ 80C186EB พบว่าวงจรของบอร์ดที่ประกอบขึ้นมาใหม่มีส่วนรองรับการจำโปรแกรมที่บันทึกลงไปได้ด้วยแบตเตอรี่สำรองชนิดลิเทียมเบอร์ CR2032 +3V ทำหน้าที่ในการรักษาโปรแกรมหลักแบบฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม เมื่อทดลองการทำงานผลปรากฏว่าวงจรในส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต สามารถทำงานได้ และทดลองปลดกระแสไฟฟ้าหลักออก พบว่าบอร์ดยังสามารถรักษาโปรแกรมหลักได้อย่างถูกต้อง แต่การทำงานในส่วนประมวลผลการคำนวณใช้เวลามากกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 80C186EB หนึ่งเท่าตัว

ในการคำนวณสำหรับส่วนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต สามารถเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ได้ทั้งสองเบอร์เนื่องจากในการทดสอบสามารถคำนวณได้ถูกต้อง มีความแตกต่างที่ชัดเจนคือเรื่องของเวลาในการคำนวณ ในส่วนของการจำโปรแกรมหลักในลำดับต่อมาสามารถปรับปรุงวงจรให้มีส่วนรองรับการจำโปรแกรมที่ทำการบันทึก ได้ทั้งสองเบอร์

ปัญหาที่พบเมื่อทำการทดลองวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์แบบต่อเนื่องพบว่าเกิดปัญหาในการบันทึกเมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้าเกิดขัดข้อง เช่น ไฟฟ้าดับ การบันทึกจะหยุดลงทันที หรือการเกิดภาวะของแรงดันเกินชั่วขณะ ทำให้เครื่องวัดฮาร์มอนิกส์บันทึกค่าผิดพลาด หรือหยุดการทำงาน

5.3 แนวทางการวิจัยและการประยุกต์ใช้ในอนาคต

การสร้างเครื่องวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีคุณสมบัติในการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันไฟฟ้า สามารถปรับให้ทำการวัดในรูปของผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสไฟฟ้าได้ ด้วยการ ใช้เครื่องมือวัดกระแส หรือหม้อแปลงวัดกระแสไฟฟ้า ส่งค่าเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าและทำการวัดด้วยเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ เพื่อหาค่าผลรวมความเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของกระแสไฟฟ้าได้

การวิจัยในอนาคตในส่วนของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 สามารถปรับปรุงให้มีขนาดหน่วยความจำแรมเพิ่มขึ้น เพื่อให้การบันทึกแบบต่อเนื่องได้นานขึ้น อีกแนวทางหนึ่งคือการรวมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 ทั้งหมดเข้าด้วยกันกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต มีศักยภาพสูงสามารถนำฟังก์ชันทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 ปรับเข้าใช้ได้ ซึ่งจะต้องมีการปรับวงจรบางส่วนและการเขียนโปรแกรมควบคุมต้องเขียนให้เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ทั้งหมด

แนวทางการปรับปรุงในเรื่องระบบการสื่อสารเพื่อบันทึกข้อมูลหลังจากการประมวลผลเสร็จ ด้วยการออกแบบให้ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายได้ ผู้ใช้สามารถดูผลการทำงานได้จากทุกที่ทั่วโลกผ่านระบบเครือข่าย เช่น การส่งข้อมูลผ่านวงจรพ็อตสื่อสารแบบอนุกรม RS232 เชื่อมต่อตัวแปลง IOBaseT ต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan and H. Wayne Beaty. **Electrical Power Systems Quality**. New York : McGraw-Hill. 1996.
- [2] E Oran Brigham. **The Fast Fourier Transform and Its Applications**. Singapore : Prentice-Hall. 1988.
- [3] IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. **IEEE Standard 519-1992**. Piscataway : N.J., 1992. 55-65.
- [4] John P. Bentley. **Principles of Measurement Systems**. Third Edition. Singapore : Longman Scientific & Technical. 1995.
- [5] Robert L. Boylestad and Louis Nashelsky. **Electronic Devices and Circuit Theory**. Eighth Edition. New Jersey : Prentice-Hall. 2002.
- [6] Robert Helsel. **Visual Programming with HP VEE**. Third Edition. New Jersey : Prentice-Hall. 1998.
- [7] Gordon E. Carlson. **Signal and Linear System Analysis**. Second Edition. United States of America : John Wiley & Sons. 1998.
- [8] William H. Hayt, Jr. and Jack E. Kemmerly. **Engineering Circuit Analysis**. Fifth Edition. Singapore : McGraw-Hill. 1993.
- [9] Alan V. Oppenheim. **Signal & Systems**. Second Edition. New Jersey : Prentice-Hall. 1997.
- [10] Erwin Kreyszig. **Advanced Engineering Mathematics**. Eighth Edition. Singapore : John Wiley & Sons. 1999.
- [11] David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker. **Fundamentals of Physics**. Sixth Edition. New York : John Wiley & Sons. 2001.
- [12] Thomas W. Schultz. **C and the 8051 Programming for Multitasking**. New Jersey : Prentice-Hall. 1993.
- [13] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling and Brian P. Flannery. **Numerical Recipes in C The Art of Scientific Computing**. Second Edition. New York : Cambridge University Press. 1992.
- [14] Kevin M. Daugherty. **Analog-to-Digital Conversion**. New York : McGraw-Hill. 1994.

- [15] Ernest O. Doebelin. **Measurement Systems Application and Design**. Fourth Edition.
Singapore : McGraw-Hill. 1990.
- [16] Paul M. Embree and Damon Danieli. **C++ Algorithms for Digital Signal Processing**.
New Jersey : Prentice-Hall. 1999.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

คู่มือการใช้เครื่องวัดฮาร์โมนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้เครื่องวัดฮาร์โมนิกส์

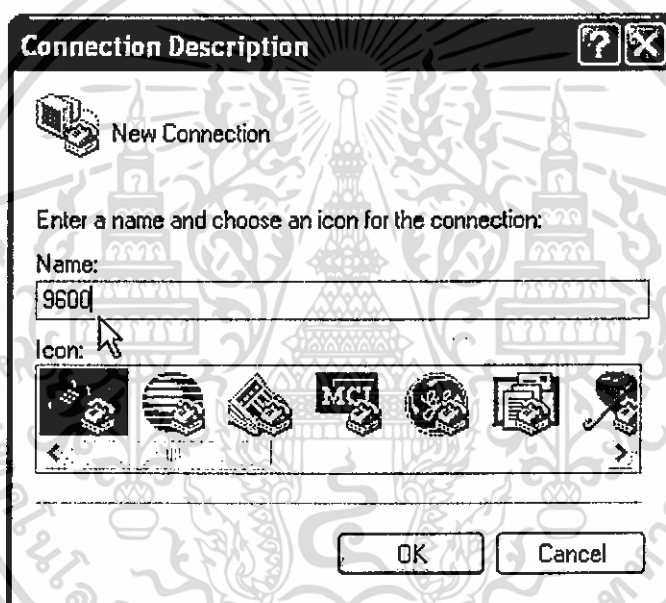
เครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ประกอบไปด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สองส่วน ส่วนที่หนึ่ง บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 มีหน้าที่เก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและบันทึกผลการคำนวณ และส่วนที่สองบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ทำหน้าที่ประมวลผล

เริ่มการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ ปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อเพื่อเก็บสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล
2. ตรวจสอบพอดสี่สาร RS485 เชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 และ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต กรณีที่จุดเชื่อมต่อไม่สนิทให้แก้ไขก่อน เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อสารข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง
3. จ่ายไฟตรง 12 โวลต์ ทั้งสองบอร์ด
4. ตรวจสอบการทำงานของ Led นาฬิกาของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 จะติดดับทุก 1 วินาที ถ้าติดค้างหรือ ไม่ติด ข้ามไปทำขั้นตอนการตั้งเวลา
5. บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 จะปรากฏคำว่า ReadMemory.wait. บนจอแสดงผลแอลซีดี คือบอร์ดจะอ่านค่าภายในหน่วยความจำแรมทั้งหมด ให้ออกจกกว่า Led Ready จะติด
6. เมื่อ Led Ready ติด ให้กดปุ่ม ON
7. บอร์ดเริ่มการวัดผลรวมความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทุก 5 นาที ตามเวลานาฬิกา และบันทึกผลการคำนวณอัตโนมัติ
8. การบันทึกทุก 5 นาที สามารถบันทึกได้ต่อเนื่อง 5 วัน
9. กรณีไฟฟ้าดับ หรือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 หยุดทำงาน ให้กดปุ่ม Reset และรอจนกว่าไฟ Led Ready จะติด หลังจากนั้นกดปุ่ม ON ปฏิบัติตามขั้นตอนตั้งแต่ข้อ 5
10. กรณีบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต ไม่ตอบสนองให้กดปุ่ม Reset
11. เครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ขณะทำงานปกติ ทั้งสองบอร์ดจะทำงานสัมพันธ์กันสังเกตการกระพริบของ Led Debug จะกระพริบ ตามจังหวะการทำงานทั้งสองบอร์ด

การถ่ายโอนข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 ด้วยโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัล

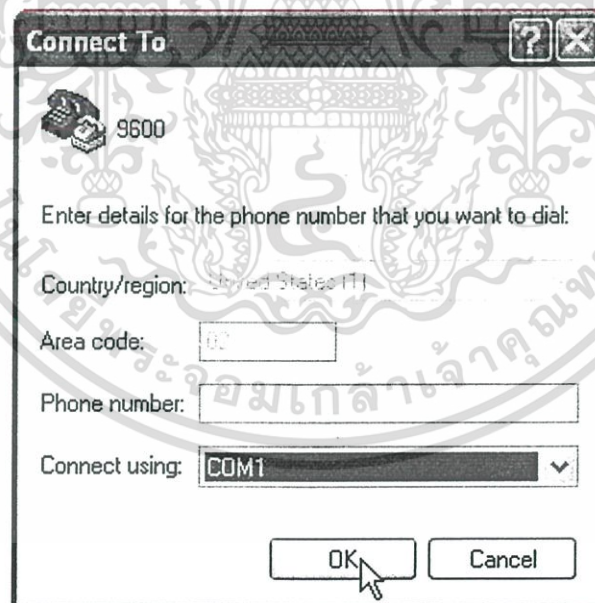
1. เครื่องวัดฮาร์โมนิกส์มีพอตอนุกรมชนิด RS232 ทั้งสองบอร์ดใช้ต่อเข้ากับเครื่องพีซีคอมพิวเตอร์ทาง COM1 ที่มีขั้วต่อแบบ DB9 อัตราเร็วที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลมีค่า 9600 บิตต่อวินาที แสดงผลการทำงานผ่านพอต RS232 ตลอดเวลาการทำงาน
2. เครื่องพีซีคอมพิวเตอร์จะต้องติดตั้ง โปรแกรมที่เลียนแบบการทำงานของเทอร์มินัล VT 100 คือ โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัล เครื่องที่ใช้ระบบปฏิบัติการ WindowsXP คลิกที่ Start>All Programs>Accessories>Communications>Hyperterminal
3. เมื่อนำหน้าต่างโปรแกรมเปิด ทำตามขั้นตอน โดยเริ่มจาก New Connection และตั้งชื่อ เช่น 9600



4. เลือก Connect using แบบ COM1

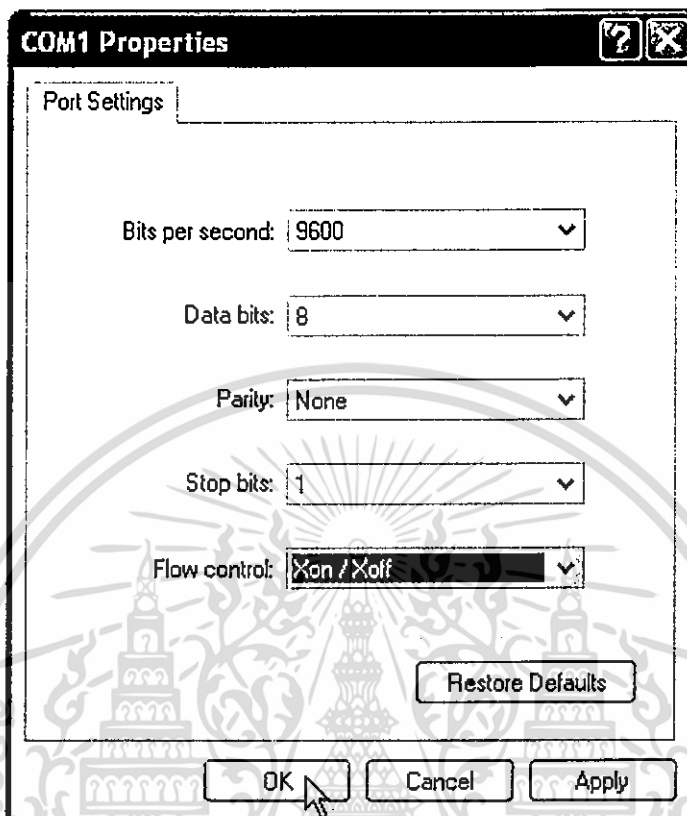


5. คลิก OK

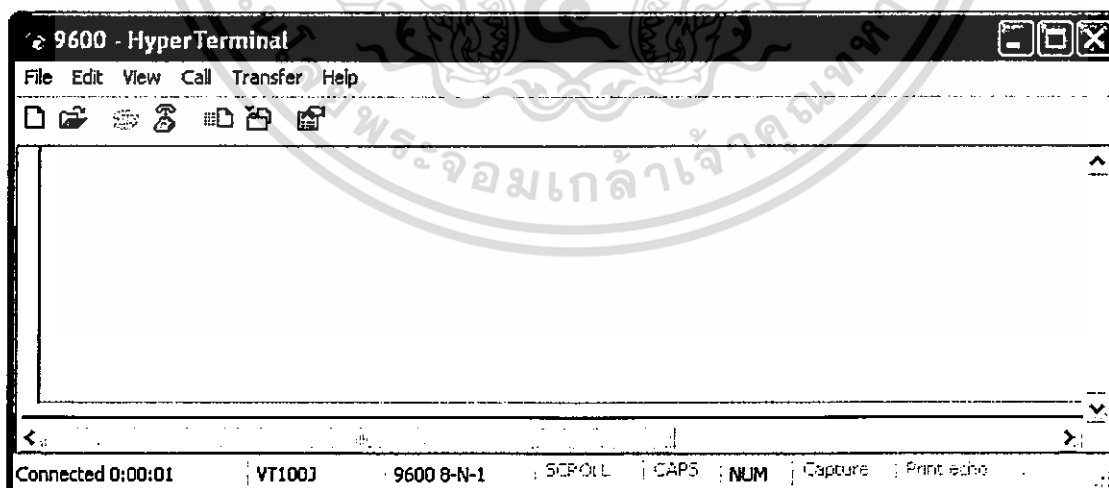


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เลือก Bits per second 9600 และเลือกควบคุมการถ่ายโอน Flow control แบบ Xon/Xoff และ คลิก OK



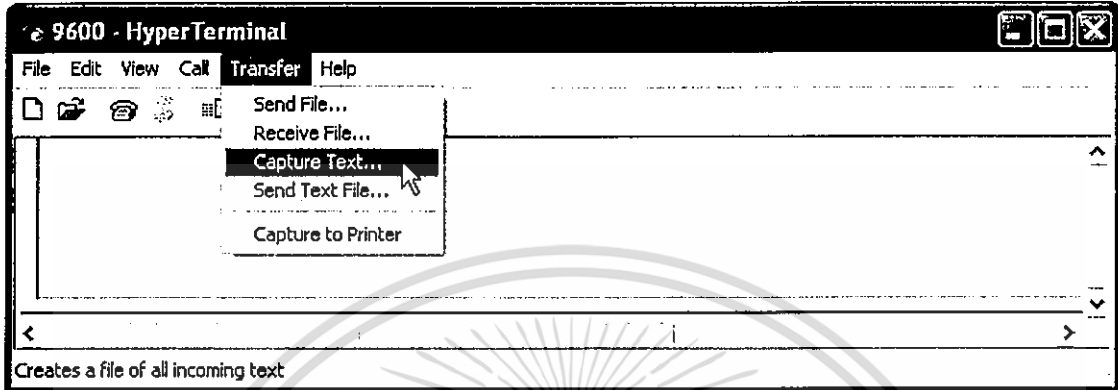
7. หน้าต่างการทำงาน โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัลจะปรากฏขึ้นดังนี้



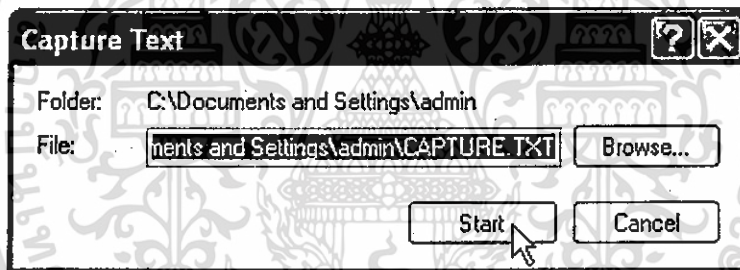
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เมื่อต้องการบันทึกข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัลมีเครื่องมือที่ทำให้สามารถเก็บข้อมูลดังกล่าวเป็นเท็กซ์ไฟล์ได้ โดยที่เท็กซ์ไฟล์สามารถเปิดเพื่อนำไปวิเคราะห์ในแบบต่าง ๆ ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ เช่น Microsoft Excel

9. เริ่มการ Data Capturing ดังนี้

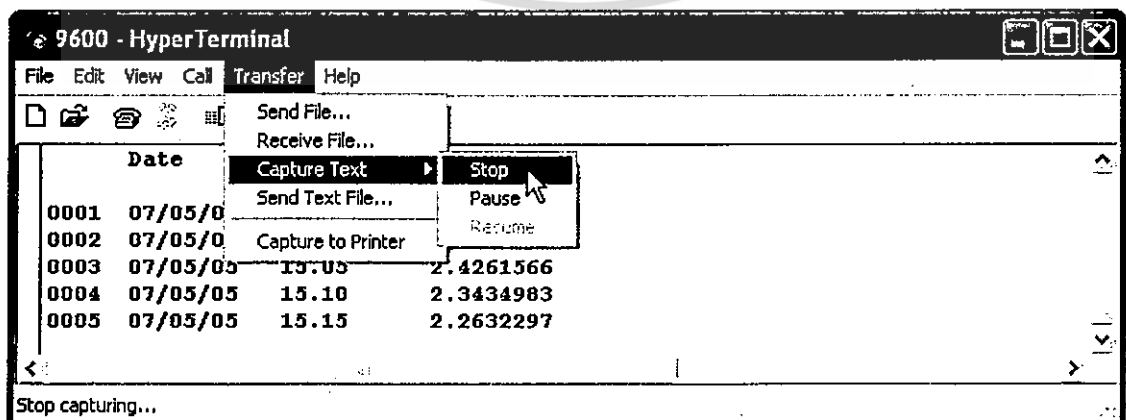


10. ตั้งชื่อ เท็กซ์ไฟล์ และคลิก Start โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัลพร้อมเก็บข้อมูล



11. กดปุ่ม Reset บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 เพื่อทำการถ่ายข้อมูลจากหน่วยความจำแรมผ่านพอร์ท COM1 ข้อมูลจะได้รับการบันทึกลงในเท็กซ์ไฟล์โดยอัตโนมัติ

12. เมื่อทำการถ่ายข้อมูลเสร็จ ให้หยุดการ Data Capturing ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ข้อมูลที่บันทึกไว้เป็นเท็กซ์ไฟล์ เช่น Capture.txt สามารถเปิดโดยโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อนำมาพลอตกราฟและวิเคราะห์ในแบบต่าง ๆ ต่อไป

ขั้นตอนการตั้งเวลาแบบสมบูรณ์

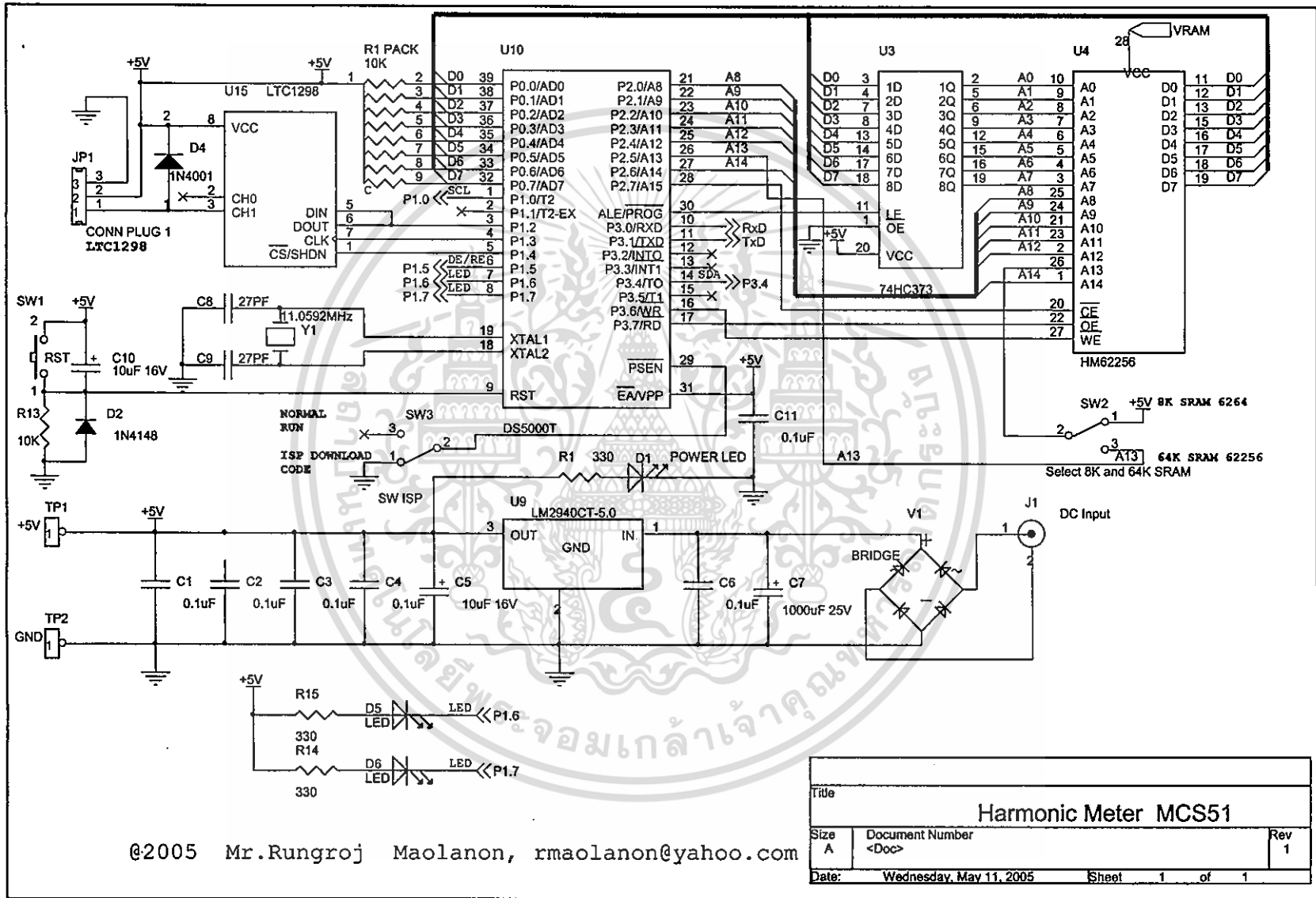
1. การตั้งเวลาจะปฏิบัติเมื่อแบตเตอรี่เบอร์ CR 2032 +3V หมด เท่านั้น
2. เปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่
3. ติดต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 ผ่านโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัลทางพอร์ท COM1
4. โหลดไฟล์ (Hex file) ตั้งเวลาลงบน DS5000T และตั้งเวลาตามขั้นตอนที่ปรากฏ

ขั้นตอนการตั้งเวลาแบบชั่วคราว

1. กดปุ่ม Reset 1 ครั้ง ตามด้วยกดปุ่ม ON ค้างไว้และรอนกว่าเวลาจะตั้งเป็นค่าตั้งต้นคือ 00.00.00 01/01/05
2. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล51 สามารถเริ่มทำงานได้ แต่เวลาจะบันทึกตามค่าเวลาตั้งต้นจนกว่าจะมีการตั้งเวลาแบบสมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาคผนวก ก.

วงจรมัลติคอนโทรลเลอร์อินเทล 16 บิต 80C186

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

วงจรมัลติมีเดียอินเทอร์เน็ต 16 บิต 80C188

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* Program: Harmonic Meter for MCS51 and AtoD LTC1298 Driver
   Author: Mr.Rungroj Maolanon 43065004
   Date: Jan 10 2005
*/

#include <reg51.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <intrins.h>
#include <ctype.h>
#include <string.h>

char flag;
int time[8];

sbit SCL = P1^0;
sbit SDA = P3^4;
#define LCDWI 0x8000
#define LCDRB 0x8001
#define LCDWD 0x8002
#define LCDRD 0x8003
typedef unsigned char byte;
typedef unsigned int word;
byte xdata *ptr;

#define XBYTE ((unsigned char *) 0x20000L) /*Set XBYTE*/
unsigned int shiftLeft16bits, shiftLeft12bits;

/* check Save Data before New record */
sbit P3_5 = P3^5;
sbit P1_7 = P1^7;
/*****/

sbit P1_5=0x95;
unsigned int num,num1,i;
char buffer[15];
xdata char result[1500][11];
xdata int T_Date[1500][5];

code byte table1[] = "%THD=";
code byte table2[] = "ReadMemo";
code byte table3[] = "ry.wait.";

void pause(int j)
{
    int l;
    for(l=0; l<j; l++)
        ;
}

/***** for clear buffer *****/
void clear_buffer(unsigned char* buf,int size)
{
    int i;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(i=0;i<size;i++) *(buf+i) = 0.0;
}

/**** for getchar *****/
char cin()
{
while(!RI);    // Check RI From RX0 TX0 RS485&232
RI = 0;
return(SBUF);
}

/***** for getstring *****/
void getstr(char *str)
{
char i;
i=-1;
do
{
i++;
*(str+i) = cin();
putchar(*(str+i));
}
while(*(str+i)!=0x0D); // Enter \n in pacific
}

/***** Start address LCD...0x80,0xc0 *****/
void Lcdwi(byte d) {
ptr = (byte xdata *)LCDWI;
*ptr = d;
ptr = (byte xdata *)LCDRB;
while((*ptr & 0x80));
}

/**** Lcd Write Data with char ****/
void Lcdwd(byte d) {
ptr = (byte xdata *)LCDWD;
*ptr = d;
ptr = (byte xdata *)LCDRB;
while((*ptr & 0x80));
}

/**** Initial Lcd ****/
void InitLcd(void) {
Lcdwi(0x38);
Lcdwi(0x0C);
Lcdwi(0x01);
}

/**** for show Lcd with string *****/
void dispstr(byte x,byte *str) {
byte i,len;
len = strlen(str);
Lcdwi(x);
for (i=0;i<len;i++) {
Lcdwd(str[i]);
}
}

```

```

    }
}
/** Show number time[],with RTC DS1307 only**/
/** With function htoc ***/
void DispNum(byte x,byte dat) {
    byte tmp;
    Lcdwi(x);
    tmp = dat >> 4;
    tmp &= 0x0F;
    Lcdwd(tmp+0x30);

    tmp = dat;
    tmp &= 0x0F;
    Lcdwd(tmp+0x30);
}

/** Start Function Real Time Clock DS 1307 ***/
/** Delay for DS1307***/
void delay()
{
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
}

void start()
{
    SDA = 1;
    SCL = 1;
    SDA = 0;
    delay();
    SCL = 0;
}

void stop()
{
    SDA = 0;
    SCL = 1;
    SDA = 1;
    delay();
}

void clow()
{
    SCL =0;
    delay();
}

void chigh()
{
    SCL =1;
    delay();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void write (unsigned char dat)
{
    unsigned char i;
    bit outbit;
    for (i=1;i<=8;i++) {
        outbit = dat & 0x80;
        SDA = outbit;
        dat = dat << 1;
        chigh();
        clow();
    }
    SDA = 1;
    chigh();
    outbit = SDA;
    clow();
}

char read ()
{
    int i,dat;
    bit inbit;
    dat = 0;
    for (i=1;i<=8;i++)
    {
        chigh();
        inbit = SDA;
        dat = dat << 1;
        dat = dat | inbit;
        clow();
    }
    SDA = 0;
    if(flag ==1)
    {SDA =1;}
    chigh ();
    clow ();
    SDA = 1;
    return (dat);
}

void RTCread()
{
    char a;

    start();
    write(0xD0);
    write(0x00);
    start();
    write(0xD1);
    flag =0;
    for(a=0;a<6;a++)
    {time[a] = read();}
    flag =1;
    time[a] = read();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    stop();

}

void RTCwrite()
{
    start();
    write(0xD0);
    write(0x00);
    write(0x00); //sec =time[0]
    write(0x00); //min =time[1]
    write(0x00); //hour =time[2]
    write(0x01); //day =time[3] Mon, Tue... (0x01=Mon, 0x07=Sun)
    write(0x01); //date =time[4]
    write(0x01); //month=time[5]
    write(0x05); //year =time[6]
    stop();
}

void initRTC()
{
    start();
    write(0xD0);
    write(0x07);
    write(0x90);
    stop();
}
/***** End Function Real Time Clock *****/

void Show_all(){
    int a;
    dispstr(0x80,table2);
    dispstr(0xc0,table3);
    printf("\n");
    printf("\nStart \n");
    printf("    Date        Time        %%THDV    ");
    printf("\n");
    for(a=1;a<1501;a++)
    {
        printf("\n%04d    ",a);

        /*** Show Time ***/
        printf("%02d",T_Date[a][1]);
        printf("/%02d",T_Date[a][2]);
        printf("/%02d",T_Date[a][3]);
        printf("    %02d",T_Date[a][4]);
        printf(".%02d    ",T_Date[a][5]);

        /*** Show %THDV ***/

        printf("%c",result[a][1]);
        printf("%c",result[a][2]);
        printf("%c",result[a][3]);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("%c",result[a][4]);
printf("%c",result[a][5]);
printf("%c",result[a][6]);
printf("%c",result[a][7]);
printf("%c",result[a][8]);
printf("%c",result[a][9]);
printf("%c",result[a][10]);
printf("%c",result[a][11]);

}
printf("\n");
printf("\nEnd of record \n");
}

/**** Function with RTC****/
int ctoh(int z)
{
    int a,b,c;
    a=z/10;
    b=z%10;
    a=a*16;
    c=a+b;
    return(c);
}
int htoc (int x)
{
    int a,b,c,d,e;
    a=x&0xf0;
    b=x&0x0f;
    c=a>>4;
    d=c*10;
    e=d+b;
    return(e);
}
/*****/

void main (void) { /*execution starts here after stack init */
    SCON = 0x52; /* SCON: mode 1, 8-bit UART, enable rcvr */
    TMOD |= 0x20; /* TMOD: timer 1, mode 2, 8-bit reload */
    TCON = 0x69;
    TH1 = 0xFD;
    TR1 = 1; /* TR1: timer 1 run */
    TI = 1; /* TI: set TI to send first char of UART */

/**** Start Initail value *****/
    clear_buffer(buffer,10);
    InitLcd();
    time[0]=time[1]=time[2]=time[4]=time[5]=time[6] =0;
    initRTC();
    Show_all();
}

```

```

/**Option**/

/* Set Default Time */

P3_5 = 1;
while(P3_5==0)
{
printf("\n Set Default Time (00.00.00 01/01/05) ");
RTCwrite(); //***** use for set time only!!!
P3_5 = 1;
}

/*****End Set Date and Time*****/

/***** For check Save Data before New record *****/

P3_5 = 1;
P1_7 = 0;
printf("\n >>Start Press 'On' for New record or 'Reset'
for Capture Data");
printf("\n");
printf("\n Start Press 'On' for New record");
while(P3_5!=0);
P3_5 = 1;
P1_7 = 1;

/*****/

num = 0;

/*****/

while(1){

/***** 1. Save every 5 Minutes *****/

printf("\nWait....5 minutes \n");
do
{
RTCreed();
time[1] = htoc(time[1]);
}
while (!(time[1]%5)); //delay for 5 mins loop ,except
0,5,10,... sec

do
{
RTCreed();
time[1] = htoc(time[1]);
}
while (time[1]%5); // Save for 5 mins loop
0,5,10,....
time[1] = ctoh(time[1]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****/

/*****Start sent and save loop*****/

/***/ num=num+1; /* num loop save data */

/***** Sent Sampling from LTC1298 to RAM*****/
asm485test();
/*****/

    Lcdwi(0x80);
    Lcdwd(' ');
    DispNum(0x81,time[2]);
    Lcdwd(':');
    DispNum(0x84,time[1]);
    Lcdwi(0x86);
    Lcdwd(' ');
    Lcdwi(0x87);
    Lcdwd(' ');

    DispNum(0xc0,time[4]);
    Lcdwd('/');
    DispNum(0xc3,time[5]);
    Lcdwd('/');
    DispNum(0xc6,time[6]);

if(num<=1500)
{
T_Date[num][1] = htoc(time[4]);
T_Date[num][2] = htoc(time[5]);
T_Date[num][3] = htoc(time[6]);
T_Date[num][4] = htoc(time[2]);
T_Date[num][5] = htoc(time[1]);
}

/*****Sent Data P1.5 = 1 for sent RS485*****/
P1_5 = 1;

putchar(':');
pause(10000);

/***** Sent Data past RS485 *****/
i=0;
for(num1=0;num1<500;num1++)
{
    P1 = XBYTE[0x0002+i];
    i=i+1;
    P2 = XBYTE[0x0002+i];
    i=i+1;
    shiftLeft16bits=(unsigned int)P1;
    shiftLeft16bits=shiftLeft16bits<<8;
    shiftLeft12bits=shiftLeft16bits+P2;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    shiftLeft12bits=shiftLeft12bits>>4; /* shift right for 12
bits*/

    Pl_5 = 1;
    printf("%u",shiftLeft12bits);
    putchar(0x0A);

}
/*****/

printf("\nCalculating...1 minute ");
pause(10000);
    Pl_5 = 0;
while(cin()!=':');
putchar('>');

do
{
    gets(buffer); //, sizeof(buffer);
}
while (buffer[11] != 0x0D);

if(num<=1500)
{
    result[num][1] = buffer[0];
    result[num][2] = buffer[1];
    result[num][3] = buffer[2];
    result[num][4] = buffer[3];
    result[num][5] = buffer[4];
    result[num][6] = buffer[5];
    result[num][7] = buffer[6];
    result[num][8] = buffer[7];
    result[num][9] = buffer[8];
    result[num][10] = buffer[9];
    result[num][11] = buffer[10];
}

printf("Saving...");
putchar(buffer[0]);
putchar(buffer[1]);
putchar(buffer[2]);
putchar(buffer[3]);
putchar(buffer[4]);
putchar(buffer[5]);
putchar(buffer[6]);
putchar(buffer[7]);
putchar(buffer[8]);
putchar(buffer[9]);
putchar(buffer[10]);

    dispstr(0x80,table1);
    Lcdwi(0x85);
    Lcdwd(buffer[0]);
    Lcdwi(0x86);
    Lcdwd(buffer[1]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Lcdwi(0x87);
    Lcdwd(buffer[2]);
    Lcdwi(0xc0);
    Lcdwd(buffer[3]);
    Lcdwi(0xc1);
    Lcdwd(buffer[4]);
    Lcdwi(0xc2);
    Lcdwd(buffer[5]);
    Lcdwi(0xc3);
    Lcdwd(buffer[6]);
    Lcdwi(0xc4);
    Lcdwd(buffer[7]);
    Lcdwi(0xc5);
    Lcdwd(buffer[8]);
    Lcdwi(0xc6);
    Lcdwd(buffer[9]);
    Lcdwi(0xc7);
    Lcdwd(buffer[10]);

    putchar(0x0D);
    putchar(0x0A);
    putchar('O');
    putchar('k');
}
}

/***** asm code AtoD LTC1298 Driver *****/
MOV DPTR,#0002H
MOV R1,#250
LCALL LOOP
MOV R1,#250
LCALL LOOP
RET

LOOP:    MOV A,#0FFH
         SETB P1.4
         CLR P1.4
         MOV R4,#04

LOOP1:   RLC A
         CLR P1.3
         MOV P1.2,C
         SETB P1.3
         DJNZ R4,LOOP1
         MOV P1,#04
         CLR P1.3
         MOV R4,#09

LOOP2:   MOV C,P1.2
         RLC A
         SETB P1.3
         CLR P1.3
         DJNZ R4,LOOP2
         MOV R2,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR A
MOV R4,#04

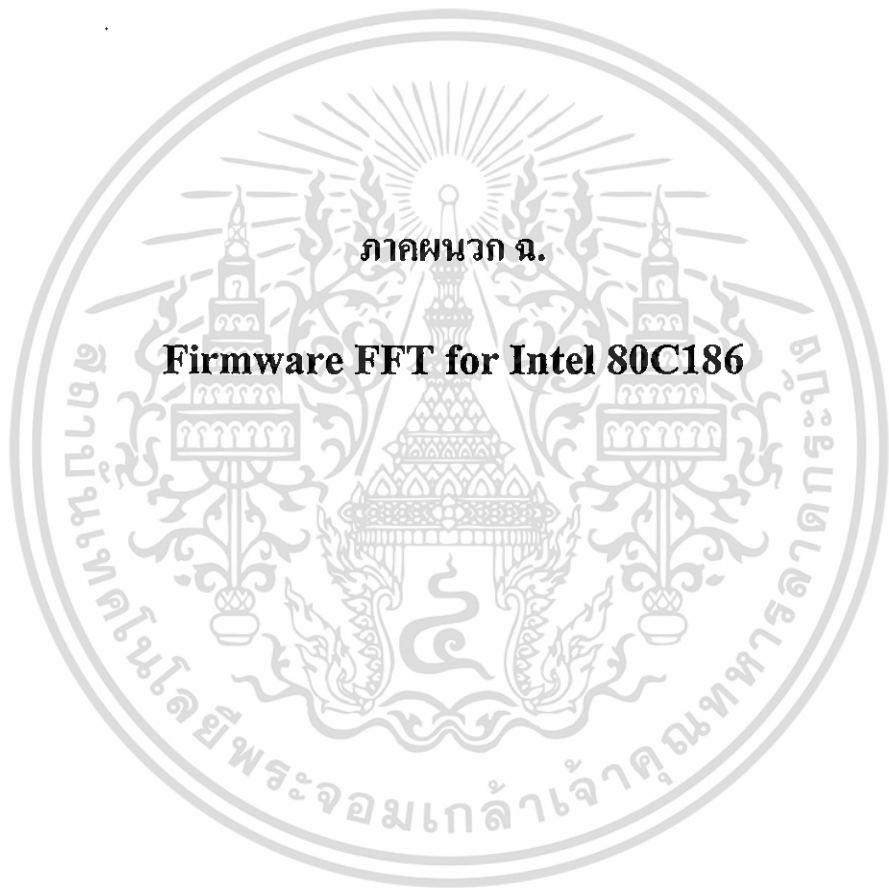
LOOP3:  MOV C,P1.2
        RLC A
        SETB P1.3
        CLR P1.3
        DJNZ R4,LOOP3
        MOV R4,#04

LOOP4:  RRC A
        DJNZ R4,LOOP4
        MOV R3,A
        SETB P1.4

WR_RAM: MOV A,R2
        MOVX @DPTR,A
        INC DPTR
        MOV A,R3
        MOVX @DPTR,A
        INC DPTR
        DJNZ R1,LOOP
        RET

/* Done */
/* Mr.Rungroj Maolanon */

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* Program: FFT Radix-2 for 80C186 Board and 80C188 Board
   Author: Mr.Rungroj Maolanon 43065004
   Date: Jan 10 2005
   **** 128 points ****
*/
#include<80c188eb.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>

/* Preprocessor Constants */
#define PI 3.14159265359
#define PI2 6.28318530718
/* Function Prototypes */
long lBitReverse(long, int);
void FFTInit(int);
void FFT(double *, double *, int);

/* Constant Definitions */
const unsigned long ulExp2[] =
    {1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096,
     8192, 16384, 32768, 0x10000, 0x20000, 0x40000,
     0x80000, 0x100000, 0x200000, 0x400000, 0x800000,
     0x1000000, 0x2000000, 0x4000000, 0x8000000,
     0x10000000, 0x20000000, 0x40000000, 0x80000000};

/* Global Variables */
static int iLgMaxFFTLen = -1;
static double *dpFFTFact = NULL;
static long *lpBitRev = NULL;

/* Procedure Division */
pause(int j)
{
    int i;
    for(i=0; i<j; i++)
        ;
}

**** Function Receive Data from Rs485 RX1 TX1 ****/
coutl(unsigned char ch)
{
    while ((_S1STS&8)==0)
        continue;
    _S1TBUF = ch;
    _S1STS &= ~8;
}

printstr1(char *str1)
{
    char i;
    for(i=0; *(str1+i) != 0; i++)
        coutl(*(str1+i));
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    exit(-2); /* Exit abnormally. */
}
printf("\r\n *** Sent Sampling Data 128 points from
RS485 ***\n\r");
putch('\n');
putch('\r');

pause(10000);
_P1LTCH &= ~0x01; // Set Port 1.0 = 0 ;; Clear bit 1.0
while(cin() != ':');

/* Init the data array. */
for (lN = 0; lN<lLength; ++lN) dpXR[lN] = dpXI[lN] = 0.0;

/* Read data rom the user. */
for (lN = 0; lN<lLength; ++lN) { /* Assum data is good or
EOF.*/

/**/ Receive Char Data and set to float data by atof();***/

    getstr(buffer);
    *(dpXR+lN) = atof(buffer);
    dpXI[lN] = 0.0;
}

/* Call the FFT. */
FFT(dpXR, dpXI, iLgLen);

/* Print results. */
k = 0;
printf("\r\n          k\t\tReal Part\t\tImaginary
Part");
for (lN = 0; lN<lLength; ++ lN) {
/* printf("\n          %d          %lg
%lg\n", k, dpXR[lN], dpXI[lN]); */
printf("\r\n\t\t%d\t\t%.6f\t\t%.6f", k, dpXR[lN], dpXI[lN]);
k=k+1;
}
/***/

/* Allocate complex data array. */

MulResultXR =(double *)malloc(lLength*sizeof(double));
MulResultXI =(double *)malloc(lLength*sizeof(double));
MulResult =(double *)malloc((lLength-1)*sizeof(double));
Magnitude =(double *)malloc(lLength*sizeof(double));
Phase =(double *)malloc(lLength*sizeof(double));
printf("\r\n");
printf("\r\n          k\tMagnitude Spectrum\t\tPhase
Spectrum");
SumResult = 0;
k = 0;
for (lN = 0; lN < lLength; ++lN)
{
printf("\r%d", k);
k =k+1;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

lT3 = lT1+lT2;          /* Compute locations of data. */
lT4 = lT3+lBStep;

dTemp0 = dpXR[lT3]+dpXR[lT4]; /* Butterfly real data. */
dTemp1 = dpXR[lT3]-dpXR[lT4];
dpXR[lT3] = dTemp0;
dpXR[lT4] = dTemp1;
dTemp0 = dpXI[lT3]+dpXI[lT4]; /* Butterfly imaginary
data. */
dTemp1 = dpXI[lT3]-dpXI[lT4];
dpXI[lT3] = dTemp0;
dpXI[lT4] = dTemp1;
    }
}
}
/* Done. */
}

/* Mr.Rungroj Maolanon */

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายรุ่งโรจน์ เมลาณนท์
วัน เดือน ปีเกิด	26 กรกฎาคม พ.ศ. 2517
สถานที่เกิด	อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด
ที่อยู่ปัจจุบัน	247/2 ถนนพิชัย แขวงถนนนครไชยศรี เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
e-mail:	rmaolanon@yahoo.com
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีที่สำเร็จการศึกษา พ.ศ. 2540 ศึกษาต่อระดับมหาบัณฑิต หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	“เครื่องมือวัดปริมาณรวมความเข้มข้นฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42 ระหว่างวันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2541-2543 อาจารย์พิเศษ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์