



**PSEUDORANDOM GENERATOR HAS  
PROGRAMMABLE SEQUENCE LENGTH**



ปริญญานิพนธ์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาคเทคนิคอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้

032704

ปีการศึกษา 2535

ภาควิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง PSEUDORANDOM GENERATOR PROGRAMMABLE SEQUENCE LENGTH

จัดทำโดย

นายประพัฒน์ โสตินาภาณุจน์ 34131116

นายพิชิต เจริญศรี 34132115

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อ.ดลชัย สุขเจริญผล)

  
..... กรรมการ  
(อ.ดร. สุขเจริญผล)

..... กรรมการ  
(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 03270

# PSEUDORANDOM GENERATOR HAS PROGRAMMABLE SEQUENCE LENGTH

จัดทำโดย

นายประพัฒน์ โชตินากาญจน์

นายพิชิต เจริญศรี

อ. คลชัย สุขเจริญผล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2535

## บทคัดย่อ

PSEUDORANDOM เป็นสัญญาณ Noise ชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า White noise ในการสร้าง noise generation ซึ่งมีสองหลักการสำหรับการผลิตสัญญาณ digital white noise generator คือ วิธีทางฟิสิกส์ จะใช้กับ random number generator [RNG] ซึ่งจะผลิตสัญญาณ binary และวิธีต่อไปจะเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ จะใช้กับ pseudorandom number generator [PRNG] วิธีที่สามเราจะรวมทางฟิสิกส์กับทางคณิตศาสตร์

:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PSEUDORANDOM GENERATOR HAS PROGRAMMABLE SEQUENCE LENGTH

BY

Mr. PRAPHAT CHOTINACHAN

Mr. PHICHIT JAROENSRI

## ABSTRACT

There are two principal methods of digital white noise generation. Physical methods use a special device called a random number generator (RNG) to produce binary random number; and mathematical methods involve a special program or a pseudorandom number generator (PRNG) to produce a pseudorandom number sequence (PRNS). A third way combines the physical and mathematical concepts.

## สารบัญ

บทที่ 1	PSEUDORANDOM NUMBER SEQUENCES	1
-	การกำเนิด RANDOM AND PSEUDORANDOM SEQUENCES	1
-	M-SEQUENCE	3
-	หลักการทํางานของREGISTER	10
-	MAXIMAL-LENGTH NUMBER SEQUENCES	23
-	POWER SPECTRUM OF M-SEQUENCES	27
-	PARTIAL AUTOCORRELATION PROPERTIES OF M-SEQUENCES	31
บทที่ 2	หลักการทํางานและการทดลอง PSEUDORANDOM	32
-	หลักการทํางานของ PSEUDORANDOM	32
-	การทดลองวงจร 4 bit	37
-	การทดลองวงจร 16 bit	40
-	การทดลองวงจร 24 bit	42
บทที่ 3	DEGITAL SIGNALING FORMAT	43
-	POWER SPECTRUM OF LINE CODE	44
-	DATA FORMAT	46
บทที่ 4	การประยุกต์ใช้งานและการทดลอง	47
-	การวัด BIT ERROR RATE	47
-	การทดลองใช้งาน	49
-	สรุป	55

บรรณานุกรม

56

บทที่ 1PSEUDORANDOM NUMBER SEQUENCESการกำเนิด RANDOM AND PSEUDO SEQUENCES

สัญญาณทั่วไปที่เข้าไปในวงจร high impedance ซึ่งอยู่ในช่วง active เป็นชิ้นงานที่นำทางสถิติมาวิเคราะห์ จะแยกเป็นวิธีสำคัญได้ ไม่เฉพาะแต่การนำไปใช้งานที่ต้องการ การกระตุ้นของวงจรแต่รวมถึงการผลิตอัตราส่วนของสัญญาณของตัวมันเอง ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมที่สุด การผลิตสัญญาณที่เกิดจาก noise (WNG) ซึ่งจะสามารถประยุกต์ไปสู่ดี-จิตอลเทคนิคได้

มีหลักการอยู่ 2 หลักการสำหรับผลิตสัญญาณดิจิตอล วิธีทางกายภาพใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า random number generator (RNG) ซึ่งจะผลิตสัญญาณ binary และวิธีเกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ programming (PRNG) ซึ่งจะผลิตสัญญาณ pseudorandom วิธีที่ 3 เป็นวิธีที่รวมระหว่างวิธีทางกายภาพและวิธีทางคณิตศาสตร์

RNG ขึ้นอยู่กับค่าการทำงานของการเปลี่ยนสัญญาณ random ซึ่งได้จาก noise ทางกายภาพ ซึ่งอัตราส่วน o/p คือ  $p(1)=0.5$  RNG จะแบ่งออกเป็น 4 ชนิดดังนี้

1. บนพื้นฐานของสถานะ random ของวงจรเมื่อแหล่งจ่ายเปิดและปิดที่เวลาใดๆ
2. ช่วงเวลาที่เรียงกันอยู่เหนือเวลา random
3. ช่วงลำดับของการสุ่มอยู่เหนือเวลา random
4. เวลาบนพื้นฐานของสัญญาณ noise 2 ระดับ

วิธี 1 กับ 3 จะใช้มากในการพัฒนาความเร็วของ RNG คุณภาพสูงโดยทั่วไป สัญญาณ random ภายในช่วงเวลาที่กำหนดไว้มีโอกาสที่จะเป็นสัญญาณ o/p sequences ที่ได้จากการ modulo-2 การทำงานช่วงนั้นจะเป็นคู่ลำดับ เพราะความเร็วของ RNG ลดลง ดังนั้นข้อจำกัดของวงจรใช้งาน จึงถูกจำกัดไว้ที่สัญญาณ 2 ระดับของสัญญาณ noise ต่อเนื่องและอุปกรณ์นี้มีคุณสมบัติความไวสูงที่จะเปลี่ยน parameter ของสัญญาณ noise ปฐมภูมิ

โดยทั่วไปแล้วข้อเสียของวงจร WNG คือข้อจำกัดของความเร็ว พิจารณาจากแหล่งจ่าย noise เนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแหล่งจ่ายปฐมภูมิ ดังนั้นพารามิเตอร์ทำให้เปลี่ยนค่าวงจรออกไป เช่น power supply ซึ่งต้องการช่วงของการตรวจสอบทางสถิติของการจ่ายไฟ ดังนั้นอุปกรณ์ที่มีแหล่งจ่ายหลายตัว เช่นแหล่งจ่าย noise กับวงจรดิจิตอล เป็นวงจรกรองสัญญาณและปรับแรงดันคงที่ การแยก line ของ supply

ออกจาก line ของ device ก็จะได้ o/p คือการผลิตสัญญาณใหม่ เมื่อเทียบกับสัญญาณ random ของตัวมันเองสัญญาณที่มีความแตกต่างกันจากการออกแบบระหว่างสัญญาณอนาล็อกกับดิจิทัล ซึ่งทำให้ค่า RNG ลดลง

ข้อบกพร่องทางกายภาพของ RNG เป็นผลมาจากทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะให้ค่าคู่ลำดับของ noise และที่เวลาใดของ pseudorandom ในหลักการทำนาย random หรือการประมาณค่าทางสถิติของ PRNS สำหรับการสุ่มลำดับของสัญญาณ ส่วนอุปกรณ์ใช้งานขึ้นกับวงจร อย่างเช่นช่วงสัญญาณ  $P(r)$  เมื่อมันเพิ่มขึ้นโครงสร้างของมันก็จะเข้าใกล้ค่าของวิธี random อย่างไรก็ตามนอกจากการจำกัดค่าช่วงเวลาแล้ว pseudorandom จะสามารถแทนค่าคู่ลำดับภายในสภาวะของมัน เมื่อพิจารณา pseudorandom เมื่อให้ค่ามันน้อยกว่าหรือเท่ากับวงจรใช้งาน ในทางตรงข้ามเมื่อการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของสัญญาณ carrier PRNS หาได้โดย

การตั้งเส้นพิจารณาระหว่างค่าสุ่มกับค่า pseudorandom ในทางปฏิบัติอย่างไรก็ตามการใช้งานของ PRNS มีข้อได้เปรียบคือช่วงเวลาของสัญญาณ pseudorandom จะมีการเปลี่ยนแปลงต่ำ ซึ่งหากจากค่าเฉลี่ยของ integer number ในช่วงเวลาหนึ่งๆค่า PRNS โดยทั่วไปแล้วจะคงที่ ช่วงที่จุดพิจารณาจากค่า pseudorandom ที่ผลิตออกมาและคู่ลำดับที่เกิดจากการคำนวณซ้ำๆกันเพราะฉะนั้นมันจึงเอาวงจร storage curcuite มาช่วย มีอยู่ 2 วิธี ในการสร้าง PRN ซึ่งกระจายออกไปไม่เป็นรูปแบบ

วิธีที่ 1 รูปแบบสำคัญสำหรับสัดส่วนหลักของ present-day program และแน่นอนอุปกรณ์เฉพาะสร้างโดยความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นบ่อยๆ [6, 11, 12]

$$X_k = AX_{k-1} + C \pmod{R}, k=1, 2, 3, \dots$$

เมื่อ  $A, C$  และ  $R$  เป็นตัวเลขคงที่ และ  $X_0 > 0, A > 0, C > 0, R > X_0, R > A, R > C$ , วิธีนี้จะถูกเรียกว่า multiplicative congruential (โดย  $C=0$ ) หรือ mixed congruential (โดย  $C > 0$ ) ดังนั้นลำดับที่ถูกสร้างโดยวิธีที่เรียกว่า linear longrquential

วิธีที่ 2 ส่วนใหญ่ จะถูกใช้บ่อยๆใน hardware pseudorandom sensors และ computer unit ถูกประกอบในการอธิบาย linear binary sequence โดยหมายถึงความสัมพันธ์ที่ใช้บ่อย [6, 13]

$$a_i = \sum_{k=1}^m a_{i-k}, i=0, 1, 2, 3, \dots, (1.2)$$

เมื่อ  $i$  เป็นจำนวน  $ck$   $a_i \in (0,1)$  เป็นตัวเลขลำดับ  $0/p$   $\alpha_n$   $(0,1)$  เป็นลัมประสิทธิ์คงที่ และเครื่องหมาย represents modulo-2 ด้วยตัวเลขที่เหมาะสมของ  $[\alpha_n]$  ลัมประสิทธิ์ตัวเลขที่ถูกสร้าง (NS) โดยมีความยาวคาบสูงสุด (โดยให้เป็น  $m$ ) แล้วถูกเรียกเป็น M-sequence

ลำดับการประมาณลัมประสิทธิ์โดยนอกเหนือจากการสร้างโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ คุณสมบัติของการสร้าง PRNS จำเป็นจะต้องหามาโดยวิธี linear congruential sequences

ข้อเสียของวิธี linear ก็คือการคำนวณ arising ทำได้ยากในการทำงาน โดยไปที่ทุกๆ cycle การตัดแปลง algorithm จะได้ค่าที่ไม่แน่นอนเมื่อให้ค่า  $R = r^m - 1$   $R = r^m + 1$  หรือ  $R < r^m$  ก็จะเป็นข้อที่จะนำไปพิสูจน์ลำดับการทำงานในช่วงเวลาหนึ่ง

ถ้ามองข้อเสียวงจร linear แล้ว อีกวิธีหนึ่งที่แก้ค่า PR-sequence ก็คือใช้สมการที่ 1.2 วิธีนี้เรียกว่า M-sequence generation

### M-Sequence

ข้อดีของวิธี PR-sequence ก็คือใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย และ hardware ของ M-sequence จะทำหน้าที่เดียวกับสมการ 1.2

ประกอบด้วย M-bit shift register และ modulo-2 adders ในวงจร feed back ดังรูป 1.2 ในการทำงานของวงจร SR จะเก็บค่า bit แรก ในวงจร sequence และ shift ไปทางขวา adders ใน feedback จะคำนวณค่า bit รวมไปตามลำดับ แล้วก็ไปเขียนที่ bit สุดท้ายทางซ้ายมือของ shift register และถ้า shift register ไปแทนในวงจร sequence ที่มีเวกเตอร์ ขนาด  $m$   $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$   $a_n \in [0,1]$   $n=1 \dots m$  ดังนั้นค่าที่ถูกส่งไปยังวงจรจะมี kth step ของการทำงานหาจาก matrix นี้

$$\begin{bmatrix} a_1^{(k)} \\ a_2^{(k)} \\ \vdots \\ a_m^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_{m-1} & \alpha_m \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1^{(k-1)} \\ a_2^{(k-1)} \\ a_3^{(k-1)} \\ \vdots \\ a_m^{(k-1)} \end{bmatrix}$$

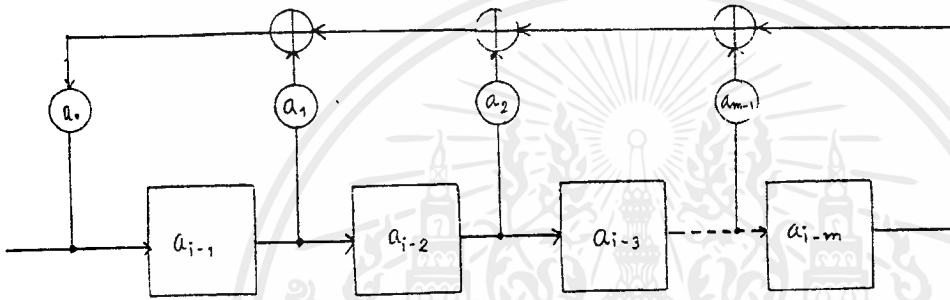
หรือเขียนย่อโดย  $A^{(k)} = VA^{(k-1)}$

จากวงจร sequence ดังสมการ 1.19 เราสามารถหาค่าวงจรของ SR ในของ sequence ย่อย ได้จาก  $A^{(k+m)} = V^m A^{(k)}$

cycle ของวงจร sequence มีคุณสมบัติดังนี้

$$Y(X) = \sum_{k=0}^m \alpha_k X^k$$

$\alpha_0 = \alpha_m = 1$ ; and  $\alpha_j \in \{0, 1\}, j=1, \dots, m-1$



การหา matrix มี  $V+XE$  ทำได้โดยการบวกค่า  $X$  กับค่าอุปกรณ์ที่อยู่ในแนวทแยงของ matrix  $V [b]$  ช่วงเวลาของ sequence ขึ้นกับค่าโพลีโนเมียล  $Y(X)$  ซึ่งเป็นค่าต่ำสุด สำหรับองศาของโพลีโนเมียล ก็คือ  $X^{k-1}$  การหาค่าโพลีโนเมียล  $Y(x)$  ด้วย  $K=2^m-1$  ค่าที่ไม่ได้หารด้วยดีกรี 3 ที่จะทำให้ power ลดลง เรียกว่า irreducible

ค่าสูงสุดของค่า sequence ในช่วงเวลา  $2^m-1$  เกิดขึ้นในช่วงเวลา โพลีโนเมียล  $Y(X)$  เป็นค่าที่ปรับลงในกรณีนี้วงจรตั้งต้นของ SR จะต้องเป็น 0 เนื่องจากค่า sequence ตัวอื่นเป็น 0 หมด ปัญหาใหญ่ของ PR synthes ก็คือการหาค่าโพลีโนเมียลที่จะให้มีสถานะของค่าการลดวงจรลงได้สำหรับค่า  $m = \deg Y(X)$  ทำให้เกิด  $\phi(L=2^m-1)/m$  ซึ่งแยกค่าที่เริ่มต้นกับค่าที่ลดลงไปแล้ว โดยที่ค่า  $\phi(L)$  เป็นสมการ euler โดยค่า  $\phi(L)$  จะเพิ่มขึ้นเร็วมากเมื่อ  $m =$  จำนวนโพลีโนเมียลนี้ให้ค่า  $m$ -sequence เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ค่าโพลีโนเมียลสุดท้ายจะไม่เป็น 0 จากคุณสมบัติ PRNG ซึ่งค่า feedback connected เป็น modulo-2 เป็นค่าต่ำสุด ตาราง 1.1 แสดงค่า  $m=34$  มีค่าสัมประ

สิทธิ์  $X$ , ไม่เป็น 0 โดย  $m < 40$  และตาราง 1.2 แสดงค่า  $j$  และ  $m$

สำหรับค่าเริ่มต้นและลดลงของโพลีโนเมียลแสดงไว้ที่ (20) (22) และ 23 แล้วที่  $m$ -sequence  $\Psi^{-1}(X) = X^m - X - \Psi(X^{-1})$  ซึ่งจะใช้ค่าเริ่มต้นและค่าที่ลดลงไปแล้วในทางกลับกันและผลของวงจรมี sequence ก็กลับค่าไปด้วย

จากตัวอย่าง  $m$ -sequence โดยค่า  $\Psi(X) = 1 + X^3 + X^4$  ซึ่งค่ากลับจะแสดงไว้ตารางที่ 1.1  $m=4$  รูป 1.3 แสดงเป็นบล็อกไดอแกรม แสดงในตาราง 1.3 ซึ่งจะแสดงค่าลำดับของ register ที่มีค่าเริ่มต้น = 1000

ที่ o/p ของ  $m$ -sequence  $a_i = 001101011110001$  โดยความสัมพันธ์  $a_i = a_{i-3} + a_{i-4}$  ซึ่ง จะ = ผลรวมของ modulo-2 กำลังของหลักจะกลับกัน ที่โพลีโนเมียล  $\Psi(X) = 1 + X + X^4$

ตารางที่ 1.1 Characteristic polynomials of M-sequence

m	$\Psi(X)$	m	$\Psi(X)$
1	$X+1$	21	$X^{21}+X^2+1$
2	$X^2+X+1$	22	$X^{22}+X+1$
3	$X^3+X+1$	23	$X^{23}+X^5+1$
4	$X^4+X+1$	24	$X^{24}+X^4+X^3+1$
5	$X^5+X^2+1$	25	$X^{25}+X^3+1$
6	$X^6+X+1$	26	$X^{26}+X^6+X^7+X+1$
7	$X^7+X+1$	27	$X^{27}+X^6+X^7+X+1$
8	$X^8+X^6+X^5+X+1$	28	$X^{28}+X^3+1$
9	$X^9+X^4+1$	29	$X^{29}+X^2+1$
10	$X^{10}+X^3+1$	30	$X^{30}+X^{16}+X^{15}+X+1$
11	$X^{11}+X^2+1$	31	$X^{31}+X^3+1$
12	$X^{12}+X^7+X^4+X^3+1$	32	$X^{32}+X^{28}+X^{27}+X+1$
13	$X^{13}+X^4+X^3+X+1$	33	$X^{33}+X^{13}+1$
14	$X^{14}+X^{12}+X^{11}+X+1$	34	$X^{34}+X^{15}+X^{14}+X+1$
15	$X^{15}+X+1$	35	$X^{35}+X^2+1$
16	$X^{16}+X^5+X^3+X^2+1$	36	$X^{36}+X^{11}+1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ X<sup>15</sup>+X+1 รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุ X<sup>35</sup>+X<sup>2</sup>+1 ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ 16 อื่น X<sup>16</sup>+X<sup>5</sup>+X<sup>3</sup>+X<sup>2</sup>+1 หาและต้องอ้างถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 mersenne's polynomial parameters for  
M-sequence with a prime period

m	j	m	j
89	38	2281	715
127	7	3217	67
127	15	4423	271
521	32	9689	84
607	105	9689	471
1279	216	9689	1836

ทุก M-sequence จะมีรูปแบบดังนี้  $a_i a_{i+1} \dots a_{i+2^m-2}$  และมีความยาว  $2^m-1$  ซึ่งเรียกว่า PR-sequence generated คุณสมบัติพิเศษของโพลิโนเมียลคือ ตาราง 1.4 ที่แสดงความสัมพันธ์ PR-sequence ของโพลิโนเมียล  $\psi(X) = 1 + X^j + X^k$  PR-sequence โดยทั่วไปหาโดย  $a(X) = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_{1-1} X^{1-1}$

ตารางที่ 1.3 shift register state sequence

$i$	$a_{i-1}$	$a_{i-2}$	$a_{i-3}$	$a_{i-4}$
0	1	0	0	0
1	0	1	0	0
2	0	0	1	0
3	1	0	0	1
4	1	1	0	0
5	0	1	1	0
6	1	0	1	1
7	0	1	0	1
8	1	0	1	0
9	1	1	0	1
10	1	1	1	0
11	1	1	1	1
12	0	1	1	1
13	0	0	1	1
14	0	0	0	1
.	.	.	.	.

จากตัวอย่าง 000100110101111 หาได้จาก  $\psi(x) = 1+x^3+x^4$   
 จับคู่กันกับ  $a(x) = x^3+x^5+x^7+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{13}+x^{14}$

ในหนึ่ง cyclic จะมีการ shift ของ sequence  $\{a_i\}$  ไปทางขวาทีละ bit ซึ่งเป็นไปตามสมการ (i.e.  $\{a_{i-1}\} = \{a_0, a_1, \dots, a_{15-2}\}$  ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a^{-1}(x) = a_{-1} + a_0x + a_1x^2 + \dots + a_{-2}x^{1-1}$$

ให้  $x^{-1} = 1$  polynomial จะได้  $a^{-1}x = xa\psi(x)$  ดังนั้น  $xa(x)\psi = a_0x + a_1x^2 + \dots + a_{-2}x^{1-1} + a_{-1}x^1 = a_{-1} + a_0x + \dots + a_{-2}x^{1-1}$  ดังนั้นการคูณ polynomial ด้วย  $x$  ก็คือการ shift sequence ไปทางขวาเรื่อยๆ

ตาราง 1.4 PR-sequences generated by polynomial  $\psi(x) = 1 + x^3 = x^4$

$\{a_i\}$													
0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1
0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1
1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1

ทฤษฎี M-sequence สามารถใช้งานได้ดี ในเทอมของทฤษฎี finite field ดังนั้นอาจจะให้คำจำกัดความ ของ M-sequence เท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

field คือ set ของ element ซึ่งนำมาบวก ลบ คูณและหาร สำหรับค่า  $w$   $v$  และ  $\delta$  ใน field ก็จะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$w+v = v+w$$

$$wv = vw$$

$$w+(v+\delta)=(w+v)+\delta$$

$$wv \delta=(vw)\delta$$

$$w(v+\delta)=wv+w\delta$$

ใน field นั้น ก็จะมีความสัมพันธ์ดังนี้ ซึ่งจะประกอบด้วย  $0$   $1$   $-w$  และ  $w^{-1}$  แต่  $w$  ไม่เท่ากับ  $0$  ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

$$0+w = w$$

$$(-w)+w = 0$$

$$0w = 0$$

$$1w = w$$

$$(w^{-1})w = 1$$

field ที่จำกัดจะประกอบด้วย element จำนวนที่จำกัดในจำนวนหนึ่ง ดังนั้นจะเรียกว่า  $q$  element หรือเรียกว่า Galois field ซึ่งเขียนแทนด้วย  $GF(q)$

จากค่า field เบื้องต้นเราสมมติให้  $R$  เป็นค่าตั้งต้น ดังนั้น modulo- $r$  แล้วนำมาบวกกันจะได้ form มาเป็น  $GF(r)$  ที่มี element  $0$   $1$   $2 \dots r-1$  การบวก การลบ การคูณและการหาร ก็จะทำให้เกิดรูปของ modulo- $r$  ดังนั้น  $r = 3$  เราจะได้ element 3 ตัว คือ  $0$   $1$   $2$  เราจะได้ว่า  $1+2 = 3 = 0 \pmod{3}$   $2 \times 2 = 4 = 1 \pmod{3}$   $1-2 = -1 = 2 \pmod{3}$

เราสามารถ Galois field ให้มี element  $= r^m$  โดยที่  $m = \text{deg}(x)$  ซึ่ง  $\text{deg}$  ของมัน จะไม่เกิน  $m-1$  ซึ่งสัมพันธ์ของ  $(GF) r$  มีความสัมพันธ์ กับค่าที่ตั้งไว้และค่าที่ไม่สามารถลดลงได้ของโพลิโนเมียล ที่สร้างโดยวงจร M-sequence เราสมมติให้  $GF(r^m) = GF(2^4)$  เพราะฉะนั้น  $r = 2$  และ  $m = 4$   $(x) = 1+x^3+x^4$  เพราะฉะนั้น element เขียนได้ดังสมการที่ 1.20

$$0, 1, x, x+1, x^2+1, x^2+x+1, \dots, x^3+x^2+1 \quad [GF(2^4)] \quad (1.20)$$

การบวกโพลิโนเมียล  $x^3+x^2+1$  และ  $x^3+x+1$  ซึ่งจะได้ดังสมการข้างล่างนี้

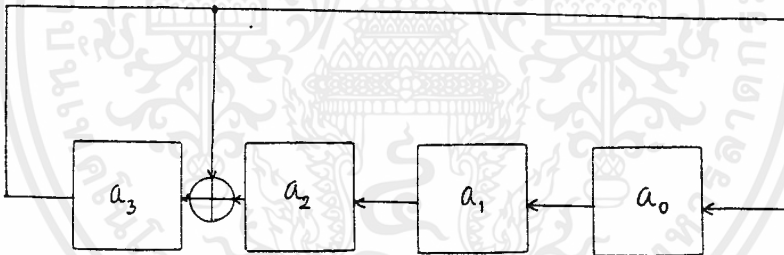
$$(x^4+x^3+1)+(x^3+x+1) = x^4+x \text{ [GF}(2^4)\text{]}$$

แล้วทางด้านการคูณจะได้สมการข้างล่างนี้

$$\begin{aligned} (x^4+x^3+1)(x^3+x+1) &= x^7+x^5+x^4+x^6+x^3+x^3+x+1 \\ &= x^7+x^6+x^5+x+1 \\ &= (x)(x^3+x+1) \\ &= 0 \text{ [GF}(2^4)\text{]} \end{aligned}$$

วิธีที่จะคิดให้มันง่ายขึ้นคือ ใช้สมการที่ 1.20 จะมี field ทุกๆ field รวมกันอยู่ เพียงแต่ว่ามันเป็น set ที่รวมกันมาแล้วเท่านั้น

สำหรับค่าเริ่มต้นของโพลีโนเมียลคือ  $\psi(x)=1+x^3+x^4$  จะมีความสัมพันธ์กับ feedback shift register ซึ่งจะแสดงดัง รูปที่ 1.4



รูป 1.4

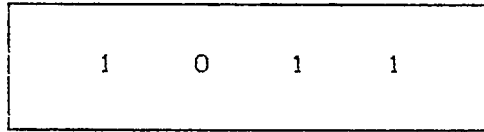
ซึ่งจากรูป 1.4 นี้จะมีการแสดงของวงจร shift register โดยมีลักษณะหลักการทำงานดังนี้

#### หลักการทำงานของ register

วงจร register ประกอบขึ้นจากกลุ่มของ ฟลิป-ฟลอป หลายตัว สามารถใช้เก็บข้อมูลได้ในรูปของเลขฐาน 2 ซึ่ง โดยใช้ฟลิป-ฟลอป 1 bit ตัวใดแทนเลขฐานสอง 1 bit ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปเราสามารถแทน register ดังรูป 1.5

รูป 1.5



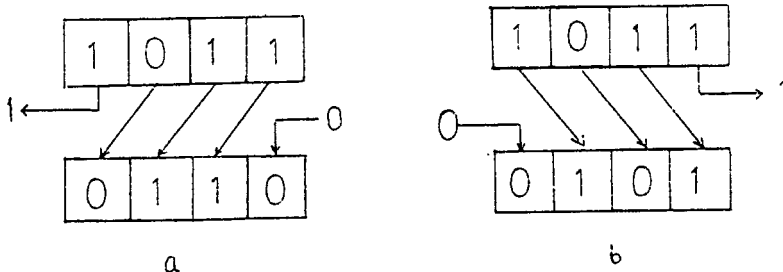
ในรูปแสดงถึงดิจิทัลขนาด 4 bit ที่มีข้อมูล 1011 ในเลขฐานสองเก็บอยู่โดยเขียนค่าต่างๆเข้าไปในช่องที่ 1 ไว้ 4 ช่อง ใน register นั้นเราสามารถนำข้อมูลจากภายนอกเข้าไปเก็บใน register หรือนำข้อมูลภายใน register ออกมาภายนอกได้ การนำข้อมูลเข้าหรือออกจาก register นั้นทำได้ 2 วิธีคือ

1. การนำข้อมูลเข้าไปหรือออกมาครั้งละ 1 bit จนกว่าจะหมดเป็นอนุกรม ในทางปฏิบัติแล้วการนำข้อมูลเข้าหรือออกแต่ละ bit จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ clock หรือบางทีเรียกว่าสัญญาณ shift เราเรียกวงจรนี้ว่า shift register แบบอนุกรม ซึ่งมีทั้งเลื่อนเข้าออกจากทางซ้ายหรือขวาก็ได้อีก

2. การเลือกข้อมูลที่จะนำเข้าหรือออกจาก register ทุกๆ bit พร้อมกันครั้งเดียว เราจึงเรียกวงจรนี้ว่า shift register แบบขนาน

วงจร shift register

ดังกล่าวแล้วว่าวงจร shift register แบบอนุกรม เป็นวงจร register ที่เราเลือกข้อมูลเข้าหรือออกจาก register ครั้งละ 1 bit จากซ้ายหรือขวาก็ได้ วงจรที่มีการเลื่อนข้อมูล/ออกจากทางขวาเราเรียกว่า วงจร register ขวาและวงจรถัด shift ข้อมูลเข้ามุมเข้า/ออกทางซ้ายเรียกวงจร register shift ทางซ้าย เราเขียนอธิบายทั้งสองชนิดได้ดังนี้



จากรูป 1.6 แสดงถึง shift register ที่มีขนาด 4 bit ภายในมีข้อมูล 1011 อยู่ก่อน ในการเลื่อนทุกครั้งจะมีสัญญาณ shift เข้ามาการเลื่อนจะเลื่อนไปที่ 1 bit ต่อสัญญาณ shift 1 ตัว รูปที่ 1.6a เป็นการเลื่อนไปทางซ้ายกล่าวคือ เมื่อมีสัญญาณ shift เข้ามา ข้อมูลที่อยู่ภายใน register จะถูกเลื่อนไปทางซ้าย 1 bit โดยตัวที่อยู่ทางซ้ายสุดจะถูกเลื่อนออกไปและข้อมูลตัวที่ 2 นับจากทางซ้ายจะถูกเลื่อนมาทางซ้ายสุด เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ สำหรับตัวที่อยู่ถัดไปจนกว่าจะถึงตำแหน่งขวาสุด สำหรับตำแหน่งขวาสุดนั้นเมื่อข้อมูลเดิมถูกเลื่อนไปและจะมี 0 เลื่อนเข้ามาแทนที่ ฉะนั้นหลังจากสัญญาณ shift เข้ามา 1 ตัว ภายใน register จะมีข้อมูล 0110 อยู่ หากมีสัญญาณ shift เข้ามาอีกข้อมูลจะถูกเลื่อนไปทางซ้ายอีก 1 bit โดยได้ข้อมูลใน register เป็น 1100 เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆดังแสดงในตารางที่ 1.5a

ตารางที่ 1.5a

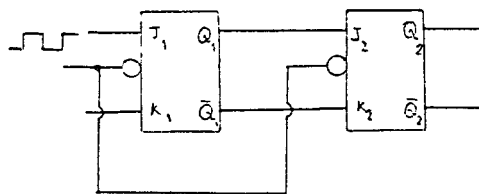
สัญญาณ shift	ข้อมูลหลังจากสัญญาณ shift			
0	1	0	1	1
1	0	1	1	0
2	1	1	0	0
3	1	0	0	0
4	0	0	0	0

ตารางที่ 1.5b

สัญญาณ shift	ข้อมูลหลังจากสัญญาณ shift			
0	1	0	1	1
1	0	1	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	0	1
4	0	0	0	0

จะเห็นได้ว่าหลังจากสัญญาณ shift เข้ามา 4 ตัว ข้อมูลใน register จะถูกเลื่อนออกไปหมด เหลือ 0000 อยู่ภายใน สำหรับรูป 1.6b เป็นการ shift ทางขวา ซึ่งมีหลักการทำงานเช่นเดียวกันเพียงแต่ข้อมูลจะถูกเลื่อนไปทางขวาดังแสดงในตารางที่ 1.5b ที่จะกล่าวมานั้นเป็นการเลื่อนข้อมูลที่มีอยู่ใน register ออกมาข้างนอก แต่สำหรับ register นั้น เราจะต้องสามารถเลื่อนข้อมูลจากภายนอกเข้าไปได้ด้วย หากสังเกตการทำงานในรูป 1.6a จะพบว่าทุกครั้งที่ของการเลือกนั้น bit ขวาสุดจะมี 0 เลื่อนเข้าไปหากเราเปลี่ยนเป็นข้อมูลอย่างอื่นแทนที่จะเป็น 0 เราก็จะได้การทำงานเลื่อนเข้าไป เช่นต้องการเลื่อนข้อมูล 1101 เข้าไป เราก็ให้นำเอา 1101 มาป้อนเข้าที่ bit ขวาสุด สัญญาณ shift ตัวแรกจะเลื่อนเอา 1 ทางซ้ายสุดเข้าไปเราก็ให้นำเอา 1101 มาป้อนเข้าที่ bit ขวาสุด สัญญาณ shift ตัวแรกจะเลื่อนเอา 1 ทางซ้ายสุด เข้าไปยัง bit ขวาสุดของ register ส่วนข้อมูลเดิมที่มีอยู่ก็จะถูกเลื่อนไปทางซ้ายด้วยเมื่อ shift register ตัวที่ 2 เข้ามา 1 ตัว ตัวที่ 2 จะถูกเลื่อนเข้าไปยัง bit ขวาสุดและ 1 ตัวแรกที่อยู่ bit ขวาสุดของ register จะถูกเลื่อนไปยัง bit ถัดไปทางซ้าย เป็นเช่นนี้เรื่อยๆจนสัญญาณ shift ตัวที่ 4 เข้ามา ข้อมูล 1101 ก็จะถูกนำเข้าไปใน register และข้อมูลเดิมที่มีอยู่ใน register จะหายไป ฉะนั้นเมื่อต้องการเลื่อนข้อมูลก็ bit เข้าไป จะต้องใช้สัญญาณ shift จำนวนเท่ากับจำนวนของข้อมูลที่ shift เข้า สำหรับการ shift เข้าทางขวาก็เช่นเดียวกัน

หลักการงานเบื้องต้นของวงจร shift register แสดงดังรูป 1.7 ในรูปเป็น register ขนาด 2 bit ที่ประกอบขึ้นจาก ฟลิป-ฟลอป D, RS หรือ JK มาต่อเรียงกัน ในรูปที่แสดงใช้ JK ฟลิป-ฟลอป แบบ JK ข้อมูลในฟลิป-ฟลอป แต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงไปตาม input หลังจากมีสัญญาณ shift เข้ามาโดยข้อมูลของ ฟลิป-ฟลอป ตัวที่ 2 จะมีค่าเหมือนค่าของ  $Q_1$  และ ฟลิป-ฟลอป ตัวแรกจะมีค่าตามค่าของอินพุต เขียนเป็นตารางได้ดังตาราง 1.6 ฉะนั้นเมื่อต้องการค่าข้อมูลที่เอาพุทของ ฟลิป-ฟลอป ใดๆก็ป้อนค่า อินพุทตามตาราง 1.6



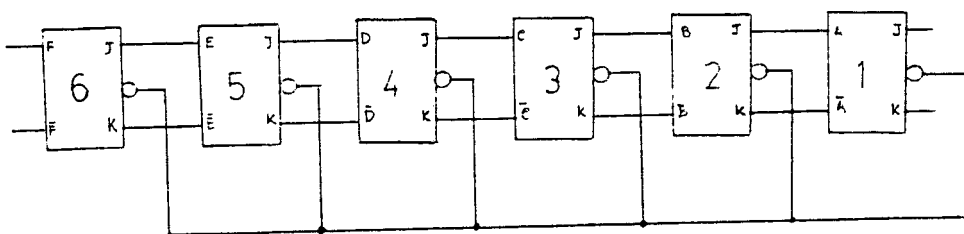
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.6 การทำงานของ ฟลิป-ฟลอป

อินพุต		ก่อนสัญญาณ clock		หลังสัญญาณ clock	
J	K	Q	Q	Q	Q
1	0	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	0	1

shift register รูป 1.7 เป็นวงจร shift ทางขวา และเราอาจจะทำให้ วงจรนี้เป็นวงจร shift ทางซ้ายก็ได้โดยการสลับตำแหน่งของ ฟลิป-ฟลอป ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2

จากหลักการและคุณสมบัติดังกล่าวของ shift register เราสามารถนำไป สร้างเป็นวงจร shift register แบบอนุกรมแบบ shift ขวา หรือซ้ายก็ได้ รูปที่ 1.8 แสดงถึง shift register แบบ 8 bit ที่ใช้ ฟลิป-ฟลอป เราสมมุติว่า เรา ต้องการเลื่อนข้อมูลขนาด 6 bit ว่าภายใน register แรกสุดเราต้องเลื่อนข้อมูล bit ซ้ายสุดเข้าไปที่ ฟลิป-ฟลอป A เมื่อสัญญาณ shift ตัวแรกเข้ามา และข้อมูล bit ที่ 2 จะถูกเลื่อนเข้า ฟลิป-ฟลอป A สัญญาณตัวที่ 2 bit ที่เลื่อนเข้ามาก่อนนั้นจะถูกเลื่อนไปที่ ฟลิป-ฟลอป B เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ จนสัญญาณ shift ตัวที่ 6 เมื่อสัญญาณ shift ตัวที่ 6 เข้ามา ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเลื่อนเข้าไปใน register



สิ่งสำคัญก็คือ การควบคุมค่าของระดับสัญญาณอินพุตที่เข้ามายังฟลิป-ฟลอป ตัวแรกคือฟลิป-ฟลอป A ในที่นี้คือการควบคุมที่ JK เพื่อให้ค่าที่เลื่อนเข้าไปเป็นค่าที่ถูกต้อง และในการเลื่อนนั้นต้องคำนึงถึงลำดับก่อนหลังว่า จะเลื่อน bit ไหนเข้าไปก่อน ในกรณีวงจร shift ซ้าย ก็ต้องเลื่อน bit ที่มีค่าสูงสุดเข้าไปก่อนและ bit ที่มีค่าต่ำสุดเลื่อนเข้าไปสุดท้ายหลังจากการเลื่อนครบทุกตัว แล้ว MSB จะอยู่ที่ฟลิป-ฟลอป F และ LSD จะอยู่ที่ฟลิป-ฟลอป A รูป 1.8 แสดงลักษณะสัญญาณสำหรับการเลื่อนข้อมูล 101110 เข้าไป การทำงานของวงจรในรูป 1.8 เขียนออกมาดังตาราง 1.7

ตารางที่ 1.7 การ shift ข้อมูล 101110

สัญญาณ shift	ข้อมูล					
	F	E	D	C	B	A
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	1
4	0	0	1	0	1	1
5	0	1	0	1	1	1
6	1	0	1	1	1	0

ข้อน่าสังเกตก็คือหลังจากที่ข้อมูลชุดใหม่ถูกเลื่อนเข้าไปแล้ว ข้อมูลที่มีอยู่เดิมจะหายไปเพราะจะถูกเลื่อนออกไปทางซ้าย ทีละ bit จนหมด การทำงานในลักษณะนี้ก็เหมือนกับการเลื่อนข้อมูลออกทั้งหมด การทำงานในลักษณะนี้ก็เหมือนกับการเลื่อนข้อมูลออกนั่นเอง เรานำคุณสมบัตินี้ไปใช้กับการบวกเลขอนุกรมที่ทำการบวกครั้งละ 1 bit ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป เราเขียนอธิบายการทำงานแบบเลื่อนออกได้ดังตาราง

ตารางที่ 1.8 แสดงการเลื่อนข้อมูลออก

สัญญาณ shift	ข้อมูลที่เลื่อนออก					ค่าข้อมูลภายใน register					
						F	E	D	C	B	A
0						1	1	0	1	0	1
1				1		1	0	1	0	1	0
2			1	1		0	1	0	1	0	0
3		1	1	0		1	0	1	0	0	0
4		1	1	0	1	0	1	0	0	0	0
5	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
6	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0

ในตาราง 1.8 ข้อมูลเดิมใน register คือ 110101 สัญญาณ shift แต่ละตัวจะเลื่อนข้อมูลที่อยู่ทางซ้ายสุดของ register ในขณะนั้นออกมาเมื่อสัญญาณตัวที่ 6 เข้ามา ข้อมูลตัวสุดท้ายที่มีอยู่ก็ถูกเลือกออก ภายใน register จะมี 0 อยู่

จากวงจร shift register ที่กล่าวมา พอสรุป

1. ขนาด shift register จะถูกกำหนดโดยจำนวน bit ของข้อมูลที่จะต้องเลื่อนโดยใช้ ฟลิป-ฟลอป 1 ตัว ต่อข้อมูล 1 bit
2. จำนวนสัญญาณ shift มีจำนวนเท่ากับ จำนวนของข้อมูลที่จะเลื่อน
3. สำหรับการเลื่อนออก เมื่อสัญญาณ shift เข้ามาครบจำนวนแล้วข้อมูลเดิมใน register จะหายไป

ซึ่งจะหา element  $GF(2^4)$  ค่า element ของ  $GF(2^4)$  จะแสดงดังตาราง

1.9

สิ่งสำคัญเกี่ยวกับทฤษฎีของ field ที่นำไปใช้กับ M-sequences สามารถอธิบายโดยโพลิโนเมียลทั่วไปดังนี้

$$[a(x)]^p = a[x^p] \quad (1.21)$$

$r$  คือโพลิโนเมียลบวกเมื่อเราแทนสมการ 1.21 จะได้ความล้มพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 ax &= x^4 + x^3 + x + 1 [GF(2)] \quad p = 2 \text{ และ } r=1 \\
 (x^4 + x^3 + x + 1)^2 &= x^{4 \times 2} + x^{3 \times 2} + x^{1 \times 2} + x^{0 \times 2} \\
 &= x^8 + x^6 + x^2 + 1 [GF(2)]
 \end{aligned}$$

หมายเหตุสำคัญที่เขากล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎี M-sequence และ ทฤษฎีของ field การนำไปใช้ส่วนสำคัญที่สุดก็คือทฤษฎีการ coding การให้รหัสซึ่งเราสามารถแยกได้มากมาย จากการใช้งานของ Sequences nice immune ที่ส่งไปใช้งานนั้นจากทฤษฎีของ M-sequence ที่จะมาประยุกต์ Data code

ตาราง 1.9 Element ของ  $GF(2^4)$

Coefficients of polinomial $a(x) = a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 [GF(2^4)]$			
$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_0$
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	1	1
0	1	1	1
1	1	1	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
0	0	1	1
0	1	1	0

พิจารณาถึง Maximal-length ของ M-sequence โดยใช้สมการ

$$a_i = \sum_{k=1}^m \alpha_k a_{i-k} \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

$a_i \in (0, 1)$ ,  $\alpha_k \in (0, 1)$  จะเป็นสัมประสิทธิ์ซึ่งอธิบายโดยการที่ไม่ลดค่าเริ่มต้นของโพลิโนเมียลที่ทำให้  $m = \deg \gamma(x)$  และ  $L = 2^m - 1$

2 สำหรับโพลิโนเมียลที่พิเศษก็มีค่า  $L$  ชัดเจนมากใน M-sequence เพราะฉะนั้นมันจะถูก shift

3 เหนือช่วงการทำงานของ M-sequence นั้นคือ  $2^{m-1}$  และ  $2^{m-1} - 1$  ก็ จะเกิดศูนย์ครั้งดังสมการข้างล่าง

$$p(a_i = 1) = \frac{2^{m-1}}{2^m - 1} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2^{m+1} - 2}$$

$$p(a_i = 0) = \frac{2^{m-1} - 1}{2^m - 1} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2^{m+1} - 2}$$

เราสามารถเลือกค่าใดๆก็ได้แต่ควรเลือกค่า  $1/2$  เพราะจะทำให้  $m$  เพิ่มขึ้น

4 Maximal-length ของ pseudorandom sequence จะทำงานในหลักแรกก็คือหนึ่ง หรือ 0 นั้นเพียง  $2^{m-2}$  ครั้งและจะทำงานของสอง 1 หรือ 0 เพียง  $2^{m-3}$  ในการงานของ  $m-1$  ของ 0 หรือว่า 1 นั้นจะเป็นเพียง 1 ครั้งเท่านั้นและจะเกิดเพียงหนึ่งครั้งเท่านั้นใน 1 ไซเคิลเมื่อเปรียบเทียบกับ probability โดยประมาณของ  $L$  ให้หลักใดๆก็เกิดค่า random ใน M-sequence ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามันสามารถนำไปใช้งานได้จริงๆ

5 สำหรับค่า  $s (1 < s < L)$  จะมีค่าโดยรวมก็คือ  $r$  ไม่เท่ากับ  $s (1 < r < L)$  ดังสมการ  $(a_i)_s + (a_i)_{-s} = (a_i)_r$  เราจะเรียกว่า shift and add

6 ค่า M-sequence สามารถเก็บสะสมหรือสะสมค่าของตัวเองได้หาโดยสมการข้างล่าง

$$Ra(z) = \begin{cases} 1 & \text{for } z = 0 \pmod{L} \\ -1/L & \text{for } z \neq 0 \pmod{L} \end{cases}$$

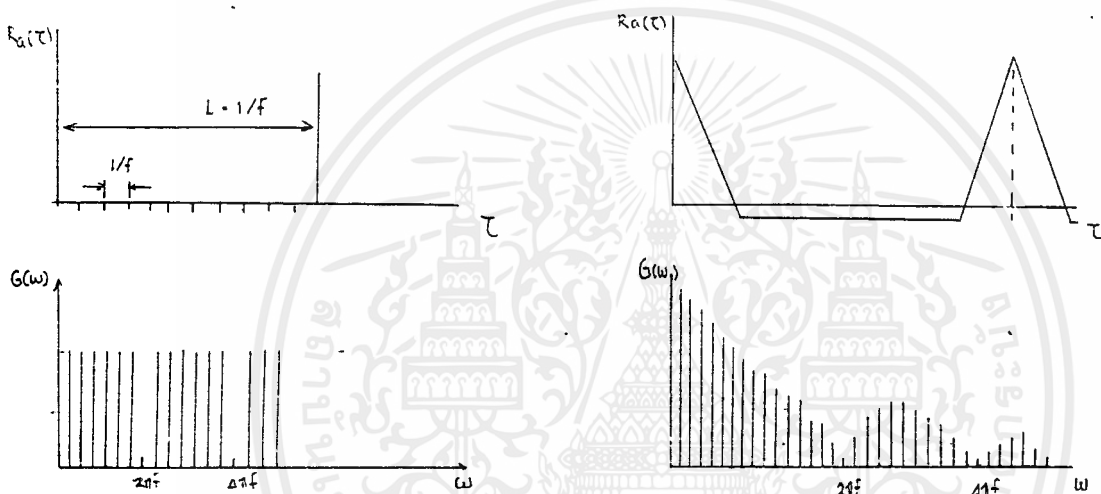
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเข้มของ Spectrum นั้นจะให้สัญญาณที่มี form

$$G(\omega) = 1/L \sum_{k=-\infty}^{\infty} [(L+1) \delta(\omega - 2\pi kf/L) - L\delta(\omega - 2\pi kf)]$$

f เป็นความถี่ของ clock

รูป 1.9 แสดง AFC และความเข้มของ Spectrum เราสามารถแสดงของ Autocorretatiion funtion และ Spectrum power density ที่ได้จาก output ของ Gennrator ซึ่งจะอยู่ในพื้นฐานของ Shift Register และ modulo-2 ของ Adders ในวงจร Feedback เมื่อระดับสัญญาณนั้นคงที่ระหว่าง Clock puls



รูป 1.9

ในการวิเคราะห์ของ Property จะแทนในสมการข้างล่าง

$$R_a(\tau) = \begin{cases} 1 - |\tau|/T & \text{with } |\tau| < T \\ -1/L & \text{with } |\tau| > T, T=1/f \end{cases}$$

$$G(\omega) = (L+1)/L \text{sinc}^2(\omega/2\pi f) \sum_{\substack{k=-\infty \\ k \neq 0}}^{\infty} \delta(\omega - 2\pi kf/L)$$

เมื่อ  $(\omega/2\pi f) = \sin(\pi\omega/2\pi f)/(\pi\omega/2\pi f)$

7 ระหว่างค่า L ไม่เป็น 0 นั้น M-sequence จะให้ค่าโพลีโนเมียล  $\gamma(x)$  มี Sequence เดี่ยว โดยคุณสมบัตินี้  $a_i = a_{2^i}$  ที่  $i=1, 2, 3, \dots$  วงจรที่จะใช้มากที่สุดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการต้าน noises ใน code ข้อมูลซึ่งเรียกว่า Characteristic เทคนิคง่าย ๆ ที่จะหาค่า Characteristic ใน Sequence ก็คือค่า Noise หลักการของอันนี้ก็เขียนได้ตั้งข้างล่างซึ่งมีสัญลักษณ์  $a_0, a_1, \dots, a_{m-1}$  ใช้แทนค่าเริ่มต้นของ states ใน Shift register จากความสัมพันธ์ในสมการ 1.2 จะได้ค่า  $a_k$  ลดลงใน terms ของ  $a_m, a_{m+1}, \dots, a_{m-2}$  เป็นการรวมแบบเชิงเส้นของ unknown แล้วเรามาแก้สมการ

$$a_i = a_{2i} \quad i=0, 1, \dots, m-1$$

ในตัว unknowns นั้นในส่วนที่ไม่เป็นศูนย์ ก็จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับค่า  $\gamma(x)$

จากตัวอย่างเรสก็สามารถหาค่า characteristic ของวงจร โพลีโนเมียล ได้  $\gamma(x) = 1 + x^3 + x^4$  ในกรณีนี้สมการของระบบของ 1.22 เราจะใช้ใน form

$$a_0 = a_0, a_1 = a_2$$

$$a_2 = a_4 = a_0 + a_1$$

$$a_3 = a_6 = a_2 + a_3$$

จากสมการสุดท้ายจะได้ว่า  $a_2 = 0$  ดังนั้นหลักของ  $a_1$  และสมการที่ (3) จะเป็นศูนย์ เพราะว่า solution ทั้งหมดของระบบจะเป็นศูนย์ไม่ได้  $a_3 = 1$  โดยรวม ๆ แล้วค่าตั้งต้นของ characteristic sequence โดย  $(a_i) (i=0, 1, \dots, m-1)$  ก็จะมีความสัมพันธ์กับค่าโพลีโนเมียล  $\gamma(x) = 1 + x^3 + x^4$  โดยให้ค่านั้นเท่ากับ 1000

ค่าเริ่มต้นของ Characteristic สำหรับโพลีโนเมียลที่มีค่าต่ำสุดของ degree  $m < 30$  จะแสดงในตารางที่ 1.10

หมายเหตุ  $0^n$  และ  $1^n$  ตามลำดับ คู่ลำดับของการ repeat  $n$  ครั้งของ 0 กับ 1 ก็จะได้ค่าที่สมบูรณ์กว่าและคล้าย ๆ กับค่า Sequence ที่มีความสัมพันธ์กับค่าโพลีโนเมียลใน degree ที่  $m \leq 168$

8 ค่า  $a_i$  โดยมี  $q (q=1, 2, 3, \dots)$  ก็คือการสร้างค่า sequence ใหม่ขึ้นมาหรือ  $\{b_i\}$  ที่มี Element  $q$  ตัว ตัวอย่างเช่น  $b_k = a_{kq}$  ถ้า  $\{b_i\}$  เป็นคู่ลำดับไม่เป็นศูนย์นั้นก็ถูกสร้างโดยวงจรโพลีโนเมียลและ root ของมันคือค่า  $q$  degree ซึ่งก็คือโพลีโนเมียลตัวเดิมของมันซึ่งอยู่ในช่วงเวลา  $L/(L, q)$  โดย  $(L, q)$  เป็นค่ามีใหญ่ที่สุดของ  $L$  และ  $q$   $(L, q) = 1$  ช่วงเวลาของมันก็คือ  $L = 2^m - 1$   $m = \text{degree}$  และอาจกล่าวได้ว่าเป็นการลดโดยสมบูรณ์

การ Decimation ในวงจร M-sequence นั้นเวลาของ  $L$  จะถูกสร้างขึ้นโดยวงจรที่ไม่สามารถลดค่าได้ของโพลีโนเมียลในกรณีนี้การทำไม่ Decimation ประสิทธิภาพในรูปแบบคู่ลำดับไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดับที่มีการ shift โดย  $L$  clock ที่มีความสัมพันธ์กับ  $\{a_i\}$  ที่ origin และจะมีผลอยู่ในวงจร sequence ซึ่งเกี่ยวเนื่องถึงกับ  $\{b_i\}$  ในทางกลับกันค่าที่ไม่เป็นคู่ลำดับกันมาของค่า shift ที่ถูกเลือกโดยวงจร sequence และสร้างวงจรโพลีโนเมียลจะมีผลให้วงจร M-sequence โดยเฉพาะการทำ Decimation ของ Characteristic M-sequence ซึ่งจะเกิด Characteristic ใน M-sequence  $\{a_i\}$  และ  $\{b_i\}$  ด้วย ดังนั้นเราจะพิจารณาปรับปรุงวงจร M-sequence โดยวิธี Decimation ก็คือการลดขนาดของจำนวนการทำ decimation  $q$  ครั้งก็จะอยู่ใน mod  $L$  เราสามารถกำจัดค่า  $q$  ได้ที่  $q < L$  การทำ decimation โดย  $L$  ก็จะใช้ผลตัวเดิมก็คือ

$$b_k = a_{k \times 1} = a_k$$

$$b_k = a_{k(L-1)} = a_{-k}$$

ดังนั้นจากข้อ 7 นั้น Characteristic sequence ทำ decimation จะให้ผล Characteristic sequence  $b_k = a_{k \times 2} = a_k$

ดังนั้นคู่ลำดับที่ไม่มีการจำกัดให้มัน ซึ่ง  $\{a_i\}$  ก็หา  $n$  ครั้งเพื่อจะทำ decimation ครั้งที่สอง  $\{a_i\}$  ก็คือ  $a_{k \times 2} = a_{k-n}$  โดยจะ shift ไปโดย clock  $n$  ลูก ดังนั้น characteristic sequence  $\{a_i\}$  ก็จะเป็นผลมาจากการ shift ค่า sequence เดิมโดยเอา 2 ไปคูณกับ clock จำนวน  $n$  ลูก ตัวอย่างเช่น  $a_k = a_{k-2n}$  แล้ว  $a_{k \times 2} = a_{k-n}$  จะขึ้นอยู่กับค่า  $n$  ดังนั้น  $a_{k \times 2} = a_k$  ทุก ๆ ค่า  $n$  ในกรณีทั่วไป เราพบมาแล้วในวงจร M-sequence ของ period  $L$  ก็สามารถขึ้นมาโดยการ decimated 1 ครั้ง หรือโดยการให้  $q$  เป็นเลขคี่เท่านั้น และการ decimated ที่  $q$  เท่ากับเลขคู่เราสามารถพิจารณาที่  $q = L-1$  โดยที่  $b_k = a_{k(L-1)} = a_{-k}$  ในกรณีที่ค่า  $b_i$  เป็นจำนวนผกผันกัน และ  $a_i$  สามารถสร้างโดยวงจร polynomial  $\Psi(x)$  โดยหมุนกลับไปเป็น  $\Psi(x)^{-1}$

ตาราง 1.10

m	Polynomial	$a_{m-1} a_{m-2} \dots a_0$
2	$x^2 + x + 1$	01
3	$x^3 + x + 1$	$10^2$
4	$x^4 + x + 1$	$0^3 1$
5	$x^5 + x^2 + 1$	$10^2 10$
6	$x^6 + x^2 + 1$	$0^5 1$
7	$x^7 + x + 1$	$10^6$
8	$x^8 + x^6 + x^5 + x + 1$	$0^3 101^2 0$
9	$x^9 + x^4 + 1$	$10^4 10^3$
10	$x^{10} + x^3 + 1$	$0^7 10^2$
11	$x^{11} + x^2 + 1$	$10^8 10$
12	$x^{12} + x^7 + x^4 + x^3 + 1$	$0^5 10^3 1^2 0$
13	$x^{13} + x^4 + x^3 + x + 1$	$10^6 10^3$
14	$x^{14} + x^{12} + x^{11} + x + 1$	$0^3 101^3 0^2 1010$
15	$x^{15} + x + 1$	$10^{14}$
16	$x^{16} + x^5 + x^3 + x^2 + 1$	$0^{11} 1010^2$

9 การแยกความแตกต่างระหว่างวงจร M- sequence กับ Binary random sequence โดยที่ให้  $a_0 a_1 \dots a_{n-1}$  เป็น M-sequence ที่มี period  $L=2^m-1$   $n < L$  เราสามารถสร้าง matrix M ได้

$$M = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & \dots & a_{n-b} \\ a_1 & a_2 & \dots & a_{n-b+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{b-1} & a_b & \dots & a_{n-1} \end{bmatrix} \quad (1.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $m < b < n/2$  ค่า matrix rank GF(2) จะน้อยกว่า  $b$  จากสมการเชิงเส้นที่ขึ้นกับหลักของวงจร M-sequence ในทางตรงกันข้าม  $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$  เป็น sequence ที่มีค่า probability เท่ากันในระหว่าง bit ค่าของ probability มีค่า  $M < b$  และจะไม่เกิน  $2^{2b-n-1}$  และค่าจะเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากเมื่อเทียบกับค่า  $b$  และค่า  $n$  ดังนั้นคำถามเกี่ยวกับ rank  $M < b$  ที่เป็นตัวทดสอบที่จะเปิดเกี่ยวกับค่าระหว่าง m-sequence จากค่า absolute ของ random ในการจำกัดค่า element ของวงจร M-sequence ดังตัวอย่าง  $m=11$   $L = 2^m - 1 = 2047$  และ  $b=15$  โดยที่ค่า  $M < b$  โดยเริ่มต้นที่  $n = 50$  โดยค่า probability มีค่าไม่เกิน  $2^{-21}$

### Maximal-length number sequences

ใน algorithm (1.2) จะให้โอกาสในการผลิตสัญญาณไม่ให้เฉพาะ binary ของ sequence เท่านั้นซึ่งค่า digit จะมีค่าสองเท่านั้นคือ 0, 1 จะให้หลักหลายหลักปนเข้ามาใน sequence แต่ละตัว จากตัวอย่างของ letter เมื่อพิจารณา binary code ที่อธิบาย state ของ element ใน M-sequence ของ element shift register ดังรูป 1.2 โดยเวลาที่กำหนดนั้นเนื่องจากช่วงเวลา PRNS เท่ากับ  $L = 2^m - 1$  โดยที่  $m = \deg \psi(x)$  ดังจำนวน pseudorandom number sequence ของ sequence ก็จะมีค่าสูงสุด

เมื่อให้  $x_0, x_1, \dots, x_k, \dots, x_{n-1}$  เป็นลำดับของ r-binary number  $r \in \{1, 2, \dots, m\}$  แล้วมันตกอยู่ในช่วงเวลา 0 หรือ 1 ที่จัดอยู่ในรูป bit  $r$  ของ M-sequence โดยที่  $x_k = 0, a_{k+1-1}, \dots, a_{k+1-r}$  แล้ว  $a_{k+1-1}$  เป็น bit ที่  $k+1-1$  ของ m-Sequence  $L$  ก็คือ random number ในช่วง 0 และ  $2^m - 1$  คุณสมบัติทางสถิติของ Sequence โดยเฉลี่ยแล้วจะอยู่เหนือค่าตั้งต้น  $x_0$

จำนวนครั้งของ  $w$  แล้วก็จุด  $x_k$  ตกลงมาในช่วงเวลาใดของ segment ที่ตำแหน่ง  $d$  ซึ่งเป็นตำแหน่งแรกใน binary จะถูก fixed เอาไว้ที่ความยาว  $= 2^{-d}$

$$M[w] = 2^{-d} [1 + 1/(2^m - 1)] - \beta [1/2^m - 1] = 2^{-d}$$

สำหรับทุก ๆ ค่าของ  $m$  ที่จุด  $x_k$   $\beta = 1$  จะให้ตำแหน่ง  $d$  เฉพาะช่วงเวลาใด ๆ เป็นศูนย์ หรือ  $\beta = 0$  ดังนั้น variance ของ  $w$  คือสมการข้างล่าง

$$D[w] < 1/4 [1/n + (2/2^m - 1)] [1 + 1/2^m - 1] = 1/4^n$$

ดังนั้นจำนวนครั้งที่จุด  $(x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+s})$  ตกลงในช่วงเวลาใด ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $(x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+s})$  เมื่ออนุญาตให้ใช้เอกสารนี้เป็นการที่ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ค่า  $d_1$  ตัวแรกแทนด้วย  $x_{k+1}$  ในตัวอย่าง  $2^{-d}1 \ 2^{-d}2 \ \dots \ 2^{-d}g$

$$M'[w] = 2^{-d} [1 + (1/2^m - 1)] - p(1/2^m - 1) = 2^{-d} [1 + (1/2^m - 1)] - p(1/2^m - 1)$$

โดยทุกค่าของจุดก  $(x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+m})$  โดยที่  $p = 1$  ก็จะทำให้จุด  $d_1 + d_2 + \dots + d_g$  เฉพาะที่ช่วงเวลาใด ๆ ไม่เป็นศูนย์ โดย  $p = 0$  ดังนั้น ค่า variance ของ  $w$

$$D'[w] < 1/4 [1/n + (2/2^m - 1)] [1 + 1/2^m - 1] = 1/4^n$$

จุดกึ่งกลางของคู่ลำดับของ  $x_0^o, x_1^o, \dots, x_k^o$  ก็จะเปลี่ยนแปลงตาม  $-1, 1$  และก็จะ generate โดย  $x_k^o = 1 - 2x_{k-1}^o - 2^{-r}$

แล้วคุณสมบัติทางสถิติแสดงได้ดังนี้

$$M[x_k^o] = (1 - 2^{-r}) / (2^m - 1) = 0,$$

$$D[x_k^o] = 1/3 + \left[ \frac{1}{3} [1 - 2^{-2r}] - [1 - 2^{-r} / (2^m - 1)] - \{ (1 - 2^{-r}) / (2^m - 1) \}^2 \right] = 1/3$$

เพื่อจะวิเคราะห์ function ของ PRNS ของการสร้าง M-sequence  $(a_i)$  เมื่อ  $i=0, 1, 2, \dots$  ค่าของ PRNS ก็จะสามารถหาได้จากสมการ

$$x_k = \sum_{n=0}^{r-1} 2^n b_{k-n}$$

period ACF ของ  $x_0, x_1, \dots, x_k, \dots, x_{n-1}$  หาได้โดย

$$k_x(\tau) = 1/L \sum_{k=1}^L x_k x_{k+\tau}$$

ดังนั้น function  $k_x(\tau)$  จะเป็น function คู่ และ period  $k_x(\tau)$  เช่นกัน เพื่อจะหาค่า  $k_x(\tau)$  เรากำหนดค่า  $0 < \tau < L/2$  เนื่องจากสมการ 1.24 ของ function  $k_x(\tau + n - 1)$  สมมติ  $r - \tau$  ได้ค่าเป็น unity ที่  $0 < \tau < r - 1$  และสมการ 1.27 ได้  $0 < \tau < r - 1$  ก็จะได้เป็นสมการ

$$k_x(\tau) = L + 1/L \sum_{n=0}^{r-1-\tau} 2^{2n+\tau} - 1/L \left( \sum_{n=0}^{r-1} \sum_{\tau=0}^{n-1} 2^{n+\tau} \right)$$

เอกสารและผลของมันก็จะสามารถคำนวณได้จากสูตรเรขาคณิต ดังนั้น autocorrelation ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

function จัดอยู่ในรูปแบบดังข้างล่าง

$$K(\tau) = \begin{cases} \left[ \frac{L+1}{L} \right] 2^{\frac{2r-\tau}{L} - 2} - \frac{1}{L} \left( \frac{2^r-1}{2-1} \right) & \text{for } \tau = 0 \dots r-1 \\ -\frac{1}{L} \left( \frac{2^r-1}{2-1} \right)^2 & \text{for } \tau = r \dots (L-1)/2 \end{cases}$$

โดยทั่วไปค่า ACF จะมีค่าเป็น

$$R(\tau) = \begin{cases} \frac{2^{\frac{2r-\tau}{L} - 2} - \beta}{2^{2r-1} - \beta} & \text{for } \tau = 0 \dots r-1 \\ \frac{\beta}{2^{2r-1} - \beta} & \text{for } \tau = r \dots (L-1)/2 \end{cases}$$

โดยที่  $\beta = 3(2^r-1)^2 / 2^m$  และ  $m = \log_2(L+1)$

เมื่อ  $r=m$ , ดังนั้น สำหรับค่า random sequence ในทางอุดมคติ จะมีค่าเป็น

$$R_x(r) = -\frac{3(2^r-1)}{2^r(2^r+1)-3(2^r-1)} \quad r=m > 2$$

โดยที่ค่า  $r=m$  ที่เหมาะสมเราจะได้ว่า

$$R_x(r) = -3/2^r = 0$$

จากผลข้างบนแสดงว่าคู่ลำดับ PRN จะถูกสร้างขึ้นมาจากพื้นฐานของ M-sequence ที่มีคุณสมบัติที่ดี ทางสถิติ ซึ่งจะมีด้านหลาย ๆ ด้าน โดยมีความสำคัญเท่า ๆ กันในการใช้งานโดยทั่วไป จากคุณสมบัติของ M-sequence ที่อยู่ใน form นี้ ซึ่งอยู่บนของ stagement ที่  $r$  bit ของ pseudorandom number sequence นั้น period  $L = 2^m - 1$  จะเรียกว่า asymptotically random โดยที่  $\epsilon = 1, \dots, m$   $\epsilon$  จะเป็น uniform ที่มีความเที่ยงตรงต่อ bit ที่  $t$  เมื่อ  $t = \min\{r, \lfloor m/\epsilon \rfloor\}$  คู่ลำดับที่จะนำมาทดสอบ asymptotically random โดยการวิเคราะห์เชิงเส้นระหว่าง bit  $t$  ใน high order ที่ที่จำนวนติดกัน

สมมติให้ค่า pseudorandom number  $x_n, x_{n+1}, \dots, x_{n+r-1}$  โดยสมมติให้  $r$  เป็น digits ที่ไม่ติดกันของ M-sequence เนื่องจาก state sequence ของ shift register ใน M-sequence ใช้งานจะมีช่วงเวลา  $2^m - 1$  ดังนั้น เราสามารถพิสูจน์ได้ว่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุก ๆ ตำแหน่งของ  $n$  ที่ shift register เป็นค่า linear ไม่ขึ้นอยู่กันหลักใดๆ เลย ดังนั้นการเลือกค่าอัตราส่วน  $m/r$  ที่เหมาะสม เราจะได้ค่า  $\deg$  ของ uniform ที่ต้องการ การทำงาน 15 bit ของ pseudorandom นั้น ภายใน 40-dimensional รูปแบบทั่วไปของมันซึ่งการเกิดของ M-sequence จะสร้างโดย polynomial  $Y(x) = 1 + x^{502} + x^{507}$

เนื่องจาก  $m = \deg Y(x)$  เพิ่มขึ้นตาม dimensionality ของ pseudorandom number แล้ว PRNS จะหาได้จากค่า ที่ไม่เป็นค่าสมบูรณ์



### Power Spectrum of M-Sequences

ในระบบ spread-spectrum ซึ่งในทางปฏิบัติจะใช้ความถี่ของรูปสัญญาณของ  $c(t)$  นำมาวิเคราะห์หรือ post Power Spectrum ในการหา Power Spectrum นี้ เราสามารถคำนวณได้ง่าย ๆ โดยทฤษฎีของ Wiener-Khintchine และ Property IV ซึ่งนำมากระจาย waveform ของ maximal-length ได้ Power Spectrum ของ  $c(t)$  ก็คือ Fourier transform ของ Function  $R_c(\tau)$  ดังสมการ

$$R_c(\tau) = \frac{(1-\tau_c)}{T_c} b(k) + \frac{\tau_c}{T_c} b(k+1) \quad (A)$$

โดยให้  $0 < \tau < T_c$   $k=0$   $\tau_c = \tau$  จะได้ดังสมการข้างล่าง

$$\begin{aligned} R_c(\tau) &= \frac{(1-\tau)}{T_c} - \frac{1}{N} \frac{1}{T_c} \quad 0 < \tau < T_c \quad (B) \\ &= \frac{1-\tau}{T_c} \left( \frac{1+1}{N} \right) \end{aligned}$$

จากสมการข้างล่างซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการหาค่า  $O_p(K)$  โดยให้  $T_c < \tau < (N-1)T_c$   
 $K = \tau N$  และ  $(K+1) = 1N$

$$O_p(K) = \begin{cases} 1.0 & K=LN \\ 1 & K=LN \\ - \\ N \end{cases} \quad (C)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนค่าจะได้ตั้งสมการ (D)

$$R_c(z) = \frac{(1-I_c)}{T_c} + \left[ \frac{I_c}{T_c} \right] \frac{1 - 1}{N} \frac{1 - 1}{N} \beta T_c < z < (N-1)T_c$$

เมื่อ  $P_0 = 1/n^2$  ,  $P_m = [(N+1)/N^2] \text{sinc}^2(m/n)$  และ  $f_0 = 1/NTC$  Power Spectrum นี้จะประกอบด้วยกราฟวิเคราะห์ Spectrum ที่เป็น Line ซึ่งแทนด้วย harmonics ด้วย  $1/NTC$  Amplitude คือ ส่วนที่ล้อมรอบของ  $[(N+1)/N^2] \text{sinc}^2(fT_c)$  ซึ่งมีขนาดของ Amplitude = 1

N<sup>2</sup>

สมมติ m-sequence ของ c(t) นั้นใช้ biphase modulate สัญญาณ Carrier ซึ่งมี Power p และ ความถี่ f<sub>0</sub> Carrier ที่ modulated คือ

$$S(t) = \sqrt{2p} c(t) \cos 2\pi f_0 t$$

Power Spectrum of this modulated carrier นี้คือ convolution ของ Power spectrum ของ carrier และ Power Spectrum ของการกระจาย code ดังนั้น

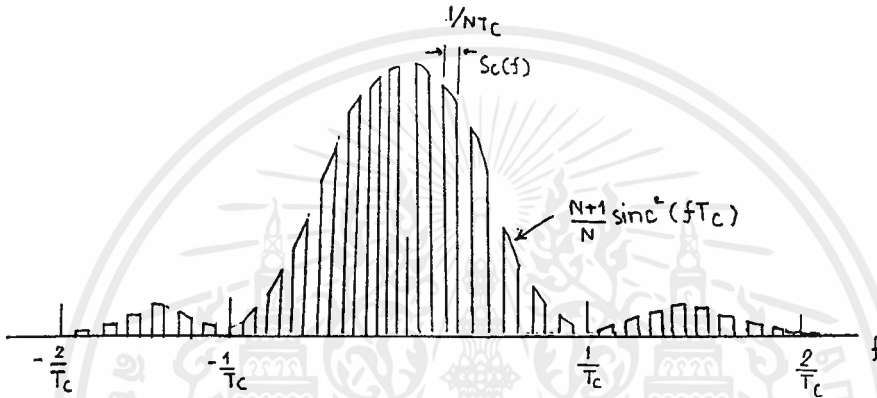
$$S_s(f) = \frac{S_c(f)}{2} * P(f-f_0) + \frac{S_c(f)}{2} * P(f+f_0)$$

และ ซึ่งเหตุผลของ Power Spectrum คือ จะแปล Spectrum S<sub>c</sub>(f) จะสูงขึ้นหรือลดลงโดยความถี่ f<sub>0</sub> ในระบบ spread-spectrum ที่ใช้มากที่สุด ถูกผสมแบบอย่าง random ระหว่างข้อมูลกับรหัส ของการกระจาย ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการส่ง

Spectrum อย่างต่อเนื่อง และไม่ต้องมีการวิเคราะห์

ตารางของ polynomials จะให้กำเนิด m-sequences

Tables ของ โพลีโนเมียล มีความจำเป็นในการออกแบบวงจรในการสร้าง m-sequence นั้น ซึ่งมีตัวเลขแสดงรายละเอียดของ Stages ดังนั้นเป็นการยากในการหา polynomials ซึ่งใช้ในการสร้าง sequences โพลีโนเมียล สามารถดูได้จาก Table ซึ่งสามารถนำไปเทียบ หรือนำไปสร้างวงจร sequences ได้



รูป 1.20 Power Spectrum ของ Maximum-length sequence

เราจะสามารถเลือกโพลีโนเมียล จากตาราง polynomials ได้เมื่อนำไปออกแบบวงจร หรือ ใช้ในการออกแบบ Spread-Spectrum

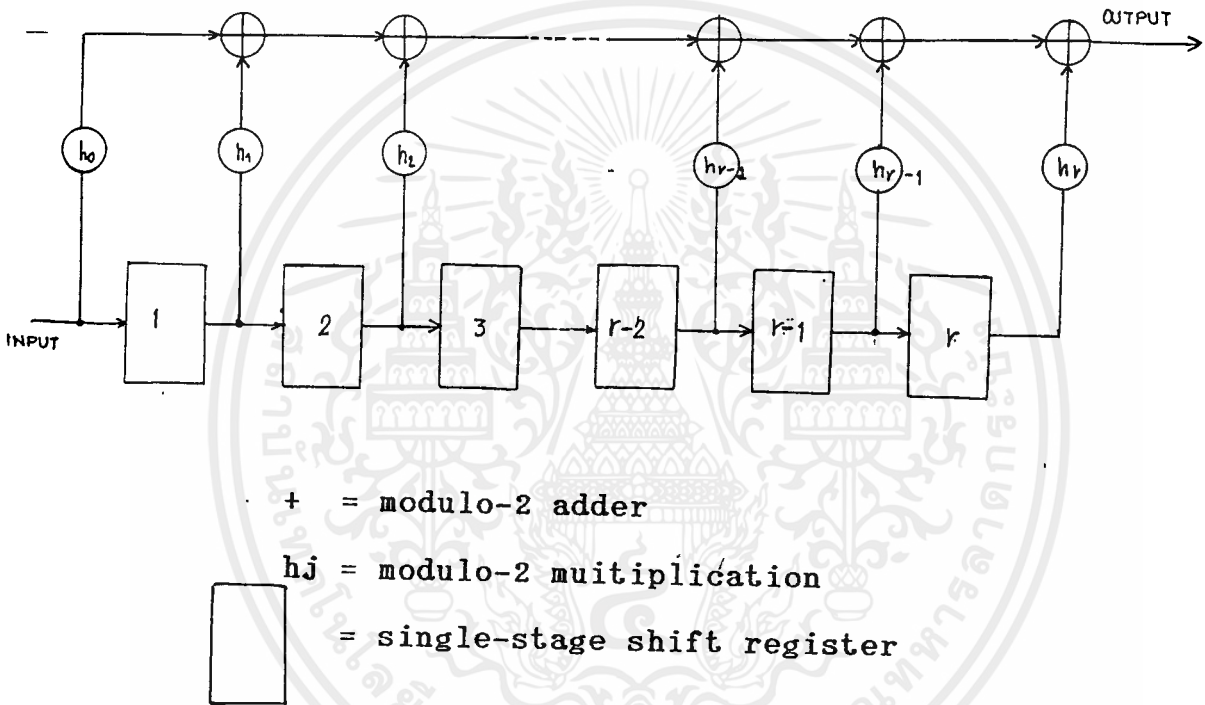
ในตารางเป็นการแสดงค่า polynomial ซึ่งอยู่ในรูปฐาน 8 ค่าตามตารางนี้ จะแปลค่า polynomial ออกมาเป็นค่าตั้งต้น ดังนั้นก็จะได้ Maximal Length Sequence

ดังตัวอย่างเช่น

DEGREE 7	1 211E	3 217E	5 235E	11 325G
13 203F	19 313H	21 345G		

ข้อมูลที่อยู่ใน โพลีโนเมียล จะประกอบด้วยข้อมูลที่รวมกันเป็นจุด และจะ

อธิบายที่หลัง ระบบเลขฐาน 8 ให้  $g(D)$  เป็นตัวอักษรแสดงชนิด โพลีโนเมียลอักษร E, F, G และ H แสดงค่าโพลีโนเมียล ตั้งต้นแล้วจะให้สัมประสิทธิ์  $g(D)$  ตั้งต้นที่  $g_0$  อยู่ด้านขวา และ  $g(r)$  เป็นตำแหน่งที่ไม่เป็น 0 อยู่ด้านซ้าย shift register generator สามารถโดยใช้ form รูปข้างล่าง



รูป 1.21 แสดง PRBS ที่มีขนาด M-Seq. = r bits

### Partial Autocorrelation Properties of m-Sequences

Autocorrelation Properties ของ maximal-length ถูกกำหนดโดย sequence แต่ละเซตนั้นนั้นคือสามารถรับประกันได้เพียงพอเมื่อ intergrst ข้างล่างได้

$$R_c(\tau) = 1/T \int c(t)c(t+\tau)dt$$

เติมคาบเวลาของ waveform  $c(t)$  วิธี synchroniztion ปัญหาของการกระจาย spectrum ของระบบสื่อสาร

ซึ่งแสดงการ synchroniztion ของ code ที่ต้องการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการรับ code และตัวรับ code ทำได้น้อยกว่า code เติมคาบเวลา ดังนั้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทำได้ที่สุดบนความสัมพันธ์เหนือบางส่วนของคาบเวลาและความสัมพันธ์กันของคุณสมบัติที่เกี่ยวพันบางส่วนของ code

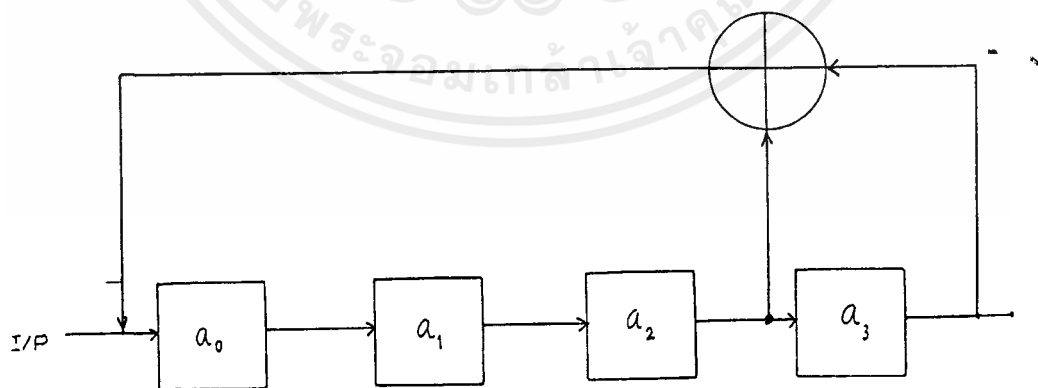
ความสัมพันธ์บางส่วนเกี่ยวเนื่องกับการ integrat เหนือส่วนหนึ่งของ code period ฟังชั่นความเกี่ยวพันบางส่วนขึ้นอยู่กับเวลาเริ่มขึ้นของการ integrat

## บทที่ 2

### หลักการของ PSEUDORANDOM และการทดลอง

Pseudorandom sequence เป็นสัญญาณที่สร้างขึ้นซึ่งเป็นสัญญาณ noise ชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกว่า white noise ที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ จะเปลี่ยนแปลงตามแบนด์วิดท์ไม่ว่าย่านความถี่ใดก็ตาม available noise power จะมีค่าคงที่ เช่น noise ที่มีแบนด์วิดท์ 100 Hz ที่ความถี่ 100 Hz ถึง 200 Hz จะมีค่าเท่ากับพลังงานของที่มีแบนด์วิดท์ 100 Hz จะมีความถี่ระหว่าง 1000000 กับ 1000,100 Hz

Pseudorandom เราสามารถให้มีขนาด bit ได้หลายๆ bit แล้วแต่ผู้สนใจ จะทำได้ ซึ่งหลักการของ pseudorandom จะอาศัย shift register ในการสร้าง สัญญาณ pseudorandom ขึ้นมาโดยจะ shift ไปเรื่อยๆ จนได้ output ที่ต้องการ ซึ่ง ข้อมูลที่ออกมาจาก shift register จะถูก feedback กลับมายัง input เพื่อเป็นการควบคุมการ shift ของ flip-flop ซึ่งแสดงหลักการทำงานของการผลิตสัญญาณ pseudorandom ดังรูปที่ 2.1 pseudorandom ขนาด 4 bit



รูปที่ 2.1 แสดง block diagram ของวงจร PRBS ขนาด M-Seq. = 4 bits  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 มีสมการโพลิโนเมียล  $\psi(x) = 1+x^3+x^4$  เราจะเอาจุดใดนั้นไป xor กันนั้นขึ้นอยู่กับสมการโพลิโนเมียลหรือขนาดของ bit ของวงจรนั้นถ้าเปลี่ยนไปใช้ bit อื่นก็จะต้องเพิ่มหรือลดจำนวน flip-flop แล้วถึงเปลี่ยนจุดต่อที่นำไป xor กัน แล้วเราสามารถหาค่า Maximum-length sequence ได้โดยสูตร  $2^N-1$  จากรูปที่ 2.1 จะสามารถหาซึ่งมีขนาด 4 bit เพราะฉะนั้น Maximum-length จะได้  $2^4-1 = 15$  ดังนั้น o/p จะเปลี่ยนแปลงไปโดยมีความยาวของ Maximum-length = 15 จากรูปที่ 2.1 เราจะสามารถเขียน output ดังตารางที่ ถ้าให้ input เริ่มต้น 1000

i	a0	a1	a2	a3
0	1	0	0	0
1	0	1	0	0
2	0	0	1	0
3	0	0	0	1
4	1	1	0	0
5	0	1	1	0
6	1	0	1	1
7	0	1	0	1
8	1	0	1	0
9	1	1	0	1
10	1	1	1	0
11	1	1	1	1
12	0	1	1	1
13	0	0	1	1
14	0	0	0	1

ตารางที่ 2.1 แสดง state ของ shift register แต่ละตัวของรูป 2.1  
 เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 ลักษณะรูปสัญญาณจะได้ดังรูป



รูป 2.2 แสดงสัญญาณ o/p ของ PRBS ขนาด M-Seq. = 4 bits

ความยาวของ pseudorandom sequence สามารถหาได้โดยความยาว shift register, feedback taps และ initial states ของ flip-flop สามารถเขียนในรูปที่ 2.2 ไม่ควรให้วงจรของ pseudorandom เริ่มที่ 0000 เพราะจะทำให้ shift register ไม่มี output ออกหรือออกเป็น 0 หมดและไม่เกิดสัญญาณ pseudo random หรือ เป็น 0 หรือ ไม่สามารถสร้างสัญญาณ sequence และสามารถแสดงถึง Maximum-length ของแต่ละ bit ดังตารางที่ 2.2

length of shift register	feedback taps	period of sequence
3	1, 3	7
4	1, 4	15
5	2, 5	31
6	1, 6	63
7	1, 7	127

ตารางที่ 2.2 Examples of Maximum-Length

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสร้าง Pseudorandom binary sequence ของ order  $i$  ในย่าน 2-24 นี้ จากรูปวงจร ดังเราสามารถจะสร้าง switch electronic มาแทน manual switch ได้ จะทำการ set sw.  $S_0^F - S_{23}^F$  เป็นไปได้ง่ายขึ้น ซึ่งเราจะใช้ E<sup>2</sup>PROM แทนในการควบคุมการ switch ลักษณะวงจรในรูปวงจร:

Pseudorandom sequence สร้างได้โดยการใช้วงจร 24 bit shift register และวงจร feedback สัญญาณที่เหมาะสม และจะมี register 6 stage ละ 4 bit มา comprise กัน ซึ่ง register จะจากซ้ายไปขวา  $A_7 - A_{12}$  เป็น Exclusive-or gate ใช้ในการ feedback สัญญาณซึ่งเลือกโดย  $S_1^F$  ซึ่ง sw. ที่เลือกจะต้อง set ตามโพลีโนเมียล ของ binary sequence (การ set sw. เช่น sequence 15 bit จะมีโพลีโนเมียล  $= x^{15} + x + 1$  และจะให้  $S_0^F = S_{15}^F = 1$

$A_{13} - A_{15}$  จะทำหน้าที่ detect ศูนย์ เพื่อป้องกันการ set ของ shift register ในตอนเริ่มต้นของ  $A_1 - A_6$  และความแน่นอนที่สุด register จะไปสามารถ lock state ได้ในระหว่างทำงาน รูปวงจรดูได้ที่ข้างหลัง

เราสามารถสร้างวงจร Program sw. ตั้งแต่ 2-24 bit ซึ่งสามารถควบคุมการ sw. ตามโพลีโนเมียลที่ต้องการได้ และการ program (set ที่ sw.  $S_1^F$ ) จะต้อง set sw. ตามค่าโพลีโนเมียลของแต่ละ bit

จะเห็นว่าการ set sw.  $S_1^F$  หนึ่งครั้งเราก็ไปเปิดตารางโพลีโนเมียลตามค่าที่เราต้องการ ถ้าเกิดไม่มีตารางจะ set ไม่ได้ เพราะฉะนั้นจากปัญหานี้เราจึงจำเป็นต้อง Program ค่าที่จะ set นี้ไว้ในหน่วยความจำโดยที่เราไม่ต้องเปิดตารางโพลีโนเมียล จากจุดนี้เราสามารถต่อวงจรควบคุมการ sw. ได้ดังรูปวงจรร.พ. โดยต่อแทน sw.  $S_1^F$  ทั้ง 24 ตัว โดยการทำงานของวงจรเราจะเริ่มดูที่ IC E<sup>2</sup>PROM ลักษณะขาของ E<sup>2</sup>PROM ในรูปภาคผนวก

เราจะนำ E<sup>2</sup>PROM 3 ตัวจะได้ o/p 24 output (D<sub>0</sub>-D<sub>23</sub>) เท่ากับ sw.S<sub>1</sub> ของเรา ส่วน input ของ E<sup>2</sup>PROM มี A<sub>0</sub>-A<sub>9</sub> (10 i/p) เราจะให้ input A<sub>0</sub>-A<sub>9</sub> ซึ่งต่อมาจากวงจร counter 2 หลัก โดยให้ IC 7495 เป็น BCD counter ไปเข้า 74248 BCD to 7 segment เป็นตัวนำค่าจำนวน bit ของ pseudo มาแสดงผล โดยการ set sw. เราจะเอา o/p ของ BCD counter มาเข้า i/p ของ E<sup>2</sup>PROM 2816 ซึ่งเมื่อเรากด key (sw.) ให้ counter นับไปที่เลขใดตัวเลขจะแสดงบน 7 segment E<sup>2</sup>PROM จะให้ o/p ตามค่าที่เรา Program ไว้เมื่อได้ o/p จาก E<sup>2</sup>PROM เราจะนำไปต่อกับ AND Gate o/p จากวงจร E<sup>2</sup>PROM จะต่อเข้ากับ EX-OR ในวงจร pseudo ซึ่งวงจร BCD counter แสดงดังรูป



### การทดลอง วงจรขนาด 4 bit

ทดลอง 4 บิต ตามวงจรรูปที่ 2 โดยจะกำหนดให้  $s_1, s_2 = \text{ON}$   $s_3, s_4 = \text{ลง GND}$  โดย  $sw$  นี้จะ set ตามสมการโพลีโนเมียลซึ่งสามารถดูได้จากตารางโพลีโนเมียลข้างหน้าซึ่งวงจร 4 บิตจะมีสมการโพลีโนเมียลเท่ากับ  $x^4 + x + 1$

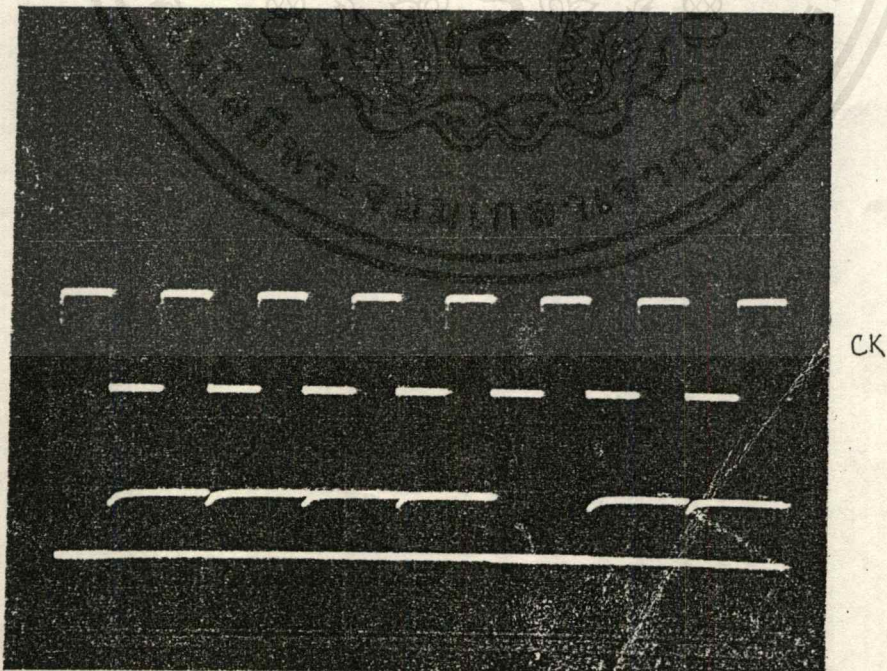
หลักการทำงานของวงจรคือจะมีอยู่ 3 ส่วนหลักๆ

1 register

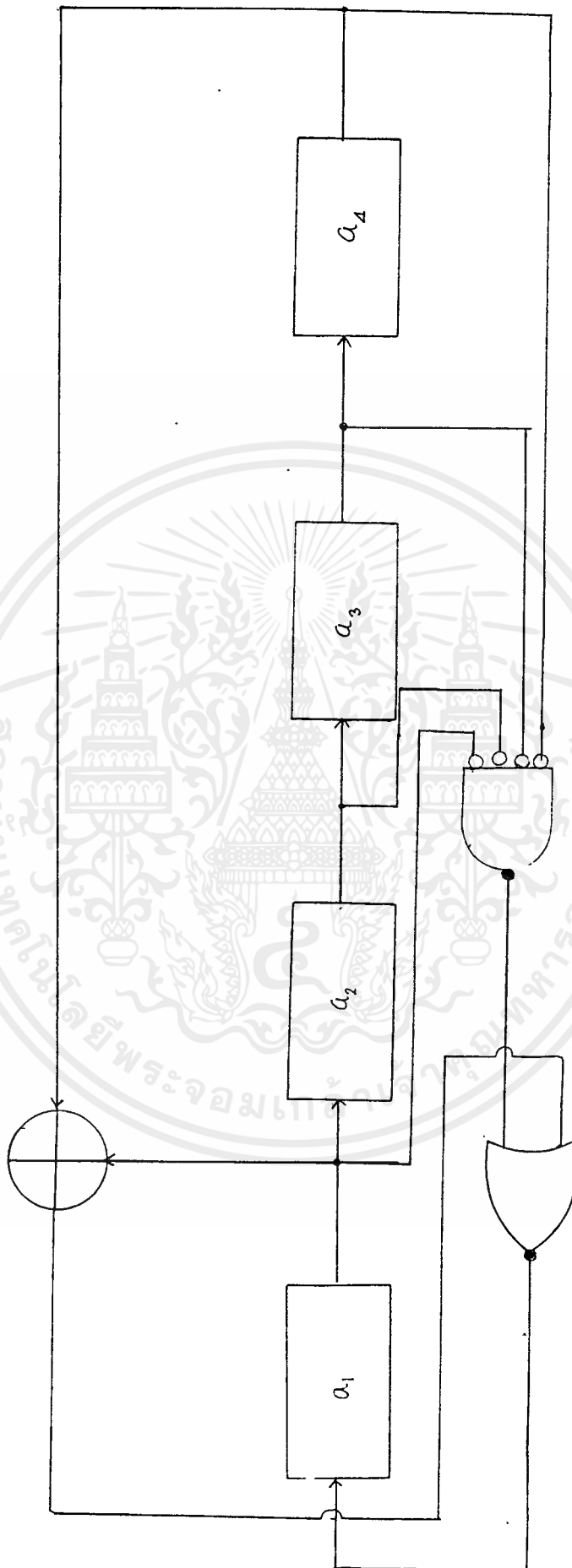
2 xor

3 feedback

register จะทำหน้าที่รับ input และ shift สัญญาณเมื่อ output ของ register ต่อ xor ไว้ตามหลักการของ pseudorandom sequences ก็จะนำสัญญาณในบิตที่ 1 และ 4 xor กันและผลลัพธ์ที่ได้ไป NOR กับสัญญาณที่ AND กันทั้ง 4 bit เพื่อป้องกันบิต 0000 ที่ input ก็จะได้ output ของวงจรและจะทำการ feedback กลับมายัง input ของ shift register ลักษณะของรูปคลื่นจะวิ่งไปเรื่อยๆ เนื่องจาก output จะถูก feedback กลับมายัง shift register ตัวแรกของวงจรในรูปที่ 1 มันจะทำการ shift ไปเรื่อยๆ



รูป 2.3 แสดงรูปสัญญาณ o/p ของ PRBS ขนาด M-Seq. = 4 bits เทียบ ck เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โพลีโนเมียล =  $x^4 + x + 1$

รูป 2.4 แสดง block diagram ของ PRBS มี M-Seq. = 4 bits

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

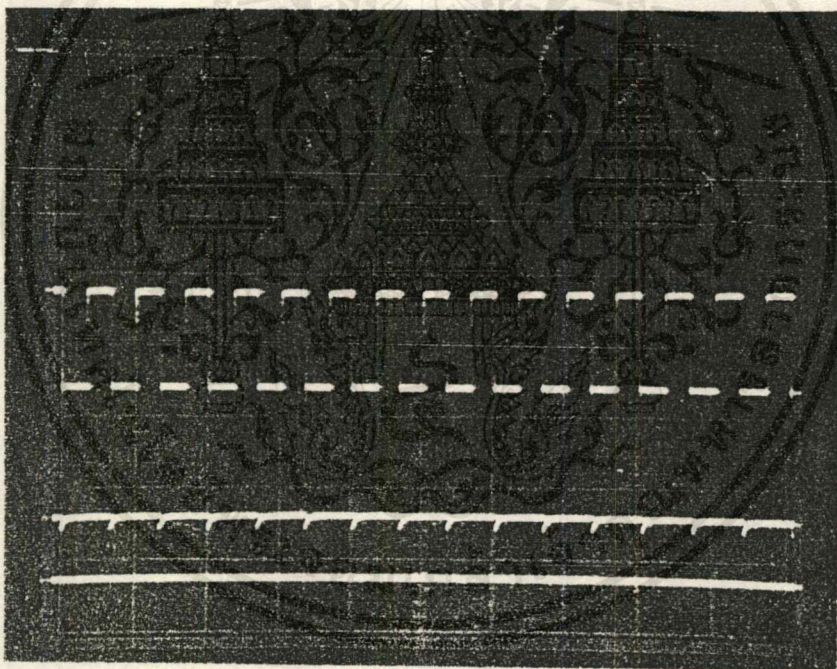
i	a0	a1	a2	a3
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	1	1	1	0
4	1	1	1	1
5	0	1	1	1
6	1	0	1	1
7	0	1	0	1
8	1	0	1	0
9	1	1	0	1
10	0	1	1	0
11	0	0	1	1
12	1	0	0	1
13	0	1	0	0
14	0	0	1	0
15	0	0	0	1
16	1	0	0	0

ตารางที่ 2 การแสดง output ของ shift register แต่ละตัวของวงจรมีขนาด 4bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองวงจร 16 บิต

จากวงจรรูปที่ 2 เป็นวงจร 16 บิต แต่สามารถที่จะสร้างสัญญาณ pseudo random ได้ในย่าน 2-16 บิต จากวงจรจะเห็นว่ามี s0-s15 ถ้าจะต้องให้เป็น pseudo random ก็บิตที่เราตั้ง sw ตาม โพลีโนเมียลในตารางโพลีโนเมียล เช่น  $x^4+x+1$  ให้ on s0-s3 ที่เหลือ off หรือ ลงกราวด์นั่นเอง  $x^8+x^6+x^5+x+1$  กรณี 8 bit s7,s5,s4 s0 ให้ on และถ้าเป็น 16 bit =  $x^{16} + x^5 + x + 1$  s15,s4,s0 ให้ on เราจะใช้ EEROM เบอร์ 2816 ในการใช้แทนเป็นวงจรควบคุมการ sw คือ sw ที่ใช้ set โพลีโนเมียล



รูป 2.5 แสดงรูปสัญญาณ o/p ของ PRBS ขนาด M-Seq. = 16 bits เทียบ ck

$$CK = 160 \text{ KHz}$$

$$\text{bit rate} = 160 \text{ KBPS}$$

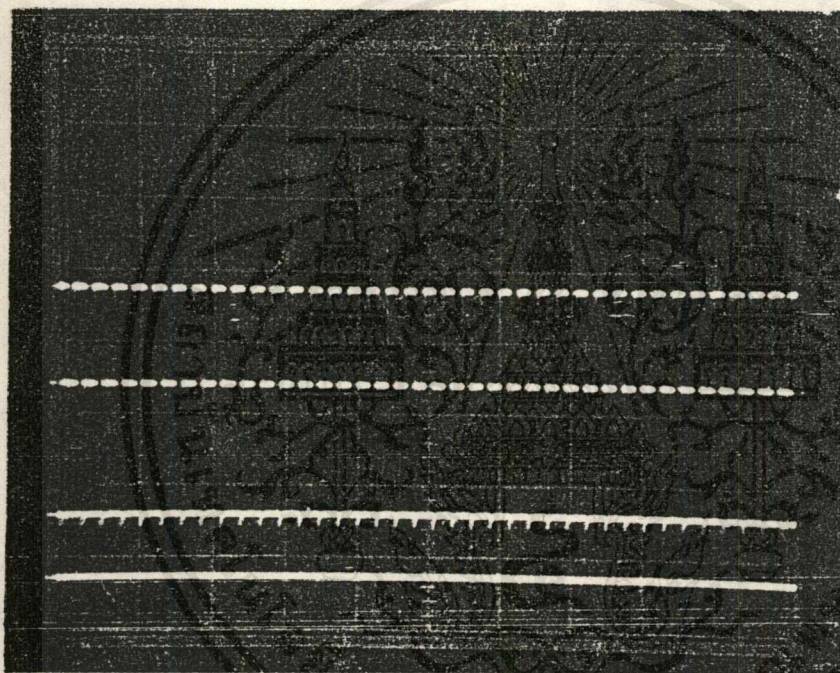
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### การทดลองวงจร 24 bit

ลักษณะวงจรจะเหมือนกับวงจร 16 bit โดยจะต่อวงจรเพิ่มขึ้น 4 bit ซึ่งวงจร 24 bit นี้ มีโพลีโนเมียล  $x^{24} + x^4 + x^3 + 1$  เราจะ set sw โดยให้  $s_0, s_3, s_4, s_{24}$  ให้ on จะได้รูปคลื่นดังรูปข้างล่าง

เราจะใช้ EEROM เบอร์ 2816 ในการใช้แทนเป็นวงจรควบคุมการ sw คือ sw ที่ใช้ set โพลีโนเมียล ซึ่งดูวงจรที่อยู่ท้ายเล่มของหนังสือเล่มนี้



CK = 160 KHz

bit rate = 160 KBPS

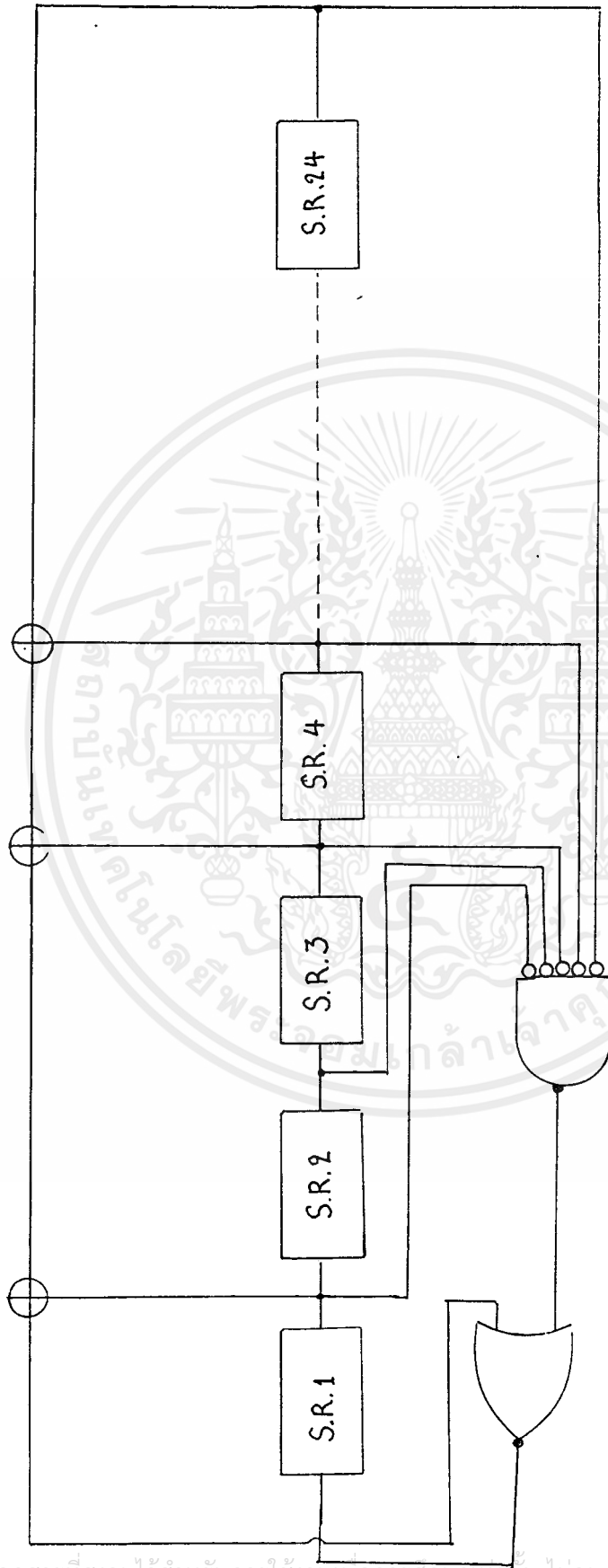
รูป 2.7 แสดงรูปสัญญาณ o/p ของ PRBS ขนาด M-Seq. = 24 bits เทียบ ck

#### สิ่งที่ทำต่อในเทอมนี้

1. ขยายย่านจากเดิม 2-16 bit เป็น 2-24 bit
2. สร้างวงจร format สัญญาณจาก pseudorandom เป็น NRZ แบบต่างๆ

#### ปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการสร้างวงจรนี้ถ้าใช้ IC ต่างตระกูลกัน วงจรจะไม่ทำงานเช่น 74F\_\_ กับ 74\_\_ จะทำงานรวมกันไม่ได้ เพราะ อัตราความเร็วและค่า ดีเลย์ ของ IC ที่ต่างตระกูลกันย่อมจะไม่เท่ากัน. ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โพลีโนเมียล =  $x^{24} + x^4 + x^3 + 1$

รูป 2.8 แสดง block diagram ของ PRBS มี M-Seq. = 24 bits

⊕ = EXCLUSIVE - OR

S.R. = Shift Register

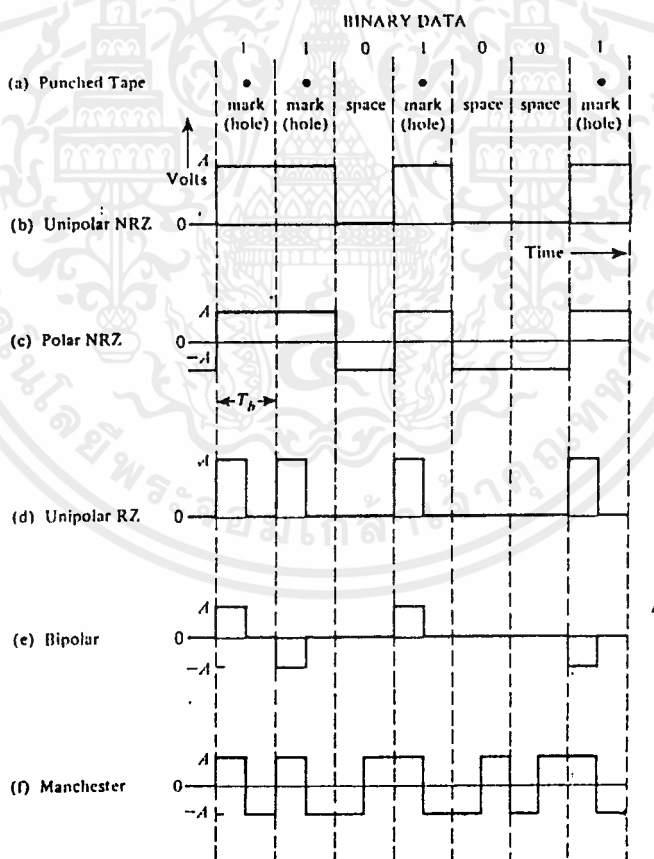
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

DIGITAL SIGNALING FORMATS

Binary line code . . .

- Punched tape เมื่อ logic "1" เป็น mark(hole) ที่ logic "0" เป็น space(no hole)
- Unipolar NRZ Sinaling คือ ใน logic บาง ของ Unipolar sinaling เมื่อ binary "1" ให้เป็นระดับสูงและที่ binary "0" เป็นระดับ 0 สัญญาณ Unipolar นี้เรียกว่า on off keying และเป็น nonreturn-to-Zero คือที่ระดับสูงจะไม่กลับสู่ระดับ 0 คือจะอยู่ที่ binary "1"



รูป 3.1 Binary Signaling formats

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-polar NRZ signaling ที่ binary และ "0" แทนด้วยระดับบวกและลบ ตามลำดับส่วนแบบของ wave form จะเหมือนกับแบบ NRZ

-Unipolar RZ Signaling เป็น unipolar waveform ที่ซึ่ง Binary "1" จะเป็นระดับสูงครึ่งหนึ่งของ bit period และอีกครึ่งหนึ่งจะกลับสู่ 0 ที่ binary "0" เป็นระดับ 0

-Bipolar Signaling ที่ binary "1" ตัวแรกจะเป็นระดับบวกครึ่งหนึ่งและระดับ 0 ครึ่งหนึ่ง binary "1" ตัวต่อไปจะกลับเป็นระดับลบครึ่งหนึ่งกับระดับ 0 ครึ่งหนึ่ง ส่วน binary "0" จะอยู่ที่ระดับ 0

- Manchester Signaling ที่ binary 1 จะเป็นระดับบวกครึ่ง bit ของ pulse ตามด้วยลบครึ่ง bit ของ pulse ที่ binary 0 จะเป็นระดับลบครึ่ง bit ตามด้วยระดับบวกครึ่ง bit ของ pulse

#### POWER SPECTRUM OF LINE CODE

Unipolar NRZ จะเกิด first null ที่ R

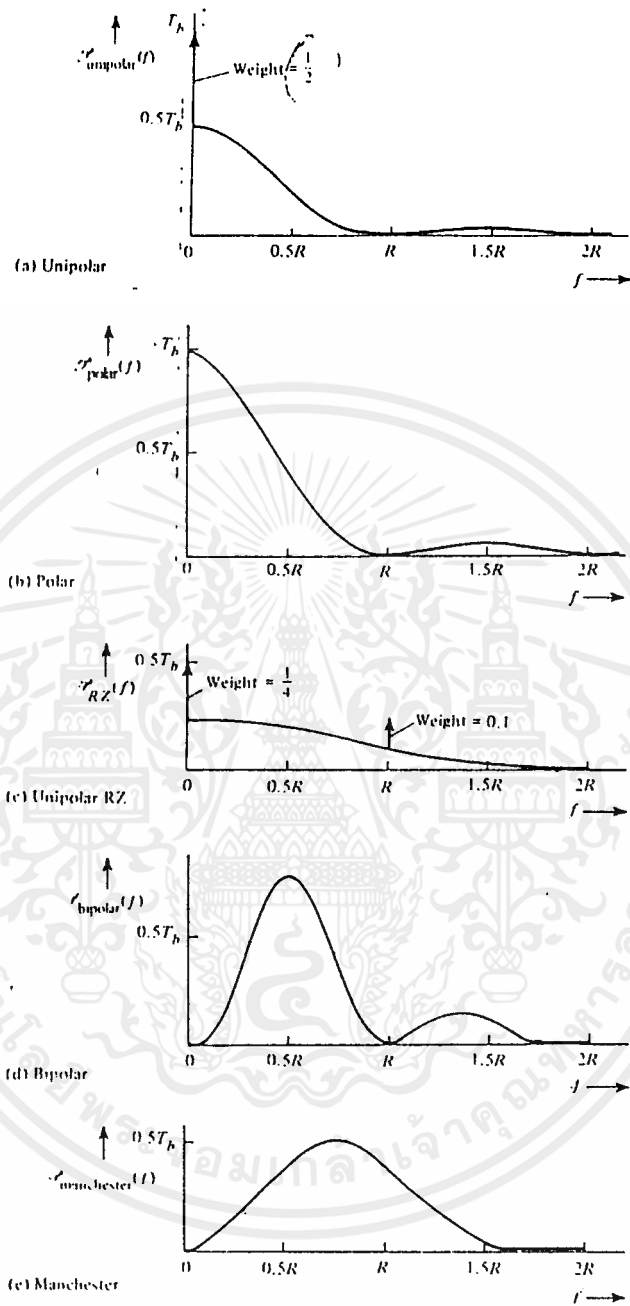
จากรูป 3.2

-Unipolar NRZ และ polar NRZ จะเกิด first null ที่ R แต่ polar NRZ มี main lobe สูงกว่า 2 เท่าของ Unipolar NRZ

-Unipolar RZ จะเกิด first null ที่ 2R คือจะแสดงให้เห็นว่า Unipolar RZ มี band width ที่กว้างกว่า NRZ 2 เท่า แต่ main lobe จะต่ำกว่า NRZ มาก

-bipolar จะเป็นสัญญาณที่มีแอมพลิจูดทั้งสองครึ่งบวกและลบคือที่ time domain จะเป็น 0 ซึ่งเป็น bipolar นี้ขณะส่งสัญญาณไปตามสายจะมีผลกระทบทาง dc น้อยที่สุด

-manchester ลักษณะของ spectaum คล้ายกับ bipolar แต่แบนด์วิดจกว้างกว่าอยู่ประมาณ 1.5 เท่าของ bipolar



รูป 3.2 แสดง PSD ของ line code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DATA FORMAT

DATA FORMAT เป็นวงจรถาหน้าผลิตสัญญาณพวก RZ NRZ Bipolar Ternary สัญญาณเบสแบนด์แบบ NRZ ถูกนำไปใช้ในพื้นที่ของโครงข่ายดิจิทัลสวิชชิง โดยมีลักษณะที่ระหว่างบิตต่อบิตสัญญาณจะไม่กลับมาสู่ 0

แต่รหัส NRZ นี้ไม่เหมาะที่จะใช้สำหรับส่งสัญญาณดิจิทัลไปตามสายด้วยเหตุผล

- องค์ประกอบกระแสตรงจะไม่สามารถผ่าน Transformer ในสายส่งได้จึงทำให้เป็นปัญหาสำหรับการอครอไลซ์ที่ตลอดเส้นทางการส่ง

- ใน regenerative repeater จะต้องสร้างวงจรถ่วงเวลาสำหรับชิงโคไนซ์ตัว repeater เองโดยอาศัยสัญญาณดิจิทัลที่รับเข้ามา ดังนั้นถ้าใช้รหัส NRZ เป็นข้อตั้งเวลานี้ อาจจะมีการผิดพลาดเนื่องจากสายส่งจะขบวนพัลส์ที่เป็น 0 หรือ 1

สัญญาณ RZ จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับ NRZ ซึ่งในระหว่างบิตต่อบิตสัญญาณจะกลับสู่ระดับ 0 ก่อนเสมอ

ส่วนสัญญาณ AMI สัญญาณนี้พัลส์ที่เป็นหนึ่งจะถูกส่งออกไปเป็นบวกและลบสลับกันไป การใช้รหัสนี้จะขจัดปัญหาเรื่อง DC ซึ่งไม่สามารถผ่าน Transformer coupling ให้หมดไปได้ สิ่งที่เป็นปัญหาที่จะเกิดขึ้นในการใช้รหัสนี้จะมีเพียงอย่างเดียวคือความน่าจะเป็นของขบวนพัลส์ที่เป็น 0 ต่อเนื่องกันนาน ๆ แต่ความน่าจะเป็นของการเกิดกรณีน้อยจึงไม่เป็นปัญหาในทางปฏิบัติ แต่ถ้าเป็นการส่งแบบ synchronous การที่ clock ที่ปลายทางยังมีปัญหา ถ้า 0 หรือ 1 ติดกันยาว ๆ ต้องใช้ code ที่สามารถทำการแทรกกระดัดแรงดัน + หรือ - เข้าไปกรณีที่มี 0 หรือ 1 ติดกันนาน ๆ

สัญญาณ RZ จะมี bw. กว้างกว่าสัญญาณ NRZ เพราะฉะนั้นอัตราการส่งข้อมูลในการใช้ RZ mod จะสูงกว่า NRZ mod แต่จะใช้ power สูงกว่า

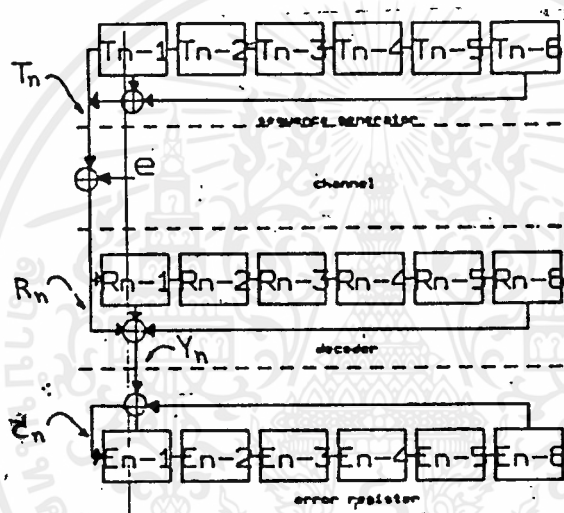
ลักษณะวงจรของวงจร data format ดูได้ในรูปภาคผนวก

-----

## บทที่ 4

### การประยุกต์การใช้งาน และ การทดลอง

การนำไปใช้งานใช้ในการวัด bit error rate ในระบบ digital transmission นั้นใช้ pseudorandom โดยในระบบเลือกใช้ PRSB ขนาด  $2^6-1$  และ เนื่องจากการผิดพลาดในช่องสัญญาณเกิดเป็นลักษณะของกลุ่มของการผิดต่อเนื่องกันหลายๆ กลุ่มเพื่อให้วงจร ber สามารถจะทำการ detect บิตที่ผิด และสามารถกลับจากการหลุดจากการ synchronize ของการอย่างรวดเร็ว ในการวิจัยใช้หลักการซึ่งแสดงดังรูปข้างล่าง



รูป แสดงการวัด ber

จากรูปข้างบน shift register ภาคส่งซึ่งแสดงโพลิโนเมียล  $x^6 + x + 1$  (maximum sequence code =  $2^6 - 1$ ) สามารถแสดง state ที่ o/p  $T_n$  ได้ เป็นความสัมพันธ์แบบ recursive คือ

$$T_n = \sum A_i T_{n+i}$$

3.1

$m$  ขนาดของ shift register กรณีตัวอย่างเท่ากับ 6  $A_i$  มีค่า 0,1 ซึ่งกำหนดโดยโพลิโนเมียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_n = T_n + E_n \quad 3.2$$

โดย  $E_n$  คือค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบบวกกับ  $T_n$  แบบ modulo 2

$$Y_n = R_n + \sum A_i R_{n-1} \quad 3.3$$

$$C_n = Y_n + \sum A_i C_{n-1} \quad 3.4$$

สมการ (3.2), (3.3) เมื่อ state ของ  $R_n$  เกิดจาก state ของ  $T_n$  บวกกับค่าผิดพลาดตัวนั้น

$$Y_n = E_n + T_n + \sum A_i T_{n-1} + \sum A_n E_{n-1} \quad 3.5$$

จากสมการ (3.1) สามารถเขียนสมการ (3.5) ได้ดังสมการ (3.6)

$$Y_n = E_n + \sum A_n E_{n-1} \quad 3.6$$

จากสมการ (3.4) และ (3.6) จะได้

$$C_n = E_n + \sum A_n E_{n-1} + \sum A_n C_{n-1} \quad 3.7$$

$$C_n = E_n + \sum A_n (E_{n-1} + C_{n-1}) \quad 3.8$$

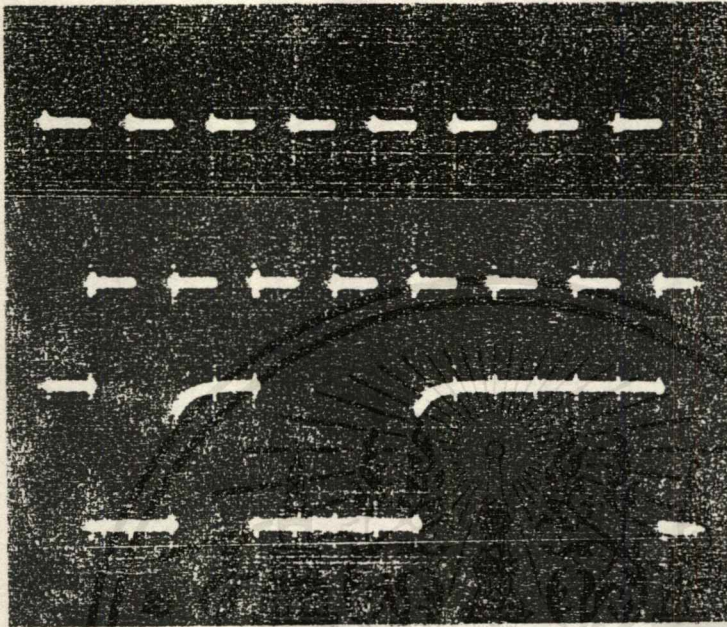
หลังจากเริ่มต้นเวลาผ่านไป  $m$  บิต โดยการ synchronize decoder กับ sequence generator ทำให้เขียนสมการ (3.8) ได้ใหม่ดังสมการ (3.9)

$$C_n = E_n \quad 3.9$$

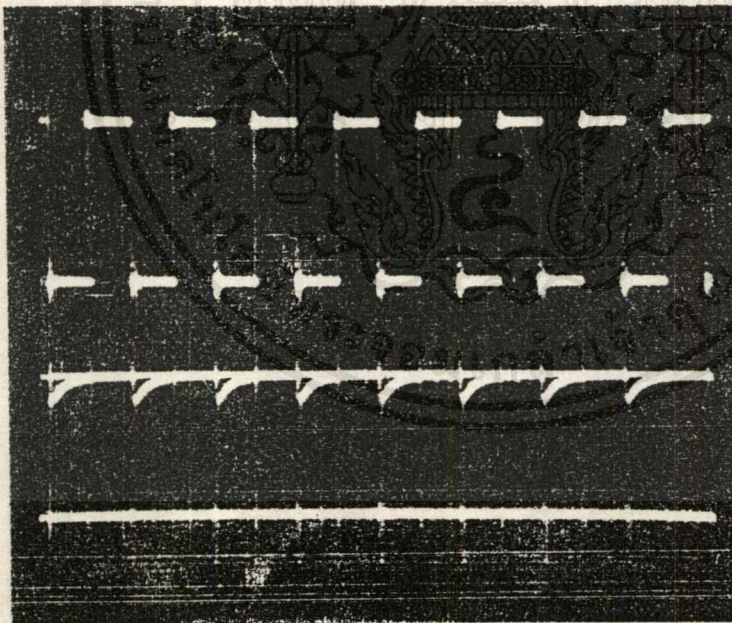
ผลการทดลอง

1. ใช้ oscilloscope วัดรูปสัญญาณ PRBS ที่ค่า M-sequence ต่างๆ เช่น

3,7



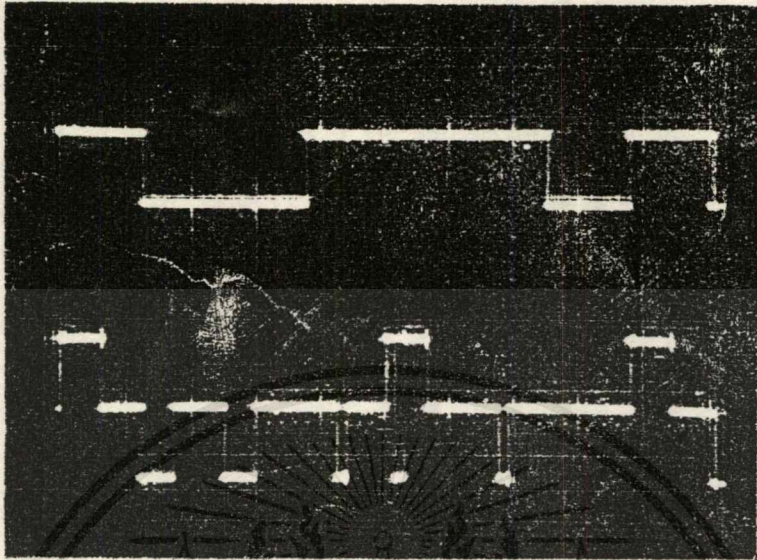
M-Seq. = 3 bit  
bit rate = 160 Kbps



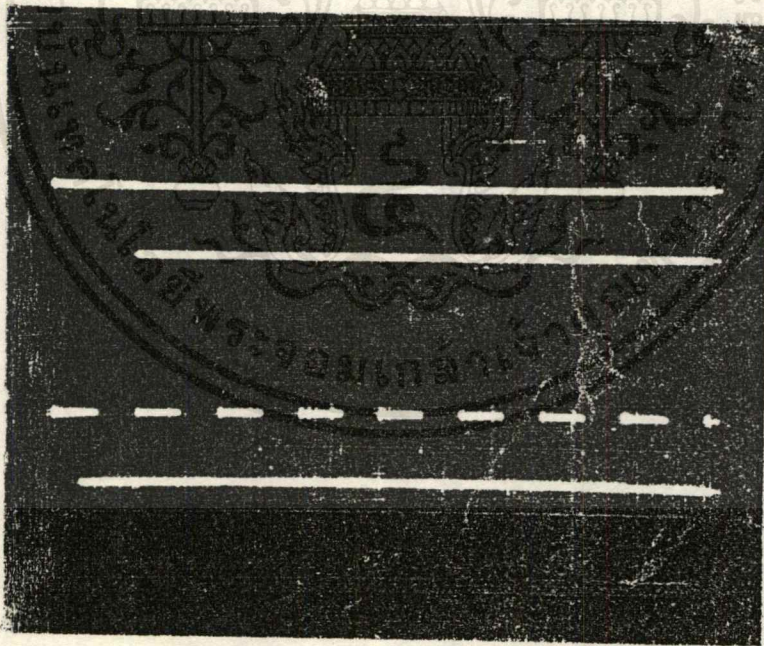
M-Seq = 7 bit  
bit rate = 160 Kbps

รูปแสดงสัญญาณ PRBS เมื่อเทียบกับ CLOCK ที่ความถี่ 160 KHZ

2. นำ PRBS ต่อเข้ากับ DATA format ใช้ oscilloscope วัดรูปสัญญาณที่  
o/p ขาต่างๆ ที่ให้รูปร่างไม่เหมือนกัน (NRZ, RZ, AMI) โดย PRBS 7-bit



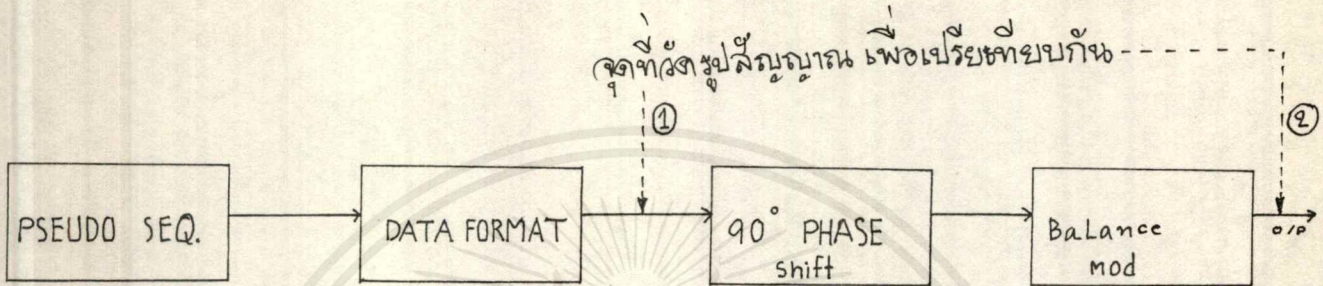
รูปแสดงสัญญาณ NRZ เปรียบเทียบกับ AMI ที่ M-Seq. = 3 bit



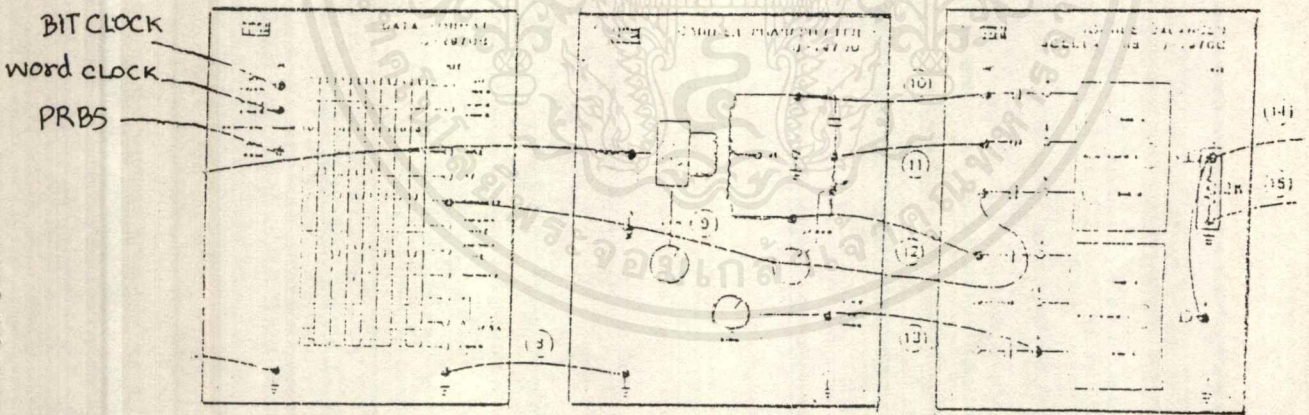
รูปแสดงสัญญาณ NRZ เปรียบเทียบกับ RZ ที่ M-Seq. = 7 bit

\* หมายเหตุ ใช้ CK = 160 KHZ    bitrate ของ PRBS = 160 Kbps  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกความยาวของ m-sequence ที่สะดวก 3 ค่า และต่อเข้า DATA FORMAT แล้วต่อเข้า i/p ของ BPSK ดังรูปข้างล่าง



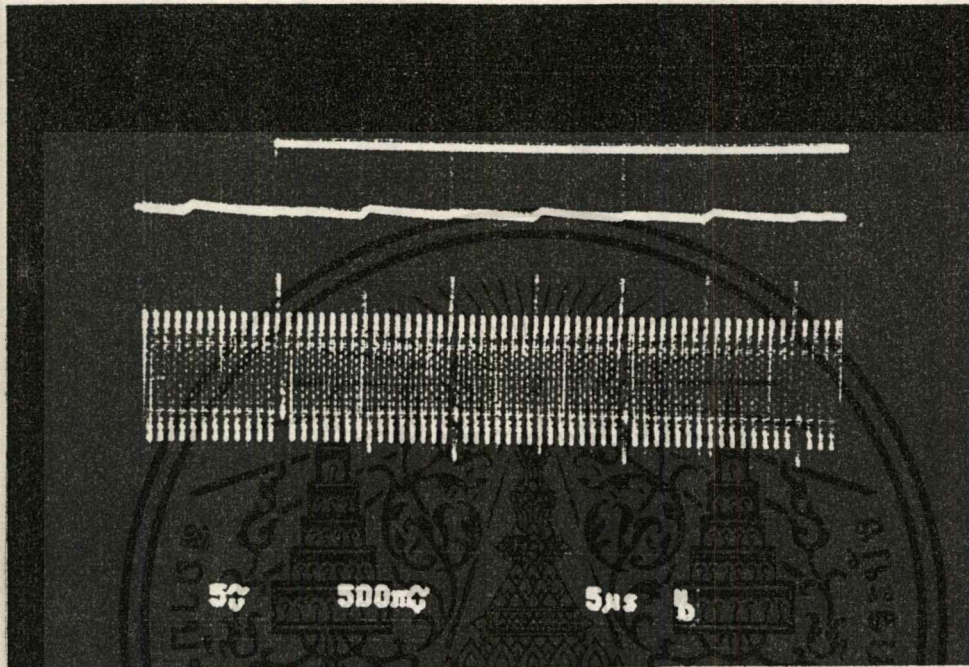
รูป แสดง Block diagram การต่อ PRBS, DATAFORMAT กับ BPSK



รูป แสดง จุด DATA FORMAT กับ BPSK

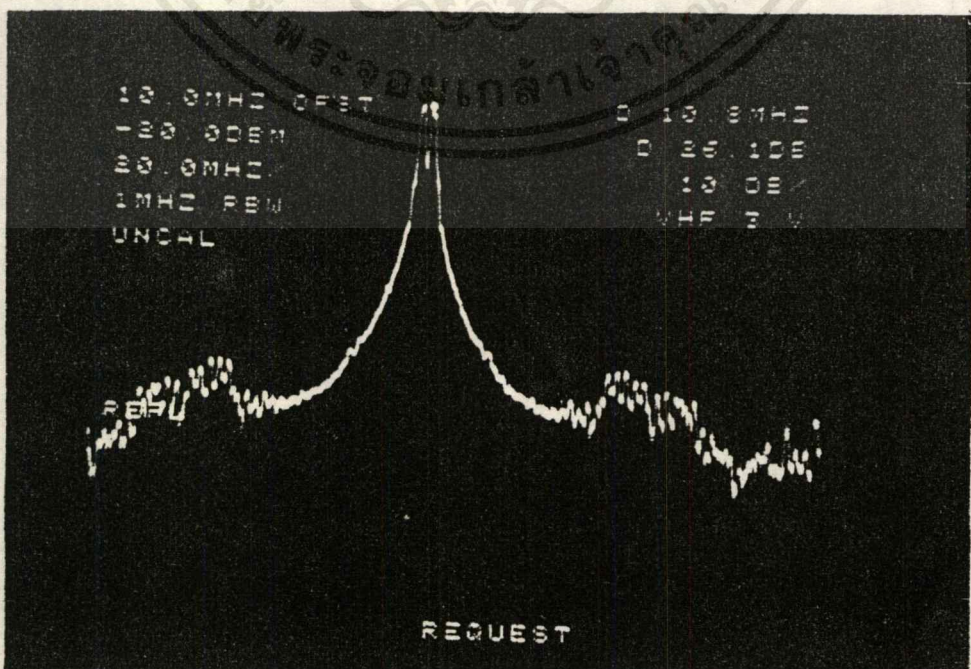
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้ oscilloscope วัดรูปสัญญาณและใช้ spectrum วัด spectrum ของสัญญาณต่างๆของ o/p BPSK เปรียบเทียบกับ i/p



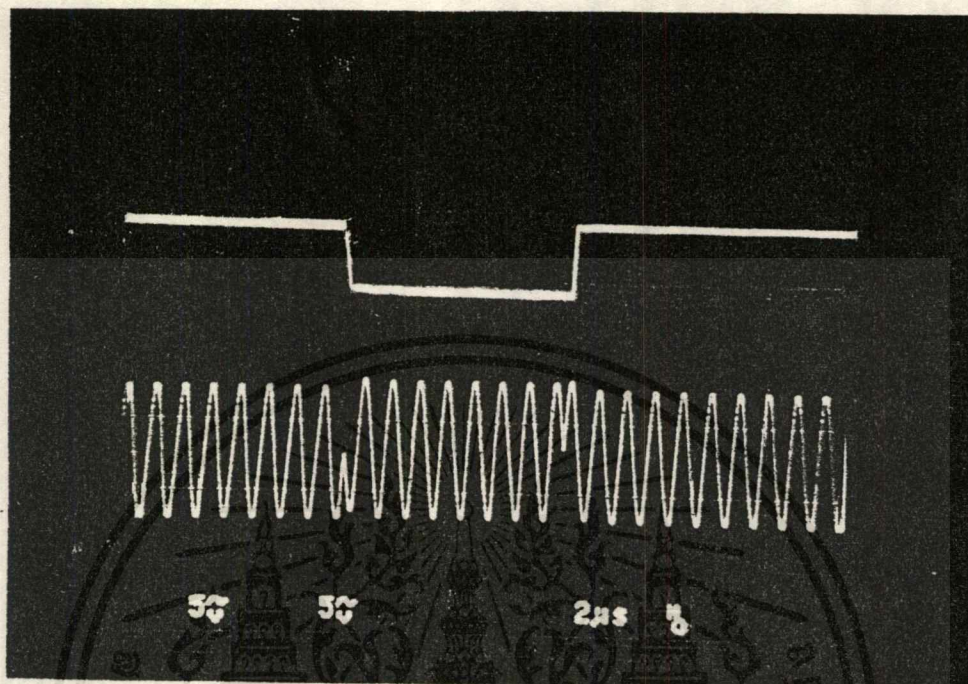
PRBS ขนาด M-Seq. = 8 bits ck = 160 KHZ

รูปแสดงสัญญาณ NRZ ที่ป้อนให้ i/p เทียบกับสัญญาณ o/p ที่ผ่าน BPSK



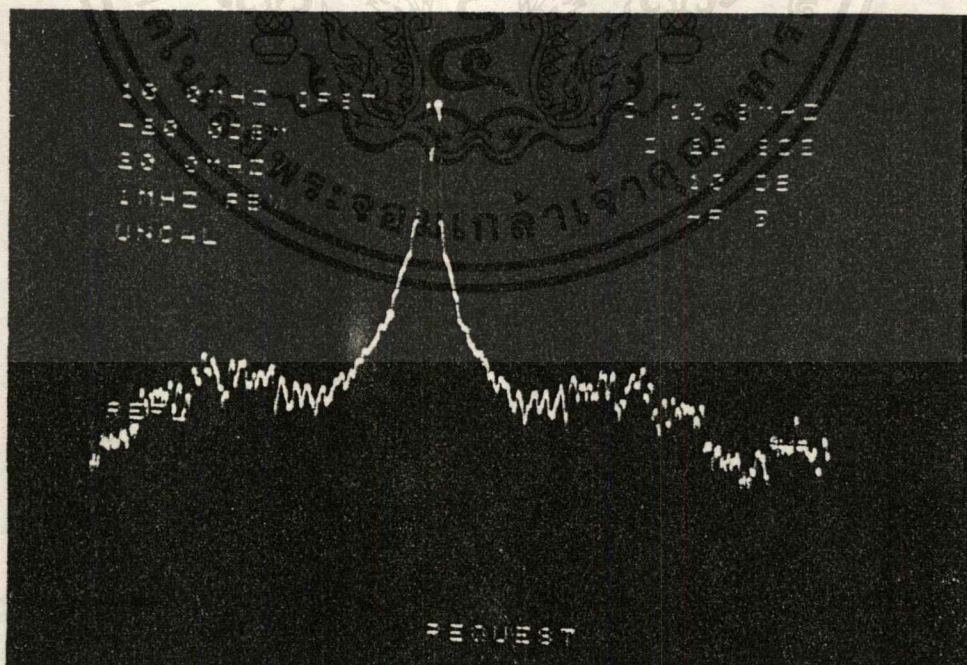
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลา หรือบริการเชิงพาณิชย์ เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบเซอร์เชียนด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามสน ยกเว้นที่พิมพ์หรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดง Spectrum ของสัญญาณ NRZ ที่ f.c. = 1.28 MHz

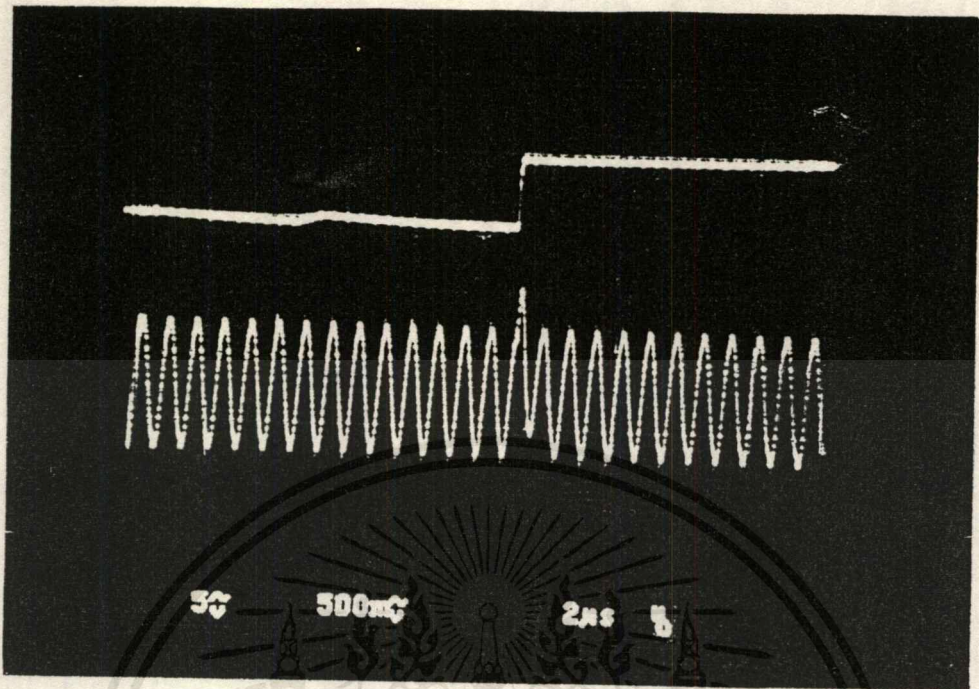


PRBS ขนาด M-Seq.= 8 bits ck = 160 KHZ

รูปแสดงสัญญาณ RZ ที่ป้อนให้ i/p เทียบกับสัญญาณ o/p เมื่อผ่าน BPSK

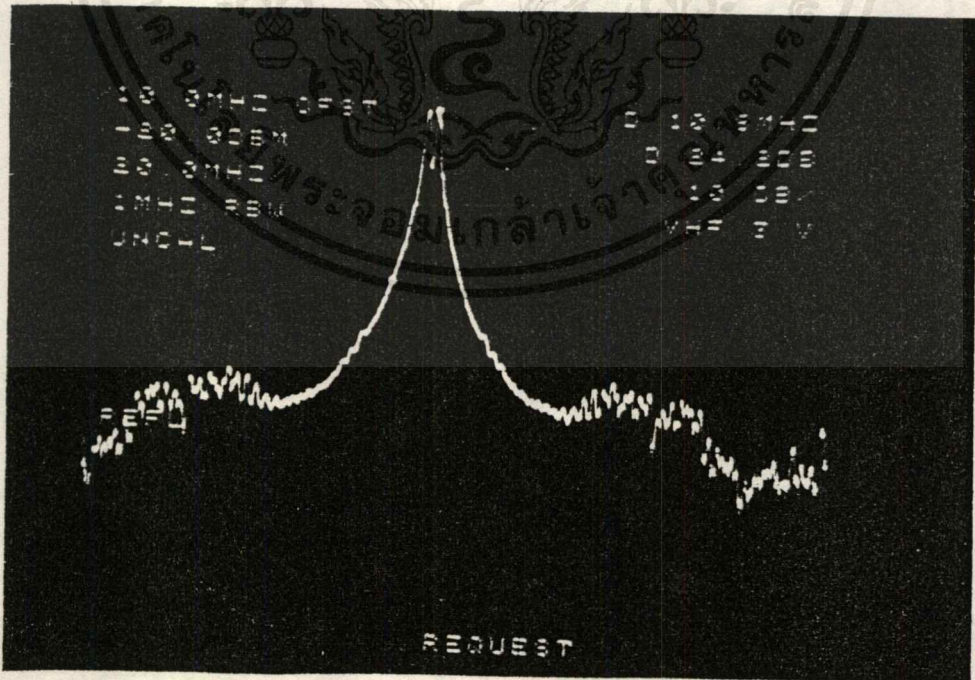


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูป Spectrum ของสัญญาณ RZ ที่ f.c = 1.28 MHZ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PRBS ขนาด M-Seq.= 8 bits ck = 160 KHZ

รูปแสดงสัญญาณ biphase ที่ป้อนให้ i/p เทียบกับสัญญาณ o/p เมื่อผ่าน BPSK



รูป Spectrum ของสัญญาณ biphase ที่ f.c = 1.28 MHZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

Pseudorandom เป็น noise ชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกว่า white noise เป็น noise ที่เปลี่ยนแปลงตาม bw แต่ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ การสร้าง white noise สามารถทำได้ 2 วิธี

- โดยใช่วิธีทางคณิตศาสตร์
- โดยใช่วิธีทางฟิสิกส์

เราสามารถนำ Pseudorandom ไปใช้ในการ test ระบบของดิจิทัล เช่น เมื่อเราส่งข้อมูลหนึ่งซึ่งเราต้องนำข้อมูลนั้นไปทำการบิตมอดกับ Pseudorandom แล้วส่งข้อมูลไปยังตัวรับ เมื่อตัวรับทำการรับข้อมูลมันจะทำการดีเทคสัญญาณที่รับเข้ามาถ้าดีเทคแล้วข้อมูลที่ได้อาจเหมือนกับข้อมูลที่ส่งเข้ามาแสดงว่าระบบนี้ดี

Pseudorandom ซึ่งมีหลักการดังนี้คือ โดยอาศัยการ shift ของ shift register ซึ่ง o/p ที่ออกจาก shift register จะนำมา Ex-or กันเราจะนำเอา o/p ของ shift register ตัวไหนมา Ex-or กันนั้นซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวน bit ที่จะสร้างหรือค่าโพลีโนเมียล เมื่อเราได้วงจรที่ต้องการแล้วเราสามารถหาค่า Maximum-length ได้โดยใช้สูตร  $2^m - 1$

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่เป็น RZ จะเป็นสองเท่าของสัญญาณแบบ NRZ ส่วนสัญญาณแบบ Bipolar RZ ก็เป็นสองเท่าของแบบ Bipolar NRZ เช่นกันแต่แตกต่างกับแบบ RZ และ NRZ ตรงที่สัญญาณมีทั้งบวกและลบ ซึ่งทำให้ peak voltage มีค่ามากกว่า ประมาณ 2 เท่า นั้นหมายถึงว่าจะให้ power ที่ออกมาแรงด้วย

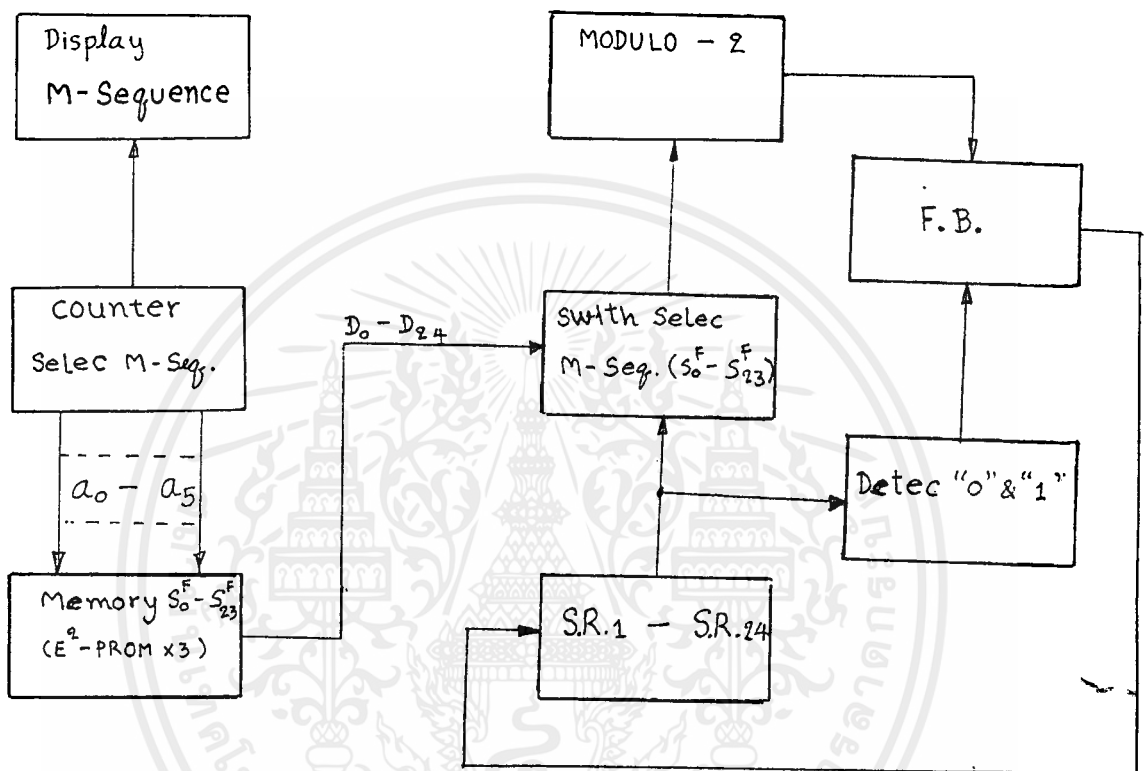
.....

บรรณานุกรม

- 1 V.N.Yarmolik,S.N.Demidenko :Generation Application Of Pseudorandom Sequences For Random Testing.1988
- 2 กฤตากร กล่อมการ ,กนก เจนจิระพงศ์เวช : การส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ FM SCA ,การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 12,2532
- 3 Leon W. Couchll : Digital and Analog Communiton Systems 1983
- 4 บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด : คู่มือเทียบเบอร์ไอซี TTL . 2532
- 5 Bobner,M.P. : Generation of Random Signals , 1971

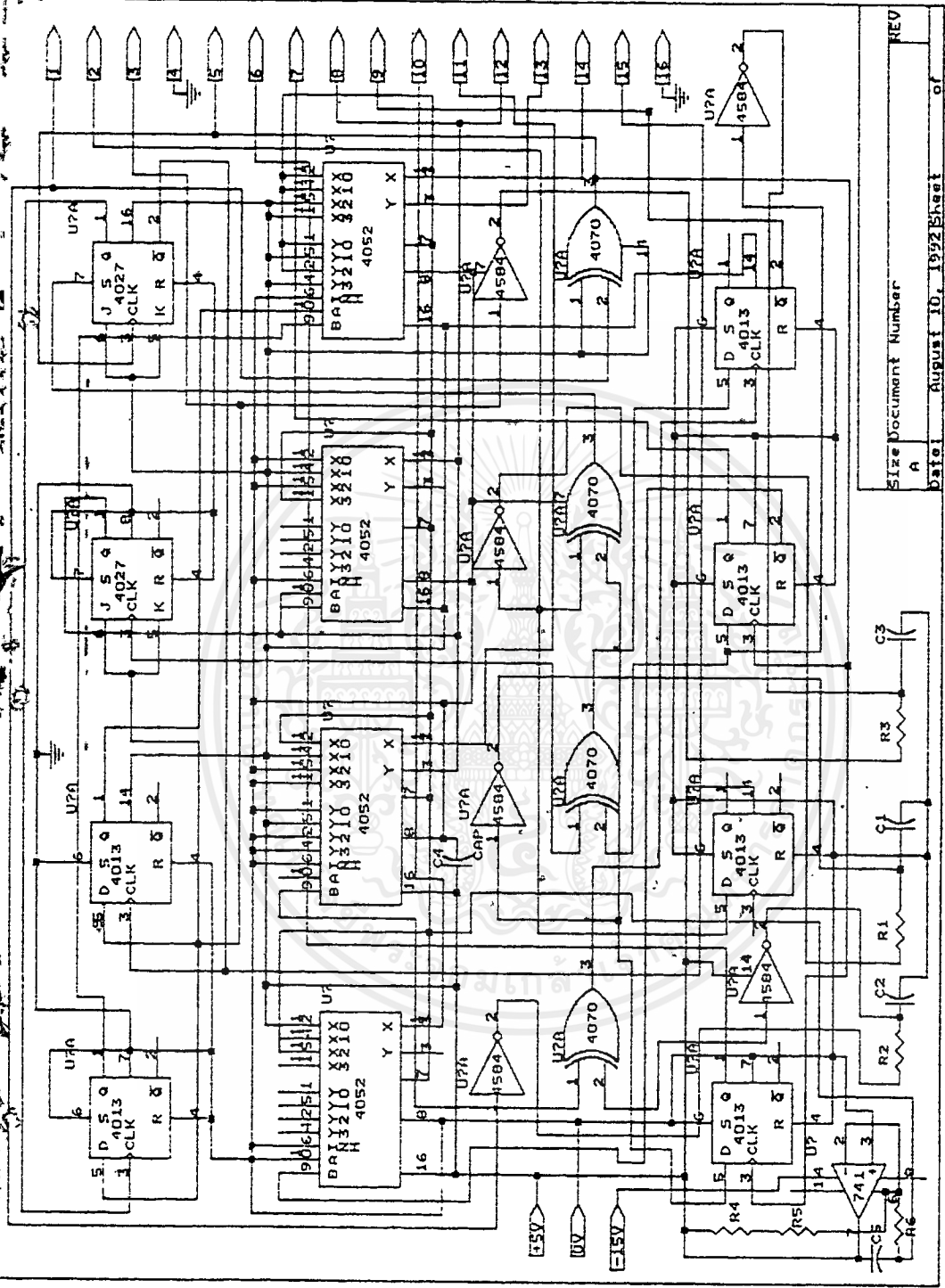


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



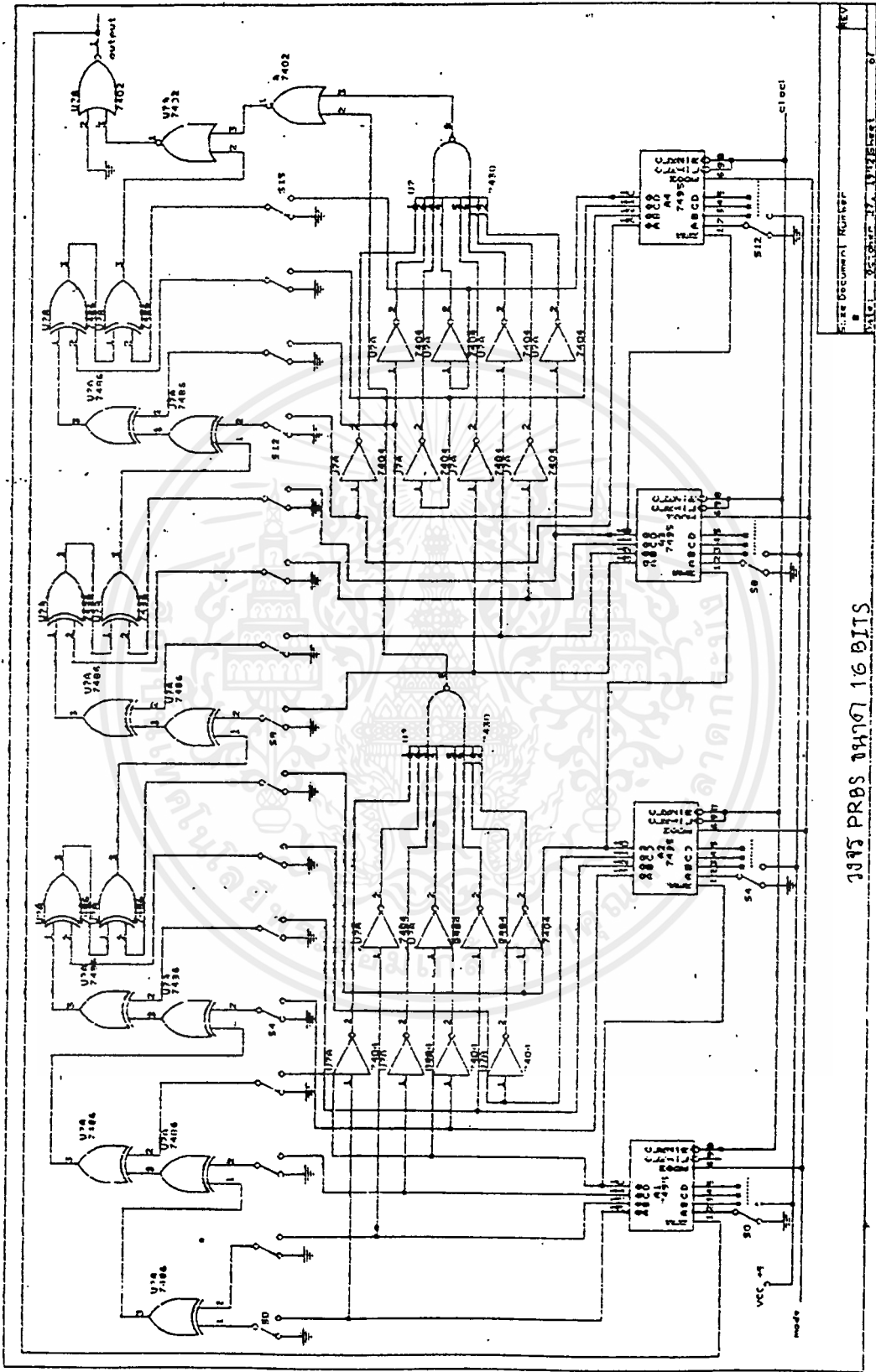
รูป. ๒๒ แสดง Block Diagram ของ Pseudorandom programmable





REV \_\_\_\_\_  
 Size Document Number \_\_\_\_\_  
 A \_\_\_\_\_  
 Date: August 10, 1992 Sheet \_\_\_\_\_ of \_\_\_\_\_

DATA FORMAT



วงจร PRBS ขนาด 16 BITS

REV	
DATE	25/05/2557
BY	WITTEK
DESCRIPTION	Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตาราง แสดงข้อมูลที่ใช้ในการ copy ลงใน E<sup>2</sup>PROM

A <sub>7</sub> -A <sub>0</sub>	E <sup>2</sup> PROM ตัวที่ 1	E <sup>2</sup> PROM ตัวที่ 2	E <sup>2</sup> PROM ตัวที่ 3
00H	00H	00H	00H
01H	00H	00H	00H
02H	00H	00H	00H
03H	00H	00H	00H
04H	00H	00H	00H
05H	00H	00H	00H
06H	00H	00H	00H
07H	00H	00H	00H
08H	00H	00H	00H
09H	00H	00H	00H
10H	00H	00H	00H
11H	00H	00H	00H
12H	00H	00H	00H
13H	00H	00H	00H
14H	00H	00H	00H
15H	00H	00H	00H
16H	00H	00H	00H
17H	00H	00H	00H
18H	00H	00H	00H
19H	00H	00H	00H
20H	00H	00H	00H
21H	00H	00H	00H
22H	00H	00H	00H
23H	00H	00H	00H
24H	00H	00H	00H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5490, 7490 Decade Counter

	Schottky TTL		High-Speed TTL		Low-Power Schottky TTL		Standard TTL		Low-Power TTL	
	Device Type	Package CIPMICF	Device Type	Package CIPMICF	Device Type	Package CIPMICF	Device Type	Package CIPMICF	Device Type	Package CIPMICF
T.I.					SN54LS90	DIP	SN5490A	DIP	SN54LS90A	DIP
FAIRCHILD					SN74LS90	DIP	SN7490A	DIP	SN74LS90A	DIP
MOTOROLA					DM54LS90	DIP	DM5490	DIP	DM54LS90	DIP
N. S. C.					DM74LS90	DIP	DM7490	DIP	DM74LS90	DIP
PHILIPS					N74LS90	DIP	F2161 7490	DIP		
SIGNETICS					N74LS90	DIP	S5490	DIP		
SIEMENS							N7490	DIP		
FUJITSU							FL3161	DIP		
HITACHI					HD74LS90	DIP	HD7490 HD2519	DIP		
MITSUBISHI					M74LS90	DIP	M53290	DIP		
NEC							μPB219	DIP		
TOSHIBA							TC3490A	DIP		

Electrical Characteristics SN54LS/SN74LS90A

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V <sub>CC</sub>	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS1: -55°C to 125°C
Input voltage	7V	temperature range	SN74LS1: 0°C to 70°C
Intermittent voltage (see Note 1)	5.5V	Storage temperature range	-65°C to 150°C

recommended operating conditions

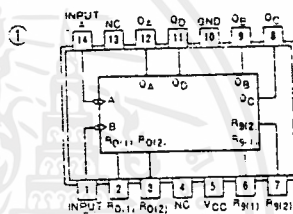
PARAMETER	SN54LS90A		SN74LS90A		UNIT
	MIN	NOM	MIN	NOM	
Supply voltage, V <sub>CC</sub>	4.5	5	5.5	4.75	V
High-level output current, I <sub>OH</sub>			-400		mA
Low-level output current, I <sub>OL</sub>				-400	mA
Count frequency, f <sub>count</sub>	A input	3	32	0	MHz
	B input	0	16	0	16
Pulse width, t <sub>w</sub>	A input	15	15	15	ns
	B input	30		30	
Reset inactive-state setup, t <sub>setup</sub>	Reset inputs	15		15	ns
Operating free-air temperature, T <sub>A</sub>		-55	125	0	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V <sub>IH</sub>	High-level input voltage		2		V
V <sub>IL</sub>	Low-level input voltage			0.8	V
V <sub>I</sub>	Input clamp voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>I</sub> = -18mA		-1.5	V
V <sub>OH</sub>	High-level output voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, V <sub>IH</sub> = 2V, V <sub>IL</sub> = 0.5V, I <sub>OH</sub> = -400μA	2.7	3.4	V
V <sub>OL</sub>	Low-level output voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, V <sub>IH</sub> = 2V, V <sub>IL</sub> = 0.5V, I <sub>OL</sub> = 8mA	0.35	0.5	V
I <sub>I</sub>	Input current	Any reset V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 7V		0.1	mA
I <sub>IH</sub>	High-level input current	A input V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 5.5V		0.4	mA
I <sub>IH</sub>	High-level input current	Any reset V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 2.7V		20	μA
I <sub>IL</sub>	Low-level input current	A input V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 0.4V		80	μA
I <sub>IL</sub>	Low-level input current	Any reset V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 0.4V		-0.4	mA
I <sub>OS</sub>	Short-circuit output current*	V <sub>CC</sub> = MAX	SN54LS1: -20	-100	mA
I <sub>OS</sub>	Short-circuit output current*	V <sub>CC</sub> = MAX	SN74LS1: -70	-100	mA
I <sub>CC</sub>	Supply current	V <sub>CC</sub> = MAX. See Note 2	3	15	mA
f <sub>max</sub>	from A to output Q <sub>A</sub>		32	42	MHz
f <sub>max</sub>	from B to output Q <sub>B</sub>		16		MHz
t <sub>PLH</sub>	from A to output Q <sub>A</sub>		10	16	ns
t <sub>PLH</sub>	from B to output Q <sub>B</sub>		12	18	ns
t <sub>PLH</sub>	from A to output Q <sub>D</sub>		32	48	ns
t <sub>PLH</sub>	from A to output Q <sub>D</sub>		34	50	ns
t <sub>PLH</sub>	from B to output Q <sub>B</sub>		10	16	ns
t <sub>PLH</sub>	from B to output Q <sub>B</sub>		14	21	ns
t <sub>PLH</sub>	from B to output Q <sub>C</sub>		21	32	ns
t <sub>PLH</sub>	from B to output Q <sub>D</sub>		23	35	ns
t <sub>PLH</sub>	from B to output Q <sub>D</sub>		21	32	ns
t <sub>PLH</sub>	from B to output Q <sub>D</sub>		23	35	ns
t <sub>PLH</sub>	from Set-to-0 to Any output		26	40	ns
t <sub>PLH</sub>	from Set-to-9 to output Q <sub>A</sub> , Q <sub>D</sub>		20	30	ns
t <sub>PLH</sub>	from Set-to-9 to output Q <sub>B</sub> , Q <sub>C</sub>		26	40	ns

V<sub>CC</sub> = 5V  
T<sub>A</sub> = 25°C  
C<sub>L</sub> = 15pF  
R<sub>L</sub> = 2kΩ

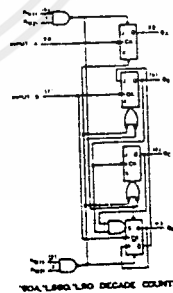
Pin Assignment (Top View)



Function Table

COUNT	BCD COUNT SEQUENCE (QA, QB, QC, QD) (See Note 3)			BI-QUINARY (3-7) (QA, QB, QC, QD) (See Note 3)			RESET COUNT (QA, QB, QC, QD) (See Note 3)		
	QA	QB	QC	QA	QB	QC	QA	QB	QC
0	L	L	L	L	L	L	L	L	L
1	L	L	L	L	L	L	L	L	L
2	L	L	L	L	L	L	L	L	L
3	L	L	L	L	L	L	L	L	L
4	L	L	L	L	L	L	L	L	L
5	L	L	L	L	L	L	L	L	L
6	L	L	L	L	L	L	L	L	L
7	L	L	L	L	L	L	L	L	L
8	L	L	L	L	L	L	L	L	L
9	L	L	L	L	L	L	L	L	L

Functional Block Diagram



- NOTES
- This is the voltage between two emitters of a multiple-emitter transistor. For this circuit, this rating applies between the two R<sub>0</sub> inputs, and it also applies between the two R<sub>0</sub> inputs.
  - I<sub>CC</sub> is measured with all outputs open, both R<sub>0</sub> inputs grounded following momentary connection to 4.5 V, and all other inputs grounded.
  - Output Q<sub>A</sub> is connected to input B for BCD count. Output Q<sub>D</sub> is connected to input A for bi-quinary count. H = high level, L = low level, X = irrelevant.
  - The J and K inputs shown without connection are for reference only and are functionally at a high level.

- † For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable type.
- ‡ All typical values are at V<sub>CC</sub> = 5V, T<sub>A</sub> = 25°C.
- § Not more than one output should be shorted at a time.
- ¶ Q<sub>A</sub> outputs are tested at I<sub>OL</sub> = 16mA plus the limit value for I<sub>IL</sub> for the B input. This puts driving the B input while maintaining full fan-out capability.
- \* max = maximum count frequency.
- t<sub>PLH</sub> = propagation delay time, low to high-level output
- t<sub>PHL</sub> = propagation delay time, high to low-level output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54248/74248 BCD-to-Seven-Segment Decoder /Driver

	Schottky TTL		High Speed TTL		Low-power Schottky TTL		Standard TTL		Low-Power TTL	
	Device Type	Package	Device Type	Package	Device Type	Package	Device Type	Package	Device Type	Package
		CIPIMICF		CIPIMICF		CIPIMICF		CIPIMICF		CIPIMICF
T.I.					SN54LS248	J(D) I(W)D(I)W(T)	SN54248	J(D) I(W)D(I)W(T)		
FAIRCHILD					SN74LS248	J(D) I(W)D(I)W(T)	SN74248	J(D) I(W)D(I)W(T)		
MOTOROLA										
N.S.C.										
PHILIPS										
SIGNETICS										
SIEMENS										
FUJITSU										
HITACHI					HD74LS248	IP(D)				
NITSUBISHI										
NEC										
TOSHIBA										

Electrical Characteristics SN54LS248/SN74LS248

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V <sub>CC</sub>	TVI Operating free-air	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	TVI temperature range	SN74LS	0°C to 70°C
	Storage temperature range		-65°C to 150°C

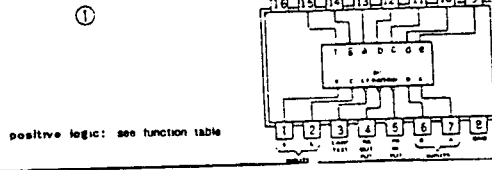
recommended operating conditions

	SN54248			SN74248			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V <sub>CC</sub>	4.5	5	5.25	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I <sub>OH</sub>	a thru g		-100	a thru g		-100	μA
	BI/RBO		-50	BI/RBO		-50	μA
Low-level output current, I <sub>OL</sub>	a thru g		2	a thru g		6	mA
	BI/RBO		1.6	BI/RBO		3.2	mA
Operating free-air temperature, T <sub>A</sub>	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER*	TEST CONDITIONS†	MIN	NOM‡	MAX	UNIT
V <sub>IH</sub> High-level input voltage		2			V
V <sub>IL</sub> Low-level input voltage				0.8	V
V <sub>I</sub> Input clamp voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>I</sub> = -18mA			-1.5	V
V <sub>OH</sub> High-level output voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, V <sub>IH</sub> = 2V, V <sub>I</sub> = 0.8V, I <sub>OH</sub> = MAX	2.4	4.2		V
V <sub>OL</sub> Low-level output voltage	V <sub>CC</sub> = MIN, V <sub>IL</sub> = 0.8V, I <sub>OL</sub> = MAX			0.35	V
I <sub>I</sub> Input current at maximum input voltage	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 7V			6.1	mA
I <sub>IH</sub> High-level input current	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 2.7V			20	μA
I <sub>IL</sub> Low-level input current	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>I</sub> = 0.4V			-0.4	mA
I <sub>OS</sub> Short-circuit output current	V <sub>CC</sub> = MAX			-0.3	mA
I <sub>CC</sub> Supply current	V <sub>CC</sub> = MAX, See Note 1		25	38	mA
t <sub>PHL</sub> from A input	V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>A</sub> = 25°C, C <sub>L</sub> = 150F, R <sub>L</sub> = 6kΩ			100	ns
t <sub>PLH</sub> from A input	V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>A</sub> = 25°C, C <sub>L</sub> = 150F, R <sub>L</sub> = 6kΩ			100	ns
t <sub>PHL</sub> from RBI input	V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>A</sub> = 25°C, C <sub>L</sub> = 150F, R <sub>L</sub> = 6kΩ			100	ns
t <sub>PLH</sub> from RBI input	V <sub>CC</sub> = 5V, T <sub>A</sub> = 25°C, C <sub>L</sub> = 150F, R <sub>L</sub> = 6kΩ			100	ns

Pin Assignment (Top View)



positive logic: see function table

248 LS248

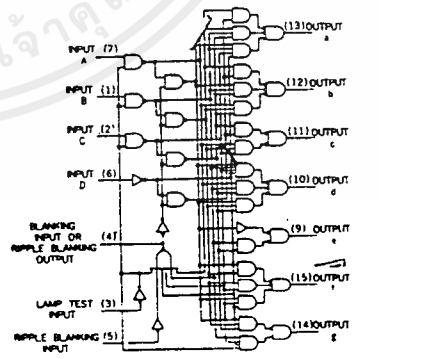
Function Table

DECIMAL OR FUNCTION	INPUTS	BI	RBO	OUTPUTS	UNIT
	A B C D			a b c d e f g	
0	X H X L	L	H	H H H H H H L	0
1	X H X L	L	H	H H H L H H L	1
2	X H X L	L	H	H H L H H H L	2
3	X H X L	L	H	H H L L H H L	3
4	X H X L	L	H	H L H H H H L	4
5	X H X L	L	H	H L H L H H L	5
6	X H X L	L	H	H L L H H H L	6
7	X H X L	L	H	H L L L H H L	7
8	X H X L	L	H	H L L L L H L	8
9	X H X L	L	H	H L L L L L L	9
10	X H X L	L	H	L L L L L L L	10
11	X H X L	L	H	L L L L L L L	11
12	X H X L	L	H	L L L L L L L	12
13	X H X L	L	H	L L L L L L L	13
14	X H X L	L	H	L L L L L L L	14
15	X H X L	L	H	L L L L L L L	15
BI	X X X X	X	X	L L L L L L L	BI
RBO	X X X X	X	X	L L L L L L L	RBO
LT	L X X X	X	X	L L L L L L L	LT

BI/RBO = zero AND logic (output is blanking signal (BI) and/or ripple blanking output (RBO)). X = high level, L = low level, - = no connection



Functional Block Diagram



- NOTES
1. V<sub>CC</sub> is measured with all outputs open and all inputs at 0.4V.
  2. The blanking input (BI) must be driven to a high logic level when output functions 0 through 15 are required. The ripple blanking input (RBO) must be driven to a high logic level when a second page is not desired.
  3. When a low logic level is applied directly to the Blanking input (BI), all segment outputs are low regardless of the level of any other input.
  4. When ripple blanking input (RBO) and inputs A, B, C, and D are all at a low level with the same test setup, all segment outputs go low and the ripple blanking output (RBO) goes to a low logic level (approximately 0.4V).
  5. When the Blanking input (BI) is driven to a low logic level and a low is applied to the ripple blanking input, all segment outputs are high.

† For conditions shown as MIN or MAX, use appropriate value specified under recommended operating conditions.  
 ‡ All typical values are at V<sub>CC</sub> = 5V, T<sub>A</sub> = 25°C.  
 \* t<sub>PLH</sub> propagation delay time, low-to-high-level output  
 † t<sub>PHL</sub> propagation delay time, high-to-low-level output

