

การทดลองที่ 6

วงจรวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

1. จุดประสงค์

1. ศึกษาการทำงานของวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ลอจิกเกต
2. ศึกษาการทำงานของวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย Crystal Oscillator
3. ศึกษาการทำงานของวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย ไอซี 555
4. เปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี
5. ศึกษาการนำไปใช้งาน

2. อุปกรณ์การทดลอง

- | | |
|----------------------------------------------------|-------------------|
| 1. ไอซี NE555 หรือ LM555 | 1 ตัว |
| 2. ไอซี 74HCT04 Not Gate, 74LS193 Binary Counter | อย่างละ 1 ตัว |
| 3. คริสตอล 5.00 MHz, 11.0592 MHz, 20.000 MHz | อย่างละ 1 ตัว |
| 4. ตัวเก็บประจุ 0.1uF/50V, 0.22uF/50V, 10nF, 150pF | อย่างละ 2 ตัว |
| 5. ตัวต้านทาน 220Ω, 15kΩ, 24kΩ, 2.2MΩ | อย่างละ 2 ตัว |
| 6. DC Power Supply, Oscilloscope, Signal Generator | อย่างละ 1 เครื่อง |
| 7. โปรโตบอร์ดและสายต่อวงจร | 1 ชุด |

3. ทฤษฎี

3.1 บทนำ

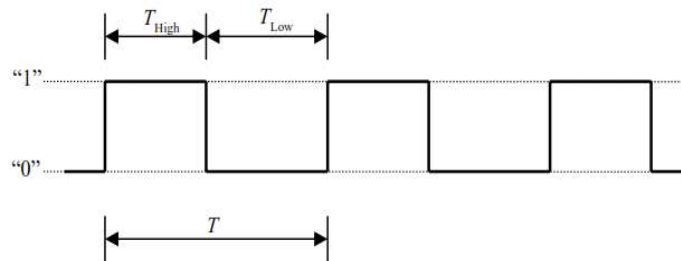
วงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณนาฬิกา หรือเรียกกันทั่วไปว่า คล็อก (Clock) ถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของวงจรดิจิทัล โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรซีควเอนเชียลซึ่งเริ่มตั้งแต่ฟลิปฟล็อป วงจรนับ ชิพทรีจิสเตอร์ และวงจรอื่นๆ ที่มีสัญญาณนาฬิกาเข้าไปเกี่ยวข้องวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะสร้างสัญญาณพัลส์ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมการทำงานของวงจร

วงจรถ่ายสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator) หมายถึงวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่ใช้ในวงจรดิจิทัลเพื่อให้วงจรทำงานเป็นจังหวะและสอดคล้องกัน บางครั้งอาจเรียกว่า วงจรถ่ายฐานเวลา (Time base Generator หรือ Timing Generator)

พื้นฐานของวงจรถ่ายสร้างสัญญาณนาฬิกาคือวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ซึ่งสามารถสร้างได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสีย และเหมาะกับช่วงความถี่ที่ต่างกัน ในการทดลองนี้จะศึกษาการทำงานของวงจรถ่ายสร้างสัญญาณนาฬิกา 3 ชนิด คือวงจรที่ใช้เกทอินเวอร์เตอร์ (Inverter Gate) วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ (Crystal Oscillator) และวงจรที่ใช้ไอซีไทเมอร์เบอร์ NE555

3.2 สัญญาณนาฬิกา

สัญญาณนาฬิกามีระดับแรงดัน 2 ระดับ ระดับหนึ่งแทนลอจิก “0” อีกระดับหนึ่งแทนลอจิก “1” สำหรับวงจรดิจิทัลที่ใช้มาตรฐานระดับสัญญาณทีทีแอล (TTL: Transistor-Transistor Logic) จะให้แรงดัน 0.0 - 0.8 โวลต์แทนลอจิก “0” และแรงดัน 2.0 - 5.0 โวลต์แทนลอจิก “1” รูปที่ 6.1 แสดงตัวอย่างสัญญาณนาฬิกา และความหมายของส่วนต่างๆ ของสัญญาณ



รูปที่ 6.1 สัญญาณนาฬิกา

T_{High}	คือ ระยะเวลาที่สัญญาณมีลอจิก “1” มีหน่วยเป็นวินาที
T_{Low}	คือ ระยะเวลาที่สัญญาณมีลอจิก “0” มีหน่วยเป็นวินาที
T	คือ คาบเวลาของสัญญาณ มีค่าเท่ากับ $T_{High} + T_{Low}$ วินาที
$F = 1/T$	คือ ความถี่ของสัญญาณ มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือเฮิรตซ์ (Hertz)
Duty Cycle = $(T_{High} / T) \times 100 \%$	คือ สัดส่วนระหว่างระยะเวลาของสัญญาณที่มีลอจิก “1” กับคาบเวลา

3.2 การสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ลอจิกเกต

อินเวอร์เตอร์เป็นเกตที่ให้ลอจิกที่เอาต์พุตตรงข้ามกับลอจิกที่ป้อนเข้าทางอินพุต เนื่องจากลอจิกเกตทุกตัวจะมีช่วงเวลานิ่ง (Delay Time) ช่วงหนึ่ง หมายถึงเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปแล้วสัญญาณเอาต์พุตจะไม่เปลี่ยนทันที ทั้งนี้เพราะเกตจะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการทำงาน ค่าช่วงเวลานิ่งนี้เรียกว่า Propagation Delay Time ซึ่งสำหรับเกตอินเวอร์เตอร์ชนิดทีทีแอลจะมีค่าอยู่ในช่วง 5 -15 นาโนวินาที ด้วยคุณสมบัติดังที่กล่าวมาเราจึงสามารถสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอย่างง่ายได้โดยนำเอาพุตของเกตอินเวอร์เตอร์ต่อกลับไปยังอินพุตของเกตดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้เกตอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 6.2 จำนวนเกทที่ใช้จะต้องเป็นจำนวนคี่ และความถี่ที่ได้สามารถคำนวณจากสมการที่ 1

$$f = \frac{1}{2 n T_p} \quad (1)$$

โดยที่ f คือ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

n คือ จำนวนเกทในวงจร

T_p คือ ค่า Propagation Delay Time ของเกทแต่ละตัว

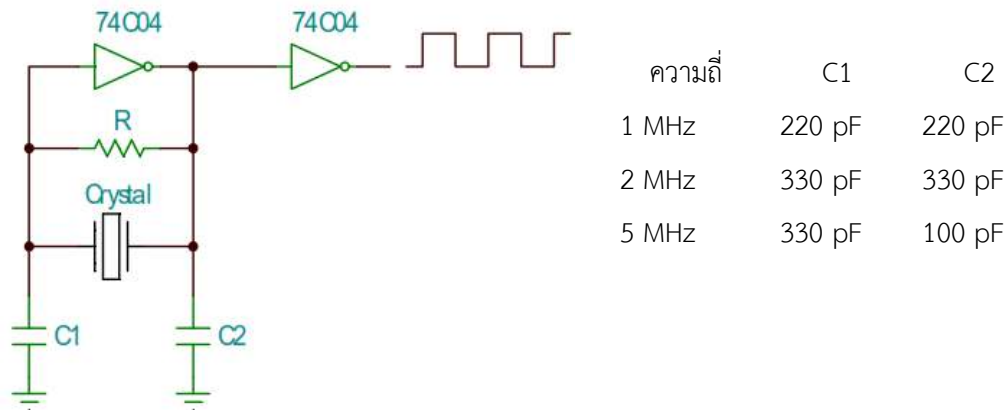
วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาชนิดนี้มีข้อดีคือง่าย แต่มีข้อเสียคือค่า Propagation Delay Time ของเกทแต่ละตัวมีค่าไม่เท่ากัน และมีค่าไม่คงที่ (เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ฯลฯ) และถ้าต้องการสร้างความถี่ต่ำ ๆ จะต้องใช้เกทจำนวนหลายตัว

3.4 การสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ Crystal Oscillator

คริสตัล (Crystal) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากผลึกควอตซ์ บรรจุอยู่ในตัวถังโลหะ เมื่อมีแรงดันตกคร่อมขาทั้งสองผลึกควอตซ์นี้จะสั่นด้วยความถี่ค่าหนึ่ง เราจะใช้การสั่นนี้มาเป็นตัวกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

การต่อคริสตัลเป็นวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาสามารถทำได้หลายแบบ แต่ละแบบจะเหมาะสมกับความถี่บางช่วง ในการทดลองนี้จะต่อวงจรแบบ Pierce Crystal Oscillator ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 6.3

ค่า C1 และ C2 ที่เหมาะสมสำหรับความถี่ต่างๆ มีดังนี้



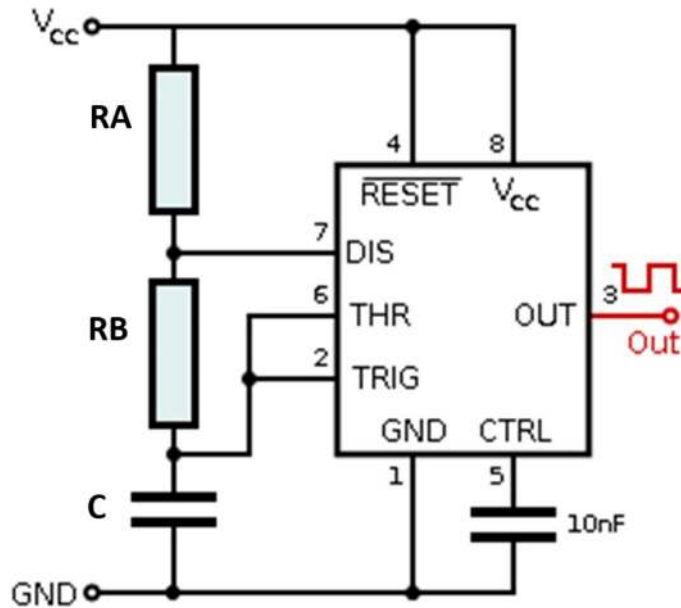
รูปที่ 6.3 วงจรคริสตัลอสซิลเลเตอร์

ข้อดีของการสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยวงจรคริสตัลคือค่าความถี่มีความแม่นยำสูง และไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่มีข้อเสียคือมีค่าความถี่ให้เลือกจำกัด เนื่องจากมีคริสตัลเฉพาะบางความถี่ให้เลือกใช้เท่านั้น หากต้องการความถี่ที่อื่นอาจต้องใช้วงจรหารความถี่เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ

3.4 การสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ไอซี NE555

ไอซี NE555 หรือ LM555 เป็นไอซีไทมเมอร์ (Timer) สารพัดประโยชน์ที่สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรต่างๆ ได้หลากหลาย เช่น วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) วงจร Pulse Width Modulation วงจร Pulse Position Modulation และ วงจรหน่วงเวลา เป็นต้น

ในการทดลองนี้จะนำไอซี NE555 มาต่อเป็นวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา ซึ่งจะต้องต่อวงจรดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยไอซี NE555

ค่าความถี่ที่เอาต์พุตของวงจรสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$T_{High} = 0.7(R_A + R_B)C \quad (2)$$

$$T_{Low} = 0.7R_B C \quad (3)$$

$$T = T_{High} + T_{Low} \quad (4)$$

$$T = 0.7(R_A + 2R_B)C \quad (5)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.43}{(R_A + 2R_B)C} \quad (6)$$

$$Duty \ Cycle = \frac{T_{High}}{T} \times 100 \% \quad (7)$$

1. ให้ยกตัวอย่าง วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา แบบที่ต่างจากในปฏิบัติการ

2. ให้คำนวณค่าความถี่ที่คำนวณได้ทั้ง 4 ค่า ในตารางการทดลองข้อ 3 < แสดงการคำนวณ >

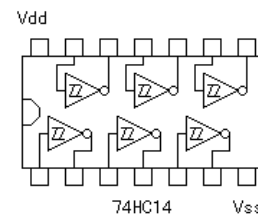
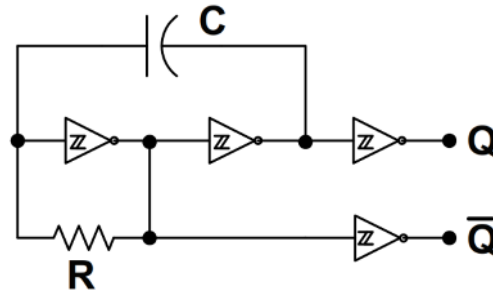
This image shows a full page of a handwriting practice worksheet. It consists of approximately 20 horizontal rows. Each row is defined by two parallel dotted lines, creating a series of uniform gaps for letter height. The entire page is otherwise blank, with no margins, text, or other markings.

3. ออกแบบวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาในรูปที่ 6.4 ให้มีความถี่เท่ากับ 10 เท่าของผลบวกของตัวเลข 3 หลักสุดท้ายของรหัสนักศึกษาของสมาชิกทุกคนในกลุ่ม (เช่นถ้ากลุ่มหนึ่งมีนักศึกษา 2 คน รหัสนักศึกษา B5700030 และ B5710322 ดังนั้นความถี่ที่ต้องออกแบบคือ 3520 Hz) ในการออกแบบให้เลือกค่าตัวเก็บประจุที่ต้องการใช้ก่อน โดยเลือกจากตัวเก็บประจุที่แจกให้ซึ่งมีอยู่ 4 ค่า คือ 0.01, 0.1, 1 และ 10 μF จากนั้นให้คำนวณหาค่า RA และ RB ที่ทำให้วงจรทำงานที่ความถี่ที่ต้องการและมี Duty Cycle = 60% < แสดงการคำนวณ >

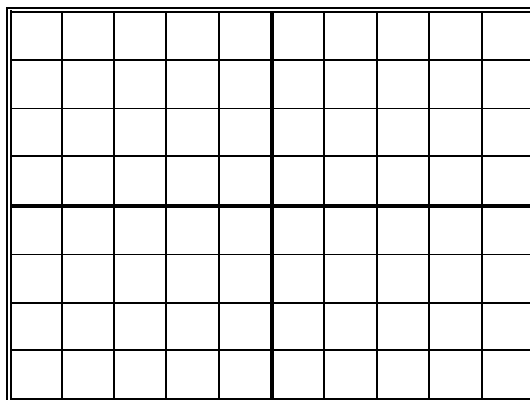
5. ลำดับขั้นการทดลอง

การทดลองตอนที่ 1/3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ลอจิกเกต

- ศึกษารายละเอียดคุณสมบัติของไอซี 74HCT14 จากดาตาชีทท้ายเอกสารนี้ (ดาตาชีทที่มีอยู่อาจไม่ใช่ดาตาชีทของผู้ผลิตไอซีที่นักศึกษาใช้ แต่เนื่องจากเป็นไอซีเบอร์เดียวกัน คุณสมบัติจะไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามในการออกแบบวงจรใช้งานจริง ควรใช้ดาตาชีทของบริษัทผู้ผลิตไอซีโดยตรง) สิ่งที่ต้องศึกษาคือ ตำแหน่งขาของไอซี จำนวนเกทภายใน การต่อเกทภายในกับขาไอซี
- ต่อวงจรเกตออสซิลเลเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 6.3 โดยใช้ $C = 0.22$ ไมโครฟารัด, $R = 220$ โอห์ม ป้อนไฟเข้าวงจร แล้ววัดสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคป ที่เอาต์พุต Q และ \bar{Q} ทั้ง 2 ตัว วาดภาพคลื่นที่ได้ คำนวณค่าความถี่ บันทึกและวิเคราะห์ผล



รูปที่ 6.5 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยน็อตเกต



1/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล็บ

VCh1 วัดค่าของ Q

$V = \dots\dots\dots$

$T = \dots\dots\dots$

VCh2 วัดค่าของ \bar{Q}

$V = \dots\dots\dots$

$T = \dots\dots\dots$

.....

.....

.....

.....

.....

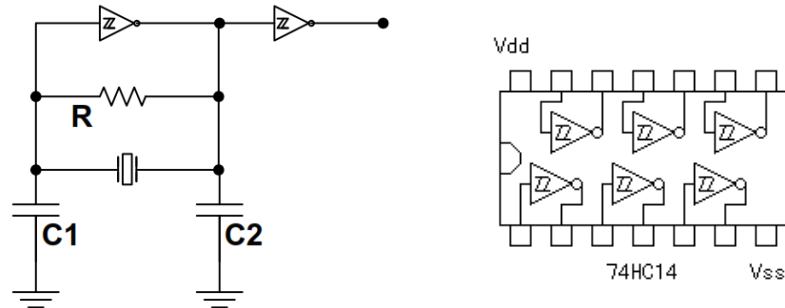
3. เปลี่ยนค่า C ตามตาราง วัดสัญญาณที่เอาต์พุต Q อ่านค่าความถี่ของสัญญาณ บันทึกค่าความถี่ที่อ่านได้ พร้อมทั้งคำนวณค่าความถี่โดยใช้สูตร $f = \frac{1}{3RC}$ และคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าที่อ่านได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

ลำดับ	C(uF)	R(Ω)	ความถี่ที่ คำนวณได้	ความถี่ที่ได้	เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด
1	0.22	220			
2	0.10	220			
3	0.22	15k			
4	0.10	15k			

[illegible]

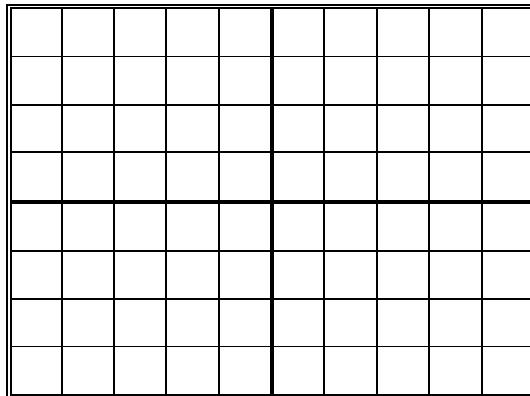
การทดลองตอนที่ 2/3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย Crystal Oscillator

4. ต่อวงจรคริสตอล ความถี่ 5.0MHz ดังแสดงในรูปที่ 6.6 โดยใช้ค่า $R = 2.2$ เมกะโอห์ม และ $C1 = C2 = 330$ พิโคฟารัด และ $C2 = 150$ พิโคฟารัด (ใช้เกทอินเวอร์เตอร์ 74HCT14)



รูปที่ 6.6 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยผลึกคริสตอล

5. ป้อนไฟเข้าวงจร แล้ววัดสัญญาณด้วยออสซิลอโคป ที่เอาต์พุตของเกทอินเวอร์เตอร์ วาดภาพคลื่นที่ได้ คำนวณค่าความถี่จากกราฟ เปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่ระบุบนตัวถังของคริสตอล บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง



2/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล็บ

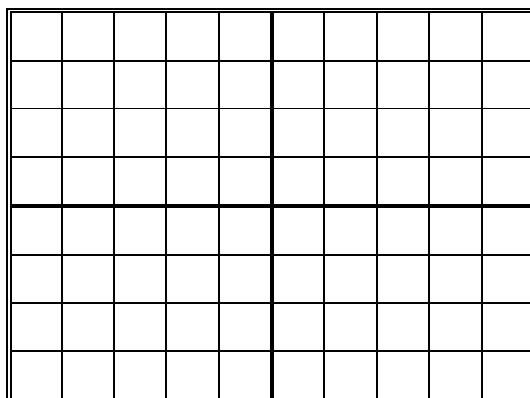
VCh1 วัดค่าของ Output

V =

T =

f =

6. เปลี่ยน คริสตอลเป็น 11.0592 MHz ทำการทดลองซ้ำ บันทึกและวิเคราะห์ผล



3/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล็บ

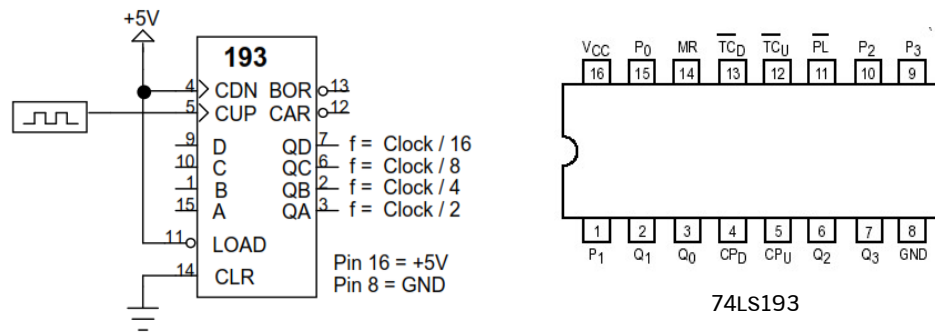
VCh1 วัดค่าของ Output

V =

T =

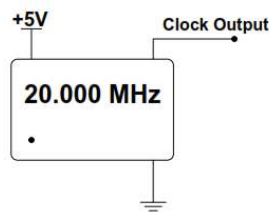
f =

7. ป้อนสัญญาณจากข้อ 6 เป็นสัญญาณ Clock ไปยังวงจรนับเพื่อหาความถี่ ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 วงจรหาความถี่จากวงจรนับ

8. เปลี่ยนอุปกรณ์เป็นออสซิลเลเตอร์ 20.00 MHz ทำการทดลองซ้ำ บันทึกและวิเคราะห์ผล



รูปที่ 6.8 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วย ออสซิลเลเตอร์

4/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล็บ

VCh1 วัดค่าของ Output

V =

T =

f =

.....

.....

.....

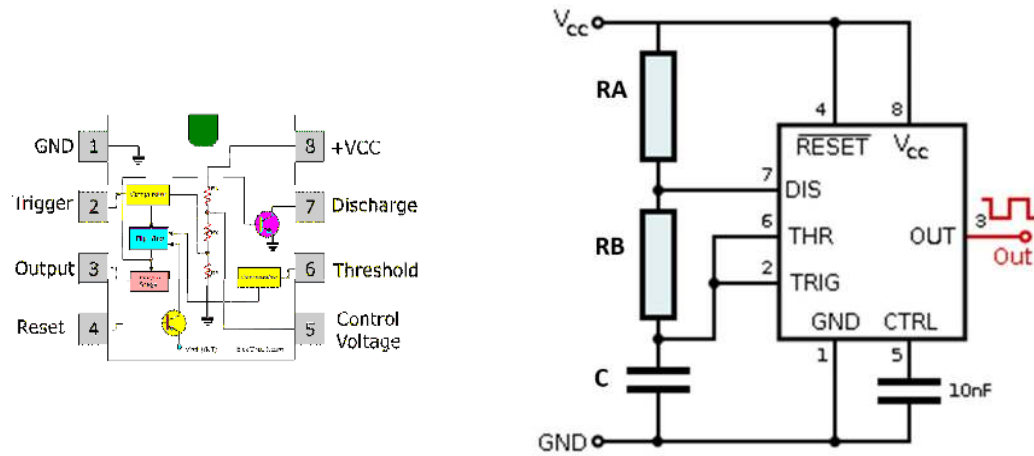
.....

.....

.....

การทดลองตอนที่ 3/3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย ไอซี 555

9. ต่อวงจรตามรูปที่ 6.9 ให้ใช้ $C = 0.22\mu\text{F}$ และ $R_A = R_B = 15\text{ k}\Omega$ วัดค่าต่างๆ บันทึกผล



รูปที่ 6.9 การสร้างสัญญาณนาฬิกาจากไอซี NE555

5/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล็บ

VCh1 วัดค่าของ Output

V =

Ton =

Toff =

10. เปลี่ยนค่า R_A , R_B ทำการทดลองซ้ำ บันทึกค่า และแสดงการคำนวณ

ลำดับ	R_A	R_B	C	Ton	Toff	T	f	τ
1, วัด	$15\text{ k}\Omega$	$15\text{ k}\Omega$	$0.22\mu\text{F}$					
คำนวณ								
2, วัด	$15\text{ k}\Omega$	$24\text{ k}\Omega$	$0.22\mu\text{F}$					
คำนวณ								
3, วัด	$24\text{ k}\Omega$	$15\text{ k}\Omega$	$0.22\mu\text{F}$					
คำนวณ								

6. สรุปผลการทดลอง

การทดลองตอนที่ 1/3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ลอจิกเกต

[illegible]

การทดลองตอนที่ 2/3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย Crystal Oscillator

[illegible]

การทดลองตอนที่ 3/3 วงจรกำเนิดสัญญาณพิกัดด้วย ไอซี 555

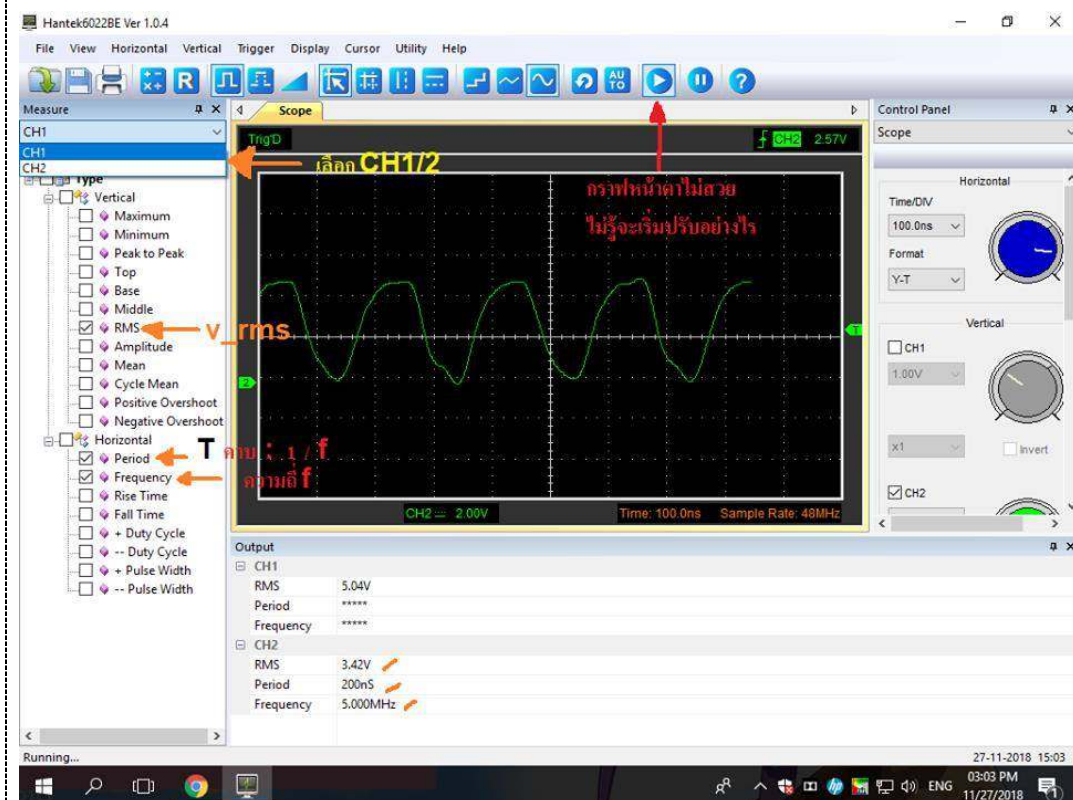
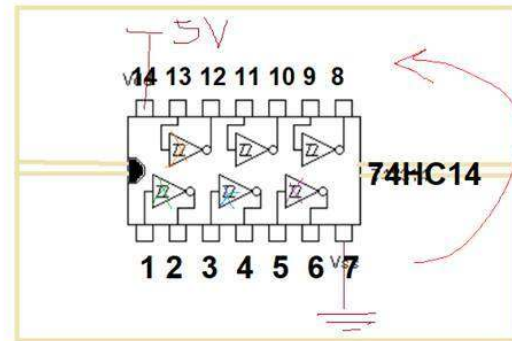
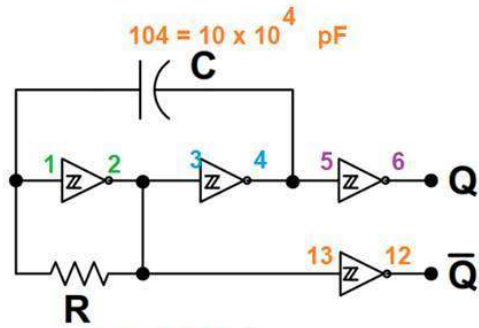
[illegible]

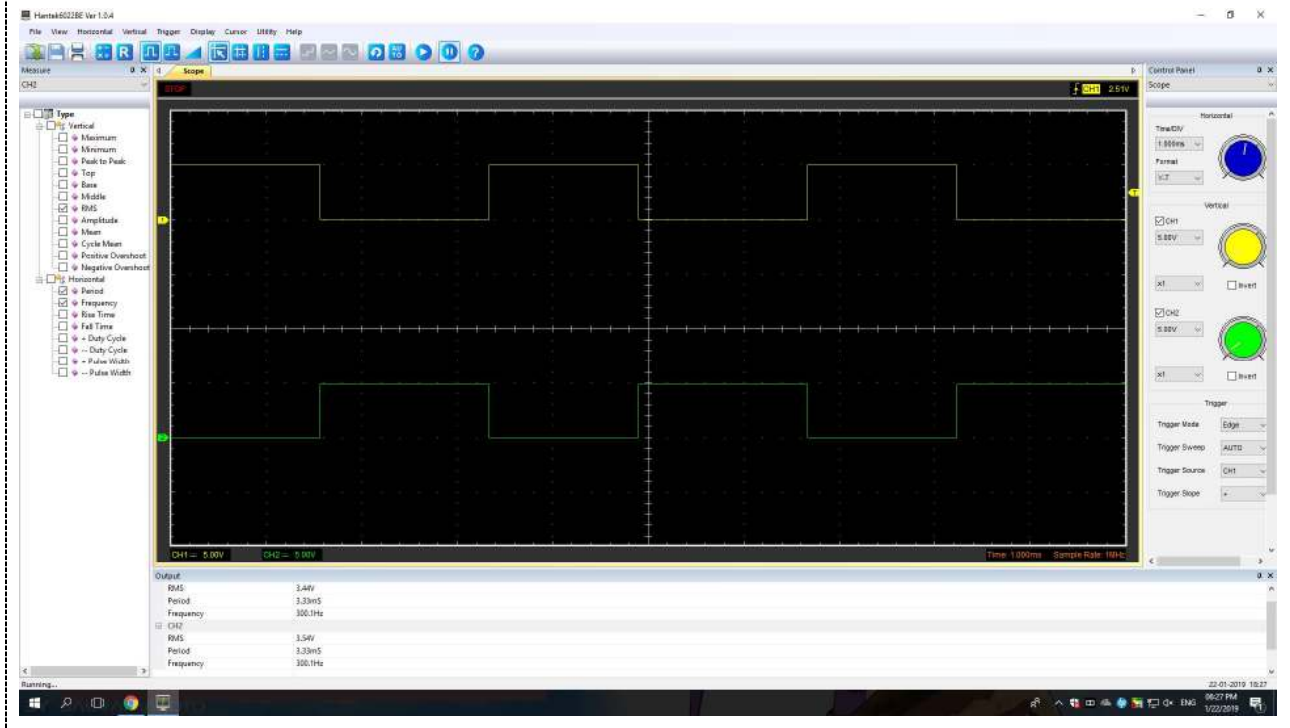
3. คำนวณค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาทั้ง 3 แบบ เพื่อเปรียบเทียบว่าวงจรใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

คำแนะนำอย่างย่อ เพื่อการทดลอง

การทดลองที่ 1 -- RC Circuit, ง่ายแต่ความถี่ไม่แม่นยำ

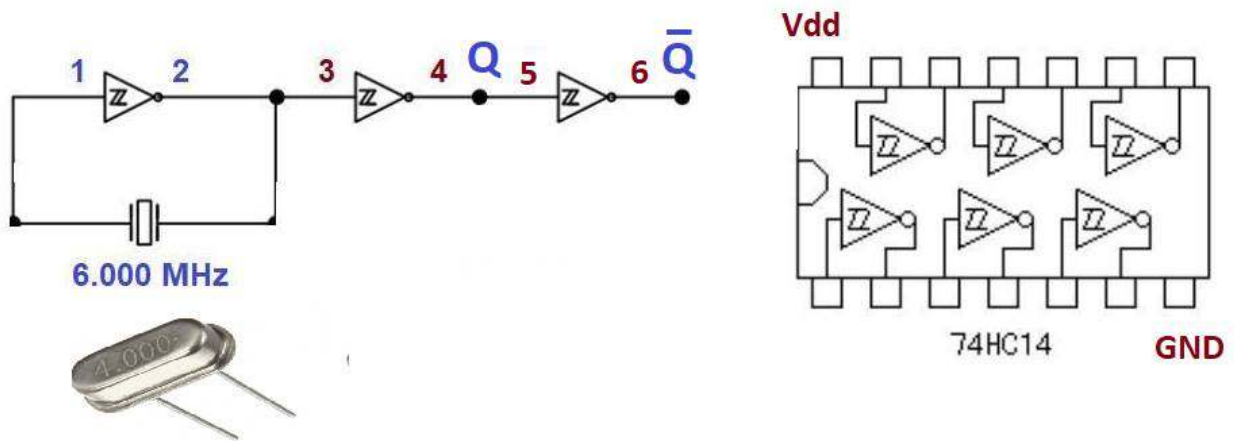
Circuit 1 of 5



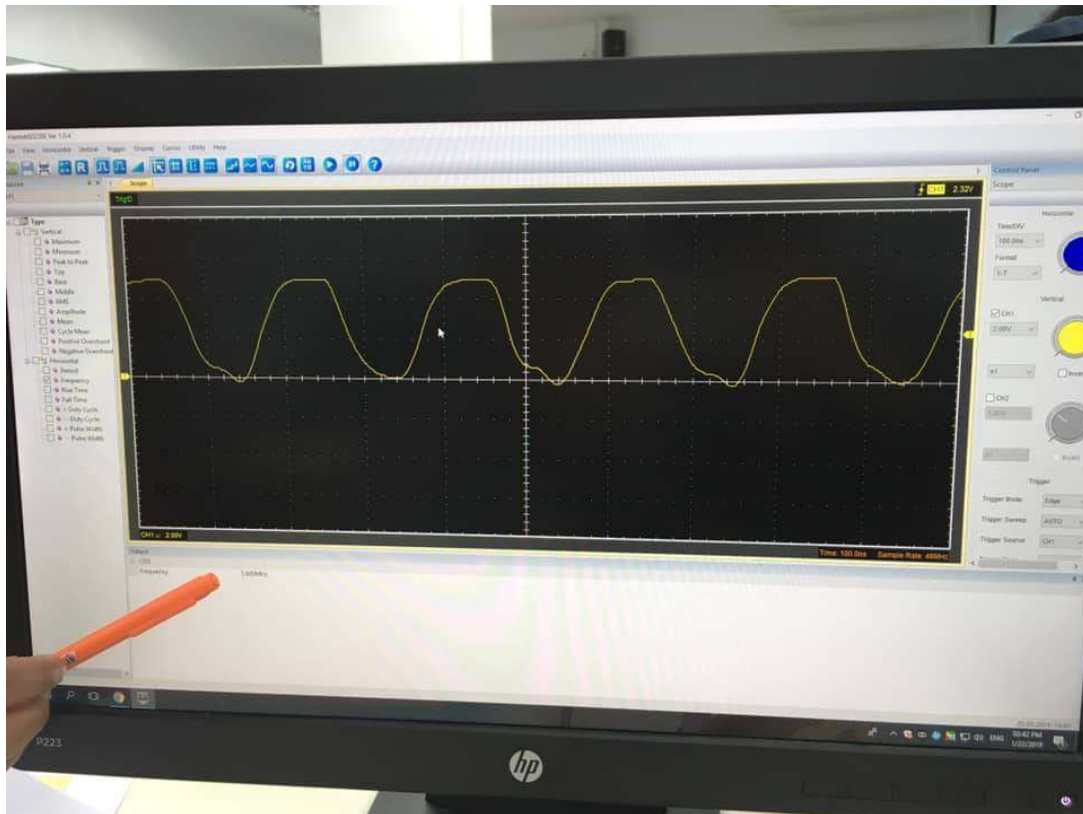
$R=15k, C=104$ 

การทดลองที่ 2 -- Crystal Oscillator

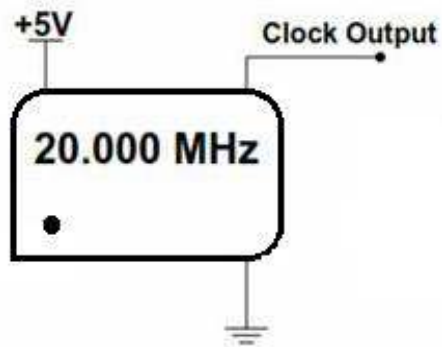
Circuit 2 of 5



Only Q



การทดลองที่ 3 -- Crystal Oscillator ความถี่แม่นยำ



Scope เรารวัดความถี่ได้ไม่ถึง 20MHz จึงให้ 74193 ทารความถี่ลงมา

Output ที่ QD หรือขา 7 จะได้ $20\text{MHz} / 16 = 1.25\text{MHz}$

