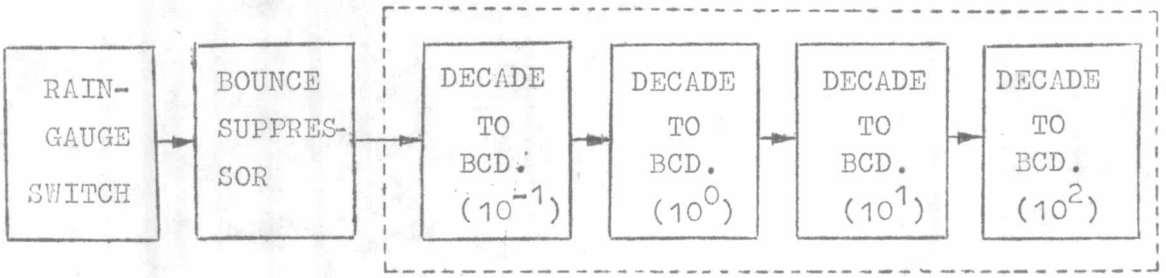
บทที่ ๓

การออกแบบวงจรในเครื่องรายงานปริมาณน้ำฝน

การออกแบบวงจรนับ(Counter) ปริมาณน้ำฝน

อาศัยการทำงานของรีดสวิทช์ในเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบถ้วยกระดก ซึ่งจะทำงานทุก ๆ ครั้งที่ถ้วยกระดกเทน้ำฝนขนาด ๐.๑ นิ้วออกไป นั้น นำมาเข้าวงจรนับ (Counter) ซึ่งจะนับจำนวนครั้งที่รีดสวิทช์ทำงาน บันทึกปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ ๐.๑ นิ้วจนถึง ๙๙๙.๙ นิ้ว แล้วเริ่ม Reset ใหม่ด้วยตัวเอง เป็นการทำงานของวงจรนับแบบ Decade Counter Input ของวงจรDecade Counter จะต้องมีวงจร Bounce Suppressor เพื่อขจัด Noise ที่เกิดจากการแตะจากของรีดสวิทช์ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ ๑๐๐ ms.แผนผังของวงจรนับแสดงในรูป ๓.๑

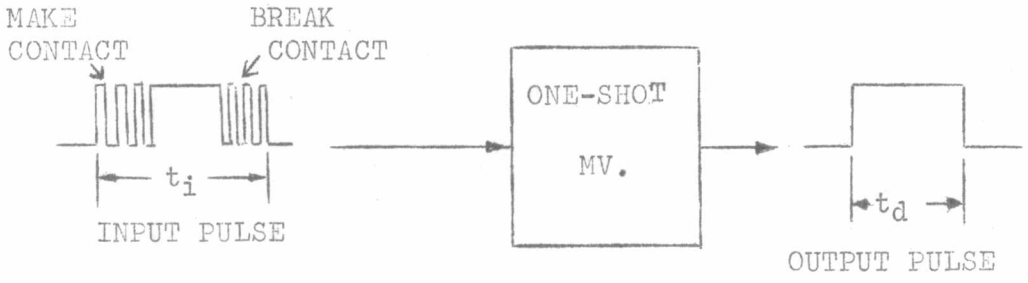


รูปที่ ๓.๑ แผนผังของวงจรนับ(Counter) ปริมาณน้ำฝน

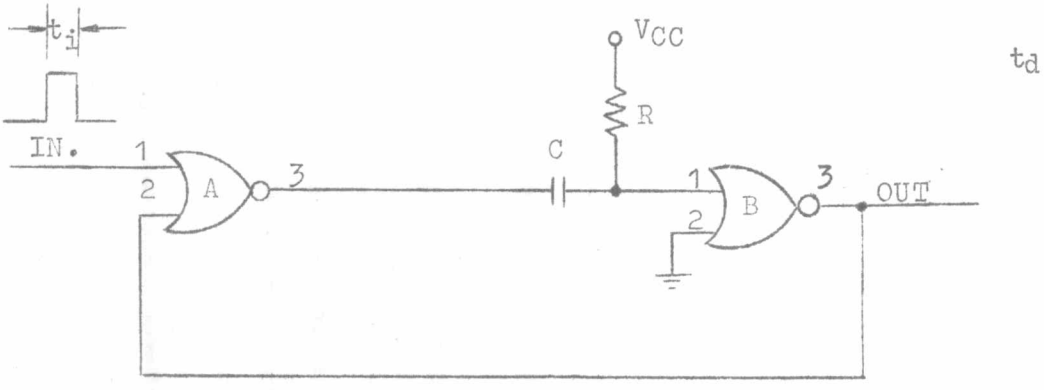
เนื่องจากสถานีตรวจวัดไม่มีพนักงานดูแล และไม่มีแหล่งจ่ายกำลังอื่น ๆ ดังนั้น แหล่งจ่ายกำลังงานจึงได้จากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว การออกแบบวงจรนับจะต้องเป็นอุปกรณ์ที่ให้การสูญเสียกำลังงานน้อยที่สุด และให้มีขนาดเล็กที่สุด การเลือกใช้อุปกรณ์ในเครื่องจึงใช้ Integrated Circuits ประเภท CMOS ซึ่งให้การสูญเสียกำลังงานน้อยกว่า IC ชนิดอื่น ๆ มาก (เป็น nW หรือ μW)

ก. การออกแบบวงจร Bounce Suppressor

วงจร Bounce Suppressor เป็นวงจรที่จะป้องกัน Noise ที่เกิดจากการ Make และ Brake Contact จาก Rain Gauge Switch Output ที่ได้จะเป็น Pulse ที่สามารถนำไปป้อนเข้าสู่วงจรนับ (Counter) ได้โดยไม่มีการรบกวนและผิดพลาด วงจรนี้ทำได้โดยใช้ Mono Stable Multivibrator แบบ One Shot ซึ่งสามารถตั้งขนาดเวลาของ Pulse Width ที่ Output ได้โดยการปรับค่า RC Time Constant ในวงจรดังแสดงในรูปที่ ๓.๒



รูปที่ ๓.๒ (ก)



รูปที่ ๓.๒ (ข)

รูปที่ ๓.๒ One Short Multivibrator Controlled by RC Time-Constant

(ก) แผนผังของวงจร Bounce Suppressor

(ข) วงจร Bounce Suppressor ที่ใช้ One Shot MV.

จากวงจรในรูปที่ ๓.๒ (ข) เป็นวงจร One Shot MV. ที่ประกอบด้วย NOR Gate สองตัว Output Pulse Width จะควบคุมโดยค่า RC Time-Constant ที่ต่ออยู่ภายนอก การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้.-

ในสภาวะ Steady State เมื่อไม่มีสัญญาณ Input Pulse จะมีกระแสไหลผ่านความต้านทาน R ให้ค่า Voltage ที่ Input 1 ของ B เป็น "1" และ Output 3 ของ B เป็น "0" ป้อนกลับไปให้ Input 2 ของ Gate A ขณะนี้ Input 1(A) ยังเป็น "0" อยู่ ฉะนั้น Output 3(A) จึงเป็น "1" ในช่วงนี้จะมีประจุจำนวนเล็กน้อยอยู่ใน Capacitor C เนื่องจากความต่างศักย์ที่แผ่น Plate ทั้งสองของ C มีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อ Positive-Going Pulse(0 เป็น 1) เข้ามาที่A(1)จะทำให้ A(3) เป็น "0" Capacitor C จะเริ่ม Charge ทำให้B(1)กลับเป็นศูนย์ ด้วยผลของB(2)ซึ่งเป็นศูนย์อยู่ด้วยจึงทำให้ Output3ของ B กลับเป็น "1" ป้อนกลับไปให้A(2)และทำให้A(3)ยังคงเป็นศูนย์อยู่จนกว่าที่ C จะ Charge จนกระทั่ง Voltage ที่ Input 1 ของ B เป็น 1 ทำให้B(3)กลับเป็นศูนย์ได้อีก เราจึงได้ Output Pulse ที่มีระยะเวลาแน่นอนออกจาก Output3(B)และในขณะเดียวกัน State "0" ที่ Output3(B)จะกลับไปสู่ Input2(A)ทำให้ Gate3(A)กลับไปสู่ Steady State ตามเดิม

จากการทำงานของ One Shot MV. ดังกล่าว จะเห็นว่า ค่าระยะเวลาของ Pulse Width Output (td) จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าระยะเวลาของ Pulse Width ของ Input Pulse เลย แต่ td จะขึ้นอยู่กับค่า Time-Constant ของ R และ C ในวงจรเท่านั้น ค่า Minimum Pulse Width ของ Trigger Input กำหนดโดยค่า Propagation Delay ของ Gate ที่ใช้ทั้งสองตัว เช่น ถ้า Gate แต่ละตัวมีค่า Propagation Delay 12nS.ค่า Minimum Input Trigger Pulse Width จะเป็น 24 nS.

ค่า Output Pulse Width (td) จะคำนวณได้จากค่า Time-Constant ของ RC คือ

$$td \cong 0.69\ RC \qquad (๒)$$

เมื่อให้ค่า C คงที่ ค่าความต้านทาน R ก็จะคำนวณได้จากสูตรดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ค่า R ที่ใช้ในวงจรจะมีขีดจำกัดเนื่องจากค่า Supply Voltage (V_{CC})และ Input Characteristic ของ Gate คือ

$$R_{max} = \frac{V_{CC} - V_{ON}}{I_{in}}$$

V_{ON} = Threshold of Gate Voltage

I_{in} = Normal Input Current

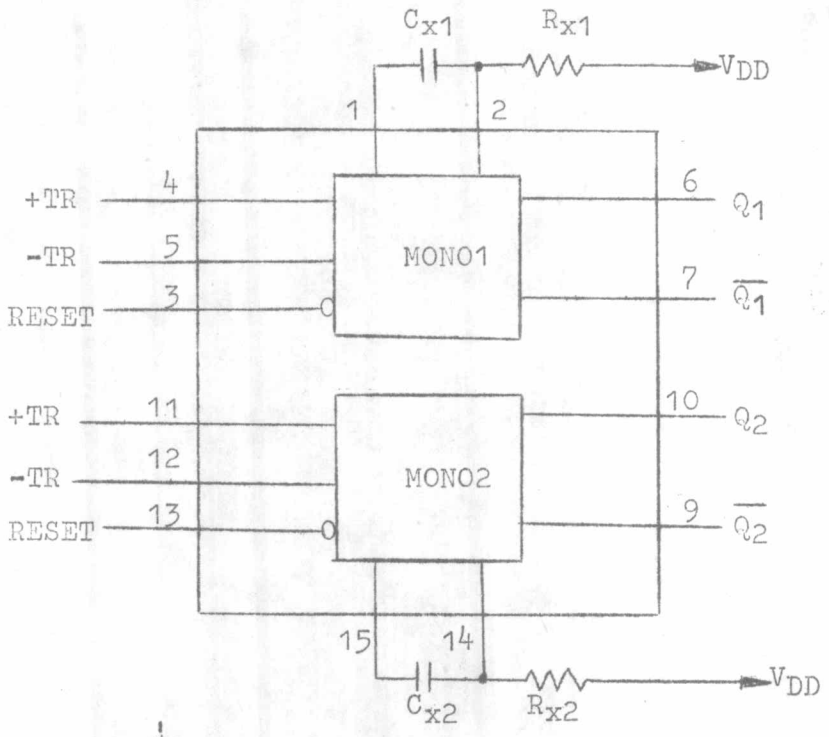
ตัวอย่างเช่น ถ้า $V_{CC} = 3.6$ V, $V_{ON} = 0.865$ และ $I_{in} = 0.5$ mA C = 75 μF และ Pulse Width = 225 mS. จะได้

$$R \cong \frac{225 \times 10^{-3}}{0.69 \times (75 \times 10^{-6})} \cong 4.3\ K\Omega$$

ค่า $R_{max} = \frac{(3.6) - (0.865)}{0.5 \times 10^{-3}} = 5.4\ K\Omega$

R ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4.3 K Ω ซึ่งต่ำกว่าค่า R_{max} ฉะนั้น จึงสามารถเลือกใช้ R = 4.3 K Ω ได้

สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ IC เบอร์ SCL 4528 ซึ่งเป็น CMOS Dual Mono Stable Multivibrator ทำงานเป็น Stable Retriggerable/Resettable One Shot โดยการควบคุมเวลาของ External Resistor (R_X) และ External Capacitor (C_X) ดังรูปที่ ๓.๓



รูปที่ ๓.๓ SCL 4528 Functional Diagram

Leading-Edge Triggering ($+T_R$) และ Trailing-Edge Triggering ($-T_R$) มีไว้สำหรับเลือกว่าจะให้วงจรทำงานที่ Triggering-Edge ด้านใดของ Input Pulse ถ้าไม่ใช้ Input ($+T_R$) ให้ต่อ ($+T_R$) กับ V_{SS} และถ้าไม่ใช้ Input ($-T_R$) ให้ต่อ ($-T_R$) กับ V_{DD} Reset Input ต้องการ Low Level มา Trig.เพื่อ Set Output Pulse หรือป้องกันมิให้เกิด Output Pulse ในขณะที่ "ON" Power Supply ถ้าไม่ใช้ Reset Input ต้องต่อกับ V_{DD} และในกรณีที่ไม่ต้องการ Pulse แบบ Retriggering เมื่อใช้ Leading-Edge Triggering ($\overline{Q}$) จะต้องต่อกับ ($-T_R$) และเมื่อใช้ Trailing-Edge Triggering (Q) จะต้องต่อกับ ($+T_R$)

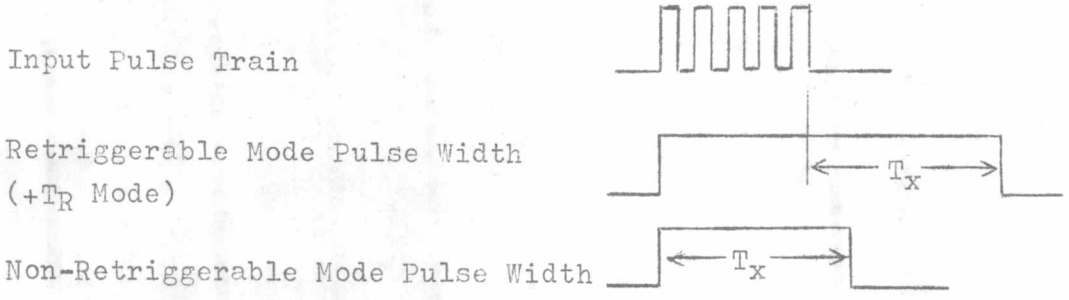
ตารางที่ ๓.๑ เป็นตารางแสดงการต่อวงจร Mono Stable เพื่อใช้งานในลักษณะต่าง ๆ

FUNCTION	TO V_{DD}		TO V_{SS}		INPUT PULSE TO		OTHER CONNECTIONS	
	MONO1	MONO2	MONO1	MONO2	MONO1	MONO2	MONO1	MONO2
Leading-Edge Trigger/ Retriggerable	3,5	11,13			4	12		
Leading-Edge Trigger/Non-Retriggerable	3	13			4	12	5-7	11-9
Trailing-Edge Trigger/ Retriggerable	3	13	4	12	5	11		
Trailing-Edge Trigger/Non-Retriggerable	3	13			5	11	4-6	12-10
Unused Section	5	11	3,4	12,13				

ตารางที่ ๓.๑ SCL 4528 Functional Terminal Connections (๒)

หมายเหตุ ๑. Retriggerable One Shot Multivibrator จะมีระยะเวลา Delay T_X ต่อจาก Input Pulse อันสุดท้าย

๒. Non-Retriggerable One Shot Multivibrator จะมีระยะเวลา Delay T_X เริ่มตั้งแต่ Input Pulse ตัวแรก



๓. $T_X \cong R_X C_X$

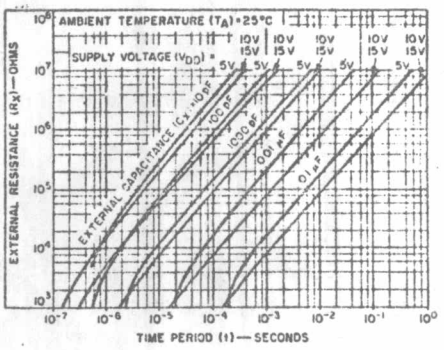
๔. Leading-edge Trigger = Positive Going Trigger.

๕. Trailing-edge Trigger = Negative Going Trigger.

<u>การเลือกค่า R_X และ C_X</u>

สำหรับ Mono 1. จะใช้เป็น Bounce Suppressor สำหรับ Rain Gauge Switch และ Mono 2. ใช้เป็น Bounce Suppressor สำหรับ Toggle Reset Switch เพื่อ Reset วงจร Counter แบบ Manual Monostable ทั้งสองตัวจะทำงานแบบ Trailing-edge Trigger/Retriggerable ค่า Time Delay (T_X) ของ Mono 1. จะขึ้นอยู่กับการ Make-Brake Contact ของ Rain Gauge Reed Switch ซึ่งจะมีค่าประมาณ ๑๐๐ mS. เลือกใช้ T_X = ๑๐๐ mS. (Worst Case Design) และสำหรับค่า Time Delay (T_X) ของ Mono 2. ซึ่งเป็น Manual Reset ของ Counter จะเลือกใช้ T_X = ๑ µS.

การเลือกค่า R_X และ C_X สำหรับ Mono MV. ทั้งสองตัวนี้จะหาได้จาก Graph ในรูปที่ ๓.๔(๒)



รูปที่ ๓.๔ R_X vs. Time Period for Various Value of V_{DD} and C_X

ที่ T_X = ๑๐๐ mS.
V_{DD} = ๕ V
C_X = ๐.๑ µF
จะได้ $R_X \cong$ ๑.๒ MΩ เลือกใช้ R_X = ๑ MΩ

ที่ T_X = ๑ µS.
V_{DD} = ๕ V
C_X = ๑๐๐ PF
จะได้ R_X = ๖ KΩ เลือกใช้ R_X = ๑๐KΩ และ C_X = ๑๒๐PF

ข. การออกแบบวงจร Decade to BCD Counter

วงจร Counter จะต้องทำการนับ Pulse ที่เกิดจาก Rain Gauge Switch Pulseหนึ่ง หมายถึงปริมาณน้ำฝน ๐.๑ นิ้ว ฉะนั้น จึงสามารถใช้วงจรCounter เป็นแบบ Modulo 10 (Mod.10)จำนวน ๔ หลัก เพื่อให้นับปริมาณน้ำฝนได้ถึง ๙๙๙.๙ นิ้ว จะต้องใช้ Mod.10 Counter จำนวน ๔ ตัว แต่ละตัวจะมี Output เป็น 4 Bit Binary (0000-1001) Mod.10 แต่ละตัวจึงสามารถสร้างขึ้นได้โดยใช้ **Flip-Flop** จำนวน ๔ ตัว ($2^4 = 16$) ซึ่งมี **Output** เป็น A,B,C,D และมี Transition State ดังตารางที่ ๓.๒

Present States Time n				Next States Time (n+1)			
A	B	C	D	A	B	C	D
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1
0	1	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0				
1	0	1	1				
1	1	0	0	Don't Care			
1	1	0	1				
1	1	1	0				
1	1	1	1				

ตารางที่ ๓.๒ Transition Table for Mod.10 Counter

ถ้าใช้ Trigger Bistable Flip-Flop จะเขียน Input Equation จาก Transition State Table ๓.๒ ได้เป็น

$$T_A = \bar{A}BCD + A\bar{B}\bar{C}D$$

$$T_B = \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}BCD$$

$$T_C = \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BCD$$

$$T_D = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}\bar{D}$$
$$\bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BC\bar{D} + \bar{A}BCD + A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D$$

Don't Care Condition :

$$T = A\bar{B}C\bar{D} + A\bar{B}CD + AB\bar{C}\bar{D} + AB\bar{C}D + ABC\bar{D} + ABCD$$

Kanaugh Maps for Mod.10 Counter :

CD \ AB	00	01	11	10
00	0	0	X	0
01	0	0	X	1
11	0	1	X	X
10	0	0	X	X

$T_A = D(A+BC)$

$\overline{T_A} = \overline{D(A+BC)}$

CD \ AB	00	01	11	10
00	0	0	X	0
01	0	0	X	0
11	1	1	X	X
10	0	0	X	X

$T_B = CD$

$\overline{T_B} = \overline{CD}$

CD \ AB	00	01	11	10
00	0	0	X	0
01	1	1	X	0
11	1	1	X	X
10	0	0	X	X

$T_C = \bar{A}D$

$\overline{T_C} = \overline{\bar{A}D}$

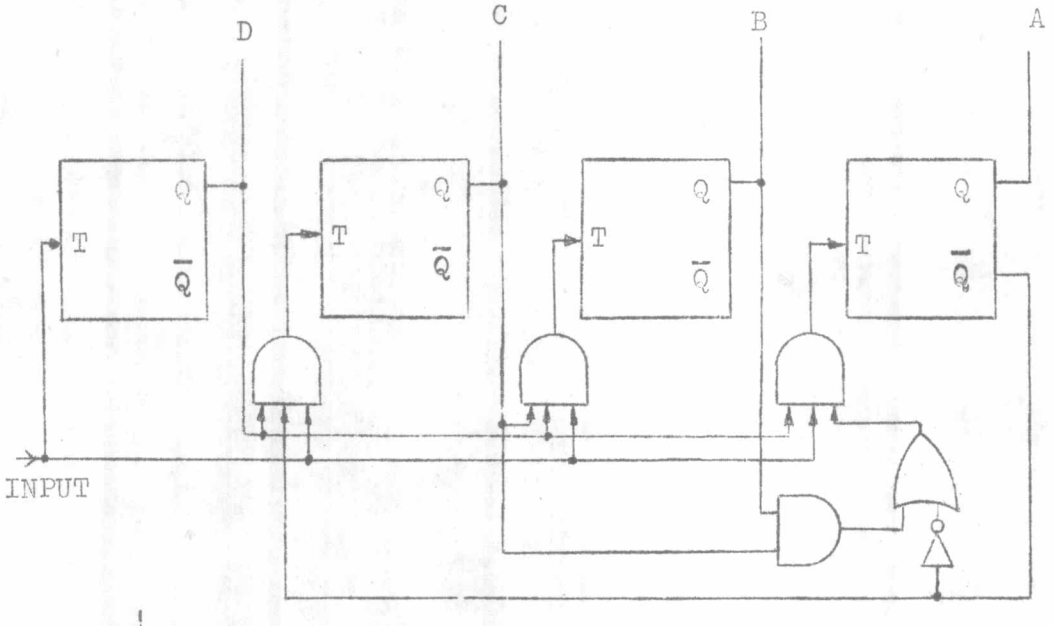
CD \ AB	00	01	11	10
00	1	1	X	1
01	1	1	X	1
11	1	1	X	X
10	1	1	X	X

$T_D = 1$

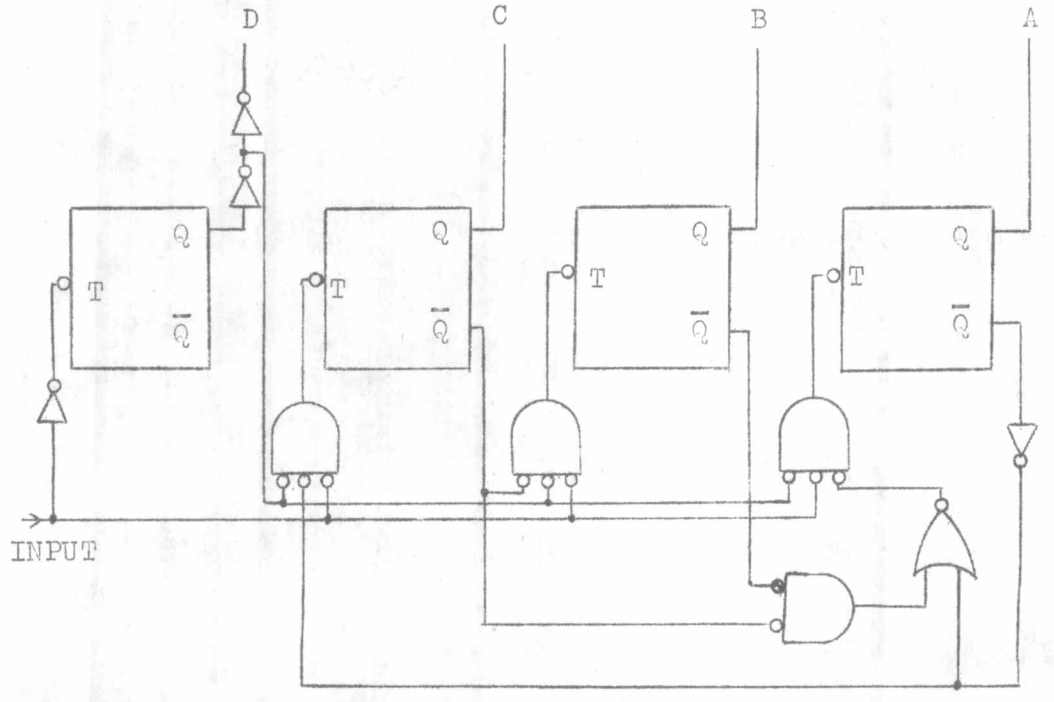
$\overline{T_D} = \overline{1}$

$T_D = 1$ หมายถึง Trigger Bistable จะเปลี่ยน State ทุก ๆ ครั้งที่มี Input Pulse

จากการ Simplify โดย Kanaugh Map จะสามารถ Implement วงจรได้ดังรูปที่ ๓.๕ และ ๓.๖

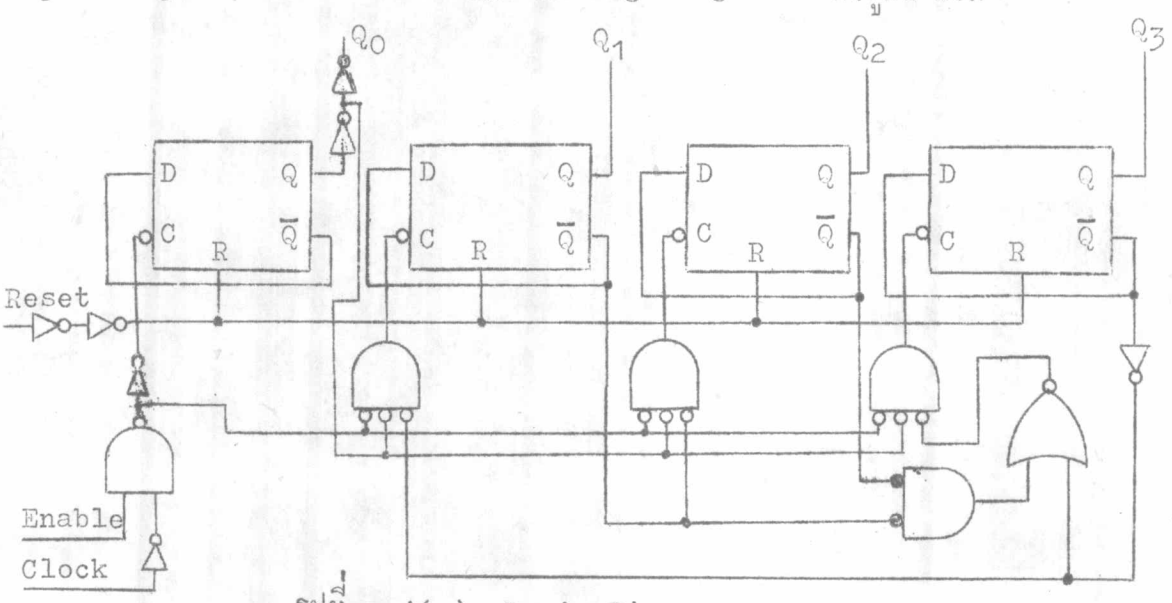


รูปที่ ๓.๕ Logic Diagram ของ Mod.10 Counter



รูปที่ ๓.๖ Logic Diagram ของ Mod.10 Counter ที่ Implemented ด้วย NAND และ NOR Gate

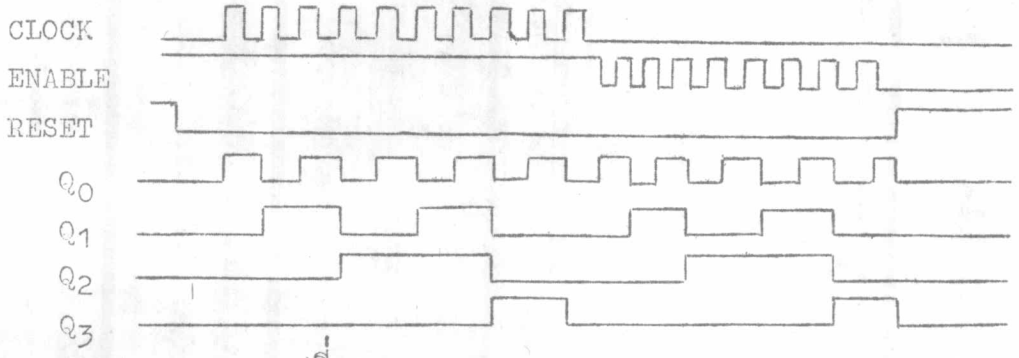
เลือกใช้ IC เบอร์ SCL 4518A (CMOS Dual BCD Up Counter)[๓] ซึ่งมี Logic Diagram, Truth Table และ Timing Diagram ดังรูปที่ ๓.๗



รูปที่ ๓.๗(a) Logic Diagram

CLOCK	ENABLE	RESET	ACTION
⌐	1	0	Increment Counter
0	¬	0	Increment Counter
¬	X	0	No Change
X	⌐	0	No Change
⌐	0	0	No Change
1	¬	0	No Change
X	X	1	Q_0 Through Q_3 = 0

รูปที่ ๓.๗(b) Truth Table

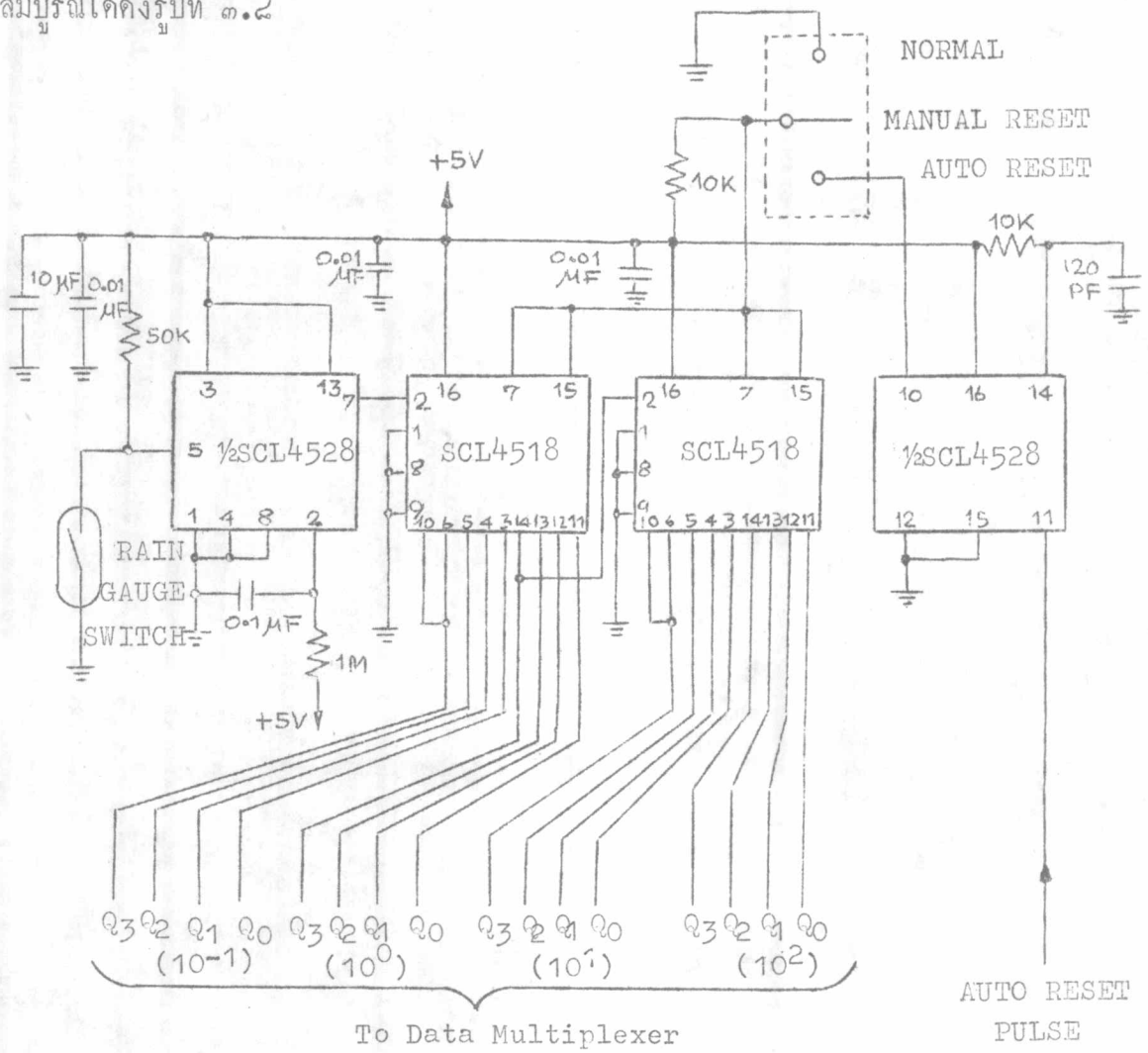


รูปที่ ๓.๗ (c) Timing Diagram

รูปที่ ๓.๗ SCL 4518 Dual BCD Up Counter

IC เบอร์ SCL 4518A ใช้ D-Flip-Flop ประกอบเป็นวงจร Synchronous 4Stage Counter จึงมีการต่อ Input D เข้ากับ $\bar{Q}$ ของ Flip-Flop เพื่อให้ทำงานเป็น T-Flip-Flop Input Pulse จะป้อนเข้าที่ Clock หรือ Enable ก็แล้วแต่ความต้องการว่าจะให้วงจรทำงานที่ Positive-going หรือ Negative-going Counter แต่ละตัวสามารถ Clear ได้โดยให้แรงไฟ High (1) ที่ Reset Line

วงจรนับปริมาณน้ำฝนที่ออกแบบมาตามลำดับแล้วนั้น สามารถเขียนเป็นวงจรที่สมบูรณ์ได้ดังรูปที่ ๓.๘

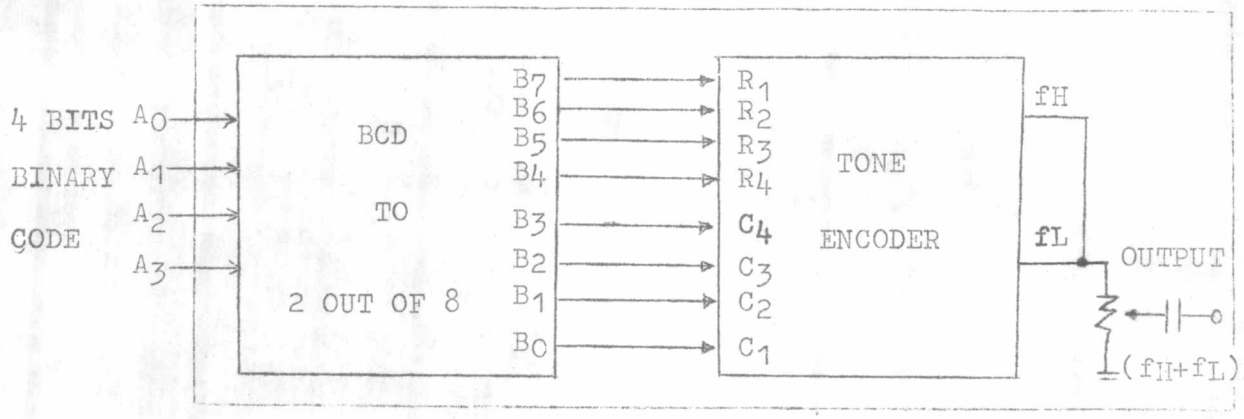


รูปที่ ๓.๘ วงจรนับปริมาณน้ำฝน

สำหรับ Auto Reset Pulse นั้นได้มาจากวงจร Clock Control ที่จะทำการ Reset วงจร BCD Counter สำหรับวัดปริมาณน้ำฝนให้อยู่ในสภาวะที่เป็นศูนย์หมด เมื่อการส่งข้อมูลครั้งหนึ่งสิ้นสุดลงโดยอัตโนมัติ หรือหากต้องการให้มีการนับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาต่อไปเรื่อย ๆ โดยไม่ต้องมีการ Reset ก็สามารถทำได้โดยการใช้ Manual Switch ควบคุม

การออกแบบวงจรระบบ Multi-Frequency Pulse (MFP) Signalling

ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำฝน คือปริมาณน้ำฝนจะอยู่ในรูป 4 Bits Binary Code และจะจัดให้ส่งออกไปเป็นลำดับทั้งหมดมี 15 Words ที่จะต้องส่งไปยังสถานีควบคุมที่ศูนย์กลาง โดยผ่านเครื่องส่งวิทยุ ดังนั้น จึงต้องมีการแปลง Binary Code แต่ละ Word (4 Bits) ออกมาเป็นความถี่ในย่านความถี่เสียง เพื่อนำไป Modulated กับเครื่องส่งวิทยุต่อไป ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ข้อมูลแต่ละ Word จะแปลงเป็นความถี่สองความถี่ ตามระบบ MFP Signalling ในตารางที่ ๒.๑ ความถี่ที่ใช้มี ๘ ความถี่ สามารถจัดแปลงโค๊ดครั้งละสองความถี่ได้ทั้งหมด ๑๖ โค๊ดพอดี ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ในการส่งโค๊ดทั้งหมดจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนได้ นั่นคือ Binary Code (4 Bits) จะต้องถูกแปลงออกมาเป็น 8 Bits Binary Address ระบบ MFP Encoder จะเลือกแปลงสัญญาณ 8 Bits Binary Address ครั้งละ 2 Address ออกมาเป็นความถี่สองความถี่ ดังแผนผังในรูปที่ ๓.๔



รูปที่ ๓.๔ Block Diagram ของ MFP Data Encoder

i 1698156X

ก. BCD to 2 Out of 8

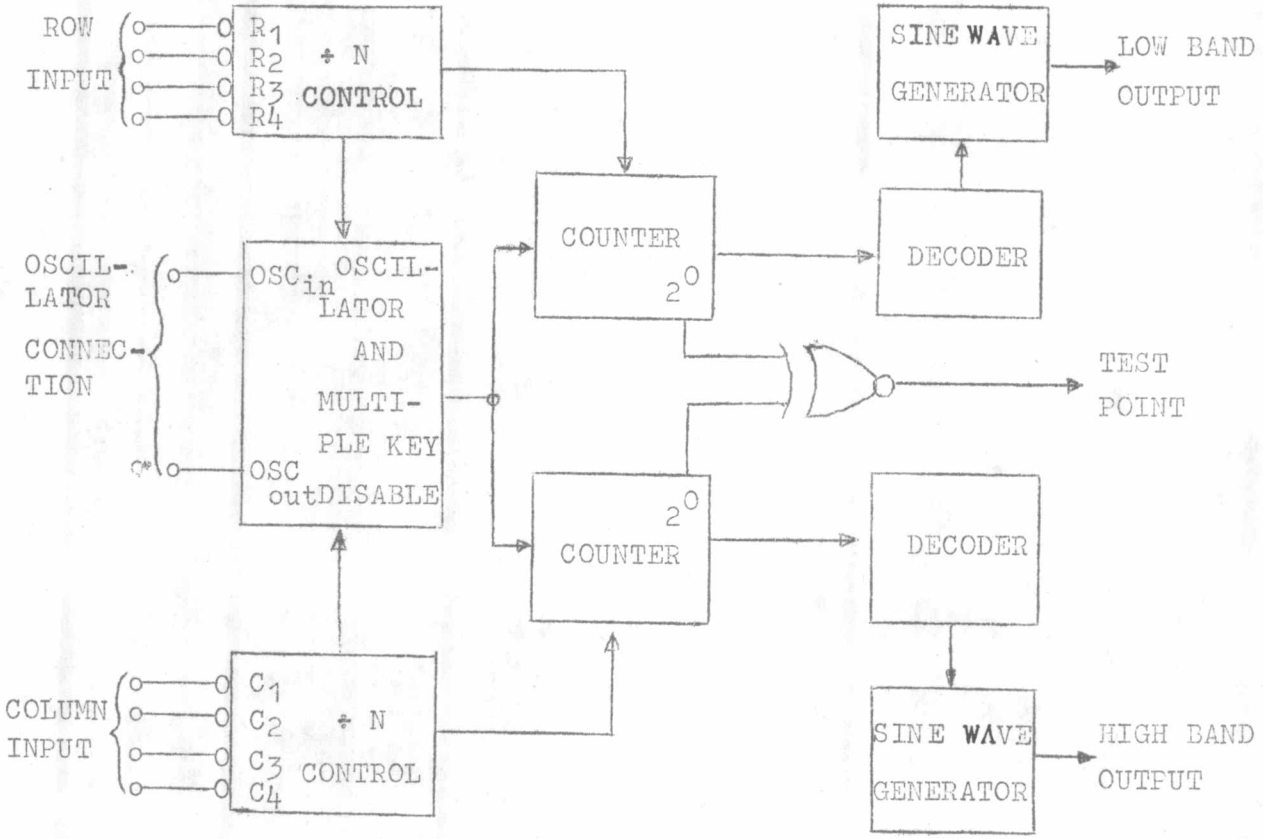
การแปลงข้อมูลจาก BCD Code ไปเป็น 2 Out of 8 Code นั้น เลือกใช้ TTL 256 Bits Read Only Memory เบอร์ 8223 ถ้าจัด 256 Bits เป็น 8 Bits ต่อ Word ก็จะสามารถเก็บข้อมูลได้ถึง 32 Words แต่ละ Word จะถูกเลือกโดย 5 Bits Binary Address Lines นำเอา 8223 มาโปรแกรมโค๊ดต่าง ๆ ที่จะจัดส่งออกไปด้วย Automatic PROM Programmer ทั้งหมด 15 Address ดังแสดงในตารางที่ ๓.๓

BCD							2-OUT-OF-8							
CODE IDENTIFY	FUNCTION	ADDRESS CODE					B_7	B_6	B_5	B_4	B_3	B_2	B_1	B_0
		A_4	A_3	A_2	A_1	A_0	(R_1	R_2	R_3	R_4)	(C_4	C_3	C_2	C_1)
0	0	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1
1	1	X	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0
2	2	X	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1
3	3	X	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
4	4	X	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0
5	5	X	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
6	6	X	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
7	7	X	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
8	8	X	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
9	9	X	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1
*	Start	X	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
#	Power Failure	X	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
A	Non.	X	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
B	Space	X	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
C	Data Ready	X	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1
D	Decimal Point	X	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1

ตารางที่ ๓.๓ BCD to 2 Out of 8

ข. MFP Encoder[๖]

วงจร MFP Encoder หรือ Tone Encoder จะรับ Digital Input Signal ในรูป 2 Out of 8 Code เพื่อจะเลือกความถี่ High Band และ Low Band Sinwave อย่างละ ๑ ความถี่พร้อม ๆ กัน ตาม Digital Bit ของ 2 Out of 8 Code Inputของวงจร Tone Encoder จะจัดให้อยู่ในรูป 4x4 Matrix Keypad. ซึ่งจะ Generate 4 Rows และ 4 Column Input Signalตาม 2 Out of 8 Code Format (1 Row และ1 Column จะถูกต่อกับ V_{SS} พร้อม ๆ กัน) Block Diagram ของวงจร Tone Encoder แสดงดังรูป ๓.๑๐



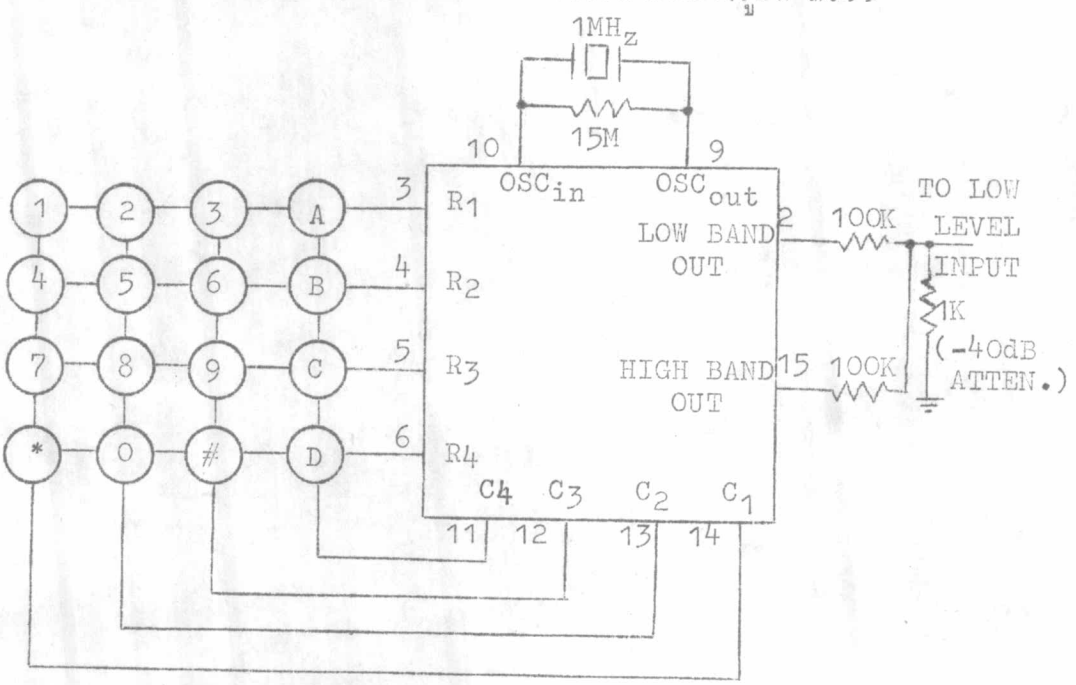
รูปที่ ๓.๑๐ Tone Encoder Block Diagram

ความถี่ที่ Oscillate นั้น ได้มาจากวงจร Divider จาก Crystal Oscillator ขนาด 1MHz Output Frequency แสดงในตารางที่ ๓.๔

	NORMINAL FREQUENCY Hz	ACTUAL FREQUENCY Hz	ERROR %
Low Group	697	695.28	-0.25
	770	768.82	-0.15
	852	850.61	-0.16
	941	940.68	-0.03
High Group	1209	1211.48	+0.21
	1336	1332.62	-0.25
	1477	1478.69	-0.25
	1633	1631.78	-0.07

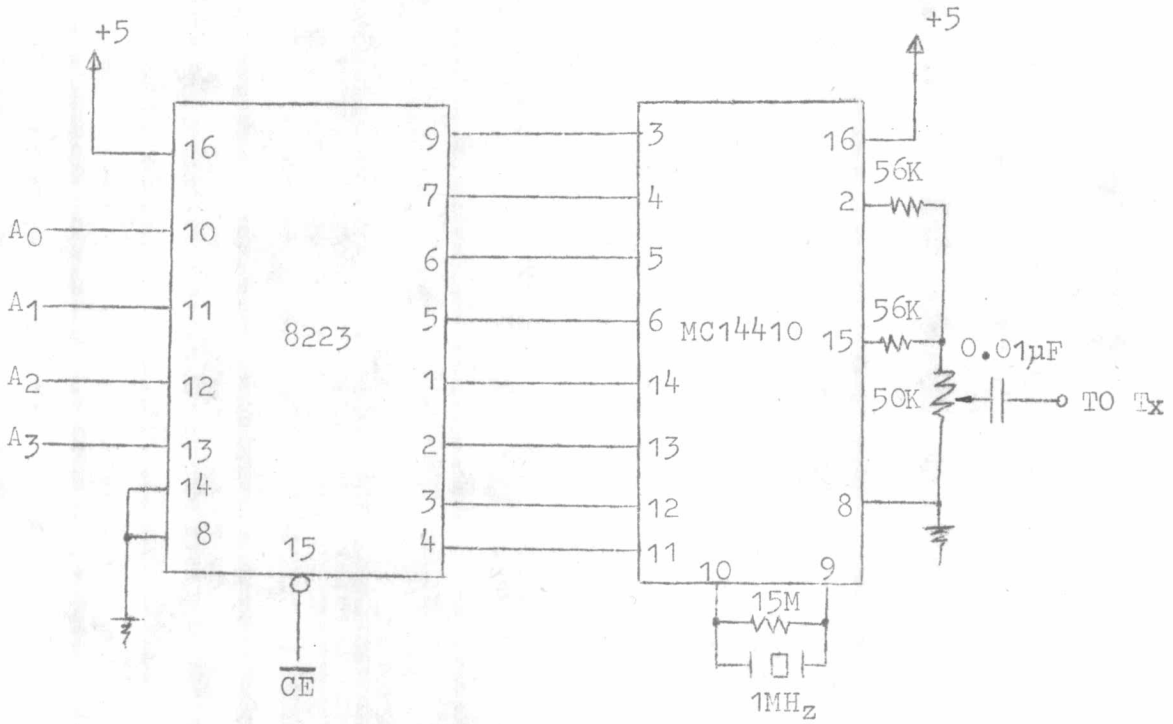
ตารางที่ ๓.๔ Output Frequency

วงจร Tone Encoder เลือกใช้ MC 14410[๖] ซึ่งเป็นTone Encoder ใช้สำหรับ Key Telephone Dialing Systems มีวงจรการต่อดังรูปที่ ๓.๑๑



รูปที่ ๓.๑๑ MC 14410 Tone Generator Applications

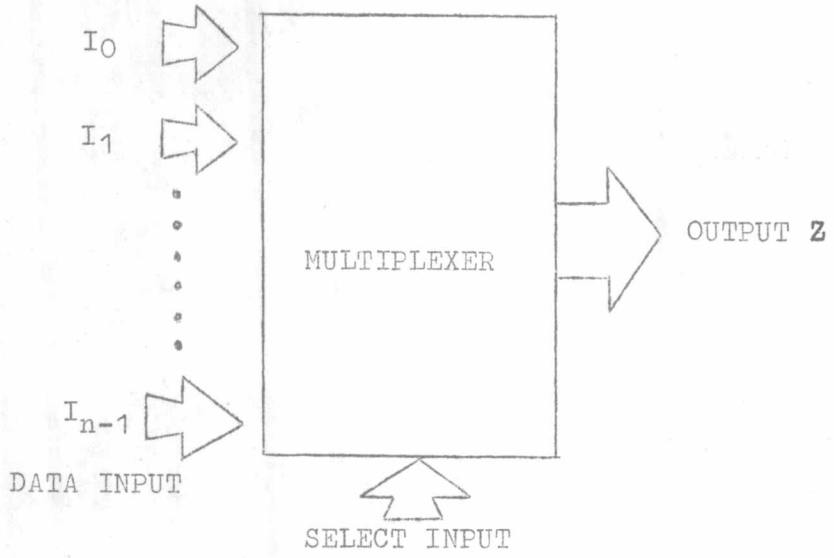
วงจรรวมของระบบ MFP Encoder Signalling จะเป็นดังรูปที่ ๓.๑๒



รูปที่ ๓.๑๒ วงจรระบบ MFP Encoder

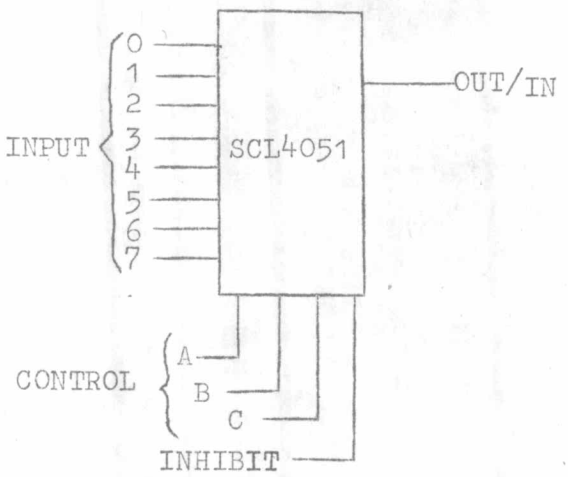
<u>การออกแบบวงจรระบบ Data Multiplexer</u>

วงจร Multiplexer หรือ Data Selector เป็นวงจรที่จะเลือกเอา Data Input อันใดอันหนึ่งจากหลาย ๆ Input การที่วงจรจะเลือกว่า Input ใด จะปรากฏที่ Output นั้น กำหนดโดย Select Input หรือ Address Input ดัง Block Diagram ในรูปที่ ๓.๑๓



รูปที่ ๓.๑๓ General Diagram of Digital Multiplexer

สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ IC เบอร์ SCL 4051A (COS/MOS Analog Multiplexers/Demultiplexers)[๓] เป็น Single 8 Channel Multiplexer มี Input A,B,C เป็น Control Input รวมทั้ง Inhibit Input ดัง Block Diagram และ Truth Table ในรูปที่ ๓.๑๔

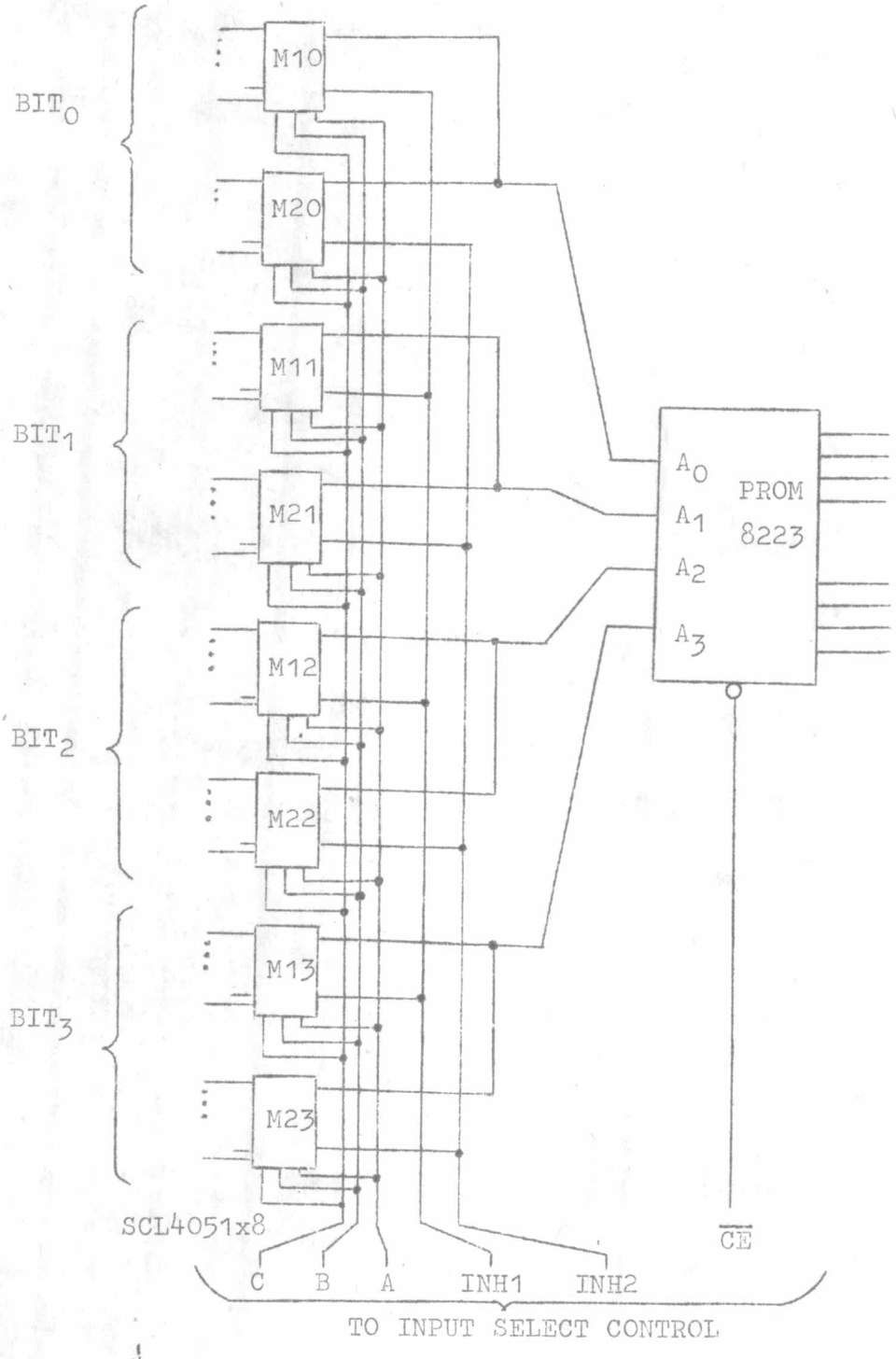


TRUTH TABLE

INPUT STATES				OUTPUT
INHIBIT	C	B	C	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	NONE

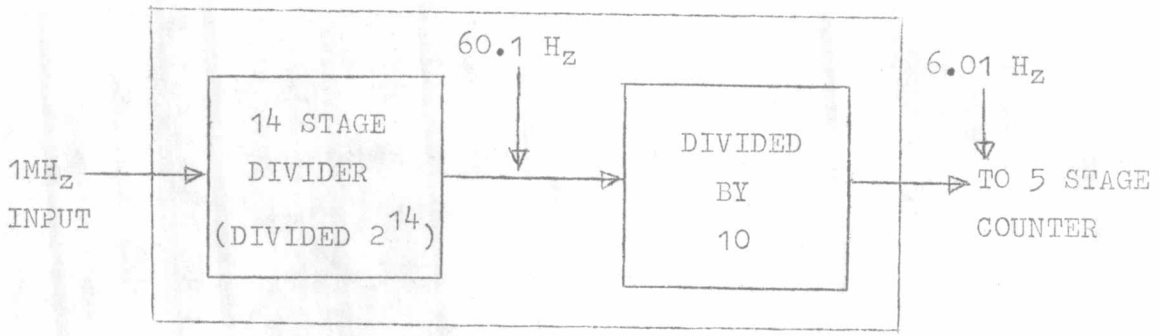
รูปที่ ๓.๑๔ SCL 4051 Single 8 Channel Multiplexer

Data Input ของ Multiplexer ประกอบด้วย 4 Bits/Word จำนวน 15 Words ดังนั้น จะต้องใช้ SCL 4051A จำนวน ๘ ตัว (16 Words) ดังรูปที่ ๓.๑๕



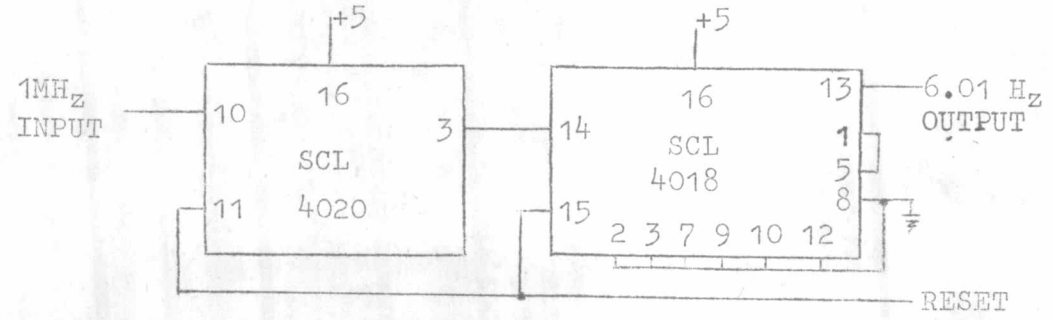
รูปที่ ๓.๑๕ วงจร Data Multiplexer

Select Input Control ประกอบด้วย 5 Stage Counter สำหรับ A,B, C Input และ Inhibit 1 กับ Inhibit 2 ความเร็วในการส่งสัญญาณแต่ละคำออกจากวงจร Data Multiplexer จะขึ้นอยู่กับอัตราความถี่ของ Counter Input ในที่นี้เลือกใช้ความเร็วในการส่งขนาดประมาณ 3 Baud.Counter Input จะมีความถี่ประมาณ 6.01H_z Bit แรกของ Counter Output จะมีความถี่ประมาณ 3.005H_z (ความเร็วในการส่งนี้ขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของวงจร MFP Decoder) ความถี่ดังกล่าวนี้จะ Divider มาจาก 1MH_z Crystal Oscillator ในวงจร Tone Encoder ผ่าน Bit Rate Generator ดัง Block Diagram ที่แสดงในรูปที่ ๓.๑๖



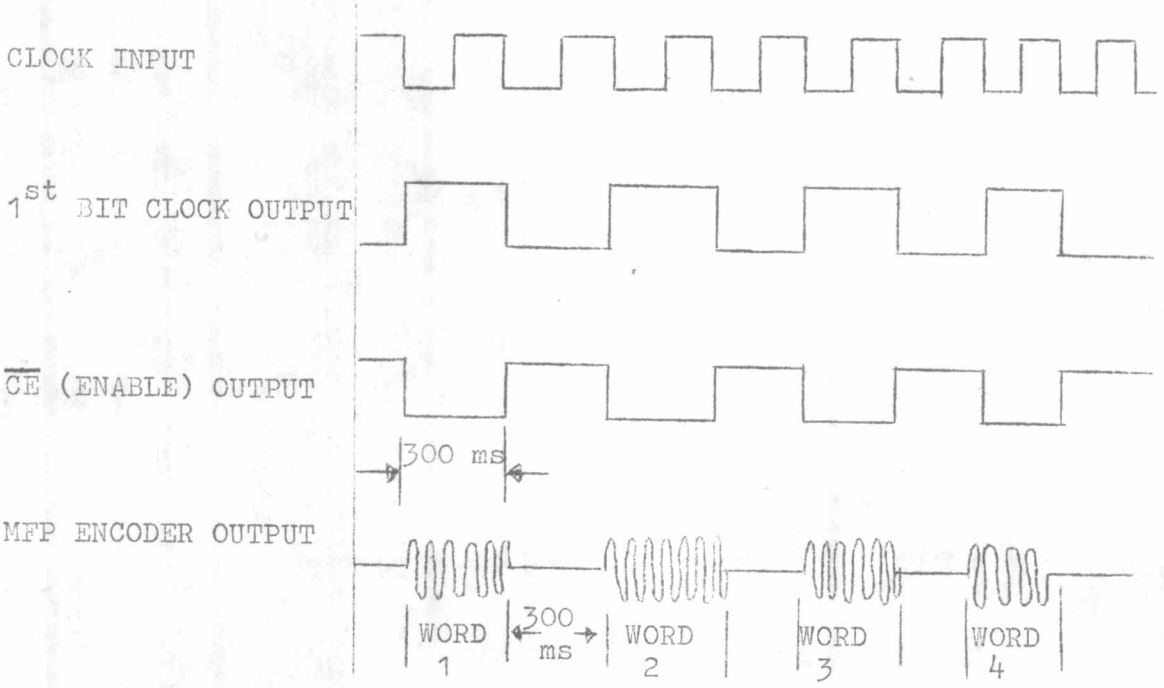
รูปที่ ๓.๑๖ Block Diagram ของ Bit Rate Generator

วงจร 14 Stage Divider เลือกใช้ SCL 4020[๓] และวงจร Divided By 10 เลือกใช้ SCL 4018[๓] วงจรการต่อจะเป็นดังรูปที่ ๓.๑๗



รูปที่ ๓.๑๗ Bit Rate Generator Circuits

สัญญาณ Clock จาก Bit Rate Generator ขนาด 6.01H_z จะถูกป้อนเข้าสู่วงจร 5 Stage Counter 5Bits Binary Output ของ 5 Stage Counter นี้จะนำไปควบคุม Data Input ของวงจร Data Multiplexer ประกอบด้วย Control Input A,B,C และ Inhibit 1 กับ Inhibit 2 สำหรับ Bit แรกของ 5 Stage Counter จะนำไป Control วงจร PROM ที่จัดโปรแกรมไว้ในรูปของ 2 Out of 8 Code ตาม Address ทางด้านอินพุทจำนวน 4 Bit Address สัญญาณพัลซ์ดังกล่าวนี้จะต่ออยู่กับขา Enable ของ PROM ซึ่งจะยอมให้มีสัญญาณ 2 Out of 8 Codeปรากฏที่ Output ของ PROM ได้ก็ต่อเมื่อ $\overline{CE}$ (Enable) ของ PROM เป็น 0 เท่านั้น ทำให้ข้อมูลแต่ละคำที่ส่งออกไปมีระยะห่างจากกัน 1 Clock Pulse ก่อนที่จะนำไป Encoded ด้วย วงจร Tone Encoder ลักษณะของ Clock Output ที่จะนำไปควบคุมวงจรData Multiplexer และ PROM ดังกล่าวแล้ว แสดงไว้ในตารางที่ ๓.๕ ลักษณะของคำแต่ละคำที่ถูก Encode ด้วยวงจร Tone Decoder จะแสดงดังรูปของ Timing Diagram ในรูปที่ ๓.๑๘

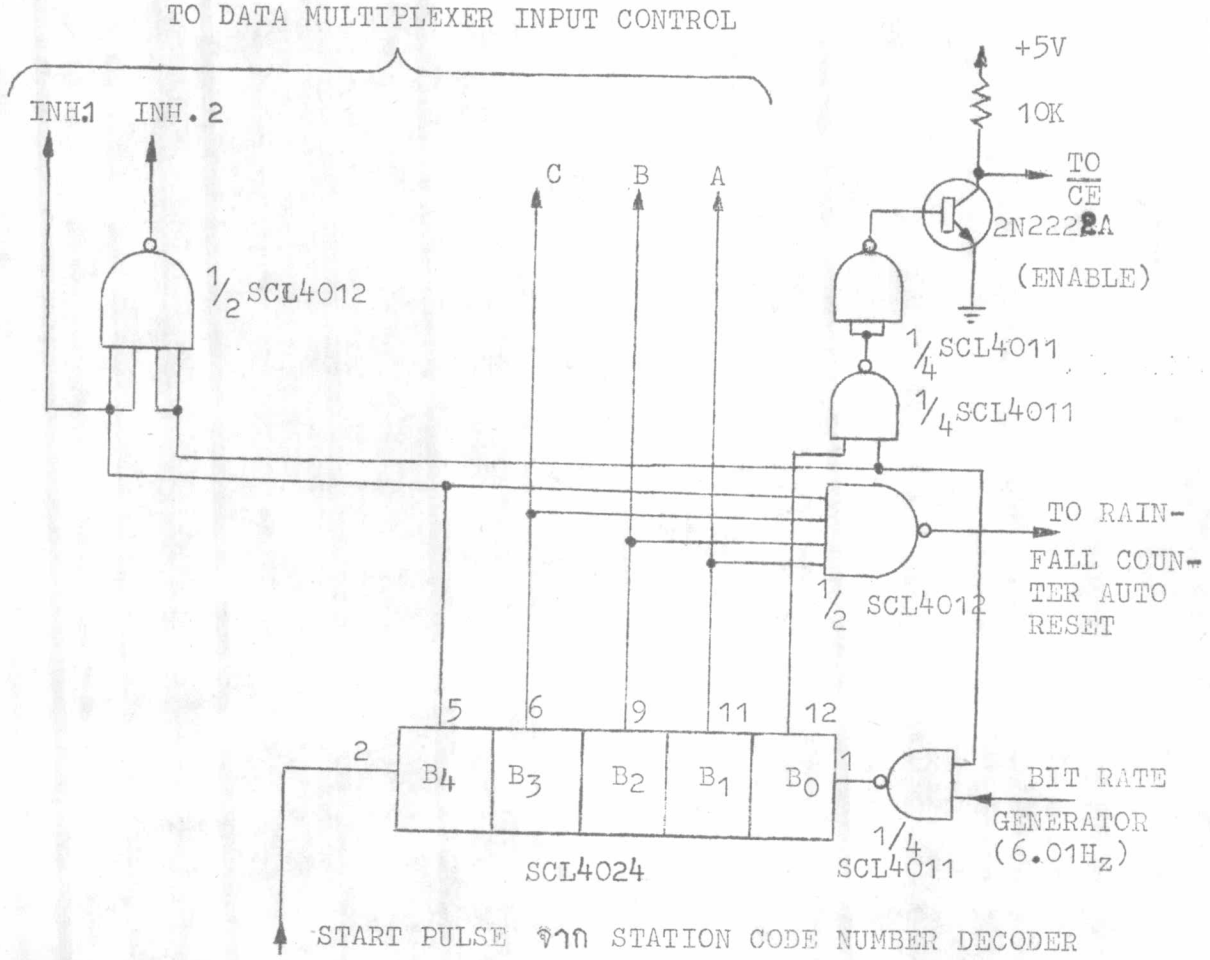


รูปที่ ๓.๑๘ Timing Diagram ของ Tone Encoder

5 STAGE COUNTER OUTPUT					ลำดับข้อมูลที่จะส่ง
B_4	B_3	B_2	B_1	B_2	
0	0	0	0	0	RESET
0	0	0	0	1	* START PULSE
0	0	0	1	0	
0	0	0	1	1	SP (SPACE)
0	0	1	0	0	
0	0	1	0	1	2
0	0	1	1	0	
0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	0	
0	1	0	0	1	3
0	1	0	1	0	
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	
0	1	1	0	1	SP (SPACE)
0	1	1	1	0	
0	1	1	1	1	SP (SPACE)
1	0	0	0	0	
1	0	0	0	1	RAINFALL DATA
1	0	0	1	0	
1	0	0	1	1	RAINFALL DATA
1	0	1	0	0	
1	0	1	0	1	RAINFALL DATA
1	0	1	1	0	
1	0	1	1	1	D.P.(DECIMAL POINT)
1	1	0	0	0	
1	1	0	0	1	RAINFALL DATA
1	1	0	1	0	
1	1	0	1	1	SP.OR # (POWER FAILURE)
1	1	1	0	0	
1	1	1	0	1	DATA READY (SR)
1	1	1	1	0	
1	1	1	1	1	STOP COUNTER ADVANCED

ตารางที่ ๓.๕ 5 Stage Clock Control Table

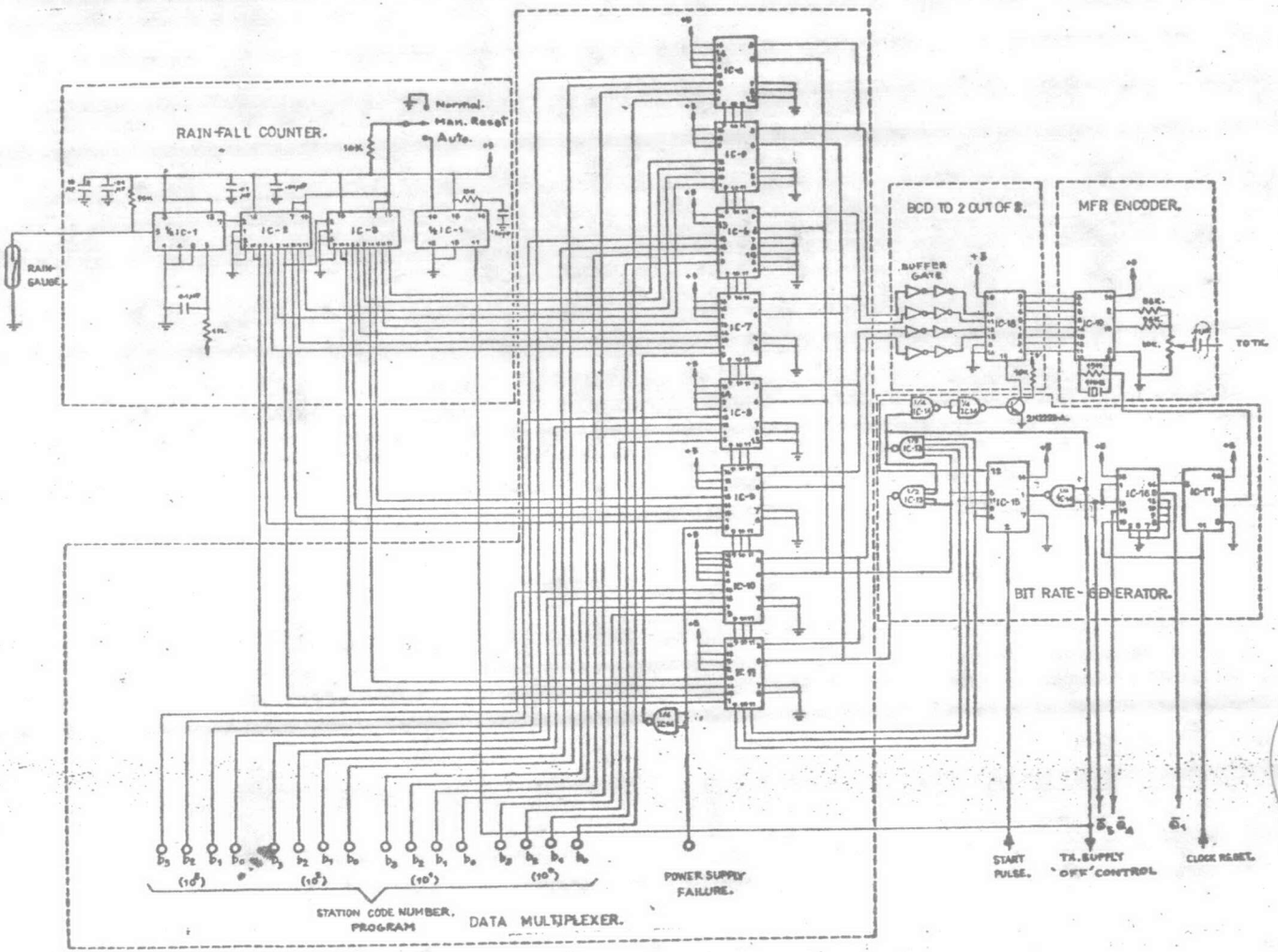
จากตารางที่ ๓.๕ เราสามารถ Implement วงจร 5 Stage Counter เพื่อควบคุมการ Flow ของข้อมูลจาก Data Multiplexer ได้ ดังรูปที่ ๓.๑๙ วงจร 5 Stage Counter เลือกใช้ CMOS เบอร์ SCL 4024(7 Stage Binary Counter)(๓) ร่วมกับ NAND Gate SCL 4012(4 Input)(๓) และ SCL 4011(2 Input NAND)(๓) และเนื่องจาก PROM 8223 เป็น IC ประเภท TTL กระแสจาก NAND Gate ของ CMOS ที่จะนำไปควบคุมการ Enable ของ PROM นั้นไม่พอเพียงที่จะ Drive IC ประเภท TTL ได้ ดังนั้นจึงต้องมีวงจร Transistor Gate Buffer ให้กับ Enable ของ PROM (8223)



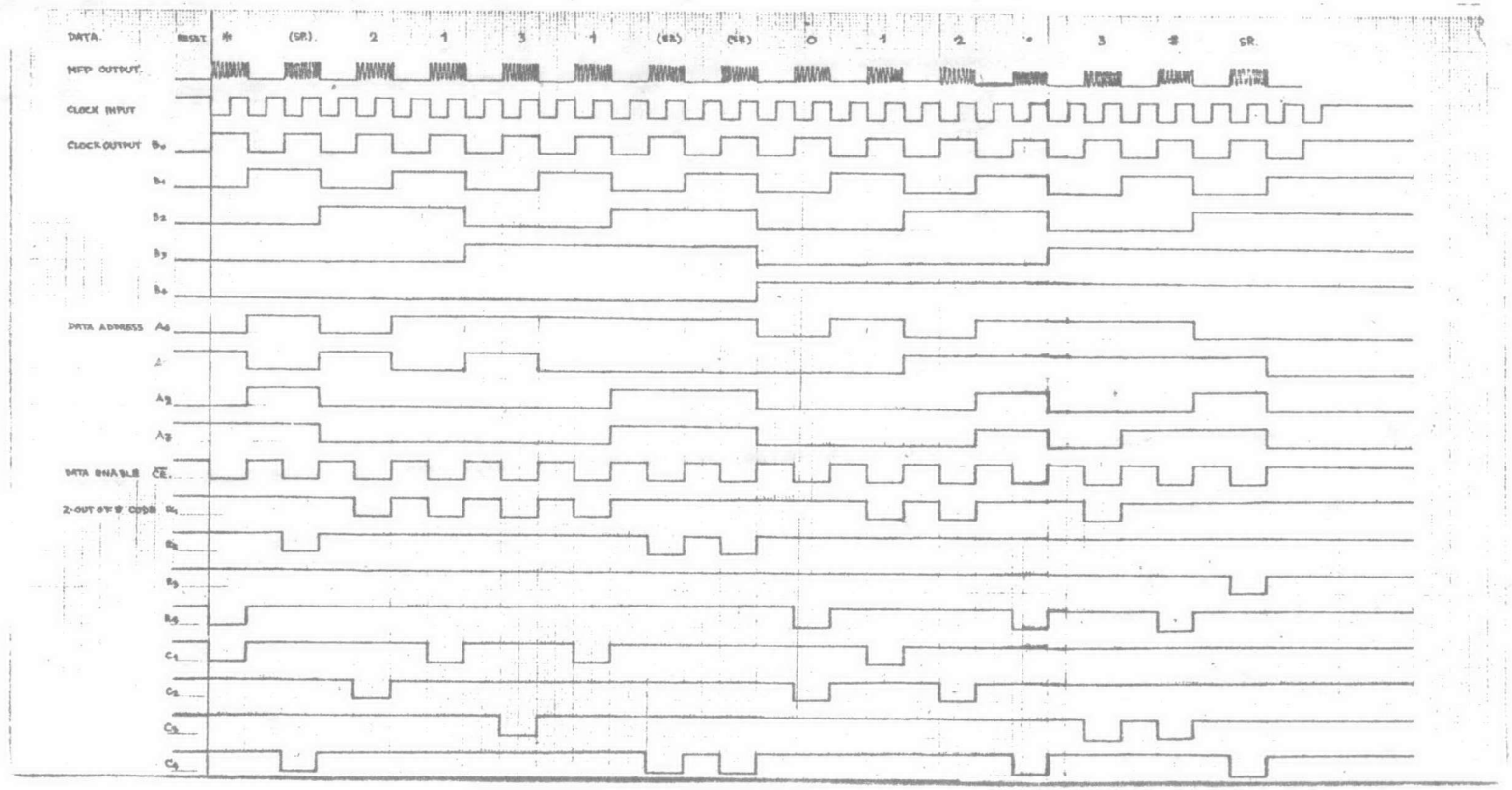
รูปที่ ๓.๑๙ วงจร 5 Stage Counter

สัญญาณที่แสดงสภาพของ Power Supply นั้น ได้จากการให้โปรแกรม Address ทาง Input ของ Data Multiplexer จากตารางเทียบโค๊ดในตารางที่ ๓.๓ จะเห็นว่า Address ของเครื่องหมาย (#) ซึ่งใช้แทนสภาพของ Power Supply Failure กับ Address ของ SPACE นั้น Address Bit ที่ 2 และ 3 (A_1, A_2) จะเป็นInverse ซึ่งกันและกัน ฉะนั้น เราจึงสามารถนำเอา Address ที่ 2 และ 3 คือ A_1 และ A_2 มาผ่านวงจร Inverter เมื่อ Power Supply อยู่ในสภาพปกติ Input ของ Inverter จะเป็น 1 ทำให้ A_2 เป็น 0 และ A_1เป็น 1 ซึ่งเป็น Address ของโค๊ด SPACE หรือสัญญาณเว้นวรรค และเมื่อ Power Supply ตำกว่าค่าที่กำหนด Input ของ Inverter จะเป็น 0 ทำให้ A_2 เป็น 1 และ A_1 เป็น 0 ซึ่งเป็น Address ของเครื่องหมาย(#) แสดงถึง Power Supply Failure ลักษณะของวงจรที่สมบูรณ์ตั้งแต่การแปลงข้อมูลจากปริมาณน้ำฝนมาเป็นสัญญาณความถี่เสียงที่จะนำไปป้อนเข้ากับเครื่องส่งวิทยุดังกล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้ แสดงในรูปที่ ๓.๒๐

รูปที่ ๓.๒๑ เป็น Timing Diagram แสดงตัวอย่างการส่งข้อมูลจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนไปยังสถานีควบคุมที่ศูนย์กลาง ตัวอย่างนี้แสดงการส่งข้อมูลจากสถานีหมายเลข 2131 มีปริมาณน้ำฝนที่ตกเก็บไว้ได้ ๐๑๒.๓ นิ้ว สภาพของ Power Supply ไม่ปกติ (Power Failure)



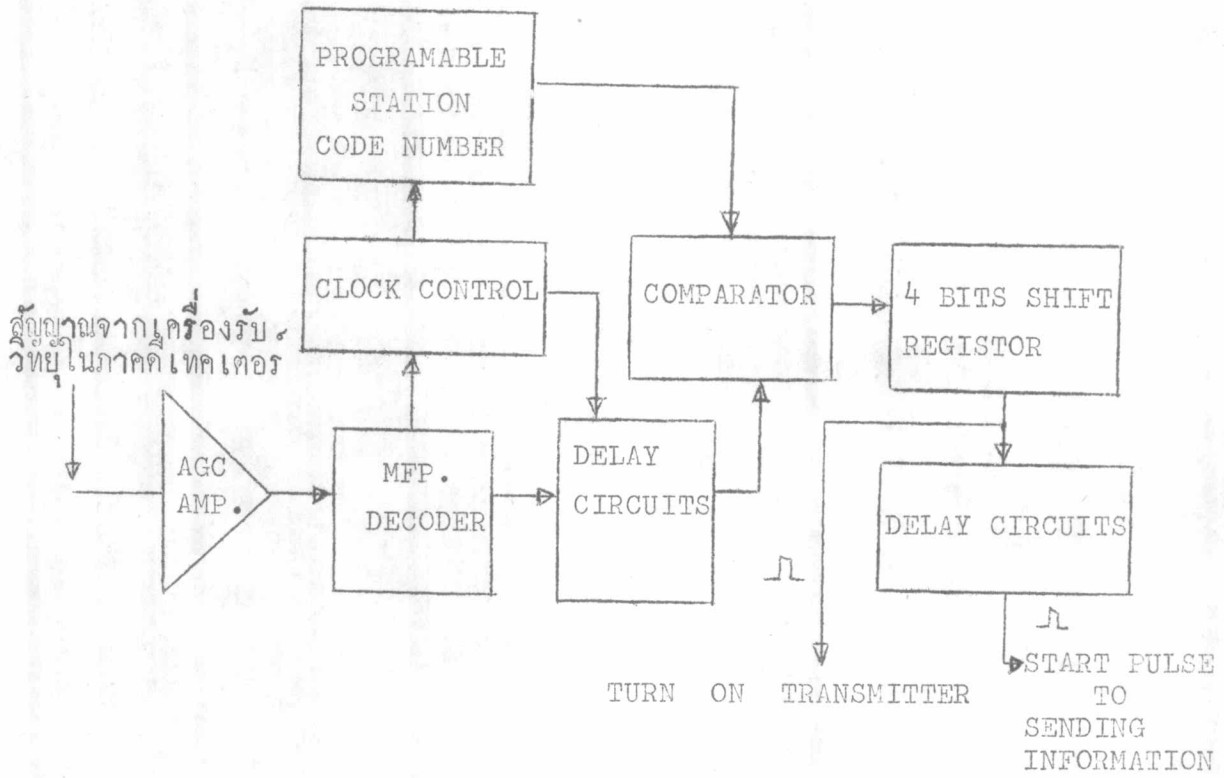
รูปที่ ๓.๒๐ วงจรภาคส่งข้อมูลที่สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน



รูปที่ ๓.๒๑ **Timing Diagram** ของการส่งข้อมูลไปยังสถานีควบคุมที่ศูนย์กลาง

การออกแบบวงจร Station Code Number Decoder

ที่ภาคเครื่องรับวิทยุของสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนนั้น หลังจากที่ทำการดีเทคเตอร์เอาสัญญาณที่เป็นแคเรียร์ออกไปแล้ว สัญญาณที่เอาพุทของวงจรดีเทคเตอร์ของเครื่องรับวิทยุจะอยู่ในรูปของ MFP Signalling สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนจะรับเอาสัญญาณที่เป็นเลขหมายประจำเครื่องจากสถานีควบคุมที่ศูนย์กลาง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเลขหมายของตัวเอง ถ้าหากเป็นเลขหมายตรงกัน ก็จะส่งสัญญาณไปกระตุ้นให้ Clock Control ของวงจร Data Multiplexer ทำงานและทำการส่งข้อมูลต่าง ๆ ออกไปให้สถานีควบคุมที่ศูนย์กลาง แผนผังของระบบ Station Code Number Decoder แสดงในรูปที่ ๓.๒๒

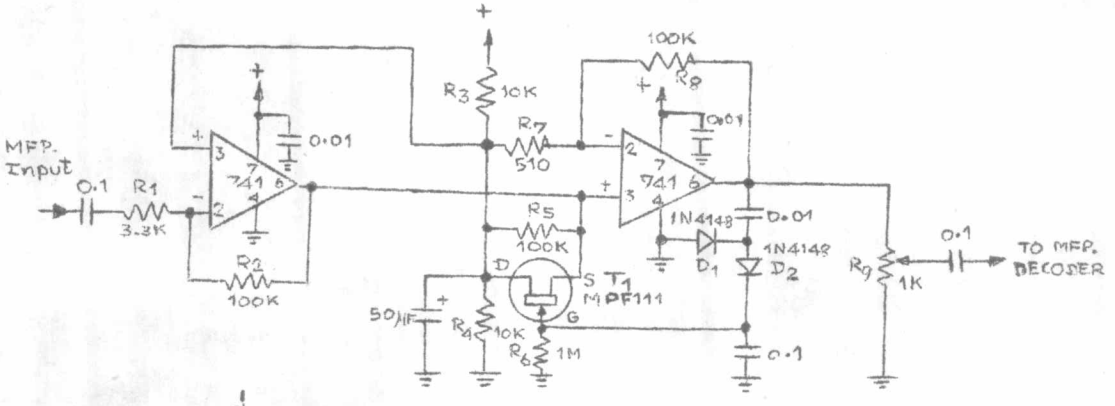


รูปที่ ๓.๒๒ แผนผังของระบบ Station Code Number Decoder

จากแผนผังในรูปที่ ๓.๒๒ จะเห็นว่าสัญญาณ MFP Signalling ที่ออกมาจากภาคดีเทคเตอร์ของเครื่องรับวิทยุนั้น จะถูกป้อนผ่านวงจรขยาย เพื่อให้มีระดับของสัญญาณที่คงที่ แล้วจึงจะนำไปผ่านวงจร MFP Decoder แปลงสัญญาณกลับออกมาเป็น Digital Code ที่เหมาะสม เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเลขหมายประจำสถานีที่ตั้งไว้ในเครื่องซึ่งอยู่ในรูปของ Digital Code เช่นเดียวกัน การเปรียบเทียบจะกระทำทีละหลักเรียงลำดับกันไป โดยการควบคุมของวงจร Clock Control เลขหมายหลักใดที่ตรงกันจะนำไปเก็บไว้ใน Shift Register ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะครบทั้งสี่หลัก แล้วจึงจะผ่านวงจรเกท ออกมาเป็นสัญญาณพัลซ์ที่จะนำไปกระตุ้นให้วงจรอื่นทำการส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีควบคุมที่ศูนย์กลาง

ก. <u>การออกแบบวงจร AGC Amplifier</u>[๗]

เนื่องจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนแต่ละแห่งอาจจะอยู่ใกล้หรือไกลจากสถานีควบคุมที่ศูนย์กลางไม่เท่ากัน ดังนั้น จึงอาจทำให้ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากเครื่องรับวิทยุที่สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนมีค่าแตกต่างกันไปได้ เพื่อให้ขนาดของสัญญาณที่อินพุทของวงจร MFP Decoder มีค่าคงที่ตามที่กำหนด จึงต้องมีวงจรขยายแบบ Automatic Gain Controller ไว้ทางด้านอินพุทด้วย ส่วนประกอบของวงจรขยายดังกล่าวนี้ประกอบด้วย Operational Amplifier จำนวน ๒ ภาค ในภาคแรกเป็นวงจรขยายสัญญาณธรรมดา ส่วนในภาคหลังเป็นวงจรขยายที่มีการควบคุมอัตราการขยายด้วย FET. ลักษณะของวงจรจะเป็นดังรูปที่ ๓.๒๓



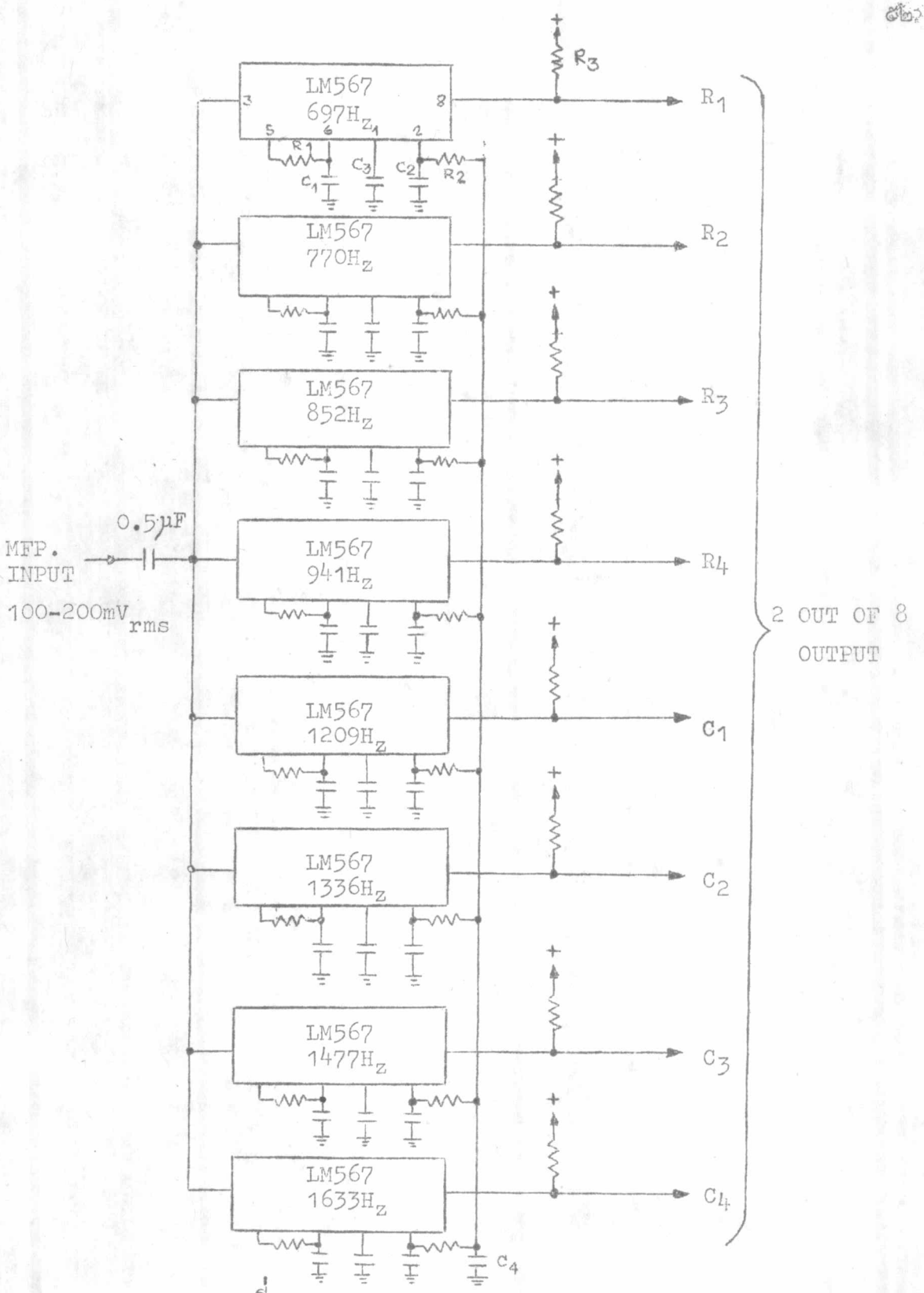
รูปที่ ๓.๒๓ วงจรของ AGC Amplifier

Operational Amplifier ทั้งสองตัวใช้ Power Supply ตัวเดียว โดยการใช้วงจร Voltage Divider R_3 และ R_4 และมีจุดต่อระหว่าง R_3 และ R_4 เป็น Common ในภาคแรกเป็นวงจรขยายแบบ Inverting Amplifier ค่า Voltage Gain ของภาคแรกมีค่าเท่ากับ $-\frac{R_2}{R_1} = -\frac{100K}{3.3K} = -30.3$

ส่วนในภาคที่สองเป็นวงจรขยายแบบ Non-Inverting Amplifier ค่า Voltage Gain ของภาคนี้ขยายได้สูงสุดเท่ากับ $(1 + \frac{R8}{R7}) = 1 + \frac{100K}{510\Omega} = 297$ อัตราการขยายของภาคที่สองจะควบคุมด้วย FET, (T_1) ซึ่งทำหน้าที่เป็น Voltage Controlled Resistor โดยได้รับแรงไฟไบอัสจากวงจรเร็คติไฟร์ (D_1,D_2) ทางด้านเอ้าพุทและ R_6 แรงไฟไบอัสนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดความแรงของสัญญาณทางเอ้าพุท การให้แรงไฟไบอัสที่เกทของ T_1 จะทำให้ความต้านทานระหว่าง Drain กับ Source เปลี่ยนแปลงไป เราจึงสามารถควบคุมอัตราการขยายของวงจรได้โดยอัตโนมัติ

ข. <u>การออกแบบวงจร MFP Decoder</u>

สัญญาณที่ได้จากวงจร AGC Amplifier จะมีลักษณะเป็น MFP Signalling เราสามารถจะแปลงสัญญาณ MFP นี้ออกเป็น Digital Pulse ได้โดยใช้วงจร Band Pass Filter กรองเอาความถี่ที่ต้องการออกมาแล้วแปลงให้เป็น Digital Pulse ความถี่ที่ส่งมาทั้งหมดมีจำนวน ๘ ความถี่ ดังนั้น จะต้องมีวงจร Band Pass Filter จำนวน ๘ วงจรเช่นเดียวกัน วงจร Band Pass Filter หรือ Tone Decoder นี้จะเลือกใช้ IC เบอร์ LM 567 ซึ่งเป็น Phase Lock Loop Tone Decoder ความถี่ของย่าน Band Pass ที่กำหนด จะสามารถควบคุมได้ด้วยวงจร R และ C ที่ต่ออยู่ภายนอกในสภาพปกติเมื่อวงจรยังไม่ทำงาน สัญญาณที่เอ้าพุทจะมีค่าเป็น 1 (High)ต่อเมื่อวงจรทำงานตรงกับความถี่ที่กำหนดไว้ สัญญาณที่เอ้าพุทจะมีค่าเป็น 0 ทันที ลักษณะของวงจร Tone Decoder จะเป็นดังรูปที่ ๓.๒๔(๔)



รูปที่ ๓.๒๔ Tone Decoder Circuit

ค่าความถี่ที่วงจร Tone Decoder แต่ละวงจรจะสามารถ Decode ออกมาได้นั้น ขึ้นอยู่กับการปรับค่าของ R_1 และ C_1 ความถี่ศูนย์กลาง (f_o) จะคำนวณได้จากสูตร

$$f_o \approx \frac{1.1}{R_1 C_1} \quad (๕)$$

และค่า Band Width ของวงจร Filter จะคำนวณได้จากสูตร

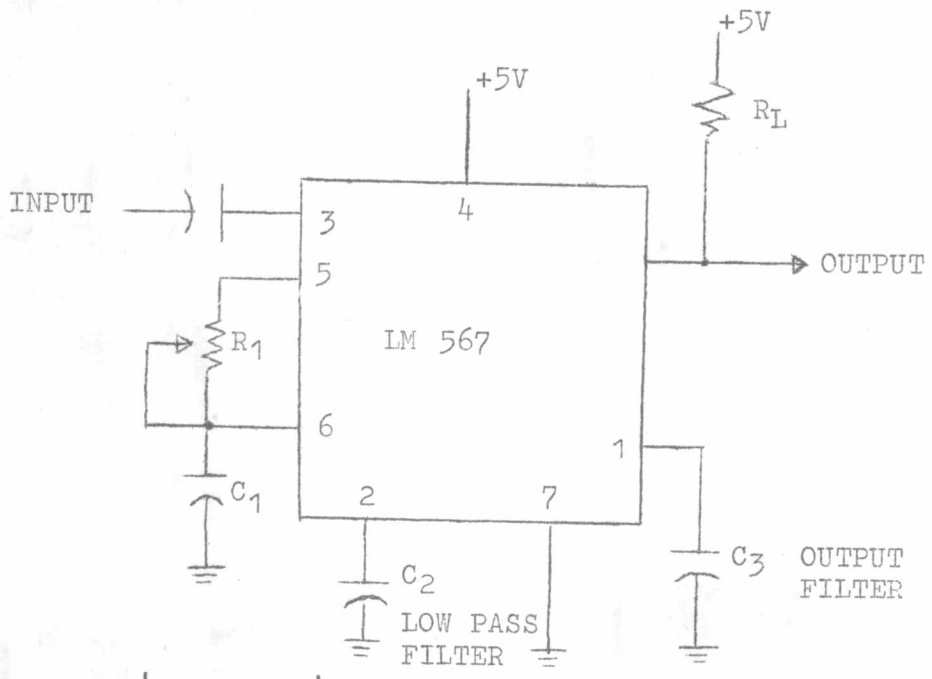
$$BW = 1070\sqrt{\frac{V_i}{f_o C_1}} \quad (\% \text{ ของ } f_o) \quad (๕)$$

เมื่อกำหนดให้ V_i = Input Voltage (Volts,rms) $[V_i \leqslant 200mV.]$

C_2 = Low Pass Filter Capacitor (μF)

<u>ตัวอย่างการออกแบบวงจร Tone Decoder</u>[๕]

ในรูปที่ ๓.๒๕ แสดงการต่อ LM 567 เพื่อทำงานเป็นวงจร Tone Decoder ทั่ว ๆ ไป ตัวอย่างนี้จะแสดงการออกแบบวงจร Tone Decoder สำหรับย่านความถี่ของ Low Frequency Group ($697H_z$ - $941H_z$)



รูปที่ ๓.๒๕ การต่อ LM 567 เป็นวงจร Tone Decoder

การเลือกค่า R_1 และ C_1

การเลือกค่า R_1 และ C_1 เลือกจากค่าความถี่ศูนย์กลาง และเพื่อที่จะให้วงจรมี Temperature Stability ดี ควรเลือกใช้ R_1 มีค่าระหว่าง 2K ถึง 20K (๕) ในที่นี้ความถี่ศูนย์กลางมีค่าประมาณเท่ากับ

$$f_o = \frac{941-697}{2} + 697 = 819 \text{ Hz}$$

เลือก $f_o \cong 800$ Hz

เลือกใช้ $R_1 = 10$ KΩ

$$\therefore C_1 = \frac{1.1}{f_o R_1}$$

$$= \frac{1.1}{800 \times 10 \times 10^3}$$

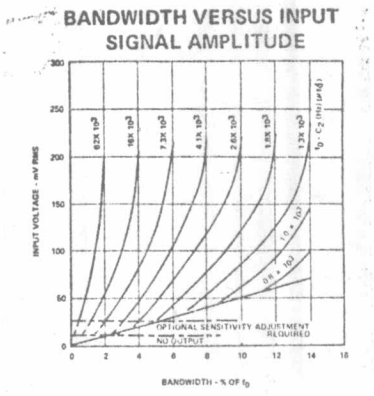
$$C_1 = 0.125 \ \mu F$$

เลือกใช้ $C_1 = 0.1 \ \mu F$

เพื่อให้สามารถปรับแต่งความถี่ที่วงจรจะทำการ Lock ได้ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการ จึงใช้ R_1 เป็นความต้านทานขนาด 6.8KΩ ต่ออันดับกับความต้านทาน 10KΩ ที่ปรับค่าได้ รวมค่า R_1 ไม่ควรจะเกิน 20KΩ

การเลือกค่า Low Pass Filter Capacitor C_2

ค่าของ Low Pass Filter Capacitor C_2 เลือกได้จากกราฟของ Band Width กับ Input Signal Amplitude (๕) ดังแสดงในรูปที่ ๓.๒๖ ค่าของ Input Signal จะมีค่าประมาณ 200 mV_{rms} ค่า Band Width ของวงจรจะควบคุมโดยผลคูณของ $f_o.C_1$



รูปที่ ๓.๒๖ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Band Width กับขนาดของสัญญาณอินพุท

ค่าความถี่ของ MFP Signal แต่ละความถี่ห่างกันประมาณ $120H_z$ เลือกค่า Band Width ของสัญญาณแต่ละความถี่เท่ากับ $100H_z$ เพื่อให้เหลือย่านความถี่ Gaurd Band สำหรับแยกแต่ละความถี่ออกจากกัน

จาก $f_o = 800\ H_z$

$BW = 100\ H_z$

$\therefore BW = \frac{100}{800} = 0.125 = 12.5\%$ ของ $f_o (\cong 12\%)$

จากกราฟในรูปที่ ๓.๒๖(๔) ที่ %BW = 12 จะได้ผลคูณของ $f_o \cdot C_2$ เท่ากับ 1.8×10^3

$$\therefore C_2 = \frac{1.8 \times 10^3}{800} = 2.25\ \mu F$$

เลือกใช้ $C_2 = 2.2\ \mu F$

การเลือกค่าของ Output Filter Capacitor (C_3)

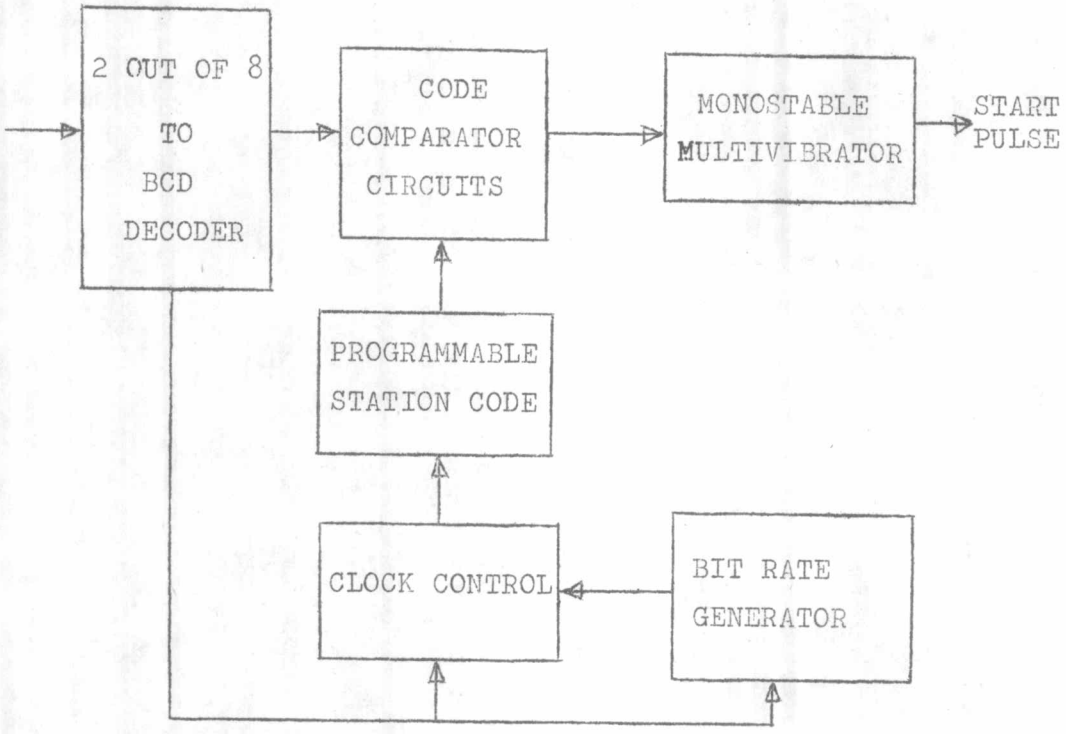
โดยทั่วไปแล้ว ค่าของ Capacitor C_3 มักจะไม่มีผลต่อการทำงานของวงจรมากมายเท่าใดนัก C_3 จะเป็นตัวช่วยเป็นตัวผ่านของความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปจากย่านที่กำหนด ถ้าค่า C_3 มีค่าต่ำเกินไป วงจรอาจจะทำงานที่ความถี่อื่นที่ไม่ต้องการได้ และถ้าค่า C_3 มากเกินไป ระยะเวลาของการ Turn-on และ Turn-off ของภาคเอาพุทจะช้าไป (Delayed) จนกว่าแรงไฟที่ตกคร่อม C_3 จะมีค่ามากกว่า Threshold Voltage ของ Phase Lock Loop โดยทั่วไปค่าของ C_3 ไม่ควรจะมีค่าต่ำกว่าสองเท่าของค่า C_2 ในที่นี้เลือกใช้ $C_2 = 2.2\ \mu F$

$$\therefore C_3 \geq 2 \times 2.2 = 4.4\ \mu F$$

$$\therefore \text{เลือกใช้ } C_3 = 4.7\ \mu F$$

ค. การออกแบบวงจร Programmable Decoder Circuits

สัญญาณที่ได้จากวงจร Tone Decoder จะอยู่ในรูปของ 2 Out of 8 Code ซึ่งโค๊ดดังกล่าวจะต้องนำไปเปรียบเทียบกับโค๊ดที่กำหนดไว้ประจำสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนทีละโค๊ด ถ้าเป็นโค๊ดที่ตรงกัน จึงจะส่งสัญญาณพัลซ์ไปกระตุ้นให้วงจรเก็บข้อมูลทำการส่งข้อมูลกลับไปให้สถานีควบคุมที่ศูนย์กลางได้ โค๊ดที่กำหนดไว้ประจำสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนจะอยู่ในรูป BCD Code จำนวน ๔ หลัก ฉะนั้น จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนโค๊ดที่รับได้คือ 2 Out of 8 Code ให้เป็น BCD Code เสียก่อนจึงจะนำไปเปรียบเทียบกันได้ การเปรียบเทียบโค๊ดทั้งสองจะควบคุมด้วยสัญญาณพัลซ์เวลา (Clock) ที่มีความถี่เท่ากันกับความถี่ของโค๊ดที่ส่งมาจากสถานีควบคุมที่ศูนย์กลาง เราสามารถเขียนผังคร่าว ๆ ของ Programmable Decoder Circuits ได้ดังรูปที่ ๓.๒๓



รูปที่ ๓.๒๗ แผนผังของวงจร Programmable Decoder

การเปลี่ยนโค๎ดจาก 2 Out of 8 Code ไปเป็น BCD Code ตาม Truth Table ในตารางที่ ๓.๓ นั้น สามารถทำได้โดยใช้วงจรเกทธรรมดา แต่การเปลี่ยนโค๎ดดังกล่าวจาก 8 Variables มาเป็น 4 Variables นั้น จะต้องใช้วงจรเกทจำนวนมาก เป็นการไม่ประหยัด ถ้าเราพิจารณาดูลักษณะของการเปรียบเทียบโค๎ดทั้งสองใหม่ จะเห็นว่า โค๎ดที่เราตั้งไว้ที่สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนนั้น เราอาจใช้ PROM (Programmable Read Only Memory) ได้ การตั้งโค๎ดประจำสถานีดังกล่าวแล้วจึงไม่จำเป็นที่จะต้องจัดให้อยู่ในรูปของ BCD Code ก็ได้ เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างวงจรที่สามารถจะนำโค๎ดทั้งสองมาเปรียบเทียบกันได้โดยใช้วงจรเกทน้อยลง สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จึงคิดโค๎ดสำหรับใช้งานเฉพาะในการสร้างวงจรนี้ โดยใช้ชื่อว่า MP-1 Code สำหรับเป็นโค๎ดอ้างอิงลักษณะการแปลงโค๎ด 2 Out of 8 ไปเป็น MP-1 Code จะเป็นดังตารางที่ ๓.๖

CODE IDENTIFY	2 OUT OF 8 CODE								MP-1 CODE			
	R_1	R_2	R_3	R_4	C_1	C_2	C_3	C_4	B_3	B_2	B_1	B_0
NORMAL	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
2	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1
3	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
A	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
4	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0
5	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1
6	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
B	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
7	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0
8	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1
9	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0
C	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1
*	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1
#	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
D	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1

ตารางที่ ๓.๖ การแปลงโค๎ดจาก 2 Out of 8 ไปเป็นMP-1 Code

จากตารางที่ ๓.๖ นำมาเขียนใหม่ในรูป Binary Code กับ MP-1 Code จะได้ดังตารางที่ ๓.๗

2 OUT OF 8 CODE C_1 R_1	C_2 R_2	C_3 R_3	C_4 R_4	MP-1 CODE B_3	B_2	B_1	B_0	
0	0	0	0	0	0	1	1	(NORMAL)
0	0	0	1	0	0	1	1	
0	0	1	0	0	0	1	1	
0	0	1	1	0	0	1	1	
0	1	0	0	0	0	1	1	
0	1	0	1	0	0	1	1	
0	1	1	0	0	0	1	1	
0	1	1	1	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	1	1	
1	0	0	1	0	0	1	1	
1	0	1	0	0	0	1	1	
1	0	1	1	0	(1)	0	1	
1	1	0	0	0	0	1	1	
1	1	0	1	1	0	1	0	
1	1	1	0	1	(1)	1	1	
1	1	1	1	0	0	1	1	

ตารางที่ ๓.๗ Truth Table ของ 2 Out of 8 Code กับ MP-1 Code

จากตารางที่ ๓.๗ จะได้

$$B_3 = R_1R_2\bar{R}_3R_4 + R_1R_2R_3\bar{R}_4$$

$$B_3 = R_1R_2(\bar{R}_3R_4 + R_3\bar{R}_4)$$

$$B_3 = R_1R_2\,(R_3 \oplus R_4)$$

$$B_2 = R_1\bar{R}_2R_3R_4 + R_1R_2R_3\bar{R}_4$$
$$= R_1R_3(\bar{R}_2R_4 + R_2\bar{R}_4)$$
$$= R_1R_3(R_2 \oplus R_4)$$

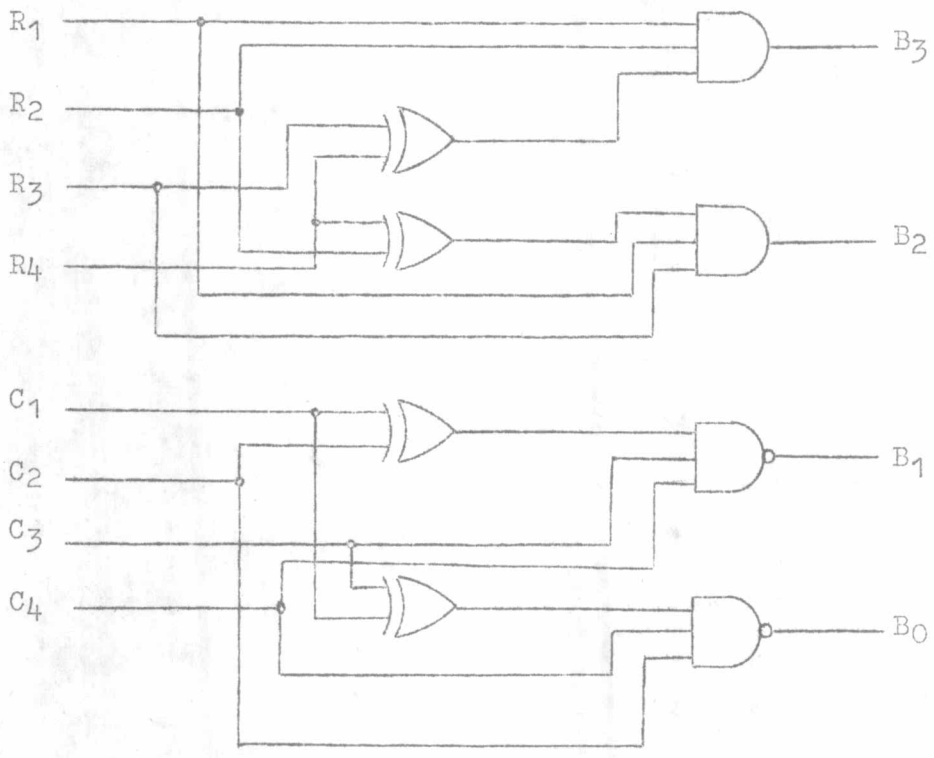
B_1 \ C_1C_2 / C_3C_4	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	1	1	1	0
11	1	0	1	1
10	1	1	1	1

$$B_1 = \overline{\bar{C}_1C_2C_3C_4 + C_1\bar{C}_2C_3C_4}$$
$$= \overline{C_3C_4(\bar{C}_1C_2 + C_1\bar{C}_2)}$$
$$= \overline{C_3C_4(C_1 \oplus C_2)}$$

B_0 \ C_1C_2 / C_3C_4	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	1	1	0	1
11	1	0	1	1
10	1	1	1	1

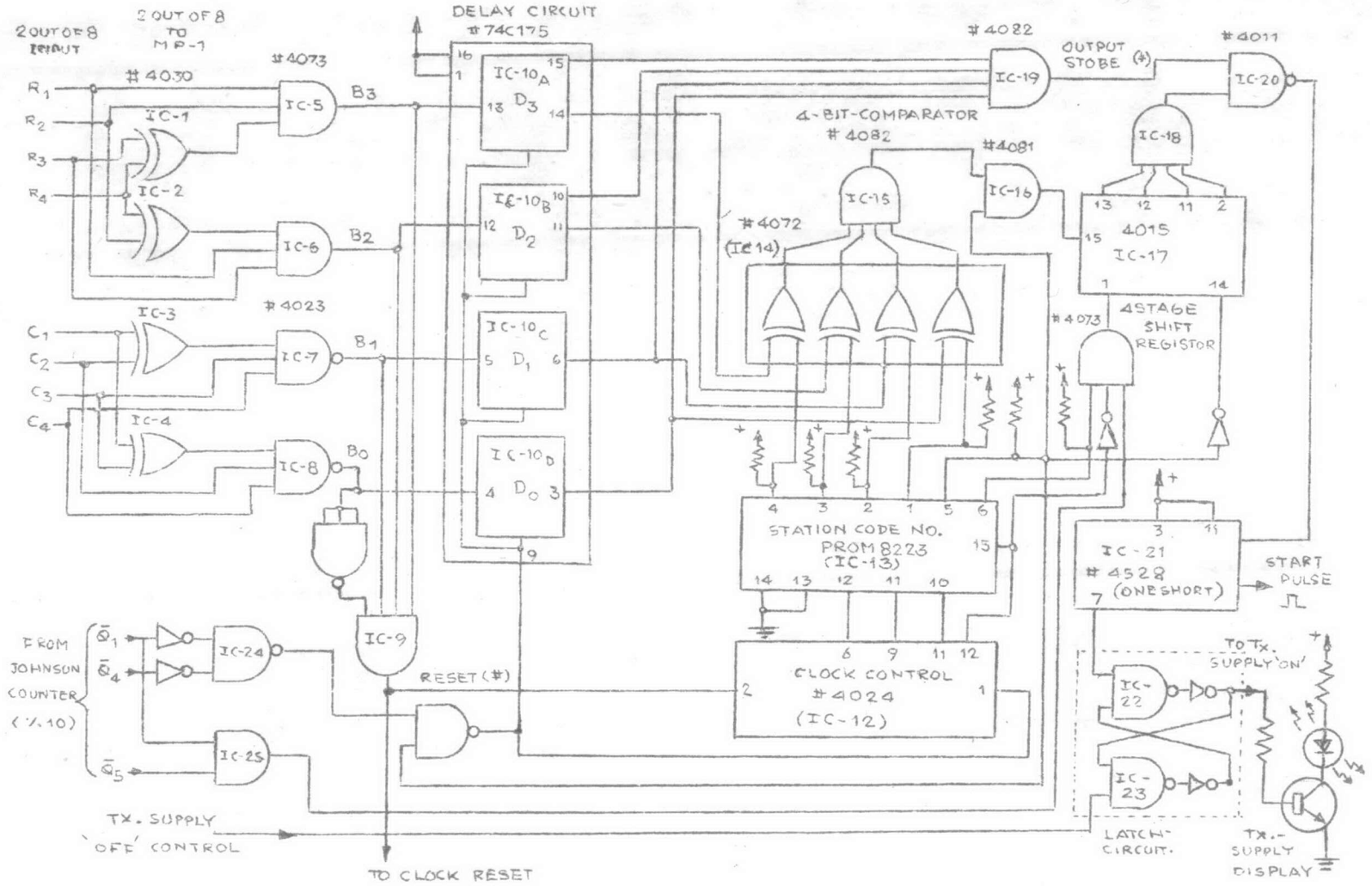
$$B_0 = \overline{\bar{C}_1C_2C_3C_4 + C_1C_2\bar{C}_3C_4}$$
$$= \overline{C_2C_4(\bar{C}_1C_3 + C_1\bar{C}_3)}$$
$$= \overline{C_2C_4(C_1 \oplus C_3)}$$

จากการ Simplified ดังกล่าวข้างต้น สามารถนำไป Implement วงจรได้ดังรูปที่ ๓.๒๘



รูปที่ ๓.๒๘ 2 Out of 8 To MP-1 Code

สัญญาณที่ส่งมาจากสถานีควบคุมที่ศูนย์กลางจะมีลักษณะเป็นโค๊ดจำนวน ๖ หลักคือ เครื่องหมาย (#) ซึ่งใช้เป็นสัญญาณเตือนให้เครื่องรับเริ่มทำการรับหมายเลขประจำสถานีอีก ๔ หลัก เครื่องหมาย (#) จะ Decoded ออกมาเป็นพัลซ์สำหรับรีเซ็ทให้วงจรพัลซ์เวลาเริ่มทำงาน และรับเลขหมายประจำสถานีมาทำการเปรียบเทียบต่อไป เมื่อหมดเลขหมายประจำสถานีที่ส่งมาแล้ว สถานีควบคุมจะส่งเครื่องหมาย (*) มาเพื่อใช้เป็น Output Strobe ให้สถานีรับทราบว่าหมดเลขหมายที่จะทำการส่งมาแล้ว ให้เครื่องรับที่มีเลขหมายประจำสถานีที่ตรงกันส่งข้อมูลกลับมายังสถานีควบคุมที่ศูนย์กลางได้ ลักษณะของวงจร Programmable Decoder Circuits จะเป็นดังรูปที่ ๓.๒๙



รูปที่ ๓.๒๔ วงจร Programmable Station Number Decoder Circuit.

จากวงจรในรูปที่ ๓.๒๙ IC-1 ถึง IC-8 เป็นวงจรที่จะเปลี่ยนโค๎ดจาก 2 Out of 8 มาเป็น MP-1 Code จำนวน 4 Bit สัญญาณที่รับมาตัวแรกคือเครื่องหมาย (#) จะถูก Decode ด้วยเกท IC-9 เป็นพัลซ์สำหรับ Reset วงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์เวลา (Clock Pulse Generator) ในวงจร Bit Rate Generator และวงจร Clock Control (IC-12) ด้วย สำหรับข้อมูลตัวต่อไปจะถูกนำมาเก็บรอไว้ที่ D-Flip-Flop (IC-10) เพื่อรอการเปรียบเทียบกับโค๎ดเลขหมายประจำสถานีที่ตั้งไว้ใน PROM 8223 (IC-13) โค๎ดเลขหมายประจำสถานีจะป้อนออกมาโดยการควบคุมของวงจร Clock Control (IC-12) ด้วยสัญญาณพัลซ์เวลาที่นำมาจากวงจรBit Rate Generator ผ่านเกท IC-24-25-26 โค๎ดเลขหมายประจำสถานีที่รออยู่ใน D-Flip-Flopทั้งสี่ตัว จะนำไปเปรียบเทียบกับโค๎ดเลขหมายประจำสถานีที่ออกมาจาก PROM (IC-13) ในวงจร Comparator ซึ่งประกอบด้วย IC-14 และ IC-15 ถ้าเป็นเลขหมายเดียวกัน จะมีสัญญาณพัลซ์ ๑ ลูกไปเก็บ (Store) ไว้ใน 4 Stage Shift Registor วงจร Comparator จะเปรียบเทียบเลขหมายประจำสถานีทีละตัวจนกระทั่งครบทั้ง ๔ ตัวแล้ว วงจร 4 Bit Shift Registor จะเต็มพอดี และส่งสัญญาณพัลซ์ผ่าน IC-18 ออกไปรอสัญญาณ Output Strobe (*) ที่จะ Decoder ด้วย IC-19 เมื่อรับสัญญาณครบตามที่กำหนดแล้วจึงจะส่งสัญญาณพัลซ์ไปกระตุ้นให้วงจร Delay (IC-21)ทำงาน โดยที่วงจร Delay จะส่งพัลซ์อันหนึ่งไปกระตุ้นให้วงจร Latch (IC-22,IC-23) เพื่อ ON Power Supply ของเครื่องส่งวิทยุ (สัญญาณนี้จะนำไปเป็นสัญญาณกด Key ของเครื่องส่งให้อยู่ในสภาพที่จะส่งสัญญาณ) หลังจากที่วงจร Delay (IC-21) รอเวลาที่เครื่องส่งวิทยุเตรียมการอยู่ชั่วขณะหนึ่งแล้ว วงจร Delay ดังกล่าวจึงจะส่งสัญญาณ Start Pulse ออกไปกระตุ้นให้วงจร Data Multiplexer ให้ทำการเริ่มส่งข้อมูลต่าง ๆ จากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนกลับไปยังสถานีควบคุมที่ศูนย์กลางได้ และเมื่อการส่งข้อมูลดังกล่าวสิ้นสุดลง วงจร Data Multiplexer จะส่งสัญญาณพัลซ์อีกลูกหนึ่งมาป้อนให้กับวงจร Latch เพื่อกระตุ้นให้เครื่องส่งวิทยุหยุดทำการส่งและเปลี่ยนสภาพมาเป็นเครื่องรับวิทยุ เพื่อรอรับสัญญาณจากสถานีควบคุมที่ศูนย์กลางต่อไป อนึ่ง เนื่องจากการวิจัยนี้ไม่ได้สร้างเครื่องรับ-ส่งวิทยุ เพื่อใช้ในการทดลอง เนื่องจาก

กฎหมายบังคับการปิด-เปิดของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ จึงใช้ Display Lamp (T_R-1) เพื่อสังเกตการทำงานของวงจรเท่านั้น

การตั้งโปรแกรมของเลขหมายประจำสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน จะตั้งไว้โดยการใช้ Automatic PROM Program. ตามตำแหน่ง Address และโค๊ด MP-1 ดังแสดงในตารางที่ ๓.๘ เป็นการตั้งโปรแกรมเลขหมายประจำสถานีหมายเลข 2131

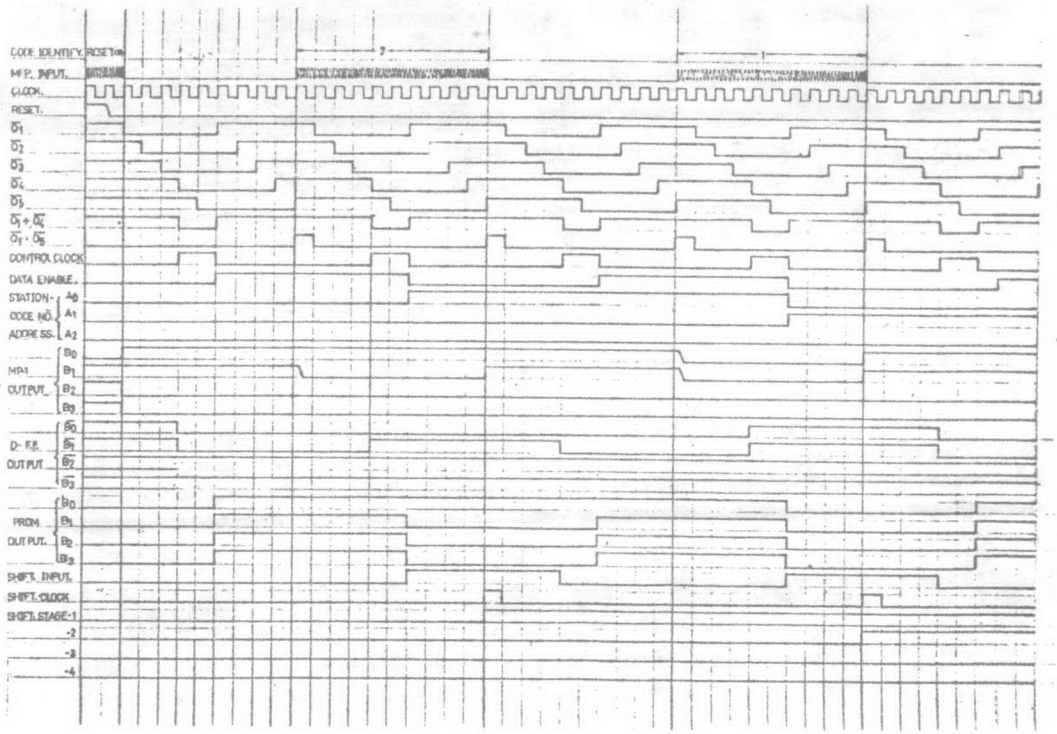
CODE IDENTIFY	ADDRESS CODE				STATION NUMBER (MP-1 CODE)					
	A_3	A_2	A_1	A_0	B_5	B_4	B_3	B_2	B_1	B_0
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
X	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0

ตารางที่ ๓.๘ Station Code Number Program.

รูปที่ ๓.๓๐ เป็น Timing Diagram ของวงจร Station Number Decoder แสดงการรับข้อมูลเลขหมาย 2131 จากสถานีควบคุมที่ศูนย์กลางตั้งแต่การ Reset ถึงการใส่ข้อมูลเข้าไปใน Shift Registor ของเลขหมาย 2 และ 1 ส่วนเลขหมายอื่นในตำแหน่งต่อมาก็มี Timing Diagram เป็นไปในทำนองเดียวกัน และในรูปที่ ๓.๓๑ เป็น Timing Diagram ที่แสดงการรับเลขหมายครบถูกต้องทั้งสี่หลักเรียบร้อยแล้ว การรับสัญญาณ Output Strobe จนถึงลำดับการส่งสัญญาณพัลซ์ไปกระตุ้นให้เครื่องส่งวิทยุทำงานและสัญญาณพัลซ์ไปกระตุ้นให้วงจร Data Multiplexer ให้เริ่มส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีควบคุมที่ศูนย์กลางต่อไป

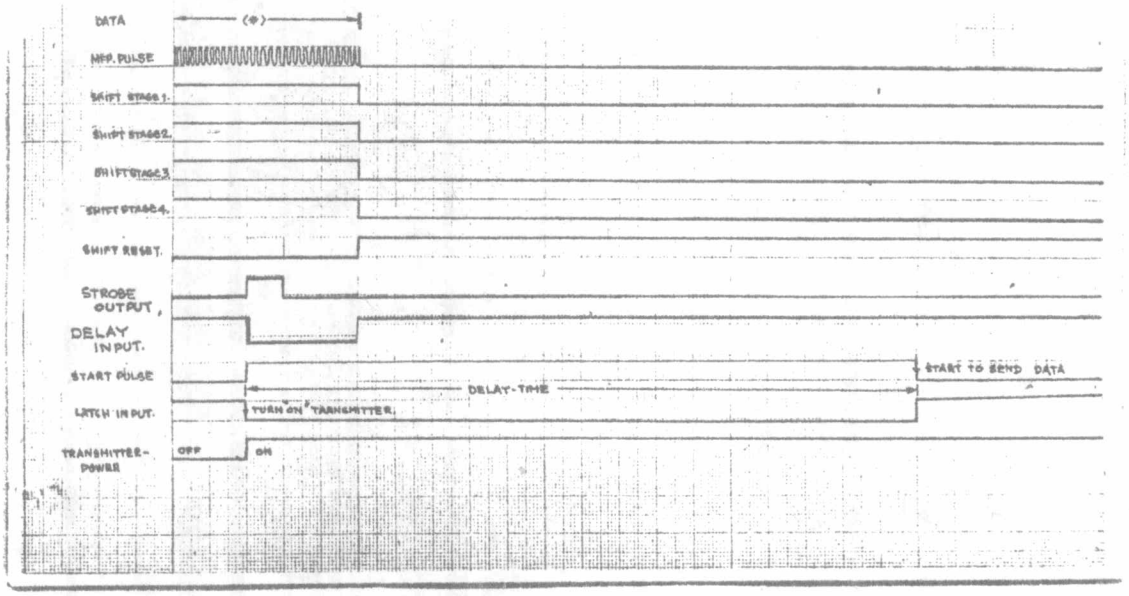
จากการทดสอบการทำงานของวงจร Programmable Station Code Detector พบว่าการรับสัญญาณพัลซ์จากวงจร 4 Bit Comparator ของวงจร 4 Stage Shift Registor นั้น มีการรบกวนเนื่องจากการเปลี่ยนสภาวะของ PROM ทำให้การรับสัญญาณตัวเลขบางตัวมีสัญญาณพัลซ์มากกว่า ๑ พัลซ์ป้อนให้กับ Shift Registor จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบหมายเลขประจำสถานี สาเหตุเนื่องมาจาก Shift Registor ที่นำมาใช้มีความไวเกินไป จึงดัดแปลงวงจรมาใช้เป็นวงจร Counter แทน โดยที่วงจร Counter จะนับจำนวนพัลซ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเฉพาะเวลาที่มีการเปรียบเทียบ (Compare) และ PROM ถูก Enable ไว้เท่านั้น จำนวนพัลซ์ที่ได้จะมีเพียง ๔ พัลซ์เท่านั้น (หมายเลขประจำสถานีมี ๔ หลัก) เมื่อนับจำนวนพัลซ์ไว้ได้ ๔ พัลซ์แล้ว จึงจะถูกดีเด็คด้วย Gate ที่ให้สัญญาณ Start Pulse ไปกระตุ้นให้วงจรอื่นทำงานต่อไป จากการทดสอบโดยการใช้วงจร Counter แทน Shift Registor ดังกล่าวปรากฏว่าการทำงานเป็นไปอย่างถูกต้องตามที่ต้องการ

รูปที่ ๓.๓๒ เป็นวงจรรวมของเครื่องที่สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนทั้งหมดโดยสมบูรณ์

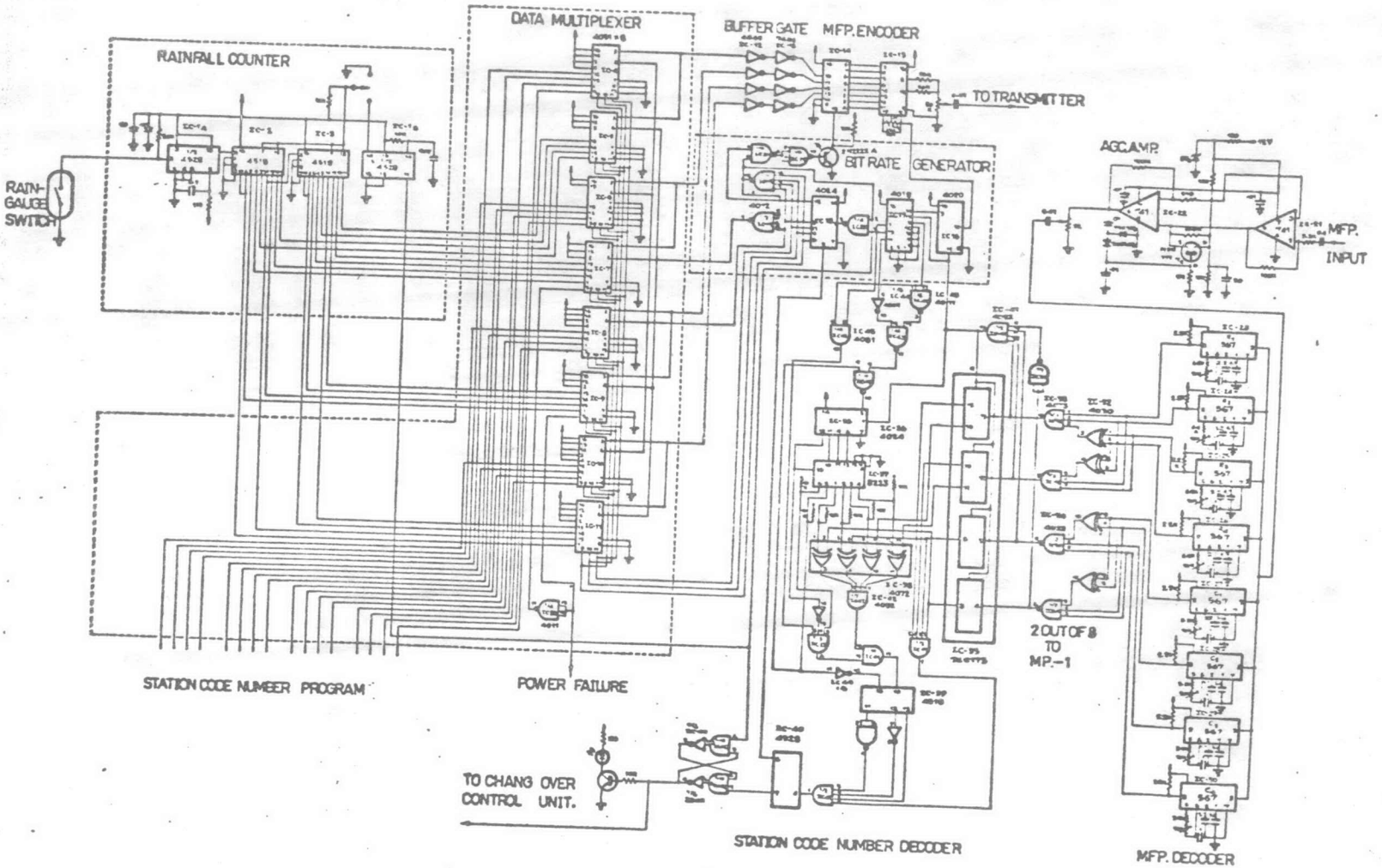


รูปที่ ๓.๓๐ Timing Diagram ของ Station Code Number Decoder.

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย



รูปที่ ๓.๓๑ Timing Diagram ของการรับสัญญาณ Output Stobe และการกำเนิดสัญญาณ Start Pulse



รูปที่ ๓.๓๒ วงจรของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนทางโทรมาตรที่สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน