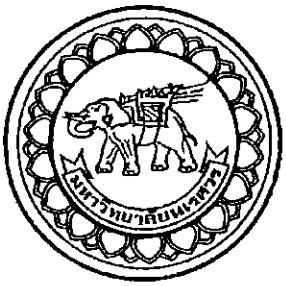


การศึกษาคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟและวัดคลื่นรั่วไหลจากตู้อบไมโครเวฟ

A Study of Microwave Characteristics and Microwave-Leakage Measurement from The Microwave Oven

นาย นภดนย์ ตำนานทอง รหัส 45362852

นาย วีรวัฒน์ อ่อนแก้ว รหัส 45363124

นาย สุวิทย์ ทองปิ่น รหัส 45363199

I 50807 82 e.1

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่รับ 15 พ.ย. 2549

เลขทะเบียน 49001 63

เลขเรียกหนังสือ ปร. นพก 2548

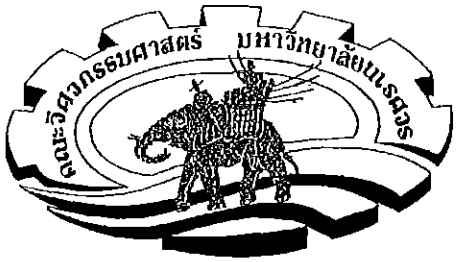
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2548



ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน การศึกษาคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟและวัดคลื่นรั่วไหลจากตู้อบไมโครเวฟ

ผู้ดำเนินโครงงาน นาย นภดนย์ ดำนานทอง รหัส 45362852
นาย วีรวัฒน์ อ่อนแก้ว รหัส 45363124
นาย สุวิทย์ ทองปิ่น รหัส 45363199

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง

สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2548

.....

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง)

.....กรรมการ
(อ.แสงชัย มังกรทอง)

.....กรรมการ
(อ.ปิยดนัย ภาชนะพรรณ์)

หัวข้อโครงงาน	การศึกษาคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟและวัดคลื่นรั่วไหลจากตู้อบไมโครเวฟ
ผู้ดำเนินโครงงาน	นาย นภดนย์ ตำนานทอง รหัส 45362852
	นาย วีรวัฒน์ อ่อนแก้ว รหัส 45363124
	นาย สุวิทย์ ทองปิ่น รหัส 45363199
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง
สาขา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2548

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของคลื่นไมโครเวฟจากตู้ไมโครเวฟและได้หาวิธีการต่างๆเพื่อทำการทดลองสร้างเครื่องตรวจจับวัดคลื่นไมโครเวฟรั่วไหลจากตู้ไมโครเวฟโดยตั้งสมมุติฐาน ทำการทดลองและสรุปผลหลายวิธีเพื่อให้ได้ข้อมูล เพื่อทำเป็นกรณีศึกษา

Project Title	A Study of Microwave Characteristics and Microwave-Leakage Measurement from The Microwave Oven
Name	Mr. Napadon Tumnantong ID 45362852
	Mr. Weerawat Onkaew ID 45363124
	Mr. Suwit Thongpin ID 45363199
Project Advisor	Assistant Professor Yongyut Chonbodeechalermroong
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Acadamic Year	2005

ABSTRACT

This project is to study various characteristics of microwave from the microwave oven and to find the way to create a microwave-leakage detector by means of scientific study in order to achieve information for a case study

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 แผนดารดำเนินงาน	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 งบประมาณที่ใช้	4
บทที่ 2 ทฤษฎีคลื่นไมโครเวฟ	
2.1 ที่มาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5
2.2 คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	9
2.3 คลื่นไมโครเวฟ	9
2.4 ประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ	11
2.5 เตาไมโครเวฟ	14
2.6 การทำงานของเตาไมโครเวฟ	15
2.7 การทำงานของหลอดแมกนีตรอนภายในเตาไมโครเวฟ	19
2.8 ประโยชน์และอันตรายจากเตาไมโครเวฟ	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ออกแบบการทดลองและทำการทดลอง	
3.1 การใช้สตาร์ทเตอร์	23
3.2 การใช้สารเฟอร์ไรต์	24
3.3 การใช้ขดลวดโซลินอยด์	25
3.4 การใช้ไอซี MAX2015	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลองโดยใช้สตาร์ทเตอร์	33
4.2 ผลการทดลองโดยใช้สารเฟอร์ไรต์	36
4.3 ผลการทดลองโดยใช้ขดลวดโซลินอยด์	36
4.4 ผลการทดลองโดยใช้ไอซี MAX2015	38
บทที่ 5 สรุปผลและวิเคราะห์โครงงาน	
5.1 สรุปผลการทดลอง	64
5.2 ปัญหาที่พบในการทำการทดลอง	65
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	65
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	68
ประวัติผู้เขียนโครงงาน	79

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินการ	3
2.1	การแบ่งช่วงความถี่	7
2.2	การแบ่งช่วงความถี่ในย่านไมโครเวฟ	8
2.3	ความเป็นมาของการค้นพบและการใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	8
2.4	ความหนาแน่นของกำลังในแต่ละย่านความถี่	13
3.1	รายละเอียดในแต่ละขาของไอซี MAX2015	30
3.2	ส่วนประกอบของวงจรตัวอย่าง	32
4.1	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟ	44
5.1	ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองวิธีต่างๆ	65

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงความยาวคลื่นของคลื่นไมโครเวฟความยาวคลื่นประมาณ 12 เซนติเมตร หรือความถี่ 2.45 GHz	10
2.2	แสดงส่วนประกอบภายนอกของเตาไมโครเวฟ	14.
2.3	แสดงเตาไมโครเวฟขณะปรุงอาหาร	15
2.4	แสดงอาหารต่างๆที่อุดมไปด้วยน้ำมากกว่า 70 %	16
2.5	โมเลกุลของน้ำหนึ่งโมเลกุล	17
2.6	การสั่นของโมเลกุลน้ำ	18
2.7	จานหมุนในเตาไมโครเวฟเพื่อให้ความร้อนสม่ำเสมอ	19
2.8	แมกนีตรอน	20
2.9	ภาพตัดขวางของแมกนีตรอน	20
3.1	สตาร์ทเตอร์และส่วนประกอบ	23
3.2	การเหนี่ยวนำตามกฎของฟาราเดย์	26
3.3	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	27
3.4	โครงสร้างการทำงานของ MAX2015	29
3.5	ตัวอย่างวงจรในโหมด Detector ของ MAX2015	32
4.1	นำสตาร์ทเตอร์ไปวางในตู้ไมโครเวฟ	33
4.2	สตาร์ทเตอร์ในตู้ไมโครเวฟเปล่งแสงสีน้ำเงินเมื่อรับคลื่นไมโครเวฟ	34
4.3	แสงที่ออกจากสตาร์ทเตอร์เปลี่ยนเป็นสีส้ม	34
4.4	แสงที่ออกจากสตาร์ทเตอร์เปลี่ยนเป็นสีเหลือง	35
4.5	แสงที่ออกจากสตาร์ทเตอร์เปลี่ยนเป็นสีแดง	35
4.6	แสงที่ออกจากสตาร์ทเตอร์เปลี่ยนเป็นสีเขียวอมฟ้า	36
4.7	นำสตาร์ทเตอร์ไปวางนอกตู้ไมโครเวฟ	36
4.8	ขดลวดโซลินอยด์ที่มีจำนวน 480 รอบ	37
4.9	รูป ก,ข และ ค แสดงผลแรงดันที่ได้จากขดลวดโซลินอยด์	38
4.10	วงจรที่ใช้ตรวจจับ	39
4.11	รูปวงจรตรวจจับที่ต่อจากรูป 4.10	40
4.12	สัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากวงจรตรวจจับ	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	รูปวงจรตรวจจับเมื่อต่อฟิลเตอร์และบัฟเฟอร์	41
4.14	สัญญาณเอาท์พุตที่ได้หลังจากการต่อฟิวเตอร์และบัฟเฟอร์	41
4.15	วงจรตรวจจับที่ต่อเข้ากับตัวประมวลผลเพื่อแสดงค่าที่จอ LCD	42
4.16	สัญญาณเอาท์พุตขณะที่เปิดตู้ไมโครเวฟ	43
4.17	การแสดงผลของเครื่องตรวจวัดคลื่นไมโครเวฟ	43
4.18	กราฟความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟด้านหน้า	44
4.19	กราฟความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟด้านหลัง	45
4.20	กราฟความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟด้านซ้าย	45
4.21	กราฟความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟด้านขวา	46
4.22	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 10 cm ด้านหน้า	46
4.23	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 10 cm ด้านขวา	47
4.24	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 10 cm ด้านหลัง	47
4.25	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 10 cm ด้านซ้าย	48
4.26	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.0 m ด้านหน้า	48
4.27	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.0 m ด้านขวา	49
4.28	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.0 m ด้านหลัง	49
4.29	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.0 m ด้านซ้าย	50
4.30	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.5 m ด้านหน้า	50
4.31	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.5 m ด้านขวา	51
4.32	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.5 m ด้านหลัง	51
4.33	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.5 m ด้านซ้าย	52
4.34	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.0 m ด้านหน้า	52
4.35	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.0 m ด้านขวา	53
4.36	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.0 m ด้านหลัง	53
4.37	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.0 m ด้านซ้าย	54
4.38	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.5 m ด้านหน้า	54
4.39	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.5 m ด้านขวา	55
4.40	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.5 m ด้านหลัง	55

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.41	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.5 m ด้านซ้าย	56
4.42	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.0 m ด้านหน้า	56
4.43	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.0 m ด้านขวา	57
4.44	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.0 m ด้านหลัง	57
4.45	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.0 m ด้านซ้าย	58
4.46	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.5 m ด้านหน้า	58
4.47	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.5 m ด้านขวา	59
4.48	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.5 m ด้านหลัง	59
4.49	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.5 m ด้านซ้าย	60
4.50	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 4.0 m ด้านหน้า	60
4.51	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 4.0 m ด้านขวา	61
4.52	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 4.0 m ด้านหลัง	61
4.53	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 4.0 m ด้านซ้าย	62
4.54	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 5.0 m ด้านหน้า	62
4.55	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 5.0 m ด้านขวา	63
4.56	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 5.0 m ด้านหลัง	63
4.57	พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 5.0 m ด้านซ้าย	64

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีมากมายที่อำนวยความสะดวกในการดำรงชีวิต เตาอบไมโครเวฟก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ อำนวยความสะดวกในการปรุงอาหาร แต่เตาอบไมโครเวฟหากใช้เป็นเวลานานก็อาจทำให้เกิดการรั่วไหลขึ้นได้ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ตู้ไมโครเวฟได้ ในปัจจุบันการวิจัยไมโครเวฟเป็นที่แพร่หลาย มากขึ้น เพื่อนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด เป็นธรรมดาของธรรมชาติเมื่อมีประโยชน์มากก็ย่อมมีโทษมากเช่นกัน เตาไมโครเวฟนั้นเมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง ก็จะมีคลื่นไมโครเวฟรั่วไหลออกมาภายนอก และถ้าคลื่นไมโครเวฟรั่วออกมามากก็จะทำให้เกิดอันตรายอย่างมาก เราจึงทำการศึกษาคลื่นไมโครเวฟและหาวิธีตรวจวัดคลื่นไมโครเวฟที่รั่วออกมา เพื่อหาระดับความเข้มของคลื่นไมโครเวฟที่รั่วออกมาจากตู้ไมโครเวฟว่าเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานหรือไม่ การศึกษาคุณสมบัติและการตรวจวัดคลื่นไมโครเวฟที่รั่วออกมาจากตู้ไมโครเวฟนี้ อาจเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ใช้เตาไมโครเวฟและเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่จะศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการวัดคลื่นที่รั่วออกจากเตาไมโครเวฟ และอาจนำไปพัฒนาต่อเพื่อ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟที่เกิดจากตู้ไมโครเวฟ

1.2.2 เพื่อศึกษาการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟเพื่อทำเป็นกรณีศึกษา

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

1.3.2 ทำการทดลองวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟจากตู้ไมโครเวฟ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโทษและอันตรายของการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ

1.4.2 ไปดูงานที่ศูนย์ PTEC

1.4.3 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีของคลื่นไมโครเวฟและทฤษฎีที่จะนำมาใช้วัดปริมาณการรั่วไหล

1.4.4 ตั้งสมมุติฐานและออกแบบการการทดลองการวัดคลื่นไมโครเวฟ

1.4.5 ทดลองวัดปริมาณการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟด้วยเครื่องSPECTRUMANALYZER

1.4.6 ออกแบบการทดลองและทำการทดลองวัดคลื่นไมโครเวฟที่รั่วไหลตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

1.4.7 สรุปผลการทำงานและจัดทำรูปเล่มของโครงงาน

1.5 แผนการดำเนิน

ตาราง 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2547		ปี 2548								
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโทษและอันตรายของการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ	●	●									
2 ไปดูงานที่ศูนย์ PTEC		●									
3. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีของคลื่นไมโครเวฟและ			●	●							
ทฤษฎีที่จะนำมาใช้วัดปริมาณการรั่วไหล											
4. ตั้งสมมุติฐานและออกแบบการการทดลองการวัดคลื่นไมโครเวฟ				●			●				
5. ทดลองวัดปริมาณการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟด้วยเครื่อง SPECTRUMANALYZER								●			
6. ออกแบบการทดลองและทำการทดลองวัดคลื่นไมโครเวฟที่รั่วไหลตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้									●	●	
7. สรุปผลการทำงานและจัดทำรูปเล่มของโครงงาน											●

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เข้าใจคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

1.6.2 ทราบอันตรายจากการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ

1.6.3 ตรวจวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟได้

1.7 งบประมาณของโครงงาน

1.7.1 ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มรายงาน	1000 บาท
1.7.2 ค่าอุปกรณ์ในการทดลอง	2000 บาท
รวมเป็นเงิน	3000 บาท(สามพันบาทถ้วน)

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
ทฤษฎีคลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ (Microwave) เป็นชื่อเรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่มนช่วง 1 GHz ถึง 40 GHz ซึ่งจัดเป็นความถี่ที่สูงมาก หลังสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมา เทคโนโลยีด้านไมโครเวฟได้เข้ามีบทบาทในสังคมมนุษย์มากขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะในระบบสื่อสารโทรคมนาคม ไมโครเวฟจัดว่าเป็นคลื่นวิทยุที่มีความสำคัญสูงสุด ในปัจจุบันในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาของการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะเฉพาะและประโยชน์ของไมโครเวฟของไมโครเวฟ วิวัฒนาการของเทคโนโลยีด้านไมโครเวฟจากอดีตถึงปัจจุบัน และระบบหลักๆของไมโครเวฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.1 ความเป็นมาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

นับตั้งแต่ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้ค้นพบทฤษฎีเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้าในปี พ.ศ.2374 และเจมส์ คลาร์ก แมกเวลล์ (James Clark Maxwell) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้ประกาศทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อ พ.ศ.2397 โดยแมกซ์เวลล์ได้เสนอแนวคิดของกระแสดิสเพลซเมนต์เข้ามาทำให้สามารถอธิบายการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ซึ่งหมายถึงสามารถส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้ และแมกเวลล์ได้เสนอสมการที่ได้จากการศึกษาดังนี้

สมการแมกเวลล์

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (2.1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \qquad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \qquad (2.4)$$

ในที่นี้ $\vec{E}$ เป็นความเข้มของสนามไฟฟ้า มีหน่วยเป็น [V/m]

$\vec{H}$ เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น [AT/m]

$\vec{D}$ เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น [C/m^2]

$\vec{B}$ เป็นความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น [Wb/m^2]

$\vec{J}$ เป็นกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น [A/m^2]

และ ρ เป็นประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น [C/m^3]

หลังจากนั้นนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยพัฒนาก็ได้พยายามศึกษาคุณสมบัติการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในเงื่อนไขต่าง เช่น การส่งผ่านไปยังชั้นบรรยากาศของโลก การส่งผ่านไปยังวัสดุประเภทต่างๆ เป็นต้น ในขณะเดียวกันก็พยายามนำความรู้และปรากฏการณ์ต่างๆที่ค้นพบมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของมนุษย์ งานประยุกต์สาขาหนึ่งที่สามารถนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ก็คือ การสื่อสารโทรคมนาคม และในบรรดานักวิทยาศาสตร์ที่สร้างผลงานที่มีผลต่อการสื่อสารโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอย่างสูงก็คือ ไฮน์ริค รูดอล์ฟ เฮิรตซ์ (Heinrich Rudolph Hertz) เพราะเฮิรตซ์เป็นคนทำการทดลองและพิสูจน์ทฤษฎีของแมกเวลล์ เป็นผลสำเร็จโดยเฮิรตซ์ได้ทำการสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีจริงในเชิงกายภาพ นอกจากนั้นเฮิรตซ์ยังได้ทำการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีการแทรกสอด (interference) การสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) เกิดขึ้น คุณสมบัติเหล่านี้ล้วนเป็นการยืนยันคุณสมบัติที่เป็นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามการทดลองของเฮิรตซ์นั้นทำในปี 2422 ซึ่งเป็นเวลา 25 ปีหลังจากที่แมกเวลล์ได้ประกาศทฤษฎีไปแล้ว

การทดลองของเฮิรตซ์ดังกล่าวข้างต้นนับเป็น-แรงกระตุ้นสำคัญที่ทำให้นักวิจัยและพัฒนาสนใจที่จะนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ และจากคุณสมบัติที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วมาก คือ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.993×10^8 m/s จึงทำให้มีความสนใจที่จะนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะด้านการสื่อสาร อันที่จริงการสื่อสารโดยใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปตามลวดทองแดงนั้น ได้เริ่มต้นขึ้นในช่วงใกล้เคียงกับการประกาศทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกเวลล์ ซึ่งหมายถึงในช่วงเวลานั้นก็ได้มี ชิ้นส่วนวงจรและอุปกรณ์สื่อสารเกิดขึ้นแล้วถึงแม้ในช่วงนั้นจะใช้วิธีส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์ (baseband transmission) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เนื่องจากวิธีส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์มีความสามารถจำกัดมาก กล่าวคือจะไม่สามารถส่งสัญญาณหลายๆสัญญาณผ่านไปตามสายเดียวกันได้ จึงทำให้เกิดความจำเป็นที่ต้องพัฒนาเทคนิคใน

การมัลติเพลกซ์สัญญาณเชิงความถี่ซึ่งหมายถึงต้องใช้แหล่งกำเนิดความถี่สูงขึ้น ในขณะเดียวกันการสื่อสารโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผ่านไปในบรรยากาศนั้นก็จำเป็นต้องใช้สายอากาศซึ่งสายอากาศจะทำงานได้ดีก็ต่อเมื่อขนาดของสายอากาศมีค่าประมาณครึ่งความยาวคลื่นหรือมากกว่าขึ้นไป ความถี่ที่ใช้จึงต้องสูงด้วย จะเห็นได้ว่าความต้องการจากการสื่อสารตามสายและการสื่อสารโดยใช้คลื่นนั้นสอดคล้องกัน จึงได้ทำให้เกิดการพัฒนาเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูงขึ้นตามลำดับ ในขณะเดียวกันก็ได้มีการพัฒนาชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆไปพร้อมกันด้วย

ตารางที่ 2.1 แสดงการแบ่งช่วงความถี่ที่ใช้เป็นมาตรฐานสากลอยู่ในขณะนี้ สำหรับตารางที่ 2.2 นั้นเป็นการแบ่งช่วงความถี่ในย่านความถี่ไมโครเวฟซึ่งมีชื่อเรียกใหม่กำกับอยู่ ถึงแม้จะมีการกำหนดชื่อเรียกใหม่ให้เป็นระบบที่ดีขึ้น แต่ด้วยความคุ้นเคยเดิมที่ยังมีอยู่ชื่อเรียกเก่าก็ยังคงใช้เรียกกันปกติอยู่

ตารางที่ 2.1 การแบ่งช่วงความถี่

ย่านความถี่	ชื่อเรียก
3 - 30 kHz	Very low frequency (VLF)
30 - 300 kHz	Low frequency (LF)
300 - 3000 kHz	Medium frequency (MF)
3 – 30 MHz	High frequency (HF)
30 – 300 MHz	Very-high frequency (VHF)
300 – 3000 MHz	Ultra-high frequency (UHF)
3 – 30 GHz	Super-high frequency (SHF)
30 – 300 GHz	Extremely-high frequency (EHF)

ตารางที่ 2.2 การแบ่งช่วงความถี่ในย่านไมโครเวฟ

ช่วงความถี่	ชื่อเรียกเก่า	ชื่อเรียกใหม่
1 – 2 GHz	L	D
2 – 3 GHz	S	E
3 – 4 GHz	S	F
4 – 6 GHz	C	G
6 – 8 GHz	C	H
8 – 10 GHz	X	I
10 – 12.4 GHz	X	J
12.4 – 18 GHz	Ku	J
18 – 20 GHz	K	J
20 – 26.5 GHz	K	K
26.5 – 40 GHz	Ka	K

ตารางที่ 2.3 ความเป็นมาของการค้นพบและการใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ปี พ.ศ.	การค้นพบหรือการใช้งาน
2363	การค้นพบของแอมแปร์เกี่ยวกับอำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวด
2384	ฟาราเดย์ค้นพบทฤษฎีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า
2391	มอร์สเริ่มส่งโทรเลขด้วยสัญญาณไฟฟ้าโดยส่งผ่านไปตามลวดตัวนำ
2407	แมกเวลล์รวบรวมทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของชุดสมการแมกเวลล์
2413	เบลล์ประดิษฐ์เครื่องโทรศัพท์ได้สำเร็จ
2431	เฮิรตซ์ทำการทดลองพิสูจน์ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าตามที่แมกเวลล์ได้เสนอไว้
2438	มาร์โคนีประสบความสำเร็จในการส่งสัญญาณโทรเลขโดยใช้คลื่นวิทยุ
2444	มาร์โคนีประสบความสำเร็จในการส่งคลื่นวิทยุเข้ามหาสมุทรแอตแลนติก
2449	ดี ฟอเรสต์ (de Forest) ประดิษฐ์หลอด สามขา
2463	เริ่มตั้งสถานีวิทยุกระจายเสียง AM ในสหรัฐอเมริกา
2468	เริ่มใช้วิทยุคลื่นสั้นในการสื่อสารระหว่างประเทศ (ยุโรปกับอเมริกา)

ปี พ.ศ.	การค้นพบหรือการใช้งาน
2469	ศาสตราจารย์ ยากิ เสนอสายอากาศยากิ
2484	เริ่มตั้งสถานีวิทยุโทรทัศน์ในสหรัฐอเมริกา
2489	คอมปฟ์เนอร์ (Kompfner) ประดิษฐ์หลอดคลื่นจร (traveling Wave tube)
2490	เริ่มใช้คลื่นไมโครเวฟในการสื่อสารบนภาคพื้นดิน
2491	บาร์ดีนและแบรดเทน (Bardeen and Brattain) คิดค้นทรานซิสเตอร์เป็นผลสำเร็จ
2493	อเมริกาคิดค้นโทรทัศน์สีเป็นผลสำเร็จ
2503	เริ่มใช้คลื่น EHF ในการสื่อสาร
2505	เริ่มใช้ดาวเทียมสื่อสาร
2521	เริ่มใช้ความถี่ย่านอินฟาเรดในการสื่อสาร

2.2 สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่

2. อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดในสุญญากาศเท่ากับ $3x10^8$ m/s ซึ่งเท่ากับ อัตราเร็วของแสง

3. เป็นคลื่นตามขวาง

4. ถ่ายเทพลังงานจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง

5. ถูกปล่อยออกมาและถูกดูดกลืนได้โดยสสาร

6. ไม่มีประจุไฟฟ้า

7. คลื่นสามารถแทรกสอด สะท้อน หักเห และเลี้ยวเบนได้

2.3 คลื่นไมโครเวฟ

ลักษณะทั่วไปของของคลื่นไมโครเวฟ

1. คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับ แสงสว่าง คลื่นวิทยุ คลื่นทีวี และคลื่นเรดาร์ เป็นต้น ข้อนี้แตกต่างกับคลื่นในน้ำ คลื่นน้ำต้องมีน้ำเป็นพาหนะ ส่วนคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางในการเคลื่อนที่

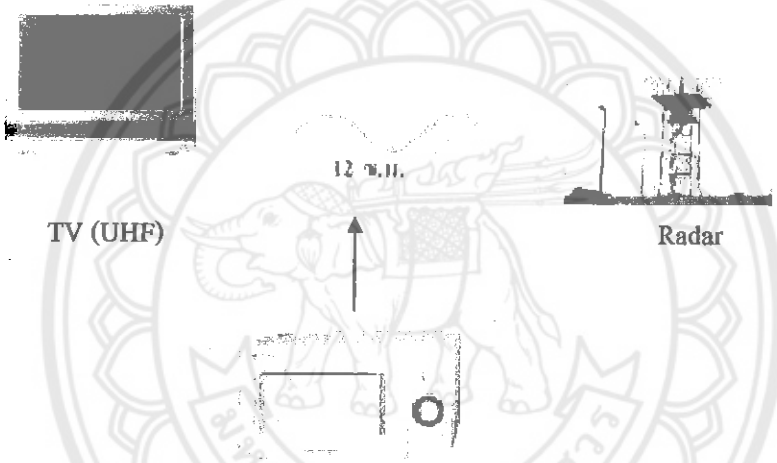
2. คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นตามขวาง มีความถี่อยู่ในช่วง 10^8 – 10^{12} Hz มีความยาวคลื่นประมาณ 1 เมตร ถึง 1 เซนติเมตร ไม่มีประจุไฟฟ้า มีความเร็วเท่ากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วๆไป คือ $3x10^8$ m/s

3.คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านสิ่งของต่างๆได้ ยกเว้น โลหะ และคลื่นไมโครเวฟยังสามารถถูกดูดกลืนได้โดยโมเลกุลของสสารต่างได้ดี

4.คลื่นไมโครเวฟมีความสามารถในการสะท้อน แทรกสอด หักเห และเลี้ยวเบนได้ ไม่ต่างกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ

2.3.1 คลื่นไมโครเวฟในตู้อบไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟ ไม่ได้ใช้ตลอดย่านความยาวคลื่นตั้งแต่ 1 เมตรจนถึง 1 เซนติเมตร หากแต่ใช้เฉพาะความยาวคลื่นประมาณ 12.20 เซนติเมตร เท่านั้น



เตาไมโครเวฟ

รูปที่ 2.1 แสดงความยาวคลื่นของคลื่นไมโครเวฟความยาวคลื่นประมาณ 12 เซนติเมตร หรือความถี่ 2.45 GHz

ปัจจุบันจะเห็นว่าไมโครเวฟนั้นถูกใช้ในหลายกิจการ เช่น TV ช่อง (UHF) ที่มีความถี่อยู่เลยช่อง 11 ของกรมประชาสัมพันธ์ขึ้นไปที่เรียกว่า คลื่น UHF นอกจากนั้นเครื่องเรดาร์ก็ใช้ไมโครเวฟด้วย

สำหรับเตาไมโครเวฟนั้นใช้ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งมีความถี่ประมาณ 12.20 เซนติเมตร โดยประมาณ

ความถี่ 2.45 GHz (กิกกะเฮิรตซ์) หมายความว่า ในช่วงเวลา 1 วินาที หลอดแมกนีตรอนจะต้องผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ยอดความถี่ห่างกัน 12 เซนติเมตร วิ่งต่อกันออกมาได้ถึง 2,450 ล้านลูก หรือ 2,450,000,000 ลูกใน 1 วินาที คลื่นไมโครเวฟในตู้นั้นแม้จะเป็นคลื่นไมโครเวฟเหมือนกัน แต่ก็มีคุณสมบัติแตกต่างกัน คลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการส่ง TV หรือ เรดาร์ เมื่อปะทะวัตถุไม่ว่าจะเป็น

วัตถุชนิดใดก็จะสะท้อนกลับ ฉะนั้นการตั้งเสาอากาศโทรทัศน์จึงต้องพยายามหันทิศทางของเสาอากาศให้พ้นเครื่องกีดขวาง เช่น ยอดตึก ยอดเขา เป็นต้น

คลื่นไมโครเวฟในตู้มีคุณสมบัติแตกต่างออกไปจาก UHF ,TV และ Radar ดังนี้

1. คลื่นไมโครเวฟของเตาอบไมโครเวฟจะผ่านวัตถุต่างๆได้หลายชนิด ยกเว้นโลหะ
2. คลื่นไมโครเวฟของเตาไมโครเวฟ ไม่ผ่านทะลุโลหะทุกชนิดเมื่อพบโลหะมันจะสะท้อนกลับไปมา ฉะนั้นตัวเตาไมโครเวฟ จึงทำด้วยโลหะ กระจกที่มองเห็นอาหารภายในเตาก็ต้องเป็นกระจกพิเศษที่ไม่ให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านออกมา
3. คลื่นไมโครเวฟของเตาไมโครเวฟ ผ่านของแข็งได้หลายชนิดดังกล่าวมาในข้อที่ 1 ฉะนั้นภาชนะที่ครอบอาหารที่ใส่ไว้ในเตาไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะทะลุลงไปทำให้อาหารสุกได้ ทั้งนี้มีข้อยกเว้น ภาชนะนั้นต้องไม่เป็นโลหะ หรือส่วนประกอบของโลหะดังที่กล่าวมาในข้อ 2 ภาชนะที่มีลายเงินลายทองก็ไม่ควรใช้เพราะ เงินทองเป็นโลหะ

2.4 ประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟนอกจากจะมีคุณสมบัติที่เคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วเพราะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ยังมีคุณสมบัติที่เด่นๆอีกหลายประการ จึงทำให้ไมโครเวฟถูกนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆมากมายหลายด้านด้วยกัน คุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่

1. การที่มีความถี่สูงกว่า 1 GHz ซึ่งหมายถึงมีความยาวคลื่นต่ำกว่า 30 cm ลงมา
2. ในย่านไมโครเวฟสัญญาณรบกวนที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) มีระดับต่ำเมื่อเทียบกับย่านความถี่ต่ำกว่า
3. โครงสร้างโมเลกุลของวัสดุหลายๆชนิดสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี

คุณสมบัติเด่นประการที่ 1 และประการที่ 2 นั้นนับว่ามีประโยชน์มากสำหรับการใช้งานทางด้านไฟฟ้าสื่อสารและระบบเรดาร์ (Radar) ในระบบเรดาร์นั้นเพื่อให้การตรวจจับมีความระเอียดและถูกต้องสูง เมนบีม (main beam) ของสายอากาศจำเป็นต้องมีบีมวิดท์ (beam width) ที่แคบมากๆ และเนื่องจากความกว้างของบีมวิดท์จะขึ้นอยู่กับสายอากาศเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น อย่างเช่น ในกรณีของสายอากาศแบบจานสะท้อนพาราโบลาบีมวิดท์จะประมาณค่าได้ในรูป $140^{o}/(D/\lambda_{o})$ โดยที่ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลา และ λ_{o} เป็นความยาวคลื่นที่ใช้ ในกรณีนี้สมมุติว่าเราต้องการค่าบีมวิดท์ต่ำกว่า 2^{o} ลงมาเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลาจะต้องเป็น $70\ \lambda_{o}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าความถี่ใช้งานอยู่ในย่าน VHF หรือ UHF ช่วงล่าง โอกาสที่จะสร้างจานขนาดใหญ่ขนาดนี้แล้วให้หมุนได้ด้วยนั้นเกือบเป็นไปไม่ได้ แต่ถ้าความถี่อยู่ในย่านไมโครเวฟซึ่งความยาวคลื่นสั้นลงมากก็จะ

สามารถสร้างสายอากาศที่มีคุณสมบัติที่ต้องการได้ อันที่จริงความต้องการที่จะสร้างระบบเรดาร์ให้มีความแม่นยำสูงนี่เองที่เป็นตัวกระตุ้นให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟอย่างจริงจังในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2

สำหรับการใช้งานทางด้านไฟฟ้าสื่อสารนั้นการที่ความถี่คลื่นพาห์สูงขึ้นจะทำให้มีแบนวิดท์สำหรับการส่งข่าวสารกว้างขึ้น เช่น ถ้าความถี่คลื่นพาห์เป็น 4 GHz และระบบมีแบนด์วิดท์ 5% ก็หมายถึงจะมีแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ 200 MHz ซึ่งเป็นแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก และไม่สามารถทำได้ถ้าใช้คลื่นพาห์ในย่าน VHF หรือ UHF ช่วงล่าง นอกจากนั้นการที่สัญญาณรบกวนที่มนุษย์สร้างขึ้นมีระดับต่ำก็หมายถึงระบบไมโครเวฟถูกรบกวนจากคลื่นที่ไม่ต้องการน้อย ทำให้ระบบไมโครเวฟมีคุณภาพดี และใช้กำลังส่งต่ำๆได้ ในขณะเดียวกันความไวของเครื่องรับก็ทำให้ดีขึ้นได้ซึ่งจะเห็นได้ชัดในระบบดาวเทียมสื่อสาร และการรับสัญญาณจากไมโครเวฟจากดวงอาทิตย์และดวงดาวต่างๆเพื่อศึกษาปรากฏการณ์บนดวงดาวนั้น

สำหรับคุณสมบัติที่ 3 คือการที่โมเลกุลของสารต่างๆสามารถดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้านด้วยกัน การใช้ประโยชน์ที่ใกล้ชิดที่สุดกับชีวิตประจำวันในสังคมปัจจุบันคือการทำเป็นเตาไมโครเวฟที่ใช้ในการอุ่นหรือปรุงอาหาร เตาไมโครเวฟจะอาศัยการกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนและเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนและทำให้อาหารสุกได้ ข้อดีของการให้ความร้อนแบบนี้คือความร้อนจะเกิดขึ้นในเนื้ออาหารและจะสุกทั่วถึงกันทั้งภายในและภายนอก ต่างจากการให้ความร้อนแบบธรรมดาซึ่งอาหารจะสุกจากภายนอกเข้าสู่ภายในลักษณะนี้ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ในทางการแพทย์ได้มากมาย นอกจากการใช้งานในลักษณะที่ทำให้เกิดความร้อนแล้วสามารถใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ธาตุและสารประกอบต่างๆ โดยอาศัยหลักการที่สารต่างๆดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่างกันในขณะเดียวกันก็สามารถใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำและแร่ธาตุต่างๆซึ่งนำไปใช้ในการทำชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ต่อไปได้

นอกจากการใช้งานที่กล่าวมาข้างต้นในปัจจุบันนี้ได้เกิดความพยายามที่จะส่งกำลังไฟฟ้าจากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียมที่ลอยอยู่ในอวกาศเหนือโดยใช้ไมโครเวฟ นั่นหมายถึงสถานีภาคพื้นดินต้องใช้จานสะท้อนขนาดใหญ่เพื่อบีบลำบีมของคลื่นไมโครเวฟให้พุ่งไปยังเป้าหมายที่ต้องการ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าไมโครเวฟถึงแม้จะถูกค้นพบและเริ่มใช้งานมานานพอสมควรแล้ว ปัจจุบันนี้ก็ยังมีบทบาทอย่างสูงสาขาต่างๆ โดยเฉพาะในงานด้านสื่อสารโทรคมนาคม

นอกจากนั้นยังมีการประดิษฐ์คิดค้นและการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆทางด้านไมโครเวฟซึ่งจะทำให้มีการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟมาขึ้นไปอีกในอนาคต

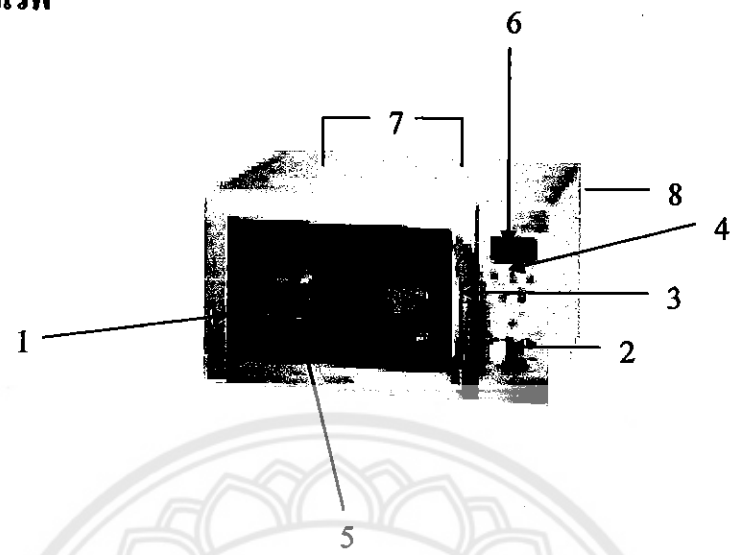
ดูเหมือนจะเป็นกฎเกณฑ์อย่างหนึ่งในสังคมมนุษย์ที่ว่าสิ่งใดที่ใช้ประโยชน์ได้มากมักมีอันตรายในตัวเอง ยกตัวอย่างเช่น แสงเลเซอร์กำลังสูงสามารถตัดแผ่นเหล็กได้ ก็จะมีอันตรายต่อร่างกายคนเรามาก ถ้าไปโดนเข้าโดยตรง โดยเฉพาะถ้าเอาตาไปเล็งแสงนั้นเข้าคลื่นไมโครเวฟถึงแม้ไม่มีความหนาแน่นของพลังงานสูงเท่าแสงเลเซอร์แต่ก็สามารถทำอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ได้โดยเฉพาะคลื่นไมโครเวฟที่ออกจากเรดาร์กำลังสูง ตารางที่ 2.4 แสดงตัวเลขของความหนาแน่นกำลังงานของคลื่นวิทยุความถี่ต่างๆ ที่ต้องควบคุมไว้เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์จากตารางจะเห็นได้ว่าในช่วงความถี่ 30-1500 MHz ความหนาแน่นกำลังงานจะต่ำ เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อและอวัยวะของร่างกายได้ง่าย ดังนั้นที่ทำงานเกี่ยวกับคลื่นวิทยุจึงควรระมัดระวังในเรื่องความปลอดภัยโดยหลีกเลี่ยงไม่อยู่ในที่ที่มีกำลังคลื่นสูง หรือหลีกเลี่ยงอันตรายจากคลื่นโดยทำงานในห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic shielded room)

ตารางที่ 2.4 ความหนาแน่นของกำลังในแต่ละย่านความถี่

ความถี่ (MHz)	ความหนาแน่นกำลัง (mW/cm^2)
0.3 – 3	100
3 – 30	$900/f^2$*
30 – 300	1.0
300 – 1,500	f*/300
1,500 – 100,000	5.0

* f คือความถี่มีหน่วยเป็น MHz

2.5 เตาไมโครเวฟ



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบภายนอกของเตาไมโครเวฟ

ลักษณะภายนอกของเตาไมโครเวฟ

ลักษณะภายนอกที่มองเห็นของเตาไมโครเวฟนั้น จะคล้ายกับเตาไฟฟ้าทั่วไป แต่ภายในที่มองไม่เห็นนั้น แตกต่างไปจากเตาอบไฟฟ้ามาก

1. หมายเลข 1 เป็นฝาตู้ที่เป็นวัสดุโปร่งแสงสามารถมองเห็นภายในตู้ได้

2. หมายเลข 2 จะเป็นเหมือนสวิตช์ ON – OFF และ ยังเป็นปุ่มตั้งเวลา ก่อนใช้งานควรศึกษาก่อนว่า อาหารแต่ละประเภทใช้เวลาเท่าไร

3. หมายเลข 3 คือขอบเตา จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำรอง เมื่อเปิดเตาไม่ว่ากรณีใดๆ สวิตช์สำรองจะทำหน้าที่ OFF ทันทีที่มีการเปิดตู้

4. หมายเลข 4 เป็นรายการบอกชนิดของอาหารและเวลาที่ใช้โดยย่อ ผู้ใช้จะไม่เสียเวลาเปิดคู่มือ เป็นลักษณะเตือนความจำ

5. หมายเลข 5 เป็นถาดกลม เอาไว้รองภาชนะ เมื่อเปิดสวิตช์แล้วเตาเริ่มทำงาน ถาดจะเริ่มหมุนเพื่อให้อาหารสุกทั่วกัน เนื่องจาก คลื่นไมโครเวฟอาจจะกระจายไม่ทั่วเตาไมโครเวฟ

6. หมายเลข 6 เป็นนาฬิกาเอาไว้บอกเวลา ไม่เกี่ยวกับการใช้เตาโดยตรง

7. หมายเลข 7 เป็นช่องระบายไอ การใช้เตาไมโครเวฟเมื่ออาหารสุก จะต้องมีไอจากการให้ความร้อน ดังนั้นช่องระบายไอนี้ จะทำหน้าที่ระบายไอจากการทำอาหาร

8. หมายเลข 8 คือแผ่นชื่อหรือ เนมเพลต (nameplate) บอกข้อมูลต่างๆติดอยู่หลังตู้

2.6 การทำงานของเตาไมโครเวฟ

รูปที่ 2.3 แสดงเตาไมโครเวฟขณะปรุงอาหาร

การทำงานของตู้ไมโครเวฟมีขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อบิดสวิตซ์ให้อยู่ในตำแหน่ง ON กระแสไฟฟ้าแรงดัน 220 V จะไหลผ่านหม้อแปลง step down เพื่อลดแรงดันแล้วจึงไหลเข้าหลอดแมกนีตรอน (Magnetron)

2. หลอดแมกนีตรอนนั้นมีหลักการอย่างเดียวกับหลอดไฟฟ้าตามบ้านเรือนที่ให้แสงสว่างจากไส้หลอด ถ้าจะพูดให้ถูกต้องคือเหมือนหลอดวิทยุ ปัจจุบันเครื่องรับวิทยุชนิดหลอดไม่มีใช้แล้ว แต่ในสถานีส่งวิทยุกระจายเสียงยังใช้อยู่ เพื่อให้ใกล้ความจริง ขอเปรียบหลอดแมกนีตรอนของเตาไมโครเวฟเหมือนหลอดเครื่องของสถานีส่งวิทยุกระจายเสียงในปัจจุบัน

3. เมื่อไส้หลอดแมกนีตรอนมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ไส้หลอดก็จะร้อนและจะกระจายอิเล็กตรอนออกจากไส้หลอด มีลักษณะเดียวกับหลอดไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างจากไส้หลอด ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเรามองเห็นแสงไฟจากหลอดไส้ได้ แต่เราจะมองไม่เห็นคลื่นไมโครเวฟ

4. อิเล็กตรอนที่วิ่งออกมานั้นมากมายมีลักษณะเป็นคลื่น เรามองไม่เห็นคลื่นนั้นถ้าจะเปรียบเทียบก็จะคล้ายกับคลื่นน้ำ คลื่นน้ำมียอดคลื่นและสันคลื่น ถ้าเราวัดระยะจากยอดคลื่นหนึ่งถึงอีกยอดคลื่นหนึ่งเรียกว่าความยาวคลื่น (Wave length) ท้องคลื่นหนึ่งกับสันคลื่นหนึ่งรวมกันเรียกว่า 1 ลูก หรือ 1 รอบ หรือ 1 Cycle สมมุติว่ามีคลื่นวิ่งผ่านหน้าเรา 5 Cycle ภายในเวลา 1 วินาที เราจะเรียกคลื่นนี้ว่ามีความถี่ 5 C/S หรือ 5 Hz

5. จากข้อ 4 ที่ทราบเกี่ยวกับความถี่ของน้ำ แต่ในเตาไมโครเวฟนั้นหลอดแมกนีตรอนจะผลิตคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูงถึง 2,450,000,000 Hz หรือ 2,450 MHz ซึ่งจะระบุอยู่ที่เนมเพลตของตัวเตาไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2,450 MHz มีความยาวประมาณ 12 เซนติเมตร มีความเร็ว 3×10^{8} m/s

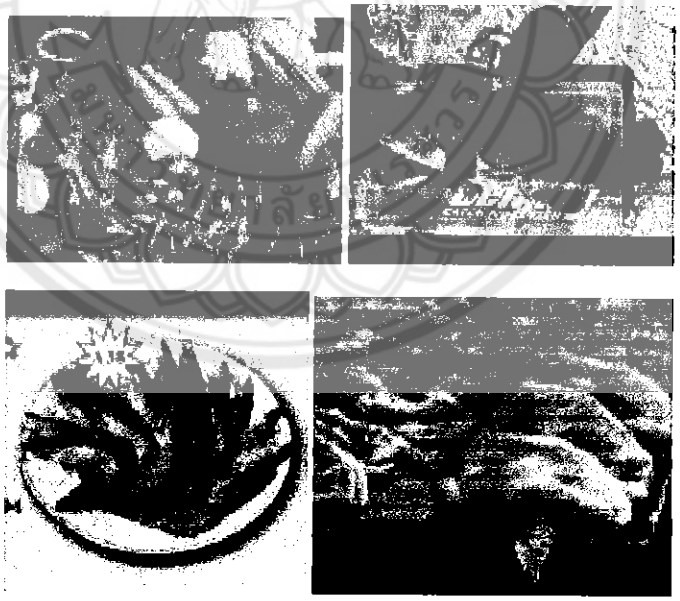
6. เมื่อลำคลื่นของคลื่นไมโครเวฟพุ่งออกมาปะทะกับใบพัดที่แขวนอยู่กลางเตาใบพัดที่ทำจากโลหะ จะทำให้คลื่นไมโครเวฟกระจายออกไปทุกทิศทุกทาง และจะสะท้อนกลับไปกลับมาอยู่ภายในตู้เนื่องจากตัวตู้เป็นโลหะ คลื่นไมโครเวฟจะสะท้อนกลับไปกลับมาเป็น 10 ล้านครั้ง ถ้ามีอาหารวางอยู่ก็จะเกิดความร้อนและทำให้อาหารสุกได้

คลื่นไมโครเวฟ จะทำให้อาหารสุกได้อย่างไรจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

การทำให้อาหารสุกของคลื่นไมโครเวฟ

เตาประเภทอื่นๆหรือแม้แต่เตาไฟฟ้าเอง ทำอาหารให้สุกจากคลื่นความร้อน หรือพลังงานความร้อนจากเตา เตาถ่ายความร้อนให้กับหม้อหรือภาชนะที่ใส่อาหาร หม้อหรือภาชนะที่ใส่อาหารถ่ายความร้อนให้กับอาหารอีกทอดหนึ่ง ความร้อนจะเข้าสู่อาหารจากภายนอกสู่ภายในในกรณีนี้ ถ้าเราให้ความร้อนในเตาแรงเกินไป ส่วนในอาหารอาจจะยังดิบอยู่ แต่เตาไมโครเวฟจะทำให้อาหารสุกเท่ากันทั้งข้างในและข้างนอก

อาหารส่วนใหญ่จะต้องมีน้ำเป็นองค์ประกอบ แม้แต่อาหารตากแห้งในสายตาของชาวบ้าน ก็ยังมีน้ำเป็นองค์ประกอบ



รูปที่ 2.4 แสดงอาหารต่างๆที่อุดมไปด้วยน้ำมากกว่า 70 %

หากเราใช้เครื่องคั้นน้ำผลไม้ที่แยกกากออกได้ ฝรั่งเวียดนามผลขนาดเท่ากำปั้นก็ให้น้ำประมาณ 1 แก้ว ส่วนกากนั้นมีเพียงหยิบมือเท่านั้น ในร่างกายของเราประกอบด้วยน้ำ 75 %

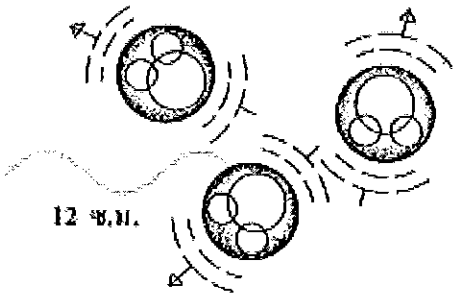
คลื่นไมโครเวฟใช้น้ำที่มีอยู่นั้นเป็นปัจจัยสำคัญทำให้อาหารสุก ถ้าอาหารนั้นมีน้ำน้อย เราก็เติมน้ำลงไปก็ได้

น้ำหนึ่งแก้วประกอบด้วยหยดน้ำเล็กๆมากมาย เรามองเห็นหยดน้ำได้ ในหยดน้ำแต่ละหยดก็ประกอบด้วยเนื้อน้ำที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า โมเลกุลของน้ำ

โมเลกุลของน้ำเป็นหน่วยที่เล็กที่สุด หากแตกย่อยออกไปจากนั้นก็ไม่ใช่น้ำแล้ว กลายเป็นอะตอมของธาตุสองชนิด คือ อะตอมของก๊าซออกซิเจนที่เราหายใจ 1 อะตอม กับอะตอมของของก๊าซไฮโดรเจนที่เราใช้อัดให้ลูกโป่งลอยขึ้นอีก 2 อะตอม

รูปที่ 2.5 โมเลกุลของน้ำหนึ่งโมเลกุล

โมเลกุลของน้ำไม่อยู่นิ่ง ตักน้ำ 1 แก้วหรือ 1 อ่างมาตั้งไว้ตรงหน้า อย่าให้สะเทือน อย่าให้มีลมพัด ถ้ามองดูน้ำในภาชนะเหมือนมันอยู่นิ่ง หากเรานำเกสรดอกไม้ที่เป็นละอองขนาดเล็กโรยลงไป สังเกตให้ดี ละอองเกสรจะเคลื่อนไหวช้าๆ และการเคลื่อนไหวนั้นจะไม่มีทิศทางการเคลื่อนที่แน่นอน ทั้งนี้เพราะโมเลกุลของน้ำที่เรียกว่าน้ำนิ่งนั้น โมเลกุลของมันไม่อยู่นิ่ง กล่าวคือมันสั่นอยู่เสมอ เมื่อโมเลกุลแต่ละโมเลกุลสั่นมันจะกระทบกัน คล้ายกับลูกโป่งกระทบกัน น้ำที่เรียกว่านิ่ง เคลื่อนไหวช้าๆ ละอองเกสรดอกไม้ก็ถูกโมเลกุลของน้ำที่เคลื่อนไหวอย่างไร้ทิศทางนั้น กระทบให้ละอองเกสรเคลื่อนที่ เกสรดอกไม้นั้นจึงเป็นเครื่องชี้ให้เห็นว่าน้ำที่เราเรียกว่า น้ำนิ่ง นั้นความจริงไม่นิ่ง โมเลกุลของมันมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา



รูปที่ 2.6 การสั่นของโมเลกุลน้ำ และรูปความยาวคลื่น
12 ซม ของคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz

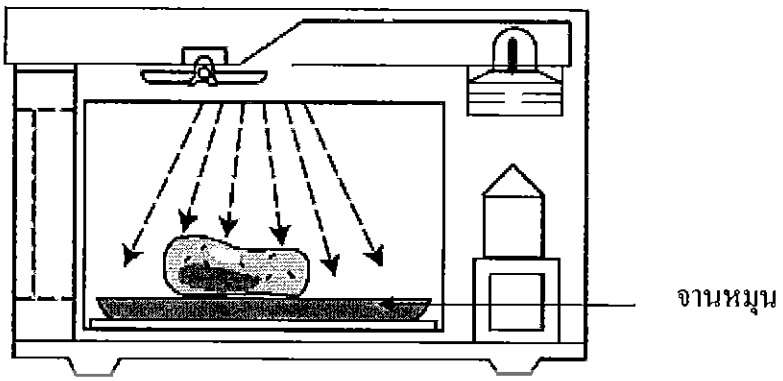
ขั้นตอนการทำอาหารสุกของเตาไมโครเวฟมีดังนี้

1. เมื่อเปิดสวิตซ์หลอดแมกนีตรอนผลิตคลื่นไมโครเวฟออกมา แล้วส่งมาภายในเตาแล้ว คลื่นไมโครเวฟจะผ่านไปยังเนื้ออาหารที่นำมาปรุง คลื่นไมโครเวฟที่เคลื่อนที่ภายในเตาไมโครเวฟเป็นคลื่นนิ่ง

2. โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในอาหารจะไม่ยอมให้คลื่นไมโครเวฟผ่านไป ขนาดโมเลกุลของน้ำจะสอดคล้องกับความยาวคลื่นของคลื่นไมโครเวฟพอดี ทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นไปมา การสั่นทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้ออาหาร

3. คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz หมายความว่าใน 1 วินาที จะมีคลื่นไมโครเวฟที่มีความยาวคลื่น 12 เซนติเมตร 2,450,000,000 ลูกคลื่น ลูกคลื่นเหล่านี้จะวิ่งผ่านอาหารไปบ้าง ถูกดูดซับไว้บ้าง ส่วนคลื่นที่ทะลุออกไปจะไปกระทบกับตัวตู้ที่ทำจากโลหะ และจะสะท้อนกลับมาผ่านอาหารอีก ซ้ำไปซ้ำมา ใน 1 วินาที คลื่นไมโครเวฟจะวิ่งผ่านอาหาร 2,450 ล้านครั้ง

4. เมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านอาหารและโมเลกุลน้ำดูดซับคลื่นไมโครเวฟแล้ว โมเลกุลน้ำจะได้รับพลังงานจากน้ำทำให้โมเลกุลน้ำสั่น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำ ประกอบด้วย ออกซิเจน 1 อะตอมและไฮโดรเจน 2 อะตอม ทำให้โมเลกุลของน้ำไม่สมมาตร เมื่อได้รับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดการสั่น และเมื่อโมเลกุลของน้ำที่สั่นมากระทบกันจึงเกิดการเสียดสีทำให้เกิดความร้อนขึ้น ดังรูปที่ 2.6 จึงทำให้อาหารอาหารสุก เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟที่อยู่ภายในเตาอบเป็นคลื่นนิ่งดังนั้นจึงยังมีจุดที่ได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ เรียกว่าจุด spot การแก้ปัญญาจุด spot ก็คือให้มีจานหมุนภายในเตาไมโครเวฟเพื่อให้ความร้อนได้สม่ำเสมอทั่วทั้งอาหาร



รูปที่ 2.7 จานหมุนในเตาไมโครเวฟเพื่อให้ความร้อนสม่ำเสมอ

2.7 การทำงานของหลอดแมกนีตรอนภายในไมโครเวฟ

หลอดแมกนีตรอนมีไส้หลอดอย่างหลอดไฟฟ้าตามบ้าน เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าแรงดัน 220 V เข้าไปหลอดไฟฟ้าก็จะให้แสงสว่างออกมาส่วนหลอดแมกนีตรอนก็จะให้คลื่นไมโครเวฟกระจายออกมา

แสงสว่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นไมโครเวฟก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกัน มีความเร็ว 3×10^8 m/s ต่างกันที่ความยาวคลื่นเท่านั้น แสงสว่างมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร ส่วนคลื่นไมโครเวฟในเตาอบไมโครเวฟมีความยาวคลื่น 12 เซนติเมตรคลื่นไมโครเวฟทุกชนิดมีความยาวคลื่นมากกว่าแสง

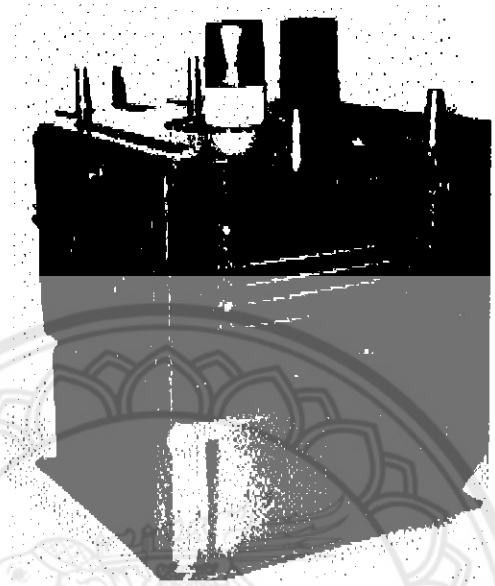
ความจริงแล้ว หลอดแมกนีตรอนเป็นหลอดวิทยุประเภทหนึ่งดังกล่าวมาแล้ว ปัจจุบันเครื่องรับวิทยุไม่ได้ใช้หลอดวิทยุแล้ว เราจึงไม่เคยเห็นหลอดวิทยุ แต่อาจได้เห็นที่สถานีวิทยุ

หลอดวิทยุคล้ายหลอดไฟฟ้าคือ มีไส้หลอด (Heater) ต้องใช้กระแสผ่านเข้าไปเผาความร้อนทำให้โลหะที่ครอบไส้หลอดร้อน กระจายอิเล็กตรอนออกมา โลหะนั้นจึงมีสภาพเป็นขั้วลบทางไฟฟ้าเรียก แคโธด (Cathode) อิเล็กตรอนที่กระจายออกมาจะถูกสนามไฟฟ้าที่ขั้วบวกซึ่งเป็นโลหะอีกชุดหนึ่งซึ่ง เรียก แอโนด (Anode) ดึงเข้าไป

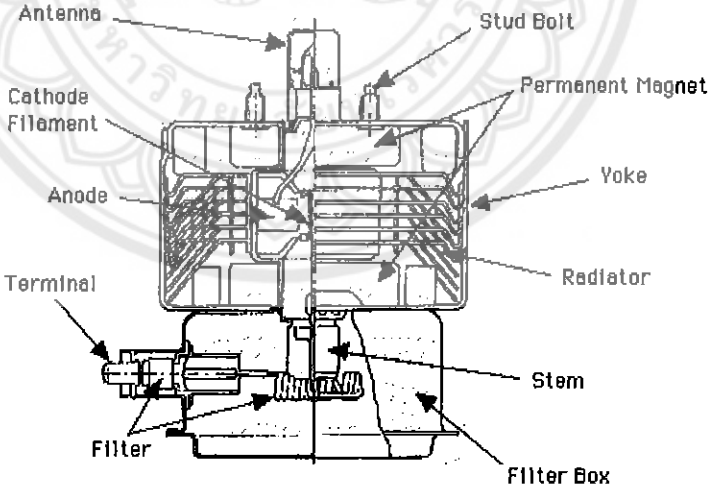
แอโนดของหลอดแมกนีตรอน ทำเป็นช่องกลมๆหลายรู รูทำให้อิเล็กตรอนวิ่งกลับไปมาด้วยอำนาจแม่เหล็ก การวิ่งกลับไปกลับมาสลับกัน เป็นคลื่นได้ 2,450,000,000 ไซเคิล ภายใน 1 วินาที นั่นคือได้ความถี่ 2,450,000,000 Hz หรือ 2.45 GHz ตามที่เคยกล่าวไว้ในข้างต้น

ถ้าเราวัดยอดคลื่นเหล่านี้ แต่ละยอดคลื่นจะห่างกันประมาณ 12 เซนติเมตร นั่นคือ คลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz มีความยาวคลื่น 12 เซนติเมตร

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่พุ่งออกมายังขั้วบวกหรือแอโนดของหลอดแมกนีตรอน มีความถี่ยังกำหนดไม่ได้ แต่เมื่อผ่านช่องที่มีขนาดที่วิศวกรสร้างขึ้นก็จะให้ความถี่ที่ต้องการ ณ ที่นี้ความถี่ที่ต้องการคือ 2.45 GHz



รูปที่ 2.8 แมกนีตรอน



รูปที่ 2.9 ภาพตัดขวางของแมกนีตรอน

2.8 ประโยชน์และอันตรายจากเตาไมโครเวฟ

ประโยชน์จากเตาไมโครเวฟ

เตาไมโครเวฟมีประโยชน์มาก แม้จะกินกำลังวัตต์มาก แต่ก็ประหยัดเวลามาก และประหยัดค่าใช้จ่าย

อันตรายจากเตาอบไมโครเวฟ

สิ่งของต่างๆจะเอื้อประโยชน์ได้มากที่สุดก็ต่อเมื่อเรารู้จักใช้ของดีมีประโยชน์ หากใช้ไม่ถูกต้องก็จะเกิดโทษ ฉะนั้นที่ได้กล่าวมาก็เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับเตาไมโครเวฟ

อันตรายจากคลื่นไมโครเวฟของเตาไมโครเวฟจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ

1. ถูกสัมผัสเป็นเวลานาน
2. คลื่นไมโครเวฟนั้นมีความเข้มสูง เช่นเตาที่มีวัตต์สูงย่อมให้ความเข้มของคลื่นไมโครเวฟสูงกว่าเตาที่มีกำลังวัตต์ต่ำกว่า กำลังวัตต์จะดูได้จาก เนมเพลต สถานีเรดาร์ก็ผลิตคลื่นไมโครเวฟ เตาไมโครเวฟก็ผลิตคลื่นไมโครเวฟ แต่คลื่นจากสถานีเรดาร์มีความเข้มน้อยไม่มีอันตรายต่อเรา ส่วนคลื่นไมโครเวฟจากเตาไมโครเวฟนั้นมีความเข้มมากเพราะเป็นคลื่นเมเซอร์ (maser = Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) คลื่นเมเซอร์มีหลักการอยู่ว่า เมื่ออะตอมของสารได้รับพลังงานจากภายนอก อิเล็กตรอนภายในอะตอมจะเปลี่ยนระดับพลังงาน (energy level) จากที่ต่ำขึ้นไปสู่ที่สูง แต่เนื่องจากระดับพลังงานชั้นบนนั้นไม่อยู่ตัว อิเล็กตรอนจึงตกกลับลงมาสู่ชั้นที่ต่ำกว่าพร้อมกับคายพลังงานออกมาในรูปของแสงที่มองเห็นได้ด้วยตา รังสีที่ตาคนมองไม่เห็น หรือไม่ก็คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในกรณีที่พลังงานที่ได้ออกมานั้นอยู่ในรูปของแสงหรือรังสี เราจะเรียกแสงหรือรังสีนั้นว่า เลเซอร์ แต่ถ้าได้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในย่านไมโครเวฟ (microwave) เราก็จะเรียกเป็นอีกอย่างหนึ่งที่คล้าย ๆ กัน คือ เมเซอร์
3. สำหรับคลื่นไมโครเวฟจากเตาที่มีความถี่ต่ำนั้นยังไม่ปรากฏโทษแต่อย่างใด หากความเข้มของคลื่นไมโครเวฟไม่เกิน 1/100 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ($10\ mW/cm^2$) ถือว่ามีความเข้มขั้นต่ำ

โทษต่างๆที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟของเตาไมโครเวฟ

1. ทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง
2. ทำให้เกิดต้อกระจก
3. เป็นอันตรายต่อสตรีมีครรภ์
4. ทำให้ผู้ชายเป็นหมันชั่วคราว

5. รบกวนการทำงานของเครื่องกระตุ้นหัวใจ เพราะว่าเครื่องกระตุ้นหัวใจนั้นมีความไวต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก

6. ทำให้ความสามารถของระบบภูมิต้านทานลดลง

7. สามารถทำลายระบบประสาทได้

8. ปวดหัวและวิงเวียนศีรษะ

9. ปัญหาเกี่ยวกับทางเดินโลหิตของหัวใจ

10. ทำให้คลื่นสมองลดลง สมองเสื่อม ทำให้คลื่นสมองมีความยาวคลื่นสั้นลง

11. เปลี่ยนแปลงทำลายเกลือแร่ต่างๆ ในผัก เปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระที่เป็นโทษต่อร่างกาย ยังมีคลื่นอื่นๆ อีกหลายตัวในไมโครเวฟที่ล้วนทำให้สารบำรุงในอาหารเปลี่ยนไป และแปรสภาพเป็นสารก่อมะเร็ง

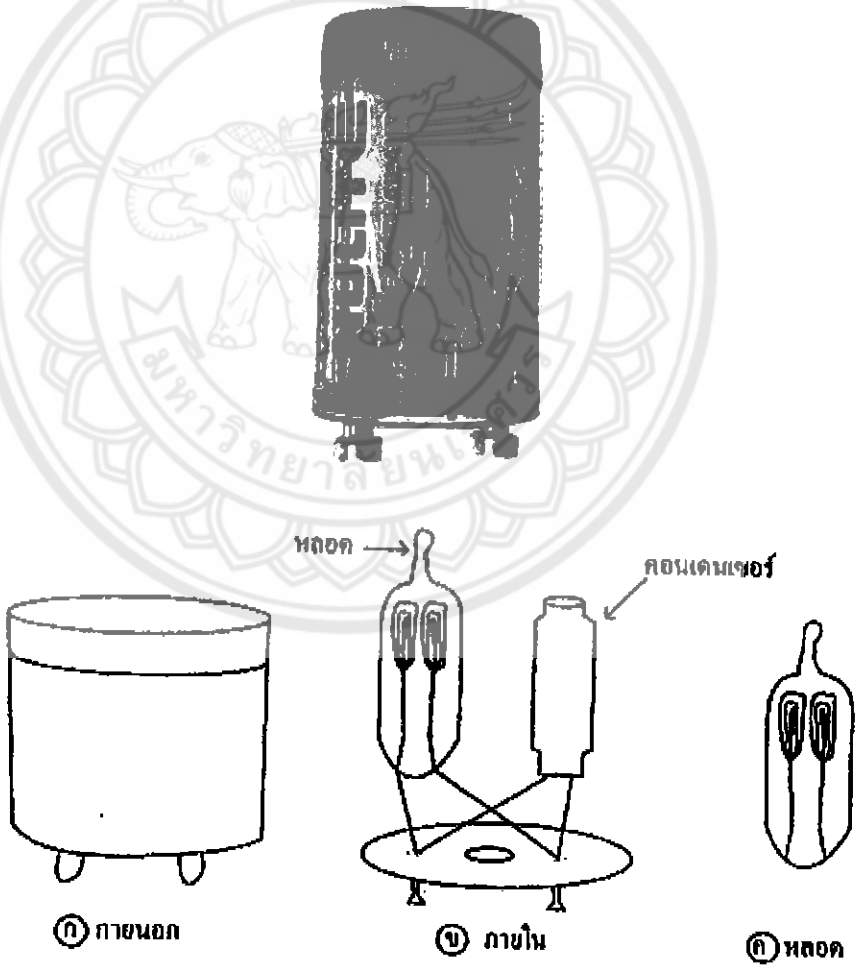
ข้อห้ามเกี่ยวกับการใช้เตาไมโครเวฟ

1. ห้ามใช้ในการอุ่นนมให้เด็กดื่ม
2. ห้ามใช้ในการอุ่นเลือดในโรงพยาบาลเด็ดขาด

บทที่ 3
การออกแบบการทดลอง

3.1 การใช้สตาร์ทเตอร์

สตาร์ทเตอร์ ที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์มีหน้าที่เป็นสวิตซ์ เพื่อช่วยในการจุดไส้หลอดให้ทำงานมีอยู่หลายชนิดคือ แบบมีก๊าซบรรจุอยู่ภายใน (Glow Type), แบบใช้ความร้อน (Thermal Starter), แบบใช้มือในการตัดต่อ (Manual Reset Cutout Starter) และสตาร์ตเตอร์แบบตัดต่อโดยอัตโนมัติ (Automatic Reset Cutout Starter ในรูปที่ 3.1 เป็นส่วนประกอบของสตาร์ทเตอร์แบบ (Glow Type) ภายในจะประกอบด้วยหลอดบรรจุก๊าซและตัวคอนเดนเซอร์



รูปที่ 3.1 สตาร์ทเตอร์และส่วนประกอบ

ภายในสตาร์ทเตอร์จะมีหลอดบรรจุก๊าซซึ่งภายในบรรจุก๊าซประเภทก๊าซเฉื่อย เมื่อนำหลอดบรรจุก๊าซนี้ไปวางในบริเวณที่มีคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล คลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปยังหลอดบรรจุก๊าซทำให้อะตอมของก๊าซภายในได้รับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ เมื่ออะตอมของก๊าซได้รับพลังงานจะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอมได้รับพลังงานด้วย โดยปกติอิเล็กตรอนในอะตอมจะอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำที่สุดที่เรียกว่า ground state เมื่ออะตอมได้รับพลังงานอิเล็กตรอนจะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าซึ่งเรียกว่า Excited state เมื่ออิเล็กตรอนกลับมาอยู่ที่ระดับพลังงานที่เสถียรกว่าก็จะปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปรากฏเป็นสเปกตรัมโดยอาจเกิดขึ้นขั้นเดียวหรือหลายขั้นก็ได้

3.1.1 สมมติฐานการใช้สตาร์ทเตอร์

เมื่อนำสตาร์ทเตอร์ไปวางรอบๆตู้ไมโครเวฟ แล้วเปิดสวิทซ์ตู้ไมโครเวฟเมื่อสารในหลอดไฟในสตาร์ทเตอร์รับคลื่นไมโครเวฟแล้วจึงเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานแต่ไม่เสถียรจึงตกลงมาในชั้นที่เสถียร ส่วนพลังงานที่คายออกมานั้นจะเปลี่ยนเป็นแสงต่างๆ

3.1.2 วิธีการทดลองโดยใช้สตาร์ทเตอร์

เมื่อนำหลอดบรรจุก๊าซนี้ไปวางในบริเวณที่มีคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล คลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปยังหลอดบรรจุก๊าซทำให้อะตอมของก๊าซภายในได้รับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ เมื่ออะตอมของก๊าซได้รับพลังงานจะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอมได้รับพลังงานด้วย โดยปกติอิเล็กตรอนในอะตอมจะอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำที่สุดที่เรียกว่า ground state เมื่ออะตอมได้รับพลังงานอิเล็กตรอนจะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าซึ่งเรียกว่า Excited state เมื่ออิเล็กตรอนกลับมาอยู่ที่ระดับพลังงานที่เสถียรกว่าก็จะปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสง เมื่อก๊าซภายในคายพลังงานจะได้พลังงานออกมาในรูปแสงซึ่งจะนำโฟโตไดโอดไปทำการเปลี่ยนแสงเป็นกระแสไฟฟ้า

3.2 การใช้สารเฟอร์ไรต์

สารเฟอร์ไรต์มีสูตรเคมีเป็น MFe_2O_4 โดยทั่วไปจะมีสมบัติเป็นสารเฟอร์โรแมกเนติก ในขณะเดียวกันก็เป็นสารกึ่งตัวนำ M ในสูตรข้างต้นนั้นจะเป็นธาตุโลหะประเภทไดวาเลนต์ ซึ่งได้แก่ Mg ,Mn ,Fe ,Co ,Ni และCu เป็นต้น ความเป็นสารเฟอร์โรแมกเนติกของสารเฟอร์ไรต์นั้นโดยพื้นฐานไม่ได้แตกต่างจากธาตุเหล็ก หรือนิกเกิล แต่การที่สารเฟอร์ไรต์มีคุณสมบัติพิเศษที่ย่าน

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
4900168
I 5080782 ค.2

ความถี่ไมโครเวฟเป็นเพราะสารเฟอร์ไรต์มีความต้านทานจำเพาะสูงคือประมาณ 10^6 ถึง 10^8 โอม-เซนติเมตร ในย่านความถี่นี้ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเคลื่อนที่เข้าสู่สารเฟอร์ไรต์และส่งผ่านไปตามสารเฟอร์ไรต์ได้ ซึ่งแตกต่างจากกรณีของโลหะเพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะสะท้อนกลับออกมาเกือบทั้งหมด และในระหว่างที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปตามสารเฟอไรต์นั้น ก็จะได้รับอิทธิพลจากการหมุนรอบตัวของอิเล็กตรอน(spin motion) ซึ่งเกิดทั่วไปในสารเฟอร์โรแมกเนติก

การที่สารเฟอร์โรแมกเนติกมีคุณสมบัติในเชิงแม่เหล็กสูงนั้นเพราะในสารประเภทนี้จะมีอิเล็กตรอนอยู่ในสภาพค่อนข้างตื่นตัว คือมีการหมุนรอบตัวเอง เมื่อพิจารณาทฤษฎีพื้นฐานทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระบุว่า สนามไฟฟ้านั้น มีแหล่งกำเนิดมาจากประจุไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กจะมีแหล่งกำเนิดมาจากกระแสแบบต่างๆ การหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอนก็เป็นการกำเนิดกระแสไฟฟ้าแบบหนึ่ง ดังนั้นสารเฟอร์โรแมกเนติกจึงอยู่ในเงื่อนไขที่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กได้

ฝร.
ม.ศ.
น.ศ.๑๑
๒๕๔๘

3.2.1 สมมุติฐานการใช้สารเฟอร์ไรต์

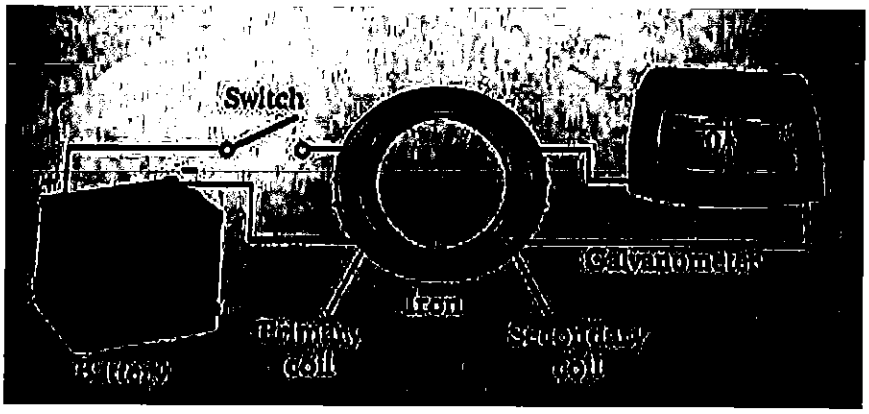
เมื่อนำสารเฟอไรต์ไปวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนหรือ(Eddy current loss)ในแท่งเหล็กทำให้แท่งเหล็กเกิดความร้อน

3.2.2 วิธีการทดลองโดยการใช้สารเฟอร์ไรต์

เมื่อนำสารเฟอร์ไรต์บริเวณที่มีคลื่นไมโครเวฟรั่วไหลจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนหรือ(Eddy current loss)ในแท่งเหล็กทำให้แท่งเหล็กเกิดความร้อนหลังจากนั้นจะนำเซนเซอร์ตรวจจับความร้อนมาทำการตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้และนำไปคำนวณหาค่ากำลังของคลื่นต่อไป

3.3 การใช้ขดลวดโซลินอยด์

ปีค.ศ.1831 ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าโดยทำการทดลองพันขดลวดสองชุดรอบแกนเหล็กอ่อน ขดลวดชุดแรกเรียกว่าขดลวดปฐมภูมิต่อเข้ากับแบตเตอรี่ และขดลวดชุดที่สองเรียกว่าขดลวดทุติยภูมิต่อเข้ากับกัลป์วานอร์มิเตอร์ จากการทดลองการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์พบว่าเมื่อสับสวิทช์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไหลเข้าขดลวดปฐมภูมิซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิทำให้เข็มของกัลวานอร์มิเตอร์เบนไปข้างหนึ่งเมื่อยกสวิทช์กระแสไฟฟ้าจากขดลวดปฐมภูมิจะ



รูปที่ 3.2 การเหนี่ยวนำตามกฎของฟาราเดย์

มีค่าลดลงเป็นศูนย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เข็มของกัลวานอร์มิเตอร์เบนไปอีกข้างหนึ่ง จากผลการทดลอง ฟาราเดย์จึงสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กตามเวลาจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎของฟาราเดย์คือ

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt} \tag{3.1}$$

และถ้าขดลวดมีจำนวนNรอบจะได้สมการใหม่เป็น

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi_B}{dt} \tag{3.2}$$

เมื่อ ε คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ(Electromotive force) มีหน่วยเป็น [V]

N คือ จำนวนรอบของขดลวด มีหน่วยเป็น [รอบ]

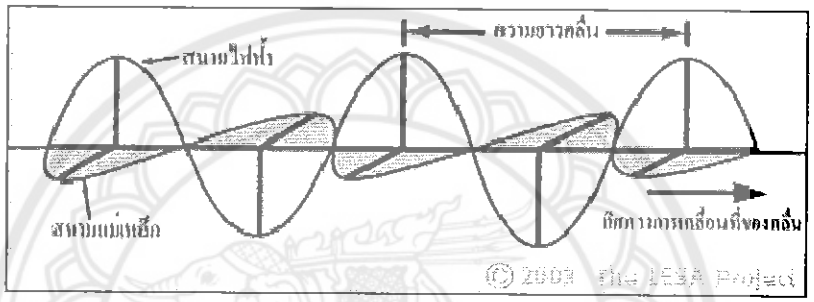
ϕ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น [Wb]

เครื่องหมายลบในสมการของฟาราเดย์ เป็นเครื่องหมายที่บอกถึงแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นในทิศต่อต้านการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กซึ่งเป็นไปตามกฎของนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ เลนซ์ (H.F.Lenz) ซึ่งกล่าวไว้ว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นในลักษณะที่ต้านการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กนั้นๆ กล่าวคือ เกิดขึ้นเพื่อรักษาสภาพของฟลักซ์แม่เหล็กเดิมไว้หรือกล่าวได้ว่า

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศในลักษณะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำเพื่อสร้างฟลักซ์แม่เหล็กต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงรอบของขดลวดนั้น

3.3.1 สมมุติฐานการขดลวดโซลินอยด์

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น



รูปที่ 3.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ดังนั้นในบริเวณที่มีคลื่นไมโครเวฟรั่วไหลก็จะมีสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงอยู่ด้วย ถ้านำขดลวดโซลินอยด์ไปวางในบริเวณนั้นก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎของฟาราเดย์

3.3.2 วิธีการทดลองโดยการขดลวดโซลินอยด์

นำขดลวดโซลินอยด์ไปวางบริเวณที่มีคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล โดยปลายทั้งสองข้างของขดลวดจะต่อเข้ากับหลอด LED หลอด LED จะเริ่มสว่างเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 1.5V ดังนั้นจะทำการจ่ายแรงดันขนาด 1.49V ให้กับหลอด LED เมื่อเกิดการเหนี่ยวนำจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเกิดกระแสไหลในวงจรซึ่งเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะทำให้หลอด LED สว่าง

3.4 การใช้ MAX2015, 0.1 GHz to 2.5 GHz , 75 dB Logarithmic Detector/Controller

The MAX2015 ถูกออกแบบให้แปลงกำลังของสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุในช่วง 0.1 GHz ถึง 2.5 GHz ให้เป็น DC Voltage ใช้งานในย่านกว้างและความแม่นยำโดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ วงจรขยาย log นี้ทำให้มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับสถานีพื้นฐานและระบบไร้สาย เช่น Automatic Gain Control (AGC) ,Transmitter Power Measurement ,และ Received signal strength indication (RSSI) ในอุปกรณ์ปลายทาง

The MAX2015 สามารถจะใช้งานในโหมดตัวควบคุมได้ด้วย ซึ่งมันสามารถวัด ,เปรียบเทียบและควบคุม กำลังเอาท์พุตของกำลังขยายของเครื่องขยายในส่วนของ AGC loop Logarithmic amplifier จะให้ช่วงการวัดที่กว้างกว่า และ ให้ความแม่นยำที่เหนือกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมที่ใช้หลักการ diode detectors มีย่านการทำงานที่เสถียรดีเยี่ยมไม่ขึ้นกับอุณหภูมิแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -40 °C ถึง +85 °C

ลักษณะพิเศษของ The MAX2015

- สามารถเป็นได้ทั้งเครื่องตรวจจับและควบคุม คลื่นความถี่วิทยุ
- ใช้กับช่วงความถี่ 0.1 GHz ถึง 2.5 GHz
- ย่านการใช้งานกว้าง
- ย่านแรงดันแหล่งจ่าย*อยู่ในช่วง 2.7V ถึง 5.25V
- มีความเสถียรในการแปลงสัญญาณ ไม่ขึ้นกับแหล่งจ่ายไฟและอุณหภูมิ
- โหมดควบคุมมีการแสดงความผิดพลาดของเอาท์พุต
- โหมดชัตดาวน์กระแสจากแหล่งจ่ายไฟเป็น 1 μA
- Available in 8-Pin μMAX Package

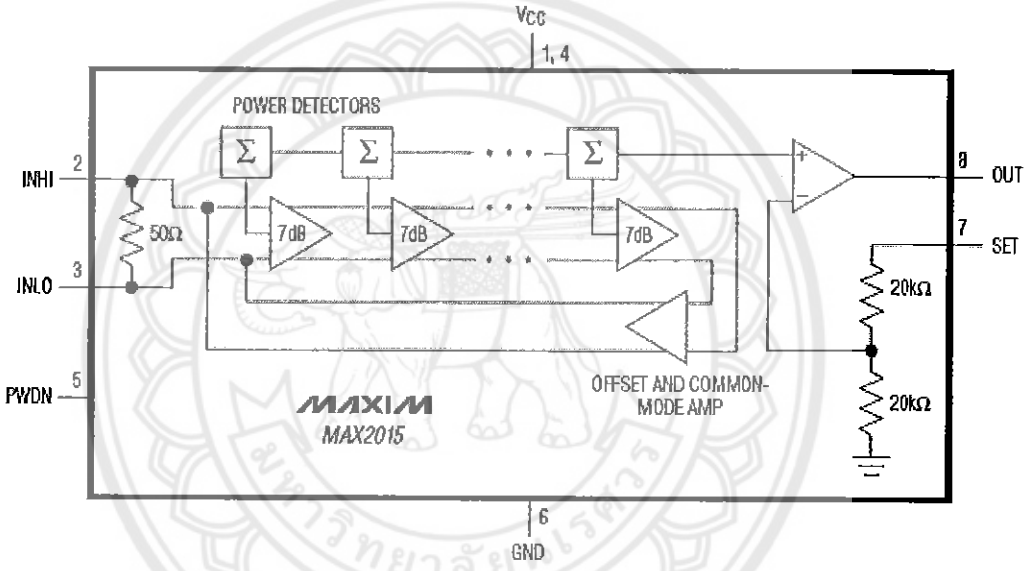
---

*ดูในส่วนของการเชื่อมต่อ Power-Supply

การใช้งาน

- การวัด AGC และควบคุม
- วัดกำลังของเครื่องส่งสัญญาณความถี่วิทยุ
- การวัด RSSI
- เซลล์สถานีพื้นฐาน , WLAN , Microwave Link ,เรดาร์ ,ประยุกต์ใช้ในทางทหาร

โครงสร้างการทำงานของ The MAX2015



รูปที่ 3.4 โครงสร้างการทำงานของ The MAX2015

รายละเอียดของไอซีแต่ละขา

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเกี่ยวกับแต่ละขาของไอซี MAX2015

PIN	NAME	DESCRIPTION
1,4	V_{CC}	แหล่งจ่ายแรงดันจะมีตัวเก็บประจุต่อบายพาสดังรูป 3.5 ตำแหน่งของตัวเก็บประจุจะอยู่ใกล้กับขา 1 และ 4 เท่าที่เป็นไปได้
2,3	INHI,INLO	Differential RF Inputs
5	PWDN	Power-Down อินพุต ต่อขานี้ด้วย logic "1" เพื่อปิดการทำงานของไอซี ขา PWND ต้องต่อลงกราวด์ด้วยตัวต้านทาน R_4 = 75 Ω เมื่อแหล่งจ่ายไฟมีค่าระหว่าง 4.75V ถึง 5.25V
6	GND	ขากราวด์ต่อกับ Ground plane ที่อยู่บนบอร์ด printed circuit
7	SET	Set-point Input การทำงานในโหมดตัวตรวจจับ จะเชื่อมต่อขา SET ไปยังขา OUT การทำงานในโหมดตัวควบคุมจะต่อแหล่งจ่ายแรงดันที่มีความเที่ยงตรงเพื่อควบคุมระดับกำลังของวงจรขยายกำลัง
8	OUT	Detector Output ในโหมดตัวตรวจจับเอาท์พุตจะให้แรงดันที่เหมาะกับ log ของกำลังอินพุต ในโหมดตัวควบคุมเอาท์พุตนี้จะเชื่อมไปยังอินพุตของ power-control บนตัวขยายกำลัง

Detailed Description

The MAX2015 เป็น logarithm amplifier ถูกออกแบบมาให้ใช้กับการวัดกำลังของคลื่นความถี่วิทยุ และ Automatic Gain Control (AGC) ในช่วงความถี่ 0.1 GHz ถึง 2.5 GHz ด้วยแหล่งจ่ายเดี่ยว 2.7V และ 5.25V มันมีขาที่เข้ากับ leading logarithmic amplifiers อื่นๆได้

The MAX2015 ปรับปรุงสมรรถนะให้มีการย่านการทำงานให้สูงถึง 75 dB ที่ 100 MHz มีความแม่นยำอย่างยิ่งไม่ขึ้นกับช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและแหล่งจ่ายแรงดัน

RF Input

สำหรับสัญญาณ differential RF input (INHI,INLO) สามารถรับสัญญาณความถี่ระหว่าง 100MHz และ 2.5 GHz สำหรับสัญญาณประเภท single-ended ต่อตัวเก็บประจุไปยังกราวด์ สำหรับสัญญาณวิทยุอินพุตจะถูกไบอัสภายใน และ ต้องต่อตัวเก็บประจุ 2 ตัวขนาด 680 pF ดังรูป 3.5

ความต้านทานภายในระหว่าง ขา INHI และ INLO มีค่า 50 Ω ทำให้ match สัญญาณได้ดีตั้งแต่ 50 MHz ถึง 3 GHz

SET Input

The SET input ถูกใช้ในการควบคุมลูบเมื่ออยู่ในโหมดตัวควบคุม หรือกำหนดความชันของสัญญาณเอาท์พุต (mV/dB) เมื่ออยู่ในโหมดตัวตรวจจับ โครงสร้างภายในของขา SET คือตัวต้านทานขนาด 20 kΩ ทั้ง 2 ตัวต่ออนุกรมกันเชื่อมต่อไปยังกราวด์ และที่จุดต่อของตัวต้านทานทั้ง 2 ตัวจะถูกป้อนอินพุตด้านลบจากเอาท์พุตของออบแอมป์ภายใน

Power-Supply Connection

The MAX2015 ต้องการแหล่งจ่ายที่ต่อตัวเก็บประจุบายพาสให้อยู่ใกล้กับขา V_{CC} ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ V_{CC} แต่ละขาจะต่อกับตัวเก็บประจุขนาด 0.1 µF (C_4 , C_6) และตัวเก็บประจุ 100 pF (C_3, C_5) จะต่อกับขาไอซีให้ใกล้ที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

สำหรับแหล่งจ่ายแรงดันระหว่าง 2.7V และ 3.6V ให้ใช้ $R_4 = 0\ \Omega$ (ดูที่รูปวงจร 3.5)

สำหรับแหล่งจ่ายแรงดันระหว่าง 4.75V และ 5.25V ให้ใช้ $R_4 = 75\ \Omega \pm 1\%$ (100ppm/°Cmax) และขา PWDN ต้องต่อกับกราวด์

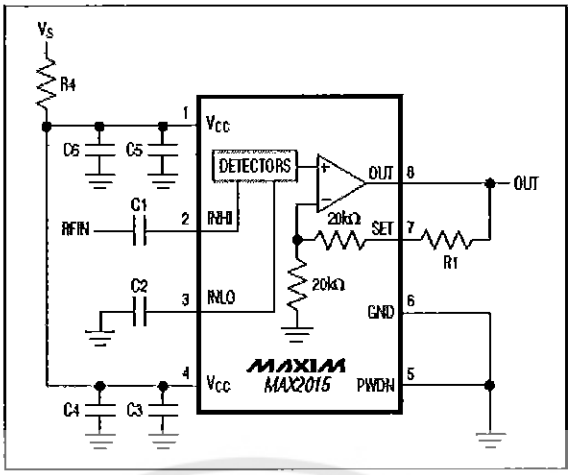
Power-Down Mode

The MAX2015 สามารถหยุดการทำงานโดยการต่อขา PWDN เข้ากับ logic high (logic high = V_{CC}) ในโหมด power-down แหล่งจ่ายกระแสจะถูกลดลงจนถึง 1 µA ในการทำงานปกติให้ต่อขา PWDN ที่ logic low แนะนำให้ใช้ power-down เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุตเข้ามา แล้วค่อยต่อ logic low เมื่อมีสัญญาณเข้ามา

Detector (RSSI) Mode

ในโหมดตัวตรวจจับ The MAX2015 จะทำหน้าที่เหมือนกับ RSSI ซึ่งจะให้แรงดันเอาท์พุตแปรตามกับกำลังอินพุต สามารถทำให้สมบูรณ์โดยการให้ feedback จากขา OUT ไปยังขา SET ($R_1 = 0\ \Omega$; ดูที่รูปที่ 3.5)

โดยการเชื่อมต่อจากขา SET ไปยังขา OUT โดยตรง กำลังขยายจะถูกตั้งไว้ที่ 2V/V เนื่องจากตัวต้านทานfeedback ภายใน 20 kΩ ทั้ง 2 ตัว จะให้ความชันของตัวตรวจจับประมาณ 18mV/dB ในย่านแรงดันเอาท์พุต 0.5V ถึง 1.8V



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างวงจรในโหมด Detector ของ MAX2015

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของวงจรตัวอย่าง

DESIGNATION	VALUE	TYPE
C_1,C_2	680pF	0603 ceramic capacitors
C_3,C_5	100pF	0603 ceramic capacitors
C_4,C_6	0.1µF	0603 ceramic capacitors
R_1*	0Ω	0603 resistor
R_4**	0Ω	0603 resistor

3.4.1 สมมติฐานการใช้ Max2015

เมื่อนำ Max2015 ไปวางบริเวณที่มีการรั่วไหลเมื่อมันได้รับคลื่นไมโครเวฟในย่านความถี่ที่มันสามารถตรวจจับได้ ก็จะทำการเปลี่ยนสัญญาณที่ตรวจจับได้เป็นแรงดันตรง

3.4.2 วิธีทำการทดลองโดยใช้ Max2015

นำ Max2015 ไปต่อวงจรดังรูป 3.6 แล้วจึงนำไปวางบริเวณที่มีการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟเพื่อให้อุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นแรงดันตรง แล้วจึงนำไปเข้ากับฟิลเตอร์และบัฟเฟอร์ แล้วจึงไปต่อเข้า กับตัวประมวลผลเพื่อแสดงค่าเป็น dBµV

---

* โหมด RSSI เท่านั้น

** V_S = 2.7V ถึง 3.6V

บทที่ 4

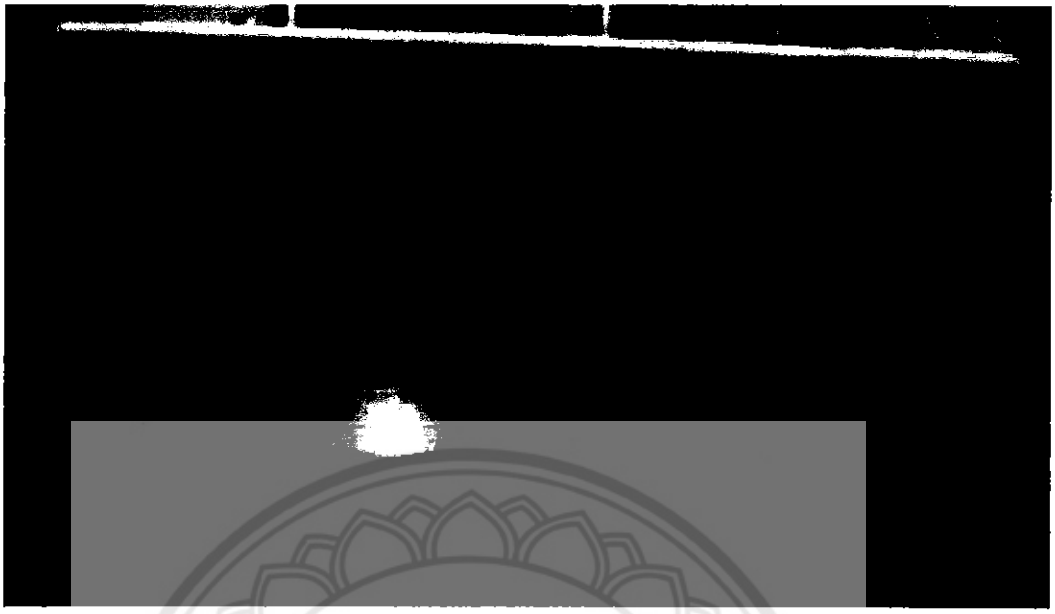
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองทั้งหมดในโครงงานนี้ ซึ่งแบ่งออกเป็นการทดลองโดยการใช้สตาร์ทเตอร์ การทดลองโดยใช้ขดลวดโซลีนอยด์ และการทดลองโดยใช้ไอซี MAX2015

4.1 ผลการทดลองโดยใช้สตาร์ทเตอร์

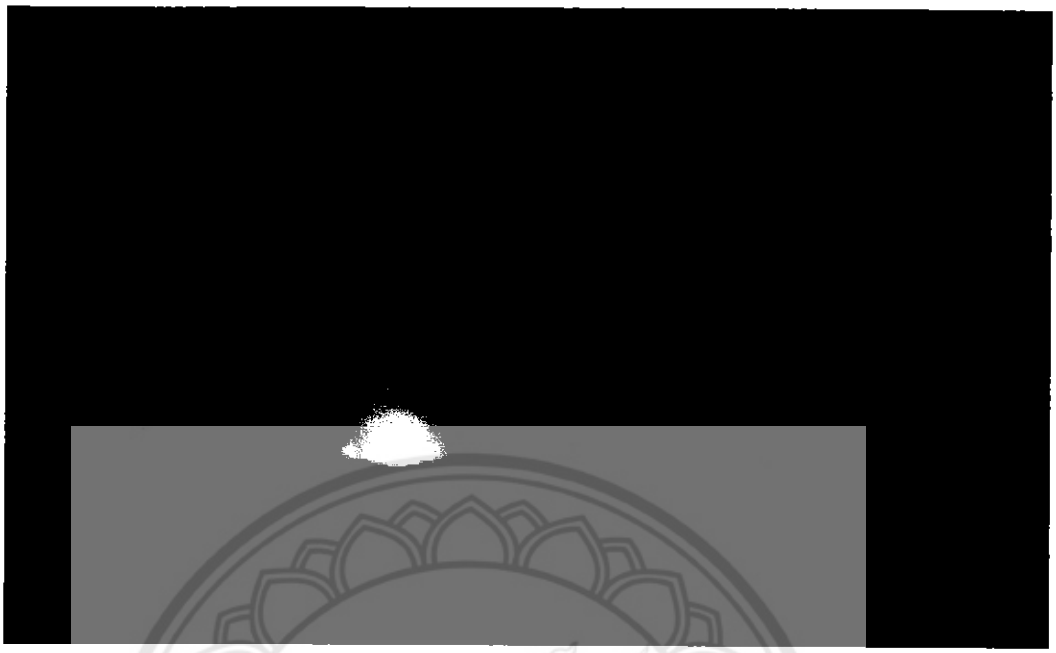
จากสมมุติฐานที่ว่า เมื่ออะตอมได้รับพลังงานอิเล็กตรอนจะได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าซึ่งเรียกว่า Excited state เมื่ออิเล็กตรอนกลับมาอยู่ที่ระดับพลังงานที่เสถียรกว่าก็จะปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปรากฏเป็นสเปกตรัมโดยอาจเกิดขึ้นขั้นเดียวหรือหลายขั้นก็ได้จากการทดลองเมื่อวางสตาร์ทเตอร์ไว้ในตู้ไมโครเวฟผลที่ได้คือสตาร์ทเตอร์เปล่งแสงออกมาอย่างเห็นได้ชัดซึ่งสีของแสงที่เปล่งออกมาจะค่อยๆเปลี่ยนไปดังรูป 4.2-4.6

รูปที่ 4.1 นำสตาร์ทเตอร์ไปวางในตู้ไมโครเวฟ



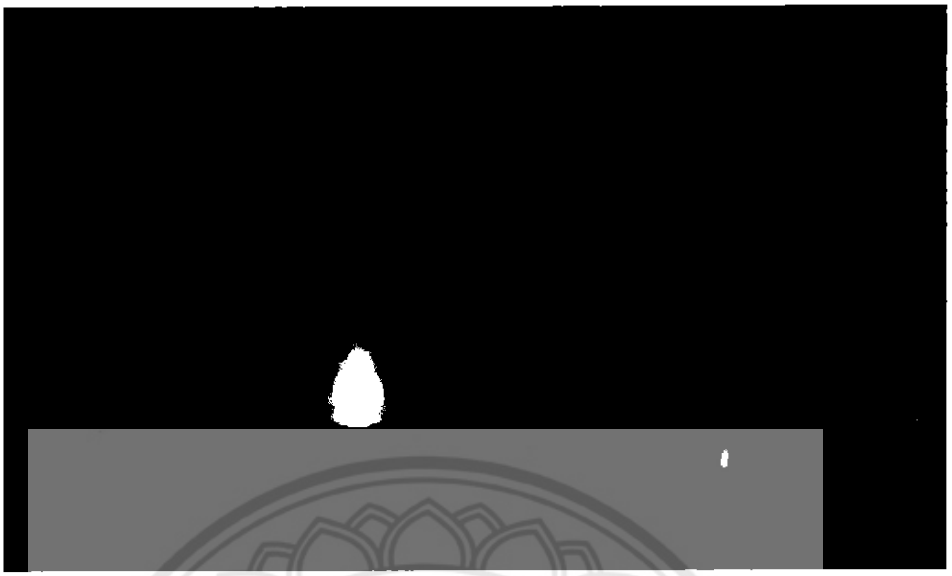
รูปที่ 4.2 สตาร์ทเตอร์ในตู้ไมโครเวฟเปล่งแสงสีน้ำเงินเมื่อรับคลื่นไมโครเวฟ

รูปที่ 4.3 แสงที่ออกจากสตาร์ทเตอร์เปลี่ยนเป็นสีส้ม



รูปที่ 4.4 แสงที่ออกจากสตาร์ทเตอร์เปลี่ยนเป็นสีเหลือง

รูปที่ 4.5 แสงที่ออกจากสตาร์ทเตอร์เปลี่ยนเป็นสีแดง



รูปที่ 4.6 แสงที่ออกจากสตาร์ทเตอร์เปลี่ยนเป็นสีเขียวอมฟ้า

แต่เมื่อนำสตาร์ทเตอร์มาวางภายนอกตู้ไมโครเวฟปรากฏว่าไม่เกิดแสงสว่างดังรูป

4.2 ผลการทดลองเรื่องสารเฟอไรต์

ไม่ได้ทำการทดลองเนื่องจากภายหลังได้ทราบว่าสารจำพวกเหล็กมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี และการเกิดกระแสเอ็ดดี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีสนามแม่เหล็กไหลในแกนเหล็กแต่การนำเหล็กไปวางรับคลื่นแม่ไมโครเวฟนั้น สนามแม่เหล็กไม่ได้ไหลในแกนเหล็กแต่วิ่งจากภายนอกมาชนแท่งเหล็กนั้นจึงเกิดการสะท้อนกลับ

4.3 ผลการทดลองโดยขดลวดโซลีนอยด์

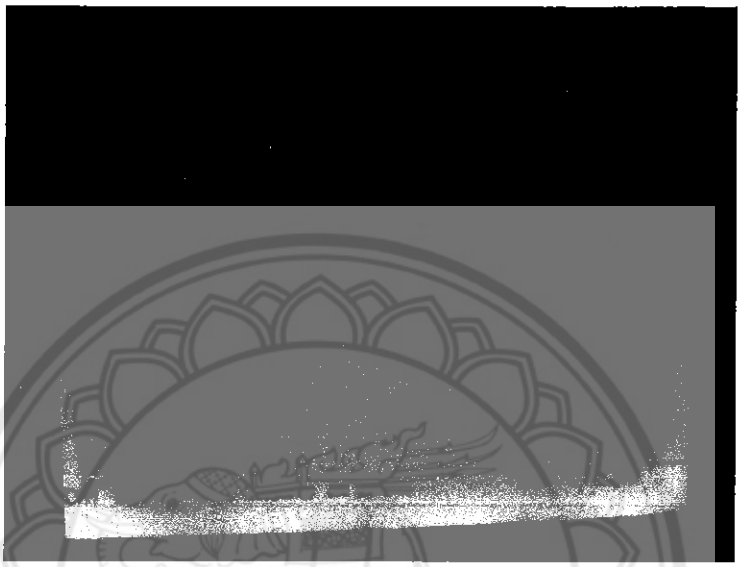
จากทฤษฎีของฟาราเดย์ เมื่อนำขดลวดเหนี่ยวนำไปวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเกิดการเหนี่ยวนำซึ่งจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าในขดลวดนั้น

รูปที่ 4.8 ขดลวดโซลินอยด์ที่มีจำนวน 480 รอบ

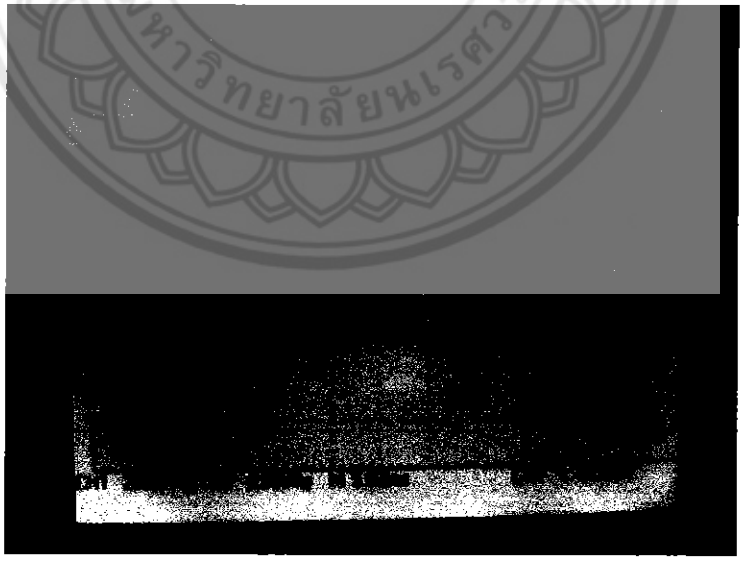
จากสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของฟาราเดย์

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi_B}{dt} \tag{4.1}$$

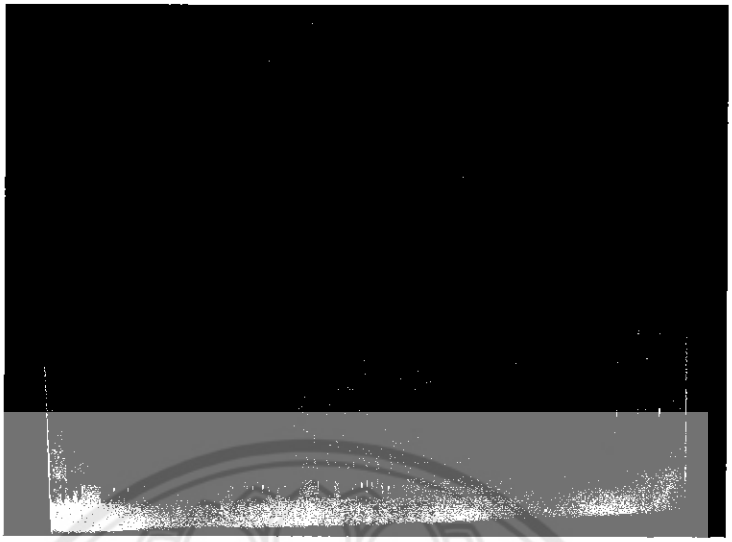
ขดลวดโซลีนอยด์ที่ทำการทดลองนี้มีจำนวนรอบทั้งหมด 480 รอบ เมื่อทดลองต่อปลายของขดลวดทั้งสองเข้ากับโวลต์มิเตอร์เพื่อทำการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นปรากฏว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นแทบจะไม่มีเลย ซึ่งได้ผลดังรูป 4.9



รูป ก.



รูป ข.

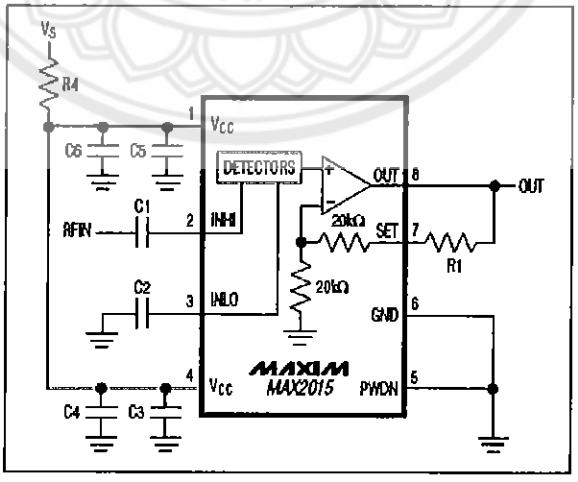


รูป ค.

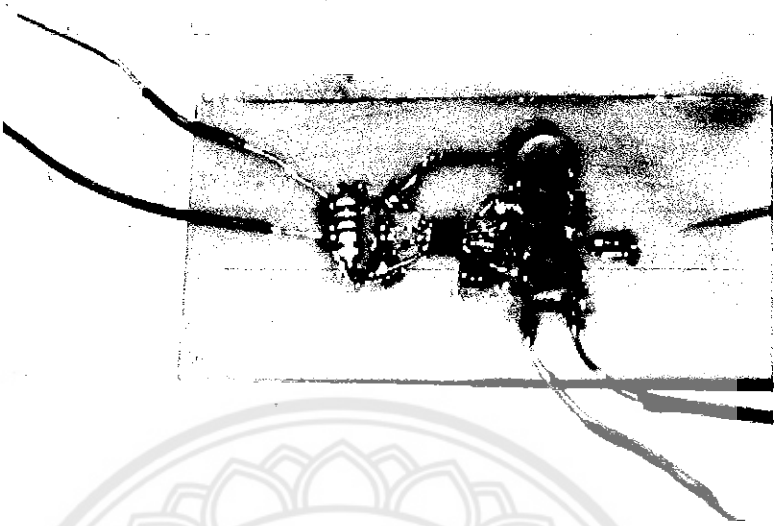
รูป 4.9 รูป ก,ข และ ค แสดงผลแรงดันที่ได้จากขดลวดโซลินอยด์

4.4 ผลการทดลองโดยใช้ Max2015

The MAX2015 ถูกออกแบบให้แปลงกำลังของสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุในช่วง 0.1 GHz ถึง 2.5 GHz ให้เป็นแรงดันดีซีเมื่อต่อวงจรตามรูป 4.10 แล้วใช้พาวเวอร์ซัพพลายจ่ายไฟเลี้ยงขนาด 3V ให้กับไอซีในวงจร



รูปที่ 4.10 วงจรที่ใช้ตรวจจับสัญญาณ

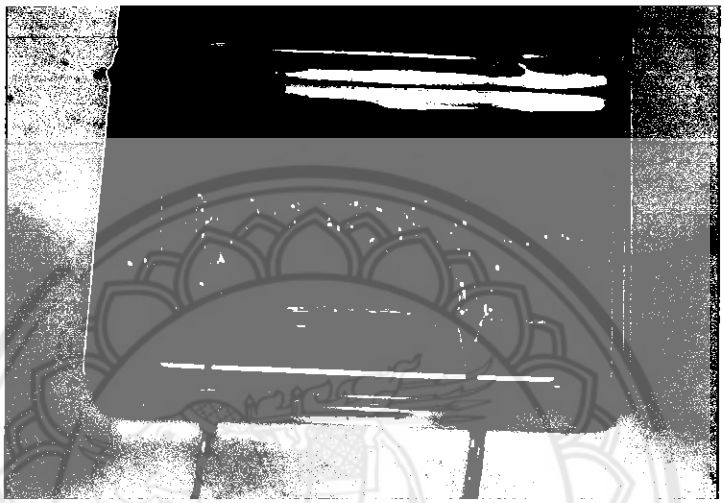


รูปที่ 4.11 รูปวงจรตรวจจับที่ต่อจากรูป 4.10

เมื่อต่อวงจรดังรูป 4.10 แล้วจ่ายไฟเลี้ยง 3V จะได้ค่าสัญญาณเอาท์พุตออกมาเป็นแรงดันดีซี ซึ่งมีค่าประมาณ 0.88V แต่ค่าสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนจากภายนอก ทำให้สัญญาณที่ได้ไม่เรียบเท่าที่ควร ดังรูป 4.12

รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากวงจรตรวจจับ

ดังนั้นจึงต้องทำการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเข้าไปเพื่อกรองสัญญาณรบกวนออกเพื่อให้สัญญาณเอาท์พุตเรียบขึ้น ดังรูป 4.13 โดยในวงจรฟิลเตอร์จะใช้ค่าความต้านทานสูงๆเพื่อป้องกันไม่ให้ค่าความต้านทานของวงจรเดิมลดลงหลังจากต่อฟิลเตอร์แล้วค่าสัญญาณที่ได้ออกมาจะมีค่าประมาณ 0.688 V ดังรูป 4.14



รูปที่ 4.13 รูปวงจรตรวจจับเมื่อต่อฟิลเตอร์และบัฟเฟอร์

รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาท์พุตที่ได้หลังจากการต่อฟิลเตอร์และบัฟเฟอร์

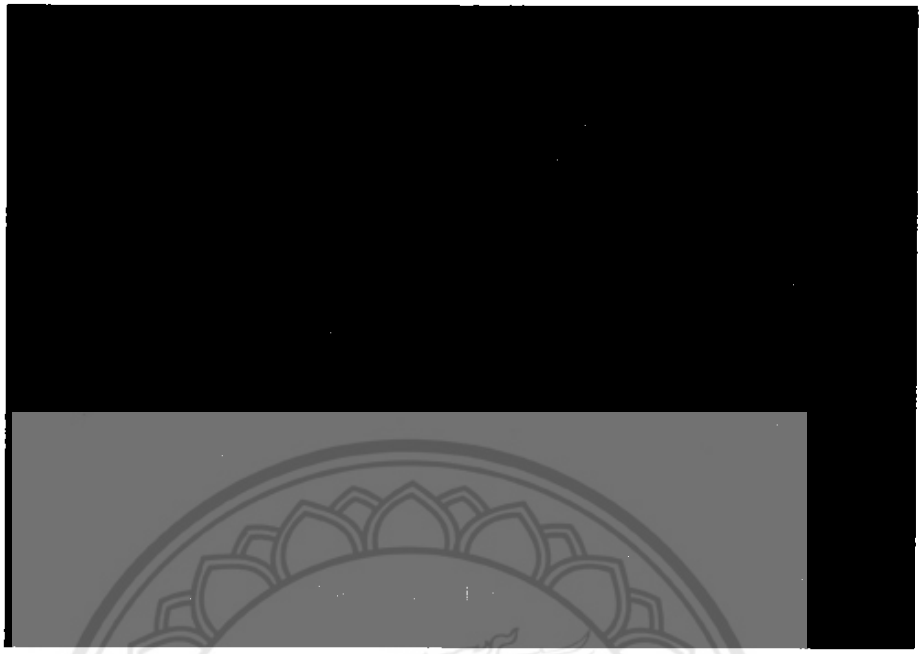
เมื่อได้เอาท์พุตที่เป็น แรงดันดีซี แล้วจึงนำไปต่อเข้ากับตัวประมวลผล ดังรูปที่ 4.15 เพื่อให้แสดงค่าออกมาเป็น dBμV ซึ่งค่า dBμV นี้จะได้มากจากสมการดังต่อไปนี้

$$dB\mu V = 20\log\frac{V}{1\mu V} \tag{4.2}$$

เมื่อได้ค่า dBμV แล้วจึงให้ไปแสดงผลที่จอ LCD ตัวประมวลผลที่ใช้ในที่นี้คือ CP-PIC877 V1.0 R1

รูปที่ 4.15 วงจรตรวจจับที่ต่อเข้ากับตัวประมวลผลเพื่อแสดงค่าที่จอ LCD

เมื่อนำเครื่องตรวจวัดไปตรวจวัดสัญญาณไมโครเวฟ แล้วนำสโคบไปทำการจับสัญญาณที่ได้ออกมาจาก Max2015 ที่ต่อฟิลเตอร์และบัฟเฟอร์แล้ว จะได้สัญญาณดังรูป 4.16 ซึ่งเอาท์พุตที่ออกมาจะเป็นแรงดันดีซีและเมื่อได้สัญญาณเอาท์พุตออกมาแล้วจึงนำสัญญาณเอาท์พุตที่ได้ออกมาไปทำการประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าออกมาเป็นค่า dBμV และนำค่าที่ได้ไปแสดงที่จอ LCD ดังรูป 4.17



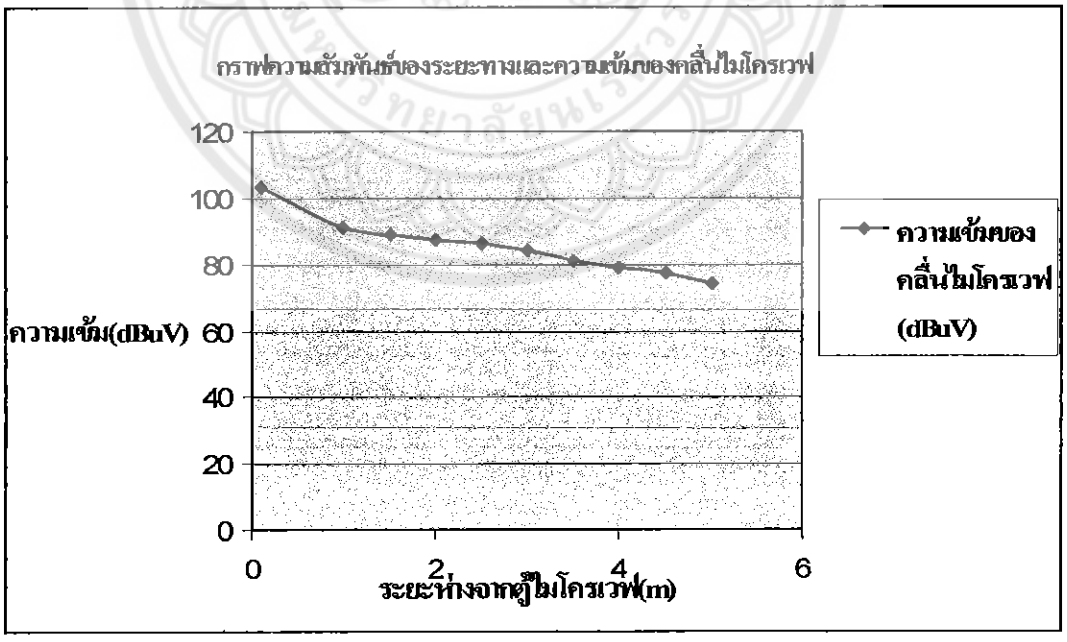
รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาท์พุตขณะที่เปิดตู้ไมโครเวฟ

รูป 4.17 การแสดงผลของเครื่องตรวจวัดคลื่นไมโครเวฟ

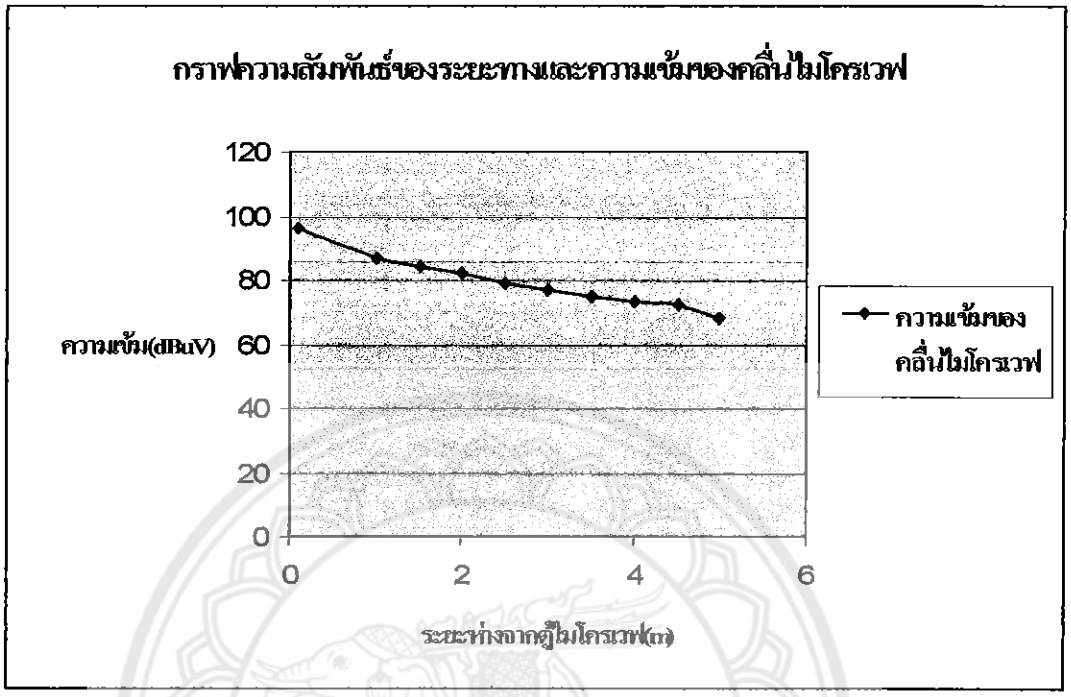
ตารางที่ 4.1 เป็นตารางที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและ ความเข้มของคลื่นไมโครเวฟที่ออกจากตู้ไมโครเวฟ ทั้งในด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟ

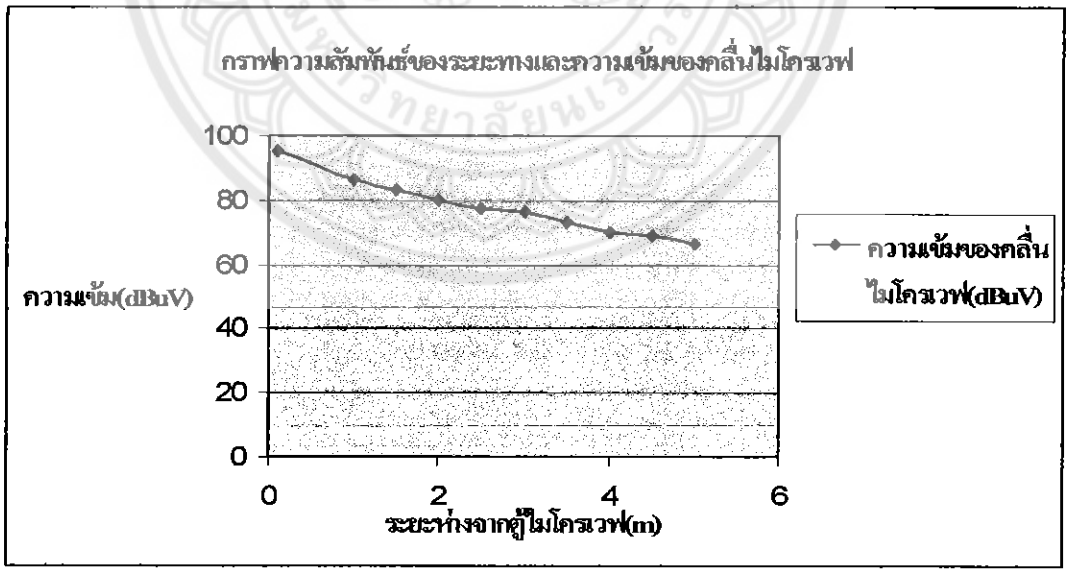
ระยะห่างจากตู้ไมโครเวฟ(m)	ความเข้มของคลื่นไมโครเวฟจากตู้ไมโครเวฟ(dBμV)			
	ด้านหน้า	ด้านขวา	ด้านหลัง	ด้านซ้าย
0.1	103	98	96	95
1	92	88	87	86
1.5	89	86	84	83
2	87	81	81	80
2.5	86	79	79	77
3	84	76	75	74
3.5	81	74	73	71
4	79	71	70	70
4.5	77	70	69	66
5	74	67	67	64



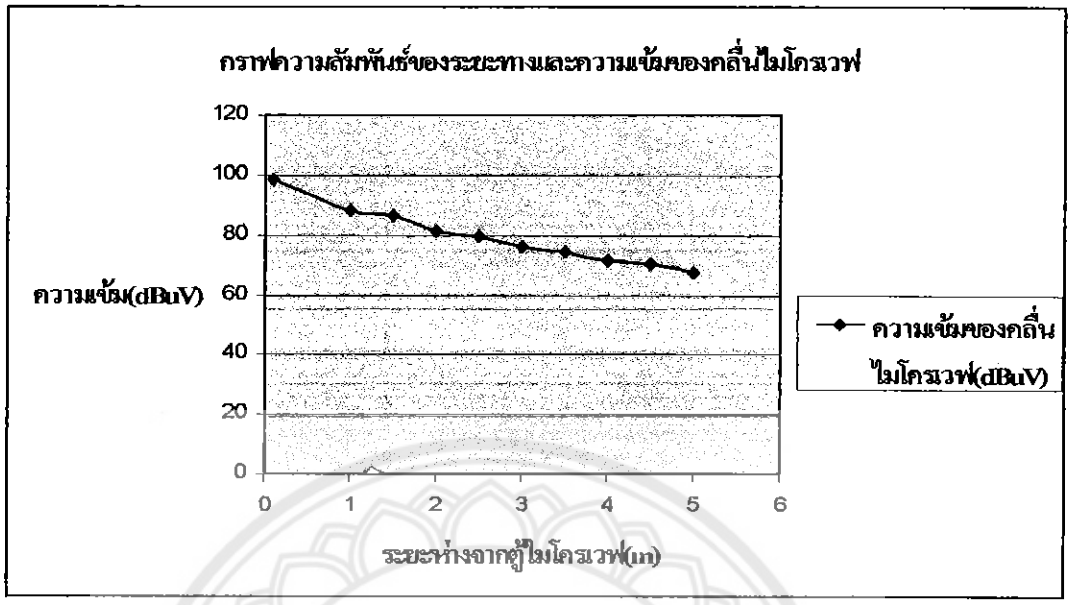
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟด้านหน้า



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟด้านหลัง



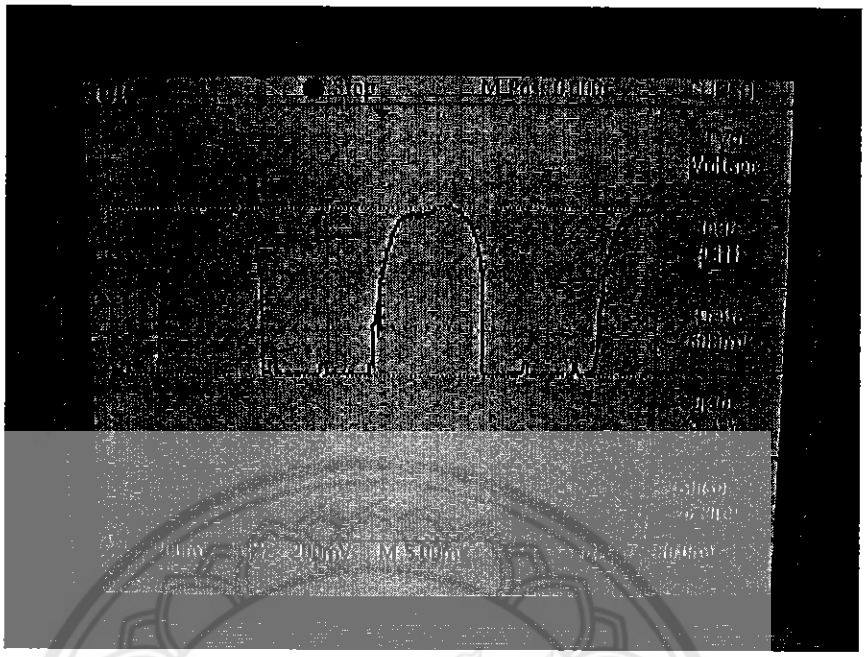
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟด้านซ้าย



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มของคลื่นไมโครเวฟด้านขวา

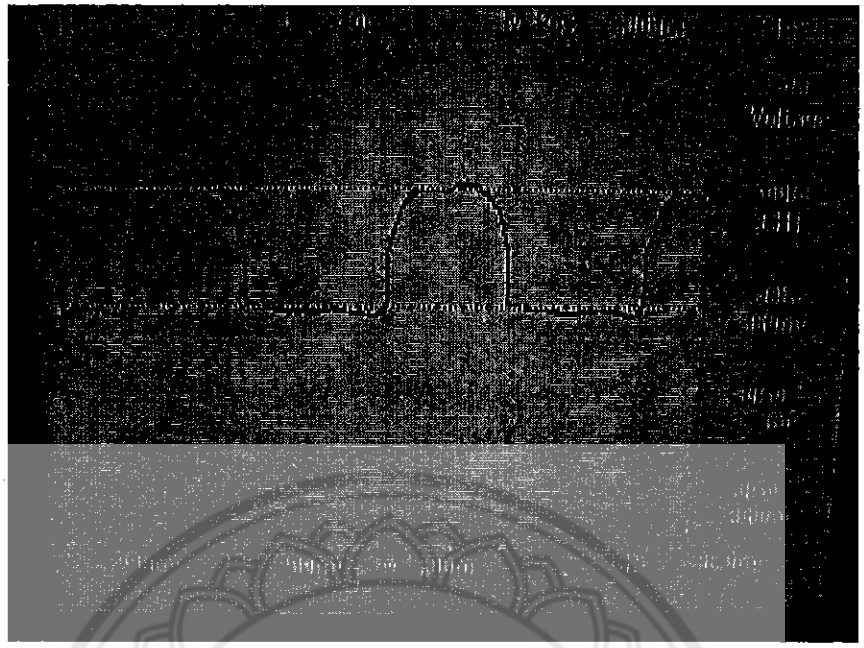
พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จาก Max2015 ที่ใช้สโคบจับได้ ในการวัดคลื่นไมโครเวฟที่ระยะต่างๆจากตู้ไมโครเวฟ จะมีค่าดังรูปที่จะแสดงต่อไปนี้

รูปที่ 4.22 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 10 cm ด้านหน้า

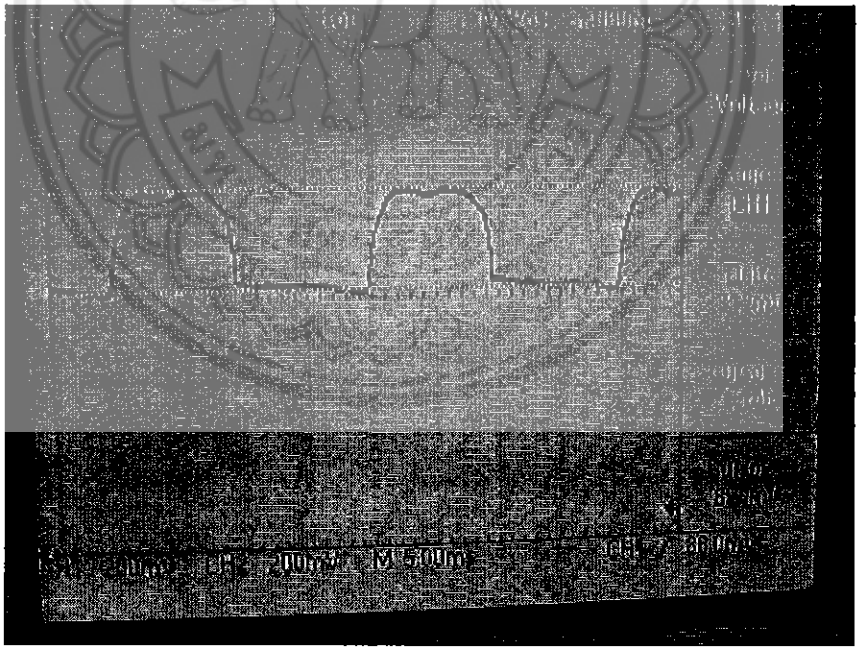


รูปที่ 4.23 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 10 cm ด้านขวา

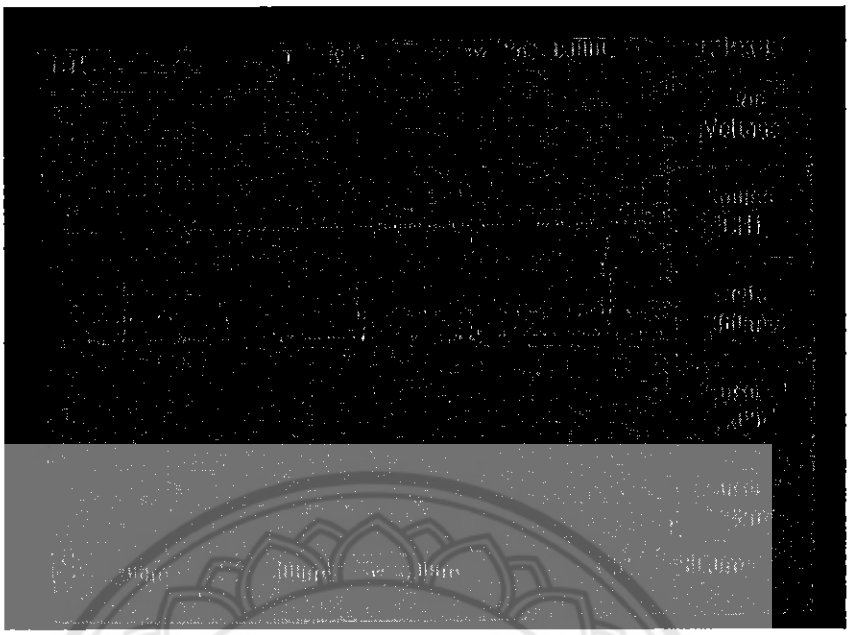
รูปที่ 4.24 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 10 cm ด้านหลัง



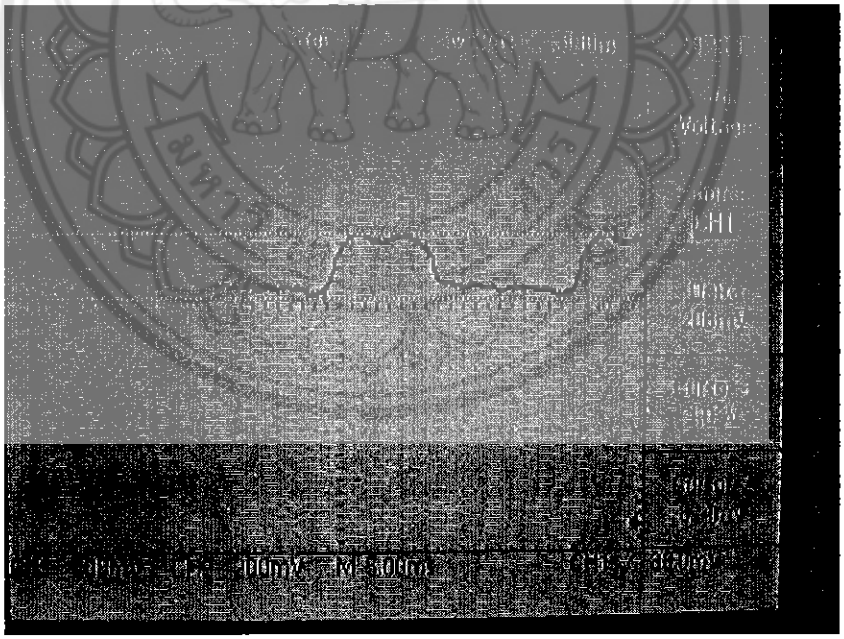
รูปที่ 4.25 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 10 cm ด้านซ้าย



รูปที่ 4.26 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.0 m ด้านหน้า

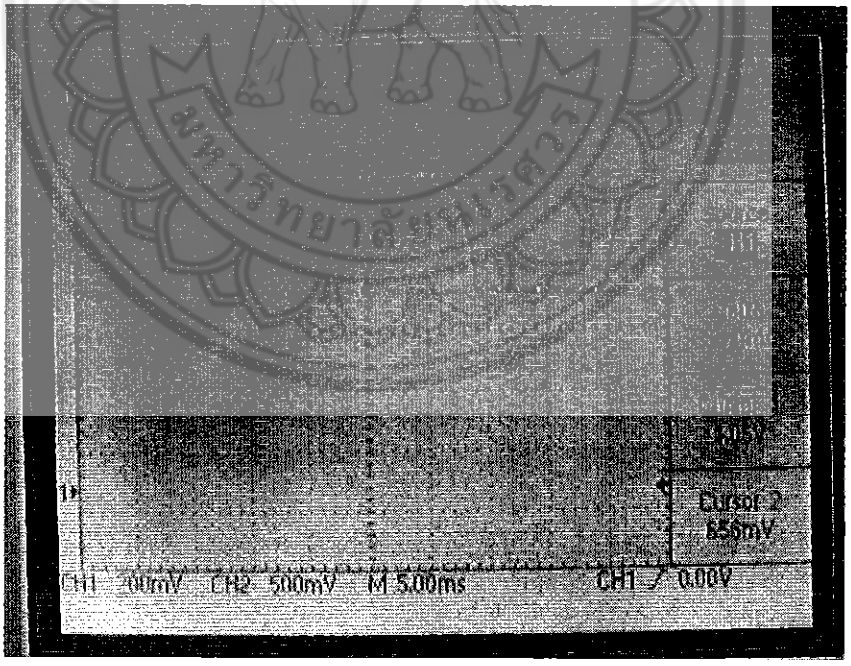


รูปที่ 4.27 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.0 m ด้านขวา

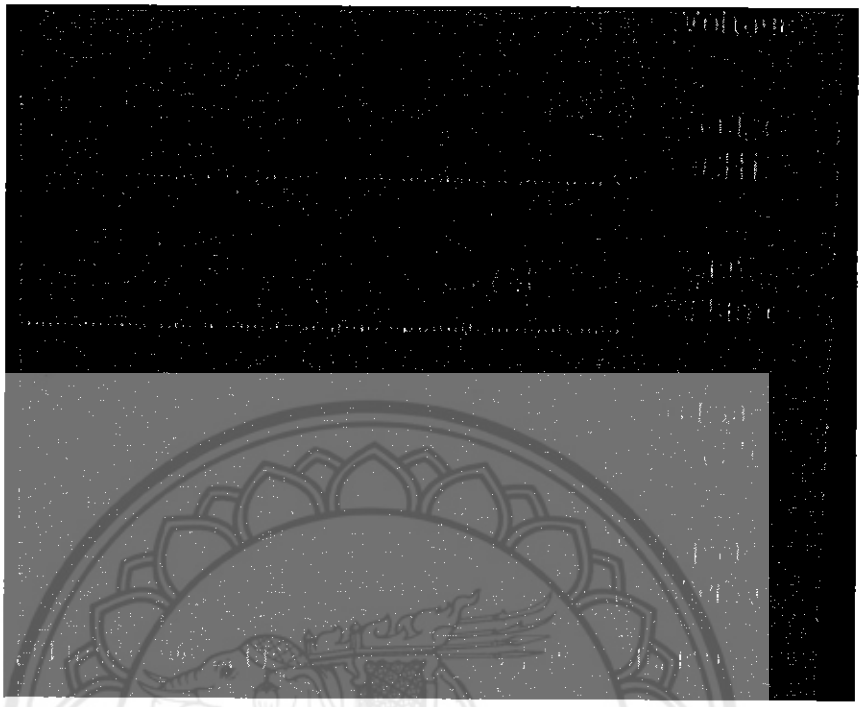


รูปที่ 4.28 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.0 m ด้านหลัง

รูปที่ 4.29 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.0 m ด้านซ้าย

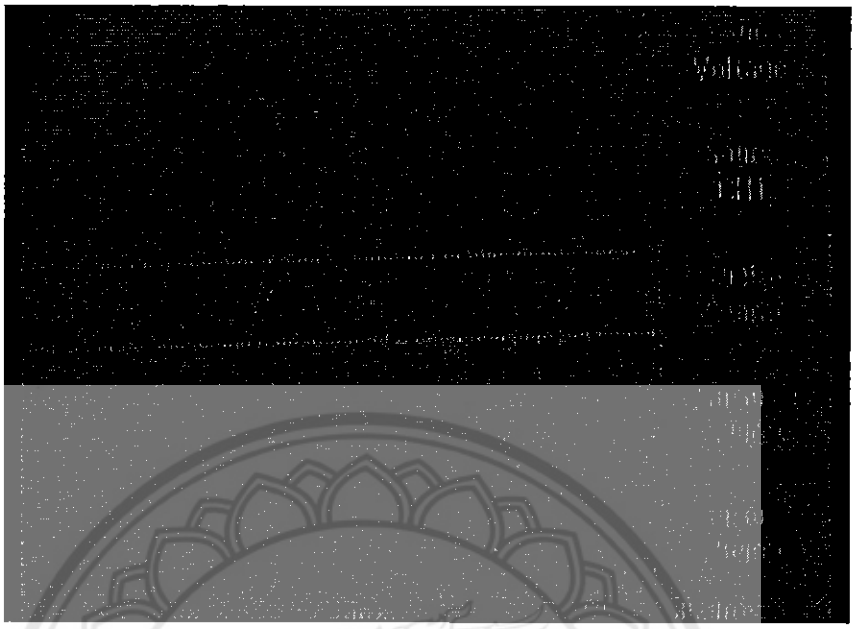


รูปที่ 4.30 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.5 m ด้านหน้า

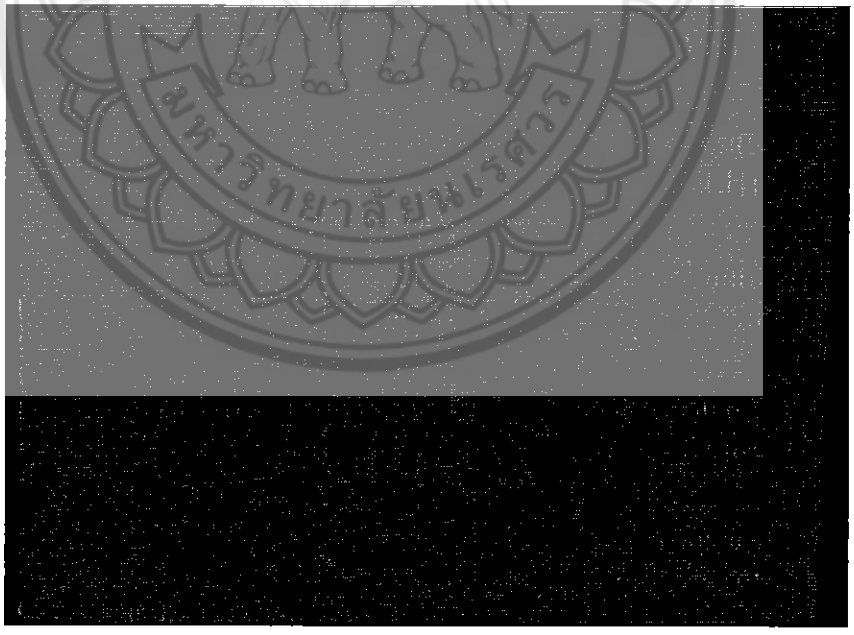


รูปที่ 4.31 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.5 m ด้านขวา

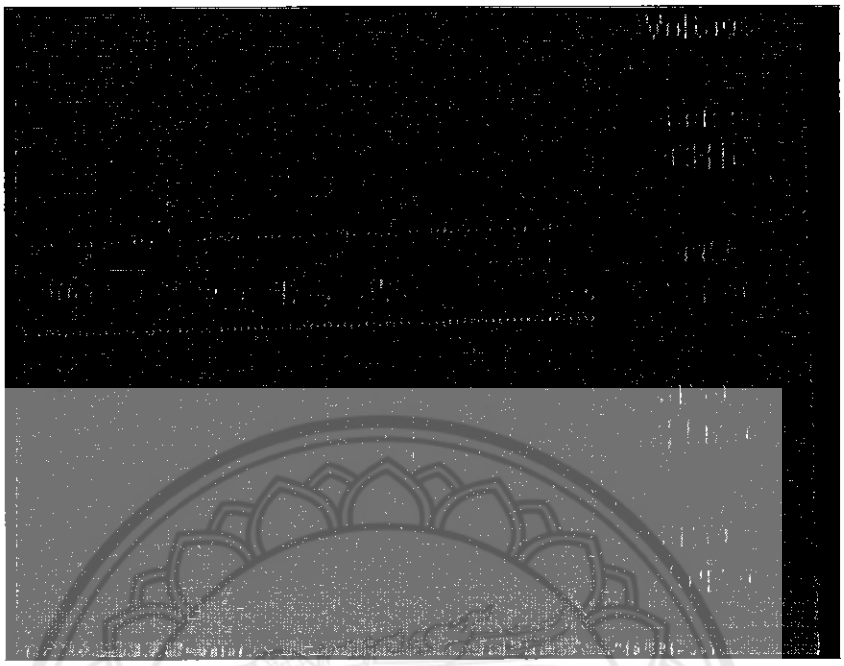
รูปที่ 4.32 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.5 m ด้านหลัง



รูปที่ 4.33 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 1.5 m ด้านซ้าย

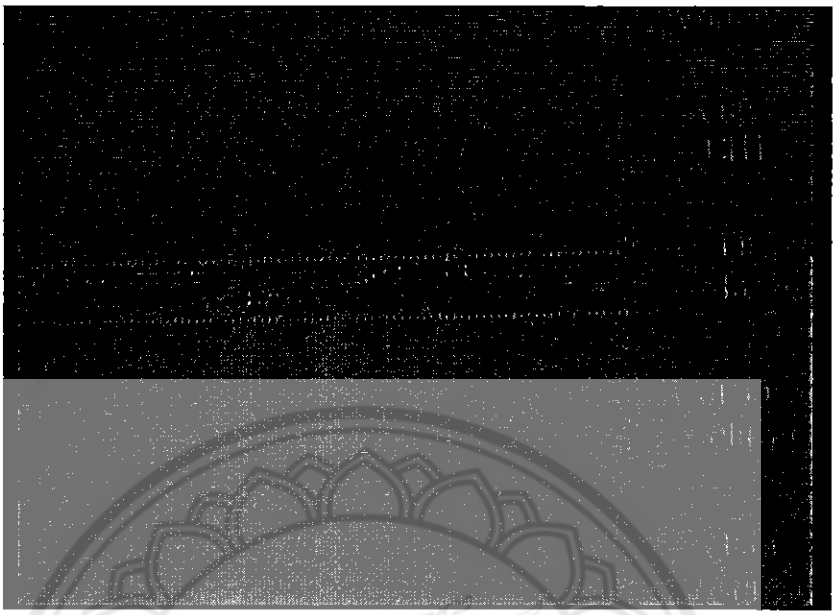


รูปที่ 4.34 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.0 m ด้านหน้า



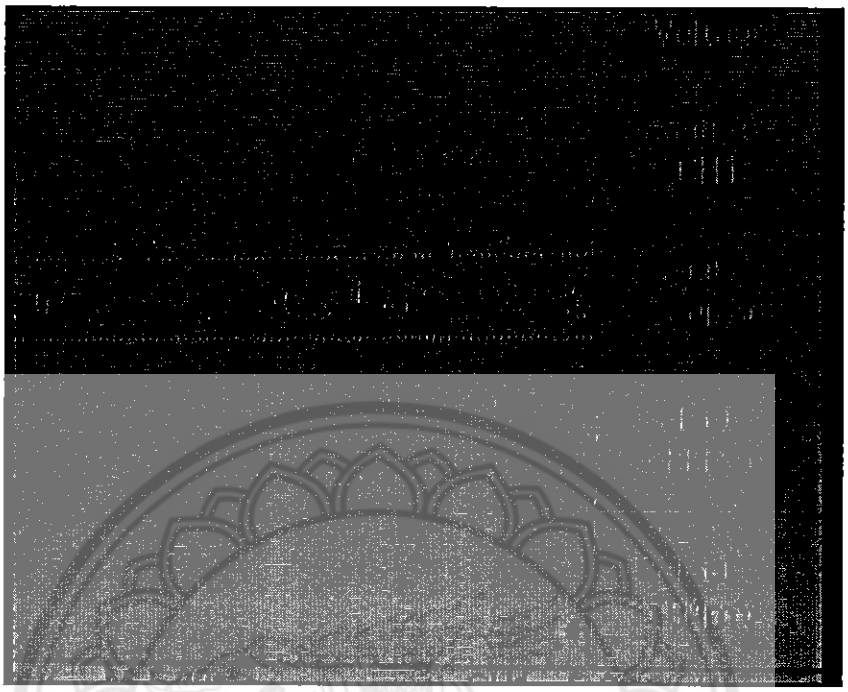
รูปที่ 4.35 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.0 m ด้านขวา

รูปที่ 4.36 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.0 m ด้านหลัง

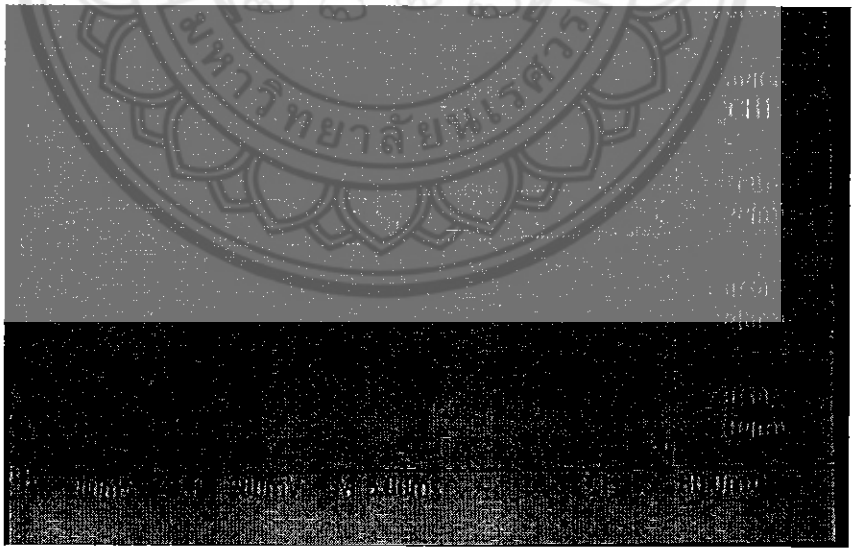


รูปที่ 4.37 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.0 m ด้านซ้าย

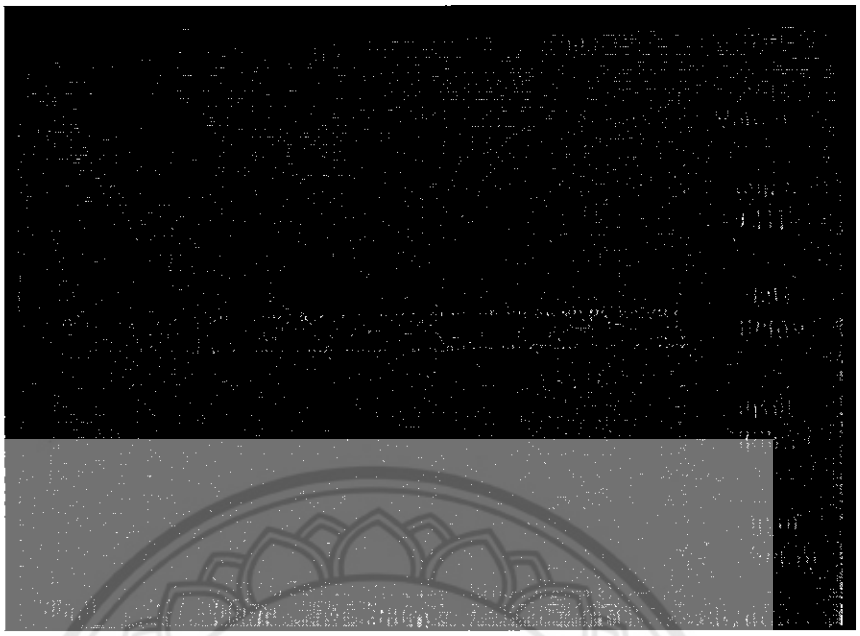
รูปที่ 4.38 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.5 m ด้านหน้า



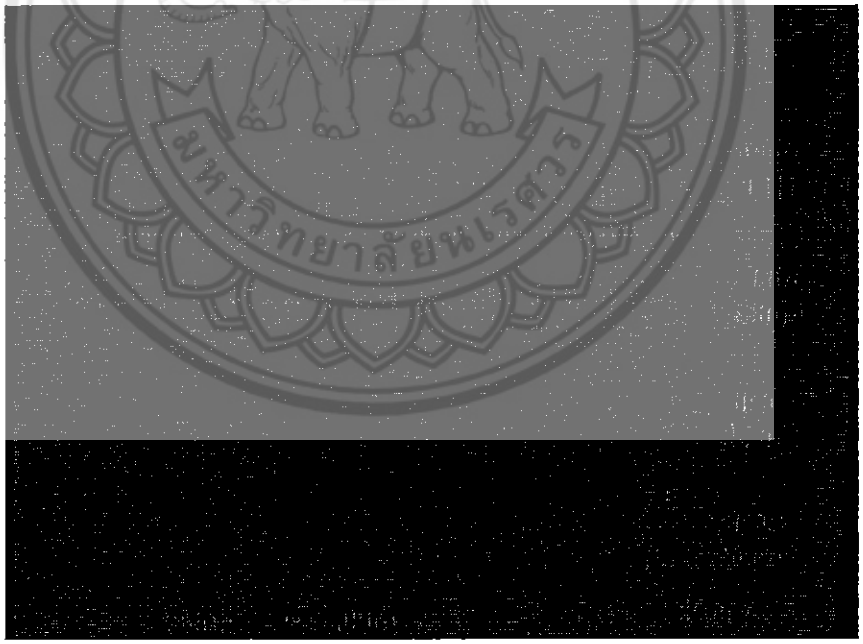
รูปที่ 4.39 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.5 m ด้านขวา



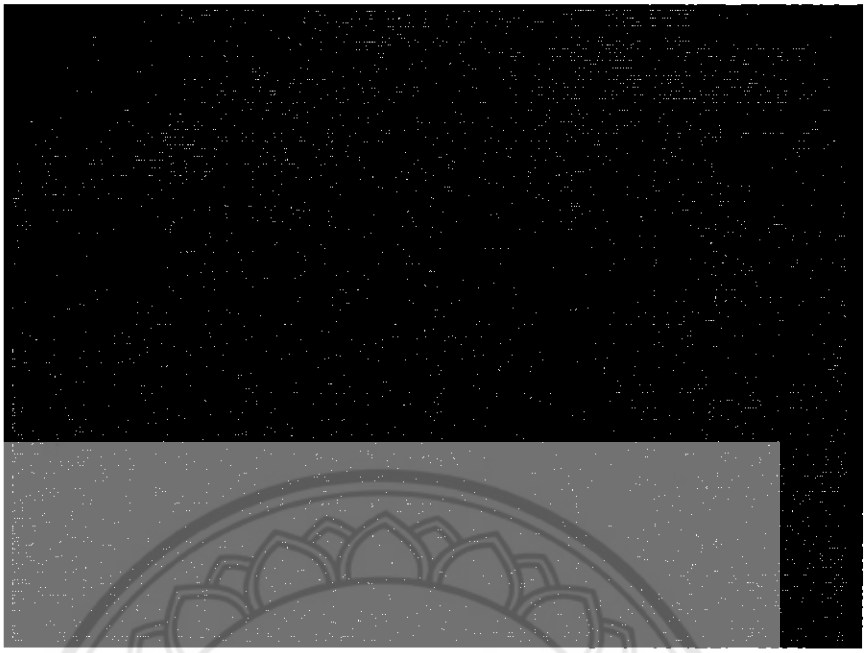
รูปที่ 4.40 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.5 m ด้านหลัง



รูปที่ 4.41 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 2.5 m ด้านซ้าย

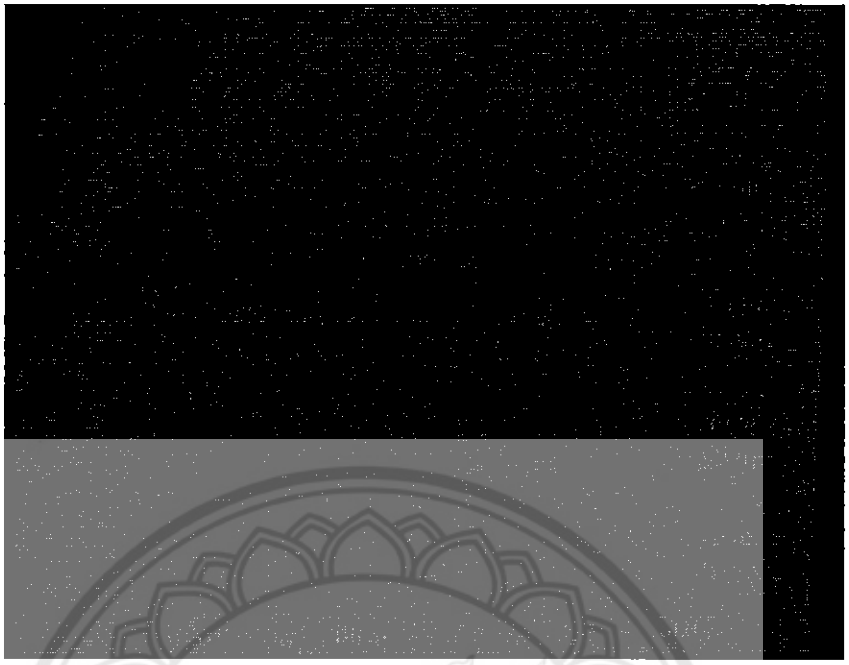


รูปที่ 4.42 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.0 m ด้านหน้า

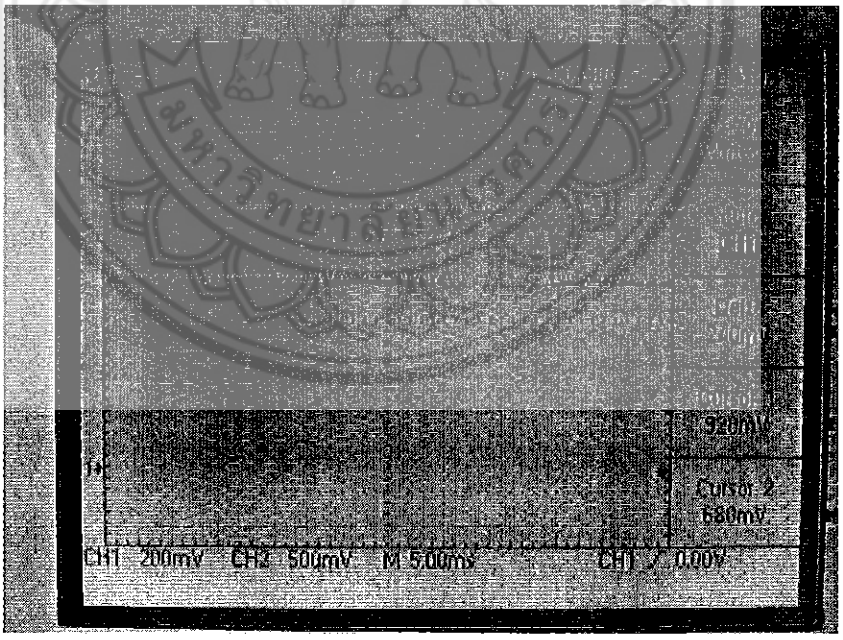


รูปที่ 4.43 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.0 m ด้านขวา

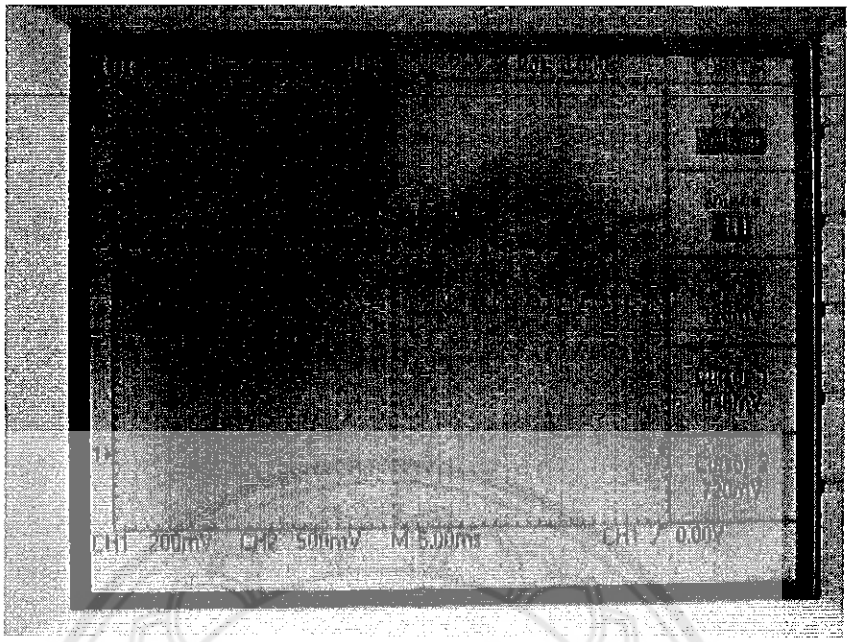
รูปที่ 4.44 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.0 m ด้านหลัง



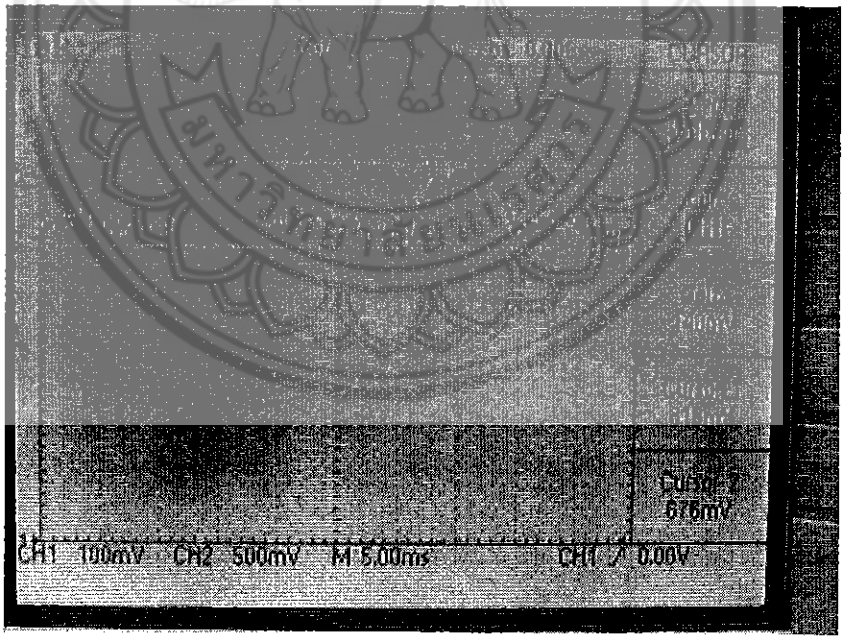
รูปที่ 4.45 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.0 m ด้านซ้าย



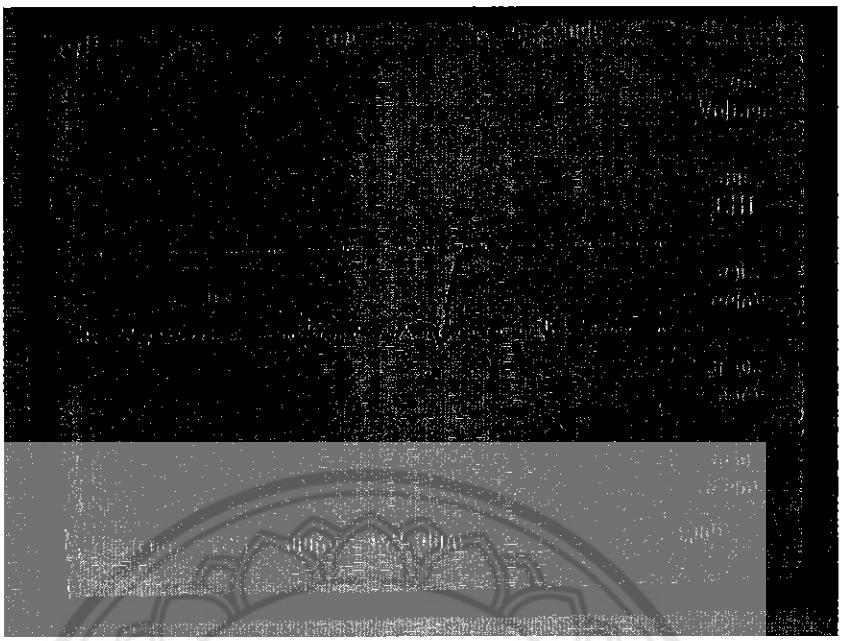
รูปที่ 4.46 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.5 m ด้านหน้า



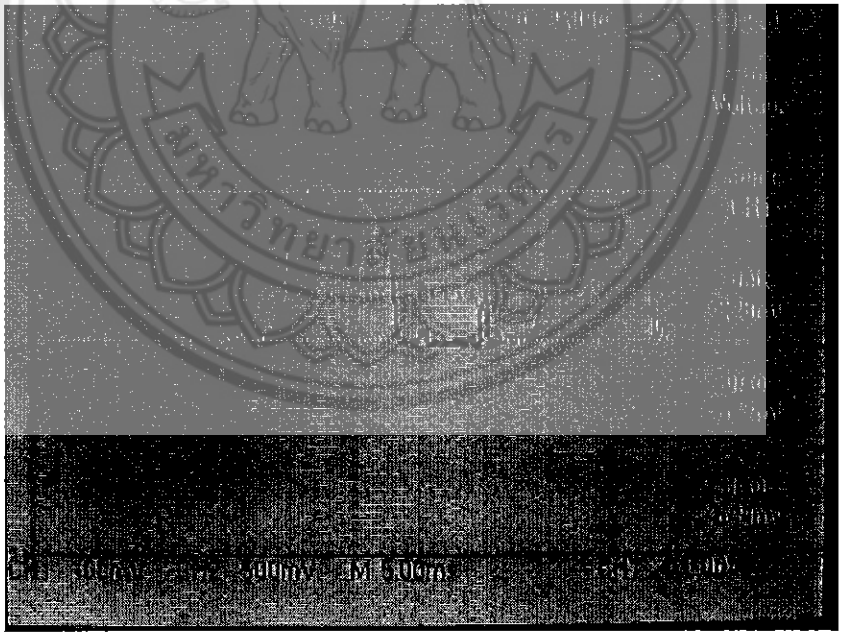
รูปที่ 4.47 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.5 m ด้านขวา



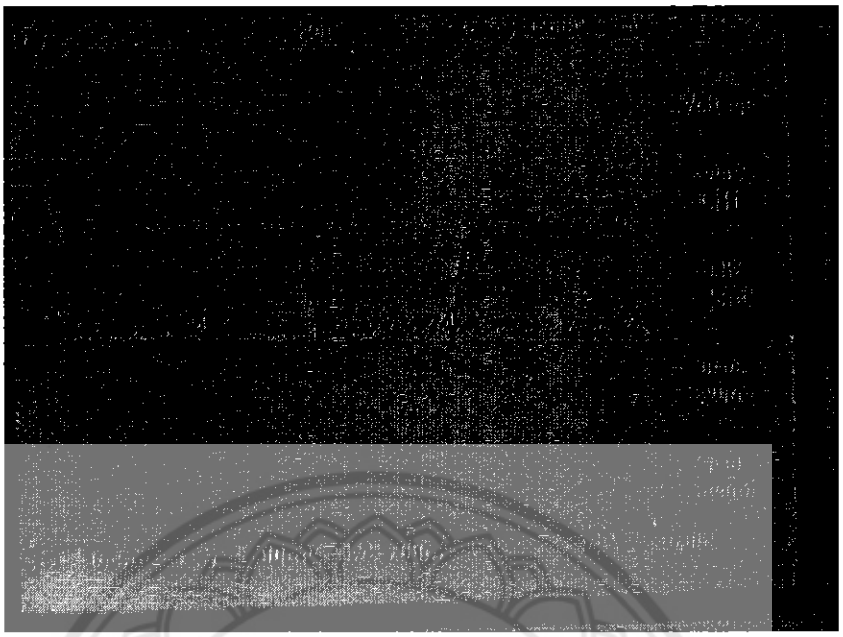
รูปที่ 4.48 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.5 m ด้านหลัง



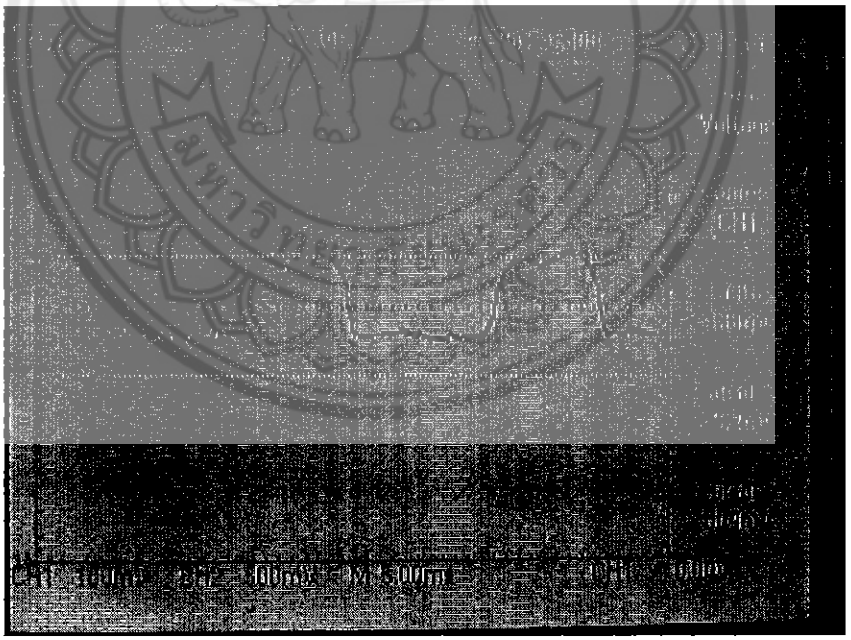
รูปที่ 4.49 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 3.5 m ด้านซ้าย



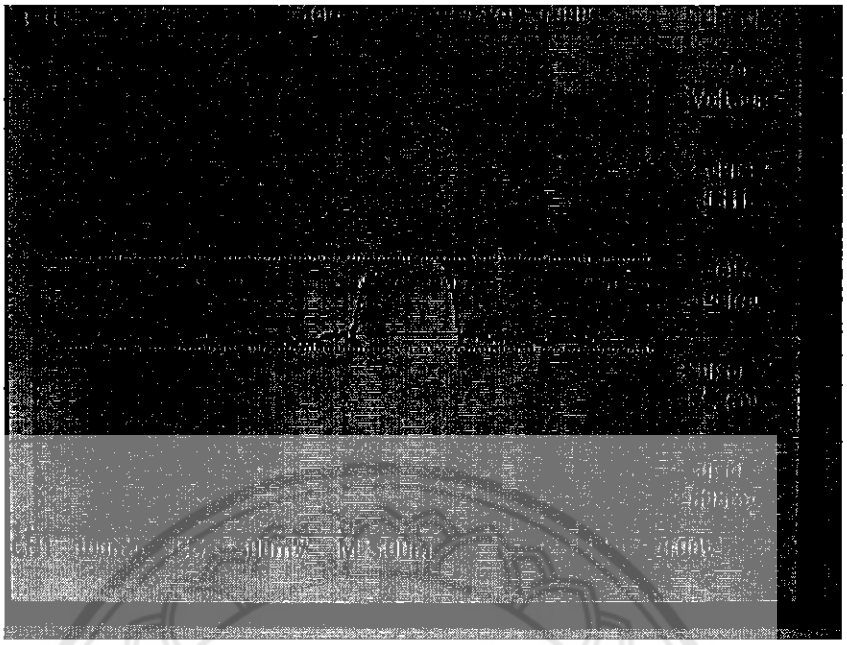
รูปที่ 4.50 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 4.0 m ด้านหน้า



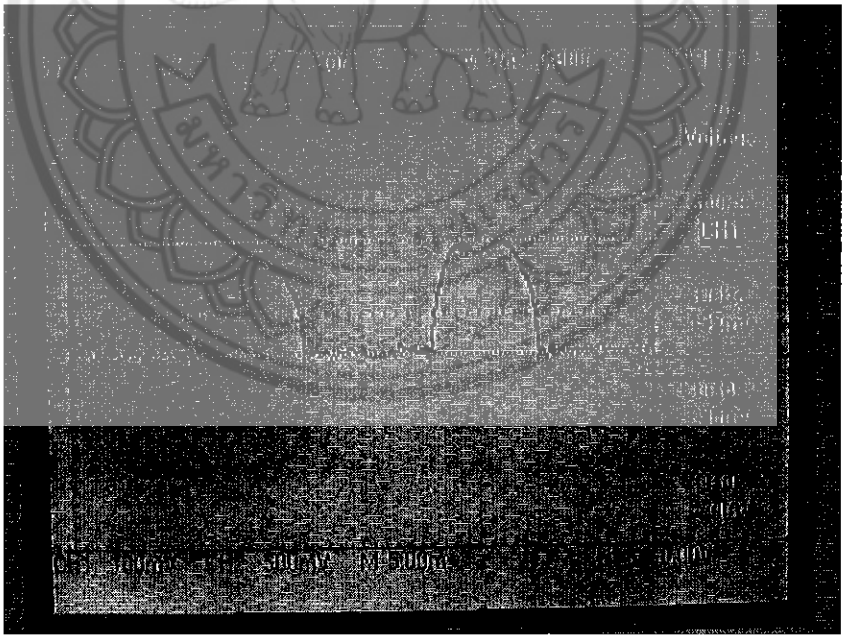
รูปที่ 4.51 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 4.0 m ด้านขวา



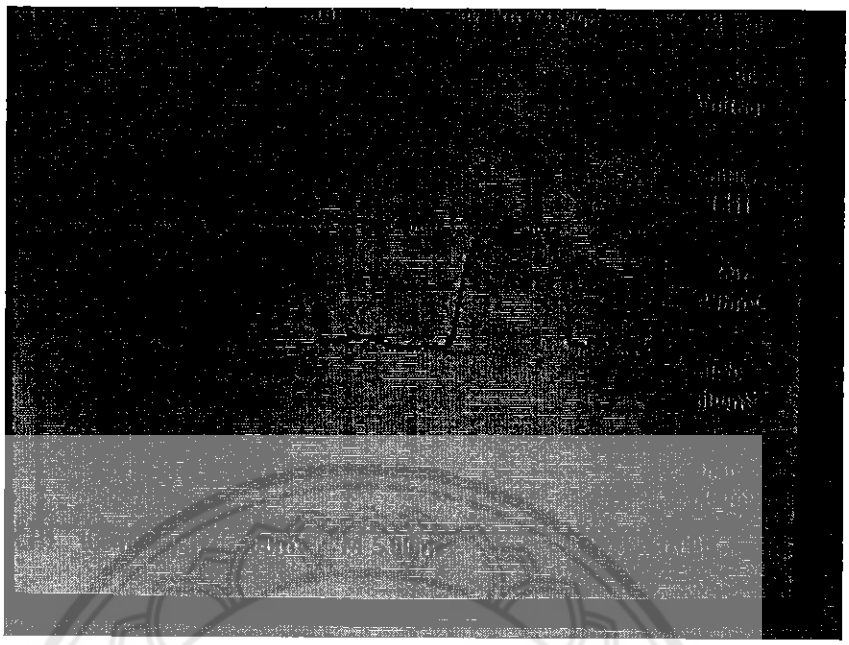
รูปที่ 4.52 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 4.0 m ด้านหลัง



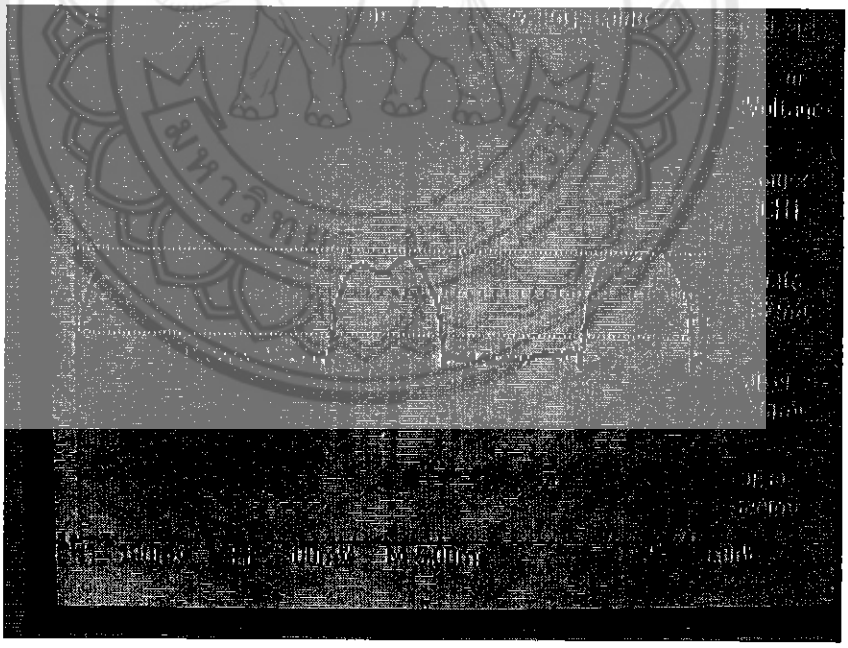
รูปที่ 4.53 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 4.0 m ด้านซ้าย



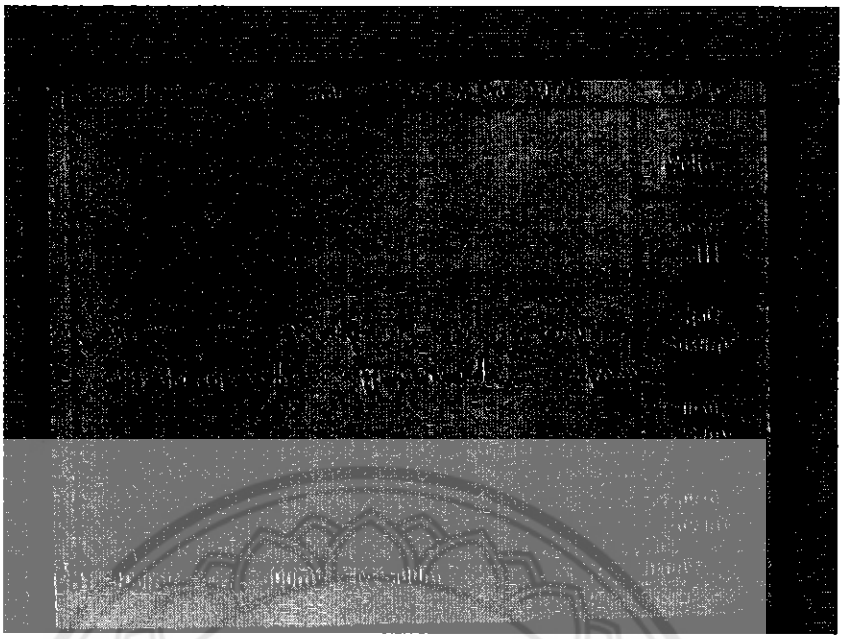
รูปที่ 4.54 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 5.0 m ด้านหน้า



รูปที่ 4.55 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 5.0 m ด้านขวา



รูปที่ 4.56 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 5.0 m ด้านหลัง



รูปที่ 4.57 พัลส์ของสัญญาณเอาท์พุตในระยะ 5.0 m ด้านซ้าย

บทที่ 5
สรุปผลและวิเคราะห์โครงงาน

จากการศึกษาเรื่องของทฤษฎีเกี่ยวกับคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟและทฤษฎีต่างๆที่ใช้เป็นสมมุติฐานในการวัดคลื่นไมโครเวฟในโครงงานนี้ทำให้สรุปผลและเสนอแนะแนวทางได้ดังนี้

5.1 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลองต่างๆ

จากการศึกษาโครงงานนี้ทำให้ได้ทราบว่าระยะทางมีค่าแปรผกผันกับความเข้มของคลื่นไมโครเวฟและตู้ไมโครเวฟมีการรั่วไหลมากที่สุดจากทางด้านหน้าตู้รองลงมาคือด้านที่ไม่มีหลอดแมกนีตรอนและด้านหลังตู้ ส่วนด้านที่มีการรั่วไหลน้อยที่สุดคือด้านที่มีหลอดแมกนีตรอน โดยที่อุปกรณ์ตรวจจับชิ้นนี้สามารถวัดได้ในระยะ 3 เมตรซึ่งค่าที่ได้นั้นจะมีความใกล้เคียงกับค่าความเข้มของคลื่นไมโครเวฟที่วัดจากเครื่องสเปกตรัมอนาไลเซอร์ หลังจากนั้นไปค่าที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนจากค่าความเข้มของคลื่นไมโครเวฟที่วัดจากเครื่องสเปกตรัมอนาไลเซอร์ และในตารางที่ 5.1 นี้จะแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองต่างๆ

ตารางที่ 5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองวิธีต่างๆ

วิธีการทดลอง	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง
1. การใช้สตาร์ทเตอร์	เมื่อนำสตาร์ทเตอร์ไปวางในตู้ปรากฏว่ามีแสงออกจากหลอดในสตาร์ทเตอร์ แต่เมื่อนำไปวางนอกตู้ปรากฏว่าไม่มีแสงออกมา อาจเป็นเพราะว่ากำลังของคลื่นที่ออกมามีค่าน้อยเกินไปจึงไม่สามารถทำให้อิเล็กตรอนเลื่อนชั้นพลังงานได้จึงไม่สามารถเปล่งแสงออกมาได้ดังที่ตั้งสมมติฐานไว้
2. การใช้สารเฟอร์ไรต์	ไม่ได้ทำการทดลองเนื่องจากว่าการเกิดกระแสเอ็ดดี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีสนามแม่เหล็กไหลในแกนเหล็กแต่การนำเหล็กไปวางรับคลื่นแม่ไมโครเวฟนั้น สนามแม่เหล็กไม่ได้ไหลในแกนเหล็กแต่วิ่งจากภายนอกมาชนแท่งเหล็กนั้นจึงเกิดการสะท้อนกลับ

วิธีการทดลอง	สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง
3. การใช้ขดลวดโซลินอยด์	เมื่อนำขดลวดโซลินอยด์ที่พัน 480 รอบ ไปวางบริเวรตู้ไมโครเวฟแล้วใช้สโคบจับวัดแรงดันเอาท์พุต ปรากฏว่าแทบไม่มีแรงดันเอาท์พุตออกมาอาจเป็นเพราะยิ่งพันขดลวดมากก็จะมีความต้านทานมากทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมจึงไม่มีแรงดันเอาท์พุตออกมา
4. การใช้ไอซี Max2015	เมื่อนำไอซีไปต่อวงจรดังรูป 3.5 แล้วนำไปต่อกับฟิลเตอร์และบัฟเฟอร์ และตัวประมวลผล แล้วนำไปวัดคลื่นไมโครเวฟปรากฏว่าได้ค่าความเข้มของคลื่นไมโครเวฟออกมา แล้วเมื่อนำไป เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสเปกตรัมอนาไลเซอร์ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกันแต่ค่าจะคาดเคลื่อนมากเมื่อวัดห่างเกิน 3 mขึ้นไป

5.2 ปัญหาข้อเสนอแนะ

ในโครงงานนี้ปัญหาส่วนหนึ่งเกิดจากการที่คลื่นไมโครเวฟรั่วไหลออกมาไม่สม่ำเสมอทำให้การทดลองวัดค่าทำได้ยาก และเครื่องมือชิ้นนี้ยังมีข้อบกพร่องคือสามารถวัดได้ในระยะไม่เกิน 3 เมตร เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ประมวลผลมีความไม่ละเอียดพอที่จะแปลงระดับสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นค่าตัวเลขที่จะแสดงผลออกทางหน้าจอซึ่งในระดับสัญญาณต่ำๆจะไม่สามารถวัดค่าได้

5.3 แนวทางในการพัฒนาในอนาคต

1. พัฒนาค่าเอาท์พุตที่ได้ให้มีความแม่นยำและเที่ยงตรงมากขึ้น
2 แก้ปัญหาเรื่องความถี่รบกวนจากภายนอก
3. แก้ปัญหาเรื่องการวัดคลื่นที่มีระดับสัญญาณต่ำ
4. แก้ปัญหาเรื่องการวัดคลื่นที่ระยะทางไกลขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] http://et.nmsu.edu/~etti/fall96/communications/db/db.html.2005

[2] http://www.radioing.com/hamradio/rfcalc.html.2005

[3] http://www.radioing.com/hamradio/convert.html.2006

[4] http://home.cvc.org/microwaves/detecto.htm.2005

[5] http://www.mercola.com/article/microwave/hazards.htm.2006

[6] http://www.karinya.com/microwaves.htm.2006

[7] http://www.jrussellshealth.com/microwaves.html.2005

[8] http://www.rit.ac.th/homepage- .2006

[9] http://www.komchadluek.net/column/health/2004/07/28.php.2005

[10] http://update.se-ed.com/thetale161.pdf.2006

[11] http://www.cme.mut.ac.th/lab/mrg/main.htm.2006

[12] http://ece-www.colorado.edu/~kuester/Coax/connchart.htm.2005

[13] http://www.wa1mba.org/rfconn.htm.2006

[14] http://www.hottconsultants.com/techtips/decibel.html.2006

[15] http://nl.wikipedia.org/wiki/Decibel.2005

[16] http://coastcatvsupply.com/bbs/index.php?showtopic=111.2005

[17] http://apache.airnet.com.au/~fastinfo/microwave.2006

[18] http://www.geocities.com/tetsunosuke23/.2006

[19] sc/charud/virtualexperiment/physics2000/ritphysics/microwaves/standing_wave2thai.htm

[20] รศ.เฉลิมพล น้ำค้าง. **คลื่นและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.** ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ .2545

[21] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. **วิศวกรรมไมโครเวฟ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539

[22] ศ.บุญถึง แน่นหนา. **เตาไมโครเวฟ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. ชมรมเด็ก.2543

[23] รศ.นิรันดร์ คำประเสริฐ. **วิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้าและวิศวกรรมไมโครเวฟ เล่ม 2.** หจก สุเนตรฟิล์ม. 2542

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

```
DEFINE  LCD_BITS      4          'TRANSLATE DATA 4 BIT'
DEFINE  LCD_LINES     2          'LCD 2 LINE'
DEFINE  LCD_DREG      PORTD      'PORT D  IS  DATA  PORT'
DEFINE  LCD_DBIT      4          'PORT D.4-D.7 IS  DATA  PORT'
DEFINE  LCD_RSREG     PORTD
DEFINE  LCD_RSBIT     2
DEFINE  LCD_EREG      PORTD
DEFINE  LCD_EBIT      3
DEFINE  ADC_BITS      8          'RECEIVE A TO D  DATA IS  8 BIT'
DEFINE  ADC_CLOCK     3
DEFINE  ADC_SAMPLES   100        'SIMPLING TIME IS 0.1s'
V_IN            VAR WORD
V_OUT           VAR WORD
DB              VAR WORD
X               VAR WORD
PAUSE  1000
LCDOUT  $FE,1
X = 0

MAIN_LOOP:
   PAUSE     5                   'DELAY 0.005 s'
   TRISA.0   = 1                 'A.0  IS PORT A  TO  D'
   ADCON1    = 0                 'KEEP DATA IN CHANNEL 0'
   ADCON1.7  = 0                 'KEEP DATA  LEFT TO RIGHT'
   GOTO L1

L1: X = X
   ADCIN   0,V_IN                'READ A TO D  FROM CHANNEL 0  KEEP IN V_IN'
   IF (V_IN <= 40) THEN
   V_IN = 10
   ENDIF
   V_OUT = (((V_IN)*100)/51)
```

```
DB   = ((((V_OUT)+53)*10)/18)      'CALCULATE  DBuV'
LCDOUT  $FE,$80
LCDOUT  $FE,1,DEC DB               'SHOW  DB VALUE AT  LCD'
LCDOUT  $FE,$C0+3,"dBuV."          'SHOW  DB VALUE IS DBuV'
PAUSE   500
X = (X+1)
IF X < 10 THEN
GOTO L1
ENDIF
IF X = 10 THEN
X = 0
GOTO MAIN_LOOP:
ENDIF
```

ภาคผนวก ข

19-2998; Rev 1; 12/03

MAXIM

0.1GHz to 2.5GHz, 75dB Logarithmic Detector/Controller

General Description

The MAX2015 complete multistage logarithmic amplifier is designed to accurately convert radio-frequency (RF) signal power in the 0.1GHz to 2.5GHz frequency range to an equivalent DC voltage. The outstanding dynamic range and precision over temperature of this log amplifier make it particularly useful for a variety of base station and other wireless applications, including automatic gain control (AGC), transmitter power measurements, and received signal strength indication (RSSI) for terminal devices.

The MAX2015 can also be operated in a controller mode where it measures, compares, and controls the output power of a variable-gain amplifier as part of a fully integrated AGC loop.

This logarithmic amplifier provides much wider measurement range and superior accuracy compared to controllers based on diode detectors, while achieving excellent temperature stability over the full -40°C to +85°C operating range.

Features

- ♦ **Complete RF Detector/Controller**
- ♦ **0.1GHz to 2.5GHz Frequency Range**
- ♦ **Exceptional Accuracy Over Temperature**
- ♦ **High Dynamic Range**
- ♦ **2.7V to 5.25V Supply Voltage Range***
- ♦ **Scaling Stable Over Supply and Temperature Variations**
- ♦ **Controller Mode with Error Output**
- ♦ **Shutdown Mode with Typically 1µA of Supply Current**
- ♦ **Available in 8-Pin µMAX Package**

**See Power-Supply Connections section.*

Applications

AGC Measurement and Control

RF Transmitter Power Measurement

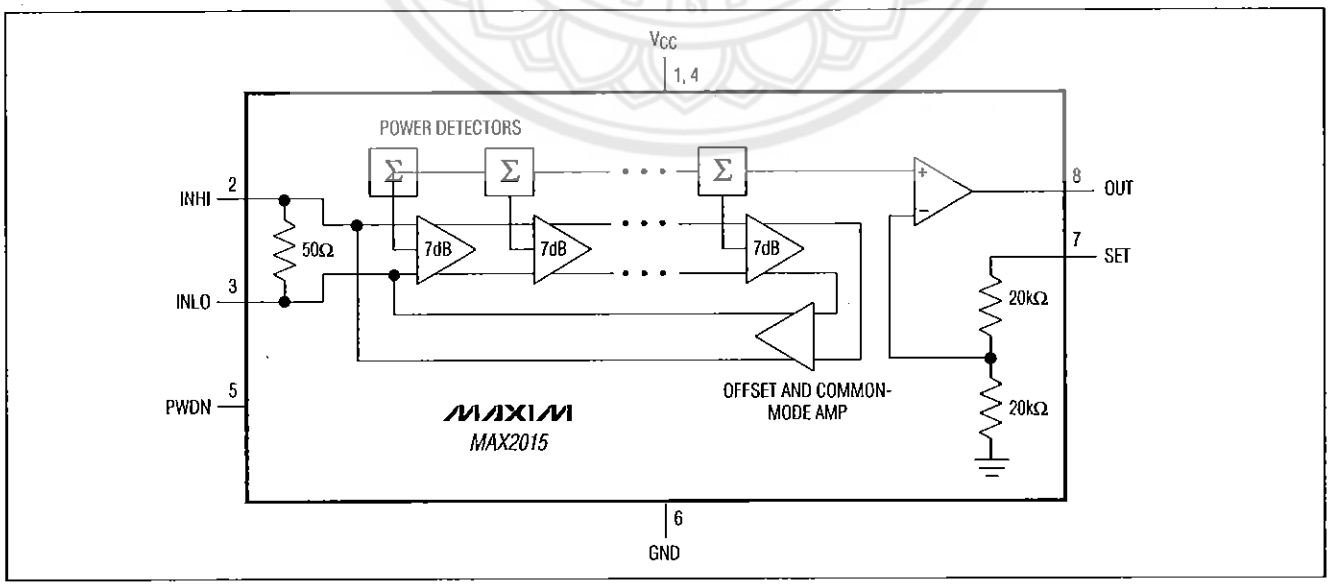
RSSI Measurements

Cellular Base Station, WLAN, Microwave Link, Radar, and other Military Applications

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX2015EUA-T	-40°C to +85°C	8 µMAX

Functional Diagram



Pin Configuration appears at end of data sheet.

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

0.1GHz to 2.5GHz, 75dB Logarithmic Detector/Controller

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V_{CC} (Pins, 1, 4) to GND.....-0.3V to +5.25V
SET, PWDN to GND.....-0.3V to (V_{CC} + 0.3V)
Input Power Differential INHI, INLO.....+23dBm
Input Power Single Ended (INHI or INLO grounded).....+19dBm
Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)
8-Pin µMAX (derate 4.5mW/°C above +70°C).....362mW

Operating Temperature Range .....-40°C to +85°C
Junction Temperature.....+150°C
Storage Temperature Range.....-65°C to +150°C
Lead Temperature (soldering, 10s).....+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(MAX2015 Typical Application Circuit (Figure 1), V_S = +3.3V, f_{RF} = 100MHz to 2500MHz, R1 = 0Ω, R4 = 0Ω, R_L = 10kΩ, T_A = -40°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLY						
Supply Voltage	V_S	R4 = 75Ω ±1%, PWDN must be connected to GND	4.75		5.25	V
		R4 = 0Ω	2.7		3.6	
Supply Current	I_{CC}	T_A = +25°C, V_S = 5.25V, R4 = 75Ω		17.3		mA
		T_A = +25°C		17.3	20.5	
Supply Current Variation with Temp	I_{CC}	T_A = -40°C to +85°C		0.05		mA/°C
Shutdown Current	I_{CC}	V_{PWDN} = V_{CC}		1		µA
CONTROLLER REFERENCE (SET)						
SET Input Voltage Range				0.5 to 1.8		V
SET Input Impedance				40		kΩ
DETECTOR OUTPUT (OUT)						
Source Current				4		mA
Sink Current				450		µA
Minimum Output Voltage	$V_{OUT(MIN)}$			0.5		V
Maximum Output Voltage	$V_{OUT(MAX)}$			1.8		V

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(MAX2015 Typical Application Circuit (Figure 1), V_S = +3.3V, f_{RF} = 100MHz to 2500MHz, R1 = 0Ω, R4 = 0Ω, R_L = 10kΩ, T_A = -40°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
RF Input Frequency Range	f_{RF}			0.1 to 2.5		GHz
Return Loss	S_{11}			-15		dB
Large-Signal Response Time		P_{IN} = no signal to 0dBm, ±0.5dB settling accuracy		150		ns
RSSI MODE—0.1GHz						
RF Input Power Range		(Note 2)		-65 to +5		dBm
±3dB Dynamic Range		T_A = -40°C to +85°C (Note 3)		70		dB
Range Center				-30		dBm
Temp Sensitivity when T_A > +25°C		T_A = +25°C to +85°C, P_{IN} = -25dBm		+0.0083		dB/°C
Temp Sensitivity when T_A < +25°C		T_A = -40°C to +25°C, P_{IN} = -25dBm		-0.0154		dB/°C
Slope		(Note 4)		19		mV/dB
Typical Slope Variation		T_A = -40°C to +85°C		-4		µV/°C
Intercept		(Note 5)		-100		dBm
Typical Intercept Variation		T_A = -40°C to +85°C		0.03		dBm/°C
RSSI MODE—0.9GHz						
RF Input Power Range		(Note 2)		-65 to +5		dBm
±3dB Dynamic Range		T_A = -40°C to +85°C (Note 3)		70		dB
Range Center				-30		dBm
Temp Sensitivity when T_A > +25°C		T_A = +25°C to +85°C, P_{IN} = -25dBm		±0.0083		dB/°C
Temp Sensitivity when T_A < +25°C		T_A = -40°C to +25°C, P_{IN} = -25dBm		-0.0154		dB/°C
Slope		(Note 4)		18.1		mV/dB
Typical Slope Variation		T_A = -40°C to +85°C		-4		µV/°C
Intercept		(Note 5)		-97		dBm
Typical Intercept Variation		T_A = -40°C to +85°C		0.02		dBm/°C
RSSI MODE—1.9GHz						
RF Input Power Range		(Note 2)		-55 to +5		dBm
±3dB Dynamic Range		T_A = -40°C to +85°C (Note 3)		60		dB
Range Center				-25		dBm
Temp Sensitivity when T_A > +25°C		T_A = +25°C to +85°C, P_{IN} = -25dBm		±0.0033		dB/°C
Temp Sensitivity when T_A < +25°C		T_A = -40°C to +25°C, P_{IN} = -25dBm		-0.0138		dB/°C
Slope		(Note 4)		18		mV/dB
Typical Slope Variation		T_A = -40°C to +85°C		-4.8		µV/°C

0.1GHz to 2.5GHz, 75dB Logarithmic Detector/Controller

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(MAX2015 Typical Application Circuit (Figure 1), V_S = +3.3V, f_{RF} = 100MHz to 2500MHz, R1 = 0Ω, R4 = 0Ω, R_L = 10kΩ, T_A = -40°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Intercept		(Note 5)		-83		dBm
Typical Intercept Variation		T_A = -40°C to +85°C		0.03		dBm/°C
RSSI MODE—2.5GHz						
RF Input Power Range		(Note 2)		-45 to -5		dBm
±3dB Dynamic Range		T_A = -40°C to +85°C (Note 3)		40		dB
Range Center				-25		dBm
Temp Sensitivity when T_A > +25°C		T_A = +25°C to +85°C, P_{IN} = -25dBm		-0.0083		dB/°C
Temp Sensitivity when T_A < +25°C		T_A = -40°C to +25°C, P_{IN} = -25dBm		-0.0083		dB/°C
Slope		(Note 4)		16.8		mV/dB
Typical Slope Variation		T_A = -40°C to +85°C		-8		µV/°C
Intercept		(Note 5)		-81		dBm
Typical Intercept Variation		T_A = -40°C to +85°C		0.03		dBm/°C

Note 1: The MAX2015 is 100% production tested at T_A = +25°C and is guaranteed by design for T_A = -40°C to +85°C, as specified.

Note 2: Typical minimum and maximum range of the detector at the stated frequency.

Note 3: Dynamic range refers to the range over which the error remains within the stated bounds. The error is calculated at -40°C and +85°C, relative to the curve at +25°C.

Note 4: The slope is the variation of the output voltage per change in input power. It is calculated by fitting a root-mean-square (RMS) straight line to the data indicated by RF input power range.

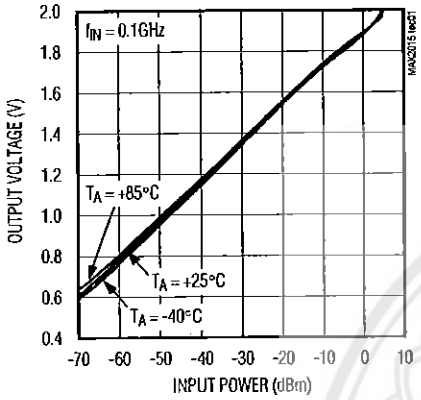
Note 5: The intercept is an extrapolated value that corresponds to the output power for which the output voltage is zero. It is calculated by fitting an RMS straight line to the data.

0.1GHz to 2.5GHz, 75dB Logarithmic Detector/Controller

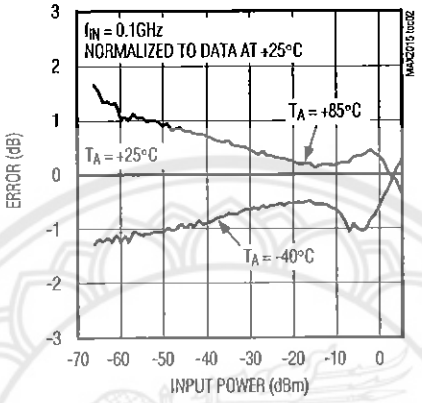
Typical Operating Characteristics

(MAX2015 Typical Application Circuit (Figure 1), $V_S = V_{CC} = 3.3V$, $P_{IN} = -10dBm$, $f_{IN} = 100MHz$, R1 = 0Ω, R4 = 0Ω, $R_L = 10k\Omega$, $V_{PWDN} = 0V$, $T_A = +25°C$, unless otherwise noted.)

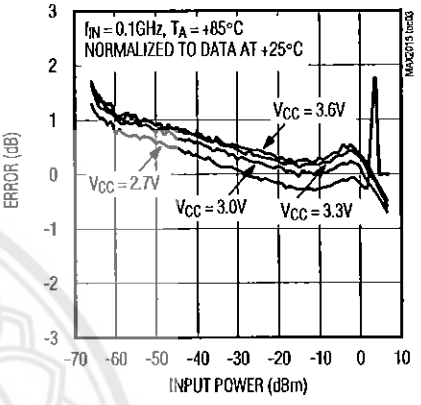
OUTPUT VOLTAGE vs. INPUT POWER



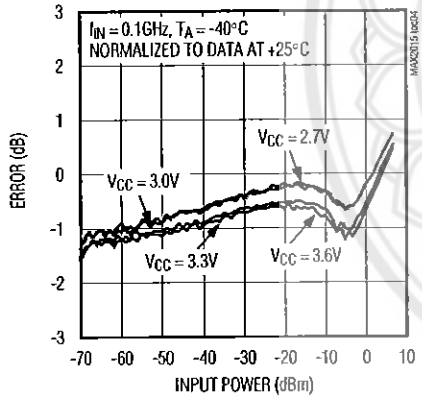
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



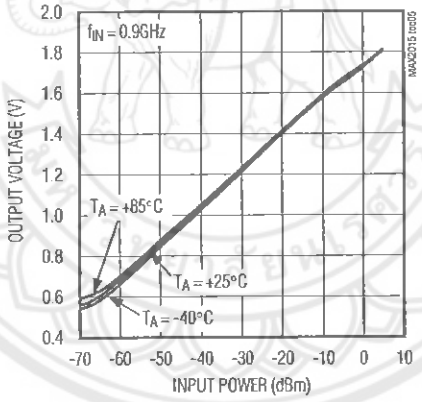
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



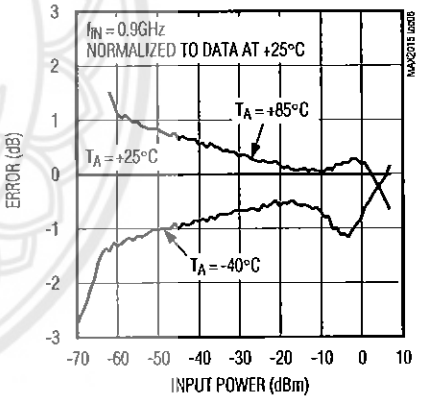
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



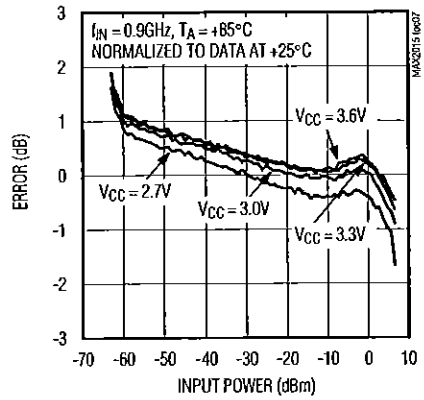
OUTPUT VOLTAGE vs. INPUT POWER



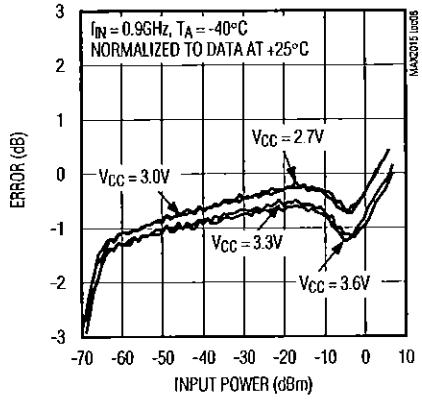
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



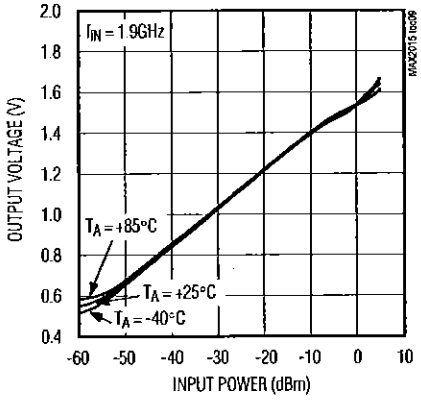
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



OUTPUT VOLTAGE vs. INPUT POWER

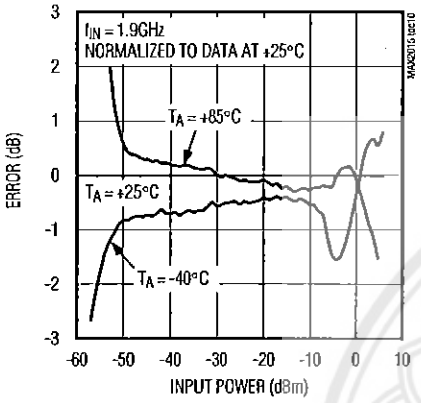


0.1GHz to 2.5GHz, 75dB Logarithmic Detector/Controller

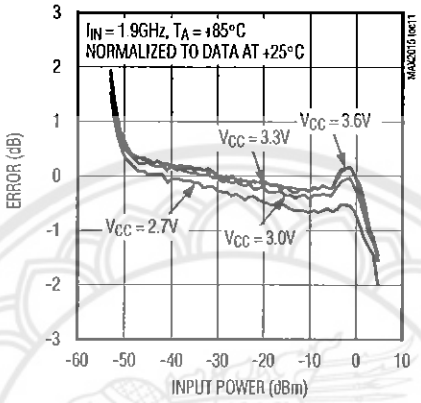
Typical Operating Characteristics (continued)

(MAX2015 Typical Application Circuit (Figure 1), V_S = V_{CC} = 3.3V, P_{IN} = -10dBm, f_{IN} = 100MHz, R1 = 0Ω, R4 = 0Ω, R_L = 10kΩ, V_{PWDN} = 0V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

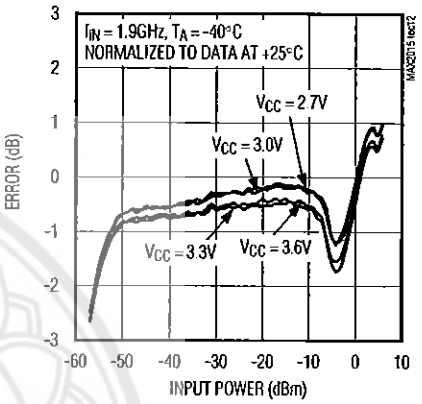
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



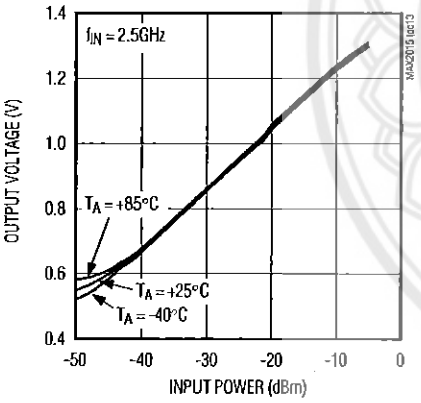
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



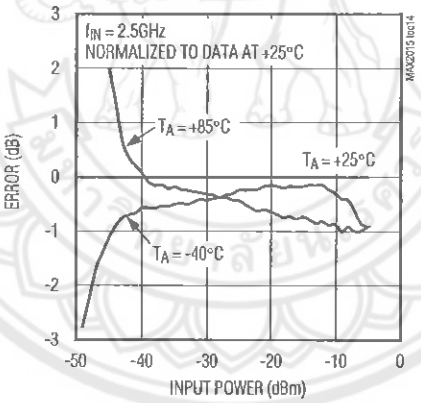
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



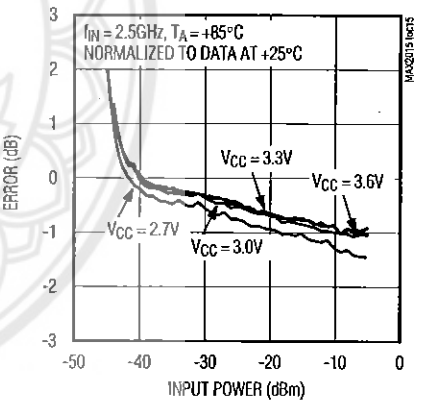
OUTPUT VOLTAGE vs. INPUT POWER



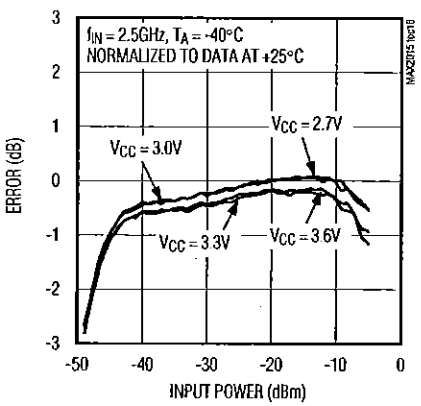
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



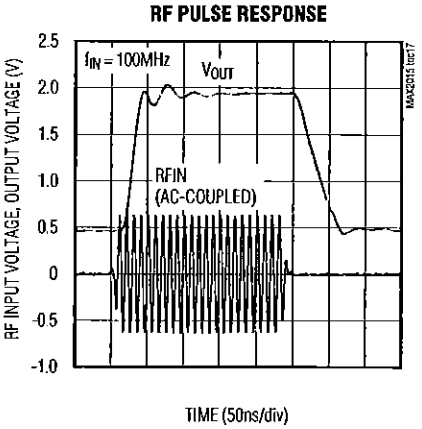
OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



OUTPUT VOLTAGE ERROR vs. INPUT POWER



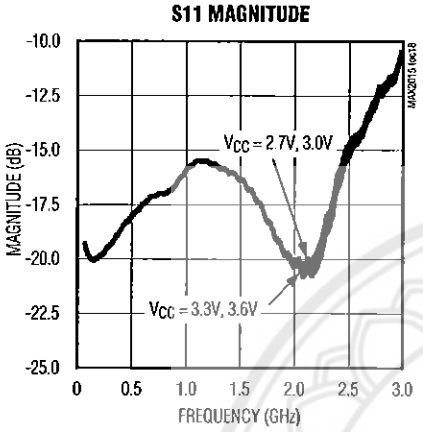
RF PULSE RESPONSE

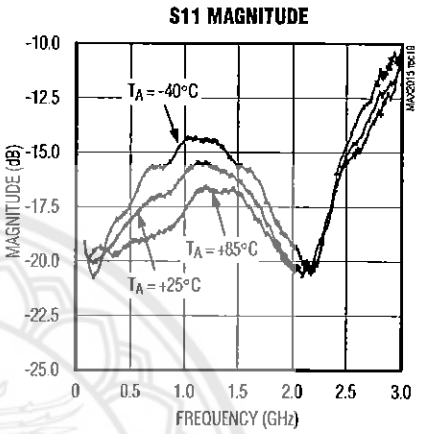


0.1GHz to 2.5GHz, 75dB Logarithmic Detector/Controller

Typical Operating Characteristics (continued)

(MAX2015 Typical Application Circuit (Figure 1), $V_S = V_{CC} = 3.3V$, $P_{IN} = -10dBm$, $f_{IN} = 100MHz$, R1 = 0Ω, R4 = 0Ω, $R_L = 10k\Omega$, $V_{PWDN} = 0V$, $T_A = +25°C$, unless otherwise noted.)





Pin Description

PIN	NAME	DESCRIPTION
1, 4	V_{CC}	Supply Voltage. Bypass with capacitors as specified in the application drawing. Place capacitors as close to the pin as possible (see *Power-Supply Connections* section).
2, 3	INHI, INLO	Differential RF Inputs
5	PWDN	Power-Down Input. Drive PWDN with a logic high to power down the IC. PWDN must be connected to GND for V_S between 4.75V and 5.25V with R4 = 75Ω
6	GND	Ground. Connect to the printed circuit (PC) board ground plane.
7	SET	Set-Point Input. To operate in detector mode, connect SET to OUT. To operate in controller mode, connect a precision voltage source to control the power level of a power amplifier.
8	OUT	Detector Output. In detector mode, this output provides a voltage proportional to the log of the input power. In controller mode, this output is connected to a power-control input on a power amplifier (PA).

0.1GHz to 2.5GHz, 75dB Logarithmic Detector/Controller

Detailed Description

The MAX2015 is a successive detection logarithmic amplifier designed for use in RF power measurement and AGC applications with a 0.1GHz to 2.5GHz frequency range from a single 2.7V to 3.6V power supply. It is pin compatible with other leading logarithmic amplifiers.

The MAX2015 provides for improved performance with a high 75dB dynamic range at 100MHz, and exceptional accuracy over the extended temperature range and supply voltage range.

RF Input

The MAX2015 differential RF input (INHI, INLO) allows for broadband signals between 100MHz and 2.5GHz. For single-ended signals, AC-couple INLO to ground. The RF inputs are internally biased and need to be AC-coupled using 680pF capacitors as shown in Figure 1 and Figure 2. An internal 50Ω resistor between INHI and INLO provides a good 50MHz to 3.0GHz match.

SET Input

The SET input is used for loop control when in controller mode or to set the slope of the output signal (mV/dB) when in detector mode. The internal input structure of SET is two series 20kΩ resistors connected to ground. The center node of the resistors is fed to the negative input of the internal output op amp.

Power-Supply Connections

The MAX2015 requires power-supply bypass capacitors connected close to each V_{CC} pin. At each V_{CC} pin, connect a 0.1µF capacitor (C4, C6) and a 100pF capacitor (C3, C5) with the 100pF capacitor being closest to the pin.

For power-supply voltages (V_S) between 2.7V and 3.6V, set R4 = 0Ω (see *Typical Apllications Circuits*).

For power-supply voltages (V_S) between 4.75V and 5.25V, set R4 = 75Ω ±1% (100ppm/°C max) and PWDN must be connected to GND.

Power-Down Mode

The MAX2015 can be powered down by driving PWDN with logic high (logic high = V_{CC}). In power-down mode, the supply current is reduced to a typical value of 1µA. For normal operation, drive PWDN with a logic low. It is recommended when using power-down that an RF signal not be applied before the power-down signal is low.

Applications Information

Detector (RSSI) Mode

In detector mode, the MAX2015 acts like an RSSI, which provides an output voltage proportional to the input power. This is accomplished by providing a feedback path from OUT to SET (R1 = 0Ω; see Figure 1).

By connecting SET directly to OUT, the op amp gain is set to 2V/V due to two internal 20kΩ feedback resistors. This provides a detector slope of approximately 18mV/dB with a 0.5V to 1.8V output range.

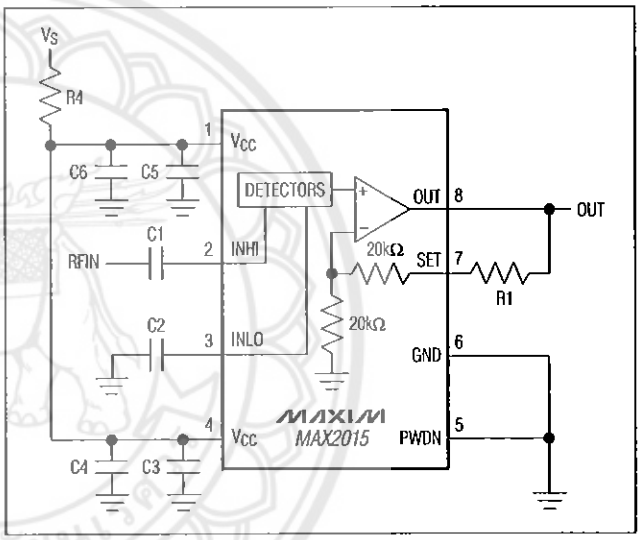


Figure 1. Detector-Mode (RSSI) Typical Application Circuit

Table 1. Suggested Components of Typical Applications Circuits

DESIGNATION	VALUE	TYPE
C1, C2	680pF	0603 ceramic capacitors
C3, C5	100pF	0603 ceramic capacitors
C4, C6	0.1µF	0603 ceramic capacitors
R1*	0Ω	0603 resistor
R4**	0Ω	0603 resistor

**RSSI mode only.*
***V_S = 2.7V to 3.6V.*

0.1GHz to 2.5GHz, 75dB Logarithmic Detector/Controller

Controller Mode

The MAX2015 can also be used as a detector/controller within an AGC loop. Figure 3 depicts one scenario where the MAX2015 is employed as the controller for a variable-gain PA. As shown in the figure, the MAX2015 monitors the output of the PA through a directional coupler. An internal integrator (Figure 2) compares the detected signal with a reference voltage determined by V_{SET}. The integrator, acting like a comparator, increases or decreases the voltage at OUT, according to how closely the detected signal level matches the V_{SET} reference. The MAX2015 adjusts the power of the PA to a level determined by the voltage applied to SET. With R1 = 0Ω, the controller mode slope is approximately 19mV/dB (RF = 100MHz).

Layout Considerations

As with any RF circuit, the layout of the MAX2015 circuit affects the device's performance. Use an abundant number of ground vias to minimize RF coupling. Place the input capacitors (C1, C2) and the bypass capacitors (C3–C6) as close to the IC as possible. Connect the bypass capacitors to the ground plane with multiple vias.

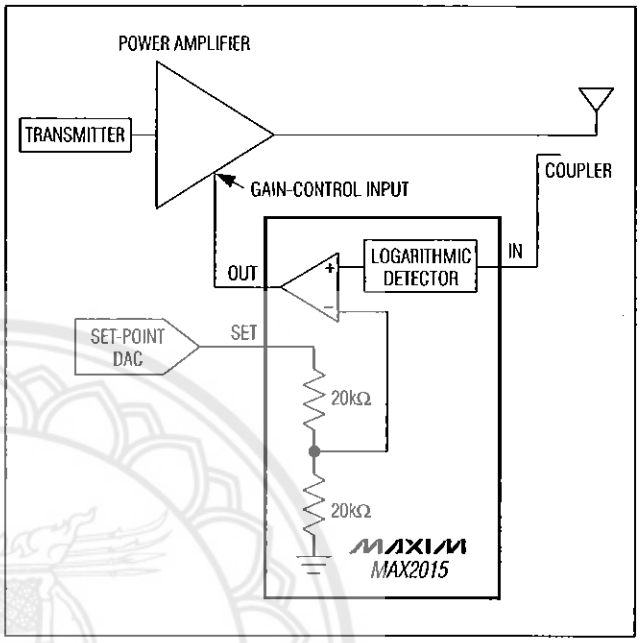


Figure 3. System Diagram for Automatic Gain-Control Loop

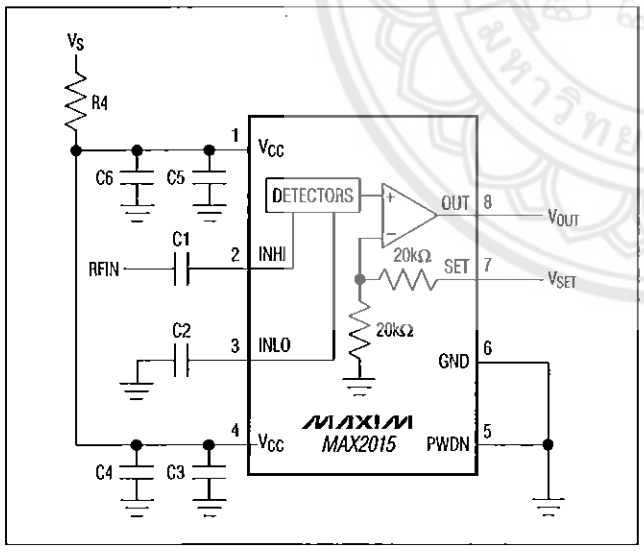
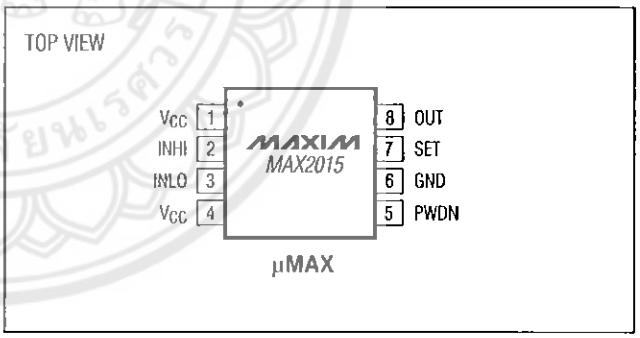


Figure 2. Controller-Mode Typical Application Circuit

Pin Configuration



Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 3157

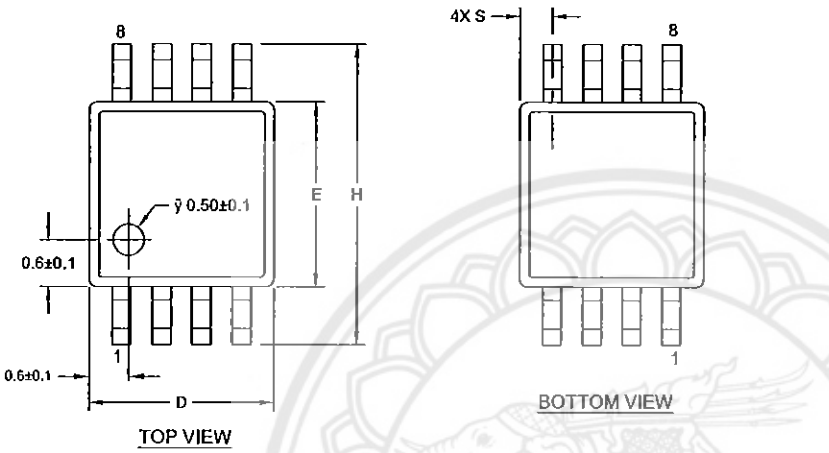
PROCESS: BiCMOS

0.1GHz to 2.5GHz, 75dB Logarithmic Detector/Controller

Package Information

(The package drawing(s) in this data sheet may not reflect the most current specifications. For the latest package outline information, go to **www.maxim-ic.com/packages**.)

8LUMAXD.EPS



DIM	INCHES MIN	INCHES MAX	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX
A	-	0.043	-	1.10
A1	0.002	0.006	0.05	0.15
A2	0.030	0.037	0.75	0.95
b	0.010	0.014	0.25	0.36
c	0.005	0.007	0.13	0.18
D	0.116	0.120	2.95	3.05
e	0.0256 BSC		0.65 BSC	
E	0.116	0.120	2.95	3.05
H	0.188	0.198	4.78	5.03
L	0.016	0.026	0.41	0.66
α	0∞	6∞	0∞	6∞
S	0.0207 BSC		0.5250 BSC	

NOTES:
1. D&E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH.
2. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS NOT TO EXCEED 0.15MM (.006").
3. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETERS.
4. MEETS JEDEC MO-187C-AA.

DALLAS SEMICONDUCTOR MAXIM
PROPRIETARY INFORMATION
TITLE: PACKAGE OUTLINE, 8L uMAX/uSOP
APPROVAL | DOCUMENT CONTROL NO. 21-0036 | REV. J | 1/1

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

© 2003 Maxim Integrated Products Printed USA MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

นาย นภดนย์ ตำนานทอง

ที่อยู่ 276/8 ถ.มนตรีสุริยวงศ์ ต.หน้าเมือง อ.เมือง จ.ราชบุรี

ประวัติการศึกษา

- จบมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ
- ปัจจุบันกำลังศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

e-mail : sun_ee@hotmail.com

นาย วีรวัฒน์ อ่อนแก้ว

ที่อยู่ 90/2 ถ.พระองค์ขาว ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

e-mail : verawat_ee@hotmail.com

นาย สุวิทย์ ทองปิ่น

ที่อยู่ 102 หมู่14 ตำบลป่ามะคาบ อ.เมือง จ.พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสระหลวงพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

e-mail : killua_of_knight@hotmail.com