



ออกแบบและทำให้เกิดผลของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
สำหรับเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร

โดย
ทรงกลด ศรีปรารงค์
ชาญวิทย์ บุญช่วย
อาทิตย์ อยู่เย็น

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2557

Design and Implementation of Wireless Sensor
Network for Detecting Elephants to Agriculture Areas

By

Songklod

Sriprang

Chanwit

Boonchuay

Arthit

Yooyen

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2014

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ที่เอื้ออำนวยเกี่ยวกับสถานที่ห้องปฏิบัติการ ตลอดจนการติดตามการดำเนินงาน และการจัดส่งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย ผู้จัดทำหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จะก่อประโยชน์ให้กับมหาวิทยาลัยฯ และคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี เพื่อเป็นองค์ความรู้สำหรับนักศึกษา รวมถึงบุคลากรและผู้ที่เกี่ยวข้อง ขอขอบคุณครับ

ทรงกลด ศรีปรามค์ และคณะฯ
กันยายน 2557



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A8/2557

ชื่อโครงการ : ออกแบบและทำให้เกิดผลของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับเตือนภัยการบุกรุกของช้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร

ชื่อนักวิจัย : นายทรงกลด ศรีปรานค์ ดร.ชาญวิทย์ บุญช่วย นายอาทิตย์ อยู่เย็น

โครงการนี้เป็นโครงการที่นำเอาความรู้ทางเทคโนโลยี Microcontroller และเทคโนโลยี Zigbee มาออกแบบ และประยุกต์ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจจับโขลงช้างป่า โดยทำการระบุตำแหน่งของช้างป่า และส่งข้อมูลตำแหน่งของช้างผ่านทาง Zigbee ซึ่งจะแสดงผลทางหอคอยเฝ้าระวังช้างแทนการเดินสายไฟในการแสดงผลข้อมูล การแสดงผลดังกล่าวจะติดตั้งชุดสัญญาณไฟไซเรน และชุดส่งสัญญาณเสียงไซเรนฮอร์นประจำไว้ที่หอคอยเฝ้าระวังช้าง

โครงการนี้เป็นเพียงอุปกรณ์ต้นแบบ โดยใช้ XBee Pro 60mW Chip Antenna เชื่อมต่อเป็นเครือข่ายแบบ End diver และ Coordinator เพื่อทำการรับส่งข้อมูลระหว่าง Infrared sensor เมื่อตรวจจับช้างผ่านทาง Microcontroller ซึ่งจะแสดงผลทางหอคอยเฝ้าระวังช้าง และทำการใช้ Microcontroller เพื่อควบคุมการแสดงผลชุดสัญญาณไฟไซเรน และชุดส่งสัญญาณเสียงไซเรนฮอร์น

สำหรับการกำหนดค่าให้อุปกรณ์ Xbee แต่ละตัวเพื่อทำการรับส่งข้อมูลนั้นสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม X-CTU และใช้ PIC C Compiler ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ Xbee กับ Microcontroller และควบคุมการแสดงผลของชุดสัญญาณไฟไซเรน ซึ่งผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรมพบว่า มีการทำงานเป็นไปตามที่กำหนดไว้

คำสำคัญ : เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย, ระบบสมองกลฝังตัว, ระบบตรวจสอบทางการเกษตร

E-mail Address : songklod.sri@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 1 ตุลาคม 2556 - 30 กันยายน 2557

Abstract

Code of project: A8/2557

Project name: Design and Implementation of Wireless Sensor Network for
Detecting Elephants to Agriculture Areas

Researcher name: Mr.Songklod Sriprang Dr.Chanwit Boonchuay
Mr.Arthit Yooyen

Encroachment of elephants to agriculture areas causes dangers to people who live in nearly conserved forest areas. And inappropriate protecting approaches may injure and kill elephants. This paper proposes an alarm system for detecting elephant to agriculture areas based on an embedded technology with ZigBee wireless communication and photoelectric beam sensors. Test results indicate that the proposed system can operate properly within range of 250 meters. This could reduce the constructing cost more than 10 times compared to the conventional approach. The technology could secure elephants and conveniently applied to broader areas.

Keywords : alarm system, elephant, ZigBee, embedded system

E-mail Address : songklod.sri@rmutr.ac.th

Period of Project : 1st October 2013 – 30th September 2014

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพประกอบ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
1 บทนำ	1
1 หลักการและเหตุผล	1
2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
4 วิธีการดำเนินการวิจัย	4
5 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
1 ข้อมูลและพฤติกรรมธรรมชาติของช้าง	6
2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ Zigbee	9
3 ZX-XbeeU	22
4 ไมโครคอนโทรลเลอร์	26
5 Power Supplies (แหล่งจ่ายไฟ)	33
6 อุปกรณ์สำรองไฟฟ้า (แบตเตอรี่)	40
7 Photoelectric Beam Sensor	44
8 ทรานซิสเตอร์	47
9 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider)	53
10 ลำโพง (อุปกรณ์ขยายเสียง)	56
11 ชุดสัญญาณไฟล็กเดิน (ไฟไซเรน)	60
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	62
1 ส่วนประกอบและการเชื่อมต่อระบบการทำงาน	62
2 การตั้งค่าซอฟต์แวร์เพื่อเซตค่าพารามิเตอร์ (Xbee)	64
3 ขั้นตอนการสร้างสายวงจร	77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 ผลการทดลอง	89
1 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	89
2 ขั้นตอนการทดลอง	90
3 สรุปผลการทดลอง	90
5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	113
1 สรุปผลการทดลอง	113
2 ข้อเสนอแนะ	113
เอกสารอ้างอิง	114
ภาคผนวก ก	115
ภาคผนวก ข	119
ภาคผนวก ค	123
ภาคผนวก ง	128
ประวัติผู้วิจัย	133



สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ความเสียหายจากการทำลายของช่างและการสอบถามข้อมูลจากชาวบ้านโดยเจ้าหน้าที่ WCS	2
2	โครงสร้างของการป้องกันการบุกรุกของช่างป่าที่มีการใช้งานในปัจจุบัน	2
3	ช่างส่วนหนึ่งต้องเสียชีวิตจากปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น [5]	3
4	ไดอะแกรมภาพรวมของระบบ	5
5	ตกลูกช่างที่เกิดจากแม่ช่าง	7
6	แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงโดยแสดงความถี่ความยาวคลื่น (w)	9
7	การเปรียบเทียบในมาตรฐานเทคโนโลยีสารไร้สาย	10
8	Zigbee Protocol	11
9	One Zigbee coordinator per network	13
10	Star Topology	14
11	Cluster Tree Topology	15
12	การเชื่อมต่อระบบ Mesh Topology 3 โหนด	15
13	Mesh Topology การใช้งาน Xbee อยู่ 2 ลักษณะ	16
14	Xbee / Xbee-Pro RF Module Pin Numbers	17
15	รูปสายอากาศแบบ Chip Antenna	19
16	สายอากาศแบบ Wire Antenna	19
17	สายอากาศแบบ UFL Antenna ที่ต่อสาย UFL to SMA และสายอากาศชนิดหัวต่อแยก SMA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณ	20
18	สายอากาศแบบ RPSMA Antenna	20
19	สายอากาศแบบ RPSMA Antenna	21
20	แสดงส่วนประกอบบอร์ดโปรแกรม XBEE	22
21	แสดงหน้าต่างกำหนดการเชื่อมต่อ	23
22	แสดงหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์	24
23	แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม X-CTU	25
24	แสดงการกำหนดค่าเสิร์จสมบูร์ณ	26
25	แสดงการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F877A	27
26	แผนภาพระบบแหล่งจ่ายกำลังแบบคุมค่าแรงดัน	33
27	แผนภาพระบบแหล่งจ่ายแรงดัน AC	33

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	แผนภาพระบบแหล่งจ่ายแรงดัน DC	34
29	แผนภาพเอาต์พุตของไฟกระแสตรง (DC) ที่ไม่เรียบ เหมาะสำหรับเลี้ยงหลอด, ไล้หลอด มอเตอร์ DC เล็กๆ ยังไม่เหมาะที่จะป้อนให้วงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์หากยังไม่ผ่านวงจรกรอง	34
30	แผนภาพเอาต์พุตไฟกระแสตรง (DC) คุณค่าไฟเรียบมากไม่มีพลิวเหมาะสำหรับป้อนวงจรรีเลย์ทรานซิสเตอร์ทั้งหมด	34
31	แผนภาพสัญลักษณ์หม้อแปลง	35
32	แผนภาพวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ไดโอดสลับคู่กันนำกระแส, เปลี่ยนกลับตลอดการต่อ ดังนั้นทิศทางสลับกันของไฟฟ้ากระแสสลับจึงถูกแปลงเป็นไฟกระแสตรงทิศทางเดียว	36
33	แผนภาพเอาต์พุตวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเต็มคลื่น	36
34	แสดงผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านเอาต์พุต โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเต็มคลื่น	37
35	แสดงการต่อไอซีเร็กกูเลเตอร์ใช้งานแบบง่าย	38
36	แสดงตำแหน่งขาของ IC Regulator เบอร์ 78xx	38
37	วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC78xx	39
38	แบตเตอรี่ชนิดแห้ง และแบตเตอรี่ชนิด Lithium-Polymer	43
39	Photoelectric Beam sensor (3-beam)	44
40	Mounting Laser ปรับตั้งแนวลำแสงได้แม่นยำที่สุดด้วยแสงเลเซอร์ ไม่มีความผิดพลาด	44
41	ตารางการปรับตั้งค่าความเร็วในการตรวจจับได้ 4 ระดับ	45
42	จะใช้อะไรยิงลำแสงจากอุปกรณ์ตัวส่งลำแสง กับอุปกรณ์ตัวรับลำแสง จำนวน 3 ลำแสง ในการตรวจจับ ด้วยระยะ 135 mm.	45
43	โครงสร้างของ sensor ตัวรับและตัวส่งสามารถปรับระดับองค์ประกอบหน้าเลนส์ได้	46
44	โครงสร้างทั้งหมดของ Photoelectric Beam Sensor	46
45	ข้อมูลคุณสมบัติ Photoelectric Beam Sensor	46
46	วงจรการใช้งาน Photoelectric Beam Sensor	47
47	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN	48
48	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
49	การจัดอินพุทและเอาต์พุท	49
50	การให้ไบอัสของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN	50
51	การให้ไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP	51
52	วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า	53
53	วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า	54
54	วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า	55
55	วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า	56
56	ลำโพงโซเรนฮอร์น	56
57	แสดงวงจรลำโพง	57
58	แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของลำโพง	59
59	อุปกรณ์ส่งสัญญาณไฟโซเรน	60
60	ขนาดโครงสร้างอุปกรณ์ส่งสัญญาณไฟโซเรน	61
61	วงจรส่งสัญญาณไฟโซเรน	61
62	ภาพจำลองการทำงานระบบป้องกันการบุกรุกของข้างป่า (1 จุด ที่ระยะห่าง 250 เมตร)	62
63	วงจรการรับส่งสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร	63
64	Software X-CTU ที่ใช้ร่วมกับ Xbee (Free Download)	64
65	แสดงหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์	65
66	แสดงการเลือกรุ่น, firmware version	65
67	แสดงการเลือกฟังก์ชันของ Xbee แต่ละรุ่น	66
68	ทำการเลือก COM Port (UART) ในแต่ละชุด	67
69	หน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์	67
70	การ Set Parameter ในหมวด Networking & Security	68
71	แสดงการ set ให้ parameter DH และ DL, SH และ SL	69
72	แสดงตัวอย่างการหา SH, SL, MODEM	69
73	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Xbee กับ Microcontroller	70
74	วงจรรักษาระดับแรงดัน 12V	71
75	วงจรรักษาระดับแรงดัน 5V ด้วย MC7805	71
76	วงจรรักษาระดับแรงดัน 3.3V ด้วย LM1117	71

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
77	วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	72
78	วงจร Xbee	73
79	วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า	73
80	วงจรขับสัญญาณเสียง และหลอดสัญญาณ	74
81	แสดงการต่อวงจร Infrared Sensor และไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ Xbee	75
82	แสดงเชื่อมต่อวงจรทำการออกแบบวงจรวงจรการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดรับสัญญาณ Xbee	76
83	ลายวงจรต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการส่งสัญญาณ	77
84	ลายวงจรต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการรับสัญญาณ	78
85	แสดงการฉายแสงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	78
86	แสดงการล้างโซเดียมวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	79
87	แสดงการกัดลายวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	79
88	แสดงลายวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	80
89	แสดงการเจาะรูเพื่อลงอุปกรณ์	80
90	แสดงการลงอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และ Xbee บอร์ดส่งสัญญาณ	81
91	แสดงการลงอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และ Xbee บอร์ดรับสัญญาณ	81
92	กล่องป้องกัน	82
93	ขนาดของโครงสร้างเสาจำลอง เพื่อติดตั้งชุดทดสอบการรับส่ง Infrared Sensor	83
94	ทำการเชื่อมประกอบโครงสร้างของเสาจำลอง	83
95	โครงสร้างของเสาจำลอง ความสูง 150 cm.	84
96	โครงสร้างของเสาจำลองหลังจากพันสกรีนพัน	84
97	ยึดฐานเพื่อถือ Sensor กับเสาจำลอง	85
98	ติดตั้งกล่องควบคุม Infrared Sensor กับเสาจำลอง	85
99	ติดตั้ง Infrared Sensor กับเสาจำลอง	86

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
100	ติดตั้งแผ่นอคิลิคใสด้านบนป้องกันฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอม	86
101	ติดตั้งแผ่นอคิลิคใสด้านหน้าป้องกันฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอม	87
102	ทำการพันสิริรองพื้นทับลงบนชิ้นงาน	87
103	เสาะจำลองการตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้าง ด้วยอุปกรณ์ Infrared Sensor	88
104	ชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร	89
105	แสดงตำแหน่งจุดส่งสัญญาณและจุดรับสัญญาณ 3 ระยะการทดลองในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล	91
106	วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ xbee บอร์ดส่งสัญญาณเป็นจุด (Start)	91
107	วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ xbee บอร์ดรับสัญญาณระยะ 300 เมตร	92
108	แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่โล่ง	93
109	แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่อาคาร สถานที่	93
110	แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่ป่าไม้ และสิ่งกีดขวาง	94
111	ภาพจำลองการทดสอบชุดเสาะจำลองการรับส่งสัญญาณพร้อมอุปกรณ์ Infrared Sensor ระยะ 1.5 เมตร	95
112	แสดงภาพ Pointer 0.0 เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อ หรือการเชื่อมล้มเหลวเมื่อมีสิ่งผิดปกติบดบังลำแสง Infrared	96
113	แสดงภาพ Pointer 2.0 เมื่อมีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์	96
114	ระยะแนวตั้งฉากของการกระจายรัศมีเป็นเส้นตรงทำมุม ในพิกัดแนวแกน	97
115	การจัดองศาและการปรับเปลี่ยนทิศทางในการตรวจจับ Infrared Sensor	97
116	ตั้งเสาทดสอบให้ขนานกันเพื่อเปลี่ยนทิศทางในการตรวจจับ Infrared Sensor	98
117	การเปลี่ยนทิศทางมาทางซ้าย ทำการจัดมุมที่ 15 องศา ในการตรวจจับ Infrared Sensor	98
118	การเปลี่ยนทิศทางมาทางซ้าย ทำการจัดมุมที่ 30 องศา ในการตรวจจับ Infrared Sensor	99
119	การเปลี่ยนทิศทางมาทางซ้าย ทำการจัดมุมที่ 45 องศา ในการตรวจจับ Infrared Sensor	99
120	แสดงการทดสอบการปรับเปลี่ยนมุม 50 องศา ในการทำงาน	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
121	ทำการปรับเปลี่ยนมุมมองในการเชื่อมต่อจนเกิดการเชื่อมต่อล้มเหลว	100
122	แสดงสถานการณ์เมื่อเกิดการแสดงผลของ ไชเรน	101
123	ทำการหยุดวงจรการทำงานเมื่อกดสวิทช์ stop	101
124	ชุดสัญญาณเตือนภัย xbee พร้อมอุปกรณ์ Infrared Sensor	103
125	การทดสอบการทำงานด้วยการแกว่งสิ่งของผ่านอุปกรณ์ตรวจจับ Infrared Sensor	103
126	การทดสอบการทำงานด้วยการยื่นบังลำแสงตรวจจับ Infrared Sensor	104
127	การทดสอบการทำงานด้วยการเดินด้วยความเร็วผ่านอุปกรณ์ตรวจจับ Infrared Sensor	104
128	การทดสอบการทำงานเมื่อเกิดสภาวะ ฝนตก บดบังลำแสงการตรวจจับของ Infrared- Sensor	105
129	แสดงภาพผลกระทบเมื่อเกิดสภาวะของฝ้าบางๆ บดบังลำแสง	105
130	แสดงตัวอย่างการตัดผ่าน Infrared Sensor ของโคลงช้างโดยจำแนกช่วงอายุ	107
131	แสดงตัวอย่างการตัดผ่านของสัตว์ชนิดอื่น	108
132	แสดงการทดสอบอุณหภูมิสะสมภายในอุปกรณ์	109
133	ทำการทดสอบเมื่อปรับระดับแรงดันที่ 12V หลอด LED ทำงาน	111
134	ทำการทดสอบเมื่อปรับระดับแรงดันที่ 10V หลอด LED ไม่ทำงาน	112
135	ประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์สัญญาณกันขโมย	112



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบในมาตรฐานเทคโนโลยีสารไร้สาย	10
2	ชนิดของ Zigbee	12
3	หน้าที่ของ Zigbee	12
4	Wireless link performance for various module/antenna/environment	18
5	แสดงการจัดขาของโมดูล XBee-PRO และฟังก์ชันการใช้งาน	21
6	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต A	29
7	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต B	30
8	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต C	31
9	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต D	32
10	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต E	32
11	สรุปรวมเบอร์ไอซีเร็กกูเลเตอร์	40
12	ค่าพลังงานในการใช้ร่วมกับโหนดของแบตเตอรี่แห้ง (12V 7.5Ah)	43
13	แสดงการใช้ค่าพลังงานของวงจรไซเรน	60
14	สรุปผลการทดลองระยะของการรับส่งสัญญาณ xbee	92
15	สรุปผลการทดลอง xbee ทุกสภาพพื้นที่	94
16	สรุปผลการทดลองระยะทางของ Infrared Sensor	95
17	สรุปผลการทดลองการปรับเปลี่ยนทิศทางองศา Infrared Sensor	102
18	แสดงโครงสร้างของสัตว์ชนิดต่างๆ	108
19	สรุปการตรวจจับของ Infrared Sensor	109
20	แสดงผลการทดลองการทดสอบอุณหภูมิสะสม	110
21	การสูญเสียค่าพลังงานที่ใช้แหล่งจ่ายแต่ละชนิด	112

บทที่ 1

บทนำ

1. หลักการและเหตุผล

สืบเนื่องจากปัญหาความขัดแย้งระหว่างคนกับช้าง ในหลายพื้นที่โดยเฉพาะทางตอนใต้ของเขตอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ในพื้นที่ ตำบลป่าเต็ง อำเภอแก่งกระจาน ทำให้ช้างอยู่ในภาวะที่โดนคุกคามอย่างหนักในปัจจุบัน โดยสาเหตุหลักของปัญหาคือ การเพิ่มขึ้นของประชากรมนุษย์ ทำให้ต้องเพิ่มพื้นที่การทำมาหากินเข้าไปในพื้นที่ป่า ซึ่งเป็นที่อยู่เดิมของช้าง และการที่ช้างออกมาจากป่านั้นมีสาเหตุหลักมาจาก 1) **รูปแบบการเคลื่อนย้ายประชากรตามธรรมชาติ** มีรายงานระบุว่ารูปแบบการเคลื่อนย้ายประชากรช้างที่ปรากฏในปัจจุบัน มีความคล้ายคลึงกับรูปแบบที่เคยเป็นมาในอดีต แม้ว่าถิ่นที่อยู่อาศัยดั้งเดิมจะถูกทำลาย หรือถูกเปลี่ยนแปลงสภาพโดยมนุษย์ไปแล้ว จึงเป็นไปได้ว่าในบางพื้นที่ช้างอาจเคลื่อนย้ายมายังพื้นที่เกษตรกรรม อันเนื่องจากบริเวณดังกล่าวตั้งอยู่ในเส้นทางเคลื่อนย้ายผ่านตามธรรมชาติ 2) **แหล่งน้ำ** เนื่องจากมีการสร้างที่กักเก็บน้ำสำหรับการทำการเกษตร และตั้งอยู่ใกล้พื้นที่ป่า 3) **การลดขนาดลงของถิ่นอาศัยตามธรรมชาติ** จากการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อทำพื้นที่เกษตรกรรม 4) **รสชาติและคุณค่าทางอาหาร** พันธุ์พืชที่มนุษย์คัดเลือกมาปลูกในเชิงพาณิชย์ ส่วนใหญ่ เป็นชนิดพันธุ์ที่มีความเหมาะสมต่อการบริโภค ทั้งขนาด รสชาติ กลิ่น รวมไปถึงคุณค่าทางสารอาหาร ส่งผลให้ช้างทำลายพืชผลทางการเกษตร เกิดเป็นความขัดแย้งระหว่างคนกับช้าง และเป็นสาเหตุที่ทำให้ช้างต้องเสียชีวิต ซึ่งจากบันทึกความเสียหายของพืชผลทางการเกษตรมีทั้งสิ้น 52 ชนิด สามารถแบ่งเป็นไม้ผล 24 ชนิด (46%) พืชไร่ 5 ชนิด (10%) ผัก 14 ชนิด (27%) และไม้ยืนต้น ๑๗ ชนิด (๓๒%) จากการประเมินความเสียหายในเชิงเศรษฐกิจ โดยอาศัยราคากลางของกรมส่งเสริมเกษตรคำนวณรวมกับปริมาณความเสียหายของพืชผลแต่ละชนิดพบว่า มีมูลค่าสูงที่สุดรวมกันทั้งสิ้น 8,298,582 บาท หรือเฉลี่ยปีละ 3,293,766 บาท ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานำไปสู่การเกิดทัศนคติที่ไม่ดีระหว่างชาวบ้านหรือเกษตรกรกับช้าง สิ่งนี้เป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่อความปลอดภัยของช้างในปัจจุบัน

ที่ผ่านมาได้มีการดำเนินการแก้ไขปัญหามาอย่างมีระบบ โดยความร่วมมือของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช ร่วมกับสมาคมอนุรักษ์สัตว์ป่า (WCS) ประเทศไทย และมีการสนับสนุนจากองค์กรด้านการอนุรักษ์จากต่างประเทศอีกหลายองค์กร ทำให้การแก้ไขปัญหาคืบคลานและมีแนวโน้มไปในทิศทางที่ดี โดยการทำแนวป้องกัน ติดสัญญาณเตือนภัยและจ้างคนเฝ้าระวัง พบว่าวิธีการดังกล่าวเป็นการป้องกันที่มีประสิทธิภาพ และบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นได้ในระดับหนึ่ง ทว่าเมื่อ

ประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยในการสร้างแนวป้องกัน ตัดสัญญาณเตือนภัย และจ้างคนเฝ้าระวังอยู่ที่ประมาณ 5.4 ล้านบาทต่อปี จึงยังเป็นที่ถกเถียงถึงแนวทางที่เหมาะสมกับการสร้างรั้วไฟฟ้าแบบถาวร ซึ่งค่าใช้จ่ายประมาณ 3 ล้านบาทในการก่อสร้าง และดูแลบำรุงรักษาอีกประมาณปีละ 3 - 6 แสนบาทต่อปี ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากผู้รับผิดชอบเรื่องนี้กล่าวว่า วิธีการที่เหมาะสมและยั่งยืนที่สุดคือ การสร้างระบบเตือนเมื่อมีการบุกรุกของช้าง และให้ชาวบ้านหรือเกษตรกรรับรู้ เพื่อร่วมกันขับไล่ช้าง รวมทั้งมีส่วนในการดูแลระบบ เกิดความเข้าใจในปัญหาดังกล่าว ในที่สุดเกิดการอยู่ร่วมกันอย่างปกติสุขระหว่างคนกับช้าง โดยที่ระบบการเตือนภัยเป็นเพียงตัวช่วย [1,2] และจากการลงพื้นที่ดังกล่าว [3] ทำให้ทราบว่าระบบที่สร้างขึ้นในปัจจุบันมีสภาพเสื่อมโทรม ชำรุดเสียหายจนไม่สามารถที่จะแจ้งเตือนได้อีกต่อไป เนื่องจากขาดงบประมาณสนับสนุนอย่างต่อเนื่องจากหน่วยงานต่างๆ และขาดการศึกษาหรือพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างจริงจัง



ภาพที่ 1 ความเสียหายจากการทำลายของช้างและการสอบถามข้อมูลจากชาวบ้านโดยเจ้าหน้าที่ WCS



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 2 โครงสร้างของการป้องกันการบุกรุกของช้างป่าที่มีการใช้งานในปัจจุบัน
(ก) ติดตั้งสัญญาณเตือนภัย (ข) รั้วไฟฟ้า (ค) การใช้คนในการขับไล่ช้าง [4]



ภาพที่ 3 ช้างส่วนหนึ่งต้องเสียชีวิตจากปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น [5]

จากปัญหาที่กล่าวในข้างต้นจึงนำมาสู่การจัดโครงการวิจัยในเรื่องนี้ โดยได้ข้อมูลจากการประชุมร่วมกับเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบในปัจจุบัน และการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลการดำเนินงานในปัจจุบัน จนได้ข้อมูลมากำหนดหัวข้อโครงการวิจัยนำร่อง เพื่อออกแบบและสร้างระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการเตือนการบุกรุกของช้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร โดยนำเทคโนโลยี Zigbee มาประยุกต์ใช้ร่วมกับรั้วเซนเซอร์แบบลำแสง (Photo Electric Beam)

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และระบบสมองกลฝังตัวสำหรับเตือนการบุกรุกของช้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร
- 2.2 เพื่อลดปัญหาความขัดแย้งระหว่างคนกับช้างและสามารถอยู่ด้วยกันอย่างยั่งยืน
- 2.3 เพื่อทดสอบเสถียรภาพการทำงานของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ออกแบบขึ้น
- 2.4 เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ชุมชน

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) และระบบสมองกลฝังตัวสำหรับการเตือนการบุกรุกของช้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร โดยการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบการเซ็นเซอร์ ที่สามารถตรวจจับได้ระยะทางที่ไกลกว่าระบบปัจจุบัน โดยจะนำร่องด้วยระยะทาง 2 กิโลเมตร และทำการออกแบบวงจรการทำงาน ออกแบบวงจรเตือน ออกแบบวงจรของหน่วยประมวลผล (ระบบสมองกลฝังตัว) ตลอดจนระบบการสื่อสารแบบไร้สายโดย Zigbee เพื่อเตือนภัย ณ อีกจุดหนึ่งซึ่งห่างจากที่ตั้งเซ็นเซอร์

ส่วนที่ 2 ทำการสร้างวงจกรการทำงานของระบบเซ็นเซอร์ วงจรการเตือน และหน่วยประมวลผล (ระบบสมองกลฝังตัว) ทดสอบการทำงานของระบบที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์ผล หาประสิทธิภาพ และเสถียรภาพของการทำงาน เมื่อติดตั้งในพื้นที่จริง และทำงานในสภาวะหรือสภาพอากาศต่างๆ เพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำงานที่เหมาะสม

ส่วนที่ 3 ทำการจัดอบรมการใช้งานให้กับเจ้าหน้าที่ดูแลระบบ และเกษตรกรเพื่อทราบถึง การติดตั้งระบบ ทำให้มีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของระบบ สามารถเป็นส่วนหนึ่งในการดูแลระบบ และใช้ระบบที่สร้างขึ้นให้เป็นส่วนหนึ่งในการอยู่ร่วมกันกับช่างป่าของชาวบ้านหรือเกษตรกร จากนั้นทำการสรุปผลการวิจัย และเผยแพร่งานวิจัยในงานประชุมวิชาการหรือวารสาร เพื่อ รับรองงานวิจัย

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

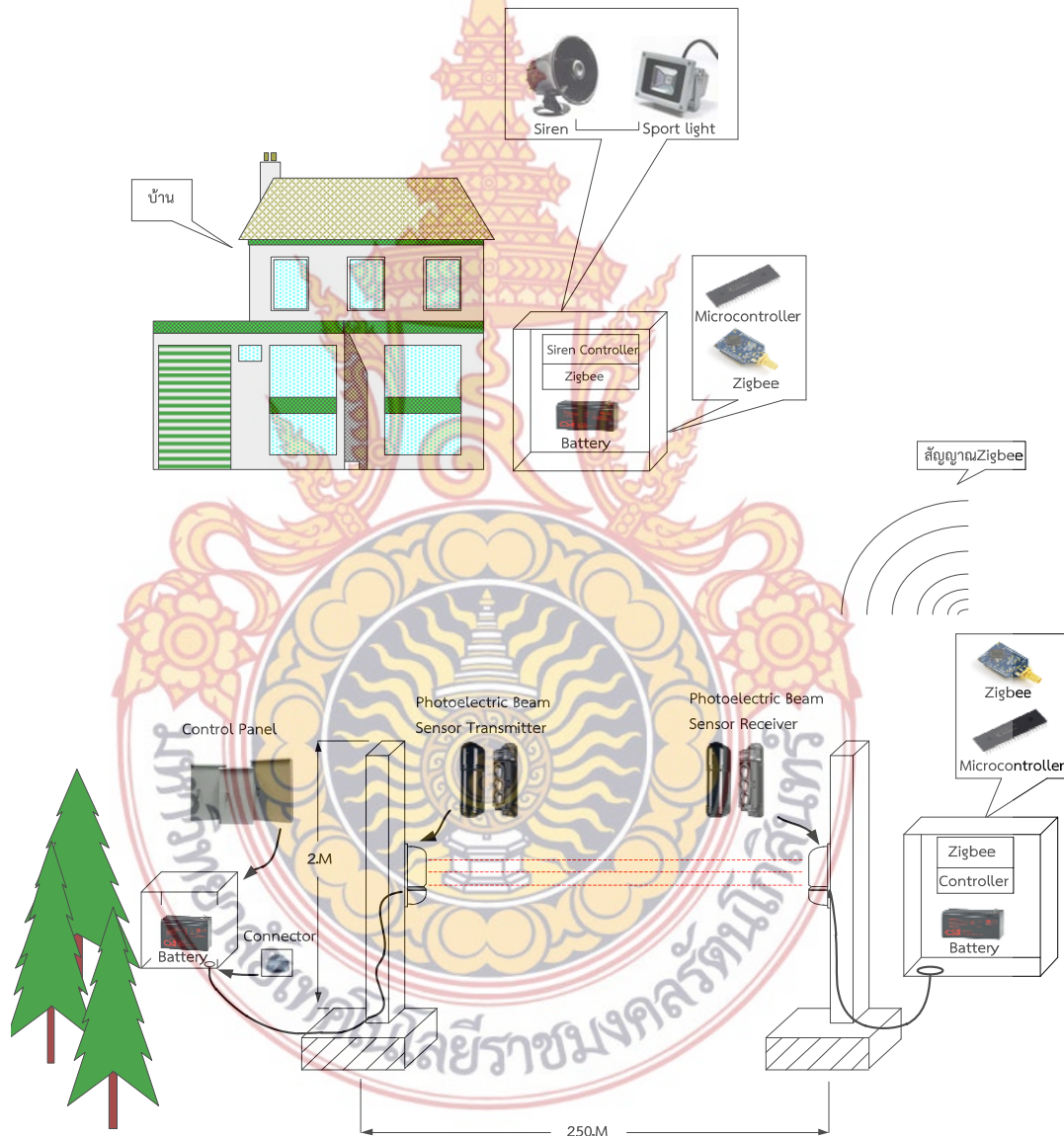
- 4.1 ศึกษา ค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 4.2 ศึกษาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
- 4.3 ทำการออกแบบ วิเคราะห์ สังเคราะห์ และจำลองวงจรที่ใช้ในงานวิจัย
- 4.4 จัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
- 4.5 ดำเนินการจัดสร้างระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายและชุดสมองกลฝังตัวสำหรับประมวลผล และสั่งการเตือน
- 4.6 ทดสอบการทำงานของวงจรชุดทดลองต้นแบบที่สร้างขึ้น และทำการแก้ไขหากเกิด ข้อผิดพลาด
- 4.7 ประกอบ ตกแต่ง ชุดต้นแบบ เพื่อความสวยงามและความสะดวกในการใช้งาน
- 4.8 ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมดของชุดต้นแบบ ณ สถานที่จริง
- 4.9 จัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้งานระบบ
- 4.10 สรุปผลงานวิจัย เผยแพร่ และจัดทำเล่มรายงาน

5. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

- 5.1 ได้ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย และระบบสมองกลฝังตัวสำหรับเตือนการบุกรุกของช่าง ป่าต่อพื้นที่การเกษตร
- 5.2 ลดปัญหาความขัดแย้งระหว่างคนกับช้าง และสามารถอยู่ด้วยกันอย่างยั่งยืน
- 5.3 ชุมชนชุมชนมีส่วนร่วมในการจัดการเทคโนโลยีที่เหมาะสม
- 5.4 เผยแพร่ผลงานเพื่อรับรองงานวิจัยในวารสาร หรือการประชุมทางวิชาการในระดับประเทศ

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการสืบค้นข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่จัดทำขึ้น มีการกำหนดขอบเขตของงานวิจัยดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมภาพรวมของระบบ

1. ข้อมูลและพฤติกรรมธรรมชาติของข้าง

ข้างทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นข้างพันธุ์เอเชียหรือพันธุ์แอฟริกา มีความเป็นอยู่เหมือนกันอยู่อย่างหนึ่ง คือ ชอบอยู่เป็นฝูง ข้างฝูงหนึ่งมักประกอบด้วยข้าง ๕-๑๐ เชือก แต่ละฝูงจะมีข้างพลายตัวหนึ่งเป็นหัวหน้า ซึ่งมักจะเป็นตัวที่แข็งแรงที่สุดของฝูงมีหน้าที่คอยเป็นผู้ปกป้องรักษา และป้องกันอันตรายให้แก่ข้างในฝูงของตน และเป็นผู้นำฝูงไปหาอาหารในแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ ข้างป่าที่หากินอยู่ตัวเดียวถ้าไม่ใช่ข้างแก่ซึ่งเดินตามเพื่อนฝูงไม่ทันมักจะเป็นข้างเกเรที่ถูกขับออกจากฝูงเรียกว่า "ข้างโทน" ข้างโทนนี้มีนิสัยดุร้าย ซึ่งอาจเป็นอันตรายแก่ผู้พบเห็นได้ข้างไทยหรือข้างเอเชียมีนิสัยชอบอากาศเย็น และไม่ชอบแสงแดดจัดฉะนั้นเมื่อเรานำมันมาฝึกใช้งาน เช่น งานชักลากไม้เราจึงใช้งานข้างเฉพาะตอนเช้าตั้งแต่ ๖.๐๐-๑๒.๐๐ น. ส่วนตอนบ่ายต้องให้มันหยุดพักผ่อนนอกจากนั้นเมื่อเราใช้งานมันติดต่อกันไป ๓ วัน เราจะต้องให้มันหยุดพักงานอีก ๑-๒ วัน แล้วจึงให้มันทำงานใหม่ ทั้งนี้ก็เพราะว่าข้างเป็นสัตว์ที่มีโรคภัยเบียดเบียนได้ง่ายถ้าเราใช้งานมันหนักเกินไปมันอาจจะเกิดเจ็บป่วยขึ้นในฤดูที่มีอากาศร้อนจัดคือ ระหว่างเดือนมีนาคม-พฤษภาคม

1.1. นิสัยของข้าง

ข้างเอเชียหรือข้างไทยโดยทั่วไปจะมีนิสัยฉลาด สุภาพ เว้นแต่ในบางขณะ เช่น ในเวลาตกมันซึ่งก็เป็นเพียงในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ในเวลาตกมันข้างจะมีนิสัยดุร้ายจะทำร้ายข้างด้วยตนเองตลอดจนสิ่งของที่อยู่กับใกล้ๆเมื่อพ้นระยะตกมันแล้วนิสัยดุร้ายจะหายไปเองข้างบางเชือกอาจจะมีการเกเรมาตั้งแต่กำเนิด แต่ก็ไม่มากนักโดยปกติข้างเป็นสัตว์ที่ตื่นกลัวสิ่งของหรือสัตว์ที่มันไม่ค่อยพบเห็น โดยเฉพาะข้างเป็นสัตว์ที่มีความรู้สึกทางกลิ่นได้ดีมาก และมักจำกลิ่นที่มันเคยชินได้ดีมันได้แสดงความเฉลียวฉลาดของมันออกมาในด้านการรักลูกมันรู้จักส่งเสียงดูลูกหรือในช่วงตีเมื่อลูกของมันชนนอกจากนั้น ยังมีผู้เคยพบว่ามันยื่นฝ้าศพลูกของมันที่ฝังดินไว้เป็นเวลา ๒-๓ วันก็มี

1.2. การกินและการนอน

การนอนหลับโดยปกติของข้างมีระยะเวลาสั้นประมาณ ๓-๔ ชั่วโมง เวลานอนของมันอยู่ในระหว่าง ๒๓.๐๐-๐๓.๐๐ น. ของวันรุ่งขึ้นลักษณะการนอนของข้างเมื่อหลับสนิทจะนอนตะแคงลำตัวข้างใดข้างหนึ่งลงกับพื้นข้างมีอาการหาวนอนและนอนกรนเช่นเดียวกับมนุษย์ถ้าหากพบข้างนอนหลับในเวลากลางวันควรสันนิษฐานไว้ก่อนว่าข้างเชือกนั้นคงไม่สบายหรือมีอาการผิดปกติเกิดขึ้นเนื่องจากข้างมีเวลานอนน้อยนั่นเอง มันจึงใช้เวลาที่เหลืออยู่ในการกินอาหารและเดินท่องเที่ยวไปในป่า เวลาเดินไปก็กินหญ้าไป ตลอดทาง กล่าวกันว่า ข้างเชือกหนึ่งจะกินอาหาร และหย้าคิดเป็นน้ำหนักประมาณ ๒๕๐ กิโลกรัมใน ๑ วัน เนื่องจากข้างไม่มีกระเพาะพิเศษ สำหรับเก็บอาหารไว้สำรองแล้วสำรองออกมาเคี้ยวเอื้องในยามว่างเหมือนดังเช่นวัวควาย แต่ข้างก็มีวิธีเก็บสำรองอาหารไว้กินในระหว่างเดินทาง หรือระหว่างทำงาน เช่น เอาจวงกำหญ้าไว้ในขณะเดินทาง หรือเอาหญ้าและอาหารเหน็บไว้ที่ชอกงาของมัน

1.3. การตกลูก

ข้างพังหรือข้างตัวเมียที่สมบูรณ์จะมีลูกได้เมื่อมีอายุระหว่าง ๑๕-๕๐ ปี ในประเทศพม่ามีผู้เคยพบข้างพังซึ่งมีอายุเพียง ๙ ปี ๑ เดือน ตกลูกออกมาแม้ว่าลูกข้างที่เกิดจากแม่ข้างที่มีอายุน้อยตัวนี้จะมีอวัยวะครบสมบูรณ์ แต่ก็ไม่สามารถเลี้ยงให้มีชีวิตรอดได้ ฉะนั้นเรื่องนี้จึงถือว่าเป็นกรณีพิเศษซึ่งนานๆ จะเกิดขึ้นสักครั้ง การผสมพันธุ์ของข้างระหว่างข้างตัวผู้กับข้างตัวเมียเป็นไปตามลักษณะ เช่น-

เดียวกับม้า วัว และควาย คือ ช้างตัวผู้ใช้ขาหน้าคร่อมหลังของช้างตัวเมีย การตั้งท้องของช้างมีระยะเวลา ระหว่าง ๒๑-๒๒ เดือน เนื่องจากตัวของช้างมีลักษณะใหญ่ อ้วนกลมอยู่แล้ว ฉะนั้นในระยะที่มันตั้งท้องจะสังเกตได้ยาก บางทีเจ้าของจะทราบก็ต่อเมื่อช้างตกลูกออกมาแล้ว ดังนั้น จึงต้องอาศัยสังเกตวิธีอื่นประกอบ เช่น เต้านมคัดมีน้ำนมไหล หรือช้างไม่ยอมลุกนั่งตามคำสั่งและไม่ยอมทำงาน ในกรณีที่ช้างอยู่เป็นฝูงหรือเจ้าของช้างมีช้างหลายเชือก แม่ช้าง ที่ท้องแก่จะหาเพื่อนช้างพังที่สนิทไว้ช่วยเหลือในเวลาตกลูก ช้างพังที่คอยช่วยเหลือนี้เรียกกันว่า "แม่รับ" จะคอย ช่วยเหลืออยู่ตลอดเวลา เมื่อช้างแม่ถึงกำหนดใกล้จะคลอดลูก มักจะไปหาที่ซึ่งมีหญ้าอ่อนหรือพื้นดินนุ่ม เพื่อมิให้เป็นอันตรายแก่ลูกที่จะคลอดออกมา เพราะช้างแม่ส่วนมากจะยืนคลอดลูก โดยย่อขาหลังต่ำลงมาลูกอาจจะตกลงพื้นดินในระยะสูงพอควร ลูกที่คลอดออกมาจะมีถุงใสๆเป็นเยื่อบางๆหุ้มอยู่แม่รับจะเข้าไปช่วยฉีกถุงเยื่อที่หุ้มออกจากตัวลูกช้าง ถ้าไม่มีแม่รับแม่ช้างจะฉีกถุงเยื่อนั้นเอง แม่ช้างเชือกหนึ่งอาจจะมีลูกได้ ๓-๔ ตัว ตลอดชีวิตของมัน โดยปกติแล้วแม่ช้างจะตกลูกเพียงครั้งละ ๑ ตัว และจะมีลูกห่างกันประมาณ ๓ ปี ทั้งนี้แล้วแต่สภาพแวดล้อม เช่น ช้างป่าที่มีชีวิตเป็นอิสระย่อมมีลูกได้สม่ำเสมอว่าช้างบ้านที่ถูกจองจำ และต้องทำงานหนักอยู่ตลอดเวลา



ภาพที่ 5 ตกลูกช้างที่เกิดจากแม่ช้าง

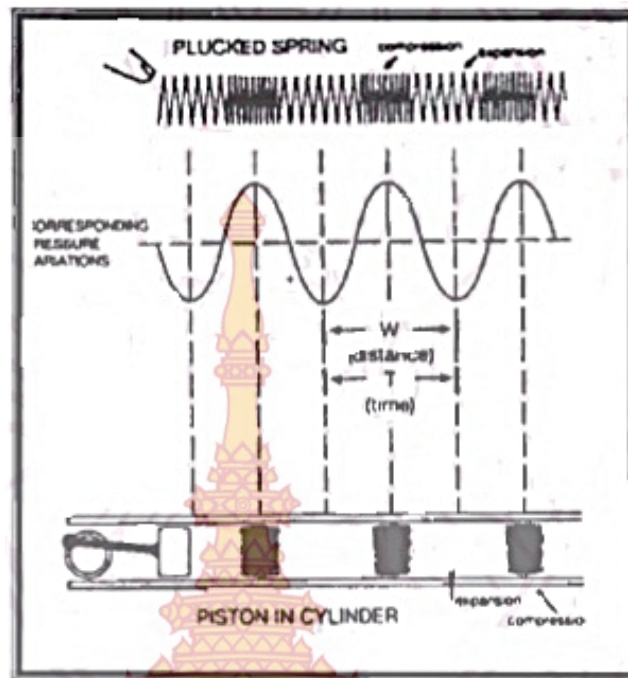
1.4. ระบบสื่อสารและการรับส่งข้อมูลของช้าง

ช้างใช้เสียงหลายแบบในการสื่อสารกัน ช้างมีชื่อเสียงอย่างมาก จากเสียงแผดเหมือนเสียงแตร (Trumpet call) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อช้างเป่าลมผ่านโพรงจมูกของมัน ช้างมักทำเสียงแตรดังกล่าวขณะที่ตื่นเต้น เสียงดังกล่าวสื่อความหมายได้หลายอย่างตั้งแต่การสะอึกสะอื้น การร้องขอความช่วยเหลือ ไปจนถึงการแสดงความเดือดดาล ช้างยังได้ทำเสียงคำรามอย่างดังเมื่อพบกัน เสียงคำรามดังกล่าวกลายเป็นการแผดเสียงเมื่อเปิดปากและจะกลายเป็นเสียงครางหากทำเสียงต่อไป เสียงคำรามดังกล่าวอาจเสริมด้วยการทำเสียงดังลั่นขณะกำลังขู่ช้างตัวอื่นหรือสัตว์อื่น

ช้างสามารถสื่อสารระหว่างกันในระยะไกลได้โดยการส่งและรับเสียงความถี่ต่ำ (อินฟรา-ซาวนด์) ซึ่งเป็นเสียงดังที่ต่ำกว่าความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยิน โดยจะเดินทางโดยอาศัยอากาศเป็นตัวกลางและผ่านพื้นดินไปได้ไกลกว่าเสียงความถี่สูง เสียงเหล่านี้มีความถี่ระหว่าง 15-35Hz และอาจมีความดังถึง 117 เดซิเบล ทำให้ช้างสามารถสื่อสารกันได้ไกลหลายกิโลเมตร โดยเป็นไปได้ว่าจะมีพิสัยสูงสุดถึงราว 10 กิโลเมตร เสียงนี้สามารถสัมผัสได้โดยผิวหนังที่มีประสาทสัมผัสที่เท้าและงวงของช้าง ซึ่งรับกาสนั่นสะเทือนเข้าจังหวะมากพอกับบริเวณแบนราบบนหัวของกลอง ในการฟังเสียงนี้อย่างตั้งใจ สมาชิกของช้างในโขลงจะยกเท้าหน้าขึ้นจากพื้นดินหนึ่งข้าง และหันหน้าไปยังแหล่งที่มาของเสียง หรือบ่อยครั้งที่จะวางงวงของมันลงบนพื้น เป็นไปได้ว่าการยกขาดังกล่าวจะเพิ่มการสัมผัสพื้นดินและการรับสัมผัสของขาที่เหลือ ความสามารถดังกล่าวถูกคาดกันว่ายังช่วยการนำทางในช้างโดยการใช้แหล่งอินฟราซาวนด์ภายนอกด้วย

จากการศึกษาข้อมูลการทดลองระดับความถี่ของคลื่นเสียงที่รบกวนกับช้างป่าที่จะออกจากป่ามายังพื้นที่เกษตรกรรมที่อุทยานแห่งชาติกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระหว่างเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2550, [3] ,ซึ่งจากการทำให้ช้างป่าเกิดความรำคาญนั้นพบว่าในระยะ 30 ถึง100 เมตร จากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดที่ช้างป่าอยู่ระดับของความถี่เสียงที่ 21-28kHz นั้นรบกวนและทำให้ช้างเกิดความรำคาญ โดยจากการศึกษาทดลองทั้ง 11 ครั้ง จากจำนวนช้าง 28 ตัว นั้นทุกครั้งช้างเดินออกจากจุดที่มีช้างอยู่เมื่อได้ยินคลื่นเสียง และพฤติกรรมที่ช้างแสดงออก พบแตกต่างกัน 4 ภาพแบบ คือ แบบแรก เดินหนีและเข้าป่าทันทีที่ได้ยินคลื่นเสียง พบจำนวน 6 ครั้ง คิดเป็น 54.54 % แบบที่สอง เดินหนีออกจากจุดเดิมประมาณ 30-70เมตร ทันที จำนวน 3 ครั้ง คิดเป็น 27.27 % แบบที่สาม ส่งเสียงร้องและเดินหนีเข้าป่าทันที พบ 1 ครั้ง คิดเป็น 9.09 % และแบบสุดท้าย คือ ดำเนินกิจกรรมต่อประมาณ 15-20 นาที จึงออกจากจุดที่ได้ยินเสียง พบ 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 9.09 %

นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนสลับไปมาของช่วงคลื่นที่ 21 ไป 28kHz และ 28 กลับ 21kHz ในช่วง 1 ช่วง ของการปล่อยคลื่นเสียงส่งผลต่อความรำคาญ (รบกวนช้างมากกว่าการปล่อยคลื่นเสียงเดียวกัน) จากการวิเคราะห์เราสามารถทราบถึงคลื่นความถี่ที่ส่งผลต่อความรำคาญของช้าง อยู่ที่ราวๆ 20-30kHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ต่ำมาก จากข้อมูลที่ได้รับมาบ่งบอกได้ว่าสัญญาณความถี่ ช่วง 30kHz ที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณวิทยุระบบ Am มีผลกระทบต่อช้างโดยตรง



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงโดยแสดงความถี่ความยาวคลื่น (w)

ทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่กล่าวถึงต่อไปนี้เป็นส่วนหนึ่งในการสร้างโครงงานชุดทดลองการรับส่งสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่า ต่อพื้นที่การเกษตรในการรับส่งสัญญาณระยะไกลด้วยระบบ Wireless Sensor Network ย่านความถี่ 2.4 Ghz

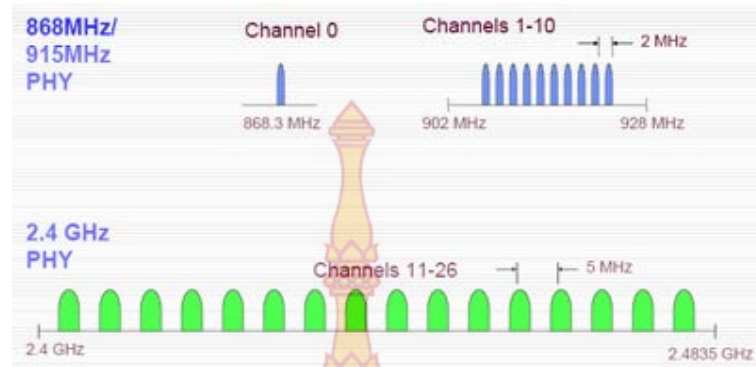
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ Zigbee

Zigbee เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต่ำ ใช้พลังงานต่ำ และราคาถูก จุดประสงค์เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้โดยมีมาตรฐานของ IEEE 802.15 เป็นการทำงานแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 3 คลาส ได้แก่

- **IEEE 802.15.1/Bluetooth** จะเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงผันพลังงาน ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และขนาดของแรงดันได้
- **IEEE 802.15.3/Wi-Media** รองรับการการรับส่งข้อมูลประเภทมัลติมีเดีย very high
- **IEEE 802.15.4/LR-WPAN** (Low data Rate WPAN) โดยมีชื่อเรียกว่า ZigBee รองรับการ ทำงานกับอุปกรณ์ประเภท Low Data Rate และ Long Battery Life ซึ่งเป็นอุปกรณ์เกี่ยวกับ sensor ด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม และการรักษาความปลอดภัย Zigbee มีระยะการสื่อสารในช่วง 10-75 เมตร โดยใช้ความถี่ที่ช่วงของ unlicensed RF worldwide ซึ่ง ในแต่ละความถี่มีอัตราการรับส่งข้อมูลดังนี้

1. ย่านความถี่ 2.4 Ghz มี 16 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 250 Kbps
2. ย่านความถี่ 915 Ghz มี 10 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 40 Kbps
3. ย่านความถี่ 868 Ghz มี 1 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 20 Kbps

Zigbee แตกต่างจากการสื่อสารแบบBluetoothดังแสดงในตารางที่ 2.1 [4]



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบในมาตรฐานเทคโนโลยีสารไร้สาย

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบในมาตรฐานเทคโนโลยีสารไร้สาย

Network	Zigbee	Bluetooth	Wi - Fi
Standard	802.15.4	802.15.1	802.11b
Memory requirements	4 – 32 KB	250 KB+	1 MB+
Battery Life	Years	Days	Hours
Nodes per master	65,000+	7	32
Data rate	250 KB/s	1 MB/s	11 MB/s
Range	300m	10m	100m

2.1. ลักษณะของ Zigbee

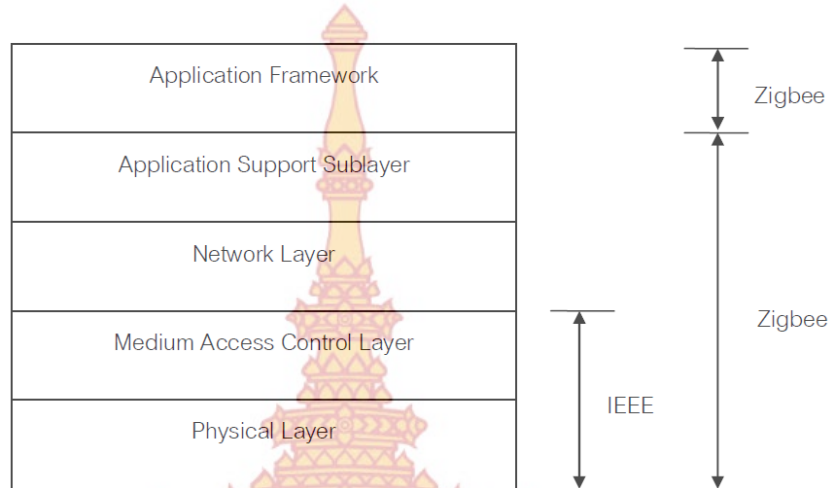
มีทางเข้าช่องสัญญาณโดยการใช้ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA) หรือมีทางเข้าช่องสัญญาณหลายๆทางเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน ระยะทางโดยทั่วไปประมาณ 50 เมตร มี topology แบบ star , peer-to-peer, mesh ทั้งนี้แต่ละอุปกรณ์จะมีแอดเดรสที่มีความยาว 64 หรือ 16 บิต (รองรับได้ 64,000 อุปกรณ์)

2.2. โครงสร้างของโปรโตคอล Zigbee

Application layer เป็นชั้นที่มีส่วนของ Endpoint อยู่ เรียกว่า Application framework โดยมี Zigbee Device Object ทำหน้าที่ในการจัดระบบการเข้าถึงและใช้งาน Application layer

Application support sub-layer ซึ่งทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของ Application layer และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Application layer

Network layer ทำหน้าที่ใช้ในการ routing ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกัน หรือต่างเครือข่ายกัน ซึ่งได้แสดงโครงสร้างของโพรโทคอลดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 Zigbee Protocol

2.3. ชนิดของอุปกรณ์ Zigbee

มีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. **Full Function Device: FFD** เป็น Router ที่เป็นส่วนกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ใช้พลังงานจาก power line ทำงานได้ในทุก Topology และสามารถหาเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

2. **Reduced Function Device: RFD** เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆได้ ทำได้ง่ายในเครือข่ายที่เป็นแบบ star โดยได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชนิดของ Zigbee

Device Type	Services Offered	Typical Power Source	Typical Receiver Configuration
Full Function Device (FFD)	Most or all	Mains	On when Idle
Reduce Function Device (RFD)	Limited	Battery	Off when Idle

2.4. หน้าที่ของอุปกรณ์ Zigbee

Zigbee มี 3 ประเภท คือ

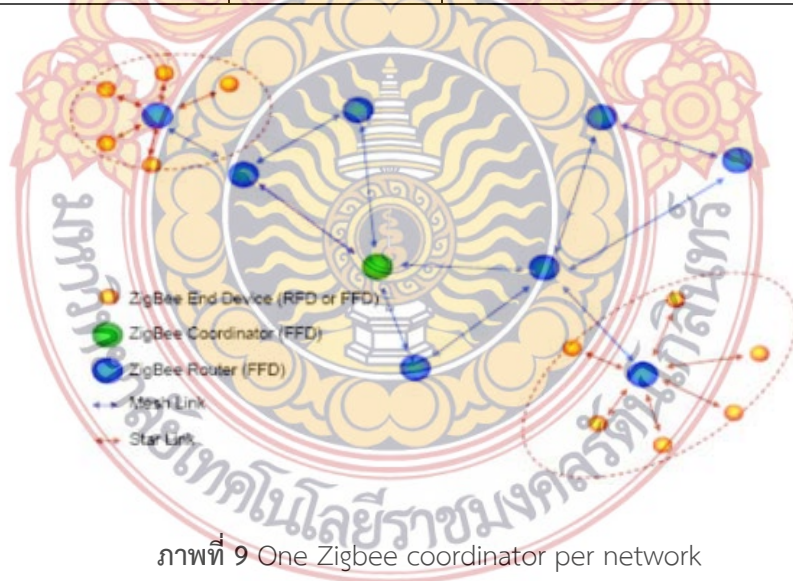
1. **Zigbee Coordinators** เป็นจุดที่ประสานเชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลในเครือข่าย เชื่อมโยงเครือข่ายระหว่าง End device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่ายจะไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD โดยมีรูปแบบการเชื่อมโยงเครือข่ายดังภาพที่ 3

2. **Zigbee Routers** ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อความที่ส่งผ่านภายในเครือข่ายระหว่างคู่ของโหนดใดๆ ซึ่งเทียบได้กับ FFD

3. **Zigbee End Devices** เป็นโหนดที่อยู่ในส่วนของผู้ใช้งาน เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับ สัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน โดยสามารถเป็นได้ทั้งแบบ RFD และ FFD ขึ้นอยู่กับ sensor ที่ใช้โดยรายละเอียดหน้าที่ของอุปกรณ์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 หน้าที่ของ Zigbee

Zigbee Protocol Device	IEE Device Type	Typical Function
Coordinators	FFD	One per network forms the network allocates network addresses, holds binding table
Routers	FFD	Optional. Extends the physical rang of the network Allows more node to join the network May also perform monitoring and/or control functions.
End Devices	FFD or RFD	Performs monitoring and/or control functions.



ภาพที่ 9 One Zigbee coordinator per network

2.5. การประยุกต์ใช้งาน Zigbee

แบ่งแยกตามประเภทของข้อมูลข่าวสาร มีอยู่ 3 แบบ คือ

1. **ข้อมูลแบบ Periodic** ข้อมูลเป็นช่วงเวลา โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการส่งและตัวตรวจจับสัญญาณกระตุ้น เซ็คข้อมูลและทำให้ข้อมูลไม่เคลื่อนไหว ใช้สำหรับเซนเซอร์และ มัลติมิเตอร์

2. **ข้อมูลแบบ Intermittent** เป็นลักษณะที่มีการส่งผ่านข้อมูลเมื่อมีการใช้งาน เช่น สวิตช์

3. **ข้อมูลแบบ Repetitive low latency** ใช้ในงานที่ต้องการ latency น้อยๆ โดยการสื่อสารจะใช้วิธีจัดสรรช่วงเวลา และสามารถใช้กลไกแบบ GTS เพื่อรับประกันคุณภาพของการบริการนำไปใช้ในงาน เช่น เมาส์ไร้สาย

2.6. การเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Network Topology)

กำหนดโดยมาตรฐาน Zigbee สามารถสร้างระบบเครือข่ายได้ 3 รูปแบบ คือ

1. แบบ Star Topology

การเชื่อมต่อแบบ Star หรือ แบบ Broadcast ซึ่งเป็นการรับส่งข้อมูล แบบไม่เฉพาะเจาะจง จุดหมายปลายทาง หรือ Xbee ทุกตัวที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกันสามารถรับข้อมูลทุกข้อมูลได้ทุกตัว และตัวอย่างการใช้งานแบบ Star (Broadcast) จากรูปที่ 2.7 การใช้งานแบบ Star จะประกอบไปด้วย Xbee ที่ทำงานเป็น 2 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เป็น Coordinator ทำหน้าที่สร้างเครือข่ายและแบบที่ 2 เป็น End Device ทำหน้าที่เป็นลูกข่าย Application: Home Automation, Personal Computer Peripheral, Toys and Games

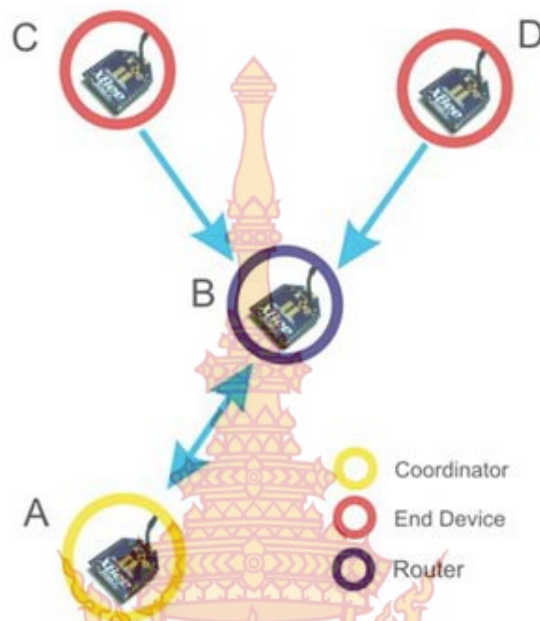


2. แบบ Cluster Tree (Tree) Topology

การเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree หรือ Tree เป็นการรับส่งข้อมูลแบบส่งผ่าน เช่น A ต้องการติดต่อกับ C แต่ C อยู่ไกลจาก A จน A ไม่สามารถ ติดต่อกับ C ได้แต่ B ที่อยู่ระหว่าง A กับ C ดังนั้น Cluster Tree จะใช้ B เป็นเหมือนตัวกลางเชื่อมการติดต่อ (Repeater) ระหว่าง A กับ C ตัวอย่างการใช้งานแบบ Cluster Tree จากรูปที่ 2.8 จะพบว่ามีการใช้งาน Xbee อยู่ 3 ลักษณะคือ

- Coordinator
- End Device
- Routers

Application: Industrial Control and Monitoring, Wireless Sensor Networks Asset and Inventory Tracking



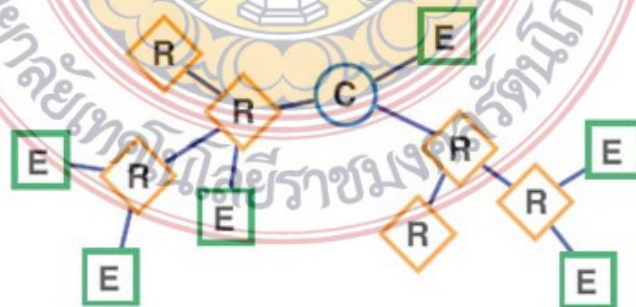
ภาพที่ 11 Cluster Tree Topology

2. แบบ Mesh Topology

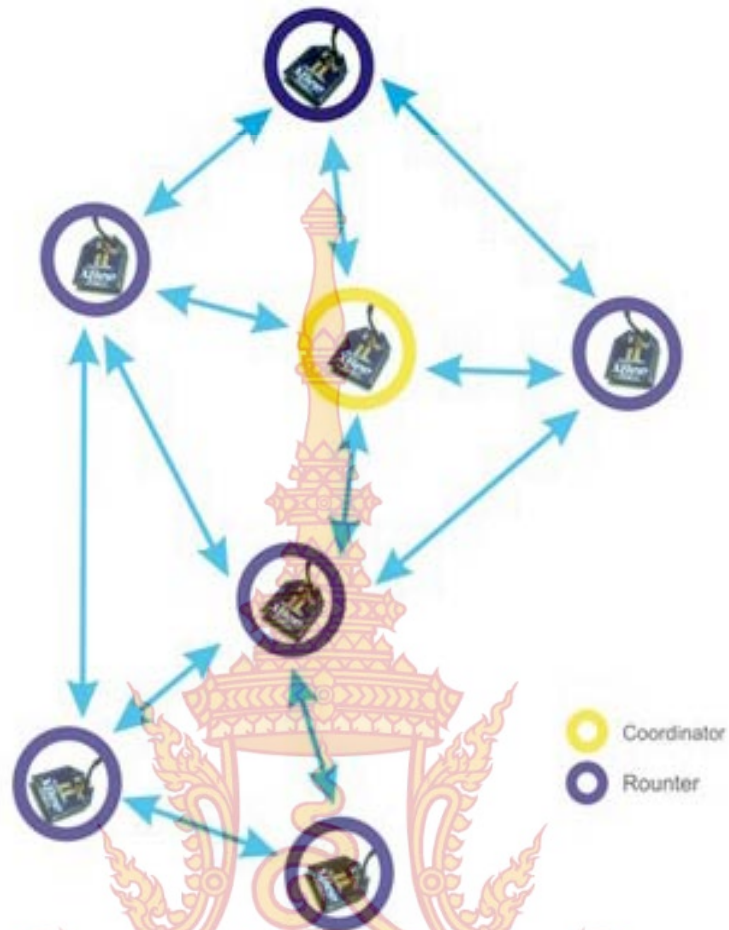
การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Mesh เป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายทาง ทำให้ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังจุดหมาย ปลายทางได้ แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตาม (ขึ้นอยู่กับกรออกแบบระบบของผู้ใช้) ระบบนี้จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก

ตัวอย่างการใช้งานแบบ Mesh จากรูปที่ 2.10 จะพบว่ามีการใช้งาน Xbee อยู่ 2 ลักษณะ คือ

- Coordinator
- Routers



ภาพที่ 12 การเชื่อมต่อระบบ Mesh Topology 3 โหนด



ภาพที่ 13 Mesh Topology การใช้งาน Xbee อยู่ 2 ลักษณะ

2.7. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ Xbee

Xbee เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับส่งข้อมูลแบบไร้สาย และสามารถสร้างระบบเครือข่ายขึ้นมาโดยตัว Zigbee ได้อ้างอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 ซึ่งสามารถแบ่งหน้าที่การทำงานของ Xbee ตามรูปแบบการสื่อสารในลักษณะต่างๆได้ เช่น Coordinator, Router, End Device โดย Xbee จะเป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RF IC อยู่ภายใน ทาหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver (อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ) แบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 Ghz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่าย มี interface ใช้รับและส่งข้อมูลกับ Xbee เป็น UART(TTL) ซึ่งสำหรับทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถหาขาที่ใช้ติดต่อสื่อสาร UART ของ Xbee ต่อเข้ากับ UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง ซึ่งลักษณะของ Xbee

2.8. ลักษณะโดยทั่วไปของ Xbee

1. **Operating Frequency ISM Band 2.4 Ghz (ISM Band)** คือ ย่านความถี่ใช้งานเพื่อการวิจัย ซึ่งจะอนุญาตให้ใช้กับอุตสาหกรรม (Industrial) วิทยาศาสตร์ (Scientific) และทางการแพทย์ (Medical) รวมเป็น ISM)

2. **สายอากาศ** มีให้เลือกใช้หลายแบบ คือ แบบ Chip Ant, Whip Ant, UFL con, RPSMA โดย 2 แบบหลัง เราต้องหาลูกเสายอากาศย่าน 2.4 Ghz ที่เป็น connector แบบ UFL หรือ SMA

3. **Supply Voltage** อยู่ที่ 2.8-3.4 V

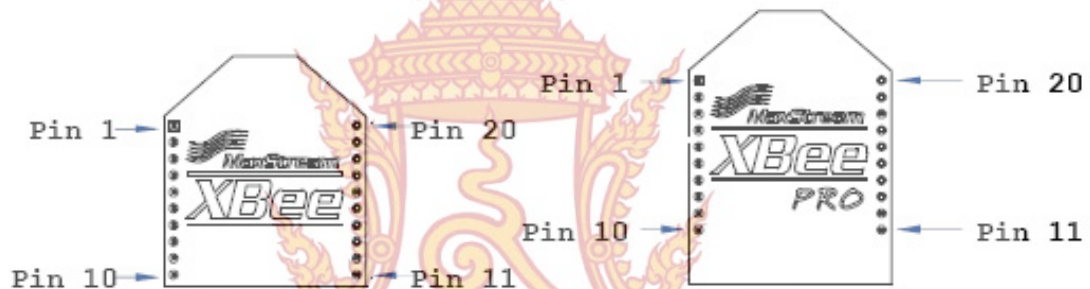
4. **Power Down Current** < 10uA

5. **RF data rate** อยู่ที่ 250 Kbps (เป็นส่วนของสัญญาณที่ส่งผ่านอากาศ)

6. **Serial interface data rate** ระหว่าง 1200-115200 Bps (เป็นส่วนที่ติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์)

7. **Spread Spectrum** เป็นชนิด DSSS (Direct Sequence)

8. **Addressing** มีลำดับลักษณะคือกำหนด PAN ID สำหรับเครือข่ายหนึ่ง กำหนด Channel



ภาพที่ 14 Xbee / Xbee-Pro RF Module Pin Numbers

Xbee จะมีอยู่ 2 รุ่น คือ รุ่น series1 (รุ่น IEEE802.15.4) และ รุ่น series 2 (รุ่น ZNET2.5 รุ่น ZB) และยังมีขนาด power ให้เลือกอีก 2 แบบ คือ แบบธรรมดา (1 mw-2 mw) และแบบ PRO (50mw-60 mw) ซึ่งจะมีผลเรื่องระยะทางการรับส่งข้อมูล โดยแต่ละ series นั้น สามารถสร้างเครือข่ายได้หลายแบบ แต่จะมีเพียง series 2 เท่านั้นที่จะทำเครือข่ายแบบ mesh ได้ ซึ่ง Xbee ทั้ง 2 Series นี้สามารถสร้าง Topology ได้ดังนี้

series1 (รุ่น IEEE802.15.4)

Peer-to-peer, point-to-point, point-to-multipoint (Broadcast)

series 2 (รุ่น ZNET2.5 / รุ่น ZB)

Mesh, Peer-to-peer, point-to-point, point-to-multipoint (Broadcast)

peer-to-peer network คือ เครือข่ายที่อยู่ในระดับชั้นเดียวกัน ยกตัวอย่างใน OSI Layer เช่นระดับ Transport Network Layer กับ Transport Network Layer นั่นคือ TCP Protocol ระหว่างคอม- พิวเตอร์ 2 เครื่อง แต่สำหรับ Xbee คำว่า peer-to-peer network หรือ Non Beacon Network คือการที่ตั้งค่าโหมดเป็น End Device หมดทุกตัว ไม่มีการกำหนดตายตัวว่าตัวใดจะเป็น Master ตัวใดจะเป็น Slave แต่จะให้ระบบจัดการกันเอง โดยในเครือข่ายจะต้องกำหนด

parameter ID (PAN ID) และ CH (Channel) Xbee สามารถตั้งค่าให้เป็น End-Device, Router, Coordinator

2.9. กำลังส่งสายอากาศ และสัญญาณรบกวนของ Xbee

Xbee นั้น ใช้ย่านความถี่ 2.4 Ghz ซึ่งเป็นย่านเดียวกันกับ Bluetooth หรือ Wireless Lan ดังนั้นจึงมีการรบกวนสัญญาณกัน การรับส่งสัญญาณก็จะขาดหายไปบ้าง แต่บางครั้งก็ครบถ้วน นั่นอาจเป็นเพราะกำลังส่งของ Xbee และระยะทางของ node ที่ทดสอบใกล้เคียงกันมาก

ช่วงของช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 Ghz นี้เรียกว่าเป็นย่านไมโครเวฟ และหลักการสำคัญของย่านไมโครเวฟอย่างหนึ่งคือ การวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณนั้น ต้องตั้งแบบ line of sight (ไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ) ถึงจะได้กำลังส่งสูงสุดสำหรับกำลังส่งของ Xbee ในรุ่น Pro จะใช้ 50-60 mw ใน datasheet บอกว่าได้ไกลถึง 1.5 km. แต่ก็ต้องเป็น ลักษณะของ line of sight หากไม่ใช่เงื่อนไขนี้ เราจะได้ระยะการรับส่งสัญญาณที่ลดลง นอกเหนือจากเรื่อง line of sight แล้ว ยังมีเรื่องสัญญาณรบกวนต่างๆ (Interference)

เรื่องของสายอากาศตัว Xbee มีให้เลือกที่เป็นแบบสำเร็จรูปพร้อมใช้ไม่ต้องหาสายอากาศมาต่อเพิ่มคือ สายอากาศแบบ chip ant และ whip ant ซึ่ง Pattern การแพร่กระจายคลื่นจะบ่งบอกเราได้ว่า สายอากาศนี้จะมีอัตราการขยายอย่างไร

Chip ant นั้นมีข้อดีตรงที่ขนาด Dimension รวมเล็กลง แต่ Gain น้อยกว่า แบบ Whip ant Chip ant จึงมีระยะรับส่งข้อมูลที่ลดลงจาก spec ใน datasheet ยกตัวอย่างเช่น รุ่น Pro ที่บอกว่าสามารถส่งได้ไกลสูงสุด 1.5 km แบบ line of sight แต่ถ้าเราเลือก chip ant แล้วจะได้ระยะสูงสุดอยู่ที่ 500 เมตร ระยะการรับส่งขึ้นอยู่กับอุปสรรคและสถานที่ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 Wireless link performance for various module/antenna/environment

Module	Antenna Type	Outdoor Distance (Visual Line-of-Sight)	Indoor Distance (Office Building)	Indoor Distance (Warehouses)
XBee	Chip	470ft. (143m)	80ft. (24m)	-
	Whip	845ft. (258m)	80ft. (24m)	84ft. (26m)
Xbee-Pro	Chip	1690ft. (515m)	140ft. (43m)	-
	Whip	4392ft. (1335m)	140ft. (43m)	355ft. (108m)

2.10. ชนิดของสายอากาศ

สายอากาศ Xbee จะมี 4 แบบ คือ Chip , Wire , UFL และ RPSMA



ภาพที่ 15 รูปสายอากาศแบบ Chip Antenna

Chip Antenna นั้น มีข้อดีตรงที่ขนาด Dimension รวมเล็กลง แต่ Gain น้อยกว่า แบบ Whip ant และ Chip ant จึงมีระยะรับส่งข้อมูลที่ลดลงจาก spec เหมาะกับการใช้งานใน โครงการที่ต้องการขนาดเล็ก เพราะการใช้สายอากาศแบบนี้ สายอากาศไม่เกะกะ นำไปใส่กล่องได้ แต่ได้เฉพาะกล่องพลาสติก ไม่สามารถใส่กล่องเหล็กได้ เนื่องจากใส่กล่องเหล็กสัญญาณจะไม่สามารถส่งออกมา นอกกล่องเหล็กได้ หากต้องใส่กล่องเหล็ก ควรเลือกใช้สายอากาศที่ต่อออกมานอกกล่องเหล็ก



ภาพที่ 16 สายอากาศแบบ Wire Antenna

Wire Antenna ระยะและความเสถียร จะได้ตาม Spec และด้วยสายอากาศที่ยื่นออกมา ลักษณะนี้ บางทีผู้ใช้อาจจะรู้สึกเกะกะ ทำให้ใส่กล่องที่ออกแบบมาไม่ได้ เหมาะสำหรับการใช้งานแบบทั่วไป ขอแนะนำสายอากาศชนิดนี้

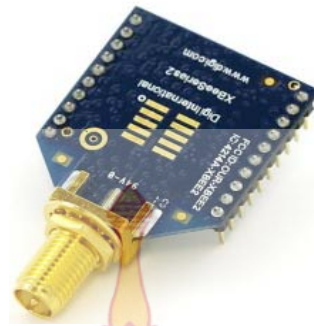


(ก) สายอากาศแบบ UFL Antenna

(ข) สายอากาศชนิดหัวต่อแยก SMA

ภาพที่ 17 สายอากาศแบบ UFL Antenna ที่ต่อสาย UFL to SMA และสายอากาศชนิดหัวต่อแยก SMA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณ

UFL Antenna ระยะและความเสถียร จะได้ตาม Spec เหมาะกับงานที่ออกแบบใส่ในกล่อง และต้องการให้สายอากาศยื่นออกมานอกกล่อง และเนื่องจากการที่ต้องต่อสาย UFL to SMA ออกมาอาจเพิ่มเติม ตรงจุดนี้จะทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณบ้างครับ แต่ก็จะมี การขยายสัญญาณที่สายอากาศอีกที จึงต้องไปพิจารณาอัตราขยายที่สายอากาศด้วยครับ (อัตราขยาย เรียกว่า Gain มีหน่วยเป็น dB หรือ dBi)

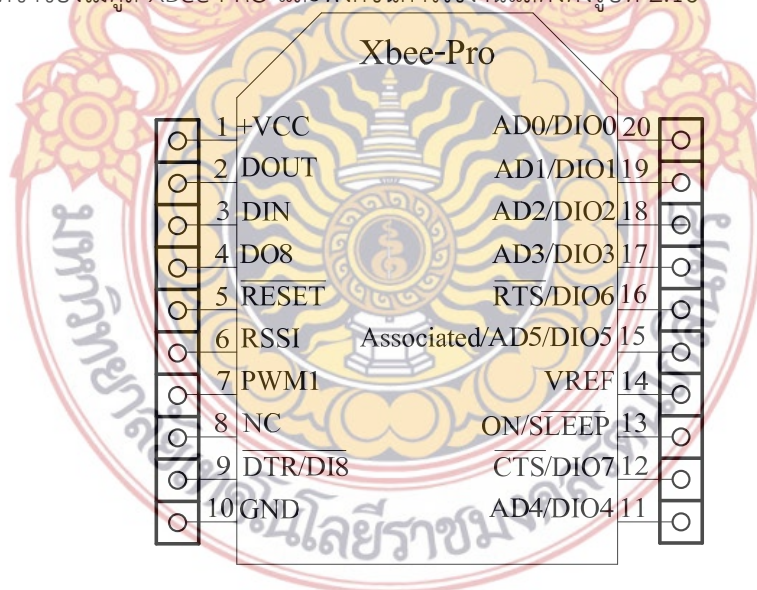


ภาพที่ 18 สายอากาศแบบ RPSMA Antenna

RPSMA Antenna ระยะและความเสถียร จะได้ตาม Spec ดีที่สุด ต่อใช้งานร่วมกับสายอากาศ จะมีการขยายสัญญาณที่สายอากาศอีกทีในการต่อใช้งานจริง การออกแบบใส่กล่องจะต้องออกแบบให้มีตำแหน่งของ Xbee ให้ใกล้กับรูเจาะกล่องครับ ช่วยให้การสื่อสารที่ดีและเชื่อมต่อได้โดยง่าย ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์คอมพิวเตอร์ และระบบเครือข่ายแบบหลายจุดที่ทำการเชื่อมต่อได้รับการสนับสนุน

2.11. การจัดขาของโมดูล Xbee-PRO

Xbee ซึ่งอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ให้รองรับกับอุปกรณ์ wireless sensor networks และสามารถส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องครบถ้วน โดยใช้ความถี่ในย่าน 2.4 GHz โดยลำดับการจัดขาของโมดูล Xbee-PRO และฟังก์ชันการใช้งานแสดงดังรูปที่ 2.16



ภาพที่ 19 สายอากาศแบบ RPSMA Antenna

ตารางที่ 5 แสดงการจัดขาของโมดูล Xbee-PRO และฟังก์ชันการใช้งาน

ลำดับขาที่	ชื่อขาการทำงาน
------------	----------------

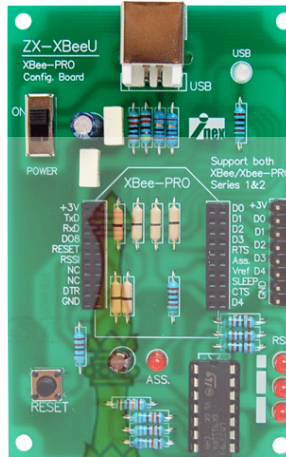
1	Vcc : ขาต่อไฟเลี้ยง +3.3V
2	DOUT : ขาเอาต์พุตส่งข้อมูลอนุกรม
3	DIN : ขาอินพุตรับข้อมูลอนุกรม
4	DO8 : ขาเอาต์พุตดิจิตอล ช่อง 8
5	RESET : ขารีเซตหลัก (แอกตีฟ “0”)
6	PWM0/RSSI : ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 0 และขาเอาต์พุตแสดงความแรงของสัญญาณ
7	PWM1 : ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 1
8	ไม่ใช้งาน
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8 : ขาอินพุตรับสัญญาณให้หยุดการทำงานเข้าสู่โหมดสลีปหรือเป็นขาอินพุตดิจิตอลช่อง 8
10	GND : ขาต่อกราวด์
11	AD4/DIO4 : ขาอินพุตอะนาล็อก 4 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 4

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับขาที่	ชื่อขา\การทำงาน
12	CTS/DIO7 : อินพุตรับสัญญาณแจ้งการส่งข้อมูลจากโฮสต์ (Clear-To-Send) ใช้ในการควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล หรือเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 7
13	ON/SLEEP : ขาแสดงการทำงาน “1” : อยู่ในโหมดการทำงานปกติ “0” : อยู่ในโหมดสลีป
14	VREF : ขาต่อแรงดันอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลภายใน XBee-PRO
15	Associated/AD5DIO5 : ขาแสดงสถานะการเชื่อมต่อ หรือขาอินพุตอะนาล็อก 5 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 5
16	RTS/AD6/DIO6 : ขาเอาต์พุตแจ้งความพร้อมในการส่งข้อมูล (Ready To Send) ใช้ควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล หรือเป็นขาอินพุตอะนาล็อก 6 หรือเป็นขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 6
17	AD3/DIO3 : ขาอินพุตอะนาล็อก 3 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 3
18	AD2/DIO2 : ขาอินพุตอะนาล็อก 2 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 2
19	AD1/DIO1 : ขาอินพุตอะนาล็อก 1 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 1
20	AD0/DIO0 : ขาอินพุตอะนาล็อก 0 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 0

3. ZX-XbeeU

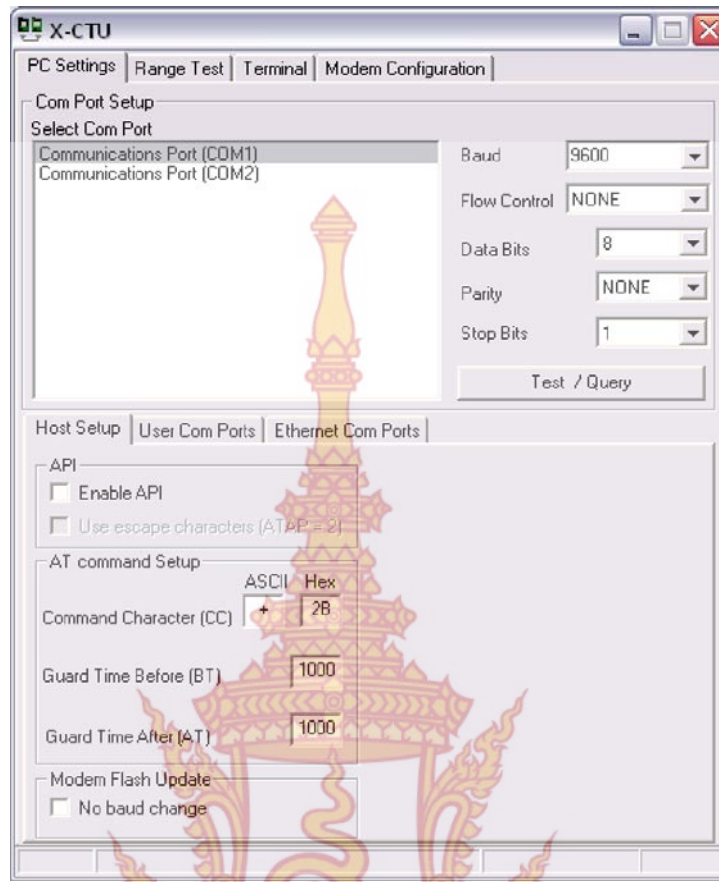
บอร์ดสำหรับติดตั้งโมดูล XBee เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ผ่านพอร์ต USB



ภาพที่ 20 แสดงส่วนประกอบบอร์ดโปรแกรม XBEE

ขั้นตอนการตั้งค่าแสดงตามลำดับดังนี้

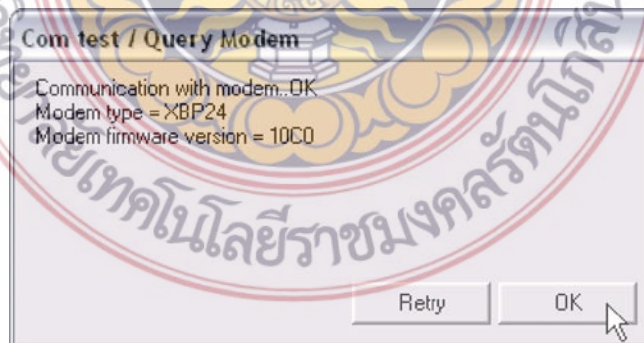
1. ติดตั้งโปรแกรม X-CTU เวอร์ชันล่าสุด สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีจากเว็บไซต์ของผู้ผลิตที่ให้บริการผ่าน www.digi.com
2. ติดตั้งโมดูล XBee-PRO ลงบนบอร์ด ZX-XBeeU ต้องระวังเรื่องตำแหน่งขาและทิศทางของโมดูลต้องติดตั้งให้ถูกต้องและไม่เกิดการหลวมกันเด็ดขาด เพราะหากติดตั้งผิดแล้วเมื่อจ่ายไฟจะทำให้โมดูลเสียหายทันที
3. ต่อสายเชื่อมต่อพอร์ต USB ระหว่างบอร์ด ZX-XBeeU กับพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์
4. จ่ายไฟให้ แก่ บอร์ด ซึ่งใช้ ไฟเลี้ยง +5V จากพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์ LED ในตำแหน่ง POWER และ ON ติด และ LED ในตำแหน่ง ASS. กะพริบ หากไม่เป็นไปตามนี้ให้รีบปิดสวิทช์ปลดไฟเลี้ยงแล้วตรวจสอบการติดตั้งโมดูล XBee-PRO ทันที รวมทั้งตรวจสอบไฟเลี้ยงที่ ขา Vcc ของ XBee-PRO ว่าต้องอยู่ในช่วง +2.8 ถึง +3.3V โดยในการตรวจสอบนั้นต้องถอดโมดูล XBee-PRO ออกมาก่อน แล้ววัดแรงดันที่คอนเน็กเตอร์ตัวเมียที่ใช้สำหรับติดตั้งโมดูล XBee-PRO
5. เปิดโปรแกรม X-CTU โดยดับเบิลคลิกที่ ไอคอน บน Desktop ของคอมพิวเตอร์ หรือคลิกที่ Start → All Programs → Digi-Maxstream → X-CTU ตั้งภาพ



ภาพที่ 21 แสดงหน้าต่างกำหนดการเชื่อมต่อ

6. ให้ทำการเลือกพอร์ตที่ทำการเชื่อมต่อ เลือกอัตราบอด (Baurate) เป็น 9600, Data 8บิต, Parity ไม่มีการตรวจสอบ และ Stop เป็น 1 บิต

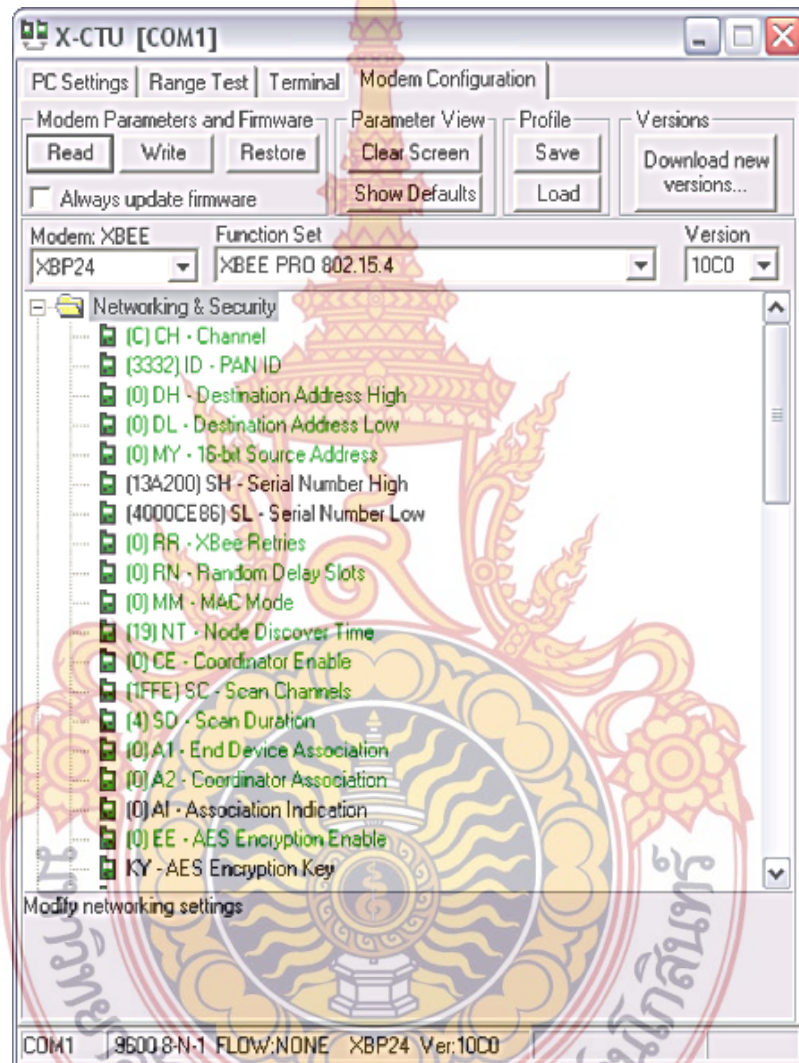
7. กดปุ่ม Test เพื่อทดสอบการติดต่อระหว่าง XBee-PRO กับโปรแกรม X-CTU หากติดต่อกันได้ จะปรากฏหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์ เบื้องต้นของโมดูล XBee-PRO จะแสดงดังรูป



ภาพที่ 22 แสดงหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์

หากมีการแจ้งความผิดปกติใดๆเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ ให้รีบปิดสวิทช์ ปลดไฟเลี้ยงแล้วตรวจสอบการติดตั้งโมดูล XBEE-PRO และการเชื่อมต่ออีกครั้ง รวมทั้งตำแหน่งขาพอร์ตด้วย และถ้าจำเป็นอาจต้อง ทดลองเลือกอัตรารบอร์ตใหม่

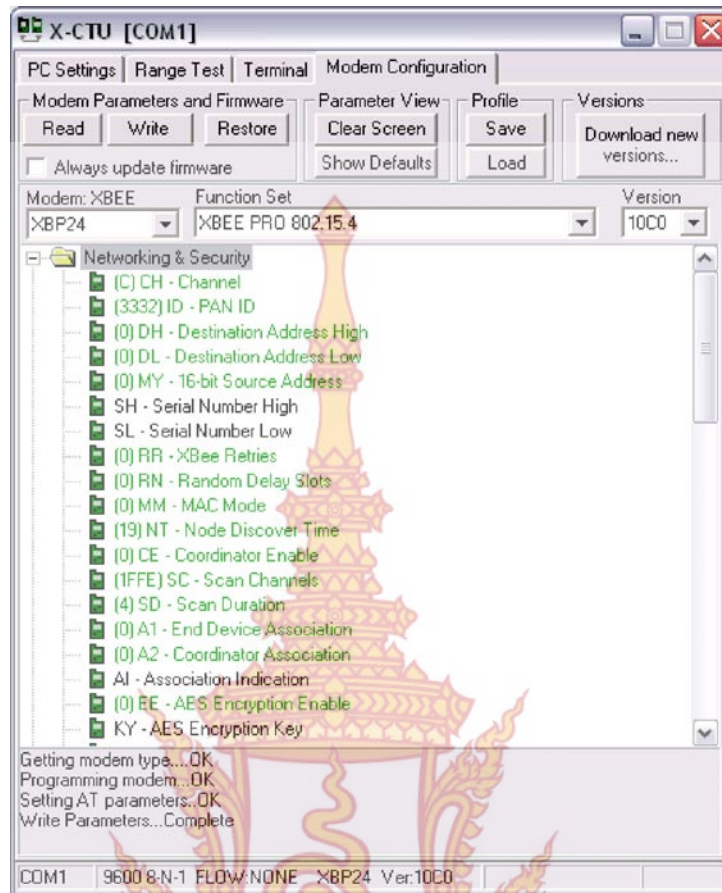
8. หลังจากนั้นคลิกไปที่แท็บ Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read ในกรอบ Modem Parameters and Firmware จะปรากฏข้อมูลชื่อรุ่นของโมดูล Xbee-PRO ฟังก์ชัน และหมายเลขเวอร์ชันของเฟิร์มแวร์ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังรูป



ภาพที่ 23 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม X-CTU

9. เมื่อมาถึงขั้นตอนนี้ ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนค่าคอนฟิกูเรชันได้ตามต้องการไม่ว่าจะเป็นการเลือกอัตรารบอร์ตใหม่ กำหนดรูปแบบการทำงานของขาพอร์ตของ XBeE-PRO

10. จากนั้นกดปุ่ม Write รอสักครู่ สังเกตที่ด้านล่างของหน้าต่าง Modem Configuration จะแสดงข้อความเพื่อแจ้งสถานะการทำงาน หากเป็นดังรูปแสดงการกำหนดค่าเสร็จสมบูรณ์



ภาพที่ 24 แสดงการกำหนดค่าเสร็จสมบูรณ์

4. ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ไว้ภายในตัวของมันเอง โดยมีโครงสร้างใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ คือ ภายในจะประกอบไปด้วยหน่วยรับข้อมูล และโปรแกรมหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยแสดงผล ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้มีความสมบูรณ์ในตัวของมันเอง ทำให้มีขนาดเล็ก และสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับตัวมัน ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน

โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ยังสามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

4.1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit)

เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานหรือประมวลผล ตามชุดของคำสั่งเครื่องจากซอฟต์แวร์ คำนี้เริ่มใช้ในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ต้นศตวรรษ 1960 s หน่วยประมวลผลเปรียบเสมือนให้เป็นสมองของคอมพิวเตอร์ ในการทำหน้าที่ตัดสินใจหรือคำนวณจากคำสั่งที่ได้รับมา โดยมีการจะเปรียบเทียบ การกระทำทางคณิตศาสตร์ ฯลฯ

4.2. หน่วยความจำ (Memory)

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program-Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่

สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทศในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

4.3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต

(Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผล และส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

4.4. ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS)

เส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus) บัสข้อมูลเป็นสายสัญญาณบรรจุข้อมูลเพื่อการประมวลผลทั้งหมด ขนาดของบัสจะขึ้นอยู่กับความสามารถการประมวลผลของซีพียู สำหรับในงานทั่วไป ขนาดของบัสข้อมูลจะเป็น 8 บิต และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นมาจนถึง 16, 32 และ 64 บิต บัสแอดเดรสเป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนั้น ซีพียู ต้องกำหนดตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน ดังนั้นจำนวนสายสัญญาณของแอดเดรสจึงต้องมีจำนวนมาก ยิ่งมากเท่าไรก็จะเป็นการแสดงความขนาดของหน่วยความจำที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อได้ โดยสามารถคำนวณได้จาก จำนวนของแอดเดรสของหน่วยความจำ ซึ่งมีค่า $= 2^n$ ตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวหนึ่งมีสายแอดเดรส 10 เส้น ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้ สามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้ $2^{10} = 1,024$ ตำแหน่ง หากต้องการทราบความจุของหน่วยความจำจริงๆ จะต้องทราบถึงขนาดของบัสข้อมูลก่อนว่าเป็นเท่าใด หากเป็น 8 บิต ความจุของหน่วยความจำที่มีสายแอดเดรส 10 เส้น จะเทียบเท่ากับ $8 \times 1024 = 8,192$ บิต และถ้า 1 กิโลไบต์ เท่ากับ 1,024 ไบต์ ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าว จึงมีความจุของหน่วยความจำเท่ากับ 8,192 บิต หรือ 1,024 ไบต์ หรือ 1 กิโลไบต์ บัสควบคุมเป็นกลุ่มของสาย สัญญาณควบคุมการติดต่อทั้งหมดของซีพียูกับหน่วยความจำและพอร์ต สำหรับสายสัญญาณเลือกควบคุมหลักได้แก่ สายสัญญาณเลือกอ่าน-เขียนหน่วยความจำ สายสัญญาณเลือก อ่าน-เขียนข้อมูลกับพอร์ต

4.5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock)

นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับจังหวะการนับ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงจังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

MCLR/Vpp	1	40	RB7/PGD
RA0/AN0	2	39	RB6/PGC
RA1/AN1	3	38	RB5
RA2/AN2/VREF-	4	37	RB4
RA3/AN3/VREF+	5	36	RB3/PGM
RA4/T0CKI	6	35	RB2
RA5/AN4/SS	7	34	RB1
RE0/RD/AN5	8	33	RB0/INT
RE1/WR/AN6	9	32	VDD
RE2/CS/AN7	10	31	VSS
VDD	11	30	RD7/PSP7
VSS	12	29	RD6/PSP6
OSC1/CLKIN	13	28	RD5/PSP5
OSC2/CLKOUT	14	27	RD4/PSP4
RC0/T1OSO/T1CKI	15	26	RC7/RX/DT
RC1/T1OSI/CCP2	16	25	RC7/RX/DT
RC2/CCP1	17	24	RC5/SDO
RC3/SCK/SCL	18	23	RC4/SDI/SDA
RD0/PSP0	19	22	RD3/PSP3
RD1/PSP1	20	21	RD2/PSP2

ภาพที่ 25 แสดงการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F877A

จากภาพที่ 5 เป็นโครงสร้างภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ซึ่งสามารถแบ่งการจัดขาต่อใช้งานของ PIC16F877A ได้เป็น 4 กลุ่มคือ

- กลุ่มสัญญาณนาฬิกา มี 2 ขา คือ OSC1/CLKIN และ OSC2/CLKOUT
- กลุ่มขาควบคุม มี 1 ขา คือ MCLR
- กลุ่มขาพอร์ตอินพุต-เอาต์พุต มี 33 ขา
- กลุ่มขาไฟเลี้ยง มี 2 ขา คือ ขา VSS หรือขากราวด์

และขา VDD หรือขาไฟเลี้ยงซึ่งจำนวนขาพอร์ตใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ PIC ขึ้นอยู่กับเบอร์ที่เลือกใช้งาน มีจำนวนพอร์ตมากน้อยไม่เท่ากัน ตามความจำเป็นของผู้เลือกใช้ ซึ่งพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC สามารถที่จะกำหนดหน้าที่ในการทำงานได้มากกว่าหนึ่งหน้าที่ก่อนการใช้งานพอร์ตจึงต้องตรวจสอบคุณสมบัติของแต่ละพอร์ตก่อนว่ามีคุณสมบัติอย่างไรและสามารถทำงานในหน้าที่ใดได้บ้างสามารถแสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของพอร์ตได้ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต A

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RA0/AN0	0	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลช่องที่ 0

RA1/AN1	1	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 1
RA2/AN2/VR EF-/VREF	2	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 2 - อินพุตแรงดันอ้างอิงลบจากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นดิจิตอล - เอาต์พุตแรงดันอ้างอิงของโมดูลแรงดันอ้างอิง
RA3/AN3/ VREF+	3	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 3 - อินพุตแรงดันอ้างอิงบวกจากวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นดิจิตอล
RA4/T0CKI/ C1OUT	4	ST	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - อินพุตสัญญาณนาฬิกาภายนอกของไมโครเมอร์ 0 - เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อกช่องที่ 1 (Comparator) หรือ เอาต์พุตแบบ Open Drain
RA5/SS/AN4 /C2OUT	5	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 4 - ขาอินพุตสัญญาณ Slave Select สำหรับการสื่อสาร อนุกรมแบบซิงโครนัส - เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอนาล็อก ช่องที่ 2

เมื่อ TTL หมายถึง อินพุตแบบ Transistor Transistor Logic

ST หมายถึง อินพุตแบบ ชมิททริกเกอร์ Schmitt Trigger

ตารางที่ 7 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต B

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RB0/INT	0	TTL/ST (1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก
RB1	1	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล
RB2	2	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล

RB3/PGM (3)	3	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - อินพุตรับแรงดันโปรแกรมต่ำ +5V (โหมดLPV) หาก Enable ไว้
RB4	4	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลอจิกหาก Enable ไว้
RB5	5	TTL	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินเตอร์รัปต์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลอจิกหาก Enable ไว้
RB6/PGC	6	TTL/ST (1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินเตอร์รัปต์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลอจิกหาก Enable ไว้ - ขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบั๊กในวงจร (ICD)
RB7/PGD	7	TTL/ST (1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลอจิกหาก Enable ไว้ - ขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบั๊กในวงจร (ICD)

เมื่อ TTL/ST (1) หมายถึง อินพุตแบบมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อใช้งานอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก

TTL/ST (2) หมายถึง อินพุตแบบมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อใช้งานโหมดโปรแกรมแบบอนุกรมหรือ In Circuit Debugger (ICD)

ตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต C

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RC0/T1OS O/T1CKI	0	ST	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ของไทม์เมอร์ 1 - ขาพอร์ตอินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทม์เมอร์ 1

RC1/T1OSI/ CCP2	1	ST	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตเอาต์พุตจากออสซิลเลเตอร์ของไทม์เมอร์ 1 - ขาพอร์ตอินพุตวงจรถับสัญญาณ/วงจรถับเอาต์พุตเปรียบเทียบ วงจรถับเอาต์พุต Pulse-Width Modulation (PWM) โมดูล CCP2
RC2/CCP1	2	ST	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตวงจรถับสัญญาณ/วงจรถับเอาต์พุตเปรียบเทียบ วงจรถับเอาต์พุต PWM โมดูล CCP2
RC3/SCK/S CL	3	ST	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตสัญญาณนาฬิกาของวงจรถับ SPI และบัส I2C
RC4/SDI/ SDA	4	ST	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตของวงจรถับ SPI และข้อมูลของบัส I2C
RC5/SDO	5	ST	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตเอาต์พุตของวงจรถับ SPI
RC6/TX/ CK	6	ST	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตเอาต์พุตการสื่อสารอนุกรมของวงจรถับข้อมูลแบบ ซิงโครนัส Universal Asynchronous Receiver Transmitter (USART) - ขาสัญญาณนาฬิกาแบบซิงโครนัส
RC7/RX/ DT	7	ST	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตเอาต์พุตการสื่อสารอนุกรมของวงจรถับ USART - ขาสัญญาณข้อมูลแบบซิงโครนัส

ตารางที่ 9 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต D

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RD0/PSP0	0	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 0
RD1/PSP1	1	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 1
RD2/PSP2	2	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล

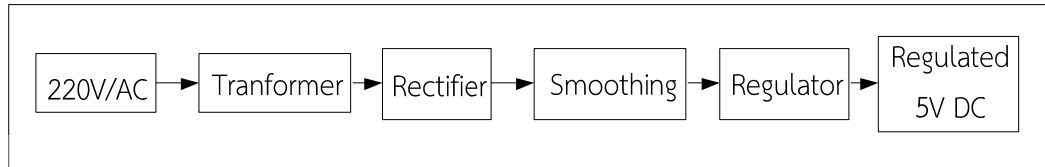
			- ขาพอร์ตแบบขนานบิต 2
RD3/PSP3	3	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 3
RD4/PSP4	4	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 4
RD5/PSP5	5	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 5
RD6/PSP6	6	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 6
RD7/PSP7	7	ST/TTL(1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตแบบขนานบิต 7

ตารางที่ 10 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติของพอร์ต E

ขาพอร์ต	บิตที่	บัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
RE0/RD/AN 5	0	ST/TTL (1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตควบคุมการอ่านในโหมดแบบขนาน - ขาพอร์ตอินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 5
RE1/WR/AN 6	1	ST/TTL (1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตควบคุมการอ่านในโหมดแบบขนาน - ขาพอร์ตอินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 6
RE2/CS/AN 7	2	ST/TTL (1)	- ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล - ขาพอร์ตอินพุตควบคุมการอ่านในโหมดแบบขนาน - ขาพอร์ตอินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่องที่ 6

5. Power Supplies (แหล่งจ่ายไฟ)

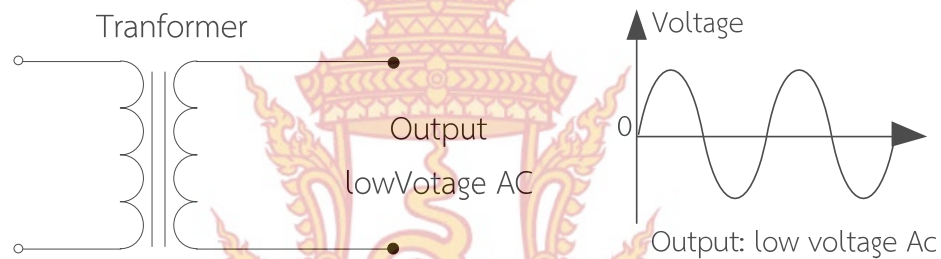
แหล่งจ่ายไฟมีหลายชนิด ส่วนใหญ่ออกแบบเพื่อแปลงไฟฟ้าบ้านซึ่งมีแรงดันสูง (Ac 220V) ให้ได้แรงดันต่ำที่เหมาะสมใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์อื่นๆ แหล่งจ่ายไฟสามารถแบ่งเขียนเป็นบล็อกอนุกรม ซึ่งแต่ละบล็อกมีหน้าที่เฉพาะต่างกัน แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้าที่ใช้กันตามบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เมื่อเรานำไฟฟ้ากระแสสลับมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับมุมที่เปลี่ยนไปเมื่อเวลาผ่านไป ในขณะที่เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นโค้งสลับขึ้นลงไปมา ซึ่งหมายถึง เมื่อเวลาผ่านไปแรงดันไฟฟ้าจะสลับการไหลตลอดเวลา จากข้อมูลแสดงลำดับขั้นตอน แหล่งจ่ายไฟตรงมูลค่า 5V ดังรูปที่ 2.23



ภาพที่ 26 แผนภาพระบบแหล่งจ่ายกำลังแบบคุมค่าแรงดัน

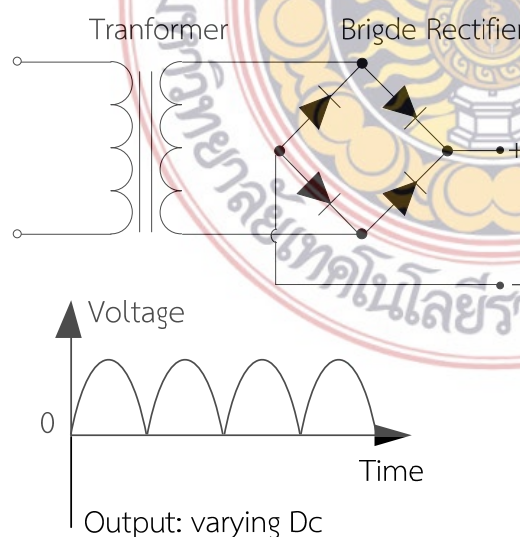
5.1. รายละเอียดคำอธิบายพร้อมทั้งวงจรแผนภาพและกราฟเอาต์พุทของแหล่งจ่ายไฟที่เกิดจากบล็อกดังนี้

1. หม้อแปลง
2. หม้อแปลง + วงจรเรียงกระแส
3. หม้อแปลง + วงจรเรียงกระแส + วงจรกรอง
4. หม้อแปลง + วงจรเรียงกระแส + วงจรกรอง + วงจรคุมค่าระดับแรงดัน

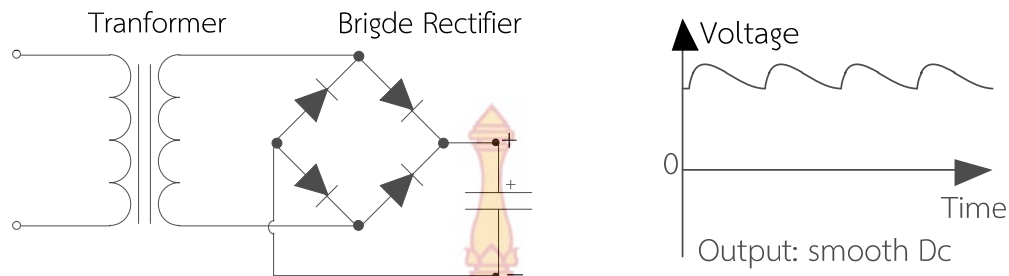


ภาพที่ 27 แผนภาพระบบแหล่งจ่ายแรงดัน AC

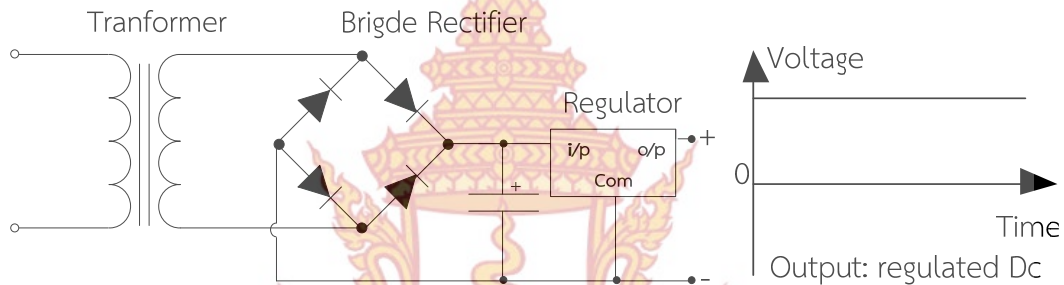
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งโดยวิธีทางวงจรแม่เหล็กซึ่งไม่มีจุดต่อไฟฟ้าถึงกันและไม่มีชิ้นส่วนทางกลเคลื่อนที่ โดยทั่วไปเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้มีขนาดลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยมีความถี่ไฟฟ้าคงเดิม



ภาพที่ 28 แผนภาพระบบแหล่งจ่ายแรงดัน DC



ภาพที่ 29 แผนภาพเอาต์พุตของไฟกระแสตรง (DC) ที่ไม่เรียบ เหมาะสำหรับเลี้ยงหลอด, ไล้หลอดมอเตอร์ DC เล็กๆ ยังไม่เหมาะที่จะป้อนให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์หากยังไม่ผ่านวงจรกรอง



ภาพที่ 30 แผนภาพเอาต์พุตไฟกระแสตรง (DC) คุณค่า ไฟเรียบมากไม่มีพลิวเหมาะสำหรับป้อนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานไม่ว่าจะเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดวงจรแรงดันต่ำ และจำกัดแรงดันของวงจร ซึ่งการออกแบบจะช่วยให้ได้ระดับแรงดันที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ และวงจรต่างๆ

5.2. หม้อแปลง (Transformer)

หม้อแปลงทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากแรงดันค่าหนึ่งเป็นอีกค่าหนึ่งโดยให้มีการสูญเสียกำลังงานน้อยที่สุด หม้อแปลงทำงานเฉพาะกับไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น และนั่นก็เป็นเหตุผลหนึ่งที่ว่าทำไมไฟฟ้าบ้านจึงเป็นไฟกระแสสลับ

หม้อแปลง แปลงขึ้น (step-up) เพิ่มแรงดัน ส่วนหม้อแปลง แปลงลง (step-down) ลดแรงดันแหล่งจ่ายไฟส่วนใหญ่ใช้หม้อแปลงลดแรงดันเพื่อลดแรงดันไฟบ้านที่มีแรงดันสูง (220V) ซึ่งจะเป็นอันตรายให้ต่ำลงเพื่อความปลอดภัย

ขดลวดทางเข้าเรียกว่าปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทางออกเรียกว่าทุติยภูมิ (secondary) ระหว่างขดทั้งสองไม่มีการต่อกันทางไฟฟ้า แต่ใช้การเชื่อมกันโดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับที่จะเกิดขึ้นในแกนเหล็กของหม้อแปลงขีดสองเส้นระหว่างขดลวดในรูปสัญลักษณ์แทนแกนเหล็ก

หม้อแปลงเสียพลังงานน้อยจึงถือว่ากำลังงานเข้าเท่ากับกำลังงานออก และสังเกตได้ว่าเมื่อแรงดันแปลงลง กระแสก็จะแปลงขึ้น

อัตราส่วนจำนวนรอบของแต่ละขดลวดเรียกว่า อัตราส่วนรอบ (Turns ratio) เป็นตัวกำหนดอัตราส่วนแรงดัน หม้อแปลงลดแรงดัน (step-down) มีขดลวด จำนวนรอบมากคือขดปฐมภูมิต่อกับแรงดันไฟฟ้าบ้านเป็นอินพุท และทางด้านเอาต์พุทเป็นขดทุติยภูมิมีจำนวนรอบน้อยให้แรงดันออกต่ำ

$$\text{อัตราส่วนรอบ} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \text{ และ กำลังออก} = \text{เข้ากำลัง} (V_s \times I_s = V_p \times I_p)$$

เมื่อ V_p = แรงดันปฐมภูมิ(อินพุท)

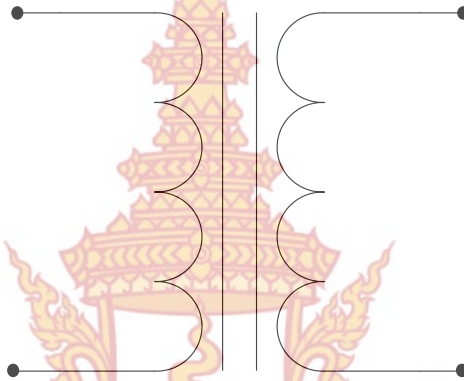
เมื่อ V_s = แรงดันทุติยภูมิ (เอาต์พุท)

เมื่อ N_p = จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

เมื่อ N_s = จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

เมื่อ I_p = กระแสปฐมภูมิ(อินพุท)

เมื่อ I_s = กระแสทุติยภูมิ (เอาต์พุท)



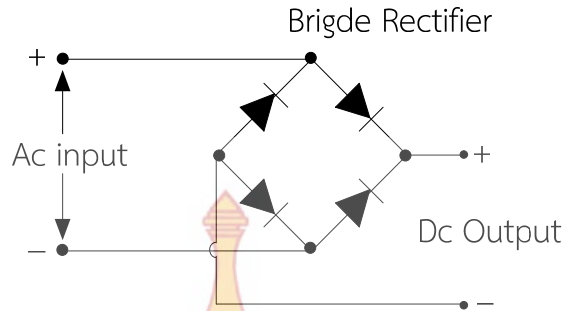
ภาพที่ 31 แผนภาพสัญลักษณ์หม้อแปลง

5.3. วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

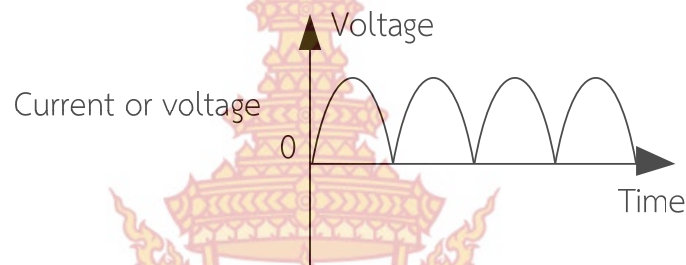
มีหลายวิธีในการต่อไดโอดของวงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงไฟกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ เป็นวิธีที่สำคัญที่สุดที่สามารถเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full-wave) และการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีอีกวิธีหนึ่งคือใช้ไดโอดเพียงสองตัวแต่ต้องต่อกับหม้อแปลงแบบเซนเตอร์แทป แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้วิธีนี้เพราะไดโอดไม่ได้แพงอะไรมาก ไดโอดตัวเดียว ก็สามารถ ต่อเป็น วงจรเรียงกระแสได้โดยเรียงได้เฉพาะคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านบวกได้เป็นไฟกระแสตรงครึ่งคลื่น

5.3.1. วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge rectifier)

การเรียงกระแสแบบบริดจ์สามารถใช้ไดโอดเดี่ยวสี่ตัวมาต่อกันหรือสามารถใช้ไดโอดบริดจ์แบบแพคเกจสำเร็จรูปก็ได้ เรียกว่าการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นเพราะใช้คลื่นไฟฟ้ากระแสสลับทั้งหมด(ทั้งด้านบวกและด้านลบ) ตัวเรียงกระแสแบบบริดจ์จะเกิดแรงดันตกคร่อม 1.4V เพราะไดโอดแต่ละตัวจะตกคร่อมเท่ากับ 0.7V ขณะนำกระแส และบริดจ์มีการนำกระแสสองตัวพร้อมกัน, ดังแผนภาพด้านล่าง ตัวเรียงกระแสแบบบริดจ์จัดแบ่งตามกระแสสูงสุดที่สามารถผ่านได้และแรงดันกลับสูงสุดที่ทนได้ (ในการเลือกใช้งานอย่างน้อยต้องสูงเป็นสามเท่าของแรงดันแหล่งจ่าย RMS นั่นคือวงจรเรียงกระแสจะสามารถทนแรงดันขอดได้) กรุณาดูรายละเอียดที่หน้า ไดโอด รวมทั้งรูปของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์



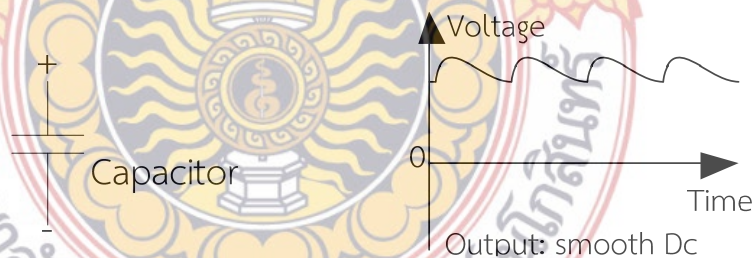
ภาพที่ 32 แผนภาพวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ไดโอดสลับคู่กันนำกระแส, เปลี่ยนกลับตลอดการต่อ ดังนั้นทิศทางสลับกันของไฟฟ้ากระแสสลับจึงถูกแปลงเป็นไฟกระแสตรงทิศทางเดียว



ภาพที่ 33 แผนภาพเอาต์พุตของวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเต็มคลื่น

5.3.2. วงจรกรอง (Smoothing)

การกรองเกิดขึ้นโดยการต่อ อิเล็กโทรไลติก คาปาซิเตอร์ ค่าสูงคร่อมไฟกระแสตรง ทำหน้าที่เหมือนบ่อเก็บน้ำ บ่อนกระแสให้เอาต์พุตเมื่อแรงดันกระแสสลับจากวงจรกรองกระแสตกลง แผนภาพแสดงให้เห็นไฟกระแสตรงที่ยังไม่กรอง (เส้นประ) และไฟกระแสตรงที่กรองแล้ว (เส้นทึบ) คาปาซิเตอร์ ประจุเร็วที่ใกล้ยอดของไฟกระแสตรงและคายประจุบ่อนกระแสให้เอาต์พุต



ภาพที่ 34 แสดงผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านเอาต์พุต โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณทางด้านอินพุตของวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเต็มคลื่น

การกรองไม่เรียบสมบูรณ์เพราะแรงดันของตัวเก็บประจุตกเล็กน้อยตอนคายประจุ จึงเกิดแรงดันพลั่ว (ripple) เล็กน้อยสำหรับวงจรโดยส่วนมากแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันพลั่ว 10% ก็ใช้ได้แล้ว ค่าของตัวเก็บประจุสำหรับการกรองหาได้จากสมการข้างล่าง หากตัวเก็บประจุใหญ่พลั่วก็จะน้อย สำหรับไฟกระแสตรงแบบครึ่งคลื่นตัวกรองต้องใช้ตัวเก็บประจุค่าสูงเป็นสองเท่า

ตัวเก็บประจุสำหรับกรองพลั่ว $C = \frac{5 \times I_o}{V_s \times f}$

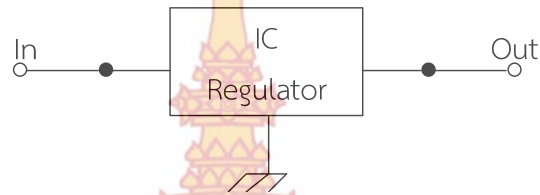
เมื่อ I_o = กระแสออกจากแหล่งจ่ายไฟ

เมื่อ V_s = แรงดันแหล่งจ่าย (ค่ายอดของไฟDCที่ยังไม่กรอง)

เมื่อ f = ความถี่ของไฟ AC แหล่งจ่าย (50Hz)

5.3.3. วงจรรักษาระดับแรงดัน

ไอซีเร็กกูเลเตอร์ภายในประกอบด้วยวงจรเร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม มีขาต่อใช้งาน 3 ขา ประกอบด้วยขา อินพุท เอาท์พุท และกราวด์ ซึ่งจะจ่ายแรงดันค่าใดค่าหนึ่งโดยเฉพาะ



ภาพที่ 35 แสดงการต่อไอซีเร็กกูเลเตอร์ใช้งานแบบง่าย

จุดเด่นของไอซีเร็กกูเลเตอร์ค่าคงที่นี้คือสามารถต่อวงจรได้ง่ายไม่ต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากนัก ตัวอย่างวงจรการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4 ถึงแม้ว่าแรงดันไอซีเร็กกูเลเตอร์ชนิดนี้จะให้แรงดันเอาท์พุทคงที่ มีเบอร์ให้เลือกแรงดันเอาท์พุทได้คงที่หลายเบอร์เช่น 5V, 5.2V, 6V, 8V, 10V, 12V, 15V, 18V และ 24V กระแสเอาท์พุทตั้งแต่ 10 มิลลิแอมป์จนถึง 3 แอมป์ และมีให้เลือกทั้งชนิดเร็กกูเลเตอร์ไฟบวกและเร็กกูเลเตอร์ไฟลบ

วงจรเร็กกูเลเตอร์พื้นฐานโดยใช้ไอซีตระกูล MC78xx ในรูปที่ 2.33 แสดงวงจรมาตรฐานของแหล่งจ่ายไฟแบบแรงดันเอาต์พุทคงที่โดยใช้ MC78xx เป็นวงจรเร็กกูเลเตอร์ จะเห็นได้ว่าขา in ของ MC78xx จะต่อกับไฟบวกส่วนขา GND จะต่อกับไฟลบ C1 ใส่ไว้เพื่อลดความเหนียวภายในไอซี ซึ่งมักใช้ค่า $1 \mu F$ แบบแทนทาลัมหรือ $0.1 \mu F$ แบบเซรามิก ส่วน C2 มีไว้เพื่อป้องกันสัญญาณลบกวนซึ่งมักใช้ค่า $1 \mu F$ แบบแทนทาลัม หรือ 0.1 แบบเซรามิก 52 วงจรอิเล็กทรอนิกส์

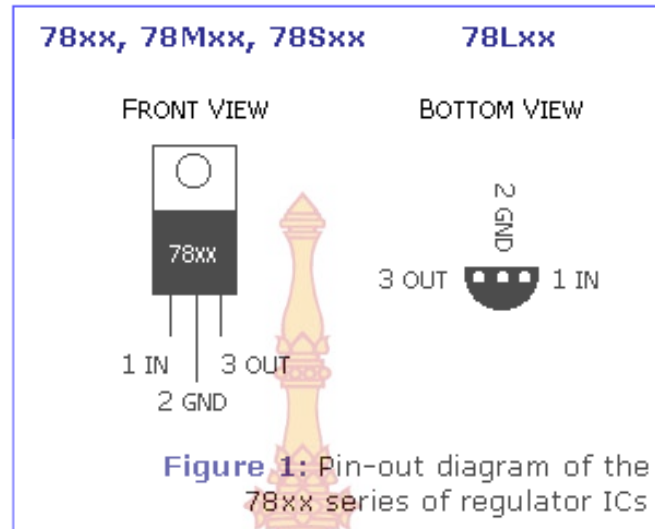
การป้องกันแรงดันที่ขา in และขา out ของ MC78xx จะต้องมีค่าต่างกันพอสมควรโดยดูจากค่า $V_{in} - V_{out}$ ใน Data Sheet

สมการ $V_{in} = 7V, V_{out} = 5V$

$$V_{in} - V_{out}$$

$$7V - 5V = 2V$$

ฉะนั้นแรงดันที่ขา in ต้องป้อนมากกว่า 7V ขึ้นไปแต่ต้องน้อยกว่าค่า (V_{max}) จาก Data-Sheet มีค่าเท่ากับ 35V



ภาพที่ 36 แสดงตำแหน่งขาของ IC Regulator เบอร์ 78xx

5.3.4. การออกแบบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ทางผู้จัดทำต้องการให้แหล่งจ่ายกระแสเป็นอิสระ ซึ่งการคำนวณค่าต่างๆ ในวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงมีดังนี้
วิธีการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$V_r = \frac{V_m}{2fRC}$$

เมื่อ V_r = แรงดันริปเปิ้ล และ V_m = แรงดันสูงสุด
ทางผู้จัดทำโครงการนี้ได้ใช้หม้อแปลงขนาดแรงดัน 220V / 12V

$$V_m = 12\sqrt{2} = 16.97$$

$$\therefore V_m \cong 17V$$

เนื่องจากผู้จัดทำต้องการให้แรงดันริปเปิ้ลมีค่าน้อยๆ จึงได้กำหนดโดยการประมาณค่าให้ $V_r \cong 0.15V$ และ $R = 500\Omega$, $f = 50Hz$ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์ที่จะนำมาต่อได้จากสมการดังนี้

$$C = \frac{V_m}{2fRV_r}$$

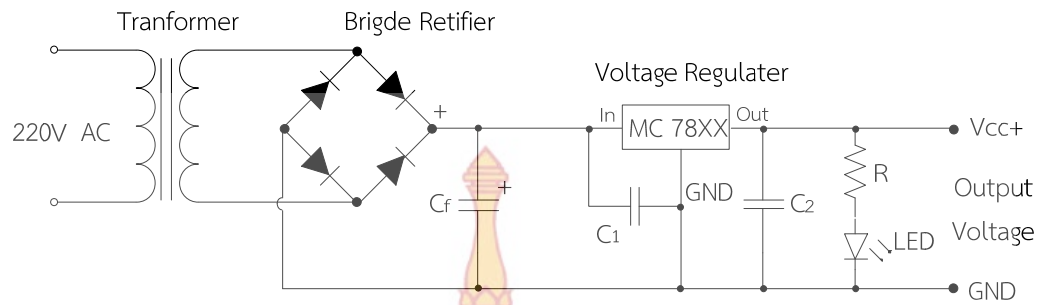
แทนค่า $V_r \cong 0.15V$, $R = 500\Omega$, $f = 50Hz$ ลงในสมการ

$$C = \frac{17V}{2(50Hz)(500\Omega)(0.15V)}$$

$$C = 2270\mu F$$

$$\therefore C \cong 2200\mu F$$

จึงออกแบบให้ $C = 2270\mu F$ และ $C = 0.33\mu F$ ต่อขนานกัน ส่วนค่า $C = 0.1\mu F$ มาจาก Datasheet ของไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ MC78xx และ MC79xx



ภาพที่ 37 วงจรแหล่งจ่ายไฟโดยใช้ MC78xx

ตารางที่ 11 สรุปรวมเบอร์ไอซีเร็กกูเลเตอร์

เบอร์	แรงดันเอาต์พุท	อุณหภูมิรอยต่อ*	กระแสเอาต์พุทสูงสุด(mA)	กระแสสูงสุดเมื่อมีโหลด(mA)	แรงดันอินพุท	แรงดันตกคร่อม
เร็กกูเลเตอร์กระแสบวกคงที่ 500 mA						
78M05	5.0	M	50	50	10.0 to 35	2.5
78M05	5.0	C	100	100	7.5 to 35	2.5
78M06	6.0	M	60	60	10.0 to 35	2.5
78M06	6.0	C	100	120	10.5 to 35	2.5
78M08	10.0	M	60	80	11 to 35	2.5
78M08	10.0	C	100	160	10.5 to 35	2.5
78M12	12	M	60	120	15 to 35	2.5
เร็กกูเลเตอร์กระแสบวกคงที่ 1.0A						
7805	5.0	M	50	50	10.0 to 35	3.0
7805	5.0	C	100	100	7.5 to 35	2.5
7806	6.0	M	60	60	9.0 to 35	3.0
7806	6.0	C	120	120	10.5 to 35	2.5
7808	10.0	M	80	80	11 to 35	3.0
7808	10.0	C	160	160	10.5 to 35	2.5
7812	12	M	120	120	15 to 35	3.0
เร็กกูเลเตอร์กระแสบวกคงที่ 3.0A						
LM123	5.0	M	25	100	7.5 to 20	2.5

LM223	5.0	M	25	100	7.5 to 20	2.5
-------	-----	---	----	-----	-----------	-----

6. อุปกรณ์สำรองไฟฟ้า (แบตเตอรี่)

แบตเตอรี่ เป็นสิ่งที่จำเป็นมากสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นสามารถทำงานได้ เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงอุปกรณ์ และสำรองไฟฟ้าไว้ในชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช่างป่าหากเกิดไฟฟ้าของสถานที่ติดตั้งเกิดดับเพื่อให้ระบบชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช่างป่ายังทำงานต่อเนื่องแม้ไฟฟ้ามืดดับ

6.1. ประเภทของแบตเตอรี่แห้ง

แบตเตอรี่แบบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ประเภท

1. แบตเตอรี่แบบเจล (Gel Battery or GelCell) คือประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุอุดขั้วกรด
2. แบตเตอรี่แบบ AGM (AGM Battery) คือประเภทที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวดูดซึม ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทแบบนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ ของแบตเตอรี่แต่การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่จะกว้างกรดยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน โดยจะแบ่งเป็นแบตเตอรี่แบบใช้งานทั่วไป หรือแบบที่ใช้สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ แบบคายประจุลึกและแบบลวกผสม

6.2. ประเภทของแบตเตอรี่ Lithium

แบตเตอรี่แบบ Lithium ในปัจจุบันมีด้วยกัน 2 ชนิด คือ

- Lithium-ion หรือตัวย่อว่า Li-ion เป็นแบตเตอรี่ที่พบเห็นมากที่สุด ถือว่าเป็นแบตเตอรี่มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในทุกวันนี้ แบตเตอรี่ Li-ion เป็นถ่านที่ไม่มี Memory Effect เหมือนอย่างพวกถ่าน Ni-Cd และมีการสูญเสียกระแสไฟที่ต่ำ ทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานโดยกระแสไฟจะสูญเสียไปเพียงเล็กน้อย
- Lithium-ion polymer หรือตัวย่อว่า Li-Poly ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่พัฒนาต่อยอดมาจาก Li-ion โดยจะมีความจุไฟฟ้ามากกว่า Li-ion ถึง 20% ในขนาดแบตเตอรี่ที่เท่ากัน แบตเตอรี่แบบนี้มีจุดเด่นอีกอย่างหนึ่งคือมีข้อจำกัดเรื่องรูปร่างของแบตเตอรี่น้อยมาก จึงทำให้สามารถสร้างแบตเตอรี่แบบ Li-Poly ให้มีขนาดเล็กและบางได้ รวมทั้งสามารถสร้างให้มีรูปทรงแปลกๆ ที่ไม่ใช่ทรงกระบอก หรือทรงสี่เหลี่ยมเหมือนแบตเตอรี่แบบเดิมๆ ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตของ Li-Poly ยังจัดว่ามีต้นทุนสูง ดังนั้นความนิยมจึงยังมีไม่มากเท่าแบตเตอรี่แบบ Li-ion

6.3. การเปรียบเทียบแบตเตอรี่ชนิด ลิเทียมโพลิเมอร์ (Lithium-Polymer) และลิเทียม-ไอออน (Lithium-Li-ion)

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ (Lithium-Polymer)

- เก็บประจุไฟได้นาน 1ปี โดยไม่คลายประจุ
- ของเหลวด้านในเป็นเจล ไม่ติดไฟ ปลอดภัย และลดความเสี่ยงเรื่องระเบิด
- พร้อมใช้งานแกะออกจากกล่องแล้วใช้ได้ทันที
- จะใช้จนพลังงานหมดเกลี้ยงก็ได้ ไม่ต้องกังวลเรื่องแบตเตอรี่เสื่อมเร็ว
- น้ำหนักเบา พกพาสะดวก

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ (Lithium-Li-ion)

- เริ่มคลายประจุหลังจากการชาร์จ ภายในไม่กี่สัปดาห์
- ของเหลวด้านในเป็นสารเคมี มีความปลอดภัยน้อยกว่าชนิด Polymer
- ประจุไฟที่มีอยู่ หากเปิดกล่องใช้งานครั้งแรกจะมีน้อยกว่าแบบ Polymer
- ไม่ควรใช้จนพลังงานหมดเกลี้ยง เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็ว
- มีน้ำหนักมากกว่าแบบ Polymer

ค่า C หมายถึง จำนวนแอมป์ที่สามารถจ่ายไฟได้ใน 1 ชั่วโมง แบตเตอรี่แต่ละตัวมีค่า C สำหรับการใช้งานและดิสชาร์จจะระบุไว้ (บางยี่ห้ออาจจะไม่ระบุไว้)

6.4. การคำนวณพลังงานของแบตเตอรี่ชนิด (Lithium-Polymer),(Lithium-Li-ion)

การหาค่าพลังงานของแบตเตอรี่ชนิด Lithium จะมีการคำนวณที่แตกต่างออกไปจากแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ ด้วยค่าพลังงานที่เพิ่มมากขึ้นรวมถึงระยะเวลาในการใช้งานอีกด้วย ซึ่งจะแสดงการคำนวณตามสมการดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 แบตเตอรี่ 1600mA 11.1V 12C /แบตเตอรี่มี 3Cell รวมกันอยู่ 1600mA 12C

$$\text{การคำนวณคือ } \left(\frac{1600mA}{1000}\right) \times 12 = 19.2A$$

นั่นหมายความว่าแบตเตอรี่ สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 19.2A

6.5. การชาร์จแบตเตอรี่

การชาร์จ Lithium-Polymer ต้องใช้เครื่องชาร์จที่สามารถชาร์จ Lithium-Polymer เท่านั้น ซึ่งไม่ควรชาร์จเกิน 1C หมายความว่า แบตเตอรี่ 1600mA สามารถคำนวณกระแสชาร์จได้ดังนี้

$$\text{จากค่ากระแสชาร์จ } (1.6 \times 1) = 1.6A$$

6.6. การเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างแบตเตอรี่แห่งกับแบตเตอรี่ Lithium-Polymer

จากตารางที่ 12 กระแสที่ไหล 0.36A

เมื่อเปรียบเทียบจากค่าของกระแสของแบตเตอรี่แห่ง 7.5A

$$\text{ใช้สมการหาค่าการใช้งานต่อชั่วโมงออกมา } \frac{7.5A}{0.36A} = 20 \text{ ชั่วโมง}$$

เมื่อเปรียบเทียบจากค่าของกระแสของแบตเตอรี่ Lithium-Polymer แบตเตอรี่ 6000mA 11.1V 30C /แบตเตอรี่มี 3Cell รวมกันอยู่ 6000mA 30C หมายความว่า แบตเตอรี่นั้นสามารถปล่อยกระแสออกมาได้เท่าไร

$$\text{การคำนวณคือ } \left(\frac{6000mA}{1000}\right) \times 30 = 180A$$

เมื่อนำมาคิดตารางที่ 12 กระแสที่ไหล 0.36A

$$\text{ใช้สมการหาค่าการใช้งานต่อชั่วโมงออกมา } \frac{180A}{0.36A} = 500 \text{ ชั่วโมง}$$

นั่นหมายความว่าแบตเตอรี่ Lithium-Polymer จ่ายกระแสได้สูงกว่าแบตเตอรี่แห่งถึง 480 ชั่วโมง



(ก)



(ข)

(ก) แบตเตอรี่แห้ง Poweroad : PR7.5-12 (12V 7.5Ah)

(ข) แบตเตอรี่ Lithium-Polymer Mystery 6,000 mA 30C

ภาพที่ 38 แบตเตอรี่ชนิดแห้ง และแบตเตอรี่ชนิด Lithium-Polymer

ตารางที่ 12 ค่าพลังงานในการใช้ร่วมกับโหลดของแบตเตอรี่แห้ง (12V 7.5Ah)

Electrical Specification			
Capacity	Load	Duration	Final Voltage
Rated Capacity @ 25 °C (77 °F)			
7.50Ah	0.36A	20Hours	10.50V
6.70Ah	0.67A	10Hours	10.20V
6.12Ah	1.22A	5Hours	10.02V
4.32Ah	4.32A	1Hour	9.60V
Electrical Specification			
Capacity	Load	Duration	Final Voltage
Rated Capacity @ 25 °C (77 °F)			
7.50Ah	0.36A	20Hours	10.50V
6.70Ah	0.67A	10Hours	10.20V
6.12Ah	1.22A	5Hours	10.02V
4.32Ah	4.32A	1Hour	9.60V

7. P
h

otoelectric Beam Sensor



ภาพที่ 39 Photoelectric Beam sensor (3-beam)

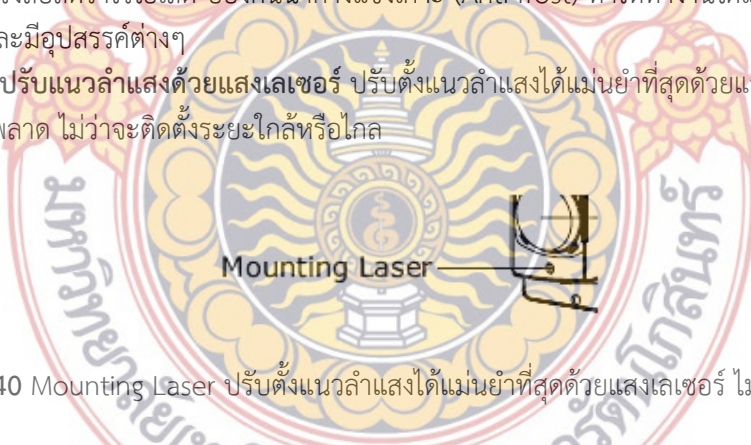
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีการยิงลำแสงป้องกัน โดยจะมีอุปกรณ์ตัวส่งลำแสง ในการยิงลำแสงออกไปกับ มีอุปกรณ์ตัวรับเป็นที่พักลำแสงจากอุปกรณ์ตัวส่ง จะใช้คู่กันในการติดตั้งชุดป้องกันผู้บุกรุกเข้ามาในพื้นที่ [5]

หลักการทำงานของ เซนเซอร์ชนิดลำแสงผ่านตลอด (Through Beam Sensor) คือ มีตัวรับและตัวส่งแยกออกจากกัน โดยการใช้หลักการตัดต่อลำแสงของวัสดุที่ต้องการเซนเซอร์ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านระหว่างตัวรับและตัวส่ง ระยะในการรับส่งอยู่ระหว่าง 250m ขึ้นอยู่กับชนิดของ Sensor

7.1. คุณภาพของเลนส์ เลนส์คุณภาพกำลังสูง รวมพลังแสงทะลุทะลวงฝุ่น ผ่น หมอก ควีน หิมะ จึงมั่นใจได้ว่าระบบ ยังคงทำงานได้ ไม่ว่าจะสภาวะแวดล้อมจะเลวร้ายเพียงใด

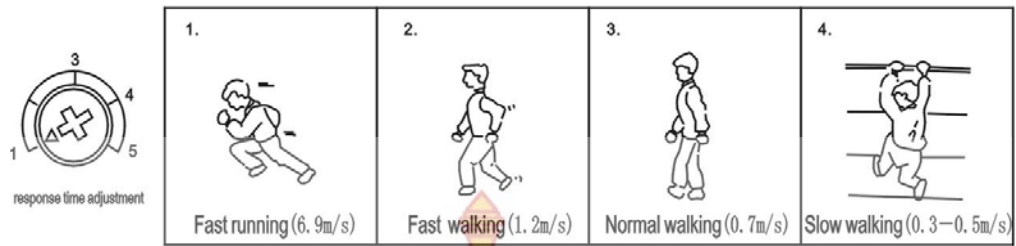
7.2. ผิวเซนเซอร์ป้องกันน้ำ ฝุ่น ของแข็ง ระดับการป้องกัน IP55 ป้องกันน้ำ ของแข็ง ฝุ่น แสงแดด รังสีอัลตราไวโอเล็ต ป้องกันน้ำค้างแข็งเกาะ (Anti-frost) ทำให้ทำงานได้แม้ในสภาพอากาศ เย็นจัด และมีอุปกรณ์ต่างๆ

7.3. ปรับแนวลำแสงด้วยแสงเลเซอร์ ปรับตั้งแนวลำแสงได้แม่นยำที่สุดด้วยแสงเลเซอร์ ไม่มีความผิดพลาด ไม่ว่าจะติดตั้งระยะใกล้หรือไกล



ภาพที่ 40 Mounting Laser ปรับตั้งแนวลำแสงได้แม่นยำที่สุดด้วยแสงเลเซอร์ ไม่มีความผิดพลาด

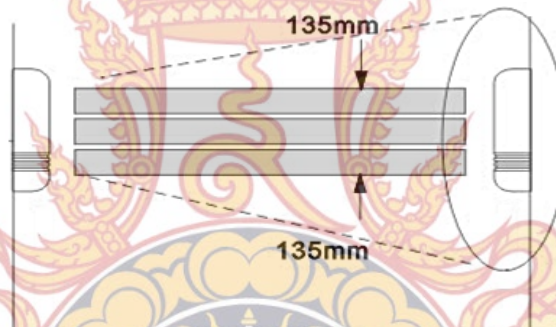
7.4. ความไวสูง พร้อมป้องกัน False Alarm ความไวของรั้วแสงอินฟราเรดต่อสิ่งที่มาบังลำแสงสูงถึง 50 ms. ซึ่งเป็นความเร็วในระดับคนวิ่งอย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบทำงานได้แม้จะพยายามวิ่งผ่านให้พ้นแนวแสง การบังลำแสง หากบัง 3 ลำแสงพร้อมกันเซนเซอร์จะทำงานทันที ซึ่งเป็นการออกแบบเพื่อป้องกันการเตือนที่ไม่ต้องการ (False Alarm) เช่น จากสัตว์ หรือ กิ่งไม้



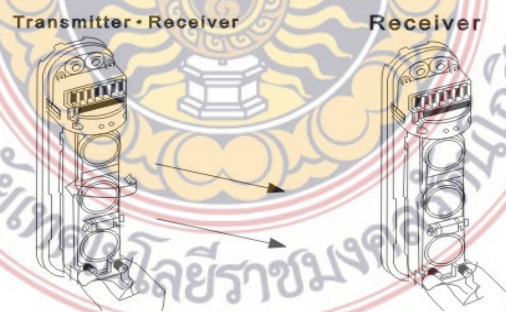
ภาพที่ 41 ตารางการปรับตั้งค่าความเร็วในการตรวจจับได้ 4 ระดับ

7.5. เลือกปรับความเร็วในการตรวจจับได้ 4 ระดับ ตั้งแต่ 6.9ms. ถึง 0.3ms. โดยปรับให้เหมาะสมกับพื้นที่ และวัตถุประสงค์ในการป้องกัน

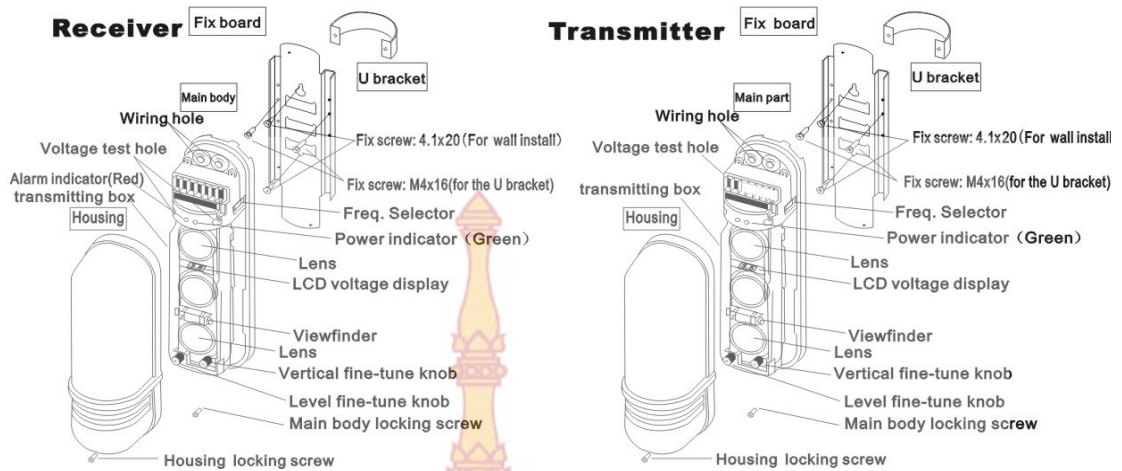
- 6.9 ms. : เทียบเท่าการวิ่งเร็ว
- 1.2 ms. : เทียบเท่าการวิ่งเหยาะ
- 0.7 ms. : เทียบเท่าการเดินแบบปกติ
- 0.3-0.5 ms. : เทียบเท่าการเคลื่อนที่ช้าๆ หรือป็นปาย



ภาพที่ 42 จะใช้การยิงลำแสงจากอุปกรณ์ตัวส่งลำแสง กับอุปกรณ์ตัวรับลำแสง จำนวน 3 ลำแสง ในการตรวจจับ ด้วยระยะ 135 mm.



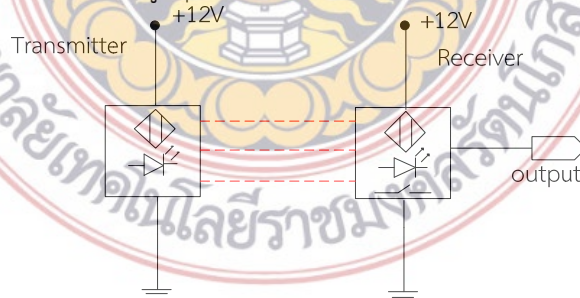
ภาพที่ 43 โครงสร้างของ sensor ตัวรับและตัวส่งสามารถปรับระดับองค์ศาของหน้าเลนส์ได้



ภาพที่ 44 โครงสร้างทั้งหมดของ Photoelectric Beam Sensor

Model	50E/RE	100E/RE	150E/RE	200E/RE	250E/RE		
Alert distance	(Outdoor)	50m	100m	150m	200m	250m	
	(Indoor)	150m	300m	450m	600m	750m	
Maximum distance	560m	1100m	1600m	2100m	2600m		
No. Of beams	3 beams						
Detection mode	3 beams blocked simultaneous						
Optical source	Infrared digital pulse beam						
Response speed	50~700msec						
Alarm output	Relay contact output: NO. NC contact rating: AC/DC30V 0.5A Max						
Power supply	DC13.8~24V AC11~18V P 15W						
Power consumption	55mA max.	65mA max.	70mA max.	75mA max.	80mA max.		
Operation temperature&humidity	-25°C~55°C 5%~95%RH(relative humidity)						
Dimensions	Refer to its diagram						
Temper output	0~700msec						
Optical axis adjustment(H)	180° (± 90°)						
Optical axis adjustment(V)	20° (± 10°)						
Protection against dew, frost	Calcification housing(optional)						
Material	ABS Resin						
Net weight	930g(transmitter + receiver)						
Gross	1435g						

ภาพที่ 45 ข้อมูลคุณสมบัติ Photoelectric Beam Sensor



ภาพที่ 46 วงจรการใช้งาน Photoelectric Beam Sensor

8. ทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถทำหน้าที่ ขยายสัญญาณไฟฟ้า เปิด/ปิดสัญญาณไฟฟ้า คงค่าแรงดันไฟฟ้า หรือกล้ำสัญญาณไฟฟ้า (Modulate) เป็นต้น การทำงานของทรานซิสเตอร์เปรียบได้กับวาล์วที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟฟ้าขาเข้า เพื่อปรับขนาดกระแสไฟฟ้าขาออกที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดัน [6]

8.1. ชนิดของทรานซิสเตอร์

การแบ่งชนิดของทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งออกได้หลายวิธีแล้วแต่ผู้ผลิตว่าการแบ่งชนิดของทรานซิสเตอร์จะยึดถือรูปลักษณะแบบไหนถ้าแบ่งในรูปของการใช้งานก็จะแบ่งออกเป็น ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่สวิทซ์ ทรานซิสเตอร์กำลัง ทรานซิสเตอร์ความถี่สูง ฯลฯ การแบ่งอีกวิธีหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันมากในยุคแรกๆ คือ การแบ่งโดยใช้สารที่นำมาสร้างเป็นเกอต์ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

1. เยอรมันเนียมทรานซิสเตอร์ (Germanium transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ยุคแรกๆเป็นชนิดที่มีกระแสรั่วไหลมากจึงไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้

2. ซิลิกอนทรานซิสเตอร์ (Silicon Transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมากมีกระแสรั่วไหลน้อย (Leakage Current) เป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้กันมากในยุคปัจจุบัน

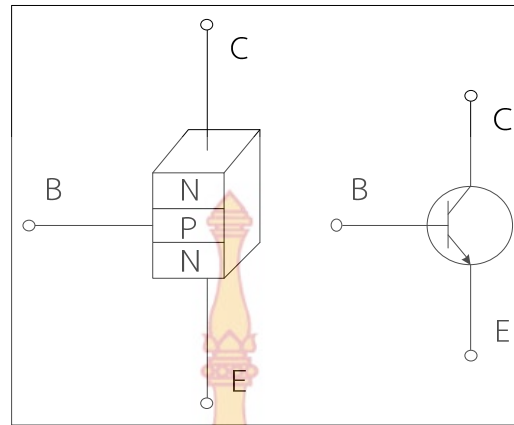
8.2. โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

เนื่องจากทรานซิสเตอร์ถูกสร้างขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P) และเอ็น (N) ซึ่งนำมาต่อกัน 3 ชั้น ทำให้เกิดรอยต่อขึ้นระหว่างเนื้อสาร 2 รอยต่อ หรือเรียกว่าจังก์ชัน (Junction) โดยที่สารที่อยู่ตรงกลางจะเป็นคนละชนิดกับสารที่อยู่หัวและท้าย มีขาต่อออกมาสำหรับนำไปใช้งาน 3 ขา ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามโครงสร้างของสารที่นำมาใช้คือ

1. ทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น (NPN)
2. ทรานซิสเตอร์ชนิด พีเอ็นพี (PNP)

ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

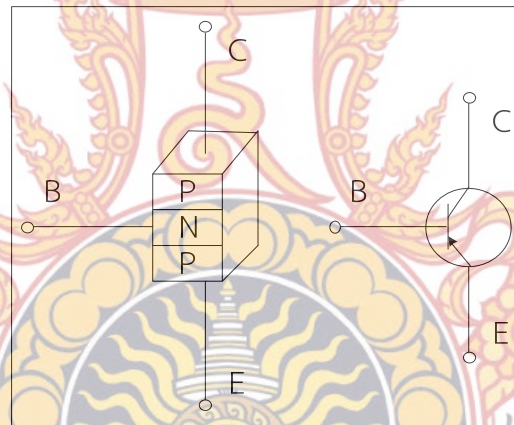
เป็นทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิด N ชนิด P และชนิด N มาต่อเรียงกันตามลำดับแล้วต่อสายออกมา 3 สาย เพื่อเป็นขาต่อกับวงจรสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งอยู่ตรงกลางจะเป็นจุดร่วม สารกึ่งตัวนำชนิด N จะทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนซึ่งจะไหลเป็นกระแสในวงจรส่วนนี้เราเรียกว่า อิมิตเตอร์ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งเราเรียกว่าเบสส่วนเบสนี้จะเป็นตัวคอยควบคุมอิเล็กตรอนให้ไหลไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด N ถัดไปได้มากหรือน้อยอิเล็กตรอนส่วนที่ผ่านเบสมาก็จะเคลื่อนที่มายังสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งเราเรียกว่า คอลเลคเตอร์ และกลายเป็นกระแสไหลในวงจรภายนอกต่อไป



ภาพที่ 47 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

คือทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำชนิดพี ชนิดเอ็น และชนิดพี มาเรียงกันตามลำดับ แล้วต่อสายจากแต่ละชั้นส่วนออกมาเป็น 3 สายเพื่อต่อกับวงจรสารกึ่งตัวนำเอ็นจะเป็นจุดร่วม



ภาพที่ 48 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

8.3. ขาของทรานซิสเตอร์

1. ขาคอลเลคเตอร์ (Collector) เรียกย่อๆว่าขา C เป็นขาที่มีโครงสร้างในการโต้ปสารใหญ่ที่สุด
2. ขาอิมิตเตอร์ (Emitter) เรียกย่อๆ ว่าขา E เป็นขาที่มีโครงสร้างใหญ่รองลงมาและจะอยู่คนละด้านกับขาคอลเลคเตอร์
3. ขาเบส (Base) เรียกย่อๆ ว่าขา B เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางระหว่าง C และ E มีพื้นที่ของโครงสร้างแคบที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 ส่วน เมื่อจำแนกลักษณะการต่อตัวทรานซิสเตอร์จึงคล้ายกับการนำเอาไดโอด 2 ตัวมาต่อกัน

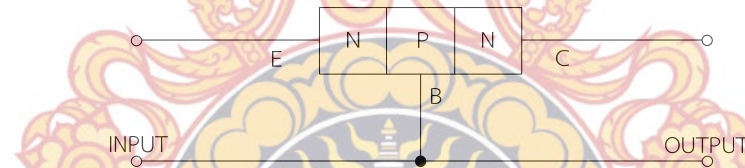
8.4. การทำงานของทรานซิสเตอร์

จากการศึกษาเกี่ยวกับการไหลของกระแสภายในวงจรสารกึ่งตัวนำการที่เราจะทำให้เกิดการไหลของกระแสหรือให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้นั้น จำเป็นจะต้องให้ไบอัสและกระแสที่ปรากฏทางด้านเอาต์พุตเราต้องสามารถควบคุมค่าของกระแสได้ด้วยจึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณได้ตามความต้องการ

การอธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์จำเป็นจะต้องเข้าใจการไหลในรูปของโฮลและอิเล็กตรอนรวมถึงการไบอัสด้วยซึ่งการไบอัสเป็นวิธีการที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์พร้อมที่จะทำงานนั่นเองในกรณีของทรานซิสเตอร์มี 3 ขาการป้องกันแรงเคลื่อนที่เหมาะสมหรือไบอัสที่ถูกต้องจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของทรานซิสเตอร์แล้วจะสามารถจัดรูปแบบการขยายสัญญาณโดยต้องมีอินพุตและเอาต์พุต เมื่อให้ขาหนึ่งเป็นอินพุตขาหนึ่งเป็นเอาต์พุต ขาที่เหลือก็จะต้องเป็นจุดร่วม (Common) อินพุตกับเอาต์พุต จากหลักการดังกล่าวจะกำหนดให้ระหว่าง B กับ E เป็นอินพุต (Input) และระหว่าง B กับ C เป็นเอาต์พุต (Output) ดังนั้นจะสามารถจัดรูปแบบการขยายได้ 3 แบบหรือ 3 คอมมอน

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของทรานซิสเตอร์สร้างมาจากหลักการที่ต้องการให้กระแสทางด้านของอินพุตไปควบคุมกระแสเอาต์พุต ดังนั้นจะต้องไบอัสทางด้านเอาต์พุตให้เป็นไบอัสแบบย้อนกลับ (Reverse Bias) และถ้าให้ไบอัสตรงจะทำให้ทางด้านเอาต์พุตเป็นอิสระไม่ครบวงจรเอาต์พุต ทางด้านอินพุตให้ไบอัสตรง (Forward Bias) และแรงเคลื่อนที่ไบอัสนี้ ไม่จำเป็นจะต้องเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่มีค่าสูงแต่อย่างไร เพราะถ้าให้กระแสอินพุตสูงเกินไปจะทำให้กระแสเอาต์พุตเกิดการอิ่มตัว



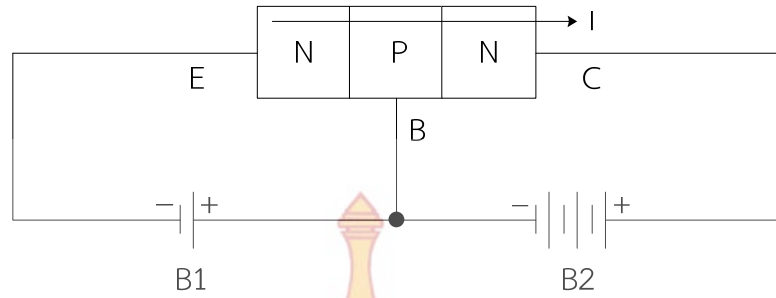
ภาพที่ 49 การจัดอินพุตและเอาต์พุต

8.5. การไบอัสทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และ PNP เมื่อนำไปใช้งานไม่ว่าจะใช้ในวงจรขยายสัญญาณหรือทำงานเป็นสวิตช์จะต้องทำการจัดแรงไฟให้เหมาะสมหรือเรียกว่าการให้ไบอัส (Bias) ให้ทรานซิสเตอร์ก่อน ทรานซิสเตอร์จึงจะทำงานได้โดยใช้หลักการไบอัสดังนี้

1. ไบอัสตรง (Forward Bias) ให้กับรอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบส
2. ไบอัสกลับ (Reverse Bias) ให้กับรอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์กับเบส

8.6. การไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN



ภาพที่ 50 การให้ไบอัสของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

จากภาพวงจรที่ 50

B_1 และ B_2 เป็นแรงดันไฟฟ้าป้อนเป็นไบอัสให้ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์ NPN

B_1 เป็นไบอัสตรงระหว่าง B-E ความต้านทานระหว่าง B-E จะต่ำมาก

B_2 เป็นไบอัสกลับระหว่าง B-C ความต้านทานระหว่าง B-C จะสูงมาก

ฉะนั้นกระแสอิเล็กตรอนจะไหลในวงจร B-E ครบวงจรและอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิด N จะเข้าประจุในสาร P ที่พื้นที่ทันได จึงเกิดแรงดันผลักดันให้อิเล็กตรอนเลื่อนตัวไปขา C กระแสอิเล็กตรอนจะผ่าน B_1 - B_2 ครบวงจรทางขา E

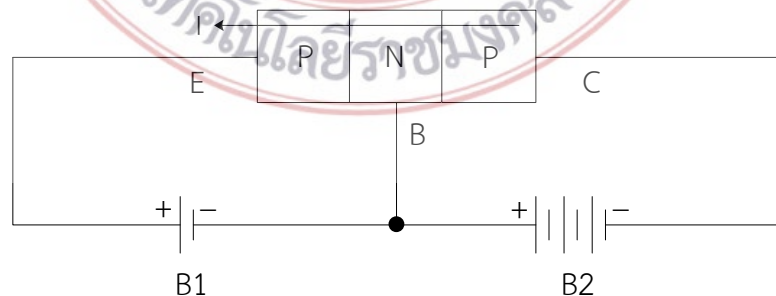
จากภาพที่ 49 สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ก็เช่นกัน การให้ไบอัสทางด้านอินพุตเป็นแบบฟอร์เวิร์ดไบอัสให้ไบอัสทางเอาต์พุตเป็นแบบรีเวิร์สไบอัส ในลักษณะเช่นนี้ถ้าใช้กระแส नियมเป็นก็จะได้ทิศทางการไหลของกระแสทางอินพุต จากขาเบสไปยังอิมิตเตอร์ อย่างไรก็ตามเราได้ทราบแล้วว่าที่ขาเบสนั้นถูกต่อไว้แคบมากจึงทำให้ประจุส่วนใหญ่ไม่สามารถที่จะไหลไปได้จะต้องให้รีเวิร์สไบอัสระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์เป็นบวกมากๆ เพื่อผลักประจุเหล่านี้ให้เคลื่อนที่ไปยังอิมิตเตอร์ เช่นเดียวกันถ้าดูจากทิศทางการไหลของกระแสแล้วสามารถสรุปได้ว่า

สมการคำนวณหาค่ากระแส

$$I_E = I_B + I_C$$

การไล่ทิศทางการไหลของกระแสอีกแบบหนึ่งซึ่งนิยมไล่จากขั้วลบไปหาขั้วบวกซึ่งเราเรียกว่าการไล่แบบกระแสอิเล็กตรอนนั้น ทิศทางของกระแสจะทวนหัวลูกศรของสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์ แต่ผลที่ออกมาจะเหมือนกันทุกประการ การไหลของกระแส ไบโพลาร์ก็คือการแลกเปลี่ยนประจุกัน

8.7. การให้ไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



ภาพที่ 51 การให้ไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

จากภาพวงจรที่ 51

B_1 และ B_2 เป็นแรงดันไฟฟ้าป้อนเป็นไบอัสให้ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์ PNP

B_1 เป็นไบอัสตรงระหว่าง B-E ความต้านทานระหว่าง B-E จะต่ำมาก

B_2 เป็นไบอัสกลับระหว่าง B-C ความต้านทานระหว่าง B-C จะสูงมาก

ฉะนั้นกระแสอิเล็กตรอนจะไหลในวงจร B ไป E สนามไฟฟ้าลบใน N จึงลดต่ำลงอิเล็กตรอนจากขา C จึงผ่าน B ไป E ผ่าน B_2 และ B_1 ครบวงจร ลักษณะการทำงานในตัวของทรานซิสเตอร์ PNP คล้ายกับหลุมหรือโฮลทางขา E วิ่งผ่าน B ไปยังขา C รับเอาอิเล็กตรอนหรือโฟลนจาก B_1 จึงทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนไหลครบวงจร

จากรูปที่ 2.48 เมื่อให้เบสกับอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสแบบฟอร์เวิร์ด ทำให้มีกระแสไหลจากอิมิตเตอร์ไปยังเบส (ตามทิศทางหัวลูกศร) ซึ่งเราเรียกว่า กระแสเบส ย่อด้วย I_B กระแสที่ไหลมีค่าประมาณ 5% ของค่ากระแสทั้งหมด เนื่องจากที่ขาเบสนั้นสารที่เติมมีพื้นที่น้อยมากจึงทำให้ประจุจำนวนมากของโฮลมารออยู่ที่ขาเบส ถ้าให้ไบอัสระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์แบบรีเวิร์สมากๆ จะทำให้มีกระแสไหลจากคอลเลคเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ได้ เรียกว่า กระแสคอลเลคเตอร์ ย่อด้วย I_C กระแสที่ไหลจะมีค่าประมาณ 95-98% ของกระแสทั้งหมดซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

$$I_E = I_B + I_C$$

I_E คือ กระแสอิมิตเตอร์มีค่าเท่ากับ 100 %

I_C คือ กระแสคอลเลคเตอร์ มีค่าเท่ากับ 95-98 %

I_B คือ กระแสเบส มีค่าเท่ากับ 2-5 %

V_{BE} คือ แรงไฟไบอัสหรือศักย์ตกคร่อมระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์

ชนิด Bias ของเยอรมันเนียมทรานซิสเตอร์มีค่า 0.2-0.3 โวลต์

ชนิด Bias ของซิลิคอนทรานซิสเตอร์ มีค่า 0.6-0.7 โวลต์

8.8. ความแตกต่างของ 2 ชนิด

ในภาพที่ 49, 50 ได้แสดงทิศทางของกระแสที่ไหลเข้าออกจากตัวทรานซิสเตอร์ สังเกตได้ว่า กระแสไหลจากทิศทางของหัวลูกศรของทรานซิสเตอร์ (กระแสในนี้หมายถึง กระแสนิยมที่ไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ) ทรานซิสเตอร์ทั้งสองชนิดมีทิศทางการไหลของ กระแสกลับกัน จากรูปกล่าวได้ว่า กระแสที่ไหลผ่านขา E จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ขา C รวมกับที่ขา B เป็นกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ แต่กระแสที่ขา C เท่ากับกระแสที่ขา B คูณด้วยอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ (h_{FE}) ดังสมการ เพราะฉะนั้นกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ จึงถูกควบคุมโดยกระแสที่ไหลผ่านขา B นั่นเอง

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C = I_B \times h_{FE}$$

ทรานซิสเตอร์ถูกนำไปใช้ในวงจรต่างๆ อย่างมากมาย ด้วยหลักการให้กระแสที่ขา B เป็นตัวควบคุม กระแสที่ไหลผ่านทางขา C และ E ที่เห็นและคุ้นเคยกันมากที่สุดอย่างหนึ่งคือ วงจรขยายเสียง และ ส่วนใหญ่โครงงานในวารสารอิเล็กทรอนิกส์สมัครเล่น ก็ใช้ทรานซิสเตอร์ เพราะฉะนั้นควรจะทำ ความ

เข้าใจเรื่องราวเกี่ยวกับตัวมันให้ดี ในบางวงจรอาจเห็นว่าทรานซิสเตอร์ ถูกเปรียบเทียบกับสวิตช์หรือ อาจจะเป็นตัวขยาย เป็นเพราะเราสามารถจัดไบแอสให้มันทำงานเหมือนกับเลือกทำให้มันเป็นสวิตช์ หรือตัวขยายก็ได้

8.9. การตรวจสอบทรานซิสเตอร์

ใช้โอห์มมิเตอร์ ถ้าให้ไบอัสกลับแก่อิมิตเตอร์ไดโอดและคอลเลคเตอร์ไดโอดของทรานซิสเตอร์ ความต้านทานจะมีค่าสูง แต่ถ้าความต้านทานมีค่าต่ำให้สันนิษฐานว่ารอยต่อระหว่างขาของ ทรานซิสเตอร์เกิดลัดวงจร ในทำนองเดียวกันถ้าไบอัสตรงแล้ววัดค่าความต้านทานได้สูงก็ให้ สันนิษฐานว่ารอยต่อระหว่างขาเกิดลัดวงจร

8.10. หาดำแหน่งขาทรานซิสเตอร์

ในการพิสูจน์หาตำแหน่งของทรานซิสเตอร์ โดยการสังเกตดูว่า ขาใดอยู่ใกล้กับขอบเดือยเป็น ขา E ขาที่อยู่ตรงข้ามเป็นขา C ส่วนตำแหน่งกลางคือขา B

8.11. หาชนิดของทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN

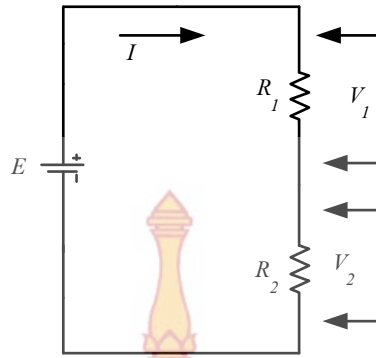
1. เลือกขาตำแหน่งกลาง แล้วสมมติให้เป็นขาเบส จากนั้นนำสายวัด (-) ของโอห์มมิเตอร์ แตะที่ขาเบสส่วนสายวัด (+) ให้นำมาแตะกับสองขาที่เหลือ
2. ถ้าความต้านทานที่อ่านได้จากการแตะขาทั้งสองมีค่าต่ำ สรุปได้ทันทีว่า ขาที่ตำแหน่งกลาง เป็น ขาเบสและทรานซิสเตอร์ที่ทำการวัดนี้เป็นชนิดPNP
3. สำหรับขาอิมิตเตอร์คือขาที่อยู่ใกล้ตำแหน่งเดือยและขาที่เหลือคือขาคอลเลคเตอร์นั่นเอง
4. ถ้าความต้านทานที่อ่านได้มีค่าสูงให้สลับสายวัด
5. ความต้านทานที่อ่านได้จากการแตะขาทั้งสองจะมีค่าต่ำ สรุปได้ทันที ขาตำแหน่งกลางคือ ขาเบสและเป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN
6. ถ้าหากว่าความต้านทานต่ำไม่ปรากฏในทั้งสองกรณี ให้เปลี่ยนเลือกขาอื่นเป็นขาเบส แล้ว ทำตามขั้นตอนเดิม

9. วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าเป็นวงจรที่ทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าออกเป็นระดับต่างๆตามความ ต้องการ วงจรมีลักษณะเป็นวงจรแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือวงจรแบ่งแรง- ดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า (Unloaded Voltage Divider) และวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระ ไฟฟ้า (Loaded Voltage Divider)

9.1. วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า (Unloaded Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้าเป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ต่อภาระไฟฟ้า เราสามารถที่จะออกแบบการแบ่งแรงดันไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งานในการคำนวณจึงไม่ต้องนำ ค่าภาระไฟฟ้ามาคำนวณด้วย



ภาพที่ 52 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า

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

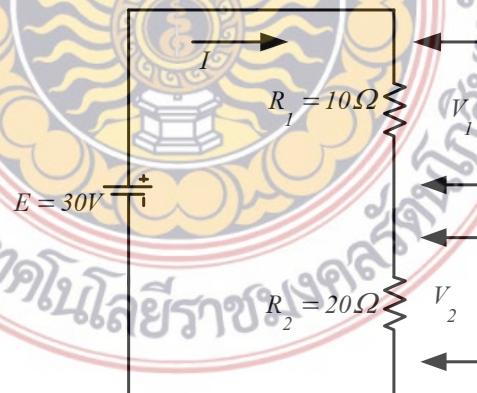
$$V_1 = IR_1 \text{ เมื่อ } I = \frac{E}{R_T}$$

$$\text{แทนค่า } I = \frac{E}{R_T} \text{ ในสมการจะได้ } , V_1 = \frac{E}{R_T} R_1 \text{ แต่ } R_T = R_1 + R_2$$

$$\text{แทนค่า } R_T = R_1 + R_2 \text{ ในสมการจะได้ } V_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\text{แทนค่า } R_T = R_1 + R_2 \text{ ในสมการจะได้ } V_2 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

ตัวอย่างที่ 1 ให้คำนวณหาค่า V_1 และ V_2 ในวงจร



ภาพที่ 53 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้า

แทนสมการ

$$V_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$= 30 \times \frac{10}{10 + 20}$$

$$= 10V$$

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

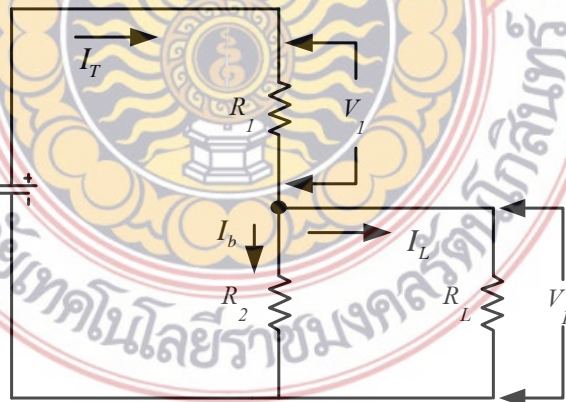
$$= 30 \times \frac{20}{10 + 20}$$

$$= 20V$$

ดังนั้นวงจรสามารถแบ่งแรงดันไฟฟ้าได้เป็น 2 ช่วงคือ $V_1 = 10V$ และ $V_2 = 20V$

9.2. วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า (Loaded Voltage Divider)

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้าจะคล้ายกับวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีภาระไฟฟ้าเพียงแต่มีการต่อภาระไฟฟ้าเข้าไปในส่วนที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าไว้ ดังนั้นการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรจึงต้องคำนึงถึงค่าความต้านทานของภาระไฟฟ้าที่นำไปต่อด้วย โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานที่ต่อขนานกับภาระไฟฟ้านั้นมีค่าประมาณ 10%–20% ของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านภาระไฟฟ้าทั้งหมด



ภาพที่ 54 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า

จากวงจรยบรวม R_1 และ R_L ได้ดังสูตร

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

คำนวณหาค่า R_T ได้จากสูตร

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

จากสูตรการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าในวงจร

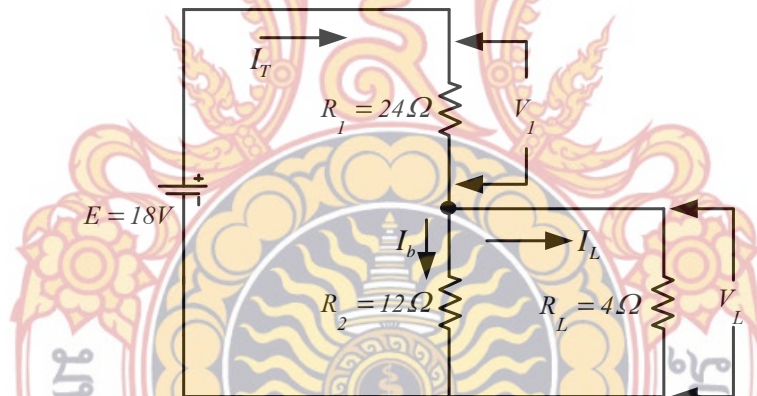
$$I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1 + R_{T1}} \text{ และเมื่อ } V_L = I_T R_{T1}$$

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

$$V_L = \frac{E}{R_1 + R_{T1}} R_{T1} \text{ หรือ } V_L = E \frac{R_{T1}}{R_T}$$

ดังนั้นจึงสามารถใช้สูตร $V_L = E \frac{R_{T1}}{R_T}$ คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าได้

ตัวอย่างที่ 2 ให้คำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้า (V_L) และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านภาระไฟฟ้า (I_L)



ภาพที่ 55 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีภาระไฟฟ้า

จากสมการ $R_{T1} = \frac{R_2 \times R_L}{R_2 + R_L} = \frac{12 \times 4}{12 + 4} = 3\Omega$

$$R_T = R_1 + R_{T1} = 24 + 3 = 27\Omega$$

แทนค่าในสูตร $V_L = E \frac{R_{T1}}{R_T}$

$$= 8 \times \frac{3}{27} = 2V$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad I_L &= \frac{V_L}{R_L} \\ &= \frac{2}{4} = 0.5A \text{ หรือ } 500mA \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ แรงดันไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าเท่ากับ 2V และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านภาระไฟฟ้าเท่ากับ 500mA

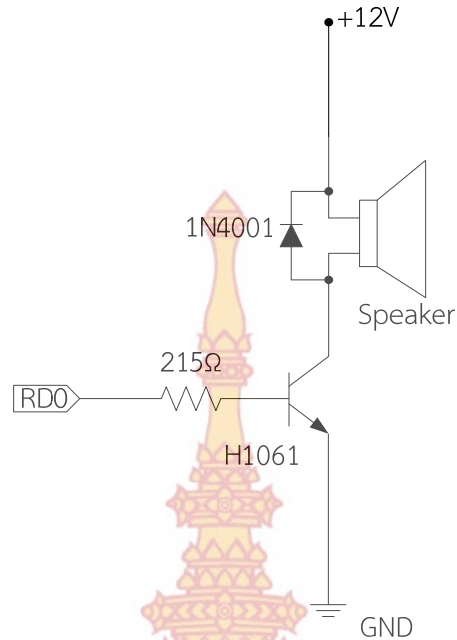
10. ลำโพง (อุปกรณ์ขยายเสียง)



ภาพที่ 56 ลำโพงไซเรนฮอร์น

ลำโพง เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกลอย่างหนึ่ง ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นเสียงที่หูของเราสามารถรับรู้ได้คืออยู่ในย่านความถี่ 20Hz-20kHz [7] เสียงเป็นคลื่นตามยาวเสียงแหลมและทุ้มขึ้นกับความถี่ ส่วนเสียงดังหรือค่อยขึ้นอยู่กัขนาดแอมพลิจูดของคลื่นนั้นเราทราบกันดีอยู่แล้วว่า ไมโครโฟนมีหน้าที่แปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และนำสัญญาณที่ได้ไปบันทึกลงบนเทปคาสเซ็ท เมื่อเราต้องการจะนำเสียงที่บันทึกกลับออกมาภายในเครื่องเล่นเหล่านี้จะมีหัวอ่านคอยอ่านสัญญาณทางไฟฟ้าที่บันทึกอยู่ในเนื้อเทปซึ่งในขณะที่อ่านยังเป็นสัญญาณที่อ่อนมาก จึงต้องนำเข้าเครื่องขยายสัญญาณก่อน

เมื่อได้สัญญาณที่แรงพอแล้วจึงขับออกทางลำโพง กลายเป็นเสียงออกมา ส่วนสำคัญที่สุดของเครื่องเล่นเหล่านี้ก็คือลำโพง โดยหน้าที่สำคัญที่สุดของลำโพงคือ เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้มาจากเครื่องขยายเป็นสัญญาณเสียง ลำโพงที่ดีจะต้องสร้างเสียงให้เหมือนกับต้นฉบับเดิมมากที่สุดโดยมีการผิดเพี้ยนน้อยที่สุด



ภาพที่ 57 แสดงวงจรลำโพง

10.1. ชนิดของลำโพง

ลำโพงนับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบเสียง โดยทั่วไปลำโพงจะมี 2 ประเภท คือลำโพงฮอร์น (Horn Speake) และลำโพงไดนามิก (Dynamic Speake)

10.1.1. ลำโพงฮอร์น (Horn Speake) เป็นลำโพงที่มีขนาดใหญ่ใช้ในการขยายเสียงทั่วไป มีโครงสร้างเป็น 2 ส่วน คือส่วนหน้าเรียกว่า ฮอร์น (Horn) มีลักษณะเป็นกรวยโลหะปากกว้าง หรือ ดอกลำโพง ส่วนหลังเป็นส่วนที่ประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรและขดลวดเสียง

10.1.2. ลำโพงไดนามิก (Dynamic Speake) ส่วนมากจะเป็นลำโพงชนิดกรวยกระดาษ ให้เสียงได้หลายระดับ เป็นลำโพงที่ใช้กับโทรทัศน์ วิทยุ เทป และเครื่องเสียงทั่วไป โดยมีขนาดตั้งแต่เล็ก จน ถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหลายสิบนิ้ว มีโครงสร้างที่แตกต่างออกไปซึ่งสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

- **ลำโพงทวิเตอร์** คือ ลำโพงที่มีขนาดเล็กที่สุดของลำโพงไดนามิก ถูกออกแบบมาเพื่อให้กำเนิดเสียงความถี่สูงตอบสนองความถี่ 5,000Hz ขึ้นไป
- **มิดเรนจ์** คือลำโพงขนาดกลางของลำโพงไดนามิก ถูกออกแบบมาเพื่อให้เสียงในช่วงความถี่กลางๆ คือไม่ต่ำมากและไม่สูงจนเกินไป ตอบสนองความถี่เสียงช่วงประมาณ 500-5,000Hz
- **วูฟเฟอร์** คือลำโพงขนาดใหญ่ที่สุดของลำโพงไดนามิก ถูกออกแบบมาเพื่อให้เสียงที่มีความถี่ต่ำมีขนาดใหญ่เป็นสิบๆนิ้ว ตอบสนองความถี่เสียงในช่วงประมาณ 20-250Hz
- **ซับวูฟเฟอร์** คือลำโพงที่จับความถี่เสียงต่ำสุดต่ำกว่าเสียงปกติที่หูคนเราจะได้ยินเสียงตอบสนองความถี่เสียงในช่วงต่ำกว่า 20Hz

10.1.3. ลำโพงเพียโซ (Piezo) เป็นลำโพงที่พบในสัญญาณเสียงที่ใช้เตือนเครื่องใช้ประเภทอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในวงจรดิจิทัล หรือในไมโครคอนโทรลเลอร์ ลำโพงเพียโซส่วนมากจะป้อนด้วย

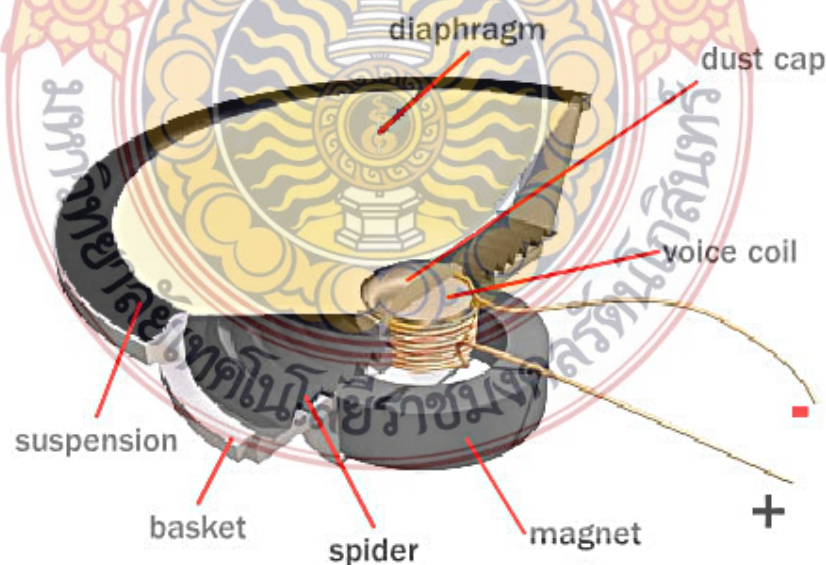
กระแส ไฟฟ้าจึงจะเกิดเสียงขึ้นมา เปียโซจึงเป็นเพียงอุปกรณ์ที่กำเนิดเสียงเท่านั้น ลักษณะภายนอกจะเป็นโลหะบางๆ รูปวงกลมและตรงกลางจะฉาบด้วยฟลักควอตซ์

ลำโพงทวิเทเตอร์ เป็นลำโพงที่มีความถี่สูงแผ่ลำโพงมีขนาดเล็กและค่อนข้างแข็ง จึงสามารถส่งด้วยความเร็วที่สูง ส่วนลำโพงแบบวูฟเฟอร์ แผ่ลำโพงจะมีขนาดใหญ่ และค่อนข้างนิ่ม จึงส่งด้วยความเร็วต่ำ เพราะมีมวลมาก อย่างไรก็ตามเสียงทั่วไป มีความถี่กว้าง คือ มีความถี่จากสูงถึงต่ำ ซึ่งเราจะเรียกว่า มีความถี่ช่วงกว้าง ถ้าเรามีแต่ลำโพงทวิเทเตอร์ และวูฟเฟอร์ เราจะได้เสียงอยู่ในย่านความถี่สูงกับต่ำเท่านั้น ความถี่ในช่วงกลางจะหายไป เพื่อจะให้คุณภาพของเสียงออกมาทุกช่วงความถี่ จึงจำเป็นต้องมีลำโพงมิดเรนส์ด้วย ภายในตู้ลำโพงตู้หนึ่ง จึงมักจะเห็นลำโพงทั้งสามชนิดประกอบเข้ารวมด้วยกัน

สำหรับลำโพงแบบทวิเทเตอร์ เครื่องขยายเสียงจะส่งความถี่สูงให้ ลำโพงวูฟเฟอร์ จะส่งความถี่ต่ำ ส่วนความถี่ในช่วงที่เหลือเป็นของลำโพงแบบมิดเรนส์ ถ้าลองถอดฝาตู้ด้านหลังออก เราจะเห็นอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งเรียกว่า ครอสโอเวอร์ (Crossover) อุปกรณ์ตัวนี้จะเป็นตัวแยกสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนความถี่สูง ความถี่ต่ำ และความถี่ขนาดกลาง

10.2. ส่วนประกอบของลำโพง 5 ส่วนดังนี้

1. กรวย (diaphragm) ทำด้วยกระดาษแข็งหรือแผ่นพลาสติกหรือจะทำด้วยแผ่นโลหะบางก็ได้
2. ขอบยึด (suspension หรือ surround) เป็นขอบของ diaphragm มีความยืดหยุ่นติดอยู่กับเฟรม สามารถเคลื่อนที่ขึ้นและลงได้ในระดับหนึ่ง
3. บาสเก็ต (basket) หรือเฟรม เป็นโครงร่างของลำโพง ทำด้วยเหล็กหรืออลูมิเนียม
4. คอยล์เสียง (Voice coil) เป็นขดลวดที่พันรอบแกนทรงกระบอกคอยล์เสียง จะยึดอยู่กับสไปเดอร์
5. สไปเดอร์ (Spider) มีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมเหมือนแหวนสไปเดอร์จะยึดคอยล์เสียงให้อยู่ในตำแหน่งเดิม และทำหน้าที่เหมือนกับสปริงโดยจะสั่นสะเทือนเมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าเข้ามา



ภาพที่ 58 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของลำโพง

10.3. หลักการทำงานของลำโพง

เมื่อมีการป้อนสัญญาณไฟฟ้าให้กับขดลวดเสียงของลำโพงหรือมีการนำลำโพงไปต่อกับเครื่องขยายสัญญาณเสียงจะมีสัญญาณเสียงออกมาที่ลำโพงหลักการคือ เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้ามาจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นโดยรอบอำนาจของเส้นแรงแม่เหล็กจะดูดและผลักกับเส้นของแม่เหล็กถาวรตามสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากความถี่เสียง ซึ่งมีความถี่เสียงตั้งแต่ช่วง 20Hz–20kHz ที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสตลอดเวลาทำให้กรวยกระดาษที่ยึดติดกับขดลวดเสียงเกิดการเคลื่อนที่ดูด และผลักอากาศ จึงเกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้น เสียงเป็นคลื่นตามยาวเสียงแหลมและทุ้มขึ้นกับความถี่ ส่วนเสียงดังหรือค่อยขึ้นอยู่กับขนาดแอมพลิจูดของคลื่นนั้น เราทราบกันดีอยู่แล้วว่าไมโครโฟนมีหน้าที่แปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และนำสัญญาณที่ได้ไปใช้ซึ่งเป็นสัญญาณที่อ่อนมาก จึงต้องนำเข้าเครื่องขยายสัญญาณก่อน เมื่อได้สัญญาณที่แรงพอแล้วจึงขับออกทางลำโพง กลายเป็นเสียงออกมา ส่วนสำคัญที่สุดของเครื่องเล่นเหล่านี้ก็คือลำโพงโดยหน้าที่สำคัญที่สุดของลำโพงคือเปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้มาจากเครื่องขยายเป็นสัญญาณเสียง ลำโพงที่ดีจะต้องสร้างเสียงให้เหมือนกับต้นฉบับเดิมมากที่สุด โดยมีการผิดเพี้ยนน้อยที่สุด

10.4. ประโยชน์ของลำโพง

หน้าที่หลักของลำโพง คือ แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องขยายเสียง เป็นเสียงที่เราสามารถได้ยิน ดังนั้น เราจึงนำลำโพงมาใช้ประโยชน์ในการถ่ายทอดเสียง ไม่ว่าจะเป็นข่าวสารต่างๆ เสียงเพลง เสียงเตือน หรือว่าเสียงต่างๆ ที่ได้ยินจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เครื่องรับโทรทัศน์ วิทยุ และระบบสื่อสารต่างๆ

11. ชุดสัญญาณไฟฉุกเฉิน (ไฟไซเรน)

ชุดสัญญาณไฟฉุกเฉิน (ไฟไซเรน) เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งสัญญาณแสง หรือสัญญาณเตือนภัย ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานและวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ โดยจะแสดงออกมาในรูปแบบของไฟสีแดงวิ้งหมุนวนรอบตัวเอง

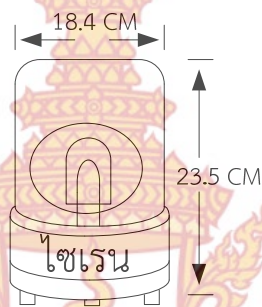
ไฟไซเรนที่ใช้กันทั่วไปนั้นจะใช้มอเตอร์ช่วยในการหมุนหลอดไฟ หรือแผ่นสะท้อนไปรอบๆซึ่งจะมีน้ำหนักมาก และเมื่อใช้งานไปนานๆจะทำให้เกิดการสึกหรอได้ ต้องหมั่นตรวจสอบดูแล



ภาพที่ 59 อุปกรณ์ส่งสัญญาณไฟไซเรน

ตารางที่ 13 แสดงการใช้ค่าพลังงานของวงจรไซเรน

Voltage	Current	Bulb
DC 12V	1.7A	12V 10W
DC 24V	0.83A	24V 10W
AC 110V	0.1A	110V 10W
AC 220V	0.05A	220V 10W



ภาพที่ 60 ขนาดโครงสร้างอุปกรณ์ส่งสัญญาณไฟไซเรน

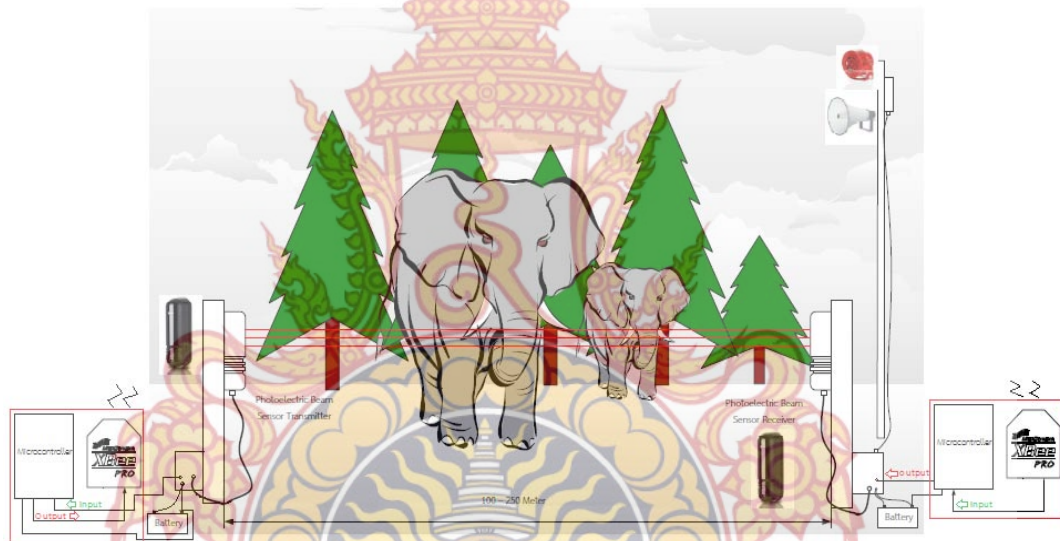
2.11.1 ทำการออกแบบวงจรส่งสัญญาณไฟไซเรน



ภาพที่ 61 วงจรส่งสัญญาณไฟไซเรน

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ

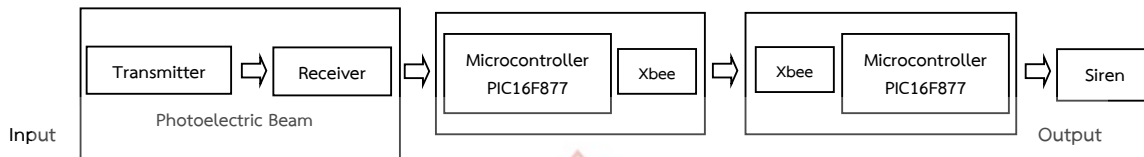
บทนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนและวิธีการดำเนินการในส่วนต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย การจำลองระบบการรับส่งสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร ควบคุมด้วยระบบเซนเซอร์อินฟราเรด ในการตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้างป่า พร้อมออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับควบคุมการรับส่งสัญญาณความถี่ 2.4 Ghz (Xbee) โดยแอมพลิฟายเออร์ของชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร แสดงดังภาพที่ 60



ภาพที่ 62 ภาพจำลองการทำงานระบบป้องกันการบุกรุกของช้างป่า (1 จุด ที่ระยะห่าง 250 เมตร)

1. ส่วนประกอบและการเชื่อมต่อระบบการทำงาน

ทำการออกแบบส่วนประกอบการทำงาน เพื่อให้เข้าใจถึงส่วนประกอบและหลักการทำงาน “ชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร” จำแนกลักษณะการทำงานได้ 3 ส่วน ได้แก่ ภาคส่งสัญญาณ (Input) ภาคการประมวล (Processor) และภาคการแสดงผล (Output) โดย



ภาพที่ 63 วงจรการรับส่งสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช่างป่าต่อพื้นที่การเกษตร

1.1 ภาคส่งสัญญาณ (Input)

แสงอินฟราเรด คือแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าแสงสีแดงลงไป ดังนั้นจึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตาของมนุษย์ ซึ่งคุณสมบัตินี้เองจึงทำให้เซ็นเซอร์ชนิดที่ใช้แสงอินฟราเรดเป็นที่นิยมนำมาใช้กันมาก โดยจะอาศัยหลักการของการสะท้อนของแสงกล่าว คือ ใช้อุปกรณ์ส่งแสงเป็นแหล่งกำเนิด ปล่อยแสงออกไป และเมื่อแสงกระทบกับวัตถุด้านหน้ามันก็จะสะท้อนแสงกลับมาเข้าที่ตัวรับแสง ส่วนอัตราของการสะท้อนกลับนั้นนำไปประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการทำงานของ xbee

1.2 ภาคการประมวล (Processor)

เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ส่วนการประมวลผลก็เริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital) โดยในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A เพื่อทำการประมวลผลและคำนวณค่าต่างๆตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ ก่อนที่จะส่งค่าที่คำนวณได้ไปยังส่วนชุดส่งสัญญาณ Xbee ในภาคการตั้งค่า ในโหมด End Device ที่ทำการรับส่งสัญญาณ Xbee ที่ตั้งไว้ในโหมด Coordinator เอาไว้ จากนั้นเมื่อมีสัญญาณเข้ามา Xbee ในโหมด Coordinator จะทำการส่งงานให้ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A เพื่อทำการประมวลผลและคำนวณค่าต่างๆตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ก่อนที่จะส่งค่าที่คำนวณได้ไปยังส่วนชุด Siren

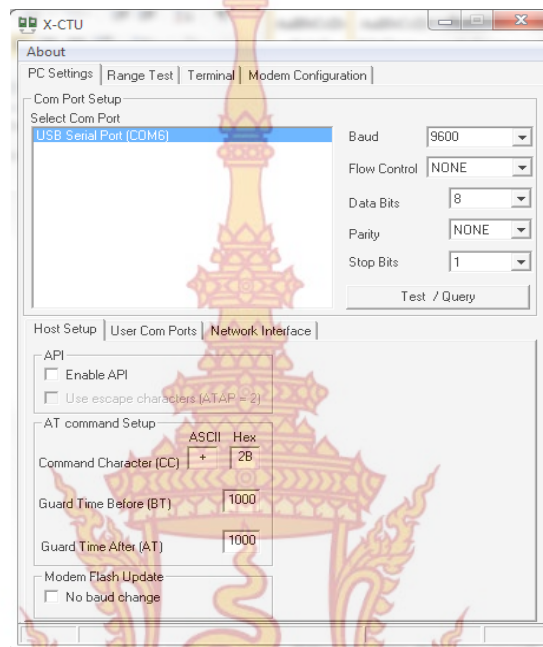
1.3 ภาคการแสดงผล (Output)

ลำโพงสัญญาณเตือนภัยหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าไซเรน เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเสียงเพื่อเตือนภัย เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติขึ้นการทำงานของไซเรนนี้จะรับสัญญาณมาจากเครื่องควบคุมอีกทีหนึ่งการทำงานของไซเรนที่จะให้ผลลัพธ์นั้นควรอยู่ในตำแหน่งที่ไซเรนทำงานแล้วสามารถส่งเสียงดังให้ได้ยินไปไกล และติดตั้งไว้ในจุดที่ผู้บุกรุกจะเข้าไปตัดสายได้ยาก ส่วนการเลือกไซเรนให้มีความดังระดับใดนั้นขึ้นอยู่กับทำเลสถานที่ และสิ่งแวดล้อมรอบข้างด้วยซึ่งอาจมีการทดสอบก่อนเพื่อการเลือกใช้ที่เหมาะสม

2. การตั้งค่าซอฟต์แวร์เพื่อเซตค่าพารามิเตอร์ (Xbee)

เมื่อโหลดโปรแกรม X-CTU จากทาง DIGI เสร็จแล้ว เข้าสู่โหมดการใช้งานผ่าน X-CTU ซึ่งเป็น software interface บนคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยในการ update firmware หรือ ทดสอบการใช้งาน หรือปรับparameter กับ Xbee สำหรับการใช้งาน เลือกทำการ Install จะใช้เวลาานพอสมควร

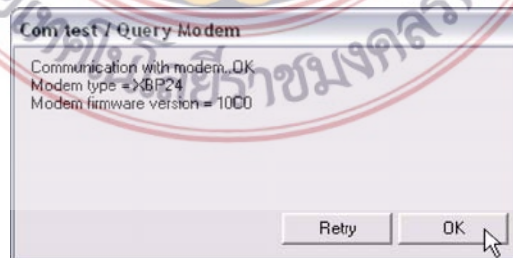
ควรเนื่องจากจะมีการ Download Firmware ล่าสุดจาก Digi ผ่าน internet (ควรต่อ internet ไว้ด้วย) กรุณารอจนติดตั้งเสร็จรับจะได้ firmware ครบถ้วน



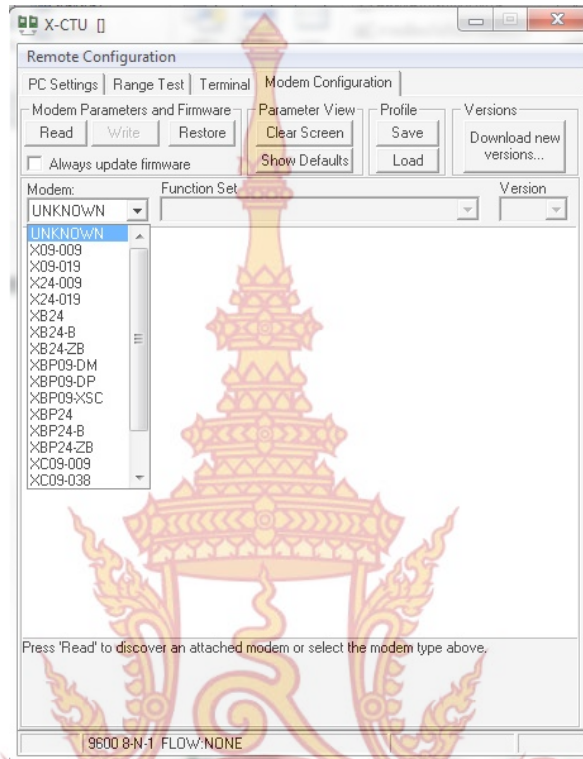
ภาพที่ 64 Software X-CTU ที่ใช้ร่วมกับ Xbee (Free Download)

2.1 การตั้งค่า Firmware

สำหรับ Xbee นั้น ในแต่ละรุ่นที่ซื้อจะมี firmware ที่โปรแกรมมาแล้วจากทางโรงงาน ซึ่งเราสามารถดูค่ามาได้โดยไปที่ Tab Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read ถ้าหากซื้อ XbeePro Series 1 มา เราจะต้องเลือก firmware Version ที่ใช้ร่วมกัน คือ 1081,1082,1083 ,1084 , ... ซึ่ง firmware ล่าสุดจะถูก set ให้โดยอัตโนมัติหากเลือก Xbee รุ่นธรรมดา (ไม่Pro) จะต้องเลือก group XB24xx เป็นต้นไป ส่วนถ้าเลือกรุ่น Pro มาต้องเลือก XbP24xxx สำหรับในแต่ละ series นั้นจะลงท้ายไม่เหมือนกัน เช่น series2 ZB จะเป็น XB24-ZB เพื่อทดสอบการติดต่อระหว่าง Xbee-PRO กับโปรแกรม X-CTU หากติดต่อได้จะปรากฏหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อ และข้อมูลทางฮาร์ดแวร์ เบื้องต้นของโมดูล Xbee-PRO จะแสดงดังภาพ

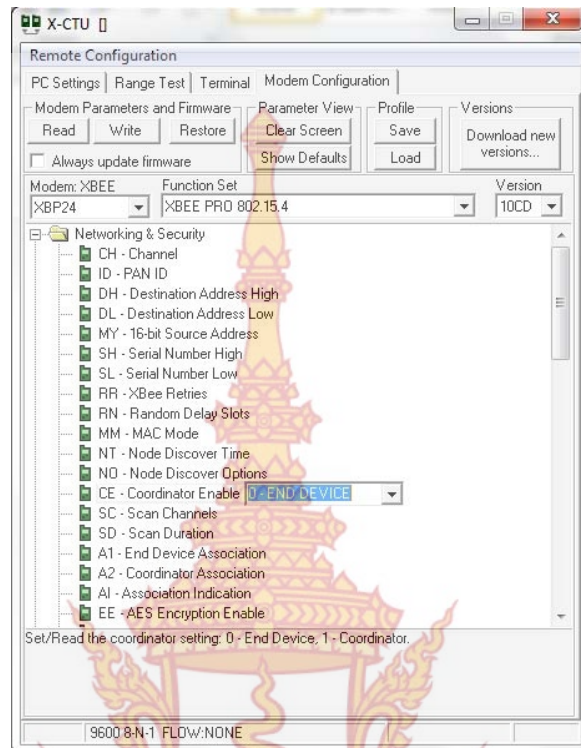


ภาพที่ 65 แสดงหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์



ภาพที่ 66 แสดงการเลือกรุ่น, firmware version

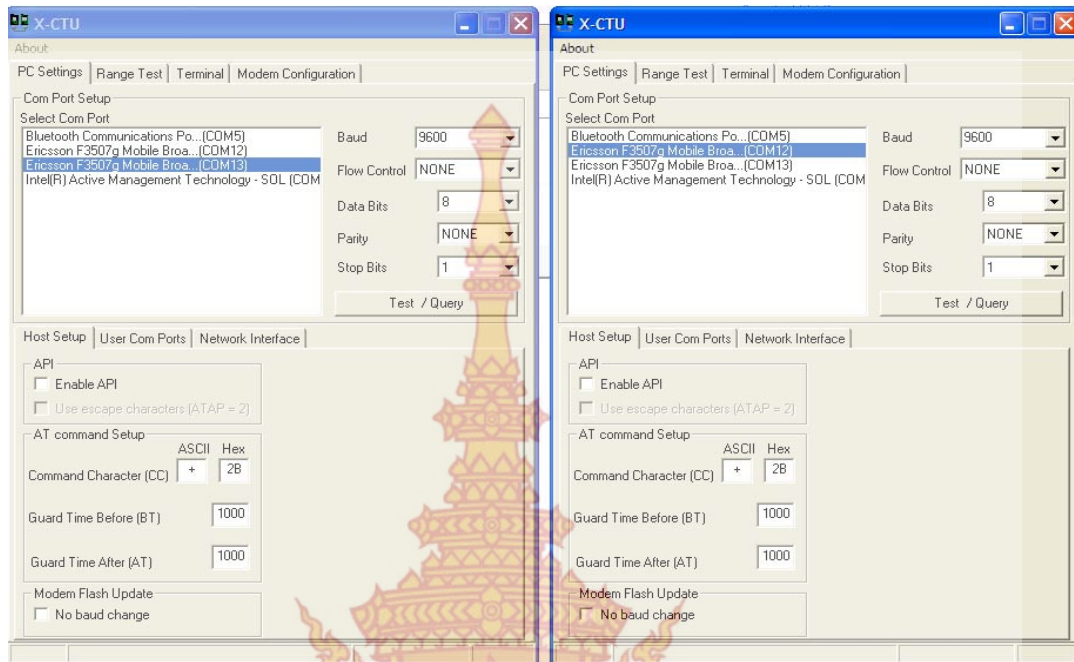




ภาพที่ 67 แสดงการเลือกฟังก์ชันของ Xbee แต่ละรุ่น

2.2 การตั้งค่า Parameter ในการทำงาน

1. ทำการ set ให้ parameter ให้ติดต่อแบบ Point to Point และเมื่อได้เชื่อมต่อ XBee-PRO Seires1 และ USB ZX-XBeeU เข้ากับ PC ทั้ง 2 ชุดเรียบร้อยแล้วให้เปิดโปรแกรม X-CTU ขึ้น 2 ชุดเช่นกัน แล้วทำการเลือก COM Port (UART) ในแต่ละชุดให้ถูกต้อง



ภาพที่ 68 ทำการเลือก COM Port (UART) ในแต่ละชุด

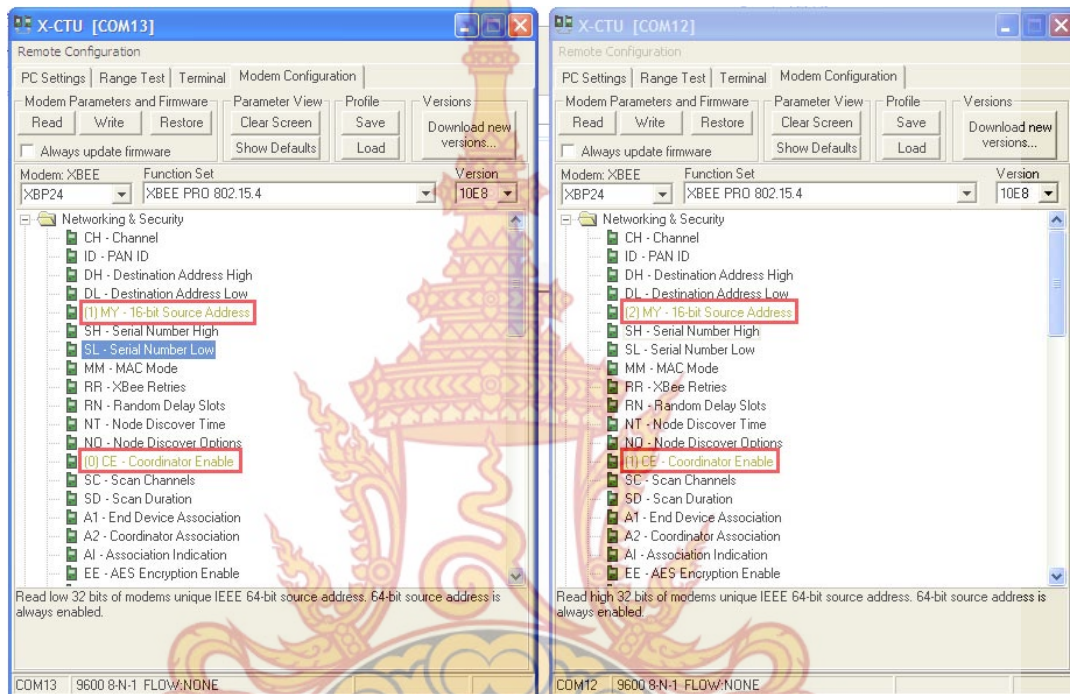
2. กดปุ่ม Test เพื่อทดสอบการติดต่อระหว่าง XBee-PRO กับโปรแกรม X-CTU หากติดต่อกันได้จะปรากฏหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์ของโมดูล ของ XBee PRO



ภาพที่ 69 หน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์

3. สำหรับตัวอย่างในบทความนี้จะใช้ Xbee Pro Series1 ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มาต่อกัน โดยการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะเริ่มที่ บอร์ด PIC16F877A ที่จะใช้งาน crystal 20 Mhz ต่อเข้ากับ บอร์ดเชื่อมต่อการรับส่งสัญญาณ Xbee เป็นตัวส่งข้อมูลไปยังตัวรับอีกฝั่งเขียนโปรแกรมภาษาซีส่งคำสั่งเป็น AT Command Mode ผ่าน UART ทั้งนี้การ set parameter

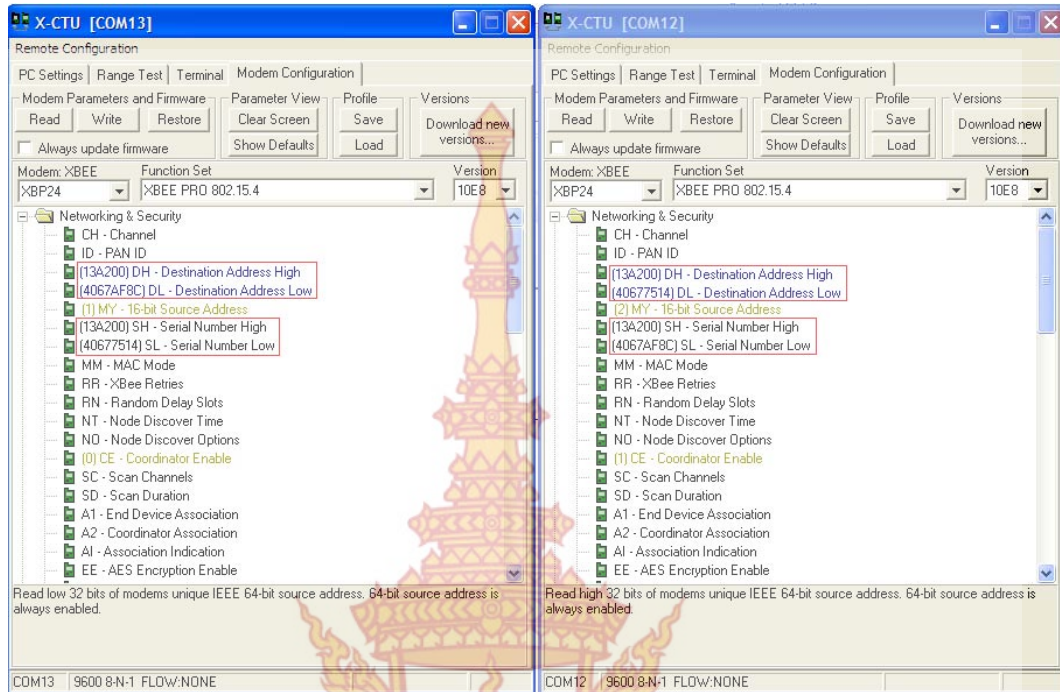
จะทำการ set ฝั่งส่งเป็นโหมด End Device ด้วยการ set Parameter ในหมวด Networking Security >> (CE=0) และ ค่า MY = 1 (16 bit address) และ Set ฝั่งรับเป็นโหมด Coordinator ด้วยการ Set Parameter ในหมวด Networking & Security >> (CE=1) และ ค่า MY = 2 (16 bit address) ทั้งนี้ได้ set baud rate ที่ตัว Xbee ทั้ง 2 ตัวที่ 9600 bps (BD=3)



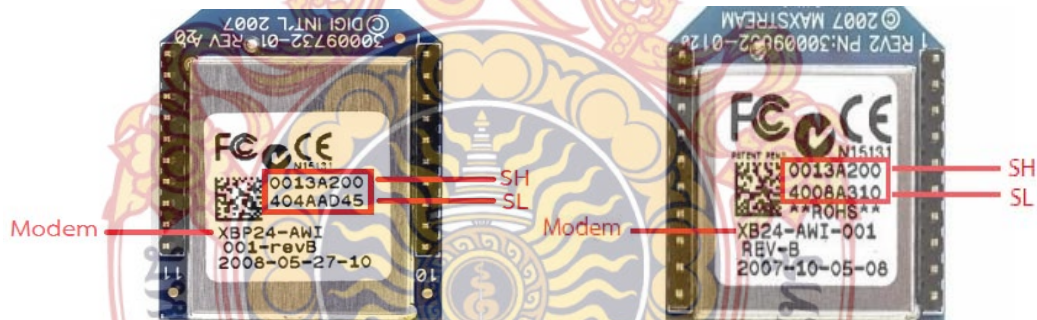
ภาพที่ 70 การ Set Parameter ในหมวด Networking & Security

4. ทำการ set ให้ parameter DH และ DL ของแต่ละฝั่งให้มีค่าเท่ากับ SH และ SL ของฝั่งตรงข้ามโดย SH SL เป็นค่า address ที่เราเปลี่ยนไม่ได้ (Read Only) เป็นค่าที่ใส่มาจากโรงงาน วิธีการดูว่า Xbee ของเรามีค่า SH และ SL เท่าไหร่ สามารถดูได้ 2 วิธีคือ

1. ให้กด Read เพื่อ Load ค่าของ Xbee เข้ามาจะทำให้เรา Click ดูค่า SH และ SL
2. คือดูจากทางด้านใต้ของตัว Xbee จะมี Sticker แปะหมายเลข SH, SL มาให้แล้ว



ภาพที่ 71 แสดงการ set ให้ parameter DH และ DL, SH และ SL



(ก)

(ข)

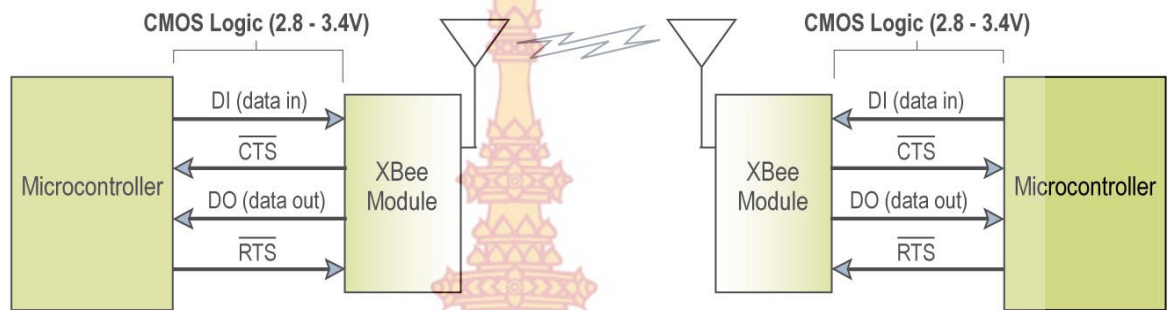
(ก) Address Serial SH 0013A200 และ SL 404AAD45

(ข) Address Serial SH 0013A200 และ SL 4008A310

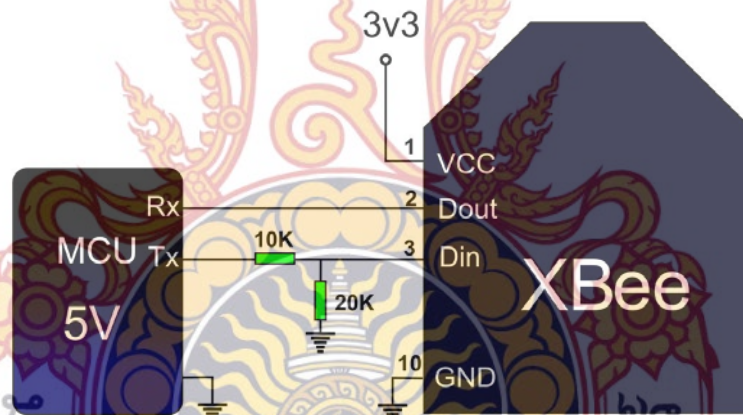
ภาพที่ 72 แสดงตัวอย่างการหา SH, SL, MODEM

2.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Xbee กับ Microcontroller

ก่อนอื่นต้องถอด Max232 ออกจากบอร์ด Microcontroller เพื่อที่จะเลือกการเชื่อมต่อกับ USART จากนั้นเราสามารถทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ Xbee เข้ากับ Microcontroller ผ่านทางขา Din (Data In) ของตัว Xbee ซึ่งเป็นขาที่รับสัญญาณจาก Microcontroller (ขา RC6 (Tx)) และขา Dout (Data Out) ซึ่งเป็นขาที่ส่งสัญญาณไปยัง Microcontroller (ขา RC7 (Rx)) ดังภาพที่ 71



(ก)



(ข)

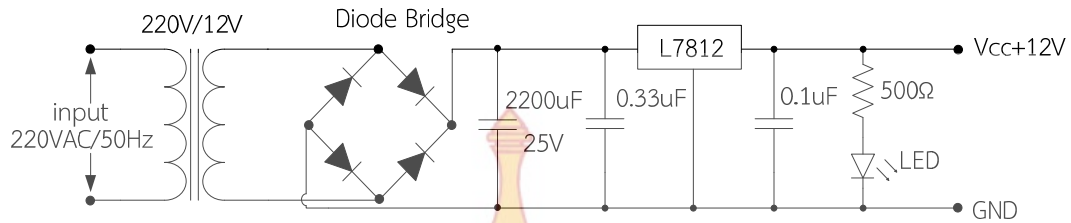
(ก) แสดงการเชื่อมโยงระบบเครือข่ายระหว่าง Microcontroller กับ Xbee

(ข) แสดงระบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ Microcontroller กับ Xbee

ภาพที่ 73 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Xbee กับ Microcontroller

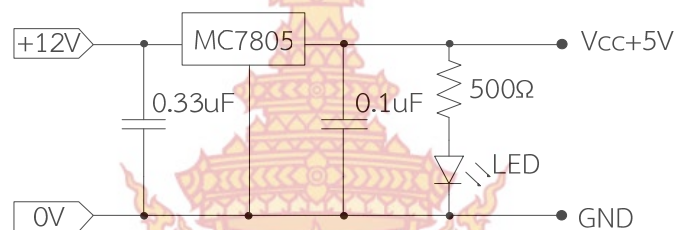
2.4 ทำการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

วงจรรักษาระดับแรงดัน ในเอกสารนี้เลือกใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ MC7812 เป็นไอซีชนิด 3 ขา การออกแบบวงจรมันโดยอ้างอิงจาก Data sheet ของไอซี MC7812 ดังภาพที่ 73



ภาพที่ 74 วงจรรักษาระดับแรงดัน 12V

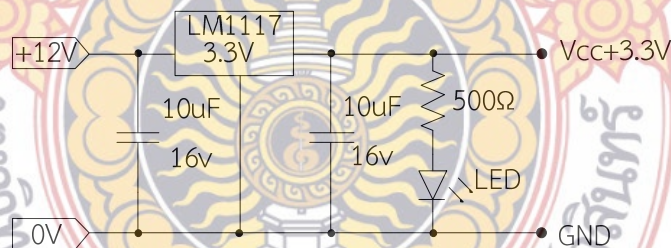
ออกแบบวงจรรักษาระดับแรงดัน 5V สำหรับไปจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 75 วงจรรักษาระดับแรงดัน 5V ด้วย MC7805

2.5 ทำการออกแบบวงจรแหล่งจ่าย Xbee

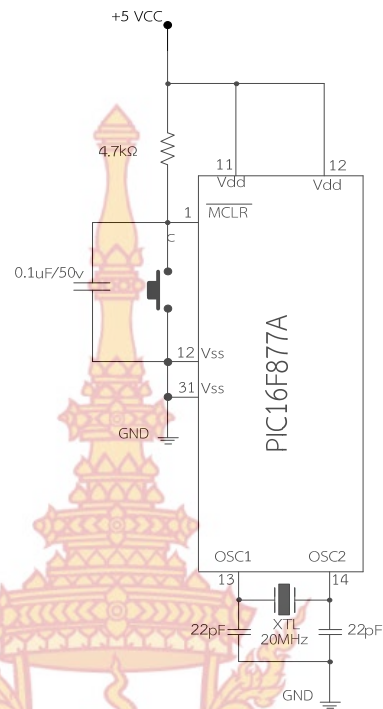
ในเอกสารนี้เลือกใช้ไอซีรักษาระดับแรงดันเบอร์ LM1117 3.3v เป็นไอซี 3 ขาการออกแบบวงจรนั้นโดยอ้างอิงจาก Data sheet ของ LM1117 ดังภาพที่ 75



ภาพที่ 76 วงจรรักษาระดับแรงดัน 3.3V ด้วย LM1117

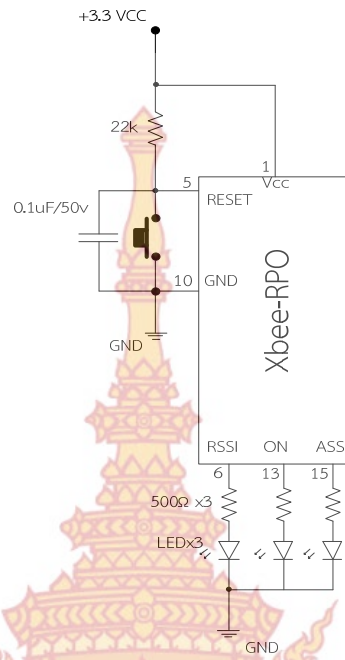
วงจรแหล่งจ่ายที่ได้ออกแบบออกมานี้ เพื่อใช้ในการโครงการชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช่างป่าต่อพื้นที่การเกษตร ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรควบคุมต้องการค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในงานในวงจรแรงดันต่ำ จึงได้ออกแบบแรงดันให้เหมาะสมกับวงจรต่างๆของโครงการนี้

2.6 ทำการออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 77 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

2.7 ทำการออกแบบวงจร Xbee



ภาพที่ 78 วงจร Xbee

2.8 ทำการออกแบบวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 79 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า

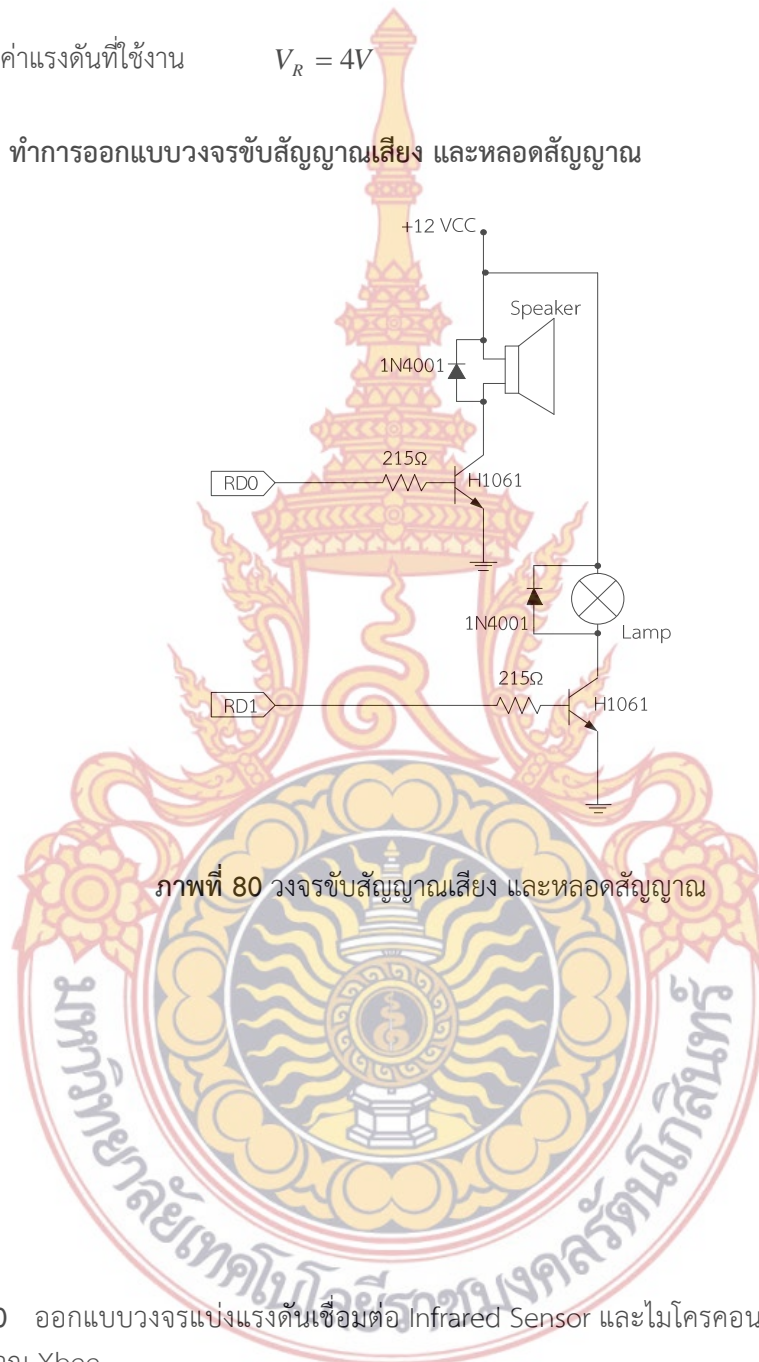
สมการหาค่าแรงดันใช้งานจริง

$$V_R = \frac{V_{cc} \times R_2}{R_1 + R_2}$$

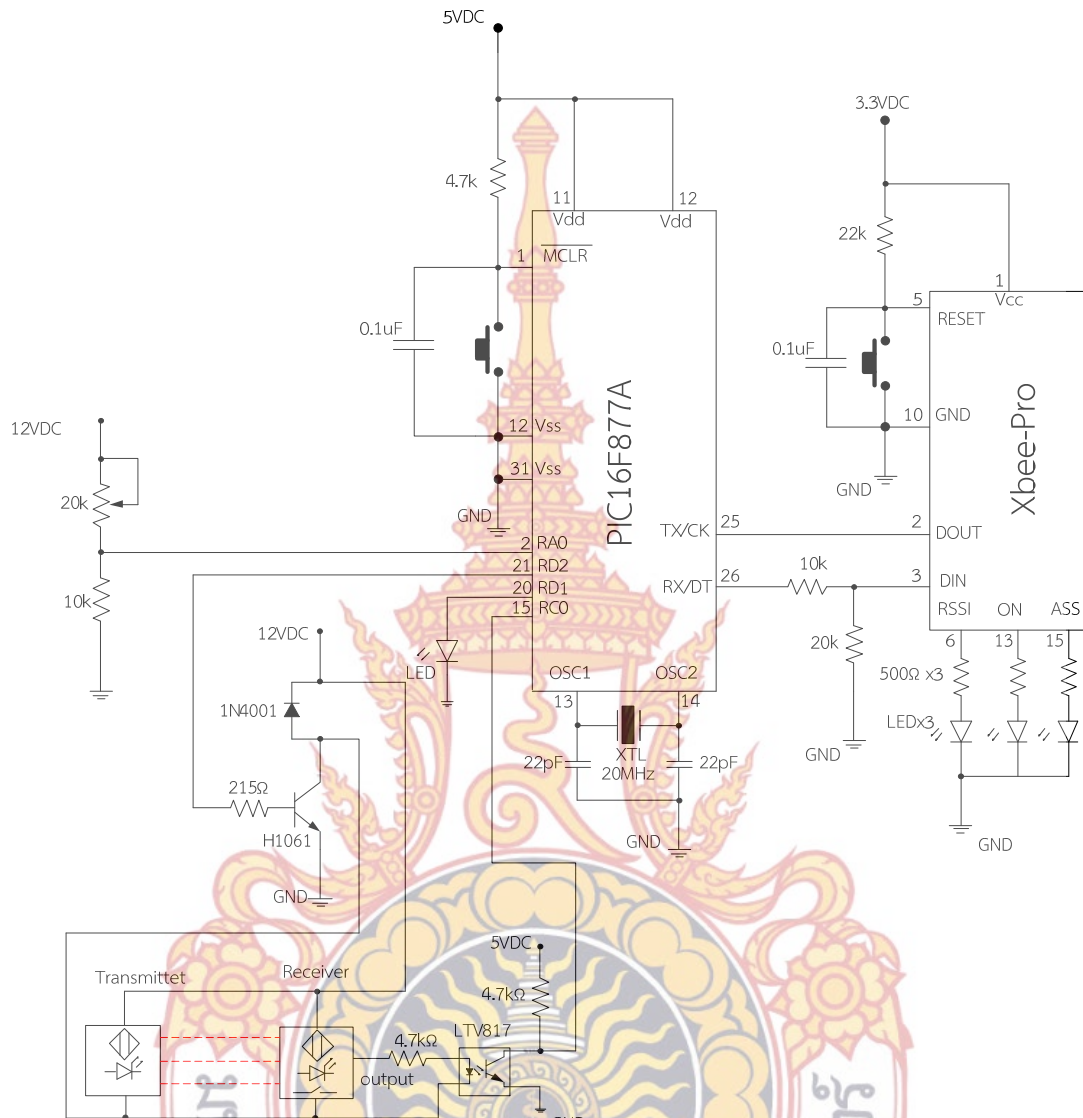
$$V_R = \frac{12 \times 10k}{20k + 10k}$$

ค่าแรงดันที่ใช้งาน $V_R = 4V$

2.9 ทำการออกแบบวงจรขับสัญญาณเสียง และหลอดสัญญาณ



2.10 ออกแบบวงจรแบ่งแรงดันเชื่อมต่อ Infrared Sensor และไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ Xbee



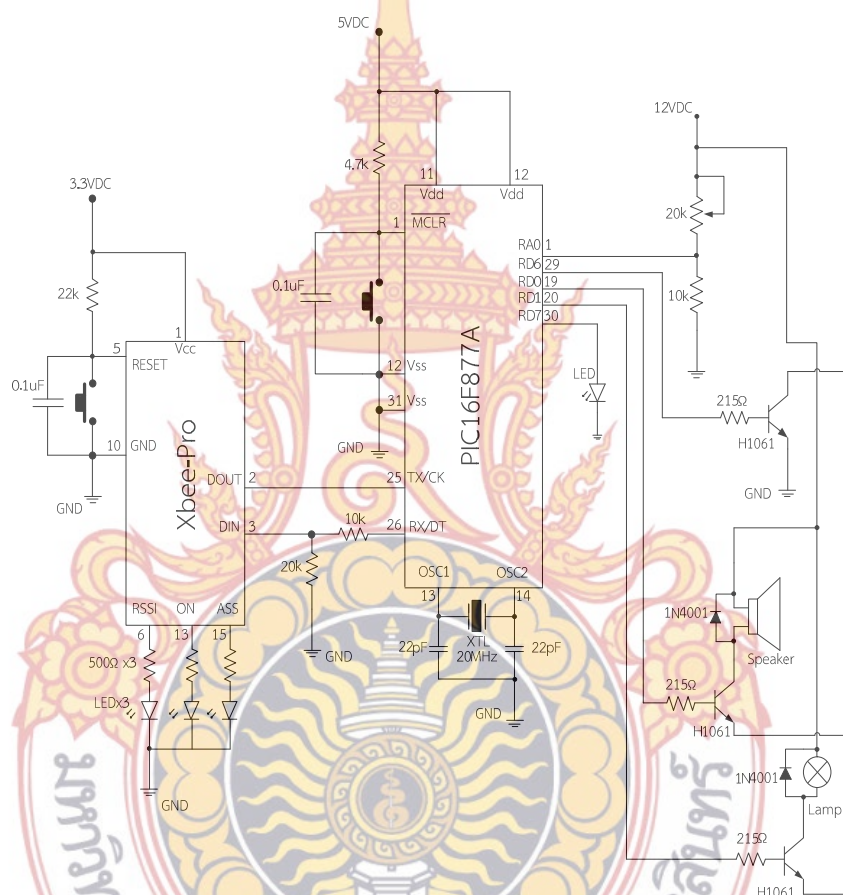
ภาพที่ 81 แสดงการต่อวงจร Infrared Sensor และไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ Xbee

จากภาพที่ 81 จะสังเกตเห็นว่าวงจรการทำงานของภาคชุดส่งสัญญาณ xbee จะมีวงจรภาคควบคุมผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะได้รับสัญญาณดิจิทัลผ่านทางการทำงานของระบบ Infrared Sensor โดยมีโครงสร้างการทำงานของวงจรแบ่งแรงดันทำให้วงจรภาคส่งสัญญาณทำงานตามลำดับดังนี้

1. เมื่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณดิจิทัลจาก Infrared Sensor จะทำการส่งคำสั่งผ่านทางวงจรส่งสัญญาณ xbee ในการรับส่งสัญญาณเมื่อเข้ามาอย่างต่อเนื่องซึ่งมีผลกระทบจากการใช้ค่าพลังงานที่เสียไปอย่างตลอดเวลา จึงได้ทำการตัดวงจรเพาเวอร์ออก (Infrared Sensor) ซึ่งจะทำให้ค่าพลังงานในแบตเตอรี่ที่ใช้ไปยังคงเหลือในระดับแรงดันที่เหมาะสม

2. วงจรแบ่งแรงดันเมื่อระดับแรงดันของแบตเตอรี่ยังคงสถานะอยู่หลอด LED จะสว่างค้าง แต่เมื่อค่าพลังงานในแบตเตอรี่อ่อนลงจะทำให้วงจรแบ่งแรงดันตัดวงจรการทำงานออกแล้วจะสั่งการให้ หลอด LED แสดงกระพริบ

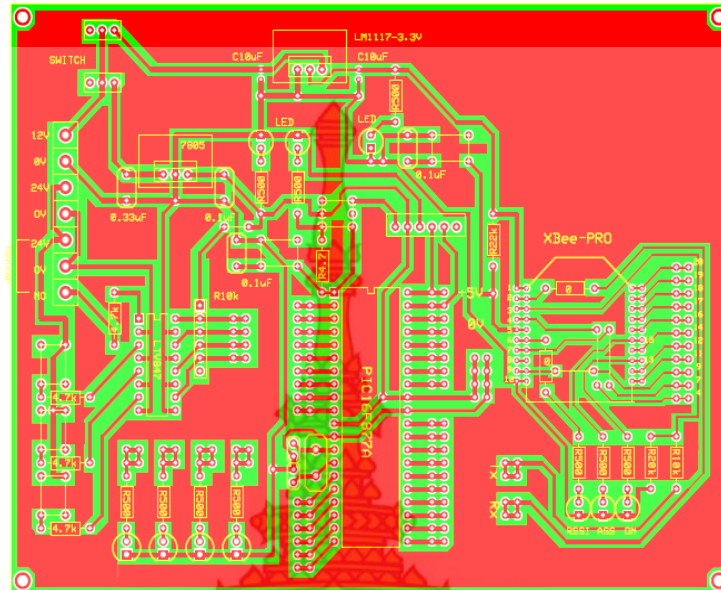
2.11 ทำการออกแบบวงจรวงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดรับสัญญาณ Xbee พร้อมทั้งวงจรขับสัญญาณเสียง และหลอดสัญญาณ



ภาพที่ 82 แสดงเชื่อมต่อวงจรทำการออกแบบวงจรวงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดรับสัญญาณ Xbee

3. ขั้นตอนการสร้างลายวงจร

เมื่อออกแบบวงจรการทำงานเบื้องต้นเสร็จแล้วลำดับต่อไปทำการออกแบบลายวงจรเพื่อสร้างต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการส่งสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม ExpressPCB ในการออกแบบ



ภาพที่ 83 ลายวงจรต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการส่งสัญญาณ

ทำการออกแบบลายวงจรเพื่อสร้างต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการรับสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม ExpressPCB ในการออกแบบ

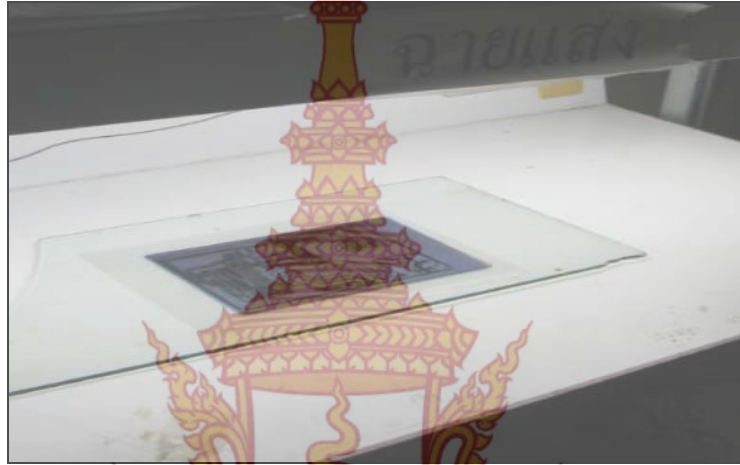


ภาพที่ 84 ลายวงจรต้นแบบชุดทดลอง PIC16F877A ที่เชื่อมต่อกับ Xbee ในภาคการรับสัญญาณ

3.1 ขั้นตอนที่น่าลายวงจรที่ออกแบบไปทำการกัดลายวงจร

โดยแสดงการกัดลายวงจร PIC16F877A จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ทำวงจรและอุปกรณ์ที่จะลงแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ตามที่ได้ออกแบบมาแล้ว โดยประกอบไปด้วยแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แผ่นฟิล์มไวแสง ความต้านทาน ไดโอด ตัวตรวจจับสนิท กระแส ตัวตรวจจับสนิทแรงดัน ตัวเก็บประจุ Regulator MC7805, LM1117, PIC16F877A, Xbee

3.2 ขั้นตอนที่น่าลายวงจร PIC16F877A ไปฉายแสง



ภาพที่ 85 แสดงการฉายแสงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

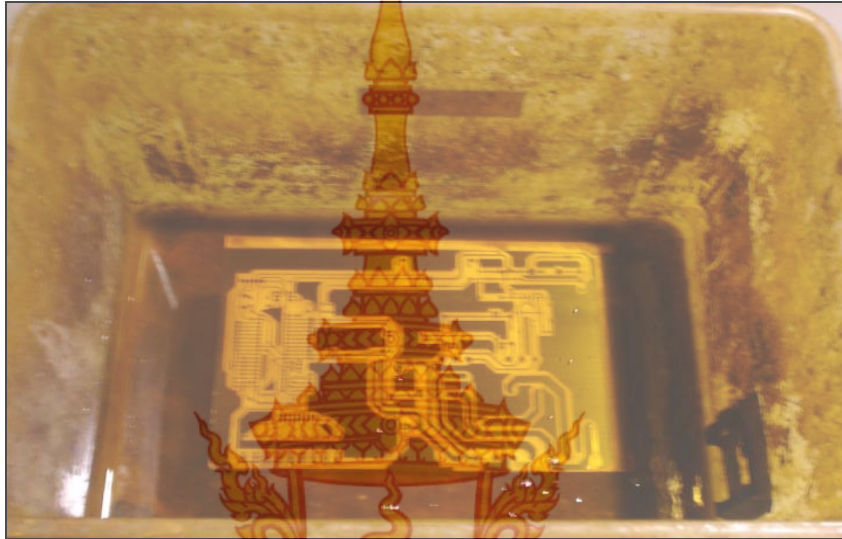
3.3 ขั้นตอนที่น่าล้างโซเดียมวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A



ภาพที่ 86 แสดงการล้างโซเดียมวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

3.4 ขั้นตอนที่น่าลายวงจรที่ได้ไปกัดลายวงจรโดยใช้กรดกัดวงจรอิเล็กทรอนิกส์

เมื่อทำการล้างโซเดียมออกหมดแล้วจะมาถึงขั้นตอนการกัดลายวงจรที่ต้องการนำไปใช้โดยเมื่อล้างโซเดียมออกหมดแล้วยังเหลือลายวงจรที่โดนฉายแสงอยู่เสมอเหมือนการเคลือบลายวงจรเอาไว้ หลังจากนั้นเราทำการแช่สารละลายทองแดงเพื่อกัดส่วนที่ไม่ต้องการให้ได้ลายเส้นวงจรออกมา



ภาพที่ 87 แสดงการกัดลายวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

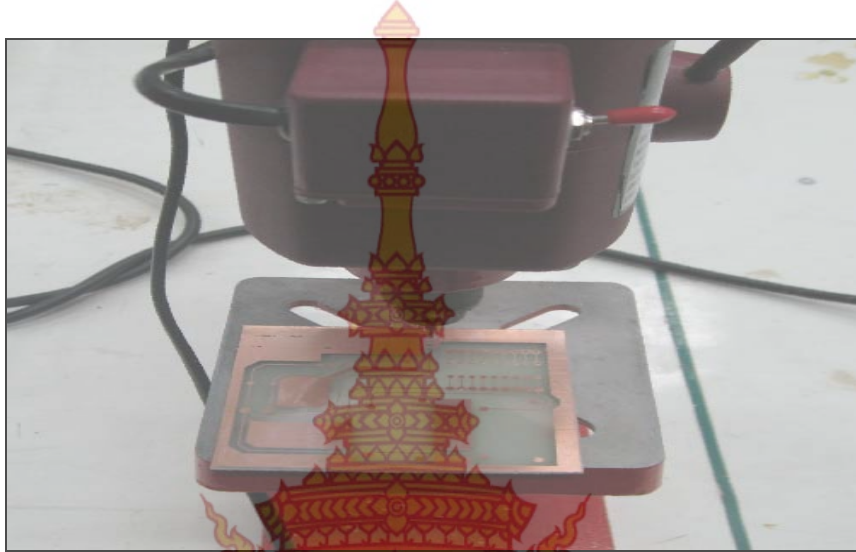
3.5 ขั้นตอนที่น่าลายวงจรที่ได้ไปล้างทินเนอร์และทำความสะอาดวงจรเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนกัดลายวงจร



ภาพที่ 88 แสดงลายวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

3.6 ขั้นตอนที่น่าลายวงจรที่เจาะรูเสร็จแล้วไปลงอุปกรณ์

เมื่อได้รายวงจรแต่ละจุดเรียบร้อยแล้วทำการเจาะรูให้ได้ขนาดและสัดส่วนตามตำแหน่งของแต่ละจุดให้มีความพอดี และมีความเสมอกันเพื่อให้ง่ายต่อการลงอุปกรณ์



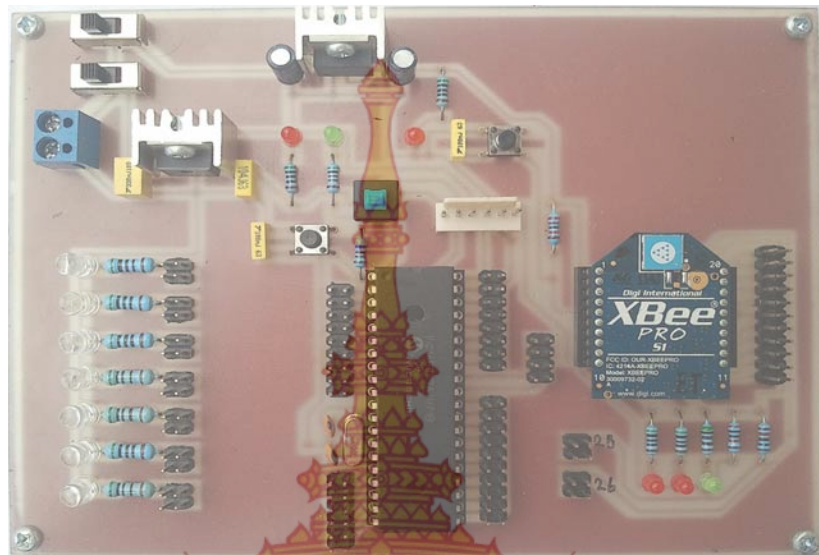
ภาพที่ 89 แสดงการเจาะรูเพื่อลงอุปกรณ์

3.7 ขั้นตอนที่น่าลายวงจรมาลงอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบมา

เมื่อได้แผ่นทองแดงที่ผ่านการเจาะรูเอาไว้เรียบร้อยแล้ว ทำการลงอุปกรณ์เข้ากับแผ่นทองแดงตามลายวงจรที่ทำการออกแบบไว้ทั้งหมดด้วยการบัดกรีอุปกรณ์เข้ากับแผ่นทองแดง



ภาพที่ 90 แสดงการลงอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และ Xbee บอร์ดส่งสัญญาณ



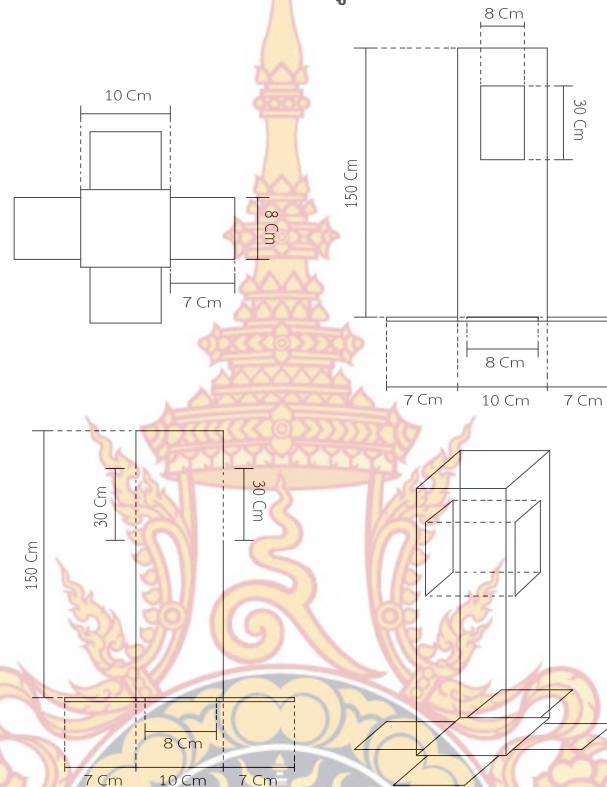
ภาพที่ 91 แสดงการลงอุปกรณ์วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และXbee
บอร์ดรับสัญญาณ

3.8 นำวงจรที่ได้ออกแบบมาใส่กล่องป้องกัน



ภาพที่ 92 กล่องป้องกัน

3.9 ออกแบบโครงสร้างของเสาจำลอง ความสูงที่ระยะ 150 cm.



ภาพที่ 93 ขนาดของโครงสร้างเสาจำลอง เพื่อติดตั้งชุดทดสอบการรับส่ง Infrared Sensor

3.10 เชื่อมประกอบโครงสร้างของเสาจำลอง



ภาพที่ 94 ทำการเชื่อมประกอบโครงสร้างของเสาจำลอง



ภาพที่ 95 โครงสร้างของเสาจำลอง ความสูง 150 cm.

3.11 ทำการพ่นสีให้กับชิ้นงาน



ภาพที่ 96 โครงสร้างของเสาจำลองหลังจากพื้นสีรองพื้น
3.12 ยึดฐานเพื่อล๊อค Sensor กับเสาจำลอง



ภาพที่ 97 ยึดฐานเพื่อล๊อค Sensor กับเสาจำลอง
3.13 ติดตั้งกล่องควบคุม Infrared Sensor กับเสาจำลอง



ภาพที่ 98 ติดตั้งกล่องควบคุม Infrared Sensor กับเสาจำลอง
3.14 ติดตั้งอุปกรณ์ Infrared Sensor กับเสาจำลอง



ภาพที่ 99 ติดตั้ง Infrared Sensor กับเสาจำลอง

3.15 ติดตั้งแผ่นอคติคไลสเพื่อป้องกันฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอม



ภาพที่ 100 ติดตั้งแผ่นอะคริลิกใสด้านหลังป้องกันฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอม



ภาพที่ 101 ติดตั้งแผ่นอะคริลิกใสด้านหน้าป้องกันฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอม

3.16 ทำการตกแต่งเพิ่มเติมด้วยการพ่นสีรองพื้นทับลงบนชิ้นงาน



ภาพที่ 102 ทำการพ่นสีรองพื้นทับลงบนชิ้นงาน

3.17 นำวงจรที่ได้ออกแบบเสร็จแล้วเตรียมทดสอบการทำงาน





ภาพที่ 103 เสาจำลองการตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้าง ด้วยอุปกรณ์ Infrared Sensor



บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบการทำงานของชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร โดยจะทดสอบการเชื่อมต่อการรับส่งสัญญาณ xbee ทั้งสองตัว รวมถึงองค์ประกอบหลักของเสา Infrared Sensor ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ โดยตรวจสอบข้อมูลลูกข่ายที่มีผลต่อการทำลายล้าง และการทดสอบอุณหภูมิสะสมของอุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. XBee Pro 60mW Chip Antenna
 2. บอร์ด Microcontroller Pic 16F877A
 3. Infrared Sensor
 4. หลอดไฟ โซเดียมฮาไลด์
 5. ไฟโซเดียมอุณหภูมิต่ำ
- ชุดต้นแบบระบบควบคุม และมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 104 ชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่าต่อพื้นที่การเกษตร

2. ขั้นตอนการทดลอง

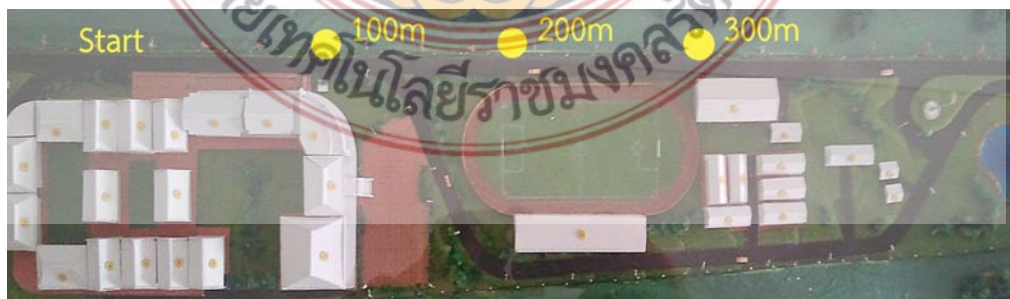
2.1 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของวงจร เมื่อได้ทำการออกแบบวงจรการทำงาน-เสร็จตามลำดับขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ทำการทดลองการใช้งานวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดส่งสัญญาณ xbee บอร์ดรับและบอร์ดส่งสัญญาณ
2. ทำการทดลองการรับส่งสัญญาณ Xbee ใน 3 ระยะดังนี้ 100,200 เมตร และ 300 เมตร
3. ทำการทดลองการรับส่งสัญญาณ Xbee ในสภาพพื้นที่ 3 รูปแบบดังนี้
 - พื้นที่โล่ง
 - พื้นที่อาคาร สถานที่
 - ป่าไม้ และสิ่งกีดขวาง
4. ทำการทดลองชุดเสาจำลองการรับส่งสัญญาณพร้อมอุปกรณ์ Infrared Sensor ในระยะที่ 1-250 เมตร
5. ทำการวัดระยะทางและองศาการติดตั้งเซนเซอร์ที่เหมาะสม
6. ทำการทดลองการรับส่งสัญญาณ Xbee พร้อมอุปกรณ์ Infrared Sensor
7. ข้อมูลลูกช้างที่มีผลต่อการทำลายล้าง
8. ระยะเวลาการเคลื่อนที่ของช้างป่า
9. ทำการทดลองการเคลื่อนที่ของช้างและสัตว์ชนิดอื่นที่มีผลต่อการตรวจจับ
10. ทำการทดลองอุณหภูมิสะสมภายในอุปกรณ์และการสูญเสียค่าพลังงาน
11. ทดลองวงจรรักษาระดับแรงดัน
12. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านใดได้บ้าง

3. สรุปผลการทดลอง

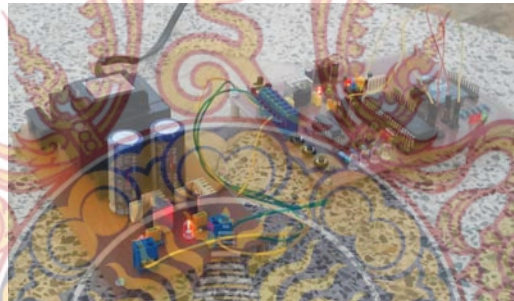
3.1 สรุปผลการทดลองการใช้งานวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ xbee บอร์ดรับและบอร์ดส่งสัญญาณ

จากการทดลองการส่งสัญญาณความถี่ xbee ในระยะ 100-300 เมตร ช่วงระยะในการตอบสนองในการส่งสัญญาณสามารถตอบสนองการทำงานกันได้ดี เมื่อ xbee ตัวที่ 1 (ตัวส่งสัญญาณ) ส่งสัญญาณความถี่ไปหา xbee ตัวที่ 2 (ตัวรับสัญญาณ) เมื่อ xbee ตัวที่ 2 ได้รับสัญญาณความถี่แล้วจะทำการส่งค่าผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ให้แสดงค่าผ่านหลอด LED เพื่อแสดงผลว่าได้รับสัญญาณความถี่เข้ามาแล้ว ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดระยะทางเป็น 3 ตำแหน่งบนพื้นที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวลแสดงดังภาพที่ 105

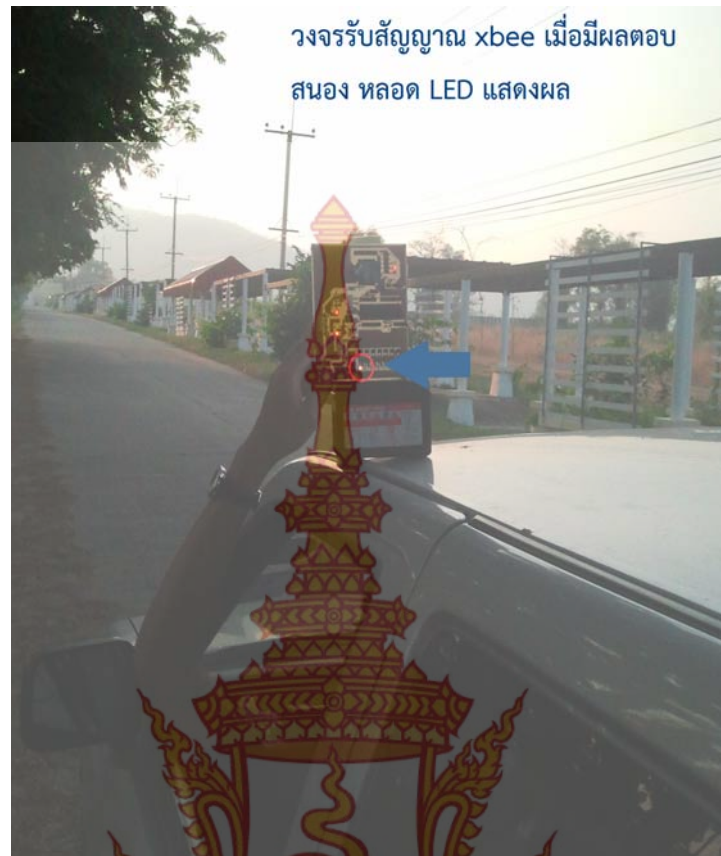


ภาพที่ 105 แสดงตำแหน่งจุดส่งสัญญาณและจุดรับสัญญาณ 3 ระยะการทดลองในพื้นที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล

จากภาพที่ 104 จะบอกตำแหน่งจุด Start หรือตำแหน่งของตัวส่งสัญญาณซึ่งจะทำการทดสอบการรับ ส่งค่าของ xbee ทั้ง 2 ตัว ในพื้นที่โล่งกว้างออกเป็น 3 ระยะ โดยจะทำการบันทึกค่าของการรับส่งสัญญาณความถี่แต่ละครั้งว่า สามารถรับส่งสัญญาณความถี่ได้ระยะทางไกลสูงสุดเท่าไร โดยผลสรุปที่ได้ออกมาดังนี้ เมื่อ xbee ทั้ง 2 ตัว แสดงสถานการณ์ทำงานในตำแหน่ง (No) โดยจะกำหนดการเชื่อมต่อในการรับส่งสัญญาณความถี่ xbee ทั้ง 2 ตัว ให้มีการแสดงผลผ่านหลอด Ass ซึ่งจะสามารถทราบถึงสถานะของการเชื่อมต่อของสัญญาณระหว่าง xbee ทั้ง 2 ตัว จากการทดลองในตำแหน่งที่ 1 ระยะ 100 เมตร ปรากฏว่าหลอด Ass มีการแสดงผลอยู่ซึ่งหมายความว่า การเชื่อมต่อของสัญญาณการรับส่งยังคงทำงานได้อย่างปกติ และเมื่อทำการส่งค่าจากการส่งสัญญาณจาก xbee ตัวที่ 1 ไปหา xbee ตัวที่ 2 ระยะทาง 100 เมตร xbee ตัวที่ 2 มีการตอบสนองโดยการส่งงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ให้แสดงผลผ่านหลอด LED จากการทดลองทั้ง 3 ระยะที่ได้กำหนดมานี้ ปรากฏว่า มีการเชื่อมต่อของสัญญาณที่คง และสามารถส่งค่าผ่าน xbee ทั้ง 2 ตัวได้ อย่างดีเยี่ยมเนื่องจากการทดสอบการทำงานนี้อยู่ในสภาพพื้นที่โล่งกว้างซึ่งเหมาะแก่การรับส่งสัญญาณมาก โดยจะไม่มีสิ่งกีดขวางต่อสัญญาณความถี่ที่ส่งออกไป ทำให้การรับส่งสัญญาณนั้นมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 105



ภาพที่ 106 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ xbee บอร์ดส่งสัญญาณเป็นจุด (Start)



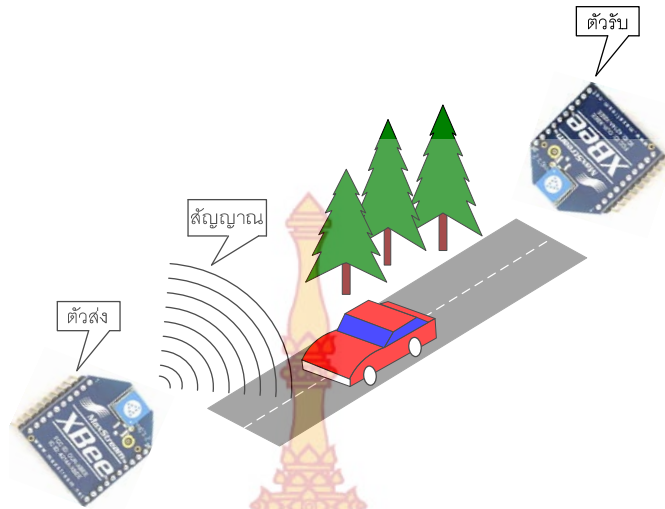
ภาพที่ 107 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณ xbee บอร์ดรับสัญญาณระยะ 300 เมตร

ตารางที่ 14 สรุปผลการทดลองระยะของการรับส่งสัญญาณ xbee

ระยะทางในการรับส่งสัญญาณ xbee	ผลการตอบสนอง		
	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ระยะเวลาในการรับส่งสัญญาณ
100 เมตร	/		2 วินาที
200 เมตร	/		2 วินาที
300 เมตร	/		2 วินาที
400 เมตร	/		2 วินาที
500 เมตร	/		2 วินาที
600 เมตร		/	-

หมายเหตุ : xbee chip ant นั้นมีข้อดีตรงที่ขนาด dimension รวมเล็กลง แต่ gain น้อยกว่าแบบ whip ant chip ant จึงมีระยะรับส่งข้อมูลที่ลดลงไปจาก spec ใน datasheet ยกตัวอย่างเช่น รุ่น Series Pro ที่บอกว่าสามารถส่งได้ไกลสูงสุด 1.5 กิโลเมตร แบบ line of sight แต่ถ้าเราเลือก chip-ant แล้วจะได้ระยะสูงสุด อยู่ที่ 500 เมตร ซึ่งระยะการรับส่งขึ้นอยู่กับอุปสรรคและสถานที่

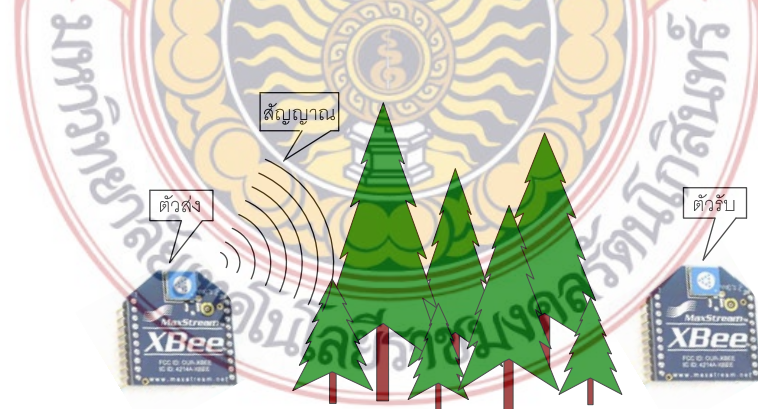
3.2 ตัวอย่างการทดลองการรับส่งสัญญาณ xbee ใน 3 รูปแบบ ซึ่งจะแสดงการเชื่อม-ต่อ สื่อสารดังรูป



ภาพที่ 108 แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่โล่ง



ภาพที่ 109 แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่อาคาร สถานที่



ภาพที่ 110 แสดงการเชื่อมต่อสื่อสารในพื้นที่ป่าไม้ และสิ่งกีดขวาง

จากการเชื่อมต่อทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นเป็นการเชื่อมต่อแบบ Star หรือ แบบ Broadcast ซึ่งเป็นการรับส่งข้อมูล แบบไม่เฉพาะเจาะจงจุดหมายปลายทาง หรือ Xbee ทุกตัวที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกันสามารถรับข้อมูลทุกข้อมูลได้ทุกตัว และตัวอย่างการใช้งานแบบ Star (Broadcast) จากภาพที่ 4.4 จะประกอบไปด้วย Xbee ที่ทำงานเป็น 2 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เป็น Coordinator จะทำหน้าที่สร้างเครือข่ายและ แบบที่ 2 เป็น End Device ทำหน้าที่เป็นลูกข่าย ซึ่งผลการทดลองการรับส่งสัญญาณการเชื่อมต่อนี้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 15 สรุปผลการทดลอง xbee ทุกสภาพพื้นที่

พื้นที่การรับส่งสัญญาณ xbee	ผลการตอบสนอง		
	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ระยะเวลาในการรับส่งสัญญาณ
พื้นที่โล่ง	/		2 วินาที
พื้นที่ในอาคาร สถานที่	/		2 วินาที
ป่าไม้และสิ่งขีดขวาง	/		2 วินาที

3.3 สรุปผลการทดลองเบื้องต้นการรับส่งสัญญาณ Infrared Sensor

จากการทดลองการส่งสัญญาณระหว่าง Infrared Sensor ระยะการตรวจจับอยู่ที่ 1-250 เมตร เมื่อมีการเคลื่อนไหวหรือการเคลื่อนที่ตัดผ่านลำแสง Infrared จะตอบสนองทันที จากการทดลองขั้นต้น Infrared Sensor สามารถตรวจจับวัตถุด้วย 3 ลำแสง เมื่อมีการผ่านของลำแสง จะต้องมีการตกกระทบของ 3 ลำแสงเท่านั้นถึง Infrared Sensor จึงจะทำการส่งงาน



ภาพที่ 111 ภาพจำลองการทดสอบชุดเสาจำลองการรับส่งสัญญาณพร้อมอุปกรณ์ Infrared Sensor ระยะ 1.5 เมตร

ตารางที่ 16 สรุปผลการทดลองระยะทางของ Infrared Sensor

ระยะการตรวจจับของ Infrared Sensor	ผลการตอบสนอง
-----------------------------------	--------------

	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ระยะเวลา
ระยะการตรวจจับ 100 เมตร	/		-
ระยะการตรวจจับ 150 เมตร	/		-
ระยะการตรวจจับ 250 เมตร	/		-
ระยะการตรวจจับ 300 เมตร		/	-

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการเชื่อมต่อกันระหว่าง transmitter (ตัวส่ง) กับ receiver (ตัวรับ) สามารถเช็คระดับความแม่นยำด้วย Pointer (ตัวบอกพิกัดหรือตำแหน่งของอุปกรณ์) ซึ่งทำให้ Infrared Sensor ทั้งตัวรับและตัวส่งนั้นสามารถเชื่อมต่อกันได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ด้วยการแสดงตำแหน่งตัวเลขบอกค่ากับ 0.0 ถึง 2.0 ว่ามีประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อมากน้อยเพียงใด จากภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อที่ถูกบดบังของลำแสงอินฟราเรด เนื่องจากการตัดผ่านของลำแสงอินฟราเรดทำให้ Pointer (ตัวบอกพิกัดหรือตำแหน่งของอุปกรณ์) ไม่สามารถตรวจจับกันได้ และในกรณีของการตรวจจับ บงบอกว่าการเชื่อมต่อแบบคู่ขนานของ Infrared Sensor ทั้งตัวรับ และตัวส่ง ไม่ได้ทำการเชื่อมต่อหรือการเชื่อมล้มเหลว



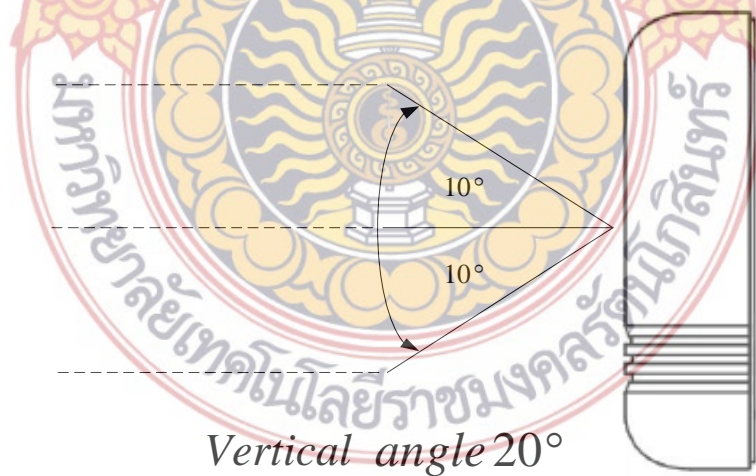
ภาพที่ 112 แสดงภาพ Pointer 0.0 เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อ หรือการเชื่อมล้มเหลวเมื่อมีสิ่งผิดปกติดบังลำแสง Infrared



ภาพที่ 113 แสดงภาพ Pointer 2.0 เมื่อมีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์

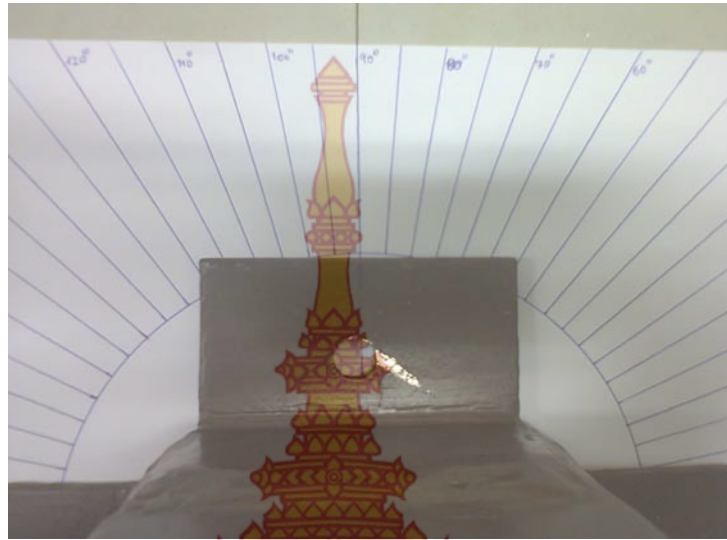
3.4 สรุปการทดลองการวัดระยะทางและองศาการติดตั้งเซนเซอร์ที่เหมาะสม

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการปรับตั้งตำแหน่งทิศทางการตรวจจับ Infrared Sensor ทั้งตัวรับและตัวส่ง ปรากฏว่าการรับส่งสัญญาณในการเชื่อมต่อมีระยะขอบเขตของมุมมองที่กำหนด ซึ่งจากข้อมูลเบื้องต้นใน Datasheet บ่งชี้ให้เห็นว่าการเชื่อมต่อในแนวตั้งฉากนั้น มีรัศมีของการกระจายเป็นเส้นตรง และระยะทำมุม $\pm 10^\circ$ ในพิสัยแนวแกนอยู่ระหว่าง 20°



ภาพที่ 114 ระยะแนวตั้งฉากของการกระจายรัศมีเป็นเส้นตรงทำมุม $\pm 10^\circ$ ในพิสัยแนวแกน 20°

ก. ทำการทดสอบการกำหนดทิศทางขององศา เพื่อทดสอบการตรวจจับในสภาวะที่หน้า-เลนไม่สัมผัสถึงกัน ซึ่งมีผลต่อการเชื่อมต่อการตรวจจับของเซนเซอร์แสดง



ภาพที่ 115 การจัดตั้งและการปรับเปลี่ยนทิศทางในการตรวจจับ Infrared Sensor
ข. ปรับตั้งเสาทดสอบให้ขนานกันเพื่อเปลี่ยนทิศทางในการตรวจจับของ Infrared Sensor



ภาพที่ 116 ตั้งเสาทดสอบให้ขนานกันเพื่อเปลี่ยนทิศทางในการตรวจจับ Infrared Sensor

ค. ทำการปรับเปลี่ยนทิศทางของการตรวจจับของหน้าเลนสัมผัสเพื่อตรวจเช็คการเชื่อมต่อในการทำงาน ที่ระยะมุม 15 องศา



ภาพที่ 117 การเปลี่ยนทิศทางการวางสาย ทำการจัดมุมที่ 15 องศา ในการตรวจจับ Infrared Sensor

ง. ทำการปรับเปลี่ยนทิศทางของการตรวจจับของหน้าเลนส์สัมผัสเพื่อตรวจเช็คการเชื่อมต่อในการทำงาน ที่ระยะมุม 30 องศา



ภาพที่ 118 การเปลี่ยนทิศทางการวางสาย ทำการจัดมุมที่ 30 องศา ในการตรวจจับ Infrared Sensor

จ. ทำการปรับเปลี่ยนทิศทางของการตรวจจับของหน้าเลนส์สัมผัสเพื่อตรวจเช็คการเชื่อมต่อในการทำงาน ที่ระยะมุม 45 องศา



ภาพที่ 119 การเปลี่ยนทิศทางมาทางซ้าย ทำการจัดมุมที่ 45 องศา ในการตรวจจับ Infrared Sensor

ฉ. ทำการทดสอบการตรวจจับของหน้าเลนส์สัมผัสเพื่อตรวจเช็คการเชื่อมต่อในการทำงาน ที่ระยะมุม 50 องศา ซึ่งจากผลการทดสอบชุดสัญญาณเตือนภัย สามารถทำงานได้อย่างปกติ และนั่นหมายความว่า การเชื่อมต่อการตรวจจับ Infrared Sensor ยังคงทำงานได้อย่างปกติ



ภาพที่ 120 แสดงการทดสอบการปรับเปลี่ยนมุม 50 องศา ในการทำงาน

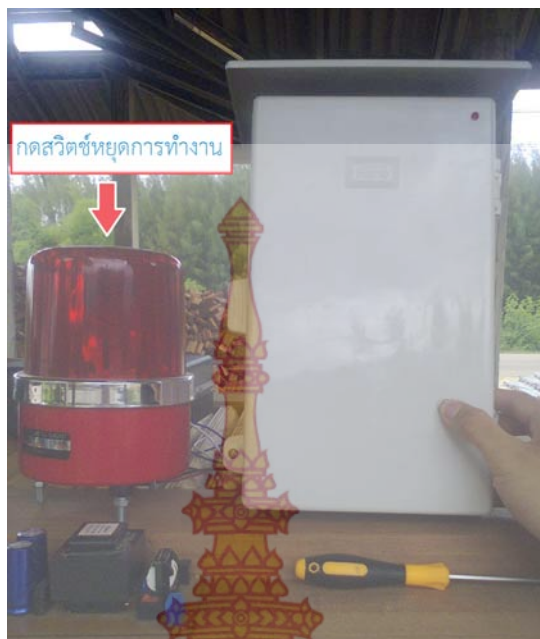
ช. ทำการปรับเปลี่ยนมุมมองในการเชื่อมต่อ จนกว่าการเชื่อมต่อการตรวจจับจะแสดงผลเมื่อเกิดการล้มเหลวในการเชื่อมต่อ



ภาพที่ 121 ทำการปรับเปลี่ยนมุมมองในการเชื่อมต่อจนเกิดการเชื่อมต่อล้มเหลว
ช. เมื่อเกิดการทำงานของระบบแสดงผล เนื่องจากการตัดผ่านการเชื่อมต่อของ Infrared
Sensor สามารถทำการหยุดวงจรการทำงานได้เมื่อกดสวิตช์ Stop



ภาพที่ 122 แสดงสถานการณ์เมื่อเกิดการแสดงผลของ ไชเรน



ภาพที่ 123 ทำการหยุดวงจรการทำงานเมื่อกดสวิตช์ stop

จากผลสรุปการทดสอบประสิทธิภาพในการปรับตั้งตำแหน่งทิศทางการตรวจจับ Infrared-Sensor ทั้งตัวรับและตัวส่ง ปรากฏว่าการรับส่งสัญญาณในการเชื่อมต่อมีระยะขอบเขตของมุมมององศา ในการปรับเปลี่ยนทิศทางคู่ขนาน อยู่ที่ระยะ 50° และจากข้อมูลเบื้องต้นใน Datasheet บ่งชี้ให้เห็นว่าการเชื่อมต่อในแนวตั้งฉากนั้นมีรัศมีของการกระจายเป็นเส้นตรงและระยะทำมุม $\pm 10^\circ$ ในทิศทางแนวแกนอยู่ระหว่าง 20° โดยจะแสดงผลจากการปรับเปลี่ยนทิศทางขององศาในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 17 สรุปผลการทดลองการปรับเปลี่ยนทิศทางองศา Infrared Sensor

องศาของการปรับตั้งทิศทาง	ผลการตอบสนอง	
	ทำงาน	ไม่ทำงาน
10–15°	/	
16–30°	/	
31–45°	/	
46–50°	/	
51–90°		/

3.5 สรุปผลการทดลองการรับส่งสัญญาณ xbee พร้อมอุปกรณ์ Infrared Sensor

การทดสอบในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทำงานที่ได้ออกแบบเพื่อใช้ในโครงการชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช่างป่า โดยจะมีการเชื่อมต่อระบบ Infrared Sensor และ Xbee เข้าด้วยกัน โดย-การเชื่อมต่อเครือข่ายการรับส่งข้อมูล เมื่อมีการตัดผ่าน Infrared Sensor จะมีการส่งค่าผ่าน xbee ไปแสดงผลการทำงานผ่านชุดไฟไซเรนและหอนเตือนภัย



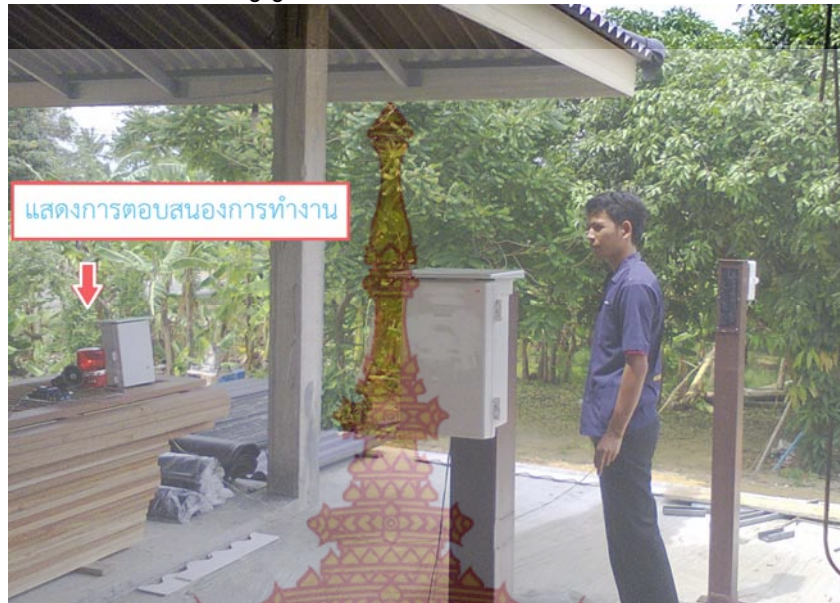
ภาพที่ 124 ชุดสัญญาณเตือนภัย xbee พร้อมอุปกรณ์ Infrared Sensor

ก. ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานด้วยการแกว่งสิ่งของด้วยความเร็วผ่านลำแสง Infrared Sensor ซึ่งไม่มีการตอบสนองการทำงานของสัญญาณไฟไซเรน



ภาพที่ 125 การทดสอบการทำงานด้วยการแกว่งสิ่งของผ่านอุปกรณ์ตรวจจับ Infrared Sensor

ข. ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานด้วยการยื่นบังลำแสง Infrared Sensor ซึ่งมีการตอบสนองการทำงานของสัญญาณไฟไซเรน



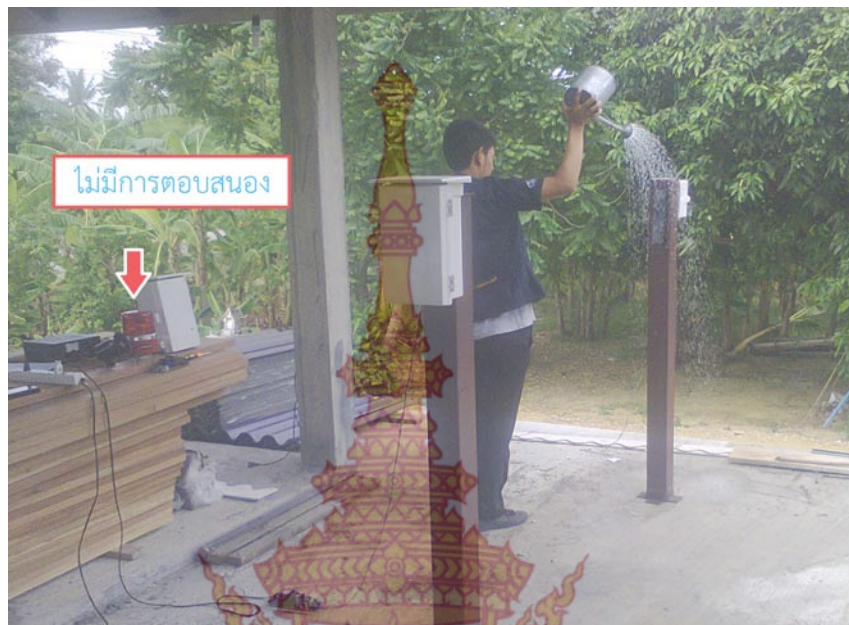
ภาพที่ 126 การทดสอบการทำงานด้วยการยื่นบังลำแสงตรวจจับ Infrared Sensor

ค. ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการทำงานด้วยการเดินและการวิ่งด้วยความเร็วผ่านลำแสง Infrared Sensor ซึ่งมีการตอบสนองการทำงานของสัญญาณไฟไซเรน



ภาพที่ 127 การทดสอบการทำงานด้วยการเดินด้วยความเร็วผ่านอุปกรณ์ตรวจจับ Infrared Sensor

ง. ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเมื่อเกิดสภาวะ ฝนตก บดบังลำแสงการตรวจ-
จับของ Infrared Sensor ซึ่งไม่มีการตอบสนองการทำงานของสัญญาณไฟไซเรน



ภาพที่ 128 การทดสอบการทำงานเมื่อเกิดสภาวะ ฝนตก บดบังลำแสงการตรวจจับของ Infrared-Sensor



ภาพที่ 129 แสดงภาพผลกระทบเมื่อเกิดสภาวะของฝ้าบางๆ บดบังลำแสง
จากภาพที่ 128 เป็นผลการทดลองในสภาวะการเกิดฝนตกได้ผลสรุปว่าเมื่อมีเม็ดฝนตก
ผ่าน-ลำแสง Infrared โดยจะไม่มีผลกระทบต่อวงจรการทำงานอย่างไร เนื่องจากเม็ดฝนมีสภาวะ

การทำ- งานคล้ายกระจกเมื่อมีการตัดผ่านของลำแสง ลำแสงสามารถทะลุผ่านความหนาแน่นของเม็ดฝนได้ซึ่งจากผลการทดสอบนี้ทำให้อุปกรณ์ชุดสัญญาณเตือนภัยเกิดผลกระทบขึ้น เนื่องจากภายในเสา Infra- red มีอุณหภูมิสะสมอยู่ภายในระหว่างช่วงสภาวะร้อนจัด ซึ่งประกอบกับการเกิดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อเกิดฝนตกทำให้เกิดปฏิกิริยาของ ไออน้ำ ซึ่งเกิดเป็น ฝ้าบางๆ บดบังลำแสง Infrared แต่ผลกระทบนี้ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานอีกครั้ง และจากผลการทดลองเมื่อเกิดสภาวะของฝ้าบางๆ บดบังลำแสง ปรากฏว่าไม่มีผลกระทบต่อการทำงานใดๆ ทั้งสิ้น เนื่องจากลำแสงยังคงสามารถทะลุผ่านไปได้ และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่คงที่หรือร้อนจัด เสา Infrared จะกลับมามาอยู่ในสภาวะคงเดิม โดยไม่มีการเกิดไออน้ำ หรือฝ้าบดบัง

3.6 สรุปผลการทดลองการเคลื่อนที่ของข้างและสัตว์ชนิดอื่นที่มีผลต่อการตรวจจับ

จากการทดลองการตรวจจับของ Infrared Sensor ขึ้นอยู่กับสภาพความสูงของวัตถุหรือสิ่งตัดผ่าน หรือบดบังลำแสงทั้ง 3 ของตัว Sensor โดยองค์ประกอบรวมของสัตว์จะจำแนกเป็น ความเร็ว ในการเคลื่อนที่และความสูงของสัตว์แต่ละชนิด ซึ่งจากองค์ประกอบหลักจะเน้นไปที่ข้างป่าที่มีผลต่อความเสียหายโดยจะแสดงข้อมูลดังหัวข้อต่อไปนี้

ก. ข้อมูลลูกข้างที่มีผลต่อการทำลายล้าง

จากข้อมูลการบุกรุกพื้นที่การเกษตรของข้างป่า โดยพบว่าช่วงอายุของข้างป่าที่มีผลต่อความเสียหายทางพืชผลการเกษตรได้แก่ ลูกข้างวัยรุ่น ไปจนถึงข้าง วัยเจริญพันธุ์ ทางผู้จัดทำจึงมองเห็นปัญหาดังกล่าวโดยเจาะจงไปที่ข้างวัยรุ่น ตั้งแต่ช่วงอายุ 4-15 ปี เนื่องจากช่วงนี้เป็นช่วงที่ลูกข้างอยากรู้อยากเห็น และเริ่มใช้ชีวิตแยกออกไปอยู่อย่างอิสระหรือแยกตัวออกมาจากโขลง ซึ่งจะแสดงลำดับช่วงอายุและความสูงไว้ใน (ภาคผนวก ค)

ช่วงอายุของข้างแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม

- | | | |
|--------------------------------|----------------------|--------------------|
| 1. ลูกข้างเล็ก (calves, calf) | อายุต่ำกว่า 14 เดือน | สูงไม่เกิน 128 ซม. |
| 2. ลูกข้างโต (juveniles) | อายุ 14-40 เดือน | สูง 128-165 ซม. |
| 3. ข้างวัยรุ่น (sub-adults) | อายุ 40 เดือน -15 ปี | สูง 165-217 ซม. |
| 4. ข้างวัยเจริญพันธุ์ (adults) | อายุมากกว่า 15 ปี | สูงมากกว่า 217 ซม. |

ข. ระยะเวลาการเคลื่อนที่ของข้างป่า

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของข้างป่า [10] โดยนักวิทยาศาสตร์คิดว่าข้างไม่สามารถวิ่งได้ แต่จะเดินไปได้อย่างช้าๆ เท่านั้น เพราะว่าลักษณะการเหยียบของเท้าข้างจะไม่ได้เปลี่ยนไปตามความเร็ว จึงได้ทดลองวัดค่าความเร็วของข้างที่วิ่งได้ 16 km/hr. ต่อมาเมื่อปี พ.ศ.2544 ทีมงานของ Dr.John Hutchimson ได้ร่วมกับศูนย์อนุรักษ์ช้างไทย ทดสอบวัดค่าความเร็วของข้างที่วิ่ง โดยผลการทดสอบสรุปได้ ว่าข้างวิ่งได้เร็วถึง 25 km/hr. ซึ่งถือว่าเร็วกว่าสถิติเดิม 50%

จากผลการสรุปเบื้องต้นเกี่ยวกับการเคลื่อนที่รวมไปถึงการตรวจจับการตัดผ่านของ Infrared Sensor จึงทำให้ทราบช่วงอายุของข้างที่มีผลต่อการทำลายล้างอยู่ที่ระดับความสูงช่วง 165-217 ซม. เมื่อนำมาเปรียบเทียบในการจำลองการตรวจจับ ปรากฏว่าเสา Infrared Sensor ที่ทางผู้จัดทำได้ออกแบบโครงสร้างที่ระดับความสูงที่ 150 ซม. โดยจะกำหนดลำแสงการตรวจจับที่ความสูง 140 ซม. โดยเป็นความสูงเฉลี่ยของลูกข้างตั้งแต่ช่วงอายุ 2ปี และจากผลการสรุปนี้ หมายความว่าช่วงระดับความสูงของลูกข้างที่เสา Infrared Sensor สามารถตรวจจับได้จะอยู่ที่ 140 ซม. ซึ่งสามารถตรวจจับข้างได้ตั้งแต่ ลูกข้างโต (juveniles) ไปจนถึง ข้างวัยเจริญพันธุ์ (adults) และการทดสอบนี้ยังคำนึงถึง

ความเร็วสูงสุดของช้างที่ 25km/hr. ซึ่งความเร็วดังกล่าว Infrared Sensor ยังจะสามารถตรวจจับความเร็วในการเคลื่อนที่นั้นได้ เมื่อปรับโหมดความเร็ว Fast running ซึ่งสามารถตรวจจับความเร็วได้ที่ 6.9 m/s และจากผลการทดลองนี้ปรากฏว่าเสา Infrared Sensor สามารถที่จะจับการเคลื่อนที่ของช้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 130 แสดงตัวอย่างการตัดผ่าน Infrared Sensor ของโขลงช้างโดยจำแนกช่วงอายุ

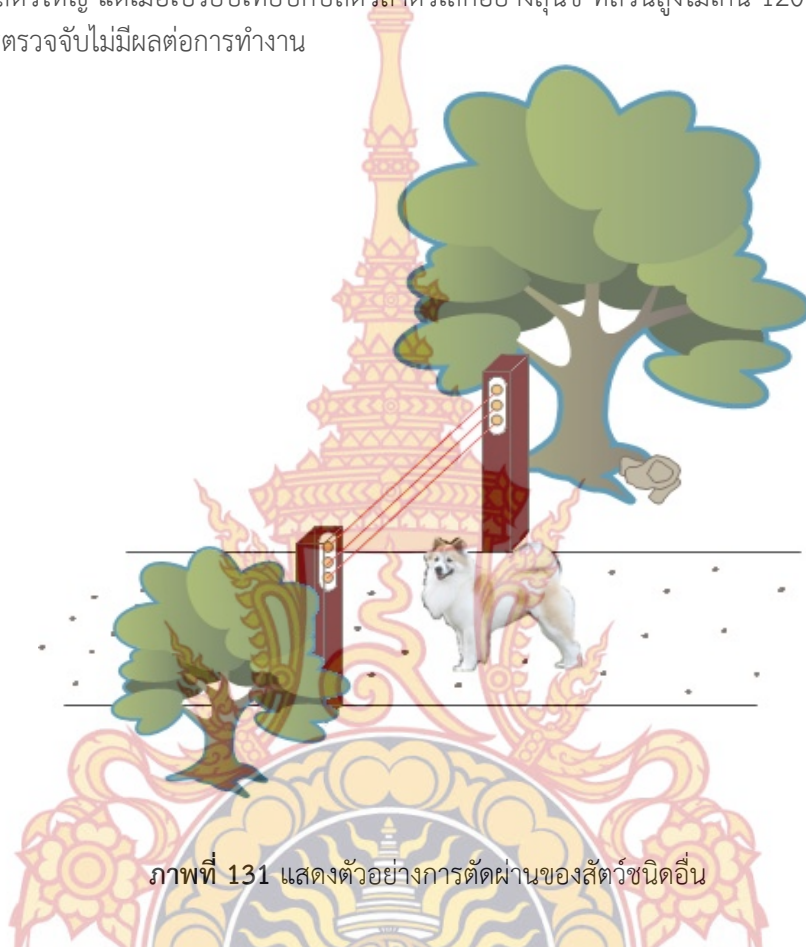
การตรวจจับการเคลื่อนที่ของสัตว์ชนิดต่างๆขึ้นอยู่กับความสูงที่มีผลต่อการตรวจจับ โดยจะจำแนกชนิดสัตว์ป่าจากข้อมูลที่ได้รับจากเกษตรกรที่ได้รับความเสียหาย โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นไม่ได้กระทบแต่เพียงผลทางการเกษตรเพียงอย่างเดียว แต่กระทบถึงความเป็นอยู่ของชาวบ้านบริเวณทิวป่าอีกด้วย โดยสัตว์ป่าที่มีการพบเห็นที่หลงเข้ามาบ่อยครั้งจะมี กวาง ลิง ควายเป็นต้น

ตารางที่ 18 แสดงโครงสร้างของสัตว์ชนิดต่างๆ

ชนิดของสัตว์ป่า	โครงสร้างของสัตว์ป่า		
	ความยาวลำตัวและหัว	ความสูงจากพื้นถึงหัวไหล่	ความยาวหาง
กวาง	180-200 เซนติเมตร	140-160 เซนติเมตร	26-30 เซนติเมตร
วัวแดง	190-255 เซนติเมตร	155-165 เซนติเมตร	65-70 เซนติเมตร

ลิ้งเส้น	130-145 เซนติเมตร	90-110 เซนติเมตร	10 เซนติเมตร
สุนัข	140-155 เซนติเมตร	85-120 เซนติเมตร	115-160 เซนติเมตร

ผลสรุปสัดส่วนของสัตว์ชนิดต่างๆจะมีผลต่อการตรวจจับที่ความสูง 140 ซม. ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของทางผู้จัดทำที่มีเป้าหมายให้สามารถตรวจจับสิ่งมีชีวิตที่บุกรุกพื้นที่ทำกินของเกษตรกรโดยจะเน้นไปที่สัตว์ใหญ่ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ลำตัวเล็กอย่างสุนัข ที่ส่วนสูงไม่เกิน 120 ซม. จึงทำให้วงจรการตรวจจับไม่มีผลต่อการทำงาน



ภาพที่ 131 แสดงตัวอย่างการตัดผ่านของสัตว์ชนิดอื่น

ตารางที่ 19 สรุปการตรวจจับของ Infrared Sensor

การตรวจจับของ Infrared Sensor	ผลการตอบสนอง		
	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ระยะเวลา
การตรวจจับการเดินผ่าน	/		1.2 m/s
การตรวจจับการวิ่งผ่าน	/		6.9 m/s
การตรวจจับสิ่งของตกผ่าน(ใบไม้)		/	-
การตรวจจับเมื่อเกิดฝนตก		/	-
การตรวจจับการเคลื่อนที่ของสัตว์	/		6.9 m/s
การตรวจจับเมื่อสภาพแวดล้อมเลวร้าย		/	-

3.7 ทำการทดสอบอุณหภูมิสะสมภายในอุปกรณ์และการสูญเสียค่าพลังงาน

การทดสอบประสิทธิภาพของการทำงานเมื่อสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายซึ่งเกิดขึ้นจากสถานะการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศ เช่น ฝนตก แดดออก ลมพายุพัด ทำให้อุปกรณ์ชุดสัญญาณเตือนภัย

การบูรกรุกของช่างป่าทำงานอย่างมีอุปสรรค จากการทดสอบการทำงานเมื่อมีอุณหภูมิที่จุดต่ำสุดถึงจุดสูงสุดอยู่ที่ 26.4°C จนถึง 44.5°C ซึ่งจากผลการทดสอบนี้อุปกรณ์ยังคงทำงานได้ตามปกติ จากการบันทึกค่าผลการทดลองในตารางที่ 4.7



ภาพที่ 132 แสดงการทดสอบอุณหภูมิสะสมภายในอุปกรณ์

ตารางที่ 20 แสดงผลการทดลองการทดสอบอุณหภูมิสะสม

เวลาการทดสอบ (ชม.)	ทดสอบอุณหภูมิภายใน กล่องควบคุม	ทดสอบอุณหภูมิภายใน เสาจำลอง	ทดสอบอุณหภูมิ ภายนอก
1.00 น.	30.2°C	30°C	29.4°C
2.00 น.	30.8°C	29.8°C	29.2°C
3.00 น.	28.8°C	29°C	28°C
4.00 น.	27.2°C	27.4°C	27.8°C
5.00 น.	27°C	26.7°C	26.8°C
6.00 น.	26.4°C	26.6°C	26.5°C
7.00 น.	26.6°C	26.6°C	26.5°C

8.00 น.	31.4°C	32.8°C	31.9°C
9.00 น.	36.5°C	40.9°C	32.6°C
10.00 น.	42.6°C	44.2°C	41.8°C
11.00 น.	43.1°C	44.3°C	42.1°C
12.00 น.	43.8°C	44.5°C	42.6°C
13.00 น.	41.1°C	43.4°C	39.8°C
14.00 น.	39.2°C	42.8°C	38.6°C
15.00 น.	37.1°C	38.4°C	35°C
16.00 น.	39.4°C	40.3°C	38.5°C
17.00 น.	35.8°C	38.4°C	34.7°C
18.00 น.	33.1°C	36.9°C	30.5°C
19.00 น.	31.9°C	33.5°C	30°C
20.00 น.	31.2°C	32.4°C	30.1°C
21.00 น.	31°C	31.4°C	30.1°C
22.00 น.	30.6°C	31°C	29.6°C
23.00 น.	30.4°C	30°C	29.3°C
24.00 น.	30.4°C	30°C	29.2°C

3.8 ผลการทดสอบการทำงานของวงจรรักษาแรงดัน

จากการตรวจสอบค่าพลังงานจากแบตเตอรี่เมื่อใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ไปนานๆจะทำให้ค่าพลังงานแบตเตอรี่น้อยลงหรือหมดไป

ทางผู้จัดทำโครงงานจึงได้นำวงจรรักษาแรงดันมาเช็คค่าพลังงานที่คงเหลือของแบตเตอรี่ ผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทำการตั้งค่าคำสั่งโปรแกรมเมื่อค่าแรงดันในแบตเตอรี่ต่ำกว่า 10V โดยวงจรจะทำการเช็คค่าพลังงานที่ตั้งค่าไว้ และเมื่อค่าพลังงานของแบตเตอรี่ต่ำเกินกำหนด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตัดวงจรการทำงานของระบบกำลังออกทันที และจะแสดงผลผ่านหลอด LED ให้กระพริบ ซึ่งจะแสดงผลสรุปการทำงานดังนี้

ก. ทดสอบวงจรรักษาแรงดันที่ 12V

เมื่อใช้ Power Supply ปรับค่าแรงที่ 12V จะเห็นได้ว่าหลอด LED จะสว่าง เนื่องจากค่าคำสั่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ ยังคงค่าระดับแรงดันที่ 12V และจะยังทำงานตามปกติ



ภาพที่ 133 ทำการทดสอบเมื่อปรับระดับแรงดันที่ 12V หลอด LED ทำงาน

ข. ทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันที่ 10V

เมื่อใช้ Power Supply ปรับค่าแรงที่ 10V จะเห็นได้ว่าหลอด LED กระทบ เนื่องจากค่าคำสั่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รับค่าคำสั่งที่ตั้งไว้ที่ระดับแรงดันที่ 10V ซึ่งจะทำให้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตัดวงจรการทำงานของระบบกำลังออกทันที และจะแสดงผลผ่านหลอด LED ให้กระทบแสดงดังภาพที่ 141



ภาพที่ 134 ทำการทดสอบเมื่อปรับระดับแรงดันที่ 10V หลอด LED ไม่ทำงาน

ตารางที่ 21 การสูญเสียค่าพลังงานที่ใช้แหล่งจ่ายแต่ละชนิด

รายการแหล่งจ่าย	ผลการตอบสนอง		
	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ระยะเวลาในการทำงาน
ใช้แบตเตอรี่แห่ง 12V, 5A	/		1.5 ชั่วโมง

ใช้เพาเวอร์ซัพพลาย 12V	/		24 ชั่วโมง
ใช้เพาเวอร์ซัพพลาย 24V	/		24 ชั่วโมง

3.9 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านใดได้บ้าง

ชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของช่างป่าต่อพื้นที่การเกษตรสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลายเช่น ที่กั้นโรงจอดรถ, ฟาร์มสัตว์, รวมไปถึงอุปกรณ์สัญญาณกันขโมย



ภาพที่ 135 ประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์สัญญาณกันขโมย



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการทดลอง

โครงการชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่า ต่อพื้นที่การเกษตร ได้ทำการออกแบบโครงสร้างเพื่อป้องกันการบุกรุกของข้างป่า โดยการจำลองช่วงอายุของลูกข้างวัยรุ่น ที่มีผลต่อการทำลายล้าง ตามลำดับความสูงของช่วงอายุข้าง เพื่อทำการทดสอบการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงทำการสร้างเสาจำลองพร้อมชุด Infrared Sensor ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์อินฟราเรด โดยมีอุปกรณ์การรับส่งสัญญาณ xbee เชื่อมต่อการรับส่งสัญญาณผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการรับส่งสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่า แสดงผลผ่านอุปกรณ์ไฟไซเรนฉุกเฉิน และลองโพง ไซเรนฮอร์น

สรุปได้ว่าชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่า ต่อพื้นที่การเกษตร สามารถตรวจจับการเคลื่อนที่ของลูกข้างวัยรุ่นช่วงอายุตั้งแต่ 2 ปี ขึ้นไป ที่ระดับความสูง 140 เซนติเมตร โดยที่ข้างป่าไม่ทันรู้ตัว และสามารถส่งสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่า ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless) ได้ระยะไกลถึง 500 เมตร

2. ข้อเสนอแนะ

ชุดสัญญาณเตือนภัยการบุกรุกของข้างป่า ต่อพื้นที่การเกษตรที่ออกแบบมานี้ เพื่อให้เป็นชุดต้นแบบ การศึกษาและป้องกันการบุกรุกของข้างป่า โดยการจำลองช่วงอายุของข้าง ที่มีผลต่อการตรวจจับ ในลักษณะของการเคลื่อนที่ตัดผ่านเซนเซอร์อินฟราเรด แต่ในขณะที่ทดสอบโครงสร้างเสาจำลอง เมื่อเกิดสถานะอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ชุดโครงสร้างเสาจำลอง เกิดปฏิกิริยาจากความร้อนสะสมภายใน เมื่อเกิดสถานะฝนตกฉับพลัน ทำให้โครงสร้างของเสาจำลอง เกิดเป็นละอองไอน้ำบดบังลำแสงของเซนเซอร์อินฟราเรด แต่จากปัญหาที่กล่าวมานี้ ไม่ได้มีผลกระทบต่อวงจรถางงานแต่อย่างใด เนื่องจากลำแสงอินฟราเรด สามารถทะลุผ่านละอองไอน้ำได้อย่างปกติ จึงไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน และเมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงช่วงอุณหภูมิ 30 – 40°C ละอองไอน้ำจะค่อยๆระเหยหายไปจนหมด จากปัญหาดังกล่าวขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงสร้างของตัวเสาจำลอง เมื่อเกิดช่องว่างขนาดเล็ก ทำให้สะเก็ดน้ำผ่านซึมเข้าไปได้ ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบและเทคนิคการป้องกันจึงมีความจำเป็น ซึ่งต้นแบบที่สร้างขึ้นหากมีการพัฒนาต่อยอดเพื่อศึกษาถึงเรื่องดังกล่าว ต้องมีการเพิ่มเติมในส่วนประกอบเกี่ยวกับโครงสร้างและอุปกรณ์กันน้ำ

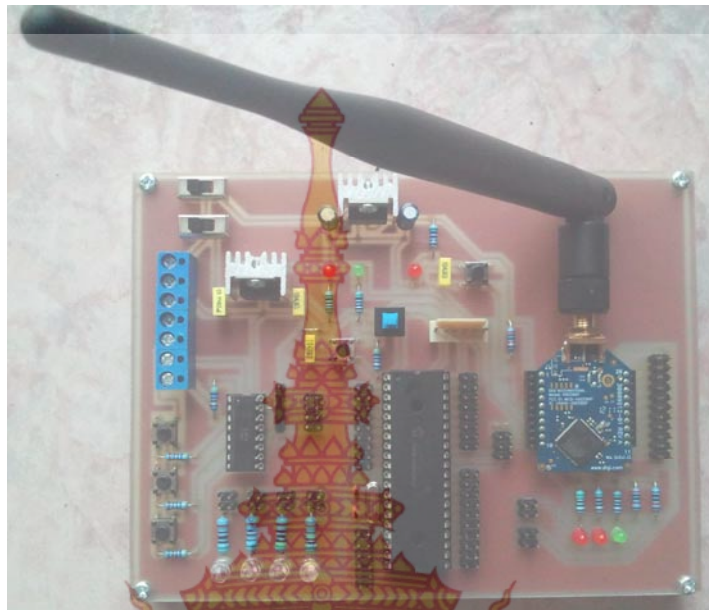
เอกสารอ้างอิง

- [1] ชูติอร ชาวีณี และคณะฯ สมาคมอนุรักษ์สัตว์ป่าประเทศไทย “คู่มือการสำรวจประชากรช้างป่า” จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย แสงเมืองการพิมพ์
- [2] เพชร มโนปวีตร และคณะฯ สมาคมอนุรักษ์สัตว์ป่าประเทศไทย “เทคนิคการจัดการปัญหาความขัดแย้งระหว่างคนกับช้าง” จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย แสงเมืองการพิมพ์
- [3] ประทีป มีวัฒนา ระดับความถี่ของคลื่นเสียงที่รบกวน/ทำให้ช้างป่าเกิดความรำคาญ จัดพิมพ์ Suan Sunandha Rajabhat University [<http://e-book.ssru.ac.th>]
- [4] Zigbee And Xbee BASIC ตอน Zigbee คืออะไร (11-11-2551)
<http://www.thaieasyelec.com/electronics-in-chapter/what-is-zigbee.html>
- [5] Datasheet Photoelectric Beamsensor detector
- [6] ทรานซิสเตอร์ (Transistor)
http://www.sptc.ac.th/prapruet/devicesweb/books/book_6.htm
- [7] อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
<http://www.t4rbm.ac.th/~electronichunsa/main.html>
- [8] ไสว วังหงษา และกัลยาณี บุญเกิด. 2548 ค. เทคนิคการศึกษาช้างป่า: ส่วนที่4 สถิติสำหรับการศึกษาช้างป่า ในผลงานวิจัย และรายงานความก้าวหน้างานวิจัย ประจำปี 2547. กลุ่มวิจัยสัตว์ป่า สำนักงานอนุรักษ์สัตว์ป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
- [9] โครงสร้างทางเพศและชั้นอายุ. ของช้างป่า (Elephas maximus Linnaeus, 1758)
Present by : Chatwaroon Angkaew. Wildlife and Range Science
- [10] ศูนย์อนุรักษ์ช้างไทย (ศูนย์ฝึกลูกช้าง อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง)
<http://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=numthip25&month=07-2011&date=31&group=3&gblog=10>

ภาคผนวก ก

โครงสร้างของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และ Xbee

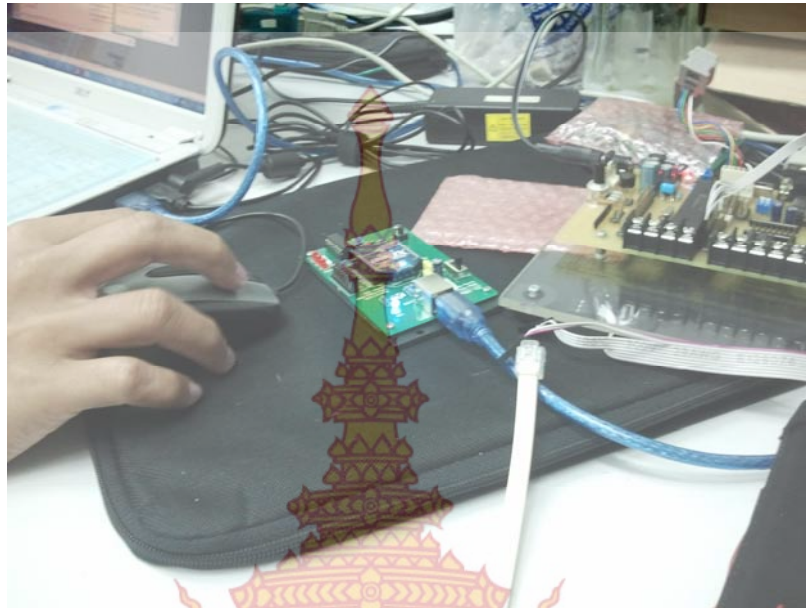




ภาพที่ ก.1 ชุดส่งสัญญาณระยะไกลด้วยเสาสัญญาณ



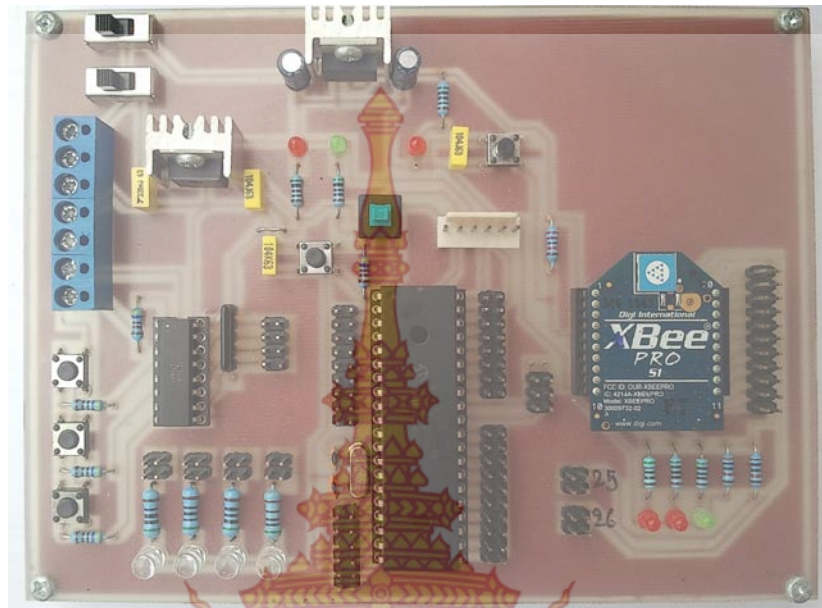
ภาพที่ ก.2 ชุดรับสัญญาณระยะไกลด้วยเสาสัญญาณ



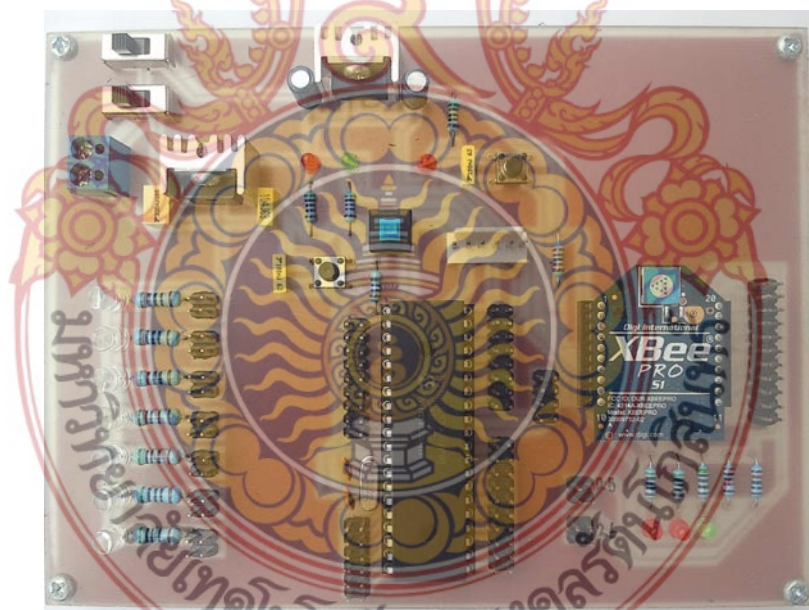
ภาพที่ ก.3 ชุดโปรแกรมกำหนดค่า Xbee ทั้งชุดรับและส่ง



ภาพที่ ก.4 ชุดโปรแกรมกำหนดค่า Xbee ทั้งชุดรับและส่ง



ภาพที่ ก.5 ชุดรับสัญญาณระยะไกล

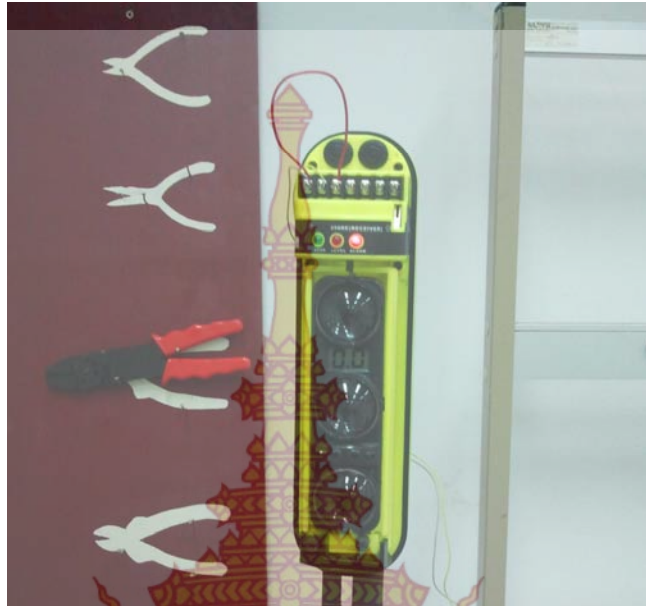


ภาพที่ ก.6 ชุดรับสัญญาณระยะไกล



ภาคผนวก ข

การเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ ข.1 ชุดเซนเซอร์แบบ Photoelectric Beam sensor (3-beam)



ภาพที่ ข.2 การเชื่อมต่อชุดเซนเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ ข.3 การเชื่อมต่อชุดเซนเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ ข.4 ประกอบชุดเซนเซอร์กับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดรับและส่งสัญญาณ



ภาพที่ ข.5 ประกอบชุดเซนเซอร์กับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ขณะทำงาน



ภาพที่ ข.6 ทดสอบการทำงานเบื้องต้น

ภาคผนวก ค

การติดตั้งและทดสอบการทำงานของชุดเซนเซอร์

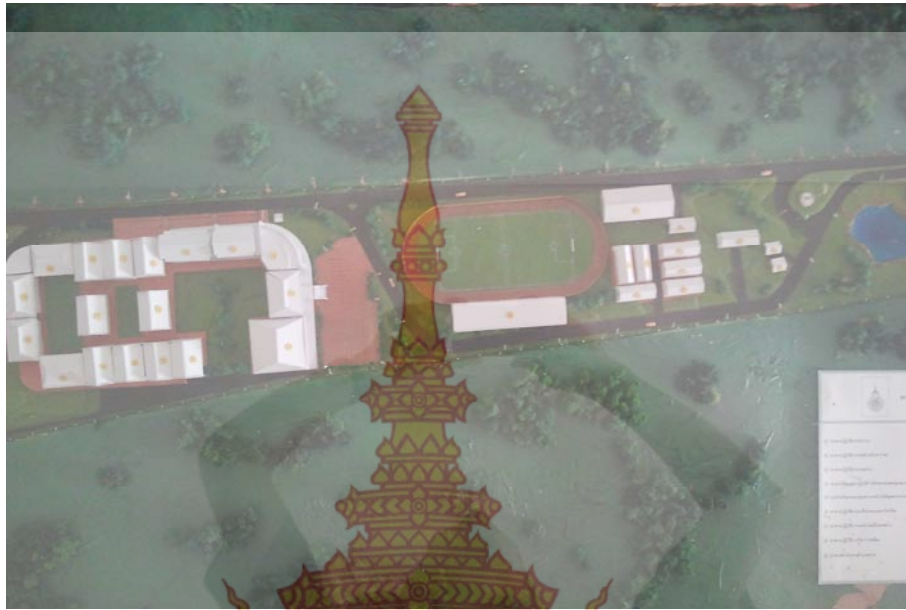




ภาพที่ ค.1 ทดสอบปรับตำแหน่งเซนเซอร์



ภาพที่ ค.2 ทดสอบปรับตำแหน่งเซนเซอร์ที่องศาต่างๆ



ภาพที่ ค.3 กำหนดตำแหน่งติดตั้งชุดเซนเซอร์ระยะ 250 เมตร เพื่อทดสอบการทำงาน



ภาพที่ ค.4 ทดสอบการส่งสัญญาณของชุดเซนเซอร์



ภาพที่ ค.5 ทดสอบการทำงานจำลองสภาวะฝนตก





ภาพที่ ค.6 ทดสอบการทำงานจำลองสภาวะตำแหน่งเสาเกิดการเคลื่อนที่



ภาคผนวก ง
ลงพื้นที่เพื่อติดตั้งระบบและการอบรมให้ความรู้





ภาพที่ ง.1 ทดสอบปรับตำแหน่งเซนเซอร์



ภาพที่ ง.2 โครงการติดตั้งระบบป้องกันการบุกรุกของช่างป่าต่อพื้นที่การเกษตร



ภาพที่ ง.3 อธิบายการทำงานของระบบ



ภาพที่ ง.4 อธิบายการทำงานของระบบ



ภาพที่ ง.4 ตัวแทนชาวบ้านและอาสาสมัครเข้าร่วมการอธิบายการทำงาน





ภาพที่ ง.5 สถานที่ติดตั้งระบบ



ภาพที่ ง.6 ปรับพื้นที่เพื่อติดตั้งระบบ

ประวัติผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายทรงกลด ศรีปรางค์
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Songklod Sriprang
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน โทรศัพท์มือถือ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล ตำบลหนองแก อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110
หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน 0-3261-8500 ต่อ 4039
โทรศัพท์มือถือ 08-09257087
โทรสาร 0-3261-8570
และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) songklod.sriprang@gmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ชื่อย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2549	ตรี	อส.บ.	เทคโนโลยีไฟฟ้า	มทร.	ไทย
2553	โท	วศ.ม	วิศวกรรมไฟฟ้า	มทร. ธัญบุรี	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- Computer Programming
- Microcontroller
- Digital Signal Processing

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

- 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัย
- 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย: ชื่อโครงการวิจัย
- 7.3 งานงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

1. ทรงกลด ศรีปรางค์, วันชัย ทรัพย์สิงห์, “การออกแบบและประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30xF ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6, ENETT6-1191, 2553.
 2. ทรงกลด ศรีปรางค์, วันชัย ทรัพย์สิงห์, “การดำเนินการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นโดยใช้ dsPIC30F2010” การประชุมวิชาการ “แม่ฟ้าหลวงวิชาการ” ประจำปี พ.ศ. 2553 : 12 ปี ตามรอยสมเด็จพระย่า วันที่ 19-20 พฤศจิกายน 2553
 3. ทรงกลด ศรีปรางค์, วันชัย ทรัพย์สิงห์, “การปรับค่าเกนของตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสมในการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นโดยวิธีกลุ่มอนุภาค” วารสารธัญบุรี 2554.
 4. ทรงกลด ศรีปรางค์, วันชัย ทรัพย์สิงห์, “การออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบด้านเดียวในรถไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยวิธีการควบคุมค่าสลิป” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 (ENETT 2011), EC48, วันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554.
 5. ทรงกลด ศรีปรางค์, วันชัย ทรัพย์สิงห์, “การออกแบบตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นโดยวิธีกลุ่มอนุภาค” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9 (PEC-9), 132, วันที่ 2-3 พฤษภาคม 2554.
- 7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ: ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด
2. ผู้ร่วมโครงการวิจัย
1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ดร.ชาณวิทย์ บุญช่วย
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr. Chanwit Boonchuay
 2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน
 3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
 4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน โทรศัพท์มือถือ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
ถ.เพชรเกษม กม.242 ต.หนองแก อ. หัวหิน จ. ประจวบคีรีขันธ์ 77110
หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน 0-3261-8500 ต่อ 4005
โทรสาร 0-3261-8570
โทรศัพท์มือถือ 0873635260
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) chanwit.b@rmutr.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ชื่อย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2554	ปริญญาเอก	วศ.ด.	พลังงาน (การจัดการระบบไฟฟ้ากำลัง)	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)	ไทย
2548	ปริญญาโท	วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	มจพ.	ไทย
2546	ปริญญาตรี	คอ.บ.	วิศวกรรมไฟฟ้า	มจร.	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
- 6.1 การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง (Power system protection)
 - 6.2 การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital signal processing)
 - 6.3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง (Power system optimization)
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย
- 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัย
 - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย: การพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัล, หัวหน้าโครงการ, สถานะโครงการ: เสร็จสมบูรณ์, งบประมาณผลประโยชน์ มทร.รัตนโกสินทร์, 2550
 - 7.3 งานงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ:

1. C. Boonchuay and W. Ongsakul, "Optimal Risky Bidding Strategy for a Generating Company by Self-Organizing Hierarchical Particle Swarm Optimisation," Energy Conversion and Management, vol. 52, no. 2, pp. 1047–1053, 2011.
2. C. Boonchuay, J. Zhong, W. Ongsakul, and F. F. Wu, "Optimal Trading Strategy for GenCo in LMP-Based and Bilateral Markets using Self-organising Hierarchical PSO," International Journal of Engineering, Science and Technology, vol. 3, no. 3, pp. 82–93, 2010.
3. P. Boonyaritdachochai, C. Boonchuay, and W. Ongsakul, "Optimal Congestion Management in Electricity Market Using Particle Swarm Optimization with Time Varying Acceleration Coefficients," Computers & Mathematics with Applications, vol. 60, no. 4, pp. 1068–1077, 2010.
4. W. Ongsakul, A. Saksinchai, and C. Boonchuay, "Multi-Objective Bidding Strategy for GENCO Using Non-dominated Sorting Particle

Swarm Optimization,” International Journal of Applied Decision Sciences, 2011. (in press)

ผลงานวิจัยนำเสนอในงานประชุมวิชาการนานาชาติ:

1. C. Boonchuay, K. Tomsovic, F. Li, and W. Ongsakul, “Robust Optimization-Based Dc Optimal Power Flow For Managing Wind Generation Uncertainty,” 5rd Global Conference on Power Control and Optimization, Dubai, UAE, June 2011.
2. S. Thakur, C. Boonchuay, and W. Ongsakul, “Optimal Hydrothermal Generation Scheduling using Self-Organizing Hierarchical PSO,” IEEE PES General Meeting, Minnesota, USA, July. 2010.
3. A. Saksinchai, C. Boonchuay, and W. Ongsakul, “Multi-Objective Bidding Strategy for GENCO Using Non-dominated Sorting Particle Swarm Optimization,” 3rd Global Conference on Power Control and Optimization, Gold Coast, Australia, Feb. 2010.
4. P. Boonyaritdachochoai, C. Boonchuay, and W. Ongsakul, “Optimal Congestion Management in Electricity Market Using Particle Swarm Optimization with Time Varying Acceleration Coefficients,” 3rd Global Conference on Power Control and Optimization, Gold Coast, Australia, Feb. 2010.
5. C. Boonchuay and W. Ongsakul, “A Risk-Constrained Optimal Bidding Strategy for a Generation Company by IWAPSO,” IEEE PES PowerTech Conf., Bucharest, Romania, Jun. 2009.
6. C. Boonchuay and W. Ongsakul, “An Optimal Bidding Strategy Algorithm for Uniform Price Spot Market by Improved Particle Swarm Optimization,” 3rd Greater Mekong Subregion Academic and Research Network (GMSARN) Inter. conf., Kunming, China Nov. 12–14, 2008.
7. C. Boonchuay and T. Bunyagul, “A Design of High-Speed Digital Algorithm for Power System Frequency Measurement,” Proceedings of the 2005 Electrical Engineering/ Electronics, computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Inter. Conf., Pattaya, Thailand, pp. 787–790, May 2005.

ผลงานวิจัยนำเสนอในงานประชุมวิชาการระดับชาติ:

1. C. Boonchuay, “Design of Phasor Measurement Algorithms Using a Half-cycle Least Error Squares Technique,” Proceedings of the 29th

Electrical Engineering Conf. (EECON), Phuket, Thailand, pp. 345–348, Nov. 2006.

2. **C. Boonchuay** and T. Bunyagul. “A High-Accuracy Algorithm for Power System Frequency Measurement using Adaptive Data Window Techniques to Reduce the Effects of Harmonic Distortions,” Proceedings of the 29th Electrical Engineering Conf. (EECON), Phuket, Thailand, pp. 349–352, Nov. 2006.
3. **C. Boonchuay** and T. Bunyagul, “The Evaluation of A New Algorithm for Power System Frequency Measurement,” Proceedings of the 28th Electrical Engineering Conf. (EECON), Pattaya, Thailand, pp. 333–336, Oct. 2005.

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ: ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

3. ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายอาทิตย์ อยู่เย็น
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Arthit Yooyen
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวกพร้อมหมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน โทรศัพท์มือถือ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
ถ.เพชรเกษม กม.242 ต.หนองแก อ. หัวหิน จ. ประจวบคีรีขันธ์ 77110
หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน 0-3261-8500 ต่อ 4005
โทรสาร 0-3261-8570
โทรศัพท์มือถือ 083-7539209
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) that_91@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ชื่อย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2554	ปริญญาโท	วท.ม.	เทคโนโลยีสารสนเทศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	ไทย
2547	ปริญญาตรี	อส.บ.	เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วช.วังไกลกังวล	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิมหาบัณฑิต) ระบุสาขาวิชาการ
- 6.1 คอมพิวเตอร์โปรแกรมมิ่ง (Computer programming)
 - 6.2 ระบบสื่อสาร (Communication)
 - 6.3 ระบบฐานข้อมูล (Data base)
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย
- 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย: ชื่อแผนงานวิจัย
 - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย: - สถานะโครงการ: -
 - 7.3 งานงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว: ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)