โรงอุปนิพนธ์

ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

DIGITAL WATTS METER AND FREQUENCY COUNTER FOR RADIO TRANSMITTER

A021621

นายนันทวัฒน์ ภูมิวรรณา
นายนิพัฒน์ มีสมอรรถ
นายภูสิทธิ์ สมสอางค์

เลขหมู่ ~~T55~~ 2539
เลขทะเบียน 021621
วัน เดือน ปี 25 พค 2540

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

DIGITAL WATTS METER AND FREQUENCY COUNTER FOR RADIO TRANSMITTER

ชื่อนักศึกษา 1.นายนันทวัฒน์ ภูมิวรรณา รหัสประจำตัว 38031108

2.นายนิพัฒน์ มีสมอรรถ รหัสประจำตัว 38031109

3.นายภูสิทธิ์ สมสอางค์ รหัสประจำตัว 38031118

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1.อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม

2.อาจารย์โกศล ตราชู

3.อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
2. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
3. อาจารย์อำพล ทองระอา	
4. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชษฐพิทักษ์สกุล	
5. อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันที่ 21 เดือน เมษายน พ.ศ. 2540 เวลา 16.10 น. ถึง 17.40 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ได้รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

DIGITAL WATTS METER AND FREQUENCY COUNTER

FOR RADIO TRANSMITTER

ผู้จัดทำ

1.นายนันทวัฒน์ ภูมิวรรณา

2.นายนิพัฒน์ มีสมอรรถ

3.นายภูสิทธิ์ สมสอางค์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม.....

(อาจารย์โกศล ตราชู)

ลงนาม.....

(อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

DIGITAL WATTS METER AND FREQUENCY COUNTER FOR RADIO TRANSMITTER

นายนันทวัฒน์ ภูมิวรรณา

นายนิพัฒน์ มีสมอรรถ

นายภูสิทธิ์ สมสองค์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

DIGITAL WATTS METER AND FREQUENCY COUNTER

FOR RADIO TRANSMITTER

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎี และหลักการของ วงจรเครื่องวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร วงจรเครื่องนับความถี่ และวงจรดิจิตอล
2. เพื่อออกแบบวงจรดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร
3. เพื่อสร้างดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร
4. เพื่อนำดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสารไปใช้งาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เกิดการเรียนรู้ทฤษฎี และหลักการของวงจรเครื่องวัดกำลังส่งวิทยุ, วงจรเครื่องนับความถี่ และวงจรดิจิตอล
2. ได้วงจรดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร
3. ได้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร
4. นำดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสารไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

นายนันทวัฒน์ ภูมิวรรณา
นายนิพัฒน์ มีสมอรรถ
นายภูสิทธิ์ สมสอางค์

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
อาจารย์โกศล ตราชู
อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ
ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร โดยอาศัยหลักการของวงจรเครื่องวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร วงจรเครื่องนับความถี่ วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ และวงจรแสดงผลแบบดิจิตอลเข้าด้วยกัน เพื่อใช้ในการวัดกำลังส่งของวิทยุสื่อสาร และนับความถี่ได้ในเครื่องเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วยอินพุตสองอินพุต และปุ่มควบคุมหน้าที่การใช้งาน ให้เลือกใช้งานอย่างเหมาะสม และเข้าใจง่าย ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร และนับความถี่ได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องมาจากการให้ความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาจากอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ในด้านแนวความคิด, ข้อเสนอแนะ, แนวทางการแก้ไขปัญหา และความรู้ต่างๆ รวมทั้งห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ซึ่งอำนวยความสะดวกในการค้นคว้าต่างๆ และที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง คือ บุพการีผู้สนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 เทคนิคการวัดในวงจรความถี่สูง	3
2.1.1 การวัดแรงดันย่าน HF	3
2.1.2 การปรับแต่งวงจรปรับแต่ง	3
2.2 เครื่องวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร	6
2.3 เครื่องมือวัดแบบดิจิตอล	6
2.3.1 อุปกรณ์แสดงผลแบบดิจิตอล	7
2.3.2 เครื่องนับแบบดิจิตอล	9
2.3.3 เครื่องนับความถี่แบบดิจิตอล	11
2.3.4 ความผิดพลาดในการนับ	11
2.3.5 วงจรนับแบบพรีสเกลลิ่ง	12
2.3.6 โวัลต์มิเตอร์เชิงตัวเลข	14
2.4 ตัวภาระเทียม	17
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	19
3.1 แผนผังการทำงานของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2 วงจรวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร	20
3.2.1 การทำงานของวงจร	20
3.2.2 การสร้าง	21
3.2.3 การทดสอบ และการปรับแต่ง	21
3.3 วงจรเครื่องนับความถี่	22
3.3.1 การทำงานของวงจร	24
3.3.2 การสร้าง	27
3.3.3 การทดสอบ และการปรับแต่ง	27
3.4 วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์	28
3.4.1 การทำงานของวงจร	28
3.4.2 การสร้าง	31
3.4.3 การทดสอบ และปรับแต่ง	31
3.5 วงจรแสดงผลแบบดิจิตอล	32
3.5.1 การทำงานของวงจร	32
3.5.2 การสร้าง	32
3.5.3 การทดสอบ และการปรับแต่ง	32
3.6 วงจรตัวภาระเทียม	34
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	36
4.1 ลักษณะการต่อใช้งาน	36
4.2 การทดลองวัดกำลังส่งจากวิทยุสื่อสาร	36
4.3 ผลการทดลองการวัดกำลังส่งจากวิทยุสื่อสาร	36
4.4 การทดลองนับความถี่จากวิทยุสื่อสาร	39
4.5 ผลการทดลองนับความถี่จากวิทยุสื่อสาร	39
4.6 การทดลองนับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.7 ลักษณะของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร	43
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา	44
5.1 บทสรุป	44
5.2 ปัญหาแนวทางแก้ไขและแนวทางในการพัฒนา	45
ภาคผนวก ก รายการอุปกรณ์	46
ภาคผนวก ข ลายวงจรพิมพ์	52
ประวัติผู้แต่ง	55
บรรณานุกรม	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรปรับแต่ง และการต่อโวลต์มิเตอร์เพื่อปรับแต่งอย่างง่าย	4
รูปที่ 2.2 วงจรเพิ่มความแม่นยำในการวัด เพื่อปรับวงจรปรับแต่งด้วยโวลต์มิเตอร์	4
รูปที่ 2.3 วงจรมิเตอร์ปรับแต่ง เมื่อเพิ่มเติมภาคขยายแรงดันเข้าไปในส่วนอินพุต	5
รูปที่ 2.4 เครื่องนับสากล	7
รูปที่ 2.5 แผนผังของเครื่องนับแบบดิจิตอล	9
รูปที่ 2.6 แผนผังของการแปลงสถานะอินพุต	10
รูปที่ 2.7 ฮีสเทอรีซิสกับการผิดผลาดในการนับ	12
รูปที่ 2.8 แผนภาพการทำงาน ของวงจรนับแบบ พรีสเกลลิ่งอิเล็กทรอนิกส์	13
รูปที่ 2.9 วงจรนับที่มีตัวแปลงแบบเฮเทอโรไดน์	14
รูปที่ 2.10 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้าเชิงตัวเลข แบบอิเล็กโตรแมคแชนิคอล	16
รูปที่ 2.11 วงจรวัดแรงดันไฟแบบแปลงแรงดันเป็นความถี่	17
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของ ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร	19
รูปที่ 3.2 วงจรวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร	20
รูปที่ 3.3 วงจรวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร	21
รูปที่ 3.4 วงจรเครื่องนับความถี่	22
รูปที่ 3.5 วงจรเครื่องนับความถี่	28
รูปที่ 3.6 วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.7 วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์	31
รูปที่ 3.8 วงจรแสดงผลแบบดิจิตอล	33
รูปที่ 3.9 วงจรแสดงผลแบบดิจิตอล	34
รูปที่ 3.10 วงจรตัวภาระเทียม	34
รูปที่ 3.11 การเดินสายภายในเครื่อง	35
รูปที่ 4.1 การต่อใช้งาน เพื่อทดลองวัดกำลังส่งจากวิทยุสื่อสาร	37
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองใช้ SWR POWER METER วัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร	37
รูปที่ 4.3 ผลการทดลองใช้ ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่ สำหรับวิทยุสื่อสาร วัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร	38
รูปที่ 4.4 การต่อใช้งาน เพื่อทดลองนับความถี่ จากเครื่องวิทยุสื่อสาร	39
รูปที่ 4.5 ผลการทดลอง ใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จาก เครื่องวิทยุสื่อสาร	40
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองต่อใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ความถี่ 10 kHz	41
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองต่อใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ความถี่ 500 kHz	41
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองต่อใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ความถี่ 5 MHz	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปภาพ **หน้า**

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายด้านหน้าของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสารที่สร้างแล้ว 43

รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายด้านหลังของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสารที่สร้างแล้ว 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางความจริงของภาคแสดงผล 7 ส่วน	8
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างคุณสมบัติเฉพาะ ของตัวภาระเทียมขนาดเล็กตัวหนึ่ง	18
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการวัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร	38
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการนับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่	40
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองใช้ ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสารนับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันนี้ ความเจริญก้าวหน้า และการพัฒนาทางเทคโนโลยีของระบบอิเล็กทรอนิกส์ และการสื่อสาร ด้วยเครื่องวิทยุสื่อสาร ได้เปลี่ยนแปลงไป ตลอดเวลา ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นตัวกำหนดที่บ่งถึงการพัฒนาของประเทศ แต่ถ้าสิ่งเหล่านี้ขาดอุปกรณ์ที่มีความพร้อม และถูกต้องตามมาตรฐานสากลแล้ว จะไม่สามารถยืนยันความถูกต้องได้ และสิ่งที่จะนำมาใช้ในการวัด และทดสอบ เปรียบเทียบมาตรฐานระบบอิเล็กทรอนิกส์ และระบบการสื่อสารได้ ต้องมี เครื่องมือวัด และทดสอบที่สมบูรณ์แบบ

ในยุคเริ่มแรกของระบบเครื่องมือวัด และทดสอบทางด้านงานวิทยุสื่อสารนั้นจะเป็นระบบที่มีการแยกชุดการวัด และทดสอบเป็นส่วนๆ ซึ่งต้องใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ จำนวนมาก เช่น เครื่องวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร, เครื่องนับความถี่, เครื่อง SWR และเครื่องออสซิลโลสโคป เป็นต้น ซึ่งจะเป็นระบบที่ยุ่งยาก และเป็นอุปสรรคในการจัดหาเครื่องมือวัด และทดสอบดังกล่าว เพราะมีราคาสูง ดังนั้น ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาการใช้เครื่องมือวัด และทดสอบทางด้านงานวิทยุ สื่อสารที่มีพื้นฐานมาจากระบบดิจิตอล จึงกลายเป็นวิธีที่ง่าย และให้ความสะดวกรวดเร็วแก่ผู้ใช้ รวมทั้งผู้ที่มีความสนใจทั่วไป เนื่องจากการได้ประโยชน์จากการทดสอบที่ใช้ระบบดิจิตอล โดยไม่ก่อให้เกิดความสูญเสียค่าใช้จ่ายในการพัฒนา วงจร และเสียเวลามากนัก ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้สามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านอุปกรณ์ สามารถใช้งานได้ง่าย และสามารถจำกัดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้งานได้ พอควร โดยเครื่องมือวัด และทดสอบนี้ จะใช้ประโยชน์จากความสามารถของ อาร์เอฟวัตต์มิเตอร์, เครื่องนับความถี่ และระบบดิจิตอลรวมกัน ทำให้สามารถทำหน้าที่ในการวัดกำลังส่ง และนับความถี่วิทยุสื่อสารได้ ซึ่งในอดีตนั้นเมื่อจะทำสิ่งเหล่านี้ ต้องใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ เป็นจำนวนมาก

จากความต้องการดังกล่าวมาทั้งหมดได้ก่อให้เกิดความคิดว่าน่าจะทำโครงงานเครื่องมือวัด และทดสอบที่ใช้ระบบดิจิตอลพื้นฐานในส่วนของการวัดกำลังส่ง และนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร ซึ่งมีชื่อเรียกว่า ดิจิตอลวัต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร (DIGITAL WATTS METER AND FREQUENCY COUNTER FOR RADIO TRANSMITTER) โดยให้มีคุณสมบัติหลักๆ ดังนี้สามารถวัดความถี่ได้ตั้งแต่ 1 Hz ถึง 1GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสารได้ตั้งแต่ 0 ถึง 30 วัตต์ ควบคุมด้วยปุ่มเลือกให้เลือกตามความจำเป็น และแสดงผลการวัดเป็นตัวเลขระบบดิจิตอล

จากที่ได้กล่าวมานั้นจึงได้รวบรวมข้อมูลทั้งทฤษฎี วงจร และเทคนิคต่างๆ ใน การสร้างดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ซึ่งในแต่ละบทมีเนื้อหาดังนี้

บทที่ 2 เป็นส่วนของข้อมูลรายละเอียดทั้งทฤษฎี และหลักการของการวัดใน วงจรความถี่สูง เครื่องวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร เครื่องมือวัดแบบดิจิตอล และ ตัวภาระเทียมเป็นต้น

บทที่ 3 เป็นส่วนของหลักการออกแบบ และการสร้าง โดยจะกล่าวถึงหลักการออกแบบวงจรต่างๆ รวมทั้งหลักการทำงานในส่วนต่างๆ เช่น การออกแบบวงจร วัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร, การออกแบบวงจรนับความถี่, การออกแบบวงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ และการออกแบบวงจรแสดงผลแบบดิจิตอล เป็นต้น

บทที่ 4 เป็นส่วนของการทดลอง และทดสอบ เนื่องจากในบทที่ 3 ได้มีการออกแบบและสร้างมาแล้ว ในบทนี้ จึงนำส่วนที่ได้ออกแบบ และสร้างมาแล้วนั้น มาทำการทดลองว่าเป็นไปตามแนวทางที่ต้องการหรือไม่

บทที่ 5 เป็นส่วนของการสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และแนวทางการพัฒนา

ทั้ง 5 บทที่กล่าวมานี้เป็นรายละเอียดทั้งหมดที่อยู่ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ โดยแยกเนื้อหาออกเป็นส่วนเพื่อความเข้าใจ และนำไปศึกษาโครงงาน เพื่อพัฒนาต่อให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

2.1 เทคนิคการวัดในวงจรความถี่สูง

การใช้เทคนิคการวัดวงจร หรืออุปกรณ์จะประสบปัญหา และที่ใช้ในความถี่ต่ำทั่วไปมาใช้ในวงจรความถี่สูง ไม่ได้ผลที่แท้จริง ค่าที่วัดได้จะไม่ตรงตามความเป็นจริง ในบทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการวัดในวงจรที่ทำงานย่านความถี่สูง (High frequency ; HF) ผลที่เกิดจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดทำให้ ค่าที่วัดได้ เกิดความผิดพลาดขึ้น

2.1.1 การวัดแรงดันย่านความถี่สูง

ในทางปฏิบัติถ้าใช้อุปกรณ์เครื่องวัดที่ไม่ดี มีราคาถูก และไม่ได้ออกแบบไว้สำหรับใช้งานในวงจรความถี่สูง นำมาใช้งานทดสอบกับวงจรความถี่สูง ผลที่ได้ คือ ค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง อินพุตของโพรบทดสอบของเครื่องมือวัดความถี่สูง จะมีการต่อวงจรเพื่อลดอัตราการสูญเสีย และไม่เกิดผลกระทบต่อวงจรที่ทำการทดสอบ โดยต่อตัวเก็บประจุที่หัวทดสอบ ซึ่งควรมีค่าเหมาะสม

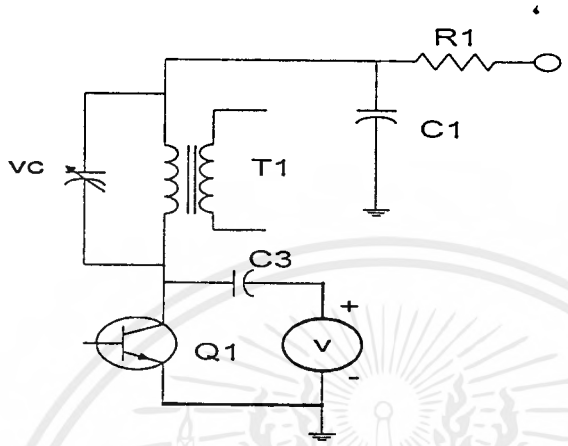
การวัดแรงดันไฟฟ้าย่าน ความถี่สูง ให้ได้ผลที่ถูกต้อง ต้องใช้วงจรเรกติไฟร์เออร์ชนิดพิเศษสำหรับแปลงแรงดันไฟสลับความถี่สูงเป็นแรงดันไฟตรง หลังจากผ่านการเรกติไฟร์แล้ว ค่าแรงดันที่ได้ถูกป้อนโดยตรงจากเอาต์พุตของวงจรเข้าเครื่องวัดแรงดันไฟตรงมาตรฐานเพื่อแสดงค่าที่วัดได้ออกมา ขณะทำการเรกติไฟร์รูปคลื่นที่ได้ ย่อมมีการสูญเสียไปบางส่วนเนื่องจากคุณสมบัติของไดโอดเรียงกระแส ทำให้ค่าแรงดันที่แสดงผลไม่ใช่ค่าแรงดันที่วัดได้ อย่างไรก็ตาม วงจรเรกติไฟร์เออร์ต้องถูกออกแบบให้เป็นวงจรที่มีการสูญเสียให้น้อยที่สุด

2.1.2 การปรับวงจรปรับแต่ง

วงจรความถี่สูงต้องมีส่วนประกอบของวงจรปรับแต่ง (Tuner) ดังแสดงในรูปที่2.1 การวัดเพื่อปรับวงจรปรับแต่งในย่านความถี่สูง อาจทำได้โดยวิธีง่ายๆ โดยนำตัวเก็บประจุค่าต่ำๆ มาต่ออนุกรมกับมิเตอร์วัดแรงดัน และนำไปวัดกับจุดที่ต้องการทดสอบดังในรูป การต่อตัวเก็บประจุก็เพื่อลดผลจากอินพุตอิมพิแดนซ์ของมิเตอร์ที่ส่งผลกับวงจรปรับแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

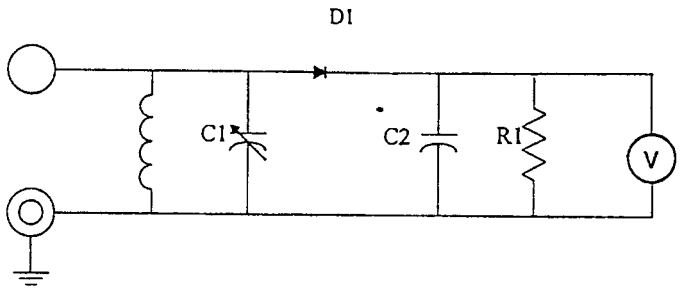
การปรับแต่งทำได้โดยปรับที่ C_2 และสังเกตุการเบี่ยงเบน หรือค่าตัวเลขที่แสดงผลสูงสุดและต่ำสุดของโวลต์มิเตอร์



รูปที่ 2.1 วงจรปรับแต่ง และการต่อโวลต์มิเตอร์เพื่อการปรับแต่งอย่างง่าย

วิธีนี้ใช้ได้เมื่อทำการปรับแต่งอย่างคร่าวๆ แต่ไม่เหมาะอย่างยิ่ง เมื่อต้องการวัดอย่างละเอียด และค่าที่ได้จากวิธีนี้ไม่ใช่ค่าแรงดันที่ได้อย่างแท้จริง จึงนำมาอ้างอิงกับเครื่องมือวัดจริงไม่ได้ วิธีนี้อาศัยการปรับแต่งได้จากการสังเกตค่าแรงดันที่สูงสุด และต่ำสุดได้เท่านั้น

จากเทคนิคง่ายๆ สำหรับการปรับแต่งวงจรปรับแต่ง เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากขึ้น จึงให้มีการลดผลอันเกิดจากโวลต์มิเตอร์ลงอีก ซึ่งเป็นวงจรที่ปรับปรุงให้มีความแม่นยำมากขึ้น ดังรูปที่ 2.2 อาศัยหลักการดูดกลืนพลังงานมาใช้งาน

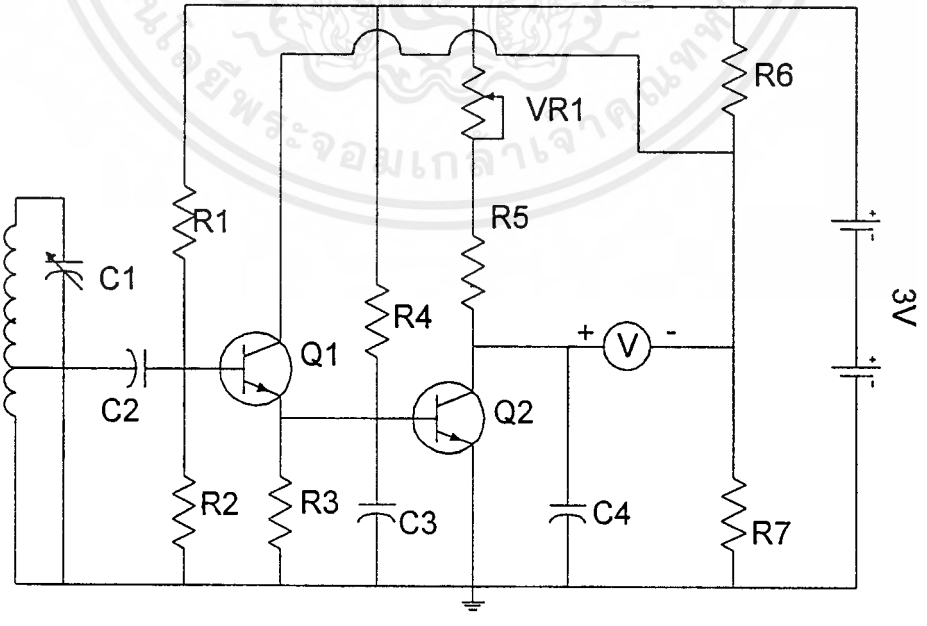


รูปที่ 2.2 วงจรเพิ่มความแม่นยำในการวัด เพื่อปรับวงจรปรับแต่งด้วยโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป L_1 และ C_1 ทำงานร่วมกันเป็นวงจรเรโซแนนซ์ (Resonant) เมื่อต้องการทดสอบวงจรปรับแต่งในส่วนใด ให้นำ L_1 เข้าไปชิดกับขดลวดของวงจรปรับแต่งนั้น ผลคือ L_1 จะเหนี่ยวนำสัญญาณจากวงจรปรับแต่ง และเกิดแรงดันตกคร่อม L_1 และ C_1 ในจุดนี้ อาจจะเอาออสซิลโลสโคปมาวัดได้ หรือต่อผ่านไดโอดเรียงกระแสไปยังโวลต์มิเตอร์ เพื่ออ่านค่าได้เช่นกัน ในกรณีที่ใช้วิธีนี้ไม่ได้ผล อันเกิดจากสัญญาณอ่อนเกินไป อาจต้องต่อปลายทดสอบเข้ากับวงจรปรับแต่งเพิ่มเติม เพื่อวัดแรงดันความถี่สูง โดยให้แรงดันต่อเข้าสู่วงจรโดยตรง C_1 ทำหน้าที่ปรับแรงดันตกคร่อมให้มีค่าสูงสุด และเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน อาจนำออสซิลโลสโคปมาวัดความถี่ โดยจัดทำเป็นย่าน เมื่อต้องการวัดที่ความถี่เท่าใด สามารถปรับ C_1 ไปยังย่านที่ตั้งไว้ทันที

แรงดันที่ตกคร่อมวงจรปรับแต่งของวงจรทดสอบในขณะที่อยู่ในสภาวะรีโซแนนซ์และไม่รีโซแนนซ์นั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้น เพื่อให้สังเกตได้ง่ายขึ้น จึงควรมีวงจรขยายแรงดันก่อนป้อนเข้าสู่ภาคแสดงผลดังในรูปที่ 2.3 ขดลวด L_1 ควรออกแบบให้เป็นแบบปรับเลื่อนได้ เพื่อสับเปลี่ยนได้หลายค่า ทำให้ใช้งานกับความถี่ที่มีช่วงกว้างมากขึ้น การเลื่อนจุดรอบของขดลวด L_1 เพื่อทำการปรับสมดุลย์ (Matching) กับค่าอินพุตอิมพิแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ซึ่งมีค่าต่ำ



รูปที่ 2.3 วงจรมิเตอร์ปรับวงจรปรับแต่ง เพิ่มเติมภาคขยายแรงดันเข้าไปในส่วนอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร

ในการวัดกำลังส่งของเครื่องส่ง จะต้องต่อตัวภาระ หรือสายอากาศตัวภาระเทียม (dummy antenna) ให้แก่เครื่องส่ง การต่อตัวภาระเทียม มีวัตถุประสงค์เพื่อมิให้คลื่นจากเครื่องส่งแผ่ออกไปรบกวนสถานีใกล้เคียงในระหว่างการปรับแต่งเครื่องส่ง ค่าอิมพิแดนซ์ของเครื่องส่งจะต้องสมดุลย์กับสายอากาศ ในกรณีที่เครื่องส่งมีกำลังส่งมากเป็นกิโลวัตต์ ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวภาระเทียมจะทำให้ตัวภาระเทียมร้อนจัด จำเป็นต้องมีการระบายความร้อนออกไปด้วยวิธีต่างๆ กัน เช่น ใช้แผ่นระบายความร้อน ใช้น้ำ หรือน้ำมันช่วยระบายความร้อน เป็นต้น คุณสมบัติที่สำคัญของตัวภาระเทียมคือ ต้องสมดุลย์กับเครื่องส่งตลอดย่านความถี่ใช้งาน และไม่มีการแผ่คลื่นออกจากตัวภาระเทียม หรือมีการแผ่กระจายคลื่นน้อยที่สุด

เครื่องมือที่ใช้วัดกำลังส่งที่แพร่หลาย คือ ไดเรกชั่นวัตต์มิเตอร์ (Direction watt meter) ซึ่งสามารถวัดกำลังได้ทั้งคลื่นเดินหน้า และคลื่นสะท้อนกลับ อันเนื่องมาจากสภาวะไม่สมดุลย์

ระหว่างสายอากาศกับเครื่องส่ง วัตต์มิเตอร์ที ใช้งานในย่านความถี่ที่กว้างๆ และมีความแม่นยำสูง ไดเรกชั่นวัตต์มิเตอร์มีประโยชน์อย่างยิ่งในการวัด VSWR ระหว่างเครื่องส่งกับสายอากาศ

การวัดกำลังส่ง และ SWR แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การวัดกำลังส่งระหว่างเครื่องส่งกับสายอากาศ และแบบต่อตัวภาระเทียมที่ปลายสายส่งกำลังแทนสายอากาศ วิธีแรกจะใช้ไดเรกชั่นคัปเปลอร์ (Directioncoupler) แยกเอาสัญญาณบางส่วนที่ป้อนไปสู่เอาต์พุต ปริมาณสัญญาณที่แยกออกมาเล็กน้อยนี้ จะเป็นสัดส่วนกับกำลังที่ป้อนแก่เอาต์พุต เราจึงสามารถทราบค่ากำลังส่งได้

อีกวิธีหนึ่งเป็นวิธีต่อตัวภาระเทียมคร่อมเอาต์พุต สามารถทราบค่ากำลังส่งได้ การวัดกำลังในระบบวิทยุที่มีความถี่สูงมากๆ หรือกำลังน้อยๆ เช่นไมโครเวฟ นิยมใช้วัดพลังงานความร้อน และอ่านเป็นกำลังออกมา วิธีนี้ให้ความแม่นยำกว่า 2 วิธีแรก

2.3 เครื่องมือวัดแบบดิจิตอล

เครื่องมือแอนะลอกถูกจำกัดด้วยขีดจำกัดทางกล ในการวัดแบบแอนะลอกทุกอย่างขึ้นอยู่กับผู้สังเกตเป็นสำคัญ ผลจากการมอง และความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนไป จะทำให้ค่าที่อ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกัน แม้จะวัดในครั้งเดียวกัน ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่เกิดจากความเหลื่อมของสายตาในการมองเข็มวัด, ย่านวัด และความรู้สึกว่าวัดอย่างดีที่สุดแล้ว

ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนทางกลจึงเกิดขึ้นจากความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ในทางตรงกันข้าม การอ่านค่าแบบดิจิตอลจะให้ค่าที่เที่ยงตรง ผู้สังเกตทุกคนจะเห็นเหมือนกันหมด การอ่านค่าด้วยตัวเลขจะลดความผิดพลาดของมนุษย์ และความเบื่อหน่ายในการวัดเป็นเวลานาน เพราะมีตัวเลขยืนยันให้เห็น

2.3.1 อุปกรณ์แสดงผลแบบดิจิตอล

อุปกรณ์แสดงผลทางด้านดิจิตอลเครื่องแรกทำมาจากวงล้อจำนวนมาก ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ควบคุมแบบเซอร์โว

จอแสดงผลได้ถูกพัฒนาจนเป็นที่น่าพอใจ ทั้งในรูปร่างลักษณะ ไปจนถึงเทคนิคในการควบคุม ในปัจจุบันใช้ LED และ LCD ทำให้การอ่านค่าแน่นอนขึ้น

รูปที่ 2.4 เครื่องนับที่ใช้ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จอแสดงผลที่ใช้หลอด incandescent ภายในจะถูกเชื่อมด้วยเส้นใยที่เปราะบาง ดังนั้น การใช้งานจะมีเพียงไม่กี่ชั่วโมง แม้ว่าจะใช้กระแสต่ำสุดแล้วก็ตาม นอกจากอายุการใช้งานที่สั้นแล้ว เวลาการตอบสนองความร้อนของไส้หลอดจะทำให้เกิดปัญหาต้องรอเป็นเวลานาน แม้ว่าการใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์จะมีอยู่น้อยมากแล้วก็ตาม แต่ก็เป็นพื้นฐานในการสร้างจอแสดงผลแบบ 7 ส่วน ซึ่งนิยมใช้ในการอ่านค่าแบบดิจิตอลมากในปัจจุบัน

จอแสดงผลแบบพลาสมา แสงสว่างบนจอแสดงผลที่ทำให้เกิดการอ่านค่าได้นั้น เกิดจากการไอโอไนเซชั่นของก๊าซเฉื่อย เช่น นีออน, อาร์กอน, ปรอทจำนวนเล็กน้อยจะใช้ในการจัดการกับพลังงานไอโอไนเซชั่น และการแปลงสเปกตรัม อุปกรณ์แสดงผลถูกสร้างให้มีหลายรูปแบบ บางแบบจะมีขั้วไฟฟ้าอยู่ด้านนอก แสงสว่างจะชัดมากขึ้นอยู่กับการเปิดปิดของอุปกรณ์พลาสมา ซึ่งทำให้เกิดการมัลติเพล็กซ์ อุปกรณ์ที่มีความทนทาน และค่าที่อ่านได้น่าพอใจมาก คือ หลอด Nixie สร้างโดยเบอราฟ, จอแสดงผลแบบนีออน มีขั้วคาโธดอยู่ภายใน 9 ขั้ว ลักษณะของแต่ละขั้วจะแทนตัวเลข 1 ตัว คาโธดจะเรียงกันหลังตัวอื่นในทางตั้งฉากกับระยะสายตา เมื่อคาโธดถูกเลือก จะถูกกระตุ้นให้สว่างเป็นรูปร่างของตัวเลขต่างๆ ความจริงแล้ว ตัวเลขทั้ง 9 อยู่ในระนาบที่ต่างกัน

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	0	1	1	0	1	1	1	1	1
b	1	1	1	1	0	0	1	1	1
c	1	0	1	1	1	1	1	1	1
d	0	1	1	0	1	1	0	1	1
e	0	1	0	0	0	1	0	1	0
f	0	0	0	1	1	1	0	1	1
g	0	1	1	1	1	1	0	1	1

ตารางที่ 2.1 ตารางความจริงของจอแสดงผล 7 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของจอแสดลผลแบบพลาสมา คือ ใช้พลังงานไอโอไนเซชั่นที่สูงในการจุดไส้หลอด ซึ่งอาจเป็น 150 - 200 โวลต์ จึงสร้างปัญหาในการอินเตอร์เฟส เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำในปัจจุบัน แต่ในระยะเวลาไม่นาน การอ่านค่า และจอแสดงผลแบบพลาสมาถูกประยุกต์ให้ทำงานได้ดีขึ้น

การอ่านค่าด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์สูญญากาศ เป็นผลมาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีหลอดสูญญากาศ การอ่านค่าแบบฟลูออเรสเซนต์ประกอบด้วยอาโนดจำนวนมากมายฉาบด้วยสารเรืองแสง เหมือนกับสารที่พบในหลอดฟลูออเรสเซนต์

อาโนดจะเรืองแสงเมื่อถูกกระตุ้นด้วยอิเล็กตรอนจากคาโธด ส่วนของตัวเลขจะถูกสร้างด้วยส่วน 7 ส่วน

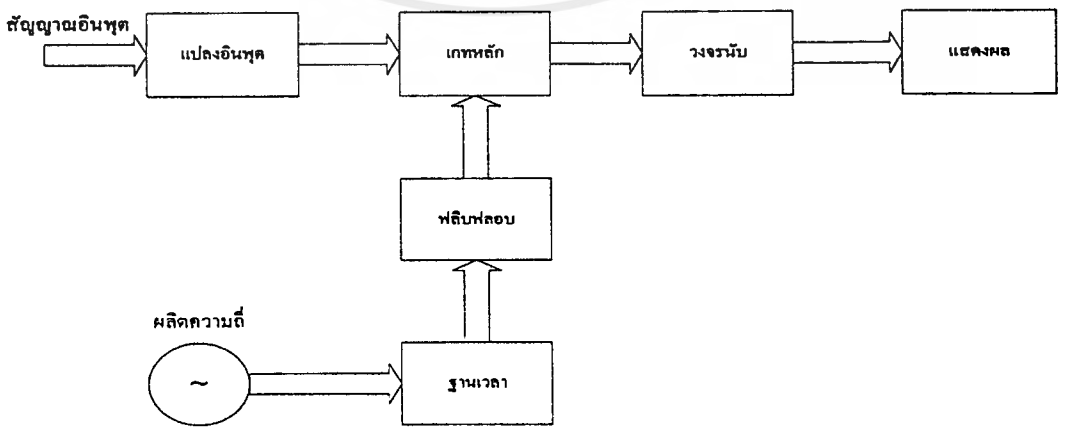
LED พัฒนาจากความก้าวหน้าทางอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จะเป็นตัวทำงานแสดงผลทางดิจิตอล มีความสว่างสูง ที่เข้ากันได้กับแรงดันของวงจรสารกึ่งตัวนำ และระดับกระแส ซึ่งใช้ได้นาน

LCD ไม่กระจายแสง แต่ใช้คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของผลึกในการสะท้อนแสง LCD จะใช้พลังงานต่ำสุด จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก

2.3.2 เครื่องนับแบบดิจิตอล

เครื่องมือพื้นฐานทางดิจิตอลคือ เครื่องนับ (counter) เครื่องนับเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองทางดิจิตอล และการใช้ประโยชน์ทางการวัดทดสอบ

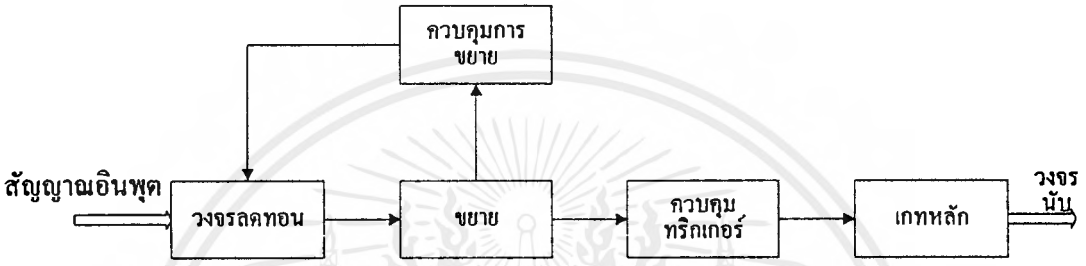
แผนผังพื้นฐานของเครื่องนับความถี่ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนผังของเครื่องนับทางดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดสถานะของสัญญาณอินพุต สัญญาณอินพุตจะถูกกำจัดสัญญาณรบกวนออกและทำให้ระดับสัญญาณเข้ากันโดยวงจรทางดิจิตอลภายใน เนื่องจากเครื่องนับความถี่ ต้องปรับค่าของสัญญาณให้ตรงกัน โดยปรับค่าแรงดัน, สัญญาณรบกวน และแรงดันกระแสตรง สัญญาณอินพุตจึงต้องผ่านวงจรหลายวงจรก่อนจะมีสถานะที่สมบูรณ์ ส่วนประกอบของหน้าที่ด้านการแปลงสัญญาณอินพุตแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนผังของการแปลงสถานะอินพุต

สัญญาณอินพุตจะผ่านตัวลดทอน เพื่อลดขนาดตามความจำเป็น ตัวลดทอนเป็นวงจร RC ซึ่งใช้ลดขนาดของสัญญาณ มีสวิตช์เลือกให้ลดเป็น 1 เท่า, 10 เท่า ในบางเครื่องมือ วงจร RC อาจแทนด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์ เพื่อสามารถปรับการลดขนาดอินพุตได้อย่างต่อเนื่อง สัญญาณกระแสสลับที่มีส่วนประกอบของกระแสตรงขนาดใหญ่ จะสามารถยกระดับของสัญญาณออกนอกช่วงที่ใช้ในเครื่องมือได้ ด้วยเหตุนี้ อินพุตที่ต่อมายังตัวลดทอนอาจเป็นได้ทั้งกระแสตรง และกระแสสลับ ขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณอินพุต

สัญญาณกระแสสลับมีขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าคาบของสัญญาณมีค่าต่ำ เนื่องจากเวลาของวงจรอินพุต อาจเกินความกว้างของพัลส์ ด้วยเหตุนี้ จึงควรหลีกเลี่ยงการต่อไฟกระแสสลับ เมื่อต้องการวัดคาบสัญญาณที่มีคาบเปลี่ยนแปลงได้

อิมพิแดนซ์ที่ต่ำกว่า จะทำให้เครื่องมือมีความไวสูงกว่า โดยการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสายส่งสัญญาณ ความไวในการวัดอยู่ที่ 20 mV - 25 mV เมื่อใช้อิมพิแดนซ์ต่ำ ถ้าอินพุตอิมพิแดนซ์สูง ความไวจะมีประมาณ 250 mV อิมพิแดนซ์ต่ำ สามารถลดผลกระทบจากการรวมกันของสัญญาณพัลส์เมื่อต่อไฟกระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 เครื่องนับความถี่แบบดิจิตอล

เครื่องนับทางดิจิตอลมีมาเป็นเวลานาน และเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ที่สุดในห้องทดลอง เช่นเดียวกับออสซิลโลสโคป

ในการควบคุมความถี่ ช่วงเวลาในการนับจะถูกควบคุมให้เป็นจำนวนเท่าของวินาที ตัวอย่าง เช่น ถ้าพัลส์จำนวน 45,500 ลูก ผ่านไปยังรีจิสเตอร์ ขณะที่วงจรเกทหลักเปิด 1 วินาที ความถี่จะเป็น 45.5 kHz

การแสดงผลจะแสดงเป็นจำนวนโดยตรง หรือเป็นกำลังของสิบ การนับความถี่ ซึ่งอาจสูงกว่าที่วงจรนับจะนับได้ สามารถทำได้โดยการปรับสเกลให้เหมาะสม เพื่อลดช่วงเวลาการเปิดของวงจรเกทหลักได้ หากพัลส์จำนวน 45,500 ลูก ถูกนับในเวลา 0.1 วินาที ความถี่จะเป็น 455 kHz แต่ถ้า 25,000 ลูก ถูกนับใน 10 μs ความถี่เป็น 2.5 kHz

แทนที่จะต้องสับสวิตช์เลือกเวลาด้วยมือ เครื่องมือบางชิ้นจะมีระบบเลือกอัตโนมัติ เรียกว่า ออโต้แรงกิ้ง (Autoranging) เครื่องปรับช่วงเวลาอัตโนมัติประกอบด้วยวงจรที่สร้างแรงดันที่เป็นสัดส่วนกับความถี่อินพุต การใช้สวิตช์ทรานซิสเตอร์หนึ่งในหลายตัวจะเปิด เพื่อเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม และตำแหน่งของเลขฐานสิบขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันที่เกิดขึ้น

2.3.4 ความผิดพลาดในการนับ

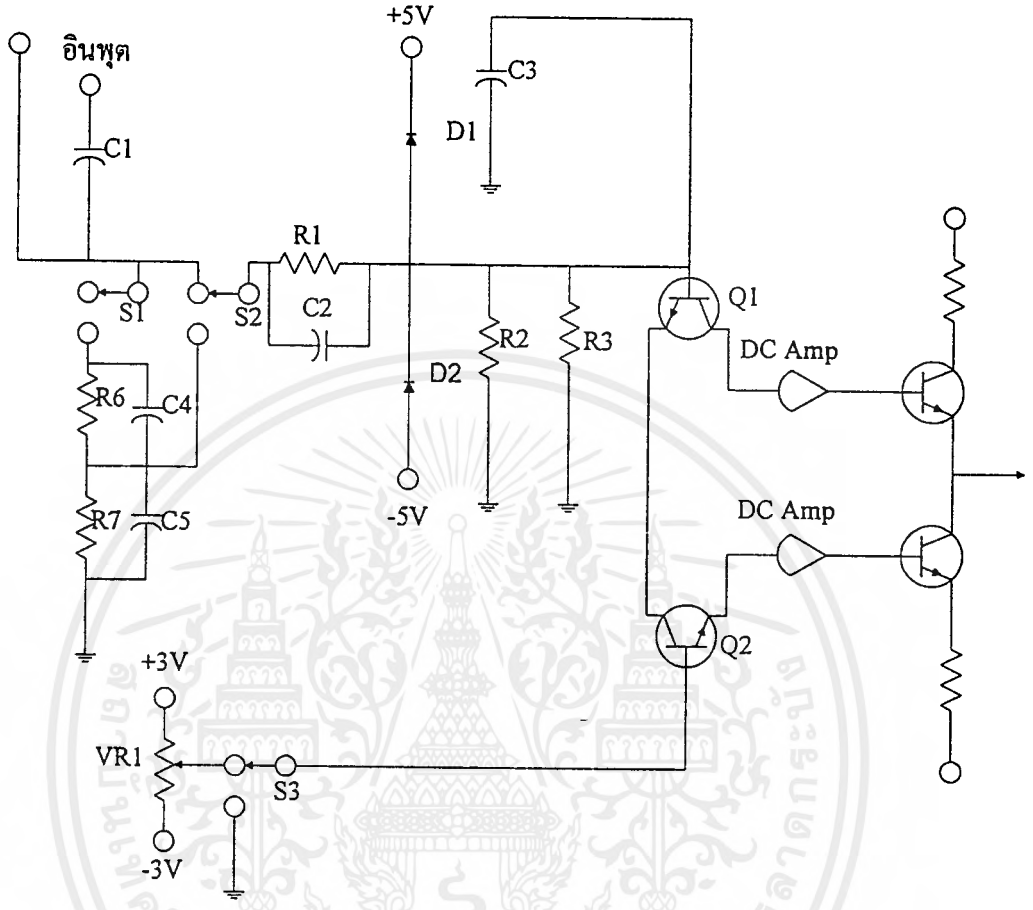
ถึงแม้ว่าการใช้งานวงจรนับความถี่กับแหล่งกำเนิดความถี่ เพื่อหาค่าความถี่ที่วงจรนับความถี่สามารถวัดได้ในขณะนั้น ยังจำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังในการอ่านค่าที่ได้

ด้วยเหตุว่า ความผิดพลาดในการอ่านยังคงมีอยู่อย่างแน่นอน ซึ่งสามารถหาผลลัพธ์ได้ ถ้าคลื่นที่วัดมีความผิดปกติ หรือส่งมาพร้อมกับสัญญาณรบกวนแบบ RFI หรือการรบกวนอื่นๆ

ขั้นของอินพุตของวงจรนับจะกำหนดการทำงานของวงจรสมิตทริกเกอร์ ซึ่งขั้นของอินพุตจะประกอบด้วย จุดทริกเกอร์ตัวบน และจุดทริกเกอร์ตัวล่าง แถบที่คั่นระหว่างจุด 2 จุด นี้เรียกว่า ฮีสเทอร์ซิส (hystersis) ผลของฮีสเทอร์ซิสดังแสดงในรูปที่ 2.7

สมมุติให้ตัวขยายสัญญาณ และตัวลดทอนสัญญาณปรับได้ที่อัตราขยายเท่ากับ 1 เอาต์พุตของสมิตทริกเกอร์จะเป็นบวก เมื่อสัญญาณอินพุตรูปไซน์ผ่านจุดทริกเกอร์ตัวบน และเมื่อสัญญาณอินพุตผ่านจุดทริกเกอร์ตัวล่าง เอาท์พุตของสมิตทิกเกอร์จะกลับสู่ระดับเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

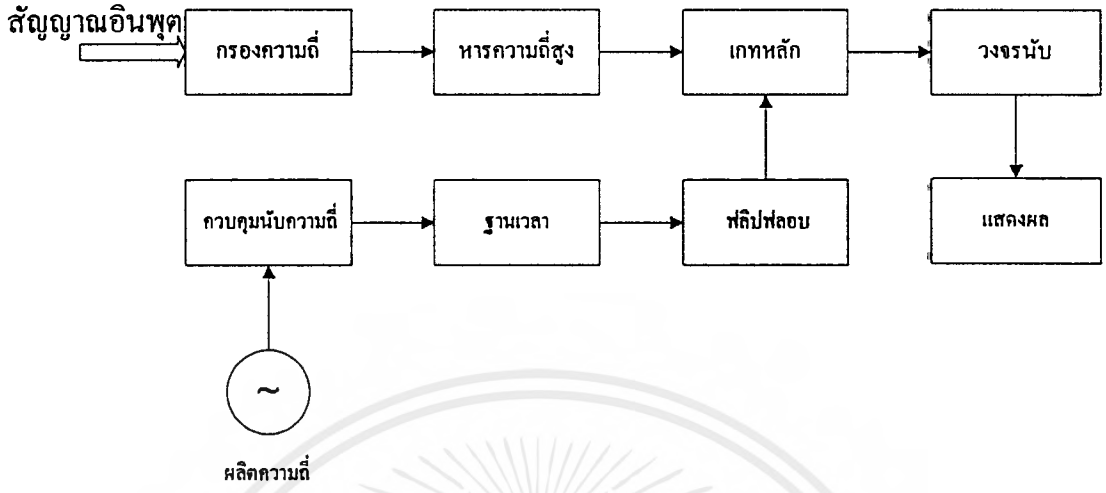


รูปที่ 2.7 ฮิสเทอร์รีซิสกับความผิดพลาดในการนับ

2.3.5 วงจรนับแบบพรีสเกลลิ่ง (Prescaling Counter)

วงจรนับแบบพรีสเกลลิ่งสดงดังรูปที่ 2.8 เป็นวงจรหารความถี่ของสัญญาณอินพุตก่อนที่สัญญาณอินพุตจะไปถึง วงจรเกทหลัก การออกแบบเป็นไปตามหลักการที่สามารถทำให้ ได้วงจรนับความถี่ที่มีราคาถูกสามารถทำงานได้เช่นเดียวกับวงจรนับความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งมีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผนผังการทำงานของวงจรนับแบบพรีสเกลลิ่งอีเล็กทรอนิกส์

วงจรนับแบบมีตัวแปลงแบบเฮทเทอโรไดน์ (Heterrodyne converter counter) วงจรนับแบบมีตัวแปลงแบบเฮทเทอโรไดน์ จะผสมความถี่อินพุตเข้ากับความถี่ที่สอง เพื่อสร้างความถี่ ผลต่าง ความถี่ที่สองมักได้จากไทม์เบสออสซิลเลเตอร์ ซึ่งขับฮาร์โมนิคเจนเนอร์เรเตอร์หรือ เทิร์นคาวิตี้ (turned cavity) ดังแสดงในรูปที่ 2.9

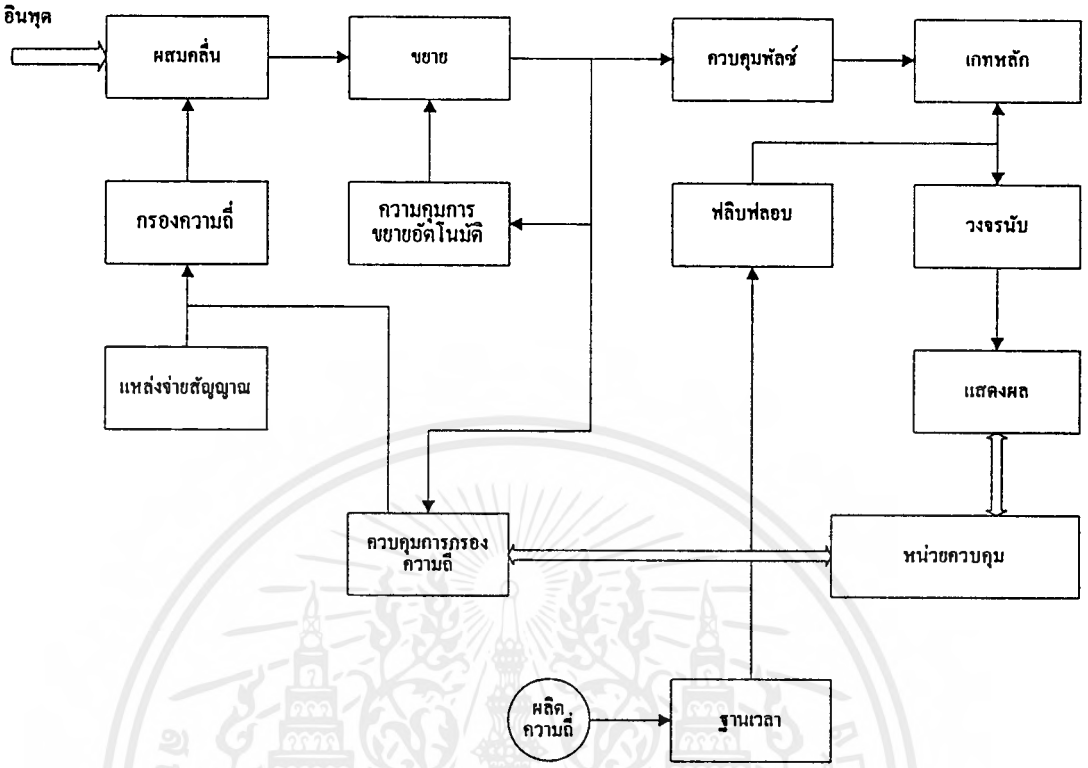
ในการนับแบบเฮทเทอโรไดน์ ความถี่บิตจะถูกสร้างขึ้นที่ความถี่ที่ไม่เกินขอบเขตของวงจรนับความถี่ ตัวอย่างเช่น การเฮเทอโรไดน์สัญญาณ 1 GHz โดยผสมกับสัญญาณ 500 MHz จะสร้างไซด์แบนด์ขนาด 1.5 GHz และ 5000 MHz ความถี่ที่ต่ำกว่าจะถูกกรอง และส่งไปยังวงจรนับความถี่ ค่าความถี่หาได้จาก

$$f(\text{ที่วัดได้}) = f(\text{ที่แท้จริง}) - f(\text{อ้างอิง})$$

หรือ

$$f(\text{ที่แท้จริง}) = f(\text{ที่วัดได้}) + f(\text{อ้างอิง})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วงจรนับที่มีตัวแปลงแบบเฮทเทอโรไดน์

วงจรนับความถี่แบบเฮทเทอโรไดน์ อาจให้ผลลัพธ์คลาดเคลื่อน $\pm$ 1 Hz และจะใช้ได้กับความถี่ตั้งแต่สัญญาณไฟตรง จนถึง 18 GHz

2.3.6 โวลต์มิเตอร์เชิงตัวเลข

โวลต์มิเตอร์เชิงตัวเลข (DVM) เป็นส่วนสำคัญของการวัดขนาดทางดิจิตอลทุกชนิด ในส่วนพื้นฐานของ DVM จะคล้ายกับโวลต์มิเตอร์แบบแอนะลอก แต่จะต่างกันตรงค่าที่อ่านได้จะแสดงผลเป็นตัวเลข แทนที่จะเป็นการเคลื่อนที่โดยเข็มมิเตอร์โดยอุปกรณ์เชิงกล

ถึงแม้ว่าจะมีเทคนิคมากมายในการแปลงค่าทางแอนะลอก เป็นตัวเลขทางดิจิตอล ทฤษฎีการแปลงจะมีพื้นฐานเหมือนกัน คือ แรงดันที่ถูกวัดจำเป็นจะต้องแปลงเป็นตัวเลขของพัลส์ ซึ่งเป็นสัดส่วนของแรงดันที่ไม่ทราบค่า พัลส์เหล่านี้จะถูกนับโดยการใช้วงจรนับทางดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุด
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ศจอ.
ปพ.
ท 425 ก
2537

ดังที่กล่าวถึงในตอนแรก และค่าที่นับได้จะแสดงออกในส่วนแสดงผล 7 ส่วน ทฤษฎีที่จะใช้กันเสมอในการแปลงแอนะลอกเป็นดิจิตอล ได้แก่

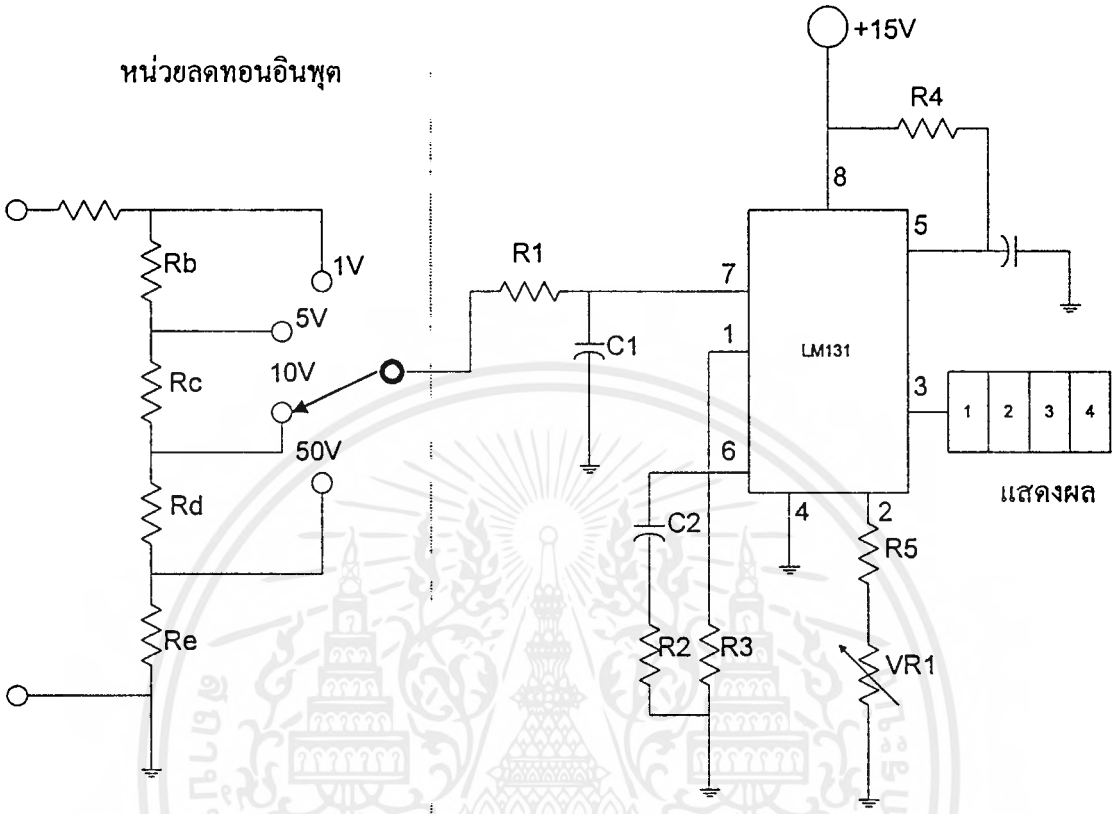
- การรวมแรงดันเป็นความถี่ (Voltage to frequency integrating)
- สัญญาณลาดเอียงที่มีรูปแบบเดียว (Single ramp)
- การรวมแบบคู่ความชัน (Dual-slope integrating)
- การประมาณซ้ำๆ ของโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)
- ความสมดุลย์อย่างต่อเนื่องของเครื่องแบ่งไฟ (Potentionmeter)

โวลต์มิเตอร์เชิงตัวเลขแบบอิเล็กโตรแมคแชนิคอล (Electromechanical digital volt meter) โวลต์มิเตอร์เชิงตัวเลขแบบอิเล็กโตรแมคแชนิคอล ดังแสดงในรูป 2.10 ใช้ทฤษฎีความสมดุลย์อย่างต่อเนื่องของโพเทนชิโอมิเตอริค ถึงแม้ว่า เครื่องมือวัดนี้จะถูกแทนที่ด้วยรุ่นโซลิด-สเตทแล้วก็ตาม ยังคงน่าสนใจ และการให้ความรู้ความเข้าใจในการศึกษาถึงอุปกรณ์รุ่นแรกที่มีความสามารถเกือบเท่ากับอุปกรณ์การวัดเชิงตัวเลข ในการแสดงผลเชิงกลจะใช้วงล้อ 4 วง ในแต่ละวงจะประกอบด้วยตัวเลข 1 ถึง 9 และการขับหน่วยแสดงผลนี้จะใช้เครื่องมอเตอร์ผ่อนแรง ซึ่งจะขับเครื่องวัดทำให้เปลี่ยนระดับไปเอาต์พุตของหน่วยเปรียบเทียบจะบังคับรูปแบบการเชื่อมต่อมอเตอร์ผ่อนแรง และการกระทำทั้งหมดเหมือนกับจะทำการค้นหาแรงดันศูนย์ โดยการปรับตำแหน่งของแขนปัดของเครื่อง แบ่งวัดระดับไฟที่แรงดันไฟฟ้าเป็นศูนย์ มอเตอร์ผ่อนแรงจะหยุดทำงาน และการแสดงผลบนวงล้อเชิงกลจะสามารถอ่านได้ตามค่าแรงดัน

ความเสถียรของแรงดันอ้างอิง และสภาพเชิงเส้น โพเทนชิโอมิเตอร์ที่เที่ยงตรงจะมีผลอย่างมากต่อความเที่ยงตรงของค่าที่วัดได้ หน่วยเปรียบเทียบ และหน่วยขยายเป็นอุปกรณ์ที่ต้องระวังอยู่เสมอ

DVM รุ่นหลังๆ จะใช้รีเลย์แทนมอเตอร์ ซึ่งสามารถแปลงการเคลื่อนที่เชิงกล โดยใช้ทฤษฎีการประมาณซ้ำๆ ของโพเทนชิโอมิเตอร์ เพื่อแสดงผลเชิงตัวเลข เครื่องมือวัดเชิงตัวเลขชนิดแรก ซึ่งเป็นแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งในปัจจุบัน เป็นที่รู้จักกันดีในนามของคอมแพคออสซิลโลสโคป (Compact osciloscope) และเคย์โปรคอมพิวเตอร์ (Kaypro computer)

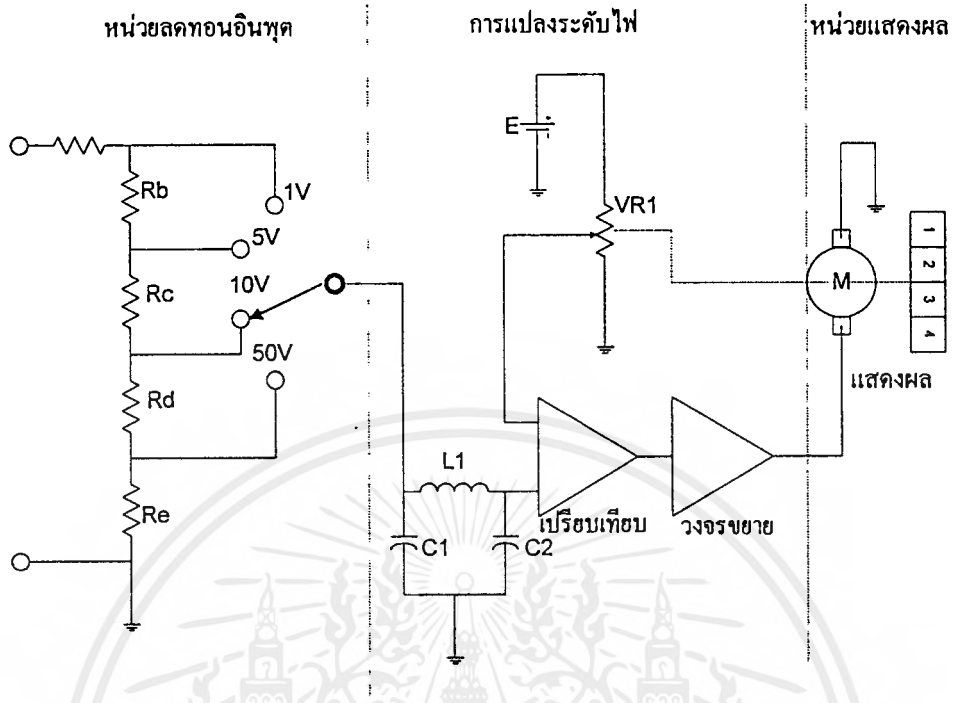
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
1852
021621



รูปที่ 2.10 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้าเชิงตัวเลขแบบอิเล็กโตรแมคแชนิคอล

การแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ (Voltage to frequency conversion) เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าชนิดแรกเป็นผลมาจากการพัฒนาของแผงวงจรรวม (IC) ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่ ในหน่วยแปลงแรงดันไปสู่ความถี่ VCO (voltage controlled oscilator) จะใช้ในการให้ความถี่เอาต์พุตซึ่งเป็นสัดส่วนของแรงดันอินพุต เมื่อวงจรนี้ถูกนำมาต่อกับวงจรนับความถี่ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงถึงแรงดันไฟฟ้า อินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 วงจรวัดแรงไฟแบบแปลงแรงดันเป็นความถี่

2.4 ตัวภาระเทียม (Dummy Load)

ตัวภาระเทียม หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ต่อแทนที่สายอากาศในขณะปรับแต่งเครื่องส่งเพื่อไม่ให้คลื่นวิทยุออกไปรบกวนสถานีอื่น ในทางปฏิบัติ จะพยายามสร้าง หรือจัดหาตัวภาระเทียมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงความต้านทานบริสุทธิ์ให้มากที่สุดที่ย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน และให้มีค่าอิมพิแดนซ์ตรงตามที่ต้องการ หรือใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการด้วย

โดยปกติ ตัวภาระเทียมที่ใช้งานกันทั่วไปจะทำให้เกิดค่า SWR ได้บ้าง สำหรับตัวภาระเทียมที่มีคุณสมบัติดีที่สุด จะมีค่า SWR ต่ำสุดตลอดทุกย่านความถี่ แต่ตัวภาระเทียมที่ใช้กันส่วนมากมักจะมีขีดจำกัดทางย่านความถี่ที่ใช้งานได้ดี โดยไม่มีค่า SWR สูงมากเกินไปกว่าที่จะยอมรับได้ ดัมมี่โหลดบางตัวอาจจะเหมาะกับการใช้งานได้เพียงย่านความถี่ HF แต่บางตัวอาจจะใช้งานได้ดีจนถึงย่าน UHF

ในการวัดกำลังส่งของเครื่องส่ง จะต้องต่อตัวภาระเทียมหรือสายอากาศเทียมให้แก่เครื่องส่งเพื่อมิให้คลื่นจากเครื่องส่งแผ่ออกไปรบกวนสถานีที่อยู่ใกล้เคียงในระหว่างปรับแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง ซึ่งค่าอิมพิแดนซ์ของตัวภาระเทียมจะต้องเลือกค่าที่สมดุลย์กับอิมพิแดนซ์ของเครื่องส่งด้วย เพื่อผลทางด้าน SWR และค่ากำลังส่งที่วัดได้ถูกต้องใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

คุณสมบัติที่สำคัญ อีกอย่างของตัวภาระเทียม คือ ต้องสมดุลย์กับเครื่องส่งตลอดย่านความถี่ หรือมีช่วงความถี่กว้างที่สุด และไม่มีการแผ่กระจายคลื่นออกจากตัวภาระเทียม หรือมีการแผ่กระจายคลื่นน้อยที่สุด

การเลือกใช้งานตัวภาระเทียมโดยทั่วไปจะพิจารณากันที่คุณสมบัติต่อไปนี้

- ย่านความถี่ใช้งาน
- ค่าความต้านทานหรืออิมพิแดนซ์ของตัวภาระเทียม
- กำลังสูงสุดที่ทนได้

อิมพิแดนซ์	50 Ω
ย่านความถี่ใช้งาน	DC - 450 MHz
SWR	สูงสุด 1.2
กำลังสูงสุดที่ทนได้	50 วัตต์
ชนิดข้อต่อที่ใช้	ชนิด BNC
ขนาด	34 x 72 มม.
น้ำหนัก	80 กรัม

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติเฉพาะของตัวภาระเทียมขนาดเล็กตัวหนึ่ง

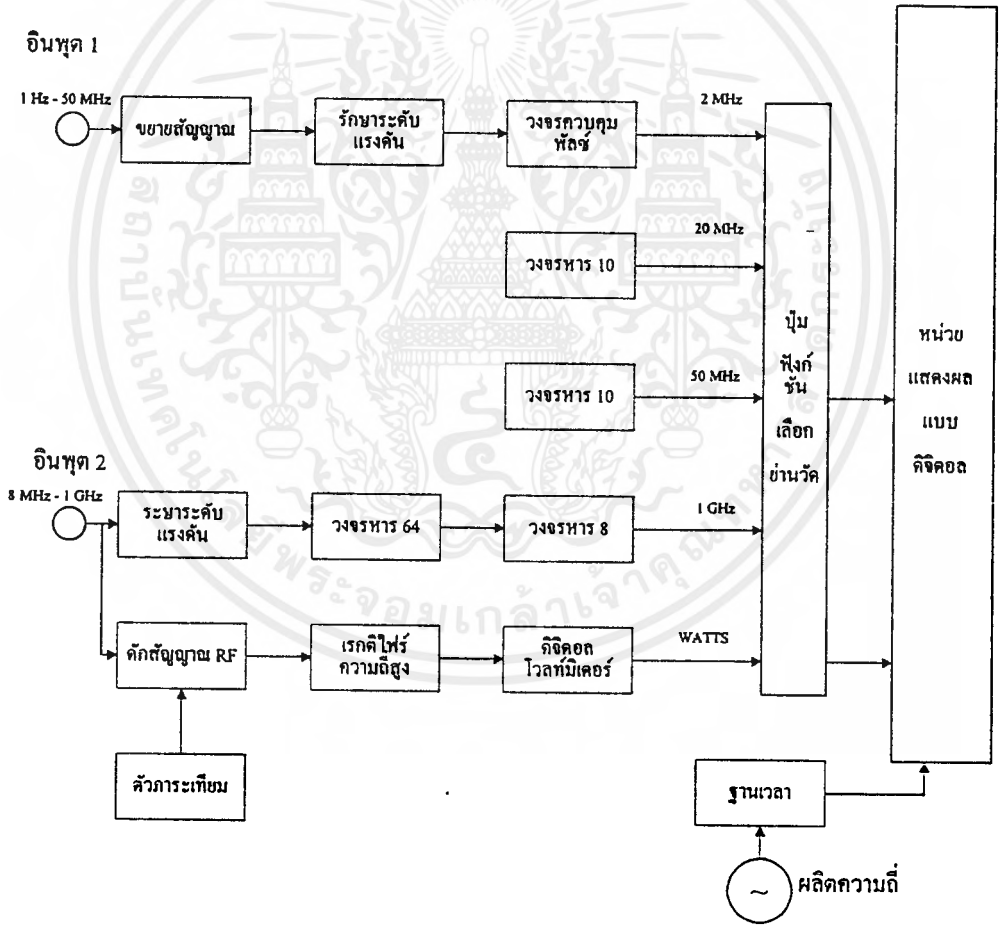
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบ การสร้าง และการทำงานของวงจรต่างๆ ของโครงงานนี้ ซึ่งองค์ประกอบของโครงงานนี้แยกออกเป็น ภาควัดกำลังส่ง ภาคนับความถี่วิทยุสื่อสาร, ภาคดิจิตอลโวลต์มิเตอร์, ภาคแสดงผล และตัวภาระเทียม ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

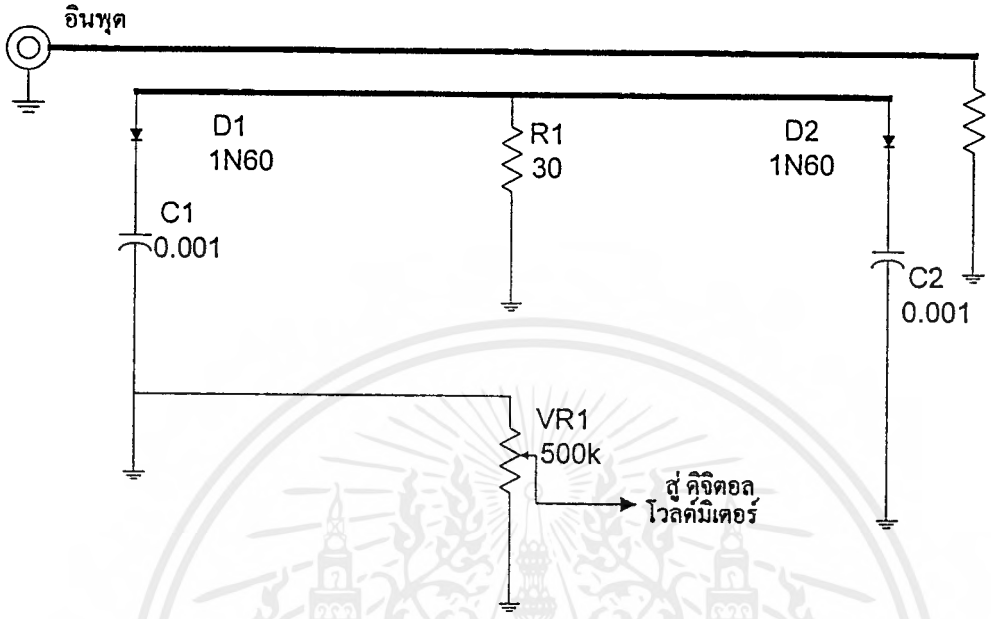
3.1 แผนผังการทำงานของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร



รูปที่ 3.2 วงจรวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร

3.2.1 การทำงานของวงจร

จากวงจรวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร เส้นลายทองแดงเส้นบนจะทำหน้าที่เป็นทางผ่านสัญญาณ RF ที่ออกจากเครื่องส่งไปยังตัวภาระซึ่งเป็นตัวภาระเทียม ส่วนเส้นลายทองแดงเส้นล่างจะทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ RF บางส่วนประมาณ -30 dB เพื่อมาเข้าขบวนการเรียงกระแสให้เป็นแรงดันไฟตรง ก่อนส่งออกไปแสดงผลต่อไป ตรงจุดกึ่งกลางของเส้นลายทองแดงเส้นล่างมี้มีตัวความต้านทานค่า 30 โอห์ม ต่อลงกราวด์ เป็นการทำให้เส้นลายทองแดงสามารถรับสัญญาณ RF ได้ทั้งทางตรง และทางตรงกันข้ามปลายสายเส้นทองแดงเส้นล่างทั้ง 2 ข้างจะถูกต่อกับไดโอด D_1 และ D_2 โดยไดโอด D_1 จะทำหน้าที่เรียงกระแสสัญญาณ RF ด้านตรงและไดโอด D_2 จะทำหน้าที่เรียงกระแสสัญญาณ RF ทางตรงกันข้าม ส่วนตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 จะทำหน้าที่กำจัดสัญญาณ RF ที่ไม่ต้องการให้ลงกราวด์ไป คงเหลือเฉพาะสัญญาณแรงดันไฟตรง เตรียมส่งผ่านไปยังภาคแสดงผลต่อไป

VR_1 ซึ่งเป็นตัวความต้านทานปรับค่าได้ขนาดเล็กแบบเกือกม้า ทำหน้าที่ปรับแต่งย่านความแรงในการวัดสัญญาณ RF ของมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การสร้าง

ในการสร้าง ขั้นตอนแรกต้องออกแบบขนาดเส้นลายทองแดงบนแผ่นปริ้นอีฟ็อกซี่ G10 ที่ให้อิมพิแดนซ์ 50 โอห์ม ให้มีขนาดความกว้างของเส้นลายทองแดง 1/10 นิ้ว ที่ความยาวใดๆ แผ่นปริ้นต้องเป็นแบบ 2 หน้า ด้านหนึ่งทำเป็นลายเส้นทองแดงเส้นหนึ่งจะถูกใช้เป็นทางผ่านสัญญาณ RF โดยที่ปลายเส้นทองแดงนี้จะมีข้อต่อ RF แบบ BNC ต่ออยู่ เพื่อเป็นจุดต่อป้อนสัญญาณ RF เข้า และเส้นลายทองแดงอีกเส้นจะถูกทำหน้าที่ดักรับสัญญาณ RF บางส่วน

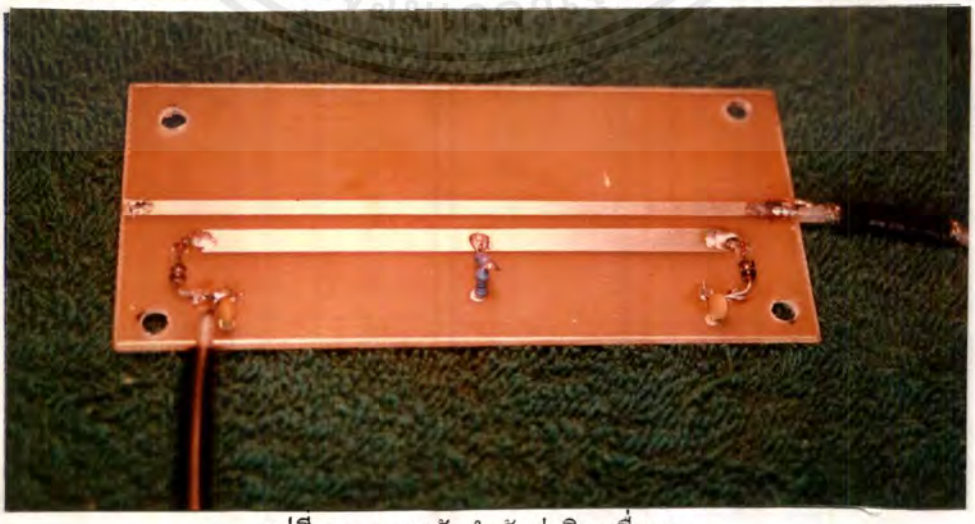
ต่อไปให้ลงอุปกรณ์ คือ C_1 ,C_2 , D_1 , D_2 และ R_1 ลงไปบนแผ่นวงจรพิมพ์ แล้วจึงลงตัวความต้านทานปรับค่าได้ VR_1 วิธีที่ดีในการยึดแผ่นปริ้นลงในตัวกล่อง ให้บัดกรีขาต่อกลางของข้อต่อ RF เข้ากับเส้นลายทองแดงบนแผ่นปริ้นโดยตรง

ไดโอด D_1 และ D_2 ที่ใช้ในวงจรนี้ เป็นไดโอดที่ใช้งานด้านแปลงสัญญาณ สามารถเลือกใช้หลายเบอร์ เช่น 1N60 หรือ 1N34A เป็นต้น

ควรมีการเลือกไดโอด D_1 และ D_2 ให้ได้คู่ที่มีลักษณะการแปลงสัญญาณใกล้เคียงกันที่สุดมาใช้งาน โดยการวัดหาค่าความต้านทานทางด้านตรง และตรงกันข้ามของไดโอด ให้ได้ค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดก่อนนำมาใช้งาน

3.2.3 การทดสอบ และการปรับแต่ง

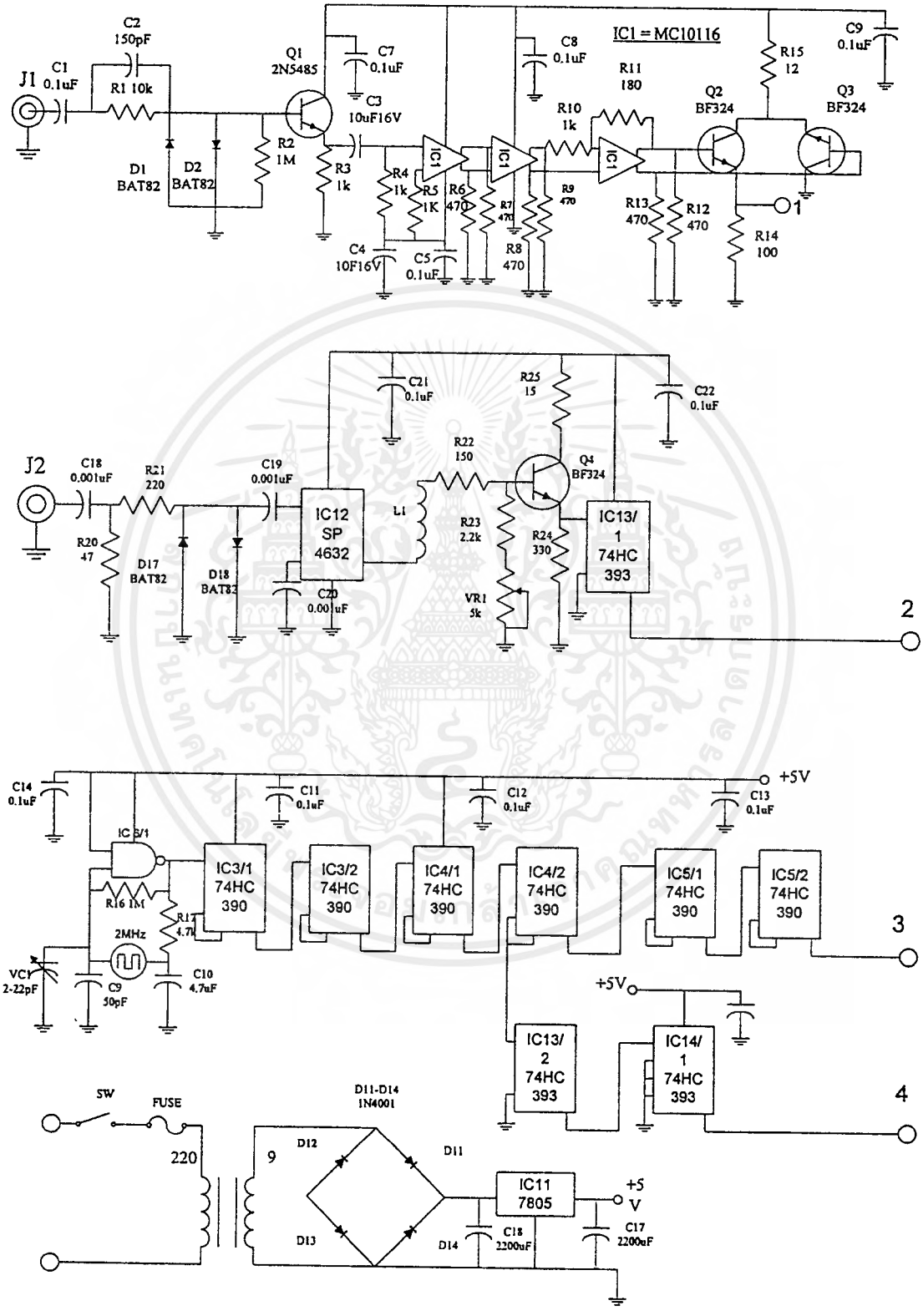
การปรับแต่ง เพื่อตั้งย่านความแรงในการวัดกำลัง RF ให้ปรับแต่งที่ VR_1 เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่ถูกต้องที่สุด โดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน หรือเครื่องส่งที่มีกำลังส่งแน่นอน หรือคงที่หลายๆ ค่ากำลัง



รูปที่ 3.3 วงจรวัดกำลังส่งวิทยุสื่อสาร

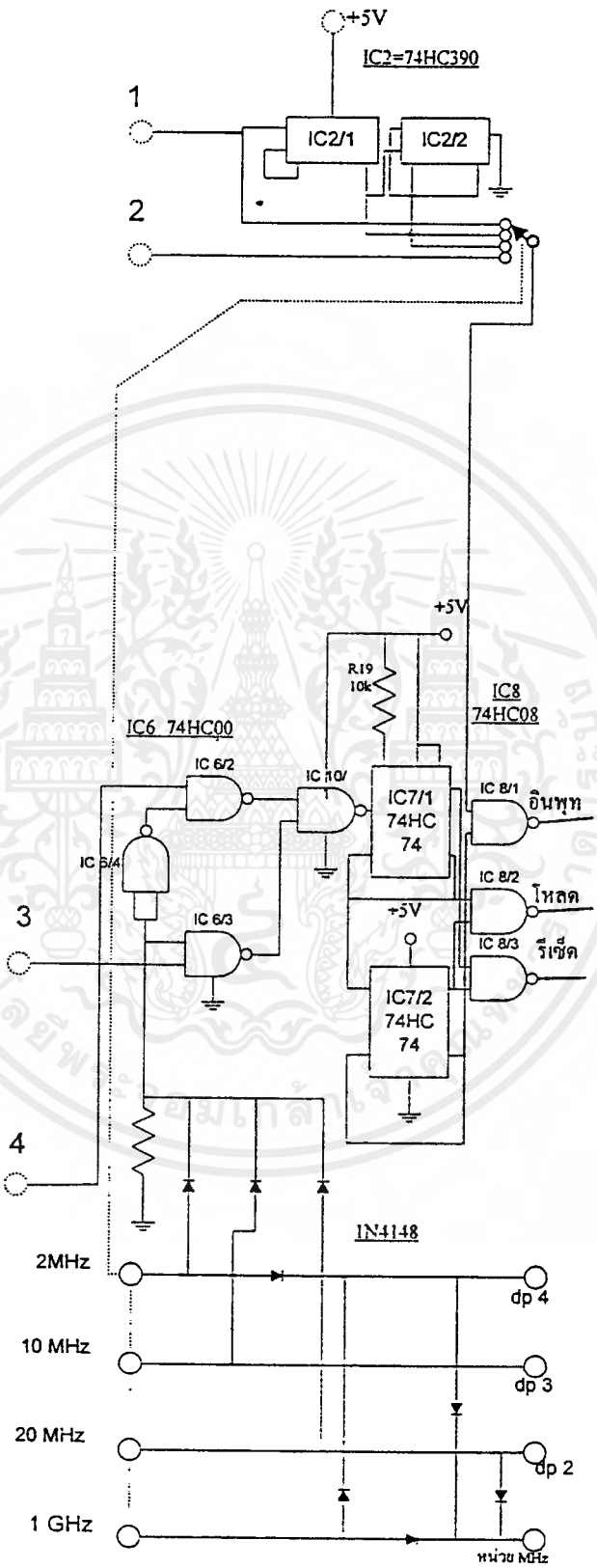
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรเครื่องนับความถี่



รูปที่ 3.4 วงจรเครื่องนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 (ต่อ) วงจรเครื่องนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การทำงานของวงจร

จากวงจรรูปที่ 3.4 จะเป็นวงจรของการประมวล และวัดผลของสัญญาณ รวมไปถึงแหล่งจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงวงจรด้วย

หลักการทำงานของวงจรในรูปที่ 3.4 จะสังเกตเห็นว่ามีอินพุตอยู่สองอินพุต โดยทั้งสองอินพุตนี้จะมีความแตกต่างกันทางด้านความถี่สัญญาณที่จะเข้ามาทางอินพุต ซึ่งจะแยกเป็นอินพุต A (J1) สามารถรับความถี่อินพุตได้ตั้งแต่ 5 Hz จนถึง 20 MHz ทางด้านอินพุต B (J2) สามารถรับสัญญาณทางอินพุตได้ตั้งแต่ 8 MHz จนถึง 1 GHz ในอินพุต B นี้ จำเป็นต้องเพิ่มวงจรปรีสเกลเลอร์เข้ามาช่วย เพื่อให้สามารถวัดความถี่ที่ย่านสูงๆ ได้

อินพุต A ความถี่สัญญาณตั้งแต่ 5 Hz จนถึง 20 MHz จะถูกคับปลิ้งผ่าน C_1, C_2 และ R_1 เข้ามาที่ขาเกต (G) ของเจเฟต Q_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณอินพุต มีค่าอิมพิแดนซ์สูงประมาณ 1 MΩ กำหนดได้จากค่าของ R_2 ไดโอดความถี่สูง D_1 และ D_2 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันของสัญญาณอินพุตไม่ให้สูงเกินไป จนอาจทำลายส่วนอินพุตของ Q_1 ได้ อาจทำให้เจเฟตเสียหาย และเกิดการลดสัญญาณจากเอาต์พุตของเครื่องที่กำลังทดสอบอยู่ได้ การขยายของ Q_1 จะเป็นการขยายอินพุตตาม ให้เอาต์พุตคับปลิ้งผ่าน C_3 ไปยังอินพุตของวงจรขยายสัญญาณย่านกว้าง $IC_{1/1}$ ที่ขา 9 IC_1 เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณย่านกว้าง โดยที่ IC_1 นี้จะทำหน้าที่ขยาย ซึ่งแบ่งอัตราขยายไว้แบบกว้างๆ สามส่วน คือ $IC_{1/1}$ - $IC_{1/3}$ พร้อมกับทำหน้าที่จัดรูปคลื่นสัญญาณด้วย

ทรานซิสเตอร์ Q_2 และ Q_3 ทำหน้าที่เชื่อมต่อเอาต์พุตของ $IC_{1/3}$ ที่ขา 2 เพื่อทำหน้าที่กำหนดขนาดความแรงของสัญญาณ และจัดรูปสัญญาณให้อยู่ในลักษณะพัลส์ เพื่อส่งสัญญาณไปทำการหารความถี่ ตัวความต้านทาน R_{10} และ R_{11} ทำหน้าที่กำหนดอัตราขยายของ $IC_{1/3}$ ทรานซิสเตอร์ Q_2 และ Q_3 จะต้องเป็นแบบสวิตช์ความเร็วสูง เพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพของการจัดรูปคลื่นสัญญาณให้ทันต่อสัญญาณความถี่ที่เข้ามาทางอินพุต และเพื่อให้การหารความถี่ในภาคต่อไปเป็นไปอย่างถูกต้อง เอาต์พุตของสัญญาณพัลส์จะออกมาทางขา คอลเล็กเตอร์ของ Q_2 ตรงจุดนี้ จะวัดสัญญาณได้สูงสุด 2 MHz ซึ่งจะเป็นย่านวัดย่านที่ 1 โดยเลือกจากสวิตช์ $S_{1/1}$ และ $S_{1/2}$ ทำหน้าที่เลือกตำแหน่งจุดทศนิยม และกำหนดค่าเวลาเปิด เกทผ่านไดโอด D_3

สัญญาณเอาต์พุตที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q_2 จะถูกแยกไปเข้าวงจรหารความถี่ $IC_{2/1}$ ที่ขา 1 (C_0) ทำหน้าที่หาร 10 ให้เอาต์พุตสัญญาณที่หารแล้วออกมาทางขา 7 (Q_3) เป็นย่านการวัดที่ 2 (ย่าน 10 MHz) เลือกจาก $S_{1/1}$ และ $S_{1/2}$ เลือกค่าเวลาเปิดเกตผ่านไดโอด D_5 และเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดทศนิยมด้วย เอาต์พุตจากขา 7 จะถูกแยกไปเข้าขา 12 ของ $IC_{2/2}$ ทำการหาร 100 ให้เอาต์พุตออกมาทางขา 13 (Q_0) เป็นย่านการวัดที่ 3 (20 MHz) เลือกโดย $S_{1/1}$ และ $S_{1/2}$ เลือกจุดทศนิยม และเลือกเวลาเปิดเกตผ่านไดโอด D_{15} ในอินพุต A นี้ สามารถวัดความถี่ได้สูงสุด 23 MHz หากเกินนั้นแล้วจะเกิดการผิดพลาดในการหารความถี่

อินพุต B ความถี่ตั้งแต่ 20 MHz จนถึง 1 GHz จะคับปลิ้งผ่าน C_{18}, R_{21} และ C_{19} มาเข้าที่อินพุตขา 2 ของ IC_{12} มีให้เลือกอยู่ 2 เบอร์ คือ เบอร์ SP4632 ของเทเลฟูเก็น และ SAB 6456 ของฟิลิปส์ ซึ่ง สามารถเลือกหารความถี่ได้สองอย่าง คือ หาร 64 และ 256 ตัวต้านทาน R_{20} ทำหน้าที่กำหนดค่าอิมพิแดนซ์ทางอินพุตของอินพุต B ไว้ประมาณที่ 50 โอห์มไดโอด D_{17} และ D_{18} ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันสัญญาณทางอินพุตของ IC_{12} ให้อยู่ที่ระดับ 10 มิลลิโวลต์ rms หากแรงดันสัญญาณสูงกว่านี้อาจทำให้ IC_{12} เกิดความเสียหายได้ นอกจากนั้นเป็นการกำหนดความไวทางอินพุต B ไว้ที่ 10 มิลลิโวลต์ rms ที่อินพุต 1 GHz

เอาต์พุตขา 6 ของ IC_{12} ที่ถูกหารความถี่ด้วย 64 ออกมาผ่าน L_1 เพื่อทำให้เอาต์พุตสมดุลย์กันกับอินพุตของ Q_4 (ที่ขาเบส และจนถึง $IC_{13/1}$) R_{22}, R_{23} และ VR_1 ทำหน้าที่ควบคุมการเป็นสัญญาณพัลส์ทางเอาต์พุตขาคอลเล็กเตอร์ของ Q_4 (กำหนดจุดทำงานของ Q_4) เอาต์พุตนี้จะส่งเข้าขา 1 ของ $IC_{13/1}$ ทำหน้าที่หารความถี่เท่ากับหาร 8 ของความถี่ที่ผ่านการหารมาแล้วจาก IC_{12} ดังนั้นผลการหารโดยรวมเท่ากับ 512 หมายถึง ที่ความถี่ 1 GHz ทางอินพุต B จะมีความถี่ผ่านออกไปยังอินพุตสวิตช์ $S_{1/1}$ (หรือขา 5 ของ $IC_{13/1}$) เท่ากับ 1.953 MHz ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการทำงาน หรืออุณภูมิรอบด้านของ IC_{12} และ $IC_{13/1}$ มีค่าอุณหภูมิปกติที่ อุณหภูมิห้อง ประมาณ 25 องศาเซลเซียส จะสังเกตเห็นว่า ใช้ทรานซิสเตอร์สวิตช์ความเร็วสูง ทำหน้าที่เชื่อมต่อระดับลอจิกให้กับอินพุตของไอซีตระกูล HCMOS เนื่องจากผลของระดับแรงดันของลอจิกไม่เท่ากัน

สัญญาณทางอินพุตจะทำการเลือกผ่านสวิตช์ S1/1 เพื่อส่งสัญญาณไปยังอินพุตขา 13 ของ $IC_{8/1}$ โดยจะสัมพันธ์กันกับเวลาเปิดเกตที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวงจรออสซิลเลเตอร์ด้วยที่ขา 12 ของ $IC_{8/1}$ ค่าเวลาเปิดเกตสำหรับการวัดความถี่นี้ถูกควบคุมจากฟลิบฟลอป $IC_{7/2}$ ทำหน้าที่กำหนดการนับแบบพื้นฐานทั่วไป คือ กำหนดการนับ - ตัวภาระ เพื่อแสดงผลตามลำดับค่าเวลาของการทำงานในแต่ละลำดับ จะตั้งได้จากสัญญาณนาฬิกาฐานเวลา ที่กำหนดมาจากคริสตอลจ่ายมาให้กับ $IC_{7/1}$ และ $IC_{7/2}$ โดยอาศัยคริสตอล X-TAL_1 ความถี่ 2 MHz ทำงานร่วมกับ $IC_{6/1}$ ทำหน้าที่ออสซิลเลตความถี่ขึ้นมา โดยที่ $IC_{8/2}$ ทำหน้าที่ควบคุมการโหลดแสดงผลของชุดแสดงผล และ $IC_{8/3}$ ทำหน้าที่ควบคุมการรีเซต ทั้งนี้จะได้จากการควบคุมด้วยสัญญาณจากเอาต์พุตของ $IC_{7/1}$ และ $IC_{7/2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับย่านการวัดสามย่านแรกทางอินพุต A จะได้รับฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาที่เป็นพัลส์มาจาก $IC_{7/1}$ และ $IC_{7/2}$ คาบเวลาของฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาจะเท่ากับ 500 ms หรือเท่ากับความถี่ 2 Hz ฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาเหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นมาจากความถี่ออสซิลเลตของ $X\text{-}TAL_1$ ความถี่ 2 MHz และถูกทำการหารความถี่ จากวงจรหารความถี่ที่ต่อคาสเคดกันอยู่ มี $IC_{3/1}$, $IC_{3/2}$, $IC_{4/1}$, $IC_{4/2}$, $IC_{5/1}$ และ $IC_{5/2}$ สัญญาณที่ถูกหารเหลือสุดท้ายจะผ่านเข้าที่ขา 11 ของ $IC_{6/3}$ และ $IC_{10/1}$ ก่อน ต่อจากนั้น $IC_{7/1}$ และ $IC_{7/2}$ จะทำการรีเซตแล้ว ส่งสัญญาณเข้าชุดแสดงผลตามลำดับ โดยจะทิ้งช่วงห่างแต่ละขั้นตอนเท่ากับ 500 ms ทำการนับแสดงผลอีก 1 วินาที รวมทั้งหมดแล้วในการแสดงผลความถี่ออกมาจะกินเวลาประมาณ 2 วินาทีต่อการอ่านแสดงผล 1 ครั้ง ของชุดแสดงผล LED 7 ส่วน

ฐานเวลาสัญญาณนาฬิกา 500 ms ที่ใช้ในอินพุต A สำหรับย่านการวัด 3 ย่าน จะไม่สามารถนำมาใช้เป็นฐานเวลาให้กับย่านการวัดที่สี่ในอินพุต B เนื่องจากสัญญาณความถี่ที่จะเข้ามาทางอินพุต B จะผ่านวงจรหารความถี่ 512 ในไอซีปรีสเกลเลอร์เสียก่อน ซึ่งเป็นอัตราการหารความถี่ที่มากกว่า 1, 10 และ 100 ดังนั้น ค่าฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในอินพุต B จึงจะต้องมีความแตกต่างจากอินพุต A อยู่ประมาณเกือบครึ่งหนึ่ง จึงอาศัยวงจรหารความถี่ต่อคาสเคดกันโดยมี $IC_{13/2}$ และ $IC_{14/1}$ โดยจะดึงเอาฐานเวลาสัญญาณนาฬิกาที่ 1 ms จากเอาต์พุตขา 3 ของ $IC_{4/2}$ มาทำการหาร 256 ที่ $IC_{13/2}$ และ $IC_{14/1}$ ดังนั้นเอาต์พุตที่ขา 6 ของ $IC_{14/1}$ จะมีค่าฐานเวลาสัญญาณนาฬิกา เท่ากับ 256 ms หรือ ความถี่ประมาณเท่ากับ 3.90625 kHz

$IC_{6/2}$ และ $IC_{10/1}$ จะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณฐานเวลาที่มาจากเอาต์พุตขา 6 ของ $IC_{14/1}$ ให้มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ที่แน่นอนก่อนจะผ่านเข้าสู่ $IC_{7/1}$ และ $IC_{7/2}$ เมื่อย่านการวัดถูกเลือกมาที่ย่านการวัด 1 GHz จะเป็นผล ทำให้เวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับ เริ่มจาก การรีเซต และส่งเข้าชุดแสดงผลจะใช้เวลาทั้งหมด 256 ms และนับแสดงผลออกมาทาง LED 7 ส่วน เท่ากับ 512 ms เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับอินพุต B ดังนั้น การนับความถี่แสดงผลออกทาง LED 7 ส่วนเป็นอันดับสุดท้าย แล้วรวมเวลาทั้งหมดต่อการแสดงผล 1 ครั้ง เท่ากับ 1.024 วินาที จะเห็นได้ว่าที่ย่านการวัดนี้มีการเปลี่ยนแปลงค่าที่แสดงออกมาบ่อยครั้ง จนดูเหมือนว่าตัวเลขแสดงผลวิ่งไม่หยุดนิ่ง หรือเป็นเพียงค่าที่สุ่มออกมาเท่านั้น

การเลือก และสับเปลี่ยนพัลส์ฐานเวลาจะเลือกผ่านสวิตช์ $S_{1/2}$ ซึ่งเป็นอีกปุ่มหนึ่งของสวิตช์ฟังก์ชั่น การเลือกในแต่ละตำแหน่ง จะเลือกผ่าน $S_{1/2}$ เพื่อเลือกค่าเวลาเปิดเกท สำหรับย่านการวัดทั้งสาม ของอินพุต A ผ่านไดโอด D_3, D_5 และ D_{15} ผ่าน $IC_{6/4}$ ทำหน้าที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์เกท พร้อมกับเป็นการเลื่อนจุดทศนิยมแสดงช่วงการอ่าน และแสดงผลของ LED 7 ส่วน ให้ถูกต้อง ผ่านไดโอด D_4 และ D_{20} นอกจากนั้น ยังต่อโดยตรงด้วย การแสดงช่วงของความถี่ที่เข้ามา เพื่อให้ทราบว่ามีหน่วยเป็นหลักใดจึงเลือกผ่าน D_6, D_{16} และ D_{19} ขับ LED แสดงผลระหว่างหน่วยเมกะเฮิรตซ์ (MHz) และกิโลเฮิรตซ์ (kHz)

3.3.2 การสร้าง

จากรูปที่ 3.5 เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ส่วนวัดประมวลผล ซึ่งได้ออกแบบให้สามารถต่อเชื่อมในลักษณะตั้งฉากกันได้กับแผ่นวงจรส่วนของการแสดงผลโดยตรงตามจุดบัดกรีที่กำหนดไว้

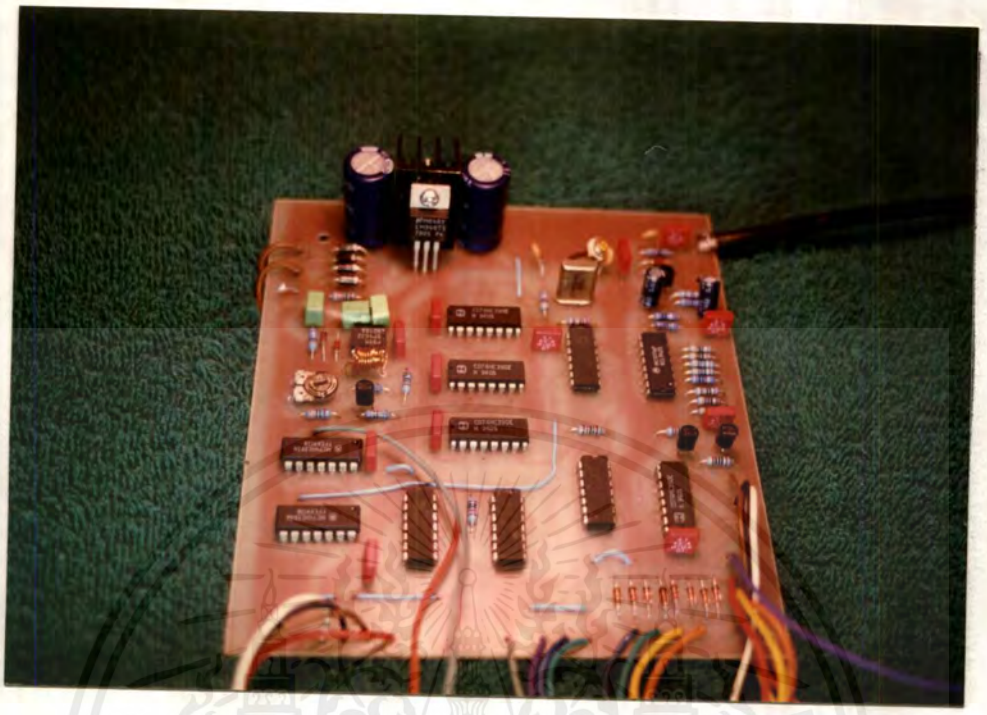
การประกอบใช้พื้นฐานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป นอกจากนั้น อุปกรณ์ที่ควรพิจารณาเอาใจใส่ในการประกอบมากขึ้น คือ อุปกรณ์ที่มีขั้วทุกๆ อย่าง ต้องประกอบให้ถูกขั้ว และตำแหน่งด้วย ไอซีต้องใช้วิธีบัดกรีบนแผ่นวงจรพิมพ์โดยตรง เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนอันจะเกิดขึ้นได้ และระมัดระวังในการบัดกรีไม่ควรบัดกรีแต่ละจุดนานเกินไป ไอซีอาจเสียหายได้ ควรใช้หัวแร้งแช่ขนาด 15-20 วัตต์มาบัดกรี ขดลวด L_1 ใช้ลวดทองแดงอาบน้ำยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร พันเป็นแกนอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร 8 ถึง 10 รอบ ซึ่งมีค่าประมาณ 6.5 μH ไอซีเรกกูเลเตอร์ให้ติดแผ่นระบายความร้อน เพราะต้องจ่ายกระแสต่อเนื่องมากพอสมควร

3.3.3 การทดสอบ และการปรับแต่ง

การทดสอบการทำงานของวงจรจะต้องปรากฏตัวเลขค่าใดค่าหนึ่งขึ้นมาพร้อมกับ LED แสดงหน่วยกิโลเฮิรตซ์สว่างขึ้น หาเครื่องวัดความถี่มาตรฐานที่สามารถวัดได้ถึง 2 GHz มาวัดเปรียบเทียบ วัดดูสัญญาณความถี่ตามจุดต่างๆ (จุดทดสอบ) บนแผ่นวงจรพิมพ์ว่ามีความถี่ออกมาตามที่ระบุไว้บนแผ่นพิมพ์หรือไม่ หากวัดได้ไม่ตรงสามารถปรับ VR_1 ช่วยเพื่อให้ความถี่ที่จุดทดสอบมีความเที่ยงตรงสูงสุด

ป้อนสัญญาณความถี่คลื่นซายน์เข้าที่อินพุต A และอินพุทของเครื่องนับความถี่ที่นำมาวัดเปรียบเทียบจะต้องได้ค่าความถี่ที่อ่านออกมามีค่าเท่ากัน ในย่านการวัดทั้ง 3 ย่านของอินพุต A จากนั้น เพิ่มความถี่ที่เครื่องกำเนิดสัญญาณทดสอบไปเป็นค่า 50 MHz ถึง 1 GHz ย้ายมาป้อนที่อินพุต B กดสวิตช์เลือกย่านการวัดมาที่ 1 GHz อ่านความถี่ที่แสดงออกมาจะต้องตรงกับค่าที่อ่านได้บนเครื่องนับความถี่เปรียบเทียบ หากไม่ตรง ให้ปรับ VR_1 ช่วยซึ่งเป็นการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรเครื่องนับความถี่

จุดทำงานของ Q_4 ให้ทำการขยายสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่โหลดสัญญาณทางอินพุต พร้อมกับเพิ่มอัตราการขยายแอมปลิจูดของสัญญาณที่ออกมาทางขาคอลเลคเตอร์ของ Q_4 ด้วย

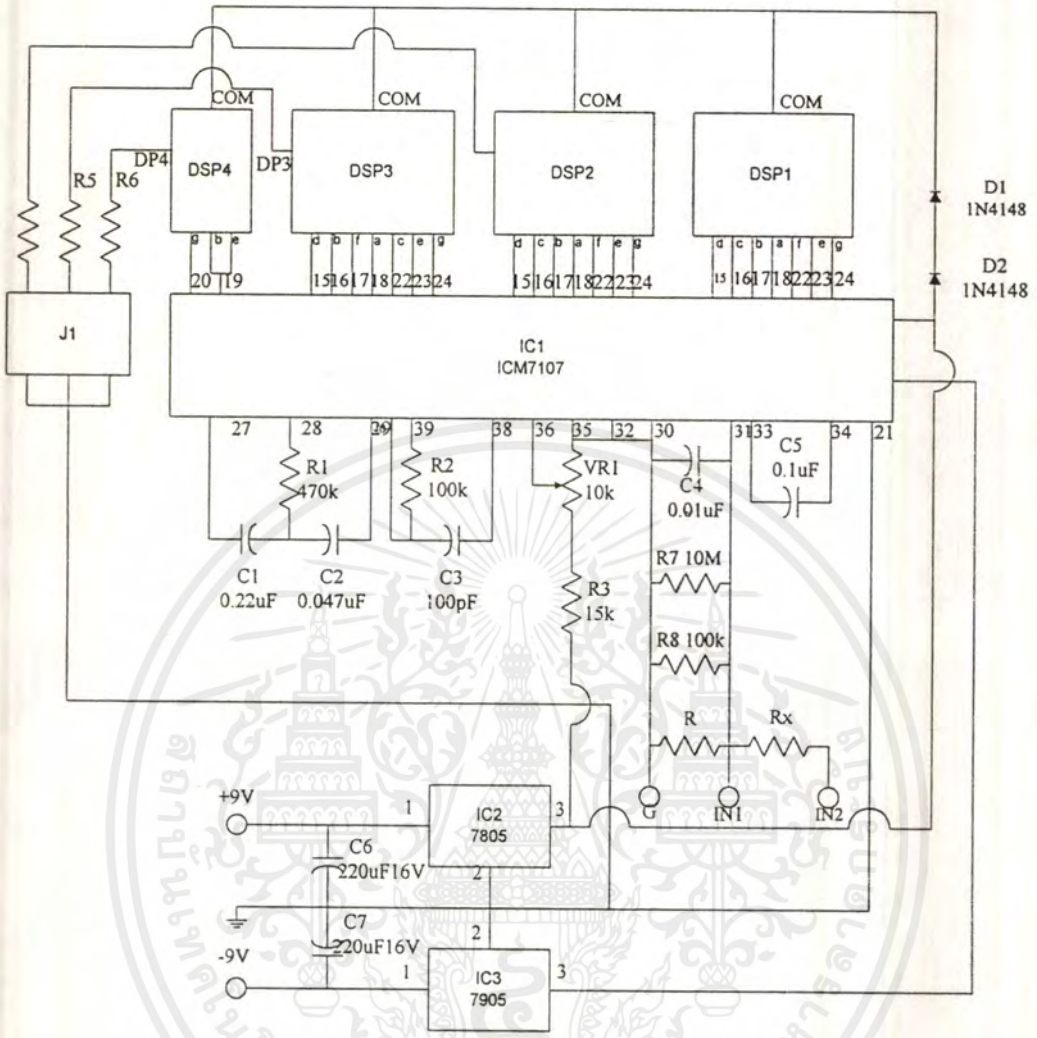
ความไวทางอินพุต A และ B ต้องมีระดับสัญญาณไม่ต่ำกว่า 50 มิลลิโวลต์ และไม่เกิน 1.2 โวลต์ เพราะจะทำให้อินพุต A และ B เสียหายได้ ถ้าแรงดันต่ำกว่า 50 มิลลิโวลต์ ผลการวัดจะไม่ถูกต้อง ที่ความถี่สูงมักจะมีระดับสัญญาณไม่สูงมากนัก

3.4 วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์

3.4.1 การทำงานของวงจร

วงจรสมบูรณ์ของดิจิตอลโวลต์มิเตอร์แสดงในรูปที่ 3.6 IC_1 เป็นตัวหลักของวงจรนี้ โดยสามารถต่อแรงดันที่ต้องการวัดเข้าที่อินพุต IN HI (ขา31) และ IN LO (ขา30) โดยมีข้อจำกัดที่ว่าแรงดันป้อนเข้ามาที่ 2 ขานี้ ต้องมีค่าไม่เกิน 199 มิลลิโวลต์ ดังนั้น หากต้องการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์

แรงดันที่มีค่ามากกว่า 199 มิลลิโวลต์ จึงต้องต่อวงจรขยายย่านการวัดเพิ่มเข้าไป โดยใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดันนั่นเอง

ตัวความต้านทาน R_9 ค่า 1 MΩ ต่อไว้ที่ขาอินพุต IN HI เพื่อจำกัดกระแสไม่ให้ไหลเข้าไปในอินพุตของไอซีมากเกินไป ทั้งยังทำหน้าที่กำหนดค่าความต้านทานอินพุตของดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ด้วย ในขณะที่ C_4 ทำหน้าที่ลดสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่อาจปนมากับแรงดันที่ทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลภายในตัว IC_1 กำหนดด้วยตัวความต้านทาน R_3 และ VR_1 โดยต่อเข้าที่ขา REF HI (ขา36) และ REF LO (ขา35) ซึ่งในวงจรนี้กำหนดไว้ที่ 1 โวลท์

ตัวความต้านทาน R_1 และ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ต่อกันเป็นวงจรอินติเกรตติ้งเข้าที่ขา 27 ถึง 29 เพื่อควบคุมให้วงจรนี้แสดงผล 0 เมื่อไม่มีแรงดันอินพุตเข้ามาที่ขา IN HI และ IN LO โดยที่ค่าของ R_1 และ C_2 จะเปลี่ยนแปลงตามค่าของแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลภายใน IC_1

ตัวความต้านทาน R_2 และตัวเก็บประจุ C_3 ทำหน้าที่กำหนดความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลภายใน IC_1

IC_1 สามารถแสดงผลค่าของการวัดที่ตัวแสดงผล LED ตัวเลข 7 ส่วน แบบแอโนดร่วม โดยต่อตรงได้เลยไม่ต้องมีตัวความต้านทานจำกัดกระแสให้แก่ LED ตัวเลข 7 ส่วน ในส่วนแสดงผลใช้ LED 7 ส่วนแบบเดี่ยวๆ 4 ตัวร่วมกัน ไดโอด D_1 และ D_2 ทำหน้าที่ลดแรงดันที่จะป้อนให้แก่ DSP_1-DSP_4 แทนที่จะจ่ายไฟเลี้ยง 5 โวลต์แก่ DSP_1-DSP_4 โดยตรง ใช้ไดโอดลดแรงดันลงประมาณ 1.4 โวลต์ ทั้งนี้ เพื่อจุดประสงค์ 2 ประการ คือ เพื่อให้กระแสไหลผ่าน DSP_1-DSP_4 มีความเหมาะสม ไม่มากเกิน ทั้งนี้ เพื่อประโยชน์ในการยืดอายุการใช้งานของ DSP_1-DSP_4 และ เพื่อปรับความสว่างของ DSP_1-DSP_4 ให้เหมาะสม ไม่สว่างมากจนเกินไปจนรบกวนสายตาในขณะใช้งาน

ในส่วนของการแสดงจุดทศนิยมโดยแท้จริงแล้ว ตัว IC_1 ไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าเลือกจุดทศนิยมได้เอง ดังนั้นจึงต้องกำหนดให้ โดยเลือกได้ที่คอนเน็กเตอร์ J_1 ตัวความต้านทาน R_4-R_6 ทำหน้าที่จำกัดกระแสให้แก่ LED ที่ทำหน้าที่เป็นจุดทศนิยม ซึ่งถูกบรรจุอยู่ใน DSP_1-DSP_4 อยู่แล้ว ในวงจรนี้จุด (dotpoint :dp) ของ DSP_1 ไม่ใช้

ทางด้านแหล่งจ่ายไฟของดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ต้องเป็นแหล่งจ่ายไฟคู่ $\pm$ 5 โวลต์ เริ่มต้นจากไดโอด D_3-D_6 และ C_6-C_7 ทำหน้าที่เรียงกระแสไฟสลับขนาด 6 โวลต์ ให้เป็นไฟตรง และกรองแรงดันไฟตรงให้มีความเรียบมากขึ้น จนได้เป็นแรงดันประมาณ $\pm$ 8.5 โวลต์ ผ่านเข้าไปใน IC_2 และ IC_3 ซึ่งเป็นไอซีเรกกูเลเตอร์ควบคุมแรงดันไตรงให้มีความคงที่แน่นอน ได้แรงดันเอาต์พุตออกมาที่ขาเอาต์พุตมีค่า $\pm$ 5 โวลต์ จ่ายให้แก่ IC_1 ที่ขา 1, 21 และ 26 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การสร้าง

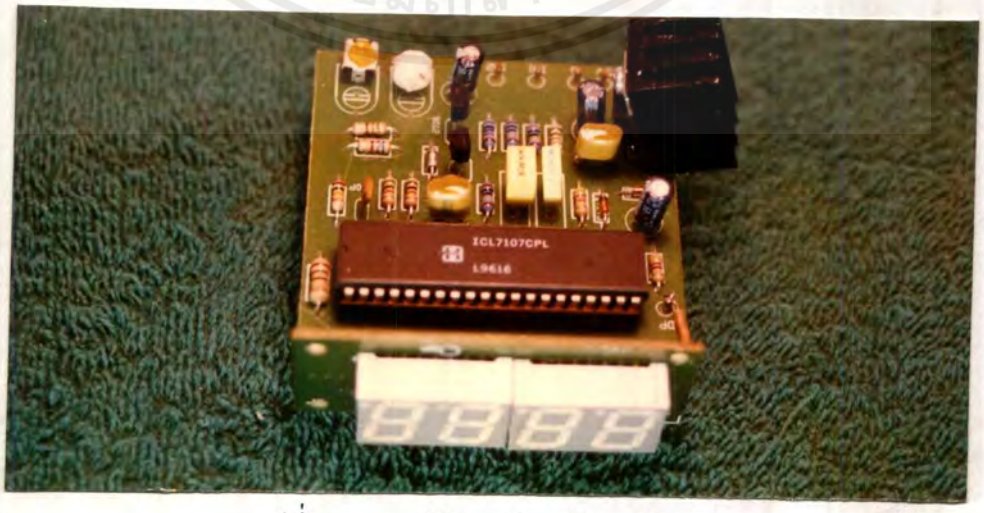
เริ่มต้นที่การทำแผ่นวงจรพิมพ์ตามแบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 ซึ่งมีด้วยกัน 2 แผ่น คือ แผ่นวงจรพิมพ์หลัก (main board) และแผ่นวงจรพิมพ์ส่วนแสดงผล (display board) ลายทองแดงค่อนข้างเล็ก และมีความละเอียดพอสมควร ดังนั้นทำต้องพิถีพิถันพอสมควร เมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อยต้องตรวจดูให้ดีว่ามีลายทองแดงเส้นใดขาด หรือลัดวงจรกันหรือไม่ ถ้าพบ ทำการแก้ไขเสียก่อนที่จะทำการลงอุปกรณ์

เริ่มลงอุปกรณ์ที่แผ่นวงจรพิมพ์หลักก่อน เริ่มต้นที่อุปกรณ์ตัวเตี้ยๆ ก่อน นั่นคือ ตัวความต้านทาน ซ็อกเก็ตไอซี ไดโอด และตัวเก็บประจุ เมื่อเรียบร้อยแล้วก็มาลงอุปกรณ์ในแผ่นวงจรพิมพ์ส่วนแสดงผล ซึ่งมีเพียง LED ตัวเลข 7 ส่วน 4 ตัว เท่านั้น

3.4.3 การทดสอบ และปรับแต่ง

ในการทดสอบจะต้องมีเครื่องมือ คือ แหล่งจ่ายไฟตรง ขนาดตั้งแต่ 20-50 โวลต์ ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่มีความเที่ยงตรง และไฟเลี้ยงวงจร โดยค่าโวลต์ตั้งแต่ 7.5-15 โวลต์ แล้วทำการทดสอบดังนี้

1. จ่ายไฟตั้งแต่ 7-15 โวลต์ เข้าขั้ว + และ Ground ของวงจร ตอนนี้จอแสดงผลจะแสดงผล
2. จ่ายไฟ 20-50 โวลต์ เข้าที่จุด IN1 และ Ground ที่ต้องการใช้วัด
3. เอาดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่เตรียมมาวัดไฟดู แล้วให้ดูที่จอแสดงผลเทียบกัน ถ้าตัวเลขไม่ตรงกัน ให้ปรับ VR_1 จนได้ค่าใกล้เคียง และตรงกันกับดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ที่นำมาเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.7 วงจรดิจิตอลโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรแสดงผลแบบดิจิตอล

3.5.1 การทำงานของวงจร

วงจรในรูปที่ 3.7 เป็นวงจรของส่วนนับแสดงผลขับ LED 7 ส่วน จำนวนทั้งหมด 7 หลัก และขับ LED แสดงหน่วยของความถี่ที่อ่านออกมาทางชุดแสดงผล LED 7 ส่วน (MHz และ kHz) สัญญาณพัลส์ที่จะถอดรหัสแสดงผล สัญญาณควบคุมการโหลดสัญญาณเข้าทำการ ถอดรหัส และสัญญาณที่ออกมาจากเอาต์พุตขา 11, 6 และ 8 ของ $IC_{8/1}$, $IC_{8/2}$ และ $IC_{8/3}$ ตามลำดับ จะมาเข้าในอินพุตของวงจรในรูปที่ 3.4 IC_1 และ IC_2 ทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณออกไปขับชุดแสดงผล LED 7 ส่วน DSP_1-DSP_7 ตามลำดับ ลักษณะการต่อชุด LED 7 ส่วนจะเป็นแบบเมตริกซ์ LED 7 ส่วน ทรานซิสเตอร์ Q_1-Q_4 และ Q_6-Q_8 ทำหน้าที่ขับขาร่วมของ LED 7 ส่วนทั้งหมด การแสดงหน่วยของความถี่จะอาศัยการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q_5 โดยที่สวิตช์ $S_{1/1}$ และ $S_{1/2}$ อยู่ในตำแหน่งย่านการวัด 2 MHz เอาต์พุตที่ผ่านออกมาทางขาแสดงหน่วยการวัด จะมีสถานะเป็น 0 ทำให้ Q_1 ได้รับไบอัสตรง นำกระแส และ LED_2 จะติดสว่าง เป็นหน่วย kHz แต่ถ้าสวิตช์ $S_{1/1}$ และ $S_{1/2}$ ถูกเลือกมายังย่านวัด 20 MHz, 50 MHz และ 1 GHz ระดับลอจิก 1 จะถูกเลือกผ่าน $S_{1/2}$ ผ่าน D_{16}, D_6 และ D_{19} ตามลำดับ ออกมาทางจุดต่อที่ 20 ทำให้ LED_1 ติดสว่างแสดงหน่วย MHz ส่วน Q_5 จะได้รับไบอัสกลับและไม่นำกระแส

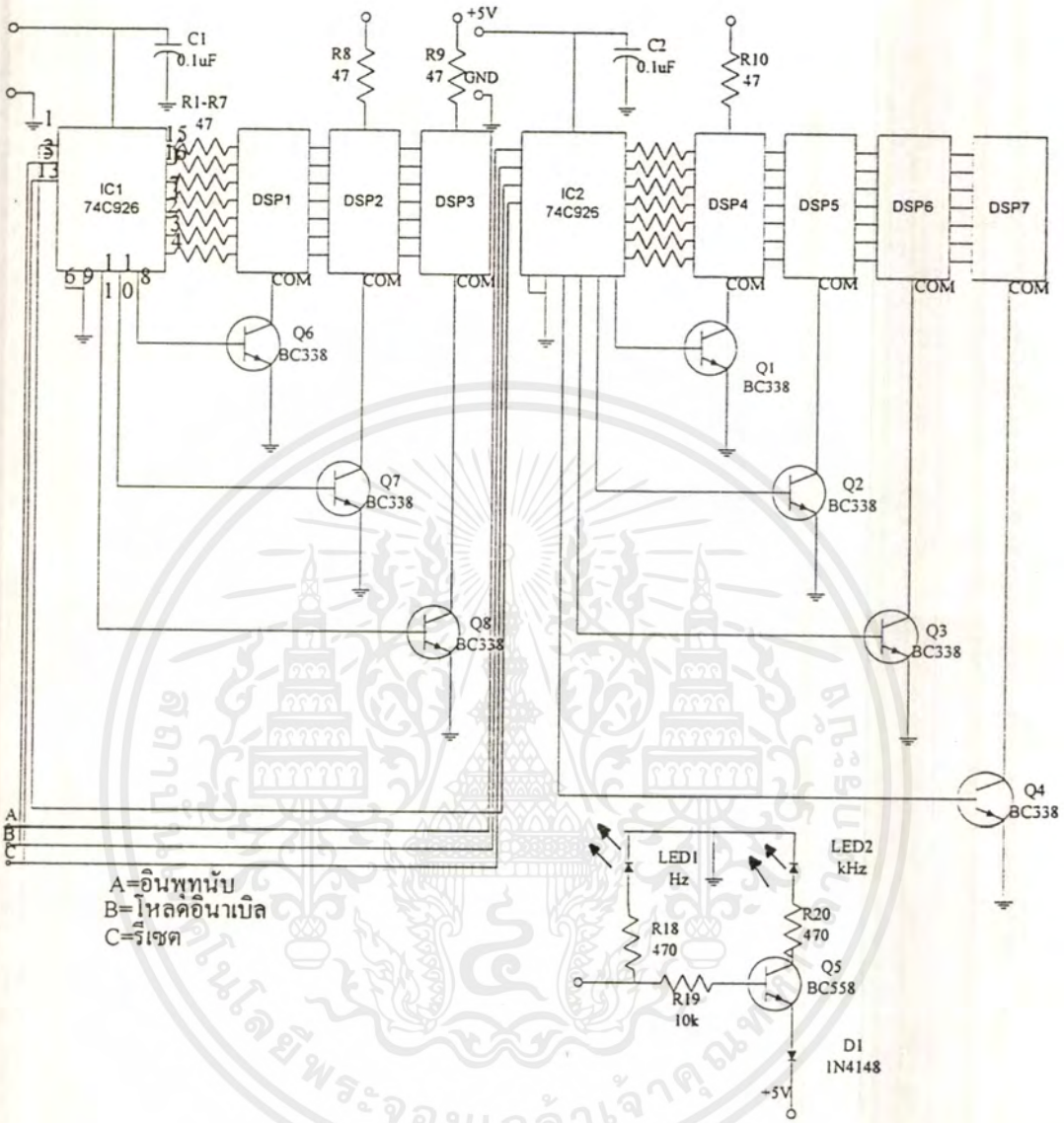
3.5.2 การสร้าง

ในส่วนของวงจรภาคแสดงผลนี้ ในรูปที่ 3.8 เป็นลายวงจรพิมพ์ของภาคแสดงผลที่ออกแบบให้สามารถต่อเข้ากับวงจรวัดประมวลผล ในการสร้างใช้พื้นฐานการบัดกรี และลงอุปกรณ์เช่นเดียวกับส่วนของวงจรเครื่องนับความถี่นั่นเอง

3.5.3 การทดสอบ และการปรับแต่ง

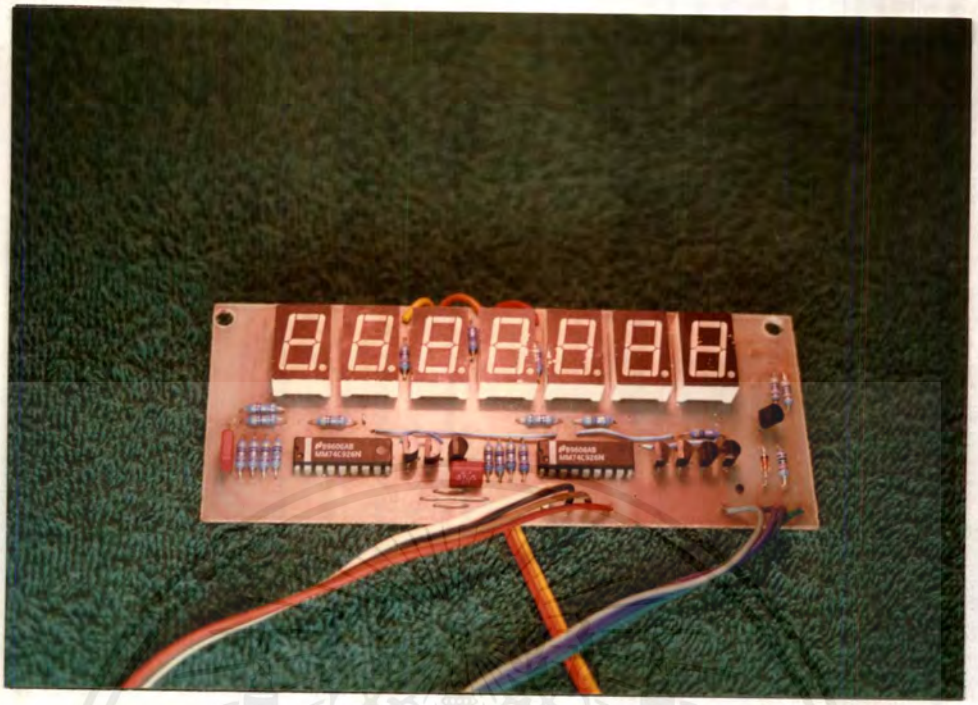
ตรวจดูลายวงจร และการบัดกรีอุปกรณ์ให้เรียบร้อย อย่าให้ลัดวงจร และไม่มีจุดใดผิดผลาด ทำการทดสอบโดยการจ่ายแรงดัน + 5 โวลต์ DC เข้าที่จุด +5 และ 0 โวลต์ ที่จุดกราวด์ ที่จอแสดงผลจะแสดงตัวเลขค่าใดค่าหนึ่งขึ้นมาพร้อมกับ LED แสดงหน่วย kHz แสดงว่าวงจรแสดงผลแบบดิจิตอลพร้อมที่จะนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรแสดงผลแบบดิจิตอล

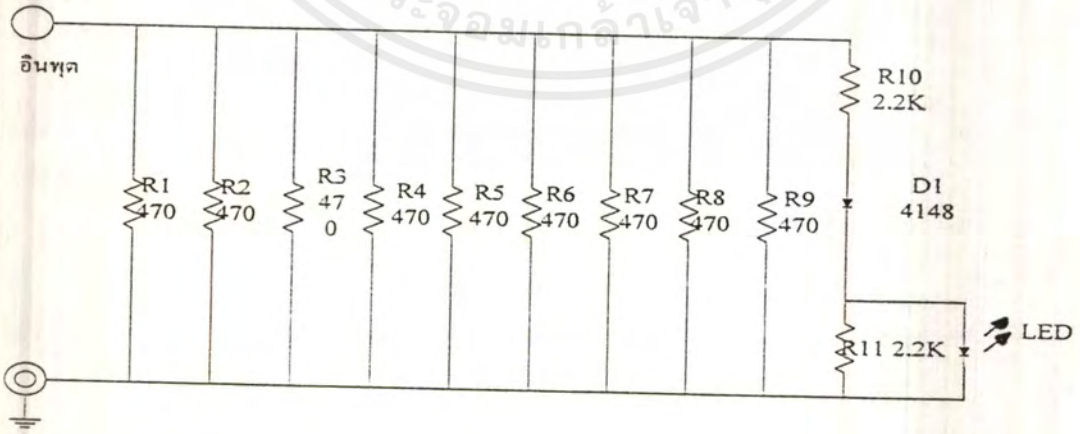
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรแสดงผลแบบดิจิตอล

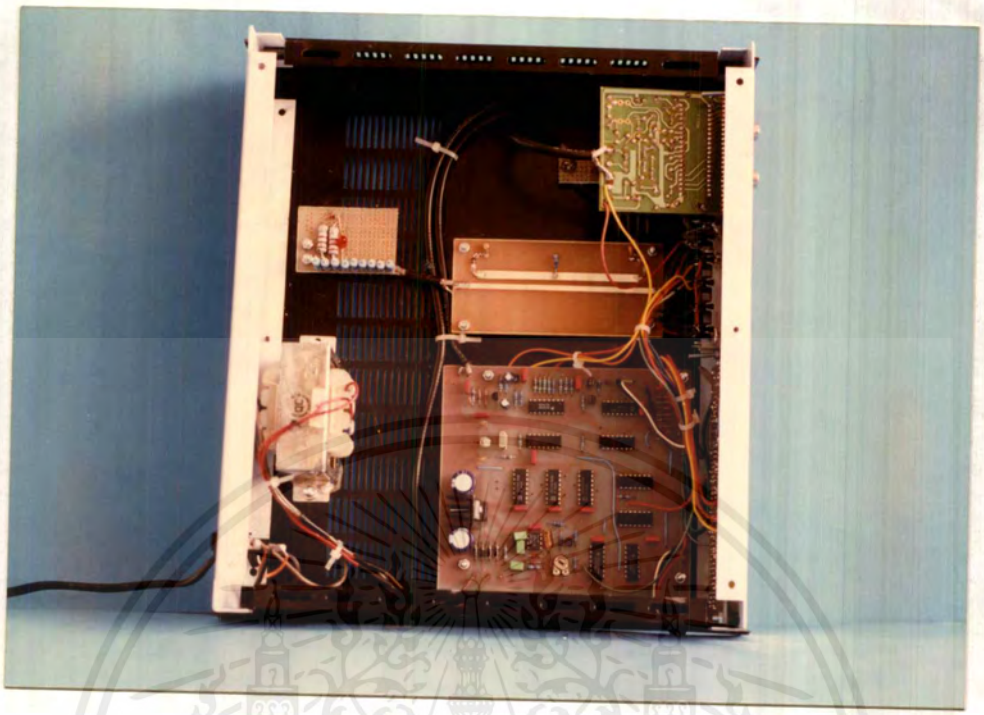
3.6 วงจรตัวภาระเทียม

จากรูปที่ 3.9 เป็นวงจรตัวภาระเทียมที่ออกแบบให้สามารถใช้งานได้ดีในย่านความถี่ถึง 500 MHz ทนกำลังได้ 20 วัตต์ ใช้ตัวความต้านทานคาร์บอนฟิลม์อย่างดี ค่า 470 โอห์ม ขนาด 2 วัตต์ (R_1-R_9) สำหรับ R_{10}-R_{11} เป็นตัวความต้านทานที่ใช้ทำหน้าที่จัดอิมพิแดนซ์ให้ได้ 50 โอห์ม และแบ่งแรงดันป้อนให้ D_1 จำกัดกระแสไบอัสกับ LED เพื่อแสดงสภาวะการใช้งาน



รูปที่ 3.10 วงจรตัวภาระเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การเดินสายภายในเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวรายละเอียดถึงการทดลอง, การทดสอบ และผลที่ได้ในวงจรต่างๆ ที่ได้ออกแบบ และสร้างตามที่กล่าวแล้วในบทที่ 3 ซึ่งผลที่ได้นี้จะแสดงการทำงานว่าทำงานได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

4.1 ลักษณะการใช้งานทั่วไป

ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสารนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรวัดกำลังส่งจากวิทยุสื่อสาร และส่วนของการนับความถี่วิทยุสื่อสาร โดยส่วนของการวัดกำลังส่งจากวิทยุสื่อสาร ประกอบด้วยอินพุตที่ใช้ร่วมกับอินพุตของการนับความถี่ย่าน 8 MHz ถึง 1 GHz ซึ่งจะมีปุ่มกดให้เลือกใช้งานตามต้องการ ซึ่งในส่วนของอินพุตนี้จะมีค่าอินพุตอิมพิแดนซ์เท่ากับ 50 Ω สำหรับส่วนของการนับความถี่จากวิทยุสื่อสาร จะแยกออกเป็น 2 อินพุต คือ อินพุตแรกเป็นย่านการนับความถี่ 1 Hz ถึง 50 MHz มีค่าอินพุตอิมพิแดนซ์เท่ากับ 1 MΩ แยกออกเป็นย่านการเลือกใช้งานอีก 3 ย่าน คือ 2 MHz, 20 MHz และ 50 MHz สำหรับอินพุตที่สองเป็นย่านการนับความถี่ 8 MHz ถึง 1 GHz การต่อใช้งาน, การทดลอง และผลการทดลองที่ได้แสดงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

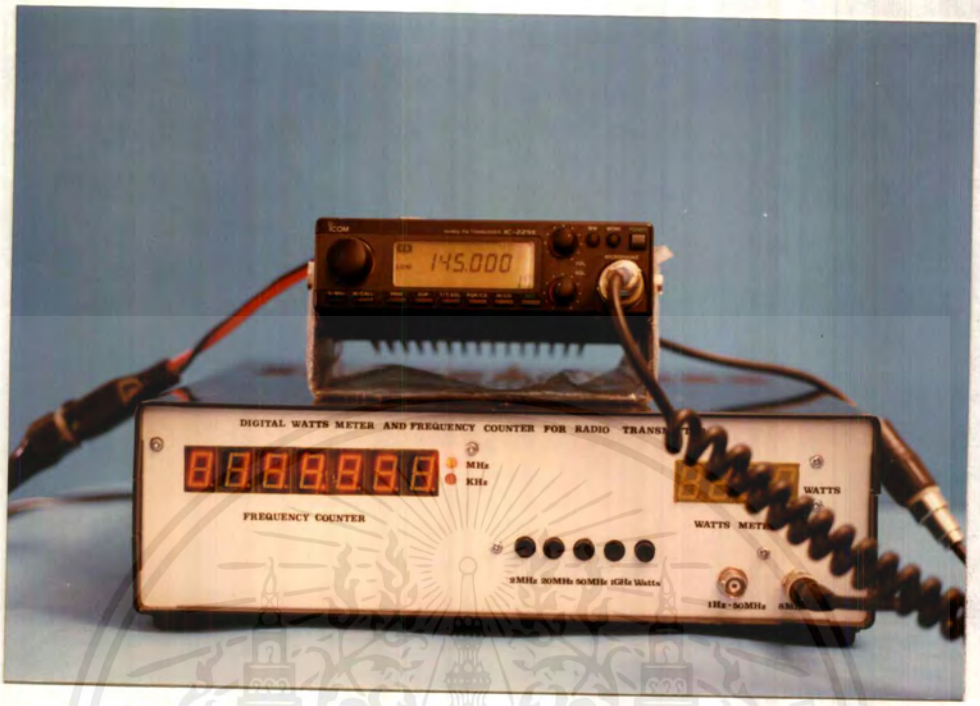
4.2 การทดลองวัดกำลังส่งจากวิทยุสื่อสาร

รูปที่ 4.1 แสดงวิธีการต่อใช้งาน เพื่อทดลองวัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสารย่าน VHF ด้วยดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

4.3 ผลการทดลองการวัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร

รูปที่ 4.2 แสดงผลที่ได้จากการทดลองใช้ SWR power meter วัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร และรูปที่ 4.3 แสดงผลที่ได้จากการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร เพื่อวัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร ซึ่งบันทึกผลเปรียบเทียบกันระหว่างกำลังส่งที่วัดได้จากเครื่อง SWR power meter กับกำลังส่งที่วัดได้จากดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.1

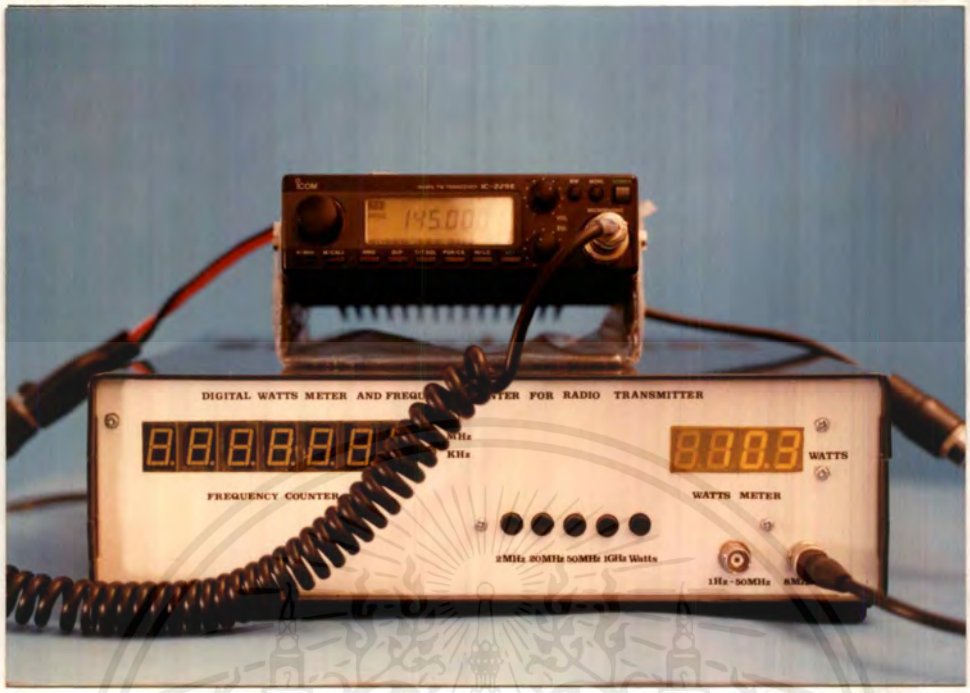
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การต่อใช้งาน เพื่อทดลองวัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร

รูปที่ 4.2 ผลการทดลองใช้ SWR power meter วัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร วัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร

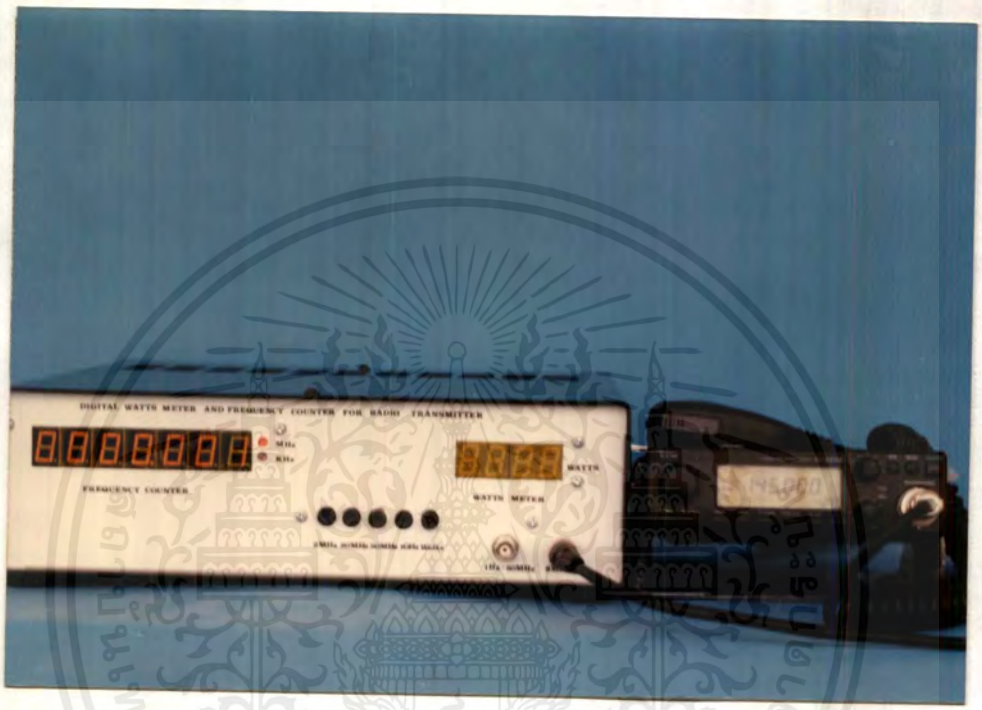
ประเภทของเครื่องวัด \ ผลการทดลองครั้งที่	1	2	3
SWR power meter ทั่วไป	ประมาณ 1	ประมาณ 5	ประมาณ 10
ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร	1.2	5.2	10.3
หน่วย	วัตต์	วัตต์	วัตต์

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการวัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองนับความถี่จากวิทยุสื่อสาร

รูปที่ 4.4 แสดงวิธีการต่อใช้งาน เพื่อทดลองนับความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสารย่าน VHF ด้วยดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร



รูปที่ 4.4 การต่อใช้งาน เพื่อทดลองนับความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสาร

4.5 ผลการทดลองนับความถี่จากวิทยุสื่อสาร

รูปที่ 4.5 แสดงผลที่ได้จากการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสารความถี่ 141.000 MHz 145.000 MHz และ 160.000 MHz ซึ่งจะบันทึกผลเปรียบเทียบระหว่างความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสารที่ใช้ กับความถี่ที่ได้จากการนับความถี่โดยดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ผลการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสารนับความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสาร

เครื่องวัด \ ความถี่ของเครื่องวิทยุสื่อสารที่ใช้	141.000	145.000	160.000
ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร	140.952	144.951	159.948
หน่วย	MHz	MHz	MHz

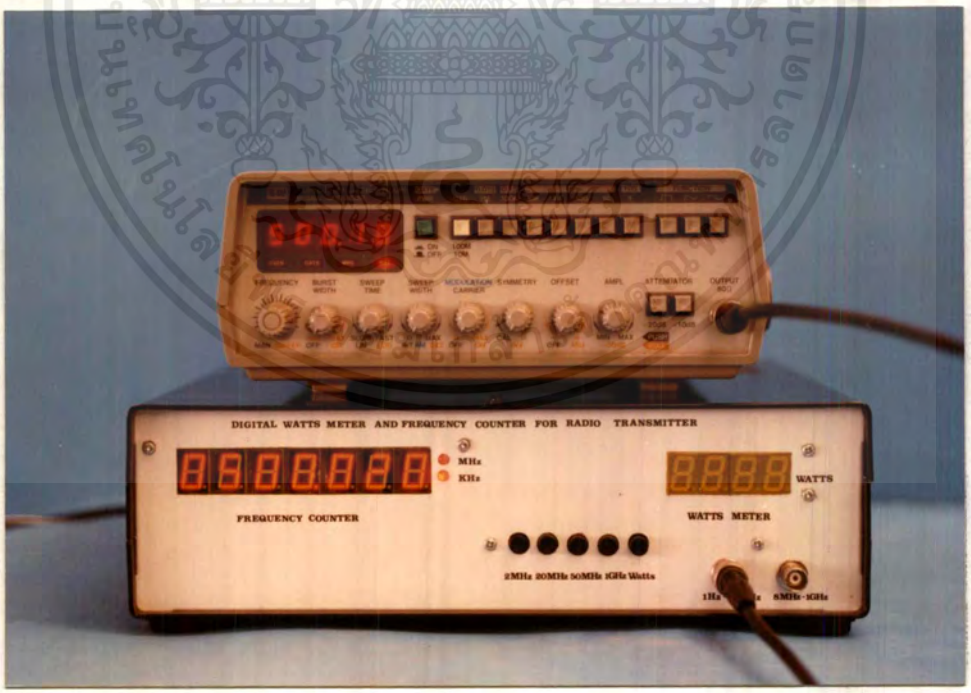
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการนับความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสาร

4.6 การทดลองนับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่

รูปที่ 4.6 ถึง รูปที่ 4.8 แสดงการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสารนับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ที่ความถี่ต่าง ๆ คือ 10 kHz, 500 kHz และ 5 MHz ซึ่งผลการทดลองที่ได้บันทึก แสดงเปรียบเทียบในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 ผลการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ความถี่ 10 kHz



รูปที่ 4.7 ผลการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ความถี่ 500 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ผลการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ความถี่ 5 MHz

ความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Mhz)	10.051	500.180	5.0062
ความถี่ที่นับได้จากดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร	10.048	500.020	5.0059
หน่วย	kHz	kHz	MHz

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ลักษณะของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายด้านหน้าของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายด้านหลังของดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการทดลอง และผลการทดลอง ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 แยกการทดลองเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร วัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสารย่าน VHF เปรียบเทียบกับเครื่อง SWR power watts meter ส่วนที่สองเป็นการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสารย่าน VHF เปรียบเทียบกับ ความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสารย่าน VHF และส่วนสุดท้ายเป็นการทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสารนับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ โดยผลการทดลองที่ได้จากการทดลองส่วนต่างๆ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ส่วนแรก การทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสารย่าน VHF เปรียบเทียบกับความถี่ใช้งานเครื่องวิทยุสื่อสารความถี่ 141.000 MHz 145.000 MHz และ 160.000 MHz จากผลการทดลองที่ได้สรุปว่า ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร สามารถนับความถี่จากเครื่องวิทยุสื่อสารย่าน VHF ได้ดี คือมีค่าความผิดพลาดประมาณ $\pm$ 0.04 %

ส่วนที่สอง การทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร วัดกำลังส่งจากเครื่องวิทยุสื่อสารย่าน 141.000 MHz ถึง 160.000 MHz เปรียบเทียบกับ เครื่อง SWR power watts meter จากผลการทดลองที่ได้สรุปว่า ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร สามารถวัดกำลังส่งได้ดี คือ วัดกำลังส่งได้ละเอียดและใกล้เคียงกับเครื่องวัด SWR power watts meter ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ $\pm$ 3 % ที่กำลังส่งไม่เกิน 20 วัตต์

ส่วนสุดท้าย การทดลองใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร นับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ จากผลการทดลองที่ได้สรุปว่า ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ และเครื่องนับความถี่สำหรับวิทยุสื่อสาร สามารถนับความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ ได้ดี คือ มีค่าความผิดพลาดประมาณ $\pm$ 0.03 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหา แนวทางแก้ไข และแนวทางในการพัฒนา

1. พัฒนาให้สามารถวัด และแสดงผลกำลังสะท้อนกลับจากสายอากาศมายังเครื่องวิทยุสื่อสาร

2. พัฒนาให้สามารถวัด และแสดงผลจากการแมทชิ่งสายอากาศกับเครื่องวิทยุสื่อสาร โดยการดัดแปลงเป็นเครื่องวัด SWR

3. พัฒนาให้สามารถวัดกำลังส่งให้มากขึ้น

4. พัฒนาให้สามารถแสดงผลความถี่ และกำลังส่งวิทยุสื่อสารได้ในเวลาเดียวกัน

5. พัฒนาให้เป็นระบบอัตโนมัติ โดยการนำไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์วงจรวัดกำลังวิทยุสื่อสาร

ตัวความต้านทาน ขนาด 1 W $\pm$ 1 %

R_1 - 27 Ω	1 ตัว
VR_1 - 500 KΩ	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C_1,C_2 - 0.001$_\mu$F 100 V เซรามิก	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

D_1,D_2 - 1N34A	2 ตัว

รายการอุปกรณ์ของวงจรนับความถี่

ตัวความต้านทาน ขนาด 1/4 W $\pm$ 1 %

R_1 R_{18} R_{19} - 10KΩ	3 ตัว
R_2 R_{16} - 1MΩ	2 ตัว
R_3 - R_5 R_{10} - 1KΩ	4 ตัว
R_6 - R_9 R_{12} R_{13} - 470Ω	16 ตัว
R_{11} - 180Ω	1 ตัว
R_{14} - 100Ω	1 ตัว
R_{15} - 12Ω	1 ตัว
R_{17} - 4.7 KΩ	1 ตัว
R20 - 47Ω	1 ตัว
R21 - 220Ω	1 ตัว
R22 - 150Ω	1 ตัว
R23 - 2.2KΩ	1 ตัว
R24 - 330Ω	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R25 - 15Ω	1 ตัว
VR1 - 5KΩ ชนิดเกือกม้าแบบนอน	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C_1,C_5 - C_8,C_{11} - C_{15},C_{21},C_{22}	
0.1μF 63 V โพลีเอสเตอร์	12 ตัว
C_2 - 150 pF 50 V เซรามิก	1 ตัว
C_3,C_4 - 10μF 16 V อิเล็กทรอไลท์	2 ตัว
C_9 - 68 pF 50V เซรามิก	1 ตัว
C_{10} - 47 pF 50 V เซรามิก	1 ตัว
C_{18} - C_{20} -0.001μF 63 V โพลีเอสเตอร์	3 ตัว
VC_1 ทริมเมอร์ 2-22 pF	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

D_1,D_2,D_{17},D_{18} - BAT8 หรือ 1N4148	4 ตัว
D_3 - D_6,D_{15},D_{16},D_{19},D_{20} - 1N4148	8 ตัว
Q_1 - 2N5485	1 ตัว
Q_2 - Q_4 - BF324	3 ตัว
IC_1 - MC10116	1 ตัว
IC_2 - IC_5 - 74HC390	4 ตัว
IC_6,IC_{10} - 74HC00	2 ตัว
IC_7 - 74HC74	1 ตัว
IC_8 - 74HC08	1 ตัว
IC_{12} - SP4632	1 ตัว
IC_{13},IC_{14} - 74HC393	2 ตัว
X - TAL_1, - คริสตอล 2.000 MHz	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ภาคดิจิตอลโวลต์มิเตอร์

ตัวความต้านทาน 1/4 W $\pm$ 5%

R_1 - 470 KΩ	1 ตัว
R_2 R_8 - 100 KΩ	2 ตัว
R_3 - 15 KΩ	1 ตัว
R_7 - 1 MΩ	1 ตัว
R_4-R_6 - 470 Ω	3 ตัว
R_9 - 1MΩ	1 ตัว

ตัวความต้านทานปรับค่าได้

VR_1 - 10 KΩ ชนิดเกือกม้า แบบนอนขนาดกลาง	1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C_1 - 0.22μF 50 V โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
C_2 - 0.047μF 50 V โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
C_3 - 100pF 50 V โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
C_4 - 0.01μF 50 V โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
C_5 - 0.1μF 50 V โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
C_6,C_7 - 220μF 16 V อิเล็กทรอไลต์	2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

D_1-D_2 - ไดโอเบอร์ 1N4148	2 ตัว
D_3-D_6 - ไดโอดเบอร์ 1N4001	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSP_1-DSP_4 - LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบ
แอโนดร่วมที่มีขาร่วม
อยู่กลางความสูง 3/4 นิ้ว 4 ตัว

IC_1 - เบอร์ ICL7107 1 ตัว

IC_2 - ไอซีเรกกูเลเตอร์ 7805 1 ตัว

IC_3 - ไอซีเรกกูเลเตอร์ 7905 1 ตัว

รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงผล

ตัวความต้านทานขนาด 1/4 w +-1%

R_1 - R_{17} - 47Ω 17 ตัว

R_{18} R_{20} - 470Ω 2 ตัว

R_{19} - 10KΩ 1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C_1,C_2 - 0.1μF 63 V โพลีเอสเตอร์ 2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

D_1 - 1N4148 1 ตัว

LED_1,LED_2 - LED สีแดง 2 ตัว

DSP_1 - DSP_7 - เซเว่นเซกเมนต์คอมมอนแคโทด 2 ตัว

Q_1 - Q_4,Q_6 - Q_8 - BC338 7 ตัว

Q_5 - BC558 1 ตัว

IC_1,IC_2 - 74C926 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ของภาคแหล่งจ่ายไฟ

ตัวเก็บประจุ

C_1,C_2 - 2200μF 50V อิเล็กโทรไลท์ 2 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

D_1 - D_4 - 1N4001 4 ตัว

IC_1 - 7805CT 1 ตัว

หม้อแปลงไฟฟ้า

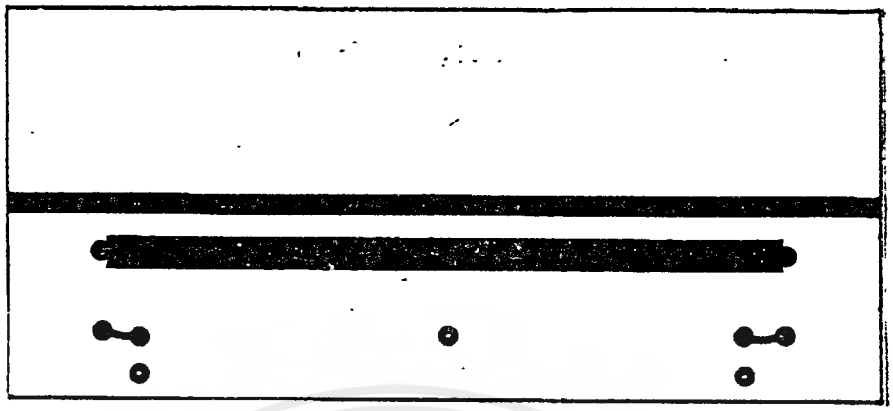
T_1 - 220 : 0 - 9VAC 1A 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

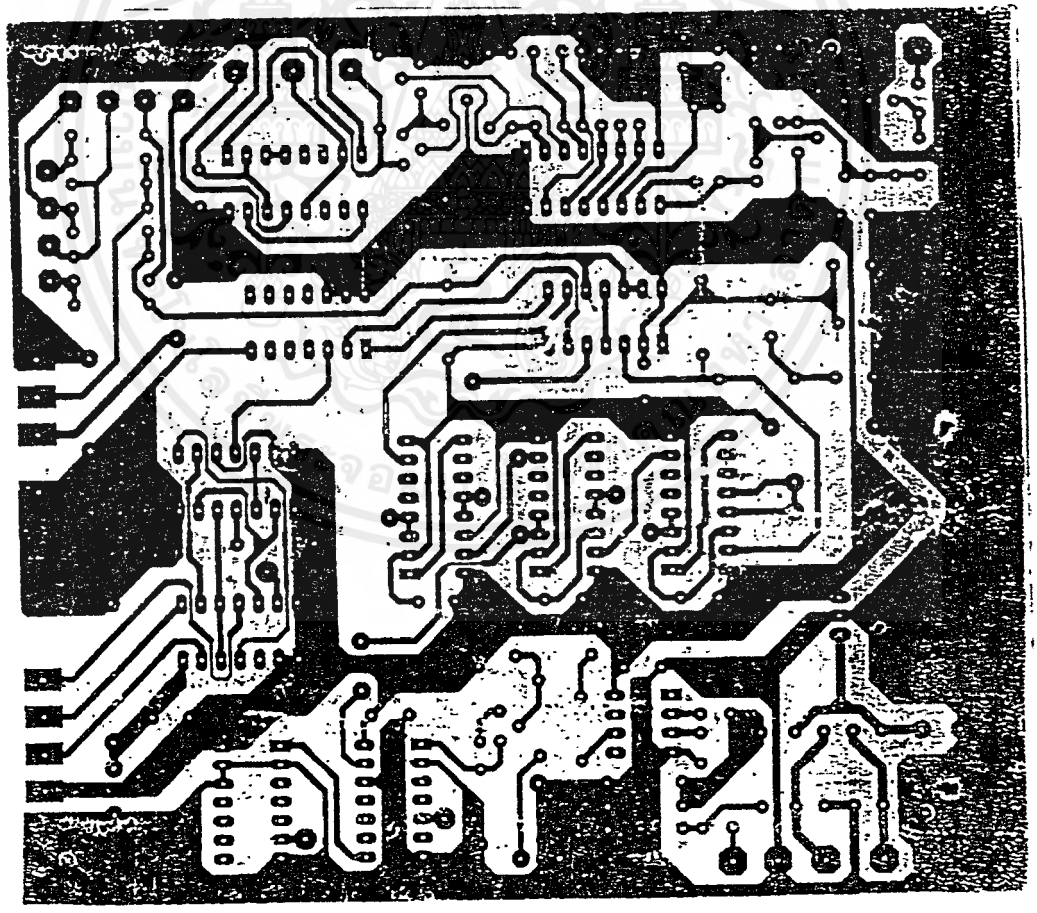
ภาคผนวก ข

ลายวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

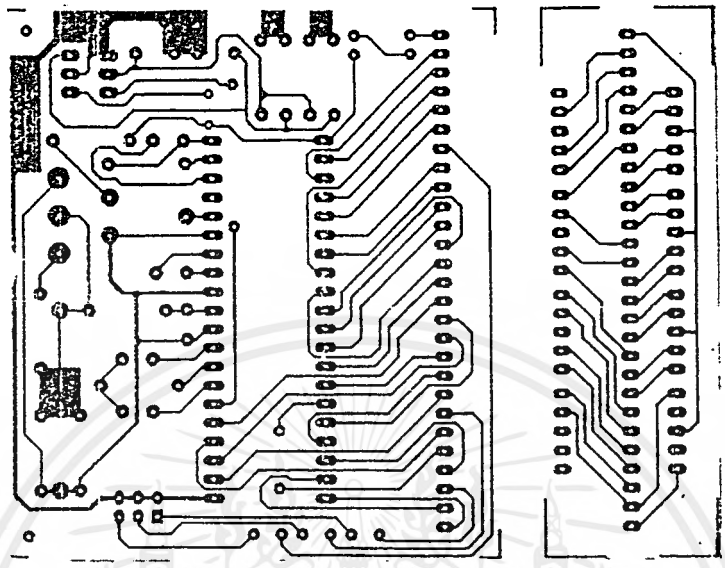


ลายวงจรพิมพ์ของวงจรวัดกำลังวิทยุสื่อสาร

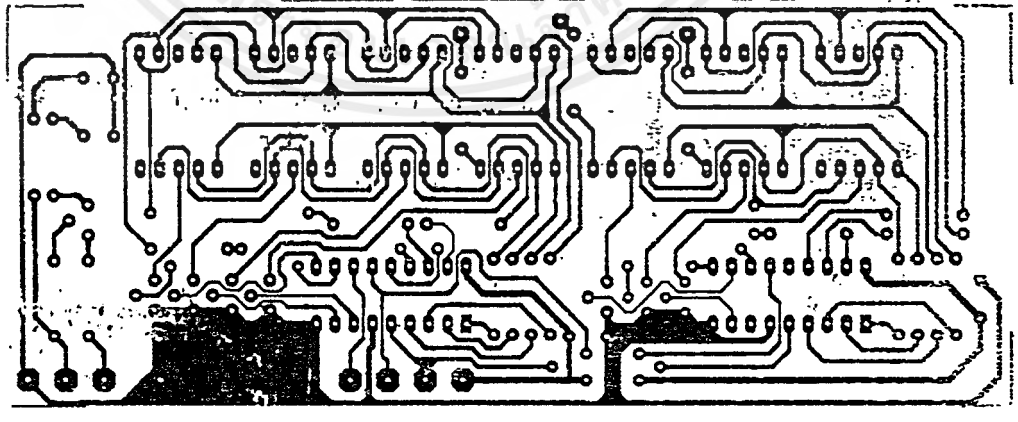


ลายวงจรพิมพ์ของวงจรนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลายวงพิมพ์ของภาคดิจิตอลโวลต์มิเตอร์



ลายวงพิมพ์ของภาคแสดงผลแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายนันทวัฒน์ ภูมิวรรณา
วันเดือนปีเกิด	15 พฤศจิกายน 2516
สถานที่เกิด	จังหวัดลำพูน
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดลำพูน
ที่อยู่ปัจจุบัน	52 หมู่ที่2 ตำบลริมปิง อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน 51000
โทรศัพท์	053-500473

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนตำบลริมปิงธนัญชัยราษฎร์วิทยา
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนจักรคำคณาทร ลำพูน
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคลำพูน
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคลำพูน
ปริญญาตรี	สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	ทำดีได้ดี ทำชั่วได้ชั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายนิพัฒน์ มีสมอรรถ
วันเดือนปีเกิด	9 กุมภาพันธ์ 2518
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดสุพรรณบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	20 หมู่ที่1 ตำบลทับตีเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72000
โทรศัพท์	035-587365

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนตำบลสุพรรณภูมิ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	เป็นตัวของตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นายภูสิทธิ์ สมสองค์
วันเดือนปีเกิด	19 พฤศจิกายน 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดยโสธร
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดยโสธร
ที่อยู่ปัจจุบัน	43 หมู่ที่1 ตำบลบากเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร 35130
โทรศัพท์	045-711165
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านบากเรือ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนชุมพวงศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา
ปริญญาตรี	สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
คติพจน์	กระบี่ดี ย่อมคู่กับมือกระบี่ที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1) ฐิติวัฒน์ อาภาศิริโรจน์, "วารสาร HOBBY ELECTRONICS ฉบับที่ 59", ส.เอเชียเพรส, กรุงเทพฯ,2539
2) ทนง โชติสรยุทธิ์, "CQ CQ CQ" สำนักพมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น,ก ทพฯม2532
3) บรรเจิด ต้นติกัลยาภรณ์, "เครื่องรับส่ง เล่ม 6",2526
4) บรรเจิด ต้นติกัลยาภรณ์, "เครื่องรับส่ง เล่ม 8",2526
5) เศกสิทธิ์ คำชมภู, "วารสารเซมิคอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 147" ,2538
6) สุชาติ กังวารจิตต์, "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบสื่อสาร" ,หจก.เอช-เอน การพิมพ์, กรุงเทพฯ,2532
7) สุนันต์ แสงโพธิ์และสุทิน รัตนากร, "เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์",หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซนเตอร์,กรุงเทพฯ,2528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้