



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องมือวัดทดสอบกำลังและความถี่วิทยุสื่อสาร

DEVELOPMENT OF POWER AND FREQUENCY

INSTRUMENT RADIO COMMUNICATION

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

อุมพร ทองรักษ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2548



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องมือวัดทดสอบกำลังและความถี่วิทยุสื่อสาร  
DEVELOPMENT OF POWER AND FREQUENCY  
INSTRUMENT RADIO COMMUNICATION

อุมพร ทองรักษ์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม  
ปีการศึกษา 2548

## คำนำ

ในงานตรวจสอบอุปกรณ์และทดสอบในงานระบบสื่อสารนั้น จะต้องใช้เครื่องมือที่มีความถี่ได้มาตรฐานในการวัดความถี่สื่อสาร ถ้านำเครื่องมือไม่ได้มาตรฐานมาใช้ในการวัดหรือตรวจสอบจะทำให้งานที่ได้มีความผิดพลาดสูง และเครื่องมือวัดและทดสอบความถี่วิทยุสื่อสาร ในระบบสื่อสารที่มีความสมรรถนะ เครื่องมือวัดกำลังส่งและทดสอบความถี่วิทยุสื่อสารจากต่างประเทศ มีขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 110 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ จะต้องทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ตามแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไปในประเทศไทย ดังนั้นจึงน่าจะมีการพัฒนาเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในประเทศไทย โดยที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทัดเทียมกับของต่างประเทศและในราคาต้นทุนที่ถูกลง

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเครื่องมือทดสอบ สำหรับห้องปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสาร ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิชาการในด้านระบบสื่อสารต่อไป และหากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย และยินดีน้อมรับคำแนะนำ เพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไป

อุมารท ทองรักษ์

ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ล่วงไปด้วยดี ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร.รัชนิพร พุกกะมาน อธิการบดี มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณทั้งหมดและได้ให้เวลาในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิเชฐ ม่วงนวล ผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงตลอดการดำเนินงานและการเขียนรายงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ ประจำสำนักวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุมที่ได้อำนวยความสะดวกและประสานงานอย่างดีเยี่ยมในการดำเนินโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ นาวาอากาศเอก สูดคนัย เกียรติกิจงทวี เจ้าหน้าที่กองมาตรฐานเครื่องวัด กรมสื่อสารทหารอากาศ กองทัพอากาศดอนเมือง ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือในการวัดเปรียบเทียบ

ขอขอบคุณ คุณประเทือง วิทยา เจ้าหน้าที่ส่วนบริการโครงการของบริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความรู้ทางด้านการวัดความถี่สูงย่านความถี่วีเอชเอฟ

ประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยฉบับนี้ และความดีที่ผู้วิจัยได้กระทำมาทั้งหมด ผู้วิจัยทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความจริงใจยิ่ง

อุมพร ทองรักษ์

ตุลาคม 2550

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย : การพัฒนาเครื่องมือวัดทดสอบกำลังและความถี่วิทยุสื่อสาร

ผู้วิจัย : นางอุมพร ทองรักษ์

หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2550

---

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและการสร้างเครื่องวัดทดสอบกำลังและความถี่วิทยุสื่อสารโดยใช้ความถี่วิทยุสื่อสารย่านความถี่วีเอชเอฟ เครื่องมือวัดนี้ มีส่วนประกอบของวงจรที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นการวัดสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียง ที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ 1 กิโลเฮิรตซ์ และ 10 กิโลเฮิรตซ์ โดยรับสัญญาณมาจากภาครับของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ โดยการเปรียบเทียบกับสัญญาณของวงจรรองสัญญาณเชิงเลขแบบนอตช์ ส่วนที่ 2 เป็นการวัดความถี่ ขนาด 1 เฮิรตซ์ ถึง 1 กิโลเฮิรตซ์โดยใช้หลักของวงจรหารความถี่และวงจรเฟสล็อกคูล ส่วนที่ 3 เป็นการวัดกำลังส่ง ที่ความถี่ 140 ถึง 500 เมกะเฮิรตซ์ขนาด 200 วัตต์โดยตรวจจับสัญญาณอาร์เอฟจากเครื่องส่งไปยังชุดคัมมีโพลดทำการแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงโดยผ่านวงจรรองความถี่ ทั้ง 3 ส่วนจะมีความสัมพันธ์กับการวัด จากการทดสอบเป็นการเปรียบเทียบค่าสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียงของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ขณะที่เมื่อไม่มีการส่งความถี่ใด ๆ เข้าไปทำให้ผลที่แสดงจะมีสัญญาณรบกวนจากสัญญาณความถี่อื่น ๆ ที่เข้ามา ผลการทดสอบค่าความผิดเพี้ยนของความถี่เสียงด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นที่ความถี่ 1 kHz มีการตอบสนองทางด้านความถี่ดีที่สุดที่ประมาณ +1 dB การทดสอบต่อเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารที่ความถี่ต่างๆ ด้วยกำลังส่ง 60 W จากการรับความถี่ต่างๆ ด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดมีน้อยมากไม่ถึง 1 %

คำสำคัญ : วงจรรองเชิงเลขชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดแบบนอตช์ วงจรวัดสัญญาณรบกวน และค่าความผิดเพี้ยน ของสัญญาณความถี่เสียง วงจรวัดกำลังส่ง วงจรวัดความถี่

**Research Title** : Development of Power and Frequency Instrument Radio Communication

**Name of Researcher** : Mrs.Umaphorn Thongrak

**Name of Institute** : Department of Electrical Engineering  
Faculty of Engineering Sripatum University

**Year of Publication** : B.E. 2550

---

### ABSTRACT

This research is designing pulpy building of Power and Frequency Instrument Radio Communication by use the radio frequency communicates section VHF, measuring this instrument, participate assemble of 3 important part circuits are **1 part** is noise measurement and mistake value are crazy of frequency Noise and Distortion signal at 100 Hz 1 kHz and 10 kHz by take a signal is from a part takes of the receiver - transmitter radio by the comparison and a signal of the circuit filter numerical signal Notch Filter, **2 parts** are frequency measurement size 1 Hz arrive at 1 GHz by use a pillar of the circuit divides by the frequency and the phase log loop circuit **3 parts** are the measurement s are sending at 140 frequencies arrive at 500 estimate to enjoy 200 religious routine sizes by detect a signal RF from a transmitter goes to still noise group loads to do modifying signal the frequency is light sky direct current signal by change the circuit filters the frequency , both of 3 the part has will the relation and the measurement from the test is the comparison, compare with noise value and mistake value are crazy of frequency sound signal of the measuring instrument that establish, compare with measuring standard instrument, while, when have no sending which frequency, enter make at show will have the noise from frequency other signal, that come in, value mistake test is crazy of sound frequency with measuring standard instrument and the measuring instrument that establish at 1 kHz frequency have the reaction of best frequency about +1 dB.

Keywords: Noise and Distortion Meter, Noise and Distortion Meter, Power Meter and

Frequency Meter

## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
คำถามการวิจัย.....	1
สมมุติฐานการวิจัย.....	1
ขอบเขตของการวิจัย.....	1
ประโยชน์ของการวิจัย.....	2
โครงสร้างของงานวิจัย.....	2
นิยามศัพท์.....	2
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
หลักการทั่วไปของการวัดและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า.....	3
จุดประสงค์ของระบบการวัด.....	4
ระบบการวัด.....	4
เครื่องรับ-ส่งวิทยุสื่อสาร.....	9
ภาคเครื่องส่ง FM.....	10
ภาคเครื่องรับ FM.....	11
การวัดสัญญาณรบกวน.....	12
สัญญาณรบกวนภายใน.....	15
ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม.....	15
หลักการวางจรรยา.....	16
การวัดกำลังไฟฟ้า.....	29

## สารบัญ (ต่อ)

3	ระเบียบวิธีการวิจัย.....	34
	โครงสร้างของเครื่องมือวัดทดสอบกำลังและความถี่วิทยุสื่อสาร.....	34
	ภาคมิเตอร์วัดแรงดัน.....	35
	ภาควัดค่าสัญญาณรบกวนและความผิดเพี้ยน .....	36
	ภาควงจรวัดความถี่.....	40
	ภาคประมวลการวัดสัญญาณ.....	41
	ภาควงจรวัดกำลังส่ง.....	45
	ภาคตรวจจับสัญญาณ.....	46
4	การทดสอบเครื่องมือวัด.....	48
	การทดสอบที่ 1 .....	48
	ผลการทดสอบที่ 1 .....	50
	การทดสอบที่ 2 .....	51
	ผลการทดสอบที่ 2 .....	52
	การทดสอบที่ 3 .....	53
	ผลการทดสอบที่ 3 .....	54
5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	55
	บทสรุป.....	55
	ข้อเสนอแนะ.....	56
	บรรณานุกรม.....	57
	ประวัติผู้วิจัย.....	58



## สารบัญภาพ

บทที่		หน้า
2.1	วงจรภายในของมัลติมิเตอร์แบบ 1 ย่านวัด.....	3
2.2	จุดประสงค์ของระบบการวัด.....	4
2.3	โครงสร้างทั่วไปของระบบการวัด.....	4
2.4	ระบบการวัดน้ำหนัก.....	5
2.5	การเปรียบเทียบของระบบการวัด.....	7
2.6	แผนผังของเครื่องส่ง VHF/FM.....	10
2.7	แผนผังของเครื่องส่ง UHF/FM.....	11
2.8	แผนผังเครื่องรับ FM แบบซิงเกิลคอนเวอร์ชัน.....	12
2.9	แผนผังเครื่องรับ FM แบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน.....	12
2.10	องค์ประกอบของสัญญาณรบกวน.....	13
2.11	การต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกำลังกระแสตรง.....	18
2.12	รูปคลื่นแรงดันและกระแสในวงจรสลับ.....	19
2.13	รูปสามเหลี่ยมกำลังของเครื่องมือวัด.....	21

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

1.1.1 ในปัจจุบันการวัดและทดสอบงานที่เกี่ยวกับระบบสื่อสารและความถี่นั้นจะทำได้ยากหากไม่มีเครื่องมือที่มาตรฐานมาใช้งาน

1.1.2 เครื่องมือวัดและทดสอบในระบบสื่อสาร ยังคงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้มีราคาที่สูงอยู่มาก

1.1.3 หากได้มีการนำเอาระบบการวัดและทดสอบต่างๆ ในงานตรวจสอบทางระบบสื่อสารเข้ามารวมกันในเครื่องมือเพียงชิ้นเดียว ก็จะทำให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์ขึ้น

1.1.4 หากการวัดและทดสอบทางระบบสื่อสารมีความง่ายขึ้น ส่งผลให้งานในทางด้านระบบสื่อสาร โทรคมนาคมจะแพร่หลายมากขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องมือวัดกำลังส่งและทดสอบความถี่วิทยุสื่อสาร

1.2.2 เพื่อประยุกต์การใช้งานการวัดและทดสอบในระบบสื่อสารขั้นสูงต่อไป

1.2.3 เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องมือวัดกำลังส่งและทดสอบความถี่วิทยุสื่อสารที่ผลิตในประเทศ

1.2.4 เพื่อวิเคราะห์และทักษะการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจากการวัดกำลังส่งและทดสอบความถี่วิทยุสื่อสาร

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างวงจรวัดสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียง (Noise and Distortion Meter) ที่ความถี่ 100 Hz, 1 kHz และ 10 kHz

1.3.2 ออกแบบและสร้างวงจรวัดความถี่ (Frequency Meter) ขนาด 1 Hz ถึง 1 GHz

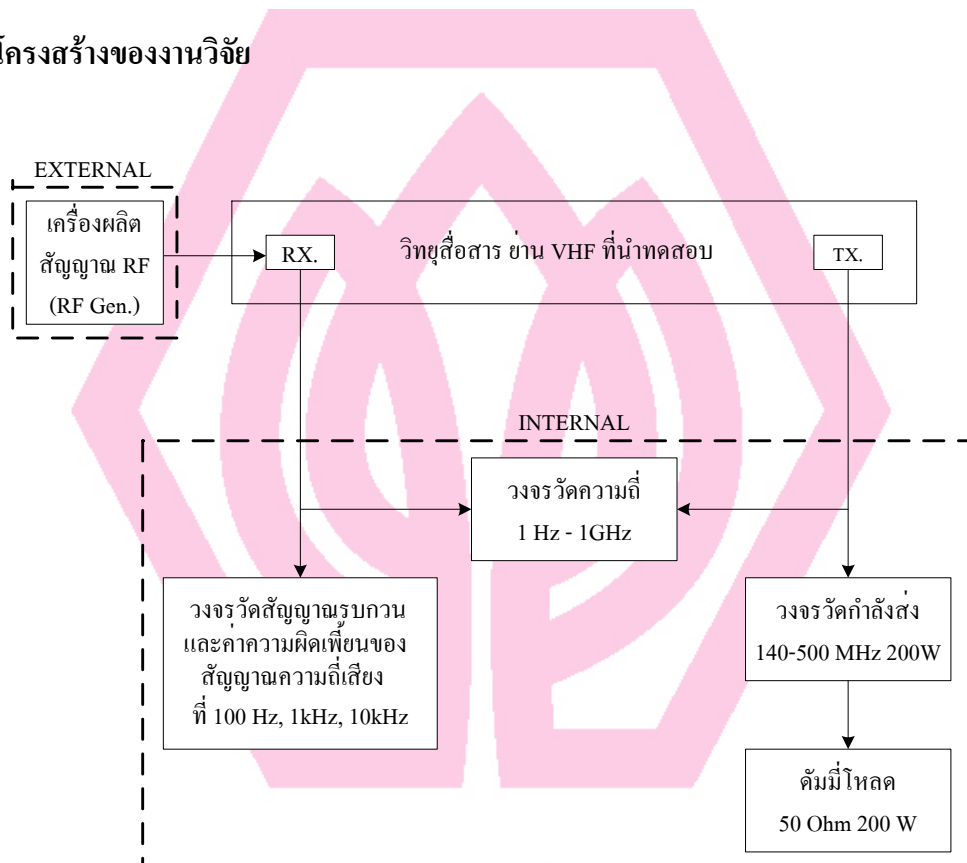
1.3.3 ออกแบบและสร้างวงจรวัดกำลังส่ง (Power Meter) ที่ 140 MHz ถึง 500 MHz ขนาด

200 W

#### 1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย

- 1.4.1 สามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดกำลังส่งและทดสอบความถี่วิทยุสื่อสารได้
- 1.4.2 สามารถประยุกต์ใช้ในงานการวัดและทดสอบในระบบสื่อสารขั้นสูงต่อไปได้
- 1.4.3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดและทดสอบให้มีความผิดพลาดน้อยได้
- 1.4.4 เพื่อเกิดความสะดวกและรวดเร็วในการวัดและทดสอบของงานได้

#### 1.5 โครงสร้างของงานวิจัย

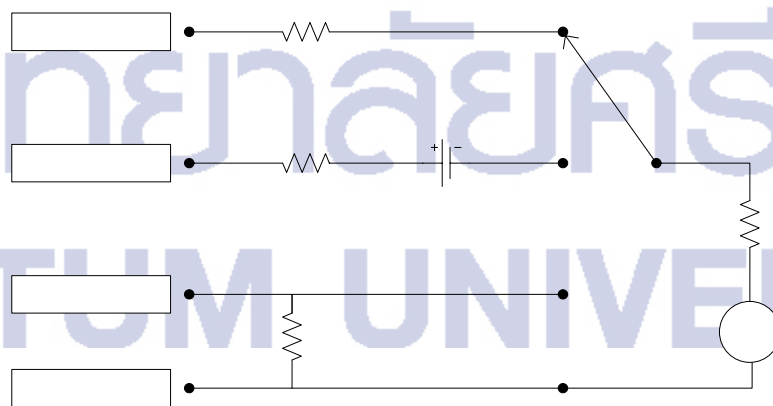


## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการทั่วไปของการวัดและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

การวัด (Measurement) เป็นกระบวนการในการหาค่าขนาดหรือปริมาณ โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องมือวัด (Instrument) หาค่าปริมาณหรือตัวแปรทางด้านกายภาพ (Physical) เช่น อุณหภูมิ ความดัน น้ำหนัก กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ฯลฯ ดังนั้นเราอาจนิยามเครื่องมือวัด คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดหาค่าของขนาดหรือปริมาณที่เราสนใจ ตัวอย่างเช่น มัลติมิเตอร์ (Multi meter) ก็คืออุปกรณ์ที่สามารถใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และค่าความต้านทาน ถึงแม้ว่าเครื่องมือวัดสมัยใหม่จะใช้อุปกรณ์ประเภทโซลิดสเตต (Solid State) และมีส่วนแสดงผลเป็นแบบดิจิทัลที่สะดวกต่อการวัดค่า อ่านค่า บันทึกค่า หรือนำไปใช้ในจุดประสงค์อื่นๆ แต่การใช้งานทางด้านเครื่องมือวัดเราจะสนใจทางด้านความถูกต้อง (Accuracy) และความเที่ยงตรง (Precision) ของเครื่องมือวัดเป็นสำคัญซึ่งไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อน เครื่องมือวัดอาจจะประกอบด้วยวงจรพื้นฐานที่ใช้อุปกรณ์สำหรับตรวจจับกระแส เช่น กัลวาโนมิเตอร์ (Galvanometer) หรือมิเตอร์ส่วนเคลื่อนที่ (Meter Movement) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.1 รวมถึงการศึกษาและทำความเข้าใจในหลักการทำงานพื้นฐานของอุปกรณ์เครื่องมือวัด วิธีใช้ และข้อจำกัดต่างๆ ของเครื่องมือวัด



ภาพประกอบ 2.1 วงจรภายในของมัลติมิเตอร์แบบ 1 ย่านวัด

### 2.1.1 จุดประสงค์ของระบบการวัด

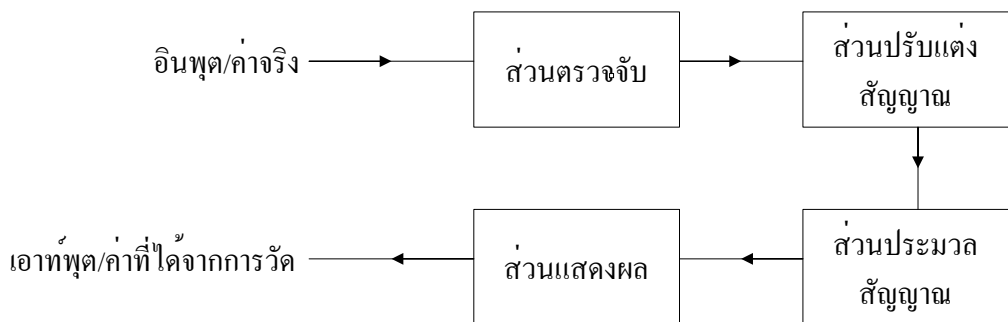
จุดประสงค์ของระบบการวัด คือ การแสดงค่าด้วยตัวเลขที่สอดคล้องกับปริมาณที่ต้องการวัดและระบุหน่วยของการวัดให้กับค่าที่ได้จากการวัด

โดยทั่วไปค่าตัวเลขที่ได้จากการวัด (Measured Value) จะไม่เท่ากับค่าจริง (True Value) ของปริมาณที่จะวัด เช่น ในการวัดค่ากระแสในวงจรไฟฟ้าโดยใช้ระบบการวัดดังแสดงในภาพประกอบ 2.2 ตัวแสดงผลอาจแสดงค่าเป็น 3.2 แอมป์ ซึ่งค่ากระแสจริงเป็น 3.3 แอมป์



ภาพประกอบ 2.2 จุดประสงค์ของระบบการวัด

ค่าที่ได้จากการวัดของระบบการวัดอาจมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าจริงของการวัด ซึ่งผลต่างก็คือ ค่าความผิดพลาด (Error)



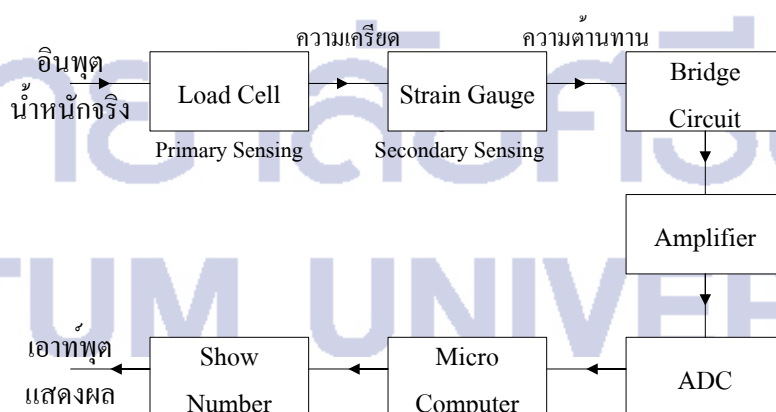
ภาพประกอบ 2.3 โครงสร้างทั่วไปของระบบการวัด

### 2.1.2 ระบบการวัด

ระบบการวัดประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 4 ส่วนดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 ทำหน้าที่แสดงผลที่ได้จากการวัดปริมาณอินพุต

- ส่วนตรวจจับ (Sensing Element) ส่วนนี้จะสัมผัสกับกระบวนการ และให้ค่าเอาต์พุตตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณที่เราทำการวัด เช่น

- 1) เทอร์โมคัปเปิล ให้ค่าเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้าตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
  - 2) เทอร์มิสเตอร์ ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
  - 3) สเตรนเกจ ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานตามการเปลี่ยนแปลงความเครียดทางกล
- **ส่วนปรับแต่งสัญญาณ (Signal Conditioning Element)** ส่วนนี้จะนำสัญญาณเอาต์พุตจากส่วนตรวจจับมาทำการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมกับส่วนประมวลสัญญาณ ปกติจะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหรือสัญญาณความถี่ ตัวอย่างเช่น
- 1) วงจรบริดจ์กระแสตรง ทำการแปลงค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงจากส่วนตรวจจับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
  - 2) วงจรบริดจ์กระแสสลับ ทำการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงจากส่วนตรวจจับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
  - 3) วงจรขยาย ทำการขยายแรงดันขนาดเล็ก ให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อใช้ในวงจรอื่นๆ ต่อไป
  - 4) วงจรออสซิลเลเตอร์ ทำการแปลงค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงเป็นความถี่
- **ส่วนประมวลสัญญาณ (Signal Processing Element)** ส่วนนี้จะนำสัญญาณเอาต์พุตจากส่วนปรับแต่งสัญญาณ มาปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมก่อนแสดงผล เช่น วงจรเชิงอุปมานเป็นวงจรเชิงเลข
- **ส่วนแสดงผล (Data Presentation Element)** ส่วนนี้จะแสดงค่าที่ได้จากการวัดในรูปแบบที่ง่ายต่อการอ่านค่า เช่น เข็มชี้ ตัวเลข หรือกระดาษบันทึก ตัวอย่างเช่น ระบบของการวัดน้ำหนักดังแสดงในภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 ระบบการวัดน้ำหนัก

### 2.1.3 หน้าทีและคุณลักษณะของเครื่องมือวัด

#### - หน้าทีของเครื่องมือวัด

- 1) การแสดงผล (Indicating)
- 2) การบันทึก (Recording)
- 3) การควบคุม (Controlling)

เครื่องมือวัดพื้นฐานส่วนใหญ่จะมีส่วนการแสดงผลเท่านั้น แต่เครื่องมือวัดบางชนิดมีคุณสมบัติครบทั้ง 3 แบบและหากมีส่วนของการควบคุม อาจเรียกว่า ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automated System) ส่วนประโยชน์ของเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าคือ

- 1) ความไวสูง (High Sensitivity) สามารถวัดสัญญาณที่มีขนาดต่ำมาก ๆ
- 2) อินพุตอิมพีแดนซ์สูง (High Input Impedance) ลดภาวะ การถูกมองเป็นโหลดของเครื่องมือวัดเมื่อต่อเข้าในวงจร (Loading Effect)
- 3) ความสามารถในการแสดงผลทางไกล (Ability to Monitor Remote Signal) โดยเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะมีราคาแพง เนื่องจากสามารถปรับแต่งสัญญาณได้และมีคุณสมบัติที่ดีในด้านความไวของการรับสัญญาณ (Sensitivity) รวมทั้งมีความต้านทานทางด้านอินพุตสูง ความต้านทานด้านอินพุตต่ำ และยังมีข้อดีของการแสดงผล (Monitor) ทางไกลได้อีกด้วย

#### - คุณลักษณะของเครื่องมือวัด

1. ความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึง ความใกล้เคียงของปริมาณที่ได้จากการวัดกับค่าจริง ในทางปฏิบัติค่าความถูกต้องนี้มักจะบอกในรูปของค่าความผิดพลาด ซึ่งไม่ใช่ค่าความถูกต้องที่แท้จริง เช่น ถ้า Volt meter หนึ่งมีสเกลอ่านค่าได้สูงสุด 300 V และมีความถูกต้อง  $\pm 2\%$

2. ความเที่ยงตรง (Precision) เป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการซ้ำของการวัด กล่าวคือเมื่อกำหนดค่าอ้างอิงของตัวแปรค่าหนึ่งเอาไว้ แล้วทำการวัดซ้ำด้วยเครื่องมือวัดเดิม ค่าที่วัดได้จะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใด เครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงสูง ค่าที่วัดได้จะมีความแตกต่างกันน้อย

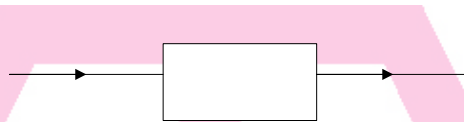
3. ความไว (Sensitivity) หมายถึง อัตราส่วนของสัญญาณเอาต์พุต (Output) หรือการตอบสนองของอุปกรณ์ ต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุต (Input) หรือค่าที่ถูกรวัด

4. ความละเอียด (Resolution) หมายถึง การตอบสนองของเครื่องมือวัดต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเล็ก ๆ ของปริมาณที่จะวัด เช่น เครื่องมือวัดดิจิทัลหนึ่งตัว มีความละเอียดเท่ากับ 100 mV ที่ 10 V หมายความว่า ในช่วงของการวัด 10 V เครื่องวัดสามารถวัดค่าได้ละเอียดสูงสุดเท่ากับ 10 mV

5. ความผิดพลาด (Error) หมายถึง ความแตกต่างของค่าที่ได้จากการวัดกับค่าจริง

### 2.1.4 ความผิดพลาดในการวัด

ความผิดพลาดในการวัดเกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่คาดว่าจะวัดได้ กับค่าที่ได้จากการวัด



ภาพประกอบ 2.5 การเปรียบเทียบของระบบการวัด

โดยค่าจริงที่คาดว่าจะวัดได้นี้ มีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการวัดมีผลมาจากหลายสาเหตุ หนึ่งในสาเหตุนั้นอาจมาจากการต่อเครื่องมือวัดในวงจร ซึ่งวงจรนั้นอาจมองเครื่องมือวัดเป็นโหลด อีกตัวหนึ่งต่อเพิ่มเข้าไป ซึ่งมีผลทำให้ค่าที่วัดแตกต่างไปจากค่าจริงที่ควรจะเป็น หรือในบางสาเหตุ อาจมาจากการอ่านค่าผิดพลาดของผู้ทำการวัดเอง

- **ความผิดพลาด (Error)** คือ ค่าแตกต่างระหว่างค่าจริงของสิ่งที่จะวัด (True Value) กับค่าที่ได้จากการวัด (Measured Value) ของปริมาณต่างๆ ในการแสดงความผิดพลาดของการวัด อาจแสดงได้ 4 ลักษณะ คือ

1. ค่าความผิดพลาดแบบสมบูรณ์ (Absolute Error)

$$e = |Y_n - X_n| \quad (2.1)$$

2. เปอร์เซนต์ความผิดพลาด (Percent Error)

$$\%e = \frac{|Y_n - X_n|}{Y_n} \times 100\% \quad (2.2)$$

3. ค่าความถูกต้อง (Accuracy)

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad (2.3)$$

True value  
(ค่าจริง)

ระบบ



### 3. ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (Percent Of Accuracy)

$$\% A = A \times 100\% \quad (2.4)$$

กำหนดให้  $e$  คือ ค่าความผิดพลาดแบบสมบูรณ์ (Absolute Error)

$Y_n$  คือ ค่าจริง (True Value)

$X_n$  คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measured Value)

$A$  คือ ค่าความถูกต้อง (Accuracy)

$n$  คือ จำนวนครั้งในการวัด

ถ้าการวัดใดที่มีค่าความถูกต้องสูง ก็ต้องมีค่าความเที่ยงตรงสูง (Precision) สูงเสมอ แต่ในทางกลับกัน ในการวัดใดที่มีความเที่ยงตรงสูงการวัดนั้นไม่จำเป็นต้องมีค่าความถูกต้อง ความเที่ยงตรง สามารถแสดงเป็นสมการคณิตศาสตร์เป็น

$$\text{Precision} = 1 - \left| \frac{X_n - \overline{X_n}}{X_n} \right| \quad (2.5)$$

โดย Precision คือ ค่าความเที่ยงตรง

$X_n$  คือ ค่าของการวัดแต่ละครั้ง ในจำนวน  $n$  ครั้ง

$\overline{X_n}$  คือ ค่าเฉลี่ยของการวัดจำนวน  $n$  ครั้ง

- ชนิดของความผิดพลาด (Types of Error) ในทางปฏิบัติไม่มีการวัดใดที่มีความถูกต้องแน่นอน ดังนั้นในการวัดแต่ละครั้งจะมีค่าความผิดพลาดอยู่เสมอ ดังนั้นอย่างไรจึงสามารถลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด ก็มีหลายวิธีที่สามารถลดค่าความผิดพลาดได้เช่น ใช้เครื่องมือวัดหลายเครื่องในการวัดปริมาณเดียวกัน แต่ก็ลดได้เฉพาะ ความผิดพลาดเนื่องจากสภาพแวดล้อม (Environmental Error) และความผิดพลาดแบบเร้นดอม (Random Error) แต่ไม่สามารถลดความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องมือวัด (Instrument Error) การหาแหล่งที่มาของความผิดพลาดโดยทั่วไปสามารถแบ่งชนิดของความผิดพลาดออกได้ดังนี้

1. ความผิดพลาดเนื่องจากผู้วัด (Gross Error) เกิดเนื่องจากผู้ทำการวัด เช่น อ่านค่าสเกลผิด การใช้เครื่องมือไม่เหมาะสม การบันทึกค่าผิด และการคำนวณผิด ตัวอย่างการใช้เครื่องมือไม่เหมาะสม คือการใช้ Volt meter ที่มีความไวต่ำ ไปวัดค่าแรงดันของวงจรที่มีความต้านทานสูงจะทำให้เกิดการโหลดของวงจรของเครื่องวัดหรือเรียกว่า Loading Effect เพราะเครื่องวัดต่อขนาน กับ

ความต้านทานที่กำลังวัดแรงดันอยู่ ความต้านทานรวมของวงจรจะมีค่าลดลง ทำให้เครื่องวัดอ่านค่าได้น้อยกว่าในขณะที่ไม่มีเครื่องวัดต่ออยู่ในกรณี Volt meter ต่อคร่อมความต้านทานต่ำ ค่าที่ Volt meter อ่านได้จะให้ค่าที่ถูกต้องในขอบเขตที่ยอมรับได้ ดังนั้นสามารถหลีกเลี่ยงความผิดพลาดเนื่องจาก Loading Effect ได้ โดยใช้ Volt meter ที่มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูง

2. ความผิดพลาดเชิงระบบ (System Error) สามารถแบ่งออกได้สองประเภท คือ ความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องมือวัด (Instrument Error) เป็นความผิดพลาดที่อยู่ในเครื่องมือวัดเอง เนื่องจากโครงสร้างทางกลของเครื่องมือวัด เช่น Volt meter จะเกิดแรงเสียดทานในส่วนเคลื่อนที่ต่าง ๆ เป็นเหตุให้ค่าคลาดเคลื่อนไป แรงดึงของสปริงที่ผิดไปเนื่องจากการใช้งานเกินพิกัด สามารถแก้ไขได้โดยนำเครื่องมือวัดไปปรับเทียบ ส่วนที่สองเป็นความผิดพลาดเนื่องจากสภาพแวดล้อม (Environment Error) ความผิดพลาดชนิดนี้เกิดจากปัจจัยภายนอกของเครื่องมือวัด ซึ่งรวมถึงสภาพเงื่อนไขที่ใช้เครื่องมือวัดนั้นๆ เช่นผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใช้งาน ส่งผลให้คุณสมบัติความยืดหยุ่นของสปริงเปลี่ยนไป ผลของความดัน ความชื้น สนามแม่เหล็ก ทำให้การอ่านค่าคลาดเคลื่อนได้ สามารถแก้ไขได้โดยการควบคุมสถานะแวดล้อม หรือทำการชิลด์ (Shielding) ตัวเครื่องมือวัด ลดการรบกวนของสัญญาณอื่น

3. ความผิดพลาดแบบแรนดอม (Random Error) เป็นความผิดพลาดที่มีค่าแตกต่างกันเมื่อทำการวัดปริมาณเดียวกันซ้ำ ๆ ความผิดพลาดชนิดนี้เกิดจากสาเหตุที่อธิบายไม่ได้ และสามารถเกิดขึ้นได้ แม้เมื่อทำการปรับความผิดพลาดเชิงระบบต่าง ๆ แล้ว เช่นใช้ Volt meter หนึ่งอ่านค่าจากมาตรฐานวัดทุกครั้งชั่วโมง จะพบว่าเครื่องวัดทำงานได้สภาพแวดล้อมที่เป็นอุดมคติ ค่าที่อ่านได้จะเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่ทำกรวัด ความแตกต่างนี้ ไม่สามารถแก้ไขโดยการปรับเทียบเครื่องมือวัด หรือวิธีการควบคุมอื่นๆ ได้ มีวิธีเดียวที่สามารถลดค่าความผิดพลาดนี้ได้ โดยการเพิ่มจำนวนของตัวอย่าง และควรใช้วิธีการทางสถิติประมาณค่าปริมาณที่วัดให้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

## 2.2 เครื่องรับ-ส่งวิทยุสื่อสาร

เครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารที่จะอธิบายถึงต่อไปนี้เป็นเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารที่ใช้งานในย่านความถี่ VHF (ประมาณ 150 MHz) และย่านความถี่ UHF (ประมาณ 450 MHz)

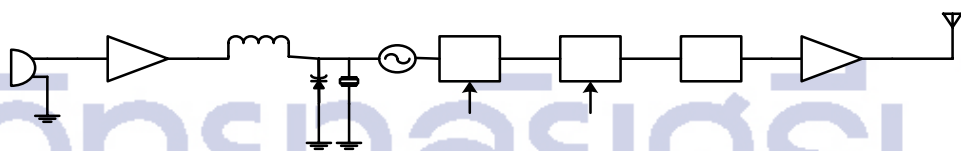
ปกติเครื่องรับส่งวิทยุดังกล่าว มักจะประกอบภาคเครื่องรับและภาคเครื่องส่งรวมไว้ในตัวเครื่องเดียวกัน เรียกว่า เครื่องรับส่งวิทยุ (Transceiver) ซึ่งมีทั้งติดตั้งประจำที่ ติดตั้งไว้ในรถยนต์ หรือในเรือ และประเภทถือหิ้วไปมา หรือมือถือ นิยมเรียกว่า วอล์คกี้ทอล์คกี้ (Willkie-Talkie) ข่าวดสารที่ใช้ในการรับส่งกันมักจะเป็นเสียงพูด

สำหรับเครื่องรับส่งวิทยุในย่าน VHF และ UHF นี้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบแบนด์วิดท์แคบ (Narrow Band) ซึ่งใช้ในการรับส่งสัญญาณ FM (อาจมีสัญญาณ AM, SSB หรือสัญญาณอื่นๆ ด้วย) วิธีมอดูเลตแบบ FM มีข้อดีที่มีความต้านทานต่อสัญญาณรบกวน (Noise Immunity) และสัญญาณ FM ผลิตได้ง่าย ทำให้ขนาดเครื่องเล็กกะทัดรัดและน้ำหนักเบา การสื่อสารในย่านความถี่ VHF และ UHF มีทั้งแบบการเชื่อมโยงระหว่างจุดต่อจุด และการสื่อสารโมบายล์ (Mobile) ระยะทางที่ติดต่อสื่อสารประมาณ 50 กิโลเมตร

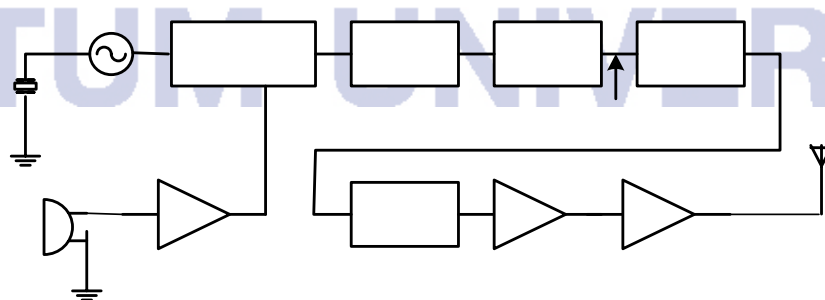
ความถี่ใช้งานของเครื่องรับส่งวิทยุข้างต้น มักจัดไว้เป็นช่องๆ ตามตัว ถ้าต้องการเปลี่ยนความถี่ก็ใช้วิธีปรับสวิตช์เปลี่ยนช่อง โดยที่แต่ละช่องจะมีแรมป์กับความถี่คริสตอลเฉพาะของตัวเอง สำหรับเครื่องรับส่งวิทยุในรุ่นใหม่ๆ จะนิยมใช้ระบบสังเคราะห์ความถี่แทนการใช้แรมป์ ทำให้สามารถเลือกหรือเปลี่ยนความถี่ใช้งานได้สะดวก ส่วนสำหรับเครื่องรับส่งวิทยุในกิจการวิทยุสมัครเล่น (Amateur Radio) นั้น จะนิยมใช้ระบบสังเคราะห์ความถี่ (Synthesizer) ทำให้สามารถปรับจูนความถี่ได้ตามต้องการตลอดย่านความถี่

### 2.2.1 ภาคเครื่องส่ง FM

ในวงจรพื้นฐานของระบบเครื่องส่งจะประกอบไปด้วย Oscilloscope กับ Modulate และ วงจรมัลติพลาย ซึ่งทำหน้าที่คูณความถี่ให้ได้ตามต้องการ เพื่อขยายกำลังส่งออกอากาศไปดังภาพประกอบ 2.6



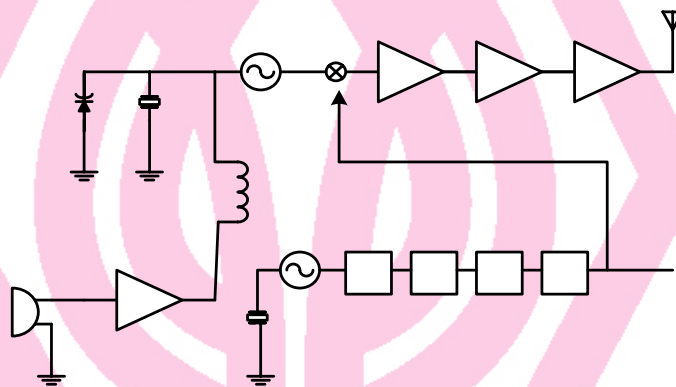
(ก) วิธีมอดูเลตโดยตรง



(ข) วิธีเฟสมอดูเลต

ภาพประกอบ 2.6 แผนผังของเครื่องส่ง VHF/FM

จากภาพประกอบ 2.6 เป็นการแสดงสัญญาณ FM จากการ Modulate จะผ่านการคูณความถี่ 3 เท่า 2 ครั้ง และภาพประกอบ 2.7 เป็นการแสดงเครื่องส่งที่ทำการมอดูเลตที่ความถี่ IF ของภาคเครื่องรับ เสียก่อนแล้วจึงนำไป Heterodyne กับความถี่ของ Local Oscillator เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ ในที่นี้ความถี่ IF ของภาคเครื่องรับเท่ากับ 21.4 MHz และความถี่ Local Oscillator เท่ากับ 453.6 MHz (ได้จากการคูณความถี่คริสตอล 5.6 MHz 81 เท่า) วิธีนี้มีข้อดีตรงที่เราใช้คริสตอลเพียงก้อนเดียวต่อความถี่ใช้งานหนึ่งความถี่ โดยใช้ร่วมกันทั้งสภาวะรับและสภาวะส่ง นอกจากนี้ภาคเครื่องส่งก็ไม่จำเป็นต้องมีวงจรคูณความถี่ต่างหากอีก



ภาพประกอบ 2.7 แผนผังของเครื่องส่ง UHF/FM

### 2.2.2 ภาคเครื่องรับ FM

เครื่องรับ FM ในย่านความถี่ VHF ส่วนใหญ่เป็นแบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน สำหรับในย่านความถี่ VHF บางครั้งอาจใช้แบบทริปเปิลคอนเวอร์ชัน (Triple Conversion) ภาพประกอบ 2.8 แสดงแผนผังของเครื่องรับชนิดซิงเกิลคอนเวอร์ชัน (Single Conversion) สังเกตว่าวงจรส่วนหน้าชนิดที่มีค่า Q สูงมาก เรียกว่าเฮลิคัลเรโซเนเตอร์ (Helical Resonator) ส่วนในภาพประกอบ 2.9 แสดงแผนผังของเครื่องรับชนิดดับเบิลคอนเวอร์ชัน

วาแรกเตอร์

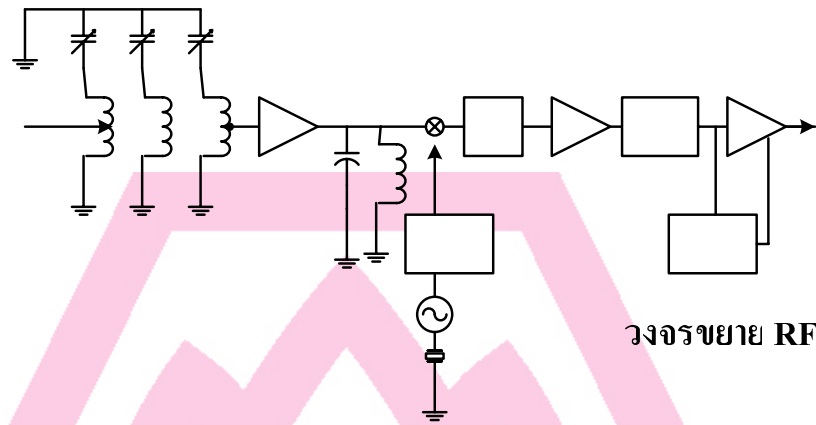
21.4 MHz

TxIF

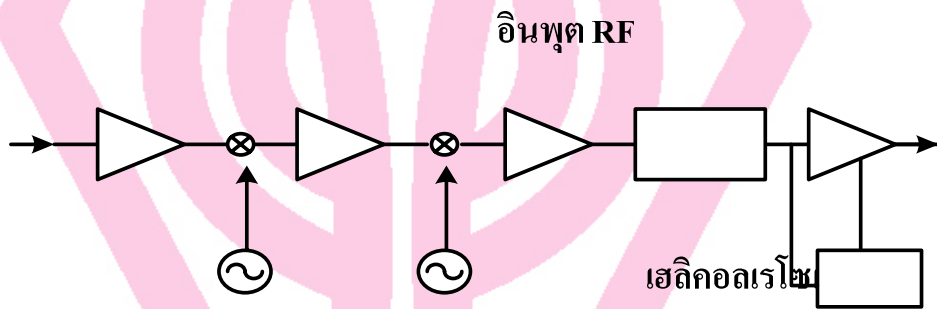
ไมโครโฟน

5.60

วงจรขยายเสียง



ภาพประกอบ 2.8 แผนผังเครื่องรับ FM แบบซิงเกิลคอนเวอร์ชัน



ภาพประกอบ 2.9 แผนผังเครื่องรับ FM แบบดับเบิลคอนเวอร์ชัน

### 2.3 การวัดสัญญาณรบกวน

สัญญาณแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากภายนอกและรบกวนมากับสัญญาณแรงดันหรือกระแสของวงจรทางไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เราจะเรียกว่าสัญญาณรบกวน (Noise) สัญญาณรบกวนอาจกำเนิดจากภายนอก แล้วเข้าสู่ภายในวงจรไฟฟ้า หรืออาจเกิดภายในวงจรไฟฟ้าเอง ผลของสัญญาณรบกวนในวงจรไฟฟ้าอาจจะมีช่วงขนาดจากเสียงรบกวน (เสียงฮัม) ในลำโพงของเครื่องรับวิทยุไปจนถึง 60 Hz ทำให้การส่งข้อมูลหรือการสื่อสารผิดพลาดไป ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสียหายแก่ชีวิตได้ ถ้าสัญญาณรบกวนนี้ไปรบกวนเครื่องมือแพทย์

#### 2.3.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนมีนิยามว่าเป็น สัญญาณที่มีการเบี่ยงเบนจากค่าอ้างอิง หรือ เป็นสัญญาณที่ **ไม่ต้องการ** หรือสัญญาณที่ข้อยู่บนสัญญาณที่เราสนใจ **ของมนุษย์เอง** สัญญาณรบกวนซึ่งจะมีผลต่อ **ที่ 1**

อินพุต  
RF

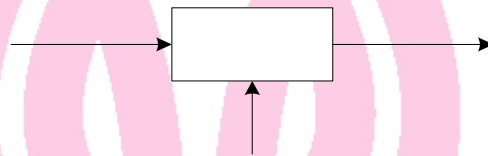
มิกเซอร์ที่ 1

มิก

กระบวนการวัด จะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดหรือขนาดของสัญญาณที่ไม่ต้องการเทียบกับสัญญาณที่สนใจ อัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการเทียบกับสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการจะถูกเรียกว่าเป็น อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio)

ในขบวนการวัดใด ๆ ก็ตาม ต้องรักษาค่าของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนนี้ ให้มีค่ามาก โดยการเพิ่มระดับสัญญาณไม่ให้ค่าสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น หรือทำการลดสัญญาณรบกวนโดยเทคนิคในการลดสัญญาณรบกวน

องค์ประกอบของสัญญาณรบกวนจะถูกสร้างภายในวงจรขยาย สัญญาณรบกวนอาจเกิดจาก ส่วนอื่นๆโดยพิจารณาจากวงจรดังภาพประกอบ 2.10



ภาพประกอบ 2.10 องค์ประกอบของสัญญาณรบกวน

จากภาพประกอบ 2.10 เมื่อสัญญาณเข้าไม่มีสัญญาณรบกวน สัญญาณที่ได้จะเป็นจำนวน เท่าของจำนวนอินพุตบวกกับสัญญาณรบกวน แหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวนในวงจรขยาย อาจจะเป็นค่าความต้านทาน ค่าความจุไฟฟ้า ทรานซิสเตอร์ ในกรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นภายใน วงจรขยายจะถูกเรียกว่า Generated Noise แหล่งจ่ายพลังงานหรือ Power Supply อาจเป็นแหล่งของ สัญญาณรบกวน โดยเกิดจาก Spike Ripple หรือการนำสัญญาณผ่านทางสายตัวนำ ชนิดของสัญญาณ นี้เรียกว่า Conducted Noise มีแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอีกชนิดหนึ่งที่เกิดจากสนามไฟฟ้าและ สนามแม่เหล็กเรียกว่า Radiated Noise

### 2.3.2 การวัดสัญญาณรบกวน

การวัดขนาดสัญญาณรบกวน ของพารามิเตอร์บางชนิดขนาดของสัญญาณรบกวน ที่ สามารถวัดได้ง่ายที่สุดคือ เทอร์มัลนอยส์ (Thermal Noise) ที่เกิดขึ้นในสัญญาณรบกวนนี้ ซึ่งเรียกว่า Johnson Noise ค้นพบโดย John B. Johnson นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน ถ้ากำหนดให้ พารามิเตอร์ กำลังของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในตัวนำเป็น  $P_n$  เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ

i/p Signal

without noise

สัมบูรณ์ (Absolute Temperature) ของตัวนำ และความถี่แบนด์วิดท์ (Frequency Bandwidth) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ 2.6

$$P_n \propto T\Delta B \quad (2.6)$$

ซึ่ง  $P_n$  คือ กำลังของสัญญาณรบกวน (Noise Power)  
 $T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature) ในหน่วยขององศาเคลวิน  
 $\Delta B$  คือ ความถี่แบนด์วิดท์ (Frequency Bandwidth)

จากความสัมพันธ์สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 2.7

$$P_n = KT\Delta B \quad (2.7)$$

ซึ่ง K เป็น ค่าคงที่ของ Boltzmann Constant มีค่าเท่ากับ  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K

พารามิเตอร์ที่สองเป็น ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum Density) ซึ่งเป็นค่ากำลังของสัญญาณรบกวนต่อหนึ่งหน่วยของความถี่แบนด์วิดท์ มีหน่วยเป็น Watt / Hz หรือ Joules/Cycle

$$S_n = \frac{P_n}{\Delta B} = \frac{KT\Delta B}{\Delta B} = KT \quad (2.8)$$

ซึ่ง  $S_n$  คือ ความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลัง (Power Spectrum Density)

เนื่องจากเครื่องมือวัดจะมีองค์ประกอบของความต้านทานในภาคอินพุทของวงจร ผู้ใช้เครื่องมือวัดจะต้องทราบพารามิเตอร์ของสัญญาณรบกวนของแต่ละเครื่องมือวัด จากนิยามของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งถูกกำหนดโดยสมการที่ 2.9

$$\therefore \frac{S}{N} = \frac{V_s^2}{V_n^2} \quad (2.9)$$

โดยที่  $S = \frac{V_s^2}{R}$  และ  $N = \frac{V_n^2}{R}$

ซึ่ง  $S$  คือ กำลังของสัญญาณ (Signal Power)

$N$  คือ กำลังของสัญญาณรบกวน (Noise Power)

### 2.3.3 สัญญาณรบกวนภายใน (Shot Noise)

เกิดจากการเคลื่อนที่ของพาหะนำประจุตัดผ่านแนวขวางกั้นศักย์ (Potential Barriers) จะแปรตามค่าความถี่แบนด์วิดท์และจะถูกกำหนดในรูปของกระแส ดังสมการที่ 2.10

$$i_{sh} = \sqrt{2\ell I_{dc} \Delta B} \quad (2.10)$$

ซึ่ง  $i_{sh}$  คือ ค่ากระแส Shot Noise  
 $\ell$  คือ ประจุอิเล็กตรอน  $1.6 \times 10^{-13}$  C  
 $I_{dc}$  คือ ค่ากระแสตรง  
 $B$  คือ ความถี่แบนด์วิดท์

### 2.3.4 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion: THD)

เกิดจากอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสอง (Root Sum Square) ของค่า RMS ของส่วนประกอบฮาร์มอนิก (Harmonic Component) กับค่า RMS ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล (Fundamental Component) ดังในสมการที่ 2.11 และ 2.12

$$\text{THD}_{(\text{Voltage})} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots}}{V_1} \quad (2.11)$$

$$\text{THD}_{(\text{Current})} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{I_1} \quad (2.12)$$

โดยที่

$\text{THD}_{(\text{Voltage})}$  คือ ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมทางด้านแรงดัน

$\text{THD}_{(\text{Current})}$  คือ ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมทางด้านแรงดัน

$V_1$  คือ ค่าแรงดัน RMS ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล

$V_2, V_3$  คือ ค่าแรงดัน RMS ของส่วนประกอบฮาร์มอนิก (Harmonic Component)

$I_1$  คือ ค่ากระแส RMS ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล (Fundamental Component)

$I_2, I_3$  คือ ค่ากระแส RMS ของส่วนประกอบฮาร์มอนิก (Harmonic Component)



ความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก (Harmonic Distortion) เป็นการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นทางไฟฟ้า (Power Waveform) ไปจากรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave) โดยเกิดจากการรวมกันของค่าความถี่หลักมูล (Fundamental) และฮาร์มอนิกอื่นๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งส่วนประกอบฮาร์มอนิก (Harmonic Component) เป็นอันดับฮาร์มอนิกที่มากกว่าหนึ่งของปริมาณคาบใด ๆ ซึ่งแสดงในรูปอันดับ (Order) และค่า RMS ของอันดับนั้น

ส่วนปริมาณรวมฮาร์มอนิก (Harmonic Content) เป็นปริมาณที่ได้จากการหักค่า DC และส่วนประกอบความถี่หลักมูลจากปริมาณเป็นคาบที่ไม่อยู่ในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave)

## 2.4 หลักการวงจรรนับ

วงจรรนับแบบเชิงเลขเป็นชุด Flip Flop ซึ่งสถานะเปลี่ยนแปลงตอบสนองต่อพัลส์ ที่ป้อนเข้าไปยังอินพุตของวงจรรนับ Flip Flop ที่ถูกจัดเข้าด้วยกันที่เวลาใดจะเป็นเลขฐานสองที่สมมูลกับจำนวนพัลส์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจนถึงเวลานั้น จากความหมายของวงจรรนับจึงถูกใช้นับจำนวนพัลส์ ตัวอย่างเช่น เมื่อมี 5 พัลส์เกิดขึ้นที่อินพุตของวงจรรนับ ที่ประกอบด้วย Flip Flop 3 ตัว ค่าของวงจรรนับจึงเป็น 101 และหลังจากมี 6 พัลส์เกิดขึ้น ค่าจะเป็น 110 พัลส์อินพุตอาจเกิดขึ้นด้วยความถี่คงที่ค่าหนึ่ง เช่น เมื่ออินพุตเป็นสัญญาณนาฬิกา หรืออาจเกิดขึ้นแบบมีคาบเวลาไม่สามารถคาดเดาได้แก่ การเกิดของเหตุการณ์ในระบบใหญ่ ตัวอย่างของกรณีหลังนี้ได้แก่ การใช้วงจรรนับเพื่อจำนวนพาหนะที่ผ่านทางแยกหนึ่ง โดยที่ยานพาหนะแต่ละคันจะทำให้เกิด 1 พัลส์อินพุต เมื่อเคลื่อนที่ผ่านเพลตแรงดัน (Pressure Plate) ที่ฝังอยู่ในพื้นถนน

วงจรรนับทั้งหมดเป็นเลขฐานสองที่บรรจุของ Flip Flop แต่ละตัวจะเป็น 1 และ 0 ใดๆก็ตาม คำว่าวงจรรนับฐานสอง วงจรรนับฐานสิบ วงจรรนับ BCD และอื่นๆ ชื่อเหล่านี้อ้างถึงวิธีที่สิ่งซึ่งบรรจุอยู่จะถูกแปลความหมายในรหัสฐานสองแบบต่าง ๆ รหัสจะมีการกำหนด (อย่างอัตโนมัติ) จากค่าเริ่มต้น ซึ่งโดยทั่วไปคือศูนย์ ตัวอย่างเช่น วงจรรนับฐานสองประกอบด้วย Flip Flop จำนวน 5 ตัว สามารถนับได้ถึง  $11111 = 31_{10} (2^5 - 1)$  และ Reset ให้เป็น 00000 เมื่อมีพัลส์ที่ 32 อีกนัยหนึ่งวงจรรนับฐานสิบ (BCD) ประกอบด้วย Flip Flop จำนวน 4 ตัว จะต้องถูก Reset เป็น 0000 หลังจากค่าที่นับได้ถึง 1001 คือ  $9_{10}$

ค่าที่นับได้ของวงจรรนับจะถูกถอดรหัสโดยใช้วงจรตรรก ตัวอย่างเช่น วงจรถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบจะถูกใช้เพื่อถอดรหัส วงจรรนับ BCD ทำให้เอาต์พุตหนึ่งใน 10 เส้นเอาต์พุตเป็น High ขึ้นกับอินพุต 4 บิตที่ป้อนมาจากวงจรรนับ

วงจรรนับถูกใช้อย่างแพร่หลายในระบบเชิงเลขเพราะสามารถทำงานฟังก์ชันที่สำคัญได้เป็นจำนวนมากกว่าที่จะทำเพียงคอยตามดูจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น วงจรรนับมักถูกใช้เป็นวงจรร

ความถี่ เพื่อให้ได้รูปคลื่นที่มีความถี่เป็นเศษส่วนของความถี่สัญญาณนาฬิกาหนึ่ง วงจรนับยังถูกใช้เพื่อทำฟังก์ชันตั้งเวลา (Timing) เช่น ในนาฬิกาดิจิตอลและในการสร้างเวลาหน่วง รวมถึงการทำการนับเลขฐานสองที่ไม่เป็นลำดับได้แก่ 001, 010, 100, 001...

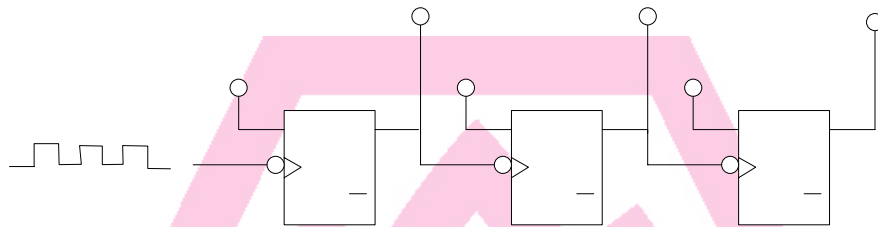
#### 2.4.1 วงจรนับระลอกฐานสอง

วงจรรนับที่เป็นเบื้องต้นที่สุด ออกแบบง่ายที่สุด และใช้ฮาร์ดแวร์น้อยที่สุดคือวงจรรนับระลอกฐานสอง(Binary Ripple Counter) วงจรรนับระลอกฐานสองประกอบด้วย Toggle Flip Flop (T) หรือชนิดอื่นที่ต่อแล้วมีพฤติกรรมเป็น T Flip Flop จะถูกนำมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้เอาต์พุต Q ของภาคหนึ่งเป็นอินพุตและให้ภาคต่อไปเกิดการ Toggle ย้อนไปอีกถึงว่า T Flip Flop จะเปลี่ยนสถานะที่ทุก ๆ ขอบนำ (หรือขอบตาม) ที่เกิดขึ้นที่อินพุตของ Flip Flop

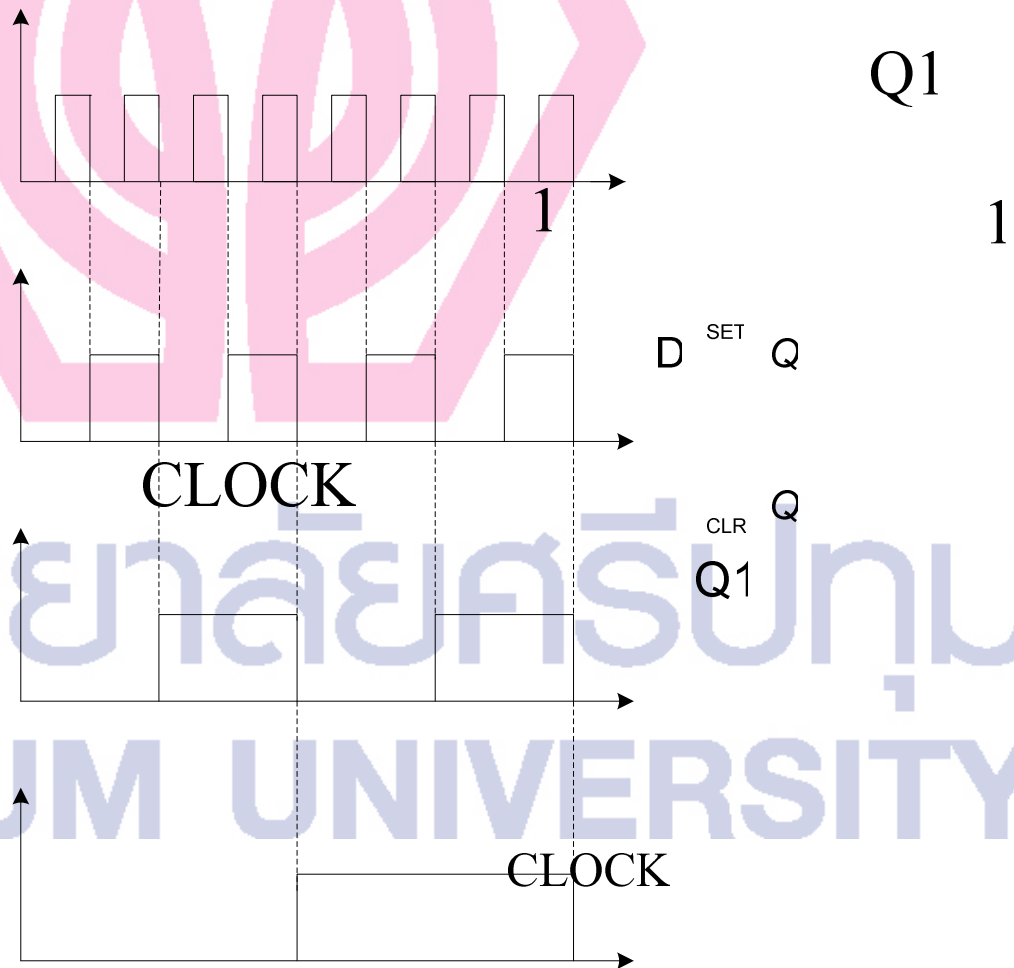
ภาพที่ 2.11 (ก) แสดงวงจรรนับระลอก 3 บิต ประกอบด้วย Flip Flop ให้ชื่อเป็น  $Q_2$  และ  $Q_4$  ที่มีตรรกะด้านล่างสมนัยกับน้ำหนักของตำแหน่งบิตของค่าฐานสองที่นับได้ แผนภาพเวลาในภาพประกอบ 2.11 (ข) แสดงวิธีที่ Flip Flop เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะตอบสนองต่อสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้าไปยังภาคนี้สำคัญต่ำสุด ( $Q_1$ ) ดังแสดงได้ในตารางการนับว่า  $Q_1$  จะเปลี่ยนสถานะทุกครั้งที่มีการนับใหม่ และการกระทำดังกล่าว ที่เกิดขึ้นในวงจรเพราะ  $Q_1$  ถูก Toggle ด้วยขอบตามของสัญญาณนาฬิกาโดยตรง  $Q_2$  จะ Toggle ที่ขอบตามของ  $Q_1$  ดังนั้น  $Q_2$  จะเปลี่ยนสถานะหลังจากทุก ๆ 2 พัลส์สัญญาณนาฬิกา  $Q_4$  จะ Toggle ที่ขอบตามของ  $Q_2$  ดังนั้น  $Q_4$  จะเปลี่ยนสถานะหลังจากทุก ๆ 4 พัลส์สัญญาณนาฬิกา โดยสังเกตว่าค่าในเลขฐานสองของวงจรรนับหลังจากจำนวน พัลส์สัญญาณนาฬิกาใด ๆ (ขอบตาม) มีปรากฏเท่ากับจำนวนทั้งหมด และให้สังเกตว่าวงจรรนับถูก Reset เป็น 000 หลังจากพัลส์สัญญาณนาฬิกาที่ 8 ซึ่งเป็นพัลส์ที่เกิดขึ้นหลังจากค่าของวงจรรนับถึงค่าสูงสุดคือ  $111 = 7_{10}$

แผนภาพเวลาในภาพประกอบ 2.11 (ข) ไม่ได้แสดงว่าเวลาหน่วงการแพร่ใน Flip Flop มีผลต่อรูปคลื่นเอาต์พุต โดยเหตุที่ Flip Flop แต่ละตัวถูก Toggle ด้วยการเปลี่ยนแปลงสถานะของ Flip Flop ที่อยู่ก่อนหน้าจึงปรากฏว่าไม่มี Flip Flop ใด สามารถเปลี่ยนสถานะจนกว่าหลังจากเวลาหน่วงการแพร่ของ Flip Flop ที่อยู่ก่อนหน้า เวลานี้จะสะสมไปตามจำนวนภาคที่หนึ่งเพิ่มขึ้น ความเสียหายอันเป็นผลจากการหน่วงดังกล่าวต่อการทำงานของวงจรรนับระลอก สำหรับตอนนี้เป็นการเพียงพอแล้วที่จะเข้าใจว่าการกระทำดังกล่าวเป็นเหตุให้ได้ใช้ชื่อว่าวงจรรนับระลอก คือ Flip Flop หนึ่งจะไม่สามารถเปลี่ยนสถานะได้จนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนทุกสถานะก่อนหน้า นั่นคือการเปลี่ยนแปลงของสถานะในภาคที่หนึ่งจะมีประสิทธิผลเป็นระลอกไปยังภาคต่อไปที่ตามมา วงจรรนับระลอกยังถูกเรียกเป็นวงจรร

นับอนุกรม (Serial) หรือลำดับ (Series) เนื่องจากธรรมชาติที่เป็นวงจรรนับอะซิงโครนัสเพราะ สัญญาณนาฬิกาไม่ได้ควบคุมเวลาที่ทุกบิตเปลี่ยนสถานะโดยตรง



(ก) Logic Diagram



(ข) Timing Diagram

ภาพประกอบ 2.11 วงจรรนับระลอก 3 บิต

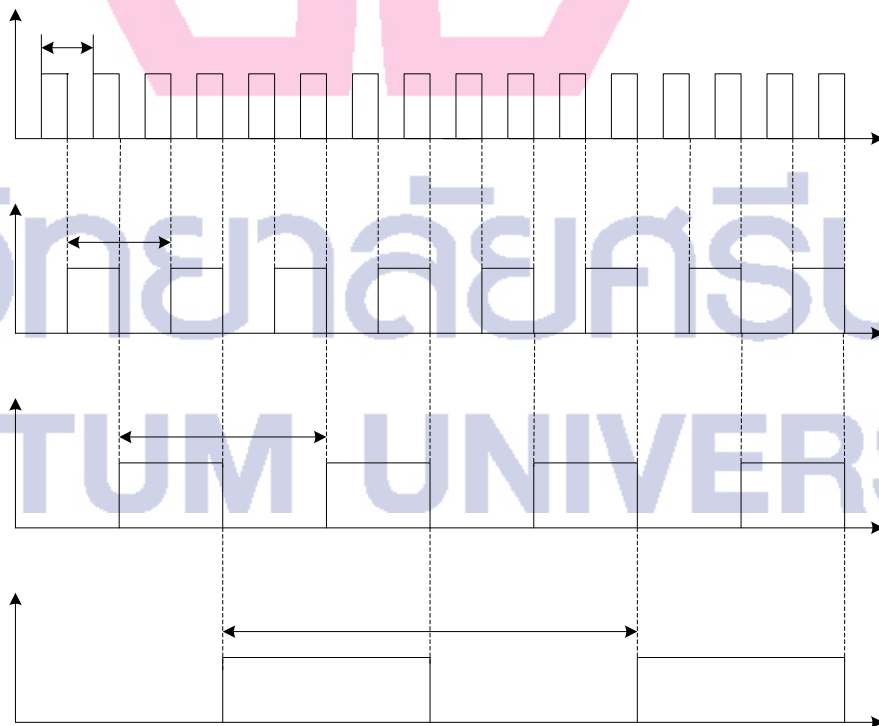
(1) (2) (3)

จำนวนภาคในวงจรนับระลอกสามารถขยายได้โดยวิธีที่เห็นได้ชัดเจน เพียงแต่ต่อลำดับ Flip Flop 7 เพิ่มเข้าไป ค่าที่นับได้สูงสุดที่วงจรนับเลขฐานสอง  $n$  ภาคนับได้ คือ  $2^n - 1$  ซึ่งจะเป็นค่าเมื่อ Flip Flop ทุกตัวถูก Set พัลส์ต่อไปจะทำให้ Flip Flop ทุกตัวถูก Reset และวงจรนับจะนับลำดับซ้ำ เหมือนกับที่เกิดขึ้นก่อนหน้า

แผนภาพเวลาในภาพประกอบ 2.11 (จ) ถูกขยายในภาพประกอบ 2.12 เพื่อแสดงรูปคลื่นที่เป็นผลจากการป้อนพัลส์สัญญาณนาฬิกา 16 พัลส์ เห็นได้ว่าคาบเวลาของรูปคลื่นที่  $Q_1$  เป็น 2 เท่าของคาบเวลาสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นรูปคลื่นที่  $Q_1$  มีความถี่เป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณนาฬิกาในทำนองเดียวกันรูปคลื่น  $Q_2$  เป็นครึ่งหนึ่งของรูปคลื่น  $Q_1$  หรือ 1 ใน 4 ของสัญญาณนาฬิกาถูกสุดท้ายรูปคลื่นที่  $Q_4$  เป็น 1 ใน 8 ของความถี่ของสัญญาณนาฬิกา โดยทั่วไปความถี่  $f_n$  ที่เอาต์พุตของภาคที่  $n$  ของวงจรนับเป็นดังสมการ

$$f_n = \frac{f_c}{2^n} \quad (2.13)$$

ซึ่ง  $f_n$  คือ ความถี่ที่เอาต์พุตของภาคที่  $n$   
 $f_c$  คือ ความถี่สัญญาณนาฬิกา



ภาพประกอบ 2.12 แผนภาพเวลาที่ถูกรขยายของวงจรนับระลอก 3 บิต

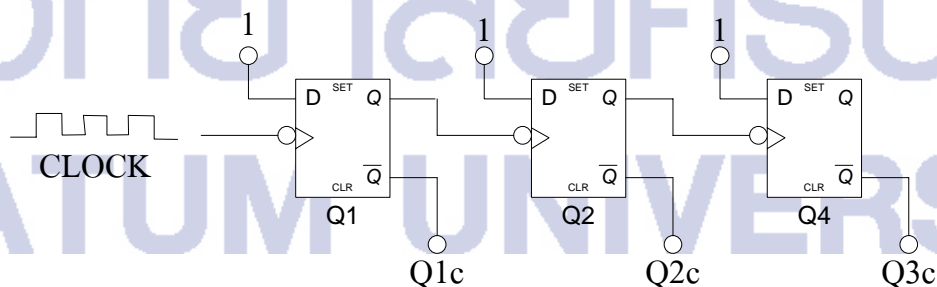
โดยที่  $f_c$  เป็นความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ขั้วภาคนี้สำคัญต่ำสุด วงจรแปลงมักถูกใช้ในวิธีดังกล่าวเพื่อวัตถุประสงค์ให้ทำการหาความถี่ วงจรนับ 3 บิตถูกเรียกว่าเป็นวงจรรับหารด้วย 8 และวงจรรับ  $n$  บิตเรียกว่าวงจรรับหารด้วย  $2^n$

#### 2.4.2 วงจรรับลง (Down Counters)

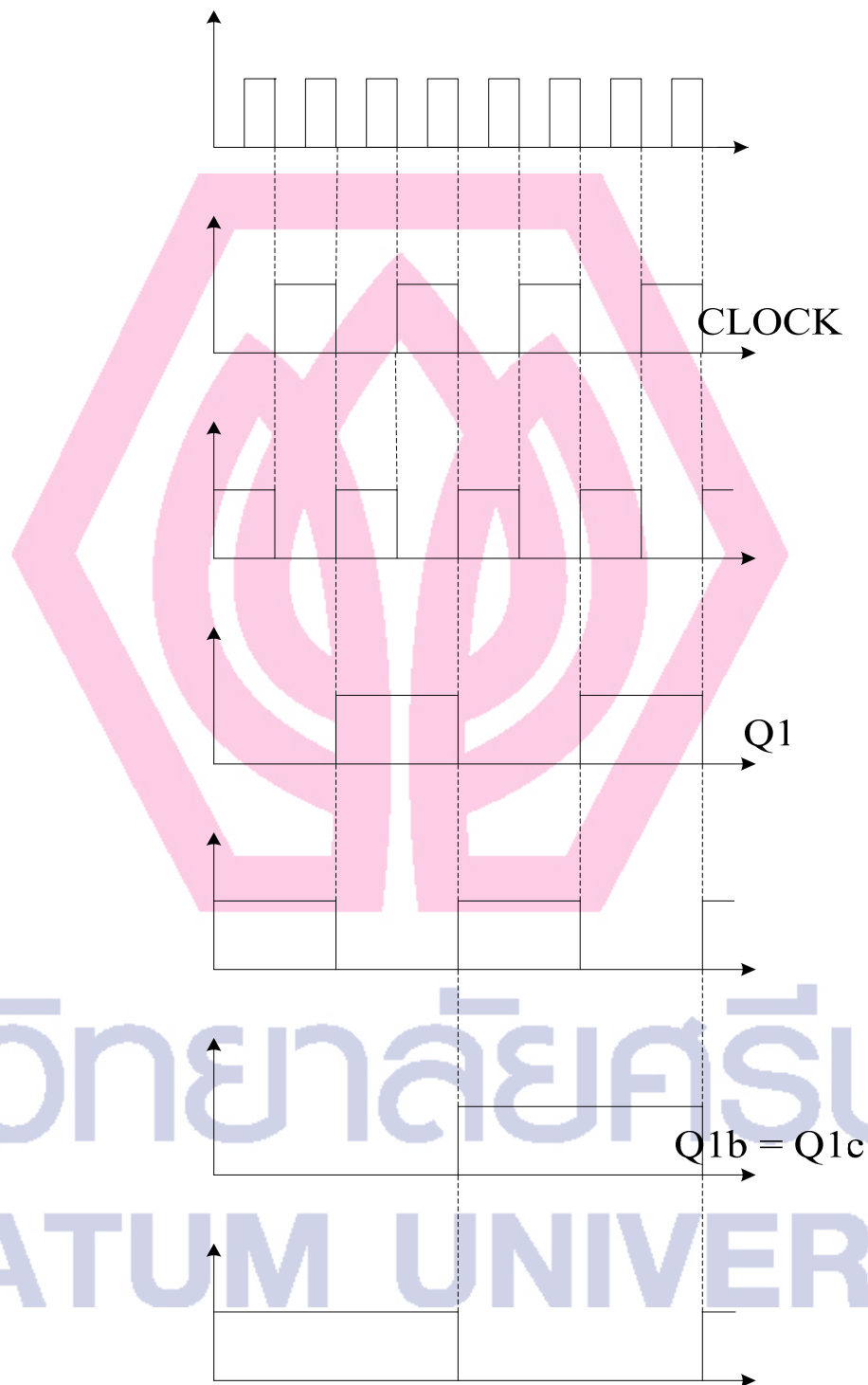
วงจรรับที่เราได้กล่าวถึงเรียกว่า วงจรรับขึ้น (Up Counters) เพราะว่าวงจรรับดังกล่าวนับขึ้น คือค่าฐานสองที่นับได้เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนพัลส์เพิ่มขึ้น วงจรรับลง (Down Counters) จะนับลงคือค่าฐานสองของวงจรรับจะลดลงเมื่อจำนวนพัลส์เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ลำดับของค่านับในวงจรรับลง 3 ภาคเป็น 111, 110, 101, 100, 010, 001, 000, 111... ให้สังเกตว่าวงจรรับนี้จะ Reset ตัวเองจาก 000 เป็น 111 การใช้งานหนึ่งของวงจรรับลงคือ ในการที่จำเป็นต้องแสดงผลปริมาณเวลาที่เหลืออยู่จนกว่าเหตุการณ์หนึ่งจะสำเร็จ ดังเช่น ตัวอย่างประยุกต์ในเตาอบไมโครเวฟ (Microwave Ovens) หรือนาฬิกาปล่อยจรวด (Launch Clocks)

เมื่อค่าที่นับได้ฐานสองของวงจรรับถูกเพิ่มขึ้น 1 เรากล่าวว่างจรรับถูกทำให้เพิ่มขึ้น เมื่อค่าที่นับได้ถูกลดลง 1 เรากล่าวว่างจรรับถูกทำให้ลดลง ด้วยเหตุนี้แต่ละพัลส์สัญญาณนาฬิกาจะเพิ่มค่าของวงจรรับขึ้น และแต่ละพัลส์สัญญาณนาฬิกาจะลดค่าของวงจรรับลง

ลำดับค่าที่นับได้ของวงจรรับลงสามารถทำได้โดยเพียงแต่ใช้เอาต์พุตที่ถูกทำให้เป็น Complement ของ Flip Flop ในวงจรรับขึ้นเป็นรูปคลื่นเอาต์พุต ดังแสดงให้เห็นในภาพประกอบ 2.13 ที่เอาต์พุตของวงจรรับลงให้ชื่อ  $Q_{1c}$ ,  $Q_{2c}$  และ  $Q_{4c}$  วงจรรับลงยังสามารถทำได้โดยใช้เอาต์พุต Q ของ Flip Flop T ที่ Trigger ด้วยขอบนำมาต่อลำดับกัน การตรวจสอบการทำงานของวิธีนี้ และวิธีอื่นๆ



(ก) Logic Diagram



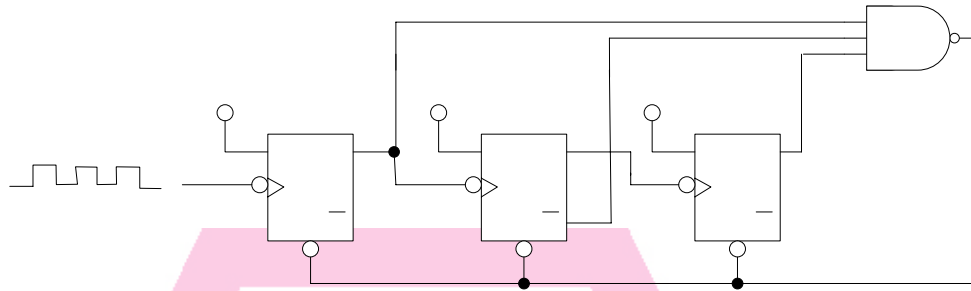
(๗) Timing Diagram

ภาพประกอบ 2.13 การใช้เอาต์พุตที่ถูก Complement ของวงจรมีขึ้นเพื่อให้ได้วงจรมีลง  
Q2

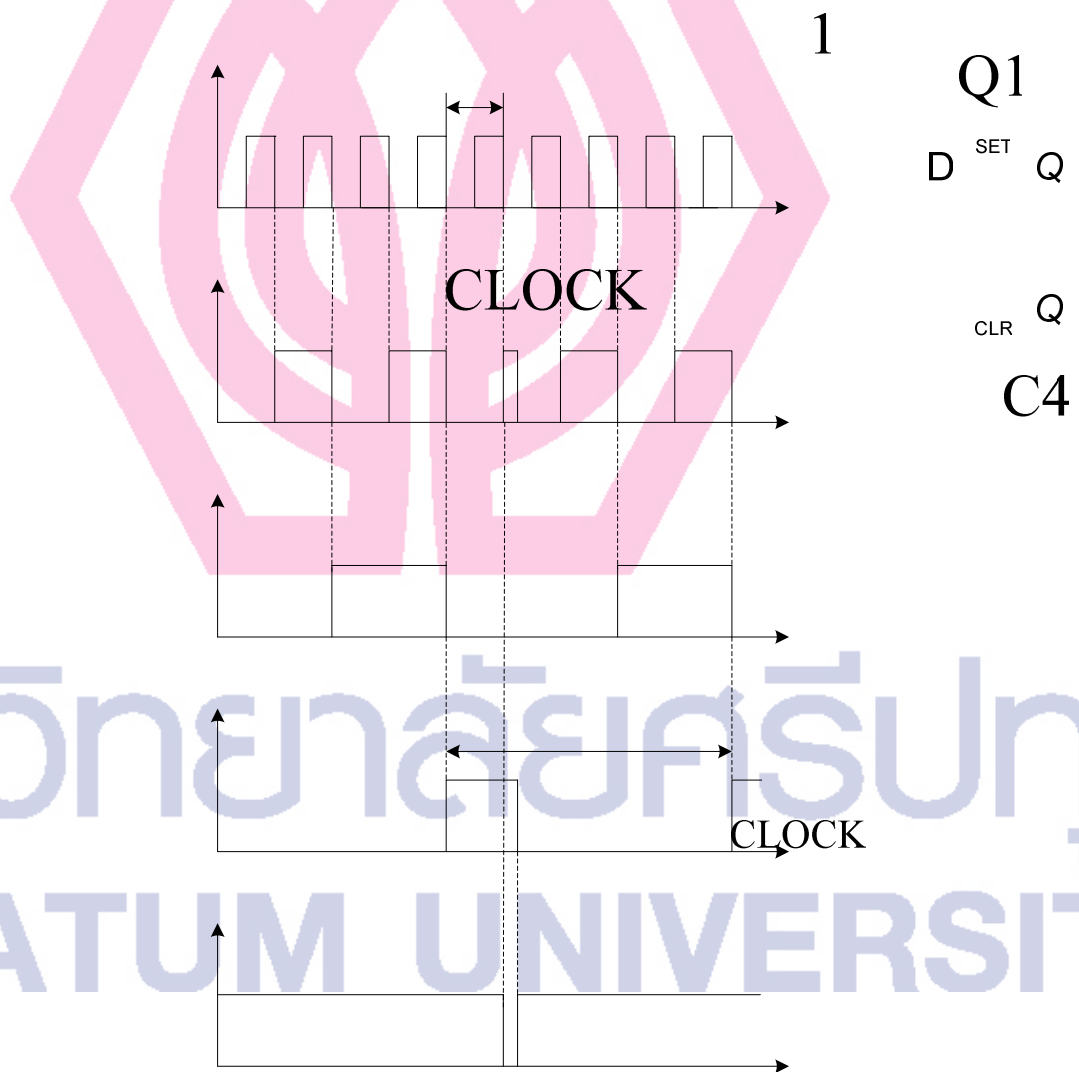
### 2.4.3 วงจรนับโมดูลัส (Modulus)

จำนวนของพัลส์อินพุตที่ทำให้วงจรนับเกิดReset กลับไปยังค่านับเริ่มต้น เรียกว่า โมดูลัส (Modulus) ของวงจรนับ ด้วยเหตุนี้โมดูลัสจะเท่ากับจำนวนทั้งหมดของสถานะ (การนับ) ที่แตกต่างกันที่วงจรนับสามารถกักเก็บได้ รวมทั้งศูนย์ ตัวอย่างเช่น วงจรนับ 3 ภาค ในภาพประกอบ 2.11 มีโมดูลัส 8 เพราะว่าการนับเกิดReset เป็น 000 หลังจากพัลส์สัญญาณนาฬิกาที่ 8 และมีสถานะทั้ง 8 เป็น 000 ถึง 111 วงจรนับดังกล่าวเรียกว่า วงจรนับ Mod-8 วงจรนับฐานสอง  $n$  ภาคเรียกว่าวงจรนับ Mod- $2^n$  ให้สังเกตว่าค่าที่นับได้สูงสุดที่วงจรนับ Mod- $n$  สามารถทำได้เป็น  $N - 1$  นั่นคือวงจรนับ Mod- $n$  จะไม่มีจำนวนเลขฐานสองที่นับได้เท่ากับโมดูลัสของวงจรนับ เอาต์พุตจากภาคนี้สำคัญสูงสุดของวงจรนับ Mod- $N$  มีความถี่เท่ากับ  $f_c/N$  เมื่อ  $f_c$  เป็นความถี่สัญญาณนาฬิกา ด้วยเหตุนี้วงจรนับ Mod- $N$  เป็นวงจรนับหารด้วย  $N$  (Divide-by- $N$  Counter) ในบางการประยุกต์ใช้งานจำเป็นที่จะใช้วงจรนับซึ่งโมดูลัสเป็นจำนวนที่ไม่สามารถเขียนเป็น  $2^n$  ตัวอย่างเช่น ถ้าเราต้องการหารความถี่สัญญาณนาฬิกาด้วย 5 ต้องใช้วงจรนับ Mod- 5 อีกตัวอย่างหนึ่งคือวงจรนับ Mod- 6 จำเป็นสำหรับการแสดงผลนาฬิกาเวลาจริง โดยเหตุที่การนับของวินาทีจะต้องResetทุกๆนาทีและการนับของนาฬิกาจะต้องResetทุกชั่วโมง ถ้าโมดูลัสของวงจรนับไม่สามารถแสดงในรูปของ  $N = 2^n$  แล้วรูปคลื่นเอาต์พุตอาจไม่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเท่าที่สมมาตร (มีรอบทำงาน 50%) ดังที่แสดงในภาพประกอบ 2.11 และ 2.12 อย่างไรก็ตามไม่ใช่วิกฤติในการพิจารณาเมื่อรูปคลื่นถูกนำไปใช้เพื่อขับกลอุกรณ์ที่ Trigger ด้วยขอบ

ภาพประกอบ 2.14 แสดงวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการสร้างวงจรนับ Mod- $N$  สำหรับค่า  $N$  ใดๆ ในตัวอย่างนี้วงจรนับ Mod-5 จะใช้อินพุตเคลียร์โดยตรงของFlip Flopแต่ละตัวสำหรับเคลียร์ค่าที่นับได้ให้เป็น 000 เมื่อใดก็ตามที่ค่าที่นับได้  $101 = 5$  อินพุตที่เข้าไปยังเกต NAND คือ  $Q_1 Q_2 Q_4$  ดังนั้นเมื่อ  $Q_1 Q_2 Q_4 = 101$  แล้วเอาต์พุตที่เป็น Low จากเกต NAND จะเคลียร์ฟลิปฟล็อป แผนภาพแสดงว่ารูปคลื่นที่เป็นผลมาจาก  $Q_4$  ไม่สมมาตรและยืนยันได้ว่ามีความถี่สัญญาณนาฬิกาที่หารด้วย 5 ให้สังเกตสไปก์แคบ ๆ หรือ Grid ที่ปรากฏใน  $Q_1$  เมื่อวงจรนับเกิด Reset การเกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากความจริงที่ว่า การนับจะต้องเป็น 101 อยู่ขณะหนึ่งก่อนที่วงจรนับจะถูกเคลียร์ ในการประยุกต์หลายอย่างนั้นสไปก์แคบ ๆ ไม่ใช่สิ่งสำคัญ ทั้งนี้เนื่องมาจากช่วงเวลาแคบ (โดยปกติเป็นนาโนวินาที) หรือเพราะว่ารูปคลื่น  $Q_1$  ไม่ได้ถูกนำไปใช้งาน ตัวอย่างเช่น วงจรนับอาจถูกใช้หารความถี่ด้วย 5 ดังนั้นที่ต้องการก็เพียงรูปคลื่น  $Q_4$  อีกตัวอย่างหนึ่งถ้าเอาต์พุตใช้ขับหลอดไฟชี้บอก (Indicating Lamp) แล้วพัลส์อาจแควมมากเกินกว่าที่จะทำให้สามารถมองเห็นหลอดไฟได้ อย่างไรก็ตามค่าของ  $N$  นั้นวงจรนับ Mod-  $N$  ที่ใช้การออกแบบเช่นนี้อาจทำให้เกิด สไปก์ที่เอาต์พุตซึ่งถูกหารด้วย  $N$



(ก) แผนภาพวงจรนับ 1 ถึง 101 เอาท์พุทของ NAND จะเป็น Low และรีเซ็ตทั้งหมด



(ข) แผนภาพเวลา ให้สังเกตว่าความถี่ของ  $Q_4$  เป็นความถี่ Clock หารด้วย 5

ภาพประกอบ 2.14 วงจรนับระลอก Mod-N

Q1



#### 2.4.4 การต่อลำดับวงจรนับ Mod-N

เมื่อเอาต์พุตของภาคนับสำคัญสูงสุดของวงจรนับ Mod-N ถูกต่อเข้าเป็นอินพุตที่ทำให้เกิดการ Toggle ของภาคนับสำคัญต่ำสุดของวงจรนับ Mod-M แล้ว การจัดหมู่จะมีรูปแบบเป็นวงจรนับ Mod-MN เช่น วงจรนับ 10 (Mod-10) สามารถสร้างขึ้นได้โดยการต่อลำดับวงจรนับ Mod-5 กับวงจรนับ Mod-2 (วงจรนับ Mod-2 เป็น Flip Flop เพียงตัวเดียว) วงจรนับ Mod-MN ที่ถูกสร้างด้วยวิธีนี้จะหารความถี่สัญญาณนาฬิกาด้วย MN โดยไม่สนใจถึงลำดับการต่อเข้าด้วยกันของวงจรนับ Mod-M และ Mod-N (Mod-M ขับ Mod-N หรือกลับกัน) อย่างไรก็ตามรอบทำงานของเอาต์พุตนับสำคัญสูงสุดจะขึ้นกับลำดับที่วงจรนับต่อลำดับกันอยู่

วงจรนับโมดูลัสมักจะถูกสร้างขึ้นโดยการต่อลำดับวงจรนับที่มีโมดูลัสต่ำกว่าอันเนื่องจากการผลิตวงจรรวมเป็นวงจรนับโมดูลัสมาตรฐานอยู่เพียงบางวงจรเท่านั้น แน่ใจว่าวงจรนับตั้งแต่ 2 วงจรขึ้นไปสามารถนำมาต่อลำดับกันได้ทำให้โมดูลัสของวงจรนับทั้งหมด เป็นผลคูณของค่าโมดูลัสของวงจรนับแต่ละวงจร รอบการทำงานของเอาต์พุตนับสำคัญสูงสุดขึ้นอยู่กับลำดับที่วงจรถูกนำมาต่อลำดับเข้าด้วยกัน

#### 2.4.5 ผลของเวลาหน่วงการแพร่

ในวงจรนับระลอกสามารถเปลี่ยนสถานะจนกว่า Flip Flop ที่อยู่ก่อนหน้าทั้งหมดเกิดการเปลี่ยนสถานะแล้ว ทั้งนี้ไม่ได้หมายถึงว่า Flip Flop ทุกตัวจะเปลี่ยนสถานะหลังจากทุกครั้งที่มีพัลส์สัญญาณนาฬิกาใหม่เข้ามา จะเกิดก็ต่อเมื่อการนับเปลี่ยนจากตัวเลข เช่น 0111 เป็น 1000 เท่านั้น

ในกรณีที่ Flip Flop ทุกตัวจะต้องเปลี่ยนสถานะก่อนจะเห็นได้อย่างง่ายว่าเวลาหน่วงการแพร่มีผลต่อการทำงานของวงจรนับ ภาคนับสำคัญสูงสุดไม่สามารถเปลี่ยนสถานะได้จนกว่าทุก ๆ ภาคก่อนหน้าเปลี่ยนสถานะ คือเมื่อเวลาเท่ากับผลรวมสะสมของเวลาหน่วงการแพร่ทั้งหมดในภาคก่อนหน้า สมมติว่าค่าที่นับได้เป็น 0111 และมีพัลส์สัญญาณนาฬิกาใหม่เกิดขึ้นที่อินพุตที่เข้าไปยังภาคแรก ก่อนที่สถานะทั้งหมดเปลี่ยนแปลงจะถูกส่งแบบระลอกผ่านตลอดวงจรนับไปยังภาคสุดท้าย แล้วภาคแรกจะเปลี่ยนไปเป็นสถานะใหม่ก่อนที่ภาคสุดท้ายจะมีเวลาตอบสนองต่อพัลส์สัญญาณนาฬิกาหน้า เมื่อสุดท้ายแล้วภาคสุดท้ายมีการตอบสนอง ค่าที่นับได้เป็น 1001 ด้วยเหตุนี้ค่าที่นับได้จะมีจาก 0111 เป็น 1001 โดยข้าม 1000 ไป ถ้าสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูงมากจะเป็นไปได้ที่พัลส์สัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนสถานะ ของภาคแรกก่อนการเปลี่ยนสถานะที่เกิดจากพัลส์สัญญาณนาฬิกาหน้าจะถูกส่งแบบระลอกผ่านไปยังภาคสุดท้าย ทำให้ค่าที่นับได้ถูกข้ามไป ด้วยเหตุนี้เห็นได้ชัดเจนว่าเวลาหน่วงการแพร่ใน Flip Flop ของวงจรนับระลอกเป็นตัวจำกัดความถี่ที่วงจรนับสามารถจะรับเข้าไปได้ เราได้แสดงว่าคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา  $T_c$  จะต้องมากกว่าเวลารวม

ทั้งหมดที่ต้องใช้สำหรับภาคเปลี่ยนแปลงเป็นระลอกผ่านไปทั้งภาค  $n$  ภาค คือ  $T_c > nt_p$  โดยที่  $t_p$  เป็นเวลาหน่วงการแพร่ของแต่ละภาค ดังนั้นความถี่สัญญาณนาฬิกาถูกบังคับด้วย

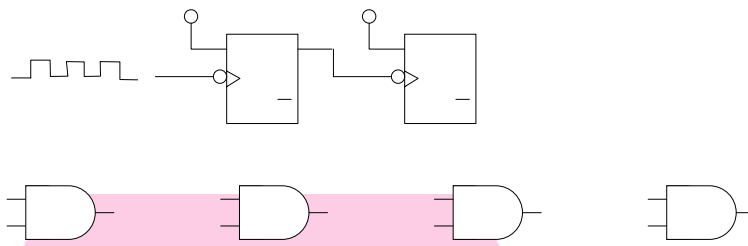
$$\frac{1}{T} = f_c < \frac{1}{nt_p} \quad (2.14)$$

ซึ่ง  $T$  คือคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา  
 $f_c$  คือความถี่สัญญาณนาฬิกา  
 $t_p$  คือเวลาหน่วงการแพร่ของแต่ละภาค

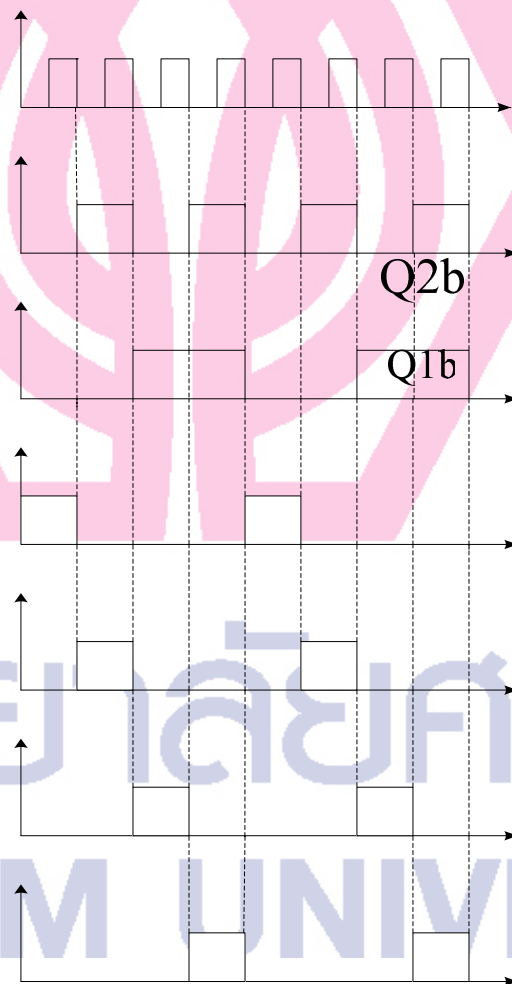
#### 2.4.6 การถอดรหัส

ภาพประกอบ 2.15 (ก) แสดงวงจรถอดรหัสฐานสองเป็นฐานสิบที่ใช้กับวงจรระลอก 2 บิต มี AND Gate 4 ตัว ให้เอาต์พุตเป็น High เรียงตามกัน แต่ละเอาต์พุตสำหรับค่าการนับ 4 ค่าที่เป็นลำดับ 0, 1, 2 และ 3 สมนัยกับสถานะ 00 ( $Q_2Q_1$ ), 01 ( $Q_2Q_1$ ), 10 ( $Q_2Q_1$ ) และ 11 ( $Q_2Q_1$ ) รูปคลื่นในภาพประกอบ 2.15 (ข) แสดงว่ามีเพียงเอาต์พุตเดียวของวงจรถอดรหัสเป็น High ที่เวลาใดๆ วิธีนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งของการทำให้ได้พัลส์ตั้งเวลาสำหรับการกระทำเชิงโครนัสของคอมพิวเตอร์ ให้นึกย้อนกลับที่เราได้เห็นรูปคลื่นแบบเดียวกันที่สร้างโดย One-Shot และโดยวงจรม้วน รูปคลื่นในภาพประกอบ 2.15 (ข) เป็นอุดมคติในแง่ที่ไม่ได้สนใจผลของเวลาหน่วงการแพร่

ภาพประกอบ 2.16 แสดงรูปคลื่นวงจรถอดรหัสจริงที่เป็นผลออกมาเมื่อคำนึงถึงหน่วงการแพร่ของวงจรม้วนระลอก 2 บิต เวลาหน่วงการแพร่ของ AND Gate จะถูกตัดทิ้งไปเห็นได้ว่า Grid เกิดขึ้นในรูปคลื่น  $D_0$  และ  $D_2$  อันเนื่องมาจากการจัดหมู่ของสถานะที่สมนัยเกิด AND เป็นช่วงๆ ความกว้างของ Grid นี้เท่ากับความกว้างของเวลาของหน่วงการแพร่  $t_p$  แสดงกรณีที่ยิ่งขึ้นไปโดยที่เวลาหน่วงการแพร่เป็นส่วนน้อยสำคัญของคาบเวลาสัญญาณนาฬิกา ให้สังเกตลำดับของการนับรวมทั้งการจัดหมู่เป็นช่วงๆ ระหว่างค่าการนับที่ถูกต้องคือ 000, 001, 000, 010, 011, 010, 000, 101, 100, 110 และ 111 ในทางปฏิบัติของ Grid จะขึ้นกับการประยุกต์ใช้งาน ถ้าเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสใช้ขับหลอดไฟบ่งชี้ Grid อาจแคบเกินไปที่จะทำให้เกิดผลตอบสนองใดๆ อีกด้านหนึ่งถ้าเอาต์พุตของวงจรรหัสขับกลอุปรณ์ Triggler ด้วยขอบนั้น Grid อาจเป็นตัวการทำให้เกิดการตอบสนองที่ไม่พึงประสงค์ ในกรณีดังกล่าวเอาต์พุตสามารถ Degrid ได้โดยการ AND กับสัญญาณนาฬิกา ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างเอาต์พุตของวงจรถอดรหัส



(ก) วงจรถอครหัสฐานสองเป็นฐานสิบ



D0  
Q2b  
Q1

(ข) แผนภาพเวลาในอุดมคติ

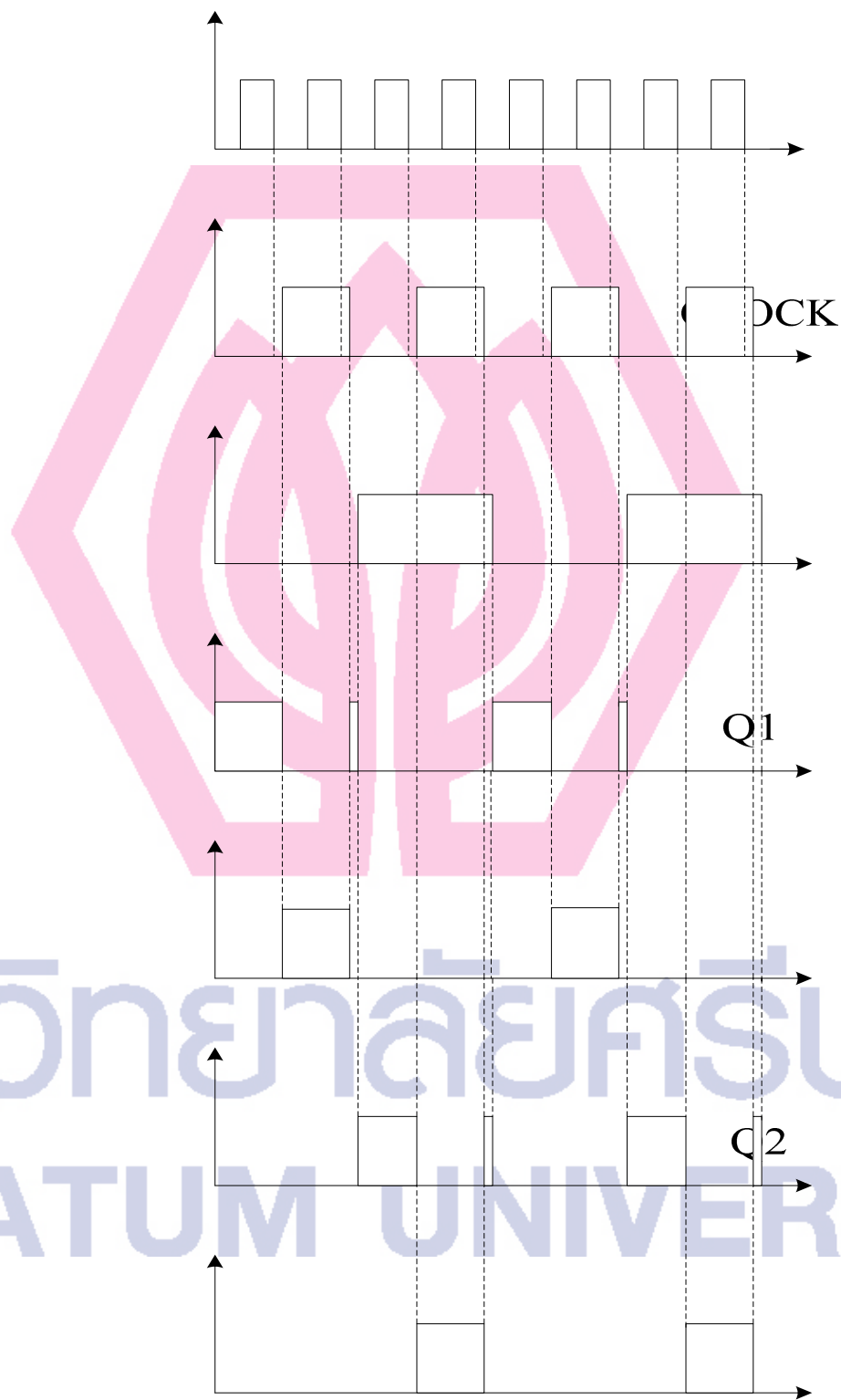
Q1

ภาพประกอบ 2.15 วงจรนับระลอก 2 บิต

Q2

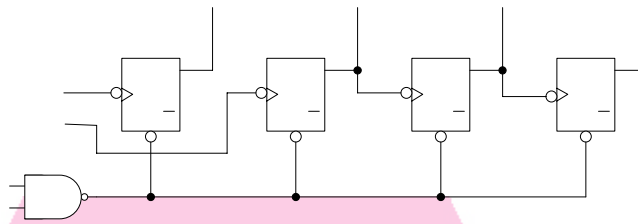
#### 2.4.7 วงจรรวมของวงจรรีบลอก (Integrated Circuit Ripple Counters)

เนื่องจากว่าหลักการของวงจรรีบลอกนั้นไม่ยุ่งยาก ทำให้มีวงจรรวมของวงจรรีบลอก (Integrated-Circuit Ripple Counters) ที่มีจำนวนภาคมาก ๆ ได้ใน 1 ตัวถึงบรรจุ ตัวถึงบรรจุมีหลาย วงจรรวมที่มีลักษณะเด่นเพิ่มเติมที่เพิ่มพูนความคล่องตัวและทำให้ใช้วงจรเดียวทำงานประยุกต์ ได้มาก ตัวอย่างเช่น วงจรรีบลอก L ตระกูล 7493 ซึ่งสามารถใช้เป็นวงจรรีบลอก Mod-2, Mod-8, Mod-10 และ Mod-12 หรือ Mod-16 แผนภาพตรรกของไอซี 7493 แสดงในภาพประกอบ 4.17 (ในแผนภาพ วงจรรวมนี้และต่อไปถือว่า Flip Flop ถูก Toggle ที่ขอบของสัญญาณนาฬิกา) ให้สังเกตว่า Flip Flop 3 ตัวคือ  $Q_B$ ,  $Q_C$  และ  $Q_D$  ถูกต่อเป็นลำดับและขับด้วยสัญญาณนาฬิกาอินพุต CLKB และ Flip Flop ตัวที่ 4 คือ  $Q_A$  มีสัญญาณนาฬิกาอินพุตแยกจากกันคือ CLKA ด้วยเหตุนี้  $Q_A$  สามารถถูกใช้เป็นวงจรรีบลอก Mod-2 ขณะที่  $Q_B$ ,  $Q_C$  และ  $Q_D$  ถูกใช้เป็นวงจรรีบลอก Mod-8 โดยการต่อเอาต์พุต  $Q_A$  เข้ากับอินพุต CLKB หรือเอาต์พุต  $Q_D$  เข้ากับอินพุต CLKA แล้วการจัดหมู่ดังกล่าวสามารถใช้เป็นวงจรรีบลอก Mod-16 ทั้งหมดสามารถถูกเคลียร์ได้โดยทำให้อินพุต  $R_{01}$  และ  $R_{02}$  เป็น High ลักษณะเด่นเช่นนี้สามารถถูกใช้เพื่อให้ลักษณะเด่นสามารถถูกใช้เพื่อให้ลักษณะของวงจรรีบลอกเป็นวงจรรีบลอก Mod-10 หรือ Mod-12



ภาพประกอบ 2.16 รูปคลื่นของวงจรตรรกศาสตร์เนื่องจากเวลาการหน่วงการแพร่ของ Flip Flop

$$D0=Q2b*Q1b$$



ภาพประกอบ 2.17 วงจรนับ TTL อนุกรมเบอร์ 7493

QA

### 2.5 การวัดกำลังไฟฟ้า

กำลังเป็นตัวแสดงปริมาณของงานที่ทำในช่วงเวลาที่กำหนดมันคืออัตราในการทำงาน ซึ่งสามารถแสดงโดยสมการ

$$\text{กำลัง}(P) = \frac{\text{Work}}{\text{Time}} = \frac{w}{t} \quad \text{CLKA} \quad \text{QA} \quad \text{D}^{\text{SET}} \quad \text{Q} \quad (2.15) \quad \text{CLR} \quad \text{Q}$$

เมื่อหน่วยวัดทางไฟฟ้าของกำลังคือ วัตต์ กำลังที่ส่งแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าจะสามารถแสดงในพจน์ของกระแสและแรงดัน โดยการแสดงสมการ (2.15) ในพจน์ของกระแสและแรงดันจะมาจากนิยามของความต่างศักย์ที่ว่า จะมีความต่างศักย์ 1 โวลต์ระหว่างจุดต่อจุด ถ้าต้องใช้พลังงาน 1 จูล์ในการเคลื่อนประจุ 1 คูลอมป์ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

$$v = \frac{w}{q}$$

(2.16)

จากนิยามของกระแสคือ จำนวนประจุที่เคลื่อนผ่านจุดที่กำหนดไว้ใน 1 วินาที ซึ่งจะ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.17

$$i = \frac{q}{t} \quad (2.17)$$

โดยการแทนสมการที่ 2.16 และ 2.17 ลงใน สมการที่ 2.15 จะได้ ดังสมการที่ 2.18

$$P = \frac{vq}{t} = vi$$

(2.18)

ซึ่ง  $P$  คือ กำลัง

$t$  คือ เวลา

$w$  คือ พลังงาน

$v$  คือ ความเร็วในการเคลื่อนประจุ

$q$  คือ ประจุไฟฟ้า

$i$  คือ กระแสไฟฟ้า

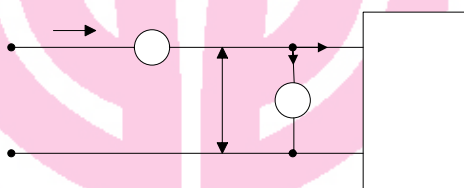
### 2.5.1 กำลังไฟฟ้าในวงจรกระแสตรง

สำหรับวงจรกระแสตรง เราสามารถใช้กฎของโอห์มในการเขียนนิพจน์ที่แตกต่าง สำหรับกำลังได้เป็น

$$P = I^2 R \quad (2.19)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2.20)$$

จาก สมการที่ 2.18 , 2.19 และ 2.20 จะเห็นว่า ในวงจรกระแสตรง สามารถหาค่ากำลัง โดยการวัดพารามิเตอร์ 2 ตัวจาก 3 ตัวคือ  $I$ ,  $V$  และ  $R$  ดังนั้นเราสามารถหาค่ากำลังโดยใช้ Amp meter และ Volt meter



ภาพประกอบ 2.18 การต่อ Amp meter เพื่อวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

การใช้เครื่องวัดกระแสตรงในการวัดกำลังในวงจรกระแสตรงเป็นสิ่งที่ควรสนับสนุน เนื่องจากจะให้ความถูกต้องสูงกว่าการใช้ Watt meter เนื่องจากเครื่องวัดกระแสตรงจะไวกว่า Watt meter จะดีจึงวงจรจากการวัดน้อยกว่าการต่อเครื่องวัดตามปกติเพื่อวัดกำลังกระแสตรงในโหลดโดยใช้ Volt meter และ Amp meter ดังแสดงในภาพประกอบ 2.18

เพราะว่าทั้ง Amp meter และ Volt meter จะดีจึงกำลังบางส่วนจากวงจร ดังนั้นการที่มันปรากฏอยู่ในวงจรจะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดขึ้นบ้างในค่าที่อ่าน เพื่อหาค่ากำลังที่ควรจะเป็นจริงที่ใช้ไปโดยโหลด เราจะต้องลบกำลังที่ต้องการในการทำให้ Volt meter ทำงานจากผลคูณ  $V_L$  และ  $I$

### 2.5.2 กำลังไฟฟ้าในวงจรกระแสสลับ

ในวงจรกระแสตรงและกระแสสลับ เราสามารถหาค่ากำลังที่ขณะใดๆที่จ่ายให้แก่โหลด โดยหาผลคูณของ  $v$  และ  $i$  ในโหลด อย่างไรก็ตามในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าผลคูณขณะใดๆจะแปรไปตลอดเวลา ดังนั้นปริมาณที่มีประโยชน์มากกว่ากำลังที่ขณะใด ๆ คือ กำลังเฉลี่ย (Average Power)

$P_{av}$  ที่สูญเสียไปในโหลด เพราะว่าปริมาณแรงดันและกระแสสลับ นอกจากจะเป็นรูปคลื่นไซน์แล้ว มุมเฟสของมันยังอาจแตกต่างกันอีกด้วย ทำให้การคำนวณค่ากำลังเฉลี่ยเป็นเรื่องที่ซับซ้อนกว่ากรณี โหลดกระแสตรง เป็นการแน่นอนว่าในการวัดกำลังกระแสสลับย่อมยุ่งยากขึ้น เพราะว่าการที่วัดค่า  $V_{rms}$  และ  $I_{rms}$  โดยใช้เครื่องมือวัดกระแสสลับ แล้วนำค่าทั้งสองที่วัดได้ มาคูณกันไม่น่าจะเป็น ค่ากำลังกระแสสลับที่ต้องการ (ยกเว้นเฉพาะกรณีกระแส และแรงดันในโหลดมีเฟสเดียวกัน จึงจะ หากำลังเฉลี่ยได้โดยวิธีนี้ได้) ต่อไปพิจารณาวิธีคำนวณกำลังเฉลี่ยในโหลดกระแสสลับ ลองสมมติ กระแสแรงดันมีลักษณะดังภาพประกอบ 2.19 จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างจากเฟส  $\theta$  ระหว่าง  $V$  และ  $I$  โดยถ้าหากแรงดันตกคร่อมโหลดดังสมการที่ 2.21

$$v(t) = V_p \sin \omega t \quad (2.21)$$

และกระแสจะอยู่ในรูปของสมการที่ 2.22

$$i(t) = I_p \sin(\omega t - \theta) \quad (2.22)$$

ค่ากำลังที่ขณะใด ๆ ดังสมการที่ 2.23

$$p(t) = v(t)i(t) = V_p I_p \sin \omega t \sin(\omega t - \theta) \quad (2.23)$$

กำลังเฉลี่ยที่สูญเสียในโหลดจะหาได้จากสมการที่ 2.24

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (2.24)$$

เมื่อ  $T$  เป็นคาบของคลื่นรูปไซน์ ดังนั้นโดยการแทนในสมการที่ 2.23 ลงในสมการที่ 2.24 จะได้ดังสมการที่ 2.25

$$P_{av} = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} V_p I_p \sin \omega t \sin(\omega t - \theta) dt = \frac{V_p I_p}{2} \cos \theta \quad (2.25)$$

สำหรับคลื่นรูปไซน์จะได้ดังสมการที่ 2.26 และ สมการที่ 2.27



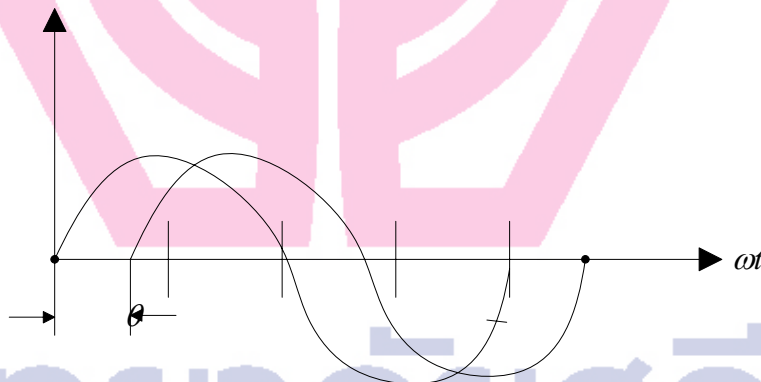
$$V_{rms} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} \quad (2.26)$$

$$I_{rms} = \frac{I_P}{\sqrt{2}} \quad (2.27)$$

แทนค่า สมการที่ 2.25 ลงในสมการที่ 2.26 กำลังเฉลี่ยที่สูญเสียในโหลดดังแสดงในสมการที่ 2.28

$$P_{av} = V_{rms} I_{rms} \cos \theta = P_T \quad (2.28)$$

กำลังเฉลี่ยนี้สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กำลังจริง (True Power :  $P_T$ ) หรือกำลังแอกทีฟ (Active Power) ภาพประกอบ 2.19 จะเป็นการพล็อตสมการ 2.23 จะเห็นว่าค่ากำลังที่ขณะใด ๆ คือ ผลคูณของ  $V(t)$  และ  $i(t)$  ที่ขณะนั้นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังที่จ่ายแก่โหลดขณะใดๆ จะเป็นบวกหรือลบ กำลังบวก หมายถึงขณะนั้น โหลดถูกดูดกลืนพลังงานจากแหล่งกำเนิด (เช่นเดียวกับในการประจุแบตเตอรี่ หรือจ่ายกำลังไปหมุนแกนของเครื่องกำเนิด)



ภาพประกอบ 2.19 รูปคลื่นแรงดันและกระแสในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปจะเห็นได้ว่า ทำไมการเอาแต่เพียงค่า  $(V_{rms})(I_{rms})$  ที่ได้จากการวัดมาคูณกันเพื่อให้เป็นค่ากำลังเฉลี่ยที่ต้องการจึงไม่ถูกต้อง ตัวประกอบที่กำหนดกำลังเฉลี่ยอีกตัวหนึ่งก็คือ มุมเฟส  $\theta$  และจะนิยามพจน์  $\cos \theta$  ในสมการ 2.18 ว่าด้วยตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ถ้าโหลดเป็นความต้านทานอย่างเดียว รูปคลื่น  $v$  และ  $i$  จะมีเฟสเดียวกัน และ  $\theta = 0$  เพราะว่า  $\cos \theta = 1$  กำลังเฉลี่ยในกรณีพิเศษนี้คือสมการที่ 2.29

$$P_T = V_{rms} I_{rms} \text{ เมื่อ } \theta = 0 \quad (2.29)$$

สำหรับกรณีนี้ ถ้าหากรู้ค่าความต้านทาน  $R$  ของโหลด จะสามารถหาค่ากำลังเฉลี่ยได้จากสมการที่ 2.30 และ สมการที่ 2.31

$$P_T = I_{rms}^2 R \quad (2.30)$$

$$= \frac{V_{rms}^2}{R} \quad (2.31)$$

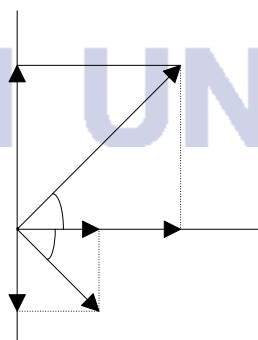
พลังงานที่ไหลในวงจรกระแสสลับแต่ไม่เกิดการสูญเสียในโหลดจะเรียกว่า กำลังรีแอกทีฟ ( $Q$ ) อุปกรณ์สองชนิดที่ไม่ทำให้สูญเสียกำลังของ ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในอุดมคติคือ โดยมันจะเพียงแต่เก็บและปล่อยพลังงาน แต่ในทางปฏิบัติไม่มีอุปกรณ์ใดที่เป็นอุดมคติคือ มันจะมีความต้านร่วมอยู่ อย่างไรก็ตามการสูญเสียเนื่องจากความต้านทานที่ร่วมอยู่อาจจะตัดทิ้งได้ในบางกรณี กำลังรีแอกทีฟนี้จะมีหน่วยเป็นวาร์ (VAR) และจะคำนวณได้จากสมการที่ 2.32

$$Q = V_{rms} I_{rms} \sin \theta \quad (2.32)$$

การรวมตัวของ  $P_T$  และ  $Q$  ที่ปรากฏในโหลดจะเรียกว่ากำลังปรากฏ (Apparent Power:  $S$ ) ของโหลด สามารถหา  $S$  จาก  $P_T$  และ  $Q$  โดยตั้งสมการที่ 2.33

$$S = \sqrt{P_T^2 + Q^2} = V_{rms} I_{rms} \quad (2.33)$$

ดังนั้นผลคูณของ  $V_{rms}$  และ  $I_{rms}$  ที่ได้จากเครื่องวัดจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้ากระแสสลับไม่ใช่  $P$  หน่วยของไฟฟ้ากระแสสลับ คือ โวลต์ - แอมแปร์ ( $VA$ ) แต่บ่อยครั้งที่แสดงในรูป 1000 โวลต์ - แอมแปร์ หรือ  $kVA$  เช่น หม้อแปลงขนาด 1500  $kVA$  สูดท้ายจากสมการ 2.28 และ 2.33 จะเห็นว่า อัตราส่วนระหว่าง  $P_T$  ต่อ  $P_A$  จะให้ค่าตัวประกอบกำลังความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทั้งสามดังแสดงภาพที่ 2.20

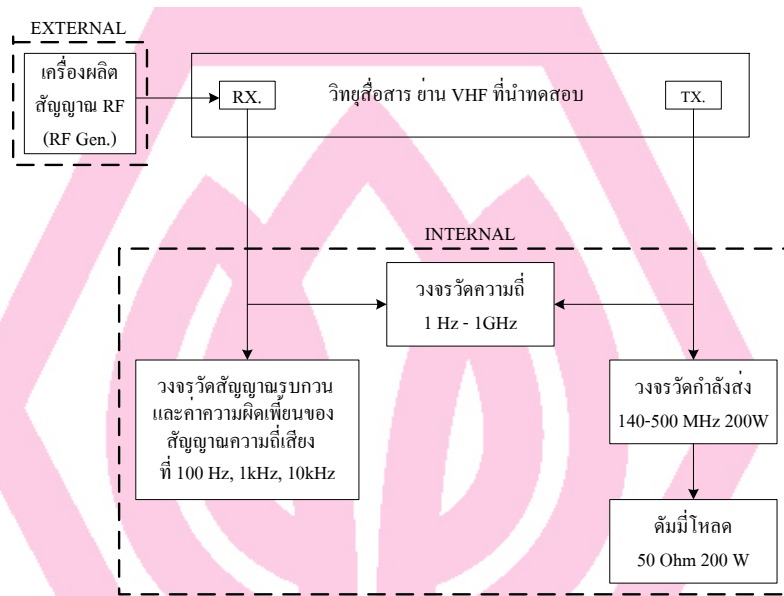


ภาพประกอบ 2.20 รูปสามเหลี่ยมกำลังของเครื่องมือวัด

# บทที่ 3

## ระเบียบวิธีวิจัย

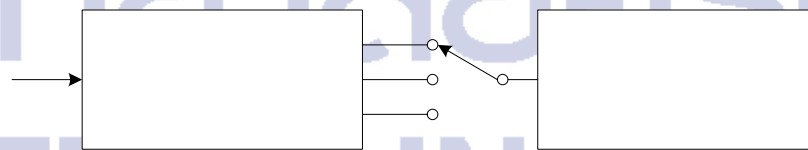
### 3.1 โครงสร้างของเครื่องมือวัดทดสอบกำลังและความถี่วิทยุสื่อสาร



ภาพประกอบ 3.1 โครงสร้างการทำงานของเครื่องมือวัดทดสอบกำลังและความถี่วิทยุสื่อสาร

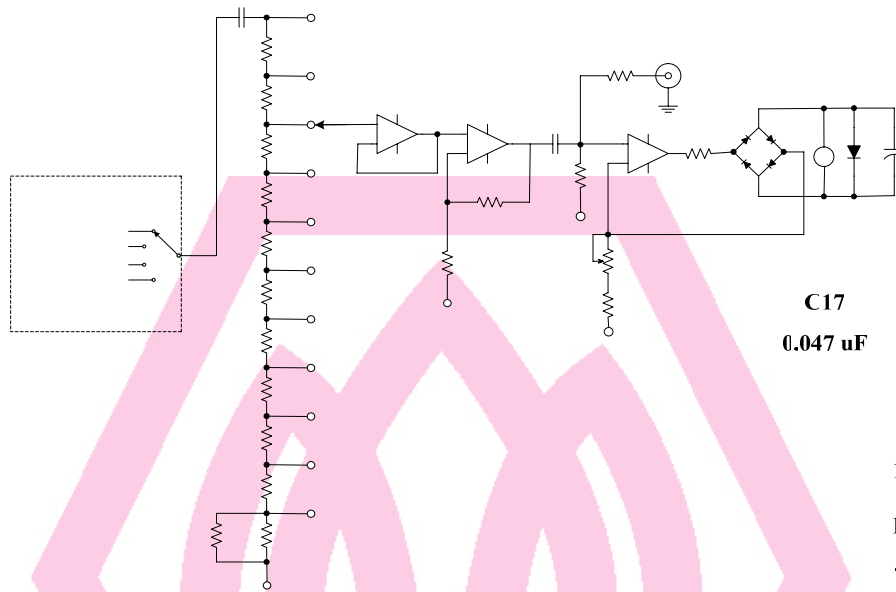
### 3.2 วงจรวัดสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียง

#### 3.2.1 โครงสร้างวงจรวัดสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียง



ภาพประกอบ 3.2 โครงสร้างวงจรวัดสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียง

### 3.2.2 ภาคมิเตอร์วัดแรงดัน



ภาพประกอบ 3.3 วงจรของภาคมิเตอร์วัดแรงดัน

จากภาพประกอบ 3.3 แสดงวงจรวัดแรงดันแบบพื้นฐานสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนจากภายนอกผ่านทางจุดป้อนอินพุต และจะถูกส่งผ่านโดยทางยังภาคมิเตอร์วัดแรงดันผ่าน  $SW_{1/2}$  เมื่อหมุนสวิตช์เลือกไปที่ตำแหน่งวัด VOLTS สัญญาณอินพุตที่จะทำการวัดระดับแรงดันจะถูกลดทอนโดย  $R_{28}-R_{39}$  โดยการคัปปลิงสัญญาณผ่านมาจาก  $C_{17}$

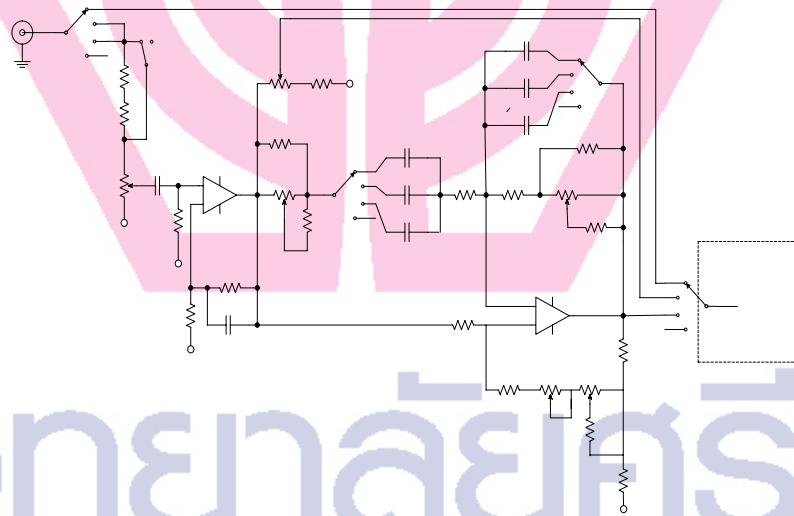
วงจรลดทอนสัญญาณเป็นการลดระดับแรงดันขึ้นละ 10 dB โดยใช้สวิตช์เลือก  $SW_1$  ทำหน้าที่เลือกสัญญาณอินพุตที่ถูกลดทอน ส่งไปยัง  $IC_3$  และ  $IC_4$  เป็นออปแอมป์ที่มีวงจรภาคอินพุตเป็น FET จึงให้ Impedance มีค่าต่ำเพื่อส่งสัญญาณไปยังออปแอมป์  $IC_4$  ได้อย่างสมบูรณ์ โดย  $IC_3$  จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 สำหรับ  $IC_4$  ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแรงดันซึ่งกำหนดอัตราขยายเท่ากับ 256 หรือ 48 dB โดยกำหนดจากค่า  $R_{40}$  และ  $R_{41}$  ดังนั้นถ้าป้อนแรงดันอินพุต 1 mV ที่แรงดันเอาต์พุตของวงจรขยายแรงดันจะเท่ากับ 256 mV สัญญาณที่ได้จากวงจรขยายแรงดันจะถูกคัปปลิงสัญญาณผ่าน  $C_{19}$  ไปยังวงจรขยายสัญญาณเพื่อขับสัญญาณให้กับมิเตอร์โดยให้ออปแอมป์  $IC_5$  สำหรับ  $R_{42}$  และ  $R_{43}$  ทำหน้าที่จัดระดับสัญญาณเพื่อป้อนผ่านสัญญาณไปยังเอาต์พุตจุดต่อ CRO สัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านวงจรขับสัญญาณ  $IC_5$  ถูกป้อนเข้าวงจร Bridge Rectifier ให้  $D_1-D_4$  แปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้กับมิเตอร์แสดงผล และนอกจากอินพุตของวงจรขับสัญญาณป้อนเข้าทางขา Non inverting ของ Op Amp จะขับสัญญาณเอาต์พุตออกในรูปของกระแสที่ป้อนไปยังมิเตอร์ผ่าน Bridge Rectifier ดังนั้นวงจรจะทำให้มีสัญญาณที่มีรูปคลื่นเช่นเดียวกันที่ป้อนที่อินพุตของวงจรปรากฏขึ้นที่ขา Inverting ด้วยตก

คร่อม  $VR_6$  และ  $R_{44}$  สมมติว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอินพุตของ Op Amp มีค่าน้อยมาก (เนื่องจากวงจรภายในของ TL071 เป็น FET) และค่าความต้านทานที่ต่อที่ขา 2 ของ  $IC_5$  มีผลรวมเท่ากับ 256 โอห์ม จะได้ว่าเมื่อมีกระแสไหลผ่านมิเตอร์ 1 mA (กระแสที่ทำให้เข็มเคลื่อนที่ไปชี้เต็มสเกลพอดี) ทำให้แรงดันป้อนกลับมาปรากฏที่ขา Inverting ด้วย โดยถ้าแรงดันอินพุตที่ขา Non Inverting มีค่า 256 mV จะทำให้มีแรงดันปรากฏที่ขา Inverting เท่ากับ 256 mV

กล่าวคือเป็นการเปลี่ยนแรงดันอินพุต 256 mV ไปเป็นกระแสเอาต์พุต 1 mA และป้อนแรงดันที่จุดต่ออินพุต 1 mV จะทำให้เข็มมิเตอร์ชี้อ่านค่าได้เต็มสเกลพอดีขนาด 1 mA

สำหรับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องจรร่วมกับมิเตอร์เป็นวงจรป้องกันความเสียหายของมิเตอร์อันเนื่องจากการวัดผล โดย  $R_{45}$  ทำหน้าที่จำกัดค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านมิเตอร์,  $D_5$  ทำหน้าที่จำกัดแรงดันที่ตกคร่อมมิเตอร์ และ  $C_{20}$  ทำหน้าที่ฟิลเตอร์สัญญาณให้เรียบมากขึ้นไม่ให้เกิดการกระเพื่อมของสัญญาณ

### 2.2.3 ภาควัดค่าสัญญาณรบกวนและความผิดเพี้ยน



ภาพประกอบ 3.4 วงจรของภาควัดค่าสัญญาณรบกวนและความผิดเพี้ยน

จากภาพประกอบ 3.4 แสดงวงจรของภาควัดค่าสัญญาณรบกวนและความผิดเพี้ยน เมื่อ  $SW_1$  ถูกหมุนมายังตำแหน่งวัดค่าสัญญาณรบกวนและความผิดเพี้ยน สัญญาณจะถูกป้อนเข้าสู่วงจรกรองสัญญาณแบบ North Filter (Notch Filter) ซึ่งประกอบด้วย  $IC_1$  และ  $IC_2$  โดยทำหน้าที่สำคัญคือการกรองสัญญาณความถี่ทดสอบออกจากสัญญาณที่เหลือคือสัญญาณรบกวนและความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้น ผลที่ได้นี้จะถูกส่งต่อไปยังภาคมิเตอร์วัดแรงดันเพื่อแสดงผลต่อไป

INPUT VOLTS  
CAL  
SW1/I THD 0dB -20dB

0V R1 220k

SW2

3

R6 10k

VR3 5k

0V

แต่ก่อนที่จะสามารถใช้งานได้ตามที่กล่าวมาแล้วต้องมีการปรับค่า (Calibrate) หรือปรับเซตเครื่องให้เหมาะสมกับระดับ ของสัญญาณอินพุตของการทดสอบในแต่ละครั้งด้วยเสมอ

- การปรับค่า เมื่อเข้าสู่โหมดการปรับค่าโดยการปรับเลือก SW<sub>1</sub> ไปยังตำแหน่ง CAL สัญญาณอินพุตจะถูกลดทอนสัญญาณจากวงจรควบคุม R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, SW<sub>2</sub> และ VR<sub>1</sub> ในขณะที่ SW<sub>2</sub> ถูกเลือกไปที่ตำแหน่งเปิดวงจร สัญญาณที่ตกคร่อม VR<sub>1</sub> จะถูกลดทอนลง 20 dB และถ้า SW<sub>2</sub> อยู่ในตำแหน่งปิดวงจร สัญญาณอินพุตจะถูกส่งผ่านโดยตรงไปตกคร่อม VR<sub>1</sub> โดยไม่ถูกลดทอนสัญญาณ

VR<sub>1</sub> ทำหน้าที่ปรับระดับสัญญาณเพื่อป้อนให้กับ IC<sub>1</sub> โดยป้อนผ่านวงจรกรองความถี่สูงผ่าน C<sub>1</sub> และ R<sub>3</sub> และมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 1.47 dB หรือ 3.3 dB จะเห็นได้ว่ามีอัตราขยายต่ำมาก ทั้งนี้เพื่อให้การปรับค่าสมรรถนะได้อย่างถูกต้อง วงจรบัฟเฟอร์นี้มีแบนด์วิดท์กว้างถึง 200 KHz โดยกำหนดจากค่า C<sub>2</sub> สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะถูกป้อนไปยัง R<sub>6</sub> และ VR<sub>3</sub> เพื่อปรับระดับสัญญาณอีกครั้งก่อนป้อนผ่าน SW<sub>1/2</sub> ไปยังวงจรภาคมิเตอร์วัดแรงดัน

หน้าที่สำคัญของ VR<sub>3</sub> คือเป็นตัวปรับลดทอนสัญญาณเพื่อให้เทียบเท่ากับค่าการสูญเสียของสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจร North Filter ซึ่งโดยปกติที่สัญญาณความถี่นอกเหนือจากความถี่ Cut off ของวงจร North Filter จะถูกลดทอนลงด้วย 1dB ในขณะที่สัญญาณที่ความถี่ Cut off จะถูกลดทอนลงมากกว่า 90 dB ถึงแม้ว่าเมื่อเทียบอัตราส่วนกันแล้วการสูญเสียสัญญาณเพียง 1 dB จะดูเล็กน้อย แต่ถ้าปรับ VR<sub>3</sub> อย่างเหมาะสมแล้วระดับสัญญาณจากการวัดขณะปรับสมรรถนะและวัดค่า THD ที่ปรากฏที่ SW<sub>1/2</sub> จะมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดส่งผลให้การวัดของเครื่องได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด

การปรับค่าอย่างถูกต้องทำได้โดยเริ่มต้นจากปรับ SW<sub>1</sub> ไปยังตำแหน่ง CAL และทำการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าสู่วงจร (เช่นจากเครื่องขยายเสียงกำลังต่ำที่ให้ระดับสัญญาณ 5 โวลต์) จากนั้นทำการปรับ VR<sub>1</sub> (CAL Control) เพื่อลดระดับสัญญาณจนกระทั่งมิเตอร์อ่านค่าได้ฟลูสเกลพอดิบบนย่านวัด 0 dB / 100% / 1 V การทำเช่นนี้ก็เพื่อปรับระดับสัญญาณอ้างอิง (Reference Level) สำหรับการวัดความผิดเพี้ยนของสัญญาณและสัญญาณรบกวน สำหรับสัญญาณอินพุตที่มีระดับสูง (เช่นจากเครื่องขยายเสียงกำลังสูงที่ให้ระดับสัญญาณ 50 โวลต์) การวัดอาจต้องปรับสวิตช์ลดทอนสัญญาณ SW<sub>2</sub> ไปยังตำแหน่ง -20 dB เพื่อลดระดับสัญญาณลงโดยการหารด้วยค่า 10 เสียก่อนจึงจะทำการวัดได้

ข้อสำคัญประการหนึ่งที่ต้องทราบคือ การปรับสมรรถนะและการวัดควรมีระดับสัญญาณอินพุตไม่ต่ำกว่า 0.8 V. เพราะอัตราขยายของวงจรฟิลเตอร์ทั้งหมดมีค่าประมาณ 1.25 หรือ 2 dB เท่านั้น ดังนั้นวงจรจึงไม่สามารถวัดค่าสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนได้ที่ระดับสัญญาณอินพุตต่ำๆ (คุณสมบัตินี้เป็นขีดจำกัดที่มีอยู่ในเครื่องวัดสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนทุกเครื่อง)

- การวัดค่า THD การวัดค่า THD จะเริ่มต้นจากการปรับ SW<sub>1</sub> ไปยังตำแหน่ง THD จากวงจรจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่วงจรภาคมิเตอร์จะถูกป้อนจากเอาต์พุตของวงจร Nort Filter ผ่าน SW<sub>2</sub> เพื่อแสดงผลการวัด ในส่วนของวงจร North Filter ใช้อปแอมป์ IC<sub>2</sub> จัดวงจรแบบWien Bridge network โดยจัดวงจรให้มีการป้อนกลับแบบลบ

อุปกรณ์ที่ประกอบเป็นวงจร Wien Bridge network คือ  $C_3-C_8$ ,  $R_9$ ,  $R_{10}$  และมีตัวต้านทาน  $R_7$ ,  $R_8$ ,  $R_{11}$  และ  $R_{12}$  โดยใช้  $SW_3$  เป็นตัวเลือกค่า  $C_3-C_8$  ต่อร่วมเข้ากับวงจร ถ้าสังเกตจากรูปวงจรจะเห็นได้ว่า การจัดวงจรมีลักษณะคล้ายกับวงจรภาคกำเนิดสัญญาณความถี่ อ่างอิงโดยเฉพาะค่าของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการเลือกย่านความถี่ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะโดยหลักการในการวัดค่า THD นั้น วงจรภาคกำเนิดสัญญาณความถี่อ่างอิงและวงจร North Filter ต้องมีการเลือกใช้ย่านความถี่ที่จุดเดียวกันเสมอจึงจะสามารถวัดค่า THD ได้

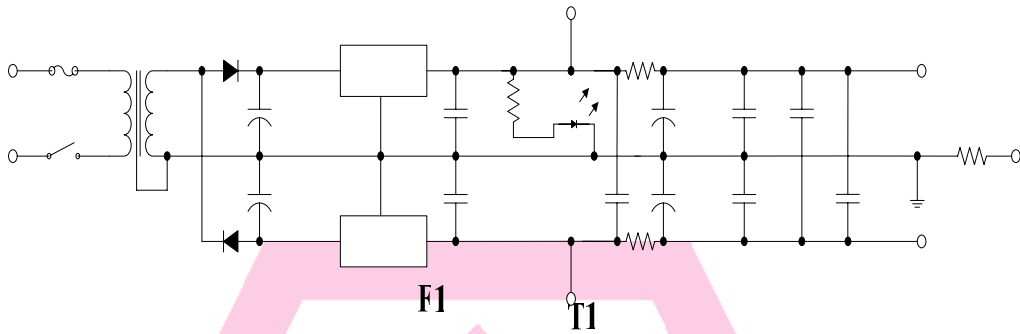
เพื่อให้สามารถเข้าใจการทำงานของวงจร North Filter มากขึ้น ขั้นแรกจะพิจารณาวงจร Differential Amplifier เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปยังอินพุต A และ B ในขณะที่สัญญาณเกิดความแตกต่างกันจะทำให้ปรากฏสัญญาณเอาต์พุตด้วยอัตราขยายเท่ากับ 0.5 ในขณะที่ถ้าสัญญาณไม่มีความแตกต่างจะทำให้สัญญาณถูกลดทอนไป ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณอินพุตก็น่าจะคาดเดาได้ว่าต้องไม่มีสัญญาณเอาต์พุตออกเลย ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการทำงานที่สัญญาณโหมคร่วม (Common Mode Signal) ในทางปฏิบัติสัญญาณที่เอาต์พุตอาจมีค่าไม่เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งระดับสัญญาณเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการลดทอนสัญญาณโหมคร่วม (Common Mode Rejection Ratio: CMRR) ตามคุณสมบัติของออปแอมป์

ด้วยหลักการนี้เมื่อนำมาจัดวงจรใหม่ให้อยู่ในรูปของวงจร North Filter ตัวต้านทานที่ต่อกับขา Inverting ของ Op Amp เดิมจะถูกแทนที่ด้วย Wien bridge network ซึ่งในรูปคือ  $C_w$  และ  $R_w$  ตัวอักษรห้อย W หมายถึงเป็นส่วนประกอบของ Wien bridge ย่านความถี่ในการทำงานจะถูกกำหนดตามสมการ  $1/(2R_w C_w)$  ดังนั้นที่ความถี่ในการทำงานขณะที่สัญญาณอินพุต มีค่าเป็นศูนย์แต่ในทางปฏิบัติระดับสัญญาณเอาต์พุต เป็นศูนย์จริงหรือไม่ยังขึ้นอยู่กับค่า CMRR ของ Op Amp ด้วย ซึ่งจากวงจรนี้ใช้ Op Amp เบอร์ NE5534 ที่มีค่า CMRR ที่ดีมากโดยมีค่าประมาณ 100 dB

ในส่วนของวงจรแบ่งแรงดัน  $R/2R$  ที่ต่อกับขาอินพุต Inverting ของออปแอมป์จะประกอบด้วย  $R_{13}$  เป็นตัวต้านทาน  $2R$  และ  $R_{14}$ ,  $VR_4$ ,  $VR_5$  และ  $R_{15}$  ต่อร่วมเป็นตัวต้านทาน  $R$  แต่ที่ตัวต้านทาน  $R$  นั้นจะไม่ต่อลงกราวด์โดยตรงเหมือนกับวงจรพื้นฐาน ในวงจรจริงจะเชื่อมต่อกับ  $R_{16}$  และ  $R_{17}$  เพื่อแบ่งแรงดันจากเอาต์พุตของวงจร Nort Filter ที่ขา 6 ของ  $IC_2$  แทน

การต่อวงจรแบบนี้ก็เพื่อเป็นการเพิ่มระดับการป้อนกลับแบบบวก เพื่อลด Band wide การทำงานของ North Filter และทำให้เพิ่มอัตราขยายจากเดิมประมาณ -95 dB เป็นค่าประมาณ -1 dB ระดับการป้อนกลับจะกำหนดด้วยอัตราส่วนของค่าความต้านทานนี้ต้องมีค่าเหมาะสมระหว่างการรักษาเสถียรภาพของวงจรและความลาดชันของเส้นกราฟในการตัดความถี่ของวงจร North Filter คือถ้ามีการป้อนกลับมากเกินไปจะทำให้วงจรเกิดการออสซิลเลต ในทางกลับกันถ้าหากมีการป้อนกลับน้อยเกินไปจะทำให้แบนด์วิดธ์การทำงานของ North Filter มีค่ามากขึ้น ซึ่งทั้ง 2 กรณีนี้เป็นสิ่งที่ไม่ควรให้เกิดขึ้นในการวัดค่า THD

### 3.2.4 ภาคจ่ายไฟ



ภาพประกอบ 3.5 วงจรของภาคจ่ายไฟ

ภาคจ่ายไฟออกแบบให้ใช้หม้อแปลงที่ให้แรงดันด้านทุติยภูมิ 12.6 Vac. มาทำ Rectifier แบบ half wave ด้วย  $D_6$  และ  $D_7$  และปรับสัญญาณให้เป็นไฟตรงเรียบโดย  $C_{21}$  และ  $C_{22}$  แรงดันไฟตรงที่จุดนี้จะมีค่าประมาณ  $\pm 17$  V. หลังจากต่อผ่าน  $IC_7$  และ  $IC_8$  แล้วแรงดันไฟจะถูกปรับให้เหลือ  $\pm 12$  V. สำหรับใช้เป็นไฟเลี้ยง  $IC_6$  ในภาคกำเนิดสัญญาณความถี่อ้างอิง

แรงดันไฟ  $\pm 12$  V ถูกต่อผ่าน  $R_{46}$  และ  $R_{47}$  และถูกกรองเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเรียบขึ้นโดย  $C_{25}$  และ  $C_{26}$  เอาต์พุตที่ได้ถูกกำหนดเป็นแรงดันไฟเลี้ยง +V และ -V สำหรับใช้เป็นไฟเลี้ยงในส่วนของวงจร

เหตุผลที่ต้องจัดวงจรแบบนี้ก็เพื่อป้องกันการรบกวนวงจรในส่วนอื่น ๆ ซึ่งมีความไวค่อนข้างสูงออกจากไฟเลี้ยงของวงจรภาคกำเนิดสัญญาณความถี่อ้างอิงสำหรับ  $R_{49}$  ทำหน้าที่เป็นตัวแยกจุดต่อกราวด์ของเครื่องออกจากวงจรในส่วนของภาคกำเนิดสัญญาณความถี่อ้างอิง

### 3.3 วงจรวัดความถี่

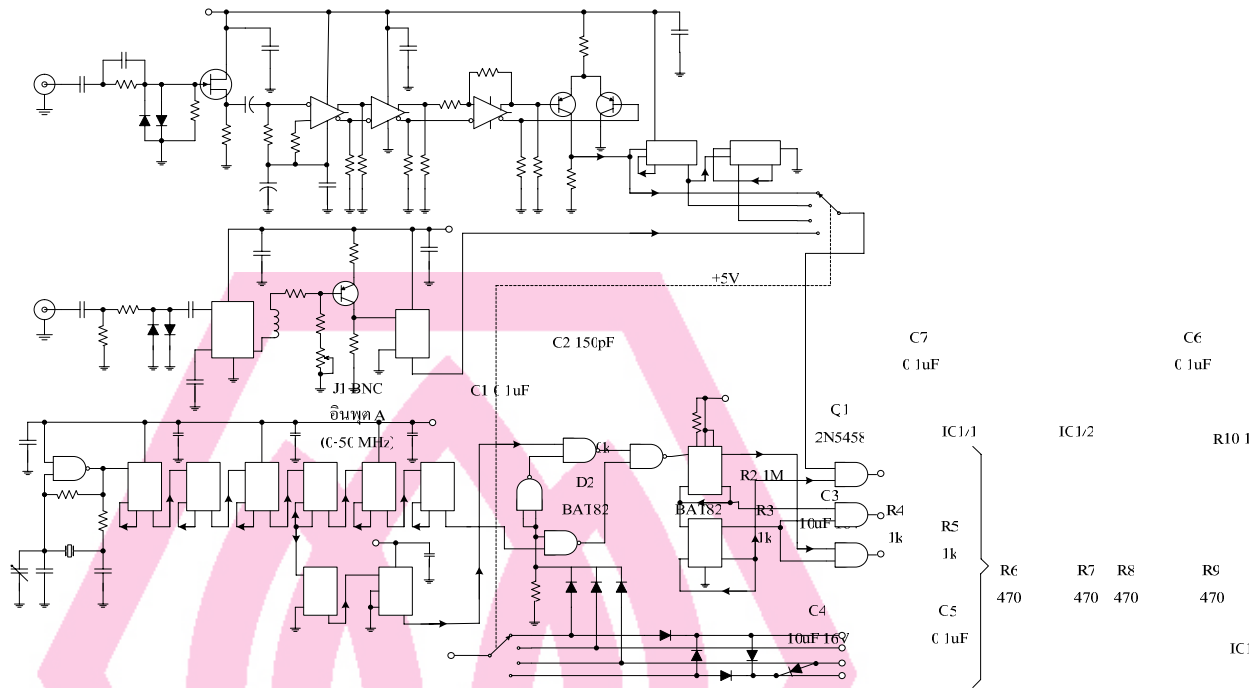
#### 3.3.1 โครงสร้างวงจรวัดความถี่



ภาพประกอบ 3.6 โครงสร้างวงจรวัดความถี่



### 3.3.2 ภาคประมวลการวัดสัญญาณ



ภาพประกอบ 3.7 วงจรของภาคประมวลการวัดสัญญาณ

หลักการการทำงานของวงจรในภาพประกอบ 3.7 จะสังเกตเห็นว่าอินพุตอยู่สองอินพุตโดยทั้งสองอินพุตนี้จะมีความแตกต่างกันทางด้านความถี่สัญญาณที่จะเข้ามาที่อินพุต ซึ่งจะแยกเป็นอินพุต A ( $J_1$ ) สามารถรับความถี่ทางอินพุตได้ตั้งแต่ 0.1 เฮิร์ตซ์จนถึง 50 MHz ทางด้านอินพุต B ( $J_2$ ) สามารถรับสัญญาณทางอินพุตได้ตั้งแต่ 50 MHz จนถึง 1 GHz ในอินพุต B นี้จึงจำเป็นต้องเพิ่มวงจรปริสเกลเลอร์เข้ามาช่วยเพื่อให้สามารถวัดความถี่ย่านสูง ๆ ได้

- อินพุต A ( $J_1$ ) ความถี่สัญญาณตั้งแต่ 0.1 เฮิร์ตซ์ถึง 50 MHz จะถูกขับปัดผ่าน  $C_1$ ,  $C_2$  และ  $R_1$  เข้ามาที่ขาเกต (G) ของเจฟेट  $Q_1$  ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณอินพุตตามทำให้อินพุตมีค่าอิมพีแดนซ์สูงประมาณ 1 เมกะโอห์ม กำหนดได้จากค่าของ  $R_2$  ไดโอดความถี่สูง  $D_1$  และ  $D_2$  ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันของสัญญาณอินพุตไม่ให้สูงเกินไปจนบดทลายส่วนอินพุตของ  $Q_1$  ได้อาจทำให้เจฟेटเสียหายและเกิดการไหลสัญญาณจากเอาต์พุตของเครื่องที่กำลังทดสอบอยู่ก็ได้ การขยายของ  $Q_1$  จะเป็นการขยายอินพุตตามให้เอาต์พุตขับปัดผ่าน  $C_3$  ไปยังอินพุตของวงจรขยายสัญญาณย่านกว้าง  $IC_{1/1}$  ที่ขา 9 ( $IC_1$  เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณย่านกว้าง ECL Triple Line Receiver) โดยที่  $IC_1$  นี้ จะทำหน้าที่ขยายซึ่งแบ่งอัตราการขยายไว้แบบกว้าง ๆ 3 ระดับ คือ  $IC_{1/1} - IC_{1/3}$  พร้อมทั้งทำหน้าที่จัดรูปคลื่นสัญญาณด้วย

TR  $Q_2$ ,  $Q_3$  ทำหน้าที่เชื่อมต่อเอาต์พุตของ  $IC_{1/3}$  ที่ขา 2 เพื่อทำหน้าที่กำหนดขนาดความแรงของสัญญาณและจัดรูปสัญญาณให้อยู่ในลักษณะพัลส์เพื่อส่งสัญญาณไปทำการหาความถี่ ตัวต้านทาน  $R_{10}$ ,  $R_{11}$  ทำหน้าที่กำหนดอัตราการขยายของ  $IC_{1/3}$  TR  $Q_2$  และ  $Q_3$  จะต้องเป็นแบบ สวิตช์ความเร็วสูง เพื่อ

เป็นการรักษาเสถียรภาพของการจัดรูปคลื่นสัญญาณให้ทันต่อสัญญาณความถี่ที่เข้ามาทางอินพุต และเพื่อให้การหารความถี่ในภาคต่อไปเป็นไปอย่างถูกต้องเอาต์พุตของสัญญาณพัลส์จะออกมาทางขา คอลเล็กเตอร์ของ  $Q_2$  ตรงจุดนี้จะวัดสัญญาณได้สูงสุด 2 MHz ซึ่งจะเป็นย่านการวัดย่านที่ 1 โดยเลือก จากสวิทช์  $S_{1/1}$  และ  $S_{1/2}$  ทำหน้าที่เลือกตำแหน่งจุดทศนิยมและกำหนดค่าเวลาเปิดเกตผ่าน ไดโอด  $D_3$

สัญญาณเอาต์พุตที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_2$  จะถูกแยกไปเข้าวงจรหารความถี่  $IC_{2/1}$  ที่ขา 1 ( $C_0$ ) ทำหน้าที่หาร 10 ให้เอาต์พุตสัญญาณที่หารแล้วออกมาทางขา 7 ( $Q_3$ ) เป็นย่านการวัดที่ 2 (ย่าน 20 MHz) เลือกจาก  $S_{1/1}$  และ  $S_{1/2}$  เลือกค่าเวลาเปิดเกตผ่าน ไดโอด  $D_4$  และเลือกจุดทศนิยมด้วย เอาต์พุตจากขา 7 จะถูกแยกไปให้เข้าขา 12 ของ  $IC_{2/2}$  ( $C_1$ ) ทำการหาร 100 ให้เอาต์พุตออกมาทางขา 13 ( $Q_4$ ) เป็นย่านการวัด ที่ 30 (50 MHz) เลือก โดย  $S_{1/1}$  และ  $S_{1/2}$  เลือกจุดทศนิยมและเลือกเวลาเปิดเกตผ่าน ไดโอด  $D_{15}$  ในอินพุต A นี้สามารถวัดความถี่ได้สูงสุด 65 MHz หากเกินนั้นแล้วจะมีการผิดพลาดในการหารความถี่

- อินพุต B ( $J_2$ ) ความถี่ตั้งแต่ 50 MHz จนถึง 1 GHz จะคับปลิ่งผ่าน  $C_{18}$   $R_{21}$  และ  $C_{19}$  มาเข้าที่ อินพุตขา 2 ของ  $IC_{12}$  มีให้เลือกอยู่สองเบอร์ คือเบอร์ U664B และ SAB 6456 โดย U664B สามารถหาร ความถี่ได้เพียง 64 อย่างเดียว แต่ SAB6456 สามารถเลือกการหารได้สองอย่างคือ หาร 64 และ 256 ตัว ต่ำนาน  $R_{20}$  ทำหน้าที่กำหนดค่าอิมพีแดนซ์ทางอินพุตของอินพุต B ไว้ที่ 50  $\Omega$  โดยประมาณ ไดโอด  $D_{17}$  และ  $D_{18}$  ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันสัญญาณทางอินพุตของ  $IC_{12}$  ให้อยู่ที่ระดับ 10 mV<sub>RMS</sub> หากแรงดัน สัญญาณสูงกว่านี้อาจทำให้  $IC_{12}$  เกิดความเสียหายได้ นอกจากนั้นก็เป็นการกำหนดความไวทางอินพุต B ไว้ที่ 10 mV<sub>RMS</sub> เช่นกัน ที่อินพุต 1 GHz

เอาต์พุตขา 6 ของ  $IC_{12}$  ที่ถูกหารความถี่ด้วย 64 ออกมาผ่าน  $L_1$  เพื่อให้เอาต์พุตสมดุลกันกับ อินพุตของ  $Q_4$  (ที่ขาเบส และจนถึง  $IC_{13/1}$ )  $R_{22}$ ,  $R_{23}$  และ  $VR_1$  ทำหน้าที่ควบคุมความเป็นสัญญาณพัลส์ ทางเอาต์พุตขาคอลเล็กเตอร์ของ  $Q_4$  (กำหนดจุดทำงานของ  $Q_4$ ) เอาต์พุตนี้จะส่งเข้าขา 1 ของ  $IC_{13/1}$  ทำ หน้าที่หารความถี่เท่ากับหาร 8 ของความถี่ที่ผ่านการหารมาแล้วจาก  $IC_{12}$  ดังนั้นผลของการหารโดยรวม ทั้งหมดแล้วเท่ากับ 512 หมายถึงที่ความถี่ 1 GHz ทางอินพุต ( $J_2$ ) จะมีความถี่ผ่านออกไปยังสวิทช์  $S_{1/1}$  (หรือที่ขา 5 ของ  $IC_{13/1}$ ) เท่ากับ 1.953 MHz ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการทำงานหรืออุณหภูมิรอบด้านของ  $IC_{12}$  และ  $IC_{13/1}$  มีค่าอุณหภูมิปกติที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) จะสังเกตเห็นว่าการใช้ TR สวิตช์ ความเร็วสูงมาทำหน้าที่เชื่อมต่อดับลอจิกให้กับอินพุตของไอซีในตระกูล HCMOS เนื่องจากผลของ ระดับแรงดันของลอจิกที่ไม่เท่ากัน

สัญญาณทางอินพุตจะทำการเลือกผ่านสวิทช์  $S_{1/1}$  เพื่อส่งสัญญาณไปยังอินพุตขา 13 ของ  $IC_{8/1}$  โดยจะสัมพันธ์กันกับเวลาเปิดเกตที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวงจรออสซิลเลเตอร์ด้วยที่ขา 12 ของ  $IC_{8/1}$  ค่าเวลา เปิดเกตสำหรับการวัดความถี่นี้ถูกควบคุมจากฟลิปฟลอป  $IC_{7/2}$  ทำหน้าที่กำหนดการนับแบบพื้นฐาน ทั่วไปคือ กำหนดการรีเซตนับ-โหนดเพื่อแสดงผลตามลำดับ ค่าเวลา ของการทำงานในแต่ละลำดับจะตั้ง ได้จากสัญญาณนาฬิกาฐานเวลาที่กำเนิดมาจากคริสตอลจ่ายมาให้กับ  $IC_{7/1}$  และ  $IC_{7/2}$  โดยอาศัย X'TAL<sub>1</sub> ความถี่ 2 MHz ทำงานร่วมกับ  $IC_{6/1}$  ทำหน้าที่ Oscillate ความถี่ขึ้นมา โดยที่  $IC_{8/2}$  ทำหน้าที่

ควบคุมการไหลแสดงผลของชุดแสดงผล และ IC<sub>8/3</sub> ทำหน้าที่ควบคุมการรีเซต ทั้งนี้จะได้จากการควบคุมด้วยสัญญาณจากเอาต์พุตของ IC<sub>7/1</sub> และ IC<sub>7/2</sub>

สำหรับย่านการวัดสามย่านแรกทางอินพุต A จะได้รับฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาที่เป็นพัลส์มาจาก IC<sub>7/1</sub> และ IC<sub>7/2</sub> คาบเวลาของฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาจะเท่ากับ 500 ms หรือเท่ากับความถี่ 2 เฮิร์ตซ์ ฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาเหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นมาจากความถี่ Oscillate ของ X-TAL<sub>1</sub> ความถี่ 2 GHz และจะถูกทำการหารความถี่ จากวงจรหารความถี่ที่ต่ออาศัยกันอยู่ มี IC<sub>6/3/1</sub>, IC<sub>3/2</sub>, IC<sub>4/1</sub>, IC<sub>4/2</sub>, IC<sub>5/1</sub> และ IC<sub>5/2</sub> สัญญาณที่ถูกหารเหลือสุดท้ายจะผ่านเข้าที่ขา 11 ของ IC<sub>7/1</sub> โดยผ่าน IC<sub>6/3</sub> และ IC<sub>10/1</sub> ก่อนต่อจากนั้น IC<sub>7/1</sub> และ IC<sub>7/2</sub> จะทำการรีเซตแล้ว โหลดสัญญาณเข้าชุดแสดงผล ตามลำดับ โดยจะทิ้งช่วงห่างแต่ละขั้นตอนเท่ากับ 500 ms ทำการนับแสดงผลอีก 1 วินาที รวมทั้งหมดแล้วในการแสดงค่าความถี่ออกมาจะกินเวลาประมาณ 2 วินาที ต่อการอ่านแสดงผล 1 ครั้ง ของชุดแสดงผล LED 7 ส่วน

ฐานเวลาสัญญาณนาฬิกา 500 ms ที่ใช้ในอินพุต A สำหรับย่านการวัด 3 ย่าน จะไม่สามารถนำมาใช้เป็นฐานเวลาให้กับย่านการวัดที่สี่ในอินพุต B เนื่องจากว่าสัญญาณความถี่ที่จะเข้ามาทางอินพุตจะผ่านวงจรหารความถี่ 512 เสียก่อน ซึ่งเป็นอัตราการหารความถี่ที่มากกว่า 1, 10 และ 100 ดังนั้นค่าเวลาฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในอินพุต B จึงจะต้องมีความแตกต่างจากอินพุต A อยู่ประมาณเกือบครึ่งหนึ่ง จึงอาศัยวงจรหารความถี่ต่ออาศัยกัน โดยมี IC<sub>13/2</sub> และ IC<sub>14/1</sub> โดยจะดึงเอาฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาที่ 1 ms จากเอาต์พุตขา 3 ของ IC<sub>4/2</sub> มาทำการหาร 256 ที่ IC<sub>13/2</sub> และ IC<sub>14/1</sub> ดังนั้นเอาต์พุตที่ขา 6 ของ IC<sub>14/1</sub> จะมีค่าฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาออกมาเท่ากับ 256 ms หรือความถี่ประมาณเท่ากับ 3.90625 Hz

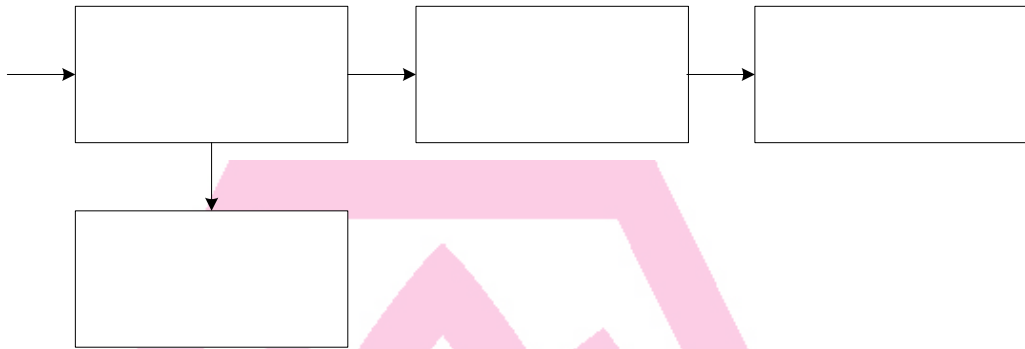
IC<sub>6/2</sub> และ IC<sub>10/1</sub> จะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณฐานเวลาที่มาจากเอาต์พุตขา 6 ของ IC<sub>14/1</sub> ให้มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ที่แน่นอนก่อนจะผ่านเข้าสู่ IC<sub>7/1</sub> และ IC<sub>7/2</sub> เมื่อย่านการวัดถูกเลือกมาที่ย่านการวัด 1 GHz จะเป็นผลทำให้เวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับเริ่มจากการรีเซต และ โหลดเข้าชุดแสดงผลจะใช้เวลาทั้งหมด 256 ms และนับแสดงผลออกทาง LED 7 ส่วน เท่ากับ 512 ms เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับอินพุต B ดังนั้นการนับความถี่แสดงผลออกทาง LED 7 ส่วนเป็นอันดับสุดท้ายแล้วรวมเวลาทั้งหมดต่อการแสดงผลหนึ่งครั้งเท่ากับ 1.024 วินาที จะเห็นได้ว่าย่านการวัดนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงค่า ที่แสดงออกมาบ่อยครั้งจนดูเหมือนว่าตัวเลขแสดงผลวิ่งไม่หยุดนิ่ง หรือเป็นเพียงค่าที่สุมออกมาเท่านั้น

การเลือกและสับเปลี่ยนพัลส์ฐานเวลาจะเลือกผ่านสวิทช์ S<sub>1/2</sub> ซึ่งเป็นอีกขั้วหนึ่งของ Selector Sw เลือกย่านการวัดการเลือกในแต่ละตำแหน่ง จะเลือกผ่าน S<sub>1/2</sub> เพื่อเลือกค่าเวลาเปิดเกต สำหรับย่านการวัดทั้งสามของอินพุต A ผ่านไดโอด D<sub>3</sub>, D<sub>5</sub> และ D<sub>15</sub> ผ่าน IC<sub>6/4</sub> ทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์เกต พร้อมกับเป็นการเลือกจุดทศนิยม (Decimal Point) แสดงช่วงการอ่านและแสดงผลของ LED 7 ส่วนให้ถูกต้อง ผ่านไดโอด D<sub>4</sub> และ D<sub>20</sub> นอกจากนั้นยังต่อโดยตรงด้วยการแสดงช่วงของความถี่ที่เข้ามาเพื่อให้



### 3.4 วงจรวัดกำลังส่ง

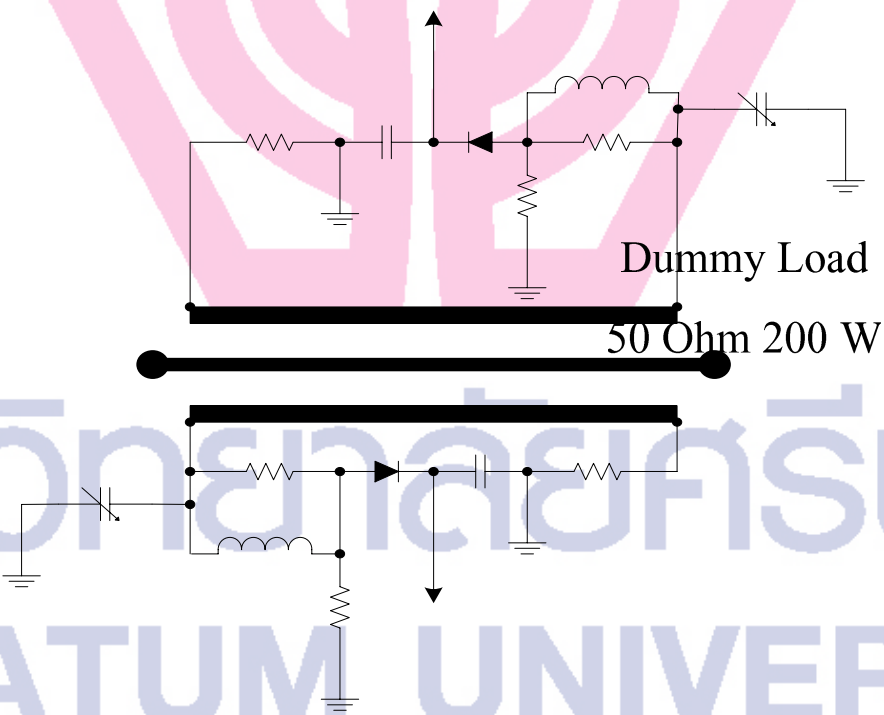
#### 3.4.1 โครงสร้างวงจรวัดกำลังส่ง



ภาพประกอบ 3.9 โครงสร้างวงจรวัดกำลังส่ง

#### 3.4.2 ภาควัดจับสนญาณ INPUT

ภาควัดจับสนญาณ



ภาพประกอบ 3.10 วงจรของภาควัดจับสนญาณ

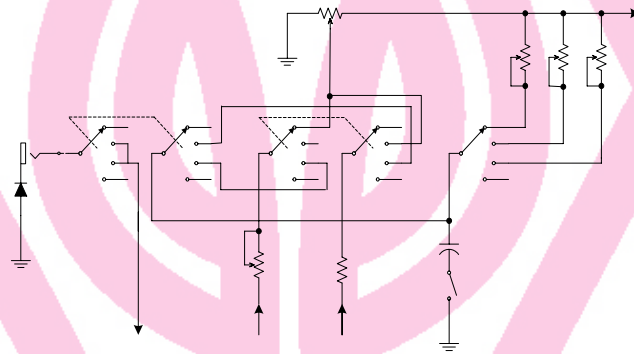
จากภาพประกอบ 3.10 แสดงวงจรของภาควัดจับสนญาณ ทำหน้าที่นำสัญญาณ RF ที่ได้จากการส่งจากเครื่องส่งวิทยุสื่อสารไปยังสายอากาศ ในที่นี้จะเป็น โหลดเทียมหรือคัมมีโหลด (Dummy Load) ขนาด  $50 \Omega$  200 W.

REF Sele

ในส่วนของจากเครื่องส่งไปยังดัมมีโหลด (Forward) สัญญาณ RF จะผ่านแถบทองแดงที่อยู่ข้างติดกับสายสัญญาณ ผ่าน  $L_1$  และ  $C_2$  ทำหน้าที่เป็นวงจรรองความถี่เฉพาะย่านที่ต้องการวัด ผ่าน  $D_1$  Half wave Rectifier สัญญาณ ด้าน forward ไปยังวงจรประมวลและเลือกวัดสัญญาณ ส่วน  $C_1$  ทำหน้าที่กรองความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปให้เหลือเฉพาะความถี่ที่ต้องการเท่านั้น

ในส่วนของจากดัมมีโหลดไปยังภาคส่งสัญญาณ RF จะผ่านแถบทองแดงที่อยู่ข้างติดกับสายสัญญาณ ผ่าน  $L_2$  และ  $C_3$  ทำหน้าที่เป็นวงจรรองความถี่เฉพาะย่านที่ต้องการวัด ผ่าน  $D_2$  Half wave Rectifier สัญญาณ ด้าน Reverse ไปยังวงจรประมวลและเลือกวัดสัญญาณ ส่วน  $C_4$  ทำหน้าที่กรองความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปให้เหลือเฉพาะความถี่ที่ต้องการเท่านั้น

### 3.4.3 ภาคประมวลและการเลือกวัดสัญญาณ



ภาพประกอบ 3.11 วงจรของภาคประมวลและการเลือกวัดสัญญาณ

จากภาพประกอบ 3.11 แสดงวงจรภาคประมวลและการเลือกย่านการวัดสัญญาณ ทำหน้าที่รับสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณทั้งด้าน Forward และ Reverse และนำผลที่ได้ส่งไปยังวงจรของภาคมิเตอร์แสดงผล รวมถึงเป็นวงจรเลือกย่านวัดในการวัดต่างๆ ด้วย

สำหรับ  $S_1$  เป็นสวิตช์เลือกวัดสัญญาณ ด้าน Forward หรือ Reverse  $S_2$  เป็นสวิตช์เลือกการ Calibration และ การวัดกำลังส่ง (Power)  $S_3$  เป็นสวิตช์เลือกย่านวัดกำลังส่งโดยจะแบ่งเป็น 5 W, 20 W, 200 W

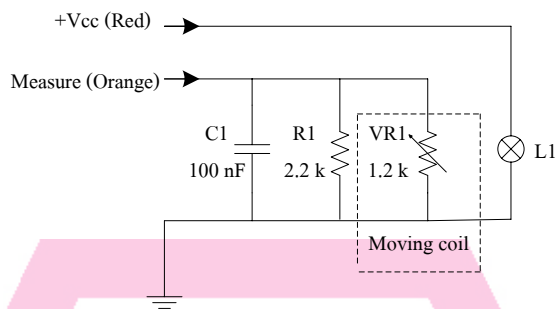
S1

EXT. 13.8 V

D1  
1N4002

OFF  
FWD  
REF

## ภาคมิเตอร์แสดงผล



ภาพประกอบ 3.12 วงจรของภาคมิเตอร์แสดงผล

จากภาพประกอบ 3.12 แสดงวงจรของภาคมิเตอร์แสดงผล ทำหน้าที่เป็นวงจรมิเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงซึ่งมี Moving Coil เป็นเข็มชี้แสดงค่า ส่วน  $R_1$  เป็นค่าความต้านทานจำกัดกระแส

## บทที่ 4

### การทดสอบเครื่องมือวัด

#### 4.1 การทดสอบที่ 1

การทดสอบภาควัดสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียง

##### 4.1.1 วัดอุปสรรค

1. เปรียบเทียบค่าสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียงของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน
2. หาค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

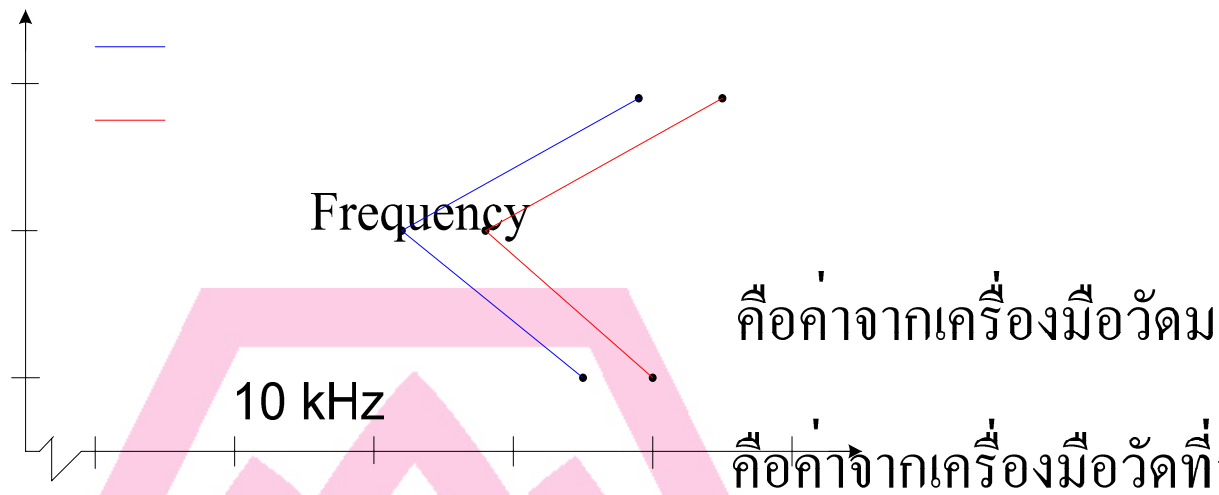
##### 4.1.2 อุปกรณ์ในการทดสอบ

- เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น
- RF Generator ยี่ห้อ Good Will รุ่น GRG-450B
- Distortion Meter ยี่ห้อ HAMEG รุ่น HM8027
- วิทยุสื่อสารย่านความถี่ VHF ยี่ห้อ ICOM รุ่น IC-2100-T
- แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ ยี่ห้อ KAIWA รุ่น PS-304 III ขนาด 30 Amp
- สายนำสัญญาณและขั้วต่อต่างๆ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการทดสอบค่า THD เครื่องมือวัดเมื่อป้อนคลื่นความถี่ 145.000 MHz ด้วยความถี่เสียง

ความถี่เสียง (Hz)	ค่า THD ของเครื่องมือ วัดมาตรฐาน (%)	ค่า THD ของเครื่องมือ วัดที่สร้างขึ้น (%)	ค่าความผิดพลาด (%)
100 Hz	85	90	5.88
1 kHz	72	78	8.33
10 kHz	89	95	6.74

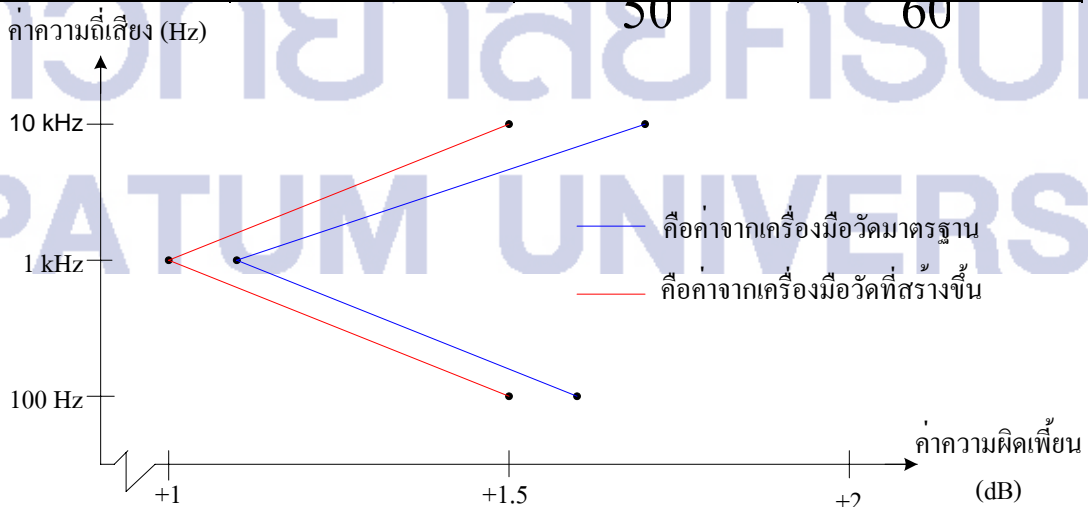




ภาพประกอบ 4.1 กราฟเปรียบเทียบค่า THD เครื่องมือวัด

ตารางที่ 4.2 ค่าการทดสอบค่าความผิดเพี้ยนเครื่องมือวัดเมื่อป้อนคลื่นความถี่ 145.000 MHz ด้วยความถี่เสียง

ความถี่เสียง (Hz)	ค่าความผิดเพี้ยนของเครื่องมือวัดมาตรฐาน	ค่าความผิดเพี้ยนของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (dB)	ค่าความผิดพลาด (%)
100 Hz	+1.6	+1.5	6.25
1 kHz	+1.1	+1	9.09
10 kHz	+1.7	+1.5	11.76



ภาพประกอบ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าความผิดเพี้ยนเครื่องมือวัด

#### 4.1.3 ผลการทดสอบที่ 1

##### การทดสอบภาควัตต์สัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียง

จากการทดสอบต่อ RF Generator เข้ากับเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารที่ตั้งความถี่ 145.000 MHz ทำการ Modulate ด้วยความถี่เสียง 10 Hz, 1 kHz และ 10 kHz ตามลำดับ ทำการทดสอบค่า THD (Total Harmonic Distortion) ด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นปรากฏว่าที่ความถี่ 1 kHz มีค่าเปอร์เซ็นต์ของ THD น้อยที่สุด ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดอยู่ในช่วง 6-7 %

ในการทดสอบค่าความผิดเพี้ยนของความถี่เสียงด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นปรากฏว่าที่ความถี่ 1 kHz ตอบสนองทางด้านความถี่ดีที่สุดที่ประมาณ +1 dB เช่นกัน ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดอยู่ในช่วง 6-11 %

ดังนั้นแสดงว่าเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารมีการตอบสนองความถี่ทางภาครับที่ 1 kHz ดีที่สุด โดยค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดอยู่ในช่วง 6-11 %

#### 4.2 การทดสอบที่ 2

##### การทดสอบภาควัตต์ความถี่

##### 4.2.1 วัตถุประสงค์

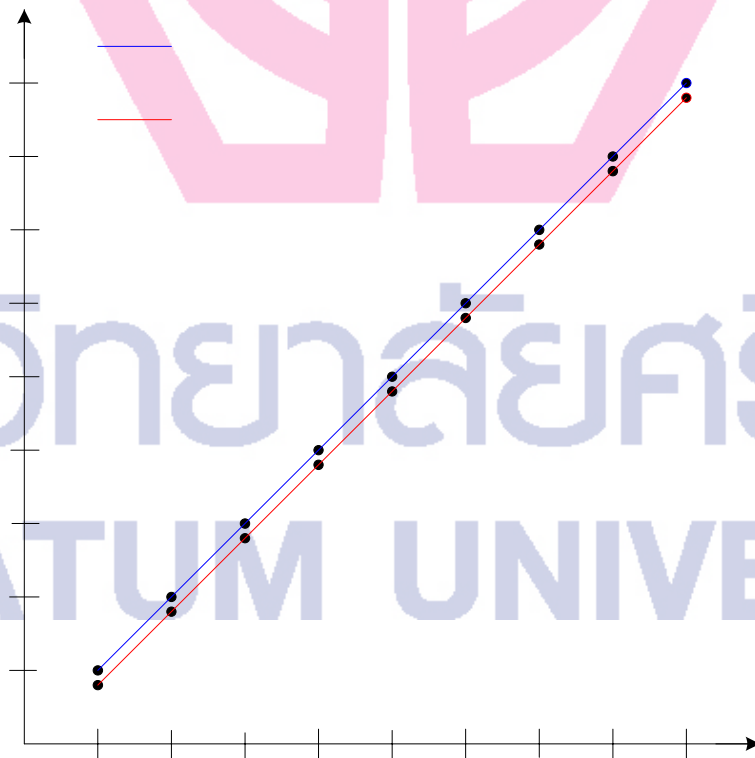
1. เปรียบเทียบค่าความถี่ของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน
2. หาค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

##### 4.2.2 อุปกรณ์ในการทดสอบ

- เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น
- Frequency Meter ยี่ห้อ Good will รุ่น GFC-8131H
- วิทยุสื่อสารย่านความถี่ VHF ยี่ห้อ ICOM รุ่น IC-2100-T
- แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ ยี่ห้อ KAIWA รุ่น PS-304 III ขนาด 30 Amp
- สายนำสัญญาณและขั้วต่อต่างๆ

ตารางที่ 4.3 ค่าการทดสอบค่าความถี่ เครื่องมือวัดด้วยขนาดความถี่ต่างๆ ที่กำลังส่ง 60 W

ค่าความถี่ที่ทดสอบ (MHz)	ค่าความถี่ของ เครื่องมือวัดมาตรฐาน (MHz)	ค่าความถี่ของ เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (MHz)	ค่าความผิดพลาด (%)
144.0000	144.0000	143.9999	0.000069
144.2875	144.2875	144.2874	0.000069
144.5875	144.5875	144.5874	0.000069
144.8875	144.8875	144.8874	0.000069
145.0000	145.0000	144.9999	0.000069
145.2875	145.2875	145.2874	0.000069
145.5875	145.5875	145.5874	0.000069
145.8875	145.8875	145.8874	0.000068
146.0000	146.0000	145.9999	0.000068



ภาพประกอบ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าความถี่ของเครื่องมือวัด  
ค่าความถี่ที่วัดได้  
(MHz)

### 4.2.3 ผลการทดสอบที่ 2 การทดสอบภาควัดความถี่

จากการทดสอบต่อเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารแล้วทำการส่งที่ความถี่ต่างๆ ด้วยกำลังส่ง 60 W จากการรับความถี่ต่างๆ ด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดมีน้อยมากไม่ถึง 1 % ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นค่อนข้างที่จะตรงกับค่าของเครื่องมือวัดมาตรฐาน

เมื่อไม่มีการส่งความถี่เข้าไป จะเห็นได้ว่าการแสดงผลที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนจากสัญญาณความถี่อื่น ๆ ที่รบกวนเข้ามา ทำให้การแสดงผลเมื่อไม่มีความถี่ส่งเข้าไปสัญญาณจะไม่นิ่งตลอด

## 4.3 การทดสอบที่ 3

### การทดสอบภาควัดกำลังส่ง

#### 4.3.1 วัดอุปประสงค์

1. เปรียบเทียบค่ากำลังส่งของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน
2. หาค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

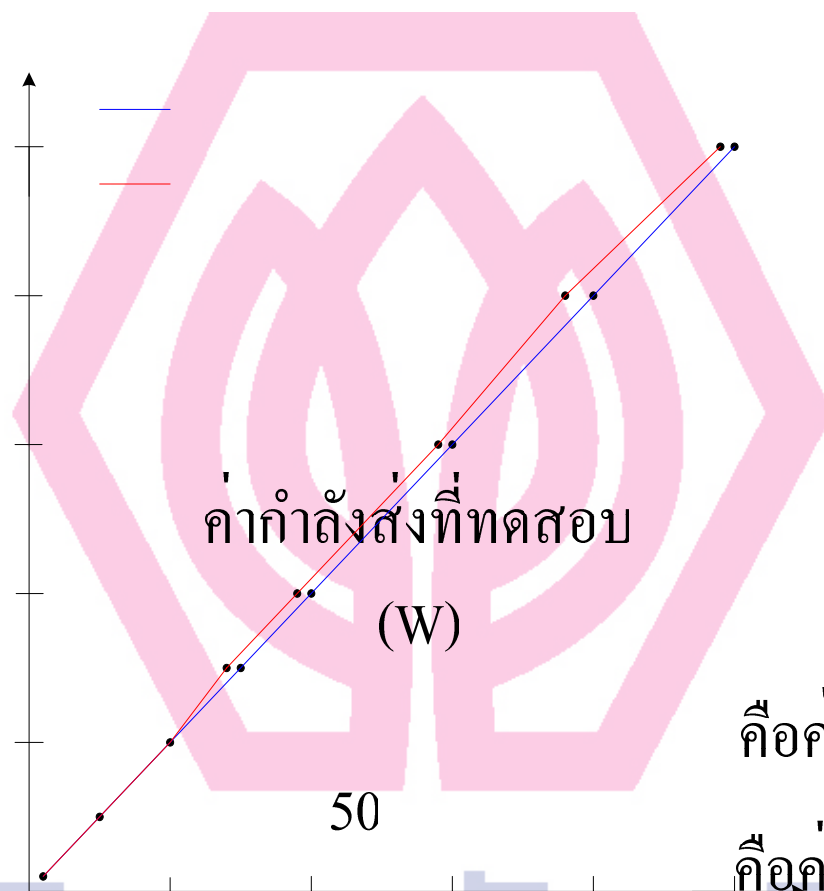
#### 4.3.2 อุปกรณ์ในการทดสอบ

- เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น
- Power Meter ยี่ห้อ Diamond รุ่น SX-400
- Dummy Load ยี่ห้อ Hammax รุ่น 200W
- วิทยุสื่อสารย่านความถี่ VHF ยี่ห้อ ICOM รุ่น IC-2100-T
- แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ ยี่ห้อ KAIWA รุ่น PS-304 III ขนาด 30 Amp
- สายนำสัญญาณและขั้วต่อต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ค่าการทดสอบค่ากำลังส่งเครื่องมือวัดด้วยกำลังส่งขนาดต่างๆ ที่ความถี่ 145.000 MHz

ค่ากำลังส่งที่ทดสอบ (W)	ค่ากำลังส่งของเครื่องมือวัดมาตรฐาน (W)	ค่ากำลังส่งของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (W)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	1	1	0
5	5	5	0
10	10	10	0
15	15	14.5	3.33

20	20	19	5
30	30	29	3.33
40	40	38	5
50	50	49	2



ภาพประกอบ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่ากำลังส่งของเครื่องมือวัด

40

#### 4.3.3 ผลการทดสอบที่ 3 การทดสอบภาควัดกำลังส่ง

จากการทดสอบต่อเครื่องรับส่งวิทยุสื่อสารแล้วทำการส่งที่ความถี่ 145.000 MHz ด้วยกำลังส่งขนาดต่าง ๆ จากการทดสอบด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดไม่เกิน 5 % แต่ค่าความผิดพลาดในกำลังส่งต่ำๆ จะน้อยมาก แต่เมื่อกำลังส่งสูงขึ้นก็จะเกิดความผิดพลาดจากการอ่านค่าที่ไม่แน่นอนของสเกล

30

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

เครื่องมือวัดกำลังและทดสอบความถี่วิทยุสื่อสาร (Radio Frequency Test and Power Measurement) ประกอบด้วยวงจรการทำงานหลายส่วนรวมเข้าด้วยกัน

ส่วนที่ 1 เป็นการวัดสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียง รับสัญญาณมาจากภาครับของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ

ส่วนที่ 2 เป็นการวัดความถี่ รับสัญญาณมาจากภาครับและภาคส่งของเครื่องรับส่งวิทยุ โดยใช้หลักของวงจรหารความถี่และวงจรเฟสล็อก

ส่วนที่ 3 เป็นการวัดกำลังส่ง รับสัญญาณมาจากภาคส่งของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ โดยตรวจจับสัญญาณอาร์เอฟจากเครื่องส่งไปยังชุดคัมมีโพลด์ทำการแปลงสัญญาณความถี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

โดยในทั้ง 3 ส่วนจะมีความสัมพันธ์กับการวัด ทั้งภาครับและภาคส่งของเครื่องรับ-ส่งวิทยุสื่อสาร หากต้องการวัดคุณสมบัติของเครื่องวิทยุรับส่งก็สามารถตรวจสอบได้ทั้งภาครับและภาคส่ง แยกจากกันได้ คุณสมบัติของตัวเครื่องมีดังนี้

1. ใช้วัดกับเครื่องรับส่งวิทยุที่ความถี่ตั้งแต่ 140 MHz – 500 MHz (ย่านวิทยุสมัครเล่น ย่านวิทยุราชการ ย่านวิทยุอาสาสมัคร และย่านวิทยุประชาชน)
2. วัดสัญญาณรบกวนและค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณความถี่เสียงที่ 100 Hz, 1 kHz และ 10 kHz
3. วัดความถี่ตั้งแต่ 1 Hz – 1 GHz
4. วัดกำลังส่งได้ถึง 200 W

#### 5.2 ปัญหา

ในการใช้งานเครื่องมือวัดกำลังส่งและทดสอบความถี่วิทยุสื่อสาร (Radio Frequency Test and Power Measurement) จะพบปัญหาและความผิดพลาดที่เกิดขึ้นหลายอย่างด้วยกัน ส่วนแรกจะเป็นความผิดพลาดเนื่องจากอุปกรณ์ เช่น

1. อุปกรณ์บางตัวมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูง
2. มุฟวิ่งคอยล์ที่ใช้งานไม่มีขายในท้องตลาด ต้องสั่งทำขึ้นพิเศษจึงมีผลทำให้ผลการวัดเกิดความคลาดเคลื่อนได้บ้าง

3. การแสดงค่าตัวเลขใน 7 Segment ไม่นิ่งเนื่องจากการรบกวนกันเองภายในเครื่องซึ่งเป็นความถี่สูงในส่วนของความผิดพลาดจากการทดสอบ
4. การอ่านผลการวัดคลาดเคลื่อน ทำให้ค่าที่ได้เกิดการผิดพลาด
5. บางครั้งตั้งย่านวัดไม่สัมพันธ์กับเครื่องรับส่งวิทยุที่มาทดสอบทำให้ค่าที่ได้เกิดการผิดพลาด
6. การรั่วไหลของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนต่อวงจรภายใน ทำให้ค่าที่ได้เกิดการผิดพลาด

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการใช้งานเครื่องมือวัดกำลังส่งและทดสอบความถี่วิทยุสื่อสาร (Radio Frequency Test and Power Measurement) ก่อนจะทำกรวัดจะต้องปรับย่านวัดต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับเครื่องรับส่งวิทยุที่นำมาทดสอบ รวมทั้งต้องคำนึงถึงว่าจะทดสอบภาครับ หรือภาคส่ง จึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง

ในการรวมวงจรความถี่สูงหลาย ๆ วงจรเข้าด้วยกันก็จะเกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน ควรมีการป้องกันสัญญาณแต่ละวงจรให้ดี โดยเฉพาะหม้อแปลงของภาคจ่ายไฟควรให้แยกออกห่างจากวงจรมากที่สุด จากสาเหตุนี้ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการวัดบ้าง

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นางอุมพร ทองรักษ์

วัน เดือน ปีเกิด

วันที่ 19 พฤษภาคม 2506

สถานที่เกิด

อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

บ้านเลขที่ 123/27 หมู่ 8 ต. บางกระสอ อ.เมือง จ.นนทบุรี

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2534 คอ.บ. จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์

พ.ศ. 2542 วศ.ม. จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY