

การทดลองที่ 6

วงจรจาร์เกนเนิดสัญญาณนาฬิกา

1. จุดประสงค์

- ศึกษาการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ล็อกอิจิกเกต
- ศึกษาการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย Crystal Oscillator
- ศึกษาการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย ไอซี 555
- เปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎี
- 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

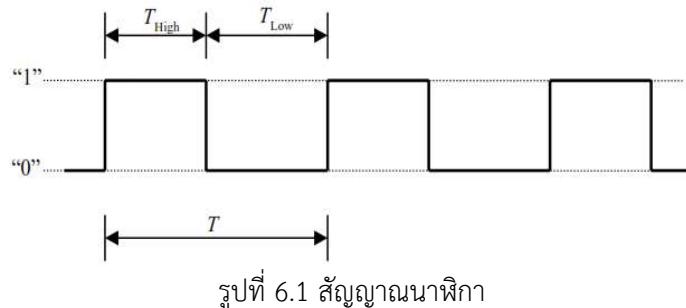
วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา หรือเรียกวันที่ไปว่า คล็อก (Clock) ถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุด อย่างหนึ่งของวงจรดิจิตอล โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเรียกชื่อวงจรชีวิตรีซิสเต็มซึ่งเริ่มตั้งแต่พลีปฟลوب วงรนบ ซิบท์ รีจิสเตอร์ และวงจรอื่นๆ ที่มีสัญญาณนาฬิกาเข้าไปเกี่ยวข้องวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะสร้างสัญญาณ พัลส์ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมการทำงานของวงจร

วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator) หมายถึงวงจรกำเนิดสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่ใช้ในวงจรดิจิตอลเพื่อให้วงจรทำงานเป็นจังหวะและสอดคล้องกัน บางครั้งอาจเรียกว่า วงจรสร้างฐานเวลา (Time base Generator หรือ Timing Generator)

พื้นฐานของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาคือวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ซึ่งสามารถสร้างได้ หลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสีย และเหมาะสมกับช่วงความถี่ที่ต่างกัน ใน การทดลองนี้จะศึกษาการทำงาน ของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา 3 ชนิด คือวงจรที่ใช้เกทอินเวอร์เตอร์ (Inverter Gate) วงจรคริสตอล ออสซิลเลเตอร์ (Crystal Oscillator) และวงจรที่ใช้ไอซีไทเมอร์เบอร์ NE555

3.2 สัญญาณนาฬิกา

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



T_{High} คือ ระยะเวลาที่สัญญาณมีล็อกจิก “1” มีหน่วยเป็นวินาที

T_{Low} คือ ระยะเวลาที่สัญญาณมีล็อกจิก “0” มีหน่วยเป็นวินาที

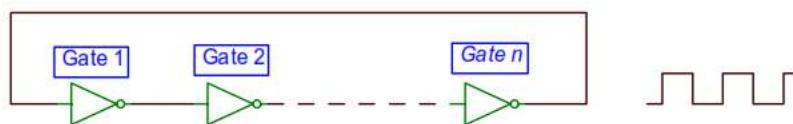
T คือ คาบเวลาของสัญญาณ มีค่าเท่ากับ $T_{\text{High}} + T_{\text{Low}}$ วินาที

$F = 1/T$ คือ ความถี่ของสัญญาณ มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์ (Hertz)

Duty Cycle = $(T_{\text{High}} / T) \times 100\%$ คือ สัดส่วนระหว่างระยะเวลาของสัญญาณที่มีล็อกจิก “1” กับคาบเวลา

3.2 การสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ล็อกจิกเกต

อินเวอร์เตอร์เป็นเกทที่ให้ล็อกจิกที่เอาต์พุตตรงข้ามกับล็อกจิกที่ป้อนเข้าทางอินพุต เนื่องจากล็อกจิกเกททุกตัวจะมีช่วงเวลาหน่วง (Delay Time) ช่วงหนึ่ง หมายถึงเมื่อป้อนสัญญาโนินพุตเข้าไปแล้วสัญญาโนเอาต์พุตจะไม่เปลี่ยนทันที ทั้งนี้ เพราะเกทจะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการทำงาน ค่าช่วงเวลาหน่วงนี้เรียกว่า Propagation Delay Time ซึ่งสำหรับเกทอินเวอร์เตอร์ชนิดที่ทีแอลจะมีค่าอยู่ในช่วง 5 - 15 นาโนวินาที ด้วยคุณสมบัติตั้งที่กล่าวมาเราจึงสามารถสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอย่างง่ายได้โดยนำเอาพุตของเกทอินเวอร์เตอร์ต่อกลับไปยังอินพุตของเกทดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้เกทอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 6.2 จำนวนเกทที่ใช้จะต้องเป็นจำนวนคี่ และความถี่ที่ได้สามารถคำนวณจากสมการที่ 1

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

โดยที่ f คือ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

n คือ จำนวนเกทในวงจร

T_p คือ ค่า Propagation Delay Time ของเกทแต่ละตัว

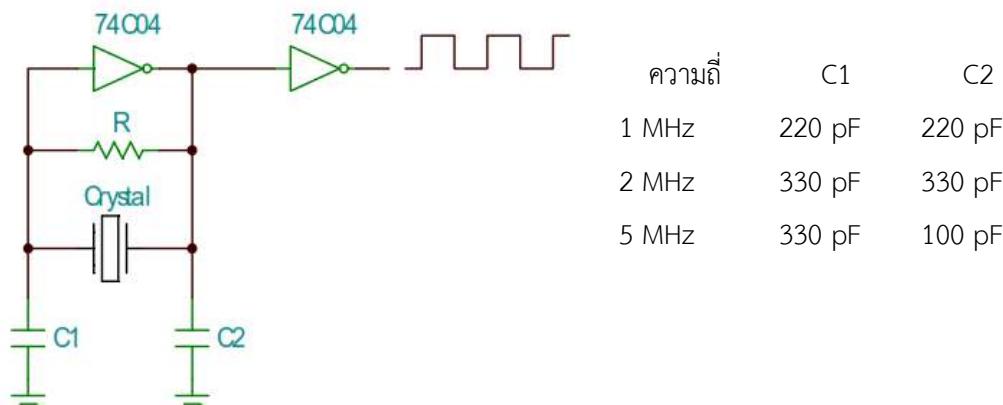
วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกานิดนึงมีข้อดีคือง่าย แต่มีข้อเสียคือค่า Propagation Delay Time ของเกทแต่ละตัวมีค่าไม่เท่ากัน และมีค่าไม่คงที่ (เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ฯลฯ) และถ้าต้องการสร้างความถี่ต่ำ ๆ จะต้องใช้เกทจำนวนหลายตัว

3.4 การสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ Crystal Oscillator

คริสตอล (Crystal) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากผลึก wolff บรรจุอยู่ในตัวถังโลหะ เมื่อมีแรงดันตกคร่อมขาทั้งสองผลึก wolff นี้จะสั่นด้วยความถี่ค่าหนึ่ง เราจะใช้การสั่นนี้มาเป็นตัวกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

การต่อคริสตอลเป็นวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาสามารถทำได้หลายแบบ แต่ละแบบจะเน้นไปที่ความถี่บางช่วง ในการทดลองนี้จะต่อวงจรแบบ Pierce Crystal Oscillator ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 6.3

ค่า C_1 และ C_2 ที่เหมาะสมสำหรับความถี่ต่างๆ มีดังนี้



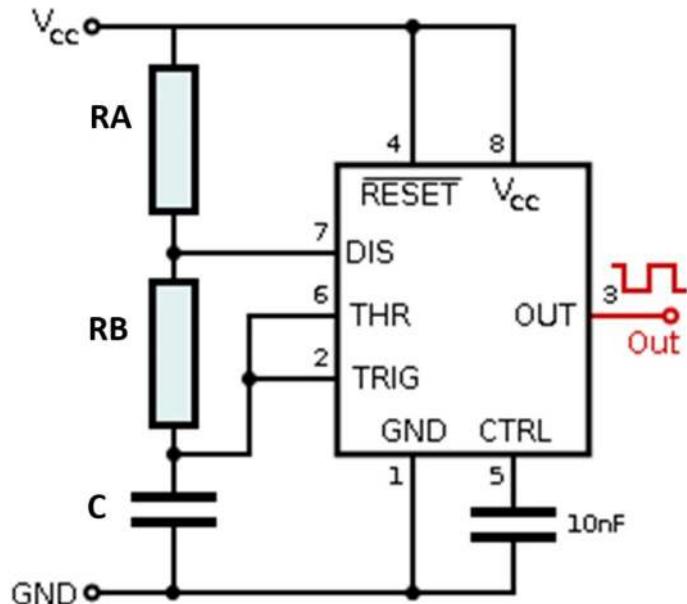
รูปที่ 6.3 วงจรคริสตอลอสซิลเลเตอร์

ข้อดีของการสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยวงจรคริสตอลคือค่าความถี่มีความแม่นยำสูง และไม่ไวต่อ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่มีข้อเสียคือมีค่าความถี่ให้เลือกจำกัด เนื่องจากมีคริสตอลเฉพาะบางความถี่ให้เลือกใช้เท่านั้น หากต้องการความถี่ที่ไม่อยู่ในตัวเลือก อาจจะต้องใช้วงจรหารความถี่เพื่อให้ความถี่ที่ต้องการ

3.4 การสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ไอซี NE555

ไอซี NE555 หรือ LM555 เป็นไอซีไทเมอร์ (Timer) สารพัดประโยชน์ที่สามารถนำไปสร้างเป็น วงจรต่างๆ ได้หลากหลาย เช่น วงจรสร้างสัญญาณพลัสด์ (Pulse Generator) วงจร Pulse Width Modulation วงจร Pulse Position Modulation และ วงจรหน่วงเวลา เป็นต้น

ในการทดลองนี้จะนำไอซี NE555 มาต่อเป็นวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา ซึ่งจะต้องต่อวงจรดังรูป ที่ 6.4



รูปที่ 6.4 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยไอซี NE555

ค่าความถี่ที่เอาต์พุตของวงจรสามารถคำนวณได้ดังนี้

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

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

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

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

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

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

4. คำถ้ามก่อนการทดลอง

1. ให้ยกตัวอย่าง วิธีสร้างสัญญาณนาฬิกา แบบที่ต่างจากในปฏิบัติการ

2. ให้คำนวณค่าความถี่ที่คำนวณได้ทั้ง 4 ค่า ในตารางการทดลองข้อ 3 < แสดงการคำนวณ >

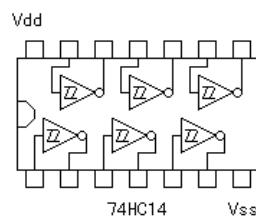
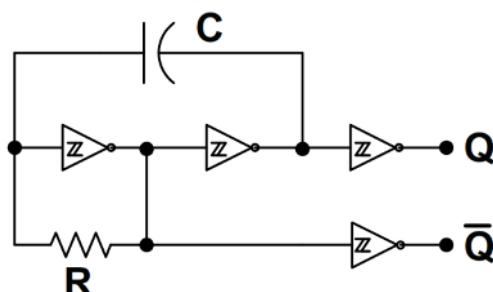
3. ออกแบบวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาในรูปที่ 6.4 ให้มีความถี่เท่ากับ 10 เท่าของผลบวกของตัวเลข 3 หลักสุดท้ายของรหัสนักศึกษาของสมาชิกทุกคนในกลุ่ม (เช่น ถ้ากลุ่มนี้มีนักศึกษา 2 คน รหัสนักศึกษา B5700030 และ B5710322 ดังนั้นความถี่ที่ต้องออกแบบคือ 3520 Hz) ในการออกแบบให้เลือกค่าตัวเก็บประจุที่ต้องการใช้ก่อน โดยเลือกจากตัวเก็บประจุที่แจกให้ซึ่งมีอยู่ 4 ค่า คือ 0.01 , 0.1 , 1 และ $10 \mu\text{F}$ จากนั้นให้คำนวณหาค่า RA และ RB ที่ทำให้วงจรทำงานที่ความถี่ที่ต้องการและมี Duty Cycle = 60% < แสดงการคำนวณ >

< แสดงการคำนวณ >

5. ลำดับขั้นการทดลอง

การทดลองตอนที่ 1/3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ล็อกจิกเกต

- ศึกษารายละเอียดคุณสมบัติของไอซี 74HCT14 จากตารางชี้ท้ายเอกสารนี้ (ตารางชี้ที่มีอยู่อาจไม่ใช่ตารางชี้ที่ของผู้ผลิตไอซีที่นักศึกษาใช้ แต่เนื่องจากเป็นไอซีเบอร์เดียวกัน คุณสมบัติจะไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามในการออกแบบวงจรใช้งานจริง ควรใช้ตารางชี้ที่ของบริษัทผู้ผลิตไอซีโดยตรง) สิ่งที่ต้องศึกษาคือ ตำแหน่งขาของไอซี จำนวนเกทภายใน การต่อเกทภายในกับขาไอซี
- ต่อวงจรเกตอสซิลเลเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 6.3 โดยใช้ $C = 0.22 \text{ ไมโครฟารัด}$, $R = 220\text{โอม}$ ป้อนไฟเข้าวงจร และวัดสัญญาณด้วยอสซิลโลสโคป ที่ขาตัวพุต Q และ \bar{Q} ทั้ง 2 ตัว วัดภาพคลื่นที่ได้ คำนวณค่าความถี่ บันทึกและวิเคราะห์ผล



รูปที่ 6.5 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยนีตเกต

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

1/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล็บ

VCh1 วัดค่าของ Q

$V = \dots$

$T = \dots$

VCh2 วัดค่าของ \bar{Q}

$V = \dots$

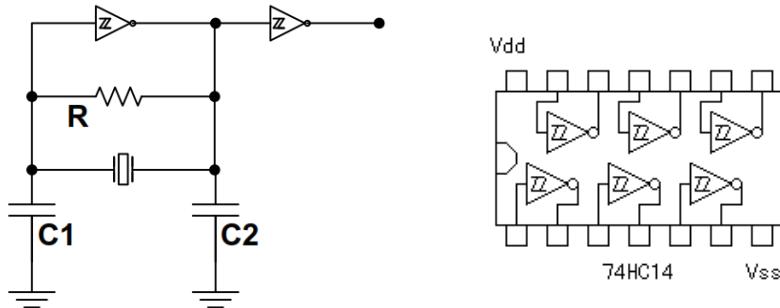
$T = \dots$

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

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

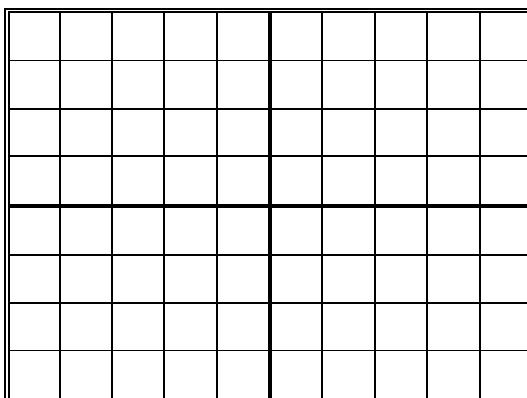
การทดลองตอนที่ 2/3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย Crystal Oscillator

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



รูปที่ 6.6 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยเพล็กคริสตอล

5. ป้อนไฟเข้าງจร แล้ววัดสัญญาณด้วยอสซิโลสโคป ที่เอาต์พุตของเกทอินเวอร์เตอร์ วาดภาพคลื่นที่ได้ คำนวณค่าความถี่จากการ เปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่ระบุบนตัวถังของคริสตอล บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง



2/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล็ป

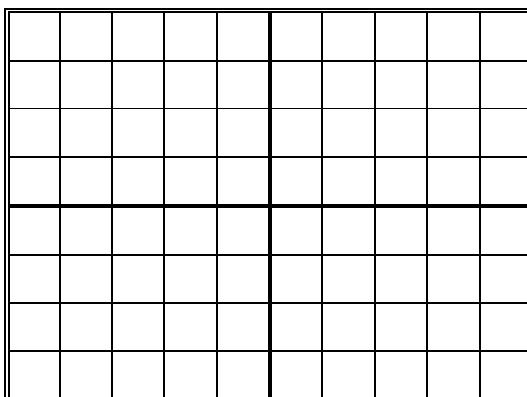
VCh1 วัดค่าของ Output

V =

T =

f =

6. เปลี่ยน คริสตอลเป็น 11.0592 MHz ทำการทดลองซ้ำ บันทึกและวิเคราะห์ผล



3/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล็ป

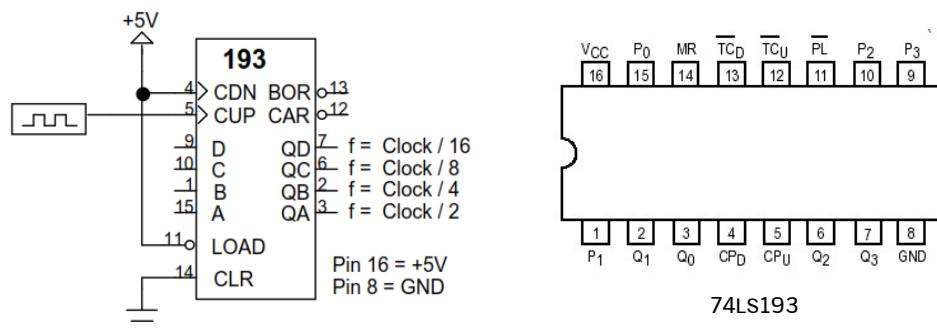
VCh1 วัดค่าของ Output

V =

T =

f =

7. ป้อนสัญญาณจากข้อ 6 เป็นสัญญาณ Clock ไปยังวงจรนับเพื่อหารความถี่ ดังรูปที่ 6.7

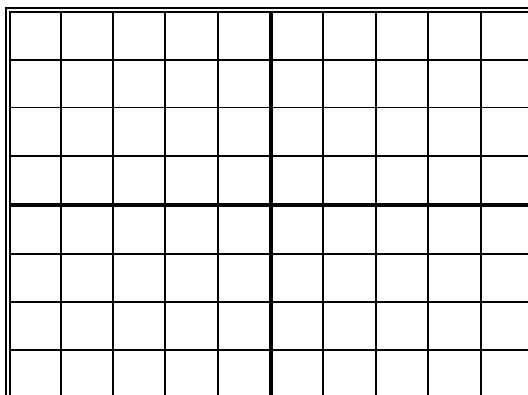


รูปที่ 6.7 วงจรหารความถี่จากการนับ

8. เปลี่ยนอุปกรณ์เป็นօอสซิลเลเตอร์ 20.00 MHz ทำการทดลองช้า บันทึกและวิเคราะห์ผล



รูปที่ 6.8 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วย օอสซิลเลเตอร์



4/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล้วป

VCh1 วัดค่าของ Output

V =

T =

f =

.....

.....

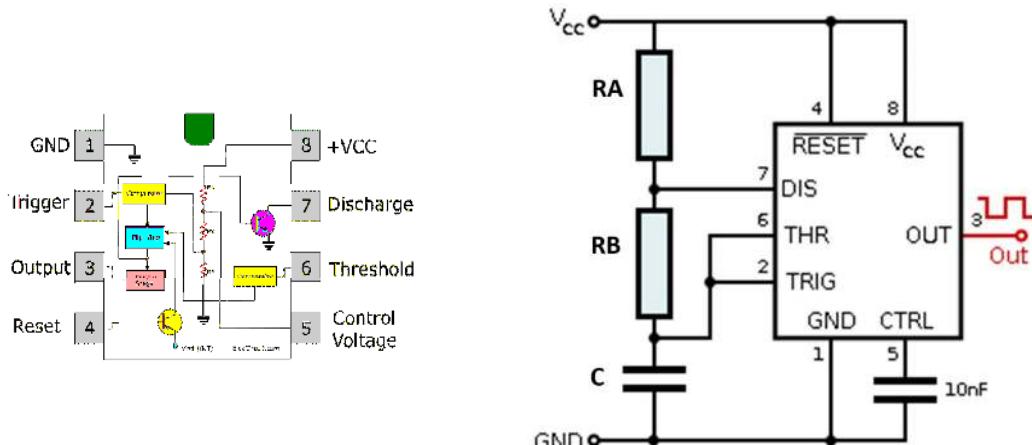
.....

.....

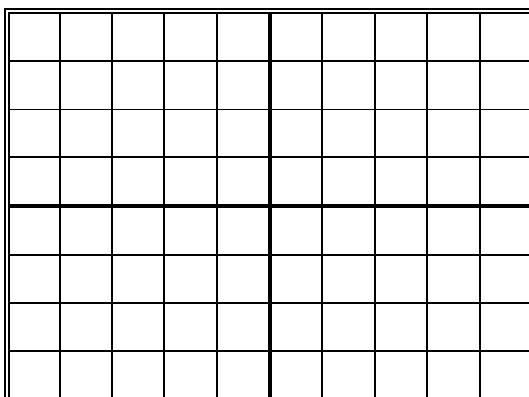
.....

การทดลองตอนที่ 3/3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย ไอซี 555

9. ต่อวงจรตามรูปที่ 6.9 ให้ใช้ $C = 0.22\mu F$ และ $RA = RB = 15 k\Omega$ วัดค่าต่างๆ บันทึกผล



รูปที่ 6.9 การสร้างสัญญาณมาพิกาจากไอซี NE555



5/5 ลายมืออาจารย์ประจำแล็บ

VCh1 วัดค่าของ Output

V =.....

Ton =.....

Toff =.....

10. เปลี่ยนค่า RA, RB ทำการทดลองซ้ำ บันทึกค่า และแสดงการคำนวณ

6. สรุปผลการทดลอง

การทดลองตอนที่ 1/3 วิจารณ์เนื้อหาภูมานาฬิกาโดยใช้ล้อจิกเกต

การทดลองตอนที่ 2/3 วิจัยกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย Crystal Oscillator

การทดลองตอนที่ 3/3 วิจารณ์เนื้อหาภูมานาฬิกาด้วย ไอซี 555

7. คำถ้ามท้ายการทดลอง

1. อธิบายว่าเหตุใด Duty Cycle ของคลื่นที่ได้จากการทดลองข้อ 2 จึงไม่เท่ากับค่าตามที่ได้ออกแบบไว้

.....
.....
.....

2. หากต้องการให้ความถี่จากการในข้อ 8 มีค่าเท่ากับค่าที่ต้องการพอดี จะต้องปรับปรุงจรออย่างไร

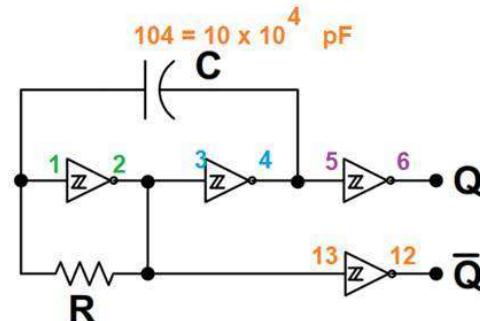
.....
.....
.....

3. คำนวณค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนของวงจรสร้างสัญญาณไฟกีฬาทั้ง 3 แบบ เพื่อเปรียบเทียบว่าวงจรใดมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

คำแนะนำอย่างย่อ เพื่อการทดลอง

การทดลองที่ 1 -- RC Circuit, ง่ายแต่ความถี่ไม่แม่นยำ

Circuit 1 of 5

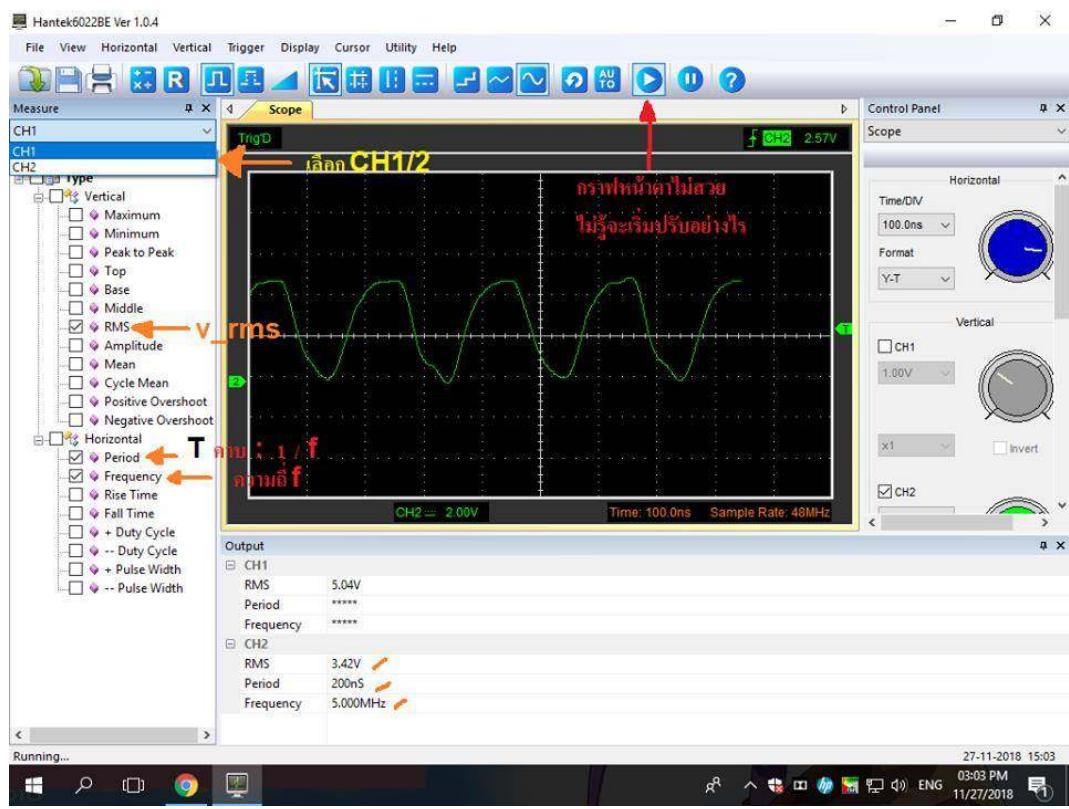
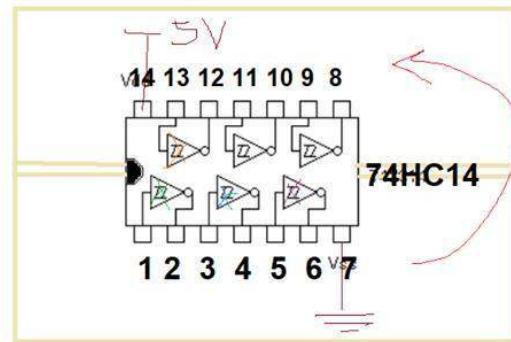


Exp1 > R10k

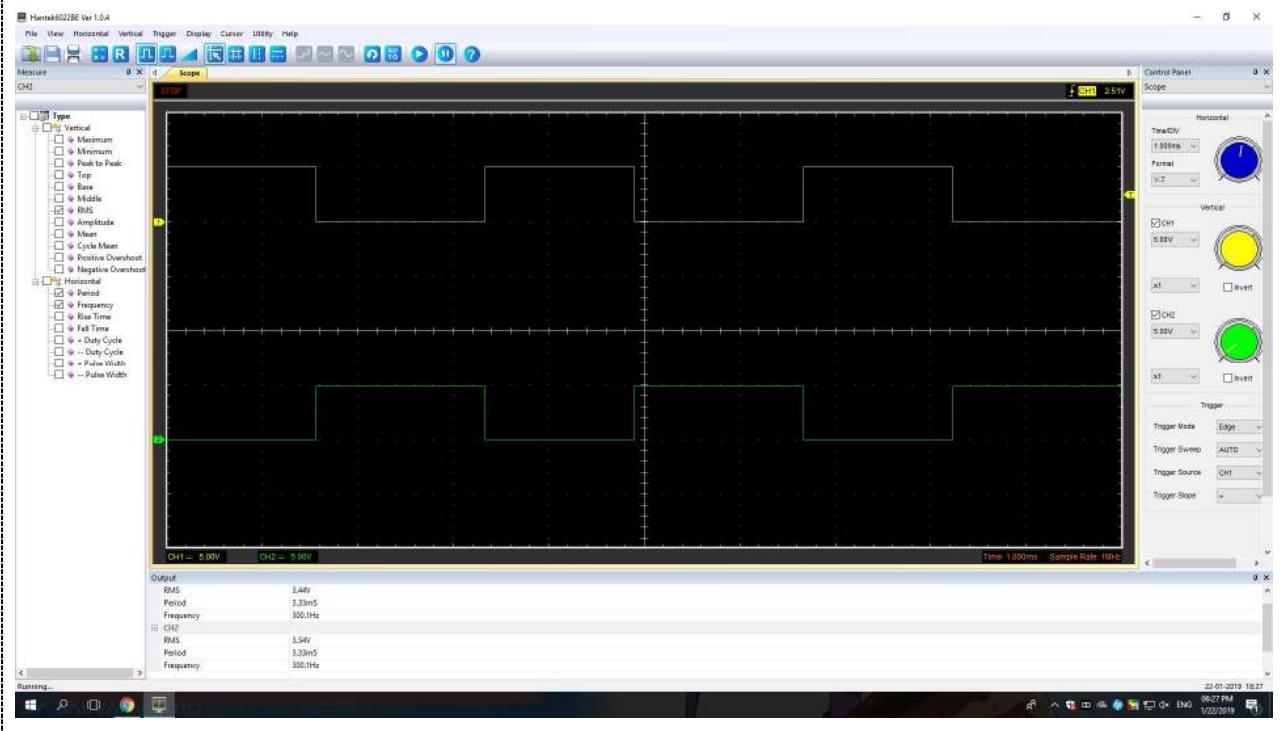
Exp2 > R20k

$$Brw Bk Org = 103 > 10 \times 10^3 \text{ Ohm}$$

$$\text{Freq} = \frac{1}{3RC} = 333.33 \text{ Hz}$$

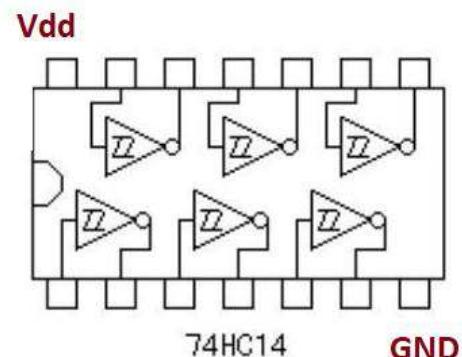
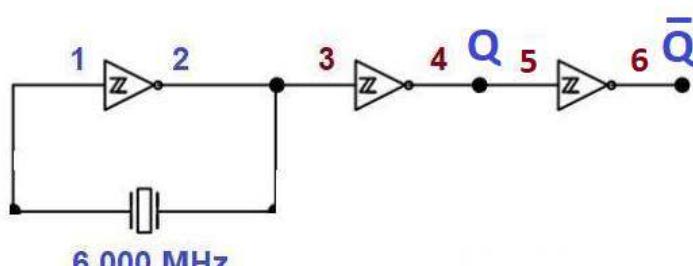


R=15k, c=104

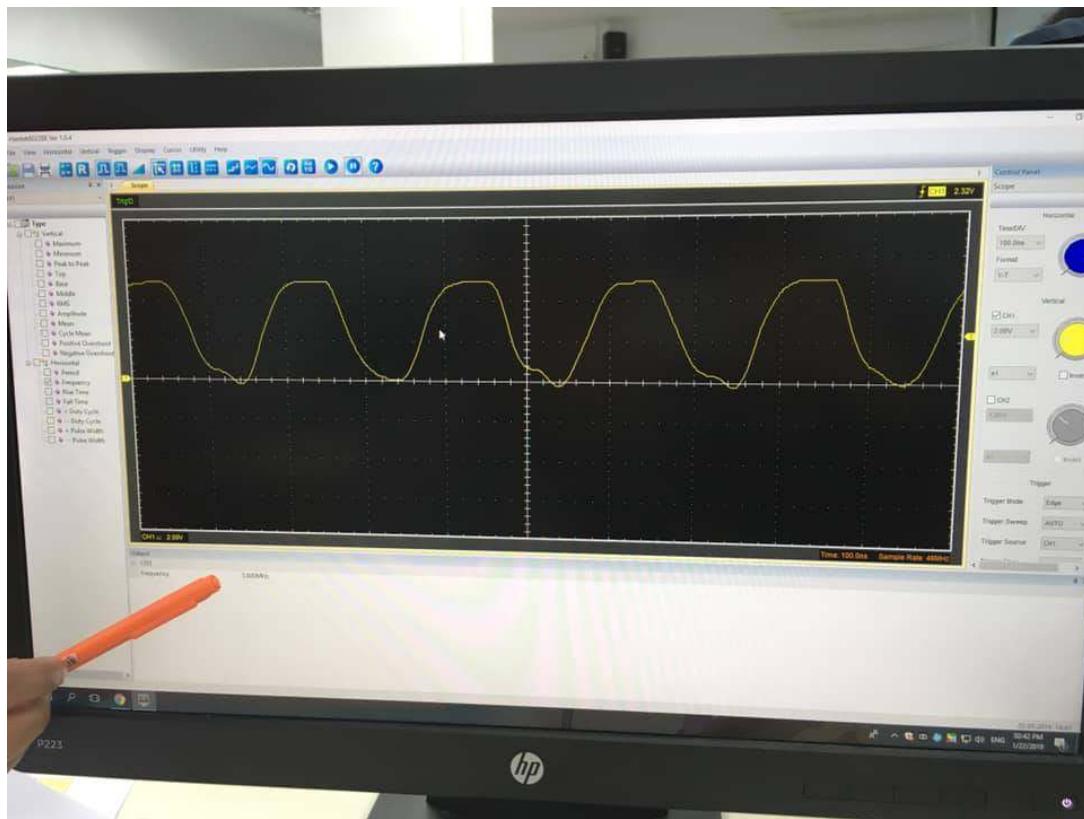


การทดลองที่ 2 -- Crystal Oscillator

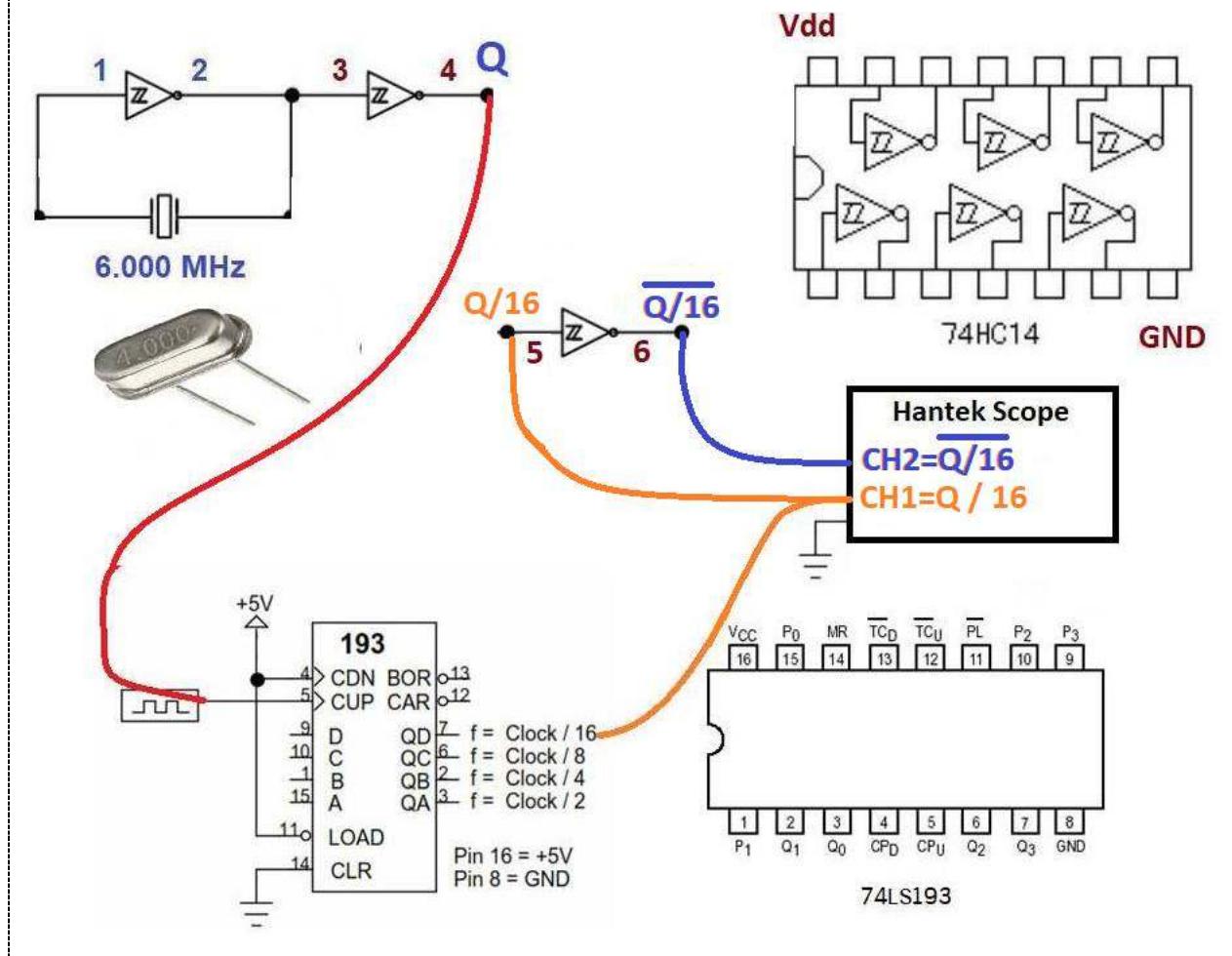
Circuit 2 of 5



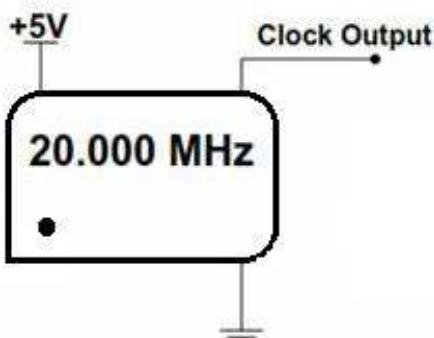
Only Q



Circuit 3 of 5 - หากความถี่เกิน 5MHz ควรใช้วงจรหารความถี่



การทดลองที่ 3 -- Crystal Oscillator ความถี่แม่นยำ



Scope เรารวัดความถี่ได้ไม่ถึง 20MHz จึงให้ 74193 หารความถี่ลงมา

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

