ปีการศึกษา 2541

เครื่องควบคุมการกรองสัญญาณฮาร์มอนิคส์

HARMONIC FILTER CONTROLLER

โดย

นาย พูนลาภ	กอบกิจสกุล	รหัส	38014356
นาย สินชาย	แซ่ตั้ง	รหัส	38014563
นางสาว สุทธิกาญจน์	จ้างประเสริฐ	รหัส	38014574
นาย สุริยา	สุริยกานนท์	รหัส	38014595

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 34141
วัน, เดือน, ปี 6 ต.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องควบคุมการกรองสัญญาณฮาร์มอนิคส์

ผู้จัดทำ

1. นาย พูนลาภ กอบกิจสกุล
2. นาย สินชาย แซ่ตั้ง
3. นางสาว สุทธิกาญจน์ จ้างประเสริฐ
4. นาย สุริยา สุริยกานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมวงจรการกรองสัญญาณฮาร์มอนิคส์

พูนลาภ กอบกิจสกุล
สินชาย แซ่ตั้ง
สุทธิกาญจน์ จ้างประเสริฐ
สุริยา สุริยกานนท์
รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการวัดค่ากระแสฮาร์มอนิคส์ในระบบไฟฟ้า และนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาแสดงผลออกมาในรูปเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ลำดับต่างๆ

โครงงานนี้ใช้บอร์ดประมวลผลทางดิจิตอล TMS320C50 DSK ในการประมวลผล รวมทั้งแปลความหมายค่าที่ได้เหล่านั้น ออกมาเป็นสัญญาณควบคุมส่งไปยังสวิทซ์ เพื่อนำไปตัด-ต่อวงจรกรองให้กรองสัญญาณฮาร์มอนิคส์ที่เกิดขึ้นตามความเหมาะสมต่อไป จากนั้นจึงศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากการตัด-ต่อวงจรกรองสัญญาณฮาร์มอนิคส์เข้ากับระบบ และหาแนวทางการปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถส่งสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมกับระบบต่างๆกันไป เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมการกรองฮาร์มอนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARMONICS FILTER CONTROLLER

Poonlarp Kobkitsakul

Sinchai Sae-Tang

Sutthikarn Jangprasert

Suriya Suriyaganont

Siriwat Photiwetchakhun Advisor

1998

Abstract

This project studies about the harmonics current measuring in an electrical system and send these value to displaying in percentage of harmonics order.

All of the measured value has been calculated and interpreted by using digital signal processor TMS320C50 DSK and send the output signal to control the harmonics filter switches.

The effect from an ON-OFF of harmonics filter circuit connecting has studied, to obtain a suitable controlling for another system by data changing in the algorithm. So we can get the highest efficient controlling of the harmonic filter controller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ

ABSTRACT

สารบัญรูป I

สารบัญตาราง II

PLANNING PROJECT II 1

บทที่ 1 บทนำ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 3

2.1 ศัพท์และปริมาณต่างๆ 3

2.2 ประเภทของฮาร์มอนิคส์ 4

2.3 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิคส์ 5

2.4 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์โดยทั่วไป 6

2.5 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ที่มีต่อระบบอื่น และอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง 7

2.6 ศักดาไฟฟ้า และกระแสเนื่องจากฮาร์มอนิคส์ 10

2.7 การแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิคส์ 11

2.8 วงจรกรองฮาร์มอนิคส์ (HARMONIC FILTER) 11

บทที่ 3 การออกแบบวงจรเครื่องควบคุมการกรองฮาร์มอนิคส์ 13

3.1 องค์ประกอบของเครื่องควบคุมการกรองฮาร์มอนิคส์ 13

3.2 การจับสัญญาณของ LEM 13

3.3 การออกแบบ และการทำงานของวงจรแสดงผล 16

3.4 วงจรควบคุม และโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม 25

3.5 ขั้นตอนการประมวลผลของโปรแกรม 28

บทที่ 4 การใช้งาน และผลการทดลอง 43

4.1 การต่ออุปกรณ์เข้ากับแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิคส์เพื่อวัดสัญญาณ 43

4.2 ขั้นตอนการประมวลผล และการแสดงผลของข้อมูล 43

4.3 การแก้ไขความผิดปกติ และความแม่นยำในการวัด 45

4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับเครื่องมือวัดฮาร์มอนิคส์อื่นๆ 46

บทที่ 5 สรุปโครงงาน และแนวทางการพัฒนาต่อ 61

ภาคผนวก ก โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีที่ใช้ในโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข เอกสารประกอบรายละเอียดอุปกรณ์

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 3.1 แสดงการต่อวงจรทั้งหมดของเครื่อง HFC (Harmonics Filter Controller) 14

รูปที่ 3.2 แสดงการแปลงสัญญาณกระแสจาก LEM ให้เป็นสัญญาณแรงดัน 15

รูปที่ 3.3 แสดงการใช้วงจร นอน-อินเวอร์ติงแอมป์มาคั่นกลางระหว่างสัญญาณแรงดัน จาก LEM กับสัญญาณเข้าการ์ด DSP 15

รูปที่ 3.4 แสดงวงจรการต่อวงจรแสดงผลลัพธ์กับพอร์ทที่ 2 ของ DSK 17

รูปที่ 3.5 แสดงจอ LCD 19

รูปที่ 3.6 แสดงรูปแบบวงจร LCD 21

รูปที่ 3.7 แสดงค่าลอจิกของ LCD เทียบกับการสว่างของหลอดและความหมาย 24

รูปที่ 3.8 รูปวงจรเลือกสัญญาณควบคุม 26

รูปที่ 3.9 แสดงวงจรพื้นฐานการใช้งานทรานซิสเตอร์เป็นสวิทซ์ควบคุมการทำงาน 27

รูปที่ 3.10 องค์ประกอบทั้งหมดในสวิทช์สำหรับควบคุมฟิลเตอร์ 27

รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรม HFC.ASM 36

รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย % HARMONIC 37

รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย % THD 38

รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย H_LCD และ T_LCD 39

รูปที่ 3.15 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของการส่งสัญญาณควบคุม 40

รูปที่ 3.16 แผนภาพแสดงโปรแกรมย่อย Control 41-42

รูปที่ 4.1 แสดงการต่อเครื่อง HARMONICS FILTER CONTROLLER (HFC) กับหน่วยลดทอนสัญญาณ 43

รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของ HARMONICS FILTER CONTROLLER (HFC) 44

รูปที่ 4.3 แสดงแผงควบคุมของ HARMONICS FILTER CONTROLLER (HFC) 44

รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 47

รูปที่ 4.5 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 47

รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา 48

รูปที่ 4.7 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา 48

รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 135 องศา 49

รูปที่ 4.9 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 135 องศา 49

รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากโหลด Ballast Electronics 50

รูปที่ 4.11 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบกันโหลด Ballast Electronics 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากโหลด Computer 51
รูปที่ 4.13 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบกันโหลด Computer 51
รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 52
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 3 อย่างเดียว
รูปที่ 4.15 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 52
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 3 อย่างเดียว
รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 53
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 5 อย่างเดียว
รูปที่ 4.17 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 53
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 5 อย่างเดียว
รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 54
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 7 อย่างเดียว
รูปที่ 4.19 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 54
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 7 อย่างเดียว
รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 55
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 3, 5, 7
รูปที่ 4.21 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 45 องศา 55
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 3, 5, 7 อย่างเดียว
รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา 56
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 3 อย่างเดียว
รูปที่ 4.23 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา 56
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 3 อย่างเดียว
รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา 57
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 5 อย่างเดียว
รูปที่ 4.25 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา 57
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 5 อย่างเดียว
รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา 58
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 7 อย่างเดียว
รูปที่ 4.27 แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา 58
เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 7 อย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.28 รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 3, 5, 7 59
รูปที่ 4.29แสดงค่า % Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดันมุมทริก 90 องศา เมื่อใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 3, 5, 7 59

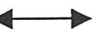
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงขาสัญญาณของ LCD โมดูล 18
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าลอจิกสำหรับเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์มากสุด 22
ตารางที่ 3.3 แสดงความหมายของลอจิกของ LED ในการเป็นสัญญาณควบคุม 23
ตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างสัญญาณที่สามารถเพิ่มได้โดยการเปลี่ยนแปลงลอจิกจาก LED 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Planning Project II

งานที่วางแผนไว้	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
1. ศึกษาและออกแบบวงจรที่ใช้ในการควบคุมการกรองฮาร์มอนิกส์และโปรแกรมควบคุม					
2 ทำการต่อวงจรและทดลองทำการควบคุมว่าทำได้หรือไม่					
3.แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นให้สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมได้สมบูรณ์แบบ					
4. ศึกษาเทคนิคการปรับเปลี่ยนโปรแกรมควบคุมและเก็บข้อมูล					
5. รวบรวมข้อมูลเตรียมทำวิทยานิพนธ์					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันปัญหาเรื่องฮาร์มอนิคส์ในระบบไฟฟ้ากำลังได้มีการนำมาพิจารณากันมากขึ้นเนื่องจากประเทศไทยกำลังก้าวสู่การเป็นประเทศอุตสาหกรรมจึงทำให้มีโรงงานอุตสากรรมเกิดขึ้นมากมาย การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างอุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ หม้อแปลง เครื่องจักรกลไฟฟ้า เครื่องเชื่อมแบบอาร์ก อุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์กำลังซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานสูง เช่น เครื่องแปลงผันทางไฟฟ้า (Converter) วงจรเรียงกระแส (Rectifier) เป็นต้น การทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้รูปคลื่นซายน์เกิดการเปลี่ยนแปลงก่อให้เกิดฮาร์มอนิคส์ในระบบไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง เช่นคาปาซิเตอร์ที่ใช้ในการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Cap Bank) ที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมอาจเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านคาปาซิเตอร์มากเกินไป ในกรณีคาปาซิเตอร์เกิดการเรโซแนนซ์กับอุปกรณ์อื่นๆในระบบ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สวิตซ์เกียร์ อุปกรณ์ป้องกัน เป็นต้น

ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาถึงผลกระทบ และปัญหาของฮาร์มอนิคส์ที่เกิดในระบบไฟฟ้า โดยการศึกษาถึงลักษณะของฮาร์มอนิคส์ ปริมาณของฮาร์มอนิคส์ เพื่อที่จะนำมาแก้ไข และทำการควบคุมระบบให้มีฮาร์มอนิคส์ลดลงซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 ศัพท์และปริมาณต่างๆ

1. ฮาร์มอนิคส์ (Harmonic) คือ สัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลักมูล โดยการเอาเลขจำนวนเต็มบวกคูณกับความถี่มูลฐาน เช่น ความถี่มูลฐานคือ 50 Hz ดังนั้นฮาร์มอนิคส์ 2 , 3 คือ 100 , 150 Hz เป็นต้น ซึ่งความถี่มูลฐานจะเรียกว่า ฮาร์มอนิคส์ที่ 1 การวัดความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิคส์สามารถทำได้หลายวิธีซึ่งแตกต่างกันออกไป แต่โดยส่วนมากจะใช้วัดความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิคส์รวม (Total Harmonic Distortion : THD) ที่ความถี่ฮาร์มอนิคส์ต่างๆ กัน ปริมาณของขนาดจะแสดงด้วยจำนวนเปอร์เซ็นต์ของขนาดที่ความถี่หลักมูล และเครื่องมือวัดฮาร์มอนิคส์ทั้งหลายจะแสดงผลความเพี้ยนฮาร์มอนิคส์รวมและความเพี้ยนฮาร์โมนิคส์แต่ละส่วนด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ของขนาดที่ความถี่หลักมูลเช่นกัน

เมื่อโหลดไม่เป็นเชิงเส้นถูกป้อนด้วยแรงดันหลักมูลบริสุทธิ์โดยแหล่งจ่าย ซึ่งไม่มีค่าอิมพีแดนซ์ของระบบจะมีผลทำให้รูปร่างของกระแสมีความแตกต่างไปจากแรงดันที่ป้อนให้ ความเพี้ยนของกระแสนี้จะมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจ่ายเมื่ออิมพีแดนซ์ของระบบถูกเพิ่มเข้ามา ความเพี้ยนของกระแสทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวอิมพีแดนซ์นี้จะมีผลทำให้เกิดความเพี้ยนของแรงดัน ด้วยเหตุนี้โหลดไม่เป็นเชิงเส้นหรือตัวผลิตฮาร์มอนิคส์จะถูกแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสฮาร์มอนิคส์ด้วยอิมพีแดนซ์ของระบบที่เหมาะสม

2. กระแสฮาร์มอนิคส์ (Harmonic Current) คือ ฮาร์มอนิคส์ที่อยู่ในรูปของกระแสในไลน์ในระบบไฟฟ้าเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Devices) ซึ่งอาจเป็นโหลดหรือแหล่งกำเนิดก็ได้

3. แรงดันฮาร์มอนิคส์ (Harmonic Voltage) เกิดจากการที่กระแสฮาร์มอนิคส์ไหลผ่านค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ของสายส่งหรือรีแอคแตนซ์ของคาปาซิเตอร์ที่ต่อขนานเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (Power Factor) และแรงดันให้ดีขึ้นทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของรูปแรงดันอันเนื่องมาจากรีแอคแตนซ์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่

$V_h = I_h . Z_h$

V_h = แรงดันฮาร์มอนิคส์

I_h = กระแสฮาร์มอนิคส์ในระบบ

Z_h = ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบ

4. ตัวประกอบความเพี้ยน (Distortion Factor:DF) ตัวประกอบฮาร์มอนิคส์ (Harmonic Factor :HF) ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิคส์ทั้งหมด (Total Harmonic Distortion : THD) ความหมายทั้งสามตัวนั้นตามมาตรฐาน IEEE ได้ให้ความหมายไว้เหมือนกัน กล่าวคือ ค่าที่บอกถึงปริมาณของฮาร์มอนิคส์ที่มีอยู่ทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับค่า rms ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IEEE 519-1992

Harmonics Voltage and Harmonics Current

$$DF_V = HF_V = THD_V = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}{V_1^2}} \times 100\,\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\,\%$$

$$DF_I = HF_I = THD_I = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}} \times 100\,\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\,\%$$

สำหรับมาตรฐาน IEC ได้ให้ความหมายทั้งสามตัวว่ามันคือ ความเพี้ยนของฮาร์มอนิคส์ (Harmonic Distortion : HD) กล่าวคือ บอกถึงปริมาณของฮาร์มอนิคส์ที่มีอยู่ทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับค่า rms ของปริมาณทั้งหมด

5. ลำดับฮาร์มอนิคส์ (Harmonic Order) คือ อัตราส่วนของความถี่ฮาร์มอนิคส์ และความถี่หลักมูล เช่น เมื่อกล่าวถึงฮาร์มอนิคส์อันดับที่ 3 ถ้าความถี่หลักมูลเป็น 50 Hz จะได้ความถี่ฮาร์มอนิคส์ที่ 3 เป็น 150 Hz

2.2 ประเภทของฮาร์มอนิคส์

2.2.1 ฮาร์มอนิคส์ (Harmonics) คือ ส่วนประกอบของสัญญาณที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของสัญญาณความถี่หลักมูล (Fundamental)

2.2.2 อินเตอร์ฮาร์มอนิคส์ (Interharmonics) คือ ส่วนประกอบของสัญญาณที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าลงตัวของสัญญาณความถี่หลักมูลเนื่องจากคาบสัญญาณของเวลาไม่เท่ากันในทุกคาบซึ่งจะพบได้ใน โหลดประเภท เตาหลอมอาร์ก และในการควบคุมที่เป็นแบบ Integral Control

2.2.3 ฮาร์มอนิคส์คุณลักษณะ (Characteristic Harmonics) คือ ฮาร์มอนิคส์ที่เกิดจากเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้าโดยอันดับของฮาร์มอนิคส์จะเป็นดังสมการนี้

$$n = (k*p) \pm 1$$

p = จำนวนพัลส์ของเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้าต่อหนึ่งคาบ

k = เลขจำนวนเต็มบวกใดๆ (1 , 2 , 3 ,...)

ตัวอย่างของโหลดที่สร้างฮาร์มอนิคส์ในกลุ่มนี้คือ คอนเวอร์เตอร์ , อินเวอร์เตอร์ และยูพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ฮาร์มอนิคส์ที่ไม่เกิดจากคุณลักษณะ (Noncharacteristic Harmonics) คือ ฮาร์มอนิคส์ที่ถูกสร้างโดยเครื่องแปลงผันทางไฟฟ้า โดยอันดับของฮาร์มอนิคส์ไม่เป็นไปตามสมการในข้อ 2.2.3 เช่น เครื่องแปลงผันทางไฟฟ้าชนิด 12 พัลส์ ควรจะมีอันดับฮาร์มอนิคส์เป็น 11 , 13 , 23 , 25 , ... แต่ถ้ามีฮาร์มอนิคส์อันดับอื่นปนเข้ามาจะถือว่าเป็น Noncharacteristic Harmonics

2.2.5 ฮาร์มอนิคส์ลำดับที่สามหารลงตัว (Triplen Harmonics) คือ ลำดับฮาร์มอนิคส์ที่หารด้วยสามลงตัว ได้แก่ 3 , 6 , 9 , ... ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับ (Sequence) เป็นศูนย์ ในกรณีที่มีการต่อวงจรแบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์มอนิคส์กลุ่มนี้จะรวมกันไหลในสายนิวทรอล ทำให้เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้าได้ เช่น สายนิวทรอลร้อน ฉนวนเสียหายเกิดลัดวงจร เป็นต้น

2.3 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิคส์

แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิคส์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีอยู่มากมาย อุปกรณ์ที่ถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิคส์มีดังต่อไปนี้

2.3.1 หม้อแปลง (Transformer)

ในสถานะปกติหม้อแปลงไม่ทำให้เกิดความเพี้ยนแก่ข่ายวงจร แต่ขณะสถานะชั่วครู่หรือขณะหม้อแปลงทำงานเกินขอบเขตปกติจะทำให้เกิดฮาร์มอนิคส์ขึ้น กรณีหม้อแปลงไม่มีโหลด แรงดันด้านปฐมภูมิรูปคลื่นซายน์ของหม้อแปลงจะสร้างฟลักซ์รูปคลื่นซายน์ แต่กระแสด้านปฐมภูมิไม่เป็นรูปคลื่นซายน์ที่เป็นเช่นนี้เพราะฟลักซ์ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสสร้างอำนาจแม่เหล็ก (Magnetizing Current)

2.3.2 เครื่องจักรไฟฟ้า (Electric Machinery)

เครื่องจักรไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายหม้อแปลง นั่นคือในสถานะอยู่ตัวมันจะไม่ทำให้เกิดความเพี้ยนแก่ข่ายวงจร แต่ในสถานะชั่วครู่หรือขณะเครื่องจักรทำงานเกินขอบเขตจะทำให้เกิดฮาร์มอนิคส์ขึ้น ซึ่งเครื่องจักรไฟฟ้าจะผลิตกระแสฮาร์มอนิคส์ในฟังก์ชันของความเร็วกับจำนวนร่องของอาร์เมเจอร์ การออกแบบเครื่องจักรไฟฟ้าที่ดีต้องทำให้ระดับกระแสฮาร์มอนิคส์มีค่าน้อยที่สุด ในทางปฏิบัติ กระแสฮาร์มอนิคส์ลำดับสามจะได้รับการสกัดกั้น โดยการต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า

2.3.3 อุปกรณ์ประเภทอาร์ก (Arc Equicment)

อุปกรณ์ประเภทอาร์กมีมากมายหลายชนิดซึ่งรวมถึงเตาอาร์กขนาดใหญ่และเครื่องเชื่อมไฟฟ้า อุปกรณ์ทั้งสองทำให้เกิดปัญหาทางฮาร์มอนิคส์ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์อาร์กอื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาฮาร์มอนิคส์ ได้แก่ แสงสว่างอาร์กที่ใช้กับถนน และลานจอดรถ การเพี้ยนของกระแสอาร์กเนื่องจากอุปกรณ์อาร์กมีขนาดเกิน 10 % ของกระแสพิกัด ในอุปกรณ์บางชนิดอาจมีค่าถึง 30 % ถ้าวัดแรงดันขาออกของเตาอาร์กจะพบว่า แรงดันฮาร์มอนิคส์เปลี่ยนแปลงอย่างมากและมีค่าไม่แน่นอน ตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขณะเริ่มหลอม แรงดันฮาร์มอนิคส์อันดับที่ 5 มีขนาด 8 % เมื่อเทียบกับแรงดันหลักมูล
- เมื่อสิ้นสุดการหลอม แรงดันฮาร์มอนิคส์อันดับที่ 5 มีขนาด 6 %
- ขณะถลุงแร่ แรงดันฮาร์มอนิคส์อันดับที่ 5 มีขนาด 2.5 %

2.3.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent)

หลอดฟลูออเรสเซนต์นิยมใช้กันมากในบ้านเรือน และในอุตสาหกรรมบางชนิดจึงถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิคส์ที่สำคัญ การปล่อยประจุในหลอดฟลูออเรสเซนต์ถือว่าเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก ซึ่งทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิคส์อันดับคี่

2.3.5 เครื่องแปลงผัน (Converter)

เครื่องแปลงผันใช้กันอย่างกว้างขวางตั้งแต่ในบ้านจนถึงโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การที่อุปกรณ์นี้ได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง เครื่องแปลงผันขนาดเล็กจะเป็นหนึ่งเฟส โดยใช้กับอุปกรณ์จำพวก

- เครื่องรับโทรทัศน์
- คอมพิวเตอร์
- อุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ที่ใช้ภายในบ้าน

เครื่องแปลงผันสามเฟสที่ใช้กันทั่วไปจะทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

- กรณี AC/DC ใช้เป็นแหล่งจ่ายให้แก่ มอเตอร์กระแสตรง แบตเตอรี่หรือขบวนการเคมี
- กรณี AC/DC/AC ใช้กับมอเตอร์ซิงโครนัสหรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ การที่ต้องการเปลี่ยนจาก DC เป็น AC อีกครั้งเพื่อทำให้มอเตอร์สามารถจ่ายกำลังที่ความถี่มากกว่า 50 Hz เครื่องแปลงผันสามารถแบ่งแยกตามจำนวนพัลส์ เช่น 3 , 6 , 12 , 18 , 24 และมากกว่านี้ จำนวนพัลส์ยังบอกถึงจำนวนอุปกรณ์ปิด-เปิดวงจรที่ใช้โซลิดสเตท ซึ่งโดยปกติใช้ไทริสเตอร์ควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากมุมจุดชนวนของมันควบคุมได้ง่าย งานทั่วไปนิยมใช้ 6 พัลส์หรือ 12 พัลส์ สำหรับงานที่ต้องการกำลังต่ำจะใช้ 3 พัลส์ งานที่ต้องการกำลังสูงจะใช้ 18 พัลส์หรือมากกว่านี้

2.4 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์โดยทั่วไป

แรงดัน และกระแสฮาร์มอนิคส์มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังดังนี้

- ทำให้เกิดการขยายระดับฮาร์มอนิคส์ เนื่องจากผลของการเรโซแนนซ์อนุกรมและขนาน

-ทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้า การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และการใช้กำลังไฟฟ้ามีประสิทธิภาพลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำให้ฉนวนของอุปกรณ์เสื่อมสภาพ เป็นผลให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง
- ทำให้โรงจักรทำงานผิดพลาด

2.5 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ที่มีต่อระบบอื่นๆ และอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

2.5.1 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ที่มีต่อการเกิดเรโซแนนซ์

ตัวเก็บประจุที่ใช้ในการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในระบบไฟฟ้าอาจเกิดการเรโซแนนซ์เฉพาะแห่งขึ้น ซึ่งจะเป็นเหตุให้ตัวเก็บประจุได้รับกระแสที่มากเกิน และจะเป็นเหตุให้ตัวเก็บประจุได้รับความเสียหายได้ ซึ่งการเกิดเรโซแนนซ์อาจเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบดังนี้

- เรโซแนนซ์ขนานระหว่างอินดัคเตอร์ของแหล่งจ่ายฮาร์มอนิคส์กับตัวเก็บประจุที่บัสบาร์เดียวกัน
- เรโซแนนซ์ขนาน และอนุกรมระหว่างอินดัคเตอร์ของระบบกับโหลดที่เป็นตัวเก็บประจุของระบบ
- เรโซแนนซ์ขนาน และอนุกรมระหว่างอินดัคเตอร์ของระบบกับโหลดที่เป็นตัวเก็บประจุของระบบ

2.5.2 ผลกระทบฮาร์มอนิคส์ต่อระบบสายส่ง

เมื่อมีฮาร์มอนิคส์ไหลในระบบสายส่งจะทำให้เกิดผลเสียหลัก 2 ประการคือ

1.ทำให้กำลังสูญเสียในระบบบสูงขึ้น โดยเป็นผลมาจากค่า rms ของรูปคลื่นกระแสหาได้จากสมการ

$$P_l = \sum_{n=2}^{\infty} I_n \times R_n$$

โดยที่ P_l = กำลังสูญเสียในระบบ

I_n = กระแสฮาร์มอนิคส์อันดับที่ n (rms)

R_n = ค่าความต้านทานที่ความถี่ฮาร์มอนิคส์

2. ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์วงจร โดยเป็นผลของกระแสฮาร์มอนิคส์ที่ไหลในวงจร กรณีที่ระบบไม่มั่นคง คือระบบมีอิมพีแดนซ์สูง และมีระดับฟอลต์ต่ำทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมมากเป็นผลทำให้เกิดการเพี้ยนของแรงดัน ซึ่งผิดกับระบบที่มั่นคงที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำระดับฟอลต์สูง แรงดันตกคร่อมนี้มีผลต่อเคเบิลทำให้เกิดความเครียดไดอิเล็กตริกสูงกว่าปกติ เป็นผลให้อายุการใช้งานของเคเบิลสั้นลง และทำให้เกิดฟอลต์ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่อหม้อแปลง

แรงดันฮาร์มอนิคส์จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน , ฮิสเตอร์รีซิส และความเครียดของฉนวน ส่วนกระแสฮาร์มอนิคส์ก็จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียในทองแดงโดยเฉพาะในกรณีเป็นหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์เพราะว่าตัวหม้อแปลงจะไม่ได้รับประโยชน์จากฟิลเตอร์ที่จะทำการกรองฮาร์มอนิคส์ซึ่งปกติจะต่ออยู่ทางด้าน AC

2.5.4 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่อเครื่องจักรไฟฟ้า

ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่อเครื่องจักรไฟฟ้าทำให้กำลังสูญเสียขณะมีโหลด และไม่มีโหลดเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เครื่องจักรร้อนกว่าปกติ นอกจากนี้ฮาร์มอนิคส์ยังมีผลต่อประสิทธิภาพ และแรงบิดของเครื่องจักรด้วย

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีแหล่งจ่ายไม่เป็นรูปคลื่นซายน์จะสร้างความหนาแน่นฟลักซ์รบกวนอย่างมากเมื่อเทียบกับกรณีมีแหล่งจ่ายที่เป็นรูปคลื่นซายน์ ฮาร์มอนิคส์จะทำให้เกิดฟลักซ์ผลลัพธ์กระจายในช่องว่างอากาศ และทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า คอกกิง (Cogging) คือการไม่สามารถเดินเครื่องได้ หรือการครอลิง (Crawling) คือการที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำกว่าซิงโครนัส ซึ่งขณะนี้ยังไม่มีมาตรฐานกำหนดแรงดัน และกระแสฮาร์มอนิคส์สำหรับมอเตอร์

2.5.5 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่อสวิตซ์เกียร์

กระแสฮาร์มอนิคส์จะเพิ่มความร้อน และกำลังสูญเสียให้แก่สวิตซ์เกียร์ ส่วนประกอบฮาร์มอนิคส์ในรูปกระแสมีผลกระทบในความสามารถในการตัดกระแส (Current Interruption Capability) ของสวิตซ์เกียร์ เป็นผลทำให้การตัดยากมาก สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์จะไม่สามารถตัดกระแสเมื่อมีฮาร์มอนิคส์ทั้งนี้เนื่องจากขอลวดเป่าดับอาร์ก (Blowout Coils) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยให้อาร์กเข้าไปในอาร์กชูต (Arc-Chute) เพื่อทำการตัดวงจรทำงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ เป็นผลให้อาร์กไม่ขาดทำให้เบรกเกอร์ไม่สามารถตัดกระแสได้ปัญหานี้จะเกิดกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ตัดกระแส เช่น โหลดเบรกสวิตซ์ ตัวปิด-เปิดวงจร เป็นต้น แต่เบรกเกอร์สูญญากาศจะมีความไวน้อยต่อกระแสฮาร์มอนิคส์

ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานทางอุตสาหกรรมในการกำหนดระดับของฮาร์มอนิคส์ที่สวิตซ์เกียร์สามารถตัดได้ เนื่องจากการทดสอบตัดวงจรจะทำที่พิกัดความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

2.5.6 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่อคาปาซิเตอร์แบงค์

ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์จะทำให้เกิดความร้อน และความเครียดไดอิเล็กตริก (Dielectric Stress)กับคาปาซิเตอร์อย่างมากและการเพี้ยนของแรงดันทำให้เกิดกำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.7 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่อระบบป้องกันของระบบไฟฟ้ากำลัง (รีเลย์)

ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่อรีเลย์สามารถสรุปได้ดังนี้

- ฮาร์มอนิคส์ทำให้รีเลย์มีแนวโน้มที่จะทำงานช้าลงหรือทำงานที่ค่าสูงขึ้นแทนที่จะทำงานอย่างรวดเร็วหรือทำงานที่ค่าเริ่มต้นต่ำๆ

- ฮาร์มอนิคส์ทำให้รีเลย์สถิตย์แบบความถี่ต่ำมีความไวกว่าปกติทำให้การทริกผิดพลาด

- ฮาร์มอนิคส์ทำให้รีเลย์กระแส และแรงดันเกินเปลี่ยนลักษณะการทำงาน

- ฮาร์มอนิคส์ทำให้แรงบิดการทำงานของรีเลย์กลับทิศทาง

- ฮาร์มอนิคส์ทำให้อิมพีแดนซ์รีเลย์ชนิดคานสมดุล (Balanced Beam-Impedance-Relay) วัดระยะที่เกิดฟอลต์ผิดพลาดมากเกินไปหรือน้อยเกินไป

- ฮาร์มอนิคส์ทำให้ความเร็วในการทำงานของรีเลย์ชนิดผลต่างช้าลง

โดยทั่วไประดับฮาร์มอนิคส์ที่ทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดจะสูงกว่าอุปกรณ์อื่นๆ ขีดจำกัดของฮาร์มอนิคส์ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 20 % จึงจะเกิดปัญหากับรีเลย์

2.5.8 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่อมิเตอร์วัดไฟฟ้า

มิเตอร์ และเครื่องวัดต่างๆก่อนการใช้ต้องทำการปรับแต่งที่กระแสไฟฟ้าสลับรูปคลื่นซายน์ที่ความถี่หลักมูล ดังนั้นถ้านำมาใช้กับระบบที่มีฮาร์มอนิคส์ค่าที่วัดได้จะผิดพลาด หรือกรณีที่เกิดเรโซแนนซ์ในระบบ มีผลทำให้เกิดแรงดันฮาร์มอนิคส์ค่าสูงในวงจร ทำให้มิเตอร์ประเภทจานเหนี่ยวนำ เช่น มิเตอร์วัตต์-ชั่วโมง ทำงานผิดพลาดเนื่องจากการเพี้ยนของฮาร์มอนิคส์ โดยทั่วไปการเพี้ยนของฮาร์มอนิคส์มากกว่า 20 % จะมีผลต่อมิเตอร์

2.5.9 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่ออุปกรณ์ผู้ใช้ไฟฟ้า

- เครื่องรับโทรทัศน์ ฮาร์มอนิคส์จะมีผลต่อแรงดันยอด ทำให้ขนาดและความสว่างของภาพเปลี่ยนไป

- หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดเมอร์คิวรีอาร์ก การทำงานของหลอดชนิดนี้ต้องมีบัลลาสต์ บางครั้งต้องมีคาปาซิเตอร์ด้วย จึงอาจเกิดเรโซแนนซ์กับอินดักแตนซ์ของบัลลาสต์ และวงจรทำให้เกิดความร้อนสูงจนเกิดความเสียหายได้

- คอมพิวเตอร์จะไวต่อความเพี้ยนของฮาร์มอนิคส์อย่างมาก ทุกบริษัทจะมีขีดจำกัดฮาร์มอนิคส์ค่าหนึ่งที่เครื่องสามารถทนได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบของแต่ละบริษัท ถ้าระบบไฟฟ้ามีฮาร์มอนิคส์มากกว่าขีดจำกัดนี้จะทำให้คอมพิวเตอร์เสียหายได้

2.5.10 ผลกระทบของฮาร์มอนิคส์ต่อระบบสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์มอนิคส์จะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารทำให้คุณภาพของการส่งสัญญาณลดลง สัญญาณรบกวนระดับต่ำ เช่น ในระบบโทรศัพท์อาจก่อให้เกิดความรำคาญ ฮาร์มอนิคส์จะเหนี่ยวนำสัญญาณเกิดสัญญาณรบกวนทำให้ได้ยินเสียงเบากว่าปกติหรือมีเสียงรบกวน แต่ที่ระดับสูงฮาร์มอนิคส์ทำให้คุณภาพการส่งลดลง และอาจเกิดการสูญเสียของข่าวสารหรือระบบสื่อสารอาจใช้การไม่ได้

2.6 ศักดาไฟฟ้า และกระแสเนื่องจากฮาร์มอนิคส์

การวิเคราะห์ระบบเพื่อดูผลเนื่องจากเรโซแนนซ์ต้องอาศัยการคำนวณกระแสฮาร์มอนิคส์ต่างๆที่ไหลในระบบ และคำนวณศักดาไฟฟ้าฮาร์มอนิคส์ที่เกิดขึ้นจากกระแสนี้ เรคติไฟเออร์ และอุปกรณ์อย่างอื่นที่คล้ายคลึงกันแทนด้วยแหล่งกำเนิดกระแส (Current Source) และเตาหลอมแบบอาร์กแทนได้ด้วยแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้า (Voltage Source)

การวิเคราะห์ผลจากฮาร์มอนิคส์ควรมีค่าต่างๆในการพิจารณาดังนี้

$$KVA_{ch} = \sum V_h * I_h = \sum (V_h^2 / X_h)$$

$$V_P = \sum V_h$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum I_h^2}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\sum V_h^2}$$

KVA_{ch} : KVA ที่เกิดขึ้นจากคาปาซิเตอร์เนื่องจากฮาร์มอนิคส์ทั้งหมด

V_h : ศักดไฟฟ้าเกิดเนื่องจากฮาร์มอนิคส์ลำดับที่ h

I_h : กระแสไฟฟ้าเนื่องจากฮาร์มอนิคส์ลำดับที่ h

V_P : ศักดาไฟฟ้าสูงสุด

I_{rms} : กระแส rms รวมที่ไหลผ่านคาปาซิเตอร์

V_{rms} : ศักดาไฟฟ้า rms ที่คร่อมคาปาซิเตอร์

ศักดาไฟฟ้า และกระแสตามสมการข้างต้น มีไว้เพื่อพิจารณาว่าจะมีผลต่อคาปาซิเตอร์ที่ใช้ในระบบหรือไม่เพราะคาปาซิเตอร์ที่ใช้กันนั้นถูกกำหนดคุณสมบัติตามมาตรฐาน ANSI/IEEE Standard 18-1980 และ NEMA CP1-1973 ไว้ดังนี้

KVA สูงสุด : 135% ของกำลังไฟฟ้าอัตราของคาปาซิเตอร์

ศักดาไฟฟ้าสูงสุด : 110 % ของศักดาไฟฟ้าอัตราของคาปาซิเตอร์

กระแสสูงสุด : 180% ของกระแสไฟฟ้าอัตราของคาปาซิเตอร์

คาปาซิเตอร์ที่ถูกออกแบบ และสร้างจากผู้ผลิตดังนี้ ก็เพื่อให้มีเปอร์เซ็นต์เพื่อความปลอดภัยเผื่อไว้ สำหรับศักดาไฟฟ้าเกินหรือศักดาไฟฟ้าฮาร์มอนิคส์ที่อาจเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานกำหนดให้คาปาซิเตอร์สามารถทำงานที่ 135 % ของกำลังไฟฟ้าอัตราก็ต่อเนื่องมาจาก

1. กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากศักดาไฟฟ้าฮาร์มอนิคส์ที่เกิดขึ้นที่ขั้วของคาปาซิเตอร์
2. กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากศักดาไฟฟ้าระบบเพิ่มขึ้น (0-10 %)
3. กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการแปรค่าของคาปาซิเตอร์จากโรงงานผลิต (มาตรฐานกำหนดไว้ให้ 0-15 % แต่ส่วนใหญ่โรงงานผู้ผลิตจะสูงสุด 10 %)

กรณีศักดาไฟฟ้าเกินในระบบ 10 % แบะถ้าเกิดมีการแปรค่าของคาปาซิเตอร์ 10 % กำลังไฟฟ้าที่คาปาซิเตอร์มีขนาด (1.2 / 0.9) = 1.34 หรือประมาณ 135%ของกำลังไฟฟ้าอัตราของคาปาซิเตอร์

2.7 การแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิคส์

ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีอุปกรณ์กำเนิดฮาร์มอนิคส์ ถ้าไม่กำจัดฮาร์มอนิคส์ดังกล่าวก็จะทำให้อุปกรณ์ต่างๆได้รับความเสียหายได้ ระบบที่มีอุปกรณ์กำเนิดฮาร์มอนิคส์มักมีเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ ดังนั้นจึงมีคาปาซิเตอร์ช่วยแก้เพาเวอร์แฟคเตอร์ด้วย ถ้าหากขนาดคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ไปใกล้เคียงกับฮาร์มอนิคส์ใดจากอุปกรณ์ดังกล่าวทำให้เกิดศักดาไฟฟ้า และกระแสในระบบก็ยิ่งมีโอกาสทำให้อุปกรณ์เสียหายได้มากขึ้น

การแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิคส์สามารถทำได้หลายประการดังนี้

1. การกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อลดปริมาณฮาร์มอนิคส์ให้มีปริมาณต่ำๆ โดยฟิลเตอร์ต่อขนานกับระบบ

2.ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าโดยหม้อแปลงจะต่อแบบ $Y-\Delta$ ปริมาณฮาร์มอนิคส์ที่ 3 จะไหลวนอยู่ในหม้อแปลงโดยไม่ไหลไปสู่ระบบ

3. การลดทอนฮาร์มอนิคส์ โดยการสร้างปริมาณฮาร์มอนิคส์ซึ่งไปหักล้างกับปริมาณฮาร์มอนิคส์ที่จ่ายเข้ามา

4. การเปลี่ยนระบบ การเปลี่ยนที่ตั้งหรือขนาดคาปาซิเตอร์ที่แก้เพาเวอร์แฟคเตอร์หรือเพิ่มรีแอคเตอร์ให้อนุกรมกับคาปาซิเตอร์โดยตอบสนองความถี่ฮาร์มอนิคส์

2.8 วงจรกรองฮาร์มอนิคส์ (Harmonic Filter)

วงจรกรองกระแสฮาร์มอนิคส์สามารถแบ่งได้หลายแบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ฟิลเตอร์แบบอนุกรม ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำต่อขนานกับตัวเก็บประจุซึ่งจะต่ออนุกรมเข้ากับระบบ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันแรงดันฮาร์มอนิคส์ที่ความถี่ที่กำหนดจากแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิคส์ไม่ให้เข้าไปสู่ระบบ โดยจะแสดงตัวเป็นอิมพีแดนซ์ที่มีค่าสูงกว่าความถี่ที่กำหนด

2. ฟิลเตอร์แบบขนาน เป็นฟิลเตอร์ที่ต่อขนานเข้ากับระบบเพื่อทำหน้าที่ป้องกันกระแสฮาร์มอนิคส์ที่ความถี่ที่กำหนดจากแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิคส์ไม่ให้เข้าไปสู่ระบบ โดยจะแสดงตัวเป็นอิมพีแดนซ์ที่มีค่าต่ำที่ความถี่ที่กำหนด ซึ่งลักษณะของตัวกรองความถี่แบบต่อขนานเข้ากับระบบที่นิยมใช้กันมี 2 แบบ คือ Single Tuned , Damped Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบวงจรเครื่องควบคุมการกรองฮาร์มอนิคส์

3.1 องค์ประกอบของเครื่องควบคุมการกรองฮาร์มอนิคส์

3.1.1 **อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (LEM)** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดัน เพื่อส่งให้บอร์ด TMS320C50 DSK ประมวลผล

3.1.2 **TMS320C50 DSK** เป็นบอร์ดที่ใช้ในการประมวลผลโปรแกรม

3.1.3 **สาย RS-232 ซีเรียลพอร์ท** เป็นสายที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดเพื่อทำการรันโปรแกรม

3.1.4 **ส่วนแสดงผล** ประกอบด้วย LCD และ LED ใช้แสดงค่าของฮาร์มอนิคส์และสัญญาณควบคุม

3.1.5 **วงจรควบคุม (Controller)** เป็นส่วนที่รับสัญญาณจาก LED เพื่อทำการสั่งให้แมกเนติค คอนแทคเตอร์สั่งให้ฟิลเตอร์ตัดหรือต่อวงจร

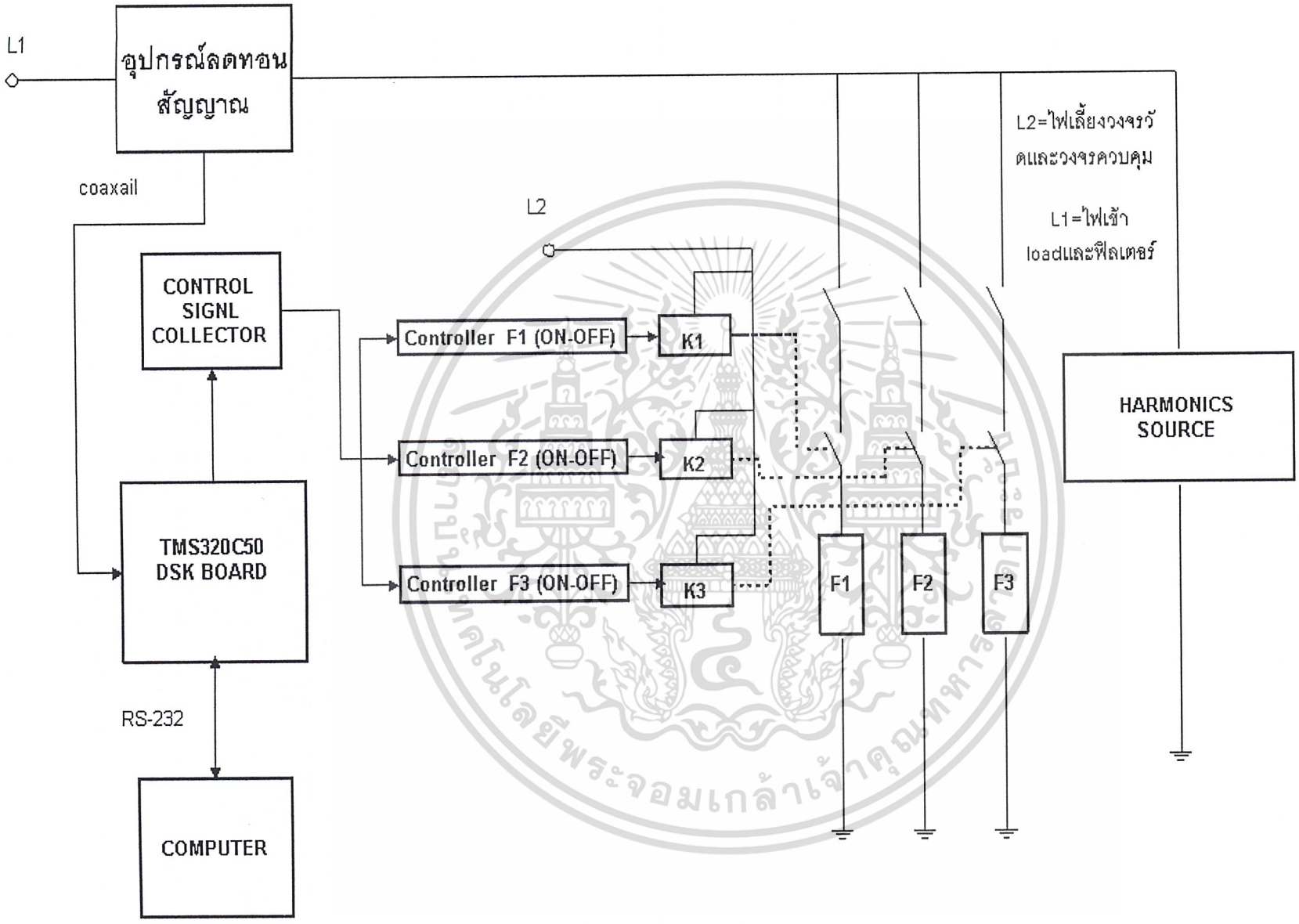
3.1.6 **แมกเนติค คอนแทคเตอร์** เป็นส่วนควบคุมวงจรกำลัง

วงจรแสดงการต่อวงจรทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.1

3.2 การจับสัญญาณของ LEM

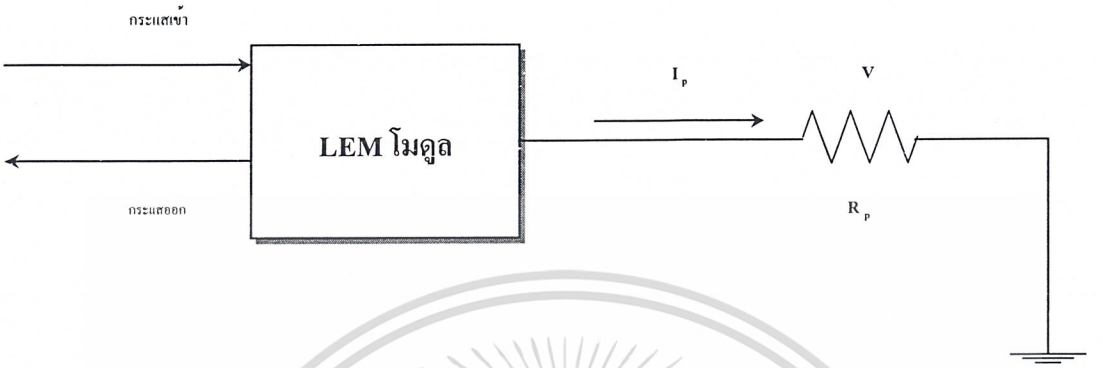
ข้อสำคัญประการหนึ่งในการวัดสัญญาณฮาร์มอนิคส์คือ เราไม่สามารถวัดขนาด และรูปร่างสัญญาณเข้ามาคำนวณขนาดขององค์ประกอบฮาร์มอนิคส์ได้โดยตรง เนื่องจากจะต้องนำรูปคลื่นกระแสมาทำการคำนวณโดยอาศัยการประมวลผลเชิงตัวเลข(DSP: Digital Signal Processing) ผ่านการ์ดประมวลผล TMS320C50 DSK ซึ่งก่อนทำการประมวลผลลักษณะรูปคลื่นซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอก (Analog) จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอลโดย TLC32040 ซึ่งเป็นตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งอยู่ในการ์ด DSP อยู่แล้ว สัญญาณอนาลอกนี้จะเป็นสัญญาณที่อยู่ในช่วง $\pm$ 3 โวลท์ ดังนั้นจึงต้องลดทอนสัญญาณเข้าอยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไม่เกิน $\pm$ 3 โวลท์ โดยที่หลังการลดทอนสัญญาณลักษณะรูปคลื่น (waveform) ต้องผิดเพี้ยน (distortion) น้อยสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการต่อวงจรทั้งหมดของเครื่อง HFC (Harmonics Filter Controller)

ดังนั้นจึงเลือกใช้ LEM โมดูล ซึ่งเป็นตัวแปลงกระแสโดยอาศัยหลักการของปรากฏการของฮอลล์ (Hall Effect) โดยการทำงานจะคล้ายกับหม้อแปลงกระแสแต่มีความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อยกว่า กระแสที่ออกจาก LEM โมดูลจะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไม่เกิน $\pm$ 3 โวลท์ โดยให้กระแสผ่านความต้านทานค่าคงที่ค่าหนึ่งแล้วนำแรงดันตกคร่อมมาใช้



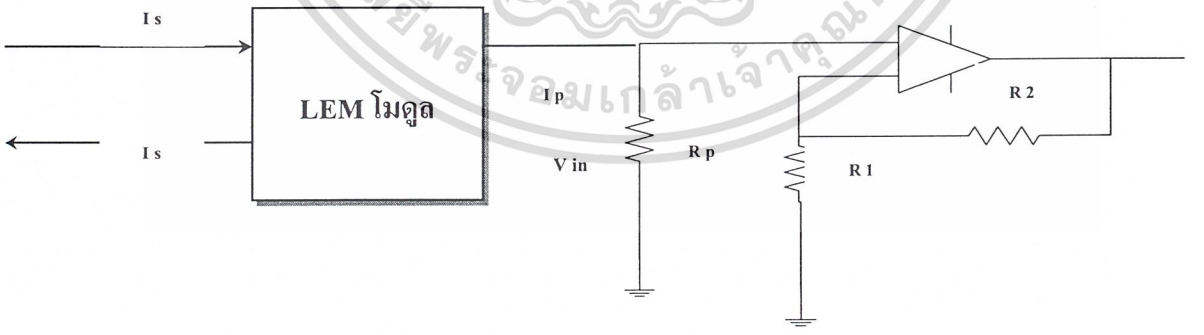
รูปที่ 3.2 แสดงการแปลงสัญญาณกระแสจาก LEM ให้เป็นสัญญาณแรงดัน

ซึ่งแรงดันตกคร่อม R_p หาได้จาก

$$V = i_p R_p \qquad 3.1$$

แต่อย่างไรก็ตามการนำแรงดันตกคร่อม R_p ป้อนเข้าการ์ด DSP โดยตรงนั้นอาจมีผลให้การวัดผิดเพี้ยนได้เนื่องจากการดึงกระแสของการ์ด DSP (ถึงแม้จะมีค่าน้อยแต่สามารถหลีกเลี่ยงได้)

ดังนั้นจะใช้วงจรนอน-อินเวอร์ทติงแอมป์ (non-inverting amp) มาขั้นกลางโดยใช้ออปแอมป์ LF351 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่ใช้งานได้ในช่วงความถี่สูง(4 MHz) ซึ่งใช้ได้ในย่านการใช้งานสำหรับสัญญาณในการวัดสัญญาณฮาร์มอนิคส์ไม่เกินลำดับที่ 35 คือที่ความถี่ 35x50 = 1750 Hz



รูปที่ 3.3 แสดงการใช้วงจรนอน-อินเวอร์ทติงแอมป์มาขั้นกลางระหว่าง
สัญญาณแรงดันจาก LEM กับ สัญญาณเข้าการ์ด DSP

จากรูปวงจรที่ 3.3 จะได้

$$V_{out} = (1 + R_1 / R_2) V_{in}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเลือกใช้ $R_1 = R_2 = 5\ K\Omega$

เราจะได้ $V_{out} = 2V_{in}$ และเนื่องจาก V_{out} เป็นสัญญาณที่จะต้องป้อนเข้าการ์ด DSP ซึ่งจำกัดขนาดแรงดันสูงสุดไม่เกิน $\pm$ 3 โวลท์ ดังนั้น V_{in} ต้องมีขนาดไม่เกิน $\pm$ 1.5 โวลท์ เนื่องจาก LEM ที่ใช้เป็นแบบ LA25 NP ซึ่งทนกระแสได้ 25 แอมแปร์ ดังนั้นจะทนกระสูงสุดได้ $25\times\sqrt{2} = 35.4$ แอมแปร์ หรือประมาณ 36 แอมแปร์

โดยเลือกใช้อัตราส่วน (turn ratio) เป็น 1000/1 ดังนั้น

$$I_p = 36/1000\ A$$

$$= 36\ mA$$

จากสมการ (3.1) จะสามารถคำนวณ R_p แต่เนื่องจาก $V = V_{in}$ ดังนั้น

$$R_p = V/i_p\ \Omega$$

หาค่า $R_p = (1.5/36)*10^3\ \Omega$

$= 41.7\ \Omega$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ $R_p = 40\ \Omega$

3.3 การออกแบบและการทำงานของวงจรแสดงผล

สำหรับการแสดงผลนั้น จะแสดงผลออกทางวงจร LCD และ LED โดยการรับข้อมูลของพอร์ทที่ 2 , สัญญญาณ clock และไฟเลี้ยง 5 V_{dc} จากบอร์ด TMS320C50 DSK

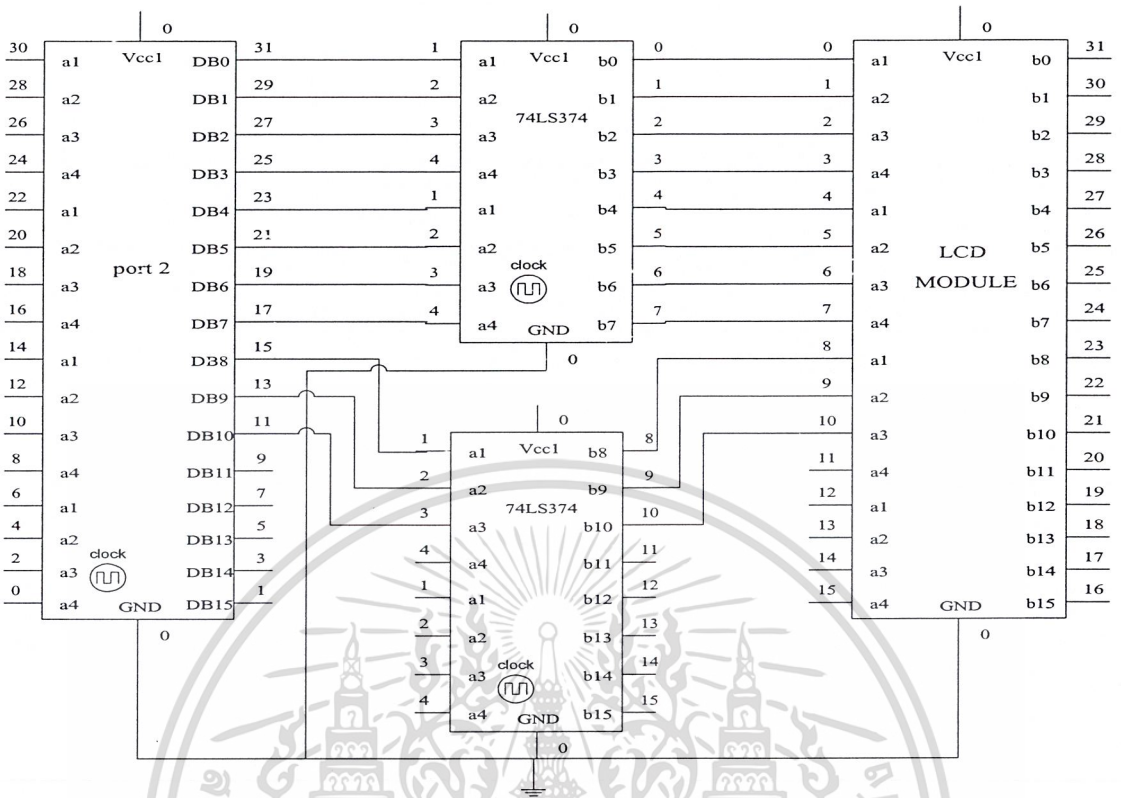
3.3.1 วงจรแสดงผล LCD

วงจรแสดงผล LCD จะเป็นการแสดงผลค่า%HAR2^{nd} – %HAR13^{rd} และ %THD ออกมาเป็นตัวเลขวนกันไปเป็นรอบๆ โดยในแต่ละรอบจะกินเวลาประมาณ 20 วินาที เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระไม่ว่าในกรณีใดๆ LCD จำเป็นต้องใช้เวลาในการแสดงผลประมาณ 2-3 รอบ จึงจะได้ค่า %HARMONIC ที่ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะยังมีข้อมูลเก่าในภาระเดิมที่ยังไม่ได้แสดงผลออกมาทันทีที่เปลี่ยนภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

I. รูปแบบวงจร



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรการต่อวงจรแสดงผลกับพอร์ทที่ 2 ของ DSK

II. การต่อวงจร

จากภาพการต่อ LCD โมดูล กับ TMS320C50 จำนวน 11 เส้น คือ DB0 - DB10 จะต่อเข้ากับไอซีเบอร์ 74LS374 ซึ่งมีพอร์ทขนาด 8 บิท จำนวน 2 ตัว เพื่อให้ได้บัสข้อมูลขนาด 16 บิท ส่วนสัญญาณ V_{dc} = 5 V. ที่ได้จาก Vcc., กราวนด์ และสัญญาณ clock จะต่อมาจากตัวไมโครโปรเซสเซอร์เช่นเดียวกัน

III. คุณสมบัติของจอ LCD

1. มีให้เลือกหลายรุ่นตามการใช้งาน โดยมีตัวอักษรและบรรทัดแตกต่างกันไป ในโปรเจกนี้เลือกใช้งานรุ่น DMC162 แบบ 16 ตัวอักษร 2 แถว

2. ตัวอักษรแสดงด้วย DOT MATRIX ขนาด 5×8 DOT

3. สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้ 2 ลักษณะ คือแบบ MEMORY MAP(20 PIN LCD BUS) และแบบผ่านพอร์ท ในโปรเจกนี้เลือกใช้ไอซีเบอร์ 74LS374 ต่อเข้ากับ DATA BUS เพื่อต่อให้เป็นพอร์ทข้อมูล ทำให้ข้อมูลที่ส่งจากไมโครโปรเซสเซอร์สามารถค้างข้อมูลในการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

34141

4. การใช้งานง่ายและสะดวก ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เพียงแค่ส่งข้อมูลให้กับ LCD โมดูลเท่านั้น ข้อความก็ปรากฏบนแผงแสดงผล และจะคงค้างไว้ตลอด ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาหลักของระบบไมโครโปรเซสเซอร์

5. มีคำสั่งพิเศษสำหรับอำนวยความสะดวกมากมาย เช่น CLEAR DISPLAY, HOME CURSOR, ON - OFF CURSOR, BLINK CHARACTER และอื่นๆอีกมากมาย

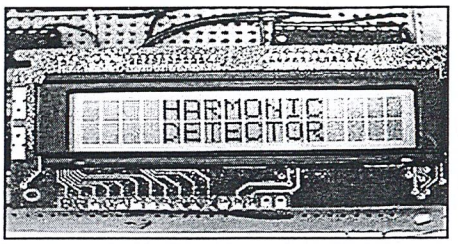
6. สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลขได้ 160 ตัว และสัญลักษณ์พิเศษอีก 32 ตัว รวมทั้งสามารถกำหนดอักษรที่ออกแบบเองได้อีก 8 ตัว

7. กินกระแสน้อย และมีน้ำหนักเบา รวมทั้งทำงานได้ด้วยไฟเลี้ยงระดับ 5 โวลท์เท่านั้น

ขา (PIN)	สัญลักษณ์ (SYMBOL)	ระดับสัญญาณ (LEVEL)	หน้าที่ (FUNCTION)
1	V_{SS}	----------	0 V. GND
2	V_{cc}	----------	+5V. POWER SUPPLY
3	V_{ee}	----------	+V. FOR LIQUID CRYSTRAL DRIVE
4	RS	H/L	REGISTER SELECT H:DATA INPUT L:INSTRUCTION
5	R/W	H/L	INPUT H:DATA READ L:DATA WRITE
6	E	H	ENABLE SIGNAL (L ⟶ H)
7	DB08	H/L	DATA BUS BIT 0
8	DB1	H/L	DATA BUS BIT 1
9	DB2	H/L	DATA BUS BIT 2
10	DB3	H/L	DATA BUS BIT 3
11	DB4	H/L	DATA BUS BIT 4
12	DB5	H/L	DATA BUS BIT 5
13	DB6	H/L	DATA BUS BIT 6
14	DB7	H/L	DATA BUS BIT 7

ตารางที่ 3.1 แสดงขาสัญญาณของ LCD โมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงจอ LCD

IV. หลักการเขียนข้อมูลให้ LCD โมดูล

1. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD โมดูล จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ คำสั่ง (INSTRUCTION) และข้อมูล (DATA) โดยจะกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS คือ ถ้า RS = 0 หมายถึงคำสั่งสัญญาณควบคุม (INSTRUCTION) หรืออ่านค่า FALG สภาพการทำงานของ LCD โมดูล และถ้า RS = 1 หมายถึงการเขียนหรืออ่าน DATA กับ โมดูล

2. หลักการในการเขียนข้อมูลให้ LCD โมดูล นี้ คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้ว ตัว LCD โมดูล จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง (ตามค่า EXECUTE TIME) ซึ่งระบบไมโครโปรเซสเซอร์สามารถตรวจสอบได้จาก BUSY FLAG และถ้าเรียบร้อยแล้วจึงจะสามารถเขียนข้อมูลอันต่อไปได้ ในกรณีที่การต่อวงจรเป็นแบบ I/O พอร์ท คือไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องใช้วิธีหน่วงเวลาแทน

3. การเขียนข้อมูลให้กับ LCD โมดูล นี้ สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 บิท และ 4 บิท โดยกรณี 4 บิท จะใช้สายสัญญาณข้อมูลเพียง 4 เส้น คือ DB4-DB7 ซึ่งใช้สำหรับระบบไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 4 บิท หรือเพื่อการประหยัดสาย ในการเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือน 8 บิท เพียงแต่ให้เขียน 2 ครั้ง คือ DB4-DB7 ก่อน แล้วตามด้วย DB0-DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่า DL ในคำสั่ง FUNCTION SET ด้วย

4. DDRAM (DISPLAY DATA RAM) คือหน่วยภายในตัว LCD โมดูล ที่เป็นบัฟเฟอร์ (BUFFER) ของข้อมูล โดยถ้าเขียนรหัส ACSII ใดๆลงในหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏเป็นตัวอักษรที่แผงแสดงทันที

5. CGRAM(CHARACTER GENERATOR RAM) คือหน่วยความจำภายในตัว LCDโมดูล สำหรับเก็บภาพตัวอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างเองได้ 8 ตัวอักษร โดยจะอ้างแอดเดรส (ADDRESS) ได้ทั้งหมด 64 ไบท์ (BYTE) คือ 8 ตัวอักษรคูณกับ 8 แถว (ROW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V. การทำงาน

การทำงานของ LCD นั้นจะรับผลการคำนวณจากบอร์ด TMS320C50 DSK มาพักไว้ที่ไอซี เบอร์ 74LS374 เพื่อนำมาแสดงผลทางจอ LCD ที่ขาอินพุท และเอาท์พุทตามที่ได้แสดงไว้แล้ว ข้อมูล %HAR2nd – %HAR13th และ % THD จะถูกแสดงออกตามลำดับในแต่ละรอบ

สำหรับไอซี เบอร์ 74LS374 นั้น ประกอบด้วย D/Flip Flop 8 ตัว IC 74LS374 ตัวหนึ่งจะรับ D0-D7 จากพอร์ทที่ 2 ของบอร์ด TMS320C50 DSK แล้วส่งสัญญาณออกทาง Q1-Q8 ให้กับ D0-D7 ของ LCD โมดูล

IC 74LS374 อีกตัวหนึ่งจะใช้ D/Flip Flop เพียง 5 ตัวเท่านั้น สำหรับขา RS, R/W, E ของ LCD โมดูล โดยผ่านทาง Q1-Q3 และรับข้อมูลมาจาก D8-D10 ของพอร์ทที่ 2 ของบอร์ด TMS320C50 DSK โดยไอซีทั้ง 2 ตัวจะทำงานโดยการรับสัญญาณ clock ที่มาจากบอร์ดเดียวกัน

VI. ความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้จากการแสดงผล

1. ใน 2 รอบแรกของการเปลี่ยนภาระและการเริ่มต้นการวัดจะได้ค่าที่ยังไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องรันโปรแกรมให้ผ่าน 2 รอบนี้ไปก่อน จึงจะได้ค่าที่ถูกต้องสำหรับการควบคุมต่อไป

2. ถ้า %HARMONIC ใดๆมีค่าเกินกว่า 100% (ถ้าไม่ใช่ค่าที่ได้จากการรัน 2 รอบแรก) ให้สันนิษฐานว่า LEM จับสัญญาณไม่ได้ เนื่องจากกระแสโหลดน้อยเกินไป หรือไม่ได้ต่อสาย coaxial หรือสาย coaxial หลุดก็เป็นได้

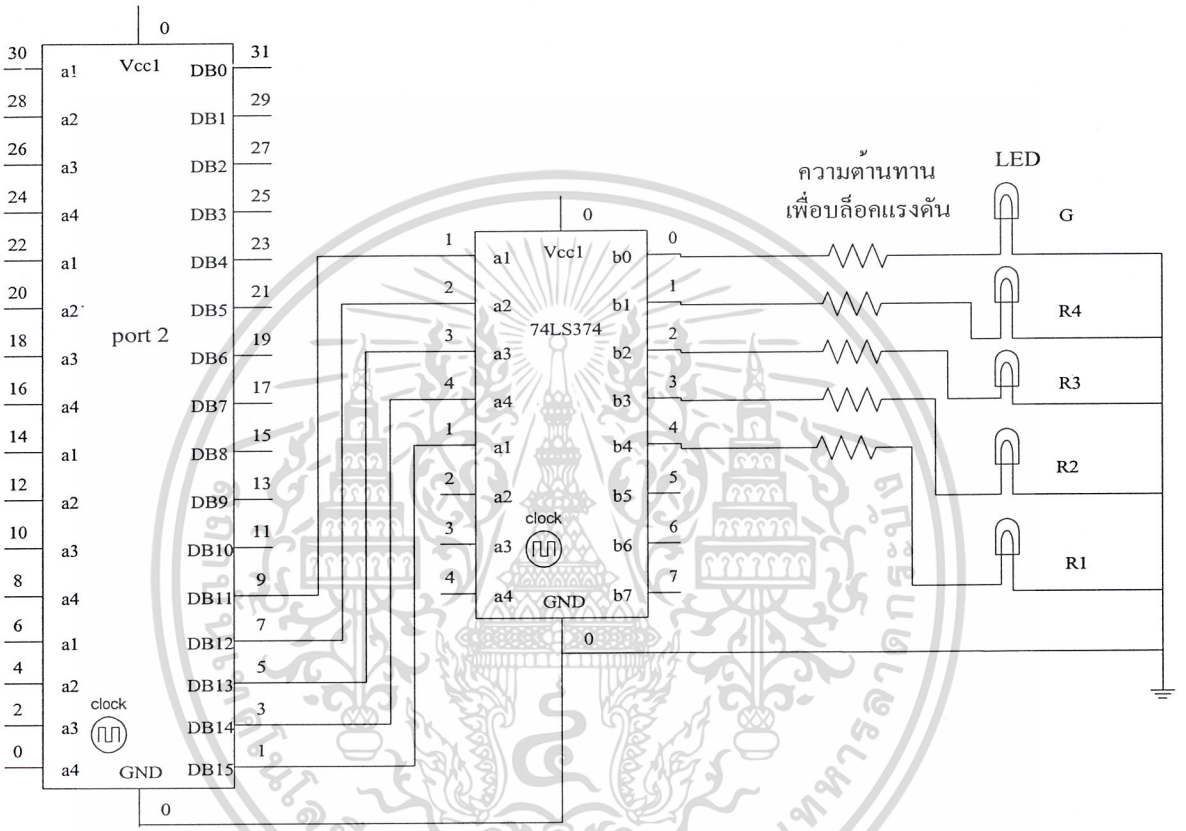
3. ในบางครั้ง การวัดสัญญาณ sinusoidal ที่ %THD < 2% จะเกิดความผิดพลาด เนื่องจากความผิดพลาดของความถี่ที่ 50 Hz.(ความถี่หลักมูล) ซึ่งบอร์ดไม่สามารถตรวจจับได้ เป็นผลให้ค่าแอมพลิจูดที่ความถี่หลักมูลผิดพลาดไป การคำนวณย่อมผิดแน่นอน จึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาโปรแกรมต่อไป แต่ถ้าความถี่หลักมูลที่ 50 Hz. มีค่าคงที่ก็จะไม่เกิดปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วงจรแสดงผล LED

I. รูปแบบวงจร

จากรูปแบบวงจรของ LED ทั้งรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.8 ปรากฏว่าจะได้รับลอจิกมาจาก D11-D15 จำนวน 5 ลอจิก (00000-11111) เพื่อส่งต่อมาที่ IC 74LS374 ก่อนที่จะออกมาทางเอาท์พุทเพื่อต่อกับ LED ต่อไป



รูปที่ 3.6 แสดงรูปแบบวงจร LED

II. การทำงาน

นอกจากจะทำการวัดและแสดงผลทาง LCD แล้ว เครื่องวัดฮาร์มอนิคส์นี้ยังสามารถส่งสัญญาณออกไปควบคุมเครื่องกรองฮาร์มอนิคส์ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนประกอบกันเป็น HFC (Harmonics Filter Controller) แล้ว โดยจะส่งสัญญาณออกมา 5 ลอจิก ซึ่งต่อกับความต้านทานสำหรับลดแรงดันก่อนที่จะต่อหลอด LED ซึ่งประกอบด้วย สีเขียว 1 หลอด, สีแดง 4 หลอด

ใน HFC นั้น LED จะแสดงผลต่อจาก LCD แบ่งการแสดงผลเป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่แสดงค่ามากสุดของ %HARMONIC โดยใช้สีแดง 4 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ถ้า %HAR3rd สูงสุด จะแสดง 00011 หรือถ้า %HAR11th สูงสุด จะแสดง 01011 เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 3.2

สัญญาณ	ลำดับฮาร์มอนิคส์ที่มี % มากที่สุด	สัญญาณ	ลำดับฮาร์มอนิคส์ที่มี % มากที่สุด
00000	-	01000	8
00001	-	01001	9
00010	2	01010	10
00011	3	01011	11
00100	4	01100	12
00101	5	01101	13
00110	6	01110	-
00111	7	01111	-

หมายเหตุ : หลอดไฟมีการเรียงลำดับการต่อวงจรดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าลอจิกสำหรับ %HARMONIC มากสุด

2. ส่วนที่แสดงการควบคุมฟิลเตอร์

ลอจิกสีเขียวเป็นตัวบอกว่าจะทำการกรอง โดยถ้าสีเขียว 'สว่าง' แสดงว่า มีการส่งสัญญาณให้ฟิลเตอร์ทำงาน อาจจะเป็นการ ON หรือ OFF กรณีใดกรณีหนึ่งก็ได้ จากนั้นลอจิกสีแดง 4 หลอดจะเป็นตัวเลือกว่าจะ ON หรือ OFF และ ON ฟิลเตอร์ตัวใด หรือ OFF ฟิลเตอร์ ตัวใด สำหรับ 4 ลอจิก สามารถเลือกการแสดงสัญญาณที่แตกต่างกันได้ 6 แบบ เมื่อรวมกับหลอดสีเขียวก็จะได้ว่า เป็นการแสดงสัญญาณที่แตกต่างกัน 6 แบบ และ 5 ลอจิกจะมี 3 ลอจิกที่เป็น High และอีก 2 ลอจิกเป็น Low ดังนั้นจึงง่ายที่จะนำ AND GATE 3-INPUT มาใช้ในการเลือกสัญญาณควบคุม ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

สำหรับ LED นั้น สามารถปรับปรุงการใช้งานได้ตามความเหมาะสมที่ต้องการใช้งาน เช่น ถ้าต้องการควบคุมฟิลเตอร์ 10 ตัว ก็ต้องใช้ ON 10 ลอจิก, OFF 10 ลอจิก แต่ทั้งนี้ อุปกรณ์เลือกสัญญาณก็จะเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการโปรแกรมช่วงระหว่างการ ON - OFF นั้น สามารถตั้งค่าได้ในโปรแกรม แต่จะต้องเหมาะสมกับค่าประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ด้วย มิฉะนั้น จะไม่เกิดการ OFF หรือ อาจมีการ ปิด – เปิดของสวิตซ์บ่อยครั้งเกินไป

สัญญาณ	ความหมาย	สัญญาณ	ความหมาย
11001	ON ฟิลเตอร์ที่ 1	10011	OFF ฟิลเตอร์ที่ 1
11010	ON ฟิลเตอร์ที่ 2	10110	OFF ฟิลเตอร์ที่ 2
11100	ON ฟิลเตอร์ที่ 3	10101	OFF ฟิลเตอร์ที่ 3

หมายเหตุ :

ตารางที่ 3.3 แสดงความหมายของลอจิกของ LED ในการเป็นสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

i) การแสดง %HARMONIC

MAXIMUM

หลอดไฟ	ความหมาย	หลอดไฟ	ความหมาย
○ ○ ○ ○ ●	HAR1 (00001) ไม่ใช้	○ ● ○ ○ ●	HAR9 (01001)
○ ○ ○ ● ○	HAR2 (00010)	○ ● ○ ● ○	HAR10 (01010)
○ ○ ○ ● ●	HAR3 (00011)	○ ● ○ ● ●	HAR11 (01011)
○ ○ ● ○ ○	HAR4 (00100)	○ ● ● ○ ○	HAR12 (01100)
○ ○ ● ○ ●	HAR5 (00101)	○ ● ● ○ ●	HAR13 (01101)
○ ○ ● ● ○	HAR6 (00110)	○ ● ● ● ○	HAR14 (01110) ไม่ใช้
○ ○ ● ● ●	HAR7 (00111)	○ ● ● ● ●	HAR15 (01111) ไม่ใช้
○ ● ○ ○ ○	HAR8 (01000)	● ○ ○ ○ ○	HAR16 (10000) ไม่ใช้

ii) การแสดงสัญญาณควบคุม

G	R4	R3	R2	R1	ความ หมาย
●	●	○	○	●	(11001) ON FILTER 3rd
●	●	○	●	○	(11010) ON FILTER 5th
●	●	●	○	○	(11100) ON FILTER 7th
●	○	○	●	●	(10011) OFF FILTER 3rd
●	○	●	●	○	(10110) OFF FILTER 5th
●	○	●	○	●	(10101) OFF FILTER 7th

หมายเหตุ: G หลอดไฟสีเขียว R หลอดไฟสีแดง

รูปที่ 3.7 แสดงค่าลอจิกของ LED เทียบกับการสว่าง

ของหลอดและความหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III. ความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการแสดงผล LED

1. ขณะที่เริ่มเปิดสวิตซ์ควบคุม TMS320C50 DSK นั้น LED (ในบางครั้ง)จะสว่างหมดทั้ง 5 หลอด ขณะนี้ S* ต้องปิดอยู่

2. ปลั๊กคอมพิวเตอร์หลุด LED ทั้ง 5 หลอดก็อาจจะสว่างขึ้นอีก ซึ่งกรณีนี้ต้องระวังเป็นอย่างมาก เพราะแน่นอนว่า ในขณะนี้ทำการเปิด S* แล้วถ้าสั่งรันโปรแกรมและกรองฮาร์มอนิคส์ไป่พร้อมๆกัน ทรานซิสเตอร์ในตัวควบคุมอาจจะเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจะต้องแน่ใจว่าปลั๊กคอมพิวเตอร์นั้นมีเสถียรภาพพอ

3. โหลด, ปลั๊ก LEM หลุดกะทันหัน ทั้งหมดนี้ต้องระวังถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อ LED ซึ่งจะมีผลต่อตัวควบคุมด้วย แต่จะมีผลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ

4. เกิดการค้างหลอดไฟ หรือการค้างของจอ LCD หรือรันโปรแกรมแล้วจอ LCD ไม่ทำงาน อาจเป็นไปได้ที่สาย clock หลุด จึงควรตรวจเช็คดู

5. ลอจิกไม่เป็นไปตามที่สั่งให้ออก เช่น โปรแกรมสั่ง 10011 หลอด LED ต้องสว่าง 3 หลอดแต่หลอดสว่างแค่ 2 หลอดหรือไม่ใช่ 3 หลอดที่ต้องการแสดง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการต่อระหว่าง LED กับอุปกรณ์เลือกสัญญาณควบคุมไม่แน่น หรืออาจเป็นเพราะผลของอุปกรณ์เลือกสัญญาณควบคุม เช่น มีการลัดวงจรเกิดขึ้นบนแผ่นปริ้นท์วงจรและอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

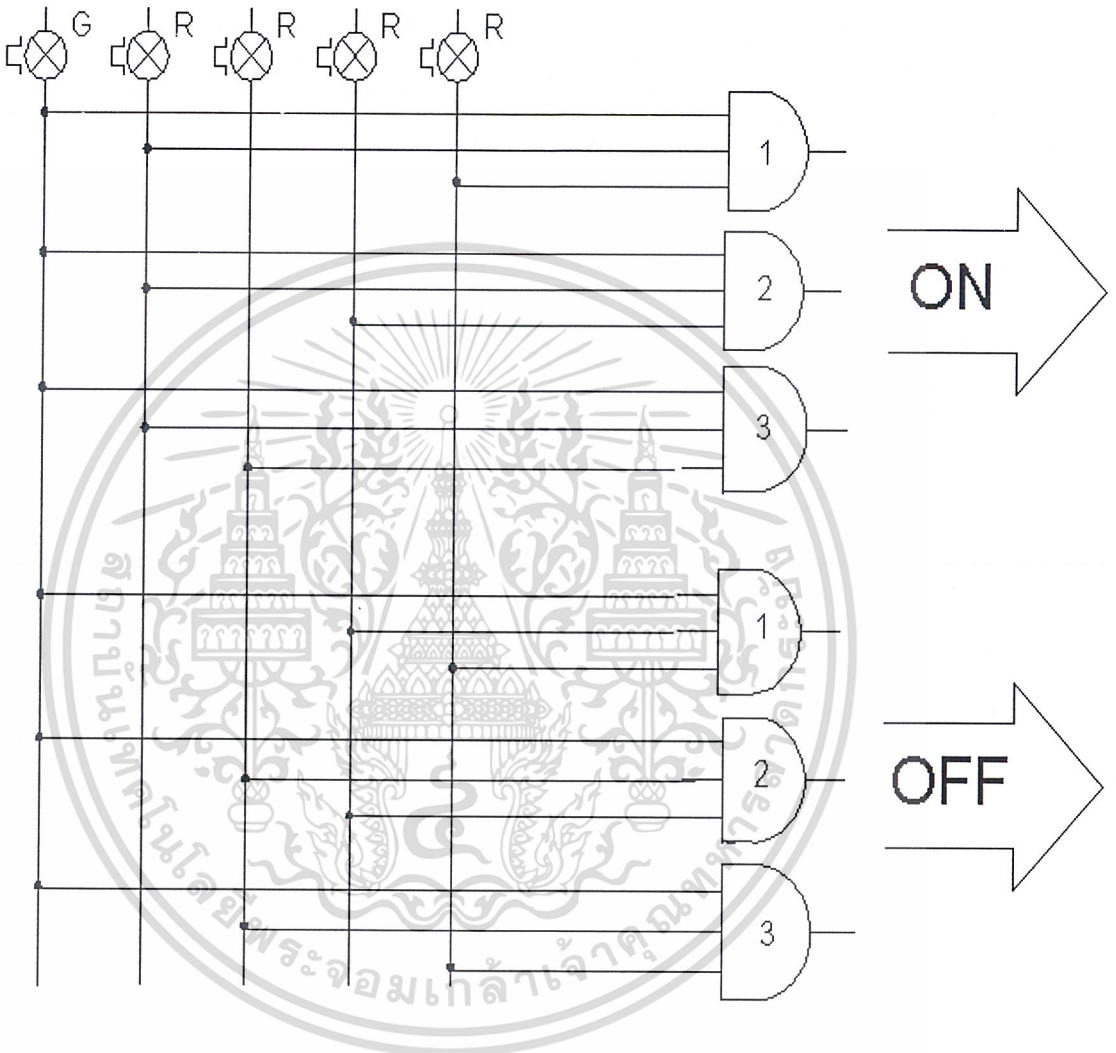
3.4 วงจรควบคุมและโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม

3.4.1 วงจรควบคุม วงจรควบคุมที่จะกล่าวถึงในบทนี้ประกอบด้วย วงจรหลักๆ 2 วงจรด้วยกัน คืออุปกรณ์เลือกสัญญาณควบคุม และตัวสวิทช์ควบคุม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบวงจร

I. อุปกรณ์เลือกสัญญาณ

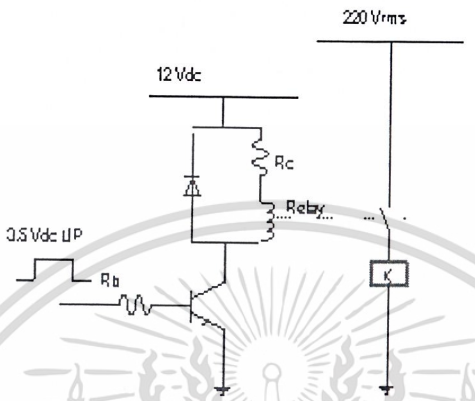


รูปที่ 3.8 รูปวงจรเลือกสัญญาณควบคุม

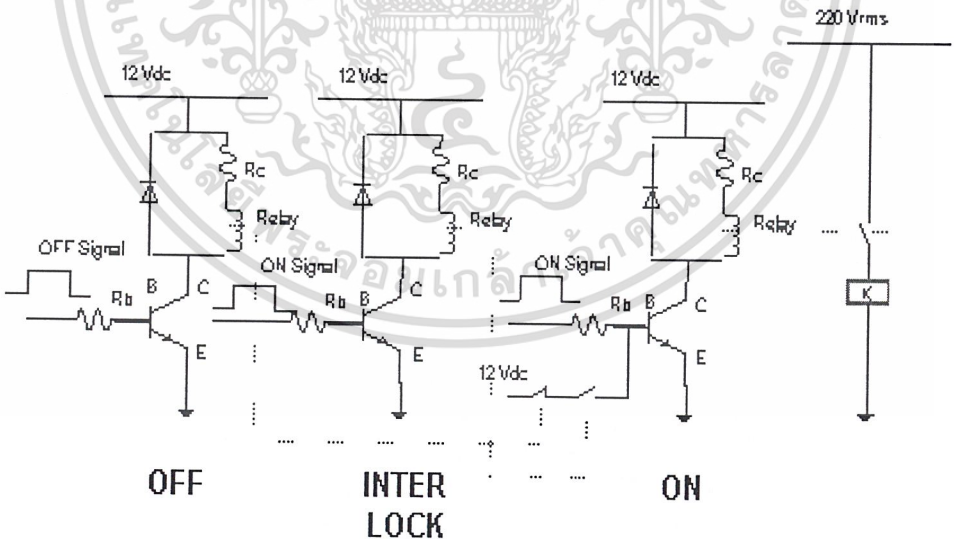
จากรูปที่ 3.8 จะพบว่าอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย AND GATE 3-INPUT จำนวน 6 ตัวเพื่อรับสัญญาณจากหลอด LED ทั้ง 5 หลอด ดังนั้นจึงเลือกใช้ IC 74LS11 จำนวน 2 ตัว ในแต่ละตัวจะมี AND GATE 3-INPUT จำนวน 3 ตัวด้วยกัน แบ่งเป็นไอซี 1 ตัว สำหรับรับสัญญาณ ON ตั้งแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิทซ์ฟิลเตอร์ตัวที่ 1-3 และอีกหนึ่งตัวสำหรับรับสัญญาณ OFF ของสวิทช์ตัวที่ 1-3 ตามความหมายของค่าลอจิกต่างๆที่ได้ตั้งโปรแกรมเอาไว้แล้ว ในอุปกรณ์เลือกสัญญาณนี้จะรับไฟเลี้ยง 5 V_{dc} จากบอร์ดประมวลผล TMS320C50 DSK โดยต่อผ่านวงจรแสดงผล LCD



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรพื้นฐานการใช้งานทรานซิสเตอร์เป็นสวิทซ์ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.10 องค์ประกอบทั้งหมดในสวิทช์สำหรับควบคุมฟิลเตอร์

2. สวิทซ์คอนโทรล ใน HFC จะมีสวิทซ์คอนโทรลทั้งสิ้นจำนวน 3 สวิทซ์ด้วยกัน สำหรับฟิลเตอร์จำนวน 3 ตัว ดังนั้นจะพิจารณาการออกแบบทีละตัวโดยในแต่ละตัวจะประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทรานซิสเตอร์ควบคุมรีเลย์พื้นฐาน 3 ชุด เหมือนๆกันต่างกันตรงที่การนำเอาหน้าคอนแทคของรีเลย์ไปใช้งานเท่านั้นจากวงจรในรูปที่ 3.9 นั้นอุปกรณ์ที่ต้องใช้มี R_B, R_C, ไดโอด และทรานซิสเตอร์เบอร์C2274 สำหรับ R_B และR_C สามารถคำนวณได้จากข้อมูลของ C2274 ในภาคผนวก ส่วนไดโอดป้องกันรีเลย์ เบอร์ IN4001 นั้นเหมาะสมที่จะใช้งานกับรีเลย์ขนาด 250V,10A แล้ว (ในวงจรจริงใช้ $R_B = 3.9$ kΩ และ $R_C = 24$ kΩ)

II. การทำงานของวงจรควบคุม

เมื่ออุปกรณ์เลือกสัญญาณส่งสัญญาณมาให้สวิทช์ควบคุมฟิลเตอร์แล้ว การทำงานของสวิทช์ ในรูปที่ 3.9 กับ รูปที่ 3.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในสวิทช์ควบคุมการทำงานของฟิลเตอร์ 1 ตัวนั้นจะประกอบด้วยวงจรพื้นฐาน 3 วงจรเหมือนกันแต่หน้าคอนแทคของรีเลย์แต่ละตัวใช้งานต่างกัน คือ ตัวหนึ่งทำหน้าที่ต่อวงจรให้กับ แมคเนติคคอนแทคเตอร์ รับสัญญาณ ON จากอุปกรณ์เลือกสัญญาณ อีก 2 ตัวที่เหลือทำหน้าที่ OFF และอินเตอร์ล็อค โดยตัวที่ OFF หน้าคอนแทคของรีเลย์จะใช้งานเป็น ปกติปิดเพื่อเชื่อมต่อไฟเลี้ยง 12 V_{dc} มายังหน้าสัมผัสของตัวอินเตอร์ล็อคซึ่งใช้หน้าคอนแทคแบบปกติเปิดอยู่ดังนั้นเมื่อใดก็ตามที่มีสัญญาณ ON มาจากอุปกรณ์เลือกสัญญาณ ชุด ON จะทำงานพร้อมกับชุดอินเตอร์ล็อคเพราะทั้งสองชุดต่อสัญญาณ ON เข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์เหมือนกันเมื่อสัญญาณ ON ที่มีลักษณะเป็นพัลส์ผ่านไปชุดอินเตอร์ล็อคจะปิดวงจรทำให้ไฟเลี้ยงเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ในชุด ON และตัวมันเองตลอดเวลา จากนั้นรีเลย์จะต่อวงจรให้กับแมคเนติคคอนแทคเตอร์ได้จนกว่าจะมีคำสั่งใหม่เข้ามา ซึ่งถ้าเป็นคำสั่ง ON เข้ามาอีกก็จะไม่มีผลอะไร แต่ถ้าเป็นคำสั่ง OFF ก็จะทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ในชุด OFF เปลี่ยนจากปกติปิดเป็นเปิดวงจรแทน ดังนั้นไฟเลี้ยง 12 V_{dc} ของชุด ON และอินเตอร์ล็อคจะถูกตัดออกไปจนสัญญาณ OFF ที่มีลักษณะเป็นพัลส์เช่นเดียวกัน สุดท้ายผ่านไปทรานซิสเตอร์ทั้งหมดเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงขาเบสก็ไม่สามารถสั่งให้รีเลย์ทำงาน สถานะของรีเลย์ในแต่ละชุดจึงเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นเพื่อรอคำสั่งต่อไปอีกครั้งหนึ่ง (ถ้าเป็นสัญญาณ OFF อยู่ก็จะไม่มีผลอะไร)

3.5 ขั้นตอนการประมวลผลของโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลนี้จะใช้โปรแกรมภาษาแอสแซมบลีของ TMS320C50 ซึ่งมีโปรแกรมช่วย 3 โปรแกรมคือ DSK5A , DSK5D และ DSK5L

- DSK5A [filename]

1. ใช้ในการอ้างถึง TMS320C50 DSK แอสแซมเบลอร์ เพื่อคอมไพล์ไฟล์ .asm เมื่อคอมไพล์แล้วจะได้ไฟล์ .dsk เพื่อที่จะนำไปใช้ในการรันโปรแกรม หรือการดีบักโปรแกรม ตัวอย่างการใช้งาน สมมติว่าต้องการคอมไพล์ไฟล์ try1.asm เราสามารถทำได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C:\DSK5A try1 จากนั้นจะได้ไฟล์เป็น try1.dsk

2. ถ้าต้องการที่จะดูรายการตำแหน่งของโปรแกรม (address) หรือรหัสคำสั่งของโปรแกรมแอสแซมบลีก็สามารถใช้ออพชั่นของ DSK5A ได้ดังนี้

C:\DSK5A try1 -L ก็จะได้ไฟล์เป็น try1.lst

- DSK5D

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการดีบักโปรแกรมแอสแซมบลีของ TMS320C50 เพื่อใช้ในการตรวจเช็ค และแก้ไขโปรแกรม โดยไฟล์ที่จะใช้ดีบักต้องเป็นไฟล์ .dsk

- DSK5L [filename]

ใช้ในการโหลดโปรแกรมที่ทำการคอมไพล์แล้วไปยังตัวบอร์ด TMS320C50 เพื่อทำการประมวลผล โดยมีการใช้งานดังนี้

C:\ DSK5L try1

3.5.1 ขั้นตอนในการประมวลผลโปรแกรมหลัก

1. กำหนดค่าเริ่มต้นในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับตัวบอร์ดทางสาย RS 232 ซีเรียลพอร์ท ซึ่งกำหนดการรับส่งข้อมูลเป็นแบบ 16 บิต และมีขาสัญญาณ FSX (Frame Synchronize Serial Port) เป็นขาสัญญาณควบคุมการรับส่งข้อมูล และกำหนดอัตราการสุ่มข้อมูล (Sampling Frequency) ของอนาลอกอินเตอร์เฟสเซอร์กิตเป็น 2560 Hz

2. กำหนดค่าเริ่มต้นในการทำลูป 5 ครั้ง และตำแหน่งในการเก็บข้อมูล เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแต่ละฮาร์มอนิคส์ในโปรแกรมย่อย %HARMONIC

3. กำหนดจุดของการสุ่มข้อมูลเป็น 1024 จุด ซึ่งเป็นขนาดของการคำนวณโปรแกรม FFT และกำหนดตำแหน่งบัฟเฟอร์ของข้อมูลอินพุทที่รับเข้ามา

4. ทำการคำนวณโปรแกรม FFT โดยเปลี่ยนข้อมูลในแกนเวลาเป็นค่าในแกนความถี่ ซึ่งจะได้ค่าที่เป็นจำนวนจริง และจำนวนจินตภาพ จากนั้นเก็บข้อมูลไว้ในดาต้าอาร์เรย์

5. ทำการผันกลับบิตข้อมูลในตำแหน่งจริง และเก็บในตำแหน่งจินตภาพของดาต้าอาร์เรย์

6.นำค่าข้อมูลที่ได้มาทำการหาเปอร์เซนต์ของแต่ละฮาร์โมนิกเทียบกับขนาดข้อมูลที่ความถี่มูลฐาน แล้วทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ THD และทำการส่งข้อมูลออกไปแสดงผลที่จอ LCD โมดูล จากนั้นแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่มากสุด และ แสดงผลของค่าเปอร์เซ็นต์ THD ว่ามีค่าเกินมาตราฐานหรือไม่ออกทางหลอด LED

7. กลับมารับข้อมูลอินพุทที่เข้ามาทำการเก็บไว้ในบัฟเฟอร์จนเต็ม แล้วเตรียมข้อมูลโดยคูณค่าข้อมูลอินพุทด้วยค่าตัวประกอบการหมุนเพื่อเป็นข้อมูลให้โปรแกรม FFT และกลับไปทำในขั้นตอนที่ 3 อีกต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งแสดงขั้นตอนการทำงานในรูป 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ขั้นตอนในประมวลผลของโปรแกรม FFT

1. กำหนดขนาด FFT เพื่อบอกให้โปรแกรมทราบว่าจะให้ทำการประมวลผลกี่จุด ในที่นี้จะเป็น 1024 จุด

2. ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดย AR1 และ AR2 เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บตำแหน่งแอดเดรสของ data array ส่วน AR3 เก็บแอดเดรสของตัวประกอบการหมุน และ AR4 เป็นตัวนับสำหรับการประมวลผล

3. ทำบัตเตอร์ฟลาย (Butterfly) ข้อมูลในตำแหน่งจริง และจินตภาพ และทำการคูณค่าตัวประกอบการหมุนแล้วนำผลที่ได้เก็บใน data array

4. ทำการหาขนาดของข้อมูลโดยทำการหาค่าแอมพลิจูดโดยการถอดรูทข้อมูล

5. ทำการผันกลับบิต

6. ตรวจสอบข้อมูลอินพุทที่รับเข้ามาเต็มหรือไม่ ถ้ายังไม่เต็มให้รับข้อมูลอินพุทต่อจนเต็มแล้วทำการคูณค่าข้อมูลด้วยค่าตัวประกอบการหมุน และกำหนดค่าเริ่มต้น และตำแหน่งของการเก็บข้อมูลชุดใหม่ให้โปรแกรม FFT

3.5.3 ขั้นตอนการประมวลผลเพื่อแสดงออกบน LCD โมดูล

ในการประมวลผลนี้จะทำการเรียกโปรแกรมย่อยตามลำดับดังนี้

1. %HARMONIC จะเป็นโปรแกรมที่คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของแต่ละฮาร์มอนิคส์ตั้งแต่ ฮาร์มอนิคส์ที่ 2 ถึง ฮาร์มอนิคส์ที่ 13 ซึ่งมีการทำงานดังนี้คือ

1.1 ทำการรับขนาดข้อมูลจากการทำ FFT มาเก็บในหน่วยความจำ (data memory) ที่ตำแหน่ง 2913 h ถึง 291F h

1.2 ทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์จากสูตร

$$\%HARMONIC\ (n) = (I_N/I_{FUNDA})*100 \quad \text{โดย } N = 2, 3, 4 \ldots, 13$$

เมื่อได้ค่าแต่ละเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์แล้วทำการเก็บค่าในตำแหน่ง 2923 h ถึง 292E h

1.3 ตรวจสอบข้อมูลที่รับเข้ามาเพื่อทำการคำนวณว่าครบ 5 ครั้งหรือไม่ ถ้ายังไม่ครบกลับไปทำขั้นตอนที่ 1.1 และ 1.2 โดยนำเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ของแต่ละฮาร์มอนิคส์ในแต่ละครั้งมารวมกัน

1.4 เมื่อรับข้อมูลครบ 5 ครั้งแล้ว นำค่าผลรวมเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ของแต่ละฮาร์มอนิคส์มาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละตัว และทำค่าที่ได้ให้เป็นเลขฐานสิบแล้วเก็บค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิตส์แต่ละตัวที่เป็นจำนวนเต็มไว้ใน %HARM2_INT - %HARM13_INT และเก็บค่าที่เป็นทศนิยมไว้ใน %HARM2_REM - %HARM13_REM

1.5 เรียกโปรแกรมย่อย %THD โดยที่แสดงแผนภาพการทำงานในรูปที่ 3.12

2. %THD จะเป็นโปรแกรมที่คำนวณหา %THD โดยนำค่าจาก %HARMONIC มาคำนวณในสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%THD = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \ldots + I_{13}^2} / I_1$$

แล้วเก็บค่าไว้ใน %THD_INT และ %THD_REM ซึ่งได้แสดงในแผนภาพการทำงานในรูปที่ 3.13 และทำการเรียกโปรแกรม INI_LCD

3. INI_LCD เป็นโปรแกรมที่กำหนดค่าเริ่มต้นของการทำงานให้กับจอ LCD ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.1 ทำการเคลียร์จอ LCD โดยการส่งรหัส 01h ไปที่จอ LCD

3.2 ทำการกำหนดเคอร์เซอร์ให้อยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้น โดยการส่งรหัส 02

3.3 ทำการเซตโหมดการทำงานของจอ LCD โดยการส่งรหัส 06h

3.4 ทำการกำหนดให้หน้าจอแสดงผล หรือไม่แสดงผลโดยการส่งรหัส 0Eh

3.5 ทำการกำหนด function set ของจอ โดยการส่งรหัส 38h

3.6 เมื่อทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับจอเสร็จก็จะทำการแสดงข้อความ HARMONIC และ DETECTOR ออกที่จอ LCD

4. HAR_LCD จะเป็นโปรแกรมที่นำค่า %HARMONIC แสดงค่าบนหน้าจอ LCD โดยจะแสดงตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่ 2 ถึง 13 ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

4.1 ทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของ linecheck เพื่อที่จะแสดงค่าของเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ในบรรทัดที่ 1 หรือ 2

4.2 นำค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่ได้มาเก็บในรูปของตัวเลขในหลักร้อย หลักสิบ หลักหน่วย และทศนิยม เพื่อจะนำค่าแต่ละหลักนี้ออกแสดงที่จอตามตำแหน่งหลัก

4.3 ตรวจว่าจะแสดงข้อมูลออกบรรทัดไหน โดยการนำค่า linecheck มาหารด้วย 2 ถ้าเศษเป็น 0 ทำการแสดงค่าในบรรทัดที่ 1 ถ้าเศษเป็น 1 ทำการแสดงค่าในบรรทัดที่ 2

5. THD_LCD จะนำค่า %THD ที่คำนวณได้แสดงผลออกทางจอ LCD โดยจะใช้หลักการเดียวกับ HAR_LCD โดยจะแสดงผลต่อจากเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่ 13 ในบรรทัดที่ 2 ซึ่งได้แสดงแผนภาพการทำงานทั้ง HAR_LCD และ THD_LCD ในรูปที่ 3.14

6. การแสดงผลของไฟออกทางหลอด LED เพื่อที่จะแสดงค่า %THD ที่คำนวณได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่า %THD ตามมาตรฐานของ IEEE โดยถ้า %THD ที่คำนวณได้น้อยกว่าว่ามาตรฐานก็จะส่งสัญญาณ 8000 h ออกไปที่พอร์ต แต่ถ้ามากกว่ามาตรฐานก็จะหาค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่มากที่สุดแล้วแสดงค่าลำดับฮาร์มอนิคส์นั้นออกไป แสดงแผนภาพการทำงานในรูปที่ 3.15

7. เรียกโปรแกรมในส่วนของการควบคุมการต่อตัวกรองฮาร์มอนิคส์ (filter) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปในส่วนของการควบคุม

3.5.4 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม

ในโครงงานนี้ได้ทำการศึกษาการควบคุมการกรองฮาร์มอนิกส์จำนวนสามลำดับซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะเป็นฮาร์มอนิกส์ลำดับที่เท่าใดบ้าง เช่น 3,5,7 หรือ 11,13,15 ฯลฯ แล้วแต่โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เราพิจารณาและฮาร์มอนิกส์ที่ต้องการกรอง ในหัวข้อนี้ขอยกตัวอย่างการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ เป็น พวก SCR, อินเวอร์เตอร์ หรืออุปกรณ์ที่สามารถปรับแรงดันได้โดยการลดเนื้อแรงดันตามมุมทริกก่อนที่จะจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในกรณีศึกษานี้จะพบว่าฮาร์มอนิคส์ที่เกิดขึ้นมากคือ ฮาร์มอนิคส์ที่ 3, ฮาร์มอนิคส์ที่ 5 และฮาร์มอนิคส์ที่ 7 และจะเปลี่ยนแปลงไปตามการปรับมุมทริกต่างๆ ดังนั้นสวิทซ์ควบคุมฟิลเตอร์ตัวที่ 1-3 จึงเลือกควบคุมฟิลเตอร์ที่กรองฮาร์มอนิกส์ที่ 3, 5 และ7ตามลำดับ (กรณีศึกษานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโหลดชนิดอื่นที่เกิดฮาร์มอนิกส์ที่ 3, 5 และ7 เช่นเดียวกันได้ด้วย)

สำหรับโหลดอื่นที่มีลำดับฮาร์มอนิกส์ที่เกินมาตรฐานและต้องการกรองต่างไปจากนี้ก็สามารถเปลี่ยนแลงที่โปรแกรมที่ใช้ในการกรองได้ แต่ถ้าต้องการใช้ฟิลเตอร์มากกว่า 3 ตัวก็สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงโปรแกรมและอุปกรณ์บางส่วน(ได้มากที่สุด 10 ตัว)

1. เงื่อนไขที่ใช้ในการควบคุม

1.ในการสั่งให้สวิทซ์ทำการต่อฟิลเตอร์จะสั่งให้ฟิลเตอร์ต่อเป็นลำดับคือสั่งให้ฟิลเตอร์ของฮาร์มอนิกส์ที่ 3, ฮาร์มอนิกส์ที่ 5 และฮาร์มอนิกส์ที่ 7 ต่อเข้าวงจรตามลำดับเพื่อป้องกันการเกิดเร โซแนนซ์ เช่น ถ้าฮาร์มอนิกส์ที่ 5 มีค่าสูงแล้วทำการสั่งให้ฟิลเตอร์ที่กรอง ฮาร์มอนิกส์ที่ 5 ทำงานแต่ไม่สั่งให้กรอง ฮาร์มอนิกส์ที่ 3 แล้วก็จะทำให้เกิดการเร โซแนนซ์ที่ฮาร์มอนิกส์ที่ 3 ทำให้ปริมาณของฮาร์มอนิกส์ที่ 3 มีค่าสูงขึ้น สำหรับโหลดอื่นลำดับการกรองก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสมดังนั้นก่อนที่จะทำการกรองฮาร์มอนิกส์ในโหลดใดๆจึงต้องศึกษาถึงค่าฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบ และคุณสมบัติของฟิลเตอร์ ที่จะใช้นั้นก่อนเสมอ

2. จากเหตุผลในข้อ 1 เมื่อฟิลเตอร์ของฮาร์มอนิกส์สูงยังต่ออยู่ฟิลเตอร์ของฮาร์มอนิกส์ที่ต่ำกว่าก็ต้องต่ออยู่เพื่อป้องกันการเกิดเร โซแนนซ์ขึ้น

3.ในการสั่งให้ฟิลเตอร์ทำการตัดออกก็จะตัดออกเป็นลำดับเช่นกันโดยมีลำดับดังนี้ คือ ฟิลเตอร์ของฮาร์มอนิกส์ที่ 7, ฮาร์มอนิกส์ที่ 5 และฮาร์มอนิกส์ที่ 3

4. ถ้าค่าของเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์มีค่าอยู่ระหว่าง %HD_MIN และ %HD_MAXก็จะให้คงสภาวะก่อนหน้านั้นโดยยึดเงื่อนไขของข้อ 2 ด้วย

2 ขั้นตอนในการประมวลผลโปรแกรมการควบคุมฟิลเตอร์

1. ทำการกำหนดค่าโดย %HD_MAX และ %HD_MIN เพื่อเป็นค่าเปรียบเทียบในการควบคุมการตัด และการต่อฟิลเตอร์ โดย %HD_MAX จะเป็นค่าตามมาตรฐาน IEEE ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของโหลดที่ใช้งาน (ในโครงงานนี้ศึกษาโหลด SCR จึงใช้ค่า 10%) ส่วนค่าของ %HD_MIN เป็นค่าที่ยอมรับระบบว่ามีฮาร์มอนิคส์ต่ำพอที่เราจะเอาฟิลเตอร์ออกได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ %HD_MAX ลบค่าประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ ซึ่งจะนำไปหาค่าที่เหมาะสมของฟิลเตอร์ต่อไปได้

2.กำหนดค่าของสัญญาณที่จะส่งออกไปควบคุมการสั่งตัดหรือต่อฟิลเตอร์ เช่น 11001ให้ ON ฟิลเตอร์ตัวที่หนึ่ง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับขั้นตอนที่ 3 เป็นต้นไปเป็นการสั่งตัดต่อของกรณีศึกษาและกรณีที่เกิด ฮาร์มอนิคส์ที่3, ฮาร์มอนิกส์ที่ 5 และฮาร์มอนิกส์ที่ 7 เช่นเดียวกับกรณีศึกษาเท่านั้น (ซึ่งก็เป็นส่วนมาก)

3.เช็คค่าของเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์ที่ 7 ว่ามีค่าเกิน %HD_MAX หรือไม่ถ้าเกินก็จะสั่งให้ฟิลเตอร์ ของฮาร์มอนิกส์ที่ 3, ฮาร์มอนิกส์ที่ 5 และฮาร์มอนิกส์ที่ 7 ต่อเข้าระบบตามลำดับ

4. เช็คค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์ที่ 7 ว่ามีค่าน้อยกว่า %HD_MIN หรือไม่ถ้าน้อยกว่าก็ทำการสั่งให้ฟิลเตอร์ของ ฮาร์มอนิกส์ที่ 7 ตัดออกจากระบบ

5. เช็คค่าของเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์ที่ 5 ว่ามีค่าเกิน %HD_MAX หรือไม่ถ้าเกินก็จะสั่งให้ฟิลเตอร์ ของฮาร์มอนิกส์ที่ 3, ฮาร์มอนิกส์ที่ 5 ต่อเข้าระบบตามลำดับ จากนั้นกลับไปรับข้อมูลเพื่อประมวลผลในโปรแกรม FFT ต่อไป

6. เช็คค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์ที่ 5 ว่ามีค่าน้อยกว่า %HD_MIN หรือไม่ถ้าน้อยกว่าก็ทำการเช็คสภาวะของฟิลเตอร์ของฮาร์มอนิกส์ที่ 7 ว่ามีการต่ออยู่หรือไม่ ถ้าไม่มีก็สั่งตัดฟิลเตอร์ของฮาร์มอนิกส์ที่ 5 ออกจากระบบ ถ้ามีก็คงสภาวะเดิม

7. เช็คค่าของเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์ที่ 3 ว่ามีค่าเกิน %HD_MAX หรือไม่ถ้าเกินก็จะสั่งให้ฟิลเตอร์ ของฮาร์มอนิกส์ที่ 3 ต่อเข้าระบบตามลำดับ จากนั้นกลับไปรับข้อมูลเพื่อประมวลผลในโปรแกรม FFT ต่อไป

8. เช็คค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่ 3 ว่ามีค่าน้อยกว่า %HD_MIN หรือไม่ถ้าน้อยกว่าก็ทำการเช็คสภาวะของฟิลเตอร์ของฮาร์มอนิคส์ที่ 7 และฮาร์มอนิคส์ที่ 5 ว่ามีการต่ออยู่หรือไม่ ถ้าไม่มีก็สั่งตัดฟิลเตอร์ของฮาร์มอนิคส์ที่ 3 ออกจากระบบ ถ้ามีก็คงสภาวะเดิม

9. กลับไปรับข้อมูลเพื่อประมวลผลในโปรแกรม FFT ต่อไป

แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Control แสดงในรูปที่ 3.16

3.5.5 การปรับปรุงโปรแกรมเพื่อความเหมาะสม

3.5.5.1 ในการแก้ไข และปรับปรุงโปรแกรม เราสามารถใช้ โปรแกรมดีบักเกอร์ (DSK5D) มาใช้ในการตรวจสอบ และแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรมแอสแซมบลีที่เขียนขึ้นมา ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. สมมติต้องการแก้ไขโปรแกรม try1.asm เราจะต้องทำไฟล์นี้ให้เป็นไฟล์ .dsk โดยใช้โปรแกรม DSK5A ได้ดังนี้ C:DSK5A try1

2. ทำการรันโปรแกรม DSK5D เพื่อทำการดีบักโปรแกรม จากนั้นทำการโหลดโปรแกรม try1.dsk โดยใช้คำสั่ง LD (load dsk) ในโปรแกรม DSK5D และพิมพ์ไฟล์ try1.dsk เมื่อทำการโหลดเสร็จที่หน้าจอจะแสดงโปรแกรม try1.dsk ขึ้นมา

3.ในการรันโปรแกรมเราสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความต้องการในการรัน เช่น การรันทีละคำสั่ง (ใช้คำสั่ง x) การรันเป็นจำนวนครั้ง (ใช้คำสั่ง xn) และการรันทั้งโปรแกรม (ใช้คำสั่ง xg) ซึ่งในการรันทั้งโปรแกรมนี้เราสามารถที่จะให้มันทำการรันไปยังแอสเดรสที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ไขได้โดยใช้คำสั่ง Breakpoint เข้ามาช่วย โดยใช้คำสั่ง ba (break add) แล้วทำการกำหนดค่าแอดเดรสที่ต้องการ และตำแหน่งของ Breakpoint เช่น ba 0a00 0 คือ การกำหนดแอดเดรสที่ 0a00 h (เลขฐานสิบหก) เป็นตำแหน่ง Breakpoint ที่ 0 และถ้าต้องการยกเลิก Breakpoint นี้ก็ใช้คำสั่ง bd (break disable) เช่น bd 0 คือ การยกเลิก Breakpoint ที่ 0 ซึ่งในการที่เราจะทราบแอสเดรสของโปรแกรมที่เราจะแก้ไขนั้นเราสามารถใช้ออพชั่นของโปรแกรม DSK5A ในตอนคอมไพล์ได้โดย C:DSK5A try1 -l ซึ่งจะแสดงแอดเดรสของคำสั่งต่างๆที่ใช้

4. ในการที่เราจะดูค่าของตัวแปร หรือค่าในแอดเดรสต่างๆ เพื่อการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดของโปรแกรมเราสามารถใช้คำสั่ง Watch (w) ดูได้ เช่น wa 0a00 คือ การดูข้อมูลในตำแหน่งแอดเดรสที่ 0a00 h ซึ่งจะทำให้เราเห็นข้อผิดพลาดของโปรแกรมที่เราเขียนขึ้น และสามารถที่จะแก้ไขให้ถูกต้องได้

5. นอกจากคำสั่งต่างๆ ที่ได้กล่าวมานี้ ยังมีคำสั่งที่ใช้ในการดีบักอื่นๆ อีกซึ่งสามารถดูในเมนูของ DSK5D ได้

3.5.5.2 ในส่วนของการแสดงสัญญาณออกทางหลอด LED เราสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงการแสดงผลของสัญญาณเพื่อความเหมาะสมได้โดยการเปลี่ยนข้อมูลซึ่งเป็นเลขฐานสิบหกที่จะส่งออกไปยังหลอด LED ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงการควบคุมได้มากสุด 20 ลอจิก (ฟิลเตอร์ 10 ตัว)ได้โดยใช้คำสั่ง OUT เช่น ถ้าต้องการฟิลเตอร์ที่ใช้ในกรองสัญญาณฮาร์มอนิคส์จำนวน 5 ลำดับ เราอาจออกแบบสัญญาณจากหลอด LED 5 หลอดเพื่อใช้ในการสั่งฟิลเตอร์ ON – OFF วงจร ดังนี้

สัญญาณจาก LED	การทำงาน	สัญญาณจาก LED	การทำงาน
00111	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 1 ต่อวงจร	01011	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 1 ตัดวงจร
01110	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 2 ต่อวงจร	01100	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 1 ตัดวงจร
10011	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 3 ต่อวงจร	11001	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 1 ตัดวงจร
10101	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 4 ต่อวงจร	11010	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 1 ตัดวงจร
10110	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 5 ต่อวงจร	11100	สั่งฟิลเตอร์ตัวที่ 1 ตัดวงจร

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างสัญญาณที่สามารถเพิ่มได้โดยการเปลี่ยนแปลงลอจิกจาก LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการที่จะเอาสัญญาณเพื่อไปควบคุมฟิลเตอร์ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรแปลงรหัสสัญญาณที่จะส่งไปควบคุมฟิลเตอร์

3.5.5.3 ในการที่จะทำการเปลี่ยนลำดับการกรองฮาร์มอนิคส์ใดๆ เช่น จากระบบที่มีฮาร์มอนิคส์ 3 , 5 และ 7 มาก เป็นระบบที่มีฮาร์มอนิคส์ 11 , 13 และ 15 มาก เราสามารถที่จะแก้ไขโปรแกรมในส่วนโปรแกรม Control ได้โดยการเปลี่ยนการรับข้อมูลจากแอดเดรสที่เก็บข้อมูลของฮาร์โมนิกลำดับที่ 3, 5 และ 7 มาเป็นการรับข้อมูลจากแอดเดรสที่เก็บข้อมูลของฮาร์มอนิคส์ลำดับที่ 11, 13 และ 15 เป็นต้น เช่น ข้อมูลของฮาร์มอนิคส์ที่ 3 เก็บไว้ที่แอดเดรส 2924 h และ ข้อมูลของฮาร์มอนิคส์ที่ 11 เก็บไว้ที่แอดเดรส 292C h เราก็ทำการเอาข้อมูลจากแอดเดรส 292C h แทนแอดเดรส 2924 h แล้วทำตามลำดับโปรแกรมต่อไป ซึ่งฮาร์มอนิคส์ที่ 13 , 15 ก็ทำเช่นเดียวกัน

3.5.6 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้โปรแกรม

1. จำนวนลูปที่ใช้งาน ในการกำหนดลูปอาจจะมาก หรือน้อยเกินไปซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้อาจผิดพลาดได้

2. การอ้างถึงข้อมูลแบบ Indirect Addressing Mode จะต้องเช็คให้ดีว่าขณะที่ใช้นั้นกำลังอ้างถึงรีจิสเตอร์ไหนอยู่ เพื่อที่จะได้อ้างถึงตำแหน่ง และข้อมูลที่ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

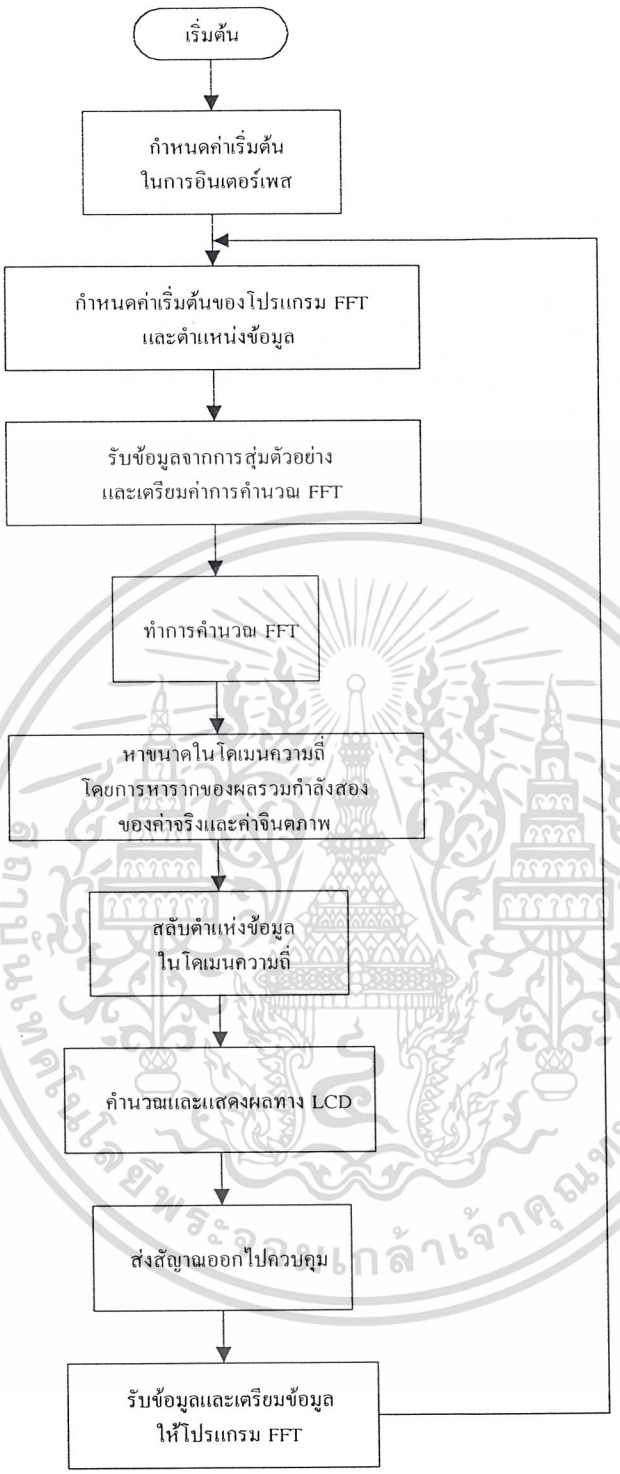
3. ชื่อ (label) ที่จะใช้อ้างตำแหน่งของโปรแกรมจะต้องไม่มีชื่อที่ซ้ำกันในโปรแกรมเดียวกัน และการใช้อักษรที่ใช้เป็นชื่อจะต้องระวังในเรื่องของตัวพิมพ์ใหญ่ และตัวพิมพ์เล็กด้วย เช่น control กับ CONTROL เวลาเรียกใช้จะไปที่ตำแหน่งต่างกัน

4. ในโปรแกรมที่ใช้งานนี้จะใช้งานข้อมูลแบบเพจ ซึ่งในแต่ละเพจจะมีการอ้างถึงข้อมูลได้ 128 แอดเดรส ดังนั้นในการใช้งานข้อมูลแบบเพจนี้จะต้องระวังในเรื่องของการเก็บข้อมูลหรือโปรแกรมไม่ให้เกินจำนวนแอดเดรสของเพจที่มีอยู่

5. เนื่องจากแอกคิวมูเลเตอร์มีขนาด 32 บิต ส่วนข้อมูลที่เก็บได้ในหน่วยความจำจะมีขนาด 16 บิต ดังนั้นในการใช้หน่วยความจำเก็บข้อมูลการบวก การคูณ จากแอกคิวมูเลเตอร์ถ้าผลลัพธ์เกิน 16 บิต จะต้องพิจารณาการเก็บข้อมูลที่เกิน 16 บิตด้วย และในการเรียกใช้ข้อมูลที่เกิน 16 บิตนี้จะต้องมีการชิพข้อมูลที่เก็บไว้ไป 16 บิตด้วย

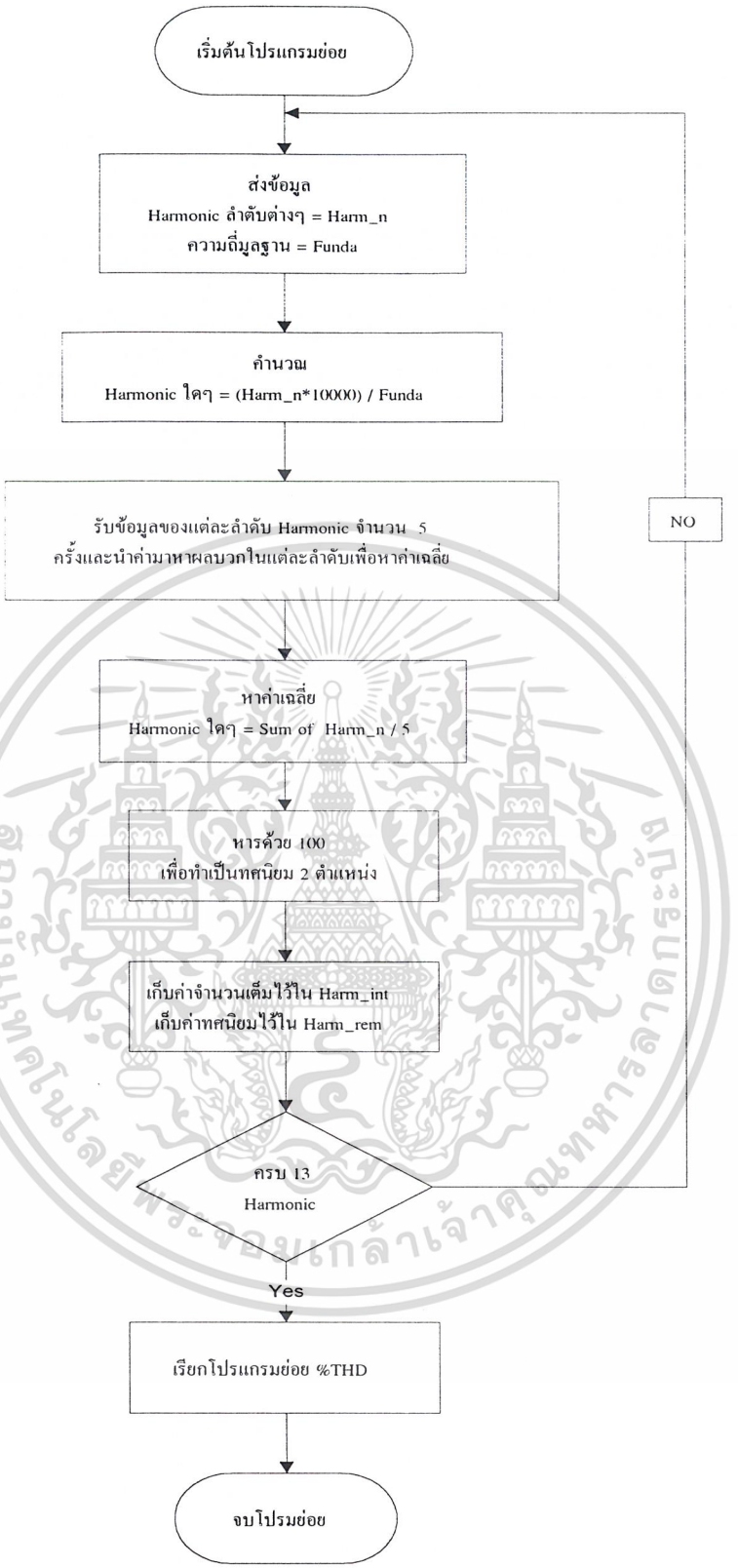
6. ในการทำงานประเภทที่ต้องกระโดดไปยังโปรแกรมย่อย หรือไปยังแอดเดรสต่างๆของโปรแกรม จะมีคำสั่งที่ใช้อยู่ 2 ประเภท คือ คำสั่ง CALL และ BRANCH (B) ซึ่งคำสั่ง CALL นี้เมื่อใช้งานในโปรแกรมย่อยที่ต้องการเสร็จสามารถที่จะกลับไปยังโปรแกรมหลักได้โดยใช้คำสั่ง RET ส่วนคำสั่ง BRANCH จะกระโดดไปที่แอดเดรสที่อ้างถึงเลยโดยไม่มีคำสั่งที่ใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



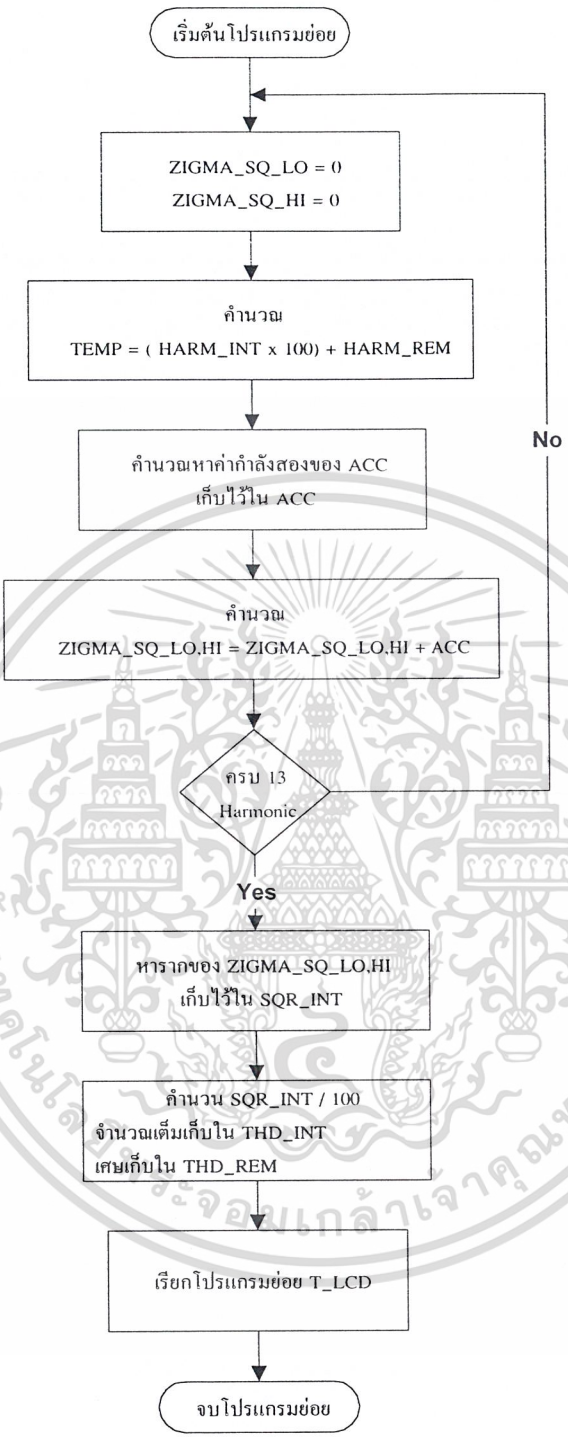
รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรม HFC.ASM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



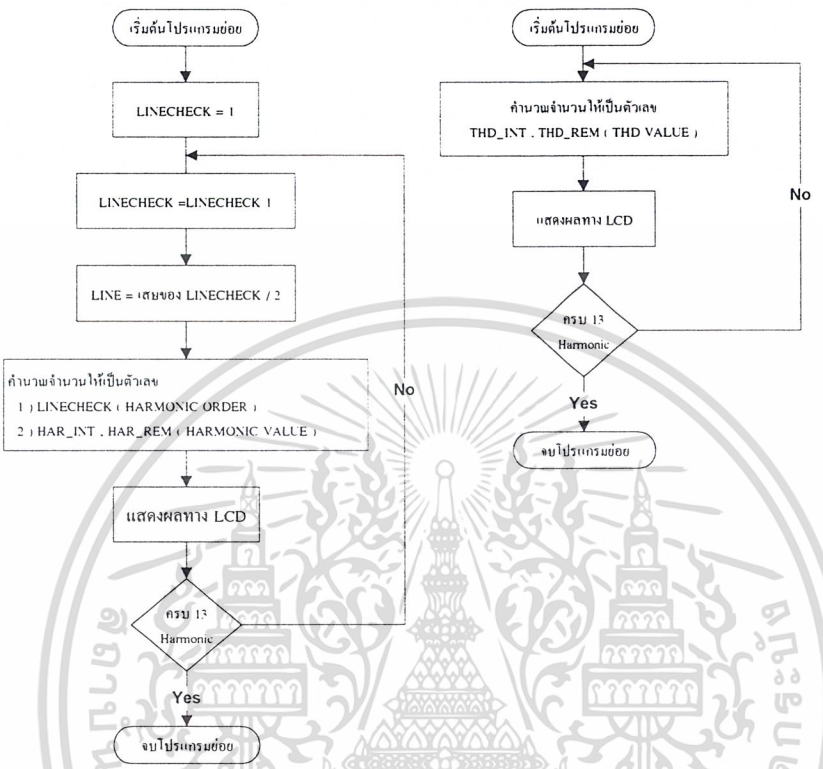
รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย %HARMONIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



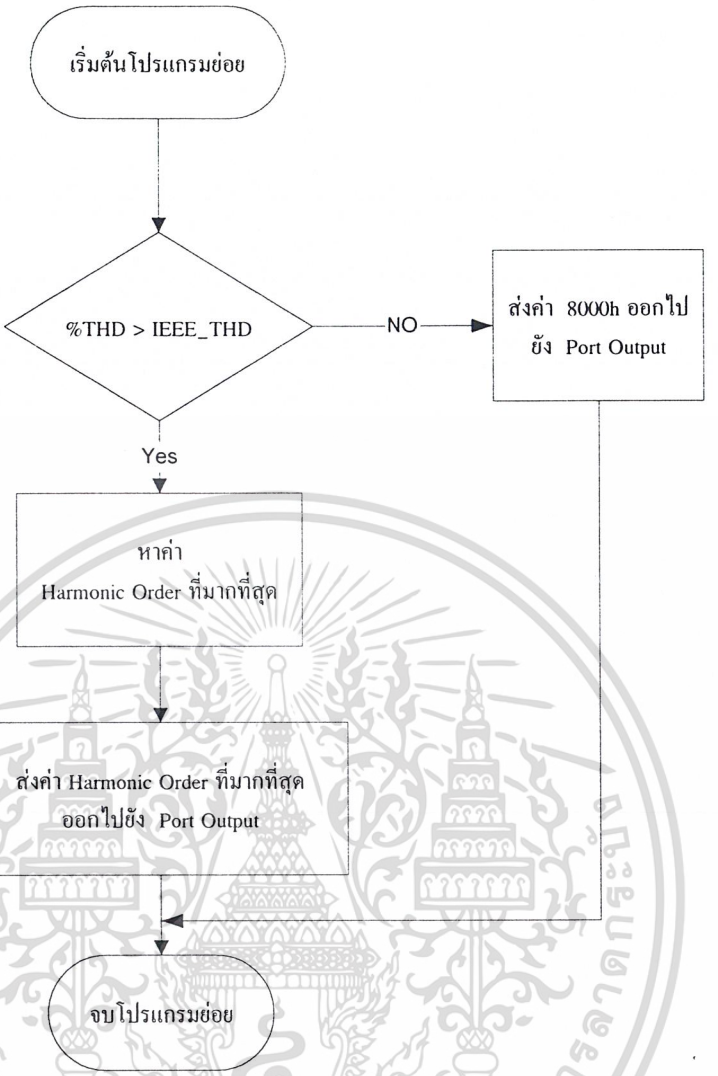
รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย %THD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



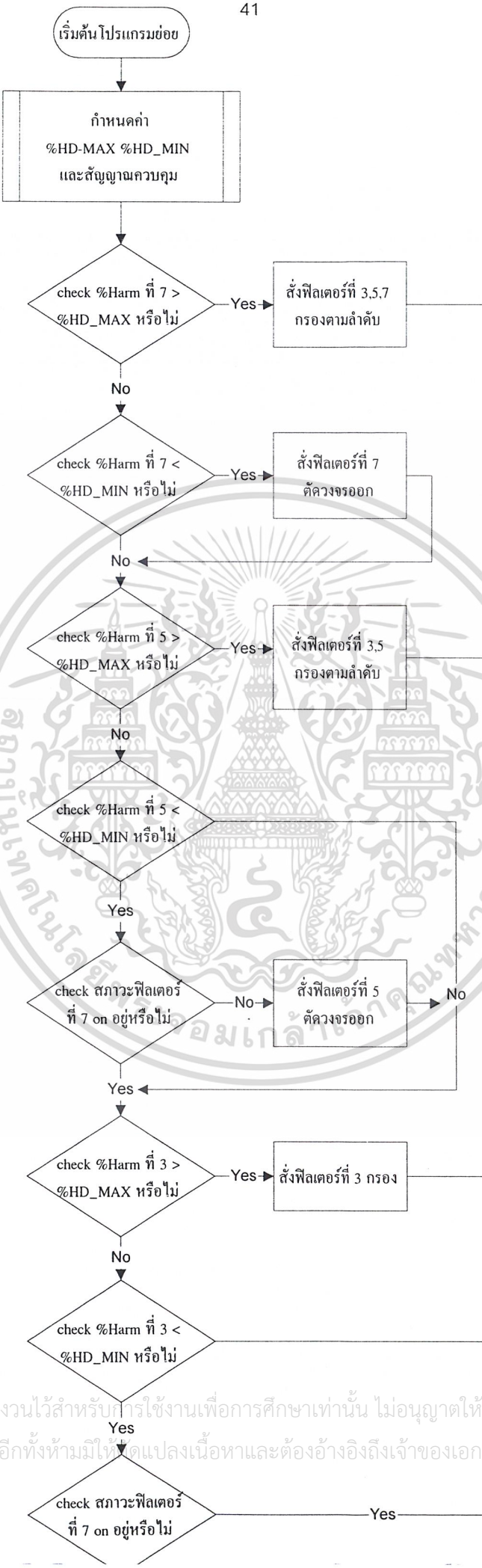
รูปที่ 3.14 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมย่อย H_LCD และ T_LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

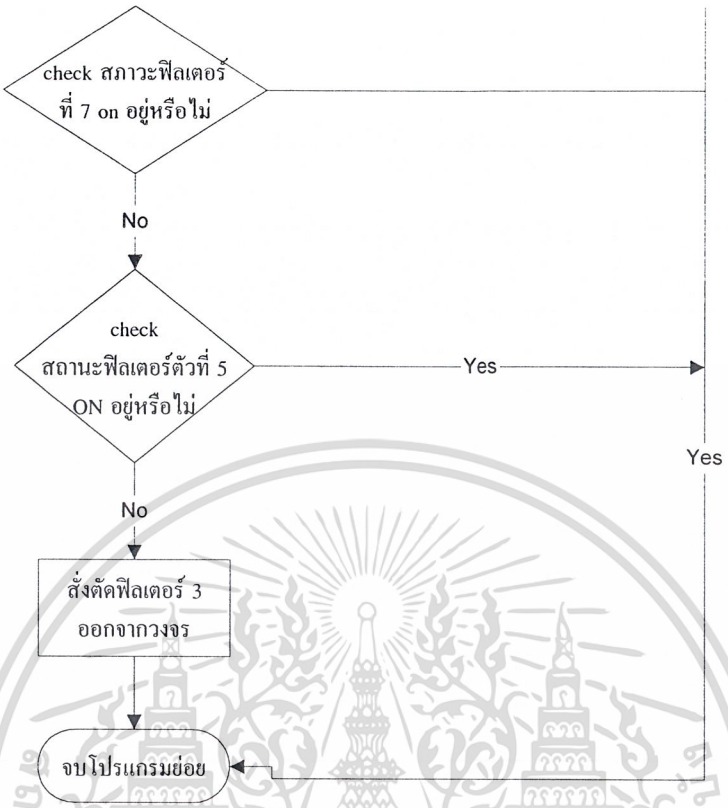


รูปที่ 3.15 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของการส่งสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



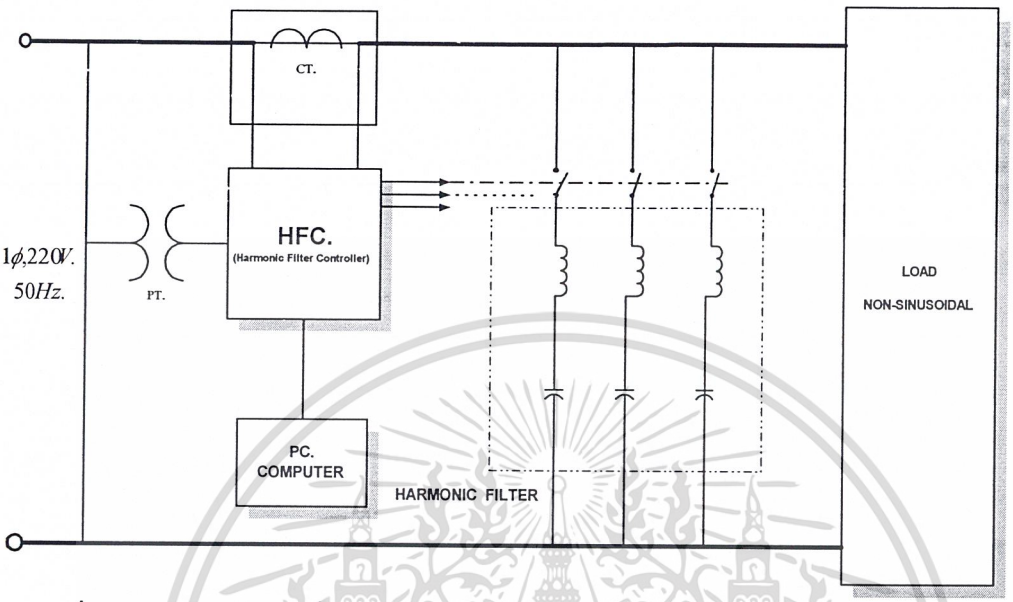
รูปที่ 3.16 แผนภาพแสดงโปรแกรมย่อย Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การใช้งานและผลการทดลอง

การใช้งานของอุปกรณ์เพื่อต่อกับภาระในการวัดฮาร์มอนิคส์

4.1 การต่ออุปกรณ์เข้ากับแหล่งกำเนิดฮาร์โมนิกเพื่อวัดสัญญาณ



รูปที่ 4.1 แสดงการต่อเครื่อง Harmonic Filter Controller (HFC) กับหน่วยลดทอนสัญญาณ

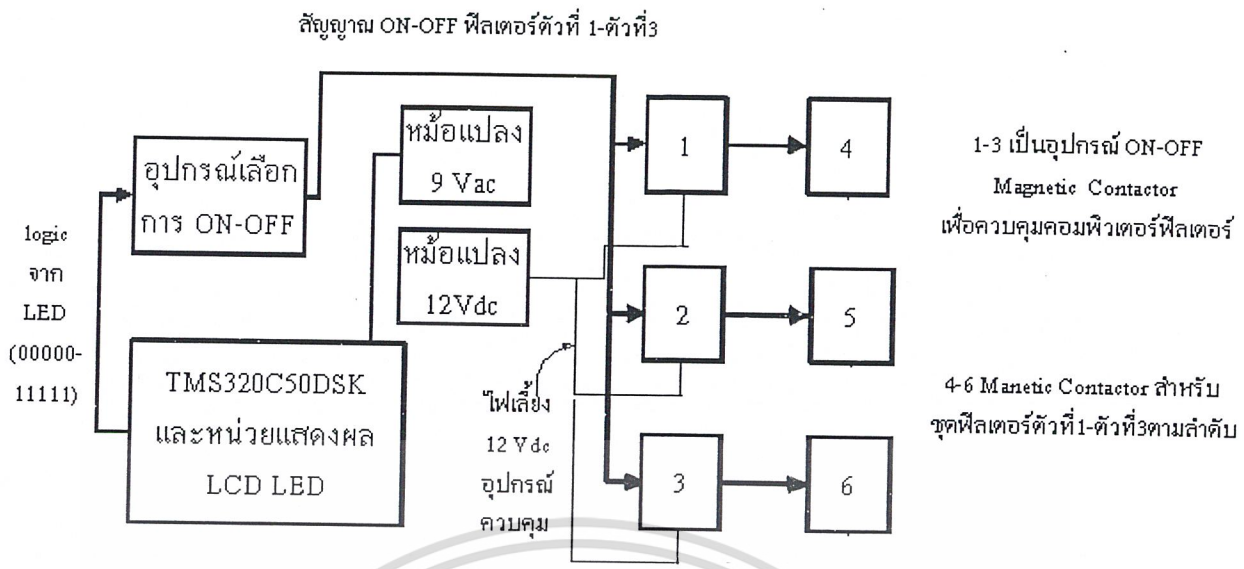
จากรูปที่ 4.1 ลำดับการทำงานในการต่อคือ นำไฟฟ้ากระแสสลับ V_{rms} = 220 V มาต่อที่หน่วยลดทอนสัญญาณซึ่งถือว่าเป็นสัญญาณ Sinusiodal ของการไฟฟ้าก่อนที่จะต่อกับภาระที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณฮาร์มอนิคส์เพื่อจับความผิดเพี้ยนที่เกิดจากสัญญาณฮาร์มอนิคส์ลำดับต่างๆ ส่งผ่านสาย Coaxial เพื่อมาประมวลผลใน TMS320C50 DSK ในลำดับต่อไป สำหรับการประมวลผลนั้นจะทำการส่งโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์ไปยังบอร์ด TMS320C50 DSK โดยผ่านทางสาย Serial Port (RS 232)องค์ประกอบโดยละเอียดของ Harmonic Filter Controller นั้นได้แสดงในรูปที่ 4.2

4.2 ขั้นตอนการประมวลผล และการแสดงผลของข้อมูล

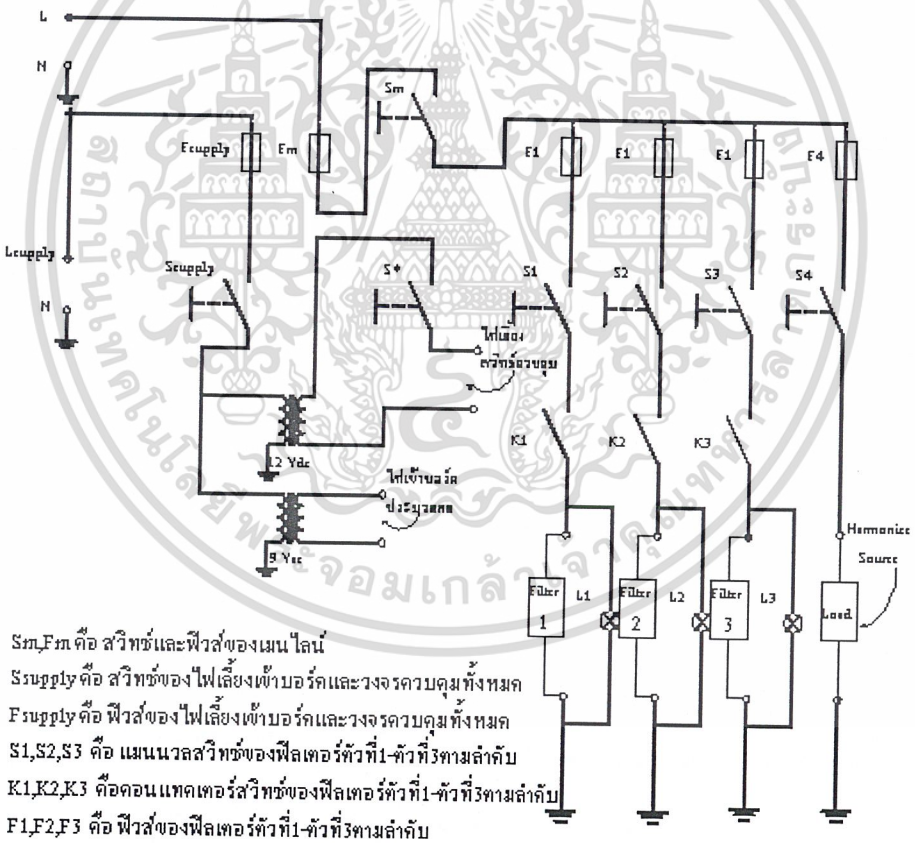
เมื่อ TMS320C50 DSK ใน HFC ได้รับสัญญาณจาก LEM แล้วก็จะนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผลค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่ 2 ถึง เปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่ 13 และเปอร์เซ็นต์ THD ตามลำดับ โดยเรียกโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์ผ่านทางสาย RS-232 ดังในรูปที่ 4.1

ในการแสดงผลจากการคำนวณออกทาง LCD จะแสดงตั้งแต่เปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่ 2 ถึง เปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่ 13 และ%THD โดยแสดงผลเป็นรอบๆวนไปจนกว่าจะมีคำสั่งให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของ Harmonics Filter Controller



Sm,Fm คือ สวิทช์และฟิวส์ของเมนไลน์
Ssupply คือ สวิทช์ของไฟเลี้ยงเข้าบอร์ดและวงจรควบคุมทั้งหมด
Fsupply คือ ฟิวส์ของไฟเลี้ยงเข้าบอร์ดและวงจรควบคุมทั้งหมด
S1,S2,S3 คือ แมนนวลสวิทช์ของฟิลเตอร์ตัวที่1-ตัวที่3ตามลำดับ
K1,K2,K3 คือคอนแทคเตอร์สวิทช์ของฟิลเตอร์ตัวที่1-ตัวที่3ตามลำดับ
F1,F2,F3 คือ ฟิวส์ของฟิลเตอร์ตัวที่1-ตัวที่3ตามลำดับ
S4,F4 คือ แมนนวลสวิทช์และฟิวส์ของโหลดอาร์มอนิคส์
L1,L2,L3 คือ หลอดไฟแสดงการทำงานของฟิลเตอร์
S* คือ สวิทช์ไฟเลี้ยงวงจรควบคุม

รูปที่ 4.3 แสดงแผงควบคุมของ Harmonic Filter Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมหยุดการทำงาน หรือมีเหตุผิดปกติอื่นในระหว่างที่ทำการวัด เมื่อครบรอบการแสดงผลใน 1 รอบการทำงานจะแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ลำดับที่มีค่าสูงสุดออกทางหลอด LED 00000 - 11111 (5 ลอจิก) ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 แล้ว

หลังจากนั้นลอจิกทั้ง 5 จะถูกนำมาเลือกการเปิด และปิดสวิทซ์โดยชุดเลือกการเปิดและปิดใน HFC นั้นจะทำการควบคุมฟิลเตอร์ได้ 3 ตัว ดังนั้นจะมีสัญญาณ On1-On3 และ Off1-Off3 เพื่อส่งต่อไปยังตัวควบคุมต่อไป เมื่อตัวควบคุมได้รับสัญญาณ On แล้ว ทรานซิสเตอร์จะทำการสั่งให้รีเลย์ทำงาน On สวิทซ์ฟิลเตอร์ต่อไป และในขณะนี้รีเลย์จะถูกอินเตอร์ล็อคอยู่จนกว่าจะมีสัญญาณ Off เข้ามาจึงจะปลดสวิทซ์ออก และรอสัญญาณ On ใหม่จึงจะทำงานอีกครั้งหนึ่งสำหรับตัวควบคุมในแต่ละชุดนั้นจะประกอบด้วยรีเลย์สำหรับ On ,อินเตอร์ล็อค และสำหรับ Off ในชุดเดียวกัน ดังนั้น HFC ที่ควบคุมฟิลเตอร์ 3 ตัว จึงต้องมีชุดควบคุม 3 ชุดแต่จะทำงานอิสระต่อกันตามสัญญาณที่ออกจากส่วนควบคุม

สำหรับการควบคุมฟิลเตอร์นั้นในการพัฒนาต่อไปเราอาจจะเพิ่มจำนวนฟิลเตอร์ให้มากขึ้นได้ โดยสามารถควบคุมได้สูงสุดประมาณ 10 ตัว ประกอบด้วยลอจิก On 10 และลอจิก Off 10 ลอจิก นั่นหมายความว่าอุปกรณ์เลือกสัญญาณจะต้องเปลี่ยนเป็นแบบที่เหมาะสมกับที่ผู้ใช้ต้องการโดยการรับลอจิก 00000 - 11111 จาก LED และมีการผสมลอจิกได้มากสุดคือ 20 ลอจิก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ชุดควบคุมก็จำเป็นต้องใช้เท่ากับจำนวนฟิลเตอร์ที่ต้องการกรองด้วยแต่ในทางปฏิบัติแล้วการควบคุมฟิลเตอร์ 3 ตัว สำหรับเปอร์เซ็นต์ฮาร์โมนิกที่มากสุด 3 ค่านั้นนับว่าเพียงพอแล้วในการควบคุมฮาร์โมนิกในสัญญาณหนึ่งๆแต่การที่เลือกว่าจะกรองฮาร์โมนิกลำดับไหนนั้นสำคัญกว่าจำนวนฟิลเตอร์ที่ใช้กรอง เช่น โหลด SCR เปอร์เซนต์ฮาร์โมนิกที่ควรจะกรองคือลำดับที่ 3 , 5 , 7 แต่โหลดพวก SPWM เปอร์เซนต์ฮาร์โมนิกที่ควรจะกรองคือลำดับที่ 11 , 13 , 15 ดังนั้นการแก้ไขในโปรแกรมจะเหมาะสมกว่าการเพิ่มจำนวนฟิลเตอร์ผู้ใช้จึงจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติของสัญญาณที่ต้องการกรอง และประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ที่สามารถกรองได้ เพื่อความเหมาะสมในการควบคุมส่วนรายละเอียดในเรื่องการปรับปรุงโปรแกรมเพื่อความเหมาะสมได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

4.3 การแก้ไขความผิดปกติ และความแม่นยำในการวัด

ในการใช้งาน HFC และ LEM นั้น ส่วนที่สำคัญประกอบด้วย

1. สัญญาณที่ LEM รับได้ และส่งไปที่ตัวการ์ด DSP โดยผ่านทางสาย Coaxial
2. สายซีเรียลพอร์ท RS-232
3. ปริมาณกระแสที่ผ่านหน่วยลดทอนสัญญาณ

ส่วนที่สำคัญทั้ง 3 ส่วนนั้นมักจะก่อปัญหาให้กับการวัดมากกว่าจุดอื่นๆ ดังนั้นในการเตรียมวัดสัญญาณนั้นต้องตรวจสอบสาย Coaxial ว่าเสียบแน่นหรือไม่ ทำการต่อสาย RS-232 เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์หรือไม่ (โปรแกรมจะไม่สามารถรันได้ถ้าไม่ได้ต่อสาย RS-232) และปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่ใช้วัดเพราะจากที่ได้ทำการทดลองมานั้นถ้าปริมาณกระแสต่ำกว่า 0.5 A มากๆ สัญญาณที่ LEM จับได้นั้นจะผิดเพี้ยนไปจากเดิมมาก และมีอัตราต่ำกว่าที่การ์ด DSP จะสามารถนำมาคำนวณได้ถูกต้อง นอกจากนี้ในการตัดสินใจเริ่มการกรองแต่ละครั้งต้องให้ระบบเสถียรภาพคือ การแสดงผลของ LCD ผ่านไปแล้ว 2 รอบ (2 รอบแรกค่าที่ได้จะไม่ถูกต้องนัก) จึงจะเปิดสวิทซ์ S* หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำงานโดยอัตโนมัติ จนกว่าจะมีคำสั่งหรือเหตุปกติอื่นๆเกิดขึ้น

ข้อควรระวังอื่นๆ

1. สวิทซ์ S* ต้องเปิดที่หลัง และปิดก่อนเสมอ (สำคัญที่สุดเพราะอาจทำให้ทรานซิสเตอร์เสียได้ เนื่องจากสัญญาณที่ส่งออกมาในวงจรควบคุมมีทั้ง On และ Offพร้อมกัน)

2. ปลั๊กคอมพิวเตอร์ , LEM และปลั๊กไฟเลี้ยง HFC จะต้องแน่ใจว่าต่อแน่น และป้องกันการหลุดเอาไว้เพราะถ้าในกรณีที่ปลั๊กทั้ง 3 ตัวเกิดไม่แน่น อาจเกิดไฟกระชากส่งผลให้ LED มีไฟแสดงผลทั้ง 5 หลอด (ลอจิกเป็น 1 หมด) ถ้าเปิดสวิทซ์ S* อยู่จะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียได้

ถ้าเราสามารถต่ออุปกรณ์ และตรวจสอบความผิดพลาดทั้งหมดที่อาจเกิดขึ้นแล้วจึงทำการรันโปรแกรมเพื่อทำงาน จากนั้นรอการทำงานประมาณ 2-3 รอบ จึงทำการเปิดสวิทซ์ S* ก็จะทำให้การวัด และการกรองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นรวมทั้งสามารถป้องกันเหตุผิดปกติที่อาจเกิดกับอุปกรณ์ได้อีกด้วย

4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับเครื่องมือวัดฮาร์มอนิคส์อื่นๆ

นำผลการทดลองที่วัดได้จากเครื่อง HFC (Harmonics Filter Controller) มาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดอื่นๆที่มีมาตรฐานและเชื่อถือได้ว่าถูกต้องโดยเลือกเปรียบเทียบกับเครื่อง SATEC และ Storage Scope แบบที่สามารถวัดค่าฮาร์มอนิคส์ได้โดยใช้ FFT

โหลดที่ใช้ในการวัดเพื่อเปรียบเทียบค่า คือ

1. อุปกรณ์ปรับแรงดันแบบ SCR หรือ Triac สามารถปรับที่ค่ามุมทริกต่างๆได้
2. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์
3. เครื่องคอมพิวเตอร์

เนื่องจากค่าที่วัดได้จาก Storage Scope เป็นค่าที่บอกมาใน สเกลของเดซิเบล(dB) โดยแสดงเป็นค่า ΔP ซึ่งคือค่าผลต่างของ ฟันดาเมนทัลกับค่าลำดับฮาร์มอนิคส์นั้น โดยเราสามารถแสดงค่าออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดยอาศัยสมการดังต่อไปนี้

$$P_1 = 20\log(I_1/K) \quad (1)$$

$$P_H = 20\log(I_H/K) \quad (2)$$

$$\Delta P = P_H - P_1 = 20\log(I_1/K) - 20\log(I_1/K) = 20\log(I_H/I_1) \quad (3)$$

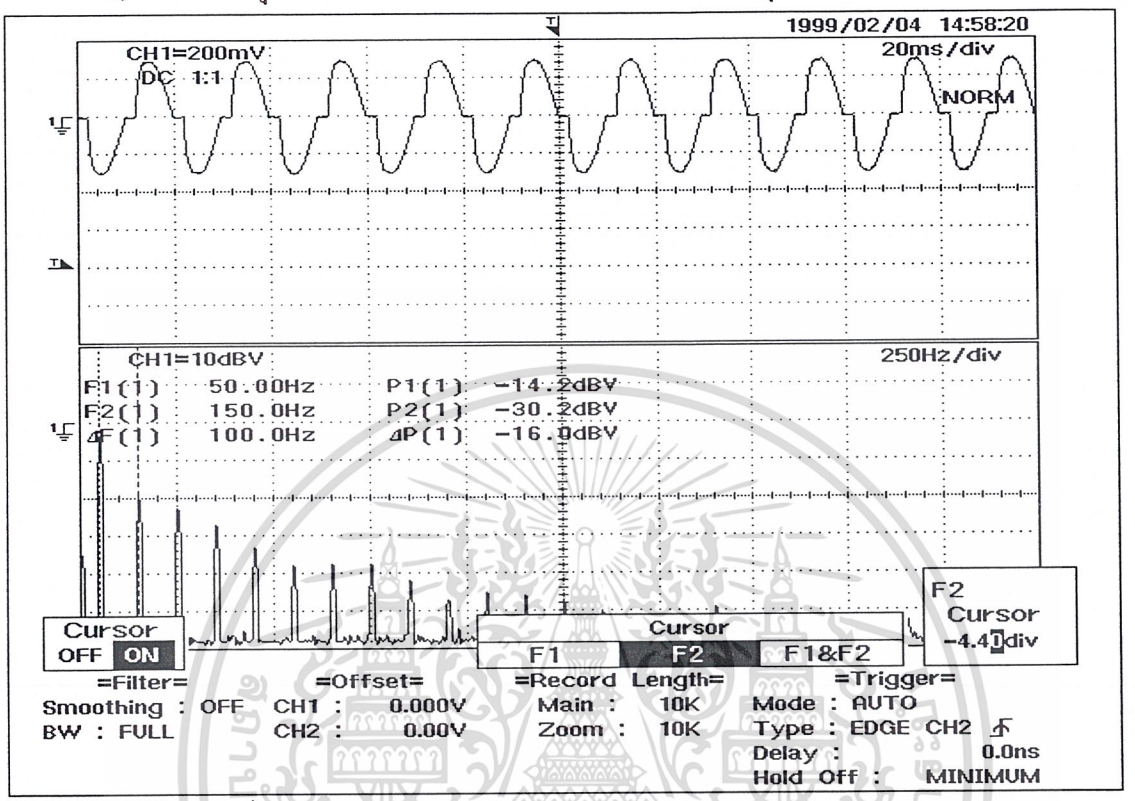
$$\%HD = (I_H/I_1)*100 = (10^{(\Delta P/20)})*100 \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ K เป็นค่าคงที่ในวงจรใดๆ

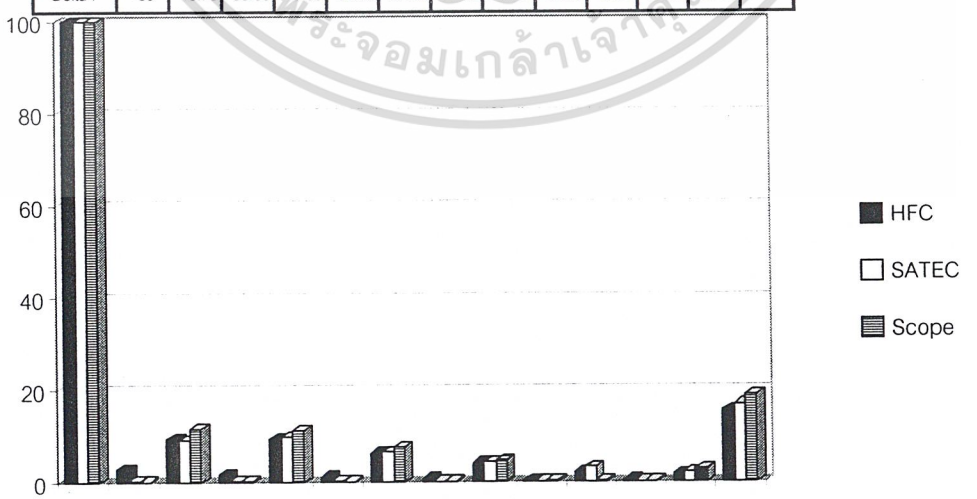
4.4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบกับเครื่องวัดฮาร์มอนิกส์ชนิดอื่น

1) โหลดเป็นอุปกรณ์ปรับแรงดัน พวก SCR หรือ Triac ที่ มุมทริก 45 องศา



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดัน มุมทริก 45 องศา

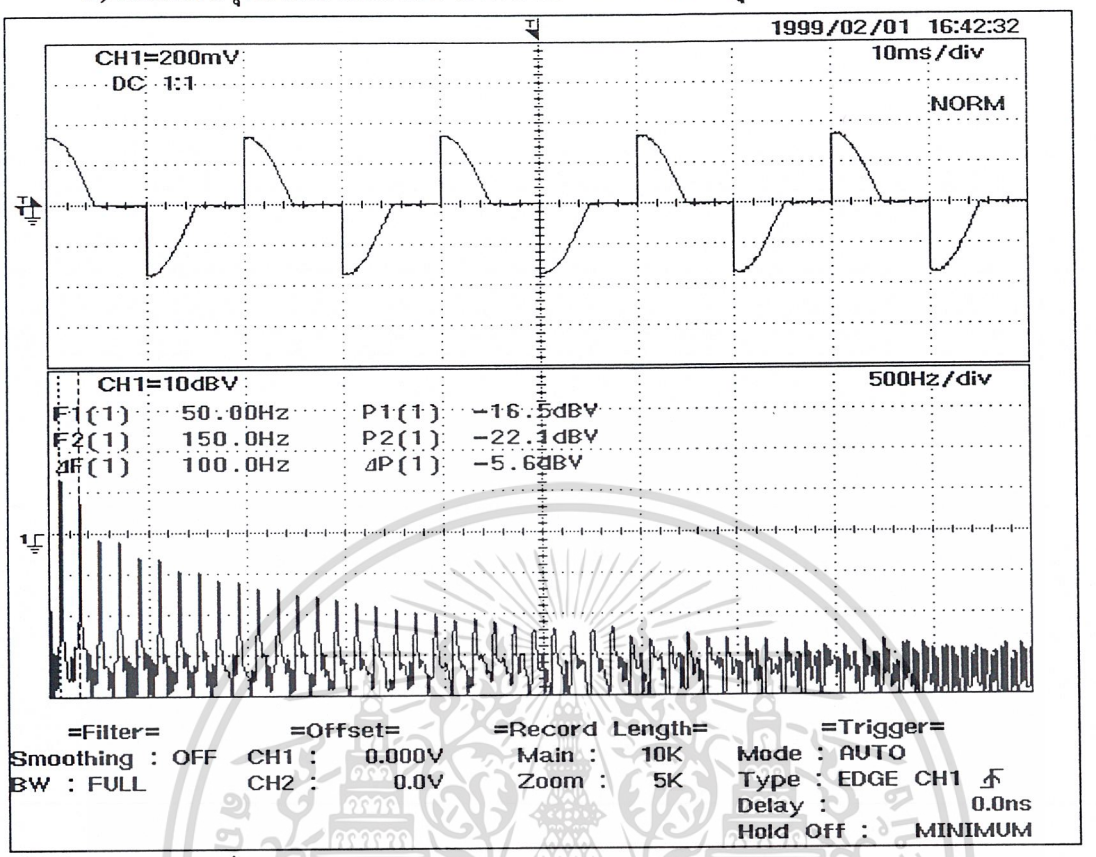
มุม 45 องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	2.99	9.32	1.79	9.37	1.19	6.35	0.83	4.18	0.36	2.26	0.47	1.79	15.54
SATEC	0.36	9.10	0.41	9.75	0.26	6.60	0.18	4.29	0.10	3.27	0.13	2.21	16.90
Scope	0.18	11.61	0.30	11.22	0.16	7.59	0.13	4.73	0.24	0.24	0.11	2.95	18.90
Delta P	-55	-18.70	-50.40	-19.00	-55.80	-22.40	-57.40	-26.50	-58.80	-29.80	-58.80	-30.60	



รูปที่ 4.5 แสดงค่า %Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดัน มุมทริก 45 องศา

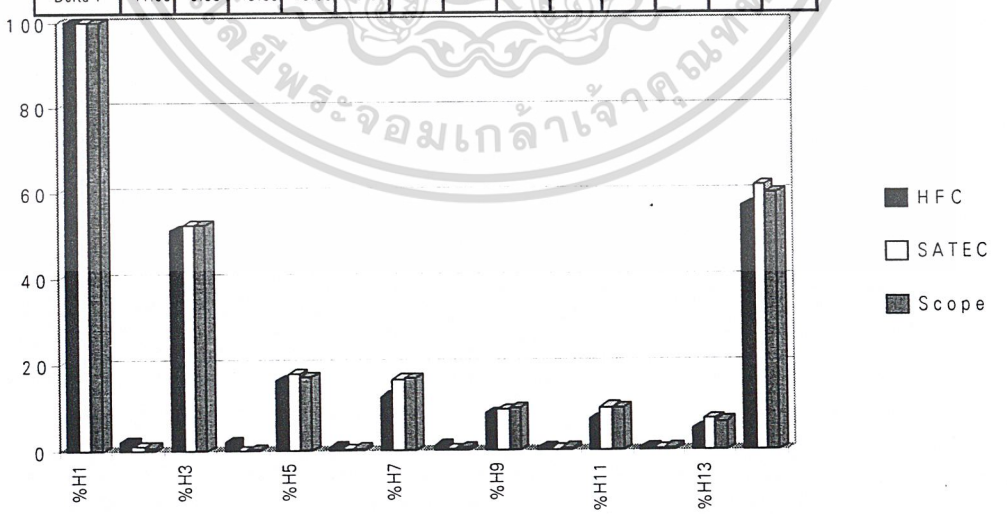
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) โหลดเป็นอุปกรณ์ปรับแรงดัน พวก SCR หรือ Triac ที่ มุมทริก 90 องศา



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดัน มุมทริก 90 องศา

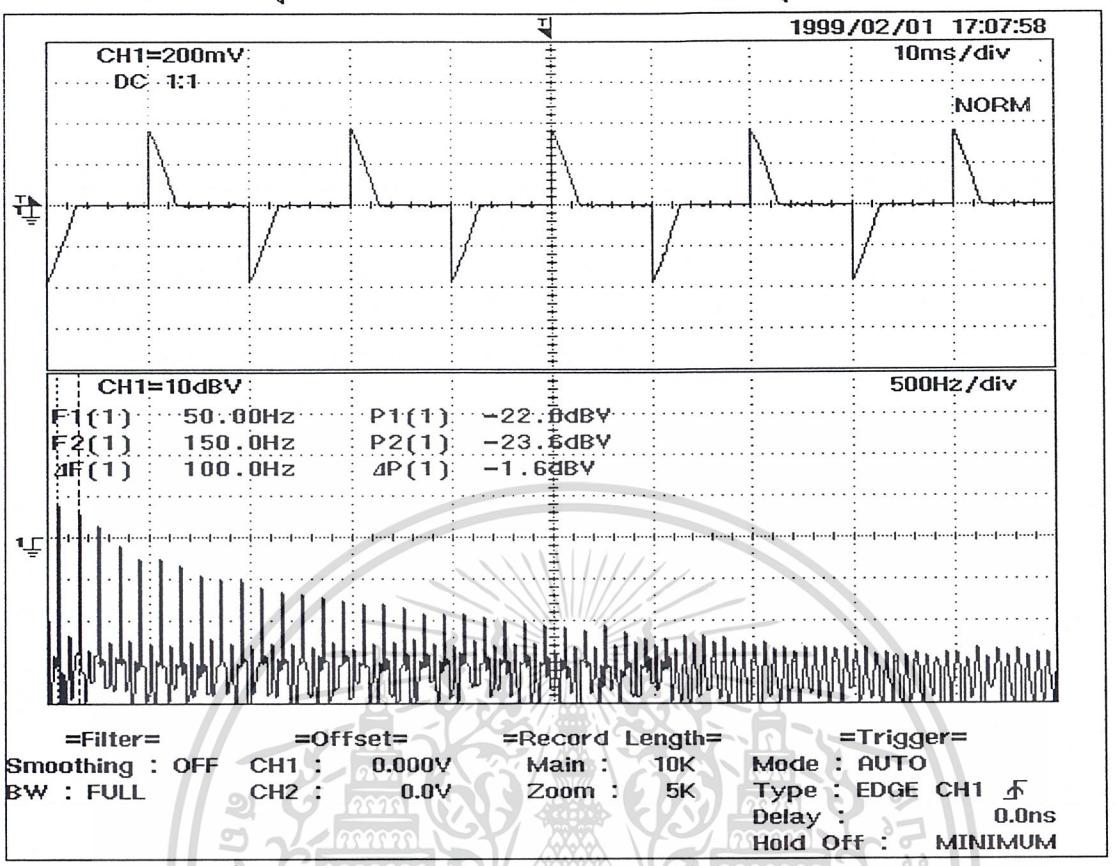
มุม 90 องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	2.26	51.36	2.07	16.38	0.85	12.47	1.21	8.60	0.66	7.24	0.66	5.14	56.79
SATEC	1.12	52.32	0.08	17.77	0.36	16.49	0.28	9.39	0.16	9.99	0.24	7.30	61.50
Scope	0.89	52.48	0.35	17.17	0.50	16.59	0.56	9.77	0.50	9.77	0.45	6.67	59.68
Delta P	-41.00	-5.60	-49.60	-15.30	-46.00	-15.60	-45.00	-20.20	-46.00	-20.20	-47.00	-23.60	



รูปที่ 4.7 แสดงค่า %Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดัน มุมทริก 90 องศา

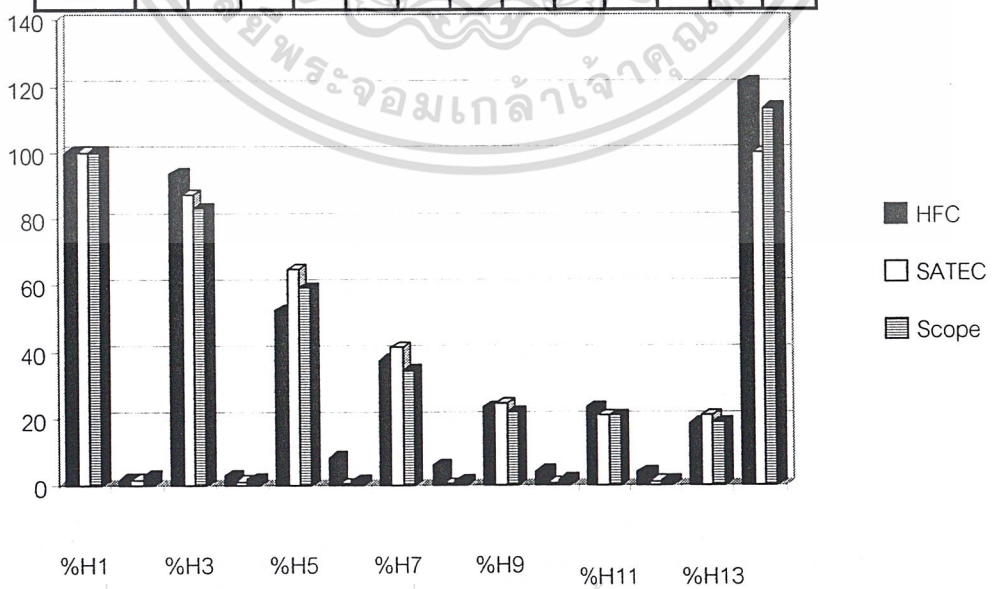
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) โหลดเป็นอุปกรณ์ปรับแรงดัน พวก SCR หรือ Triac ที่ มุมทริก 135 องศา



รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณของอุปกรณ์ปรับแรงดัน มุมทริก 135 องศา

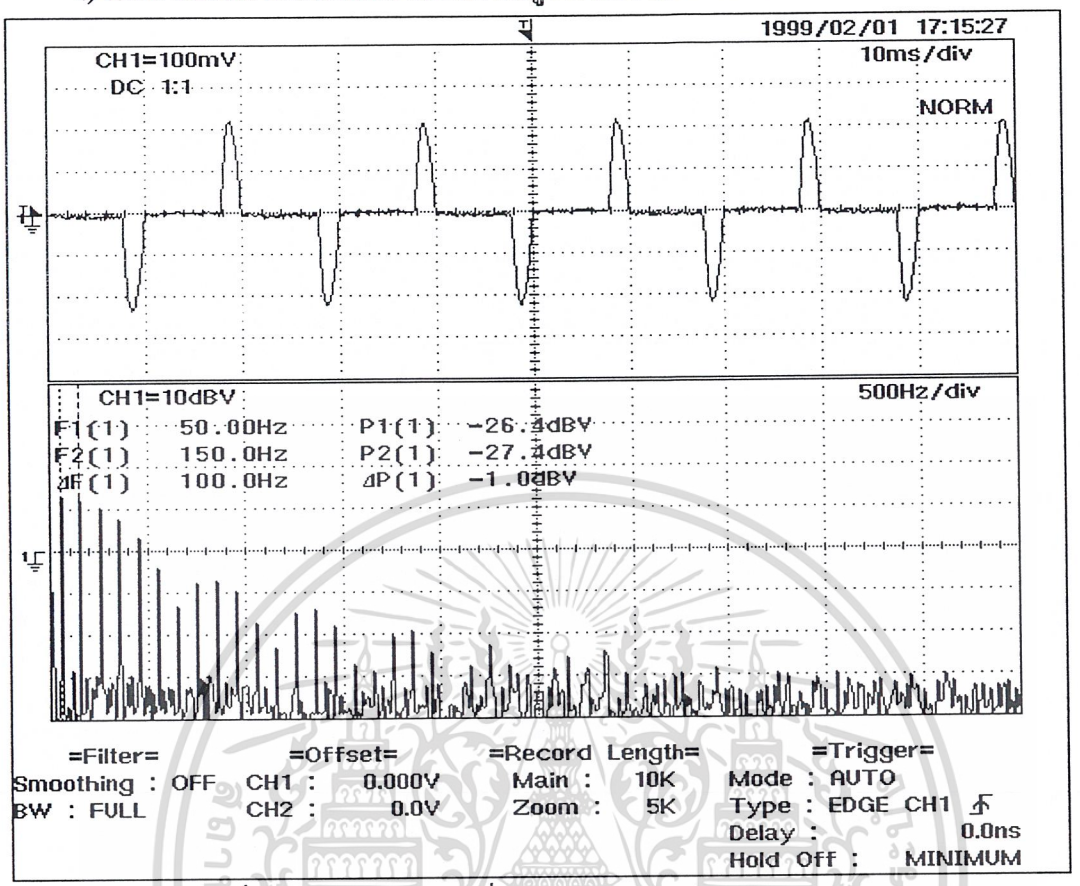
มุม 135 องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	1.68	93.62	3.15	52.59	8.30	37.32	6.03	23.33	4.23	23.20	4.19	18.49	121.05
SATEC	1.73	87.13	1.27	64.59	0.36	41.24	0.54	24.27	0.72	20.89	1.27	20.98	99.80
Scope	2.95	83.18	2.07	58.88	1.60	34.28	1.45	21.88	1.70	20.89	1.46	18.62	113.33
Delta P	-30.60	-1.60	-33.70	-4.60	-35.90	-9.30	-36.80	-13.20	-35.40	-13.60	-36.70	-14.60	



รูปที่ 4.9 แสดงค่า %Har เปรียบเทียบของอุปกรณ์ปรับแรงดัน มุมทริก 135 องศา

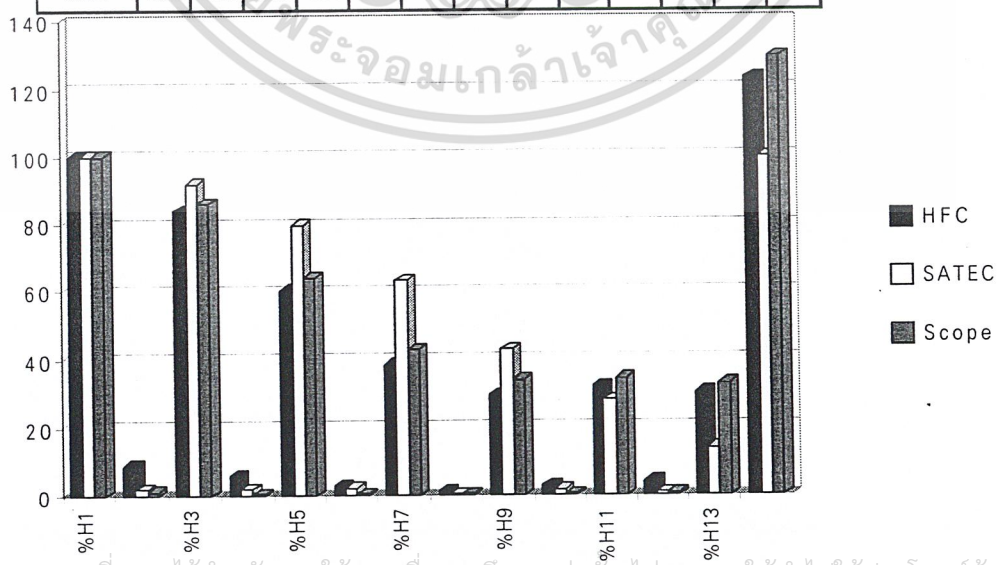
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) โหลด Ballast Electronics กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 หลอด



รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากโหลด Ballast Electronics

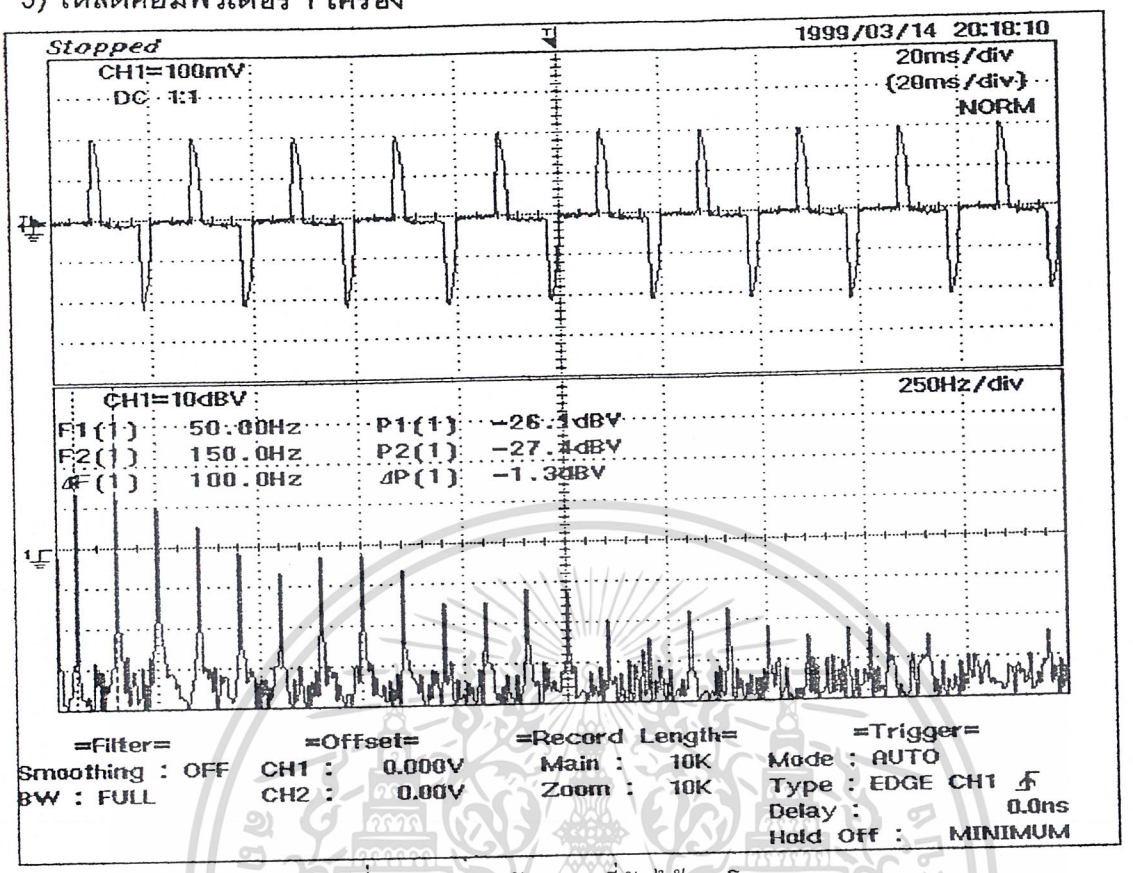
BALLAST-E	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	8.89	83.95	5.93	60.32	2.96	38.34	1.42	29.44	2.96	32.19	4.28	30.26	123.11
SATEC	1.95	91.87	1.95	79.73	2.16	63.27	0.61	42.90	1.74	27.88	0.92	13.88	99.80
Scope	1.19	86.10	0.50	63.83	0.50	42.66	0.35	33.88	0.47	34.28	0.71	32.73	129.24
Delta P	-38.90	-1.30	-46.10	-3.90	-46.00	-7.40	-49.00	-9.40	-46.50	-9.30	-43.00	-9.70	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ในครั้งที่มีการนำไปใช้

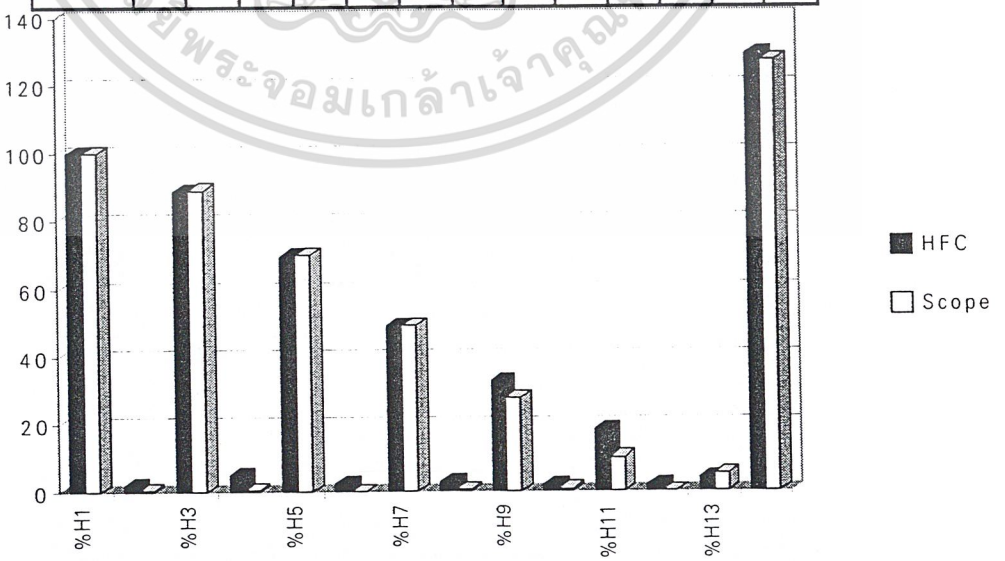
รูปที่ 4.11 ค่า %Har ที่วัดได้เปรียบเทียบกันโหลด Ballast Electronics

5) โหลดคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง



รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณที่วัดได้จากโหลด Computer

COMPUTER	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	2.27	88.70	5.11	69.72	2.88	49.23	3.42	32.85	2.32	18.72	2.26	4.37	129.11
Scope	0.80	89.13	0.79	69.98	0.23	48.98	0.86	27.86	0.95	10.12	0.20	5.31	127.00
Delta P	-41.90	-1.00	-42.00	-3.10	-52.60	-6.20	-41.30	-11.10	-40.40	-19.90	-53.60	-25.50	



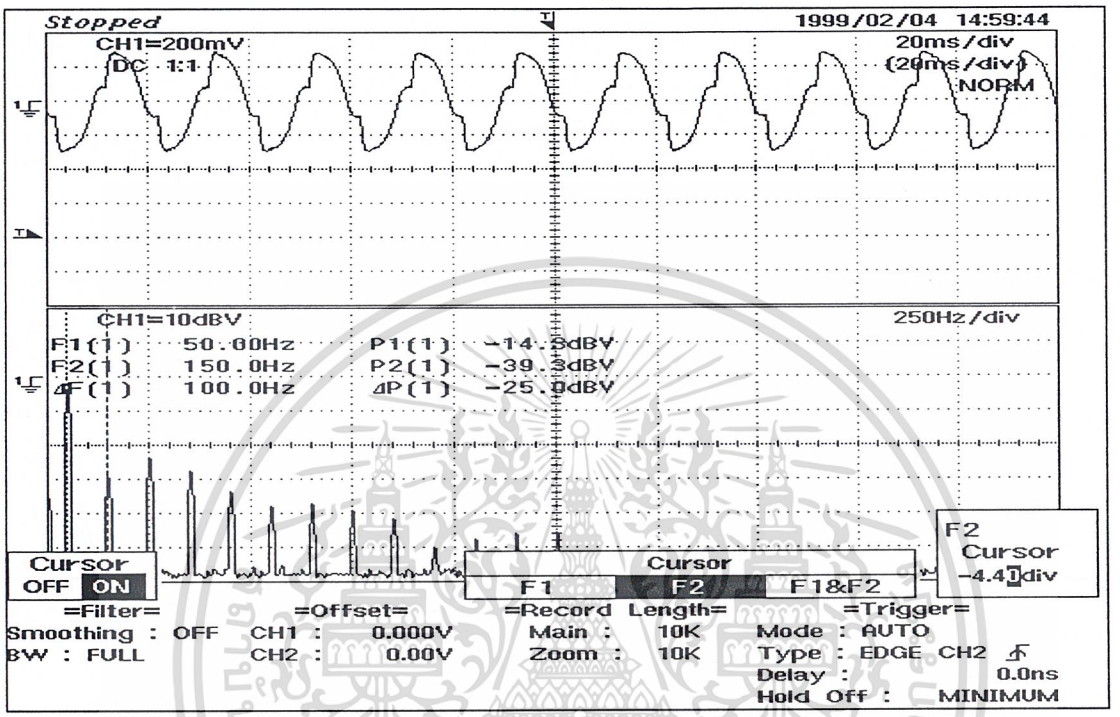
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 ค่า %Har ที่วัดได้เปรียบเทียบกันโหลด Computer

4.4.2 แสดงผลการทดลองหลังจากใส่ฟิลเตอร์แล้ว

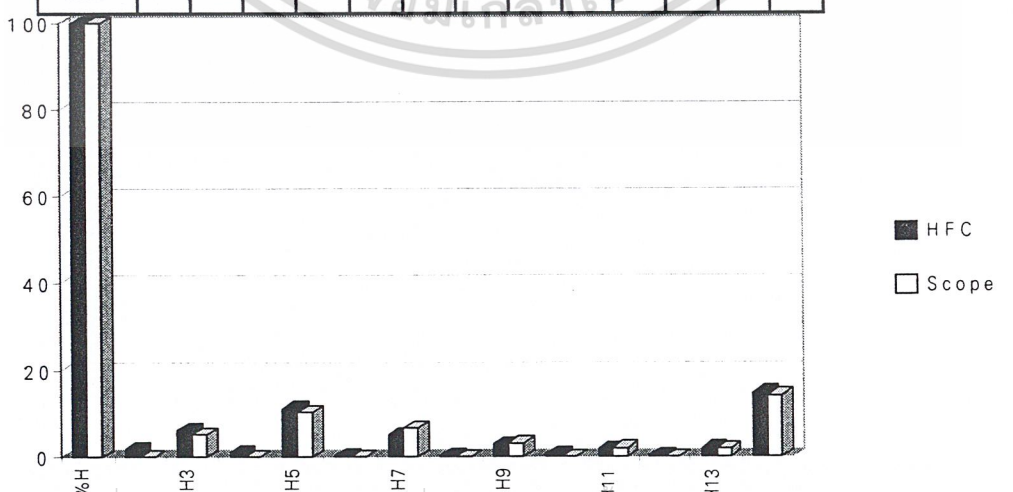
1) อุปกรณ์ปรับแรงดัน ที่มุมทริก 45 องศา

1) ใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิกส์ที่ 3 อย่างเดียว



รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณที่วัดได้

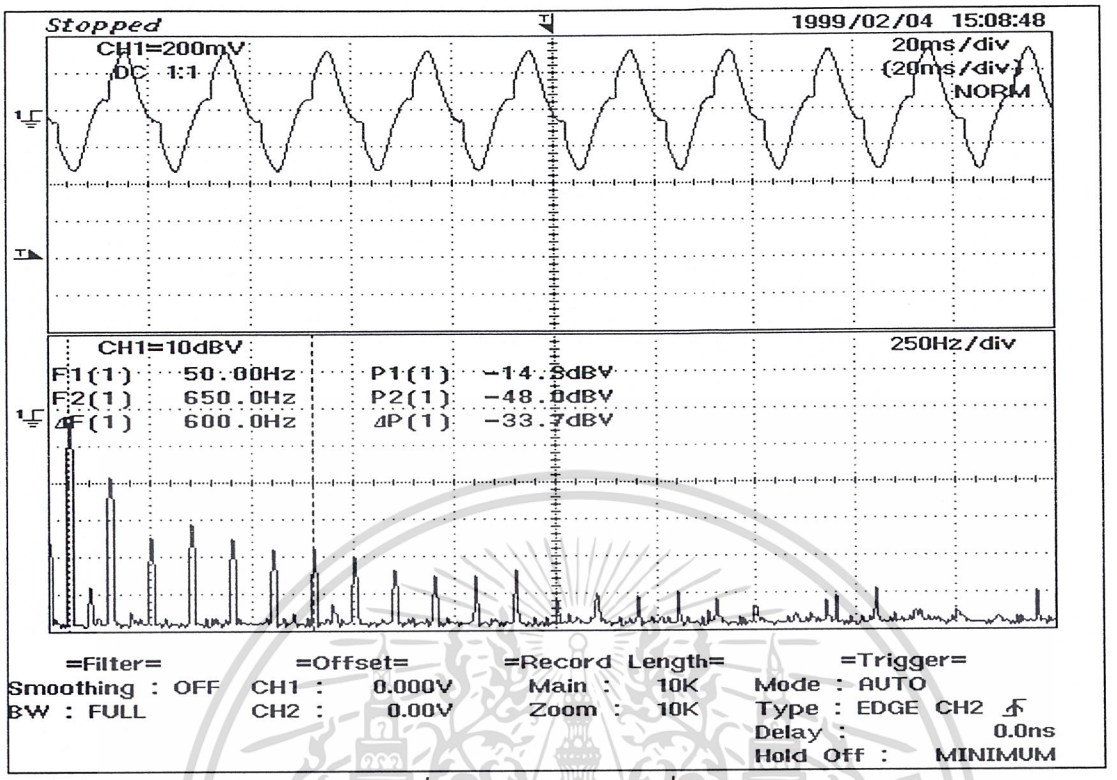
มุม45 องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	2.10	6.44	1.20	11.21	0.56	5.30	0.61	2.98	0.90	2.10	0.60	2.14	14.86
Scope	0.19	5.37	0.21	10.35	0.23	6.61	0.18	3.27	0.23	2.11	0.23	2.08	14.14
Delta P	-54.10	-25.40	-53.60	-19.70	-52.80	-23.60	-54.60	-29.70	-52.80	-33.50	-52.80	-33.60	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

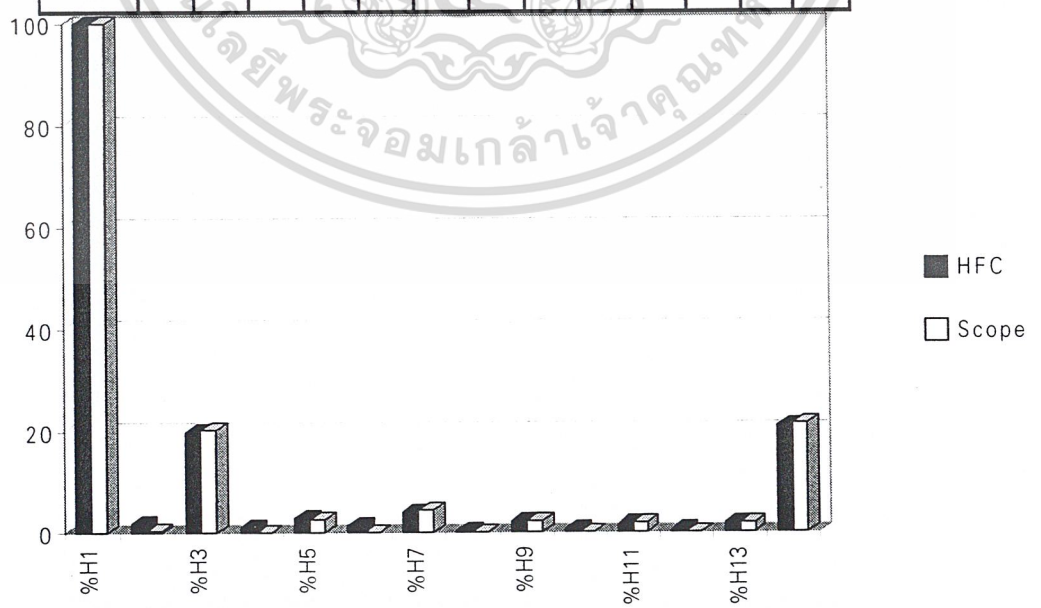
รูปที่ 4.15 แสดงค่า เปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบ

2) ใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิกส์ที่ 5 อย่างเดียว



รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณที่วัดได้

มุม/องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	2.00	19.80	1.20	3.10	1.50	4.21	0.60	2.20	0.98	1.77	0.66	1.85	20.98
Scope	0.56	20.18	0.19	2.60	0.24	4.46	0.18	2.36	0.19	1.99	0.18	1.97	21.18
Delta P	-44.90	-13.90	-54.00	-31.70	-52.40	-27.00	-54.50	-31.60	-54.00	-34.00	-54.50	-34.10	

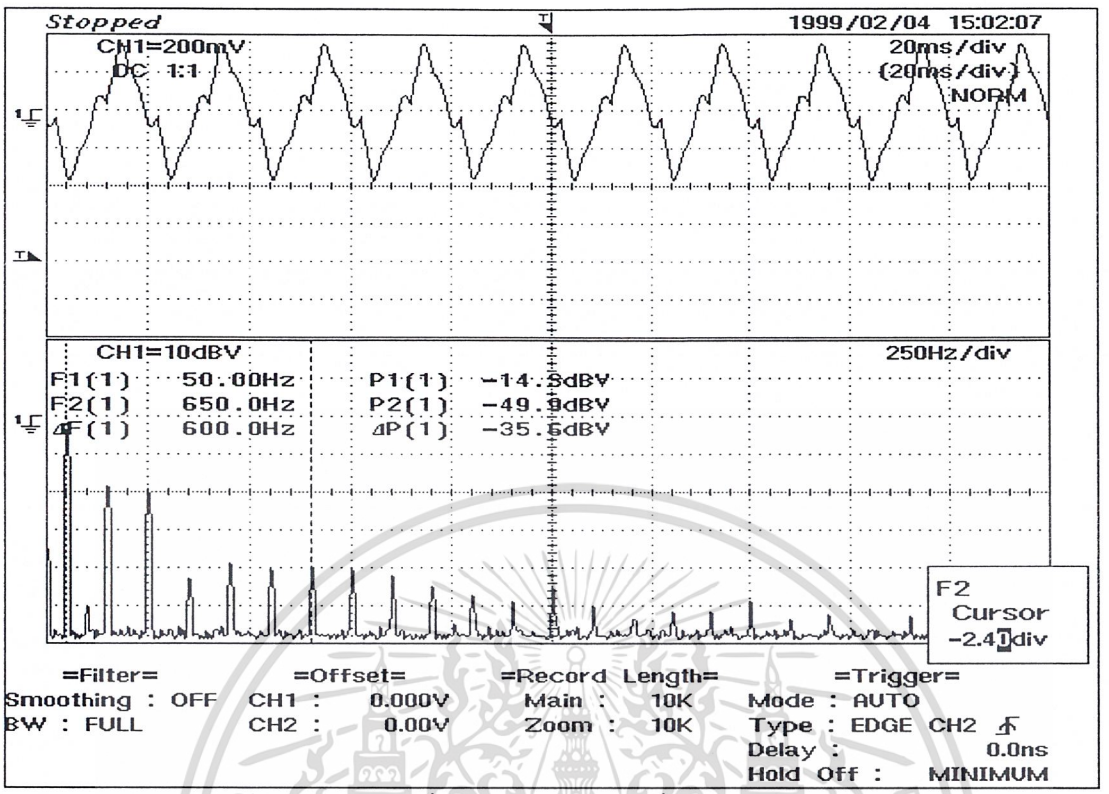


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.17 แสดงค่า เปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบ

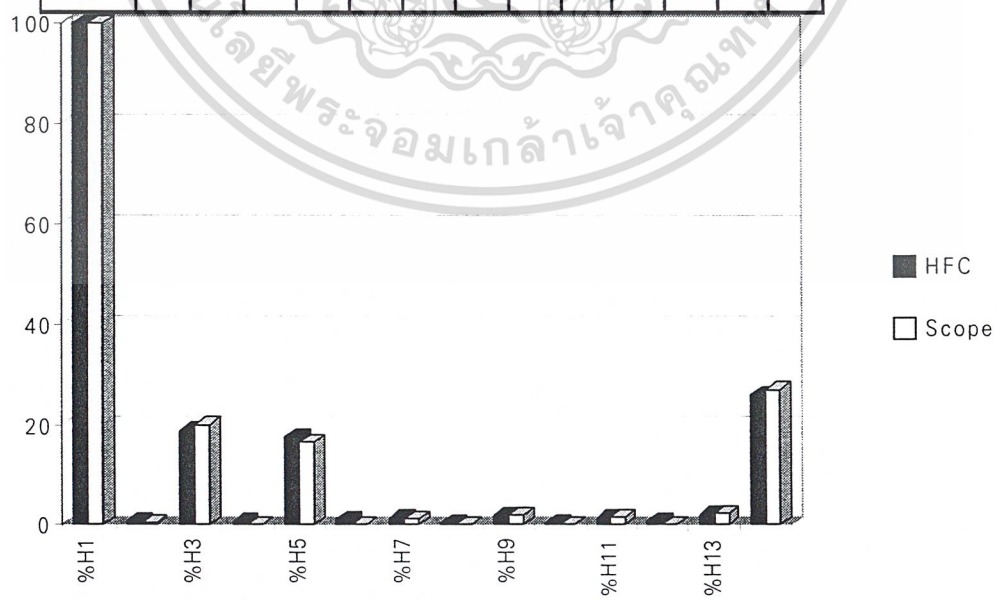
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิกส์ที่ 7 อย่างเดียว



รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณที่วัดได้

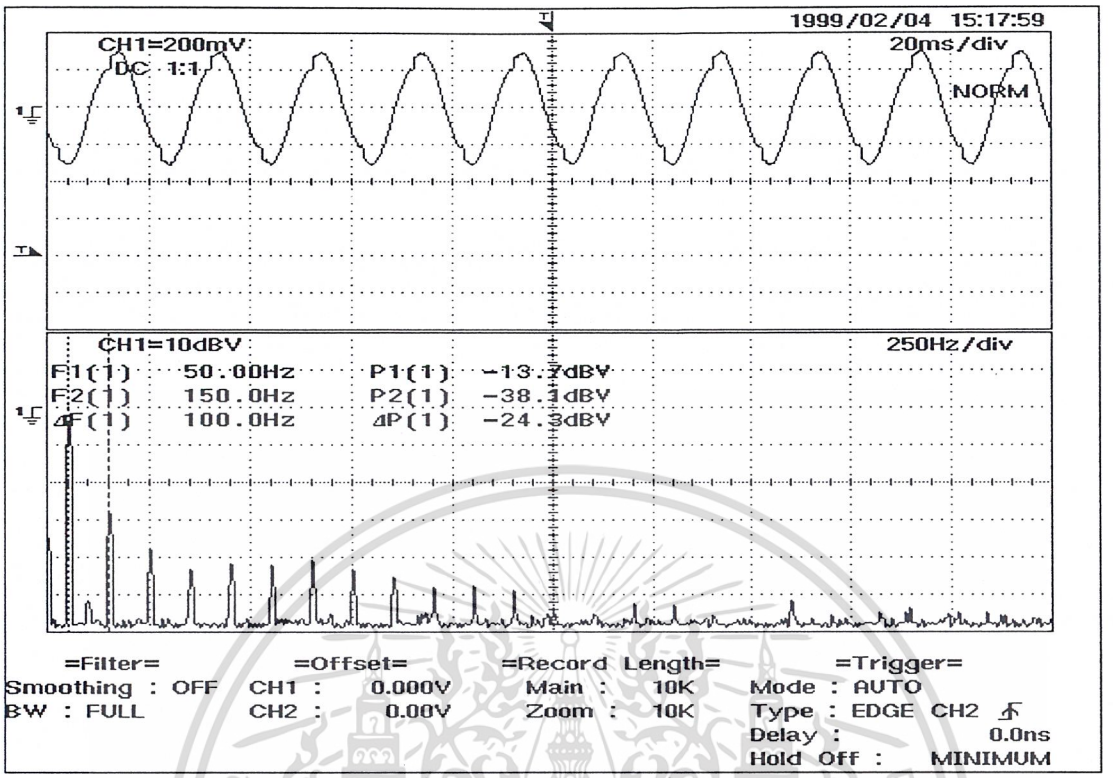
มุม45องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	0.78	18.87	0.69	17.60	1.24	1.42	0.50	1.88	0.54	1.40	0.77	2.11	26.11
Scope	0.42	19.95	0.23	16.41	0.24	1.20	0.18	1.99	0.20	1.60	0.23	2.30	26.87
Delta P	-47.50	-14.00	-52.80	-15.70	-52.40	-38.20	-54.50	-34.00	-54.00	-35.90	-52.40	-32.40	



รูปที่ 4.19 แสดงค่า เปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบ

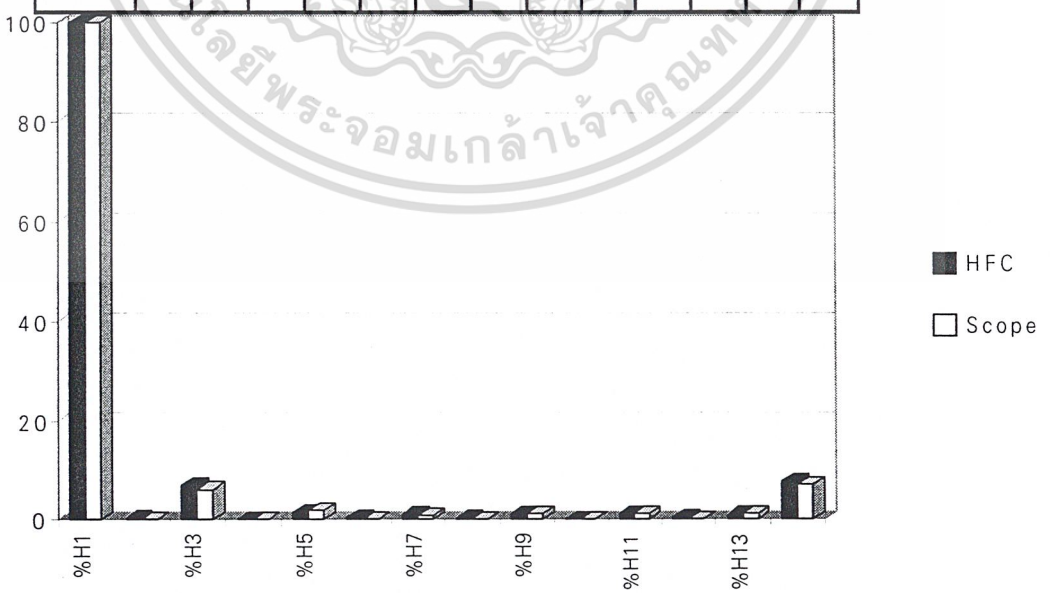
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิกส์ที่ 3,5 และ7



รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณที่วัดได้

มุม45องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	0.33	7.20	0.20	1.50	0.54	1.02	0.31	1.21	0.21	1.32	0.58	1.09	7.77
Scope	0.27	6.16	0.19	2.04	0.27	0.97	0.19	1.30	0.18	1.21	0.27	1.33	6.94
Delta P	-51.10	-24.20	-54.10	-33.80	-51.10	-40.20	-54.10	-37.70	-54.60	-38.30	-54.10	-37.50	

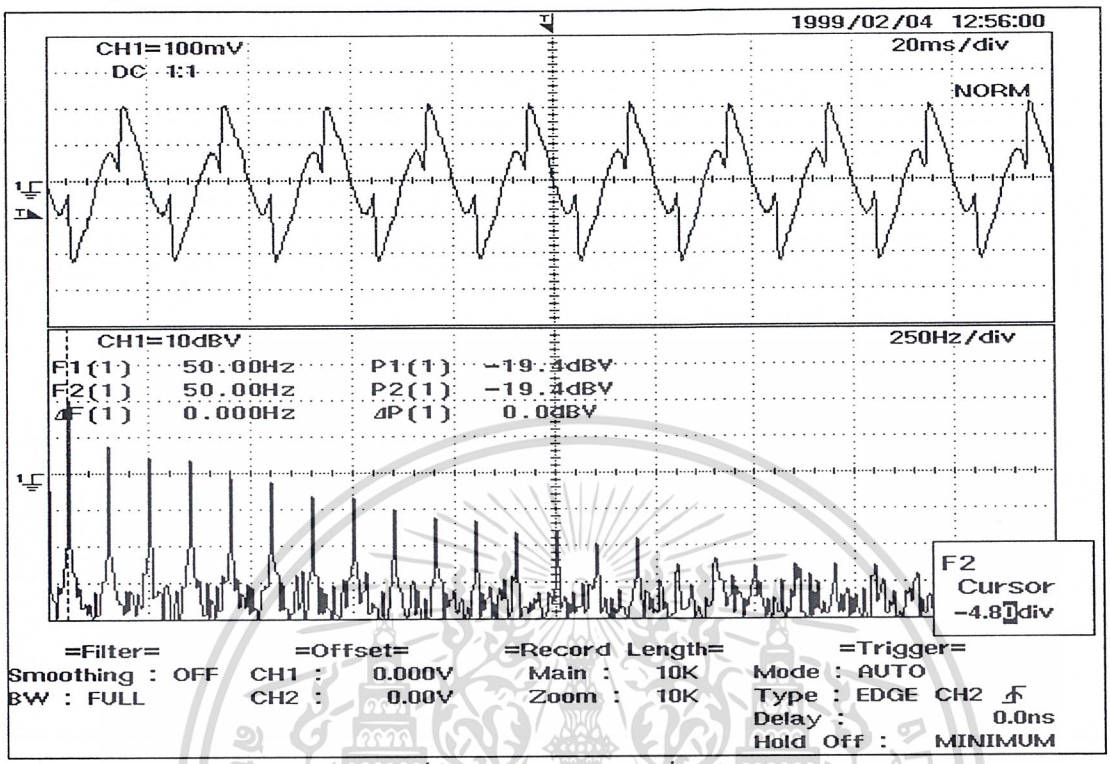


รูปที่ 4.21 แสดงค่า เปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

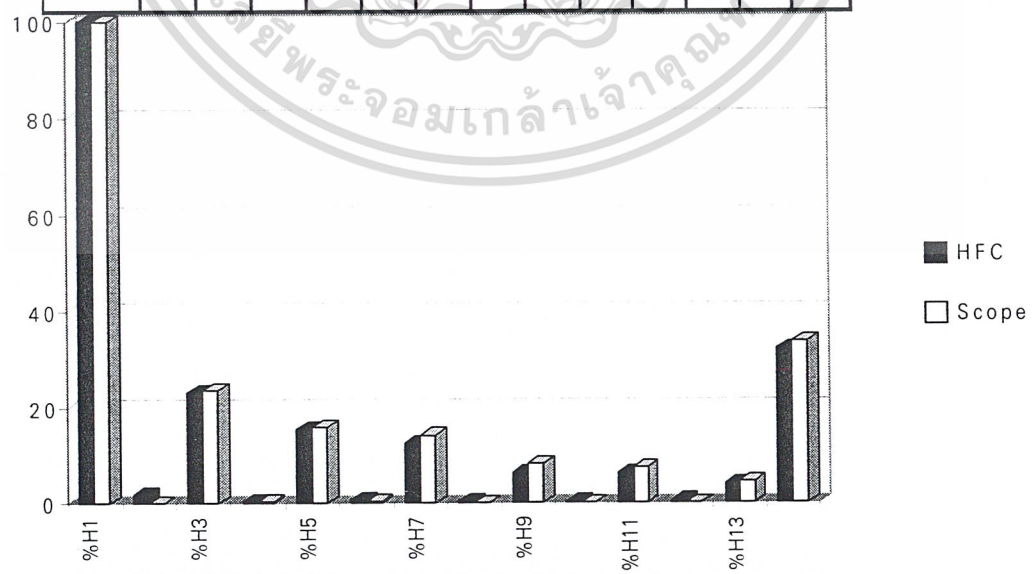
2) อุปกรณ์ปรับแรงดันที่มุมทริก 90 องศา

1) ใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิกส์ที่ 3 อย่างเดียว



รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณที่วัดได้

มุม90องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	2.06	23.17	0.51	15.39	0.85	12.44	0.51	6.39	0.34	6.22	0.68	4.12	32.11
Scope	0.23	23.44	0.38	15.85	0.61	14.13	0.13	8.04	0.19	7.33	0.05	4.42	33.75
Delta P	-52.80	-12.60	-48.40	-16.00	-44.30	-17.00	-57.90	-21.90	-54.40	-22.70	-66.90	-27.10	

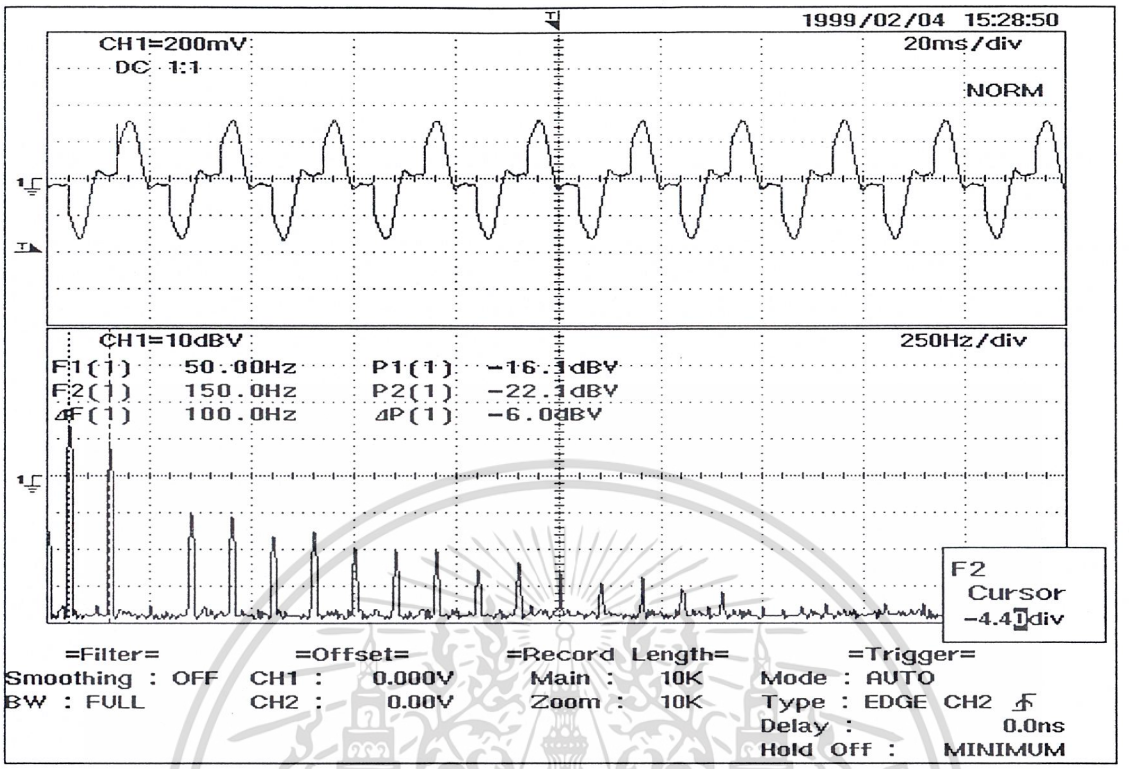


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.23 แสดงเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบ

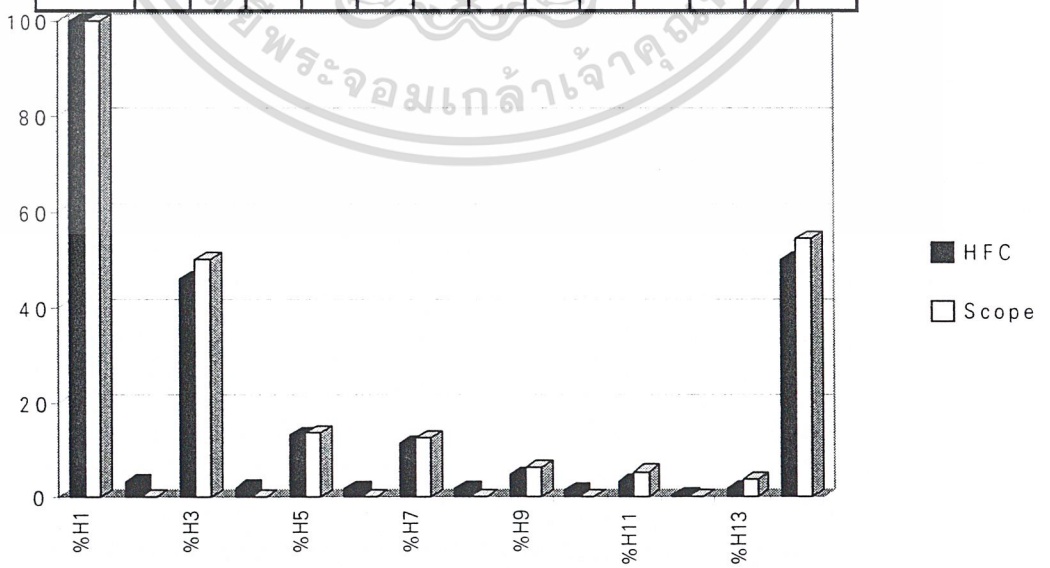
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิกส์ที่ 5 อย่างเดียว



รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณที่วัดได้

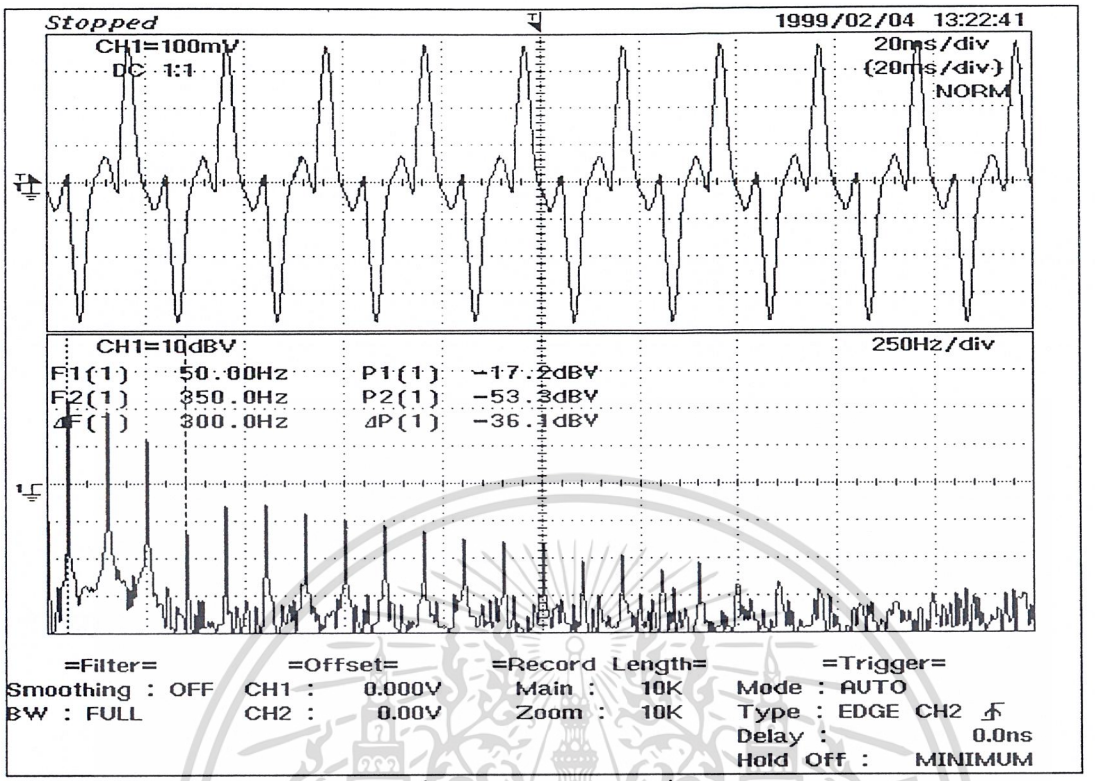
มุม90องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	3.40	46.04	2.17	13.19	1.99	11.52	1.99	4.77	1.69	3.37	0.61	1.84	49.91
Scope	0.15	50.12	0.13	13.49	0.07	12.45	0.09	6.38	0.15	5.43	0.06	3.67	54.25
Delta P	-56.20	-6.00	-57.80	-17.40	-62.60	-18.10	-60.80	-23.90	-56.20	-25.30	-63.80	-28.70	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

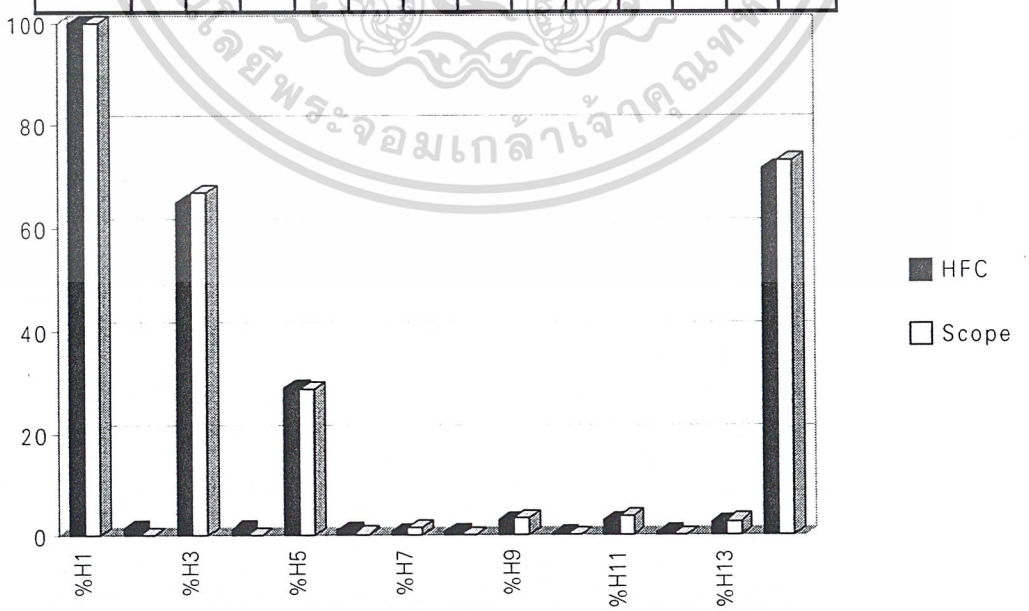
รูปที่ 4.25 แสดงเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบ

3)ใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิกส์ที่ 7 อย่างเดียว



รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณที่วัดได้

มุมของฮาร์	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	1.52	65.02	1.42	28.83	1.38	0.84	0.84	2.94	0.32	3.09	0.68	2.75	71.34
Scope	0.28	66.83	0.15	28.51	0.30	1.57	0.08	3.51	0.20	3.67	0.09	2.88	72.91
Delta P	-51.10	-3.50	-56.70	-10.90	-50.50	-36.10	-61.60	-29.10	-54.00	-28.70	-60.70	-30.80	

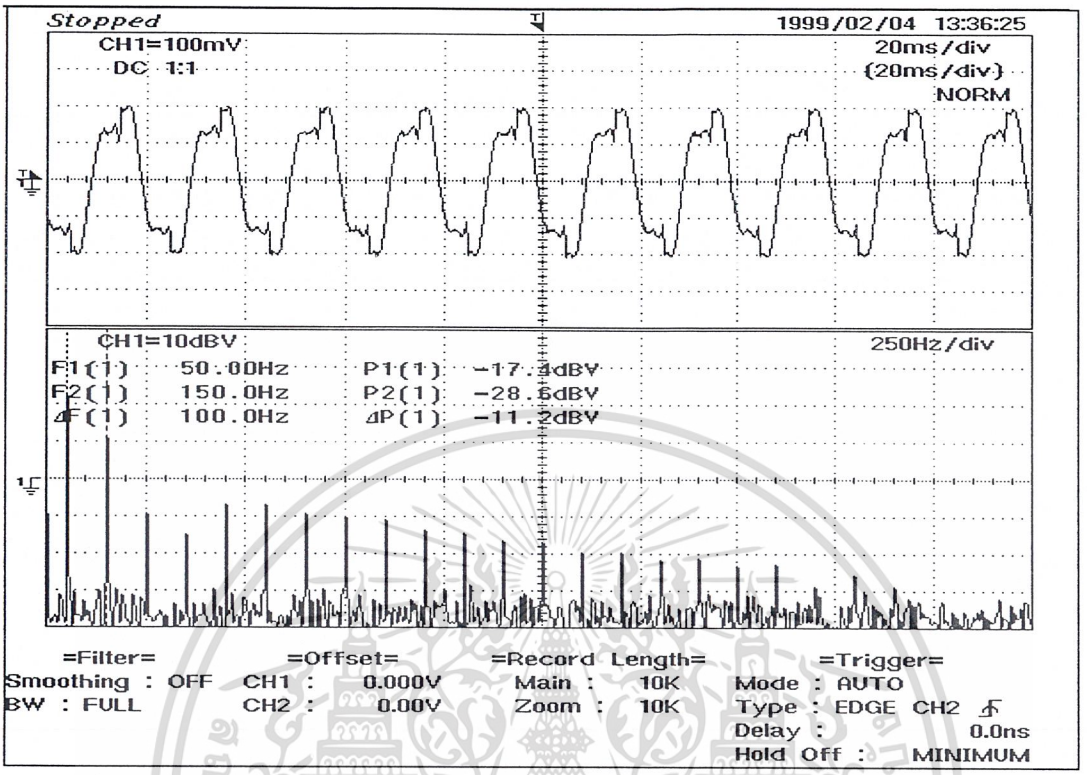


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.27แสดงเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบ

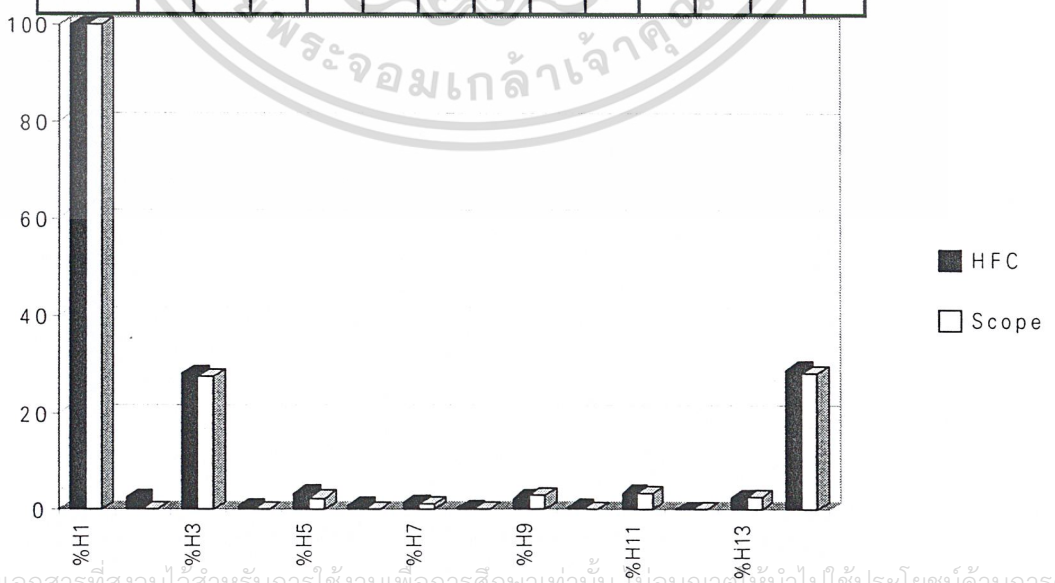
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ใส่ฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิกส์ที่ 3,5 และ7



รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณที่วัดได้

มุม90องศา	%H2	%H3	%H4	%H5	%H6	%H7	%H8	%H9	%H10	%H11	%H12	%H13	%THD
HFC	2.73	28.14	0.87	3.62	1.03	1.52	0.50	2.53	0.70	3.62	0.16	2.76	29.05
Scope	0.11	27.54	0.10	2.51	0.11	1.32	0.11	3.17	0.22	3.31	0.08	2.65	28.20
Delta P	-59.90	-11.20	-60.40	-32.00	-59.50	-37.60	-59.50	-27.70	-5.30	-29.60	-63.40	-29.70	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.29 แสดงเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์เปรียบเทียบ

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) จากการทดลองวัดค่าเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์จาก โหลดต่างๆเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่อง HFC , SATEC และ Storage Scope นั้นจะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากพอที่จะยอมรับได้ แต่ในการวัดแต่ละครั้งถ้ามิได้จำลองโหลดให้เหมือนกันทุกประการแล้ว ค่าที่ได้จะแตกต่างกันเช่น ถ้าวัดโหลด SCR แบบต่อ Variac ก่อนป้อนไฟเข้า กับการป้อนไฟเข้าโดยตรง เนื่องจากค่า System Reactance ที่แตกต่างกันนั่นเอง

2) เครื่อง HFC มีข้อเสียคือ %HD ในอันดับเลขคู่จะมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จาก SATEC และจาก Storage Scope

เครื่อง SATEC มีข้อเสียคือ %THD ที่แสดงในการวัดนั้นจะมีค่ามากสุด 99.8 % คือถ้า %THD > 100% ก็จะแสดงได้แค่ 99.8 % ทั้งๆที่โหลดบางชนิดมี %THD > 100% แต่ HFC กับ Storage Scope สามารถแสดงค่าจริงที่ได้ทั้งหมด

เครื่อง Storage Scope นั้นมีข้อเสียคือค่าที่วัดได้แสดงเป็น ΔP ในหน่วย dB จึงต้องนำค่ามาคำนวณก่อนหลายครั้งกว่าจะได้ %HD และ %THD

3) ในการศึกษาผลกระทบจากการต่อฟิลเตอร์ในระบบพบว่าค่าที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าถ้าต่อฟิลเตอร์กรองอันดับที่ 7 ค่า %HD ของฮาร์มอนิคส์ที่ 3 กับ 5 จะมีค่าสูงขึ้นกว่าไม่ต่อฟิลเตอร์เลย เช่นเดียวกับการต่อฟิลเตอร์กรองฮาร์มอนิคส์ที่ 5 ค่า %HD 3 ก็จะสูงขึ้นดังนั้นการสั่งให้ฟิลเตอร์ทำงานจึงต้องสั่งตามลำดับมากไปหาน้อยดังที่กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปโครงงานและแนวทางการพัฒนาต่อ

สรุปโครงงาน

1) ในส่วนของโปรแกรมคำนวณค่า %HD และแสดงผลทาง LCD และ LED นั้นเราสามารถปรับปรุงให้ควบคุมการกรองได้หลายแบบ เช่น ควบคุมจำนวนฟิลเตอร์ที่กรอง 3 อันดับเท่ากัน แต่สามารถเลือกอันดับที่ต้องการได้ หรือ เพิ่มจำนวนวงจรกรองให้มากขึ้น(มากสุด 10 ตัว) ซึ่งเป็นกรณีที่ยุ่งยากทั้งในส่วนโปรแกรมและการเพิ่มเติมวงจรควบคุม
2) วงจรแสดงผล LCD นั้นสามารถแสดงผลค่าฮาร์มอนิคส์ตั้งแต่ %HD2-%HD13 วนไปเรื่อยๆทำให้สามารถวัดค่า เปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิคส์ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาอยู่แล้วได้ วงจรแสดงผล LED มีทั้งสิ้น 5 ลอจิก การปรับเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณควบคุมหรือสัญญาณแสดงผลอื่นๆได้ตามแต่จะเลือกใช้งาน
3) ส่วนวงจรควบคุมนั้นจุดสำคัญคือการเลือกใช้อุปกรณ์ตัดต่อสวิทช์และแรงดันที่เป็นเอาท์พุทจากอุปกรณ์เลือกสัญญาณซึ่งในที่นี้มีค่าประมาณ 4 Vdc ให้เหมาะสม นอกจากนี้ สเปคของอุปกรณ์ตัดต่อจำพวกทรานซิสเตอร์ก็ควรเลือกให้เหมาะกับสภาวะที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้
4) การต่อฟิลเตอร์เข้าสู่ระบบเพื่อกรองฮาร์มอนิกส์นั้นจะต้องเสียกำลังไฟฟ้าส่วนหนึ่ง ดังนั้นการควบคุมการตัดต่อสวิทช์เฉพาะเวลาที่จำเป็นต้องกรองเท่านั้น เช่นเครื่องควบคุมการกรองสัญญาณฮาร์มอนิคส์นี้ จะประหยัดกำลังงานมากกว่า แบบที่ใช้การต่อฟิลเตอร์ถาวร ทำให้คุ้มกับค่ากำลังงานที่เสียไปกับเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์ที่ลดลงและความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

ปัญหาที่พบจากการทำโครงงาน

1) การวัดเพื่อเปรียบเทียบค่า %HD กับเครื่องวัดชนิดอื่น นั้นต้องแน่ใจว่าเป็นระบบเดียวกัน โหลดเดียวกัน เพราะมิฉะนั้นค่าได้ที่จะผิดพลาดมาก โดยจะสังเกตเห็นได้จากค่าที่วัดจาก SATEC กับ HFC จะต่างกันมาก ในขณะที่ค่าที่วัดได้ระหว่าง Storage Scope กับ HFC จะใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีขีดจำกัดในเรื่องเวลาและสถานที่ในการวัด เครื่อง SATEC ทำให้ระบบต่างกันเล็กน้อย
2) ถ้าค่า %THD< 2% ในบางครั้ง เครื่อง HFC จะวัดค่าที่ได้ออกมาผิดพลาดอย่างมาก
3) เวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมกว่าที่จะได้ %HD ที่ยอมรับได้สำหรับการเริ่มวัดครั้งใด ใช้เวลาประมาณ 40-60 วินาที ซึ่งนับว่ายังมากอยู่
4) อุปกรณ์ส่วนใหญ่เช่นทรานซิสเตอร์จะเสียหายได้ง่ายจึงต้องพึงระวังเอาไว้ก่อน คือเราจะเปิดสวิทช์ S* เมื่อระบบพร้อมเท่านั้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว
5) การตั้งค่า %HD MAX และ %HD MIN นั้นเนื่องจากค่า %HD นั้นยังไม่มีมาตรฐานทั้งในระดับประเทศและสากลระบุไว้ (IEEE ระบุแต่ %THD ไม่เกิน 5 %) จึงสมมติค่า %HD MAX ไว้ที่ประมาณ 10 % (เป็นค่าที่พอจะยอมรับได้)ดังนั้นถ้าหากในอนาคตหากมีการกำหนดค่า %HD MAX ขึ้นมาก็สามารถแก้ไขโปรแกรมให้ เหมาะสมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) บางครั้งโปรแกรมหยุดทำงานเองโดยไม่ทราบสาเหตุ

7) การนำ L-C Filter แบบปรับค่าได้มาใช้งานต้องระวังการเคลื่อนย้ายด้วยเพราะอาจทำให้ระยะแก็ปเปลี่ยนไปจากค่าที่ตั้งไว้ก็ได้

แนวทางการพัฒนาต่อ

1) พัฒนาโปรแกรมให้มีส่วนลิงค์ข้อมูลเพื่อการปรับเปลี่ยนลำดับและจำนวนวงจรกรองได้โดยพิมพ์ข้อมูลเหล่านั้นลงในคีย์บอร์ดหรืออื่นๆ

2) พัฒนาโปรแกรมนำค่า %HD และ %THD มาแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบค่า %HD ให้ชัดเจนแทนการรันเป็นรอบๆวนไปมา

3) นำ Source Code ที่ใช้เขียนลงใน EPROM เพื่อสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องอาศัยการรันจากคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา

4) สามารถเปลี่ยนช่วงการแสดงค่าได้ เช่น ปัจจุบันแสดง %HD2-%HD13 หากต้องการวัดในช่วง %HD14-%HD25 ก็สามารถทำได้

5) พัฒนาอุปกรณ์ควบคุมให้กะทัดรัดและมีคุณภาพมากขึ้น

6) นำเครื่อง HFC ทดลองวัดกับโหลดชนิดต่างๆเพื่อเก็บข้อมูลให้ได้มากที่สุดเพื่อหาข้อจำกัดของการวัด (รวมทั้งการต่อฟิลเตอร์ด้วย)

7) แก้ไขอาการแฮงค์ของโปรแกรมโดยไม่ทราบสาเหตุในกรณีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีที่ใช้ในโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-----------------------------------------------------;
;          HARMONICS FILTER CONTROLLER                ;
;-----------------------------------------------------;
;                                                     ;
; ADVISER  SIRIWAT   POTHIWATCHAKOON                  ;
; ADVISEE  POONLARP  KOBKITSAKUL    38014356          ;
;          SINCHAI   SAE-TANG       38014563          ;
;          SUTTHIKARN JANGPRASERT   38014574          ;
;          SURIYA    SURIYAKANONT   38014595          ;
;-----------------------------------------------------;
;-----------------------------------------------------;
;              MODIFY IEEE_THD                        ;
;-----------------------------------------------------;
Isc/Im_1    .SET  1         ; 0   < Isc/Im < 20   ;
Isc/Im_2    .SET  0         ; 20  < Isc/Im < 50   ;
Isc/Im_3    .SET  0         ; 50  < Isc/Im < 100  ;
Isc/Im_4    .SET  0         ; 100 < Isc/Im < 1000 ;
Isc/Im_5    .SET  0         ; 1000 < Isc/Im       ;
;-----------------------------------------------------;

            .mmregs
FFT_S       .set   1024
FFT_S-1     .set   1023
FFT_S/2     .set   512
(FFT_S/2)-1 .set   511


 ;-----------------------------------------------------;
TA      .set   31          ;     Auxin -----+  +----- Loopback
RA      .set   31          ;     Synch --+  |  |  +-- BP Filter
TAp     .set   1           ;              |  |  |  |
RAp     .set   1           ;+------------+------------+
TB      .set   63          ;|00 00 G1 G0 | SY AX LB BP|
RB      .set   63          ;+------------+------------+
AIC_CMD .set   080h        ;     GAIN
C       .SET   4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        .ds     0f00h
TEMP    .word   0           ;location of TEMPorary storage
ACCU_lo .word   0           ;
ACCU_hi .word   0           ;
STAT1   .word   0           ;STAT1 storage
;---------------------------------------------------------------
        .ps     080ah
        B       RINT        ;0A; Serial port receive interrupt RINT
        B       XINT        ;0C; Serial port transmit interrupt XINT
*****************************************************************
* TMS32C05X INITIALIZATION                                      *
* This routine initializes the C5x registers, internal RAM      *
*****************************************************************
        .ps     0a00h
        .entry
start   setc    INTM        ; Disable interrupts
        ldp     #0          ; Set data page pointer
        splk    #830h,PMST  ; 9K on-chip RAM as Data, No ROM

        lacl    #0          ; Set Wait State Control Regester
        samm    CWSR        ; for 0 waits in pgm & data memory
        samm    PDWSR       ;
*
* initalize and reset serial port
*
        splk    #20h,TCR
        splk    #1,PRD
        mar     *,AR0
        lacl    #08h        ; set FSM bit for FSX/FSR per frame
        samm    spc         ; Configure for 16 bit mode with
        lacl    #0C8h       ; external CLKX, reset tx and rx
        samm    spc
        lamm    drr         ; clear first int
        lacc    #0080h
        sach    dxr         ; clear first int
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        sacl   GREG          ; Pulse AIC reset by setting it low
        lar    AR0,#0FFFFFh
        rpt    #10000        ; and taking it high after 1000 cycles
        lacc   *,0,AR0       ; (.5ms at 50ns)
        sach   GREG
        setc   SXM
        setc   OVM
        ;---------------------------------------------------------------
        lar    AR7,#0        ;Buffer initialy filled
    call   AIC_SET       ; DO NOT CHANGE DP WITHOUT RESTORING IT!
    lacl   #010h         ; RINT
    samm   IMR           ;
    LAR    AR0 , #2801h
    LAR    AR1 , #2
    MAR    * , AR0
    LACC   #0
SET:  SACL   *+,0,AR1
    BANZ   SET,*-,AR0

LOOP:  lar    ar0,#2904h
    mar    *,ar0         ;\
    lacc   #5            ; |
    sacl   *             ; |
    lar    ar1,#2923h    ; |
    lar    ar2,#11       ; >  INITIALIZE ADDRESS 2923H-292EH
    mar    *,ar1         ; |  FOR CAL AVERAGE HARMONIC
    lacc   #0            ; |
SET_1:  sacl   *+,0,ar2      ; |
    banz   SET_1,*-,ar1    ;/
    ldp    #TEMP

FFT:   lar    AR0,#FFT_S/2   ;
    mar    *,AR0         ;start FFT with AR0=FFTSize
new_stg: lar    AR1,#_D_base    ;AR1 is the TOP BFLY address
        lar    AR2,#_D_base    ;AR2 is the BOT BFLY address
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lar    AR3,#_T_base+1   ;AR3 is the TWiddle pointer
        lar    AR4,#FFT_S/2     ;AR4 counts DFT blocks
        b      n_DFT2,*,AR1     ;
DFT:    mar    *BR0+,AR5        ;complete circular buffer for TW's
        lar    AR5,#1           ;set up DFT loop with *BR0+/BANZ
        mar    *BR0+,AR1        ;using 1 cuts *BR0+ loop in half!
        ;---------------------------------------
        ; AR1=Top AR2=Bottom AR3=Twiddle
        ;---------------------------------------
BFLY:   lacc   * ,14,AR2        ;(imag1+imag2)/4
        add    * ,14,AR1        ;
        sach   *+,1 ,AR2        ;store TOP imag
        sub    * ,15            ;(imag1-imag2)/2
        sach   *+,1 ,AR1        ;store BOT imag
        lacc   * ,14,AR2        ;(real1+real2)/4
        add    * ,14,AR1        ;
        sach   *+,1 ,AR2        ;store TOP real
        sub    * ,15            ;(real1-real2)/2
        sach   * ,1,AR5         ;store BOT real
        banz   OK,*BR0+,AR3     ;If at DFT end quit early
        ;-----------------------
        mar    *+,AR2           ;clean up TW base (xxx0000+1)
        mar    *+               ;modify BOTom DATA pointer
        mar    *0+              ;
        mar    *0+,AR1          ;
n_DFT2: mar    *0+              ;modify the TOP pointer
        mar    *0+,AR4          ;
        banz   DFT,*0-,AR3      ;dec DFT block count AR4 by OFFset
        mar    *,AR0            ;
        mar    *BR0+            ;
        banz   new_stg,*        ;if OFFset was 1, now cleared
        b      endFFT           ;
        ;-------------------------
OK      lt     *-,AR2           ;TREG=TWR    *NOTE* Twiddles are Q15
        mpy    *-               ;PREG=REAL*TWR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ltp   *+,AR3        ;TREG=IMAG    ACCU=REAL*TWR
        mpy   *             ;PREG=IMAG*TWI          AR2=R AR3=I
        lts   *+,AR2        ;TREG=TWI     ACCU=REAL*TWR-IMAG*TWI
        mpy   *             ;PREG=REAL*TWI
        sach  *-,1          ;
        ltp   * ,AR3        ;TREG=IMAG    ACCU=REAL*TWI
        mpy   *BR0+,AR2     ;PREG=IMAG*TWR
        apac                ;           ACCU=IMAG*TWR+REAL*TWI
        sach  *+,1          ;
        b     BFLY,*+,AR1   ;
        ;-------------------------------------------------------
endFFT: mar   *,AR2         ;Transform REAL & IMAG to log magnitude
        lar   AR2,#_D_base  ;AR3=FFT data pointer
        lar   AR3,#FFT_S-1  ;AR5=FFT loop counter
more_MAG sqra  *+           ;PREG=IMAG^2
        ltp   *             ;TREG=REAL   ACCU=IMAG^2

*****************************************************************

        mpy   * , AR2
        apac
mainr:  ldp   #82
        sach  ACCH
        sacl  ACCL
        lacc  #0
loop_r: sacl  GUESS
        lacc  ACCH , 16
        add   ACCL
        lt    GUESS
        mpyu  GUESS
        spac
        bcnd  buri , gt
        bcnd  meong , eq
        lacc  GUESS
        sub   #1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          sacl   GUESS
          b      meong
buri:   lacc   GUESS
          add    #1
          b      loop_r
meong:  lacc   GUESS
          sacl   *+ , 0 , AR3
          banz   more_MAG , *- , AR2
          ldp    #0

*****************************************************************
          ;---------------------------------------------------
BITREV:  lar    AR0,#FFT_S       ;Now perform Output bit reversal
          lar    AR1,#_D_base     ;by moving the magnitude, which
          lar    AR2,#_D_base+1   ;is in the REAL slots, into the
          lar    AR3,#FFT_S-1     ;IMAG slots of the FFT data array
more_BR: lacc   *+               ;load the magnitude
          mar    *+,AR1           ;
          sacl   *BR0+,0,AR3      ;move it to an open IMAG slot
          banz   more_BR,*-,AR2   ;more data to move?

*****************************************************************

          CALL   DISPLAY

*****************************************************************

MOVE_IO: mar    *,AR7            ;wait until buffer is full
          banz   MOVE_IO,*,AR2    ;(AR7 is decremented by ISR)
          lar    AR3,#_D_base     ;AR3=FFT data pointer
          lar    AR4,#_B_base     ;AR4=BUFF data pointer
          lar    AR5,#(FFT_S/2)-1 ;AR5=FFT loop counter
          lar    AR6,#_B_base     ;AR6=ISR BUFF data pointer
          lacc   #07ffCh          ;send synch when BUFF is full
          samm   DXR              ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        rpt    #00800h          ;
        nop                     ;
        lar    AR2,#_T_base+1   ;AR2=WIN data pointer
        lar    AR7,#FFT_S-1     ;AR7=ISR BUFF loop counter
        ;-------------------------
        lar    AR0,#FFT_S/2     ; Use twiddle table for raised
        NOP
        NOP
more_IO: lacc  #04000h,1        ; cosine window
        add    *BR0+,0,AR4      ;
        sfr                     ;
        sacl   TEMP             ;
        lt     TEMP             ;TREG=WIN
        mpy    * ,AR3           ;PREG=IN*WIN
        lacl   * ,AR4           ;ACCU=magnitude (put in Buffer)
        sacl   *+,0,AR3         ;
        sach   *+               ;IMAG=0
        pac                     ;
        sach   *+,1,AR5         ;REAL=IN (windowed buffer)
        clrc   INTM             ;1st BUFF posn clr so enable INT's
        banz   more_IO,*-,AR2   ;
        lar    AR5,#(FFT_S/2)-1 ;AR5=FFT loop counter
more_IO2 lacc  #04000h,1        ; cosine window
        add    *BR0-,0,AR4      ;
        sfr                     ;
        sacl   TEMP             ;
        lt     TEMP             ;TREG=IN
        mpy    * ,AR3           ;PREG=IN*WIN
        lacl   * ,AR4           ;ACCU=magnitude (put in Buffer)
        sacl   *+,0,AR3         ;
        sach   *+               ;IMAG=0
        pac                     ;
        sach   *+,1,AR5         ;REAL=IN (windowed buffer)
        banz   more_IO2,*-,AR2  ;
        lar    ar0,#2904h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mar    *,ar0
        lacc   *
        bcnd   LOOP,LEQ
        ldp    #0
           b     FFT          ;
;---------------------------------------------------------------
XINT    rete
;---------------------------------------------------------------
RINT:                       ;Recover the ARP from ARB (MON26 only)
           mar    *,AR7          ;AR6 = current buffer position
           banz   more_buf,*-,AR6  ;if buffer is full RET w/o EINT
           lar    AR7,#0          ;
           lamm   DRR             ;***** added in to reset the SPI ******
           reti                ;
more_buf;
           lacc   *               ;
           or     #1
           samm   DXR             ;
           lamm   DRR             ;
           sacl   *+              ;store data from DRR
           rete                ;
****************************************************************
AIC_SET: lacl   #020h
           samm   IMR             ;XMIT interrupt
;       lacc   #AIC_CMD,2       ;
           lacc   #40h
           add    #03h            ;
           call   AIC_2nd         ;
           ;------------------------
           lacc   #TB,9           ;
           add    #RB,2           ;
           add    #02h            ;
           call   AIC_2nd         ;
           ;------------------------
           lacc   #TA,9           ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            add   #RA,2          ;
            call  AIC_2nd        ;
            ;----------------------
            ret                  ;
;-------------------------------------------------------------
AIC_2nd:                         ;
            sach  DXR            ;
            clrc  INTM           ;
            idle                 ;
            add   #6,15          ;0000 0000 0000 0011 XXXX XXXX XXXX XXXX b
            sach  DXR            ;
;       clrc  INTM               ;Unlike C2x, IDLE does NOT eint's!
            idle                 ;ACCU_hi requests 2nd XMIT
            samm  DXR            ;
;       clrc  INTM               ;
            idle                 ;ACCU_lo sets up registers
            lacl  #0             ;
            samm  DXR            ;make sure the word got sent
;       clrc  INTM               ;
            idle                 ;
            setc  INTM
            ret                  ;
;-------------------------------------------------------------
        .include "display1.asm"
            .ds 01000h
            .liston
            .include "twiddle.asm"
            .liston
---;
;               MODIFY  IEEE_THD                    ;
;-------------------------------------------------------------;
lsc/lm_1        .SET    1            ; 0   < lsc/lm < 20   ;
lsc/lm_2        .SET    0            ; 20  < lsc/lm < 50   ;
lsc/lm_3        .SET    0            ; 50  < lsc/lm < 100  ;
lsc/lm_4        .SET    0            lar   ar1, #0a00h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
call   delay1
out    Fil7_on , PA2   ;      out fil7_on to trig filter on
lar    ar1 , #0A000h   ;      delay time
call   delay1
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;=============================================================
==;
;               MODIFY ADDRESS                  ;
;=============================================================
==;
ACCH        .SET   5          ; Address 2905h      ;
ACCL        .SET   6          ; Address 2906h      ;
GUESS       .SET   7          ; Address 2907h      ;
HARM_N      .SET   10         ; Address 290Ah      ;
A           .SET   13         ; Address 290Dh      ;
B           .SET   14         ; Address 290Eh      ;
INTEGER     .SET   15         ; Address 290Fh      ;
REMAINDER   .SET   16         ; Address 2910h      ;
TMP1        .SET   17         ; Address 2911h      ;
SQR_INT     .SET   18         ; Address 2912h      ;
                              ;
FUNDA       .SET   19         ; Address 2913h      ; NOT CHANGE
HARM2       .SET   20         ; Address 2914h      ; NOT CHANGE
HARM3       .SET   21         ; Address 2915h      ; NOT CHANGE
HARM4       .SET   22         ; Address 2916h      ; NOT CHANGE
HARM5       .SET   23         ; Address 2917h      ; NOT CHANGE
HARM6       .SET   24         ; Address 2918h      ; NOT CHANGE
HARM7       .SET   25         ; Address 2919h      ; NOT CHANGE
HARM8       .SET   26         ; Address 291Ah      ; NOT CHANGE
HARM9       .SET   27         ; Address 291Bh      ; NOT CHANGE
HARM10      .SET   28         ; Address 291Ch      ; NOT CHANGE
HARM11      .SET   29         ; Address 291Dh      ; NOT CHANGE
HARM12      .SET   30         ; Address 291Eh      ; NOT CHANGE
HARM13      .SET   31         ; Address 291Fh      ; NOT CHANGE
                              ;
%HARM2_INT  .SET   35         ; Address 2923h      ; NOT CHANGE
%HARM3_INT  .SET   36         ; Address 2924h      ; NOT CHANGE
%HARM4_INT  .SET   37         ; Address 2925h      ; NOT CHANGE
%HARM5_INT  .SET   38         ; Address 2926h      ; NOT CHANGE
%HARM6_INT  .SET   39         ; Address 2927h      ; NOT CHANGE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%HARM7_INT    .SET   40          ; Address 2928h     ;  NOT CHANGE
%HARM8_INT    .SET   41          ; Address 2929h     ;  NOT CHANGE
%HARM9_INT    .SET   42          ; Address 292Ah     ;  NOT CHANGE
%HARM10_INT   .SET   43          ; Address 292Bh     ;  NOT CHANGE
%HARM11_INT   .SET   44          ; Address 292Ch     ;  NOT CHANGE
%HARM12_INT   .SET   45          ; Address 292Dh     ;  NOT CHANGE
%HARM13_INT   .SET   46          ; Address 292Eh     ;  NOT CHANGE
                                 ;
%HARM2_REM    .SET   50          ; Address 2932h     ;  NOT CHANGE
%HARM3_REM    .SET   51          ; Address 2933h     ;  NOT CHANGE
%HARM4_REM    .SET   52          ; Address 2934h     ;  NOT CHANGE
%HARM5_REM    .SET   53          ; Address 2935h     ;  NOT CHANGE
%HARM6_REM    .SET   54          ; Address 2936h     ;  NOT CHANGE
%HARM7_REM    .SET   55          ; Address 2937h     ;  NOT CHANGE
%HARM8_REM    .SET   56          ; Address 2938h     ;  NOT CHANGE
%HARM9_REM    .SET   57          ; Address 2939h     ;  NOT CHANGE
%HARM10_REM   .SET   58          ; Address 293Ah     ;  NOT CHANGE
%HARM11_REM   .SET   59          ; Address 293Bh     ;  NOT CHANGE
%HARM12_REM   .SET   60          ; Address 293Ch     ;  NOT CHANGE
%HARM13_REM   .SET   61          ; Address 293Dh     ;  NOT CHANGE
                                 ;
ZIGMA_SQ_LO   .SET   65          ; Address 2941h     ;
ZIGMA_SQ_HI   .SET   66          ; Address 2942h     ;
%THD_INT      .SET   67          ; Address 2943h     ;
%THD_REM      .SET   68          ; Address 2944h     ;
LINECHECK     .SET   69          ; Address 2945h     ;
                                 ;
P0_TEMP       .SET   70          ; Address 2946h     ;
P1_TEMP       .SET   71          ; Address 2947h     ;
P2_TEMP       .SET   72          ; Address 2948h     ;

MAX_HAR       .SET   73          ; Address 2949h     ;
MAX_VAL       .SET   74          ; Address 294Ah     ;
DATA_OUT      .SET   75          ; Address 294Bh     ;
LINE          .SET   76          ; Address 294Ch     ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%HAR_INT      .SET   77          ; Address 294Dh      ;
%HAR_REM      .SET   78          ; Address 294Eh      ;

H_ORDER_1     .SET   99          ; Address 2963h      ; NOT CHANGE
H_ORDER_2     .SET   100         ; Address 2964h      ; NOT CHANGE

L1P0          .SET   102         ; Address 2966h      ; NOT CHANGE
L1P1          .SET   103         ; Address 2967h      ; NOT CHANGE
L1P2          .SET   104         ; Address 2968h      ; NOT CHANGE
L1P3          .SET   106         ; Address 296Ah      ; NOT CHANGE
L1P4          .SET   107         ; Address 296Bh      ; NOT CHANGE
                                 ;
THD_I_0       .SET   118         ; Address 2976h      ; NOT CHANGE
THD_I_1       .SET   119         ; Address 2977h      ; NOT CHANGE
THD_I_2       .SET   120         ; Address 2978h      ; NOT CHANGE
THD_R_1       .SET   122         ; Address 297Ah      ; NOT CHANGE
THD_R_2       .SET   123         ; Address 297Bh      ; NOT CHANGE
                                 ;
                                 ;
;=================================================================
==;

DISPLAY:

*****************************************************************

            LAR    AR3  , #12
            LAR    AR2  , #2913h
            LAR    AR1  , #1028h
            MAR    *    , AR1
READ:       LACC   *
            ADRK   #28h
            MAR    *    , AR2
            SACL   *+   , 0  , AR3
            BANZ   READ , *- , AR1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*************************************************************

        LDP    #82          ; START DATA AT Address 2900h
        CLRC   SXM          ; DISABLE SIGN EXTENSION

        CALL   %HARMONIC    ; CALCULATE % HARMONICS
        BCND   END_D,GT

        CALL   %THD         ; CALCULATE % THD
        CALL   INI_LCD      ; INITIAL LCD
        CALL   HAR_LCD      ; SHOW % HARMONICS
        CALL   THD_LCD      ; SHOW % THD
        CALL   OUTPUT       ; OUT SIGNAL TO PORT

END_D:      SETC   SXM
        RET                 ; END OF DISPLAY

%HARMONIC:    LAR    AR1 ,#2914h   ; START HARMONIC 2
        LAR    AR2 ,#2923h   ; STORE % HARMONIC 2
        LAR    AR3 ,#11      ;
        MAR    *   ,AR1      ;\
LOAD_%H:    LACC   *+          ; > HARM_N :=HAR AT ADDRESS IN AR1
        SACL   HARM_N        ;/
CALCULATION:
        ; LACC   FUNDA
        ; SUB    HARM_N
        ; BCND   END_D , LEQ
        LACC   #10000       ; \
        SACL   TMP1         ; |
        LT     TMP1         ; >  ACCU := HARM*10000
        MPYU   HARM_N       ; |
        PAC                 ; /
        MAR    *  , AR0
        LAR    AR0 , #00h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PRE_DIV:    SUB   FUNDA
            ADRK  #1
            BCND  PRE_DIV , GEQ
            SBRK  #1
            SAR   AR0  , INTEGER
            LACC  INTEGER       ;INTEGER := (ACC) / FUNDA
            MAR   *,AR2         ;\
            ADD   *             ; \
            SACL  *+,0,AR3      ; / SUM OF HARMONIC
            BANZ  LOAD_%H,*-,AR1  ;/

            LACC  C             ;\
            SUB   #1            ; > CHECK (SUM 5 TIMES)
            SACL  C             ;/
            BCND  AVG_HAR,LEQ
            RET

AVG_HAR     LAR   AR1 , #2923h   ;START %HARMONIC 2 PART INTEGER
            LAR   AR2 , #2932h   ;START %HARMONIC 2 PART REMAINDER
            LAR   AR3 , #12
            CALL  CAL_AVG
STORE:      LACC  INTEGER       ;%HARMONIC PART INTEGER :=INTEGER
            SACL  *+,0,AR2      ;
            LACC  REMAINDER     ;%HARMONIC PART REMAINDER :=REMAINDER
            SACL  *+,0,AR3      ;
            BANZ  CAL_AVG,*-,AR1  ;GOTO LOAD UNTIL ADDRESS = 291EH
            LACC  C             ;CHECK
            RET                 ;RETURN TO DISPLAY

CAL_AVG:    MAR   * , AR1
            LACC  * , 0 , AR0   ;\
            LAR   AR0 , #00h    ; |
SEC_DIV:    SUB   #5            ; >AVG_HAR:= SUM OF HAR / 5
            ADRK  #1            ; |
            BCND  SEC_DIV, GEQ  ;/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SBRK   #1
        SAR    AR0   , INTEGER
        LACC   INTEGER       ;INTEGER := AVG_HAR
        SUB    #100          ;( NOT CALCULATE REMAIN )
        BCND   REMAIN,LT     ;   IF INTEGER < 100 GOTO REMAIN
NOT_REMAIN:   LACC   #100          ;       IF INTEGER > 100
        SACL   B             ;       INTEGER := INTEGER/100
        LACC   INTEGER       ;
        RPT    #15           ; OUTPUT = INTEGER.REMAINDER
        SUBC   B             ; NO SIGN ( A & B > 0 )
        SACL   INTEGER
        SACH   REMAINDER
        MAR    *,AR3
        BANZ   STORE,*,AR1

REMAIN:      LACC   INTEGER       ; |
        SACL   REMAINDER     ; \  REMAIN  := INTEGER
        LACC   #0            ; /  INTEGER := 00
        SACL   INTEGER       ; |
        MAR    *,AR3
        BANZ   STORE,*,AR1

%THD:        LACC   #0            ; \
        SACL   ZIGMA_SQ_LO   ; > INITIAL ZIGMA_SQUARG
        SACH   ZIGMA_SQ_HI   ; /
        LAR    AR4   ,#2923h  ; START
        LAR    AR5   ,#2932h  ; START
ZIGMA:       LACC   #100         ; \
        SACL   TMP1          ; |
        LT     TMP1          ; |  REMAINDER TO INTEGER
        MAR    *     ,AR4    ; >
        MPYU   *+    ,AR5    ; |  BY ( INTEGER x 100 ) + REMAINDER
        PAC                  ; |
        ADD    *+            ; /
        SACL   TMP1          ; SQUARE AND FIND ZIGMA
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SQRS   TMP1         ; INPUT = ACC [(INTEGER x 100)+REMAINDER]
        PAC                 ; OUTPUT= ZIGMA_SQ
        ADD    ZIGMA_SQ_LO
        ADD    ZIGMA_SQ_HI , 16
        SACL   ZIGMA_SQ_LO
        SACH   ZIGMA_SQ_HI
        SAR    AR4  ,TMP1   ; \
        LACC   TMP1         ; |
        SUB    #11          ; > GOTO ZIGMA UNTIL ADDRESS = 292Eh
        SUB    #2923h ,0    ; |
        BCND   ZIGMA ,LEQ   ; /
ROOT:   LACC   #0           ; START FIND SQUARE ROOT ( 32 BIT )
LOOPS:  SACL   SQR_INT      ; INPUT = ZIGMA_SQ_LO & HI
        LACC   ZIGMA_SQ_HI ,16 ; OUTPUT = SQR_INT
        ADD    ZIGMA_SQ_LO
        LT     SQR_INT
        MPYU   SQR_INT
        SPAC
        BCND   NOT_END ,GT
        BCND   DIV_100 ,EQ  ; END OF SQUARE ROOT AND GOTO DIV_100
        LACC   SQR_INT
        SUB    #1
        SACL   SQR_INT
        B      DIV_100      ; END OF SQUARE ROOT AND GOTO DIV_100
NOT_END:LACC   SQR_INT
        ADD    #1
        B      LOOPS
DIV_100:SUB    #100         ; DIVIDE BY 100
        BCND   100_REMAIN , LT  ; INPUT = ACC ( SQ_ROOT)
NOT_100_REM:  LACC  #100    ; OUTPUT= %THD_INT & REM
        SACL   TMP1
        LACC   SQR_INT
        RPT    #15
        SUBC   TMP1
        SACL   %THD_INT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SACH   %THD_REM
        B      END_DIV
100_REMAIN:   LACC   SQR_INT
        SACL   %THD_REM
        LACC   #0
        SACL   %THD_INT
END_DIV:      RET            ; END OF THD


INI:        LAR    AR1  , #0A00h
        CALL   DELAY

        LACC   #01h
        CALL   LCDWI

        LACC   #02h
        CALL   LCDWI

        LACC   #06h
        CALL   LCDWI

        LACC   #0Eh
        CALL   LCDWI

        LACC   #38h
        CALL   LCDWI
        RET

INI_LCD:      CALL   INI
        LAR    AR0  , #29A0h
        CALL   LCDLD_L1
        LAR    AR0  , #29B0h
        CALL   LCDLD_L2
        LAR    AR1  , #0A000h
        CALL   DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        RET             ; END OF INI_LCD GOTO DISPLAY

HAR_LCD:    LACC   #1           ; INITIAL LINECHECK = 1
        SACL   LINECHECK
        LAR    AR3  , #2923h
        LAR    AR4  , #2932h
LOAD_H_LCD:   LACC   #1             ; |
        ADD    LINECHECK      ; > INCREASE LINECHECK
        SACL   LINECHECK      ; |
        MAR    *    , AR3
        LACC   *+
        SACL   %HAR_INT
        MAR    *    , AR4
        LACC   *+
        SACL   %HAR_REM
        CALL   DIGIT
        SAR    AR3  , TMP1
        LACC   TMP1
        SUB    #11
        SUB    #2923h , 0
        BCND   LOAD_H_LCD , LEQ
        RET             ; END OF HAR_LCD  RETURN TO DISPLAY
DIGIT:      LACC   #2           ; INPUT=LINECHECK , %HARM_INT & REM
        SACL   TMP1         ; OUTPUT = DISPLAY LCD
        LACC   LINECHECK    ; IF REMAINDER OF LINECHECK/2
        RPT    #15          ;      = 0 GOTO LINE 1
        SUBC   TMP1         ;  NOT  = 0 GOTO LINE 2
        SACH   LINE
        LACC   %HAR_INT     ; LINE & THD_LCD ARE SIMILAR
        SACL   TMP1
        CALL   THREE_DIGIT
        LACC   P0_TEMP
        SACL   L1P0
        LACC   P1_TEMP
        SACL   L1P1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACC   P2_TEMP
        SACL   L1P2
        LACC   %HAR_REM
        SACL   TMP1
        CALL   TWO_DIGIT
        LACC   P1_TEMP
        SACL   L1P3
        LACC   P2_TEMP
        SACL   L1P4
        CALL   H_LCD
        RET            ; END LINE RETURN HAR_LCD

H_LCD:      LACC   LINECHECK
        SACL   TMP1
        CALL   TWO_DIGIT
        LACC   P1_TEMP
        SACL   H_ORDER_1
        LACC   P2_TEMP
        SACL   H_ORDER_2
        LAR    AR0   , #295Fh
        LACC   LINE
        BCND   LOAD_L1 , EQ
        CALL   LCDLD_L2
        B      END_LCD
LOAD_L1:    CALL   LCDLD_L1
        RET
END_LCD:    LAR    AR1   , #0A000h
        CALL   DELAY
        RET            ; END OF H_LCD GOTO HAR_LCD

THD_LCD:    LACC   %THD_INT
        SACL   TMP1
        CALL   THREE_DIGIT
        LACC   P0_TEMP
        SACL   THD_L0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LACC   P1_TEMP
        SACL   THD_I_1
        LACC   P2_TEMP
        SACL   THD_I_2
        LACC   %THD_REM
        SACL   TMP1
        CALL   TWO_DIGIT
        LACC   P1_TEMP
        SACL   THD_R_1
        LACC   P2_TEMP
        SACL   THD_R_2
        CALL   T_LCD
        RET            ; END OF THD_LCD  RETURN TO DISPLAY

T_LCD:      CALL   INI
        LAR    AR0   , #296Fh
        CALL   LCDLD_L2
        LAR    AR1   , #0A000h
        CALL   DELAY
        RET            ; END OF T_LCD GOTO THD_LCD

THREE_DIGIT:   LACC   TMP1        ; CONVERT NUMBER IN TMP1 TO 3 DIGIT
        SUB    #100        ; INPUT  = TMP1
        BCND   DIGIT_0  , LT  ; OUTPUT = 3 DIGIT
        LACC   #100        ;    DIGIT 1 = P0_TEMP
        SACL   B           ;    DIGIT 2 = P1_TEMP
        LACC   TMP1        ;    DIGIT 3 = P2_TEMP
        RPT    #15
        SUBC   B
        SACL   P0_TEMP
        LACC   #100
        SACL   B
        LT     B
        MPYU   P0_TEMP
        PAC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SACL   A
        LACC   TMP1
        SUB    A
        SACL   TMP1
        LACC   P0_TEMP
        ADD    #30h
        SACL   P0_TEMP
TWO_DIGIT:   LACC   TMP1     ; INPUT  = TMP1
        SUB    #10      ; OUTPUT = P1_TEMP , P2_TEMP
        BCND   FAA , GT  ; GOTO FAA IF ACC > 10
        BCND   F10 , EQ  ; GOTO F10 IF ACC = 10
        LACC   TMP1
        ADD    #30h
        SACL   P2_TEMP
        LACC   #30h
        SACL   P1_TEMP
        RET            ; TETURN TO DIGIT_LCD
F10:      LACC   #30h
        SACL   P2_TEMP
        LACC   #31h
        SACL   P1_TEMP
        RET            ; TETURN TO DIGIT_LCD
FAA:      LACC   #10
        SACL   B
        LACC   TMP1
        RPT    #15
        SUBC   B
        SACL   P1_TEMP
        SACH   P2_TEMP
        LACL   P1_TEMP
        ADD    #30h
        SACL   P1_TEMP
        LACC   P2_TEMP
        ADD    #30h
        SACL   P2_TEMP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        RET             ; END OF 3 DIGIT AND 2 DIGIT
DIGIT_0:    LACC   #20h     ; IF DIGIT 1 = 0 , SHOW SPACE ON LCD
        SACL   P0_TEMP
        LACC   TMP1
        B      TWO_DIGIT

DELAY:      MAR    *  , AR1
        RPT    #255
        NOP
        SBRK   #1
        BANZ   DELAY
        RET             ; END OF DELAY

LCDWI:      SACL   TMP1
        OUT    TMP1  , PA1
        ADD    #0400h , 0
        SACL   TMP1
        OUT    TMP1  , PA1
        LAR    AR1   , #0A00h
        CALL   DELAY
        SUB    #400h  , 0
        SACL   TMP1
        OUT    TMP1  , PA1
        LAR    AR1   , #0A00h
        CALL   DELAY
        RET             ; END OF LCDWI

LCDWD:      ADD    #0100h , 0
        SACL   TMP1
        OUT    TMP1  , PA1
        ADD    #0400h , 0
        SACL   TMP1
        OUT    TMP1  , PA1
        LAR    AR1   , #0A00h
        CALL   DELAY
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SUB    #0400h , 0
        SACL   TMP1
        OUT    TMP1   , PA1
        LAR    AR1    , #0A00h
        CALL   DELAY
        RET           ; END OF LCDWD

LCDLD_L1:   LACC   #080h
        CALL   WRITEADD
        RET           ; END OF LCDLD

LCDLD_L2:   LACC   #0C0h
        CALL   WRITEADD
        RET           ; END OF LCDLD
WRITEADD:   CALL   LCDWI
        LAR    AR2    , #15
        MAR    *      , AR0
GO_OUT:     LACC   *+
        CALL   LCDWD
        MAR    *      , AR2
        BANZ   GO_OUT , *-  , AR0
        RET           ; RETURN TO LCDWI

OUTPUT:     LACC   %THD_INT
        SUB    IEEE_THD
        BCND   LESS , LT
FIND_MAX:   LAR    AR0    , #2923h
        LAR    AR1    , #2923h
        SPLK   #0     , TMP1
        LACC   TMP1
        SACB
LOAD_M:     LACC   TMP1
        MAR    *,AR0
        LACC   *
        CRGT
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ADRK   #1
        SACL   TMP1
        MAR    *  , AR1
        ADRK   #1
        SAR    AR1 , A
        LACC   A
        SUB    #11
        SUB    #2923h , 0
        BCND   LOAD_M , LEQ
FIND:   LACB
        SACL   MAX_VAL
        LAR    AR0  , #2923h
        LAR    AR1  , #2
RETURN: MAR    *    , AR0
        LACC   *+
        SUB    MAX_VAL
        BCND   END_FIND , EQ
        MAR    *    , AR1
        ADRK   #1
        B      RETURN
END_FIND: SAR  AR1  , MAX_HAR  ; LED PART %THD > IEEE THD
        LACC   MAX_HAR , 11
        SACL   DATA_OUT
        OUT    DATA_OUT , PA2
        LAR    AR1 , #0AF00h
        CALL   DELAY
        CALL   control
        ret

LESS:   LACC   #8000h          ; LED PART %THD < IEEE THD
        SACL   DATA_OUT
        OUT    DATA_OUT , PA2
        LAR    AR1 , #0AF00h
        CALL   DELAY
        CALL   control
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        CALL   DELAY
        B      check
        call   control
        ret


;------------------------------;
;  HAR_00=000.00_%_          ;
;------------------------------;
     .ds    295Fh         ;
     .data               ;
     .word   48h         ;  Address 295Fh
     .word   41h         ;  Address 2960h
     .word   52h         ;  Address 2961h
     .word   20h         ;  Address 2962h
     .word   30h         ;  Address 2963h
     .word   30h         ;  Address 2964h
     .word   3Dh         ;  Address 2965h
     .word   30h         ;  Address 2966h
     .word   30h         ;  Address 2967h
     .word   30h         ;  Address 2968h
     .word   2Eh         ;  Address 2969h
     .word   30h         ;  Address 296Ah
     .word   30h         ;  Address 296Bh
     .word   20h         ;  Address 296Ch
     .word   25h         ;  Address 296Dh
     .word   20h         ;  Address 296Eh
;------------------------------;
;  %_THD_=000.00_%_          ;
;------------------------------;
     .ds    296Fh         ;
     .data               ;
     .word   25h         ;  Address 296Fh
     .word   20h         ;  Address 2970h
     .word   54h         ;  Address 2971h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        .word   48h             ;  Address 2972h
        .word   44h             ;  Address 2973h
        .word   20h             ;  Address 2974h
        .word   3Dh             ;  Address 2975h
        .word   30h             ;  Address 2976h
        .word   30h             ;  Address 2977h
        .word   30h             ;  Address 2978h
        .word   2Eh             ;  Address 2979h
        .word   30h             ;  Address 297Ah
        .word   30h             ;  Address 297Bh
        .word   20h             ;  Address 297Ch
        .word   25h             ;  Address 297Dh
        .word   20h             ;  Address 297Eh
;------------------------------;
;  ----HARMONIC----            ;
;------------------------------;
        .ds     29A0h           ;
        .data                   ;
        .word   20h             ;  Address 29A0h
        .word   20h             ;  Address 29A1h
        .word   20h             ;  Address 29A2h
        .word   20h             ;  Address 29A3h
        .word   48h             ;  Address 29A4h
        .word   41h             ;  Address 29A5h
        .word   52h             ;  Address 29A6h
        .word   4Dh             ;  Address 29A7h
        .word   4Fh             ;  Address 29A8h
        .word   4Eh             ;  Address 29A9h
        .word   49h             ;  Address 29AAh
        .word   43h             ;  Address 29ABh
        .word   20h             ;  Address 29ACh
        .word   20h             ;  Address 29ADh
        .word   20h             ;  Address 29AEh
        .word   20h             ;  Address 29AFh
;------------------------------;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;  ----DETECTOR----          ;
;------------------------------;
      .ds    29B0h          ;
      .data                ;
      .word  20h           ;  Address 29B0h
      .word  20h           ;  Address 29B1h
      .word  20h           ;  Address 29B2h
      .word  20h           ;  Address 29B3h
      .word  44h           ;  Address 29B4h
      .word  45h           ;  Address 29B5h
      .word  54h           ;  Address 29B6h
      .word  45h           ;  Address 29B7h
      .word  43h           ;  Address 29B8h
      .word  54h           ;  Address 29B9h
      .word  4Fh           ;  Address 29BAh
      .word  52h           ;  Address 29BBh
      .word  20h           ;  Address 29BCh
      .word  20h           ;  Address 29BDh
      .word  20h           ;  Address 29BEh
      .word  20h           ;  Address 29BFh
;------------------------------;------------------------;
          .ds    2901h                    ;
          .data                           ;
                                          ;
          .IF    Isc/Im_1                 ;
IEEE_THD      .WORD  5                         ;
          .ENDIF                          ;
                                          ;
          .IF    Isc/Im_2                 ;
IEEE_THD      .WORD  8                         ;
          .ENDIF                          ;
                                          ;
          .IF    Isc/Im_3                 ;
IEEE_THD      .WORD  12                        ;
          .ENDIF                          ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                        ;
        .IF     Isc/Im_4                ;
IEEE_THD    .WORD   15                  ;
        .ENDIF                          ;
                                        ;
        .IF     Isc/Im_5                ;
IEEE_THD    .WORD   20                  ;
        .ENDIF                          ;
                                        ;
;=======================================================
==;
;                                       ;
;       .ds     1029h                   ;
;       .word   100                     ;
;                                       ;
;       .ds     1051h                   ;
;       .word   20                      ;
;                                       ;
;       .ds     1079h                   ;
;       .word   30                      ;
;                                       ;
;       .ds     10A1h                   ;
;       .word   40                      ;
;                                       ;
;       .ds     10C9h                   ;
;       .word   50                      ;
;                                       ;
;       .ds     10F1h                   ;
;       .word   60                      ;
;                                       ;
;       .ds     1119h                   ;
;       .word   70                      ;
;                                       ;
;       .ds     1141h                   ;
;       .word   80                      ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;                                       ;
;       .ds     1169h                   ;
;       .word   90                      ;
;                                       ;
;       .ds     1191h                   ;
;       .word   100                     ;
;                                       ;
;       .ds     11B9h                   ;
;       .word   110                     ;
;                                       ;
;       .ds     11E1h                   ;
;       .word   120                     ;
;                                       ;
;       .ds     1209h                   ;
;       .word   130                     ;
;---------------------------------------;
        .include "control.asm"
        .liston
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
f3        .set 1
f5        .set 2
f7        .set 3
          .ds  2804h
Fil3_on    .word 0C800h
Fil5_on    .word 0D000h
Fil7_on    .word 0E000h
Fil3_off   .word 9800h
Fil5_off   .word 0A800h
Fil7_off   .word 0B000h
clear      .word 0000h
%hd_max    .word 10
%hd_min    .word 2
*******************************************************************************

control:

*******************************************************************************
          ldp  #80
          call  chk7

re_con:     RET              ;end of file

delay1:     mar  *,ar1
          rpt  #255
          nop
          sbrk  #1
          banz  delay1
          ret

chk7:       mar   * , ar0
          lar   ar0 , #2928h
          lacc  *
          sub   %hd_max
          bcnd  chk7_on , GEQ
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lacc  *
        sub   %hd_min
        bcnd  chk7_off , LT
chk5:   lar   ar0 , #2926h
        lacc  *
        sub   %hd_max
        bcnd  chk5_on , GEQ
        lacc  *
        sub   %hd_min
        bcnd  chk5_off , LT
chk3:   lar   ar0 , #2924h
        lacc  *
        sub   %hd_max
        bcnd  chk3_on , GEQ
        lacc  *
        sub   %hd_min
        bcnd  chk3_off , LT

chk3_on:  out   Fil3_on , PA2
        lar   ar1 , #0C000h
        call  delay1
        lar   ar1 , #0C000h
        out   clear , PA2
        call  delay1
        lacc  #1
        sacl  f3
        mar   * , ar0
        ret

chk5_on:  out   Fil3_on , PA2
        lar   ar1 , #0C000h
        call  delay1
        lar   ar1 , #0C000h
        out   clear , PA2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        call   delay1
        lacc   #1
        sacl   f3
        out    Fil5_on , PA2
        lar    ar1 , #0C000h
        call   delay1
        lar    ar1 , #0C000h
        out    clear , PA2
        call   delay1
        lacc   #1
        sacl   f5
        mar    * , ar0
        ret

chk7_on:    out    Fil3_on , PA2
        lar    ar1 , #0C000h
        call   delay1
        lar    ar1 , #0C000h
        out    clear , PA2
        call   delay1
        lacc   #1
        sacl   f3
        out    Fil5_on , PA2
        lar    ar1 , #0C000h
        call   delay1
        lar    ar1 , #0C000h
        out    clear , PA2
        call   delay1
        lacc   #1
        sacl   f5
        out    Fil7_on , PA2
        lar    ar1 , #0C000h
        call   delay1
        lacc   #1
        sacl   f7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mar   * , ar0
        ret

chk7_off:   out   Fil7_off , PA2
        lar   ar1 , #0C000h
        call  delay1
        lar   ar1 , #0C000h
        out   clear , PA2
        call  delay1
        lacc  #0
        sacl  f7
        mar   * , ar0
        b     chk5

chk5_off:   lacc  f7
        sub   #1
        bcnd  chk3 , EQ
        out   Fil5_off , PA2
        lar   ar1 , #0C000h
        call  delay1
        lar   ar1 , #0C000h
        out   clear , PA2
        call  delay1
        lacc  #0
        sacl  f5
        mar   * , ar0
        b     chk3

chk3_off:  lacc  f7
        sub   #1
        bcnd  re_con , EQ
        lacc  f5
        sub   #1
        bcnd  re_con , EQ
        out   Fil3_off , PA2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lar   ar1 , #0C000h
call  delay1
lar   ar1 , #0C000h
out   clear , PA2
call  delay1
lacc  #0
sacl  f3
ret
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารประกอบรายละเอียดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

December 1995

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

General Description

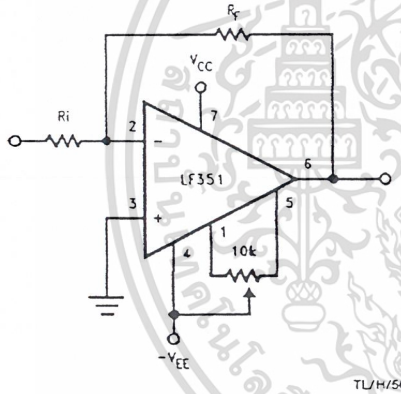
The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply current is important, however, the LF351 is the better choice.

Features

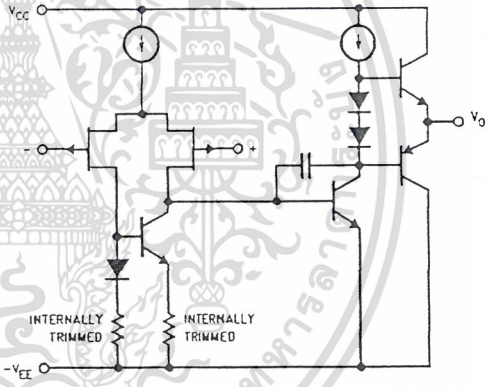
■ Internally trimmed offset voltage	10 mV
■ Low input bias current	50 pA
■ Low input noise voltage	25 nV/$\sqrt{Hz}$
■ Low input noise current	0.01 pA/$\sqrt{Hz}$
■ Wide gain bandwidth	4 MHz
■ High slew rate	13 V/μs
■ Low supply current	1.8 mA
■ High input impedance	$10^{12}\Omega$
■ Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20$ Vp-p, BW = 20 Hz–20 kHz	<0.02%
■ Low 1/f noise corner	50 Hz
■ Fast settling time to 0.01%	2 μs

Typical Connection



TL/H/5648–11

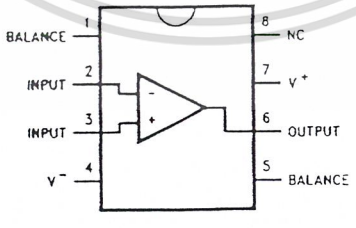
Simplified Schematic



TL/H/5648–12

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package



TL/H/5648–13

Order Number LF351M or LF351N
See NS Package Number M08A or N08E

©1995 National Semiconductor Corporation

RRD-B30M125/Printed in U. S. A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	±18V
Power Dissipation (Notes 1 and 6)	670 mW
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
$T_{j(MAX)}$	115°C
Differential Input Voltage	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	
Metal Can	300°C
DIP	260°C

θ_{jA}	
N Package	120°C/W
M Package	TBD
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD rating to be determined.

DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$R_S = 10\ k\Omega$, $T_A = 25°C$ Over Temperature		5	10 13	mV mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S = 10\ k\Omega$		10		μV/°C
I_{OS}	Input Offset Current	$T_j = 25°C$, (Notes 3, 4) $T_j \leq 70°C$		25	100 4	pA nA
I_B	Input Bias Current	$T_j = 25°C$, (Notes 3, 4) $T_j \leq 70°C$		50	200 8	pA nA
R_{IN}	Input Resistance	$T_j = 25°C$		10^{12}		Ω
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V$, $T_A = 25°C$ $V_O = \pm 10V$, $R_L = 2\ k\Omega$ Over Temperature	25 15	100		V/mV V/mV
V_O	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$, $R_L = 10\ k\Omega$	±12	±13.5		V
V_{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	±11	+15 −12		V V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\ k\Omega$	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I_S	Supply Current			1.8	3.4	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15V$, $T_A = 25°C$		13		$V/\mu s$
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V$, $T_A = 25°C$		4		MHz
e_n	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25°C$, $R_S = 100\Omega$, $f = 1000$ Hz		25		$nV/\sqrt{Hz}$
i_n	Equivalent Input Noise Current	$T_j = 25°C$, $f = 1000$ Hz		0.01		$pA/\sqrt{Hz}$

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on the thermal resistance, θ_{JA}.

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: These specifications apply for $V_S = \pm 15V$ and $0°C \leq T_A \leq +70°C$. V_{OS}, I_B and I_{OS} are measured at $V_{CM} = 0$.

Note 4: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_j. Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_D. $T_j = T_A + \theta_{jA} P_D$ where θ_{jA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

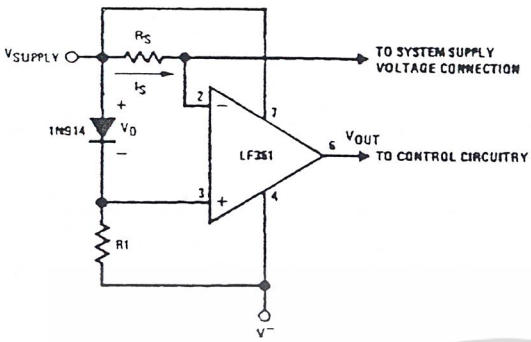
Note 5: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. From $\pm 15V$ to $\pm 5V$.

Note 6: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

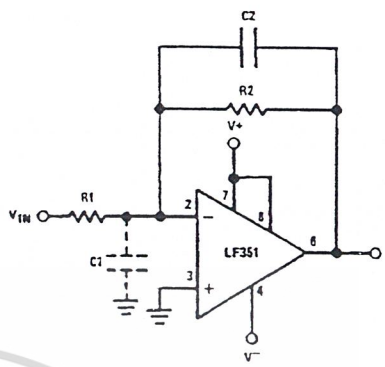
Typical Applications

Supply Current Indicator/Limiter



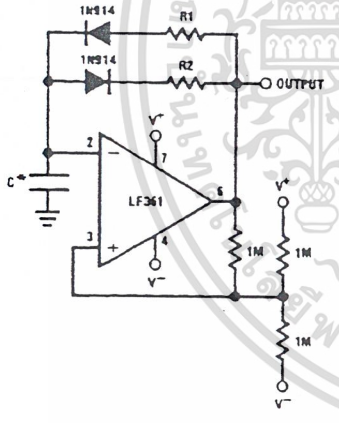
* V_{OUT} switches high when $R_S I_S > V_D$

Hi-Z_{IN} Inverting Amplifier



Parasitic input capacitance C1 ≈ (3 pF for LF351 plus any additional layout capacitance) interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate, add C2 such that: R2C2 ≈ R1C1.

Ultra-Low (or High) Duty Cycle Pulse Generator



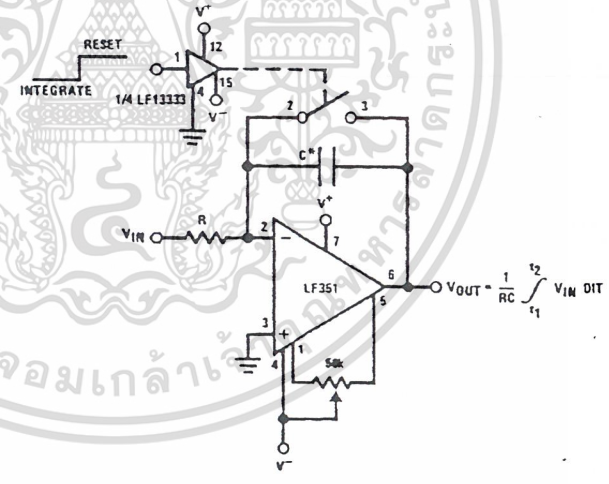
* $t_{OUTPUT\ HIGH} \approx R1C \ell n \frac{4.8 - 2V_S}{4.8 - V_S}$

* $t_{OUTPUT\ LOW} \approx R2C \ell n \frac{2V_S - 7.8}{V_S - 7.8}$

where $V_S = V^+ + |V^-|$

*low leakage capacitor

Long Time Integrator



*Low leakage capacitor

* 50k pot used for less sensitive V_{OS} adjust

TL/H/5648–10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

May 1992

DM54LS373/DM74LS373, DM54LS374/DM74LS374 TRI-STATE® Octal D-Type Transparent Latches and Edge-Triggered Flip-Flops

General Description

These 8-bit registers feature totem-pole TRI-STATE outputs designed specifically for driving highly-capacitive or relatively low-impedance loads. The high-impedance state and increased high-logic level drive provide these registers with the capability of being connected directly to and driving the bus lines in a bus-organized system without need for interface or pull-up components. They are particularly attractive for implementing buffer registers, I/O ports, bidirectional bus drivers, and working registers. (Continued)

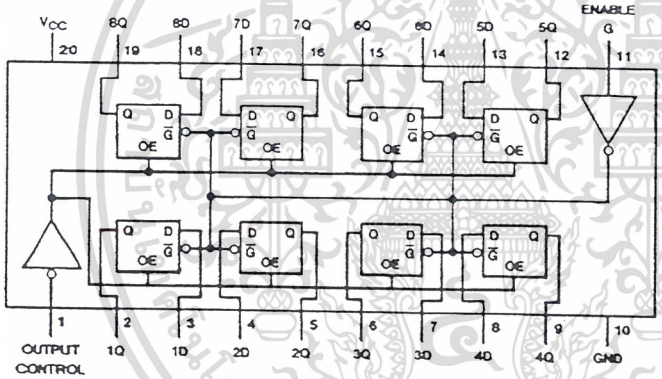
Features

- Choice of 8 latches or 8 D-type flip-flops in a single package
- TRI-STATE bus-driving outputs
- Full parallel-access for loading
- Buffered control inputs
- P-N-P inputs reduce D-C loading on data lines

Connection Diagrams

Dual-In-Line Packages

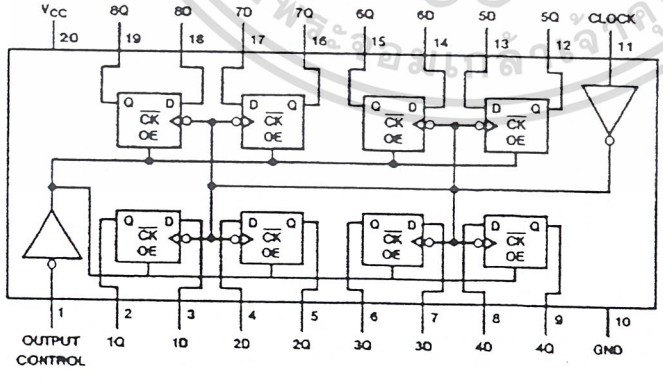
'LS373



Order Number DM54LS373J, DM54LS373W, DM74LS373N or DM74LS373WM
See NS Package Number J20A, M20B, N20A or W20A

TL/F/6431–1

'LS374



Order Number DM54LS374J, DM54LS374W, DM74LS374WM or DM74LS374N
See NS Package Number J20A, M20B, N20A or W20A

TL/F/6431–2

TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corp.

©1995 National Semiconductor Corporation TL/F/6431

RRD-B30M105/Printed in U. S. A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General Description (Continued)

The eight latches of the DM54/74LS373 are transparent D-type latches meaning that while the enable (G) is high the Q outputs will follow the data (D) inputs. When the enable is taken low the output will be latched at the level of the data that was set up.

The eight flip-flops of the DM54/74LS374 are edge-triggered D-type flip flops. On the positive transition of the clock, the Q outputs will be set to the logic states that were set up at the D inputs.

A buffered output control input can be used to place the eight outputs in either a normal logic state (high or low logic levels) or a high-impedance state. In the high-impedance state the outputs neither load nor drive the bus lines significantly.

The output control does not affect the internal operation of the latches or flip-flops. That is, the old data can be retained or new data can be entered even while the outputs are off.

Function Tables

DM54/74LS373

Output Control	Enable G	D	Output
L	H	H	H
L	H	L	L
L	L	X	Q_0
H	X	X	Z

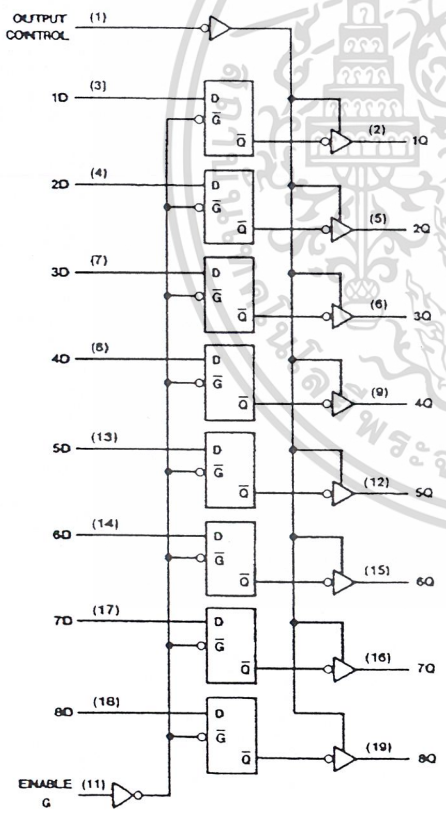
DM54/74LS374

Output Control	Clock	D	Output
L	↑	H	H
L	↑	L	L
L	L	X	Q_0
H	X	X	Z

H = High Level (Steady State), L = Low Level (Steady State), X = Don't Care
↑ = Transition from low-to-high level, Z = High Impedance State
Q_0 = The level of the output before steady-state input conditions were established.

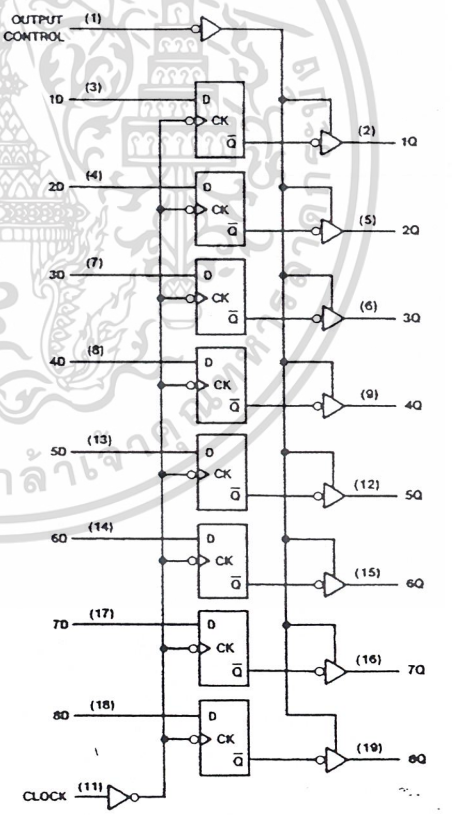
Logic Diagrams

DM54/74LS373
Transparent Latches



TL/F/6431–3

DM54/74LS374
Positive-Edge-Triggered Flip-Flops



TL/F/6431–4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

'LS374 Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ (Note 1)	Max	Units
V_I	Input Clamp Voltage	V_{CC} = Min, I_I = −18 mA				−1.5	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	V_{CC} = Min, I_{OH} = Max, V_{IL} = Max, V_{IH} = Min	DM54	2.4	3.4		V
			DM74	2.4	3.1		
V_{OL}	Low Level Output Voltage	V_{CC} = Min, I_{OL} = Max, V_{IL} = Max, V_{IH} = Min	DM54		0.25	0.4	V
			DM74		0.35	0.5	
		I_{OL} = 12 mA, V_{CC} = Min	DM74		0.25	0.4	
I_I	Input Current @ Max Input Voltage	V_{CC} = Max, V_I = 7V				0.1	mA
I_{IH}	High Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 2.7V				20	μA
I_{IL}	Low Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 0.4V				−0.4	mA
I_{OZH}	Off-State Output Current with High Level Output Voltage Applied	V_{CC} = Max, V_O = 2.7V, V_{IH} = Min, V_{IL} = Max				20	μA
I_{OZL}	Off-State Output Current with Low Level Output Voltage Applied	V_{CC} = Max, V_O = 0.4V, V_{IH} = Min, V_{IL} = Max				−20	μA
I_{OS}	Short Circuit Output Current	V_{CC} = Max (Note 2)	DM54	−50		−225	mA
			DM74	−50		−225	
I_{CC}	Supply Current	V_{CC} = Max, D_n = GND, OC = 4.5V			27	45	mA

'LS374 Switching Characteristics at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

(See Section 1 for Test Waveforms and Output Load)

Symbol	Parameter	R_L = 667Ω				Units
		C_L = 45 pF		C_L = 150 pF		
		Min	Max	Min	Max	
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency	35		20		MHz
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low to High Level Output		28		32	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High to Low Level Output		28		38	ns
t_{PZH}	Output Enable Time to High Level Output		28		44	ns
t_{PZL}	Output Enable Time to Low Level Output		28		44	ns
t_{PHZ}	Output Disable Time from High Level Output (Note 3)		20			ns
t_{PLZ}	Output Disable Time from Low Level Output (Note 3)		25			ns

Note 1: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 2: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Note 3: C_L = 5 pF.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Definition

The " LEM Module LA 25-NP " is a multi-range transducer. Based on the principle of magantic compensation, it provides electronic measurement of DC, AC, pulsed currents and their combination with galvanic isolation.

Electrical Data

Norminal current I_n		: 25 AT.t rems	
Measuring range		: 0 to +/- 36 A.t	
Measuring resistant		: R_m min.	R_m max.
with +/- 15 V	at +/- 25 A.t max.	: 100 ohm	320 ohm
	at +/- 36 A.t max.	: 100 ohm	190 ohm
Norminal analog output current		: 25 mA	
Turns ratio		: 1 - 2 - 3- 4 - 5 / 1000	
Typical accuracy at +/- 25 ° C		: + / - 0.5 % of I_n	
Supply voltage		: + and - 15 V.(+ / - 15 %)	
Isolation		: between primary and secondary : 2.5 kV rms/ 50 Hz / 1 min.	

Accuracy - Dynamic performance

	: Typical	Max.
Zero offset current at +25 ° C*	: + /- 0.05 mA	+ / - 0.15 mA
Residual current ** after an overload of 3 x I_n	: + /- 0.05 mA	+ / - 0.15 mA
Thermal drift of offset current (between 0 ° C to + 25 ° C)	: + /- 0.06 mA	+ / - 0.25 mA
(between + 25 ° C to + 70 ° C)	: + /- 0.1 mA	+ / - 0.35 mA
Linearity	: better than + / - 0.2 %	
Respond time	: better than 1 µs	
Bandwidth	: DC to 150 kHz (- dB)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

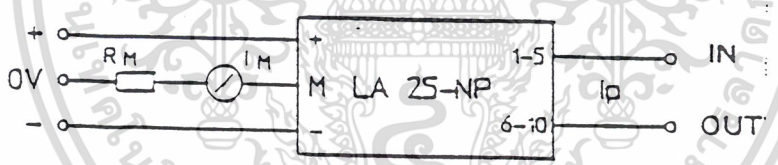
General data

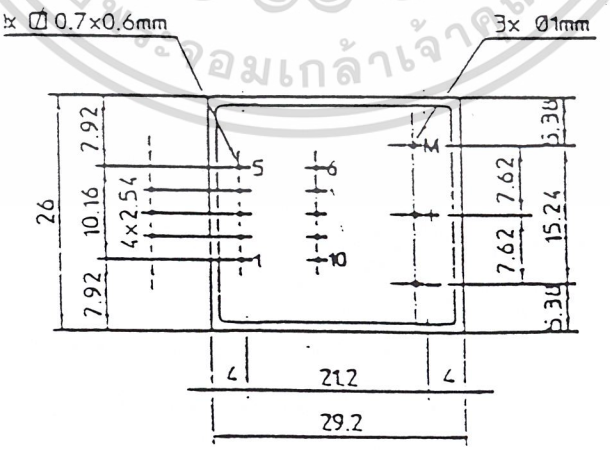
Operating temperature	: 0 ° C to + 70 ° C
Storage temperature	: - 25 ° C to + 85 ° C
Current consumption	: 10 mA + output current
Secondary internal resistance	: 110 ohm (at + 70 ° C)
Primary internal resistance	: < 1.25 mohm / turn
Isolation resistance	: > 1500 Mohm (at 500 V and + 25 ° C)
Weight	: 22 g.
Package	: potted in insulated self-extinguishing plastic case
Polarity markings	: a positive output current is obtained on terminal M, when the primary current flows from terminals 1, 2, 3, 4, and 5 to terminals 10, 9, 8, 7 and 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Number of primary turns	Primary current nominal I_N [A]	Primary current maximum I_P [A]	Nominal output current I_S [mA]	Turn ratio	Primary resistance [mOhm]	Primary insertion inductance [µH]	Recommended connections
1	25	36	25	1/1000	0.3	0.023	
2	12	18	24	2/1000	1.1	0.09	
3	8	12	24	3/1000	2.5	0.21	
4	6	9	24	4/1000	4.4	0.37	
5	5	7	25	5/1000	6.3	0.58	

Connection





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by 1N4001/D

Axial Lead Standard Recovery Rectifiers

1N4001 thru 1N4007

1N4004 and 1N4007 are Motorola Preferred Devices

This data sheet provides information on subminiature size, axial lead mounted rectifiers for general–purpose low–power applications.

LEAD MOUNTED RECTIFIERS 50–1000 VOLTS DIFFUSED JUNCTION

Mechanical Characteristics

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 0.4 gram (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead and Mounting Surface Temperature for Soldering Purposes: 220°C Max. for 10 Seconds, 1/16″ from case
- Shipped in plastic bags, 1000 per bag.
- Available Tape and Reeled, 5000 per reel, by adding a "RL" suffix to the part number
- Polarity: Cathode Indicated by Polarity Band
- Marking: 1N4001, 1N4002, 1N4003, 1N4004, 1N4005, 1N4006, 1N4007

CASE 59–03
DO–41

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
*Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
*Non–Repetitive Peak Reverse Voltage (halfwave, single phase, 60 Hz)	V_{RSM}	60	120	240	480	720	1000	1200	Volts
*RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	Volts
*Average Rectified Forward Current (single phase, resistive load, 60 Hz, see Figure 8, T_A = 75°C)	I_O	1.0							Amp
*Non–Repetitive Peak Surge Current (surge applied at rated load conditions, see Figure 2)	I_{FSM}	30 (for 1 cycle)							Amp
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J T_{stg}	– 65 to +175							°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS*

Rating	Symbol	Typ	Max	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage Drop (i_F = 1.0 Amp, T_J = 25°C) Figure 1	v_F	0.93	1.1	Volts
Maximum Full–Cycle Average Forward Voltage Drop (I_O = 1.0 Amp, T_L = 75°C, 1 inch leads)	$V_{F(AV)}$	—	0.8	Volts
Maximum Reverse Current (rated dc voltage) (T_J = 25°C) (T_J = 100°C)	I_R	 0.05 1.0	 10 50	µA
Maximum Full–Cycle Average Reverse Current (I_O = 1.0 Amp, T_L = 75°C, 1 inch leads)	$I_{R(AV)}$	—	30	µA

*Indicates JEDEC Registered Data

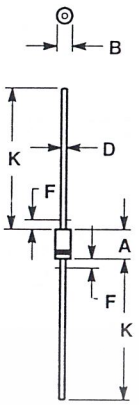
Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

Rev 5

© Motorola, Inc. 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS



NOTES:
1. ALL RULES AND NOTES ASSOCIATED WITH JEDEC DO-41 OUTLINE SHALL APPLY.
2. POLARITY DENOTED BY CATHODE BAND.
3. LEAD DIAMETER NOT CONTROLLED WITHIN F DIMENSION.

	MILLIMETERS		INCHES	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.07	5.20	0.160	0.205
B	2.04	2.71	0.080	0.107
D	0.71	0.86	0.028	0.034
F	—	1.27	—	0.050
K	27.94	—	1.100	—

CASE 59–03
(DO–41)
ISSUE M

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and Ⓜ are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

Mfax is a trademark of Motorola, Inc.

How to reach us:
USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 303–675–2140 or 1–800–441–2447

Mfax™: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 602–244–6609
– US & Canada ONLY 1–800–774–1848

INTERNET: http://motorola.com/sps

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.: SPD, Strategic Planning Office, 4–32–1, Nishi–Gotanda, Shinagawa–ku, Tokyo 141, Japan. 81–3–5487–8488

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park, 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852–26629298

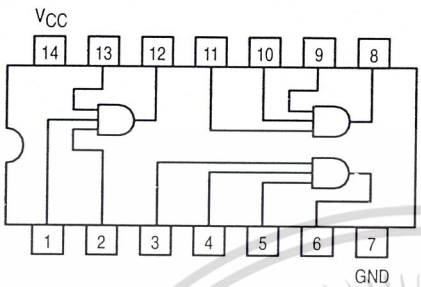
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

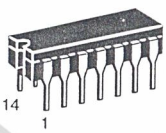
MOTOROLA

TRIPLE 3-INPUT AND GATE

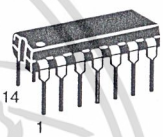
SN54/74LS11

TRIPLE 3-INPUT AND GATE
LOW POWER SCHOTTKY





J SUFFIX
CERAMIC
CASE 632-08



N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-06

D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ	Ceramic
SN74LSXXN	Plastic
SN74LSXXD	SOIC

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T_A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	−55 0	25 25	125 70	°C
I_{OH}	Output Current — High	54, 74			−0.4	mA
I_{OL}	Output Current — Low	54 74			4.0 8.0	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Limits Min	Limits Typ	Limits Max	Unit	Test Conditions	
V_{IH}	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V_{IL}	Input LOW Voltage	54			0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74			0.8			
V_{IK}	Input Clamp Diode Voltage			−0.65	−1.5	V	V_{CC} = MIN, I_{IN} = −18 mA	
V_{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5		V	V_{CC} = MIN, I_{OH} = MAX, V_{IN} = V_{IH} or V_{IL} per Truth Table	
		74	2.7	3.5		V		
V_{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	I_{OL} = 4.0 mA	V_{CC} = V_{CC} MIN, V_{IN} = V_{IL} or V_{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	I_{OL} = 8.0 mA	
I_{IH}	Input HIGH Current				20	μA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 2.7 V	
					0.1	mA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 7.0 V	
I_{IL}	Input LOW Current				−0.4	mA	V_{CC} = MAX, V_{IN} = 0.4 V	
I_{OS}	Short Circuit Current (Note 1)		−20		−100	mA	V_{CC} = MAX	
I_{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH				3.6	mA	V_{CC} = MAX	
	Total, Output LOW				6.6			

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

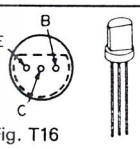
Symbol	Parameter	Limits Min	Limits Typ	Limits Max	Unit	Test Conditions
t_{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		8.0	15	ns	V_{CC} = 5.0 V C_L = 15 pF
t_{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	20	ns	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Silicon Small Signal Transistors (cont'd)

Breakdown Voltage		Type		Application	Collector Current I_C (A)	Collector Diss. P_D (W)	Current Gain h_{FE}	Freq in MHz f_t	Package Case/Basing
BVCBO	BVCEO	NPN	PNP						
25	12	ECG10	---	Lo Noise UHF/VHF Amp, (G_{PE} = 10 dB typ)	70 mA	.600	40 min	5 GHz	TO-92• T16
27	18	---	ECG12	Hi Gain, Hi Current Gen Purp	5	.75	180 min	120	
30	14	ECG23	---	Lo Noise, UHF, VHF Amp, RF Amp, HF IF Amp (G_{PE} = 15 dB typ)	50 mA	.25	80	2 GHz	
30	15	ECG108	---	RF/IF Video Amp, Osc	50 mA	.6	20 min	800 min	
30	25	ECG2503	---	Gen Purp Amp, Hi Gain, Sw, t_f = .06 μs (typ)	.7	.6	800 min	270	
30	30	ECG233	---	Gen Purp	.1	.625	45 typ	300	
30	30	---	ECG232	Gen Purp-Darlington	.3	.625	50,000 typ	175	
35	35	ECG69	---	TV UHF/VHF Amp	50 mA	.25	70 typ	800 min	
35	35	ECG107	---	TV UHF/VHF Amp	50 mA	.25	70 typ	800 min	
40	20	ECG11	---	Hi Gain, Hi Current Gen Purp	5	.75	200 min	150	
40	30	ECG319P	---	TV IF Amp, AGC Controlled (Includes Metal Shield)	50 mA	.5	35 typ	300 min	
40	40	ECG172A	---	Gen Purp-Darlington	.3	.4	7,000 min	60	
40	40	ECG229	---	VHF Osc, IF Amp	50 mA	.425	30 min	600	
45	45	ECG47	---	Gen Purp, Hi Gain Amp	.2	.35	500 min	140	
60	50	---	ECG234	Gen Purp, Hi Gain Amp	50 mA	.2	400 typ	80 min	
70	50	ECG199	---	Gen Purp, Hi Gain Amp	.1	.36	400 typ	90 min	
70	70	ECG85	---	Gen Purp Amp, Sw	.4	.6	120 min	200 min	
75/80	40/80	ECG123AP	ECG159	Gen Purp	.6/1.0	.6	200 typ	300/200	
90	80	ECG2341	ECG2342	Darlington Driver, Sw, t_{off} = 1.5 μs (typ)	1	.80	2,000 min	---	
100	80	ECG289A	ECG290A	Gen Purp, Pwr Amp	.5	.5	100 min	120	
100	100	ECG46	---	Gen Purp-Darlington	.5	.625	10,000 min	200	
180	160	ECG194	---	Hi Speed Sw, Amp, t_f = .4 μs (typ)	.6	.35	100 typ	100	
300	300	ECG287	ECG288	HV Gen Purp	.5	.625	40 min	50	• TO-98 Alt. Case - Fig. T15
40	40	ECG172A	---	Gen Purp-Darlington	.3	.4	7,000 min	60	TO-98• Fig. T15
70	50	ECG199	---	Gen Purp, Hi Gain Amp	.1	.36	400	90	• TO-92 Alt. Case - Fig. T16
40	40	---	ECG217	Very Hi Speed Sw, Amp, t_f = 30 ns (max)	1	1	40 min	175	TO-237 Fig. T17
80	50	ECG216	---	Very Hi Speed Sw, Core Driver, t_f = 20 ns (typ)	1.5	1	60 min	300	
100	80	ECG24	ECG25	Gen Purp Amp, Sw	1.25	1	80 min	50	
100/80	80	ECG128P	ECG129P	Gen Purp Amp, Sw	1	1	100 min	100/150	
300	300	ECG227	---	HV Amp, Video Output	.1	1	40 min	50	
325	300	ECG255	---	Horiz Driver, Amp, Sw	1	1	30 min	30 min	

ECG	1	2	3
10	B	E	C
11	E	C	B
12	E	C	B
23	B	E	C
46	E	B	C
47	E	B	C
69	B	E	C
85	E	C	B
107	E	C	B
108	E	B	C
123AP	E	B	C
159	E	B	C
172A	E	C	B
194	E	B	C
199	E	C	B
229	B	E	C
232	E	B	C
233	E	B	C
234	E	C	B
287	E	B	C
288	E	B	C
289A	E	C	B
290A	E	C	B
319P	B	E	C
2341	E	C	B
2342	E	C	B
2503	E	C	B



ECG	1	2	3
24	E	C	B
25	E	C	B
128P	E	B	C
129P	E	B	C
216	E	B	C
217	E	B	C
227	E	B	C
255	E	B	C

Package Outlines - See Page 1-78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$C\ 2274 = E\ CG11$

$V_{CC} = V_{HI}$

$I_C = V_{CC} / R_C$

$I_B = I_C\ (SAT) / \beta = V_{CC} / \beta R_C$

$I_B = (V_{HI} - V_{BE}) / R_B$

$R_B \leq (V_{HI} - V_{BE}) / I_B$

$\leq ((V_{HI} - V_{BE}) * \beta R_C) / V_{CC}$

$R_C \geq V_{CC} * R_B / \beta (V_{HI} - V_{BE})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบุคคลต่อไปนี้ ผู้มีส่วนร่วมในการทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

- คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนการศึกษามาตลอด และคอยให้กำลังใจในการทำงาน
- อาจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำแนะนำ และแนวคิดต่างๆในโครงงานนี้
- อาจารย์ จงรักษ์ บุญเส็ง อาจารย์ที่ให้ข้อมูล และคำแนะนำเกี่ยวกับเรื่องฮาร์มอนิคส์
- อาจารย์ วสันต์ อู่ยายโสม อาจารย์ที่คอยให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ และคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้
- พี่วิรธร ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงงานนี้ต่อ
- เพื่อนๆ ทุกคน โดยเฉพาะ 'เด็ด' และเพื่อนภาคอิเล็คฯ, เพื่อนร่วมห้องโปรเจค ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ และให้กำลังใจในการทำโครงงาน
- รุ่นพี่ปริญญาโท ในห้องโปรเจคทุกคนที่หยิบยืมอุปกรณ์มาใช้ตลอด, เจ้าหน้าที่สโตร์(โดยเฉพาะ 'พี่ตัวเล็ก') ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Texas Instrument, "TMS320C5x DSP Starter Kit User's Guide" , Texas Instrument Incorporated, 1994

[2] Texas Instrument, "TMS320C5x User's Guide" , Texas Instrument Incorporated, 1994

[3] วิรธร รักษ์วนิชพงศ์ , วิโรจน์ ฉ่ำบุญรอด , วีระพันธ์ กุณฑโชติ , "เครื่องวัดฮาร์มอนิคส์โดยใช้ TMS320C50 DSK " , "ปริญญานิพนธ์" ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้