

## การจำลองวิธีลดสัญญาณรบกวนที่ส่งผ่านช่องสัญญาณสื่อสาร

โดยการเข้ารหัสบาร์เคอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

# A Simulation Of Noise Reduction Transmitted Through Communication Channel By Barker Coding With Microcontroller

นิรันดร์ ชุมสาย ณ อยุธยา , สุบรรณ แจ่มประจักษ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการเข้ารหัสบาร์เคอร์ขนาด 7 บิต , 11 บิต และ 13 บิต ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากช่องสัญญาณสื่อสารที่ส่งผลทำให้สัญญาณข่าวสารทางด้านรับเกิดความผิดเพี้ยน โดยการจำลองสัญญาณคิซัลเชิงเฟสของการส่งสัญญาณผ่านแถบที่สัญญาณข่าวสารมีการเข้ารหัสบาร์เคอร์กับไม่เข้ารหัสบาร์เคอร์ด้วยโปรแกรมจำลองการทำงานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า การเข้ารหัสบาร์เคอร์ทางด้านส่งช่วยในการคืนกลับของสัญญาณข่าวสารทางด้านรับไม่ผิดเพี้ยน เนื่องจากการเพิ่มค่ากำลังงานส่งเพียงเล็กน้อยทำให้อัตราข้อผิดพลาดบิตลดลงมาก จากผลการจำลอง การเข้ารหัสบาร์เคอร์ขนาด 13 บิตให้เสถียรภาพการคืนกลับของสัญญาณข่าวสารด้านรับมากที่สุด โดยที่ให้กำลังงานส่งเพิ่ม  $0.9nW$  ทำให้อัตราข้อผิดพลาดบิตลดลง  $0.95\%$  ในขณะที่การไม่เข้ารหัสบาร์เคอร์เมื่อให้กำลังงานส่งเพิ่ม  $4.8nW$  ทำให้อัตราข้อผิดพลาดบิตลดลง  $0.65\%$  เมื่อพิจารณาด้านกำลังงานส่งจะลดลงราว 4.2 เท่า แต่มีการล่าช้าทางเวลาโดยที่สัญญาณข่าวสารด้านรับล่าช้ากว่าด้านส่งราว 1.2 ไมโครวินาที

คำสำคัญ : รหัสบาร์เคอร์ , ไมโครคอนโทรลเลอร์

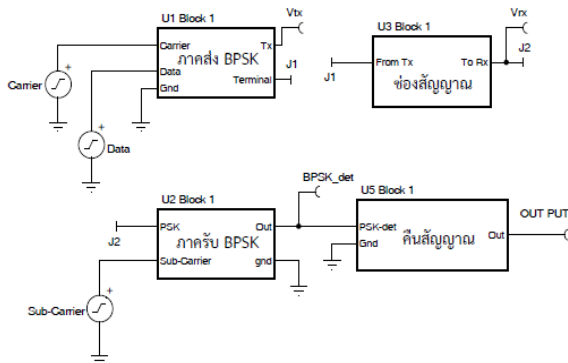
### Abstract

*This paper presents Barker coding of 7 bits , 11 bits and 13 bits with microcontroller to minimize the interfering signal from the transmission channel that can cause distortion to the receiver data signal. From the simulation of binary phase shift keying signal of sending bandpass transmission of data signal with Barker code and without Barker code by the Electronic software simulation , We found that Barker coding from the transmitter helps the receiver to receive the data signal back without any distortion. The minimal increase of power transmitter could decrease a lot of bit error rate. Increasing the power transmitter by  $0.5nW$  for Barker coding of 13 bits will maintain the best stability for the receiver data signal. It reduces the bit error rate about  $0.95\%$ . Whereas increasing the power transmitter by  $4.8nW$  without Barker coding can decrease the bit error rate about  $0.65\%$ . When considering the power transmitter , it gets decrease approximately 4.2 times. However, There is delay timing of receiver data signal being slower than the transmitter data signal by  $1.2\mu S$ .*

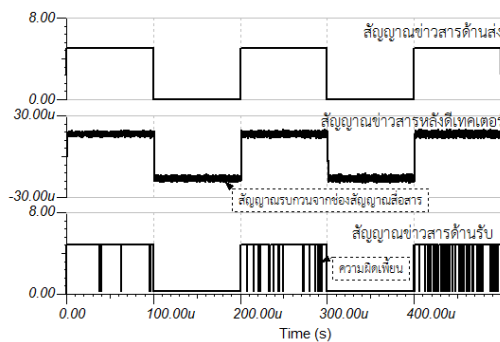
**Keyword :** Barker code , Microcontroller

**1. บทนำ**

การพาสัญญาณข่าวสารจากด้านส่งไปยังด้านรับที่อยู่ห่างไกลต้องอาศัยวิธีการส่งสัญญาณผ่านแถบ (bandpass transmission) ในรายงานฉบับนี้เสนอวิธีจำลองการส่งสัญญาณผ่านแถบที่มีการกล้ำสัญญาณข่าวสารกับคลื่นพาห์แบบคิซิทัลทางเฟส (binary phase shift keying, BPSK) ผ่านช่องสัญญาณสื่อสารที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางพบว่ามีสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวส่งผลให้สัญญาณข่าวสารด้านรับเกิดความผิดเพี้ยนแสดงดังภาพที่ 1



(ก) บล็อกไดอะแกรมของด้านส่งและด้านรับ

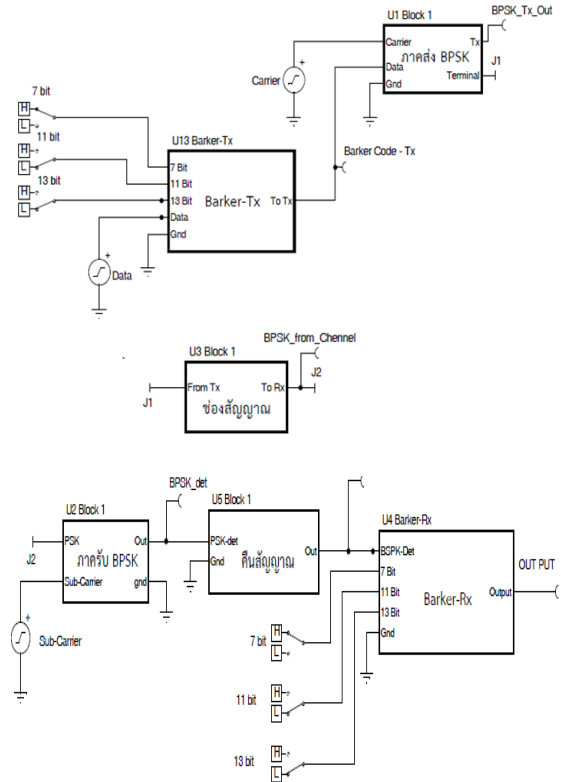


(ก) ความผิดเพี้ยนสัญญาณข่าวสารด้านรับที่เกิดจากช่องสัญญาณสื่อสาร

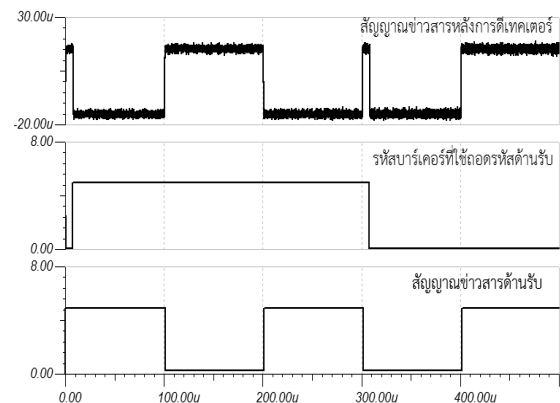
**ภาพที่ 1 :** ระบบส่งสัญญาณดิจิทัลแบบแถบผ่าน

การลดความผิดเพี้ยนสัญญาณข่าวสารด้านรับใช้วิธีการใส่รหัสบาร์เคอร์ (barker code) เข้าไปพร้อมกับสัญญาณข่าวสาร

ทางด้านส่งและใช้ถอดรหัสทางด้านรับเพื่อให้สัญญาณข่าวสารกลับคืนมาแสดงดังภาพที่ 2



(ก) บล็อกไดอะแกรมของด้านส่งและด้านรับที่ใส่รหัสบาร์เคอร์ 7 บิต , 11 บิต และ 13 บิต



(ข) สัญญาณข่าวสารด้านรับที่ได้จากการถอดรหัสบาร์เคอร์

**ภาพที่ 2 :** ระบบส่งสัญญาณดิจิทัลแบบผ่านแถบโดยมีการใส่รหัสบาร์เคอร์ ขนาด 7 บิต , 11 บิต และ 13 บิต

วิธีการใส่รหัสคิซิทัลเข้าไปพร้อมกับสัญญาณข่าวสารนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น M-sequence , Barker code , Willard code ,

Walsh Hadamard Sequence codes [1] แต่ในรายงานฉบับนี้เลือกใช้รหัสบาร์เคอร์ด้วยเหตุผลเนื่องจาก เป็นชุดรหัสฐานสองที่สามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างได้ง่ายมีรูปแบบไม่ซับซ้อนให้ผลของการส่งข้อมูลได้มากขึ้น โดยความกว้างของช่องสัญญาณเท่าเดิมมีเสถียรภาพในการคงสัญญาณข่าวสารเมื่ออัตราข้อผิดพลาดบิตสูงขึ้น และ ช่วยลดกำลังงานด้านส่ง

## 2. ทฤษฎีและวิธีดำเนินการ

### 2.1 คุณสมบัติของรหัสบาร์เคอร์

รหัสบาร์เคอร์เป็นชุดรหัสฐานสองที่มีความยาวจำกัดและมีคุณสมบัติการให้ค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ที่ดี [2] ฟังก์ชันค่าสหสัมพันธ์ตนเอง (auto-correlation) เป็นตามความสัมพันธ์สมการ (1)

$$r(t) \leq 1 \quad \text{ที่ } t \neq 0 \quad \text{-- (1)}$$

พบว่าค่ารหัสบาร์เคอร์ที่ตำแหน่ง  $t = 0$  จะมีค่าสหสัมพันธ์ตนเองสูงสุด และ ที่  $t = 1$  จะมีค่าสหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง  $|\leq 1|$  ความยาวรหัสบาร์เคอร์ที่ใช้ในรายงานฉบับนี้มีค่าจำนวน 7 บิต, 11 บิต และ 13 บิต ดังแสดงค่าในตารางที่ 1

ความยาว	รหัสบาร์เคอร์
7 บิต	1110010
11 บิต	11100010010
13 บิต	1111100110101

ส่วนค่าพูข้างสหสัมพันธ์ (correlation sidelobe) ของรหัสบาร์เคอร์เป็นค่าความสัมพันธ์ของรหัสบาร์เคอร์ที่ตำแหน่งเดิมแล้วนำมาเลื่อนบิตไปตามแกนเวลาแล้วนำค่าที่ตำแหน่งที่มีการเลื่อนบิตไปรวมกับค่าในตำแหน่งบิตเดิมซึ่งจะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2 [3]

$$C_k = \sum_{j=1}^{N-k} x_j x_{j+k} \quad \text{-- (2)}$$

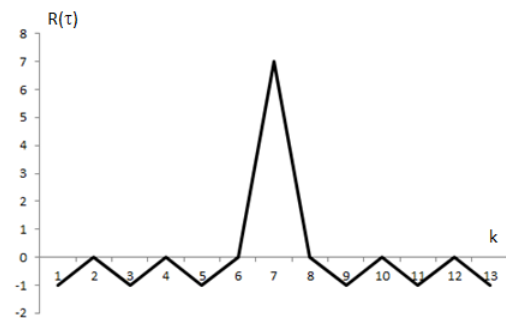
ค่าตัวแปรในสมการที่ (2) จะมีค่า  $x_j$  เป็นบิตข้อมูลเดิมและ  $x_{j+k}$  เป็นบิตข้อมูลเดิมที่เลื่อนบิตตามแกนเวลา

ค่า N คือ จำนวนบิตของรหัสบาร์เคอร์ และ k คือ ตำแหน่งที่มีการเลื่อนบิต จากตารางที่ 1 ค่าความยาวรหัสบาร์เคอร์ขนาด 7 บิตคือ 1110010 จะมีค่าสหสัมพันธ์ตนเองตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (2) แสดงด้วยตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าสหสัมพันธ์ตนเองของรหัสบาร์เคอร์ 7 บิต

ค่าตำแหน่งบิตที่เลื่อน	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
ค่าสหสัมพันธ์ตนเอง	-1	0	-1	0	-1	0	7	0	-1	0	-1	0	-1

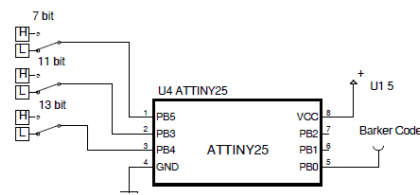
เมื่อนำค่าในตารางที่ 2 มาแสดงความความสัมพันธ์ในรูปของกราฟสหสัมพันธ์ตนเอง แสดงดังภาพที่ 3

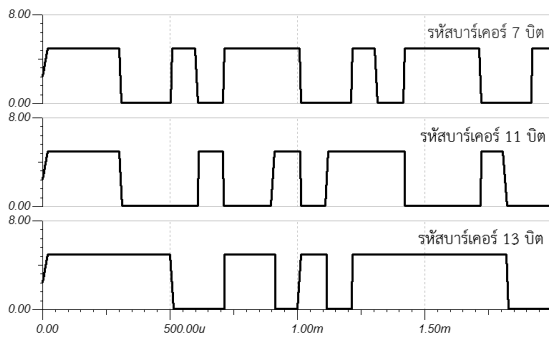


ภาพที่ 3 : ค่าสหสัมพันธ์ตนเองรหัสบาร์เคอร์ 7 บิต

### 2.2 การสร้างรหัสบาร์เคอร์

รหัสบาร์เคอร์ในรายงานฉบับนี้ถูกสร้างขึ้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATTN25 ขนาด 8 บิต [4] รหัสบาร์เคอร์ที่สร้างมีขนาด 7 บิต, 11 บิต และ 13 บิตซึ่งกำหนดด้วยสวิตช์เลือกบิตที่ขา PB3, PB4, PB5 ส่วนขา PB0 เป็นเอาต์พุตแสดงรหัสบาร์เคอร์ ที่มีความยาวของรหัสบาร์เคอร์ตามตารางที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4





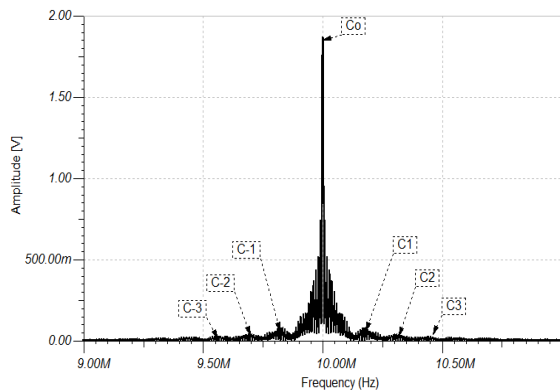
ภาพที่ 4 : รหัสบาร์โค้ดที่สร้างด้วย ATTNY25

### 2.3 ผลของรหัสบาร์โค้ด

ผลการส่งรหัสบาร์โค้ดเข้าไปรวมกับสัญญาณข่าวสารที่มีการกล้ำสัญญาณดิจิทัลเชิงเฟส มีผลดังนี้

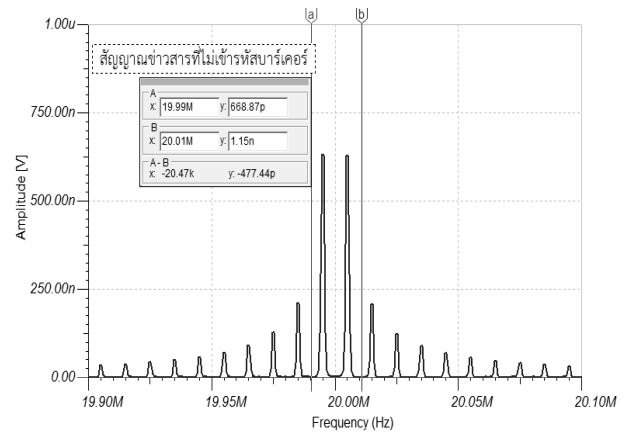
2.3.1 การส่งรหัสบาร์โค้ดพร้อมกับสัญญาณข่าวสารส่งผลให้กำลังงานส่งลดลง พิจารณาจากสเปกตรัมของสัญญาณดิจิทัลเชิงเฟสทางด้านส่ง โดยนำค่าขนาดแต่ละองค์ประกอบความถี่มาแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณ ตามสมการที่ 3

$$P = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |C_n|^2 \quad - (3)$$

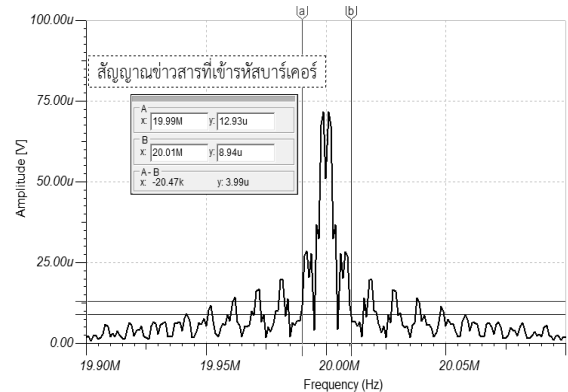


ภาพที่ 5 : สเปกตรัมสัญญาณดิจิทัลเชิงเฟสด้านส่ง

2.3.2 การส่งรหัสบาร์โค้ดพร้อมกับสัญญาณข่าวสารส่งผลให้ส่งข้อมูลได้มากขึ้น โดยความกว้างของช่องสัญญาณเท่าเดิม พิจารณาเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณดิจิทัลเชิงเฟสที่ผ่านการดีเทคเตอร์ทางด้านรับที่เข้ารหัสบาร์โค้ดกับไม่เข้ารหัสบาร์โค้ด



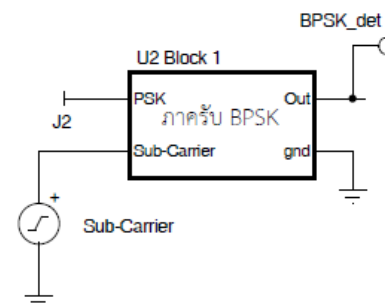
ก) สเปกตรัมสัญญาณข่าวสารไม่เข้ารหัสบาร์โค้ด

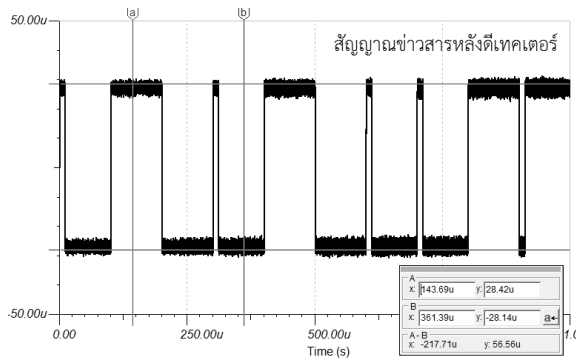


ข) สเปกตรัมสัญญาณข่าวสารที่เข้ารหัสบาร์โค้ด

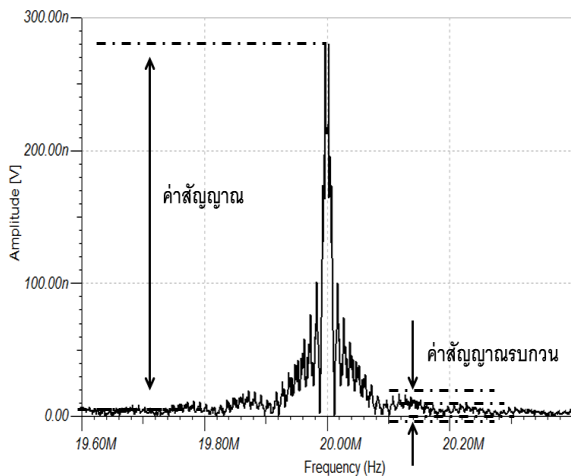
ภาพที่ 6 : ผลเปรียบเทียบสเปกตรัมสัญญาณข่าวสาร

2.2.3 การส่งรหัสบาร์โค้ดพร้อมกับสัญญาณข่าวสารส่งผลให้สัญญาณข่าวสารสามารถสังเกตเห็นภาพเมื่ออัตราข้อผิดพลาดบิตสูงขึ้น พิจารณาจากอัตราข้อผิดพลาดบิตสัญญาณดิจิทัลเชิงเฟสที่ผ่านดีเทคเตอร์ทางด้านรับ โดยวัดค่าขนาดสัญญาณข่าวสารด้านรับหลังดีเทคเตอร์ ส่วนสเปกตรัมของสัญญาณข่าวสารวัดค่าขนาดสัญญาณข่าวสารและขนาดของสัญญาณรบกวน





ก) วิธีการวัดขนาดสัญญาณข่าวสารด้านรับ



ข) วิธีวัดค่าขนาดของสัญญาณและสัญญาณรบกวน

ภาพที่ 7 : วิธีการวัดค่าพารามิเตอร์สัญญาณข่าวสาร

เพื่อที่นำไปคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน(SNR) จากนั้นนำค่าขนาดสัญญาณข่าวสาร(A), ค่าคาบเวลาบิต( $T_b$ ) จากการวัดมาพิจารณาอัตราข้อผิดพลาดบิตจากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 4,5,6 และ 7

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \quad --(4)$$

ถ้า  $E_b$  คือ ค่าพลังงานเฉลี่ยต่อบิต(จูล)หาจากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 5

$$E_b = \frac{A^2 T_b}{2} \quad --(5)$$

$T_b$  คือ ค่าคาบเวลาบิต (วินาที) และ ค่า A คือ ขนาดสัญญาณที่ด้านรับ (โวลท์)

ถ้า  $N_o$  คือ ค่าความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาว (วัตต์/เฮิรตซ์ , โวลท์<sup>2</sup>/เฮิรตซ์)หาจากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 6

$$N_o = \frac{E_b \cdot R_b}{SNR} \quad --(6)$$

$R_b$  คือ อัตราข้อมูล (บิต/วินาที)และ SNR คือ อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนหาจากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 7

$$SNR = \frac{S}{N} \quad --(7)$$

S คือ ค่าขนาดของสเปกตรัมสัญญาณข่าวสาร

N คือ ค่าขนาดของสเปกตรัมสัญญาณรบกวน

### 3.การออกแบบรหัสบาร์โค้ดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 3.1 การกำหนดคาบเวลารหัสบาร์โค้ด

การออกแบบรหัสบาร์โค้ดขนาด 7 บิต , 11 บิต และ 13 บิต กำหนดให้บิตรหัสบาร์โค้ดมีการเรียงลำดับตามชุดรหัสฐานสองที่แสดงในตารางที่ 1 โดยคาบเวลาในแต่ละบิตของรหัสบาร์โค้ดจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับคาบเวลาบิต( $T_b$ ) ซึ่งแสดงผลตามตารางที่ 3

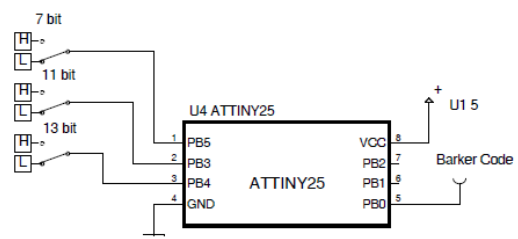
ตารางที่ 3 คาบเวลารหัสบาร์โค้ด

รหัสบาร์โค้ด	การเรียงลำดับบิต	คาบเวลา
7 บิต	1110010	700uS
11 บิต	11100010010	1.1mS
13 บิต	1111100110101	1.3ms

#### 3.2 การสร้างรหัสบาร์โค้ดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

การสร้างรหัสบาร์โค้ดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ส่วนฮาร์ดแวร์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATTINY25 ขนาด 8 บิต กำหนดให้ PB3,PB4,PB5 เป็นส่วนของการกำหนดบิตของรหัสบาร์โค้ด และ PB0 เป็นส่วนเอาท์พุทแสดงรหัสบาร์โค้ด



**ภาพที่ 8 :** ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สร้างรหัสบาร์โค้ด

3.2.2 ส่วนซอฟต์แวร์ใช้โปรแกรมภาษาปาลาคาสสร้างรหัสบาร์โค้ดขนาด 7 บิต ,11 บิต และ 13 บิต โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดทิศทางพอร์ตที่รีจิสเตอร์ DDB0 เป็นเอาต์พุตเพื่อส่งรหัสบาร์โค้ดไปที่ขา PB0

2) กำหนดทิศทางพอร์ตที่รีจิสเตอร์ DDB3,DDB4 และ DDB5 เป็นอินพุตเพื่อสร้างรหัสบาร์โค้ดขนาด 7 บิต

11 บิต และ 13 บิต การกำหนดสภาวะลอจิกใช้สวิทช์เลือกสถานะลอจิกโดยผู้ใช้งาน

2.1) เมื่อ DDB5 = '1' , DDB4 = '0' , DDB3 = '0'

โปรแกรมจะกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย seven

สร้างรหัสบาร์โค้ดขนาด 7 บิต

2.2) เมื่อ DDB5 = '0' , DDB4 = '0' , DDB3 = '1'

โปรแกรมจะกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย Eleven

สร้างรหัสบาร์โค้ดขนาด 11 บิต

2.3) เมื่อ DDB5 = '0' , DDB4 = '1' , DDB3 = '0'

โปรแกรมจะกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย Thirteen

สร้างรหัสบาร์โค้ดขนาด 13 บิต

จากนั้นใช้ลำดับขั้นตอนที่กล่าวมาเขียนโปรแกรมสร้าง

รหัสบาร์โค้ดขนาด 7 บิต , 11 บิต และ 13 บิต

```

program Barker_Code;
var
  i,j,k : bit;
procedure Seven;
begin
  PORTB0_bit := %1;
  delay_us(300);
  PORTB0_bit := %0;
  delay_us(200);
  PORTB0_bit := %1;
  delay_us(100);
  PORTB0_bit := %0;
  delay_us(100);
end;
procedure Eleven;
begin
  PORTB0_bit := %1;
  delay_us(300);
  PORTB0_bit := %0;
  delay_us(300);
  PORTB0_bit := %1;
  delay_us(100);
  PORTB0_bit := %0;
  delay_us(200);
  PORTB0_bit := %1;
  delay_us(100);
  PORTB0_bit := %0;
  delay_us(100);
end;
procedure Thirteen;
begin
  PORTB0_bit := %1;
  delay_us(500);
  PORTB0_bit := %0;
  delay_us(200);
  PORTB0_bit := %1;
  delay_us(200);
  PORTB0_bit := %0;
  delay_us(100);
  PORTB0_bit := %1;
  delay_us(100);
  PORTB0_bit := %0;
  delay_us(100);
  PORTB0_bit := %1;
  delay_us(100);
end;
begin
  DDB0_bit := %1;
  DDB5_bit := %0;
  DDB3_bit := %0;
  DDB4_bit := %0;
  while true do
  begin
    i := PINB5_bit;
    j := PINB3_bit;
    k := PINB4_bit;
    if (j=0)and(i=1)and(k=0) then
      Seven
    else if (j=1)and(i=0)and(k=0) then
      Eleven
    else if (j=0)and(i=0)and(k=1) then
      Thirteen

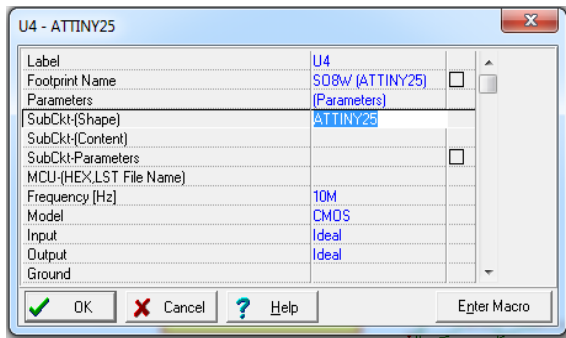
    else
      PORTB0_bit := %0;
  end;
end.

```

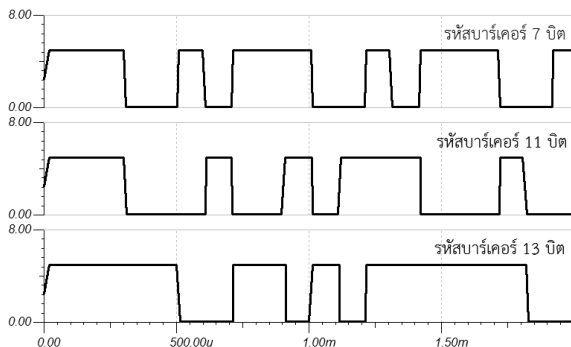


### 3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรหัสบาร์โค้ด

การตรวจสอบความถูกต้องของรหัสบาร์โค้ดมีวิธีดำเนินการโดยแปลงไฟล์ Barker\_Code.pas เป็น Barker\_Code.hex แล้วนำไฟล์ Barker\_Code.hex โหลดลงในไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณรหัสบาร์โค้ดที่ตำแหน่ง PB0 ต้องเป็นตามเงื่อนไขในตารางที่ 3



#### ก) วิธีโหลดไฟล์ Barker\_Code.hex ลง ATTINY25



#### ข) รหัสบาร์โค้ดขนาด 7 บิต, 11 บิต และ 13 บิต

ที่ขา PB0 ของ ATTINY25

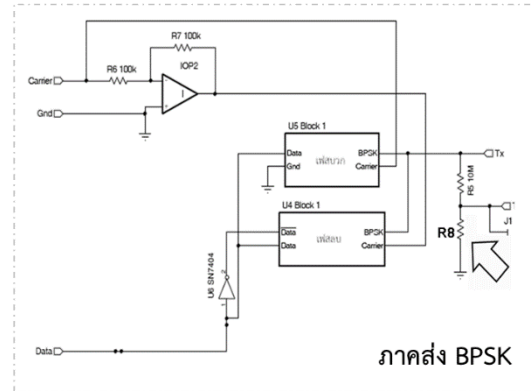
ภาพที่ 9 : วิธีโหลดไฟล์ .hex เพื่อสร้างรหัสบาร์โค้ด

## 4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยในรายงานฉบับนี้จำลองการทำงานของ การส่งสัญญาณแถบความถี่ฐานที่มีการกล้ำสัญญาณข้างสารกับคลื่นพาห์แบบดิจิทัลทางเฟสโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างรหัสบาร์โค้ด 7 บิต, 11 บิต และ 13 บิต สำหรับเข้ารหัสกับสัญญาณข้างสารทางด้านส่ง และใช้สำหรับการถอดรหัสเพื่อการคืนตัวสัญญาณข้างสารด้านรับ มีผลพิจารณาดังนี้

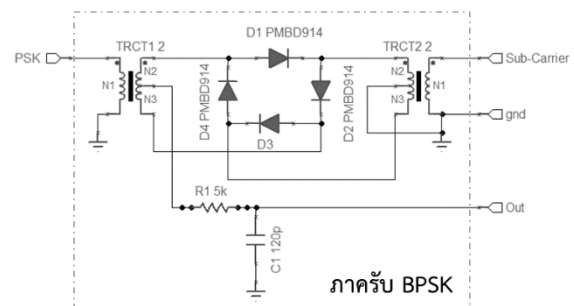
### 4.1 อัตราข้อผิดพลาดบิต

การจำลองในหัวข้อนี้จะมีการปรับค่ากำลังงานส่งของภาคส่ง BPSK โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทาน R8 ให้มีค่า 100 Ω, 200 Ω, 250 Ω, 300 Ω 500 Ω, 1kΩ, 100kΩ, 1MΩ แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 : ตำแหน่ง R8 ในภาคส่ง BPSK

โดยการวัดสัญญาณดิจิทัลเชิงเฟสที่ผ่านดีเทคเตอร์ทางด้านรับ ดังแสดงในภาพที่ 7 หัวข้อ 2.2.3 เพื่อนำค่าที่วัดคือค่าขนาดสัญญาณข้างสาร (ค่า A), ค่าขนาดสเปกตรัมสัญญาณข้างสาร (ค่า S), ค่าขนาดสเปกตรัมสัญญาณรบกวน (ค่า N) และ คาบเวลาบิตมีค่า 100μs เพื่อพิจารณาค่าอัตราข้อผิดพลาดบิตตามสมการที่ 4 ถึง 7



ภาพที่ 11 : ตำแหน่ง out จุดวัดสัญญาณข้างสารด้านรับ ตารางที่ 4 สัญญาณข้างสารที่ไม่มีรหัสบาร์โค้ด

ค่า R8	ค่าวัด			ค่าคำนวณ		
	ค่า A (volt)	ค่า S (volt)	ค่า N (volt)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	BER
100	9.7 u	63.8n	340.4p	104.6677	-79.5391	0.4232
200	23.1 u	127.5n	436.2p	113.5554	-70.6514	0.4045
250	27.9 u	159.2n	386.9p	120.3950	-63.8118	0.3871
300	33.9u	190.8n	443.6p	121.2812	-62.9257	0.3846

500	55.7u	316.3n	555.7p	126.8844	-57.3225	0.3679
1k	106.4u	629.0n	1.1n	126.9764	-57.2304	0.3676
100k	5.5m	31.5u	55.0n	127.0082	-57.1986	0.3675
1M	9.8m	57.2u	74.3n	132.9240	-51.2828	0.3474

ตารางที่ 5 สัญญาณข่าวสารที่มีรหัสบิต 7 บิต

ค่า R8	ค่าวัด			ค่าคำนวณ		
	ค่า A (volt)	ค่า S (volt)	ค่า N (volt)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	BER
100	11.6u	35.0n	254.8p	98.4525	-85.7543	0.4342
200	20.9u	70.8n	282.0p	110.5141	-73.6927	0.4113
250	27.0 u	87.2n	329.7p	111.5555	-72.6513	0.4090
300	31.4u	107.2n	381.6p	112.7616	-71.4452	0.4063
500	51.6u	175.2n	574.1p	114.4176	-69.7892	0.4024
1k	109.6u	347.0n	1.1n	115.0803	-69.1265	0.4008
100k	5.84m	17.5u	49.8n	117.2388	-66.9680	0.3955
1M	9.7m	32.0u	80.6n	119.6799	-64.5270	0.3891

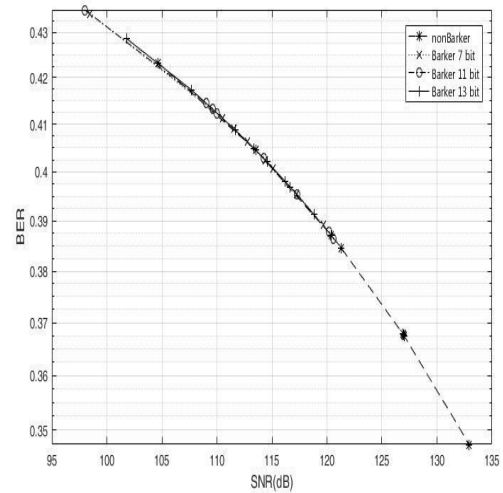
ตารางที่ 6 สัญญาณข่าวสารที่มีรหัสบิต 11 บิต

ค่า R8	ค่าวัด			ค่าคำนวณ		
	ค่า A (volt)	ค่า S (volt)	ค่า N (volt)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	BER
100	10.2u	35.1n	261.7p	97.9752	-86.2317	0.4350
200	22.5u	69.5n	298.3p	109.0196	-75.1872	0.4145
250	26.8u	87.9n	366.1p	109.6210	-74.5858	0.4133
300	32.2u	107.7n	439.9p	110.0111	-74.1957	0.4124
500	54.9u	180.7n	597.7p	114.2301	-69.9767	0.4029
1k	108.8u	352.3n	1.0n	117.2897	-66.9171	0.3953
100k	5.6m	17.9u	44.0n	120.1673	-64.0395	0.3877
1M	9.8m	32.8u	78.9n	120.6001	-63.6068	0.3865

ตารางที่ 7 ค่าสัญญาณข่าวสารที่มีรหัสบิต 13 บิต

ค่า R8	ค่าวัด			ค่าคำนวณ		
	ค่า A (volt)	ค่า S (volt)	ค่า N (volt)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	BER
100	11.3u	33.38n	205.36p	101.8190	-82.3879	0.4285
200	19.7u	66.7n	305.7p	107.7071	-76.4997	0.4173
250	28.5u	82.6n	310.8p	111.6547	-72.5521	0.4088
300	31.3u	99.2n	342.4p	113.3783	-70.8385	0.4049
500	53.9u	165.5n	538.7p	114.5514	-69.6555	0.4021
1k	106.8u	330.5n	989.9p	116.2152	-67.9916	0.3980
100k	5.4m	16.6u	48.6n	116.6707	-67.5361	0.3969
1M	9.7m	30.2u	79.4n	118.8220	-65.3848	0.3913

เมื่อนำผลทดสอบจากตารางที่ 4 ถึง 7 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกับอัตราข้อผิดพลาดบิตแสดงด้วยกราฟภาพที่ 12



ภาพที่ 12 : กราฟแสดงค่า SNR กับ BER

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า SNR กับ BER พบว่าเมื่อค่า SNR สูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราข้อผิดพลาดบิตลดลงซึ่งก็คือการเพิ่มกำลังงานส่งทางด้านส่ง

#### 4.2 กำลังงานส่ง

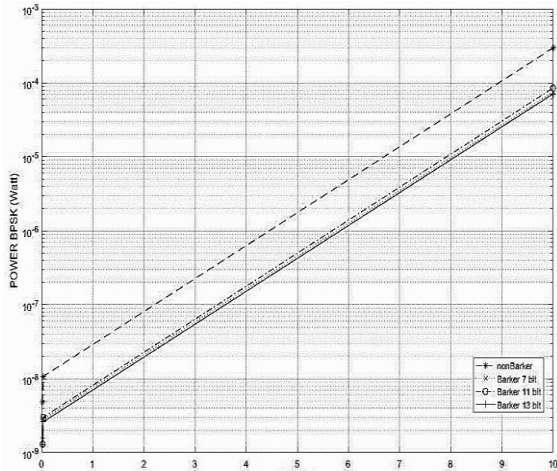
ผลการจำลองเป็นการวัดค่าสเปกตรัมของสัญญาณดิจิทัลเชิงเฟสที่ภาคส่ง BPSK ที่สัญญาณข่าวสารไม่ได้เข้ารหัสบิตกับสัญญาณข่าวสารที่มีการเข้ารหัสบิตโดยมีการเปลี่ยนค่าความต้านทาน R8 ให้มีค่า 200 Ω, 300 Ω, 100kΩ ส่วนค่ากำลังงานเฉลี่ยจะพิจารณาจากองค์ประกอบความถี่ที่ค่า -3 ถึง 3 ตามหัวข้อ 2.3.1 แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 กำลังงานส่งของภาคส่ง BPSK

	การปรับค่า R8 ภาคส่ง BPSK		
	200Ω	300Ω	100kΩ
ไม่เข้ารหัสบิต	4.8nW	10.7nW	296.5uW
เข้ารหัสบิต 7 บิต	1.5nW	2.8nW	75.4uW
เข้ารหัสบิต 11 บิต	1.3nW	3.0nW	84.9uW
เข้ารหัสบิต 13 บิต	1.3nW	2.6nW	70.8uW

เมื่อนำผลทดสอบจากตารางที่ 8 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการปรับค่าความต้านทาน (R8) ที่ภาคส่ง BPSK กับ ค่ากำลังงานส่งของภาคส่ง BPSK แสดงด้วยกราฟภาพที่ 13





ภาพที่ 13 : กราฟแสดงการปรับค่าความต้านทาน R8 ภาคส่งBPSK กับ ค่ากำลังงานส่ง

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการปรับค่าความต้านทานที่ภาคส่ง BPSK กับ ค่ากำลังงานส่ง พบว่า เมื่อ R8 ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังงานส่งเพิ่มขึ้น และ การเข้ารหัสบาร์เคอร์กับสัญญาณข่าวสารส่งผลให้กำลังงานส่งลดลง โดยที่ การเข้ารหัสบาร์เคอร์ขนาด 13 บิต จะทำให้กำลังงานส่งลดลงสูงสุดราว 23.9 %

### 4.3 เสถียรภาพสัญญาณข่าวสาร

ผลการจำลองเป็นการทดสอบความถูกต้องของ การคืนตัวข้อมูลข่าวสารด้วยการวัดสัญญาณข่าวสารที่จุดเอาต์พุตวงจรถอดรหัสบาร์เคอร์ โดยกำหนดค่ากำลังงานส่งที่ต่างกันจากการปรับค่า R8 ที่ภาคส่ง BPSK ให้มีค่า 200 Ω , 250 Ω , 300 Ω , 500 Ω แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การคืนตัวสัญญาณข่าวสารที่ค่า R8 = 200Ω

	การปรับค่า R8 = 200Ω		
	Pt	BER	Signal Out
ไม่เข้ารหัสบาร์เคอร์	4.8nW	0.4045	ไม่มีสัญญาณ
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 7 บิต	1.5nW	0.4113	ถอดรหัสไม่ได้
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 11 บิต	1.3nW	0.4145	ถอดรหัสไม่ได้
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 13 บิต	1.3nW	0.4173	ถอดรหัสไม่ได้

ตารางที่ 10 การคืนตัวสัญญาณข่าวสารที่ค่า R8 = 250Ω

	การปรับค่า R8 = 250Ω		
	Pt	BER	Signal Out
ไม่เข้ารหัสบาร์เคอร์	5.9nW	0.3871	bit error มาก
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 7 บิต	1.9nW	0.4090	bit error มาก

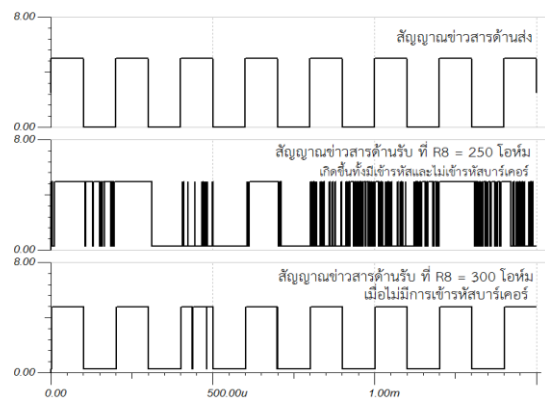
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 11 บิต	1.9nW	0.4133	bit error มาก
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 13 บิต	1.7nW	0.4088	bit error มาก

ตารางที่ 11 การคืนตัวสัญญาณข่าวสารที่ค่า R8 = 300Ω

	การปรับค่า R8 = 300Ω		
	Pt	BER	Signal Out
ไม่เข้ารหัสบาร์เคอร์	10.7nW	0.3846	bit error น้อย
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 7 บิต	2.8nW	0.4063	ไม่มี bit error
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 11 บิต	3.0nW	0.4124	ไม่มี bit error
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 13 บิต	2.6nW	0.4049	ไม่มี bit error

ตารางที่ 12 การคืนตัวสัญญาณข่าวสารที่ค่า R8 = 500Ω

	การปรับค่า R8 = 500Ω		
	Pt	BER	Signal Out
ไม่เข้ารหัสบาร์เคอร์	25.5nW	0.3679	ไม่มี bit error
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 7 บิต	8.0nW	0.4024	ไม่มี bit error
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 11 บิต	8.4nW	0.4029	ไม่มี bit error
เข้ารหัสบาร์เคอร์ 13 บิต	7.1nW	0.4021	ไม่มี bit error



ภาพที่ 14 : การคืนสัญญาณข่าวสารที่ไม่มีเสถียรภาพ

## 5. สรุปผล

รหัสบาร์เคอร์ในรายงานฉบับนี้ถูกสร้างขึ้นด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATTNY25 ด้วยภาษาปาลาคาสมิขนาดความยาว 7 บิต , 11 บิต และ 13 บิต ใช้สำหรับเข้ารหัสข้อมูลข่าวสารทางภาคส่งที่มีการกล้ำสัญญาณคิพัลเชิงเฟสและถอดรหัสเพื่อคืนสัญญาณข่าวสารภาครับ พบว่า เมื่อกำลังส่งลดลงส่งผลให้ค่า SNR ลดลง ค่า BER จะสูงขึ้นทำให้สัญญาณข่าวสารด้านรับเกิดบิตผิดพลาด ตามความสัมพันธ์ภาพที่ 12 กราฟค่า SNR กับ BER การเข้ารหัสบาร์เคอร์จะช่วยให้การคืนตัวของสัญญาณข่าวสารมีเสถียรภาพมากขึ้นเนื่อง

การเพิ่มขึ้นของกำลังส่งเพียงเล็กน้อยทำให้อัตราข้อผิดพลาด บิตลดลงอย่างมาก ดังแสดงในตารางที่ 10 และ 11 เห็นว่า การเข้ารหัสบาร์เคอร์ขนาด 13 บิต ความแตกต่างของกำลังงานส่ง 0.5nW ทำให้อัตราข้อผิดพลาดบิตลดลง 0.0039 ซึ่งแตกต่างกับการไม่เข้ารหัสบาร์เคอร์ความแตกต่างกำลังส่ง 4.8nW ทำให้อัตราข้อผิดพลาดบิตลดลง 0.0025 ดังนั้นการเข้ารหัสบาร์เคอร์ ทำให้กำลังงานส่งลดแต่ยังเสถียรภาพการกินตัวของสัญญาณ ข่าวดสารให้คงเดิมโดยที่การเข้ารหัสบาร์เคอร์ขนาด 13 บิตจะ ลดค่ากำลังงานส่งราว 3.6 เท่า

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jalal J.H. Ameen “Proposed Sets of Polyphase Spreading Sequences for DS-CDMA System” , Proceeding of the 5th WSEAS International Conference on Telecommunications and Informatics, Istanbul ,Turkey(p371-376),May 27-29,2006.
- [2] V.Anil Kumar , A Mitra , S.R. Prasanna , “Performance Analysis of Different PN Sequences for Speech Encryption”, International Journal of Information and Communication Eng, 2008 .
- [3] Ali A.Eyadeh , “ Performance of Frame Synchronization Sysmbols for an OFDM-Based Wireless DataCommunication System ”, Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Data Networks,Communications Computers(DNCOCO’08),2008
- [4] Atmel 8 bit AVR Microcontroller with 2/4/8K Bytes In-System Programmable Flash ATtiny 25/v Data Sheet, Atmel Cor.,2513