

การศึกษาวิธีการประมาณตำแหน่งภายในอาคาร จากข้อมูลการสื่อสารย่านแสง
ที่มองเห็น

**Studying on Indoor Location Estimation using Visible light
communication**

วรพล เหมยากร
นิพนพิชฌน์ อักษรนิตย์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2555

55EE129

การศึกษาวิธีการประมาณตำแหน่งภายในอาคาร จากข้อมูลการสื่อสารย่านแสง
ที่มองเห็น

**Studying on Indoor Location Estimation using Visible light
communication**

วรพล เหมยากร
นิพนพิชฌน์ อักษรนิตย์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2555

55EE129

หัวข้อโครงการ การศึกษาวิธีการประมาณตำแหน่งภายในอาคารจากข้อมูล
การ สื่อสารย่านแสงที่มองเห็น

โดย นาย วรพล เหมยากร

นาย นิพิชฌน์ อักษรนิตย์

สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา กอเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้นับโครงการวิศวกรรมฉบับ
นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

..... หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พศวีร์ ศรี โหมด)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา กอเจริญ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

รหัสโครงการ 55EE129

การศึกษาวิธีการประมาณตำแหน่งภายในอาคารจากข้อมูลการสื่อสารย่านแสงที่มองเห็น

Studying on Indoor Location Estimation using Visible light communication

บทคัดย่อ (Abstract)

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอการศึกษาวิธีการประมาณตำแหน่งภายในอาคารจากข้อมูลการสื่อสารย่านแสงที่มองเห็นซึ่งได้มีการออกแบบและสร้างสัญญาณ อนุกรมโกลด์จำนวนสี่สัญญาณส่งผ่านเข้าไปในหลอดแอลอีดี เพื่อสร้างระดับของพัลส์ให้มีความสูงแตกต่างกัน ใช้จำแนกพื้นที่ที่รับแสงโดยนำสัญญาณที่รับมาได้มาพิจารณาหาวิธีการประมาณค่าหาตำแหน่งให้เกิดประโยชน์มากขึ้นจากการใช้งานปกติโดยทั่วไปเนื่องจากภายในอาคารทั่วไปมีการติดตั้งหลอดไฟอยู่แล้วทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเล่นนี้จัดทำขึ้นตามเจตนาของภาควิชาการศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ โดยในการจัดทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยการร่วมมือจากหลายฝ่าย
ด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา กอเจริญ อาจารย์ที่
ปรึกษาโครงการเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาและหลักการแนวคิดต่างๆ ในการปฏิบัติโครงการนี้
แก่ผู้จัดทำโดยตลอดมา สิ่งใดที่โครงการนี้มีความผิดพลาดผู้จัดทำจะขอรับแต่เพียงผู้เดียว ส่วน
ความดีความชอบทั้งหลาย ผู้จัดทำขอมอบให้กับผู้สนับสนุนโครงการนี้ทุกๆ ท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 ความสำคัญของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ของโครงการ	2
1.6 โครงสร้างของโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับแสง	4
2.1.1 พลังงานของการส่องสว่าง	5
2.1.2 มุมกรวยตัน	5
2.1.3 ฟลักซ์ส่องสว่าง	5
2.1.4 ความเข้มของการส่องสว่าง	6
2.1.5 ความสว่าง	6

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1.6 ความส่องสว่าง	7
2.1.7 การคำนวณแบบจุดต่อจุด	8
2.2 อุปกรณ์ตรวจจับค่าความเข้มแสง	9
2.3 วงจรภาคส่ง	10
2.3.1 การทำมัลติเพลกซ์เชิงรหัสเพื่อการจำแนกสัญญาณ	10
2.3.2 นิยามของลำดับสัญญาณดิจิทัล	11
2.3.3 การทำ พีรี โอติก โครี เลชั่น และคุณสมบัติอื่นๆ	11
2.3.4 คุณสมบัติของ พีรี โอติก โครี เลชั่น	14
2.3.5 ตัวอย่างการคำนวณ พีรี โอติก โครี เลชั่น	16
2.3.6 ขั้นตอนในการเลื่อน ของลำดับสัญญาณ	18
2.3.7 อนุกรมแบบ เอ็ม	19
2.3.8 ดีฟลิปฟลอป	24
2.3.9 เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต	24
บทที่ 3 การออกแบบโครงงาน	
3.1 การออกแบบวงจรภาพส่ง	26
3.1.1 สร้างสัญญาณในแมทแลป	26
3.1.2 วงจรการสร้างสัญญาณ	27
3.1.3 ไคฟ์เวอร์ แอลอีดี	29
3.1.4 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	30
3.1.5 การออกแบบ จำนวนออกแบบวงจรสัญญาณนาฬิกา	31
3.2 การออกแบบวงจรภาครับ	31

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดลองส่งค่าพัลส์สัญญาณ	33
4.2.1 การกำหนดตัวแปร	38
4.2 การคำนวณความสูงของพัลส์ ที่จุดต่างๆบนพื้นที่รับแสง	33
4.3 การบอกตำแหน่งที่ตั้งของ เซนเซอร์ โดยวิธี บอกเป็นพื้นที่	41
4.4 วิธีบอกพื้นที่ของสัญญาณในการทดลอง	45
4.5 ผลการทดสอบสัญญาณที่จุดต่างๆ	48
4.6 สรุปผลค่าที่ได้จากการทดลอง	56
4.7 การทดสอบสัญญาณพัลส์	58
4.8 การวิเคราะห์หาตำแหน่ง ค่าพิกัด	61
4.9 การทดสอบหาพิกัด	62
4.10 สรุปค่าที่ได้จากการหาพิกัด	67
บทที่ 5 สรุป	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก ก.	70

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การสร้างสัญญาณที่มีความยาวเท่ากับ 5 จำนวน 31 บิต(ตัวอย่างที่1)	22
ตารางที่ 2.2 การสร้างสัญญาณที่มีความยาวเท่ากับ 5 จำนวน 31 บิต(ตัวอย่างที่2)	23
ตารางที่ 2.3 ตารางการสร้างสัญญาณ อนุกรมโคสค์	24
ตารางที่ 2.4 ความจริงวงจรรีเอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต	25
ตารางที่ 4.1 กำหนดค่าระยะที่แปรผกผันระหว่างรงดันกับจุดที่คำนวณได้	35
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการคำนวณความเข้มสัญญาณที่จุด 2 ตามภาพ 4.1	36
ตารางที่ 4.3 ค่าระดับความสูงของพัลส์ที่ได้จาก ค่ารหัสจากจุดต่างๆ	37
ตารางที่ 4.4 พัลส์ที่นำมาใช้งาน	41
ตารางที่ 4.5 วิธีบอกพื้นที่ของสัญญาณในการทดลอง	42
ตารางที่ 4.6 จำนวนวิธีที่จะเกิดชนิดของพัลส์ได้ในการทดสอบ	44
ตารางที่ 4.7 ตารางสรุปผลการทดสอบสัญญาณที่จุดต่างๆ	56

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 โมเดลการติดตั้งหลอดไฟทั้ง 4 หลอด	3
ภาพที่ 2.1 แสดงนิยามของ มุมกรวยต้น	5
ภาพที่ 2.2 แสดงการคำนวณค่าความเข้มของการส่องสว่าง	6
ภาพที่ 2.3 แสดงการคำนวณค่าความส่องสว่าง	7
ภาพที่ 2.4 แสดงการคำนวณค่าความส่องสว่างที่จุดไม่ตั้งฉากกับแสงที่พุ่ง	8
ภาพที่ 2.5 แสดงการพิจารณาค่ามุมที่ใช้อ่านค่าในข้อมูลของดวงโคม ณ จุดใดๆ	9
ภาพที่ 2.6 ลักษณะของไอซีเบอร์รี่ อีแอล7900	10
ภาพที่ 2.7 ระบบ การมัลติเพล็กซ์การหัดสัญญาณ	10
ภาพที่ 2.8 ระบบเชิงเส้น	11
ภาพที่ 2.9 พีรีโอดิก ออโต้โครีเลชั่น	13
ภาพที่ 2.10 พีรีโอดิก คลอสโครีเลชั่น	14
ภาพที่ 2.11 แสดงรูปภาพของผลลัพธ์ พีรีโอดิก ออโต้โครีเลชั่น ตัวอย่างที่ 1	17
ภาพที่ 2.12 แสดงรูปภาพของผลลัพธ์ พีรีโอดิก ออโต้โครีเลชั่น ตัวอย่างที่ 2	18
ภาพที่ 2.13 การป้อนสัญญาณแบบวนกลับ	19
ภาพที่ 2.14 วิธีสร้างอนุกรมโกลด์ 31 ค่า	21
ภาพที่ 2.15 การสร้างสัญญาณอนุกรม สัญญาณเอ	21
ภาพที่ 2.16 สร้างสัญญาณอนุกรม สัญญาณบี	22
ภาพที่ 2.17 แสดงสัญลักษณ์ของ เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต	24
ภาพที่ 3.1 การสร้างสัญญาณโดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม แมทแลป	27
ภาพที่ 3.2 ผลลัพธ์การสร้างสัญญาณส่งจำนวน 4 อนุกรม	27
ภาพที่ 3.3 วงจรในการสร้างสัญญาณอนุกรม เอ	28
ภาพที่ 3.4 วงจรในการสร้างสัญญาณอนุกรม บี	28
ภาพที่ 3.5 วงจรในการสร้างชุดอนุกรมโกลด์	29
ภาพที่ 3.6 วงจรไดร์แอลอีดี	30
ภาพที่ 3.7 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	30
ภาพที่ 3.8 วงจรรับค่าความเข้มแสง	32

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.1 สร้างสัญญาณภาคส่งของหลอดทั้ง 4 ดวง	33
ภาพที่ 4.2 แสดงตำแหน่งในการคำนวณความเข้มของสัญญาณ	34
ภาพที่ 4.3 วงจรที่ใช้ในการสร้างรหัส สัญญาณพัลส์ให้กับหลอดแอลอีดี ทั้ง4หลอด	40
ภาพที่ 4.4 การตั้งตัวรับสัญญาณที่จุดต่างๆบริเวณหลอด แอลอีดี	40
ภาพที่ 4.5 โมเดล โชนพื้นที่รับแสง ใช้ประกอบกับพื้นที่	46
ภาพที่ 4.6 การทดลองวัดค่าสัญญาณ ตามตำแหน่งต่างๆที่ความสูง 100 เซนติเมตร	47
ภาพที่ 4.7ค่าที่ 1 ตั้งตัวรับตรงจุดหลอด 1 ที่ความสูง100 เซนติเมตร	48
ภาพที่ 4.8 ค่าที่ 8 ที่ความสูง 100 เซนติเมตร	49
ภาพที่ 4.9 ค่าที่ 24 ที่ความสูง 100 เซนติเมตร	50
ภาพที่ 4.10 ค่าที่ 16 ที่ความสูง 100 เซนติเมตร	51
ภาพที่ 4.11 ค่าที่ 7 ตรงกับหลอด 2 ที่ความสูง 100 เซนติเมตร	52
ภาพที่ 4.12 ค่าที่ 49 ตรงกับหลอด 2 ที่ความสูง 100 เซนติเมตร	53
ภาพที่ 4.13 ค่าที่ 43 ตรงกับหลอด 4 ที่ความสูง 100 เซนติเมตร	54
ภาพที่4.14 ค่าที่ 53 ที่ความสูง 100 เซนติเมตร	55
ภาพที่ 4.15 ค่าที่ 53ที่ความสูง100 เซนติเมตร(แก้ไข)	58
ภาพที่ 4.16 ค่าสัญญาณที่รับจากบริเวณเส้นวงกลมที่เป็นแนวรอยต่อ พื้นที่โชนในและโชนนอก	59
ภาพที่ 4.17 โชนพื้นที่ทดสอบในการทดลองที่ระยะห่าง 100 เซนติเมตร	60
ภาพที่ 4.18 แสดงค่าพิกัดของหลอดไฟแต่ละหลอด	62
ภาพที่ 4.19 ค่าที่ 1 ตั้งตัวรับตรงจุดหลอด A ที่ความสูง100 เซนติเมตร(แบบหาค่าพิกัด)	63
ภาพที่ 4.20 ค่าพิกัดจริงกับ พิกัดที่ได้จากการทดลอง	66
ภาพที่ 4.21 ค่าพิกัดจริงกับ พิกัดที่ได้จากการทดลองที่วัดตามจุดต่างๆ	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันระบบการสื่อสารส่วนใหญ่จะใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นช่องทางการสื่อสาร เช่นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นต้น ซึ่งได้มีการพัฒนาในเชิงพาณิชย์และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นอกเหนือจากการสื่อสารผ่านช่องทางคลื่นความถี่วิทยุแล้วยังมีการสื่อสารย่านแสงที่มองเห็น (Visible Light Communication: VLC) โดยการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็น หรือ VLC นี้สามารถใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือ ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode: LED) โดยหากใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นแหล่งกำเนิดแสง จะมีความเร็วในการสื่อสารต่ำกว่าการใช้ไดโอดเปล่งแสง นอกจากนี้ทิศทางการใช้งานไดโอดเปล่งแสงในการส่องสว่างก็มีทิศทางการใช้งานอย่างกว้างขวาง โครงการนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการนำไดโอดเปล่งแสงประยุกต์เพื่อ ประมาณตำแหน่งภายในอาคาร จากข้อมูลการสื่อสารย่านแสงที่มองเห็น ทั้งนี้เนื่อง จากในอาคารมีการติดตั้งโคมไฟ เพื่อให้ความสว่างแก่พื้นที่ใช้งานอยู่แล้ว การผสมผสานข้อมูลเพื่อการ ประมาณตำแหน่งภายในอาคาร จากข้อมูลการสื่อสารย่านแสงที่มองเห็นจึง เป็นการประยุกต์การใช้งานเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์หรือระบบอื่นใดจากเดิมมากนัก

1.2 ความสำคัญของปัญหา

การใช้งานคลื่นความถี่วิทยุในการประมาณตำแหน่งภายในอาคาร ด้วยการประมาณจากค่า RSSI มีอุปสรรคจาก Multi-path Effect ทำให้ความคลาดเคลื่อนในการประมาณตำแหน่งมีค่าสูง ทั้งยังมีความจำเป็นจะต้องสร้างระบบเครือข่ายที่มีการระบุตำแหน่งอ้างอิง เพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่ง ซึ่งจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวเพิ่มเติม การเลือกใช้เทคโนโลยีการสื่อสารย่านแสงที่มองเห็นจึงเป็นแนวทางที่จะแก้ไขปัญหาคความคลาดเคลื่อนในการประมาณตำแหน่งได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาวิธีการประมาณตำแหน่งภายในอาคารจากข้อมูลการสื่อสารย่านแสงที่มองเห็น
2. เพื่อศึกษาและสร้างสมการหรือโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง และทิศทางที่แสงตกกระทบ
3. เพื่อศึกษาผลการรับค่าความเข้มแสงและข้อมูลการสื่อสารจากแหล่งกำเนิดแสงจำนวนมาก
4. เพื่อนำผลศึกษาและโมเดลที่ได้ไปเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณตำแหน่งภายในอาคารให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

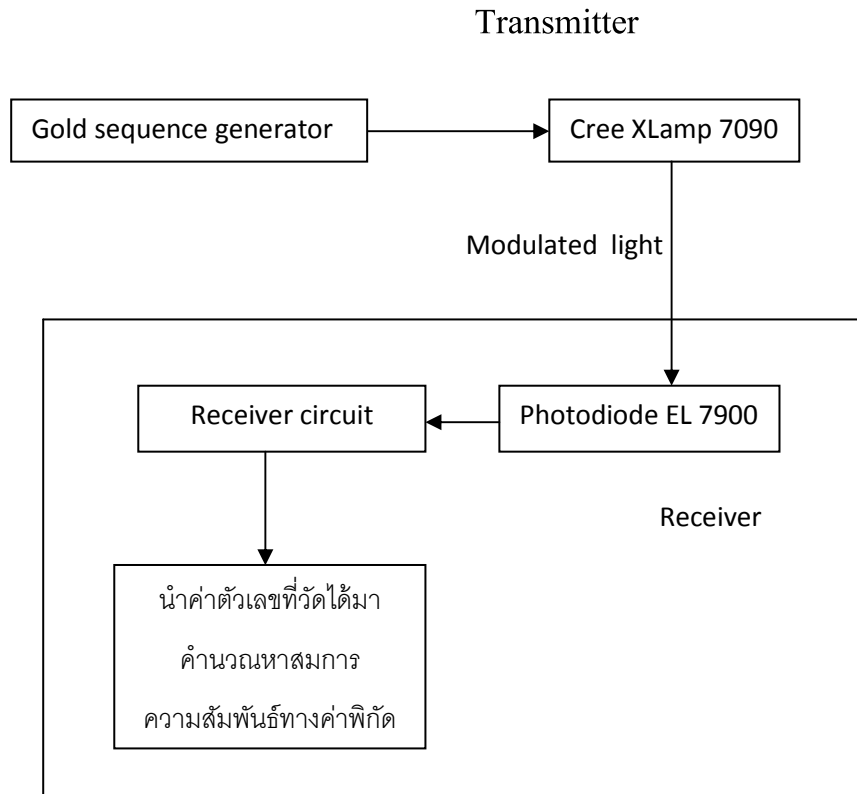
1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาและทดสอบวิธีการประมาณตำแหน่งภายในอาคารจากข้อมูลการสื่อสารย่านแสงที่มองเห็นจากโคมไฟ LED จำนวน 1 ดวงในระดับความสูงต่างๆ
2. ศึกษาและสร้างสมการหรือโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง และทิศทางที่แสงตกกระทบ จากโคมไฟ LED จำนวน 2 ดวง และ 4 ดวง
3. นำผลศึกษาและโมเดลที่ได้ไปเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณตำแหน่งภายในอาคารให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

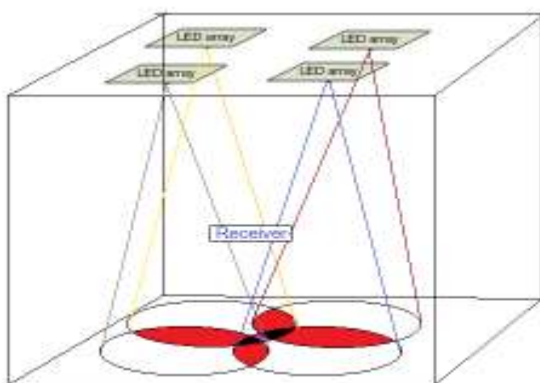
1.5 ประโยชน์ของโครงการ

1. เป็นการบุกเบิกการศึกษากาการใช้การสื่อสารย่านแสงที่มองเห็น
2. ได้สมการหรือโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง และทิศทางที่แสงตกกระทบ
3. เพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณตำแหน่งภายในอาคารให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

1.6 โครงสร้างของโครงการ



System Block diagram



ภาพที่ 1.1 โมเดลการติดตั้งหลอดไฟทั้ง 4 หลอด

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับแสง [1]

พลังงานแสงอาทิตย์ จะเป็นพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar radiation) ประกอบด้วยช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible light) 47.43% ช่วงรังสีอินฟราเรด (Infrared) 44.85 % และช่วงรังสีเหนือม่วง (Ultraviolet) 9.88% ถ้าดูจากสเปกตรัมอาจกล่าวได้ว่า รังสีจากดวงอาทิตย์มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.25-2.5 ไมโครเมตร ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงโลกโดยเรียกว่าค่าคงที่แสงอาทิตย์ (Solar constant) โดยองค์การ NASA กำหนดให้เท่ากับ 1,353 วัตต์ /ตารางเมตร ซึ่งค่านี้จะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์ มีผลต่อค่าคงที่นี้ $\pm 2\%$ และเนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี จึงทำให้ค่าคงที่แสงอาทิตย์นี้เปลี่ยนแปลงไปประมาณ $\pm 3.5\%$ ขึ้นกับระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

เราอาจนิยามความหมายของแสงได้หลายอย่างเช่น แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่ง แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือนิยามอื่นๆ แล้วแต่นักวิทยาศาสตร์แต่ละสาขาจะกล่าวถึงแสงในแง่มุมใดสำหรับวิศวกรรมการส่องสว่างแล้ว แสง คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วงที่ตาคนเราสามารถมองเห็นได้

หน่วยการวัดปริมาณแสงที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรม คือ การวัดในรูปของเส้นแรงของแสง ซึ่งมีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen) และหน่วยที่แสดงการส่องสว่าง หรือความสว่างจะใช้หน่วย ลักซ์ (Lux) ซึ่งเป็นค่าเส้นแรงของแสงที่ตกบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร นั่นคือถ้าพิจารณาพื้นที่รับแสงใดๆ ที่รับแสง ความสว่างหาได้จาก (2.1) – (2.2)

$$\text{Lux} = \text{Lumen}/\text{m}^2 = \text{lm}/\text{m}^2 \quad (2.1)$$

หรือ $E = F/A \quad (2.2)$

เมื่อ F เป็นอัตราพลังงานแสงที่ตกบนพื้น มีหน่วยเป็นลูเมน

A เป็นพื้นที่รับแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร

E เป็นความสว่าง มีหน่วยเป็นลักซ์ ดังนั้น 1 ลักซ์ = 1 ลูเมน ต่อ ตารางเมตร

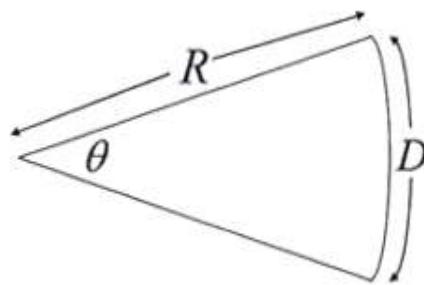
2.1.1 พลังงานของการส่องสว่าง

พลังงานของการส่องสว่าง (Luminous Energy, Q) เป็นค่าพลังงานของแสงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น Lumen-Second

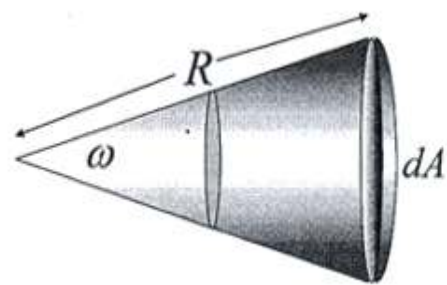
2.1.2 มุมกรวยตัน

มุมกรวยตันหรือ Solid Angle (ω) ดังภาพที่ 2.1 เป็นค่าอัตราส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลมต่อค่ารัศมีของทรงกลมยกกำลังสอง มีหน่วยเป็น Steradian(sr) สามารถเขียนได้ดัง (2.3)

$$\omega = \frac{A_{\text{ทรงกลม}}}{R^2} = \frac{dA}{R^2} \quad (2.3)$$



$$\theta = \frac{D}{R} \quad \text{radian}$$



$$\omega = \frac{dA}{R^2} \quad \text{steradian(sr)}$$

ภาพที่ 2.1 แสดงนิยามของ Solid Angle

2.1.3 ฟลักซ์ส่องสว่าง

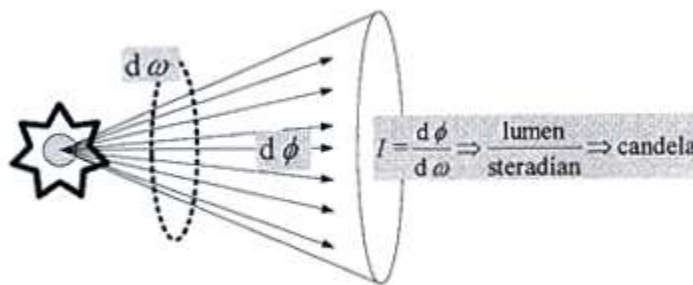
ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux, ϕ) คืออัตราการแผ่พลังงานของแสงต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น Lumen (lm) สมการของ ϕ สามารถแสดงได้ดัง (2.4)

$$\phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2.4)$$

2.1.4 ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity, I)

เป็นค่าความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่กำหนด ต่อค่ามุมกรวยตัน ค่าความเข้มของการส่องสว่างแสดงดังภาพที่ 2.2 เป็นค่าที่แสดงความสามารถของแหล่งกำเนิดแสงในการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนด มีหน่วยเป็น Candela (cd) เขียนได้ดัง (2.5)

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} = \frac{\text{Lumen}}{\text{steradian}} = \text{candela} \quad (2.5)$$



ภาพที่ 2.2 แสดงการคำนวณค่าความเข้มของการส่องสว่าง

2.1.5 ความสว่าง

ความสว่าง (Luminance, L) เป็นค่าฟลักซ์ส่องสว่าง จากจุดที่กำหนดไปยังทิศทางที่กำหนด ต่อพื้นที่ ที่ตกกระทบ (A_θ) ต่อมุมกรวยตัน มีหน่วยเป็น Lumen/m² (Lux) หรือ lumen/ft² (footcandle : fc) สมการแสดงค่าความสว่างเขียนได้ดัง (2.6) – (2.8)

$$L = \frac{d^2\phi}{d\omega dA_\theta} \quad (2.6)$$

หรือจาก

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (2.7)$$

จะได้ว่า

$$L = \frac{dI_\theta}{dA_\theta} \quad (2.8)$$

I_θ เป็นค่าความเข้มของการส่องสว่างในทิศทางที่สนใจ (θ)

2.1.6 ความส่องสว่าง

ความส่องสว่าง (Illumination, E) เป็นค่าฟลักซ์ส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวเล็กๆต่อหน่วยพื้นที่ของพื้นผิวนั้น มีหน่วยเป็น lumen/ft² (footcandle : fc) หรือ lumen/m² (Lux) ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกับค่าความสว่างใน (2.6) สมการของค่าความส่องสว่าง แสดงได้ดัง (2.9) และ (2.10)

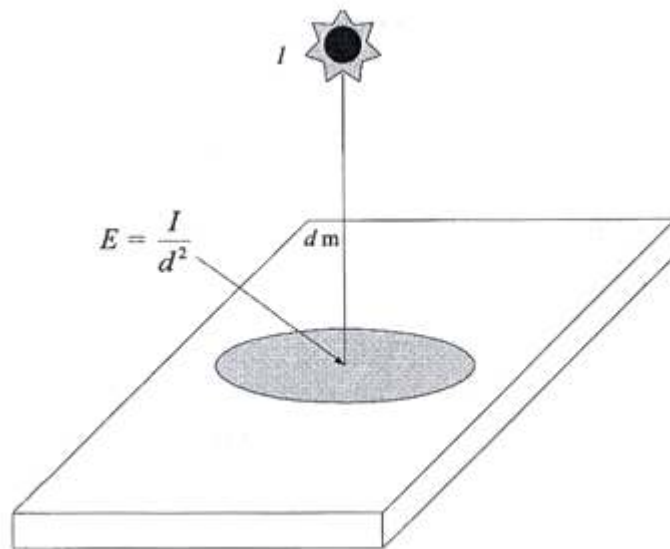
$$E = \frac{d\phi}{dA} \text{ lumen/ft}^2 \text{ (footcandle : fc) หรือ lumen/m}^2 \text{ (Lux)} \quad (2.9)$$

จาก $I = \frac{d\phi}{d\omega}$ นั่นคือ $d\phi = Id\omega$

และ $d\omega = \frac{dA}{R^2}$ นั่นคือ $dA = d\omega R^2$ (2.10)

ดังนั้นที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง d จะมีค่าความส่องสว่างดัง (2.11) เรียกว่า กฎผกผันกำลังสอง (Inverse Square Law)

$$E = \frac{I}{d^2} \text{ lumen/ft}^2 \text{ (footcandle (fc)) หรือ lumen/m}^2 \text{ (Lux)} \quad (2.11)$$



ภาพที่ 2.3 แสดงการคำนวณค่าความส่องสว่าง

การคำนวณด้วยกฎกำลังสองผกผันนั้นจะต้องพิจารณาแสงสว่างที่ส่องมาตั้งฉากกับพื้นผิวที่พิจารณาเท่านั้น ในกรณีที่แสงสว่างส่องทำมุมที่ไม่ตั้งฉากกับพื้นผิวดังภาพที่ 2.4 จะต้องใช้สมการ Cosine Law มาช่วยพิจารณาด้วย จากรูปที่ 2.3 จะได้ว่า

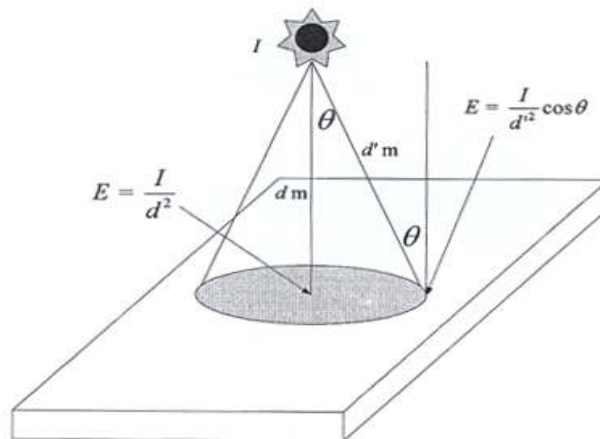
$$I_{AL} = I \cos \theta$$

เมื่อ I_{AL} คือค่าความเข้มแสงในส่วนที่ตั้งฉากกับพื้นผิว และจะได้ดัง (2.12) – (2.14)

$$E_A = \frac{I_{AL}}{d'^2} = \frac{I}{d^2} \cos \theta \quad (2.12)$$

แต่ $d' = \frac{d}{\cos \theta}$ (2.13)

ดังนั้น $E = \frac{I}{d^2} \cos^3 \theta$ (2.14)



ภาพที่ 2.4 แสดงการคำนวณค่าความส่องสว่างที่จุดไม่ตั้งฉากกับแสงที่พุ่ง

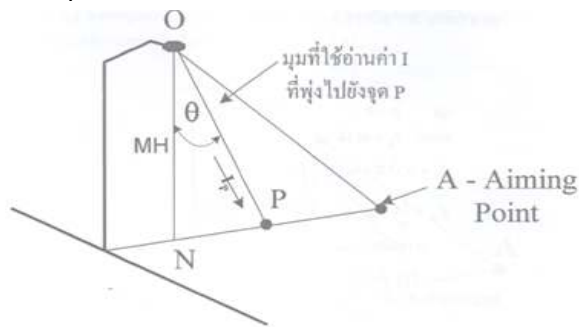
2.1.7 การคำนวณแบบจุดต่อจุด(Point-by-Point)

การคำนวณแบบ จุด-ต่อ-จุด (Point-by-Point Method) เป็นการใช้ข้อมูล Isocandela Curve มาคำนวณหาค่าความส่องสว่าง(Illuminance)ที่จุดใดๆบนพื้นที่ ที่น่าสนใจสามารถทำได้โดยใช้ (2.15) - (2.16) ดังแสดงในภาพที่ 2.5

$$E_p = \frac{I_\theta}{D^2} \cos \theta \quad (2.15)$$

หรือ
$$E_p = \frac{I_\theta}{MH^2} \cos^3 \theta \quad (2.16)$$

- เมื่อ E_p เป็นค่าความส่องสว่างที่จุด P ใดๆ
 I เป็นค่าเข้มของการส่องสว่างที่พุ่งไปยังจุด P
 D ระยะทางจากดวงโคมไปยังจุด P
 MH ความสูงของดวงโคม
 θ มุมระหว่างจุด P กับดวงโคม



ภาพที่ 2.5 แสดงการพิจารณาค่ามุมที่ใช้อ่านค่าในข้อมูลของดวงโคม ณ จุดใดๆ

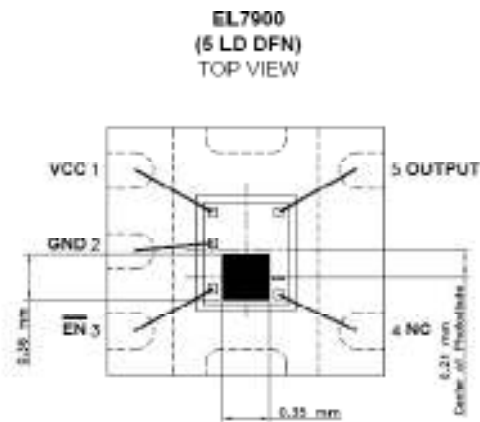
2.2 อุปกรณ์ตรวจจับค่าความเข้มแสง (Light Luminance Sensor)

อุปกรณ์ตรวจจับค่าความเข้มแสง จะทำหน้าที่ในการตรวจวัดค่าความเข้มแสงแล้วแปลงค่าเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น เซอร์ที่นำมาใช้งาน คือ ไอซี เบอร์ EL7900 เป็น ไอซี ที่มีขนาดเล็กมากมีคุณสมบัติในการตรวจวัดค่าความเข้มแสง และให้สัญญาณเอาต์พุตในรูปของกระแสไฟฟ้า มีการรวมวงจรตรวจจับแสง (Photodiode) และวงจรขยายกระแส (Current Amplifier) ไว้ในไอซีตัวเดียวกัน โดยที่วงจรตรวจจับแสงจะมีหน้าที่ในการตรวจวัดค่าความเข้มแสง ซึ่งจะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาในรูปของวงจรกระแสไฟฟ้า และวงจรขยายกระแสทำหน้าที่ขยายสัญญาณกระแสดังกล่าวให้มีค่าสูงขึ้น และส่งออกยังเอาต์พุตของไอซี โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและค่ากระแสเอาต์พุตของไอซีดัง (2.17)

$$I_{out} = \left(\frac{60\mu A}{100lux} \right) \times L_{input} \quad (2.17)$$

เมื่อ L คือ ค่าความสว่างแสง หน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร (Lux)

ลักษณะของไอซีเบอร์ EL7900 เป็นดังภาพที่ 2.6

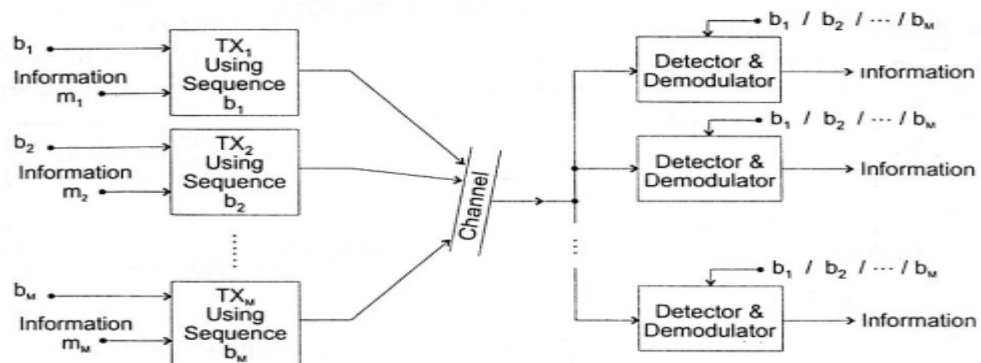


ภาพที่ 2.6 ลักษณะของไอซีเบอร์ EL7900

2.3 วงจรภาคส่ง

2.3.1 การทำมัลติเพล็กซ์เชิงรหัสเพื่อการจำแนกสัญญาณ [2]

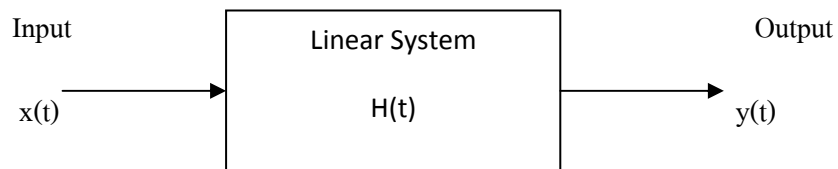
ระบบการส่งผ่านคลื่นแสงโดยทั่วไปจะมีความจุข้อมูลการส่งได้มากกว่าคลื่นวิทยุหรือสายทองแดงที่ใช้ตามระบบการสื่อสารทั่วไป ดังนั้นจะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้คราวละหลายๆ โดยการส่งผ่านแสง ต้องตรวจสอบพลังงานที่รับ unipolar sequence กับค่าที่เหมาะสมระหว่างค่า ACF และ CCF ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ระบบ CDMA

2.3.2 นิยามของลำดับสัญญาณดิจิทัล

การหาค่าการตอบสนองอิมพัลส์ของระบบเชิงเส้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำ PR sequences เพื่อส่งปริมาณของข้อมูลที่ใช้ออกไปเป็นลำดับและสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมากในเวลาต่อมาสำหรับลำดับแบบ PR และวิธีการ shift-registers ถูกนำมาใช้ก่อนที่จะสร้างลำดับชนิดไบนารีหลักการของ shift-registers ใช้หลักพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ของพีชคณิตเชิงเส้น, ทฤษฎีเกี่ยวกับจำนวน โดยระบบไบนารีจะมีความสม่ำเสมอของสัญญาณและมีคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ซึ่งการทดสอบการตอบสนองอิมพัลส์เป็นการทำอัตสหสัมพันธ์ (autocorrelation) และ ฟังก์ชัน crosscorrelation ในการใช้สัญญาณรายคาบ (periodic) และ สัญญาณไม่เป็นรายคาบ (aperiodic) โดยการทดสอบสัญญาณ



ภาพที่ 2.8 : Linear System

สำหรับการทำ correlation จะทำได้โดยเงื่อนไขของฟังก์ชัน cross correlation input-output (CCF) ของระบบเชิงเส้นกับสัดส่วนเมื่อจะพิจารณาระบบเชิงเส้นสามารถใช้ สัญญาณ input ที่สม่ำเสมอแสดงในรูป 2.8 และค่าของเวลาจะต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอจากระบบเชิงเส้นโดยความสัมพันธ์ระหว่างการทำสัญญาณที่สม่ำเสมอ จะทำโดยการเลื่อนบิตไปที่ละบิต

2.3.3 การทำ Periodic Correlation Functions และคุณสมบัติอื่นๆ

- นิยามของ Periodic Correlation Functions [3]

จุดมุ่งหมายในการคำนวณค่า correlation ระหว่างสองสัญญาณคือการวัดระดับสัญญาณสองสัญญาณที่มีความคล้ายคลึงเป็นตัวชี้วัดค่า correlation โดยใช้สัญญาณอื่นหรือการใช้สัญญาณตัวเองซึ่งการใช้ correlation กับสัญญาณการสื่อสารแบบดิจิทัลจะมีค่า correlation ออกมาเป็นค่าในลำดับต่อเนื่อง

ฟังก์ชัน autocorrelation ในระยะระหว่างไบนารีลำดับ (0,1) คือ $\{a_r\} = \{a_0, a_1, a_2, \dots, a_{L-1}\}$ ซึ่งคาบความยาว L สามารถกำหนดได้จาก (2.18)

$$R_a(\tau) = \frac{1}{L} \sum_{r=0}^{L-1} \hat{a}_r \cdot \hat{a}_{r+\tau} \quad (2.18)$$

ค่าการเปลี่ยนแปลงจาก +1 และ -1 จาก $\hat{a}_r = 1 - 2a_r$ โดยค่าสูงสุดของแรงดันจากการทำ correlation โดยปกติจะเป็น 1 จากทางด้านซ้าย ค่าสูงสุดของแรงดัน correlation จากค่าที่ผิดเพี้ยนจะระบุเป็นค่า L ซึ่งสามารถแสดงได้จากสมการที่ 2.19

$$R_a(\tau) = \sum_{r=0}^{L-1} \hat{a}_r \cdot \hat{a}_{r+\tau} \quad (2.19)$$

ค่าผลคูณของ $\hat{a}_r \cdot \hat{a}_{r+\tau}$ คือ การเพิ่มค่าที่เกิดจาก $\hat{a}_r \oplus \hat{a}_{r+\tau}$ ใน mod-2 ซึ่ง $+1 \equiv 0 \pmod{2}$ และ $-1 \equiv 1 \pmod{2}$ ซึ่งตัวอย่างผลคูณของ $-1 \cdot -1 = +1$ และ $-1 \cdot +1 = -1$ L ในกรณีของการเพิ่มค่าจะให้ผลลัพธ์เดียวกับ $1 \oplus 1 = 0 \pmod{2} \equiv +1$ และ $1 \oplus 0 = 1 \pmod{2} \equiv -1$ ดังนั้นการทำ periodic autocorrelation function สามารถกำหนดเป็นค่าผลลัพธ์จากการ correlation ที่ผิดเพี้ยนได้จาก (2.20)

$$R_a(\tau) = \sum_{r=0}^{L-1} \hat{a}_r \oplus \hat{a}_{r+\tau} \quad (2.20)$$

ตัวแปร $\{a_r\}$ คือค่าที่เปลี่ยนแปลงของ 0 และ 1 ใน mod-2

การเพิ่มค่าใน GF(2) จะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็น 1 เมื่อเทียบ 2 บิตออกมาต่างกันและเป็น 0 เมื่อมีค่าที่ตรงกันและจะสามารถวัดออกมาเป็นค่า periodic autocorrelation function โดยทำการเลื่อนบิตออกไปทีละครั้งและทำการรวมผลของสัญญาณ $0s (= \text{Agree}, A_\tau)$ และ $1s (= \text{Disagree}, D_\tau)$ เมื่อสัญญาณออกมาต่างกันซึ่งสามารถเขียนความหมายออกมาได้ (2.21)

$$R_a(\tau) = A_\tau - D_\tau \quad (2.21)$$

ค่า A_τ คือจำนวนของสัญญาณที่ตรงกันและ D_τ คือจำนวนของสัญญาณที่ไม่ตรงกันระหว่างสัญญาณลำดับ $\{\hat{a}_r\}$ หรือ $\{a_r^*\}$ และจะทำการเลื่อนบิต วนซ้ำไปเรื่อยๆจนครบค่าเดิมของสัญญาณค่าของ periodic crosscorrelation function ระหว่าง 2 สัญญาณ $\{a_r\} = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{L-1})$ และ

$\{b_r\} = (b_0, b_1, b_2, \dots, b_{L-1})$ กำหนดให้มีค่าความยาว L ซึ่งสามารถกำหนดเป็นค่าที่แตกต่างกันได้โดยใช้ (2.22)

$$R_{ab}(\tau) = \sum_{r=0}^{L-1} \hat{a}_r \cdot \hat{b}_{r+\tau} \quad (2.22)$$

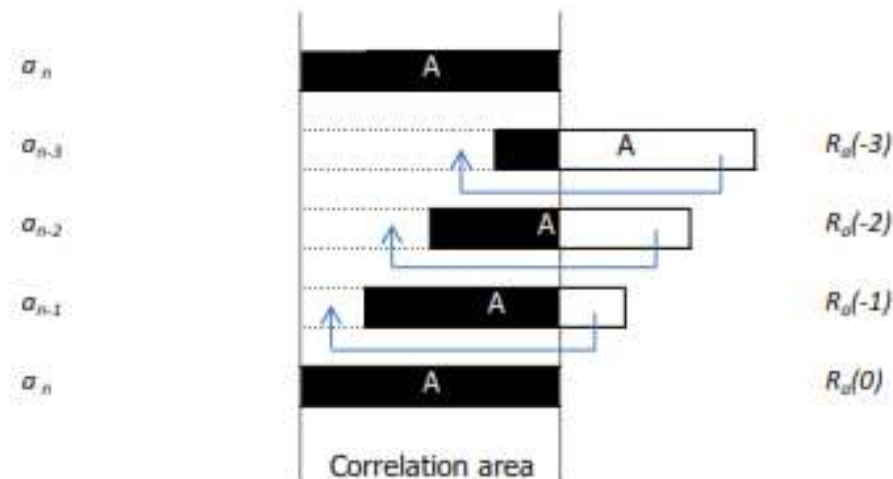
ตัวแปร $\{\hat{a}_r\}$ และ $\{\hat{b}_r\}$ คือค่าของ +1 และ -1 โดยนอกจากนี้ยังสามารถกำหนดให้ค่าความแตกต่างของ mod-2 จาก (2.23)

$$R_{ab}(\tau) = \sum_{r=0}^{L-1} a_r \oplus b_{r+\tau} \quad (2.23)$$

ตัวแปร $\{\hat{a}_r\}$ และ $\{\hat{b}_r\}$ คือค่าของ 0 และ 1 โดยค่าของ periodic crosscorrelation function สามารถเป็นตัวกำหนดการคำนวณ ความเหมือนและความแตกต่างได้ (2.24)

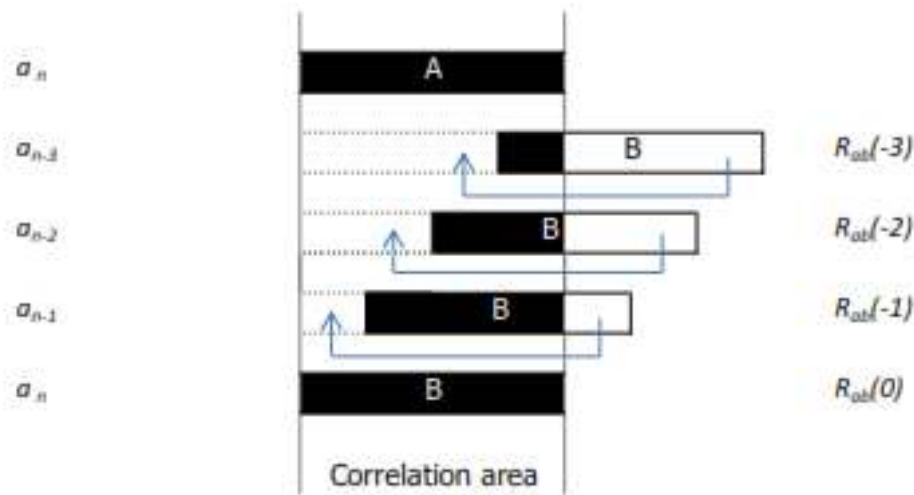
$$R_{ab}(\tau) = A_\tau - D_\tau \quad (2.24)$$

ค่า A_τ คือจำนวนสัญญาณที่คล้ายกันและ D_τ คือจำนวนสัญญาณที่แตกต่างกันระหว่าง $\{a_r\}$ และ a ซึ่งจะทำการ เลื่อนบิตของสัญญาณไปเรื่อยๆจนได้ค่าของ $\{b_r\}$ ออกไป



ภาพที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่าค่า periodic autocorrelation ของสัญญาณ A และมีคาบเป็น L

จากภาพที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าค่า periodic cross correlation ของสัญญาณ A และสัญญาณ B ที่มีคาบ L เท่ากัน



ภาพที่ 2.10 : periodic cross correlation

ค่าสูงสุดของการคำนวณความสัมพันธ์ของการ Correlation C_{max} จะมีกำหนดตาม (2.25)

$$C_{max} = \max\{C_{am}, C_{cm}\} \quad (2.25)$$

ซึ่ง C_{am} เป็นค่าสูงสุดในการคำนวณความสัมพันธ์ของการ autocorrelation และ C_{cm} เป็นค่าสูงสุดในการคำนวณความสัมพันธ์ของการ Crosscorrelation ค่า Merit Factor (MF) เป็นตัวบ่งชี้กับอัตราส่วนของพลังงานของความสัมพันธ์การคำนวณ Correlation โดยเขียนเป็นสมการของการคำนวณค่า Merit Factor ได้เป็น (2.26)

$$MF = \frac{C_a(0)^2}{2 \cdot \sum_{\tau=1}^{L-1} |C_a(\tau)|^2} \quad (2.26)$$

2.3.4 คุณสมบัติของ Periodic Correlation

- ค่า periodic correlation แบบไม่ต่อเนื่องมีคุณสมบัติคือ

1. การทำ autocorrelation ที่มีค่าต่ำกว่า 0 จะมีผลรวมเท่ากับสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมของลำดับที่ได้จากสมการ

$$R_a(0) = \sum_{r=0}^{L-1} a_r^2 \quad (2.27)$$

2. autocorrelation มีค่าสม่ำเสมอเป็นรายคาบ τ ได้จากสมการ

$$R_a(-\tau) = R_a(\tau) \quad (2.28)$$

3. ค่าสูงสุดของ autocorrelation เกิดขึ้นเมื่อ shift จำนวน 0 ครั้ง ได้จากสมการ

$$R_a(0) \geq R_a(\tau), \quad \tau \neq 0 \quad (2.29)$$

4. Cross correlation functions มีคุณสมบัติของความสมมาตร ได้จากสมการ

$$R_{a,b}(\tau) = R_{b,a}(-\tau) \quad (2.30)$$

5. Cross correlation functions มีค่าไม่สม่ำเสมอและมีค่าแรงดันสูงสุดเป็นค่าอื่น ๆ นั้นไม่จำเป็นต้องมีคาบเวลา $\tau=0$

6. ถ้า $c = a \pm b$ ซึ่ง a และ b ไม่สามารถทำการ correlation ได้ $R_{a,b}(\tau) = R_{b,a}(\tau) = 0$, จะมากกว่า

$$R_c(\tau) = R_a(\tau) + R_b(\tau)$$

7. ถ้า a, b, c, d เป็นสัญญาณรายคาบ เมื่อ

$$\sum_{\tau=0}^{N-1} R_{a,c}(\tau) [R_{b,d}(\tau + m)]^* = \sum_{\tau=0}^{N-1} R_{a,b}(\tau) [R_{c,d}(\tau + m)]^*$$

จะต้องกำหนดให้ $c=d$ และ $a=b$

$$\sum_{\tau=0}^{N-1} R_{b,c}(\tau) [R_{b,c}(\tau + m)]^* = \sum_{\tau=0}^{N-1} R_b(\tau) [R_c(\tau + m)]^*$$

ซึ่งให้ค่า $m=0$

$$\sum_{\tau=0}^{N-1} |R_{b,c}(\tau)|^2 = \sum_{\tau=0}^{N-1} R_b(\tau) [R_c(\tau)]^*$$

2.3.5 ตัวอย่างการคำนวณ Periodic Correlation

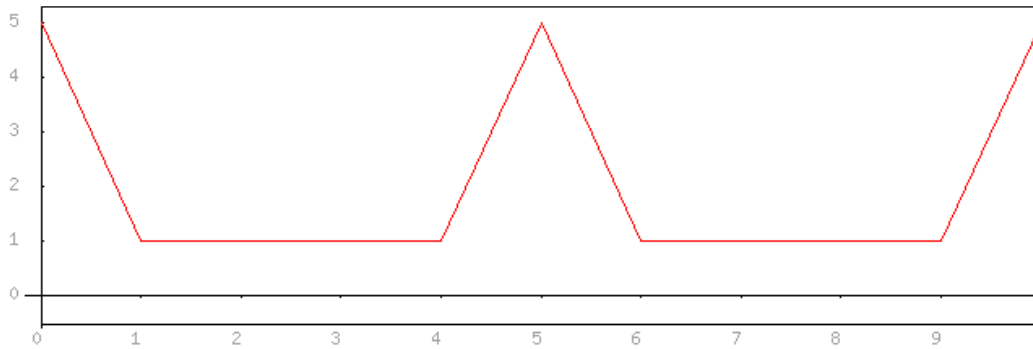
เริ่มจากกำหนดค่า A คือความเหมือนระหว่าง 2 สัญญาณ และ D คือความแตกต่างระหว่าง 2 สัญญาณ

ตัวอย่างที่ 1 เป็นการคำนวณ Binary periodic autocorrelation function ของลำดับสัญญาณ

$$\{a_n\} = (00010)$$

	$a_n \cdot a_n$	$A_\tau - D_\tau$	$a_n \oplus a_n$	
$\{a_n\}$:	+++ - +	0 0 0 1 0	0 0 0 1 0	
$\{a_n\}$:	<u>+++ - +</u>	<u>0 0 0 1 0</u>	<u>0 0 0 1 0</u>	
	++++ +	A A A A A	0 0 0 0 0	$R_a(0) = 5$
$\{a_n\}$:	+++ - +	0 0 0 1 0	0 0 0 1 0	
$\{a_{n+1}\}$:	<u>++- + +</u>	<u>0 0 1 0 0</u>	<u>0 0 1 0 0</u>	
	++-- +	A A D D A	0 0 1 1 0	$R_a(1) = 1$
$\{a_n\}$:	+++ - +	0 0 0 1 0	0 0 0 1 0	
$\{a_{n+2}\}$:	<u>+ - + + +</u>	<u>0 1 0 0 0</u>	<u>0 1 0 0 0</u>	
	+ - + - +	A D A D A	0 1 0 1 0	$R_a(2) = 1$
$\{a_n\}$:	+++ - +	0 0 0 1 0	0 0 0 1 0	
$\{a_{n+3}\}$:	<u>- + + + +</u>	<u>1 0 0 0 0</u>	<u>1 0 0 0 0</u>	
	<u>- + + - +</u>	D A A D A	1 0 0 1 0	$R_a(3) = 1$
$\{a_n\}$:	+++ - +	0 0 0 1 0	0 0 0 1 0	
$\{a_{n+4}\}$:	<u>+++ + -</u>	<u>0 0 0 0 1</u>	<u>0 0 0 0 1</u>	
	+++ - -	A A A D D	0 0 0 1 1	$R_a(4) = 1$

จะได้ผลลัพธ์ periodic autocorrelation $\{R_a(\tau)\} = (5, 1, 1, 1, 1)$



ภาพที่ 2.11 แสดงรูปกราฟของผลลัพท์ periodic autocorrelation $\{R_a(\tau)\} = (5,1,1,1,1)$

$$\text{Merit Factor} = \frac{5^2}{2 \times (1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2)} = 3.125$$

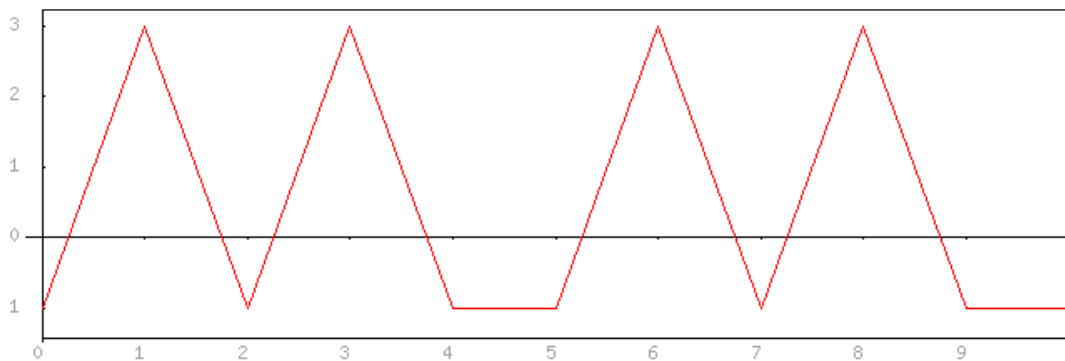
ตัวอย่าง 2 เป็นการคำนวณ Binary periodic crosscorrelation function ระหว่างสัญญาณ

$\{a_n\} = (00010)$ และ $\{b_n\} = \{01001\}$

	$a_n \cdot a_n$	$A_\tau - D_\tau$	$a_n \oplus a_n$	
$\{a_n\}$:	+++ - +	0 0 0 1 0	0 0 0 1 0	
$\{b_n\}$:	<u>+-++-</u>	0 1 0 0 1	0 1 0 0 1	
	+ - + - -	A D A D D	0 1 0 1 1	$R_{ab}(0) = -1$
$\{a_n\}$:	+++ - +	0 0 0 1 0	0 0 0 1 0	
$\{b_{n+1}\}$:	<u>-++-+</u>	1 0 0 1 0	1 0 0 1 0	
	<u>-++++</u>	D A A A A	1 0 0 0 0	$R_{ab}(1) = 3$
$\{a_n\}$:	+++ - +	0 0 0 1 0	0 0 0 1 0	
$\{b_{n+2}\}$:	<u>++-+-</u>	0 0 1 0 1	0 0 1 0 1	
	+ + - - -	A A D D D	0 0 1 1 1	$R_{ab}(2) = -1$
$\{a_n\}$:	+++ - +	0 0 0 1 0	0 0 0 1 0	
$\{b_{n+3}\}$:	<u>+-+-+</u>	0 1 0 1 0	0 1 0 1 0	
	+ - + + +	A D A A A	0 1 0 0 0	$R_{ab}(3) = 3$

$$\begin{array}{rcccl}
\{a_n\}: & + + + - + & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
\{b_{n+4}\}: & \underline{- + - + +} & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
& \underline{- + - - +} & & & & & & & & & & & & & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & & R_{ab}(4) = -1
\end{array}$$

จะได้ผลลัพธ์ periodic crosscorrelation $\{R_{ab}(\tau)\} = (-1, 3, -1, 3, -1)$



ภาพที่ 2.12 แสดงรูปภาพของผลลัพธ์ periodic autocorrelation $\{R_{ab}(\tau)\} = (-1, 3, -1, 3, -1)$

$$\text{Merit Factor} = \frac{3^2}{2x((-1^2)+3^2+(-1^2)+(-1^2))} = 0.375$$

2.3.6 ขั้นตอนในการเลื่อนบิตของลำดับสัญญาณ

กำหนดให้ $a = \{a_n\} = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{N-2}, a_{N-1})$ เป็นค่าระยะห่างของสัญญาณ และกำหนด T เป็นการเลื่อนสัญญาณไปทางซ้ายหนึ่งบิต

ตัวอย่าง 3 เป็นการแสดงการ เลื่อนบิตของสัญญาณ

$$\begin{array}{rcl}
a & = & 1000010010110011111000110111010 \\
Ta & = & 0000100101100111110001101110101 \\
T^2a & = & 0001001011001111100011011101010 \\
--- & = & ----- \\
T^N a = a & = & 1000010010110011111000110111010
\end{array}$$

ดังนั้น คาบที่เกิดสามารถเป็นตัวกำหนดค่าบวกจำนวนเต็ม N ซึ่งจะทำให้ $T^N a = a$ สอดคล้องกับการกำหนด T^{-1} ให้ ค่าบิตเลื่อนไปทางขวา ทำให้มองเห็นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายที่ $T^{-k} a = T^{N-k} a$ สำหรับ $0 < k < N$ และ $T^{-N} a = a, \Sigma(T^k a) = \Sigma a$

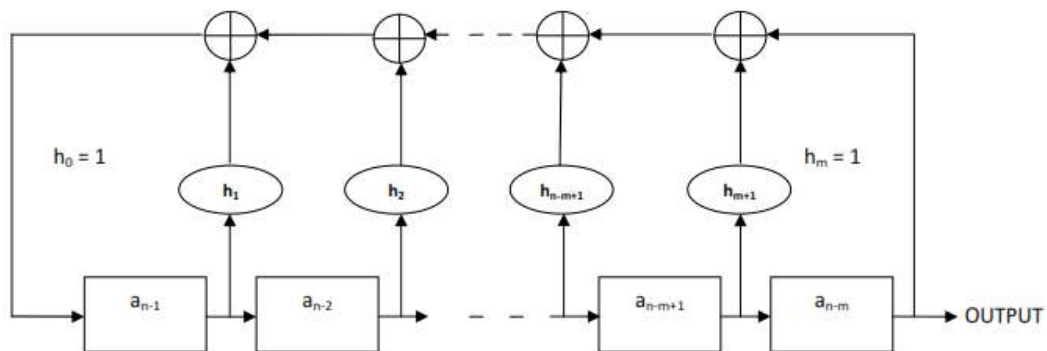
กำหนด $a = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{N-2}, a_{N-1})$ เป็นค่าตรงข้ามกับ $\{b_n\} = (a_{N-1}, a_{N-2}, \dots, a_2, a_1, a_0)$ เรียกว่า ลำดับแบบตรงข้ามหรือ ส่วนกลับของลำดับ a

2.3.7 m-sequences

- Shift Registers และการทำ Polynomials เบื้องต้น

ความยาวสูงสุดของสัญญาณ ในการ shift-register sequences หรือ m-sequences จะนำมาใช้ได้ดีกับ pseudo-random sequences (PR) และจำเป็นต้องใช้คุณสมบัติการสุ่มเพื่อที่จะสร้าง m-sequences ที่มีความยาวของสัญญาณ $N = 2^m - 1$ โดยใช้หลักการพื้นฐานของ Irreducible polynomial over GF2 ได้จาก (2.31)

$$h(x) = h_0 x^m + h_1 x^{m-1} + h_2 x^{m-2} + \dots + h_{m-1} x + h_m = \sum_{i=0}^m h_i x^{m-i} \quad (2.31)$$



$$x^m + h_1 x^{m-1} + h_2 x^{m-2} + \dots + h_{m-2} x^2 + h_{m-1} x + 1$$

ภาพที่ 2.11 feedback shift register Corresponding จาก $h(x)$

$h_0 = h_m = 1$ ค่า polynomial จะถูกกำหนดป้อนกับเป็นทางตรงโดยการ shift register แสดงให้เห็นในภาพ 2.11 ประกอบด้วยบิต $a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_{n-m+1}, a_{n-m}$ แทนหน่วยความจำของค่าอุปกรณ์หรือ flip-flops ซึ่งแต่ละหน่วยจะประกอบด้วย 0 หรือ 1 ในแต่ละช่วงเวลาจะมีการเปลี่ยนแปลง ค่าที่อยู่ ในบิตจะถูกเลื่อนบิต 1 บิตไปทางขวาทุกครั้ง que เปลี่ยน state และบิตแต่ละบิตจะถูกกำหนด

ในรูปสมการ $h(x)$ ที่มีการเพิ่มค่าและป้อนสัญญาณกลับไปทางบล็อคนที่ 1 ด้านซ้ายมือ ดังนั้นในภาพ จะแสดงให้เห็นว่า การ exclusive-or gate ที่กำหนดให้ $0+0 = 1+1 = 0$; $0+1=1+0=1$ โดยเลือกใช้ ตาราง Irreducible polynomial GF(2) ที่ใช้หลักการป้อนกลับของสัญญาณระหว่างเชื่อมต่อออกไป ที่เอาที่พุท จากบล็อคน ถ้า $h_i=1$ และ ไม่มีการป้อนกลับถ้า $h_i=0$ จนได้ค่ากลับมาที่ state เริ่มต้น โดย ความยาวสูงสุดของสัญญาณที่เป็นไปได้คือ $a_n=2^m-1$

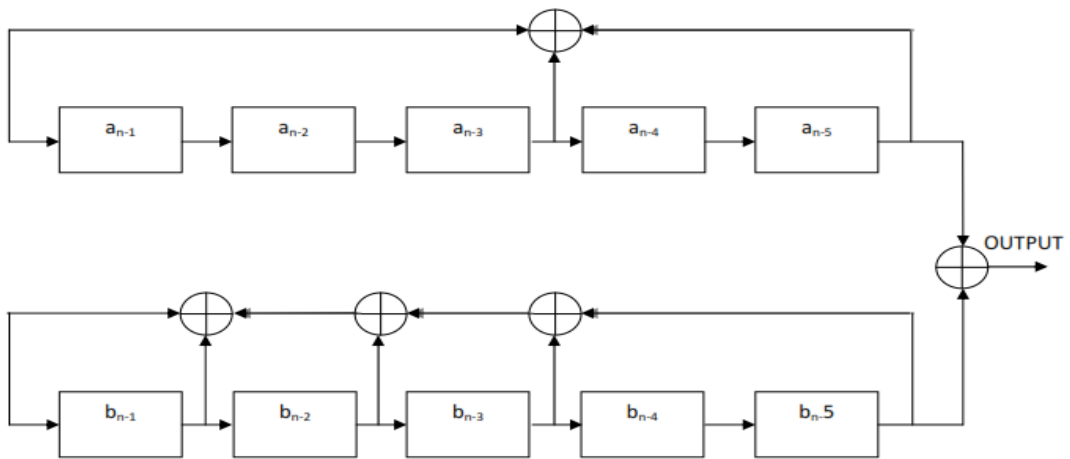
ถ้า $h(x)$ คือ polynomial ที่มีเลขชี้กำลังเป็น m การ shift register จะมีรูปแบบเป็น 2^m-1 ซึ่งไม่สามารถมีรูปแบบที่เป็น 0 ทั้ง state หลังจากชำระรายคาบของสัญญาณและสัญญาณลำดับที่ออกมาจะเป็น $a_0a_1a_2\dots$ มีคาบเป็น 2^m-1 เรียกเป็นชื่อกลุ่มสัญญาณ $a_1a_{i+1}\dots a_{i+2^m-2}$ ที่มีความยาว 2^m-1 คาบ ลำดับที่ m อธิบายว่าถ้าค่าความต่าง ของ state เริ่มต้นที่ไม่เป็น 0 ทั้งหมดสามารถนำมาใช้ได้ และจะเกิดความ สม่่าเสมอของสัญญาณเมื่อ shift register ตลอดเวลา สัญญาณลำดับที่ออกมาที่เอาที่พุทใหม่นั้นเป็น เพียงแค่การ เลื่อนสัญญาณ $a_0a_1a_2\dots$, เช่น $a_1a_2\dots$ ด้วยเหตุนี้การตั้งค่าความคล้อยของลำดับ pseudo-random(PR) ที่ได้รับจาก 0 จำนวนหนึ่งในค่าเริ่มต้น จึงเป็นค่านอกเหนือจากการเลื่อนบิต

- การสร้าง Gold Sequences

การสร้างลำดับอื่นๆ ที่ความยาวของสัญญาณเป็น $N = 2^m-1$ ซึ่งมีการจำกัดความคล้อยอยู่ใน รูป $R_{\max} < 1 + 2^{-(m+2)/2}$ บนค่าสูงสุดของ periodic cross correlation มีค่าความยาวสูงสุดขึ้นอยู่กับการตั้ง ค่าเริ่มต้น $h(x)$ เริ่มจากการนำสัญญาณ 2 สัญญาณมา X-OR ซึ่งแรงดันที่ได้ออกมาต้องมี ตำแหน่ง ตรงกัน โดยป้อนค่าแรงดัน 1 พร้อมกัน

การสร้างชุดอนุกรมสัญญาณ Gold sequences ดัง(2.32)สามารถสร้างจากคู่ของลำดับ m ที่ ต้องการ เช่นสัญญาณ $a = \{a_n\}$ และ $b = \{b_n\}$ คู่ที่ต้องการนำมาใช้ ต้องเป็นลำดับที่ m ซึ่งมีความยาวเป็น $N = 2^m-1$ สร้างมาจากภาพที่ 2.12

$$G(a,b) = \{ a, b, a \oplus b, a \oplus Tb, a \oplus T^2b, \dots, a \oplus T^{N-1}b \} \quad (2.32)$$



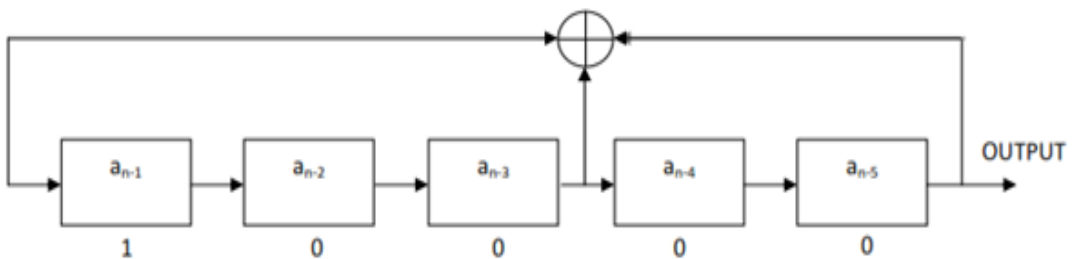
ภาพที่ 2.12 Generators Gold sequences of period 31

ด้วยเหตุนี้ ค่าความต่างของ 2 สัญญาณจากแหล่งจ่ายสามารถสร้างได้จากที่แสดงในภาพที่ 2.12 ในสัญญาณที่จ่ายส่วนล่าง state เริ่มต้นถูกป้อนกลับโดย shift register ตรงกันกับ $h_1(x)$ ซึ่งตั้งค่าเป็น 10000 และ state เริ่มต้นถูกป้อนกลับในเวลาเดียวกันโดย shift register ตรงกับ $h_2(x)$ ซึ่งตั้งค่าเป็น 01000 จนกว่า gold sequences ที่สร้างจะตรงกัน

M-sequences

การสร้างรหัสของสัญญาณ a

$$h_1(x) = x^5 + x^2 + 1$$



ภาพที่ 2.13 การสร้างสัญญาณอนุกรม a จาก irreducible Polynomials over GF(2)

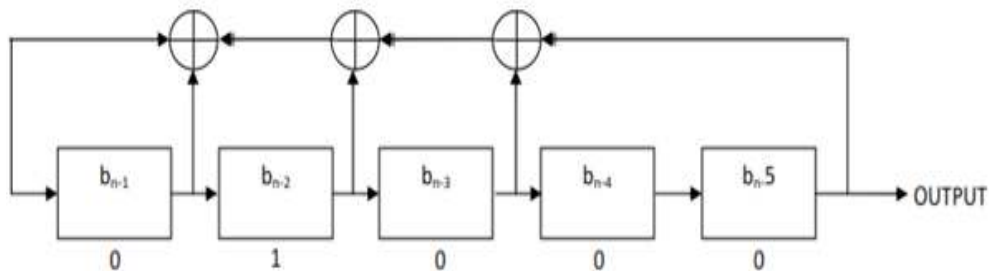
ตารางที่ 2.1 การสร้างสัญญาณมีคาบ $m = 5$, $N=2^m - 1 = 31$ จาก $h(x) = x^5 + x^2 + 1$

State No Sequence	State	output	$a_{n-3} \oplus a_{n-5}$
0	1 0 0 0	0	$0 \oplus 0 = 0$
1	0 1 0 0	0	$0 \oplus 0 = 0$
2	0 0 1 0	0	$1 \oplus 0 = 1$
3	1 0 0 1	0	$0 \oplus 0 = 0$
4	0 1 0 0	1	$0 \oplus 1 = 1$
5	1 0 1 0	0	$1 \oplus 0 = 1$
6	1 1 0 1	0	$0 \oplus 0 = 0$
7	0 1 1 0	1	$1 \oplus 1 = 0$
8	0 0 1 1	0	$1 \oplus 0 = 1$
9	1 0 0 1	1	$0 \oplus 1 = 1$
10	1 1 0 0	1	$0 \oplus 1 = 1$
11	1 1 1 0	0	$1 \oplus 0 = 1$
12	1 1 1 1	0	$1 \oplus 0 = 1$
13	1 1 1 1	1	$1 \oplus 1 = 0$
14	0 1 1 1	1	$1 \oplus 1 = 0$
15	0 0 1 1	1	$1 \oplus 1 = 0$
16	0 0 0 1	1	$0 \oplus 1 = 1$
17	1 0 0 0	1	$0 \oplus 1 = 1$
18	1 1 0 0	0	$0 \oplus 0 = 0$
19	0 1 1 0	0	$1 \oplus 0 = 1$
20	1 0 1 1	0	$1 \oplus 0 = 1$
21	1 1 0 1	1	$0 \oplus 1 = 1$
22	1 1 1 0	1	$1 \oplus 1 = 0$
23	0 1 1 1	0	$1 \oplus 0 = 1$
24	1 0 1 1	1	$1 \oplus 1 = 0$
25	0 1 0 1	1	$0 \oplus 1 = 1$
26	1 0 1 0	1	$1 \oplus 1 = 0$
27	0 1 0 1	0	$0 \oplus 0 = 0$
28	0 0 1 0	1	$1 \oplus 1 = 0$
29	0 0 0 1	0	$0 \oplus 0 = 0$
30	0 0 0 0	1	$0 \oplus 1 = 1$
31	1 0 0 0	0	$0 \oplus 0 = 0$

Output Sequence a : 0000100101100111110001101110101

การสร้างรหัสของสัญญาณ b

$$h_2(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$



ภาพที่ 2.14 สร้างสัญญาณอนุกรม b จาก irreducible Polynomials over GF(2)

ตารางที่ 2.2 การสร้างสัญญาณ ที่มีคาบ $m = 5$, $N=2^m - 1 = 31$ จาก

$$h(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$

State No Sequence	State	Out put	$b_{n-1} \oplus b_{n-2} \oplus b_{n-3} \oplus b_{n-5}$
0	0 1 0 0	0	$0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$
1	1 0 1 0	0	$1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$
3	1 0 1 0	0	$1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$
3	1 0 1 0	1	$1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 = 1$
	1 1 0 1	0	$1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 = 0$
5	0 1 1 0	1	$0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1$
6	1 0 1 1	0	$1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 0$
7	0 1 0 1	1	$0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0$
8	0 0 1 0	1	$0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$
9	0 0 0 1	0	$0 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$
10	0 0 0 0	1	$0 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$
11	1 0 0 0	0	$1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0 = 1$
	1 1 0 0	0	$1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 = 0$
13	0 1 1 0	0	$0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$
	0 0 1 1	0	$0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$
15	1 0 0 1	1	$1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 = 0$
16	0 0 1 0	0	$0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 1$
18	1 0 0 1	0	$1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0 = 1$
19	1 1 0 0	1	$1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 = 1$
	1 1 1 0	0	$1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 = 1$
	1 1 1 1	0	$1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 = 1$
	1 1 1 1	1	$1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0$
	0 1 1 1	1	$0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 = 1$
	1 0 1 1	1	$1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 = 1$
	1 1 0 1	1	$1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 = 1$
	1 1 1 0	1	$1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 = 0$
	0 1 1 1	0	$0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 = 0$
	0 0 1 1	1	$0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0$
	0 0 0 1	1	$0 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$
30	1 0 0 0	1	$1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 = 0$
31	0 1 0 0	0	$0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$

Output Sequence b : 0001010110100001100100111110111

การสร้างรหัสของสัญญาณ Tb จากเข้าพุดสัญญาณ b โดยจะทำการเลื่อนไปหนึ่งบิตจะได้เป็น

$$b = 0001010110100001100100111110111$$

$$Tb = 0010101101000011001001111101110$$

การสร้างรหัสของสัญญาณ T²b จากเข้าพุดสัญญาณ b โดยจะทำการเลื่อนไปสองบิตจะได้เป็น

$$b = 0001010110100001100100111110111$$

$$T^2b = 0101011010000110010011111011100$$

การสร้างรหัสของสัญญาณ T³b จากเข้าพุดสัญญาณ b โดยจะทำการเลื่อนไปสามบิตจะได้เป็น

$$b = 0001010110100001100100111110111$$

$$T^3b = 1010110100001100100111110111000$$

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างตารางการสร้างสัญญาณ Gold Sequences จำนวน 6 อนุกรมจากอนุกรมสูงสุดที่สร้างได้คือ 33 อนุกรม

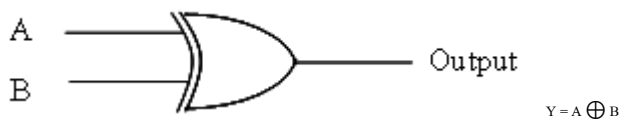
No	G(a,b)	Gold Sequences
1	a	0000100101100111110001101110101
2	b	0001010110100001100100111110111
3	$a \oplus b$	0001110011000110010101010000010
4	$a \oplus Tb$	0010001000100100111000010011011
5	$a \oplus T^2b$	0101111111100001100010010101001
6	$a \oplus T^3b$	1010010001101011010110011001101

2.3.8 ดี ฟลิปฟลอป (D Flip Flop)

ดี ฟลิปฟลอป เป็นฟลิปฟลอปที่ใช้ในการเก็บหรือจดจำสถานะลอจิกที่ป้อนเข้ามาที่อินพุตให้คงอยู่ที่เอาต์พุตจนกว่าจะเปิดไฟเลี้ยง หรือจนกว่าจะป้อนอินพุตตัวใหม่เข้ามา ซึ่งดี ฟลิปฟลอปนี้เป็นโครงสร้างเบื้องต้นของหน่วยความจำแบบสแตติกแรม

2.3.9 เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต (Exclusive-OR Gate)

เอ็กซ์คลูซีฟออร์เกต เรียกสั้นๆว่า EX-OR หรือ XOR เกต คุณสมบัติทางลอจิกก็คือ เอาต์พุตจะเป็นลอจิก “0” ก็ต่อเมื่ออินพุตทุกอินพุตมีลอจิกเหมือนกันคือเป็นลอจิก “0” ทุกอินพุต หรือเป็นลอจิก “1” ทุกอินพุตและเอาต์พุตจะเป็นลอจิก “1” ก็ต่อเมื่ออินพุตมีลอจิกต่างกัน



ภาพที่ 2.15 แสดงสัญลักษณ์ของ Exclusive OR Gate

ตารางที่ 2.4 ค่าความจริงวงจร Exclusive OR Gate

อินพุต		เอาต์พุต
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

บทที่ 3

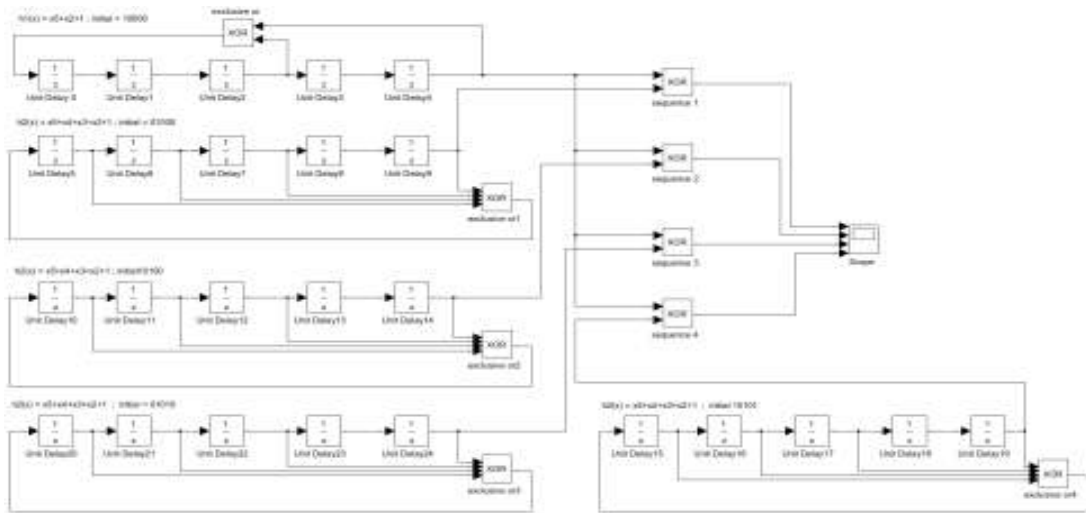
การออกแบบโครงงาน

3.1 การออกแบบวงจรภาพส่ง

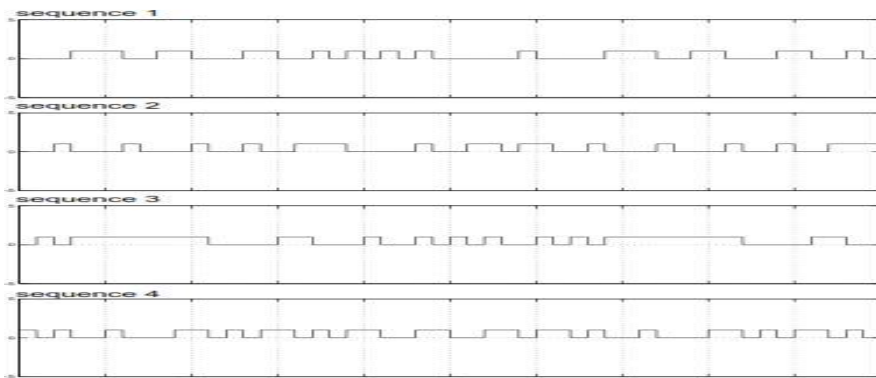
3.1.1 สร้างสัญญาณใน matlab simmulink

เนื่องจากปัจจุบันนั้นคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์ และคำนวณในงานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งในโครงงานนั้นจะจำลองการสร้างสัญญาณ m-sequence โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่มีการเพิ่มส่วนของ simulink block set เข้ามาทำการสร้างสัญญาณการจำลองการสร้างสัญญาณสมการพื้นฐานในการสร้างสัญญาณ $h(x) = h_0x^m + h_1x^{m-1} + h_2x^{m-2} + \dots + h_{m-1}x + h_m = \sum_{i=0}^m h_i x^{m-i}$ แสดงในภาพที่ 3.1

การสร้างรหัสของสัญญาณเราเลือกใช้สมการพื้นฐานในการสร้างสัญญาณ $h_1(x) = x^5 + x^2 + 1$ โดยกำหนดค่า Initial states หรือค่าเริ่มต้น = 00001 และการสร้างรหัสของสัญญาณ B สมการพื้นฐานในการสร้างสัญญาณ $h_2(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ โดยกำหนดค่า Initial states หรือค่าเริ่มต้น = 01000 และการสร้างรหัสของสัญญาณ TB โดยการเปลี่ยนค่า Initial states หรือค่าเริ่มต้น = 10100 และการสร้างรหัสของสัญญาณ T^2B โดยการเปลี่ยนค่า Initial states หรือค่าเริ่มต้น = 01010 และการสร้างรหัสของสัญญาณ T^3B โดยการเปลี่ยนค่า Initial states หรือค่าเริ่มต้น = 10101 จะได้สัญญาณทั้ง 4 ตัวจากการประมวลผลทางคณิตศาสตร์โดยการนำสัญญาณ $A \oplus B, A \oplus TB, A \oplus T^2B, A \oplus T^3B$ ตามลำดับซึ่งจะให้ค่าผลลัพธ์ดังภาพที่ 3.2



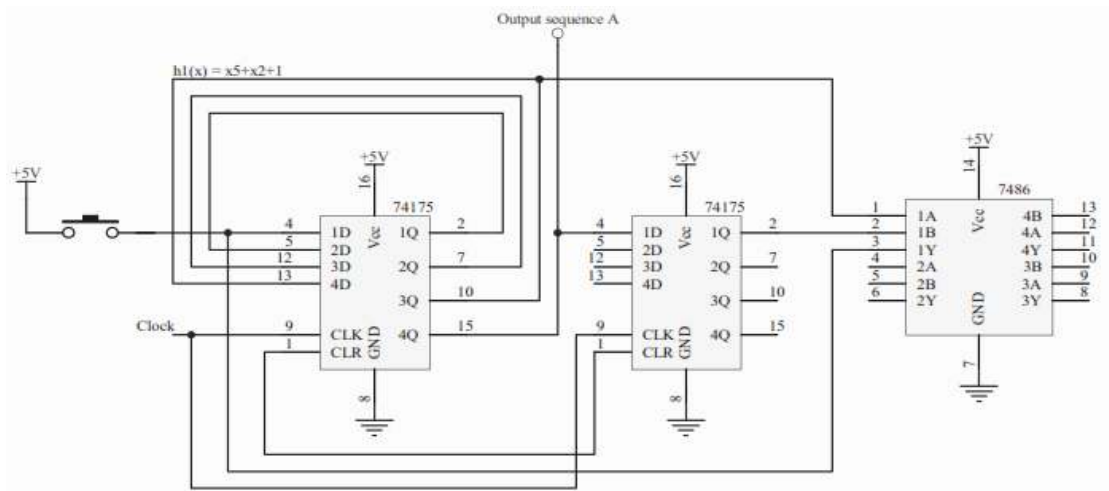
ภาพที่ 3.1 การสร้างสัญญาณ โดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม Matlab



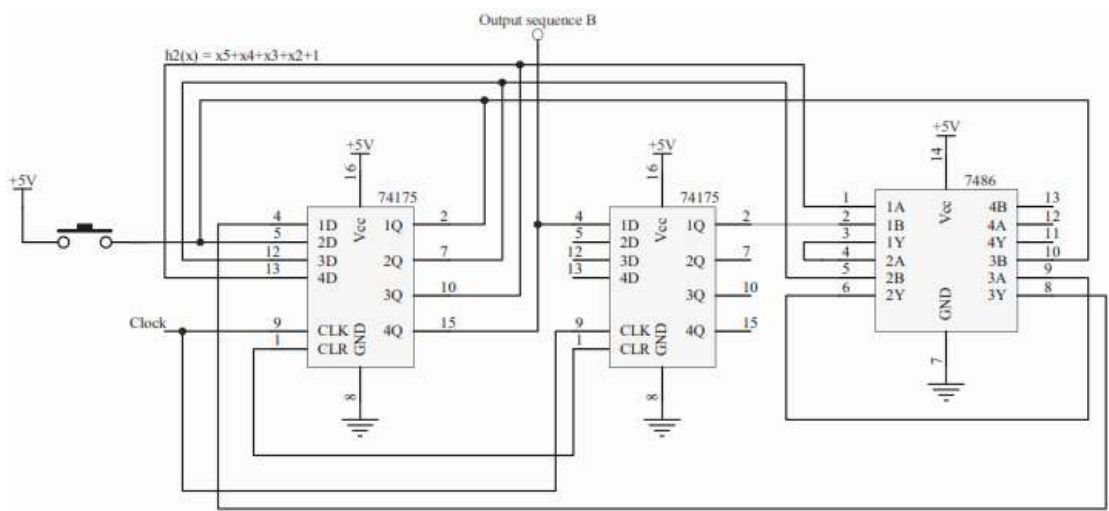
ภาพที่ 3.2 ผลลัพธ์การสร้างสัญญาณส่งจำนวน 4 อนุกรม

3.1.2 วงจรการสร้างสัญญาณ

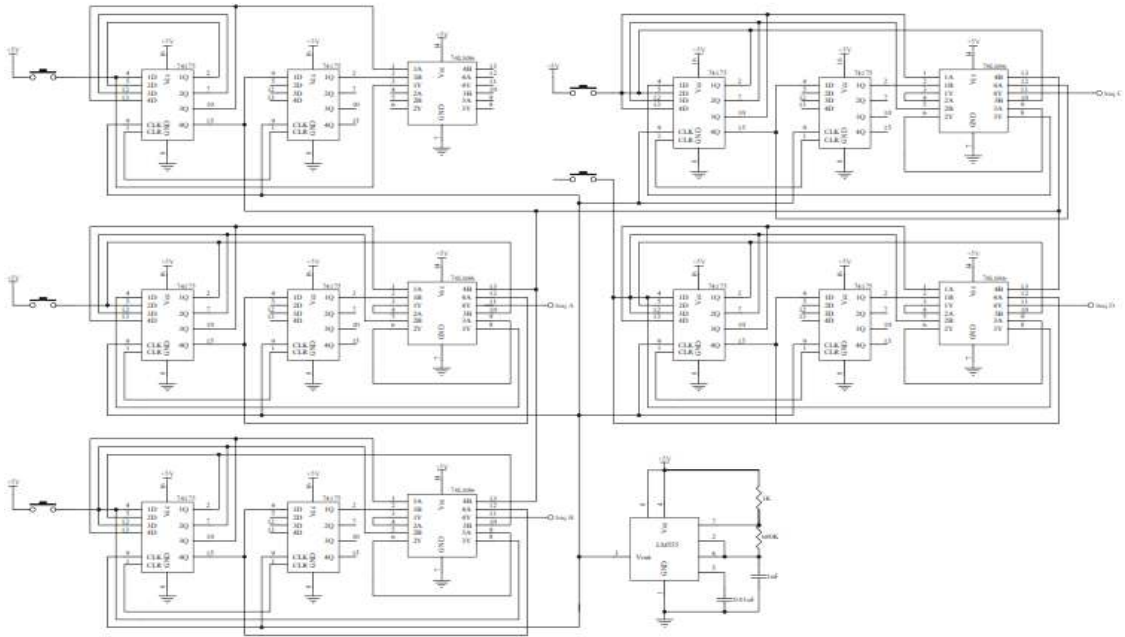
ในการสร้างสัญญาณเราเลือกใช้ ดีฟลิปฟลอปเป็นฟลิปฟลอปที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่เรียงมาแบบอนุกรม จำครบบเวลา และ Register จะทำหน้าที่กักเก็บข้อมูลนั้นไว้ โดยใช้ตัวดีฟลิปฟลอปจำนวน 5 ตัวต่อหนึ่งสัญญาณ ต่อร่วมกับสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นข้อมูลก็จะถูกกักเก็บไว้ ณ เวลานั้นที่มีสัญญาณนาฬิกา และจะคงอยู่ที่เอาท์พุทตลอดเวลา เพื่อที่จะสร้างสัญญาณควบคุมการกะพริบของหลอดทั้ง 4 ดวงโดยอนุกรม A และ B สามารถสร้างได้จากวงจรดังภาพที่ 3.3 และ 3.5 ตามลำดับและการสร้างชุดอนุกรมโกลด์ สามารถสร้างจากวงจรที่แสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.3 วงจรในการสร้างสัญญาณอนุกรม A จาก $h_1(x)$



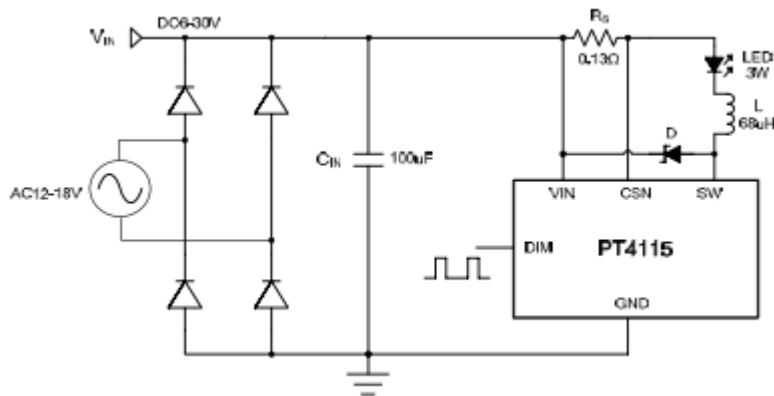
ภาพที่ 3.4 วงจรในการสร้างสัญญาณอนุกรม B จาก $h_2(x)$



ภาพที่ 3.5 วงจรในการสร้างชุดอนุกรมโกลด์

3.1.3 LED Driver

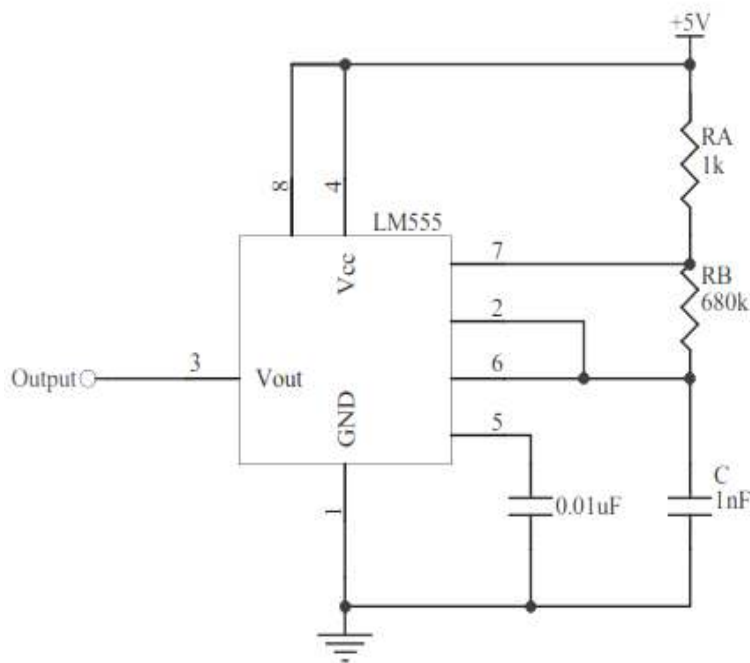
เราเลือกใช้ไอซี PT4115 ดังแสดงการต่อวงจรดังภาพที่ 3.6 ที่สามารถใช้เป็นโหมดการนำสัญญาณที่ต่อเนื่องสำหรับการขับสัญญาณแบบเดี่ยวหรือหลายชุดที่เชื่อมต่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพจาก LED จากแหล่งกำเนิดแรงดันที่สูงกว่าแรงดันรวมทั้งหมดของ LED อุปกรณ์ทำงานจากแหล่งจ่ายอินพุตระหว่าง 6V ถึง 30V และมีการปรับสัญญาณเอาต์พุตภายนอกด้วยกระแส 1.2A ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายส่วนแรงดันภายนอก PT4115 สามารถให้มากกว่า 30 วัตต์ที่เอาต์พุต PT4115 ประกอบด้วยสวิทช์และด้าน high มีกระแสเอาต์พุตไหลผ่านวงจรซึ่งใช้ตัวต้านทานภายนอกตั้งค่ากระแสเอาต์พุตเฉลี่ยและตั้งค่าเฉพาะ DIM ใช้เป็นสัญญาณขาเข้าเพื่อที่จะส่งสัญญาณที่สร้างขึ้นจำนวน 4 อนุกรม ในการกระพริบของหลอดแอลอีดี



ภาพที่ 3.6 วงจรไดร์แอลอีดี

3.1.4 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

ไอซีตั้งเวลา 555 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณตามเวลาที่ออกแบบไว้ โดยสามารถกำหนดได้ด้วยตัว อุปกรณ์ภายนอกสามารถกำเนิดสัญญาณ อะสเทเบิล (Astable) โมโนสเตเบิล (Monostable) และประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการตั้งเวลาได้วงจรไอซีสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้555แสดงดังภาพที่ 3.7 เพื่อที่จะจ่ายให้กับดีฟลิปฟลอป



ภาพที่ 3.7 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

3.1.5 การออกแบบ คำนวณออกแบบวงจรสัญญาณนาฬิกา

กำหนด $R_A = 1k$, $R_B = 680k$, $C = 1nF$

ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็น "high" : $t_1 = 0.693(R_A + R_B)C = 0.693(1k+680k) \times 10^{-9} = 0.471933 \text{ ms}$

ช่วงเวลาที่เอาต์พุตเป็น "low" : $t_2 = 0.693(R_B)C = 0.693(680k) \times 10^{-9} = 0.47124 \text{ ms}$

คาบเวลา: $T = t_1 + t_2 = 0.693(R_A + 2R_B)C = 0.693(1k+(2 \times 680k)) \times 10^{-9} = 0.943173 \text{ ms}$

ความถี่ที่ได้ : $f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C} = \frac{1.44}{(1K + (2 \times 680K)) \times 10^{-9}} = 1058 \text{ Hz}$

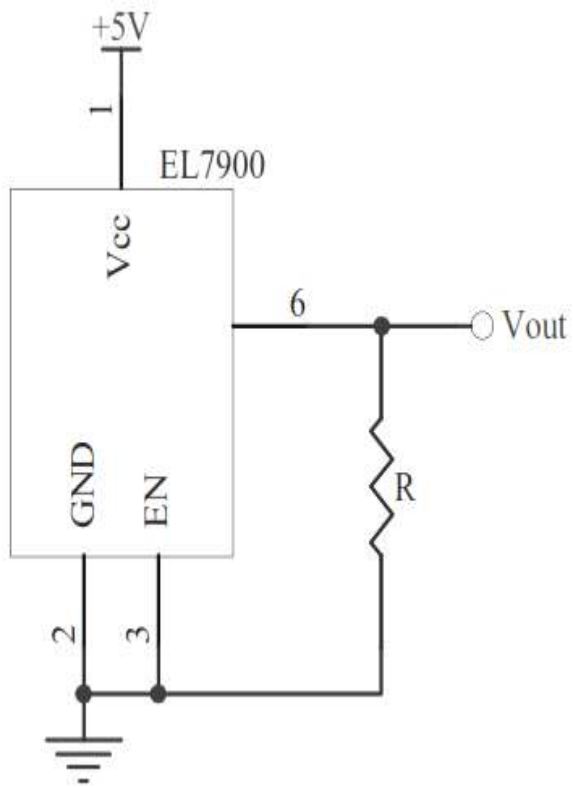
duty cycle is : $D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} = \frac{680K}{1K + (2 \times 680K)} = 49.96\%$

3.2 การออกแบบวงจรภาครับ

เซนเซอร์รับค่าความเข้มแสง ใช้ ไอซีเบอร์ EL7900 เป็นไอซีที่มีขนาดเล็กมีคุณสมบัติในการตรวจวัดค่าความเข้มแสง และให้สัญญาณเอาต์พุตในรูปของกระแสไฟฟ้า โดยการบรรจุ Photodiode และวงจร Current Amplifier ไว้ในไอซีตัวเดียวกัน โดยที่ Photo diode จะมีหน้าที่ในการตรวจวัดค่าความเข้มแสง ซึ่งจะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาในรูปของวงจรกระแสไฟฟ้า การต่อวงจรตรวจวัดค่าความเข้มแสงด้วยไอซี EL7900แสดงดังภาพที่ 3.8 โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงและค่ากระแสเอาต์พุตของไอซีดัง (3.1)

$$I_{out} = 0.6 \times 10^{-6} \times (L) \quad (3.1)$$

เมื่อ L คือค่าความสว่างแสง หน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร (Lux)



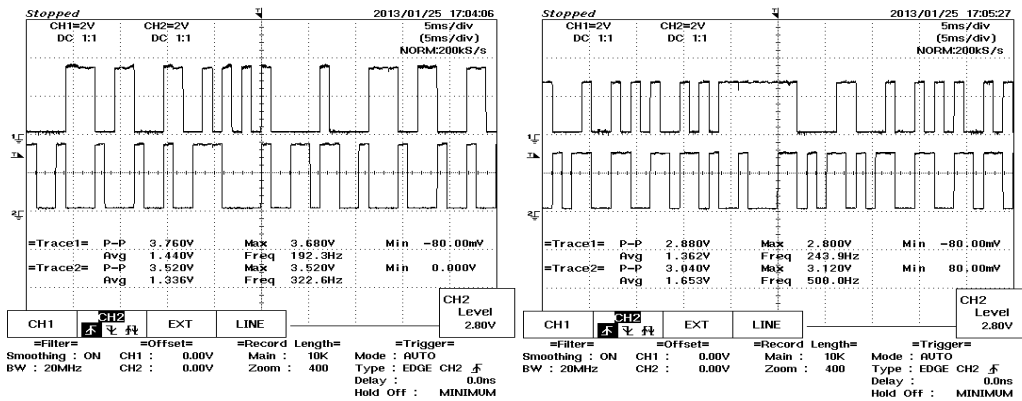
ภาพที่ 3.8 วงจรรับค่าความเข้มแสง

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองส่งค่าพัลส์สัญญาณ

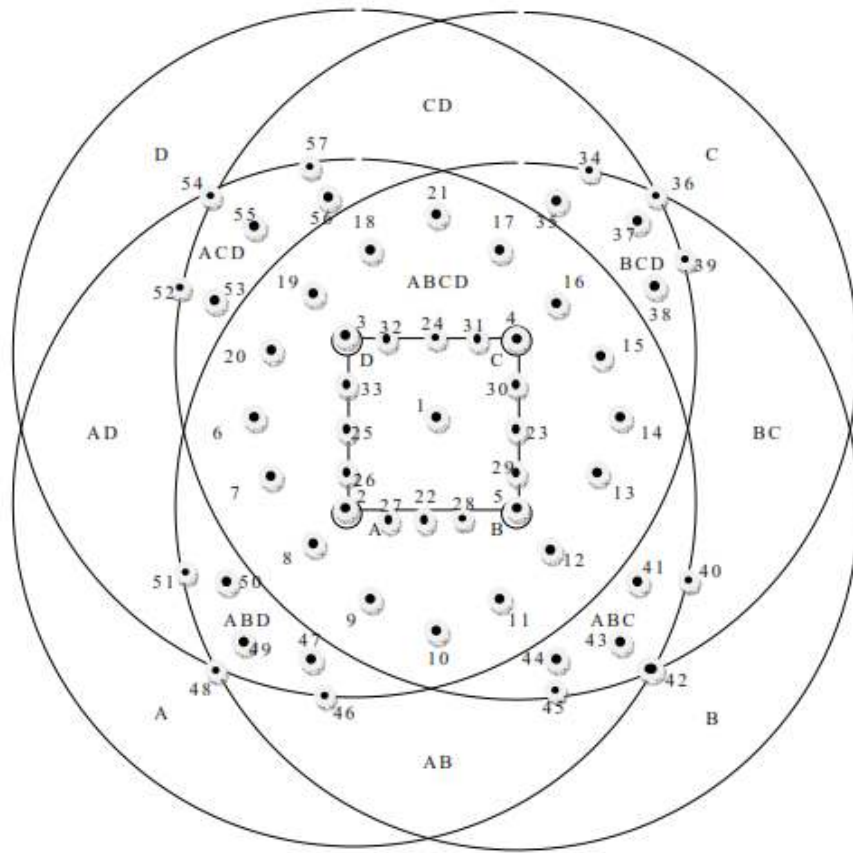
การทดลองส่งค่าความเข้มแสงจากหลอด LED ทั้ง 4 หลอด พร้อมกัน โดยการสร้างรหัสของสัญญาณ ส่งให้กับตัวรับ (photodiode) และมีการป้องกันค่าแสงสว่างภายนอกกันการรบกวนสัญญาณให้น้อยที่สุดเพื่อความแม่นยำของการทดลอง ในส่วนของภาครับจะรับสัญญาณจากหลอด LED ทั้ง 4 หลอดเพื่อนำมาผ่านกระบวนการทำ cross correlation แล้วทำการหาค่า merit factor เพื่อจำแนกชนิดของพัลส์ ที่ระดับความสูงต่างกัน



ภาพที่ 4.1 สร้างสัญญาณภาคส่งของหลอดทั้ง 4 ดวง

4.2 การคำนวณความสูงของพัลส์ ที่จุดต่างๆบนพื้นที่รับแสง

การหาพื้นที่ที่มีการกระจายค่าของพัลส์ โดยกำหนดเป็นเป็นจุดตามภาพด้านล่าง เพื่อคำนวณค่าความสูงของพัลส์ที่เกิดขึ้นบนจุดต่างๆบนภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แสดงตำแหน่งในการคำนวณความเข้มของสัญญาณ

จากภาพแสดงตำแหน่ง ที่ใช้คำนวณหาความเข้มของระดับสัญญาณ โดยกำหนดระยะทางแปรผกผัน กับความเข้มของระดับสัญญาณ ในภาพด้านบนกำหนดความสูงระดับที่กำหนดไว้กับหลอด LED ที่ 1 m โดยแต่ละหลอดมีมุมการมองเห็นที่ 45 องศาใช้มาตราส่วน 1cm:20cm โดยเส้นวงกลมที่เห็นในภาพคือเส้นแบ่งโซนพื้นที่

ตารางที่ 4.1 กำหนดค่าระยะทางที่แปรผกผันกับความเข้มแสงจากหลอดถึงจุดที่คำนวณได้โดย

ระยะจากหลอดที่วัด จากในภาพถึงจุดอ้างอิง (cm)	ค่าคงที่	ค่าความผกผัน 2-Log(ค่าคงที่)	ระยะจากหลอดที่วัด จากในภาพถึง จุดอ้างอิง (cm)	ค่าคงที่	ค่าความผกผัน 2-Log(ค่าคงที่)	
	100	10	1	146	56	0.251812
	101	11	0.958607	147	57	0.244125
	102	12	0.920819	148	58	0.236572
	103	13	0.886057	149	59	0.229148
	104	14	0.853872	150	60	0.221849
	105	15	0.823909	151	61	0.21467
	106	16	0.79588	152	62	0.207608
	107	17	0.769551	153	63	0.200659
	108	18	0.744727	154	64	0.19382
	109	19	0.721246	155	65	0.187087
	110	20	0.69897	156	66	0.180456
	111	21	0.677781	157	67	0.173925
	112	22	0.657577	158	68	0.167491
	113	23	0.638272	159	69	0.161151
	114	24	0.619789	160	70	0.154902
	115	25	0.60206	161	71	0.148742
	116	26	0.585027	162	72	0.142668
	117	27	0.568636	163	73	0.136677
	118	28	0.552842	164	74	0.130768
	119	29	0.537602	165	75	0.124939
	120	30	0.522879	166	76	0.119186
	121	31	0.508638	167	77	0.113509
	122	32	0.49485	168	78	0.107905
	123	33	0.481486	169	79	0.102373
	124	34	0.468521	170	80	0.09691
	125	35	0.455932	171	81	0.091515
	126	36	0.443697	172	82	0.086186
	127	37	0.431798	173	83	0.080922
	128	38	0.420216	174	84	0.075721
	129	39	0.408935	175	85	0.070581
	130	40	0.39794	176	86	0.065502
	131	41	0.387216	177	87	0.060481
	132	42	0.376751	178	88	0.055517
	133	43	0.366532	179	89	0.05061
	134	44	0.356547	180	90	0.045757
	135	45	0.346787	181	91	0.040959
	136	46	0.337242	182	92	0.036212
	137	47	0.327902	183	93	0.031517
	138	48	0.318759	184	94	0.026872
	139	49	0.309804	185	95	0.022276
	140	50	0.30103	186	96	0.017729
	141	51	0.29243	187	97	0.013228
	142	52	0.283997	188	98	0.008774
	143	53	0.275724	189	99	0.004365
	144	54	0.267606	190	100	0
	145	55	0.259637			

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการคำนวณความเข้มสัญญาณ

พื้นที่ รับสัญญาณ ABCD	ระยะ หลอดA ถึง จุดอ้างอิง	ค่าความ ผกผัน	ระยะ หลอดBถึง จุดอ้างอิง	ค่าความ ผกผัน	ระยะ หลอดC ถึง จุดอ้างอิง	ค่าความ ผกผัน	ระยะ หลอดD ถึง จุดอ้างอิง	ค่าความ ผกผัน	ค่าความ ผกผันรวม
a	100 cm	1							1
b			112cm	0.657577					0.657577
c					123cm	0.481486			0.481486
d							112 cm	0.657577	0.657577
ab	100 cm	1	112cm	0.657577					1.657577
ac	100 cm	1			123cm	0.481486			1.481486
ad	100 cm	1					112 cm	0.657577	1.657577
bc			112cm	0.657577	123cm	0.481486			1.139063
bd			112cm	0.657577			112 cm	0.657577	1.315154
cd					123 cm	0.481486	112 cm	0.657577	1.139063
abc	100 cm	1	112cm	0.657577	123 cm	0.481486			2.139063
acd	100 cm	1			123 cm	0.481486	112 cm	0.657577	2.139063
abd	100 cm	1	112 cm	0.657577			112 cm	0.657577	2.315154
bcd			112cm	0.657577	123 cm	0.481486	112cm	0.657577	1.796664
abcd	100 cm	1	125 cm	0.657577	123 cm	0.481486	112 cm	0.657577	2.796664

จากตารางที่ 4.2 เป็นการคำนวณความเข้มสัญญาณที่จุด 2 ตามภาพ 4.1 โดยค่า a ,b ,c ,d...abcd คือสัญญาณพัลส์จากหลอดที่เกิดขึ้นเมื่อมีหลอดติดพร้อมกัน เช่น ab คือ ความเข้มแสงของหลอด A ระดับความเข้มของสัญญาณเรียงจากมากไปหาน้อยคือ 1.abcd 2.abd 3.abc 3.acd 4.bcd 4.ad5.ab 6.ac7.bd 8.bc 8.cd 9.a10.b 10.d 11.c ซึ่งค่าอื่นๆที่หาได้ในทำนองเดียวกันจะสรุปค่าได้ดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าระดับความสูงของพัลส์

ลำดับ	a	b	c	d	ab	ac	ad	bc	bd	cd	abc	acd	abd	bcd	abcd
พื้นที่รับแสง ABCD จากภาพที่ 4.2															
1	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1
2	9	10	11	10	5	6	5	8	7	8	3	3	2	4	1
3	10	11	10	9	8	7	5	8	6	5	4	2	3	3	1
4	11	10	9	10	8	7	8	5	6	5	3	3	4	2	1
5	10	9	10	11	5	7	8	5	6	8	2	4	3	3	1
6	6	8	8	6	5	5	4	7	5	5	3	2	2	3	1
7	11	14	15	13	7	8	5	12	9	10	4	3	2	6	1
8	8	10	11	10	4	6	4	9	7	9	3	3	2	5	1
9	11	13	15	14	5	8	7	10	9	12	3	4	2	6	1
10	6	6	8	8	4	5	5	5	5	7	2	3	2	3	1
11	13	11	14	15	5	9	10	7	8	12	2	6	3	4	1
12	10	8	10	11	4	7	9	4	6	9	2	5	3	3	1
13	14	11	13	15	7	9	12	5	8	10	3	6	4	2	1
14	8	6	6	8	5	5	7	4	5	5	2	3	3	2	1
15	15	13	11	14	10	8	12	5	9	7	3	4	6	2	1
16	11	10	8	10	9	6	9	4	7	4	3	3	5	2	1
17	15	14	11	13	12	8	10	7	9	5	4	3	6	2	1
18	14	15	13	11	12	9	7	10	8	5	6	2	4	3	1
19	10	11	10	8	9	7	4	9	6	4	5	2	3	3	1
20	13	15	14	11	10	9	5	12	8	7	6	2	3	4	1
21	8	8	6	6	7	5	5	5	5	4	3	2	3	2	1
22	7	7	8	8	4	5	5	5	5	6	2	3	2	3	1
23	8	7	7	8	5	5	6	4	5	5	2	3	3	2	1
24	8	8	7	7	6	5	5	5	5	4	3	2	3	2	1
25	7	8	8	7	5	5	4	6	5	5	3	2	2	3	1
26	12	14	15	13	7	8	6	11	9	10	4	3	2	5	1
27	12	13	15	14	6	8	7	10	9	11	3	4	2	5	1
28	13	12	14	15	6	9	10	7	8	11	2	5	3	4	1
29	14	12	13	15	7	9	11	6	8	10	3	5	4	2	1
30	15	13	12	14	10	8	11	6	9	7	3	4	5	2	1
31	15	14	12	13	11	8	10	7	9	6	4	3	5	2	1
32	14	15	13	12	11	9	7	10	8	6	5	2	4	3	1
33	13	15	14	12	10	9	6	11	8	7	5	2	3	4	1

จากตารางที่ 4.3 เป็นค่าระดับความสูงของพัลส์ที่ได้จาก จุดต่างๆบนพื้นที่รับแสงที่เกิดจากการรวมความเข้มแสงขณะมีคาบเวลาตรงกัน โดยวิธีคำนวณตามตัวอย่างตาราง 4.2

ตาราง 4.3(ต่อ)

ลำดับ	a	B	c	d	ab	ac	ad	bc	bd	cd	abc	acd	abd	bcd	abcd
พื้นที่รับแสง BCD จากภาพที่4.2															
34	0	7	5	6	0	0	0	3	4	2	0	0	0	1	0
35	0	7	5	6	0	0	0	3	4	2	0	0	0	1	0
36	0	5	3	5	0	0	0	2	4	2	0	0	0	1	0
37	0	5	4	5	0	0	0	2	3	2	0	0	0	1	0
38	0	6	5	7	0	0	0	2	4	3	0	0	0	1	0
39	0	6	5	7	0	0	0	2	4	3	0	0	0	1	0
พื้นที่รับแสง ABC จากภาพที่4.2															
40	7	5	6	0	3	4	0	2	0	0	1	0	0	0	0
41	7	5	6	0	3	4	0	2	0	0	1	0	0	0	0
42	5	3	5	0	2	4	0	2	0	0	1	0	0	0	0
43	5	4	5	0	2	3	0	2	0	0	1	0	0	0	0
44	6	5	7	0	2	4	0	3	0	0	1	0	0	0	0
45	6	5	7	0	2	4	0	3	0	0	1	0	0	0	0
พื้นที่รับแสง ABD จากภาพที่4.2															
46	5	6	0	7	2	0	3	0	4	0	0	0	1	0	0
47	5	6	0	7	2	0	3	0	4	0	0	0	1	0	0
48	3	5	0	5	2	0	2	0	4	0	0	0	1	0	0
49	4	5	0	5	2	0	2	0	3	0	0	0	1	0	0
50	5	7	0	6	3	0	2	0	4	0	0	0	1	0	0
51	5	7	0	6	3	0	2	0	4	0	0	0	1	0	0
พื้นที่รับแสง ACD จากภาพที่4.2															
52	6	0	7	5	0	4	2	0	0	3	0	1	0	0	0
53	6	0	7	5	0	4	2	0	0	3	0	1	0	0	0
54	5	0	5	3	0	4	2	0	0	2	0	1	0	0	0
55	5	0	5	4	0	3	2	0	0	2	0	1	0	0	0
56	7	0	6	5	0	4	2	0	0	3	0	1	0	0	0
57	7	0	6	5	0	4	3	0	0	2	0	1	0	0	0

4.2.1 การกำหนดตัวแปร

-หลอด LED

- 1.หลอด A คือหลอดที่ติดตั้ง บนพื้นที่ซ้ายล่างของโมเดล
- 2.หลอดB คือหลอดที่ติดตั้งบนพื้นที่ขวาล่างของโมเดล
- 3.หลอด C คือหลอดที่ติดตั้งบนพื้นที่ขวาบน ของโมเดล
- 4.หลอด D คือหลอดที่ติดตั้งบนพื้นที่ซ้ายบนของ โมเดล

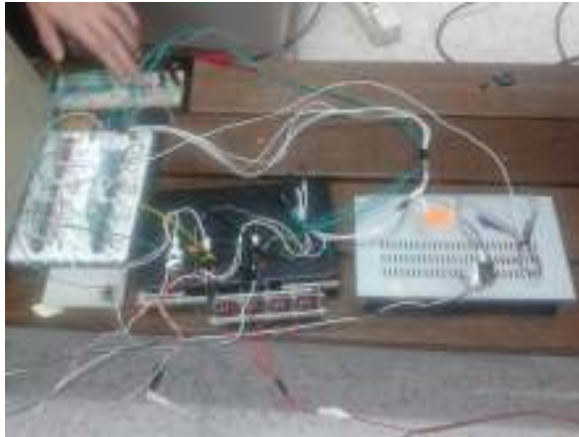
-พื้นที่รับแสงจากหลอด LED

- 1.ABCD คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จากทั้ง4หลอดคือ หลอดA หลอดB หลอดC และ หลอดD
- 2.ABC คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จากทั้ง4หลอดคือ หลอดA หลอดB และ หลอดC
- 3.ABD คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จากทั้ง3หลอดคือ หลอดA หลอดB และ หลอดD

4. ACD คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จากทั้ง3หลอดคือ หลอดB หลอดC และ หลอดD
5. BCD คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จากทั้ง3หลอดคือ หลอดB หลอดC และ หลอดD
6. AB คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จากทั้ง2หลอดคือ หลอดA และ หลอดB
7. AD คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จากทั้ง4หลอดคือ หลอดA และ หลอดD
8. BC คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จากทั้ง2หลอดคือ หลอดB และ หลอดC
9. CD คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จากทั้ง2หลอดคือ หลอดC และ หลอดD
10. A คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จาก หลอดA
11. B คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จาก หลอดB
12. C คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จาก หลอดC
13. D คือพื้นที่ที่รับแสงมาได้จาก หลอดD

-สัญญาณพัลส์ในแต่ละบิต

1. abcd คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดA หลอดB หลอดC และ หลอดD
2. abc คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดA หลอดB และ หลอดC
3. abd คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดA หลอดB และ หลอดD
4. acd คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดA หลอดC และ หลอดD
5. bcd คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดB หลอดC และ หลอดD
6. ab คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดA และ หลอดB
7. ac คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดA และ หลอดC
8. ad คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดA และ หลอดD
9. bc คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดB และ หลอดC
10. bd คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดB และ หลอดD
11. cd คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดC และ หลอดD
12. a คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดA
13. b คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดB
14. c คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดC
15. d คือพัลส์ที่เกิดจากความเข้มแสงจาก หลอดD



ภาพที่ 4.3 วงจรที่ใช้ในการสร้างรหัส สัญญาณพัลส์ให้กับหลอด LED ทั้ง 4 หลอด



ภาพที่ 4.4 การตั้งตัวรับสัญญาณที่จุดต่างๆบริเวณหลอด LED

4.3 การบอกตำแหน่งที่ตั้งของ sensor โดยวิธี บอกเป็นพื้นที่

ตารางที่ 4.4 นี้แสดงให้เห็นถึงพัลส์ของสัญญาณ gold sequence เมื่อส่งผ่านเข้าไปในหลอด LED และเกิดการ กระพริบของหลอดทั้ง 4 ค่าที่อ่านได้จากตัวรับจะมีการรวมความเข้มแสงที่ คาบเวลาตรงกัน ได้เป็นค่าแรงดันของพัลส์ที่บิตต่างๆดังนี้

ตารางที่ 4.4 พัลส์ที่นำมาใช้งาน

bit	A	B	C	D	แรงดันประจำตำแหน่งเมื่อจ่ายพัลส์ออกมาพร้อมกัน
1	0	0	0	1	d
2	0	0	1	0	c
3	0	1	0	1	bd
4	1	0	1	0	ac
5	1	0	1	0	ac
6	1	0	1	1	acd
7	0	1	1	0	bc
8	0	0	1	0	c
9	1	0	1	0	ac
10	1	0	1	1	acd
11	0	1	1	1	bcd
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	d
14	1	1	0	0	ab
15	1	0	0	1	ad
16	0	0	1	1	cd
17	0	1	1	0	bc
18	1	1	0	1	abd
19	0	1	0	0	b
20	1	0	0	1	ad
21	0	0	1	1	cd
22	1	0	0	0	a
23	0	0	0	0	0
24	1	1	1	1	abcd
25	0	0	0	1	d
26	0	0	1	0	c
27	0	1	0	0	b
28	0	1	1	1	bcd
29	0	0	0	1	d
30	1	1	0	0	ab
31	0	1	1	1	bcd

ตารางที่ 4.5 วิธีบอกพื้นที่ของสัญญาณในการทดลอง

จุดที่	a	b	c	d	ab	ac	ad	bc	bd	cd	abc	acd	abd	bcd	abcd
พื้นที่รับแสง ABCD จากภาพที่ 4.2															
1	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	-	2	2	2	1
2											-	3	2	4	1
3							4			4	-	2	3	3	1
4											-	3	4	2	1
5					4			4			-	3	2	2	1
6							4				-	2	2	3	1
7							4				-	3	2	5	1
8					4		4				-	3	2		1
9					4						-	3	2		1
10					4						-	3	2	3	1
11					4						-		2	3	1
12					3			3			-	4	2	2	1
13								4			-		3	2	1
14								4			-	3	3	2	1
15								4			-	3		2	1
16								4		4	-	3		2	1
17										4	-	3		2	1
18											-	2	4	3	1
19							4			4	-	2	3	3	1
20											-	2	3	4	1
21										4	-	2	3	2	1
22					4						-	3	2	3	1
23								4			-	3	3	2	1
24										4	-	2	3	2	1
25							4				-	2	2	3	1
26								5			-	3	2	4	1
27											-	3	2	4	1
28											-	4	2	3	1
29											-	4	3	2	1
30											-	3	4	2	1
31											-	3	4	2	1
32											-	2	4	3	1
33											-	2	3	4	1
พื้นที่รับแสง BCD จากภาพที่ 4.2															
34								3	4	2	-			1	
35								3	4	2	-			1	
36			3					2	4	2	-			1	
37			4					2	3	2	-			1	
38								2	4	3	-			1	
39								2	4	3	-			1	

ตารางที่ 4.6 จำนวนวิธีที่จะเกิดชนิดของพัลส์ได้ในการทดสอบ

ค่าประจำตำแหน่ง	พัลส์ที่ได้	MF.co A	MF.co B	MF.co C	MF.co D
ชนิด4หลอด					
a+abcd	0000000000000000001010000000	0.068516	0.057022	0.122549	0.168919
b+ abcd	000000000000000001000010010000	0.076126	0.076126	0.111364	0.098
c+ abcd	010000010000000000000010100000	0.094237	0.080026	0.077532	0.081395
d+ abcd	1000000000001000000000011000100	0.104969	0.076679	0.12247	0.08617
ab+ abcd	0000000000000100000000010000010	0.106289	0.08408	0.119512	0.111364
ac+ abcd	000110001000000000000010000000	0.097826	0.079292	0.110959	0.127358
ad+ abcd	000000000000010000100010000000	0.093889	0.080784	0.13172	0.086268
bc+ abcd	0000001000000000100000010000000	0.089798	0.106289	0.104255	0.104255
bd+ abcd	001000000000000000000010000000	0.085816	0.085816	0.142045	0.122549
cd+ abcd	000000000000001000010010000000	0.076126	0.076126	0.111364	0.098
abc+ abcd	-				
acd+ abcd	000001000100000000000010000000	0.08408	0.093889	0.119512	0.104255
abd+ abcd	000000000000000010000010000000	0.085816	0.068516	0.168919	0.168919
bcd+ abcd	000000000010000000000010001001	0.080026	0.106838	0.106021	0.090807
แบบพัลส์สูงเท่ากันเมื่อรับสัญญาณ 4หลอด					
acd+abd+bcd+abcd	0000010001100000010000010001001	0.110458	0.082762	0.110656	0.106962
ab+ac+ad+bc+bd+cd+ abcd	0011101010000111100110010000010	0.098256	0.109314	0.077366	0.077366
ad+cd+ abcd	000000000000011000110010000000	0.138145	0.092857	0.195793	0.08617
abd+bcd+ abcd	0000000000100000010000010001001	0.150558	0.116721	0.165301	0.108423
ab+bc+ abcd	0000001000000100100000010000010	0.086756	0.123083	0.126943	0.069707
acd+abd+ abcd	0000010001000000010000010000000	0.130662	0.103591	0.11036	0.106021
acd+bcd+ abcd	0000010001100000000000010001001	0.109206	0.157963	0.158377	0.104131
bc+cd+ abcd	0000001000000001100010010000000	0.086756	0.102053	0.12247	0.108423
ab+ad+ abcd	0000000000000110000100010000010	0.142646	0.169204	0.165301	0.104113
ชนิด3หลอด ABC					
a+abc	000000000000010000101010000000	0.110078	0.064775	0.102532	0.081395
b+ abc	0010000000000000001000010010000	0.116123	0.103591	0.110959	0.08215
c+ abc	0100000100000001000010010100000	0.109206	0.125259	0.13565	0.078982
ab+ abc	000000000000100010000010000010	0.106838	0.103591	0.085664	0.127358
ac+ abc	000111001100000000000010000000	0.194924	0.123469	0.105401	0.155769
bc+ abc	0000001000100000100000010001001	0.139578	0.125522	0.133554	0.109164
ab+bc+ abc	0000001000100100110000010001011	0.139439	0.22877	0.14322	0.093798
ชนิด3หลอด ABD					
a+abd	0001100010000000010001010000000	0.194924	0.099018	0.118768	0.086354
b+ abd	0000001000000000111000010010000	0.163957	0.209397	0.160646	0.155769
d+ abd	1000000000001001010010011000100	0.1	0.119427	0.115238	0.16791
ab+ abd	000000000000100010000010000010	0.106838	0.103591	0.085664	0.127358
ad+ abd	00000100010000100101000010000000	0.194924	0.090569	0.118627	0.129205
bd+ abd	0010000000100000010000010001001	0.099018	0.152707	0.113128	0.104131
ab+ad+ abd	00000100010001100101000010000010	0.276096	0.119427	0.116795	0.085211

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

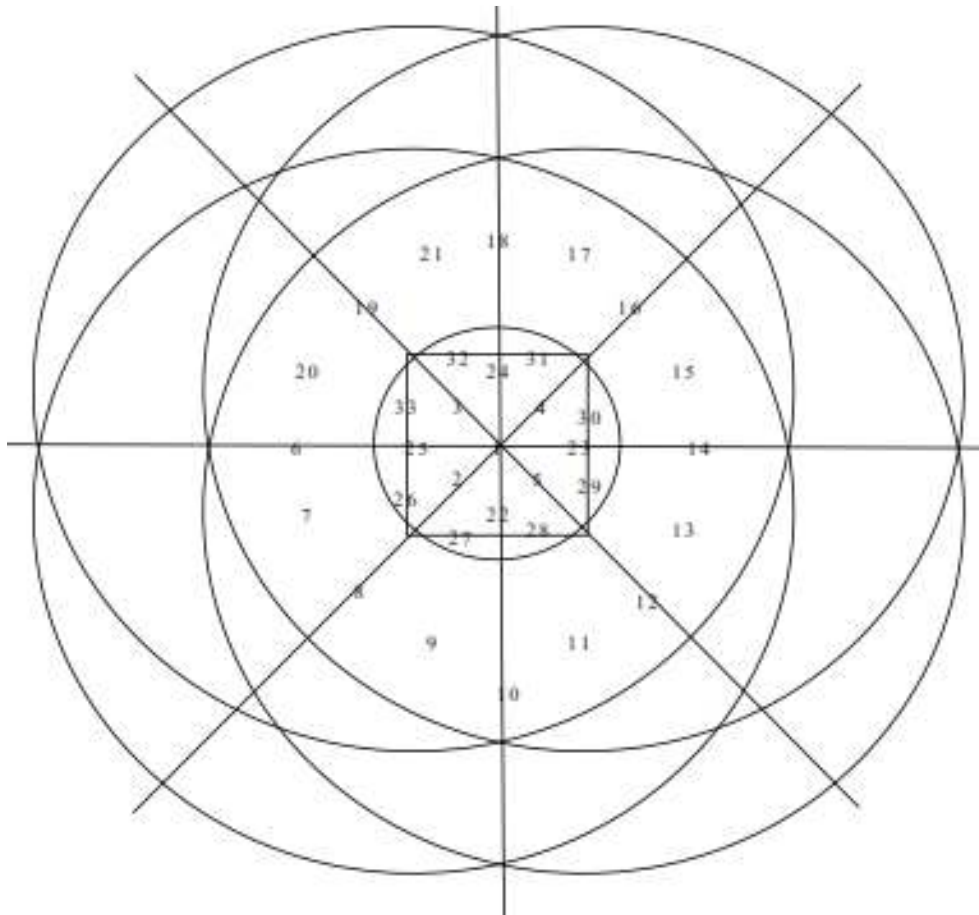
ค่าประจำ ตำแหน่ง	พัลส์ที่ได้	MF.co A	MF.co B	MF.co C	MF.co D
ชนิด3หลอด ACD					
a+acd	0000010001000100000001010000010	0.194924	0.105932	0.113128	0.1
c+ acd	0100011101000000100000010100000	0.15	0.098856	0.15327	0.13326
d+ acd	1010010001001010000000011000100	0.115123	0.115123	0.114562	0.147149
ac+ acd	0001110011000000000000010000000	0.194924	0.123469	0.105401	0.155769
ad+ acd	0000010001000010010100010000000	0.194924	0.090569	0.118627	0.129205
cd+ acd	0000010001100001000010010001001	0.133136	0.099206	0.235356	0.113636
ad+cd+ acd	0000010001100011010110010001001	0.141389	0.088947	0.065217	0.224542
ชนิด3หลอด BCD					
b+bcd	0000000000100100001000010011011	0.090433	0.3453	0.074861	0.106962
c+ bcd	0100000100100000000000010010000	0.097238	0.092857	0.09387	0.12247
d+ bcd	1000000000101010000100011001101	0.102891	0.122549	0.079921	0.282915
bc+ bcd	0000001000100000100000010001001	0.139578	0.125522	0.133554	0.109164
bd+ bcd	0010000000100000010000010001001	0.099018	0.152707	0.113128	0.104131
cd+ bcd	0000010001100001000010010001001	0.133136	0.099206	0.235356	0.113636
bc+cd+ bcd	0000011001100001100010010001001	0.131733	0.09599	0.31446	0.099062
ชนิด2หลอด					
ab	0011111011100110111101010011011	0.146867	0.092669	0.072711	0.079567
ad	1011110011101111010111011001111	0.12833	0.09548	0.137847	0.390693
dc	111111111101011110110011101101	0.120542	0.10193	0.235356	0.16791
cb	0111111111100101111010010111011	0.125387	0.118017	0.230818	0.067673

** MF.co A ,MF.co B, MF.co C ,MF.co D คือ ค่า Merit factor ที่เกิดจากสัญญาณที่เลือกนำมา correlation กับสัญญาณ A B C D ตามลำดับ

4.4 วิธีบอกพื้นที่ของสัญญาณในการทดลอง

จะใช้ ลำดับความสูงของพัลส์ ที่1-4 เทียบค่าจะได้ค่าตำแหน่งบนพื้นที่ที่ติดตั้งหลอด โดยจะบอกเป็นบริเวณที่มีสัญญาณลักษณะเดียวกันตามตาราง4.5 และ 4.6

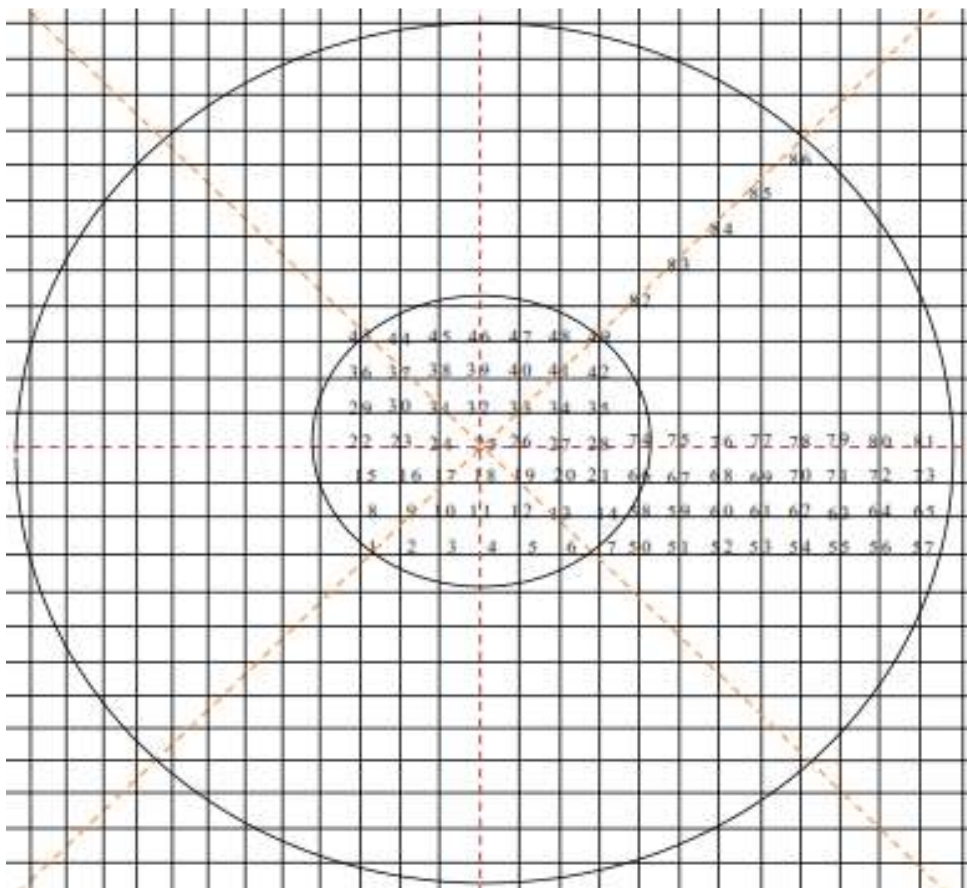
โมเดลที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 4.5 โมเดล โชนพื้นที่รับแสง

จากภาพที่ 4.5 เป็น โมเดลที่ใช้ประกอบกับพื้นที่โดยเส้นวงกลมที่เห็นในภาพคือเส้นแบ่ง โชนพื้นที่และเส้นตรงที่ตัดผ่านคือบริเวณที่หลอดมีตำแหน่งที่สมดุลกัน

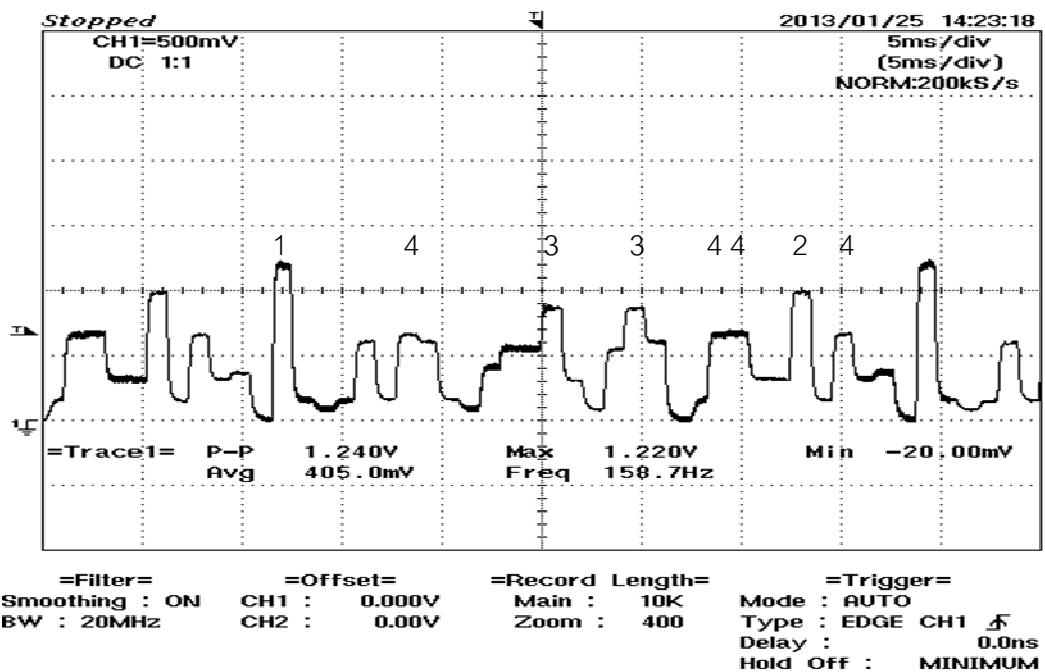
เมื่อวางตัวรับสัญญาณภาพด้านล่าง



ภาพที่ 4.6 การทดลองวัดค่าสัญญาณตามตำแหน่งต่างๆ ที่ความสูง 100 cm

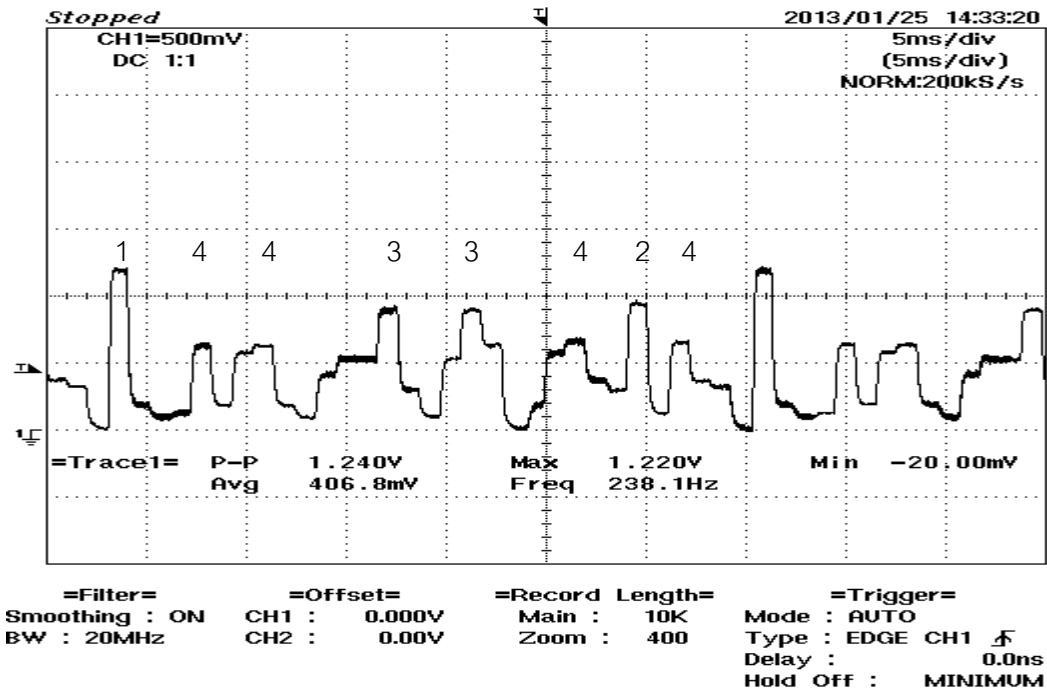
จากภาพที่ 4.6 เส้นวงกลมที่เห็นในภาพคือเส้นแบ่งโซนพื้นที่ โดยเส้นวงกลมที่เห็นในภาพคือเส้นแบ่งโซนพื้นที่และเส้นตรงที่ตัดผ่านคือบริเวณที่ลอดคมีตำแหน่งที่สมดุลกัน

4.5 ผลการทดสอบสัญญาณที่จุดต่างๆ



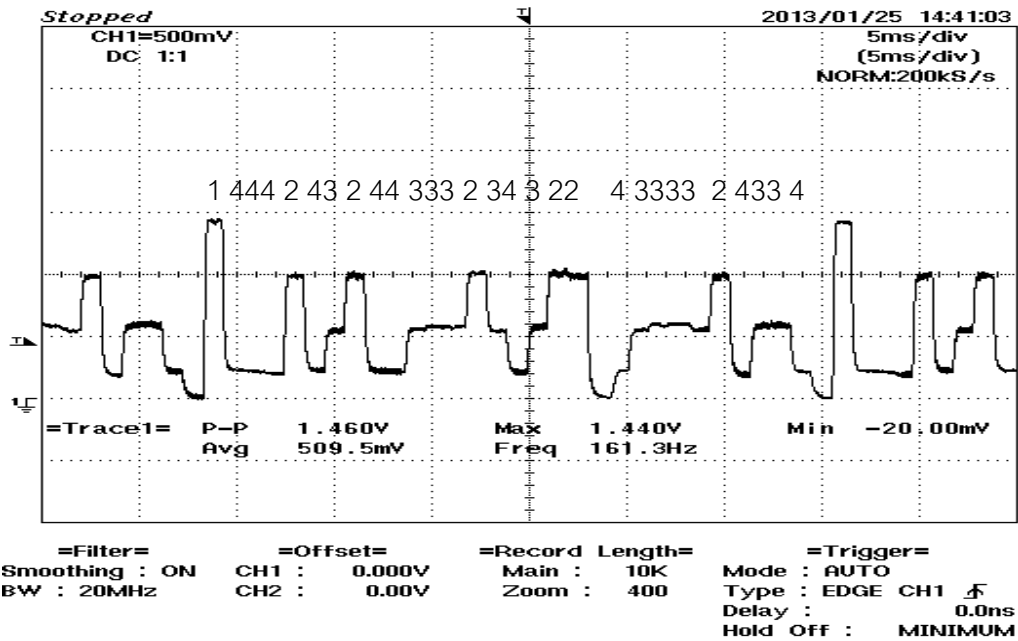
ภาพที่ 4.7 ค่าที่ 1 ตั้งตัวรับตรงจุดหลอด A ที่ความสูง 100 cm

จากภาพที่ 4.7 สัญญาณลำดับที่ 1+2 = 1000000000000000000000100000 ค่า MF = 0.085816 , 0.068516 , 1.168919 , 0.16919 = abd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 2 เป็น ABD สัญญาณลำดับที่ 1+3 = 1000000000000100010000000000000000 ค่า MF = 0.08408 , 0.093889 , 0.119512 , 0.104255 = acd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 3 เป็น ACD สัญญาณลำดับที่ 1+4 = 10000010000000000000001100001000 ค่า MF = 0.142646 , 0.169204 , 0.165301 , 0.104113 = ab+ad+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 4 เป็น AB และ AD ดังนั้น จึงจัดอันดับความสูงของพัลส์จากมากไปน้อยคือ 1.abcd 2.abd 3.acd 4.ab,ad เทียบค่าในตารางที่ 4.6 จะได้ค่าตำแหน่งบนเส้นที่ 8



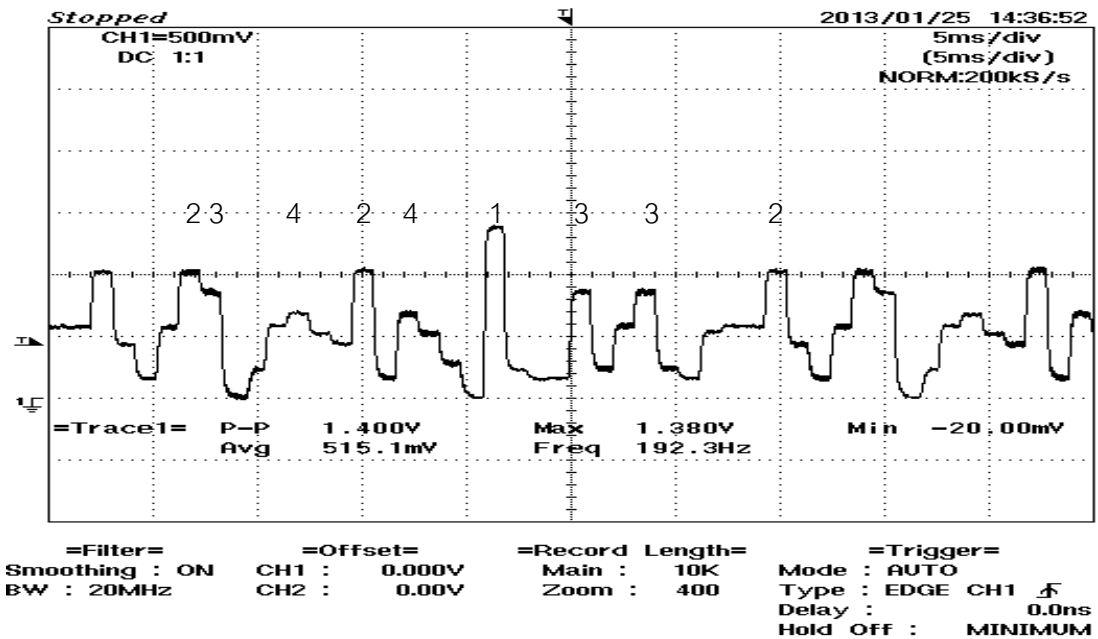
ภาพที่ 4.8 ค่าที่ 8 ที่ความสูง 100 cm

จากภาพที่ 4.8 สัญญาณลำดับที่ 1+2 = 1000000000000000000000100000 ค่า MF = 0.085816 ,0.068516 ,0.168919 ,0.165919 = abd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 2 เป็น ABD สัญญาณลำดับที่ 1+3 = 10000000000010001000000000000000 ค่า MF = 0.08408 ,0.093889 ,0.119512 ,0.104255 = acd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 3 เป็น ACD สัญญาณลำดับที่ 1+4 = 10001001000000000000010000100000 ค่า MF = 0.097238 ,0.110602 ,0.140698 ,0.138444 ไม่ตรงค่าตามตาราง 4.6 ดังนั้น จึงจัดอันดับความสูงของพัลส์จากมากไปน้อย คือ 1.abcd 2.abd 3.acd **สังเกตเห็นว่า ค่าที่ใกล้เคียงกับ พัลส์ 3 อันดับแรกจากตารางที่ 4.6 คือ 2 ,7 ,8 ,9 ,26 ,27 ,29 จากตารางซึ่ง MT ที่คำนวณได้ที่สัญญาณลำดับที่ 1+4 ค่า MF หลอด D มีค่ามากที่สุดนั่นคือ พื้นที่ ของ จุด 2 ,7 ,8 ,9 ,26 ,27 ,29 จะอยู่ใกล้หลอด D จากแผนภาพจะเห็นได้ว่า คือ พื้นที่บนจุด โมเดล 26 อยู่ใกล้หลอด D มากที่สุด ดังนั้นจึงสรุปว่าค่าที่ 8 จะอยู่บนพื้นที่จุด 26



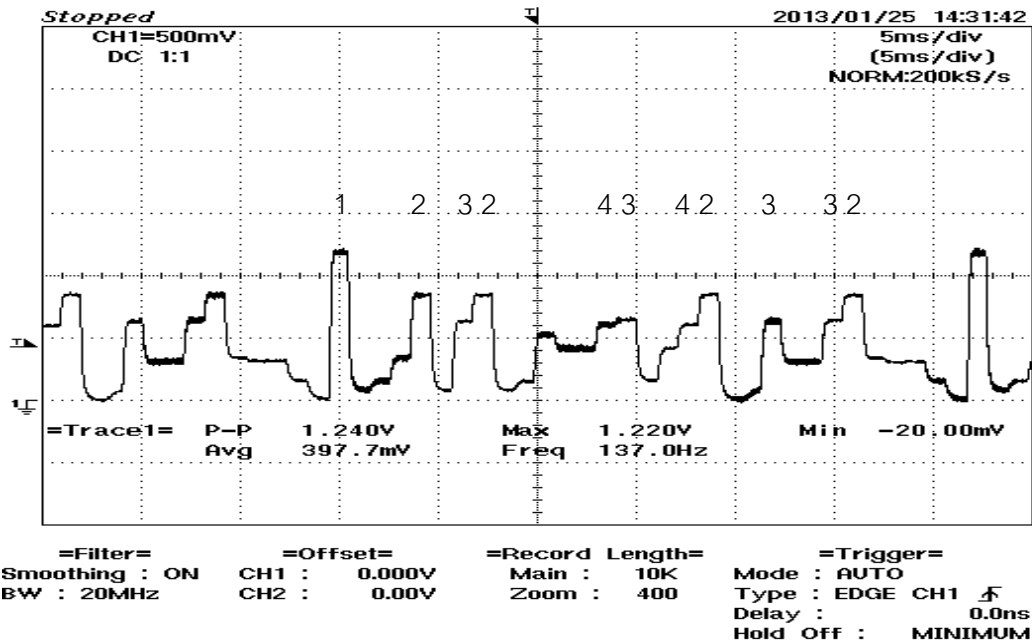
ภาพที่ 4.9 ค่าที่ 24 ที่ความสูง 100 cm

จากภาพที่ 4.9 สัญญาณลำดับที่ 1+2 = 000010001100000010000010001001 ค่า MF = 0.110458, 0.082762, 0.110656, 0.106962 = acd+abd+bcd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 2 เป็น acd+abd+bcd ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตาราง 4.6 จะได้ค่า อยู่ บนบริเวณจุดกึ่งกลางคือ จุดที่ 1



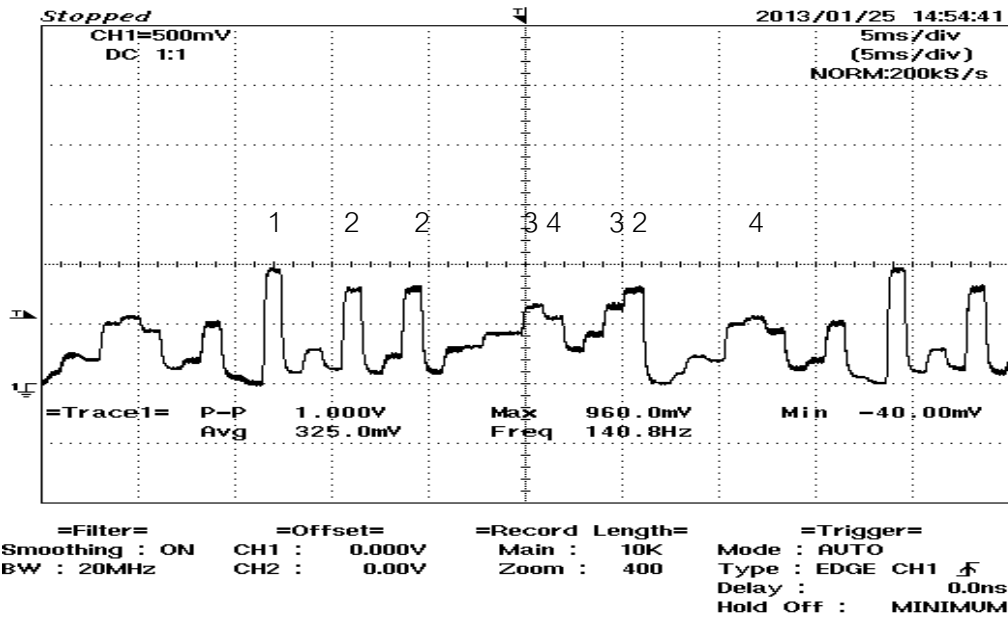
ภาพที่ 4.10 ค่าที่ 16 ที่ความสูง 100 cm

จากภาพที่ 4.10 สัญญาณลำดับที่ 1+2 = 000010001000000010000010000000 ค่า MF = 0.130662 , 0.103591 , 0.11036 , 0.106021 = acd+abd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 2 เป็น acd และ abd สัญญาณลำดับที่ 1+3 = 000000000010000000000010001001 ค่า MF = 0.080026 , 0.106838 , 0.106021 , 0.090807 = acd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 3 เป็น bcd สัญญาณลำดับที่ 1+4 = 00000000000000100001000100000000 ค่า MF = 0.093889 , 0.080784 , 0.13172 , 0.086268 = ad+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 4 เป็น ad ดังนั้น จึงจัดอันดับความสูงของพัลส์จากมากไปน้อยคือ 1. abcd 2. acd และ abd 3. bcd 4. ab, ad เทียบค่าในตารางที่ 4.6 จะได้ค่าตำแหน่งบนเส้นที่ 25



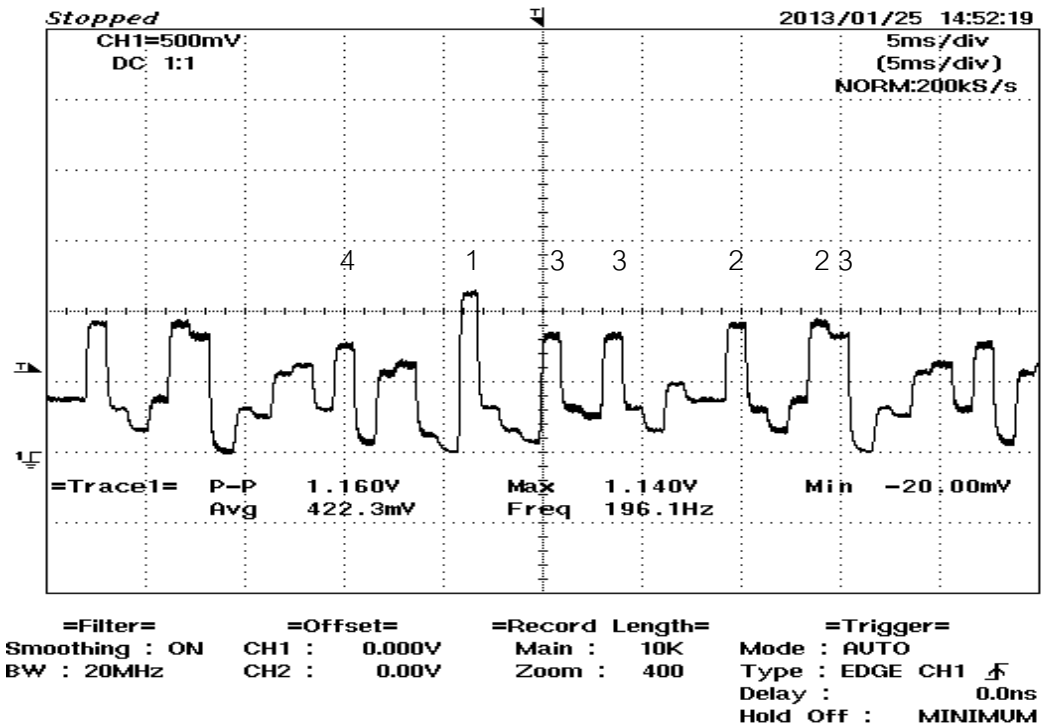
ภาพที่ 4.11 ค่าที่ 7 ตรงกับหลอด B ที่ความสูง 100 cm

จากภาพที่ 4.11 สัญญาณลำดับที่ $1+2 = 1000100100000000001000000100000$ ค่า MF = 0.150558, 0.116721, 0.1653010, 0.108423 = $abd+bcd+abcd$ จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 2 เป็น abd และ bcd สัญญาณลำดับที่ $1+3 = 10000010000000010000001001000000$ ค่า MF = 0.086756, 0.123083, 0.126943, 0.069707 = $ab+bc+abcd$ จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 3 เป็น ab และ bc สัญญาณลำดับที่ $1+4 = 10000000000000100010000000000000$ ค่า MF = 0.08408, 0.093889, 0.119512, 0.104255 = $acd+abcd$ จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 4 เป็น acd ดังนั้นจึงจัดอันดับความสูงของพัลส์จากมากไปน้อยคือ 1. $abcd$ 2. abd และ bcd 3. ab และ bc 4. acd เทียบค่าในตารางที่ 4.6 จะได้ค่าตำแหน่งบนเส้นที่ 12



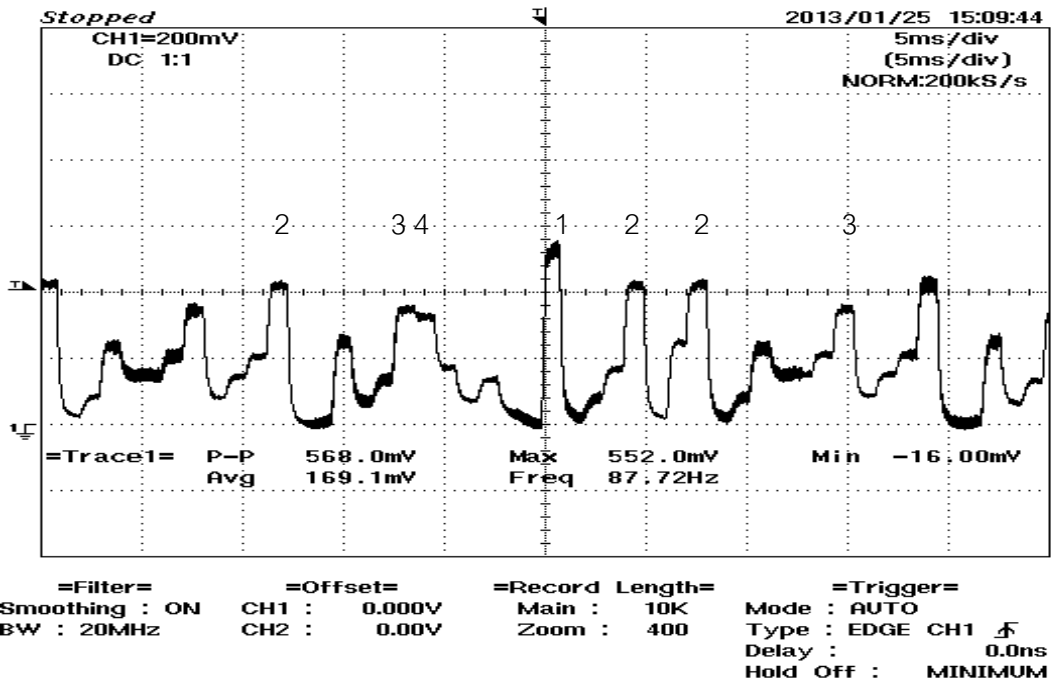
ภาพที่ 4.12 ค่าที่ 49 ตรงกับหลอด B ที่ความสูง 100 cm

จากภาพที่ 4.12 สัญญาณลำดับที่ 1+2 = 0000000000100000000000010001001 ค่า MF = 0.080026 , 0.106838 , 0.106021 , 0.090807 = bcd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 2 เป็น bcd สัญญาณลำดับที่ 1+3 = 0000010001000000000000010000000 ค่า MF = 0.08408 , 0.093889 , 0.119512 , 0.104255 = acd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 3 เป็น acd สัญญาณลำดับที่ 1+4 = 00000010000000000100000010000000 ค่า MF = 0.089798 , 0.106289 , 0.104255 , 0.104255 = bc+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 4 เป็น bc ดังนั้น จึงจัดอันดับความสูงของพัลส์จากมากไปน้อยคือ 1. abcd 2. bcd 3. acd 4. bc เทียบค่าในตารางที่ 4.6 จะได้ค่าตำแหน่งบนเส้นที่ 16



ภาพที่ 4.13 ค่าที่ 43ตรงกับหลอด D ที่ความสูง 100 cm

จากภาพที่ 4.13 สัญญาณลำดับที่ 1+2 = 000010001000000000000010000000 ค่า MF= 0.08408, 0.093889, 0.119512, 0.104255 = acd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 2 เป็น acd สัญญาณลำดับที่ 1+3 = 000000000010000000000010001001 ค่า MF= 0.080026, 0.106838, 0.106021, 0.090807 = bcd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 3 เป็น bcd สัญญาณลำดับที่ 1+4=00000000000000000010000010000000 ค่า MF= 0.085816, 0.068516, 0.168919, 0.168919 = abd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 4 เป็น abd ดังนั้น จึงจัดอันดับความสูงของพัลส์จากมากไปน้อยคือ 1. abd 2. acd 3. bcd 4. abd เทียบค่าในตารางที่ 4.8 จะได้ค่าบนพื้นที่ที่ 18 จากข้อสมมุติฐานจุดนี้จะอยู่บน เส้นที่ 19 อาจเกิดจากการวางตัวรับสัญญาณ ผิดตำแหน่งเล็กน้อย



ภาพที่ 4.14 ค่าที่ 53 ที่ความสูง 100 cm

จากภาพที่ 4.14 สัญญาณลำดับที่ 1+2 = 00000000010000000000010001001 ค่า MF = 0.080026, 0.106838, 0.106021, 0.090807 = bcd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 2 เป็น bcd สัญญาณลำดับที่ 1+3 = 0000001000100000100000010001001 ค่า MF = 0.139578, 0.125522, 0.133554, 0.109164 = bc+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 3 เป็น bc สัญญาณลำดับที่ 1+4 = 00000000000000000100000100000000 ค่า MF = 0.085816, 0.068516, 0.168919, 0.168919 = abd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 4 เป็น ABD ดังนั้นจึงจัดอันดับความสูงของพัลส์จากมากไปน้อยคือ 1. abcd 2. bcd 3. bc 4. Abd เทียบค่าในตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าลำดับที่ได้ไม่ตรงกับค่าในตาราง เมื่อพิจารณาตาราง ที่มีสัญญาณ abcd, bcd, bc, abd อยู่ในลำดับตาราง จะได้ค่า ใกล้เคียงกับพื้นที่ ที่ 13

4.6 สรุปผลค่าที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดสอบสัญญาณที่จุดต่างๆ

จุดที่	a	b	c	d	ab	ac	ad	bc	bd	cd	abc	acd	abd	bcd	abcd
พื้นที่รับแสง ABCD จากภาพที่ 4.17 ด้านล่าง															
1	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1
2	9	10	11	10	5	6	5	8	7	8	3	3	2	4	1
3	10	11	10	9	8	7	5	8	6	5	4	2	3	3	1
4	11	10	9	10	8	7	8	5	6	5	3	3	4	2	1
5	10	9	10	11	5	7	8	5	6	8	2	4	3	3	1
6	6	8	8	6	5	5	4	7	5	5	3	2	2	3	1
7	11	14	15	13	7	8	5	12	9	10	4	3	2	6	1
8	8	10	11	10	4	6	4	9	7	9	3	3	2	5	1
9	11	13	15	14	5	8	7	10	9	12	3	4	2	6	1
10	6	6	8	8	4	5	5	5	5	7	2	3	2	3	1
11	13	11	14	15	5	9	10	7	8	12	2	6	3	4	1
12	10	8	10	11	4	7	9	4	6	9	2	5	3	3	1
13	14	11	13	15	7	9	12	5	8	10	3	6	4	2	1
14	8	6	6	8	5	5	7	4	5	5	2	3	3	2	1
15	15	13	11	14	10	8	12	5	9	7	3	4	6	2	1
16	11	10	8	10	9	6	9	4	7	4	3	3	5	2	1
17	15	14	11	13	12	8	10	7	9	5	4	3	6	2	1
18	14	15	13	11	12	9	7	10	8	5	6	2	4	3	1
19	10	11	10	8	9	7	4	9	6	4	5	2	3	3	1
20	13	15	14	11	10	9	5	12	8	7	6	2	3	4	1
21	8	8	6	6	7	5	5	5	5	4	3	2	3	2	1
22	7	7	8	8	4	5	5	5	5	6	2	3	2	3	1
23	8	7	7	8	5	5	6	4	5	5	2	3	3	2	1
24	8	8	7	7	6	5	5	5	5	4	3	2	3	2	1
25	7	8	8	7	5	5	4	6	5	5	3	2	2	3	1
26	12	14	15	13	7	8	6	11	9	10	4	3	2	5	1
27	12	13	15	14	6	8	7	10	9	11	3	4	2	5	1
28	13	12	14	15	6	9	10	7	8	11	2	5	3	4	1
29	14	12	13	15	7	9	11	6	8	10	3	5	4	2	1
30	15	13	12	14	10	8	11	6	9	7	3	4	5	2	1
31	15	14	12	13	11	8	10	7	9	6	4	3	5	2	1
32	14	15	13	12	11	9	7	10	8	6	5	2	4	3	1
33	13	15	14	12	10	9	6	11	8	7	5	2	3	4	1
58	14	10	12	15	6	9	13	4	8	11	2	7	5	3	1
59	8	6	6	8	5	5	7	3	5	5	2	4	4	2	1
60	15	12	10	14	11	8	13	4	9	6	2	5	7	3	1

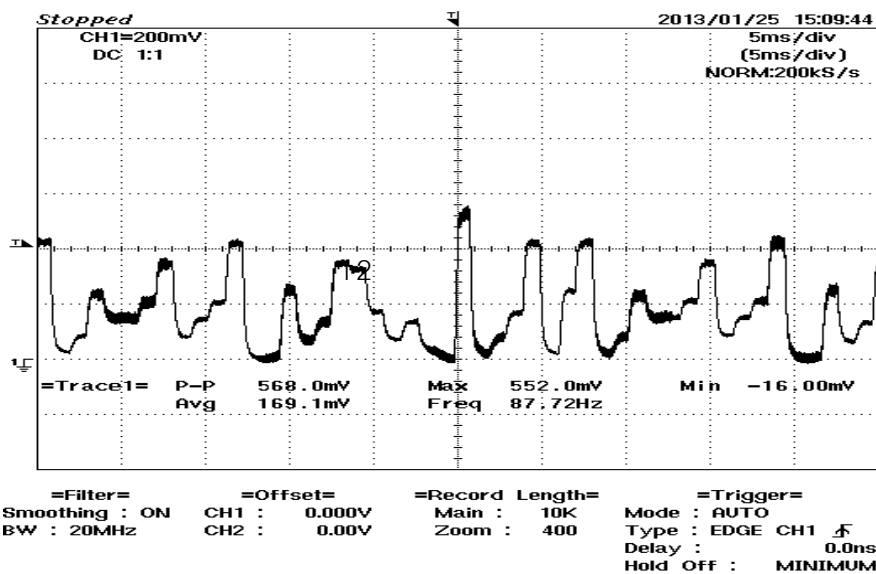
ตาราง 4.7 (ต่อ)

จุดที่	a	b	c	d	ab	ac	ad	bc	bd	cd	abc	acd	abd	bcd	abcd
61	8	8	6	6	7	5	5	5	5	3	4	2	4	2	1
62	15	14	10	12	13	8	11	6	9	4	5	2	7	3	1
63	6	8	8	6	5	5	3	7	5	5	4	2	2	4	1
64	14	15	12	10	13	9	6	11	8	4	7	3	5	2	1
65	6	6	8	8	3	5	5	5	5	7	2	4	2	4	1
66	12	15	14	10	11	9	4	13	8	6	7	3	2	5	1
67	10	7	10	11	4	8	9	4	5	9	2	6	3	3	1
68	10	14	15	12	6	8	4	13	9	11	5	2	3	7	1
69	11	10	7	10	9	5	9	4	8	4	3	3	6	2	1
70	10	12	15	14	4	8	6	11	9	13	2	5	3	7	1
71	10	11	10	7	9	8	4	9	5	4	6	2	3	3	1
72	12	10	14	15	4	9	11	6	8	13	3	7	2	5	1
73	7	10	11	10	4	5	4	9	8	9	3	3	2	6	1
พื้นที่รับแสง BCD จากภาพที่ 4.17ด้านล่าง															
34	0	7	5	6	0	0	0	3	4	2	0	0	0	1	0
35	0	7	5	6	0	0	0	3	4	2	0	0	0	1	0
36	0	5	3	5	0	0	0	2	4	2	0	0	0	1	0
37	0	5	4	5	0	0	0	2	3	2	0	0	0	1	0
38	0	6	5	7	0	0	0	2	4	3	0	0	0	1	0
39	0	6	5	7	0	0	0	2	4	3	0	0	0	1	0
พื้นที่รับแสง ABC จากภาพที่ 4.17ด้านล่าง															
40	7	5	6	0	3	4	0	2	0	0	1	0	0	0	0
41	7	5	6	0	3	4	0	2	0	0	1	0	0	0	0
42	5	3	5	0	2	4	0	2	0	0	1	0	0	0	0
43	5	4	5	0	2	3	0	2	0	0	1	0	0	0	0
44	6	5	7	0	2	4	0	3	0	0	1	0	0	0	0
45	6	5	7	0	2	4	0	3	0	0	1	0	0	0	0
พื้นที่รับแสง ABD จากภาพที่ 4.17ด้านล่าง															
46	5	6	0	7	2	0	3	0	4	0	0	0	1	0	0
47	5	6	0	7	2	0	3	0	4	0	0	0	1	0	0
48	3	5	0	5	2	0	2	0	4	0	0	0	1	0	0
49	4	5	0	5	2	0	2	0	3	0	0	0	1	0	0
50	5	7	0	6	3	0	2	0	4	0	0	0	1	0	0
51	5	7	0	6	3	0	2	0	4	0	0	0	1	0	0
พื้นที่รับแสง ACD จากภาพที่ 4.2															
52	6	0	7	5	0	4	2	0	0	3	0	1	0	0	0
53	6	0	7	5	0	4	2	0	0	3	0	1	0	0	0
54	5	0	5	3	0	4	2	0	0	2	0	1	0	0	0
55	5	0	5	4	0	3	2	0	0	2	0	1	0	0	0
56	7	0	6	5	0	4	2	0	0	3	0	1	0	0	0
57	7	0	6	5	0	4	3	0	0	2	0	1	0	0	0

4.7 การทดสอบสัญญาณพัลส์

1.การทดลองภาพที่ 8 ค่าที่ผิดพลาดตำแหน่งที่ 4 ของพัลส์เกิดขึ้นจากพัลส์อันดับที่4 และ 5 มีความสูงเท่ากันสังเกตค่าจากตาราง 4.3 พื้นที่จุดที่7และ26 ลำดับพัลส์ที่ 5 และ 6 นั่นก็คือตำแหน่งที่ 4 และ 5 จากตาราง4.6มีการสลับความสูงกันอยู่แต่ค่าที่ได้จากภาพการทดลอง กลับไม่ตรงกับพื้นที่ที่ 7 หรือ 26 นั่นคือพัลส์อันดับที่4และ5มีความสูงเท่ากัน นอกเหนือค่าที่ได้จากการคำนวณตารางเมื่อคำนวณ สัญญาณที่5จากภาพแล้วไปเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.3 ที่อยู่ในลำดับที่ 6 นั่นคือภาพที่ 8 อยู่ระหว่างพื้นที่ 26และ7 พอลิคิดเป็นค่าระยะห่าง รัศมี 29 cm จากจุดที่วัดค่าทดลอง

2.สำหรับค่าของสัญญาณที่อยู่ไกลจากหลอด LED มากๆ ถ้าพัลส์อันดับที่ 4และ5ไม่สามารถบอกชนิดของสัญญาณได้พื้นที่นั้น จะหาค่าไม่ได้จึงต้องคำนวณค่าเพิ่มเข้าไปในตาราง 4.3 เพื่อเพิ่มพื้นที่รอบนอกเส้นวงกลมวงที่ 2 เข้าไปดังนั้นค่าในตารางที่สมบูรณ์จะได้ดังตารางที่ 4.7 ทดสอบหาพื้นที่บนค่าที่ 53 อีกครั้ง สำหรับค่าที่ผิดพลาด หาค่าไม่ได้ตามตาราง 4.6

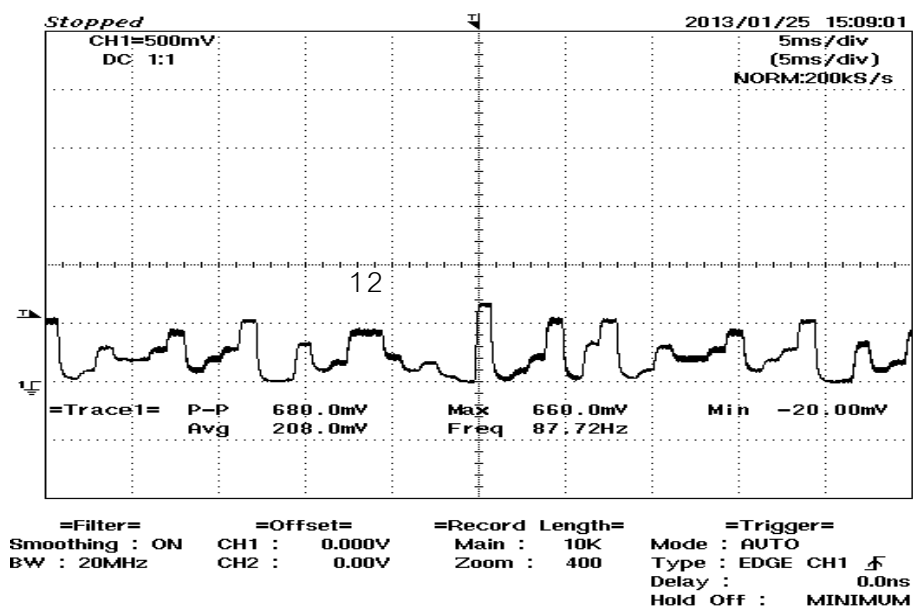


ภาพที่ 4.15 ค่าที่ 53 ที่ความสูง100 cm

จากภาพที่ 4.15 สัญญาณลำดับที่ 1+2 = 00000000010000000000010001001 ค่าMF = 0.080026 ,0.106838 ,0.106021 ,0.090807= bcd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 2 เป็น bcd สัญญาณลำดับที่ 1+3 = 0000001000100000100000010001001 ค่าMF = 0.139578 ,0.125522 ,0.133554 ,0.109164 = bc+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 3 เป็น bc สัญญาณลำดับที่ 1+4 = 0000000000000000010000010000000 ค่าMF = 0.085816

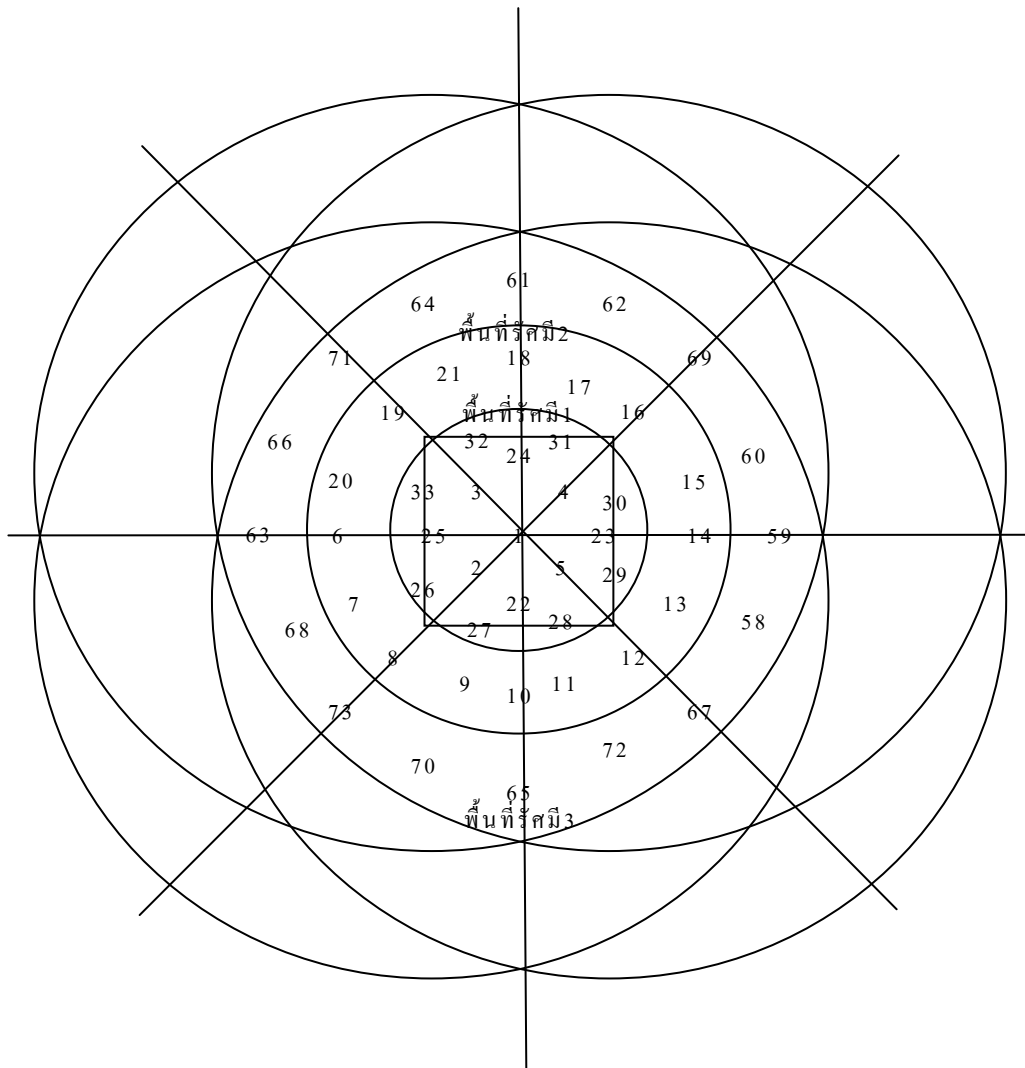
,0.068516 ,0.168919 , 0.16819 = abd+abcd จากค่าในตาราง 4.7 จึงได้ความสูงพัลส์อันดับ 4 เป็น abd ดังนั้น จึงจัดอันดับความสูงของพัลส์จากมากไปน้อยคือ 1.abcd 2.bcd 3.bc 4.abd เทียบค่าจากตารางจะได้พื้นที่ที่ 58

3. ทำนองเดียวกันกับกรณีที่ 1 ค่าที่ผิดพลาดตำแหน่งที่ 3 ของพัลส์ เกิดขึ้นจากพัลส์อันดับที่ 3 และ 4 มีความสูงเท่ากัน นั่นคือค่าที่อยู่บนเส้นวงกลมวงที่ 2 ระหว่างพื้นที่ 2 ตำแหน่งที่ติดกับเส้นวงกลมวงที่ 2 ซึ่งจากผลการทดลองจะได้ระยะนี้บนรัศมีจากจุดศูนย์กลางเท่ากับ 60 cm ตามภาพด้านล่างค่าที่ 52 อยู่ระหว่างพื้นที่ 13 และ 58 สังเกตจาก ค่า 1 และ 2 บนภาพ ข้อ 2. และ 3.



ภาพที่ 4.16 ค่าสัญญาณที่รับจากบริเวณเส้นวงกลมที่เป็นแนวรอยต่อพื้นที่ โชนในและ โชนนอก

4. โชนพื้นที่ทดสอบในการทดลองที่ระยะห่าง 100 cm ได้โชนพื้นที่วงกลมรัศมีวงที่ 1 = 29 cm โชนพื้นที่วงกลมรัศมีวงที่ 2 60 cm รัศมีวงที่ 3 120 cm แรงดันต่ำสุด 100 mV แสดงดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 โชนพื้นที่ทดสอบในการทดลองที่ระยะห่าง 100 cm

จากภาพที่ 4.17 โดยเส้นวงกลมที่เห็นในภาพคือเส้นแบ่งโชนพื้นที่และเส้นตรงที่ตัดผ่านคือบริเวณที่หลอดมีตำแหน่งที่สมดุลกัน

4.8 การวิเคราะห์หาตำแหน่งค่าพิกัด

กำหนดค่า สมการที่ใช้ในการหาพิกัดคือ

$$1. E \propto \frac{1}{d}$$

2. $MF \rightarrow \text{normalization}$

$$d_1 = \left[\frac{(MF_1)}{(MF_1)_{max}} \right] E_r$$

$$d_2 = \left[\frac{(MF_2)}{(MF_2)_{max}} \right] E_r$$

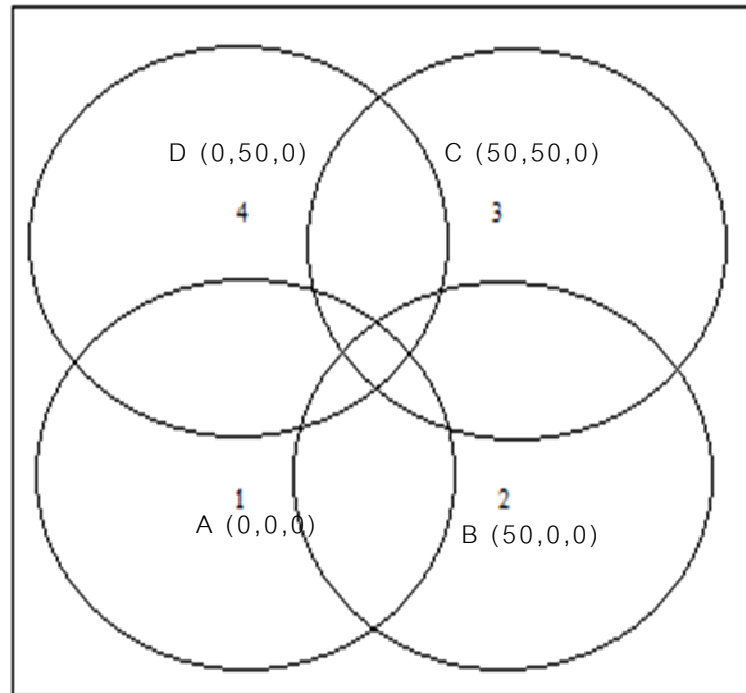
$$d_3 = \left[\frac{(MF_3)}{(MF_3)_{max}} \right] E_r$$

$$d_4 = \left[\frac{(MF_4)}{(MF_4)_{max}} \right] E_r$$

โดยค่า

1. MF_1 คือ ค่า merit factor ที่เกิดจากสัญญาณ ที่ป้อนเข้าหลอดA correlation กับสัญญาณที่มีระดับแรงดันที่มากกว่าค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่วัด
2. MF_2 คือ ค่า merit factor ที่เกิดจากสัญญาณ ที่ป้อนเข้าหลอดB correlation กับสัญญาณที่มีระดับแรงดันที่มากกว่าค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่วัด
3. MF_3 คือ ค่า merit factor ที่เกิดจากสัญญาณ ที่ป้อนเข้าหลอดC correlation กับสัญญาณที่มีระดับแรงดันที่มากกว่าค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่วัด
4. MF_4 คือ ค่า merit factor ที่เกิดจากสัญญาณที่ป้อนเข้า หลอดD correlation กับสัญญาณที่มีระดับแรงดันที่มากกว่าค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่วัด
5. $(MF_1)_{max}, (MF_2)_{max}, (MF_3)_{max}, (MF_4)_{max}$ คือค่า merit factorของ(สัญญาณหลอด A correlation สัญญาณหลอดA),merit factorของ(สัญญาณหลอดB correlation สัญญาณหลอดB), merit factorของ(สัญญาณหลอดC correlation สัญญาณหลอดC),merit factorของ(สัญญาณหลอดD correlation สัญญาณหลอดD)ตามลำดับ
6. ค่า E_r คือระดับแรงดันสูงสุดของสัญญาณที่วัดมาได้
7. d_1, d_2, d_3, d_4 คือ แรงดันของหลอด A,B,C,D ตามลำดับ

4.9 การทดสอบหาพิกัด โดยกำหนดพิกัดที่หลอด A=(0,0) B=(50,0) C=(50,50) D=(0,50)



ภาพที่ 4.18 แสดงค่าพิกัดของหลอดไฟแต่ละหลอด

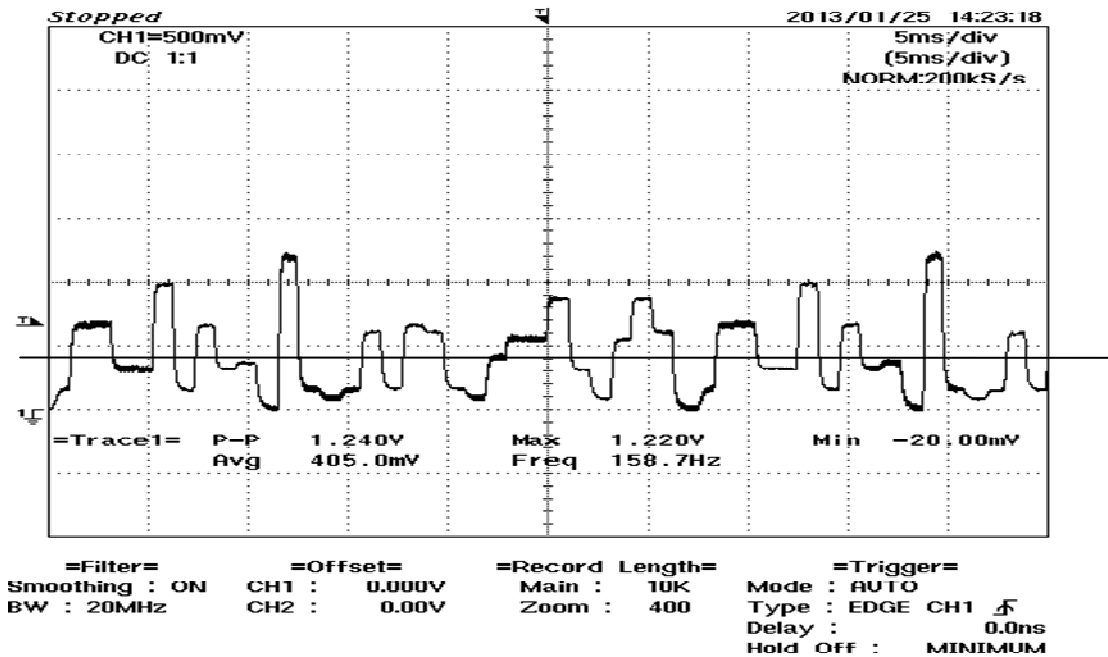
จากภาพที่ 4.18 สัญญาณที่ใช้ทดสอบที่จ่ายให้หลอดทั้ง4คือ $(MF)_{max}$

A = 0001110011000110010101010000010 ค่า merit factor A correlation A = 0.578916

B = 0010001000100100111000010011011 ค่า merit factor B correlation B = 0.442449

C = 0101111111100001100010010101001 ค่า merit factor C correlation C = 0.60215

D = 1010010001101011010110011001101 ค่า merit factor D correlation D = 0.455882



ภาพที่ 4.19 ค่าที่1 ตั้งตัวรับตรงจุดหลอด A ที่ความสูง100 cm

จากภาพที่ 4.19 สัญญาณนี้เป็นภาพสัญญาณที่วัดได้ที่ตำแหน่ง (0,0,100) ที่วางตรงกับหลอด A เส้นที่ตัดกลางภาพคือเส้นค่าเฉลี่ยของสัญญาณ โดยค่าระดับสัญญาณ ที่สูงกว่าจะ อ่านค่าเป็น1 และต่ำกว่าเส้นคือ อ่านค่าเป็น 0 ดังนั้นค่าที่อ่านได้จากสัญญาณรูปนี้ จำนวน 31 บิตคือ 1000101100111100111001100101000 และเมื่อนำมาหาค่า merit factor กับหลอดทั้ง 4 จะได้

1. MF_1 ของสัญญาณที่วัดได้กับหลอด A

1000101100011100111001100101001 correlation 1000101100111100111001100101000
 =0.193082

2. MF_2 ของสัญญาณที่วัดได้กับหลอด B

1000101100011100111001100101001 correlation 1000101100111100111001100101000
 =0.087474

3. MF_3 ของสัญญาณที่วัดได้กับหลอด C

1000101100011100111001100101001 correlation 1000101100111100111001100101000
 =0.097424

4. MF_4 ของสัญญาณที่วัดได้กับหลอด D

1000101100011100111001100101001 correlation 1000101100111100111001100101000
 =0.146867

ซึ่งสามารถหาค่าระยะห่างระหว่างหลอดทั้ง 4 กับจุดที่วัดได้จากสมการ

$$d_1 = \left[\frac{(MF_1)}{(MF_1)_{max}} \right] E_r \qquad d_2 = \left[\frac{(MF_2)}{(MF_2)_{max}} \right] E_r$$

$$d_3 = \left[\frac{(MF_3)}{(MF_3)_{max}} \right] E_r \qquad d_4 = \left[\frac{(MF_4)}{(MF_4)_{max}} \right] E_r$$

โดยค่า $(MF)_{max} = 2.08$, $E_r = 1.24$ v

จะได้แรงดันของหลอดทั้ง 4 เท่ากับ

$$d_1 = \left(\frac{0.193082}{0.578916} \right) (1.24) = 413.57 \text{ mv}$$

$$d_2 = \left(\frac{0.087474}{0.442449} \right) (1.24) = 245.15 \text{ mv}$$

$$d_3 = \left(\frac{0.097424}{0.60215} \right) (1.24) = 200.62 \text{ mv}$$

$$d_4 = \left(\frac{0.146867}{0.455882} \right) (1.24) = 400 \text{ mv}$$

โดย ค่าแรงดัน จากหลอดที่ใช้ทดลองจะลดลงเฉลี่ยทุกๆ 40 mv จากการเก็บค่าที่ทดลอง โดยตัวรับรับค่าความเข้มแสงแปลงเป็นแรงดันได้สูงสุดเท่ากับ 4.85 v

$$\text{ดังนั้นค่า แรงดันจะได้เป็นระยะ } D_1 = \frac{4850 - 413.57}{40} = 110.91 \text{ cm}$$

$$\text{ดังนั้นค่า แรงดันจะได้เป็นระยะ } D_2 = \frac{4850 - 245.15}{40} = 115.12 \text{ cm}$$

$$\text{ดังนั้นค่า แรงดันจะได้เป็นระยะ } D_3 = \frac{4850 - 200.62}{40} = 116.23 \text{ cm}$$

$$\text{ดังนั้นค่า แรงดันจะได้เป็นระยะ } D_4 = \frac{4850 - 400}{40} = 111.25 \text{ cm}$$

แทนค่าลงไปในสมการ เพื่อหาค่าพิกัดหลอด

$$\text{จากสมการการหาพิกัด } (X-x)^2 + (Y-y)^2 + (Z-z)^2 = D^2 \qquad (4.1)$$

โดยที่ค่า X,Y,Z คือ ค่าพิกัดที่ตั้งหลอดไฟ

x,y,z คือ ค่าพิกัดของตัว เซนเซอร์

D คือ ค่าระยะห่างระหว่างหลอดไฟถึงตัว เซนเซอร์

วิเคราะห์พิกัดโดยการ แทน พิกัดหลอดไฟลงไป ใน (1) โดยเลือกแทนค่า เพียง 3 หลอด จะได้

$$(0-x)^2+(0-y)^2+(0-z)^2 = 110.91^2 \quad (4.2)$$

$$(50-x)^2+(0-y)^2+(0-z)^2 = 115.12^2 \quad (4.3)$$

$$(50-x)^2+(50-y)^2+(0-z)^2 = 116.23^2 \quad (4.4)$$

นำ สมการที่ (4.4) - (4.2) จะได้

$$(50-y)^2 - (0-y)^2 = 116.23^2 - 110.91^2$$

$$2500 - 100y + y^2 - y^2 = 256.8$$

$$2500 - 100y = 256.8$$

$$y = \frac{2500 - 256.8}{100}$$

$$y = 22.43 \text{ cm}$$

นำ สมการที่ (4.3) - (4.2) จะได้

$$(50-x)^2 - (0-x)^2 = 115.12^2 - 110.91^2$$

$$2500 - 100x + x^2 - x^2 = 951.6$$

$$2500 - 100x = 951.6$$

$$x = \frac{2500 - 951.6}{100}$$

$$x = 15.48 \text{ cm}$$

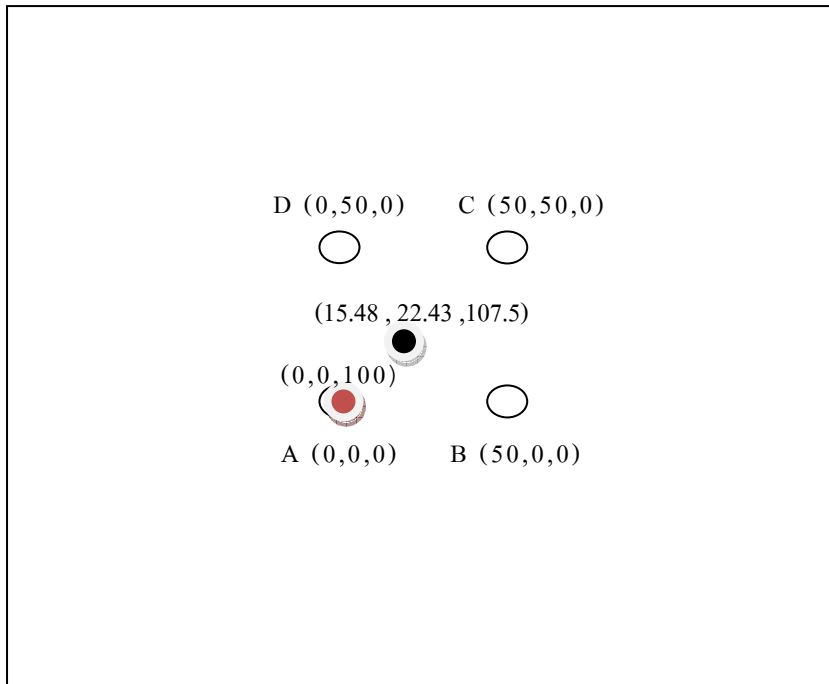
นำค่า x และ y ที่คำนวณได้แทนลงไป ใน สมการที่ (4.1) จะได้

$$(0-15.48)^2 + (0-22.43)^2 + (0-z)^2 = 110.91^2$$

$$z^2 = 11558.29$$



$$z = 107.5 \text{ cm}$$

ดังนั้นพิกัดที่ได้จากการวิการทดลองคือ (15.48 , 22.43 ,107.5) cm ค่าจริงคือ (0,0,100) cm

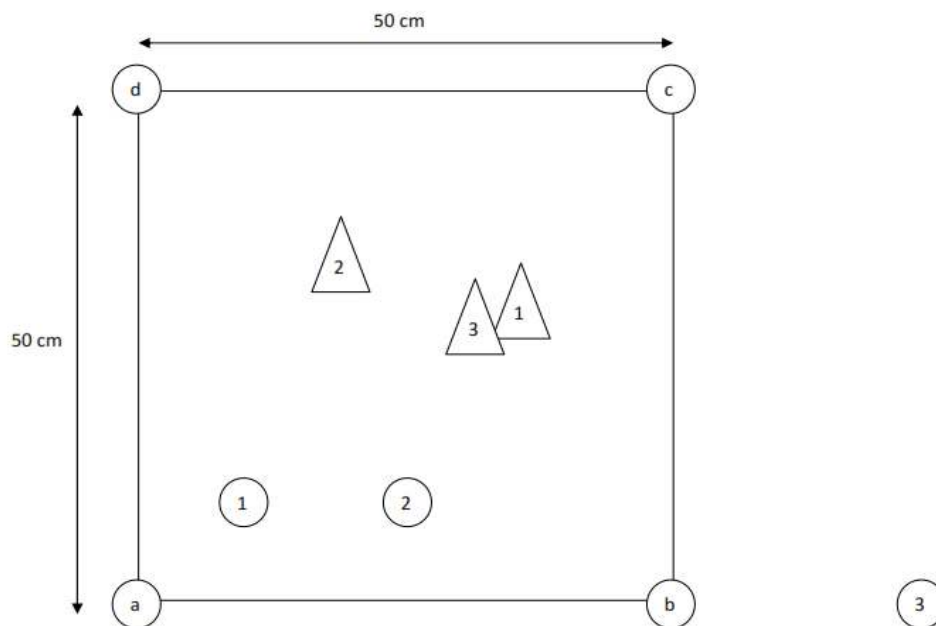


ภาพที่ 4.20 ค่าพิกัด จริงกับ พิกัดที่ได้จากการทดลอง

โดยกำหนดให้

-  คือค่าพิกัดจริง
-  คือค่าพิกัดที่ได้จากการทดลอง

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการทดลองที่จุดอื่นๆจะได้ดัง ภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.21 ค่าพิกัด จริงกับ พิกัดที่ได้จากการทดลอง ที่วัดตามจุดต่างๆ โดยกำหนดให้

- คือค่าพิกัดจริง
- △ คือค่าพิกัดที่ได้จากการทดลอง

4.10 สรุปค่าที่ได้จากการหาค่าพิกัด

เนื่องจากการหาค่า พิกัดนั้น สิ่งสำคัญคือระดับแรงดันจะต้องคงที่ แต่ผลที่ได้จากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเป็นผลมาจากการเก็บค่าแรงดันที่ได้มานั้น มีปัจจัยอื่นๆที่เข้ามาเกี่ยวข้องเช่น ผลของแสงรบกวนจากภายนอก ค่าการสะท้อนของแสงรอบๆ พื้นที่ที่ทำการทดลอง ความถูกต้องในการเก็บค่าผลการทดลอง และอื่นๆ ทำให้ค่าที่คำนวณมาได้นั้นมีการกระจายตัว อยู่บริเวณตรงกึ่งกลางของหลอดทั้ง 4 เท่านั้น

บทที่ 5

สรุป

จากการทดลองการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านแสงที่มองเห็นเพื่อที่จะนำสัญญาณที่รับมาได้มาพิจารณาในการระบุพื้นที่โดยประมาณ โดยทำการป้อนสัญญาณแต่ละตัวใส่หลอดเพื่อที่จะบอกหลอดที่รับมาได้ ว่ามาจากหลอดดวงไหน ซึ่งค่าที่รับมาได้นั้นถ้ามีสัญญาณรวมกันมากกว่า 1 สัญญาณจะพิจารณาความสูงของพัลส์จากสัญญาณที่รับมาได้นำมาคำนวณค่าความแตกต่างของสัญญาณด้วยวิธี cross correlation กับสัญญาณที่ทำการป้อนสัญญาณแต่ละดวงและนำมาหา Merit factor เพื่อนำค่าที่ได้จากการ cross correlation มาเขียนอยู่ในเลขจำนวนเต็มในการเปรียบเทียบค่าที่หามาได้จากตารางการคำนวณความเข้มแสง จะสามารถระบุหาพื้นที่ที่รับสัญญาณมาได้จากการคำนวณ ปัญหาระหว่างการทดลอง เช่น หลอด LED กระทบจากการใช้ความถี่ต่ำไม่สามารถใช้ความถี่สูงมากเกินไปได้เพราะจะทำให้บิดเบี้ยวและตั้งค่าเริ่มต้นของมันได้ยาก และ แรงดันที่จ่ายให้หลอด LED ไม่สูงตามเป้าหมายเนื่องจากใช้ความถี่ต่ำทำให้ความเข้มแสงที่ปล่อยออกมาได้นั้นลดลง และ มุมของการรับแสงจากเซนเซอร์ตรวจจับแสงมีค่าการลดทอนตามมุมตกกระทบทำให้เมื่อตั้งเซนเซอร์เบี่ยงเล็กน้อยก็อาจจะทำให้ค่าที่อ่านได้คลาดเคลื่อนบ้าง รวมทั้งการตั้งจุดรับแสงไม่ตรงทำให้ค่าสัญญาณที่อ่านได้นั้นอยู่ในโซนพื้นที่อื่นๆ เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้ยังมีข้อผิดพลาดในการประมาณตำแหน่งค่อนข้างสูงเนื่องจากข้อจำกัดด้านสถานที่และเวลา จึงต้องมีการต่อยอดและพัฒนาให้ระบบ การประมาณตำแหน่งนั้นมีความแม่นยำยิ่งขึ้น โดยเพิ่มตัวแปรต่างๆเข้ามาเพื่อช่วยในการหาจุดที่วัตถุตั้งอยู่ การหาตำแหน่งแบบวิธีที่หนึ่งเป็นพื้นที่ที่จะบอกจุดในการประมาณตำแหน่งได้กระจายบนพื้นที่โซนต่างๆ โดยค่าที่วัดมาจะได้จะอยู่ภายในโซนพื้นที่ตามโมเดลที่ได้ออกแบบไว้ในการคำนวณหาตำแหน่งแบบวิธีที่สองนั้นเราได้วิเคราะห์สัญญาณที่รับมาได้โดยการเปรียบเทียบสัญญาณกับสัญญาณแหล่งจ่ายทั้ง 4 หลอดโดยใช้การคำนวณ Correlation และ Merit Factor เพื่อที่จะสามารถบอกได้ว่าสัญญาณนั้นรับแสงจากหลอดไหนใกล้ที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุติ บรรจงจิตรตรง “วิศวกรรมการส่องสว่าง” จัดพิมพ์และจำหน่ายโดยบริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน),2543
- [2] Pingzhi Fan and Micheal Dernell “Sequence Design for Communications Applications” THE UNIVERSITY OF MANCHESTER,1996
- [3] ปรีชา กอเจริญ “BINARY AND POLYPHASE SEQUENCES WISH GOOD CORRELATION PROPERTIES” ปรินญานิพนธ์บัณฑิต DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING THE UNIVERSITY OF MANCHESTER,1998
- [4] อธิพัทธ์ ลาวัง และ กิรดิษ สายพัทลุง “การประยุกต์ใช้โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในการติดตามเด็กพลัดหลง” ปรินญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม,2551

ภาคผนวก ก