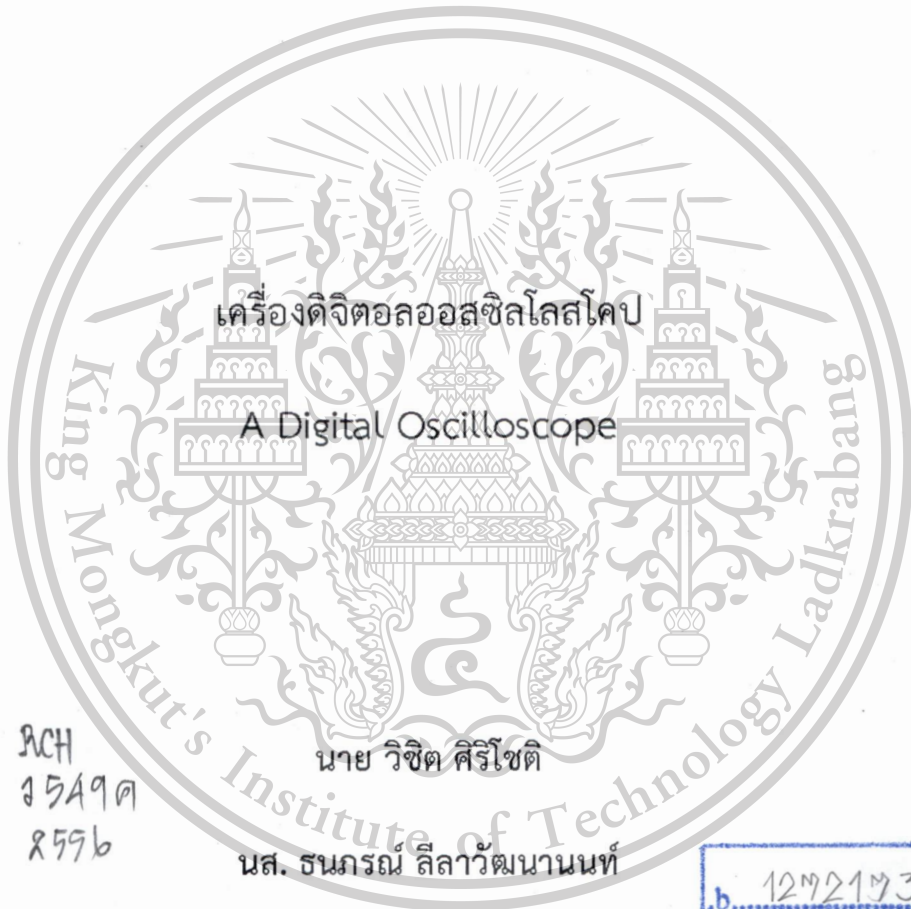




รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์



ACH  
๑๕๔๑ค  
๘๕๖

นาย วิชิต ศิริโชติ

นส. ธนภรณ์ สีลาวัฒนานนท์

b. 12๗21๗36  
i.

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 139202  
วันเดือนปี 27 ต.ค. 2558

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก เงินรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) เครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคป

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประเภท ทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์ประกอบการ  
เรียนการสอน

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 160,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ พฤศจิกายน 2555 ถึง ตุลาคม 2556

หัวหน้าโครงการ นายวิจิต ศรีโชติ สาขาวิชา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย นส. ชนภรณ์ สีสาวพัฒนานนท์ สาขาวิชา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ออกแบบและสร้างเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปเพื่อใช้ในการศึกษารูป  
สัญญาณทางไฟฟ้า, แอมพลิจูด, ความถี่และคาบเวลา โดยเครื่องวัดนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วย  
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM-Cortex M3 เบอร์ STM32F103VBT6 และแสดงผลทางหน้าจอ  
กราฟฟิกแอลซีดีขนาด 128x64 พิกเซล ใช้ภาษาซีเป็นเฟิร์มแวร์สำหรับการพัฒนางานวิจัย ซึ่งเครื่อง  
ดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพานี้มีคุณสมบัติในการตรวจวัดสัญญาณได้ 2 ช่อง สามารถตรวจวัด  
แรงดันขาเข้าได้สูงสุดที่  $\pm 50$  โวลต์ และตรวจวัดความถี่ได้สูงสุดที่ 50 กิโลเฮิร์ต เครื่องดิจิทัลออส  
ซิลโลสโคปแบบพกพายังถูกพัฒนาเพื่อใช้ร่วมกับชุดการทดลองทางฟิสิกส์ ประกอบด้วย ไฟฟ้า  
กระแสสลับ, ส้อมเสียง, คลื่นแสง, การวัดสัญญาณพัลส์และการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ

คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์, ออสซิลโลสโคป, ภาษาซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**Research Title:** A Digital Oscilloscope

**Researcher:** Wichit Sirichote, Thanaporn Leelawattananon

**Faculty:** Science Department: Physics

## ABSTRACT

This research is to design and build a portable digital oscilloscope for displaying the electrical waveform, amplitude, frequency and period. The device is built with a 32-bit microcontroller, STM32F103VBT6 and a 128X64 pixel graphic lcd display. The firmware has been developed with c language. The portable digital oscilloscope is capable of displaying two channels input voltage. The input range is  $\pm 50V$ , 50 kHz maximum frequency. The portable digital oscilloscope was developed for using with physics experiments including Alternating current, Tuning fork, Light wave, Electrical pulse measurement and AC generator.

**Keyword:** Microcontroller, Oscilloscope, C language

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการทำวิจัยจาก แลปปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกจากนี้ การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประเภททุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูป	XII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>5</b>
2.1 ประเภทของออสซิลโลสโคป	5
2.1.1 อนาล็อกออสซิลโลสโคป (Analog Oscilloscope)	5
2.1.1.1 การทำงานในแต่ละส่วนของอนาล็อกออสซิลโลสโคป	5
2.1.1.2 หลักการทำงานของอนาล็อกออสซิลโลสโคป	7
2.1.2 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Digital Oscilloscope)	9
2.1.2.1 หลักการทำงานของดิจิตอลออสซิลโลสโคป	9
2.2 ประเภทของรูปสัญญาณ	11
2.2.1 รูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Wave)	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 คลื่นจัตุรัส (Square Wave) และ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular Wave)	11
2.2.3 รูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth waveform) และรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular Wave)	12
2.2.4 รูปคลื่นสเต็ปและรูปคลื่นพัลส์	12
2.2.5 รูปคลื่นที่ซับซ้อน (Complex Waves)	14
2.3 การวัดสัญญาณไฟฟ้า	15
2.3.1 วงจรแคลมเปอร์ (Clamper Circuit)	15
2.3.1.1. วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันลบ	16
2.3.1.2. วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันบวก	16
2.3.1.3. วงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสตรง	17
2.3.1.4. วงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสกลับ	17
2.3.2 วงจรแบ่งแรงดัน	18
2.3.2.1. วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า	18
2.3.2.2. วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า	19
2.4 ระบบการทำงานของวงจร	20
2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	20
2.4.2 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D)	22
2.4.3 ส่วนประสานงานกับผู้ใช้ (User Interface)	23
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย</b>	<b>24</b>
3.1 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์	24
3.1.1 ภาควัดสัญญาณทางไฟฟ้า	24
3.1.2 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Unit)	25
3.1.3 ส่วนแสดงผลชนิด กราฟิกแอลซีดี	27
3.1.4 ฟังก์ชันสวิตช์	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)	28
3.2 การออกแบบเฟิร์มแวร์	29
3.3 การทดสอบเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพา	30
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	30
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>31</b>
4.1 ต้นแบบเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพา	31
4.2 ผลการวิเคราะห์รูปสัญญาณ	32
4.2.1 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นไซน์ ของเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับรูปคลื่นไซน์ของเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	33
4.2.2 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นจัตุรัสของเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับรูปคลื่นจัตุรัสของเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	38
4.2.3 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นสามเหลี่ยมของเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยมของเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	44
4.3 ผลการวิเคราะห์การอ่านค่าความถี่	49
4.3.1 การอ่านค่าความถี่จากเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1	49
4.3.2 การอ่านค่าความถี่จากเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2	51
4.3.3 การอ่านค่าความถี่จากเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.4	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านค่าความถี่ระหว่างเครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	56
4.4	ผลการวิเคราะห์การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$	59
4.4.1	ผลการปรับเทียบค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	60
4.4.2	ผลการปรับเทียบค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	65
4.4.3	ผลการปรับเทียบค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	68
4.4.4	การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 1	71
4.4.5	การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 2	72
4.4.6	การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา เปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	74
4.4.7	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	76
4.5	ผลการวิเคราะห์การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$	79
4.5.1	การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 1	79
4.5.2	การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 2	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.3 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา เปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	81
4.5.4 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	83
4.6 ผลการวิเคราะห์การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$	84
4.6.1 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 1	84
4.6.2 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 2	85
4.6.3 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา เปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	86
4.6.4 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	88
4.7 ผลการทดสอบการใช้งานเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา	89
4.8 วิจารณ์ผลการสร้างต้นแบบเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา	92
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	<b>93</b>
เอกสารอ้างอิง	94
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก. วงจรเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา	96
ภาคผนวก ข. ลายวงจรเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา	97
ภาคผนวก ค. คู่มือการใช้งานเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา	98
ภาคผนวก ง. แลปปฏิบัติการทางฟิสิกส์	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การทดลองที่ 1 ไฟฟ้ากระแสสลับ(Alternative Current)	102
การทดลองที่ 2 ส้อมเสียง (tuning fork)	105
การทดลองที่ 3 คลื่นแสง(Light wave)	109
การทดลองที่ 4 การวัดสัญญาณพัลส์	112
การทดลองที่ 5 การสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ	116
ภาคผนวก จ. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	120
ค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย	128
ข้อมูลประวัติผู้วิจัย	129



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	4
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ STM32F103VBT6	21
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา	32
ตารางที่ 4.2 ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1	49
ตารางที่ 4.3 ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2	51
ตารางที่ 4.4 ค่าความถี่จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	53
ตารางที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านค่าความถี่ระหว่างเครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	56
ตารางที่ 4.6 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	60
ตารางที่ 4.7 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	65
ตารางที่ 4.8 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	68
ตารางที่ 4.9 แรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 1	71
ตารางที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 2	72
ตารางที่ 4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับ กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	76
ตารางที่ 4.13 แรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่อง สัญญาณที่ 1	79
ตารางที่ 4.14 แรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่อง สัญญาณที่ 2	80
ตารางที่ 4.15 ค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับ กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	81
ตารางที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	83
ตารางที่ 4.17 แรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่อง สัญญาณที่ 1	84
ตารางที่ 4.18 แรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่อง สัญญาณที่ 2	85
ตารางที่ 4.19 ค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับ กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	86
ตารางที่ 4.20 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป

หน้า

## บทที่ 2

รูปที่ 2.1 Block Diagram อนุาล็อกออสซิลโลสโคป	6
รูปที่ 2.2 ออสซิลโลสโคปที่ใช้หลอดสูญญากาศ (CRO)	7
รูปที่ 2.3 Block Diagram การทำงานของอนุาล็อกออสซิลโลสโคป	8
รูปที่ 2.4 ก). การปรับ Trigger ที่ไม่เสถียรภาพ	
ข). การปรับ Trigger ที่มีเสถียรภาพ	8
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของออสซิลโลสโคปแบบเก็บภาพดิจิทัล	9
รูปที่ 2.6 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป	10
รูปที่ 2.7 รูปคลื่นขายนและคลื่นขายนที่ถูกหน่วง	11
รูปที่ 2.8 คลื่นจัตุรัสและ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม	12
รูปที่ 2.9 รูปคลื่นฟันเลื่อยและรูปคลื่นสามเหลี่ยม	12
รูปที่ 2.10 รูปคลื่นสเต็ปและรูปคลื่นพัลส์	12
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติ	13
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติ	14
รูปที่ 2.13 คลื่นที่ซับซ้อน( NTSC Video signal )	15
รูปที่ 2.14 หลักการของวงจรแคลมเปอร์	15
รูปที่ 2.15 ก) วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันลบ	
ข) สัญญาณเอาท์พุต	16
รูปที่ 2.16 ก) วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันบวก	
ข) สัญญาณเอาท์พุต	17
รูปที่ 2.17 ก) วงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสตรงจ่าย	
ข) สัญญาณเอาท์พุต	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

## หน้า

รูปที่ 2.18 ก) แสดงวงจรแคลมป์เพอร์โอดีโอดีมีไบอัสกลับจ่ายให้ ข) สัญญาณเอาต์พุต	18
รูปที่ 2.19 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า	18
รูปที่ 2.20 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า	19
รูปที่ 2.21 ฟังก์ชันพอร์ต STM32F103VBT6	21
รูปที่ 2.22 จอกราฟิกแอลซีดีขนาด 128x64 พิกเซล	23
<b>บทที่ 3</b>	
รูปที่ 3.1 Block Diagram การทำงานของเครื่องดิจิทัลลอจิกโคปแบบพกพา	24
รูปที่ 3.2 วงจรภาควัดสัญญาณ	25
รูปที่ 3.3 Schematic บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103VBT6	26
รูปที่ 3.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103VBT6	26
รูปที่ 3.5 Schematic บอร์ดกราฟิกแอลซีดีสำหรับแสดงสัญญาณไฟฟ้า	27
รูปที่ 3.6 Schematic ฟังก์ชันสวิตช์	27
รูปที่ 3.7 แหล่งจ่ายไฟ +3.3 V	28
รูปที่ 3.8 แหล่งจ่ายไฟ +5 V	28
รูปที่ 3.9 แหล่งจ่ายไฟ -5 V	28
รูปที่ 3.10 State Diagram ของเฟิร์มแวร์	29
รูปที่ 3.11 Source Code การเก็บค่าใส่บัฟเฟอร์	29
<b>บทที่ 4</b>	
รูปที่ 4.1 ต้นแบบเครื่องดิจิทัลลอจิกโคปแบบพกพา	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 ก) เครื่อง Function Generator Tektronix รุ่น CFG253	
ข) เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E	32
รูปที่ 4.3 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 Hz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1 Hz	33
รูปที่ 4.4 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 Hz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 Hz	33
รูปที่ 4.5 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 Hz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 5 Hz	33
รูปที่ 4.6 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 Hz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 10 Hz	34
รูปที่ 4.7 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 Hz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 20 Hz	34
รูปที่ 4.8 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 Hz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 50 Hz	34
รูปที่ 4.9 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 100 Hz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 100 Hz	35
รูปที่ 4.10 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 200 Hz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 200 Hz	35
รูปที่ 4.11 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 500 Hz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 500 Hz	35
รูปที่ 4.12 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 kHz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1 kHz	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 kHz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 kHz	36
รูปที่ 4.14 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 kHz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 5 kHz	36
รูปที่ 4.15 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 kHz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 10 kHz	37
รูปที่ 4.16 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 kHz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 20 kHz	37
รูปที่ 4.17 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 kHz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 50 kHz	37
รูปที่ 4.18 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 60 kHz	
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 60 kHz	38
รูปที่ 4.19 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 Hz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1 Hz	38
รูปที่ 4.20 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 Hz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 Hz	38
รูปที่ 4.21 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 Hz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 5 Hz	39
รูปที่ 4.22 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 Hz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 10 Hz	39
รูปที่ 4.23 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 Hz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 20 Hz	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.24 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 Hz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 50 Hz	40
รูปที่ 4.25 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 100 Hz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 100 Hz	40
รูปที่ 4.26 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 200 Hz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 200 Hz	40
รูปที่ 4.27 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 500 Hz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 500 Hz	41
รูปที่ 4.28 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 kHz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1 kHz	41
รูปที่ 4.29 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 kHz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 kHz	41
รูปที่ 4.30 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 kHz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 5 kHz	42
รูปที่ 4.31 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 kHz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 10 kHz	42
รูปที่ 4.32 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 kHz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 20 kHz	42
รูปที่ 4.33 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 kHz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 50 kHz	43
รูปที่ 4.34 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 60 kHz	
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 60 kHz	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.35 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 Hz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1 Hz	44
รูปที่ 4.36 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 Hz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 Hz	44
รูปที่ 4.37 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 Hz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 5 Hz	44
รูปที่ 4.38 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 Hz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 10 Hz	45
รูปที่ 4.39 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 Hz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 20 Hz	45
รูปที่ 4.40 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 Hz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 50 Hz	45
รูปที่ 4.41 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 100 Hz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 100 Hz	46
รูปที่ 4.42 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 200 Hz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 200 Hz	46
รูปที่ 4.43 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 500 Hz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 500 Hz	46
รูปที่ 4.44 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 kHz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1 kHz	47
รูปที่ 4.45 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 kHz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 kHz	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.46 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 kHz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 5 kHz	47
รูปที่ 4.47 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 kHz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 10 kHz	48
รูปที่ 4.48 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 kHz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 20 kHz	48
รูปที่ 4.49 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 kHz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 50 kHz	48
รูปที่ 4.50 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 60 kHz	
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 60 kHz	49
รูปที่ 4.51 กราฟแสดงค่าความถี่ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E	55
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงค่าความถี่ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 2 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E	56
รูปที่ 4.53 หม้อแปลงปรับค่าได้ที่ใช้ในการทดสอบ	59
รูปที่ 4.54 เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	59
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า $V_{pp}$ ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	65
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า $V_{rms}$ ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	67
รูปที่ 4.57 กราฟแสดงค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า $V_{avg}$ ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงค่า $V_{pp}$ ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E	75
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงค่า $V_{pp}$ ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 2 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E	76
รูปที่ 4.60 กราฟแสดงค่า $V_{rms}$ ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E	82
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงค่า $V_{rms}$ ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 2 กับ เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E	82
รูปที่ 4.62 กราฟแสดงค่า $V_{avg}$ ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E	87
รูปที่ 4.63 กราฟแสดงค่า $V_{avg}$ ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 2 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E	87
รูปที่ 4.64 นักเรียนทดลองใช้เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา	89
รูปที่ 4.65 แบบทดสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนต่อการใช้เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป	90
รูปที่ 4.66 กราฟผลสำรวจความรู้ความเข้าใจของนักเรียนต่อการใช้เครื่องมือ	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

สัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลา ปกติจะไม่สามารถมองเห็นสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นได้ ออสซิลโลสโคปจึงเป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่สร้างรูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาให้ปรากฏบนจอภาพ ซึ่งออสซิลโลสโคปยังสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นเทียบกับเวลาได้ ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ประโยชน์ได้หลายประการไม่ว่าจะเป็นในทางไฟฟ้าแรงดันไฟตรงหรือไฟสลับ สามารถแสดงผลจากการวัดได้ด้วยการใช้ออสซิลโลสโคปได้โดยตรง สำหรับค่าทางไฟฟ้าอื่น ๆ ต้องทำการวัดโดยอ้อมเช่น ไฟกระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับ มุมต่างเฟส ความถี่และคาบเวลาของรูปแบบคลื่น การประเมินผลเกี่ยวกับช่วงเวลาขึ้น ช่วงเวลาดตก และค่าแรงดันพุ่งเกิน เป็นต้น นอกจากนี้ปริมาณทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่ใช่ไฟฟ้า เช่น ความดัน แรงแอิมพัลส์ และความเร่ง จำเป็นต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณ (transducer) เป็นค่าความต่างศักย์หรือแรงดันเสียก่อนจึงจะนำออสซิลโลสโคปมาประกอบการวัดสัญญาณ อย่างไรก็ตามประโยชน์ใช้งานของออสซิลโลสโคปยังถูกจำกัดอยู่ที่ความสามารถของผู้ใช้งานด้วย

ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือสำหรับสร้างรูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาให้ปรากฏบนจอภาพ ซึ่งปกติจะไม่สามารถเห็นสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นได้ โดยที่ออสซิลโลสโคปจะแสดงกราฟรูปสัญญาณทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ในแกนตั้ง (Y หรือ Vertical) แสดงแรงดันหรือแอมป์ลิจูด และแกนนอน (X หรือ Horizontal) แสดงเวลา กราฟสัญญาณสามารถบ่งบอกความสัมพันธ์ของสัญญาณไฟฟ้าที่ทำการศึกษา เช่น

- แสดงค่าของคาบเวลาและระดับของแรงดันของสัญญาณ
- คำนวณค่าความถี่ของสัญญาณบนออสซิลโลสโคป
- แสดงรายละเอียดของสัญญาณในแต่ละตำแหน่ง
- แสดงส่วนประกอบของสัญญาณที่ผิดเพี้ยน
- หาขนาดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ
- ศึกษาเฟสของสัญญาณไฟฟ้า
- เปรียบเทียบสัญญาณไฟฟ้าขาเข้าและขาออกได้
- สามารถหาขนาดสัญญาณรบกวนและการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวน

ตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ออสซิลโลสโคป จะไม่ได้จำกัดการทำงานเฉพาะทางอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น ด้วยอุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นค่าความต่างศักย์หรือแรงดันที่เหมาะสมทำให้ออสซิลโลสโคปสามารถวัดสัญญาณของปรากฏการณ์ต่างๆได้ อุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นค่าความต่างศักย์หรือแรงดัน(Transducer) จะทำการแปลงปริมาณทางฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น พลังงานเสียง(Sound), แรงเครื่องกล(Mechanical Stress), แรงดัน (Pressure), แสงสว่าง (light) หรือความร้อน(heat) ยกตัวอย่างเช่น ไมโครโฟนจะทำหน้าที่เปลี่ยนเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า วิศวกรยานยนต์ใช้ออสซิลโลสโคปวัดการสั่นของเครื่องยนต์ ทางการแพทย์ใช้ออสซิลโลสโคปในการตรวจวัดคลื่นสมอง ฯลฯ

ในปัจจุบันห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีเครื่องออสซิลโลสโคปใช้เป็นจำนวนมาก ซึ่งเครื่องออสซิลโลสโคปนั้นมีราคาค่อนข้างสูงเพราะส่วนใหญ่จะนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เด็กนักเรียนตามโรงเรียนชนบทในต่างจังหวัดไม่มีโอกาสได้สัมผัสและใช้งานเครื่องออสซิลโลสโคปเลย จึงทำให้เด็กนักเรียนเหล่านั้นขาดโอกาสในการศึกษาไปในหลายๆเรื่อง เพราะออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญในการทดลองโดยเฉพาะทางด้านฟิสิกส์ ไม่ว่าจะเป็นการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าของสัญญาณ วัดค่าเวลา คาบเวลา รวมทั้งความถี่ของสัญญาณ ใช้วัดผลต่างเฟสของสัญญาณและเปรียบเทียบสัญญาณ 2 สัญญาณ อีกทั้งยังสามารถใช้ตรวจสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับความถี่และรูปคลื่นสัญญาณที่ถูกต้องได้อีกด้วย จากที่กล่าวมานี้ จะเห็นได้ว่าออสซิลโลสโคปสามารถนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย เราจึงมีแนวคิดในการสร้างเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปขึ้นเพื่อเป็นแบบในการผลิต และเป็นการพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์ที่เราสามารถสร้างขึ้นได้เอง เพื่อลดต้นทุนในการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศ และจะนำเครื่องมือนี้ไปแจกจ่ายให้กับโรงเรียนในชนบท เพื่อให้เด็กมีโอกาสได้ใช้งาน ซึ่งจะก่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ ในการเรียนได้อย่างสมบูรณ์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องออสซิลโลสโคป
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103VBT6
- 1.2.3 สร้างเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพาด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32
- 1.2.4 ออกแบบและสร้างชุดการทดลองทางฟิสิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคป โดยอาศัยทฤษฎี วงจรไฟฟ้า เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพา และใช้ภาษาซีในการ พัฒนาเฟิร์มแวร์สำหรับประมวลผลรูปสัญญาณไฟฟ้า

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 สร้างเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่สามารถวัดความถี่สูงสุดที่ 50 kHz และตรวจวัดแรงดันขาเข้าได้สูงสุดที่  $\pm 50$  โวลต์
- 1.4.2 สร้างชุดการทดลองทางฟิสิกส์ 5 ชุด ซึ่งประกอบด้วย ไฟฟ้ากระแสสลับ, ส้อมเสียง, คลื่นแสง, การวัดสัญญาณพัลส์และการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ

### 1.5 ขั้นตอนการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของเครื่องลอออสซิลโลสโคป
- 1.5.2 ศึกษาการเขียนโปรแกรมในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103VBT6 ด้วยโปรแกรมภาษาซี
- 1.5.3 สร้างวงจรเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพาพร้อมกับสร้างชุดการทดลองทางฟิสิกส์ 5 ชุด ซึ่งประกอบด้วย ไฟฟ้ากระแสสลับ, ส้อมเสียง, คลื่นแสง, การวัดสัญญาณพัลส์และการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ
- 1.5.4 เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมโมดูลการแปลงค่าอนาล็อกเป็นค่าดิจิทัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103VBT6 และเขียนโปรแกรมในการประมวลผลรูปสัญญาณไฟฟ้า
- 1.5.5 เปรียบเทียบค่าสัญญาณดิจิทัลกับค่า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II และตรวจสอบค่าความถูกต้องของสัญญาณ
- 1.5.6 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิทัลลอออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E
- 1.5.7 สรุปผลการวิจัยและวิเคราะห์ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา(เดือน)												หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับ เครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)	←→												
2.เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง หัวโพรบวัดสัญญาณ และทำการ ทดสอบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	←→												
3.ทดสอบวงจรแสดงผลแอลซีดี	←→												
4.ทดลองเพื่อเก็บผลการทดลอง				←→									
5.สร้างเครื่องออสซิลโลสโคป					←→								
6.เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการทดลอง					←→								
7.วิเคราะห์ผลการทดลอง								←→					
8.ทดสอบและแก้ไขเครื่อง ออสซิลโลสโคป								←→					
9.ปรับเทียบสัญญาณและตรวจสอบ ค่าความถูกต้องของสัญญาณ									←→				
10.นำเสนอผลงาน										←→			
11.เขียนเล่มรายงาน											←→		
12.แก้ไขเล่มรายงาน												←→	

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- 1.6.1 มีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา
- 1.6.2 มีความรู้ความเข้าใจในการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 ด้วยภาษาซี
- 1.6.3 เป็นการลดต้นทุนการนำเข้าเครื่องมือวัดจากต่างประเทศ
- 1.6.4 นำเครื่องมือที่ผลิตไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดการสร้างเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพาได้ถูกรวบรวมและอธิบายไว้ในบทนี้ โดยเนื้อหาที่จะกล่าวถึงจะแบ่งเป็น 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนของ ประเภทของออสซิลโลสโคป, ประเภทของรูปสัญญาณ, การวัดสัญญาณไฟฟ้า และระบบการทำงานของวงจร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1 ประเภทของออสซิลโลสโคป

#### 2.1.1 อนุาล็อกออสซิลโลสโคป (Analog Oscilloscope)

พื้นฐานของออสซิลโลสโคปแบบอนุาล็อกทำงานโดยการนำแรงดันไฟฟ้าไปควบคุมการยิงลำอิเล็กตรอนจากปืนอิเล็กตรอน (หลอดรังสีแคโทด หรือ cathode-ray tube, CRT) ให้เคลื่อนที่บนจอ โดยฉากด้านหลังจอจะฉาบด้วยสารเรืองแสง (Phosphoresce) ซึ่งจะเกิดภาพบนจอออสซิลโลสโคปขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนวิ่งมาชนจอ ใช้แรงดันไฟฟ้าควบคุมตำแหน่งขึ้นลงของอิเล็กตรอน และความถี่ของการยิงจะควบคุมความเข้มของสัญญาณบนจอ ซึ่งเราสามารถเรียกอนุาล็อกออสซิลโลสโคปว่า ออสซิลโลสโคปหลอดสูญญากาศ (Cathode Ray Oscilloscope, CRO)

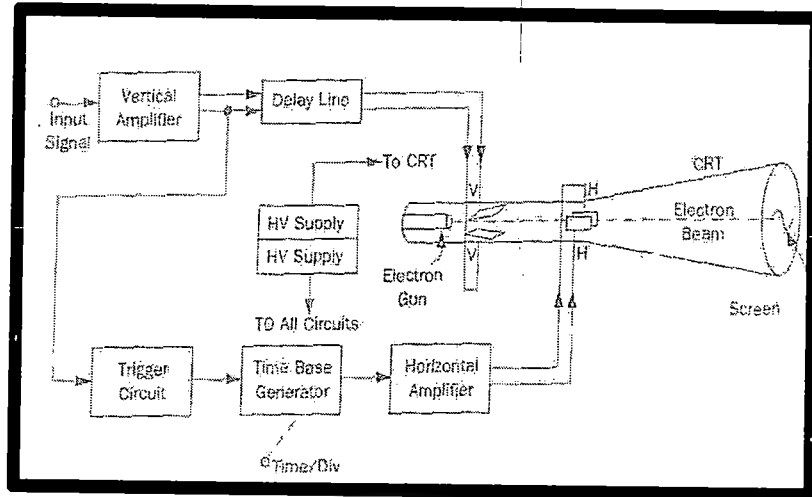
ออสซิลโลสโคปแบบหลอดสูญญากาศ ประกอบไปด้วยปืนอิเล็กตรอน (electron gun) ที่มีส่วนประกอบของ ขั้วแคโทด (ขั้วลบ) ที่ปลายข้างหนึ่ง เพื่อยิงอิเล็กตรอนและขั้วแอโนด (ขั้วบวก) ที่ปลายอีกข้าง เพื่อเร่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนให้รวดเร็วไปยังจอ โดยนอกจากนี้หลอดยังมีขั้วสำหรับทำหน้าที่เบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอน ให้ไปทางซ้าย-ขวา บน-ล่าง ด้วยเหตุที่แคโทดเป็นตัวยิงอิเล็กตรอนเราจึงเรียกอิเล็กตรอนนี้ว่ารังสีแคโทด (cathode ray) และออสซิลโลสโคปที่ใช้หลอดรังสีแคโทดนี้จึงเรียกว่า รังสีแคโทดออสซิลโลสโคป (Cathode Ray Oscilloscope) หรือ CRO ซึ่งจะประกอบด้วย 7 ระบบย่อยหลัก ดังนี้

1. หลอดภาพรังสีแคโทด (cathode – ray tube; CRT)
2. วงจรขยายสัญญาณแนวตั้ง (vertical amplifier)
3. ภาคหน่วงสัญญาณ (Delay line)
4. แหล่งกำเนิดสัญญาณกวาด (sweep generator)
5. วงจรขยายสัญญาณแนวนอน (horizontal amplifier)
6. วงจรจุดชนวน (trigger circuit)
7. แหล่งจ่ายพลังงานต่างๆ (associated power supplies)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 Block Diagram อนุาล็อกออสซิลโลสโคป

### 2.1.1.1 การทำงานในแต่ละส่วนของอนุาล็อกออสซิลโลสโคป

1. หลอดรังสีแคโทดหรือเรียกสั้นๆว่า "CRT" ถือเป็นหัวใจของออสซิลโลสโคป ด้านในหลอดภาพฉายด้วยสารเรืองแสง เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งกระทบจุดใดจุดหนึ่งจะเรืองแสงขึ้นจึงเกิดเป็นภาพให้เห็น

2. ภาคขยายสัญญาณทางแนวตั้ง (Vertical amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณทางแนวตั้งให้มีความแรงขึ้นที่ส่งมาจากภาคลดทอนแรงดัน (Volt/DIV) ทางแนวตั้ง

3. ภาคหน่วงสัญญาณ (Delay line) จะทำหน้าที่หน่วงสัญญาณอินพุตทางแนวตั้ง (Vertical input) ก่อนที่จะป้อนเข้าแผ่นเพลตบายเบนทางแนวตั้ง (Vertical deflection plate) ใช้เวลาการหน่วงประมาณ 0.25ms

4. เครื่องกำเนิดฐานเวลา (Time base generator) หรือตัวกำเนิดการกวาด (Sweep generator) ทำหน้าที่ควบคุมรูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth waveform) ให้การกวาดสัญญาณมีความถูกต้อง (โดยปรับปุ่ม Time/DIV) ก่อนป้อนให้กับภาคขยายสัญญาณทางแนวนอน

5. ภาคขยายสัญญาณทางแนวนอนจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณรูปฟันเลื่อยให้มีความแรงพอ ก่อนป้อนเข้าแผ่นเพลตบายเบนทางแนวนอนจึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสถิตควบคุมลำอิเล็กตรอนให้บายเบนซ้ายขวาทางแนวนอนได้

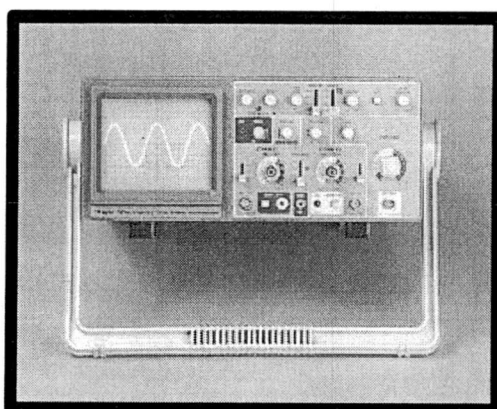
6. ภาควงจรชุดชนวน (Trigger circuit) หรือวงจรถิงค์ (Sync circuit) ทำหน้าที่ควบคุมให้สัญญาณแนวนอนทำงานพร้อมกับสัญญาณแนวตั้ง ทำให้ภาพบนจอหยุดนิ่ง โดยรับสัญญาณมาจากภาคขยายแนวตั้งมาทำเป็นสัญญาณพัลส์ไปควบคุมรูปคลื่นฟันเลื่อยของภาคกำเนิดฐานเวลาให้มีความถี่ที่ถูกต้อง

7. ภาคจ่ายไฟ (Power supply) แรงดันไฟฟ้า (Low voltage; LV) จะจ่ายไฟให้กับทวงวงจรยกเว้น แรงดันไฟสูง (High voltage; HV) จ่ายให้กับหลอด CRT

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 ออสซิลโลสโคปที่ใช้หลอดสุญญากาศ (CRO)

### 2.1.1.2 หลักการทำงานของอนาล็อกออสซิลโลสโคป

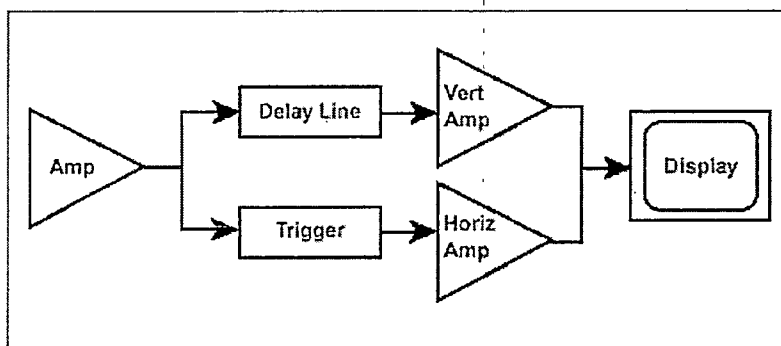
เมื่อทำการนำโพรบวัดสัญญาณจากออสซิลโลสโคปต่อเข้ากับวงจร สัญญาณไฟฟ้าจะเดินทางผ่านโพรบไปยัง Vertical System ของออสซิลโลสโคป รูปที่ 2.1 แสดง Block Diagram ของออสซิลโลสโคปแบบอนาล็อก การตั้งค่าแนวตั้ง (Vertical Scale: Volts/div) เพื่อลดทอนหรือขยายแรงดันไฟฟ้า

ต่อจากนั้นสัญญาณก็จะถูกส่งตรงเพื่อมาควบคุมหลอด CRT ในแนวตั้ง แรงดันไฟฟ้าก็ไปขับหลอด CRT ทำให้เกิดจุดสว่างเคลื่อนที่ไปมา (การเกิดจุดสว่างบนจอออสซิลโลสโคปได้ เกิดจากลำแสงของอิเล็กตรอนที่วิ่งชนสารเรืองแสง (Phosphor) ซึ่งทำการฉาบไว้บริเวณหลังจอ CRT) แรงดันไฟฟ้าทางด้านบวกจะทำให้จุดบนจอออสซิลโลสโคปเลื่อนขึ้น ส่วนแรงดันไฟฟ้าทางด้านลบจะทำให้จุดบนจอออสซิลโลสโคปเลื่อนลง เมื่อสัญญาณมาถึงระบบ Trigger (ระบบตรวจวัดการกวาดของลำอิเล็กตรอน) จะเริ่มต้นทำการกวาดรูปสัญญาณ "Horizontal sweep" ที่ตำแหน่งทริก การกวาดสัญญาณ (Horizontal sweep) จะอยู่ในระบบ Horizontal โดยจุดจะทำการเคลื่อนที่ที่ทางแนวนอนบนหน้าจอ และเคลื่อนจากซ้ายไปขวา การปรับ Horizontal time base (sec/div) เป็นการปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของจุดเรืองแสงให้เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาภายใต้ความเร็วที่กำหนด จาก timebase ซึ่งความเร็วในการกวาดของลำอิเล็กตรอนบนจอมีความเร็วมากกว่า 500,000 ครั้งต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

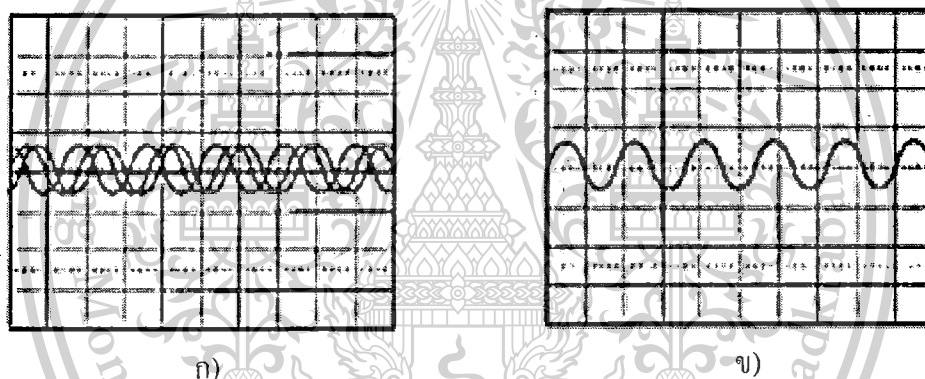
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 Block Diagram การทำงานของอนาล็อกออสซิลโลสโคป

ทั้งการกวาดของสัญญาณแนวนอน และรูปแบบสัญญาณทางด้านแนวตั้ง จะทำให้เกิดภาพบนจอ การ Trigger จำเป็นต้องอาศัยสัญญาณเสถียรและเกิดขึ้นซ้ำๆกัน ถ้าการเริ่มต้นกวาดสัญญาณมีจุดเริ่มต้นทริกที่ตรงกันแล้ว สัญญาณที่เกิดขึ้นบนจอภาพจะชัดเจนและไม่มีการสั่น แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ก). การปรับ Trigger ที่ไม่เสถียรภาพ ข). การปรับ Trigger ที่มีเสถียรภาพ

เมื่อใช้งานอนาล็อกออสซิลโลสโคป ต้องทำการตั้งค่าพื้นฐานหลัก ๆ 3 อย่าง คือ

- The attenuation or amplification of the signal ปรับ Volt/div เพื่อควบคุมขนาดของแรงดันของสัญญาณที่วัด

- Time base ปรับ sec/div ตั้งค่าขนาดความเร็วในการกวาดสัญญาณบนแนวนอนต่อช่อง

- Trigger ปรับระดับทริกเพื่อให้เสถียรในสัญญาณที่ซ้ำๆกันหรือทริกบนสัญญาณเดียวในอนาล็อกออสซิลโลสโคป ปรับความคมชัด (Focus) และความเข้ม (intensity) เพื่อเห็นสัญญาณได้อย่างชัดเจน

ออสซิลโลสโคปที่ใช้หลอดสุญญากาศนี้มีราคาที่สูงพอควร โดยราคาอยู่ที่เครื่องละประมาณ 30,000 บาท อีกทั้งปัจจุบัน CRO ไม่นิยมใช้กันแล้วและหลอด CRT ก็เลิกผลิต โดยจะใช้จอ LCD

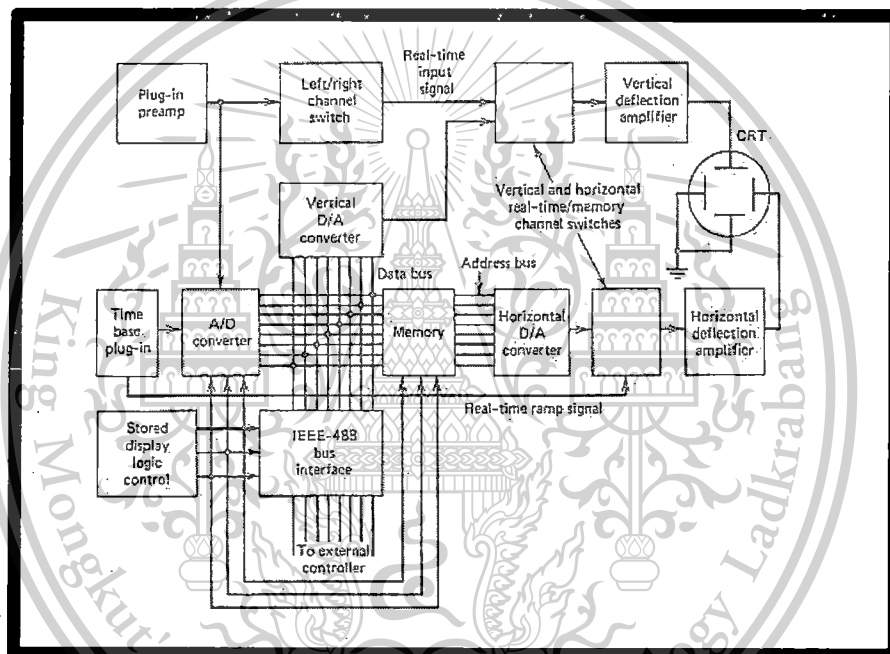
เอกสารนี้เป็นที่กลับมาแทนที่สำหรับคณาจารย์ออสซิลโลสโคปรุ่นใหม่ ๆ ภาคนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.1.2 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Digital Oscilloscope)

ดิจิตอลออสซิลโลสโคปหรือเรียกว่า “ออสซิลโลสโคปแบบเก็บภาพดิจิตอล” (digital storage oscilloscopes; DSO) เป็นออสซิลโลสโคปแบบเก็บภาพชนิดหนึ่งซึ่งจะใช้เทคนิคดิจิตอลและจะแตกต่างจากออสซิลโลสโคปแบบเก็บภาพอนาล็อกตรงที่มันจะต้องเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลและเก็บสัญญาณดิจิตอลไว้ในหน่วยความจำ จากนั้นจะต้องแปลงกลับเป็นสัญญาณอนาล็อกเพื่อแสดงผลบนหน้าจอหลอดภาพรังสีแคโทด โดยปกติแล้วโครงสร้างของออสซิลโลสโคปแบบเก็บภาพดิจิตอลจะเพิ่มส่วนการประมวลสัญญาณเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการดึงรูปคลื่นสัญญาณการวัดและการแสดงผล แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของออสซิลโลสโคปแบบเก็บภาพดิจิตอล

#### 2.1.2.1 หลักการทำงานขอดิจิตอลออสซิลโลสโคป

จะเห็นว่ามิชชุดเสียบบให้เล็อกมากมายสำหรับทำหน้าที่พิเศษ ข้อมูลจะแสดงในรูปแบบจุดที่จะทำให้เห็นเป็นเส้นตำแหน่งของแต่ละจุดบนแนวตั้งจะเป็นการกำหนดด้วยเลขฐานสองที่เก็บอยู่ในแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำ

ส่วนตำแหน่งในแนวนอนจะมาจากกาหนดแอดเดรสเลขฐานสองของแต่ละตำแหน่งของหน่วยความจำจำนวนจุดที่แสดงจะขึ้นกับตัวประกอบ 3 อย่าง คือ ความถี่ของสัญญาณขาเข้าเทียบกับอัตราการสุ่มตัวอย่าง ขนาดของหน่วยความจำและอัตราซึ่งสามารถอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำถ้าความถี่ของสัญญาณขาเข้ายิ่งสูงเมื่อเทียบกับอัตราการสุ่มเราจะได้จำนวนข้อมูลลดลง

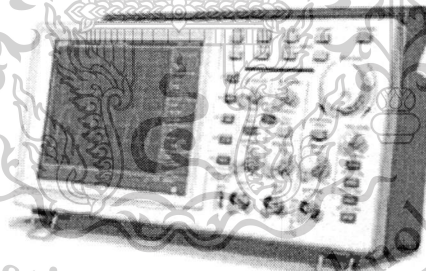
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ออสซิลโลสโคปแบบดิจิตอลกับแบบอนาล็อกต่างก็มีข้อดีที่แตกต่างกัน แต่ออสซิลโลสโคปแบบเก็บภาพดิจิตอลก็มีพัฒนาการขึ้นอย่างรวดเร็วขณะนี้แทบกว้างความถี่ของระบบสูงถึง 1 จิกะเฮิรท์ โดยมีความถูกต้องของช่วงเวลาถึง 100 พิโควินาที ออสซิลโลสโคปจำนวนมากจะมีลักษณะเป็นชุดโมดูลที่สามารถเพิ่มจำนวนช่องและหน้าที่ต่างๆได้ด้วยการเสียบชุดโมดูลที่เหมาะสมเข้าไปนอกจากนั้นการจับและการแสดงผลสัญญาณออสซิลโลสโคปแบบเก็บภาพดิจิตอลจะมีความสามารถพิเศษในการเก็บข้อมูลได้ไม่จำกัด การโอนถ่ายข้อมูลที่เก็บไว้ไปให้แก่เครื่องมือวัดดิจิตอลอื่นๆโดยการตั้งออสซิลโลสโคปในโหมดสรีปครั้งเดียว เราสามารถจะเก็บข้อมูลได้ทั้งก่อนและหลังการจุดชนวนซึ่งมีความจำเป็นมากในการหาสาเหตุหรือแหล่งของสัญญาณผิดพลาด

ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลของออสซิลโลสโคปจะกำหนดลักษณะจำเพาะต่อการทำงานที่สำคัญมากในเรื่องของความแยกแยะได้ของแรงดันซึ่งจะถูกควบคุมโดยจำนวนบิตของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลและความเร็วในการเก็บข้อมูลจะถูกควบคุมด้วยความเร็วสูงสุดในการแปลง ส่วนการแยกแยะได้ของเวลาสามารถเลือกได้จากการเลือกขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลแต่ละรูปคลื่น นอกเหนือจากนั้นการแสดงผลเป็นเส้นบนหน้าจอหลอดภาพรังสีแคโทดจะเป็นอนาล็อกที่สามารถส่งพิมพ์จากเครื่องบันทึกแบบปากกาที่เป็นดิจิตอลโดยผ่านสายสัญญาณแบบอนุกรม (RS-232) ที่มีปุ่มชุดควบคุมบนแผงด้านหน้าเกือบทั้งหมดของออสซิลโลสโคปแบบเก็บภาพดิจิตอลจะเหมือนกับปุ่มควบคุมของออสซิลโลสโคปโดยทั่วไป



รูปที่ 2.6 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป

ดิจิตอลออสซิลโลสโคปซึ่งเป็นออสซิลโลสโคปแบบรอยเส้นคู่(dual trace)หรือ2ช่องสามารถแสดงกราฟสัญญาณสองรอยบนจอ ทำให้สะดวกในการใช้งาน เช่น การวัดเปรียบเทียบสัญญาณเข้าและออกของเครื่อง ขยายได้ง่ายเป็นต้น อย่างไรก็ตามปัจจุบันดิจิตอลออสซิลโลสโคป มีให้เลือกมากกว่า 2 ช่อง สามารถแสดงกราฟได้หลากสี มีฟังก์ชันการใช้งานมากมาย ขนาดก็บาง น้ำหนักเบา กินไฟน้อย แต่ราคาเครื่องก็แพงตามไปด้วยซึ่งราคาอยู่ที่หลักแสนบาทเลยทีเดียว ทำให้หลายๆ

โรงเรียนไม่มีงบประมาณในการจัดซื้อ จึงทำให้เด็กนักเรียนไม่มีโอกาสได้ใช้เครื่องออสซิลโลสโคปเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีออสซิลโลสโคปแบบพกพาในต่างประเทศก็ได้มีการผลิตขึ้นมาแล้วแต่ก็ยังคงมีราคาที่สูงซึ่งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.2 ประเภทของรูปสัญญาณ

### 2.2.1 รูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Wave)

รูปคลื่นไซน์เป็นคลื่นหลักของรูปคลื่นอื่นๆ มีจำนวนฮาร์มอนิก ซึ่งเป็นคุณสมบัติการคำนวณทางคณิตศาสตร์คลื่นของแรงดันไฟฟ้า มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ ในการทดสอบออสซิลโลสโคป สัญญาณไฟกระแสลับ (Alternating current) จะถูกสร้างมาจากสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ส่วนไฟฟ้าออสซิลโลสโคปจะสร้างรูปสัญญาณเป็นเส้นตรง

คลื่นไซน์ที่ถูกหน่วง (Damped Sine Wave) เป็นสัญญาณที่เป็นกรณีแบบพิเศษ ซึ่งจะเป็นลักษณะของสัญญาณที่กระเพื่อมขึ้นไป และก็ลดลงอย่างรวดเร็ว

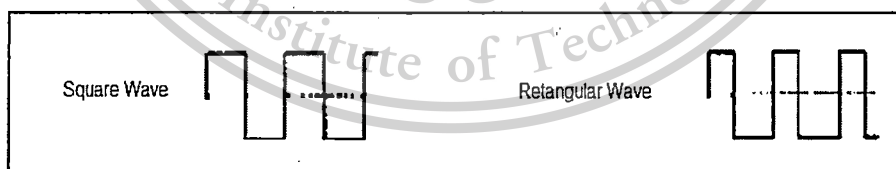


รูปที่ 2.7 รูปคลื่นไซน์และคลื่นไซน์ที่ถูกหน่วง

### 2.2.2 คลื่นจัตุรัส (Square Wave) และ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular)

คลื่นจัตุรัส เป็นรูปคลื่นพื้นฐานอีกประเภทหนึ่ง รูปแบบคลื่นจะเป็นการสลับแรงดัน สูงหรือต่ำในจังหวะที่สม่ำเสมอ คลื่นจัตุรัสเป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบว่าสัญญาณภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) ภาคขยายที่ดีจะเพิ่มขนาดแอมพลิจูดของคลื่นจัตุรัส ด้วยการรบกวนที่ต่ำ

วงจรของโทรทัศน์ วิทยุ และคอมพิวเตอร์จะใช้คลื่นจัตุรัส แทนคาบเวลา (Timing) รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ก็มีลักษณะคล้าย ๆ กับคลื่นจัตุรัส แต่ความกว้างของสัญญาณด้าน High และด้าน Low ไม่เท่ากัน มีความสำคัญมาก ในการวิเคราะห์วงจรดิจิทัล



รูปที่ 2.8 คลื่นจัตุรัสและ รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

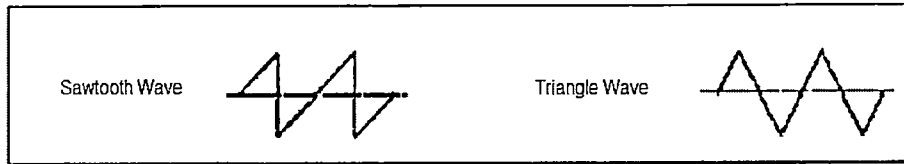
### 2.2.3 รูปคลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth waveforms) และรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular Wave)

รูปคลื่นฟันเลื่อยและรูปคลื่นสามเหลี่ยมเกิดจากการออกแบบแรงดันให้เปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรง เช่น สัญญาณกวาดด้านแนวนอน (Horizontal Sweep) ของอนาล็อกออสซิลโลสโคป หรือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป็น Raster Scan ของสัญญาณโทรทัศน์ ระดับของแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงในอัตราที่คงที่เรียก สัญญาณนี้ว่าสัญญาณ Ramps

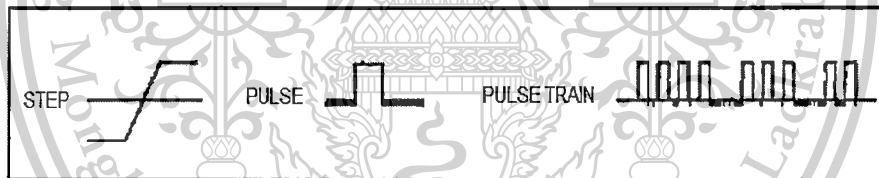


รูปที่ 2.9 รูปคลื่นฟันเลื่อยและรูปคลื่นสามเหลี่ยม

### 2.2.4 รูปคลื่นสเต็ปและรูปคลื่นพัลส์

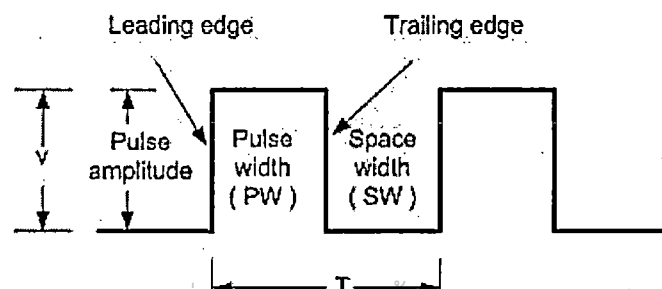
สัญญาณสเต็ปและสัญญาณพัลส์เป็นการเกิดเพียงสัญญาณครั้งเดียวเรียกว่า สัญญาณเดี่ยว (Single-shot) หรือ สัญญาณชั่วขณะ (Transient) ซึ่งรูปสัญญาณไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าอย่างทันทีทันใด ลักษณะคล้ายการสับสวิทช์ พัลส์ที่พบจะเกิดขึ้น 2 ครั้งคือ เวลาเปิด และปิดสวิทช์ ซึ่งอาจเกิดจากแสดงค่า 1 Bit ของคอมพิวเตอร์

การรวมสัญญาณพัลส์ แล้วไปพร้อมๆกัน จะเรียกว่า Pulse Train เป็นรูปแบบของสัญญาณในระบบส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ พัลส์เป็นสัญญาณพื้นฐานของเอ็กซเรย์และการสื่อสารต่างๆ



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นสเต็ปและรูปคลื่นพัลส์

รูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติ (Ideal pulse waveform) คือรูปคลื่นที่ทำการพิจารณาโดยไม่คิดค่าช่วงเวลาศูนย์เสี้ยวที่เกิดขึ้นในขณะที่พัลส์มีการเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงและจากสูงไปต่ำดังแสดงในรูปที่ 2.11



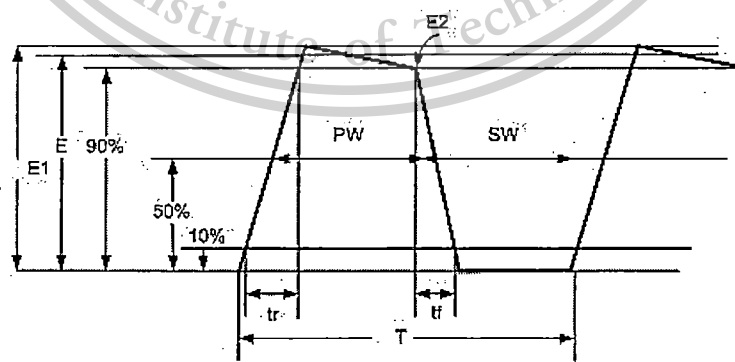
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่รูปที่ 2.11 รูปคลื่นพัลส์ในอุดมคติเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปเมื่อพิจารณาจะพบว่า

- 1.ขนาดของพัลส์ (Pulse amplitude) คือค่าสัญญาณที่วัดจากระดับแรงดันศูนย์โวลต์ไปถึงค่าสูงสุด (Peak value)
- 2.ขอบหน้าของพัลส์ (Leading edge or rising edge or positive –going edge) คือค่าของสัญญาณที่ เปลี่ยนค่าจากระดับแรงดันต่ำไปสู่ระดับแรงดันสูงสุดพิจารณาที่เวลา  $t = 0$
- 3.ขอบหลังของพัลส์ (Trailing edge or falling edge or negative –going edge) คือค่าของสัญญาณที่เปลี่ยนค่าจากระดับแรงดันสูงสุดไปสู่ระดับต่ำสุดของพัลส์
- 4.คาบเวลาของพัลส์ (Time period) ใช้ตัวย่อ  $T$  คือระยะเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์ที่เวลา  $t = 0$  จนถึงขอบหน้าของพัลส์รูปคลื่นต่อไป ความถี่ของพัลส์ (Pulse Repetition Frequency or PRF) คือค่าส่วนกลับของเวลา หรือ  $PRF = PPS$  (pulse Per Sec)
- 5.ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width or PW) คือช่วงเวลาที่วัดจากขอบหน้าของพัลส์จนถึงขอบหลังของพัลส์
- 6.ช่องว่างระหว่างพัลส์ (Space width or SW) คือช่วงเวลาที่ทำการวัดจากขอบหลังของพัลส์รูปคลื่นแรกจนถึงขอบหน้าพัลส์รูปคลื่นถัดไป
- 7.อัตราส่วนของพัลส์ (M/S ratio) คืออัตราส่วนระหว่างค่าความกว้างของพัลส์ PW กับช่องว่างระหว่างพัลส์  $M / S \text{ ratio} = PW / SW$
- 8.วัฏจักรหน้าที่ (Duty cycle) คือร้อยละของอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ (PW) กับคาบเวลาของพัลส์ ( $T$ )



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปคลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติจะแตกต่างกับทฤษฎีดังนี้

-เวลาไต่ขึ้น (Rise time) คือ ระยะเวลาของสัญญาณพัลส์ขอบหน้าเปลี่ยนแปลงจากขนาดของสัญญาณที่ 10 % ไปจนถึง 90 % ของขนาดสูงสุด

-เวลาดตก (Fall Time) คือ ระยะเวลาของสัญญาณพัลส์ขอบหลังตกจากระดับสัญญาณที่ 90 % ลงไปถึง 10 % ของขนาดสูงสุด

-ความกว้างของพัลส์ ต้องวัดมาจากค่าเฉลี่ยของความกว้างทั้งหมด คือวัดที่ 50 % ของขนาดสูงสุดของแรงแฉก และค่าช่องว่างของพัลส์ (SW) ก็เช่นเดียวกัน ดังนั้น ( T ) จะเท่ากับ PW + SW

-ค่าขนาดแรงแฉกเฉลี่ยของพัลส์ (Average pulse amplitude) คือค่าเฉลี่ยจากค่าสูงสุดของขอบหน้าและขอบหลัง

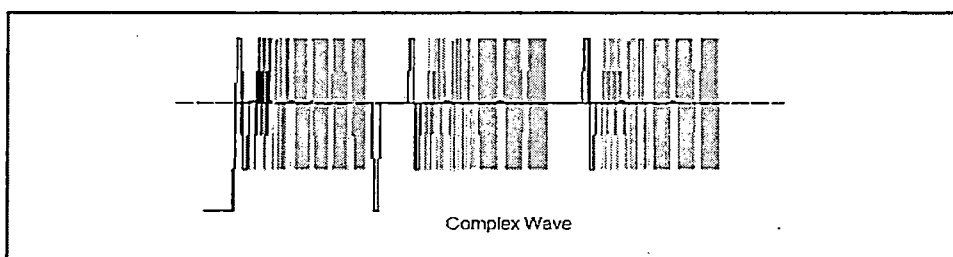
-ความลาดเอียง (Tilt) คือความลาดเอียงบริเวณระดับสัญญาณสูงสุดขอบหน้าถึงขอบหลังของพัลส์

-ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นพัลส์ ( $V_{av}$ ) คือการนำเอาพื้นที่ที่เกิดพัลส์ ในช่วงความกว้างของพัลส์ (PW) ทั้งด้านบนและด้านล่างของพัลส์มารวมกัน และหาร ด้วยคาบเวลาของพัลส์

### 2.2.5 คลื่นที่ซับซ้อน (Complex Waves)

สัญญาณเกิดจากการรวมทั้งรูปคลื่นไซน์, รูปคลื่นสี่เหลี่ยม, รูปคลื่นสตีป และรูปพัลส์ สัญญาณ สามารถวัดได้จากสโคป สัญญาณอาจประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงทั้ง แอมพลิจูด ความถี่ และ เฟส ไปพร้อมกัน รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่าง คลื่นที่ซับซ้อนเป็นพื้นฐานของสัญญาณ Video ซึ่งมี cycle ของความถี่สูงในชุดความถี่ต่ำ (envelope) จากรูปจะเห็นว่า จะต้องเข้าใจใน ระดับของสัญญาณและเวลา (timing) ที่เป็นอิสระจากกัน สิ่งที่ต้องการใช้สโคปจับ คือสัญญาณความถี่ต่ำ (Envelope) และความเข้มของสัญญาณที่ผสมกับความถี่สูงเพื่อระดับของสัญญาณ

อนาล็อกออสซิลโลสโคปและดิจิตอลออสซิลโลสโคปสามารถจับสัญญาณที่ซับซ้อนได้ เช่น สัญญาณ Video ซึ่งมีการแสดงความเข้มของสัญญาณ บ่อยครั้งที่การจับความถี่เป็นจุดสำคัญที่เราต้องการพิจารณา



รูปที่ 2.13 คลื่นที่ซับซ้อน (NTSC Video signal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use:

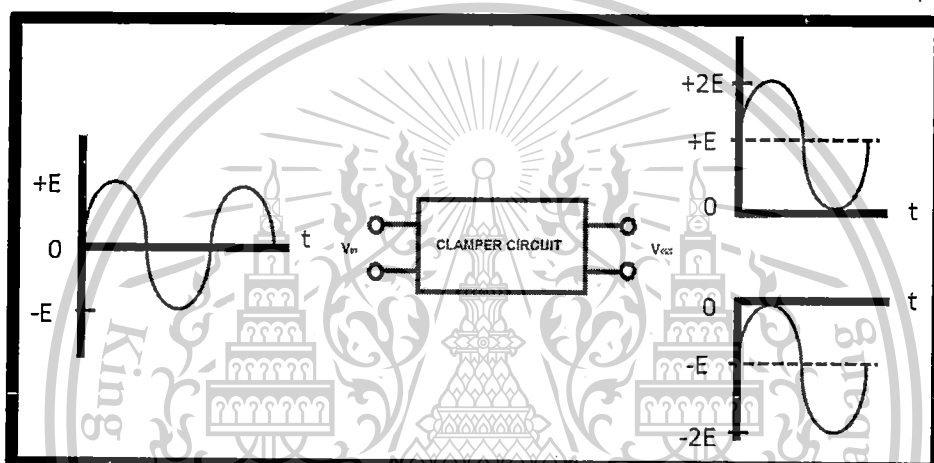
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.3 การวัดสัญญาณไฟฟ้า

### 2.3.1 วงจรแคลมเปอร์ (Clamper Circuit)

เป็นวงจรทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนระดับของสัญญาณไฟสลบให้มีระดับและตำแหน่งถูกต้องตามต้องการ โดยการเพิ่มแรงดันไฟตรงให้สัญญาณไฟสลบ ทำให้ระดับสัญญาณไฟสลบเปลี่ยนแปลงไป แต่รูปร่างสัญญาณไฟสลบไม่เปลี่ยนแปลง

วงจรแคลมเปอร์ หรือ วงจรเติมไฟตรง (DC Restorer Circuit) หรือ วงจรสอดแทรกไฟตรง (DC Reinsertor Circuit) อุปกรณ์ตัวหลักที่นำมาใช้ทำงานในวงจร คือ ตัวไดโอด ตัวเก็บประจุ และ ตัวต้านทาน หลักการของวงจรแคลมเปอร์ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 หลักการของวงจรแคลมเปอร์

จากรูปที่ 2.14 แสดงหลักการของวงจรแคลมเปอร์ คลื่นสัญญาณที่ทำการป้อนเข้ามา เป็นรูปคลื่นสัญญาณไฟสลบทุกชนิด เมื่อส่งผ่านวงจรแคลมเปอร์ รูปสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลง มีการเปลี่ยนแปลงเพียงระดับสัญญาณที่ปรากฏรูปคลื่น เปลี่ยนแปลงไปจากตำแหน่งเดิมรูปคลื่นอาจถูกเลื่อนตำแหน่งขึ้นด้านบน หรือ เลื่อนตำแหน่งลงด้านล่าง การเลื่อนตำแหน่งไปในระดับใดขึ้นอยู่กับวงจรแคลมเปอร์ และสามารถนำแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง เข้าไปร่วมทำงานในวงจรด้วยก็ได้

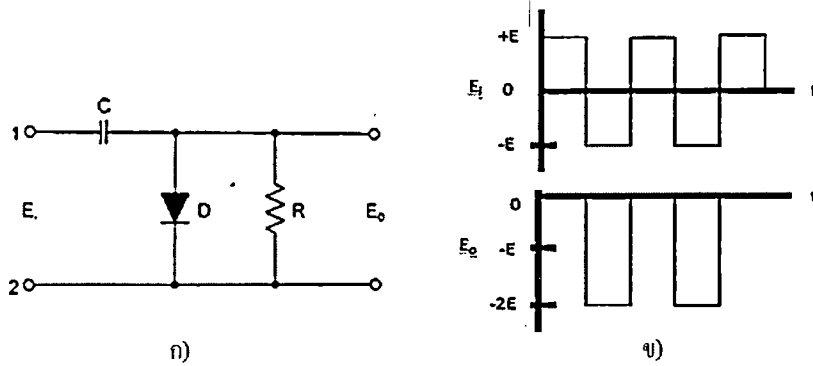
#### 2.3.1.1. วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันลบ (Negative Voltage Clamper Circuit)

วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันลบ เป็นวงจรปรับระดับคลื่น โดยกำหนดให้รูปสัญญาณของที่ส่งออกเอาต์พุต มีระดับสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปในย่านแรงดันลบ โดยอาศัยไดโอดทำหน้าที่เป็นสวิตซ์

ตัดต่อวงจร ตามสภาวะการไบอัสให้ตัวไดโอดและอาศัยตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ประจุและคายประจุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าแรงดัน ในวงจรจะมีตัวต้านทานทำหน้าที่ไหลของวงจร ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

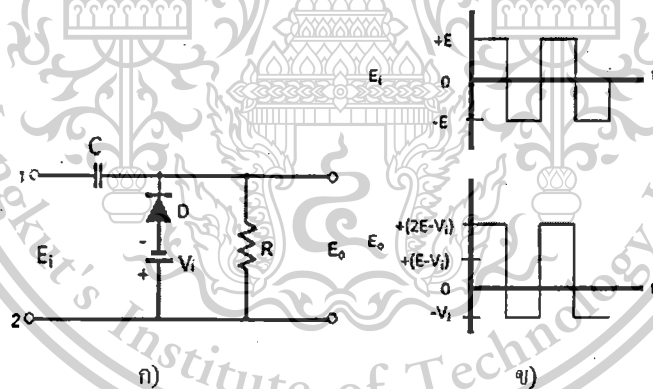


รูปที่ 2.15 ก) วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันลบ

ข) สัญญาณเอาต์พุต

2.3.1.2. วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันบวก (Positive Voltage Clamper Circuit)

วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันบวก เป็นวงจรปรับระดับคลื่น โดยกำหนดให้รูปสัญญาณที่ส่งออกเอาต์พุต มีระดับสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป ในย่านแรงดันบวก โดยอาศัยไดโอดเป็นสวิตช์ตัดต่อวงจร ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่ประจุ คายประจุแรงดันในวงจร ดังรูป 2.16



รูปที่ 2.16 ก) วงจรแคลมเปอร์แบบแรงดันบวก

ข) สัญญาณเอาต์พุต

2.3.1.3. วงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสตรง (Positive biased Clamper Circuit)

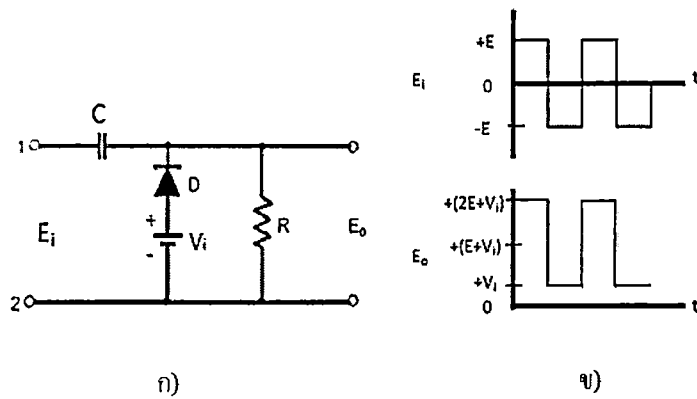
เป็นวงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัส เป็นวงจรปรับระดับคลื่นสัญญาณไม่เปลี่ยนลักษณะรูปคลื่นเหมือนวงจรแคลมเปอร์ที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.15 และ 2.16 แตกต่างเพียงวงจรแคลมเปอร์แบบนี้มีแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงจ่ายเป็นไบอัสให้ไดโอดเพิ่มเข้าขึ้นมาแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงนี้ ช่วยควบคุมระดับสัญญาณคลื่นที่ส่งออกเอาต์พุต ให้เลื่อนระดับขึ้นหรือลงในตำแหน่งที่ต้องการ วงจรส่วนอื่นๆ เหมือนเดิม วงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสตรง ดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

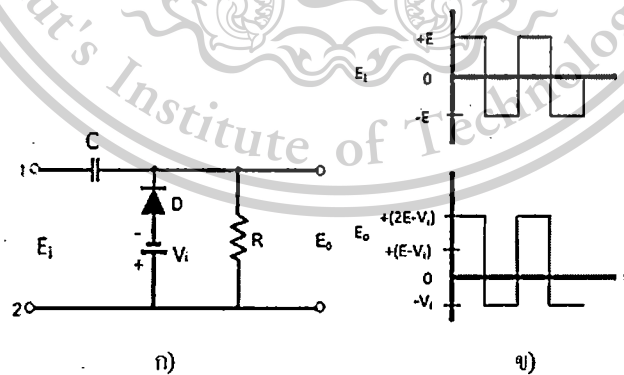


รูปที่ 2.17 ก) วงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสตรงจ่าย

ข) สัญญาณเอาต์พุต

2.3.1.4. วงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสกลับ (Positive biased Clamper Circuit)

วงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสกลับ เป็นวงจรคลิปปเปอร์ ที่ไดโอดได้รับไบอัสจากแหล่งจ่ายไฟตรง โดยแรงดันไบอัสของไดโอด เป็นชนิดไบอัสกลับ ทำให้ปกติไดโอดไม่นำกระแสตลอดเวลา ไดโอดจะนำกระแสได้ต้องมีสัญญาณอินพุตจ่ายไบอัสให้ไดโอดจนไดโอดได้รับไบอัสตรง สัญญาณที่ได้ออกเอาต์พุตของวงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสกลับ ไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง เช่นกัน เปลี่ยนเพียงระดับสัญญาณที่ได้บางส่วนมีค่าเป็นสัญญาณช่วงลบหรือช่วงต่ำกว่าตำแหน่ง 0V เป็นผลมาจากการจ่ายแรงดันไฟตรงไบอัสกลับนั่นเอง วงจรแคลมเปอร์แบบไดโอดมีไบอัสกลับ ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ก) แสดงวงจรแคลมเปอร์ไดโอดมีไบอัสกลับจ่ายให้

ข) สัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

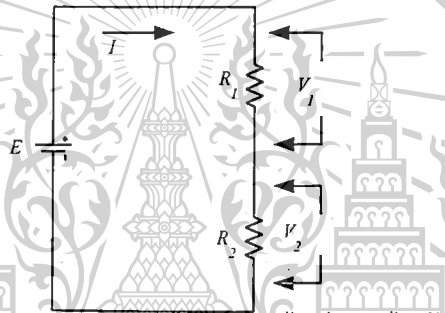
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.3.2 วงจรแบ่งแรงดัน

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าเป็นวงจรที่ทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าออกเป็นระดับต่าง ๆ ตามความต้องการ วงจรมีลักษณะเป็นวงจรแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือวงจร แบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า(Unloaded Voltage Divider)และวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า(Loaded Voltage Divider)

#### 2.3.2.1. วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า (Unloaded Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้าเป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ต่อภาระไฟฟ้า เราสามารถที่จะออกแบบการแบ่งแรงดันไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งานในการคำนวณจึงไม่ต้องนำค่าภาระไฟฟ้ามาคำนวณด้วย



รูปที่ 2.19 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า

จากรูป  $R_1$  และ  $R_2$  ทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าออกเป็น 2 ช่วงคือ  $V_1$  และ  $V_2$  การคำนวณหาค่า  $V_1$  และ  $V_2$  ถ้าใช้สูตรการคำนวณแบบวงจรอนุกรมจำเป็นต้องคำนวณหาค่าความต้านทานรวม ( $R_T$ ) และกระแสไฟฟ้า ( $I_T$ ) ของวงจรเสียก่อน ซึ่งทำให้เสียเวลา เราสามารถประยุกต์สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวต้านทานมาใช้ในการคำนวณหาค่า  $V_1$  และ  $V_2$  ได้โดยไม่ต้องใช้ค่าของกระแสไฟฟ้าของวงจรได้ดังนี้

$$V_1 = IR_1$$

(2.1)

$$\text{เมื่อ } I = \frac{E}{R_T}$$

แทนค่า  $I = \frac{E}{R_T}$  ในสมการ (2.1) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$V_1 = \frac{E}{R_T} R_1 \quad \text{ซึ่ง} \quad R_T = R_1 + R_2$$

(2.2) แทนค่า  $R_T = R_1 + R_2$  ในสมการ (2.2) จะได้  $V_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

ในทำนองเดียวกัน

$$V_2 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

2.3.2.2. วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า (Loaded Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้าจะคล้ายกับวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้าเพียงแต่มีการต่อภาระไฟฟ้าเข้าไปในส่วนที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าไว้ ดังนั้นการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรจึงต้องคำนึงถึงค่าความต้านทานของภาระไฟฟ้าที่นำไปต่อด้วย โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานที่ต่อขนานกับภาระไฟฟ้านั้นมีค่าประมาณ 10% - 20% ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านภาระไฟฟ้าทั้งหมด



รูปที่ 2.20 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า

จากวงจรยกรวม  $R_1$  และ  $R_L$  ได้ตั้งสมการที่ (2.3)

$$R_{T1} = \frac{R_2 \times R_L}{R_2 + R_L} \tag{2.3}$$

คำนวณหาค่า  $R_T$  ได้ตั้งสมการที่ (2.4)

$$R_T = R_1 + R_{T1}$$

(2.4)

จากสมการที่ (2.5) แสดงการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าในวงจร

$$I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1 + R_{T1}} \tag{2.5}$$

และ  $V_L = I_T R_{T1}$

แทนค่า  $I_T$  ในสมการ  $V_L = I_T R_{T1}$  จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$V_L = E \times \frac{R_T}{R_T}$$

(2.6)

เมื่อ  $R_T = R_1 + R_T$ 

ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการที่ (2.6) ในการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าได้

## 2.4 ระบบการทำงานของวงจร

### 2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี (Integrated Circuit) สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

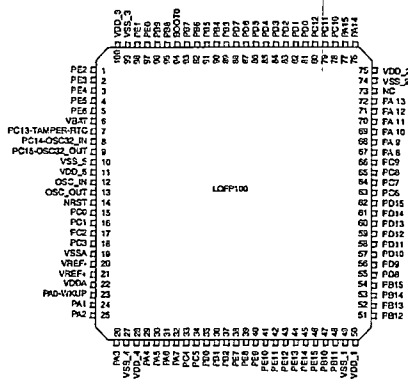
ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิปจะมีหน่วยความจำ, Port อยู่ในชิปเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโพรเซสเซอร์ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องต่อวงจรภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโพรเซสเซอร์ ก็จะทำให้การรวมวงจรที่จำเป็นเช่น หน่วยความจำ, ส่วนอินพุท/เอาต์พุท บางส่วนเข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้งานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา, วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล

ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหัวใจสำคัญในงานวิจัยชิ้นนี้ เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่นำสัญญาณที่ได้จากภาควัดสัญญาณมาประมวลผลและไปควบคุมการแสดงผลบนจอกราฟฟิกแอลซีดี ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้จะต้องมีความเร็วในการประมวลผล อีกทั้งยังต้องมีความละเอียดสูงในการแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณอะนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล และยังต้องมีราคาที่ไม่สูงมาก งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM ของบริษัท STelectronics เบอร์ STM32F103VBT6 32บิต ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.21 ฟังก์ชันพอร์ต STM32F103VBT6

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ STM32F103VBT6

32BIT MCU, CORTEX M3	128 K FLASH
Controller Family/Series:	STM32
Core Size:	32 bit
No. of I/O's:	80
Program Memory Size:	128 KB
RAM Memory Size:	20KB
CPU Speed:	72MHz
Oscillator Type:	External, Internal
No. of Timers:	4
Peripherals:	ADC, DMA, PWM, RTC, Timer
Embedded Interface Type:	CAN, I2C, SPI, UART
Digital IC Case Style:	LQFP
Supply Voltage Range:	2 V to 3.6 V
Operating Temperature Range:	-40 °C to +105 °C
No. of Pins:	100
MSL:	MSL 3 - 168 hours

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ STM32F103VBT6 (ต่อ)

SVHC:	No SVHC (19-Dec-2011)
Base Number:	(ARM Cortex) STM32
Clock Frequency:	72 MHz
IC Generic Number:	32F103VB
Memory Type:	FLASH
No. of ADC Inputs:	16
Number of bits In Timer:	16
Operating Temperature Max:	105 °C
Operating Temperature Min:	-40 °C
Packaging Type:	Peel Pack
Serial Comms:	2xSPI, 2xI2C, 3xUSART, USB, CAN
Supply Voltage Max:	3.6 V

### 2.4.2 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D)

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลที่มนุษย์รับรู้ สัมผัสได้ เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล จึงเป็นขบวนการหนึ่งของการรับข้อมูล (Input Unit) เป็นกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ ที่สัญญาณแปรผันต่อเนื่องจากสัญญาณอนาล็อกได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือ กำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2,4,8,16 เป็นต้น โดยรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่า binary โดยตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในฐานะข้อความของ หนึ่งและศูนย์

วงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลมีมากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้ว

วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D converters) มีใช้งานอยู่ประมาณ 7 ชนิดคือ

- 1.Parallel Comparator, Simultaneous, หรือ Flash A/D converter
- 2.Single – Ramp หรือ Single – Slope A/D converter
- 3.Dual – Slope A/D converter
- 4.Charge balance A/D converter
- 5.A/D converters using Counters and D/A converters

- 6.Tracking A/D converters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่มีเหตุแห่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

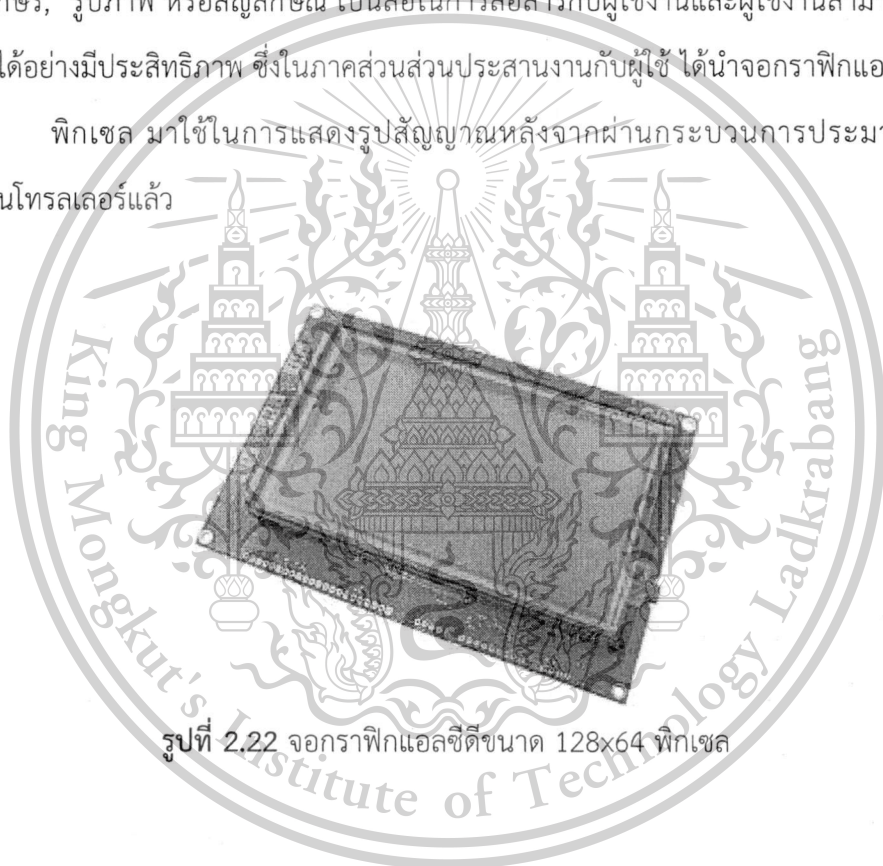
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 7.Successive – Approximation A/D converters

ซึ่งระบบเลือกใช้การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล แบบ Parallel Comparator, Simultaneous, หรือ Flash A/D converter โดยสัญญาณดิจิตอลที่ได้จะเข้าสู่กระบวนการประมวลผลเพื่อแสดงภาพที่ได้ออกมา

#### 2.4.3 ส่วนประสานงานกับผู้ใช้ (User Interface)

ส่วนประสานงานกับผู้ใช้ หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับผู้ใช้งาน โดยใช้รหัสตัวอักษร, รูปภาพ หรือสัญลักษณ์ เป็นสื่อในการสื่อสารกับผู้ใช้งานและผู้ใช้งานสามารถตอบโต้กับระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในภาคส่วนส่วนประสานงานกับผู้ใช้ ได้นำจอกราฟิกแอลซีดีขนาด 128X64 พิกเซล มาใช้ในการแสดงรูปสัญญาณหลังจากผ่านกระบวนการประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว



รูปที่ 2.22 จอกราฟิกแอลซีดีขนาด 128x64 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

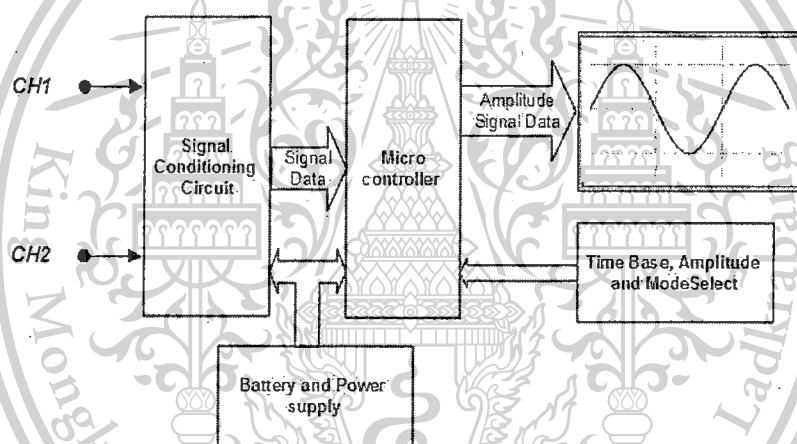
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัย การพัฒนาเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพา จะแบ่งการศึกษาออกเป็น ส่วนต่างๆ โดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำการศึกษา ดังนี้

1. ภาควัดสัญญาณทางไฟฟ้า
2. ภาคนไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller unit)
3. ส่วนแสดงผลชนิด กราฟิกแอลซีดี (Graphic Liquid crystal display)
4. ฟังก์ชันสวิตช์
5. แหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 3.1 Block Diagram การทำงานของเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพา

#### 3.1 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์

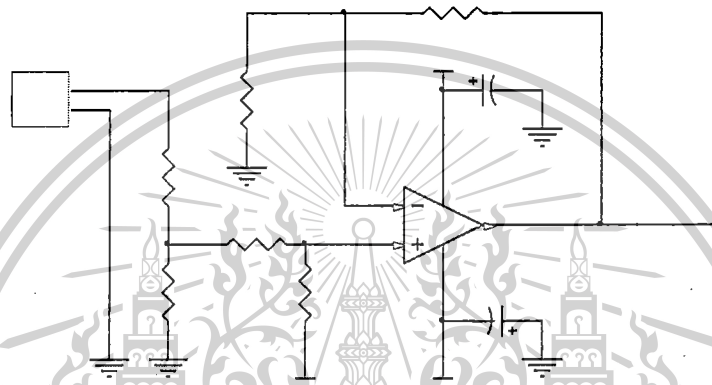
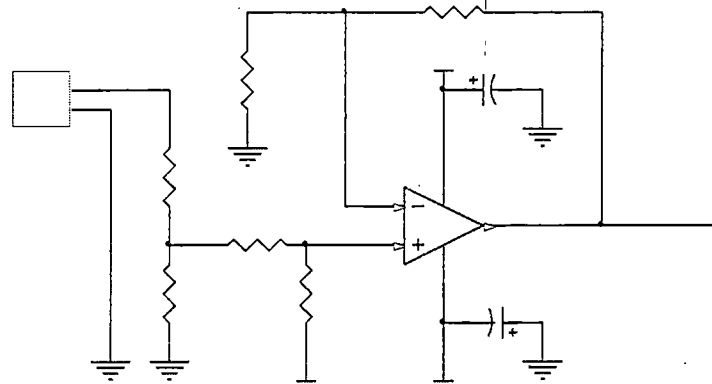
##### 3.1.1 ภาควัดสัญญาณทางไฟฟ้า

ดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพาสามารถตรวจวัดทั้งสัญญาณไฟกระแสตรง (DC) และไฟกระแสสลับ (AC) ดังนั้นในวงจรภาคตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าจะต้องมีการออกแบบให้สามารถตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าและทนต่อแรงดันไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ โดยในวงจรนี้จะใช้วงจรยกระดับสัญญาณที่ใช้โอปแอมป์เบอร์ TLC2272 ต่อร่วมกับวงจรแบ่งแรงดัน เมื่อสัญญาณอินพุตสูงสุดที่ +50 V เข้ามา สัญญาณถูกแบ่งแรงดันให้เหลือเพียง +3.3 V แล้วทำการยกระดับสัญญาณให้อยู่ในชีกบววก่อนที่จะส่งต่อไปยังภาคนไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 วงจรภาควัดสัญญาณ

### 3.1.2 ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Unit)

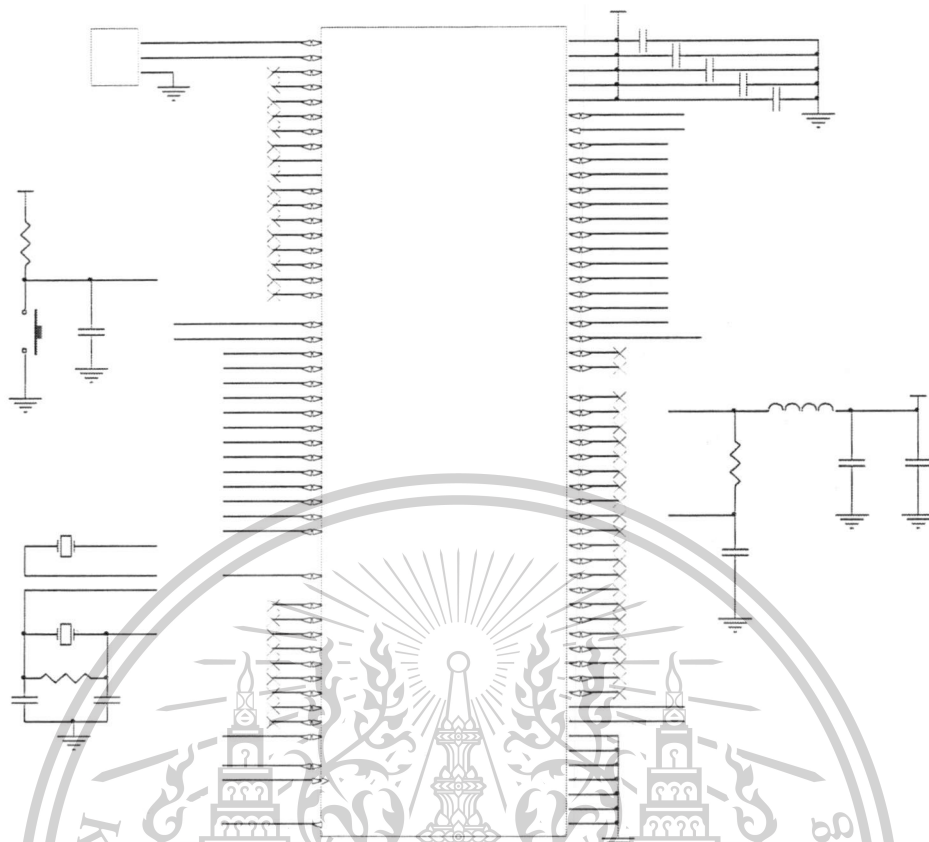
ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหัวใจสำคัญในงานวิจัยชิ้นนี้ เพราะไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่นำสัญญาณที่ได้จากภาควัดสัญญาณมาประมวลผลและไปควบคุมการแสดงผลบนจอกราฟฟิกแอลซีดี ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้จะต้องมีความเร็วในการประมวลผล อีกทั้งยังต้องมีความละเอียดสูงในการแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล และยังต้องมีราคาที่ไม่สูงมาก งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM ของบริษัท STelectronics เบอร์ STM32F103VBT6 32 บิต ทำงานที่ความถี่สูงสุด 72 MHz และใช้แหล่งจ่าย 3.3 V

จากการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ STM32F103VBT6 ได้มีการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ ดังรูป 3.3 โดยมีพอร์ตรับค่าจากภาควัดสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วนำสัญญาณอนาล็อกที่ได้มาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งในตัว STM32F103VBT6 ได้ใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียดขนาด 12 บิต ซึ่งสามารถวัดสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างละเอียดและมีความแม่นยำสูง

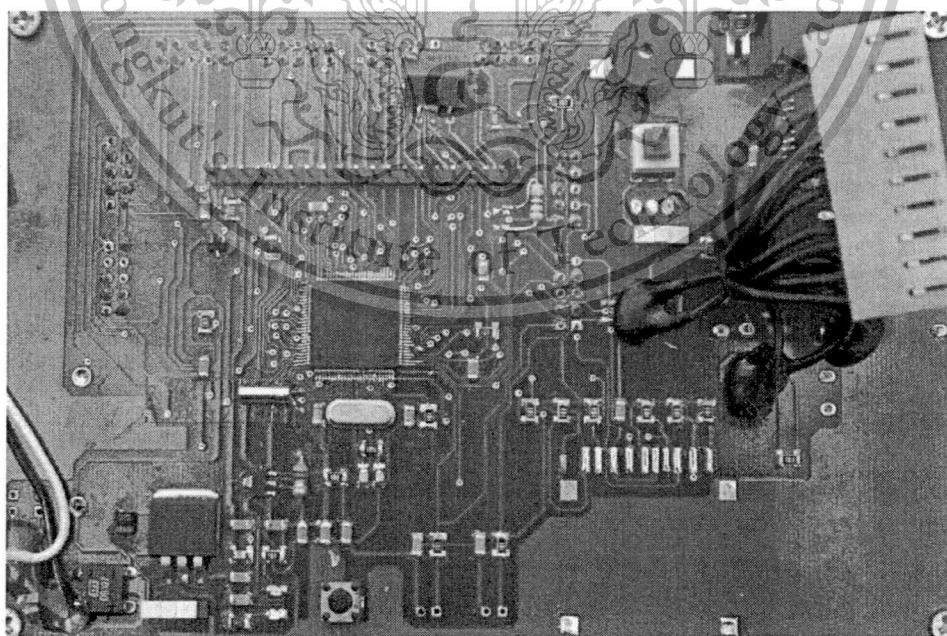
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 Schematic บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103VBT6



รูปที่ 3.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103VBT6

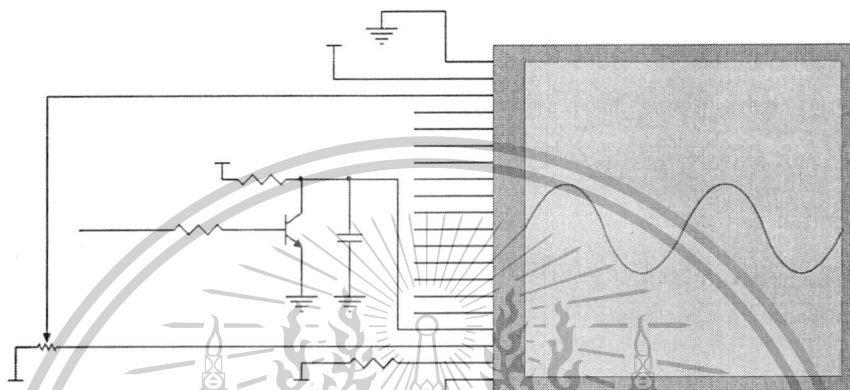
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.1.3 ส่วนแสดงผลชนิด กราฟิกแอลซีดี (Graphic Liquid crystal display)

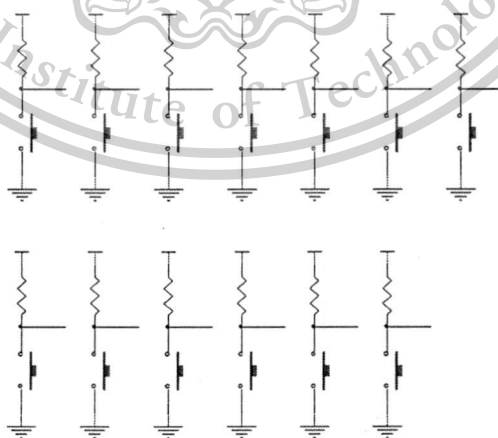
การแสดงผลจะใช้จอกราฟิกแอลซีดีขนาด 128X64 พิกเซล มีขนาดใหญ่ และง่ายในการอ่านค่า ซึ่งส่วนแสดงผลจะถูกสั่งการทำงานมาจากภาคไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลเรียบร้อยแล้วก็จะทำการสั่งให้แสดงภาพบนจอ เมื่อจอได้รับคำสั่งก็จะทำการแสดงรูปสัญญาณขึ้น ภาคแสดงผลจะมีบอร์ดควบคุมการทำงานดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Schematic บอร์ดกราฟิกแอลซีดีสำหรับแสดงสัญญาณไฟฟ้า

### 3.1.4 ฟังก์ชันสวิตช์

ฟังก์ชันสวิตช์จะต่อกับภาคไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง จะทำหน้าที่ในการเลือกโหมดในการวัดสัญญาณ, วัดแรงดันไฟฟ้า, วัดคาบเวลา (ตามรูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 Schematic ฟังก์ชันสวิตช์

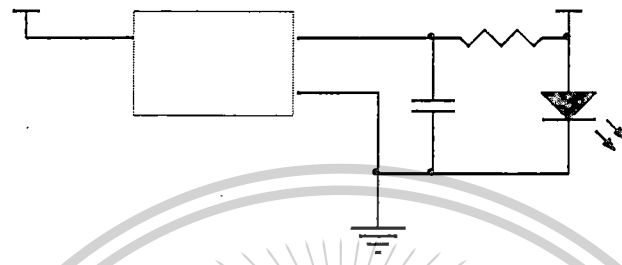
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

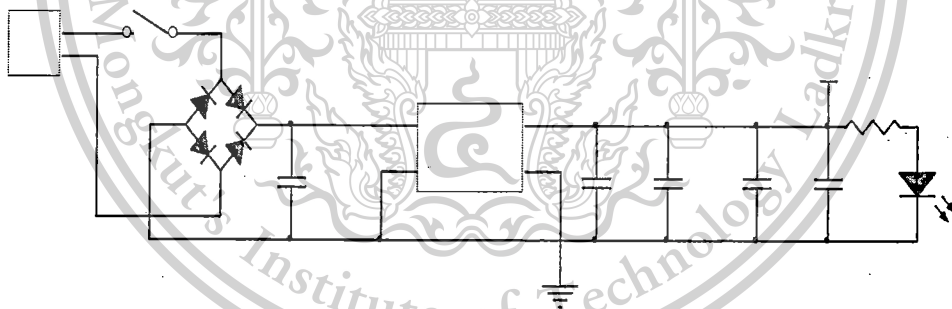
### 3.1.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

เครื่องดิจิทัลลอจิกโคมพิวเตอรืแบบพกพาต้องการแหล่งจ่ายไฟอยู่ 3 ประเภทประกอบไปด้วย +3.3V, +5V และ -5V โดยมีไอซีเบอร์ MCP1702-3302 ซึ่งจะทำหน้าที่ในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ +3.3V ให้กับภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ (ตามรูปที่ 3.7)

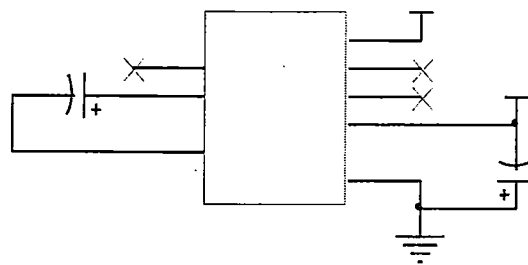


รูปที่ 3.7 แหล่งจ่ายไฟ +3.3V

สำหรับภาควัดสัญญาณทางไฟฟ้าและภาคแสดงผลกราฟฟิคแอลซีดีต้องใช้ไฟ +5V จากไอซี LM2904S-5.0/NOPB (ตามรูปที่ 3.8) และภาควัดสัญญาณทางไฟฟ้าก็ต้องการไฟ -5V จากไอซีเบอร์ ICL7660 ที่ทำหน้าที่แปลงไฟ +5V เป็นไฟ -5V (ตามรูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.8 แหล่งจ่ายไฟ +5 V



รูปที่ 3.9 แหล่งจ่ายไฟ -5 V

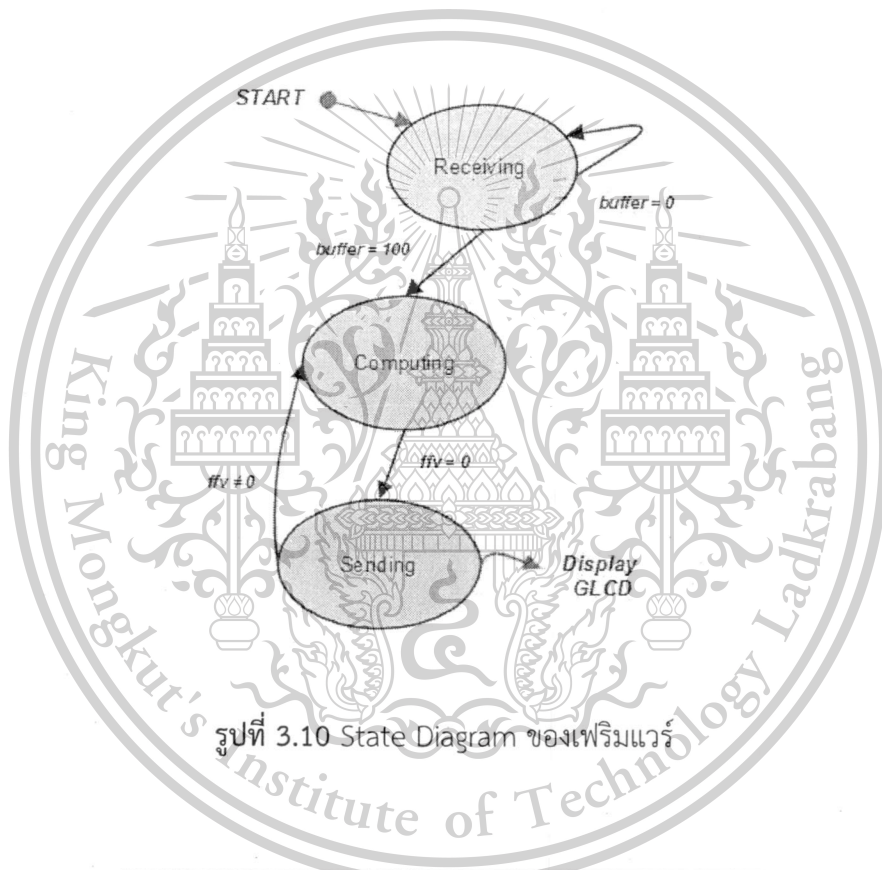
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2 การออกแบบเฟิร์มแวร์

ไดอะแกรมการทำงานของเฟิร์มแวร์จะแสดงตามรูปที่ 3.10 โดยเมื่อหัวโพรบวัดสัญญาณอินพุตทำการวัดสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณที่วัดได้นั้นซึ่งจะอยู่ในรูปของสัญญาณอนาล็อก (A/D) ในภาคไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วข้อมูลดิจิทัลจะถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ภายในของ STM32F103VBT6 โดยข้อมูลดิจิทัลจะถูกเก็บจนถึง 100 จำนวนแล้วจึงส่งไปยังภาคแสดงผลกราฟิกแอลซีดีต่อไป ส่วนบัฟเฟอร์ก็จะถูกล้างให้ไม่มีข้อมูลอยู่ภายใน เพื่อรอรับข้อมูลชุดใหม่ ซึ่งการทำงานของโปรแกรมจะทำงานวนกันทั้งวัดค่าสัญญาณประมวลผลและแสดงผลสัญญาณ



รูปที่ 3.10 State Diagram ของเฟิร์มแวร์

```

Buffer1[ffw] = ADC_GetConversionValue(ADC1);
ffw++;
if(ffw==99)
{
    ffr=1; //Display Value
}
  
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.11 Source Code การเก็บค่าใส่บัฟเฟอร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3 การทดสอบเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา

เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาจะถูกทดสอบ และเทียบความถูกต้องในการวัดสัญญาณไฟฟ้าด้วย 3 กระบวนการดังนี้

1. ทำการทดสอบความถูกต้องในการแสดงรูปสัญญาณ รูปคลื่นไซน์, คลื่นจัตุรัส และรูปคลื่นสามเหลี่ยม ตั้งแต่ความถี่ 0 – 50 kHz ระหว่าง เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E
2. ทำการทดสอบความถูกต้องในการอ่านค่าความถี่ ตั้งแต่ 0 – 50 kHz ระหว่าง เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E
3. ทำการทดสอบความถูกต้องในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$ ,  $V_{avg}$  ตั้งแต่ 0 – 50 V ระหว่าง เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

### 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการเก็บผลรูปสัญญาณและข้อมูลระหว่างดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E
2. ทำการวิเคราะห์ค่าความถี่,  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  ระหว่างดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง
4. สรุปผลการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

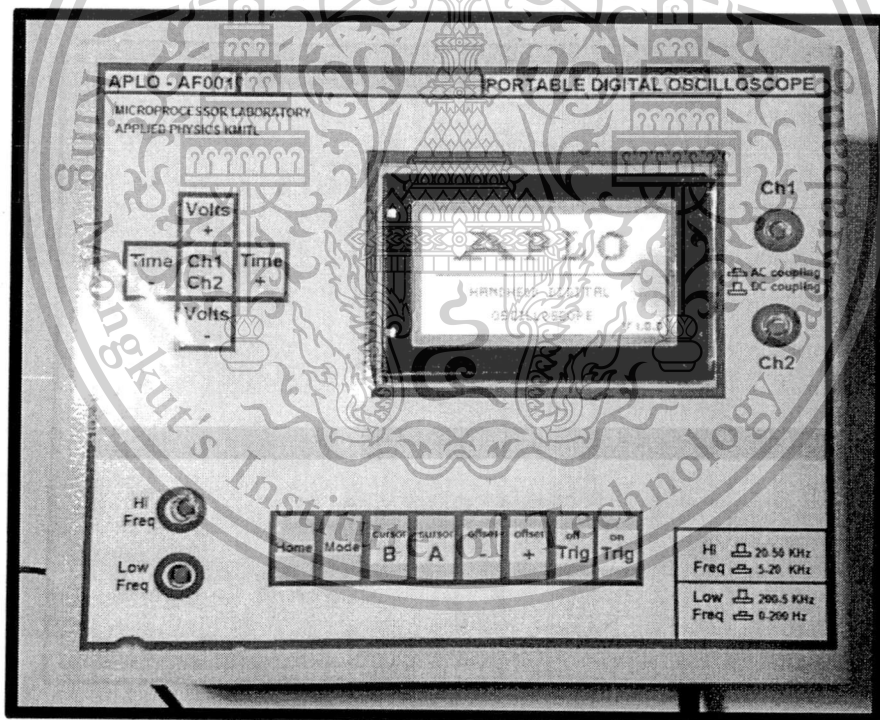
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบความถูกต้องในการแสดงรูปสัญญาณรูปคลื่นไซน์, คลื่นจัตุรัส และรูปคลื่นสามเหลี่ยม ตั้งแต่ความถี่ 0 – 50 kHz, ความถูกต้องในการอ่านค่าความถี่ ตั้งแต่ 0 – 50 kHz และความถูกต้องในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$ ,  $V_{avg}$  ตั้งแต่ 0 – 50 V ระหว่างเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E พร้อมทั้งการวิเคราะห์ผลในแต่ละส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ต้นแบบเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา

ต้นแบบเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา แสดงในรูปที่ 4.1 มีต้นทุนการผลิตอยู่ที่เครื่องละ 2,000 บาท โดยมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ต้นแบบเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

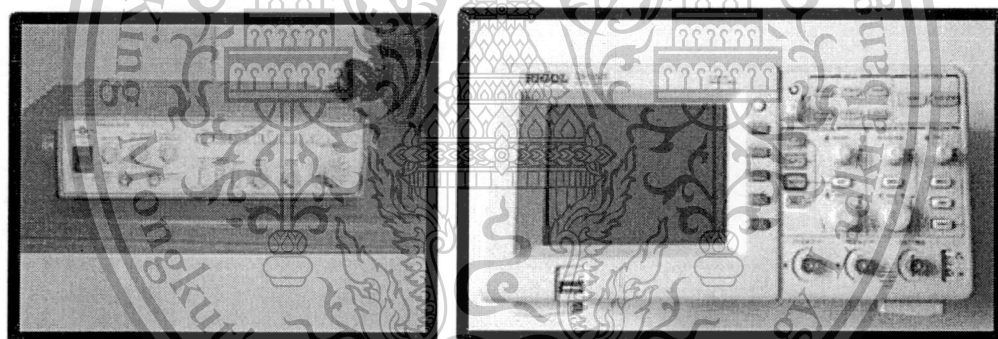
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา

Number of input	2 Channel
Maximum Bandwidth Frequency	50 kHz
Maximum Input Voltage	$\pm 50V$
Sampling rate	1 MS/s
Display	Graphic LCD Screen(128x64)

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์รูปสัญญาณ

ในการวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นไซน์, คลื่นจัตรัสและรูปคลื่นสามเหลี่ยมได้ใช้แหล่งกำเนิดความถี่จาก Function Generator ยี่ห้อ Tektronix รุ่น CFG253 และใช้เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E แสดงผลการทดสอบร่วมกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา



ก)

ข)

รูปที่ 4.2 ก) เครื่อง Function Generator Tektronix รุ่น CFG253

ข) เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

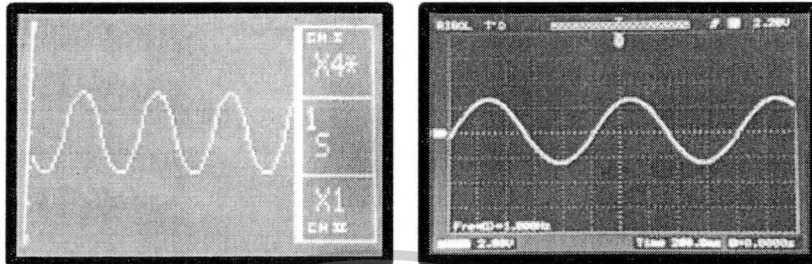
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นไซน์ของเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา เทียบกับรูปคลื่นไซน์ของเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ความถี่ 1 Hz



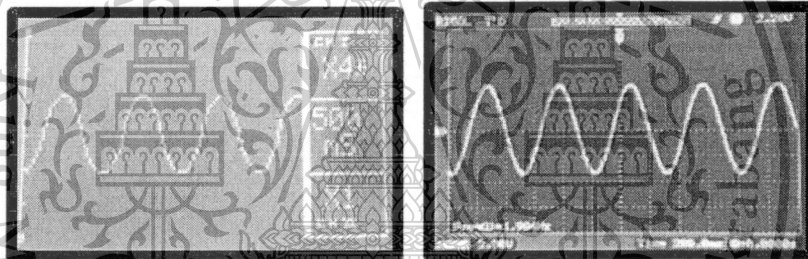
ก)

ข)

รูปที่ 4.3 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 Hz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1 Hz

ความถี่ 2 Hz



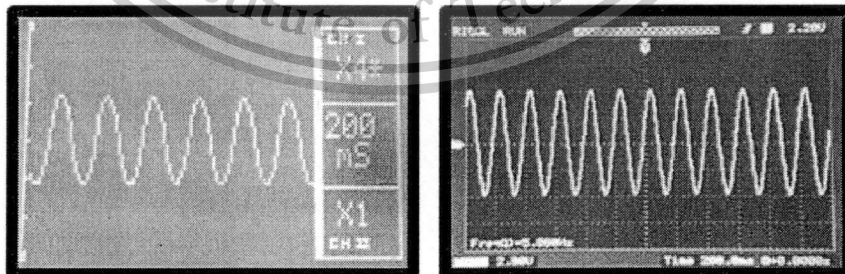
ก)

ข)

รูปที่ 4.4 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 Hz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 Hz

ความถี่ 5 Hz



ก)

ข)

รูปที่ 4.5 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 Hz

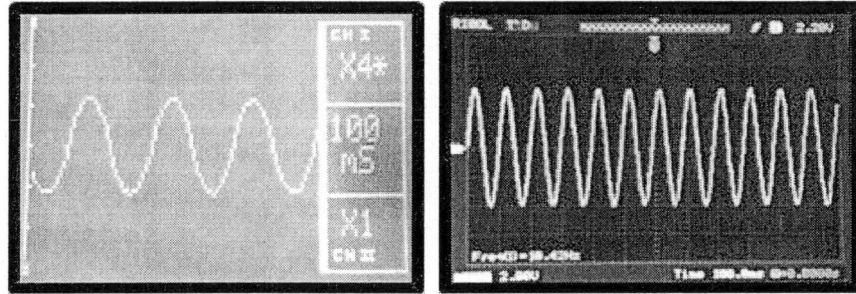
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 10 Hz



ก)

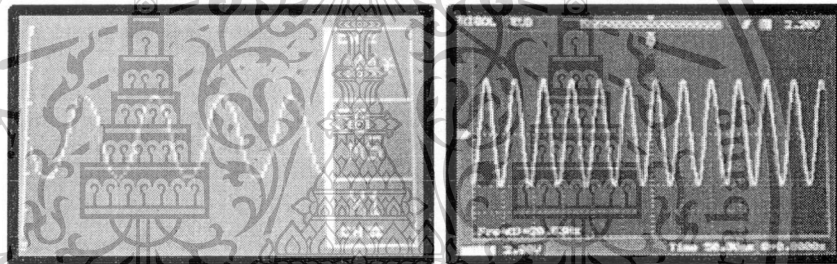
ข)

รูปที่ 4.6 ก)

สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 Hz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 10 Hz

ความถี่ 20 Hz



ก)

ข)

รูปที่ 4.7 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 Hz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 20 Hz

ความถี่ 50 Hz



ก)

ข)

รูปที่ 4.8 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 Hz

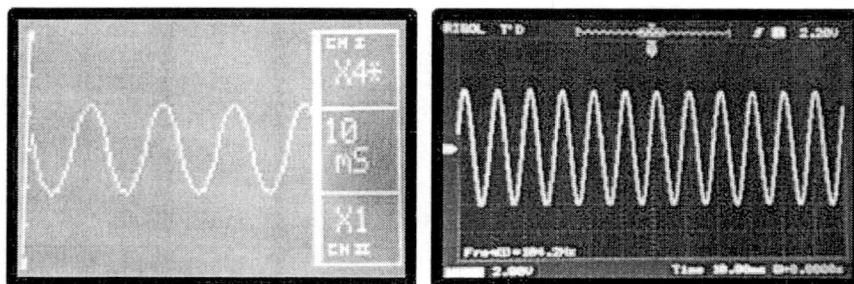
ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 100 Hz



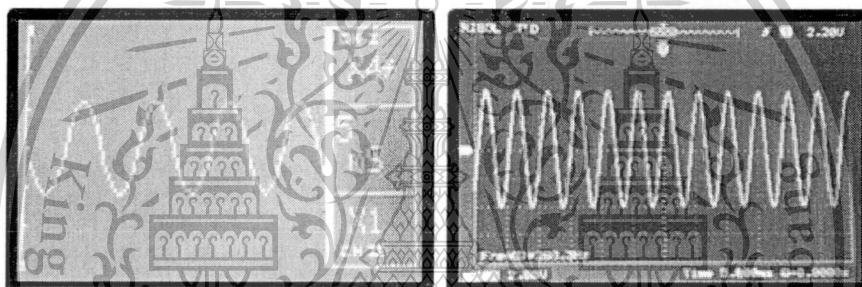
ก)

ข)

รูปที่ 4.9 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 100 Hz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 100 Hz

ความถี่ 200 Hz



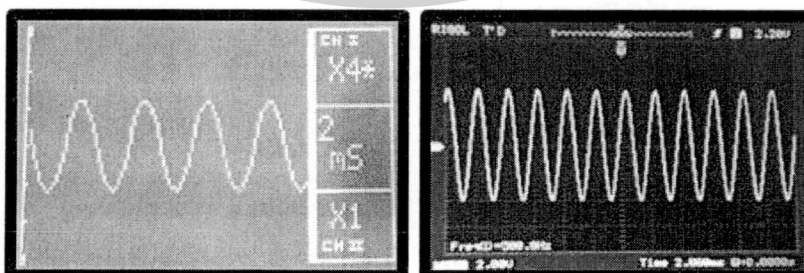
ก)

ข)

รูปที่ 4.10 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 200 Hz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 200 Hz

ความถี่ 500 Hz



ก)

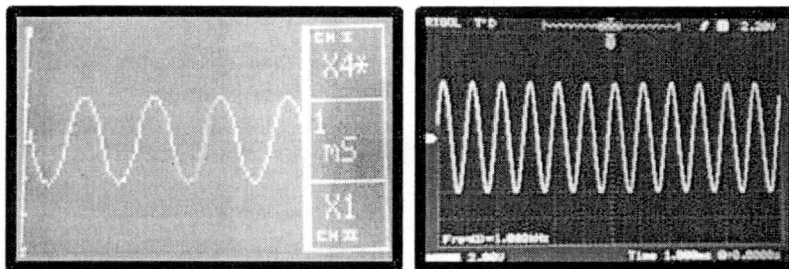
ข)

รูปที่ 4.11 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 500 Hz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 1 kHz



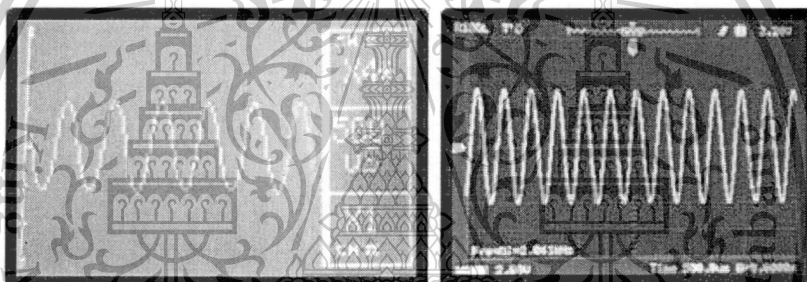
ก)

ข)

รูปที่ 4.12 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1kHz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1kHz

ความถี่ 2 kHz



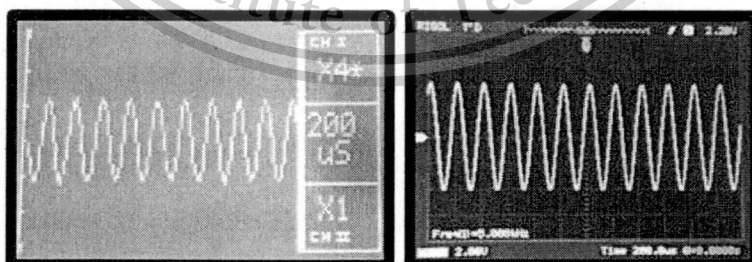
ก)

ข)

รูปที่ 4.13 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 kHz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 kHz

ความถี่ 5 kHz



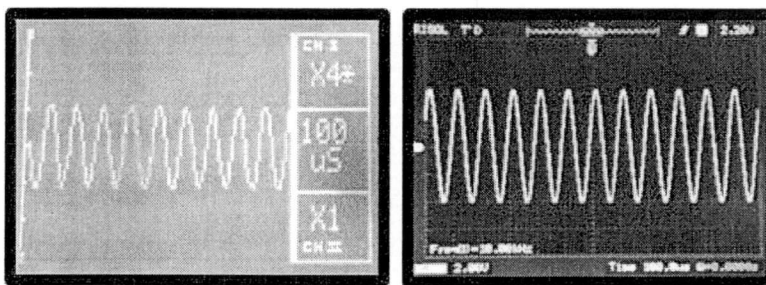
ก)

ข)

รูปที่ 4.14 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 5 kHz นี้เป็นการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

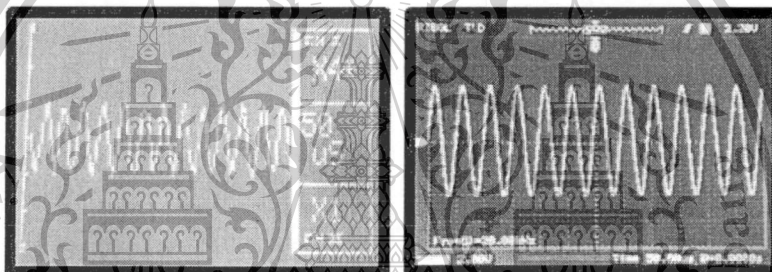
ความถี่ 10 kHz



ก) ข)

รูปที่ 4.15 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 kHz  
 ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 10 kHz

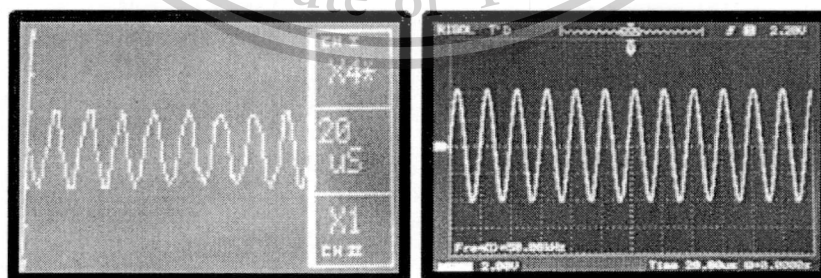
ความถี่ 20 kHz



ก) ข)

รูปที่ 4.16 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 kHz  
 ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 20 kHz

ความถี่ 50 kHz

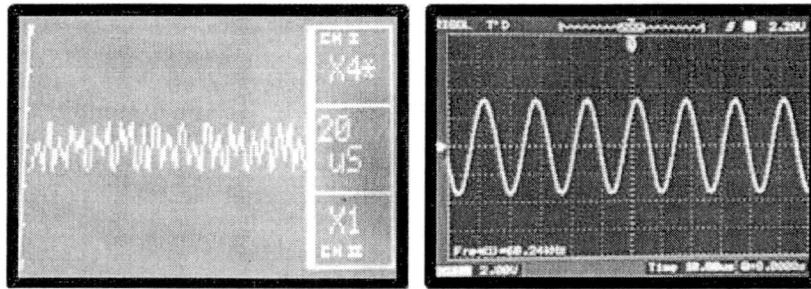


ก) ข)

รูปที่ 4.17 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 kHz  
 ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 50 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่มากกว่า 50 kHz



ก)

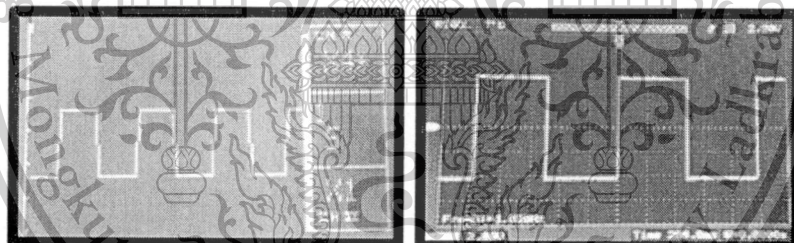
ข)

รูปที่ 4.18 ก) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 60 kHz

ข) สัญญาณที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 60 kHz

4.2.2 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นจัตุรัสของเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับรูปคลื่นจัตุรัสของเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ความถี่ 1 Hz



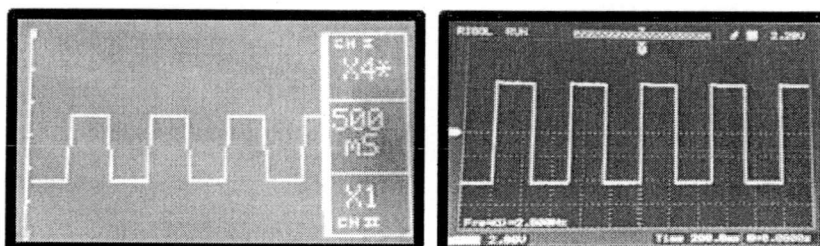
ก)

ข)

รูปที่ 4.19 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 Hz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1Hz

ความถี่ 2 Hz



ก)

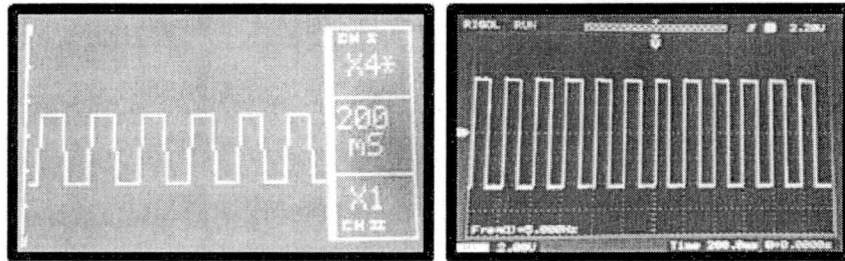
ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.20 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 Hz ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามใช้สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 Hz ำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 5 Hz



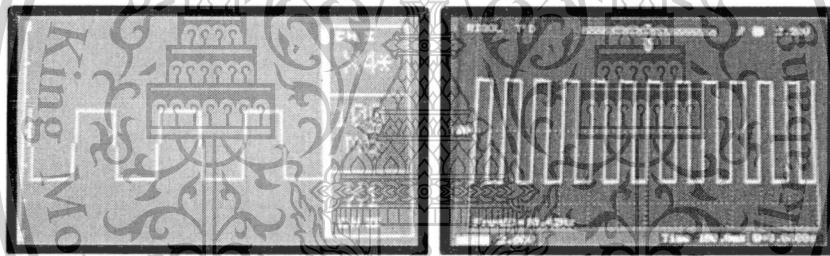
ก)

ข)

รูปที่ 4.21 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 Hz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 5 Hz

ความถี่ 10 Hz



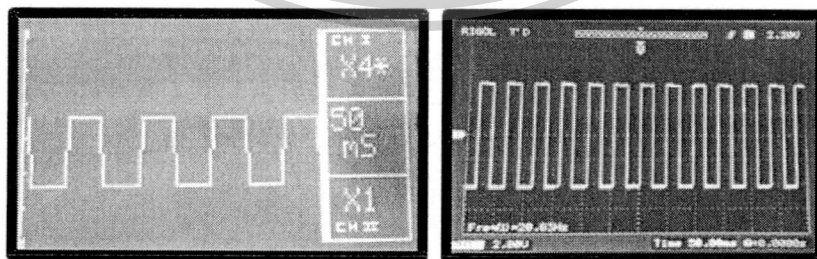
ก)

ข)

รูปที่ 4.22 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 Hz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 10 Hz

ความถี่ 20 Hz



ก)

ข)

รูปที่ 4.23 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 Hz

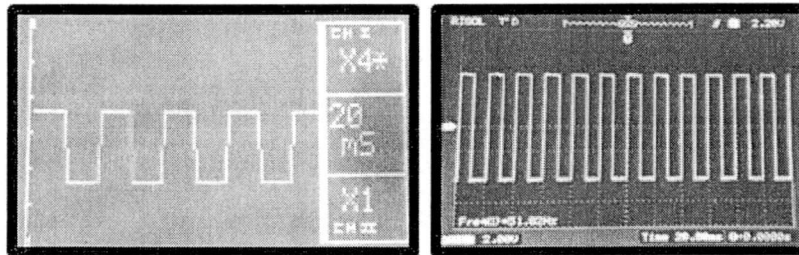
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 20 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ มิใช่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 50 Hz



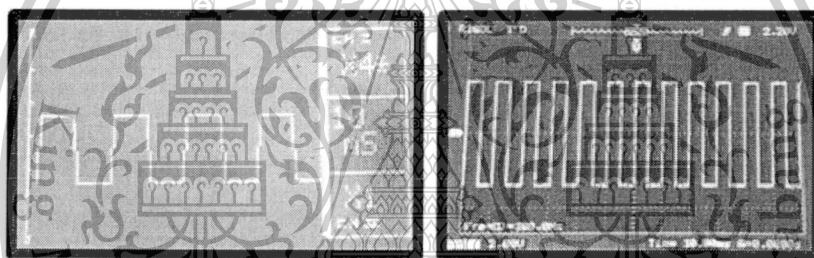
ก)

ข)

รูปที่ 4.24 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 Hz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 50 Hz

ความถี่ 100 Hz



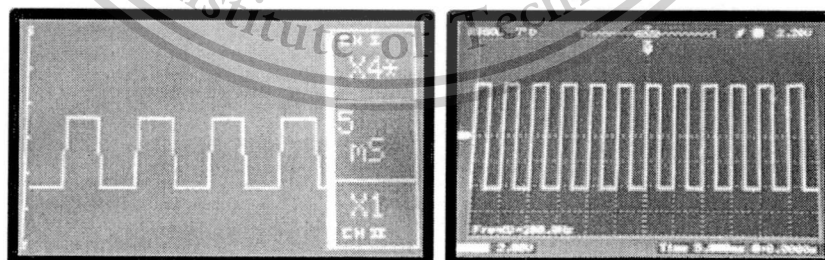
ก)

ข)

รูปที่ 4.25 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 100 Hz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 100Hz

ความถี่ 200 Hz



ก)

ข)

รูปที่ 4.26 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 200 Hz

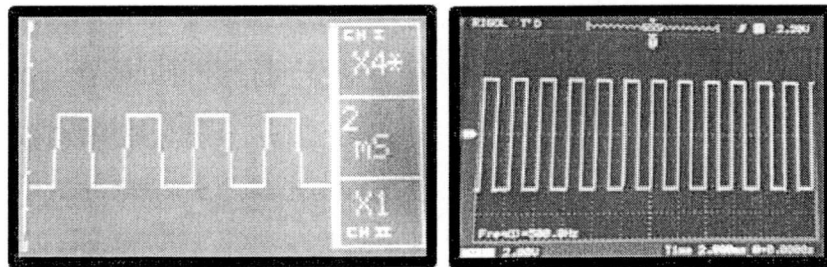
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 200 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 500 Hz



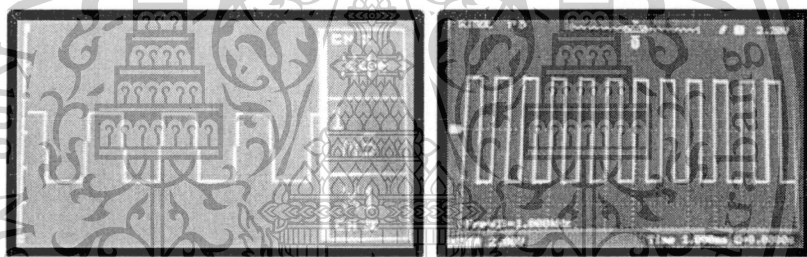
ก)

ข)

รูปที่ 4.27 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 500 Hz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 500 Hz

ความถี่ 1 kHz



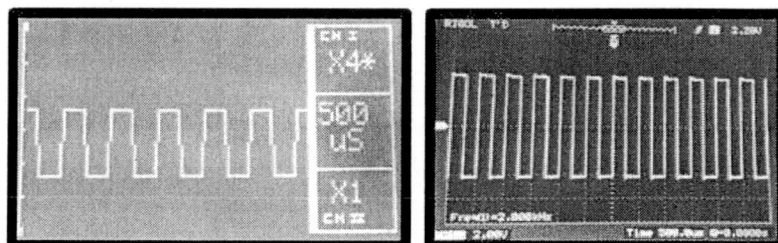
ก)

ข)

รูปที่ 4.28 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 kHz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1 kHz

ความถี่ 2 kHz



ก)

ข)

รูปที่ 4.29 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 kHz

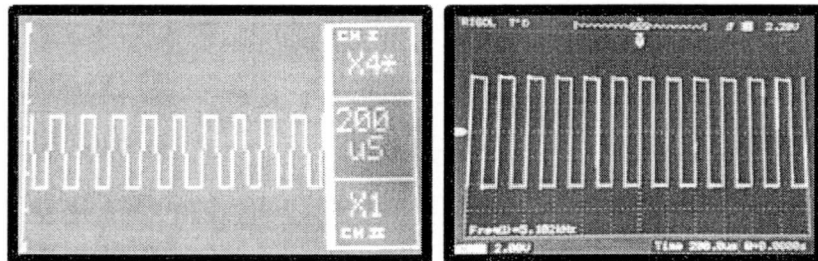
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ (ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 kHz

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 5 kHz



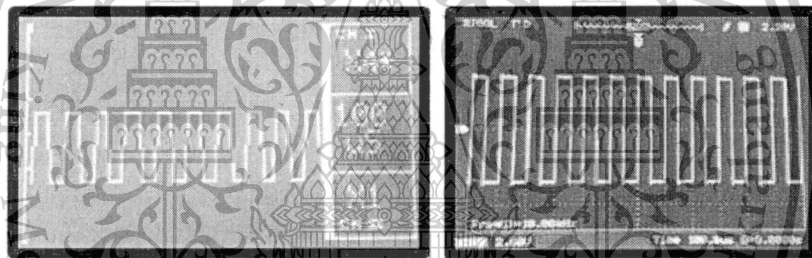
ก)

ข)

รูปที่ 4.30 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 kHz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 5 kHz

ความถี่ 10 kHz



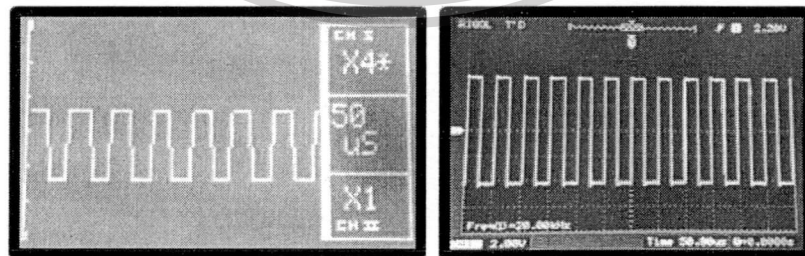
ก)

ข)

รูปที่ 4.31 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 kHz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 10 kHz

ความถี่ 20 kHz



ก)

ข)

รูปที่ 4.32 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 kHz

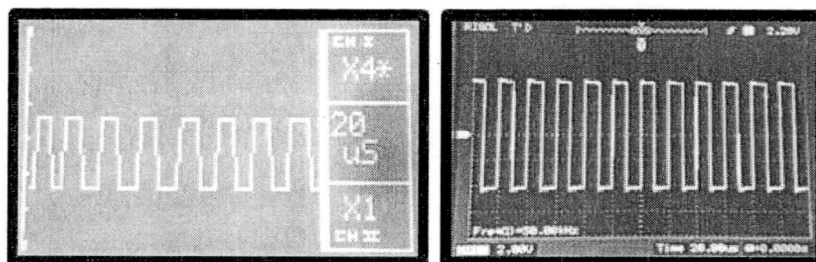
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดูแลของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 50 kHz



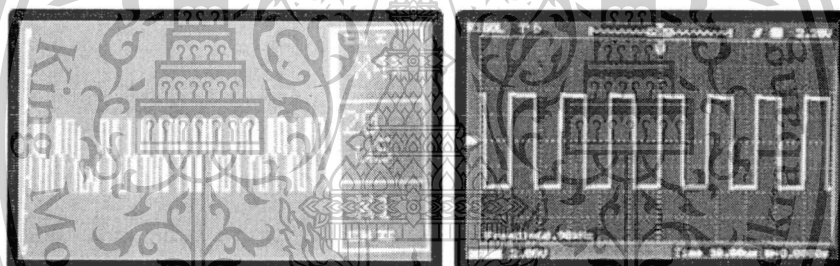
ก)

ข)

รูปที่ 4.33 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 kHz

ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 50 kHz

ความถี่เกิน 50 kHz



ก)

ข)

รูปที่ 4.34 ก) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 60 kHz

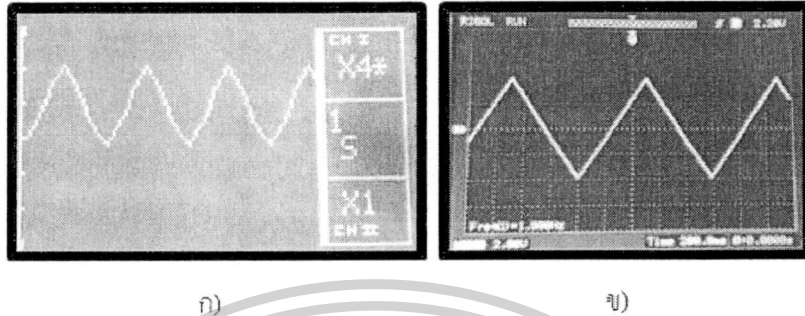
ข) สัญญาณสี่เหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 60 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

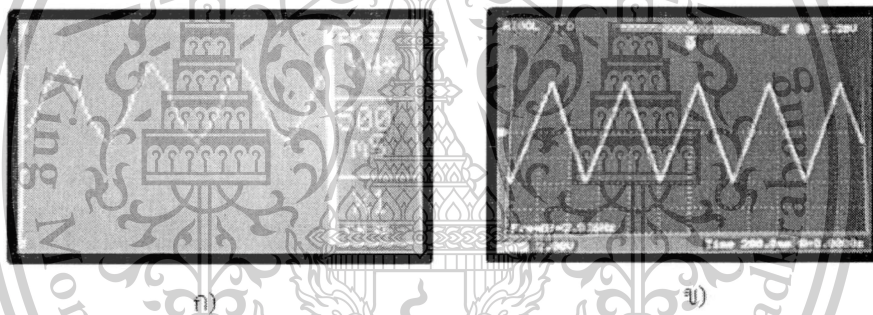
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 ผลการวิเคราะห์รูปคลื่นสามเหลี่ยมของเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยมของเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E ความถี่ 1 Hz



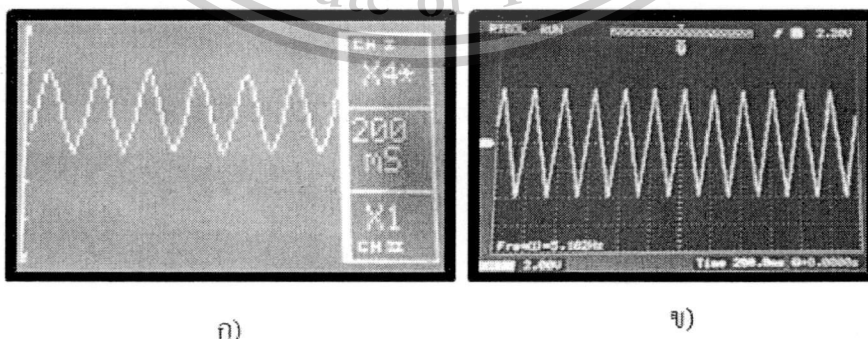
รูปที่ 4.35 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 Hz  
 ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 1 Hz

ความถี่ 2 Hz



รูปที่ 4.36 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 Hz  
 ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 2 Hz

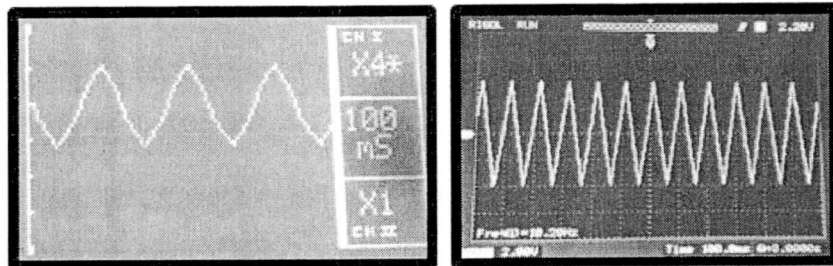
ความถี่ 5 Hz



รูปที่ 4.37 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้ใช้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 10 Hz



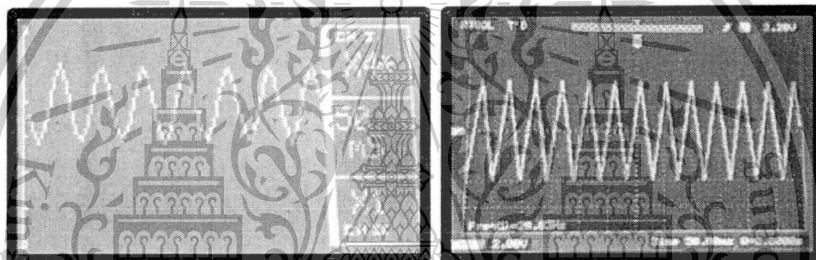
ก)

ข)

รูปที่ 4.38 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 Hz

ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052Eที่10 Hz

ความถี่ 20 Hz



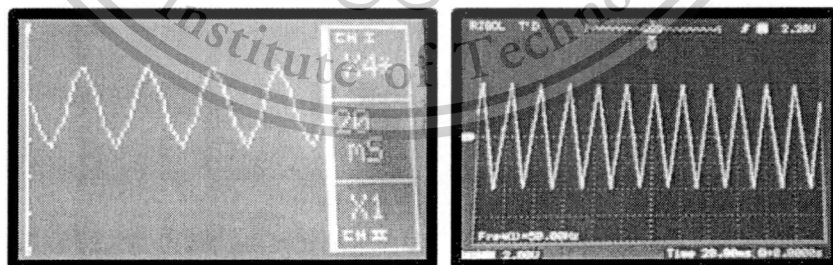
ก)

ข)

รูปที่ 4.39 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 Hz

ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052Eที่20 Hz

ความถี่ 50 Hz



ก)

ข)

รูปที่ 4.40 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 Hz

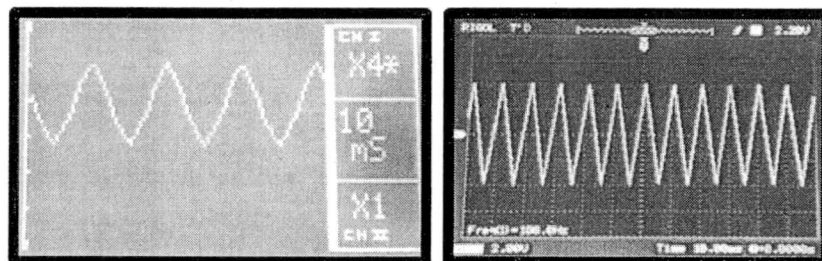
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052Eที่50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 100 Hz



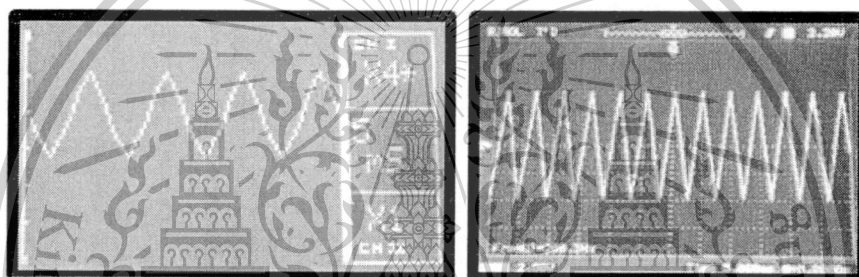
ก)

ข)

รูปที่ 4.41 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 100 Hz

ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 100 Hz

ความถี่ 200 Hz



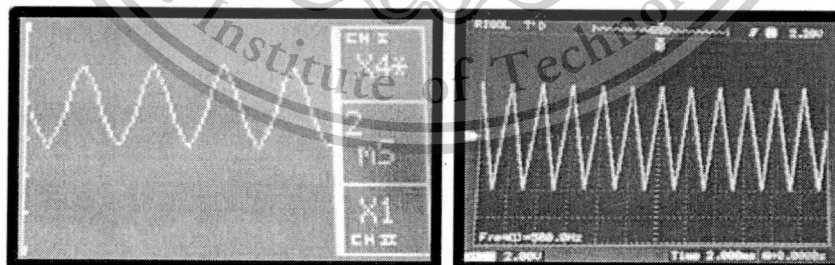
ก)

ข)

รูปที่ 4.42 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 200 Hz

ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 200 Hz

ความถี่ 500 Hz



ก)

ข)

รูปที่ 4.43 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 500 Hz

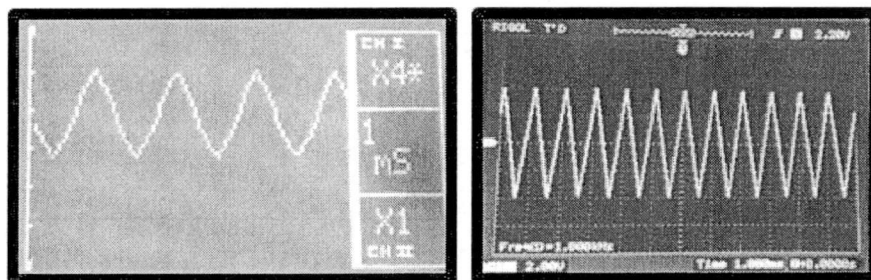
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 1 kHz



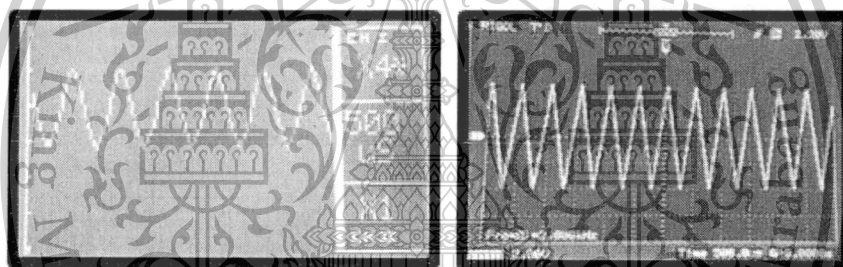
ก)

ข)

รูปที่ 4.44 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 1 kHz

ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 1 kHz

ความถี่ 2 kHz



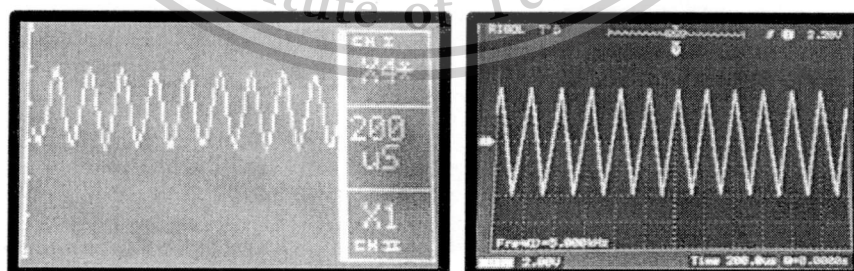
ก)

ข)

รูปที่ 4.45 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 2 kHz

ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 2 kHz

ความถี่ 5 kHz



ก)

ข)

รูปที่ 4.46 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 5 kHz

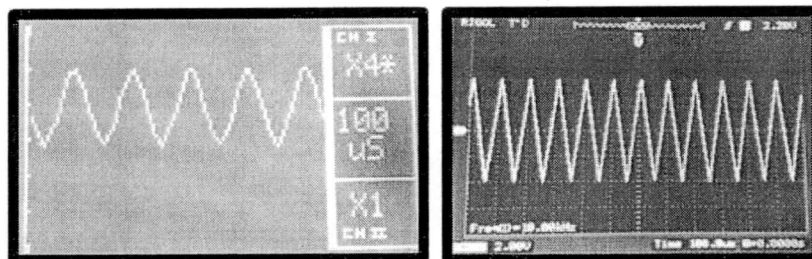
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 5 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่ 10 kHz



ก)

ข)

รูปที่ 4.47 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 10 kHz

ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 10 kHz

ความถี่ 20 kHz



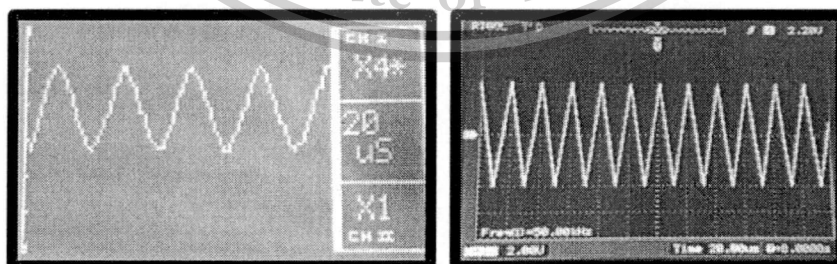
ก)

ข)

รูปที่ 4.48 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 20 kHz

ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 20 kHz

ความถี่ 50 kHz



ก)

ข)

รูปที่ 4.49 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 50 kHz

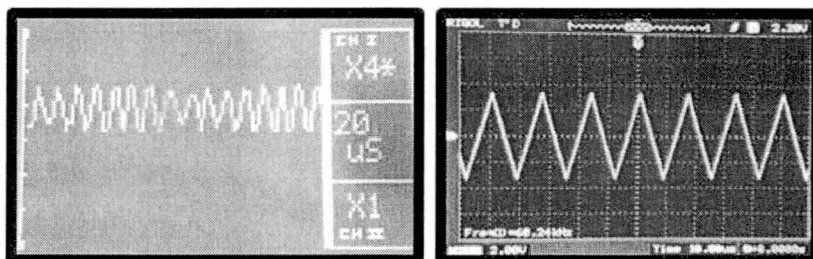
ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปRigol DS1052Eที่ 50 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่เกิน 50 kHz



ก)

ข)

รูปที่ 4.50 ก) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ 60 kHz

ข) สัญญาณสามเหลี่ยมที่วัดได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol DS1052E ที่ 60 kHz

จากผลการทดสอบพบว่าต้นแบบเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาสามารถวัดสัญญาณความถี่สูงสุดที่ 50 kHz เมื่อวัดเกินจาก 50 kHz ไปจะไม่สามารถวิเคราะห์รูปสัญญาณได้อีกไม่ว่าจะเป็นรูปคลื่นไซน์, คลื่นจตุรัสหรือรูปคลื่นสามเหลี่ยมก็ตาม แต่เมื่อเกิน 50 kHz ขึ้นไป เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E ก็ยังสามารถวัดสัญญาณได้ปกติเนื่องจากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E มีช่วงความถี่สูงสุดที่วัดได้อยู่ที่ 50 MHz

4.3 ผลการวิเคราะห์การอ่านค่าความถี่

4.3.1 การอ่านค่าความถี่จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 1

ตารางที่ 4.2 ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 1

ความถี่ (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 1 (Hz)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิทัลลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิทัลลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1 (Hz)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
10.00	10.00	11.00	10.00	10.00	10.00	10.20
20.00	21.00	20.00	21.00	20.00	20.00	20.40
30.00	30.00	30.00	30.00	31.00	31.00	30.40
40.00	40.00	41.00	40.00	41.00	40.00	40.40
50.00	51.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.20
60.00	59.00	60.00	61.00	60.00	61.00	60.20
70.00	70.00	69.00	70.00	71.00	70.00	70.00
80.00	79.00	80.00	80.00	81.00	79.00	79.80
90.00	91.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.20
100.00	101.00	100.00	101.00	99.00	99.00	100.00
200.00	200.00	200.00	201.00	200.00	199.00	200.00
300.00	299.00	300.00	303.00	302.00	302.00	301.20
400.00	401.00	402.00	402.00	405.00	401.00	402.20
500.00	502.00	500.00	505.00	503.00	503.00	502.60
600.00	600.00	603.00	604.00	598.00	601.00	601.20
700.00	702.00	702.00	704.00	697.00	694.00	699.80
800.00	802.00	801.00	801.00	800.00	800.00	800.80
900.00	901.00	901.00	903.00	904.00	900.00	901.80
1000.00	1009.00	1008.00	1005.00	1005.00	1003.00	1006.00
2000.00	2003.00	2001.00	2011.00	2005.00	2008.00	2005.60
3000.00	3011.00	3008.00	3022.00	2994.00	3021.00	3011.20
4000.00	3996.00	3998.00	4005.00	4015.00	4015.00	4005.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 1(ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 1 (Hz)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
5000.00	5001.00	5010.00	5004.00	5008.00	4996.00	5003.80
6000.00	6003.00	6008.00	6035.00	6042.00	5910.00	5999.60
7000.00	7095.00	6915.00	7012.00	7008.00	6998.00	7005.60
8000.00	8010.00	8038.00	8022.00	8009.00	7988.00	8013.40
9000.00	9061.00	9072.00	8942.00	9002.00	9009.00	9017.20
10000.00	10101.00	10088.00	9962.00	9989.00	10007.00	10029.40
20000.00	20015.00	20132.00	19899.00	20025.00	20002.00	20014.60
30000.00	30008.00	30066.00	29988.00	30012.00	30005.00	30015.80
40000.00	40104.00	40102.00	40006.00	39944.00	39998.00	40030.80
50000.00	50025.00	50025.00	49899.00	49998.00	50055.00	50000.40

4.3.2 การอ่านค่าความถี่จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 2

ตารางที่ 4.3 ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 2

ความถี่ (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 2 (Hz)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 2 (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 2 (Hz)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
10.00	10.00	10.00	10.00	11.00	11.00	10.40
20.00	20.00	21.00	20.00	20.00	20.00	20.20
30.00	31.00	32.00	30.00	30.00	30.00	30.60
40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	51.00	50.20
60.00	60.00	60.00	60.00	61.00	61.00	60.40
70.00	71.00	71.00	70.00	70.00	70.00	70.40
80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	79.00	79.80
90.00	90.00	92.00	90.00	90.00	90.00	90.40
100.00	100.00	102.00	99.00	99.00	100.00	100.00
200.00	200.00	200.00	200.00	202.00	200.00	200.40
300.00	300.00	300.00	301.00	301.00	301.00	300.60
400.00	405.00	401.00	401.00	402.00	400.00	401.80
500.00	505.00	497.00	502.00	501.00	500.00	501.00
600.00	601.00	601.00	600.00	599.00	601.00	600.40
700.00	700.00	700.00	702.00	699.00	701.00	700.40
800.00	801.00	801.00	802.00	800.00	800.00	800.80
900.00	906.00	902.00	893.00	903.00	900.00	900.80
1000.00	1012.00	1015.00	1002.00	992.00	998.00	1003.80
2000.00	1999.00	2001.00	2008.00	2002.00	2001.00	2002.20
3000.00	3007.00	3002.00	3000.00	2994.00	3009.00	3002.40
4000.00	4012.00	4005.00	3960.00	4012.00	4011.00	4000.00
5000.00	5003.00	5008.00	4998.00	5012.00	4989.00	5002.00
6000.00	6001.00	6001.00	6008.00	6009.00	5945.00	5992.80
7000.00	7077.00	7013.00	7007.00	7008.00	6989.00	7018.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2 (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2 (Hz)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
8000.00	8010.00	8038.00	8022.00	8009.00	7988.00	8013.40
9000.00	9061.00	9072.00	8942.00	9002.00	9009.00	9017.20
10000.00	10011.00	10030.00	10017.00	9964.00	10002.00	10004.80
20000.00	20004.00	20032.00	20038.00	20010.00	20005.00	20017.80
30000.00	30011.00	30088.00	29912.00	30001.00	30001.00	30002.60
40000.00	40145.00	40111.00	40066.00	39832.00	39992.00	40029.20
50000.00	50005.00	50005.00	50025.00	50025.00	49988.00	50009.60

4.3.3 การอ่านค่าความถี่จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ตารางที่ 4.4 ค่าความถี่จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ความถี่ (Hz)	ความถี่จาก Function Generator (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่อง Rigol DS1052E (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 1 (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 2 (Hz)
1.00	1.01	1.01	1.00	1.00
2.00	2.01	2.01	2.00	2.00
3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
6.00	6.01	6.01	6.00	6.00
7.00	7.01	7.01	7.00	7.00
8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
9.00	9.00	9.00	9.00	9.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 ค่าความถี่จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอล  
ออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E (ต่อ)

ความถี่ (Hz)	ความถี่จาก Function Generator (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้ จากเครื่อง Rigol DS1052E (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จาก ดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพา channel 1 (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จาก ดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพา channel 2 (Hz)
10.00	10.00	10.00	10.20	10.40
20.00	20.02	20.02	20.40	20.20
30.00	30.01	30.01	30.40	30.60
40.00	40.01	40.01	40.40	40.00
50.00	50.00	50.00	50.20	50.20
60.00	60.01	60.01	60.20	60.40
70.00	70.00	70.00	70.00	70.40
80.00	80.00	80.00	79.80	79.80
90.00	90.00	90.00	90.20	90.40
100.00	100.01	100.01	100.00	100.00
200.00	200.00	200.00	200.00	200.40
300.00	300.00	300.00	301.20	300.60
400.00	400.03	400.03	402.20	401.80
500.00	500.02	500.02	502.60	501.00
600.00	600.01	600.01	601.20	600.40
700.00	700.02	700.02	699.80	700.40
800.00	800.02	800.02	800.80	800.80
900.00	900.01	900.01	901.80	900.80
1000.00	1000.02	1000.02	1006.00	1003.80
2000.00	2000.03	2000.03	2005.60	2002.20
3000.00	3000.00	3000.00	3011.20	3002.40
4000.00	4000.03	4000.03	4005.80	4000.00

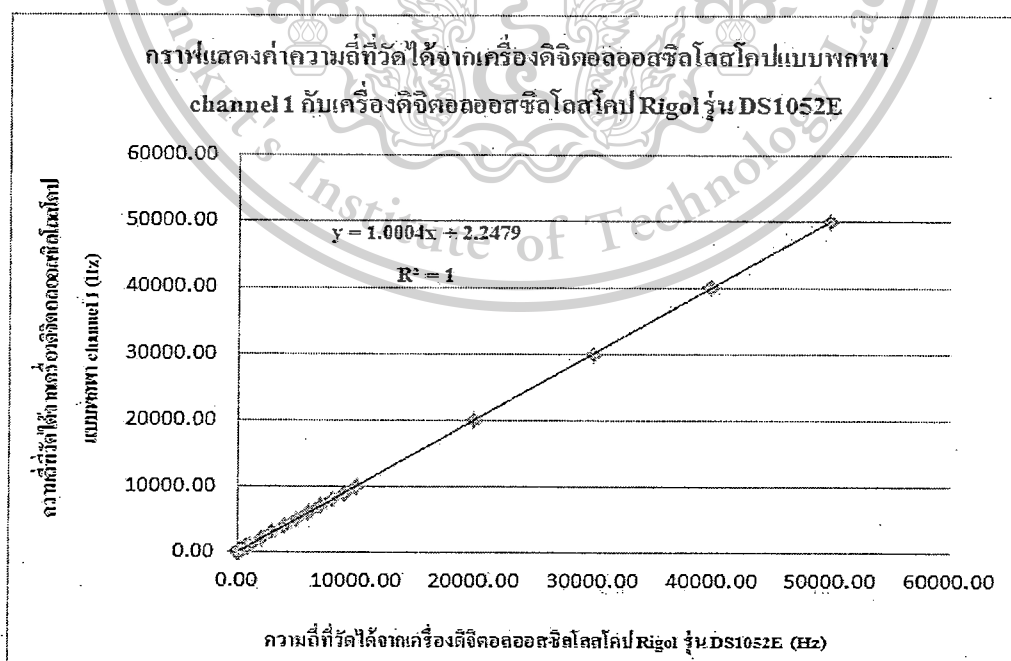
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 ค่าความถี่จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอล  
ออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E (ต่อ)

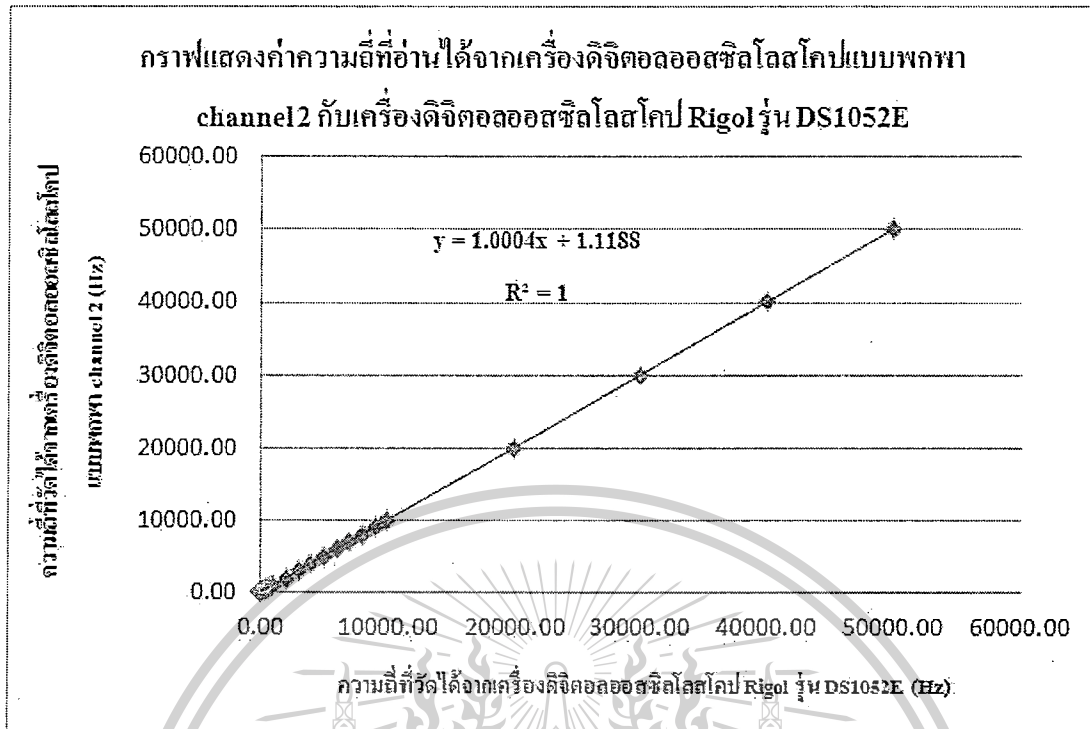
ความถี่ (Hz)	ความถี่จาก Function Generator (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้ จากเครื่อง Rigol DS1052E (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จาก ดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพา channel 1 (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จาก ดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพา channel 2 (Hz)
5000.00	5000.01	5000.01	5003.80	5002.00
6000.00	6000.03	6000.03	5999.60	5992.80
7000.00	7000.10	7000.10	7005.60	7018.80
8000.00	8000.04	8000.04	8013.40	8013.40
9000.00	9000.11	9000.11	9017.20	9017.20
10000.00	10000.12	10000.12	10029.40	10004.80
20000.00	20000.11	20000.11	20014.60	20017.80
30000.00	30000.09	30000.09	30015.80	30002.60
40000.00	40000.08	40000.08	40030.80	40029.20
50000.00	50000.30	50000.30	50000.40	50009.60



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงค่าความถี่ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 1 กับ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่  
เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงค่าความถี่ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 2 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E

4.3.4 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านค่าความถี่ระหว่างเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ตารางที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านค่าความถี่ระหว่างเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่อง Rigol DS1052E (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปแบบพกพา channel 1 (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปแบบพกพา channel 2 (Hz)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านของ Channel 1(%)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านของ Channel 2(%)
1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
2.01	2.00	2.00	0.50	0.50
3.00	3.00	3.00	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านค่าความถี่ระหว่างเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E (ต่อ)

ความถี่ที่อ่านได้จากเครื่อง Rigol DS1052E (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปแบบพกพา channel 1 (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปแบบพกพา channel 2 (Hz)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านของ Channel 1(%)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านของ Channel 2(%)
4.00	4.00	4.00	0.00	0.00
5.00	5.00	5.00	0.00	0.00
6.01	6.00	6.00	0.17	0.17
7.01	7.00	7.00	0.14	0.14
8.00	8.00	8.00	0.00	0.00
9.00	9.00	9.00	0.00	0.00
10.00	10.20	10.40	1.98	3.92
20.02	20.40	20.20	1.88	0.90
30.01	30.40	30.60	1.29	1.95
40.01	40.40	40.00	0.97	0.02
50.00	50.20	50.20	0.40	0.40
60.01	60.20	60.40	0.32	0.65
70.00	70.00	70.40	0.00	0.57
80.00	79.80	79.80	0.25	0.25
90.00	90.20	90.40	0.22	0.44
100.01	100.00	100.00	0.01	0.01
200.00	200.00	200.40	0.00	0.20
300.00	301.20	300.60	0.40	0.20
400.03	402.20	401.80	0.54	0.44
500.02	502.60	501.00	0.51	0.20
600.01	601.20	600.40	0.20	0.06
700.02	699.80	700.40	0.03	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ผู้จัดทำห้ามมิให้เผยแพร่หรือดัดแปลงเนื้อหาใดๆ ที่ต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารหรือสิ่งที่มีกรรมสิทธิ์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในการอ่านค่าความถี่ระหว่างเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E (ต่อ)

ความถี่ที่อ่านได้ จากเครื่อง Rigol DS1052E (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้ จากดิจิตอล สโคปแบบพกพา channel 1 (Hz)	ความถี่ที่อ่านได้ จากดิจิตอล สโคปแบบพกพา channel 2 (Hz)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 1(%)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 2(%)
800.02	800.80	800.80	0.10	0.10
900.01	901.80	900.80	0.20	0.09
1000.02	1006.00	1003.80	0.60	0.38
2000.03	2005.60	2002.20	0.28	0.11
3000.00	3011.20	3002.40	0.37	0.08
4000.03	4005.80	4000.00	0.14	0.00
5000.01	5003.80	5002.00	0.08	0.04
6000.03	5999.60	5992.80	0.01	0.12
7000.10	7005.60	7018.80	0.08	0.27
8000.04	8013.40	8013.40	0.17	0.17
9000.11	9017.20	9017.20	0.19	0.19
10000.12	10029.40	10004.80	0.29	0.05
20000.11	20014.60	20017.80	0.07	0.09
30000.09	30015.80	30002.60	0.05	0.01
40000.08	40030.80	40029.20	0.08	0.07
50000.30	50000.40	50009.60	0.00	0.02

ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบค่าความถี่ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E เมื่อเปรียบเทียบค่าความถี่จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาจากช่องสัญญาณที่ 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดอยู่ที่ 1.98% ที่ความถี่ 10 Hz ส่วนการเปรียบเทียบค่าความถี่จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2 กับเครื่องดิจิตอล

ออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดอยู่ที่ 3.92% ที่ความถี่ 10 Hz เช่นกัน

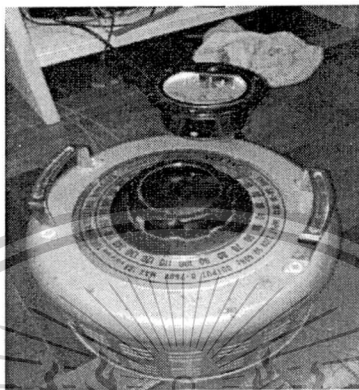
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

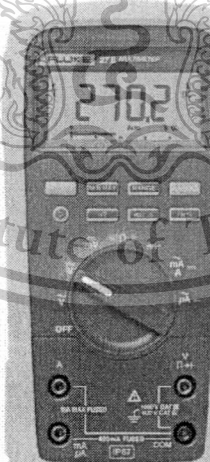
#### 4.4 ผลการวิเคราะห์การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$

ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  ได้ใช้แหล่งกำเนิดแรงดันปรับค่าได้จาก หม้อแปลงปรับค่าได้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.53 หม้อแปลงปรับค่าได้ที่ใช้ในการทดสอบ

การสอบเทียบค่า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการปรับเทียบค่า ADC ของ สัญญาณอินพุตกับค่า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II โดยเลือกใช้ ADC 12 บิต จากโมดูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F103VBT6



รูปที่ 4.54 เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.1 ผลการเปรียบเทียบค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II

ตารางที่ 4.6 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II

ค่า ADC ที่วัดได้จาก เครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบ พกพา	ค่า $V_{pp}$ ที่วัดได้จาก เครื่อง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
0	0.00
41	0.50
82	1.00
120	1.50
162	2.00
208	2.50
250	3.00
285	3.50
326	4.00
366	4.50
412	5.00
450	5.50
492	6.00
530	6.50
577	7.00
616	7.50
658	8.00
695	8.50
734	9.00
777	9.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก<sup>734</sup>งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น<sup>9.00</sup>อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแ<sup>777</sup>เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึง<sup>9.50</sup>ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II (ต่อ)

ค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบ พกพา	ค่า $V_{pp}$ ที่วัดได้จาก เครื่อง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
815	10.00
855	10.50
900	11.00
940	11.50
988	12.00
1019	12.50
1066	13.00
1109	13.50
1149	14.00
1186	14.50
1232	15.00
1270	15.50
1312	16.00
1353	16.50
1396	17.00
1438	17.50
1474	18.00
1517	18.50
1557	19.00
1600	19.50
1640	20.00
1681	20.50
1724	21.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II (ต่อ)

ค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบ พกพา	ค่า $V_{pp}$ ที่วัดได้จาก เครื่อง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
1765	21.50
1802	22.00
1843	22.50
1884	23.00
1927	23.50
1968	24.00
2005	24.50
2049	25.00
2091	25.50
2134	26.00
2173	26.50
2216	27.00
2255	27.50
2298	28.00
2337	28.50
2378	29.00
2419	29.50
2462	30.00
2503	30.50
2540	31.00
2581	31.50
2624	32.00
2668	32.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II (ต่อ)

ค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบ พกพา	ค่า $V_{pp}$ ที่วัดได้จาก เครื่อง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
2706	33.00
2747	33.50
2785	34.00
2829	34.50
2870	35.00
2911	35.50
2952	36.00
2993	36.50
3036	37.00
3073	37.50
3116	38.00
3155	38.50
3200	39.00
3235	39.50
3280	40.00
3321	40.50
3364	41.00
3405	41.50
3440	42.00
3485	42.50
3523	43.00
3567	43.50
3610	44.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

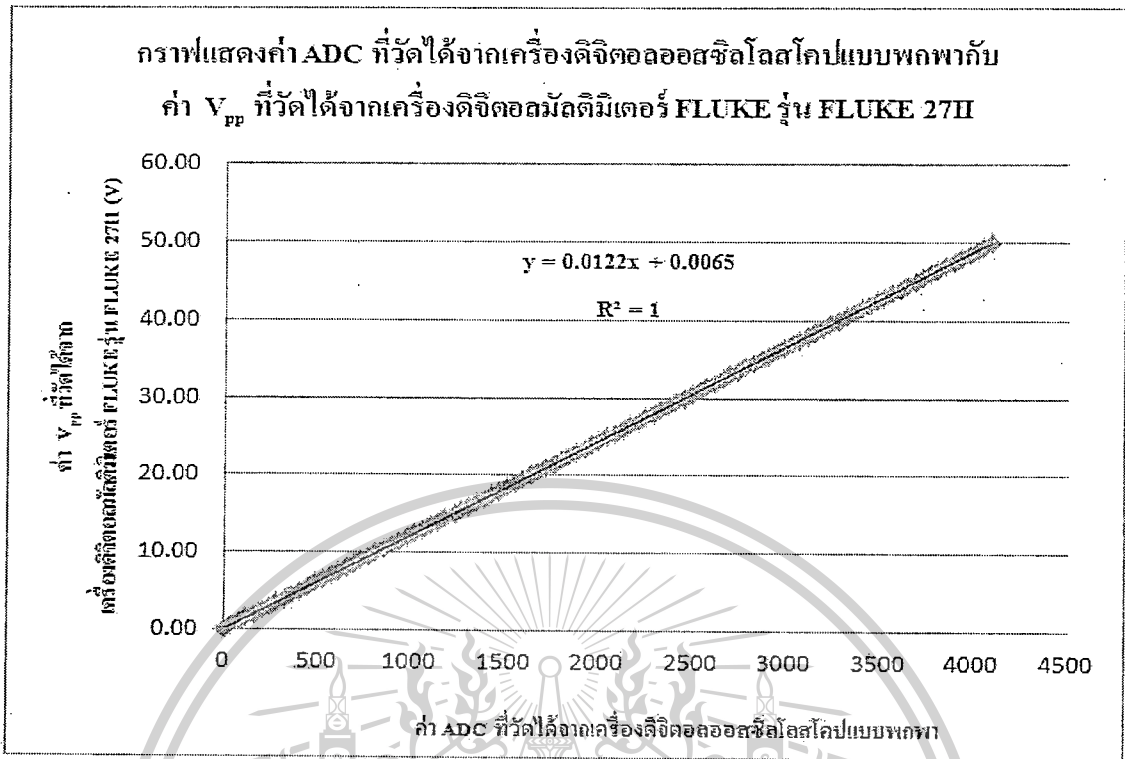
ตารางที่ 4.6 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II (ต่อ)

ค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบ พกพา	ค่า $V_{pp}$ ที่วัดได้จาก เครื่อง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
3647	44.50
3690	45.00
3732	45.50
3772	46.00
3813	46.50
3854	47.00
3895	47.50
3934	48.00
3977	48.50
4023	49.00
4055	49.50
4095	50.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า  $V_{pp}$  ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II

**4.4.2 ผลการเปรียบเทียบค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า  $V_{rms}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II**

ตารางที่ 4.7 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า  $V_{rms}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II

ค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพา	ค่า $V_{rms}$ ที่วัดได้จาก เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
0	0.00
135	0.50
270	1.00
413	1.50
541	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{rms}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II (ต่อ)

ค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพา	ค่า $V_{rms}$ ที่วัดได้จาก เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
680	2.50
821	3.00
950	3.50
1088	4.00
1230	4.50
1370	5.00
1507	5.50
1644	6.00
1780	6.50
1918	7.00
2051	7.50
2193	8.00
2329	8.50
2466	9.00
2603	9.50
2728	10.00
2877	10.50
3014	11.00
3151	11.50
3288	12.00
3419	12.50
3558	13.00
3677	13.50

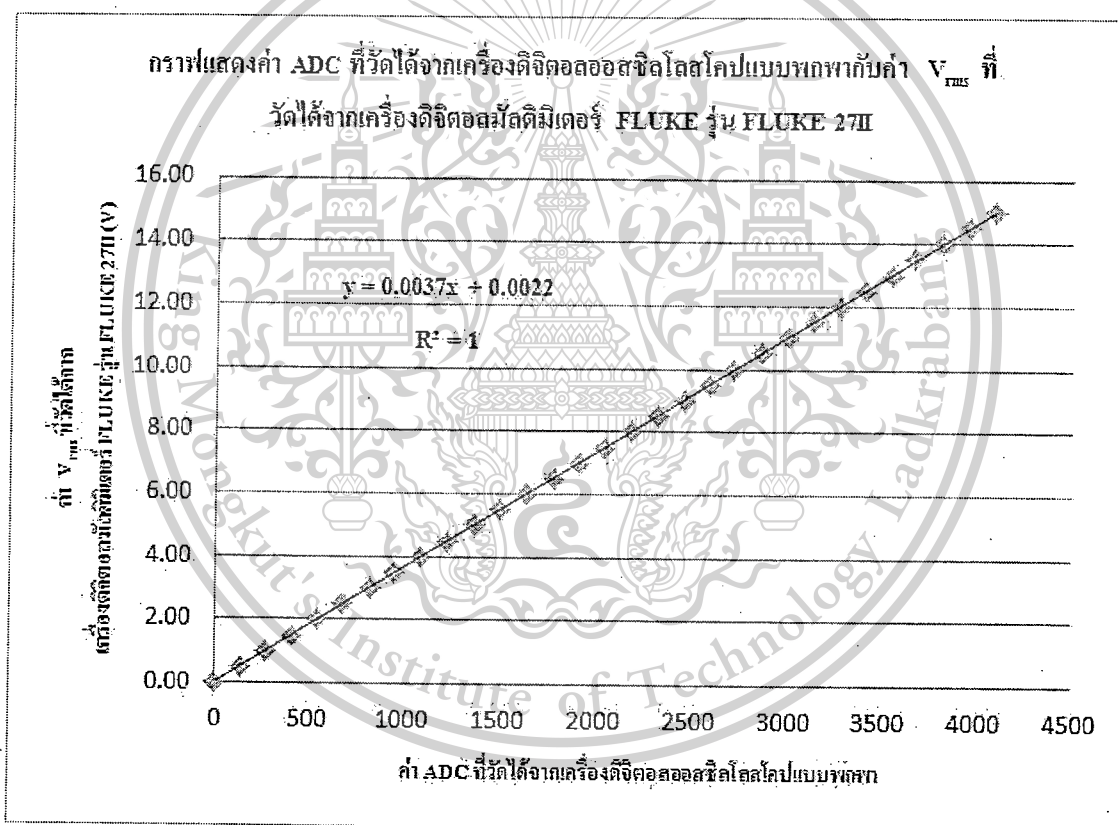
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{rms}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II (ต่อ)

ค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพา	ค่า $V_{rms}$ ที่วัดได้จาก เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
3825	14.00
3968	14.50
4095	15.00



รูปที่ 4.56 กราฟแสดงค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{rms}$  ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.3 ผลการเปรียบเทียบค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II

ตารางที่ 4.8 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับค่า  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II

ค่า ADC ที่วัดได้จาก เครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบ พกพา	ค่า $V_{avg}$ ที่วัดได้จาก เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
0	0.00
128	0.50
262	1.00
411	1.50
548	2.00
692	2.50
829	3.00
952	3.50
1080	4.00
1225	4.50
1368	5.00
1509	5.50
1632	6.00
1769	6.50
1910	7.00
2047	7.50
2186	8.00
2311	8.50
2458	9.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาควิชา 2458 เพื่อการศึกษาเท่านั้น 9.00 มอนูญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

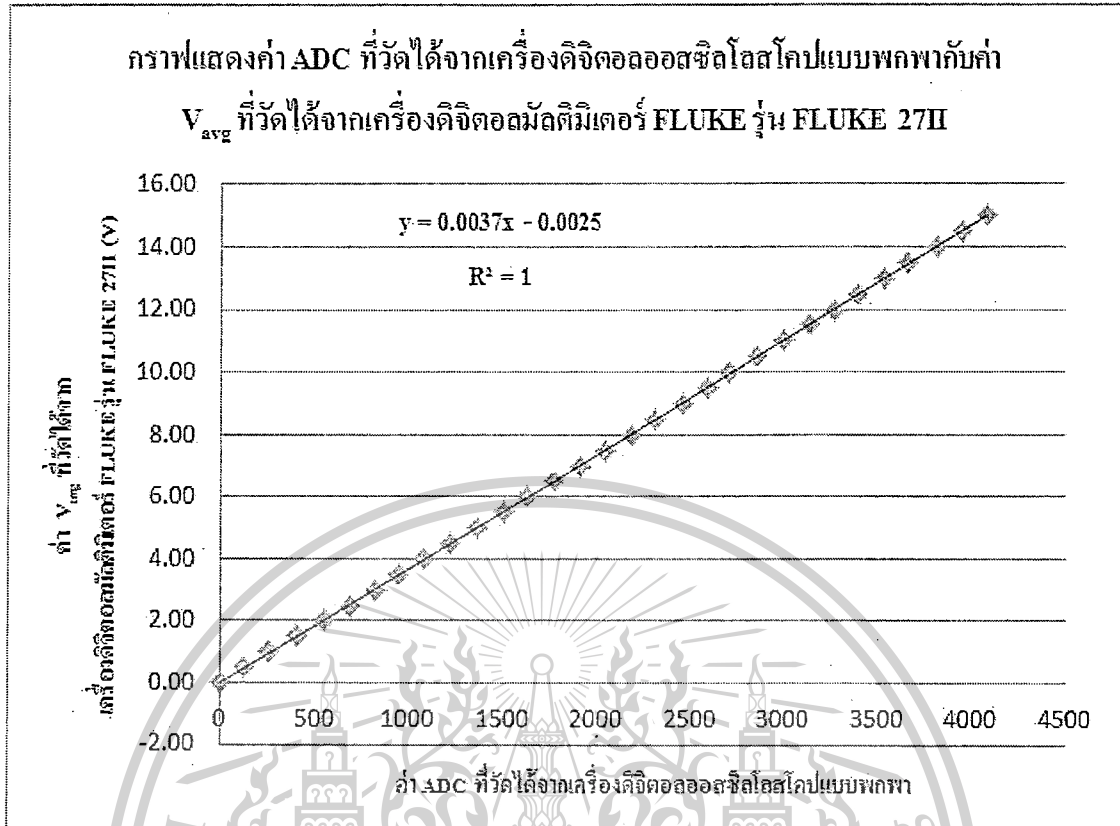
ตารางที่ 4.8 ค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II (ต่อ)

ค่า ADC ที่วัดได้จาก เครื่องดิจิตอล ออสซิลโลสโคปแบบ พกพา	ค่า $V_{pp}$ ที่วัดได้จาก เครื่อง ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II
2592	9.50
2711	10.00
2861	10.50
3003	11.00
3144	11.50
3278	12.00
3401	12.50
3541	13.00
3664	13.50
3818	14.00
3955	14.50
4083	15.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงค่า ADC ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า  $V_{avg}$  ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น FLUKE 27II

ผลการเปรียบเทียบค่า ADC จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับค่า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 27II จะได้สมการเปรียบเทียบค่า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  ดังนี้

$$V_{pp} = 0.0122 (ADC) + 0.0065 \quad (4.1)$$

$$V_{rms} = 0.0037(ADC) + 0.0022 \quad (4.2)$$

$$V_{avg} = 0.0037(ADC) - 0.0025 \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.4.4 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1

ตารางที่ 4.9 แรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1

$V_{pp}$ (V)	แรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1 (V)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1.00	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01
2.00	2.01	2.04	2.00	2.00	2.00	2.01
3.00	3.00	3.02	3.00	3.01	3.00	3.01
4.00	4.00	4.01	4.03	4.01	4.00	4.01
5.00	5.01	5.01	5.00	5.00	5.00	5.00
6.00	6.01	6.02	6.00	6.00	6.01	6.01
7.00	7.00	7.02	7.02	7.00	7.02	7.01
8.00	8.01	8.03	8.02	8.01	8.01	8.02
9.00	9.01	9.00	9.01	9.02	9.02	9.01
10.00	9.98	10.01	9.98	10.03	10.02	10.00
12.00	12.04	11.98	12.01	12.00	12.00	12.01
14.00	14.04	14.00	14.00	14.00	14.04	14.02
16.00	15.98	16.00	16.02	16.00	16.01	16.00
18.00	18.00	18.02	17.98	18.03	18.02	18.01
20.00	20.04	20.00	20.04	20.00	20.00	20.02
22.00	22.04	22.00	22.00	22.04	22.00	22.02
24.00	24.00	23.98	24.00	24.00	24.02	24.00
26.00	26.00	26.00	26.02	26.00	26.00	26.00
28.00	28.00	28.02	28.00	27.96	28.00	28.00
30.00	30.00	30.00	30.00	30.02	30.02	30.01
32.00	32.02	32.00	31.98	32.00	32.02	32.00
34.00	34.02	34.02	34.00	34.00	34.00	34.01
36.00	36.02	36.00	36.02	36.04	36.04	36.02
38.00	38.02	38.00	38.04	38.00	38.00	38.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.9 แรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1  
(ต่อ)

$V_{pp}$ (V)	แรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1 (V)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
40.00	40.00	40.00	39.98	40.02	40.04	40.01
42.00	42.02	42.04	42.00	42.00	42.04	42.02
44.00	44.02	44.02	44.04	43.96	44.00	44.01
46.00	46.02	46.04	46.00	46.00	46.02	46.02
48.00	48.04	48.02	48.00	48.02	48.00	48.02
50.00	49.98	50.00	49.98	50.00	50.00	49.99

4.4.5 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2

ตารางที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2

$V_{pp}$ (V)	แรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2 (V)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2.00	2.00	2.01	2.00	2.01	2.00	2.00
3.00	3.00	3.01	3.01	3.00	3.01	3.01
4.00	4.00	4.01	4.00	4.01	4.00	4.00
5.00	5.01	5.00	5.01	5.00	5.01	5.01
6.00	6.00	6.02	6.00	6.02	6.00	6.01
7.00	7.00	7.00	7.01	7.00	7.00	7.00
8.00	8.02	8.00	8.02	8.00	8.00	8.01
9.00	9.00	9.02	9.04	8.98	9.00	9.01
10.00	10.02	9.98	10.00	10.02	10.00	10.00
12.00	12.04	12.00	12.00	12.02	11.98	12.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโคป แบบพกพาของสัญญาณที่ 2  
(ต่อ)

$V_{pp}$ (V)	แรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโคป แบบพกพาของสัญญาณที่ 2 (V)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
14.00	14.02	14.02	14.00	14.02	13.98	14.01
16.00	16.04	16.00	15.98	16.00	16.00	16.00
18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.02	18.00
20.00	20.02	20.00	20.01	20.00	19.98	20.00
22.00	22.04	22.02	22.00	22.00	22.04	22.02
24.00	24.04	24.00	24.00	24.00	24.00	24.01
26.00	26.00	25.98	26.04	26.04	26.00	26.01
28.00	28.00	28.00	28.02	28.02	28.00	28.01
30.00	29.98	30.02	30.00	30.00	30.00	30.00
32.00	32.01	32.00	32.04	32.00	32.00	32.01
34.00	34.00	34.00	34.02	34.00	34.00	34.00
36.00	36.00	36.02	36.02	36.00	35.98	36.00
38.00	38.00	38.00	38.00	38.02	38.00	38.00
40.00	40.00	40.02	40.00	40.00	40.02	40.01
42.00	42.02	42.00	42.04	42.02	42.00	42.02
44.00	44.02	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
46.00	46.02	46.02	46.00	45.98	46.00	46.00
48.00	48.00	47.98	47.98	48.00	48.00	47.99
50.00	49.98	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.6 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ตารางที่ 4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

$V_{pp}$ (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง Rigol DS1052E (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปพกพา channel 1 (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปพกพา channel 2 (V)
1.00	1.00	1.01	1.00
2.00	2.01	2.01	2.00
3.00	3.00	3.01	3.01
4.00	4.00	4.01	4.00
5.00	5.01	5.00	5.01
6.00	6.00	6.01	6.01
7.00	7.00	7.01	7.00
8.00	8.00	8.02	8.01
9.00	9.01	9.01	9.01
10.00	10.00	10.00	10.00
12.00	12.00	12.01	12.01
14.00	14.01	14.02	14.01
16.00	16.00	16.00	16.00
18.00	18.00	18.01	18.00
20.00	20.00	20.02	20.00
22.00	22.01	22.02	22.02
24.00	24.00	24.00	24.01
26.00	26.00	26.00	26.01
28.00	28.00	28.00	28.01
30.00	30.00	30.01	30.00

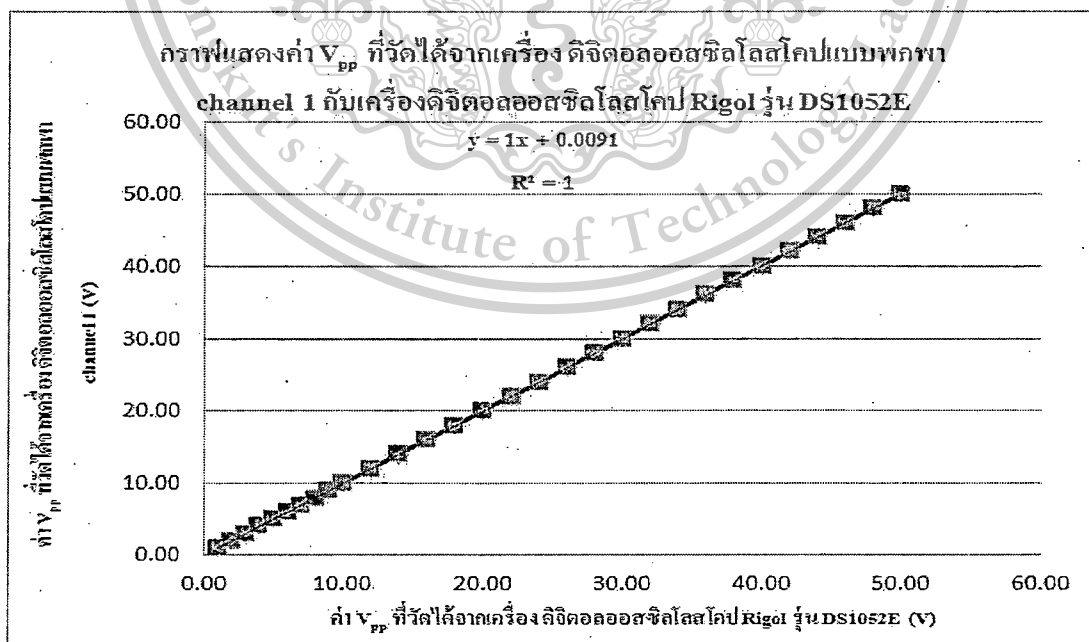
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E (ต่อ)

$V_{pp}$ (V)	แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง Rigol DS1052E (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปพกพา channel 1 (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปพกพา channel 2 (V)
32.00	32.01	32.00	32.01
34.00	34.00	34.01	34.00
36.00	36.00	36.02	36.00
38.00	38.01	38.01	38.00
40.00	40.00	40.01	40.01
42.00	42.00	42.02	42.02
44.00	44.00	44.01	44.00
46.00	46.01	46.02	46.00
48.00	48.00	48.02	47.99
50.00	50.00	49.99	50.00



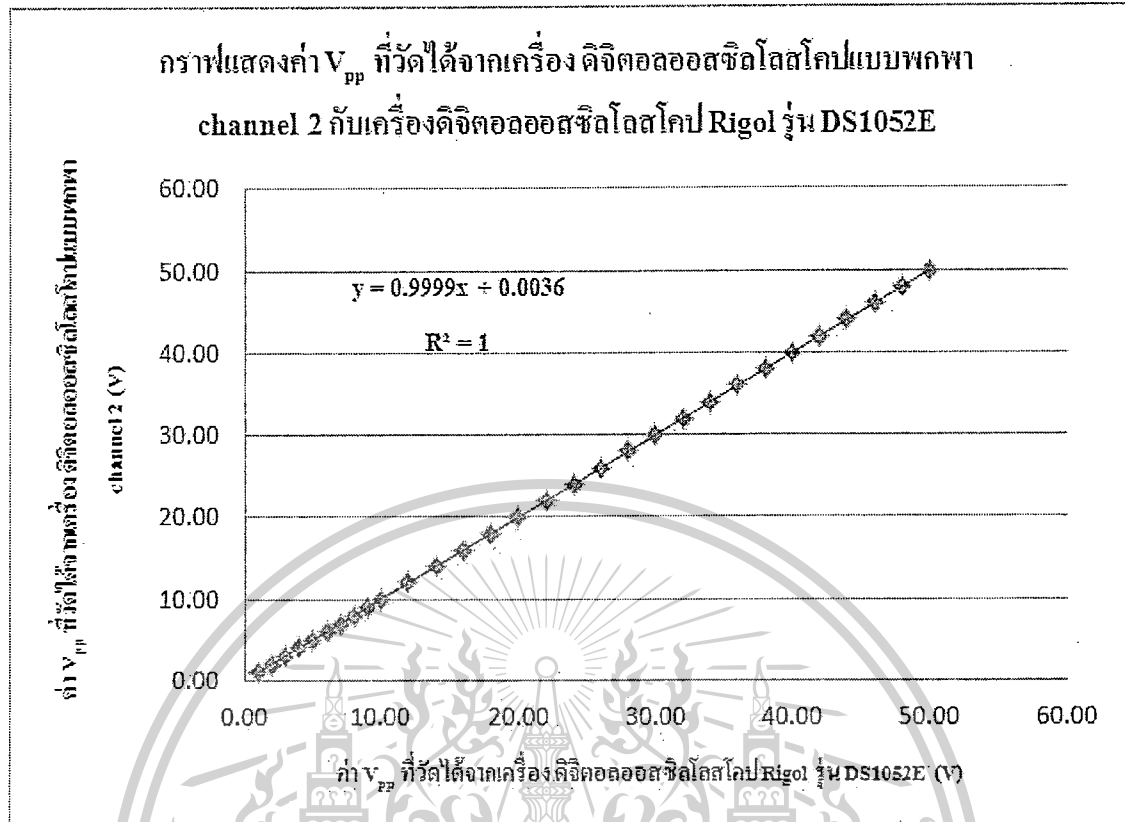
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงค่า  $V_{pp}$  ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเนื้อหาอาจมีข้อผิดพลาดได้ กรุณาตรวจสอบเนื้อหาให้ละเอียดก่อนนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.59 กราฟแสดงค่า  $V_{pp}$  ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 2 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E

#### 4.4.7 เปรียบเทียบความแตกต่างการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{pp}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ตารางที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

แรงดันไฟฟ้า ไฟฟ้าที่อ่านได้ จากเครื่อง Rigol DS1052E (V)	แรงดันไฟฟ้าที่ อ่านได้จาก ดิจิตอลสโคปพก พา channel 1 (V)	แรงดันไฟฟ้าที่ อ่านได้จาก ดิจิตอลสโคปพก พา channel 2 (V)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 1(%)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 2(%)
1.00	1.01	1.00	1.00	0.00
2.01	2.01	2.00	0.00	0.50
3.00	3.01	3.01	0.33	0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E (ต่อ)

แรงดันไฟฟ้า ไฟฟ้าที่อ่านได้ จากเครื่อง Rigol DS1052E (V)	แรงดันไฟฟ้าที่ อ่านได้จาก ดิจิตอลสโคป พกพา channel 1 (V)	แรงดันไฟฟ้าที่ อ่านได้จาก ดิจิตอลสโคป พกพา channel 2 (V)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 1(%)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 2(%)
4.00	4.01	4.00	0.25	0.00
5.01	5.00	5.01	0.20	0.00
6.00	6.01	6.01	0.17	0.17
7.00	7.01	7.00	0.14	0.00
8.00	8.02	8.01	0.25	0.12
9.01	9.01	9.01	0.00	0.00
10.00	10.00	10.00	0.00	0.00
12.00	12.01	12.01	0.08	0.08
14.01	14.02	14.01	0.07	0.00
16.00	16.00	16.00	0.00	0.00
18.00	18.01	18.00	0.06	0.00
20.00	20.02	20.00	0.10	0.00
22.01	22.02	22.02	0.05	0.05
24.00	24.00	24.01	0.00	0.04
26.00	26.00	26.01	0.00	0.04
28.00	28.00	28.01	0.00	0.04
30.00	30.01	30.00	0.03	0.00
32.01	32.00	32.01	0.03	0.00
34.00	34.01	34.00	0.03	0.00
36.00	36.02	36.00	0.06	0.00
38.01	38.01	38.00	0.00	0.03
40.00	40.01	40.01	0.02	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E (ต่อ)

แรงดันไฟฟ้า ไฟฟ้าที่อ่านได้ จากเครื่อง Rigol DS1052E (V)	แรงดันไฟฟ้าที่ อ่านได้จาก ดิจิตอลสโคป พกพา channel 1 (V)	แรงดันไฟฟ้าที่ อ่านได้จาก ดิจิตอลสโคป พกพา channel 2 (V)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 1(%)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 2(%)
42.00	42.02	42.02	0.05	0.05
44.00	44.01	44.00	0.02	0.00
46.01	46.02	46.00	0.02	0.02
48.00	48.02	47.99	0.04	0.02
50.00	49.99	50.00	0.02	0.00

ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบค่า  $V_{pp}$  ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E เมื่อเปรียบเทียบค่า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E จะพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดอยู่ที่ 1.00% ที่แรงดันไฟฟ้า 1 V ส่วนการเปรียบเทียบค่า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E ซึ่งจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดอยู่ที่ 0.50% ที่แรงดันไฟฟ้า 2 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$

##### 4.5.1 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 1

ตารางที่ 4.13 แรงดันไฟฟ้า  $V_{rms}$  ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1

$V_{rms}$ (V)	แรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1 (V)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
2.00	2.00	2.00	2.01	2.02	2.00	2.01
3.00	3.00	3.02	3.00	3.00	3.01	3.01
4.00	4.02	4.00	4.00	4.02	4.00	4.01
5.00	5.00	5.00	5.00	4.98	5.00	5.00
6.00	6.00	6.02	6.00	6.00	6.02	6.01
7.00	7.00	7.02	7.00	7.00	7.01	7.01
8.00	8.00	8.00	8.01	8.01	8.02	8.01
9.00	9.00	9.02	9.01	9.00	9.00	9.01
10.00	10.02	10.02	10.00	10.00	10.00	10.01
11.00	11.02	11.00	11.00	11.02	11.04	11.02
12.00	12.02	12.00	12.00	11.98	12.00	12.00
13.00	13.02	13.02	13.00	13.00	13.00	13.01
14.00	14.00	14.04	13.98	13.98	14.00	14.00
15.00	15.04	15.02	15.04	14.98	15.00	15.02

\*\* ที่  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาไม่สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าเกิน 15V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.5.2 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 2

ตารางที่ 4.14 แรงดันไฟฟ้า  $V_{rms}$  ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2

$V_{rms}$ (V)	แรงดันไฟฟ้า $V_{rms}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2 (V)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1.00	1.01	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00
2.00	2.00	2.02	2.02	2.00	2.00	2.01
3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
4.00	4.02	4.02	4.00	4.02	4.00	4.01
5.00	5.02	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
6.00	6.00	6.00	6.00	6.02	6.02	6.01
7.00	7.02	6.98	7.02	7.00	7.00	7.00
8.00	8.00	8.02	8.00	8.00	8.00	8.00
9.00	9.02	9.00	9.00	9.04	9.00	9.01
10.00	10.02	10.02	10.00	10.02	10.04	10.02
11.00	11.02	10.98	10.98	11.00	11.00	11.00
12.00	12.00	12.02	12.00	12.00	12.00	12.00
13.00	13.02	13.00	13.02	13.00	13.00	13.01
14.00	14.02	14.02	14.00	14.00	13.98	14.00
15.00	15.02	15.00	14.98	15.00	15.00	15.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.3 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{rms}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

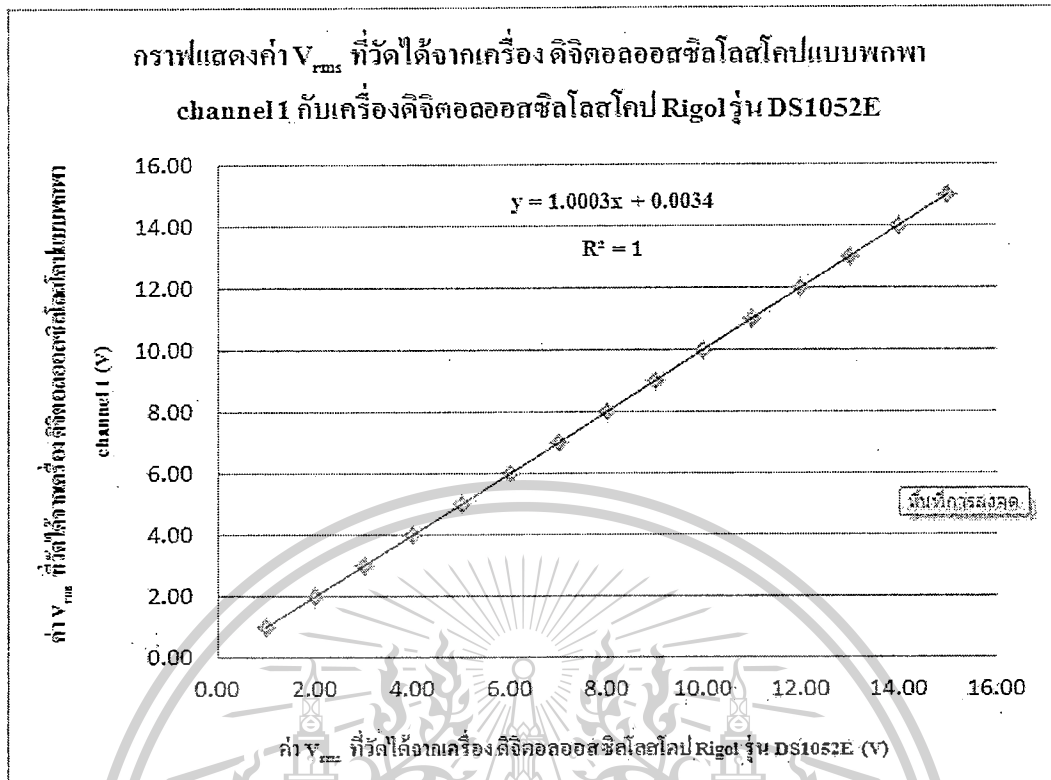
ตารางที่ 4.15 ค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{rms}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

$V_{rms}$ (V)	แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง Rigol DS1052E (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปพกพา channel 1 (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปพกพา channel 2 (V)
1.00	1.00	1.00	1.00
2.00	2.01	2.01	2.01
3.00	3.00	3.01	3.00
4.00	4.00	4.01	4.01
5.00	5.00	5.00	5.00
6.00	6.01	6.01	6.01
7.00	7.00	7.01	7.00
8.00	8.00	8.01	8.00
9.00	9.00	9.01	9.01
10.00	10.01	10.01	10.02
11.00	11.00	11.02	11.00
12.00	12.00	12.00	12.00
13.00	13.00	13.01	13.01
14.00	14.00	14.00	14.00
15.00	15.01	15.02	15.00

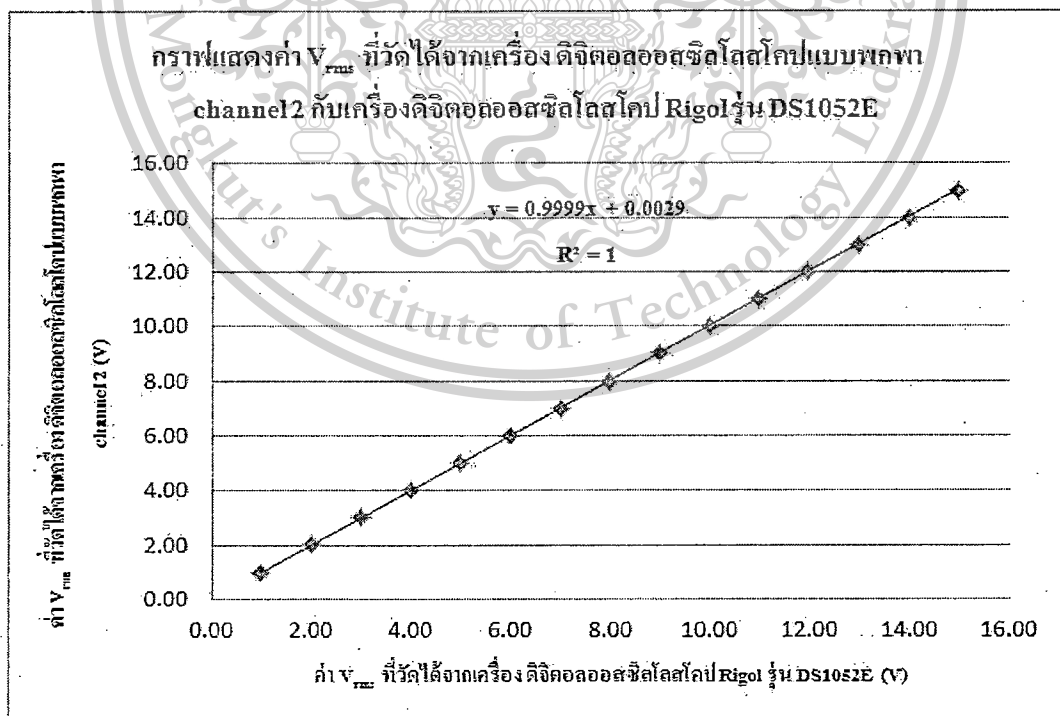
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงค่า  $V_{rms}$  ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E



รูปที่ 4.61 กราฟแสดงค่า  $V_{rms}$  ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 2 กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนจากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.4 เพอร์เซ็นต์ความแตกต่างการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{rms}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ตารางที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า  $V_{rms}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

แรงดันไฟฟ้า ไฟฟ้าที่อ่านได้ จากเครื่อง Rigol 1052E (V)	แรงดันไฟฟ้าที่ อ่านได้จาก ดิจิตอลสโคป พกพา channel 1 (V)	แรงดันไฟฟ้าที่ อ่านได้จาก ดิจิตอลสโคป พกพา channel 2 (V)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 1(%)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 2(%)
1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
2.01	2.01	2.01	0.00	0.00
3.00	3.01	3.00	0.33	0.00
4.00	4.01	4.01	0.25	0.25
5.00	5.00	5.00	0.00	0.00
6.01	6.01	6.01	0.00	0.00
7.00	7.01	7.00	0.14	0.00
8.00	8.01	8.00	0.12	0.00
9.00	9.01	9.01	0.11	0.11
10.01	10.01	10.02	0.00	0.10
11.00	11.02	11.00	0.18	0.00
12.00	12.00	12.00	0.00	0.00
13.00	13.01	13.01	0.08	0.08
14.00	14.00	14.00	0.00	0.00
15.01	15.02	15.00	0.07	0.07

ผลจากการทดสอบ การเปรียบเทียบค่า  $V_{rms}$  ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E เมื่อเปรียบเทียบค่า  $V_{rms}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E จะพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดอยู่ที่ 0.33% ที่แรงดันไฟฟ้า 3 V ส่วนการไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เปรียบเทียบค่า  $V_{pp}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E ซึ่งจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดอยู่ที่ 0.25% ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V

#### 4.6 ผลการวิเคราะห์การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$

##### 4.6.1 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1

ตารางที่ 4.17 แรงดันไฟฟ้า  $V_{avg}$  ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1

$V_{avg}$ (V)	แรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 1 (V)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1.00	1.01	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00
2.00	2.01	2.00	2.01	2.00	2.01	2.01
3.00	3.00	3.00	3.00	3.01	3.00	3.00
4.00	4.00	4.01	4.02	4.01	4.01	4.01
5.00	5.00	5.02	5.00	5.00	5.02	5.01
6.00	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00	6.01
7.00	6.98	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
8.00	8.02	8.00	8.00	7.98	8.02	8.00
9.00	9.02	9.00	9.00	9.02	9.00	9.01
10.00	10.02	10.00	10.02	10.02	10.02	10.02
11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
12.00	12.02	12.02	12.00	12.00	12.00	12.01
13.00	13.02	13.00	13.00	13.02	13.00	13.01
14.00	13.98	13.98	14.00	14.00	14.00	13.99
15.00	15.00	15.00	15.02	15.00	15.00	15.00

\*\* ที่  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาไม่สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าเกิน 15V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.6.2 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ช่องสัญญาณที่ 2

ตารางที่ 4.18 แรงดันไฟฟ้า  $V_{avg}$  ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2

$V_{avg}$ (V)	แรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ ที่อ่านได้จากดิจิตอลออสซิลโลสโคป แบบพกพาช่องสัญญาณที่ 2 (V)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00
2.00	2.00	2.00	2.02	2.02	2.00	2.01
3.00	3.00	3.01	3.00	3.00	3.02	3.01
4.00	4.01	4.02	4.00	4.00	4.02	4.01
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.02	5.00
6.00	6.00	6.02	6.02	6.00	6.00	6.01
7.00	6.98	6.98	7.00	7.00	7.00	6.99
8.00	8.00	7.98	8.00	8.02	8.00	8.00
9.00	9.00	9.00	9.00	9.02	9.00	9.00
10.00	10.02	10.02	10.04	10.00	10.00	10.02
11.00	11.02	10.98	11.00	11.00	11.00	11.00
12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
13.00	13.02	13.02	13.00	13.00	13.00	13.01
14.00	14.00	14.02	14.00	14.00	14.00	14.00
15.00	15.02	15.02	15.00	15.00	14.98	15.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.6.3 การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

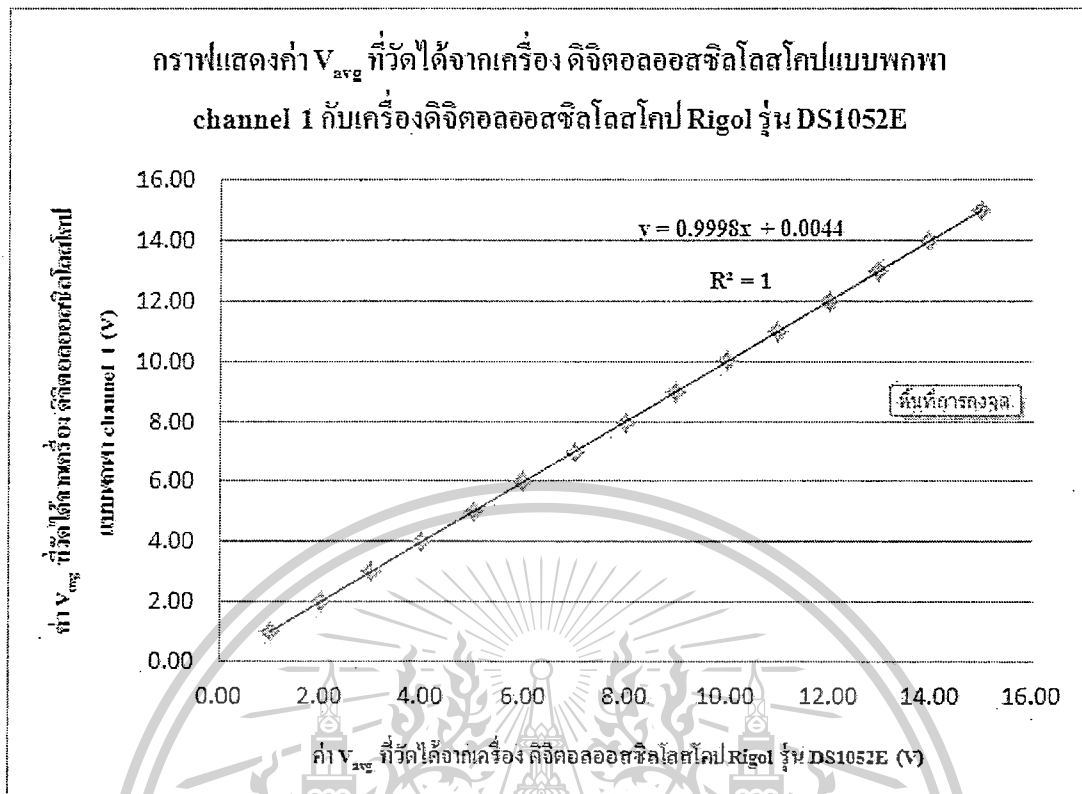
ตารางที่ 4.19 ค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

$V_{avg}$ (V)	แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง Rigol DS1052E (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปพกพา channel 1 (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากดิจิตอลสโคปพกพา channel 2 (V)
1.00	1.00	1.00	1.00
2.00	2.00	2.01	2.01
3.00	3.01	3.00	3.01
4.00	4.00	4.01	4.01
5.00	5.01	5.01	5.00
6.00	6.00	6.01	6.01
7.00	7.00	7.00	6.99
8.00	8.00	8.00	8.00
9.00	9.00	9.01	9.00
10.00	10.00	10.02	10.02
11.00	11.01	11.00	11.00
12.00	12.01	12.01	12.00
13.00	13.00	13.01	13.01
14.00	14.00	13.99	14.00
15.00	15.00	15.00	15.00

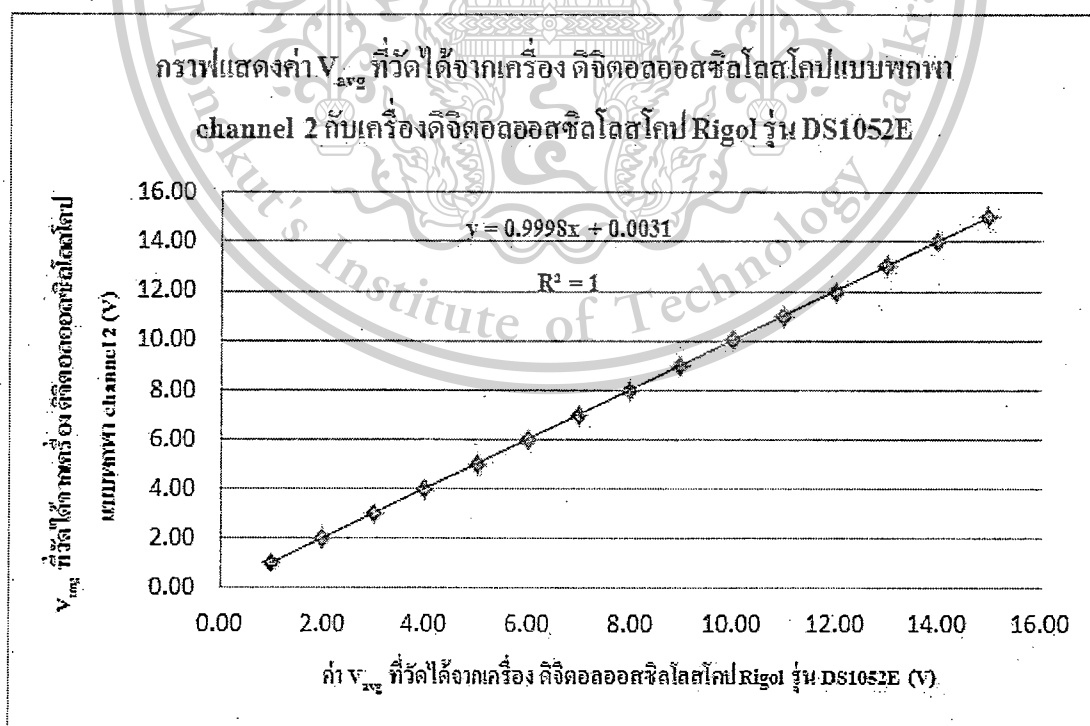
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงค่า  $V_{avg}$  ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E



รูปที่ 4.63 กราฟแสดงค่า  $V_{avg}$  ที่วัดได้จากเครื่อง ดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา channel 2 กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ก่อนเพื่อการศึกษากายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.4 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{avg}$ จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

ตารางที่ 4.20 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเปรียบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E

แรงดันไฟฟ้า ไฟฟ้าที่อ่านได้ จากเครื่อง Rigol 1052E (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่าน ได้จากดิจิตอลสโคป พกพา channel 1 (V)	แรงดันไฟฟ้าที่อ่าน ได้จากดิจิตอลสโคป พกพา channel 2 (V)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 1(%)	เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่างในการ อ่านของ Channel 2(%)
1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
2.00	2.01	2.01	0.50	0.50
3.01	3.00	3.01	0.33	0.00
4.00	4.01	4.01	0.25	0.25
5.01	5.01	5.00	0.00	0.20
6.00	6.01	6.01	0.17	0.17
7.00	7.00	6.99	0.00	0.14
8.00	8.00	8.00	0.00	0.00
9.00	9.01	9.00	0.11	0.00
10.00	10.02	10.02	0.20	0.20
11.01	11.00	11.00	0.09	0.09
12.01	12.01	12.00	0.00	0.08
13.00	13.01	13.01	0.08	0.08
14.00	13.99	14.00	0.07	0.00
15.00	15.00	15.00	0.00	0.00

ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบค่า  $V_{avg}$  ที่วัดได้จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E เมื่อเปรียบเทียบค่า  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 1 กับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น

DS1052E จะพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดอยู่ที่ 0.50% ที่แรงดันไฟฟ้า 2 V ส่วนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เปรียบเทียบค่า  $V_{avg}$  จากเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาของสัญญาณที่ 2 กับเครื่องดิจิตอล  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ออสซิลโลสโคป Rigol รุ่น DS1052E จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดอยู่ที่ 0.50% ที่แรงดันไฟฟ้า 2 V เช่นกัน

#### 4.7 ผลการทดสอบการใช้งานเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา

ความสำเร็จที่แท้จริงของผู้ทำงานวิจัยไม่ว่าจะเป็นงานวิจัยในสาขาใดก็ตาม นั่นคืองานวิจัยที่ได้สร้างสรรค์ขึ้นมาสามารถนำไปใช้ได้จริงและก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยทุกคนคาดหวังที่จะได้รับ สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้มีการนำเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาที่ออกแบบขึ้นมาไปทดสอบการใช้งาน โดยให้นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนสารสาสน์วิเทศร่มเกล้าทำการทดลองใช้ เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์



รูปที่ 4.64 นักเรียนทดลองใช้เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา

จากการที่นักเรียนได้ทดลองใช้งานเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาร่วมกับชุดทดลองไฟฟ้ากระแสสลับ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจความคิดเห็นของนักเรียนหลังการทดสอบการใช้งาน โดยการแจกแบบสอบถามความรู้ความเข้าใจของนักเรียนต่อการใช้เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ซึ่งได้ผลการสำรวจดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จำนวนนักเรียน : 21 คน  
 ชาย : 10 คน หญิง : 11 คน  
 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียน สารสาสน์วิเทศร่มเกล้า

แบบสอบถาม  
 ความรู้ความเข้าใจของนักเรียน  
 ต่อการใช้เครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพา

คำชี้แจง : โปรดกรอกชื่อวงกลม ✓ ลงในช่องที่ตรงกับข้อที่เหมาะสมที่สุด และให้จัดสอบเฉพาะใน  
 ส่วนที่เกี่ยวข้องจากแบบสอบถาม

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

- 1) เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง  
 2) อายุ ..... ปี  
 3) ชั้นปีที่กำลังศึกษา ( ) น.๖ ( ) น.๕ ( ) น.๔ ( ) น.๓ ( ) น.๒ ( ) น.๑ ( ) วิทยาลัย

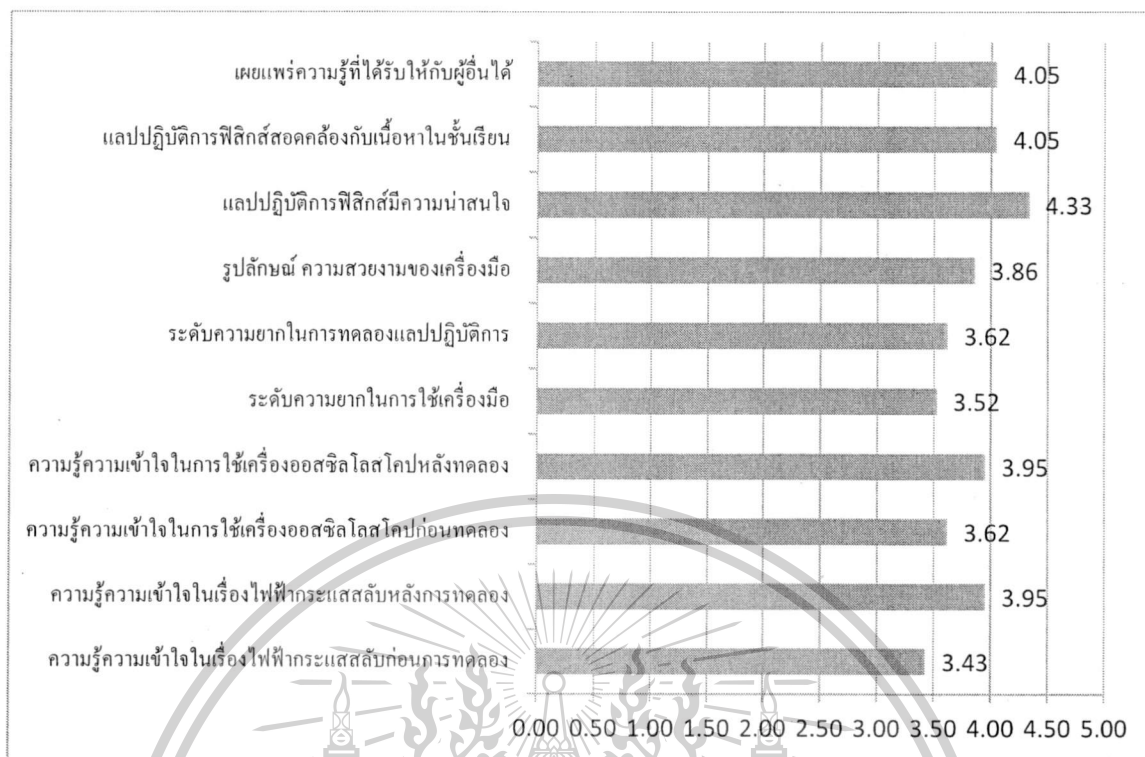
ส่วนที่ 2 ระดับความรู้ความเข้าใจในการใช้เครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพาร่วมกับแอปพลิเคชันปฏิบัติการทางฟิสิกส์

ความรู้ความเข้าใจ	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในเรื่อง ฟิสิกส์ กระแสไฟฟ้าก่อนทดลอง					
2. นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในเรื่อง ฟิสิกส์ กระแสไฟฟ้าหลังทดลอง					
3. นักเรียนมีความเข้าใจในการใช้เครื่องออสซิลโลสโคป ก่อนทดลอง					
4. นักเรียนมีความเข้าใจในการใช้เครื่อง ออสซิลโลสโคปหลังทดลอง					
5. ความยากในการใช้งานเครื่องมือ					
6. ความยากในการทดลองแอปพลิเคชัน					
7. รูปลักษณ์ และความสวยงามของเครื่องดิจิทัล ออสซิลโลสโคปแบบพกพา					
8. ความน่าสนใจของแอปพลิเคชันฟิสิกส์					
9. แอปพลิเคชันฟิสิกส์สอดคล้องกับเนื้อหาในชั้นเรียน					
10. การเผยแพร่ความรู้ที่ได้กับผู้อื่น					

รูปที่ 4.65 แบบทดสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนต่อการใช้เครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.  
 Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.66 กราฟผลสำรวจความรู้ความเข้าใจของนักเรียนต่อการใช้เครื่องมือ

ผลสำรวจความรู้ความเข้าใจของนักเรียนต่อการใช้เครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพา ร่วมกับชุดทดลองไฟฟ้ากระแสสลับ นักเรียนจำนวน 21 คน มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องไฟฟ้ากระแสสลับและการใช้เครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพามากขึ้น มีหลายข้อเสนอแนะที่ต้องการให้นำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในอนาคต และบางข้อเสนอแนะต้องการให้มีความสะดวกในการใช้งาน

ในการทดสอบเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพาเทียบกับเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E สัญญาณรูปคลื่นไซน์, คลื่นจตุรัส และ รูปคลื่นสามเหลี่ยม ตั้งแต่ 0-50 kHz ดิจิตอลออสซิลโลสโคปทั้งสองเครื่องวัดรูปได้ปกติ แต่หลังจาก 50 kHz เครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพาก็ไม่สามารถวิเคราะห์รูปสัญญาณได้ แต่เครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคป Rigol ยังสามารถวัดสัญญาณได้ปกติ อีกทั้งแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0-50V ทั้งสองเครื่องก็สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นปกติ แต่เมื่อเกิน 50V เครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพาก็ไม่สามารถทำการวัดได้ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือ ผู้วิจัยจะทำการปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.8 วิจัยผลการสร้างต้นแบบเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพา

- 4.8.1 จากการทดสอบเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบพกพา พบว่าเครื่องมีขีดจำกัดในการวัดความถี่สูงสุดที่ 50 kHz และแรงดันไฟฟ้าที่ 50 V ซึ่งถ้านำเครื่องไปใช้เกินกว่าย่านที่กำหนด เครื่องมือจะไม่สามารถตรวจวัดได้เพราะมีขีดจำกัดของเฟิร์มแวร์และฮาร์ดแวร์อยู่
- 4.8.2 เนื่องจากต้องการลดต้นทุนจึงทำให้หน้าจอแสดงผลอาจจะดูเล็กไป ทำให้ลำบากในการอ่านค่า
- 4.8.3 ขนาดของตัวเครื่องยังดูใหญ่ไป เนื่องจากยังเป็นตัวต้นแบบอยู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาขึ้น โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 ARM-CORTEX M3 เป็นส่วนประมวลผลและแสดงผลทางกราฟฟิกแอลซีดีขนาด 128x64 พิกเซล สามารถวัดสัญญาณและแสดงผลรูปสัญญาณทางไฟฟ้าได้โดยทำการทดสอบเทียบกับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E เป็นเครื่องที่ได้รับการยอมรับในท้องตลาดอีกทั้งยังมีใบ certificate รับรองการสอบเทียบ ซึ่งผลปรากฏว่ารูปสัญญาณตั้งแต่ 0 - 50KHz ดิจิตอลออสซิลโลสโคปทั้งสองเครื่องวัดรูปสัญญาณรูปคลื่นไซน์, คลื่นจัตุรัส และ รูปคลื่นสามเหลี่ยมได้ปกติ แต่หลังจาก 50KHz เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาก็ไม่สามารถวิเคราะห์รูปสัญญาณได้ แต่เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคป Rigol ยังสามารถวัดสัญญาณได้ปกติ อีกทั้งแรงดันไฟฟ้า ตั้งแต่ 0-50V ทั้งสองเครื่องก็สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นปกติ แต่เมื่อเกิน 50V เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาก็ไม่สามารถทำการวัดได้ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือ

เมื่อวิเคราะห์ผลเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความถี่,  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$  และ  $V_{avg}$  ระหว่างเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพากับเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Rigol รุ่น DS1052E จะพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความถี่ช่องสัญญาณที่ 1 สูงสุดที่ 1.98% ที่ความถี่ 10 Hz และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความถี่ช่องสัญญาณที่ 2 สูงสุดที่ 3.929% ที่ความถี่ 10 Hz เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ  $V_{pp}$  ช่องสัญญาณที่ 1 สูงสุดที่ 1.00% ที่แรงดันไฟฟ้า 1 V และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ  $V_{pp}$  ช่องสัญญาณที่ 2 สูงสุดที่ 0.50% ที่แรงดันไฟฟ้า 2 V เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ  $V_{rms}$  ช่องสัญญาณที่ 1 สูงสุดที่ 0.33% ที่แรงดันไฟฟ้า 3 V และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ  $V_{rms}$  ช่องสัญญาณที่ 2 สูงสุดที่ 0.25% ที่แรงดันไฟฟ้า 4 V เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ  $V_{avg}$  ช่องสัญญาณที่ 1 สูงสุดที่ 0.50% ที่แรงดันไฟฟ้า 2 V และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ  $V_{rms}$  ช่องสัญญาณที่ 2 สูงสุดที่ 0.50% ที่แรงดันไฟฟ้า 2 V เช่นกัน

ในการพัฒนาเครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพายังได้ทำการทดสอบร่วมกับแลปปฏิบัติการทางฟิสิกส์สำหรับเด็กมัธยมศึกษาในชุดการทดลองไฟฟ้ากระแสสลับ จากการสำรวจความรู้ความเข้าใจของนักเรียนต่อการใช้เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพาร่วมกับชุดทดลองไฟฟ้ากระแสสลับ นักเรียนจำนวน 21 คน มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องไฟฟ้ากระแสสลับและการใช้เครื่องดิจิตอลออสซิลโลสโคปแบบพกพามากขึ้น มีข้อเสนอแนะที่ต้องการให้นำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในอนาคต ข้อเสนอแนะเรื่องของความยากในการใช้งาน ผู้วิจัยจะนำไปปรับปรุง แก้ไขและพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Julio J.González, Clara C.Odiwo, "Design of an Educational oscilloscope," IEEE EDUCON Education Engineering, p.1873-1878, April 14-16, 2010.
- [2] Kathleen Albertson, "Teaching Pronunciation with an Oscilloscope," Journal of the National Association of Learning Laboratory Directors, vol.13, pp.25-30, 1979.
- [3] J.W. Pierre and R.F. Kubichek, "Investigating sampling and quantization using a digital storage oscilloscope," Transactions of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, (icassp), vol.5, pp.2725-3728, 2001.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



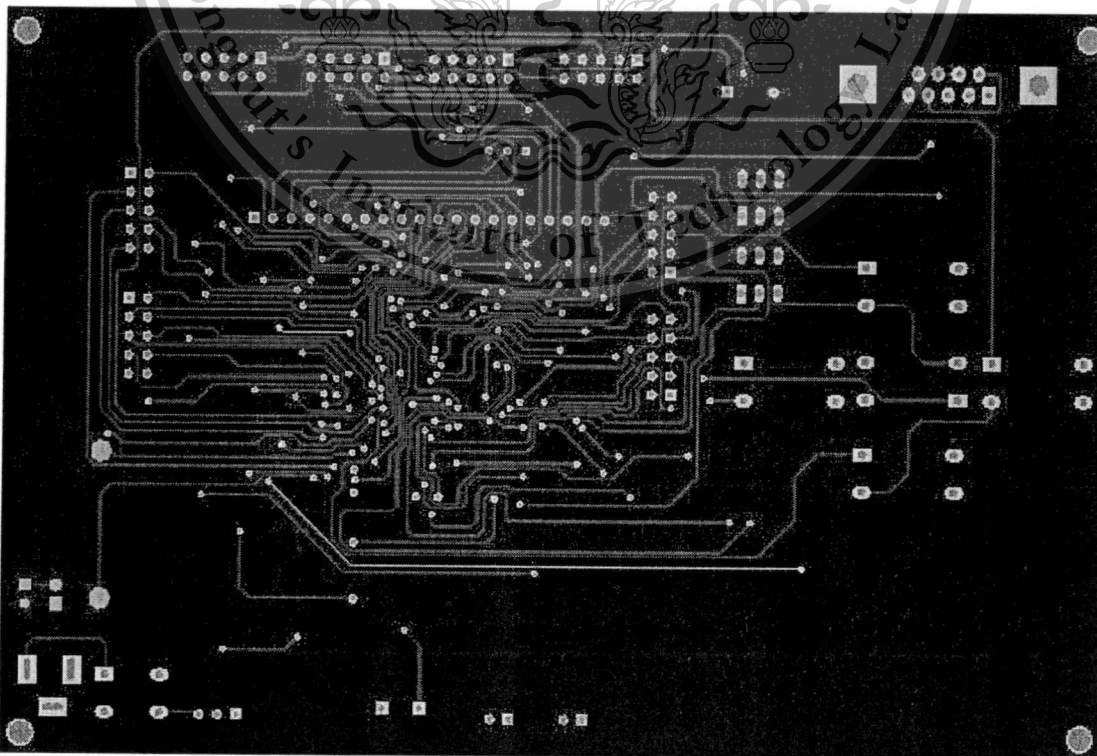
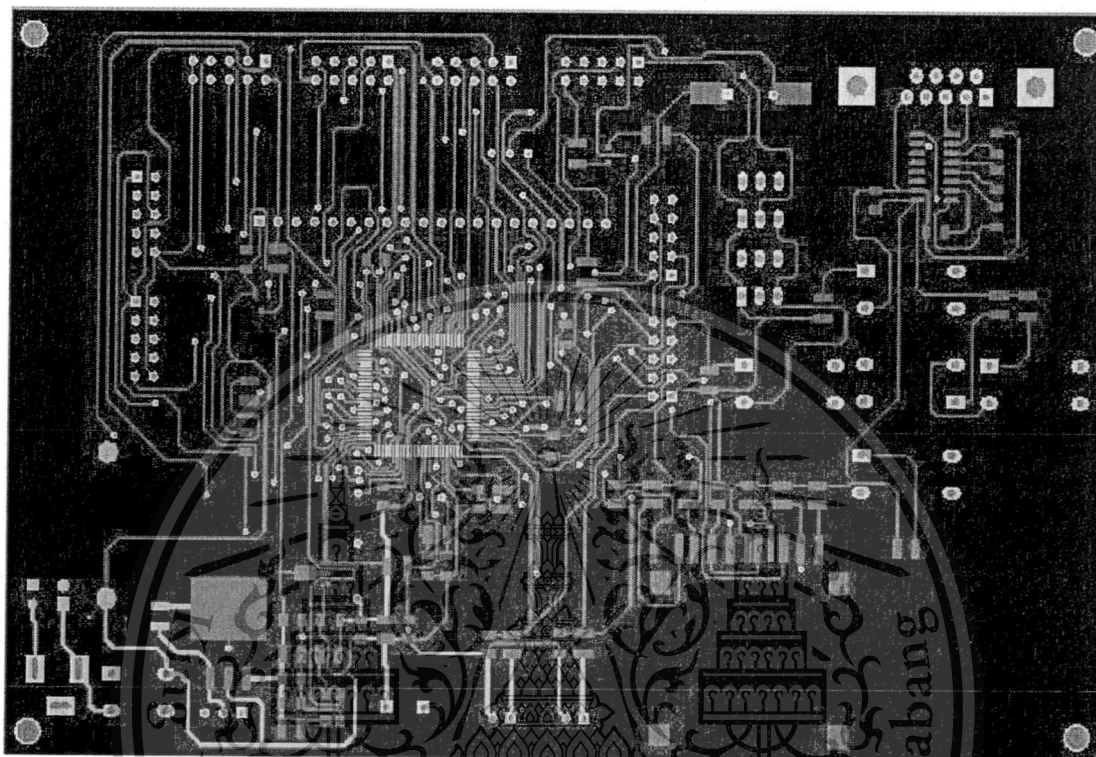
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# ภาคผนวก ข. ลายวงจรเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคป

## แบบพกพา



เอกสารนี้เป็น

ด้านการค้า

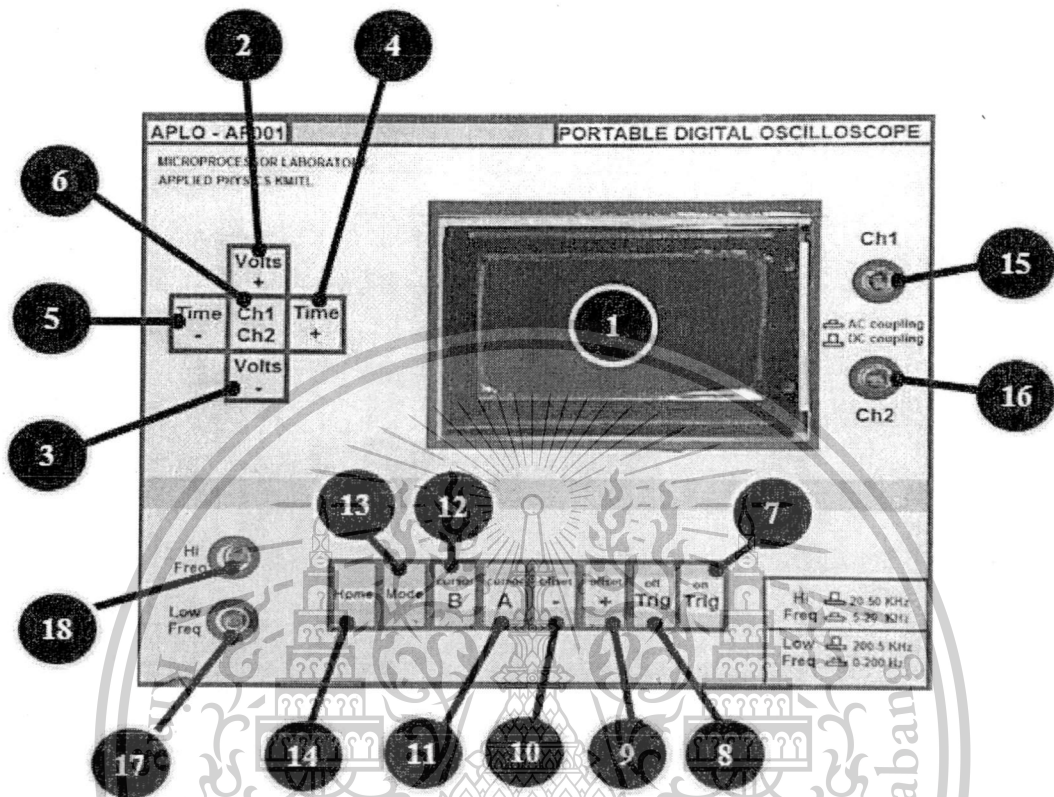
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# ภาคผนวก ค. คู่มือการใช้งานเครื่องดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบ

## พกพา



หมายเลข 1 คือ จอแสดงผลสัญญาณไฟฟ้า

หมายเลข 2 คือ ปุ่มขยายสเกลของ Volts

หมายเลข 3 คือ ปุ่มลดสเกลของ Volts

หมายเลข 4 คือ ปุ่มขยายสเกลของ Time

หมายเลข 5 คือ ปุ่มลดสเกลของ Time

หมายเลข 6 คือ ปุ่มเรียกเมนูของช่องสัญญาณอินพุต

หมายเลข 7 คือ ปุ่มแสดงสถานะทริกเกอร์

หมายเลข 8 คือ ปุ่มปิดสถานะทริกเกอร์

หมายเลข 9 คือ ปุ่มเลื่อนขึ้นตำแหน่งการแสดงผลทางแนวตั้งของสัญญาณอินพุต

หมายเลข 10 คือ ปุ่มเลื่อนลงตำแหน่งการแสดงผลทางแนวตั้งของสัญญาณอินพุต

หมายเลข 11 คือ ปุ่มเลื่อนตำแหน่งของ cursor 1

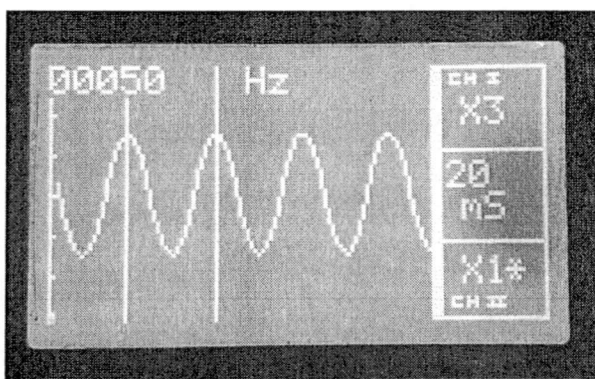
หมายเลข 12 คือ ปุ่มเลื่อนตำแหน่งของ cursor 2

หมายเหตุ: หมายเลข 13 คือ ปุ่มเลือกโหมดการวัด ประสิทธิภาพนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

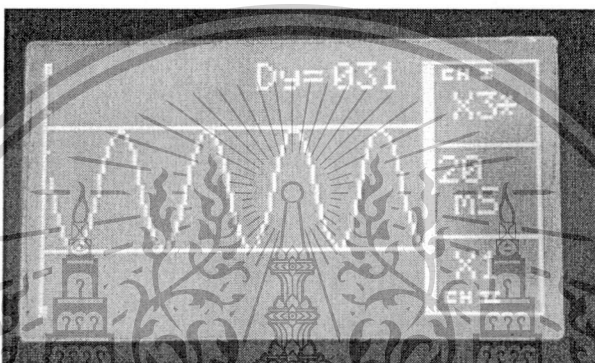
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

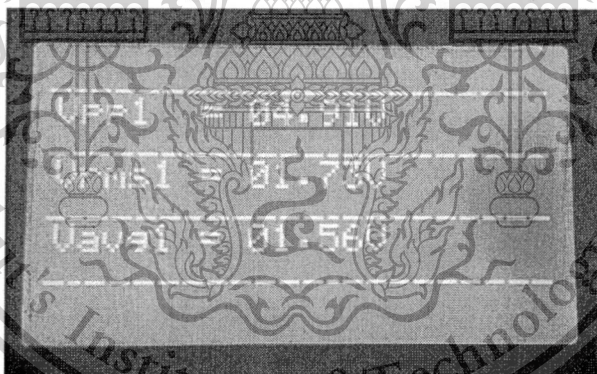
- โหมดใช้งาน cursor ของสเกล time



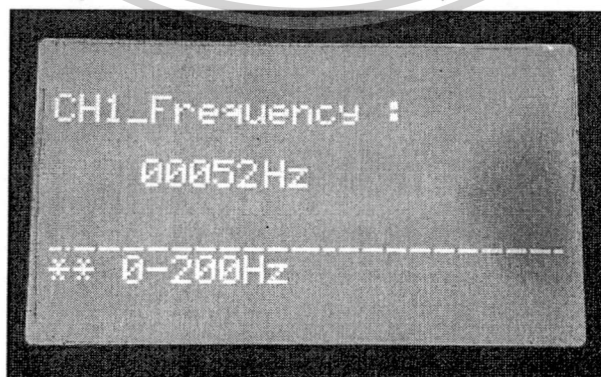
- โหมดใช้งาน cursor ของสเกล Volts



- โหมดเรียกเมนูอ่านค่า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$ ,  $V_{avg}$  ของสัญญาณอินพุตช่องที่ 1



- โหมดเรียกเมนูอ่านค่าความถี่ ของสัญญาณอินพุตช่องที่ 1

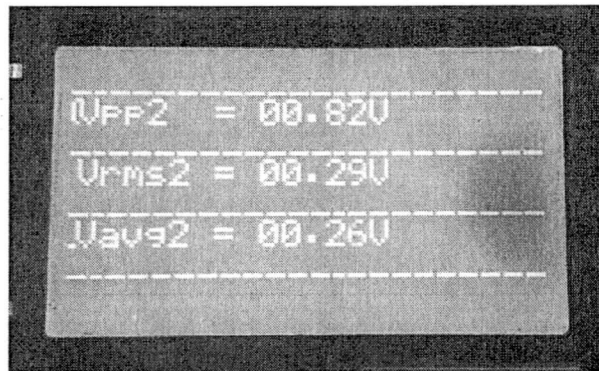


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

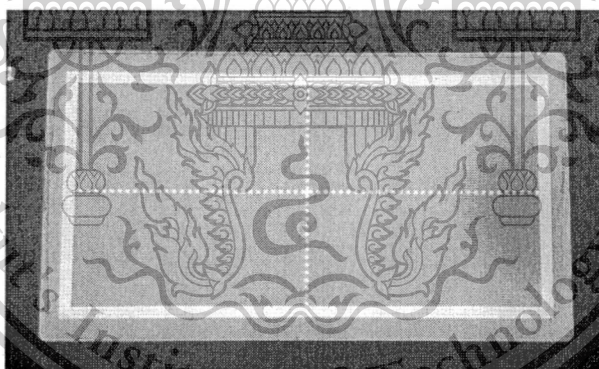
- โหมดเรียกเมนูอ่านค่า  $V_{pp}$ ,  $V_{rms}$ ,  $V_{avg}$  ของสัญญาณอินพุทช่องที่ 2



- โหมดเรียกเมนูอ่านค่าความถี่ ของสัญญาณอินพุทช่องที่ 2



- โหมดเรียกใช้งาน Lissajous



หมายเลข 14 คือ ปุ่มกลับสู่หน้าแสดงรูปสัญญาณ

หมายเลข 15 คือ ปุ่มเลือกการวัดสัญญาณอินพุทช่องที่ 1 แบบ AC coupling หรือ DC coupling

หมายเลข 16 คือ ปุ่มเลือกการวัดสัญญาณอินพุทช่องที่ 2 แบบ AC coupling หรือ DC coupling

หมายเลข 17 คือ ปุ่มเลือกการวัดความถี่

- ช่วงความถี่ 0 - 200 Hz

- ช่วงความถี่ 200 - 5 kHz

หมายเลข 18 คือ ปุ่มเลือกการวัดความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การทดลองที่ 1

### ไฟฟ้ากระแสสลับ(Alternative Current)

#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะรูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับและสามารถอ่านค่าแรงดันจากเครื่อง  
ออสซิลโลสโคปได้

#### ทฤษฎี

ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current)



รูปที่ 1 ไฟฟ้ากระแสสลับ

ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ไฟฟ้าที่ลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนทิศทางตลอดเวลา คือ  
ขณะหนึ่งมีค่าเป็น 0 แล้วจะเพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุดในทิศทางบวกแล้วลดลงเป็น 0 ต่อจากนั้นก็จะมีค่า  
เพิ่มขึ้นอีกจนถึงค่าสูงสุด และทิศทางลบแล้วจะลดลงเป็น 0 อีก จะสลับกันไปตลอดเวลา ถ้าไฟฟ้า  
กระแสสลับมีความถี่คงที่ กระแสไฟฟ้าที่จะไหลก็จะเปลี่ยนทิศทางคงที่ตามไปด้วย

การสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีลักษณะการทำงาน คือ จะทำการ  
เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนี้ สามารถที่จะผลิต  
แรงดันไฟฟ้า AC โดยใช้หลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เป็น  
ขบวนการของการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าในลวดตัวนำ โดยลวดตัวนำจะเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

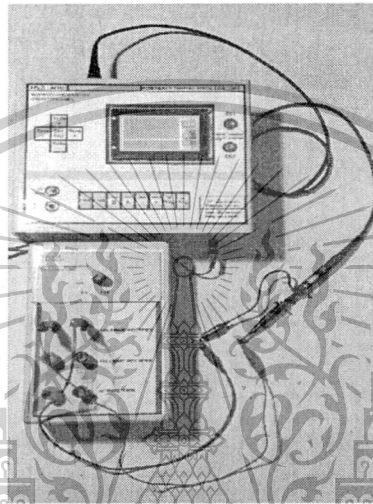
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### อุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	1	เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป	1	เครื่อง
3. ชุดสายไฟ	1	ชุด

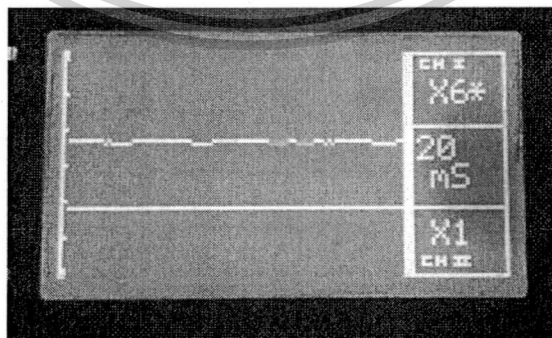
### วิธีการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นการศึกษารูปสัญญาณ AC Waveform



รูปที่ 2 แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลองเพื่อศึกษาลักษณะ  
รูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ

2. เปิดสวิทช์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและเครื่องออสซิลโลสโคป โดยปรับค่า Volt ให้เป็น X6 และค่า Time เป็น 20 ms สังเกตจากด้านขวาของหน้าจอเครื่องออสซิลโลสโคป ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 3 แสดงการปรับค่า Volt และ ค่า Time จากเครื่องออสซิลโลสโคป

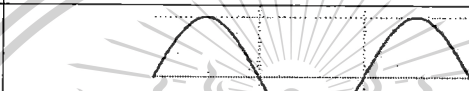
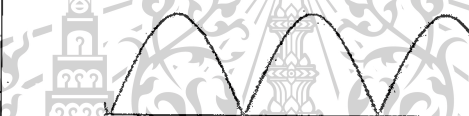
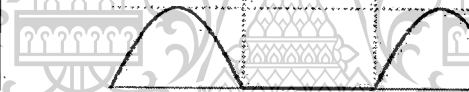
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
3. ปรับค่าปุ่มแอมพลิจูดที่อยู่บนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับไปอยู่ตำแหน่งกึ่งกลาง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. บันทึกลักษณะรูปสัญญาณที่พบบนหน้าจอสซิลโลสโคปพร้อมกับบันทึกค่าแรงดันที่ได้จากเครื่องออสซิลโลสโคปในตารางบันทึกผลการทดลอง
5. ทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-4 แต่เปลี่ยนตำแหน่งสายไฟที่เสียบอยู่บนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมาอยู่ที่ Full wave Rectifier และ Half wave Rectifier ตามลำดับ
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### ตารางบันทึกผลการทดลอง

รูปแบบสัญญาณ	รูปสัญญาณ	ความต่างศักย์ $V_{pp}$ (โวลต์)
1. AC Waveform		5.11
2. Full wave rectifier		2.56
3. Half wave rectifier		2.48

#### คำถามหลังการทดลอง

1. รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 แบบ มีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร
2. ค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้จากการทดลองทั้ง 3 แบบ มีความแตกต่างกันหรือไม่เพราะเหตุใด

#### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การทดลองที่ 2

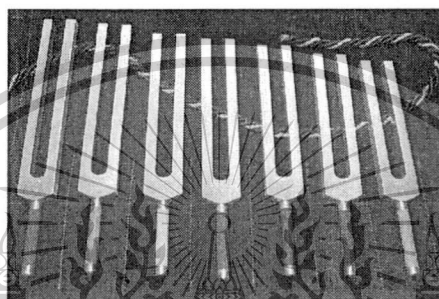
### ส้อมเสียง (tuning fork)

#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการหาความถี่ของส้อมเสียงที่ไม่ทราบค่า

#### ทฤษฎี

ส้อมเสียง (tuning fork)



รูปที่ 1 ส้อมเสียง

ส้อมเสียงคือแท่งโลหะที่มีปลาย 2 ก้านขึ้นรูปเป็นรูปตัว U ทำจากวัสดุที่มีความยืดหยุ่น ซึ่งโดยปกติจะทำจากเหล็กกล้า เมื่อทำให้ส้อมเสียงเกิดการสั่นสะเทือนด้วยการเคาะที่พื้นผิวของมันหรือตีด้วยวัตถุ ส้อมเสียงจะสะท้อนเสียงในระดับเสียงที่คงที่ หลังจากนั้นให้รอสักพัก ปล่อยให้เสียงสูงค่อยๆ หายไปก่อน ระดับเสียงที่อยู่ในส้อมเสียงจะถูกปล่อยออกมา ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของก้านโลหะทั้งสอง ซึ่งจะมีส่วนที่ไม่เกิดการสั่นสะเทือน (Node) 2 จุดใกล้กับแนวโค้งของตัว U

ปัจจุบันส้อมเสียงที่นักดนตรีทั่วไปนิยมใช้เป็นเสียงโน้ตตัว A มีความถี่ 440 Hz ซึ่งเป็นเสียงมาตรฐานสากลที่ถูกนำไปใช้ในการแสดงคอนเสิร์ต “Concert pitch” และเป็นโน้ตที่ใช้ตั้งเสียงในวงออร์เคสตรามานานแล้ว เสียง A จะตรงกับเสียงสายเปล่าสาย 2 ของไวโอลิน ตรงกับเสียงสายเปล่าสาย 1 ของวิโอล่า และตรงกับเสียงสายเปล่าสาย 1 ของเชลโลเช่นกันแต่คนละชั้นคู่เสียง นอกจากนั้นยังมีการผลิตส้อมเสียงที่คลื่นความถี่เสียงตรงกับเสียงดนตรีทุกๆ เสียงที่อยู่ในช่วงชั้นคู่เสียงกึ่งกลางเปียโน และเสียงอื่นๆ อีกเช่นกันส้อมเสียงของ John Walker จะให้เสียงโน้ต E ที่คลื่นความถี่ 659 hertz ส้อมเสียงถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี 1711 โดย John Shore จานักเป่าทรัมเปตในราชสำนัก ซึ่งทั้ง George Friderich Handel และ Henry Purcell เคยเขียนบทเพลงสำหรับเขาโดยเฉพาะ เมื่อเคาะส้อมเสียง มันจะให้เสียงที่ค่อนข้างเบาจนแทบจะไม่ได้ยิน นอกจากว่าจะนำมาแนบกับหูของเราด้วยเหตุนี้เองเมื่อเคาะส้อมเสียงแล้วต้องนำขาของมันมาแนบกับวัสดุที่มีพื้นผิวที่มีความแข็ง เช่น โต๊ะ

ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายกับกล่องสะท้อนเสียง (Sound board) เพื่อช่วยขยายเสียงให้ดังขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### อุปกรณ์

1. โพรบวัดเสียง	1	เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป	1	เครื่อง
3. ส้อมเสียง	8	อัน
3. ชุดสายไฟ	1	ชุด

### วิธีทำการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 2



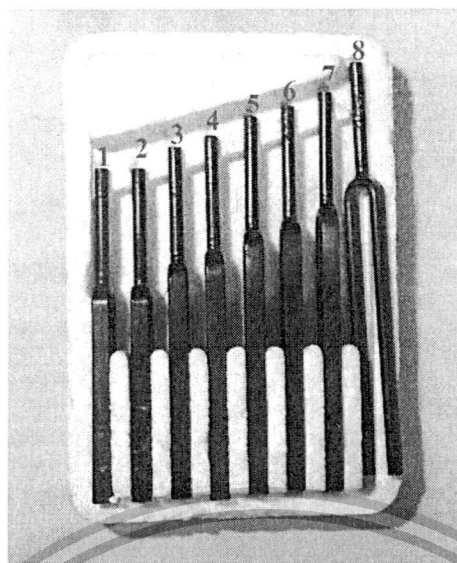
รูปที่ 2 แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลองเพื่อหาความถี่ของส้อมเสียง

2. ทำให้ส้อมเสียงเกิดการสั่นสะเทือนด้วยการเคาะด้วยค้อนที่พื้นผิวของมันและนำส้อมเสียงไปจ่อใกล้ๆกับโพรบวัดเสียงที่ต่อกับออสซิลโลสโคปทันทีที่เคาะมัน
3. สังเกตลักษณะรูปสัญญาณที่พบบนหน้าจอออสซิลโลสโคปพร้อมกับบันทึกค่าความถี่ที่ได้จากเครื่องออสซิลโลสโคปในตารางบันทึกผลการทดลอง
4. ทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-4 แต่เปลี่ยนขนาดของส้อมเสียงที่ใช้ในการทดลองจนครบทั้ง 8 อัน โดยทำการทดลองโดยเรียงตามขนาดของส้อมเสียงดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3 แสดงขนาดของส้อมเสียงที่ใช้ในการทดลอง

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ส้อมเสียงอันที่	ความถี่ส้อมเสียง $f$ (Hz)	$T = \frac{1}{f}$ (ms)
1	521	1.91
2	500	2.00
3	437	2.28
4	397	2.51
5	350	2.85
6	299	3.34
7	265	3.77
8	230	4.35

คำถามหลังการทดลอง

1. รูปสัญญาณที่ได้จากการเคาะส้อมเสียงทั้ง 8 อัน มีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร
2. ค่าความถี่ที่ได้จากการเคาะส้อมเสียงทั้ง 8 อัน ส้อมเสียงอันใดมีความถี่มากที่สุดและน้อยสุด จง

อธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การทดลองที่ 3 คลื่นแสง(Light wave)

### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะรูปสัญญาณและความถี่ที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง

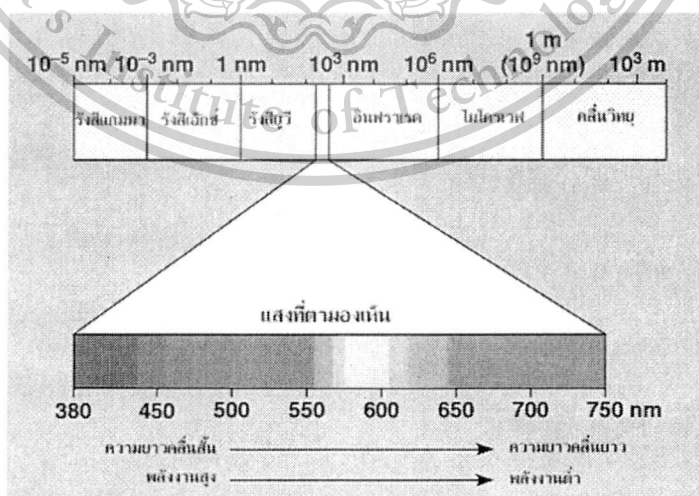
### ทฤษฎี

#### คลื่นแสง

แสง คือการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น หรือบางครั้งอาจรวมถึงการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่รังสีอินฟราเรดถึงรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วย สมบัติพื้นฐานของแสง (และของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าทุกช่วงคลื่น) ได้แก่ความเข้ม (ความสว่าง หรือแอมพลิจูด ซึ่งปรากฏแก่สายตามนุษย์ในรูปของความสว่างของแสง) ความถี่ (หรือความยาวคลื่น ซึ่งปรากฏแก่สายตามนุษย์ในรูปสีของแสง) และโพลาริเซชัน (มุมการสั่นของคลื่น ซึ่งโดยปกติมนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้) แสงจะแสดงคุณสมบัติทั้งของคลื่นและของอนุภาคในเวลาเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค ธรรมชาติที่แท้จริงของแสงเป็นปัญหาหลักปัญหาหนึ่งของฟิสิกส์สมัยใหม่

แสงมีคุณสมบัติทวิภาวะ กล่าวคือ

- 1.แสงเป็นคลื่น : แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่ระนาบการสั่นของสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับระนาบการสั่นของสนามไฟฟ้า และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น และแสงก็มีการเลี้ยวเบนด้วย ซึ่งการเลี้ยวเบนก็แสดงคุณสมบัติของคลื่น
- 2.แสงเป็นอนุภาค : แสงเป็นก้อนพลังงานมีค่าพลังงาน  $E = hf$  โดยที่  $h$  คือค่าคงตัวของพลังค์ และ  $f$  คือความถี่ของแสง เรียกอนุภาคแสงว่า โฟตอน



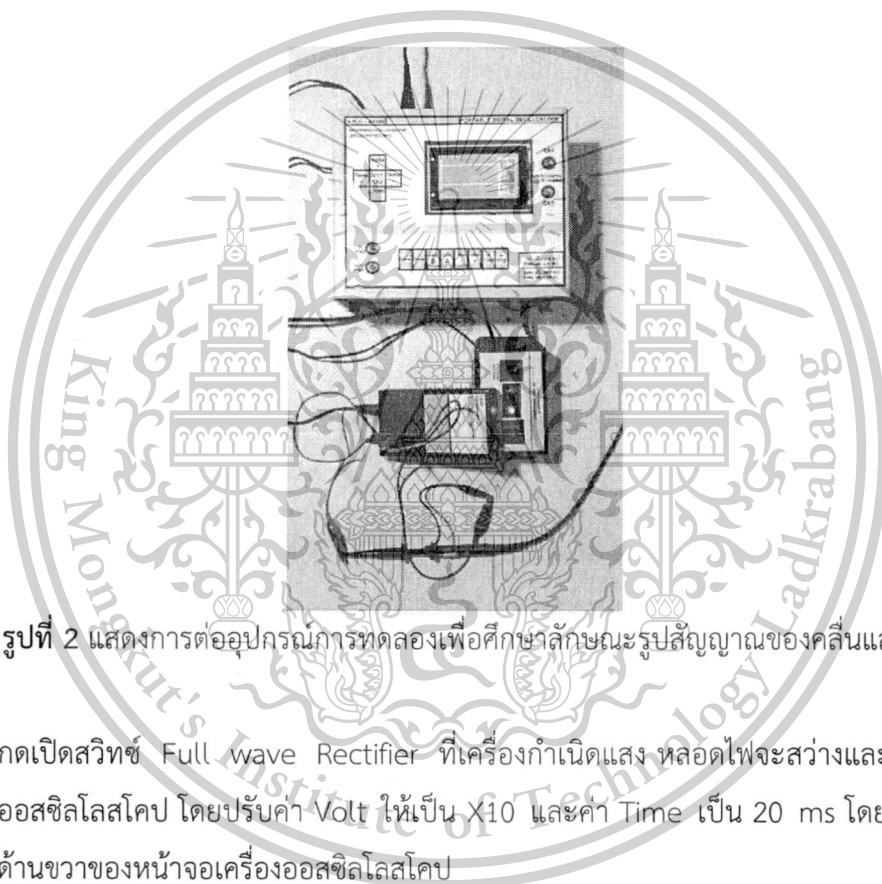
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### อุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดแสง	1	เครื่อง
2. โพรบวัดแสง	1	เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป	1	เครื่อง
3. ชุดสายไฟ	1	ชุด

### วิธีทำการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลองเพื่อศึกษาลักษณะรูปสัญญาณของคลื่นแสง

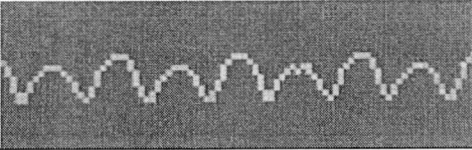
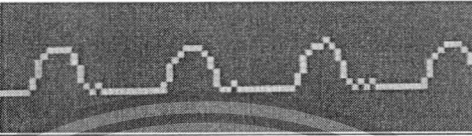
2. กดเปิดสวิตช์ Full wave Rectifier ที่เครื่องกำเนิดแสง หลอดไฟจะสว่างและเปิดเครื่องออสซิลโลสโคป โดยปรับค่า Volt ให้เป็น X10 และค่า Time เป็น 20 ms โดยสังเกตจากด้านขวาของหน้าจอเครื่องออสซิลโลสโคป
3. นำโพรบวัดแสงไปจ่อที่หลอดไฟ
4. บันทึกลักษณะรูปสัญญาณที่พบบนหน้าจอออสซิลโลสโคปพร้อมกับบันทึกค่าความถี่ที่ได้จากเครื่องออสซิลโลสโคปในตารางบันทึกผลการทดลอง
5. ทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-4 โดยกดปิดสวิตช์ Full wave Rectifier แต่เปลี่ยนมาเปิดสวิตช์ Half wave Rectifier โดยหลอดไฟอีกดวงจะสว่างแทน
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

เปิดสวิตช์	รูปสัญญาณ	ความถี่ f (Hz)
1.Full rectifier		50
2.Half rectifier		50

คำถามหลังการทดลอง

- 1.รูปสัญญาณที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 แบบ มีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร
- 2.ค่าความถี่ที่อ่านได้จากการทดลองทั้ง 2 แบบ มีความแตกต่างกันหรือไม่เพราะเหตุใด

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การทดลองที่ 4

### การวัดสัญญาณพัลส์

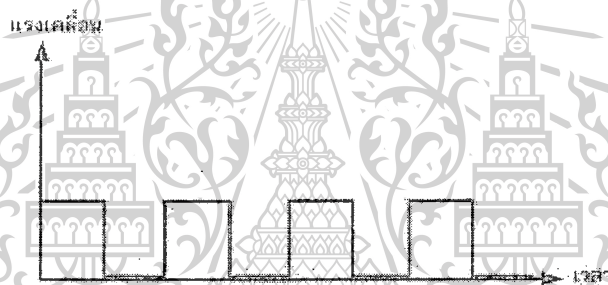
#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะรูปสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดพัลส์ และอ่านค่าความถี่จากเครื่องออสซิลโลสโคปได้

#### ทฤษฎี

##### สัญญาณพัลส์

สัญญาณพัลส์ เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากระดับของสัญญาณไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงจากระดับหนึ่ง ไปสู่อีกระดับหนึ่ง ที่มีความแตกต่างกัน ระหว่างแรงดันต่ำสุดกับแรงดันสูงสุด อย่างรวดเร็ว อาจมีความต่อเนื่องหรือไม่ ก็ได้ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สัญญาณพัลส์บวก และสัญญาณพัลส์ลบ

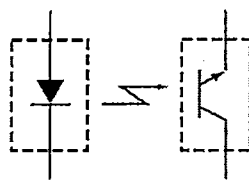


รูปที่ 1 สัญญาณพัลส์

โดยในการทดลองนี้จะใช้ เครื่องกำเนิดพัลส์ ต่อกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีเซนเซอร์แบบ Optical ทำการตรวจวัดสัญญาณพัลส์

#### หลักการทำงานของ Sensor

การทำงานของเซนเซอร์จะใช้เซนเซอร์แสง (Photo Interrupter) ซึ่งมี 2 รูปแบบคือ แบบส่องผ่าน (Transmission) และแบบสะท้อน (Reflective) ทั้ง 2 แบบมีหลักการง่ายๆคือ มีตัวส่งและมีตัวรับ ตามรูปที่ 2. โดยตัวส่งส่วนมากแล้วจะเป็น Infrared LED และตัวรับก็จะเป็น Photo detector ซึ่งส่วนมากก็จะเป็น Phototransistor (อีกแบบคือ Photodiode)



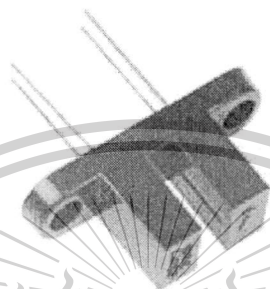
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2 วัจจรเทียบเท่าของ Photo Interrupter อดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หลักการทำงานก็คือเมื่อแสงที่เกิดจาก Infrared LED ตกกระทบบนรอยต่อ base-collector จะทำให้เกิด electron ด้วยกระบวนการ Photoelectric Effect โดย electron ที่เกิดขึ้นนี้จะถูกฉีดเข้าหา base และจะถูกขยายโดย gain ( $\beta$ ) ของ transistor ดังนั้นแล้วจึงนำหลักการนี้ไปใช้ตรวจจับวัตถุได้ โดยหลักการตรวจจับแบ่งออกได้เป็น

- กรณีแบบส่องผ่าน



รูปที่ 3 Photo Interrupter แบบส่องผ่าน

โดยในกรณีแบบส่องผ่านนี้ วัตถุที่จะทำการตรวจจับจะต้องผ่านที่บริเวณร่องตรงกลาง ทำให้แสงจากตัวส่งไม่สามารถผ่านไปตกกระทบยังตัวรับได้ จึงทำให้ไม่เกิดกระแสไหลในฝั่งของ Detector

- กรณีแบบแบบสะท้อน



รูปที่ 4 Photo Interrupter แบบสะท้อน

สามารถตรวจจับวัตถุได้โดยใช้วิธีสะท้อน เมื่อเจอวัตถุที่มีสีขาวหรือสีอื่นๆที่ไม่ใช่สีดำจะทำให้เกิดการสะท้อนของแสงจากตัวส่ง แต่เมื่อเจอสีดำแสงจะถูกดูดกลืนทำให้ไม่สะท้อนกลับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

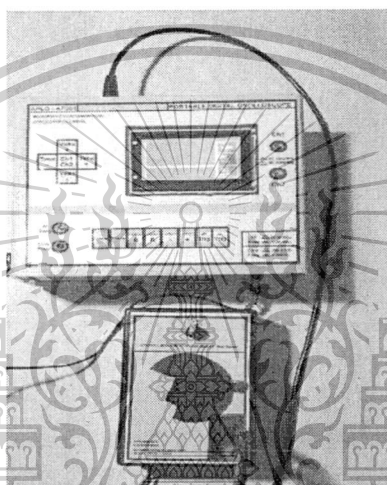
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### อุปกรณ์

1. ก้านนิคพัสส์	1	เครื่อง
2. ออสซิลโลสโคป	1	เครื่อง
3. ชุดสายไฟ	1	ชุด

### วิธีทำการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 5 ซึ่งเป็นการศึกษารูปสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องก้านนิคพัสส์



รูปที่ 5 แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลองเพื่อศึกษาลักษณะรูปสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องก้านนิคพัสส์

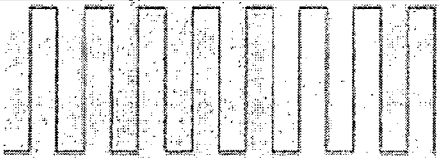
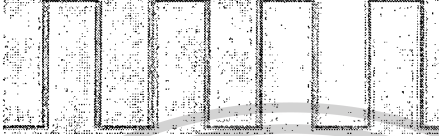
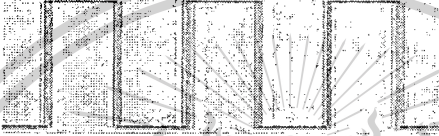
2. เปิดสวิตช์เครื่องออสซิลโลสโคป โดยปรับค่า Volt ให้เป็น X8 และค่า Time เป็น 10 ms โดยสังเกตจากด้านขวาของหน้าจอเครื่องออสซิลโลสโคป
3. ปรับค่าปุ่มซึ่งกำหนดความเร็วในการหมุนที่อยู่บนเครื่องก้านนิคพัสส์ไปอยู่ตำแหน่งหมายเลข 1
4. บันทึกลักษณะรูปสัญญาณที่พบบนหน้าจอออสซิลโลสโคปพร้อมกับบันทึกค่าความถี่ที่ได้จากเครื่องออสซิลโลสโคปในตารางบันทึกผลการทดลอง
5. ทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-4 แต่ปรับค่าปุ่มเพื่อเปลี่ยนความเร็วในการหมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งหมายเลข 2 โดยปรับค่า Volt และค่า Time จากเครื่องออสซิลโลสโคปให้เป็น X8 และ 20 ms และปรับค่าปุ่มไปที่หมายเลข 3 โดยปรับค่า Volt ให้เป็น X8 และค่า Time เป็น 50 ms ตามลำดับ
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตำแหน่งปุ่มปรับ ความเร็ว	รูปสัญญาณ	ความถี่ f (Hz)	$T = \frac{1}{f}$ (ms)
หมายเลข 1		154	6.49
หมายเลข 2		52	1.92
หมายเลข 3		12	83.33

คำถามหลังการทดลอง

1. รูปสัญญาณที่ได้จากการเปลี่ยนความเร็วในการหมุนจากหมายเลข 1-3 มีลักษณะแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

2. ค่าถี่และคาบเวลาที่ได้จากการทดลองจากการเปลี่ยนความเร็วในการหมุนจากหมายเลข 1-3 มีความแตกต่างกันหรือไม่เพราะเหตุใด

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การทดลองที่ 5

### การสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ

#### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับและลักษณะรูปสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้

#### ทฤษฎี

ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ไฟฟ้าที่ลักษณะการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนทิศทางตลอดเวลา คือ หนึ่งมีค่าเป็น 0 แล้วจะเพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุดในทิศทางบวกแล้วลดลงเป็น 0 ต่อจากนั้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกจนถึงค่าสูงสุด และทิศทางลบแล้วจะลดลงเป็น 0 อีก จะสลับกันไปตลอดเวลา ถ้าไฟฟ้ากระแสสลับมีความถี่คงที่ กระแสไฟฟ้าที่จะไหลก็จะเปลี่ยนทิศทางคงที่ตามไปด้วย

การสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีลักษณะการทำงาน คือ จะทำการเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนี้ สามารถที่จะผลิตแรงดันไฟฟ้า AC โดยใช้หลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นขบวนการของการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าในลวดตัวนำ โดยลวดตัวนำจะเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก (ตามรูปที่ 1)



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

การสลับ คือใน 1 ไซเคิล จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน ในแต่ละครั้งที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ จะกล่าวได้ว่า “เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับทำงานได้ 1 ไซเคิล” และแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะเรียกว่าแรงดันไฟฟ้า 1 ไซเคิลเช่นกัน และในทำนองเดียวกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าในวงจรที่สมบูรณ์แบบออกมา 1 ไซเคิลเช่นกัน และ

เอกสารนี้เป็นสำหรับการเปลี่ยนแปลงของทั้งสองขั้วของไซเคิลนี้เรียกว่า การสลับ (Alternation) สำหรับวงจรดำเนินการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดตัวนำที่หมุนนี้เรียกว่า อัตรัมเจอร์ (Armature) และแรงดันไฟฟ้า AC นั้นจะถูกเหนี่ยวนำในอาร์ไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมเจอร์ และเคลื่อนที่จากตอนปลายของวงลวดตัวนำผ่านหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ได้ซึ่งติดอยู่ตรงปลายของอาร์เมเจอร์ วงแหวน 2 วงจะถูกเรียกว่า สลิปริง ซึ่งจะถักยึดติดกับตอนปลายของวงลวดตัวนำ และแปรงถ่าน จะเป็นส่วนที่รับแรงดันไฟฟ้า AC จาก สลิปริง และสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่อธิบายมานี้จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า AC ที่ค่าต่ำ ๆ ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องมีจำนวนของวงลวดตัวนำเพิ่มขึ้น

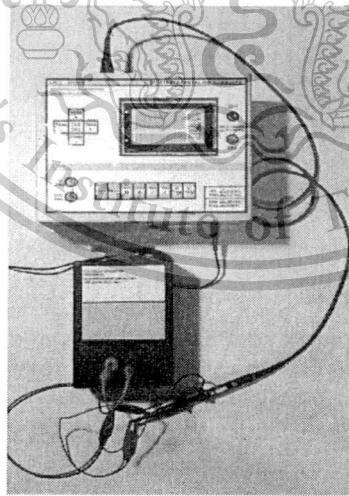
สำหรับรูปคลื่นที่ถูกผลิตโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกเรียกว่า รูปคลื่นไซน์หรือคลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal waveform หรือ Sine wave) สำหรับคลื่นรูปไซน์เป็นคลื่นพื้นฐานที่นิยมใช้มากที่สุดในการวัดคลื่นกระแสสลับทั้งหมด มันสามารถผลิตได้ทั้งวิธีทางกลและทางไฟฟ้า คลื่นรูปไซน์ถูกแจกแจงด้วยฟังก์ชันไซน์ในตรีโกณมิติ ซึ่งคลื่นรูปไซน์จะเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปจนถึงค่าสูงสุดของฟังก์ชันไซน์ โดยทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะอยู่ในรูปไซน์

### อุปกรณ์

- |  |   |         |
|--|---|---------|
| 1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (ชนิดหมุนวงล้อ) | 1 | เครื่อง |
| 2. ออสซิลโลสโคป                                | 1 | เครื่อง |
| 3. ชุดสายไฟ                                    | 1 | ชุด     |

### วิธีการทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลองเพื่อศึกษาการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ

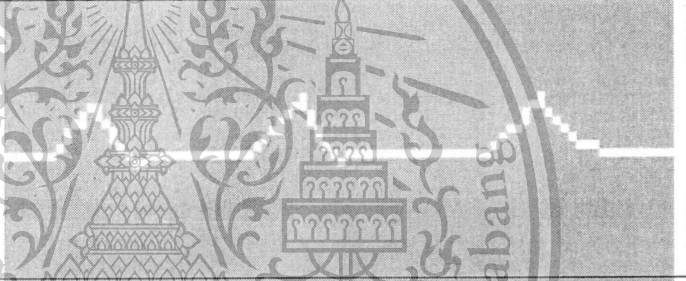

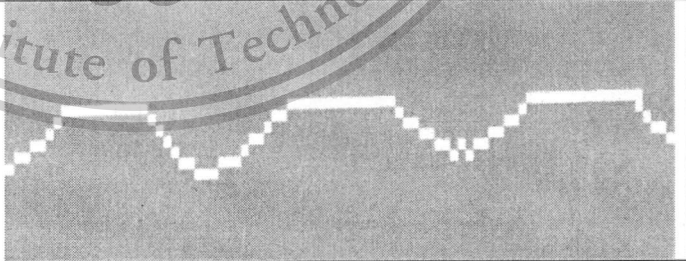
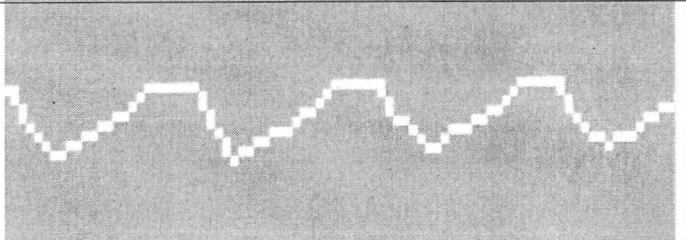
2. เปิดเครื่องออสซิลโลสโคป โดยปรับค่า Volt ให้เป็น X5 และค่า Time เป็น 200 ms โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สิ่งเกิดจากด้านขวาของหน้าจอเครื่องออสซิลโลสโคป ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. หมุนวงล้อที่อยู่บนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับโดยที่
  - 3.1 หมุนวงล้อในทิศตามเข็มนาฬิกา
    - หมุนวงล้ออย่างช้าๆ
    - หมุนวงล้ออย่างรวดเร็ว
4. บันทึกลักษณะรูปสัญญาณที่พบบนหน้าจอออสซิลโลสโคปในตารางบันทึกผลการทดลอง
5. ทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-3 แต่เปลี่ยนเป็นหมุนวงล้อในทิศทวนเข็มนาฬิกา
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

ทิศทางการหมุน	ความเร็วในการหมุน	รูปสัญญาณ
ตามเข็มนาฬิกา	ช้า	
	เร็ว	
ทวนเข็มนาฬิกา	ช้า	
	เร็ว	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก จ. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## AN EDUCATIONAL OSCILLOSCOPE FOR PHYSICS EXPERIMENT IN SCHOOL

Terawat Khingthong\* and Wichit Sirichote

Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand

\*E-mail : Terawat.k@gmail.com

### ABSTRACT

An educational cheap oscilloscope designed for physics experiments in school has been developed. The oscilloscope is used to display the electrical waveform produced by many sensors. The device is built with a 32-bit microcontroller, STM32F107VBT6 and a 128x64 pixel LCD display. The firmware has been developed with c language. The oscilloscope is capable of displaying two channels input voltage. The input range is +/-50V, 50 kHz maximum frequency. The example of physics experiments i.e. 1) displaying the oscillation frequency of the tuning forks and 2) displaying the alternating current waveform, are presented.

**KEYWORDS:** *Oscilloscope, Microcontroller, Physics Experiments*

### 1. INTRODUCTION

One of the generic instruments for physics laboratory is the oscilloscope. Oscilloscope is used for displaying signal waveform, amplitude, frequency and, period [2]. The oscilloscope is commonly used in technical college and university. However most of the schools may not have the oscilloscope because its cost is very expensive. Teaching physics in the school may not provide the lab. Most of the physics class in school then teaches only theory and how to find the solution by equations. Many researches suggest that meaningful learning is possible in laboratory activities if all students are provided with opportunities to manipulate equipment and materials by themselves. To make the equipment available for all students, a cheap instrument must be developed. We proposed a cheap educational oscilloscope for school. This paper describes the complete design of hardware and software of the educational oscilloscope. The circuit is built with a 32-bit ARM microcontroller with firmware developed in c language. The oscilloscope can be used to display two channels input voltage with maximum range of +/-50V, 50 kHz. Two experiments i.e., 1) displaying the oscillation frequency of the tuning forks and 2) displaying the alternating current waveform are demonstrated.

### 2. TYPE OF THE OSCILLOSCOPE

#### 2.1 Analog Oscilloscope

Analog Oscilloscope uses CRT (Cathode Ray Tube) for displaying signal waveform. In [1], The CRT is divided into 3 parts i.e., electron gun, horizontal and vertical deflection controller and screen coating phosphorus compound. Horizontal and vertical deflection controller is generated by high differential Voltage. Therefore, Horizontal and vertical controller deflect the path of electron beam. Signal amplitude is controlled by vertical deflection whereas the time is controlled by horizontal deflection. When the phosphorus screen is shot by electron beam, we will see dot light on screen by fluorescent effect. The analog oscilloscope is now replaced by the digital oscilloscope because of the cheaper display technology and a cheap control circuitry.

#### 2.2 Digital Oscilloscope

Digital oscilloscope uses Graphic LCD screen for displaying signal waveform. The main function is data conversion, digital oscilloscope using data conversion from analog signal to digital. Analog signal measurement is digitalized by hi-speed ADC (analog to digital conversion). The ADC is fabricated with microcontroller. When the digitalized data is displayed on Graphic LCD screen by microcontroller, the microcontroller controls horizontal scanning circuit and the appropriate magnitude signal data. The digital oscilloscope is shown in figure 2.

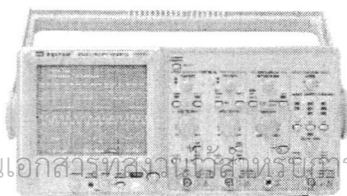


Figure 1: Analog oscilloscope

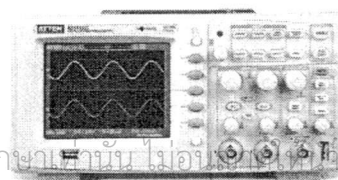


Figure 2: Digital oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3. EDUCATIONAL OSCILLOSCOPE

The simplified block diagram of the educational oscilloscope is shown in Figure 3. The main circuits are 1) signal conditioning, 2) Microcontroller and 3) 128x64 pixel graphics LCD. The signal conditioning provides two channels input and adjusts the input signal levels for the analog to digital converter circuit of the microcontroller. The microcontroller has a built in high speed analog to digital converter. The firmware in microcontroller provides control algorithm for capturing the analog signal and displaying the waveform on the LCD display.

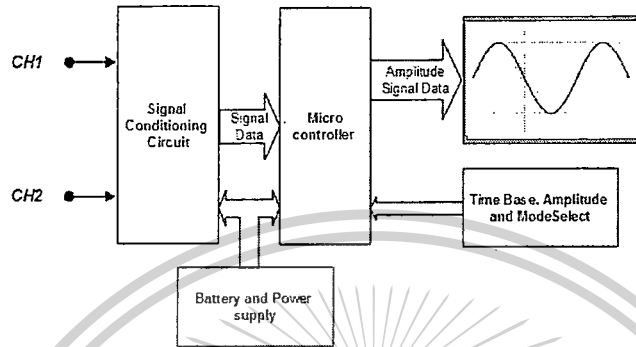


Figure 3: Simplified block diagram

#### 3.1 Microcontroller circuit

The microcontroller circuit is shown in Figure 4. The chip is a 32-bit ARM based microcontroller, STM32F107VBT6 (U1), 100 pins TQFP package. The chip runs with internal phase locked loop to provide 72MHz oscillator. Analog input ports for Ch1 and Ch2 are PC3 and PC4. PE0-PE14 drives the Graphic LCD. The function switches are port PC0-PC5 and PB7-PB15. Serial port PA8 and PA9 is for program downloading. The MCU circuit is powered with +3.3V power supply.

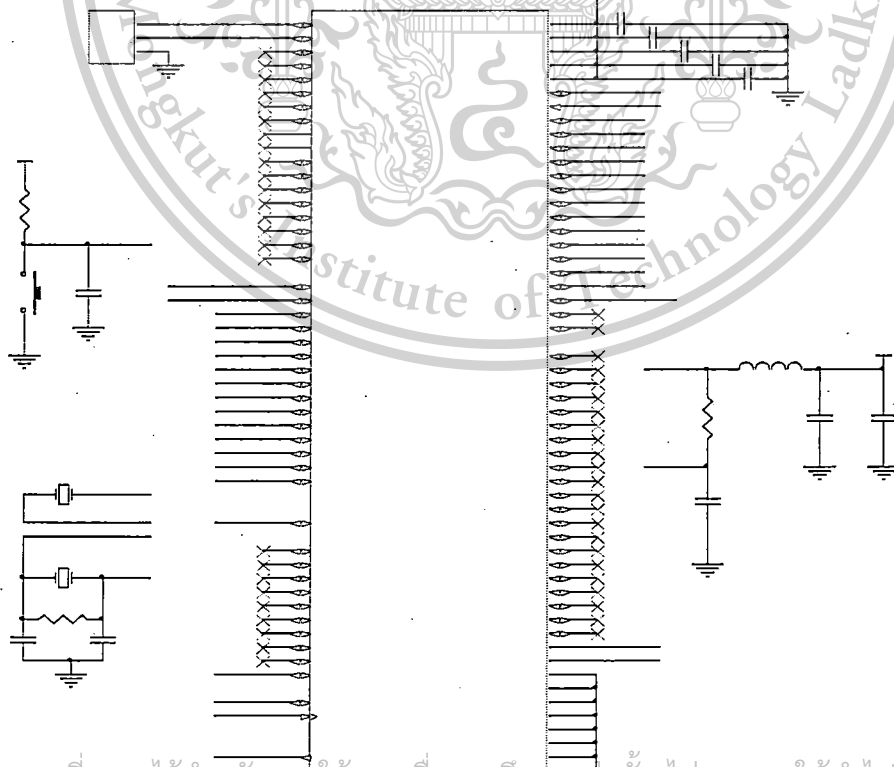


Figure 4: Microcontroller Circuit STM32F107VBT6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 3.2 Signal Conditioning

The signal conditioning circuit is built with a non-inverting amplifier, TLC2272 rail-to-rail operational amplifier. The input signal, CH1 and CH2 are attenuated from +50V to +3.3V. The offset value is +3.3V providing the shifting level from negative input voltage to the positive level. The outputs of the amplifier are tied to the MCU's ADC Ch1 and Ch2 directly.

\*\*\*\*\*

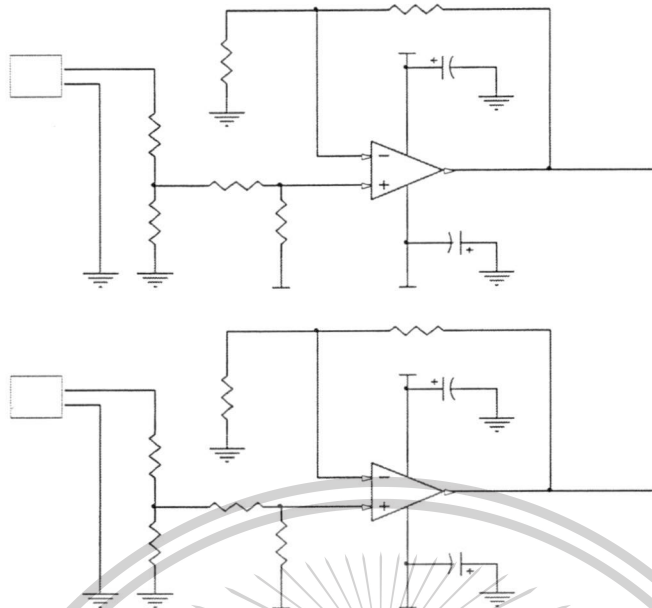


Figure 5: Signal Conditioning Circuit

### 3.3 Analog to digital conversion

The microcontroller has a built-in analog-to-digital converter (ADC) module. The ADC input is PC3 and PC4. The high speed ADC mode can be programmed by setting the ADC control register (ADC\_CRx).

### 3.4 Graphic LCD display

The graphic LCD is interfaced to the MCU by port PE0-PE15. The control method is parallel interfacing. R16 is for contrast adjustment. The LCD display is supplied with +5V power pin. However, the MCU circuit is supplied with +3.3V pin. To interface from +3.3V logic to +5V logic we thus need Q1 to provide reset signal. R19 is for back light current limiting.

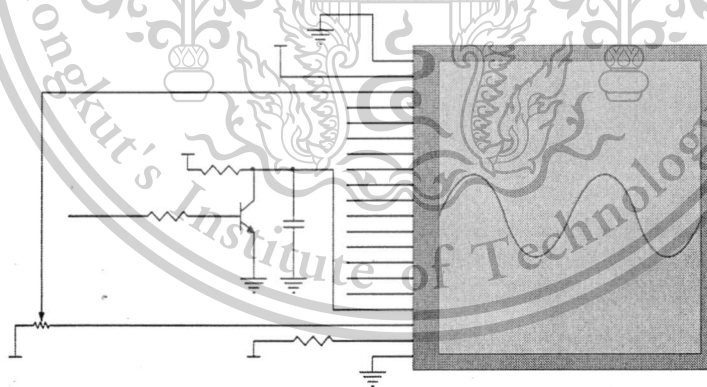


Figure 6: Graphic LCD circuit

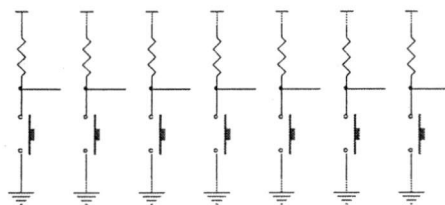


Figure 7: Function switches circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

\*\*\*\*\*

### 3.5 Function switches

The function switches are connected to the input port of the microcontroller directly. The function switches is used to set the mode, magnitude scale, time base scale.

### 3.6 Power supply circuit

The circuit requires three voltages power supply i.e., +3.3V, +5V and -5V. Figure 8 shows the voltage regulator for MCU, +3.3V. The voltage regulator chip is MCP1702-3302, linear voltage regulator.

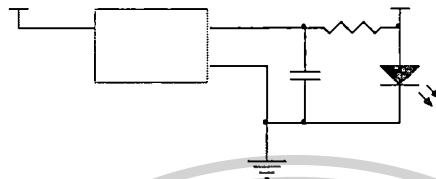


Figure 8: +3.3V Power supply

The Graphic LCD display and signal conditioning circuit are supplied with +5.0V from U3, LM2940S-5.0/NOPB, Linear voltage regulator. The signal conditioning circuit also requires -5V power supply. The negative voltage is converted from +5V supply by using the switch capacitor IC, ICL7660.

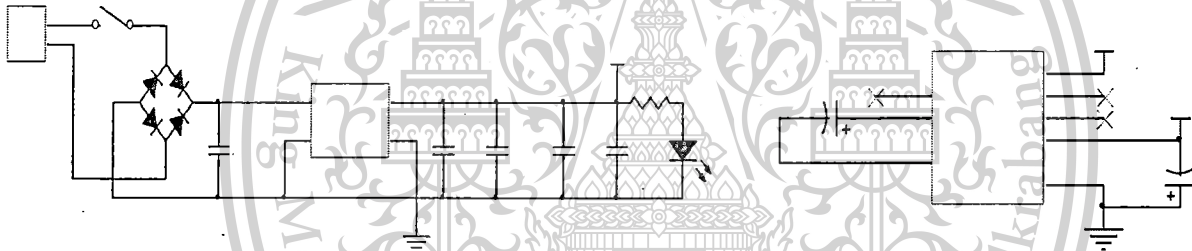


Figure 9: +5.0V power supply

Figure 10: -5.0V power supply

## 4. FIRMWARE DESCRIPTION

### 4.1 State diagram

The state diagram is shown in Figure 11. When the probe is connected with signal source, the probe measures analog signal. Analog signal is digitalized by ADC module. The digitalized data is saved to the buffer memory (Figure12). The receiving buffer will capture input data for 100 points. Then, the digitized data is sent to the computing task and the buffer is cleared to zero. The computing task will process the digital data. When Data processing is completed, data will be sent to sending task. The sending task transfers data to display on the graphic LCD screen. The receiving task runs continuously. The computing and sending task are waiting data from receiving task.

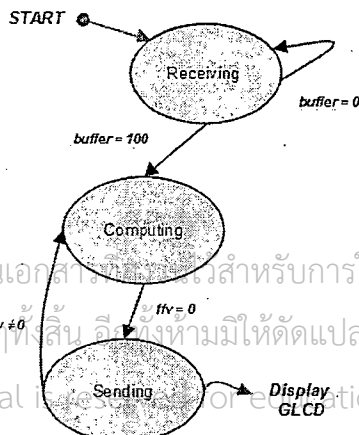


Figure 11: State diagram of the firmware

```

buffer1 [ffw] = ADC_GetConversionValue(ADC1);
ffw++;
if(ffw==99)
{
    ffr = 1; // Display Value
}
if(ffw==100)
{
    ffw=0; //Clear Buffer
}
    
```

Figure 12: receiving task source code

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตีพิมพ์ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

This material is for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

\*\*\*\*\*

### 5. PROTOTYPE

The prototype of the educational oscilloscope is shown in Figure 13. The price of educational oscilloscope is 2,000 Baht and the specification of an educational oscilloscope is shown in Table1.

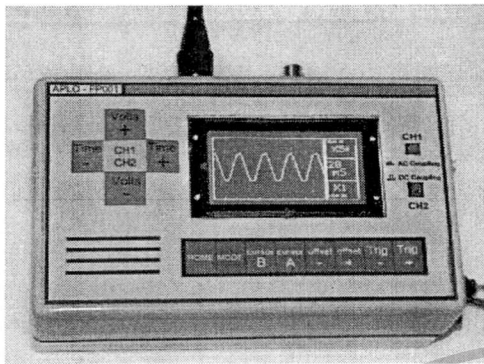


Figure 13: Prototype of Educational Oscilloscope

Number of input	2 Channel
Maximum Bandwidth Frequency	50KHz
Maximum Input Voltage	±50V
Sampling rate	1 MS/s
Display	Graphic LCD Screen(128x64)

Table 1: Specification

## 6. USING THE OSCILLOSCOPE FOR PHYSICS EXPERIMENT

### 6.1 Oscillation of Tuning fork

A Tuning fork is a device for generating single frequency. The fork resonates at a specific constant pitch when set vibrating by striking it against a surface or with an object. The Students will study in signal oscillator and frequency waveform.

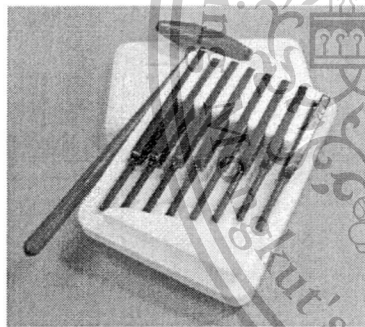


Figure 14A: Tuning fork

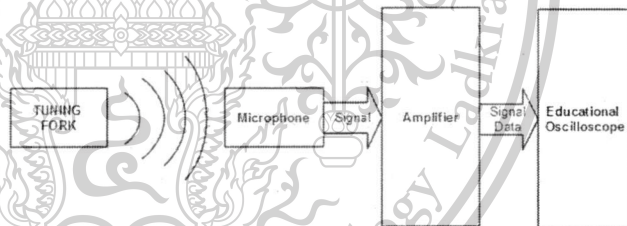


Figure 14B: Experimental setup for tuning fork

The experimental setup is shown in Figure 14B. The input sensor is microphone with pre-amplifier. The result of waveform is shown in Figure 15. The tuning fork concert pitch is 256 Hz. The waveform was sinusoidal and the measured frequency was 250 Hz.

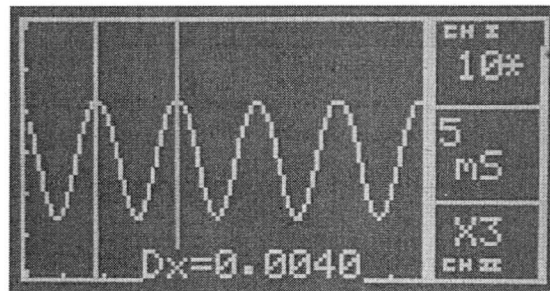


Figure 15: The oscillation waveform of the 256Hz tuning fork

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.2 Alternating current waveform

This experiment shows the alternating current waveform produced by half-wave and full-wave rectifier circuits. Diode is a semiconductor device that allows current to flow through it in only one direction. A diode is used in half wave rectifier circuit. Figure 16 shows the test circuit using step down transformer and single diode. The signal waveform is shown in Figure 17.

\*\*\*\*\*

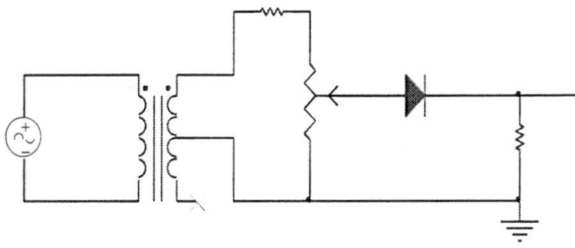


Figure 16: Half wave rectifier circuit

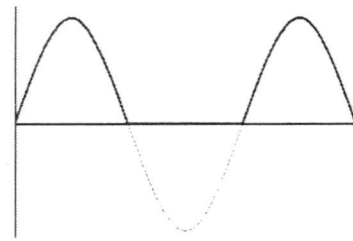


Figure 17: The signal waveform of half wave rectifier

Test circuit for full-wave rectifier is shown in Figure 18. The full wave rectifier uses bridge diode for arranging AC signal to DC signal. The signal waveform is shown in Figure 19.

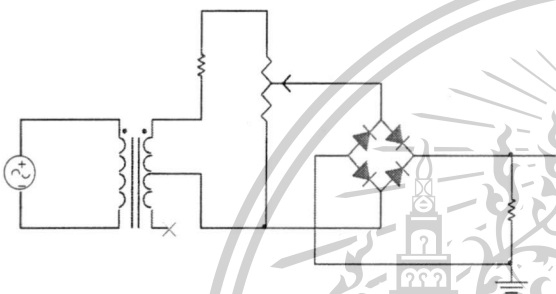


Figure18: Full wave rectifier circuit

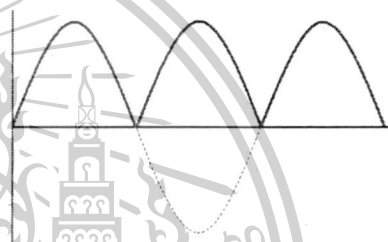


Figure19: The signal waveform of full wave rectifier

In this experiment, students will study the alternating current signal waveform and amplitude. Therefore, the test result is shown in Figure 20.

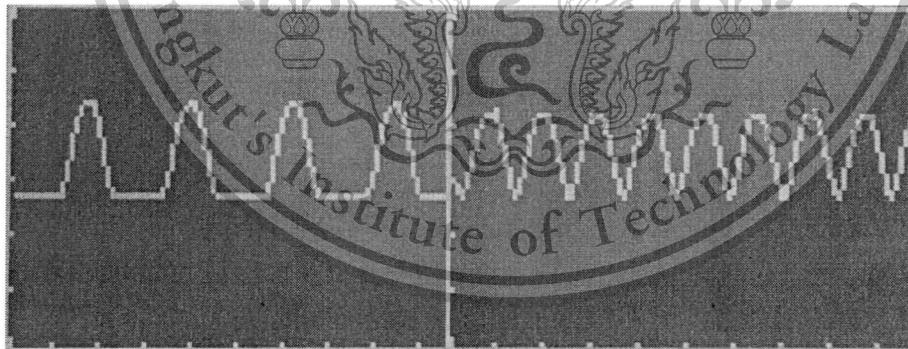


Figure 20: Left) the signal waveform of half wave rectifier  
 Right) the signal waveform of full wave rectifier

## 7. CONCLUSIONS

The cheap educational oscilloscope has been developed using the 32-bit ARM based microcontroller. The oscilloscope can be used for many physics experiment in school. The signal waveform from many sensors can be displayed. Students will get more understanding the physical properties of the oscillation of many devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## 8. ACKNOWLEDGEMENTS

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The educational oscilloscope project was supported by research fund from the Faculty of science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for the 2012 fiscal year.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 9. REFERENCES

- [1] Julio J.González, Clara C.Odiwo, "Design of an Educational oscilloscope," IEEE EDUCON Education Engineering, p.1873-1878, April 14-16, 2010.
- [2] Kathleen Albertson, "Teaching Pronunciation with an Oscilloscope," Journal of the National Association of Learning Laboratory Directors, vol.13, pp.25-30, 1979.
- [3] J.W. Pierre and R.F. Kubichek, "Investigating sampling and quantization using a digital storage oscilloscope," Transactions of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, (icassp), vol.5, pp.2725-3728, 2001.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



## ข้อมูลประวัติผู้วิจัย

Wichit Sirichote (Researcher)



**Date and Place of Birth:** 3 September 1964, Korat Province, North-Eastern of THAILAND

**Home address:** Fang-Khao Cake Shop 15/3 Thanon Tesabal 6 Tambol Sikhui Amphoe Sikhui Korat 30140

**Marital Status:** Married

**Education:** 1986 B.Sc.(Applied Physics), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1988 M.Sc.(Physics), Chulalongkorn University

### Training:

- Fifth College on Microprocessors: Technology and Applications in Physics, International Centre for Theoretical Physics Trieste, Italy, 1989
- Materials Characterization by Ultrasonic Method, Tohoku National Industrial Research Institute, AIST, Sendai, Japan, 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**Present Academic Title and Office Address:**

Associate Professor

Department of Applied Physics, Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 THAILAND

Phone: +662 3264339-53 ext.212 email: [kswichit@kmitl.ac.th](mailto:kswichit@kmitl.ac.th)

Homepage: Build Your Own Microcontroller Projects

**Administrative Work: 2010-2013**

Associate Dean,

Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

**Undergraduate Lecture and Lab:**

- Microcontrolller and Programming
- Alternative Energy Laboratory I, II
- Microcomputer Based Laboratory

**Postgraduate Lecture Courses:**

- Designing Computerized Instrumentation
- Physics and Technology of Photovoltaic System

**Master Thesis Supervision:**

- 1997 Measuring Mechanical Strength of Cast Iron by Ultrasound PEO Method
- 1998 Low Frequency C-scan Ultrasonic Imaging System
- 1999 I-V Module for Long-term Performance Evaluation of Photovoltaic System
- 2000 Digital Readout Instrument for Platinum Resistance Thermometer
- 2002 Measuring Elastic Properties of Acrylic Plastic by Ultrasound
- 2004 Fabrication of OIML R111 Weights
- 2005 Device for Measuring Total Harmonic Distortion of AC Voltage
- 2008 ARM Based Harmonic Meter
- 2010 Digital Power Meter
- 2011 Cheap Storage Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**Field of Interests:**

- Microprocessors Based Instrumentation
- Alternative Energy: Solar Photovoltaic, Wind Energy

**Patent:**

- W.Sirichote, W.Tantraporn, and N.Saengkaew,  
"Apparatus and Method for Providing Supplemental Alternating Current from a Solar Cell Array"  
US Patent 5,898,585 April 27, 1999.

- W.Sirichote, and S.Manapitakpong,  
Apparatus and Method for Measuring Current-Voltage Characteristics of Photovoltaic System\*  
\* patent pending

**Research:**

- Rural electrification
- Utility Backup Photovoltaic Power System
- Physics Education

**Technical Documentation:**

- "Photovoltaic Charge Controller", the 9th Conference on Energy Network of Thailand, 8-10 May 2013,
- "Apparatus and Method for Providing Supplemental Alternating Current from a Solar Cell Array" US Patent 5,898,585, April 27, 1999.
- "Device for Measuring Total Harmonic Distortion of AC Voltage"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## Thanaporn Leelawattananon (Researcher)



### Education:

- B.Sc. (Applied Physics), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
- M.Sc. (Information Science), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

### Present Academic Title and Office Address:

Department of Applied Physics, Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 THAILAND

email: [kltanapo@kmitl.ac.th](mailto:kltanapo@kmitl.ac.th)

### Research interests

- Data network communication
- Computational Physics
- Physics education

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.