	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 1
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟลอป	

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟลอป

หน่วยที่ 3 สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟลอป

สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟลอป

1. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

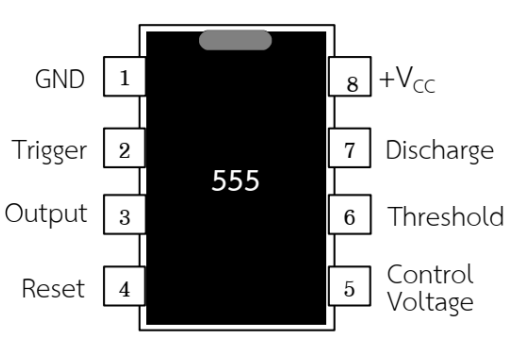
วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา มีพื้นฐานมาจากวงจรมัลติไวเบเรเตอร์ แบบอะสแตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ซึ่งจะผลิตสัญญาณพัลส์ที่เหลื่อมต่อเนื่องออกมาตลอดเวลา โดยวงจรมัลติไวเบเรเตอร์อาจจะสร้างมาจากอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ ไอซี 555 ไอซีดิจิทัล หรือไอซีดิจิทัลทำงานร่วมกับอุปกรณ์คริสตัล หรือไอซีออปแอมป์ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ RC เป็นต้น ซึ่งวงจรมัลติไวเบเรเตอร์จะมี 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1.1 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์


วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ หรือวงจรวันชอต (One-shot) คือวงจรที่ให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาหนึ่งพัลส์ (Single Shot Plus) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณภายนอก โดยคาบเวลาของสัญญาณที่ปรากฏจะถูกกำหนดด้วยการทำงานของอุปกรณ์ RC ซึ่งวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ในที่นี้จะขอกำหนดเฉพาะในส่วนของวงจรที่สร้างจากไอซี 555 และไอซีดิจิทัล 74LS123 ดังนี้

1.1.1 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์จากไอซี 555

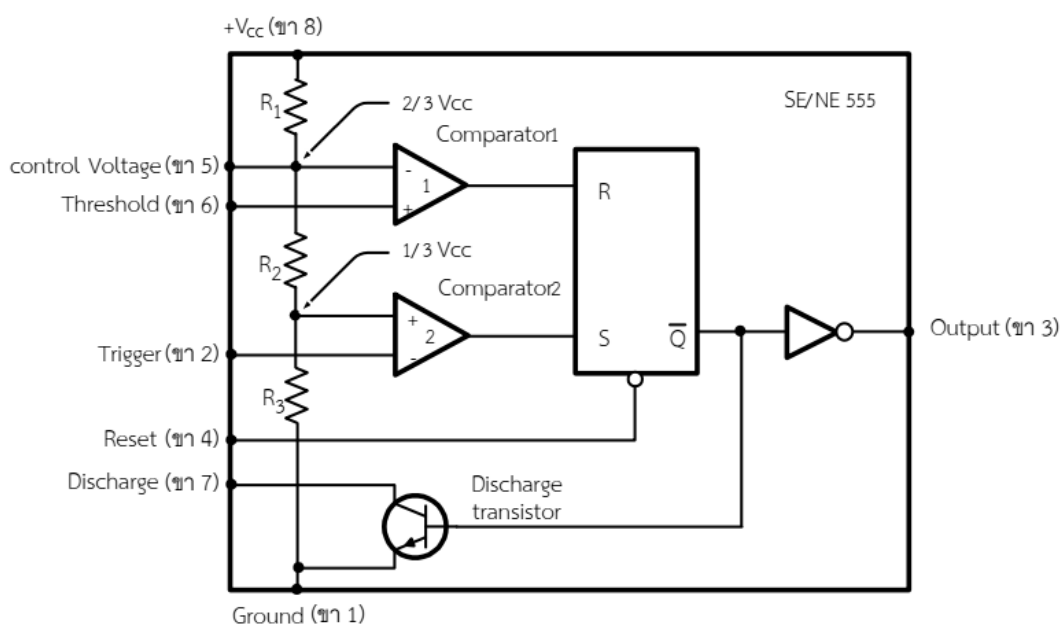
ไอซี 555 สามารถออกแบบเป็นวงจรโมโนสเตเบิล และเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบอะสแตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ได้ ส่วนมากบรรจุในตัวถังเดี่ยวแบบพลาสติกขนาดเล็ก 8 ขา ดังรูปที่ 1.1 ส่วนรูปที่ 1.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่มีอุปกรณ์ภายในต่อเป็นวงจรของการทำงาน โดยจะมีตัวต้านทาน 5 kΩ จำนวน 3 ตัว ซึ่งต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันจากแหล่งจ่าย (Vcc) กับกราวด์ โดยตัวต้านทานตัวกลางสุดจะมีค่าแรงดันที่ 1/3 Vcc และตัวต้านทานตัวกลางจะมีค่าแรงดันที่ 2/3 Vcc เพื่อใช้งานกับวงจรคอมพาราเตอ์ภายในไอซีเพื่อกำหนดการสร้างขอบขาสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 1.1 แสดงตำแหน่งขาการต่อใช้งานของไอซี 555

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 2
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป



รูปที่ 1.2 รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในของไอซี 555
จากรูปที่ 1.2 หน้าที่ของขาสัญญาณของไอซี 555 มีดังนี้


ขา 1 (GND) เป็นกราวด์ของไอซี

ขา 2 (Trigger) เป็นอินพุตรับสัญญาณการกระตุ้นซึ่งต่ออยู่กับตัวเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) ตัวล่าง เมื่อค่าแรงดันอินพุตมีระดับต่ำกว่า $1/3$ ของแรงดันแหล่งจ่าย (VCC) คอมพาราเตอร์จะมีค่าเป็น HIGH ซึ่งถูกใช้เซตตัวฟลิปฟล็อปให้ทำงาน

ขา 3 (Output) เป็นขาเอาต์พุตของไอซี 555 จ่ายกระแสโดยผ่านบัฟเฟอร์อินเวอร์เตอร์ ที่สามารถจ่ายกระแสออกและรับกระแสเข้าจากภายนอกได้ที่ 200 mA ค่าระดับแรงดันเอาต์พุตนั้นขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่จ่ายให้โหลด แต่จะมีค่าโดยประมาณที่ $V_{OH} = V_{CC} - 1.5 \text{ V}$ และ $V_{OL} = 0.1 \text{ V}$

ขา 4 (Reset) เป็นขาอินพุตรีเซ็ต มีการทำงานที่ลอจิก LOW ซึ่งจะบังคับให้เอาต์พุตที่ขา 3 เป็นลอจิก LOW ปกติถ้าไม่ใช้งานจะต่อขานี้ร่วมกับแหล่งจ่ายของวงจร

ขา 5 (Control) เป็นขาควบคุมระดับแรงดันกระตุ้นที่ขานี้ปกติจะมีระดับแรงดันที่ $2/3$ ของแรงดันแหล่งจ่าย ซึ่งแรงดันนี้ใช้เป็นแรงดันอ้างอิงของวงจรเปรียบเทียบแรงดันทางสูง ขานี้สามารถป้องกันแรงดันควบคุมจากภายนอกได้ โดยให้แรงดันอยู่ในช่วงต่ำกว่าแหล่งจ่าย 1 V กรณีที่ไม่มีการต่อแรงดันควบคุมจากภายนอก ให้ใช้ตัวเก็บประจุขนาด $0.01 \mu\text{F}$ ต่อขานี้กับกราวด์ เพื่อลบล้างสัญญาณรบกวนจากสัญญาณภายนอกลงกราวด์ ทำให้วงจรทำงานได้อย่างถูกต้อง

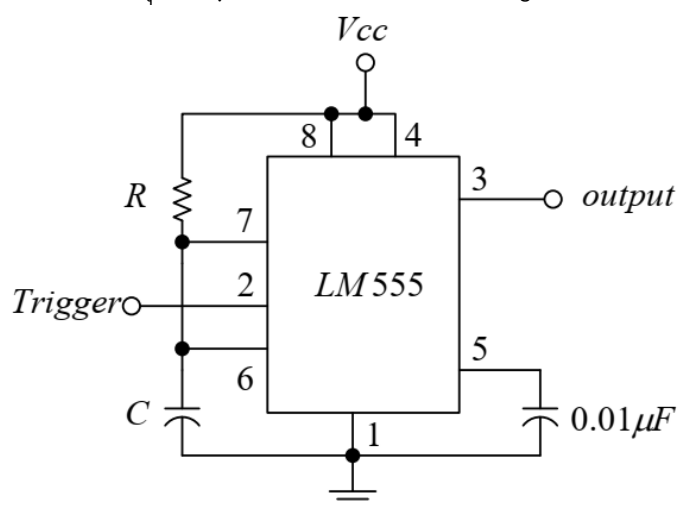
	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 3
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป	

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

ขา 6 (Threshold) เป็นขาอินพุตตัวเปรียบเทียบแรงดันตัวบนใช้สำหรับเปรียบเทียบแรงดันทางสูงเมื่อระดับแรงดันที่ขา 6 สูงถึง $2/3$ ของแรงดันของแหล่งจ่าย ตัวเปรียบเทียบแรงดันจะมีค่าเป็น HIGH ซึ่งถูกใช้รีเซ็ตตัวฟลิปฟล็อป

ขา 7 (Discharge) เป็นขาที่ต่อกับคอลเลคเตอร์เปิดของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ต่อยู่ระหว่างขา 7 กับกราวด์ เมื่อ Q เป็น HIGH (เอาต์พุตขา 3 เป็น LOW) เป็นทางผ่านของกระแสคายประจุจากตัวเก็บประจุภายนอกที่มาต่อไอซี 555

ขา 8 (VCC) เป็นขารับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟตรงโดยใช้ระดับแรงดันอยู่ในช่วง 4.5 V ถึง 18 V การต่อวงจรไอซี 555 ให้ทำงานเป็นวงจรโมโนสเตเบิลมิัลติไวเบรเตอร์ ทำได้โดยต่อแหล่งจ่ายไฟ Vcc เข้าที่ขา 8 และขา 4 (Reset) ขา 1 ให้ต่อกราวด์ของวงจร ส่วนสัญญาณการกระตุ้นการทำงานของวงจรป้อนเข้าที่ขา 2 (Trigger) เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 โดยคาบเวลากำหนดจากการต่อตัวเก็บประจุ (C) เข้าระหว่างขา 7 (Discharge) และขา 6 (Threshold) กับกราวด์ แล้วต่อตัวต้านทาน (R) เข้ากับ Vcc กับขา 6 และขา 7 ส่วนตัวเก็บประจุ $0.01\mu\text{F}$ ต่อระหว่างขา 5 (Voltage Control) กับกราวด์ ดังรูปที่ 1.3




รูปที่ 1.3 แสดงตัวอย่างการต่อวงจรโมโนสเตเบิลมิัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555

จากรูปที่ 1.3 เป็นวงจรโมโนสเตเบิลมิัลติไวเบรเตอร์ด้วยไอซี 555 ที่มีการทำงานแบบไม่สามารถทริกต่อเนื่อง (None Retriggerable) ซึ่งการทำงานจะเริ่มต้นขึ้นใหม่ก็ต่อเมื่อการทำงานเดิมสิ้นสุดลงก่อน ส่วนคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตของวงจรที่จะซ้ำสำหรับเป็นสัญญาณหน่วงเวลา หรือสัญญาณนาฬิกาให้แก่วงจรนับแบบ 1 พัลส์หาได้จากสมการของค่า RC ดังนี้

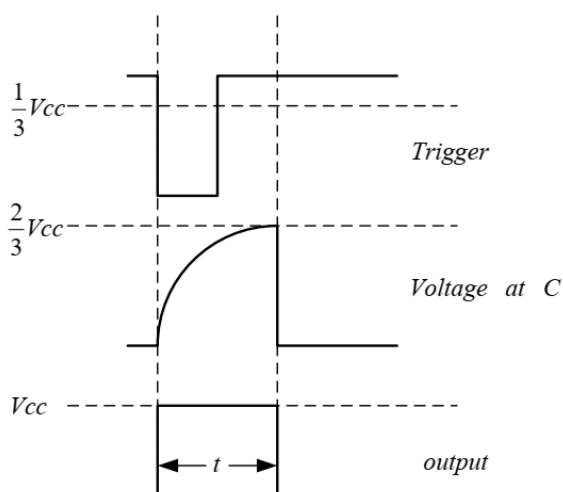
$$t = 1.1RC$$

สมการที่ 1

เมื่อ t คือคาบเวลามีหน่วยเป็นวินาที ส่วน R คือค่าของตัวต้านทาน และ C คือค่าของตัวเก็บประจุ

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 4
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

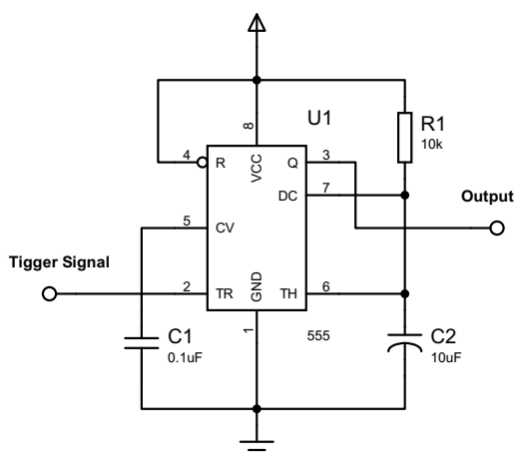


รูปที่ 1.4 แสดงรูปคลื่นสัญญาณการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์


ตัวอย่างที่ 1.1 ให้ออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณลอจิก '1' ที่มีคาบเวลา 110ms โดยใช้ตัวต้านทานค่า 10k Ω

วิธีทำ จาก $t = 1.1RC$
 ดังนั้น $C = \frac{t}{1.1R}$
 $C = \frac{110ms}{1.1 \times 10k\Omega}$
 $C = 10\mu F$

ดังนั้นสามารถต่อวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณลอจิก '1' ที่มีคาบเวลา 110ms เมื่อมีการกระตุ้นจากสัญญาณภายนอกได้ดังนี้



รูปที่ 1.5 แสดงตัวการต่อวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ตามตัวอย่างที่ 1.1

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 5
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

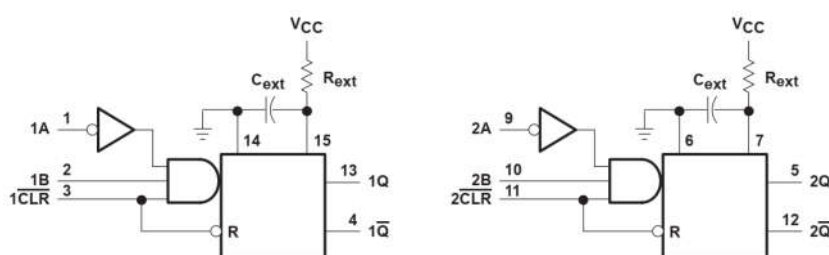
1.1.2 วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์จากไอซีดิจิทัล 74LS123

ไอซีเบอร์ 74LS123 เป็นวงจรหน่วงเวลาชนิดโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrator) จำนวน 2 ชุดในไอซีหนึ่งตัว ซึ่งการทำงานจะขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้าที่แสดงในรูปที่ 1.6 และไอซีดิจิทัล 74LS123 เป็นวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบสามารถทริกต่อเนื่อง (Retriggable) ได้ โดยการทำงานจะเริ่มขึ้นใหม่ทุกครั้งที่มีสัญญาณทริก เป็นผลทำให้สัญญาณออกจะเป็นช่วงลอจิก '1' ตลอดเวลา และช่วงเวลาของลอจิก '1' สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$t = 0.33RC$$

สมการที่ 2

โดยให้กำหนดค่า R ให้อยู่ในช่วง $5k\Omega$ ถึง $180k\Omega$



(ก) แสดงโครงสร้างภายในของไอซี 74LS123

FUNCTION TABLE

CLEAR	A INPUT	B INPUT	Q	\bar{Q}
L	X	X	L	H
X	H	X	L [†]	H [†]
X	X	L	L [†]	H [†]
H	L	↑	LHL [‡]	HLH [§]
H	↓	H	LHL [‡]	HLH [§]
↑	L	H	LHL [‡]	HLH [§]


[†] These lines of the functional tables assume that the indicated steady-state conditions at the A and B inputs have been set up long enough to complete any pulse started before the setup.

[‡] This is a low-to-high-to-low pulse.

[§] This is a high-to-low-to-high pulse.

(ข) แสดงตารางการทำงานของไอซี 74LS123 ตามสัญญาณอินพุตที่กำหนด

รูปที่ 1.6 แสดงโครงสร้างและตารางการทำงานของไอซี 74LS123

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 6
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

ตัวอย่างที่ 1.2 ให้ออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณลอจิก '1' ที่มีคาบเวลา 50ms โดยใช้ตัวเก็บประจุค่า 1 μ F

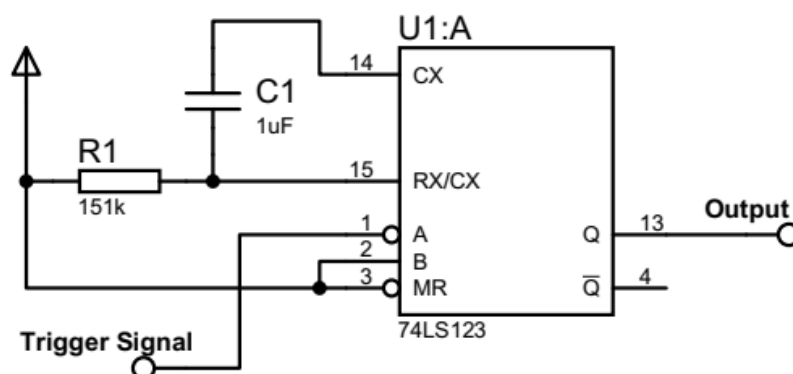
วิธีทำ จาก $t = 0.33RC$

ดังนั้น $R = t/(0.33xC)$

$R = 50ms/(0.33 \times 1\mu F)$

$R = 151,151.151\Omega$


ดังนั้นสามารถต่อวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณลอจิก '1' ที่มีคาบเวลา 50ms เมื่อมีการกระตุ้นจากสัญญาณภายนอกได้ดังนี้



รูปที่ 1.5 แสดงตัวการต่อวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ตามตัวอย่างที่ 1.2

1.2 วงจรไบสเทเบิลมัลติไวเบรเตอร์

วงจรไบสเทเบิลมัลติไวเบรเตอร์ คือวงจรมัลติไวเบรเตอร์ประเภทหนึ่ง ซึ่งมีสถานะการทำงานของเอาต์พุตที่แน่นอนได้สองลักษณะ ปกติวงจรพื้นฐานของวงจรไบสเทเบิลมัลติไวเบรเตอร์จะประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทแอคทีฟ (active element) จำนวน 2 ตัว เช่น อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ หรือเจฟfet เป็นต้น โดยวงจรนี้ถูกนำไปใช้งานในลักษณะของวงจรฟลิปฟล็อป (Flipflop circuit) เพื่อเก็บสถานะของสัญญาณ หรืออาจจะประยุกต์เป็นอุปกรณ์หน่วยความจำตามคุณสมบัติของฟลิปฟล็อป ซึ่งนักศึกษาจะได้ศึกษาต่อไปในหัวข้อของวงจรฟลิปฟล็อป

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 7
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป	

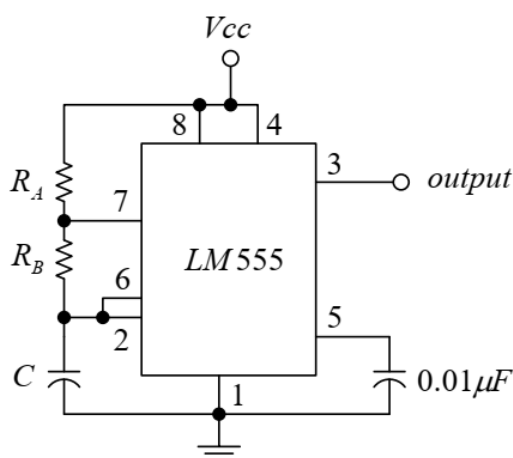
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

1.3 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวก์เบรเตอร์

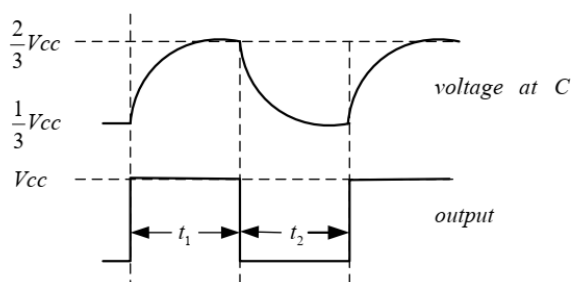
วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวก์เบรเตอร์ หรือวงจรพรีรันนิ่งมัลติไวก์เบรเตอร์ เป็นวงจรที่สร้างสัญญาณนาฬิกาที่กำหนดมาจากสัญญาณพัลส์อย่างต่อเนื่องที่ใช้งานกับวงจรดิจิทัล ซึ่งสามารถกำหนดช่วงเวลาในการกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตที่ค่าต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความกว้างของพัลส์ คาบเวลา ความถี่ เป็นต้น โดยวงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวก์เบรเตอร์ที่กล่าวถึงในหัวข้อนี้จะเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวก์เบรเตอร์ที่สร้างมาจากอุปกรณ์ไอซี 555 เท่านั้น ทั้งแบบค่า Duty Cycle หรือค่าความกว้างพัลส์ที่มีค่าไม่เท่ากับ 50% และค่า Duty Cycle หรือค่าความกว้างพัลส์ที่มีค่าเท่ากับ 50%

1.3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวก์เบรเตอร์ที่สร้างจากไอซี 555 มีค่า Duty Cycle หรือค่าความกว้างพัลส์ที่มีค่าไม่เท่ากับ 50%


จากคุณสมบัติของไอซี 555 ในการสร้างวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวก์เบรเตอร์ ไอซี 555 ยังสามารถต่อวงจรให้ทำงานได้ในรูปแบบของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวก์เบรเตอร์ หรือวงจรพรีรันนิ่งมัลติไวก์เบรเตอร์ดังรูปที่ 1.6 โดยใช้สมการในการหาค่าคาบเวลา $T = t_1 + t_2$ ดังสมการที่ 3



รูปที่ 1.6 รูปแสดงวงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวก์เบรเตอร์ที่ใช้ไอซี 555



รูปที่ 1.7 รูปแสดงสัญญาณการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบมัลติไวก์เบรเตอร์ของไอซี 555

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 8
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

$$T = t_1 + t_2 = 0.693(R_A + 2R_B)C$$

โดย
$$t_1 = 0.693(R_A + R_B)C$$

$$t_2 = 0.693R_B C$$

เมื่อ T คาบเวลาทั้งหมด
$$t_1$$
 คือช่วงเวลาที่เกิดสัญญาณลอจิก '1' และ t_2 คือช่วงเวลาที่เกิดสัญญาณลอจิก '0'
และการหาค่า Duty Cycle หาได้จากสมการ 6
$$D = \frac{t_1}{T}$$

ตัวอย่างที่ 1.3
ให้ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 1kHz โดยใช้ตัวเก็บประจุค่า 1μF และ R_A ค่า 1kΩ และมีค่า Duty Cycle เท่ากับ 60%

วิธีทำ
จาก
$$T = 1/F$$

$$T = 1/1kHz$$

$$T = 1mS$$
และ
$$t_1 = \left(\frac{60}{100}\right) \times 1mS$$

$$t_1 = 0.6mS$$

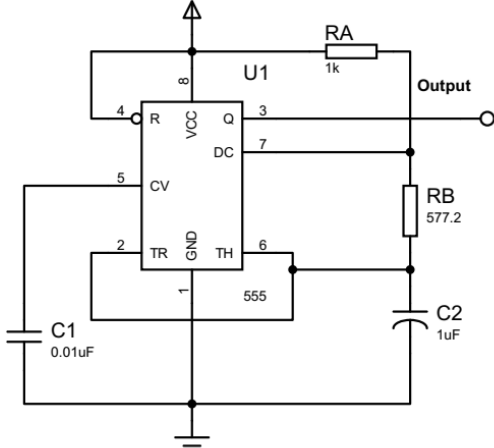
$$t_2 = T - t_1$$

$$t_2 = 1mS - 0.6mS$$


$$t_2 = 0.4mS$$
ดังนั้น
$$R_B = \frac{t_2}{0.693C}$$

$$R_B = \frac{0.4mS}{0.693 \times 1\mu F}$$

$$R_B = 577.2\Omega$$



รูปที่ 1.8 แสดงตัวการต่อวงจรอะอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ตามตัวอย่างที่ 1.3

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 9
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป	

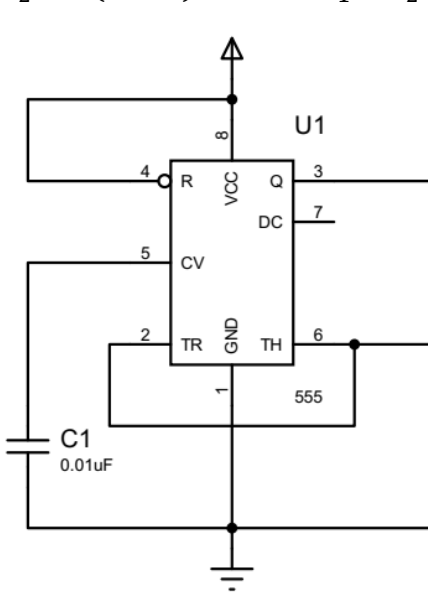
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

1.3.2 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่สร้างจากไอซี 555 มีค่า Duty Cycle หรือค่าความกว้างพัลส์ที่มีค่าเท่ากับ 50%

วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่สร้างจากไอซี 555 มีค่า Duty Cycle หรือค่าความกว้างพัลส์ที่มีค่าเท่ากับ 50% คือวงจรที่มีค่าช่วงเวลา t_1 เท่ากับ t_2 โดยสมการหาค่า T ของวงจรหาได้จากสมการที่ 7

$$T = t_1 + t_2 = 2(0.693)RC \quad \text{เมื่อ } t_1 = t_2$$

สมการที่ 7



รูปที่ 1.9 รูปแสดงวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี 555 และ Duty Cycle มีค่าเท่ากับ 50%

ตัวอย่างที่ 1.4 ให้ออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 1kHz โดยใช้ตัวเก็บประจุค่า 1μF และมีค่า Duty Cycle เท่ากับ 50%

วิธีทำ จาก $T = 1/F$

$T = 1/1\text{kHz}$


$T = 1\text{ms}$

$T = 1.386RC$

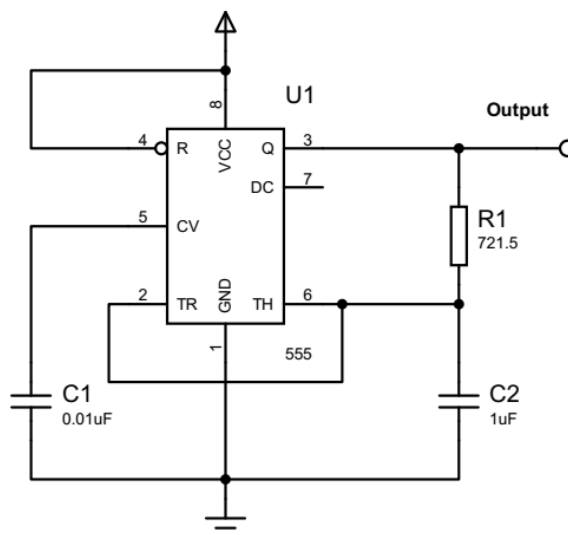
$R = T/(1.386C)$

$R = 1\text{ms}/(1.386 \times 1\mu\text{F})$

$R = 721.5\Omega$

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 10
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop



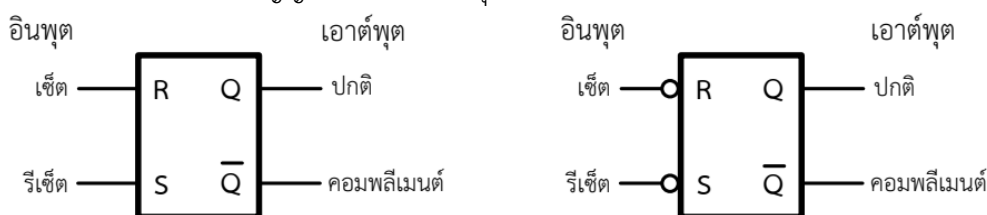
รูปที่ 1.10 แสดงตัวการต่อวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ตามตัวอย่างที่ 1.4

2. วงจรฟลิปฟlop

วงจรฟลิปฟlop (Flip-flop) เป็นวงจรหน่วยความจำพื้นฐาน ซึ่งมีการทำงานเช่นเดียวกับวงจรไบสเทเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ (Bistable multivibrator) โดยมีเอาต์พุตของวงจร 2 สถานะ ได้แก่สถานะเอาต์พุต Set ทำให้ขาสัญญาณ $Q = 1$ และสถานะเอาต์พุต Reset ทำให้ขาสัญญาณ $Q = 0$ นอกจากนี้วงจรฟลิปฟlopอาจมีสัญญาณนาฬิกาในการควบคุมการทำงานของขาสัญญาณเอาต์พุตตามตารางความจริงของฟลิปฟlopชนิดนั้น ๆ โดยฟลิปฟlopสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิดได้แก่

2.1 RS-Flipflop


ลักษณะสมบัติและการทำงานของ อาร์-เอส ฟลิปฟlop เป็นลักษณะของวงจรแบบการป้อนสัญญาณอินพุตจากภายนอกโดยตรงบางครั้งเรียกว่า แลตช์ (Latch) หรือวงจรคงสถานะ ซึ่งจะมี 2 อินพุต คือ อินพุตเซต (S) และ อินพุตรีเซต (R) และการป้อนสัญญาณอินพุต มี 2 ลักษณะ คือ การทำงานที่ลอจิก HIGH และทำงานที่ลอจิก LOW สำหรับเอาต์พุตของ อาร์-เอส ฟลิปฟlop มี 2 เอาต์พุต คือ เอาต์พุตปกติ (Q) และเอาต์พุตคอมพลีเมนต์ (\bar{Q}) ที่มีสถานะลอจิกตรงกันข้ามกับเอาต์พุตปกติเสมอ สำหรับสัญลักษณ์ของ อาร์-เอส ฟลิปฟlop แสดงได้ดังรูปที่ 1.11 และรูปที่ 1.12 เป็นแบบที่มีและไม่มีสัญญาณนาฬิกาควบคุมในการทำงาน



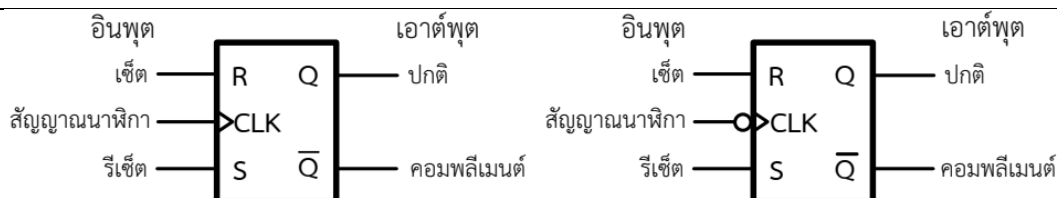
(ก) อินพุตมีการทำงานที่ลอจิก HIGH

(ข) อินพุตมีการทำงานที่ลอจิก LOW

รูปที่ 1.11 สัญลักษณ์ อาร์-เอส ฟลิปฟlop ที่ไม่มีสัญญาณนาฬิกาควบคุม

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 11
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop

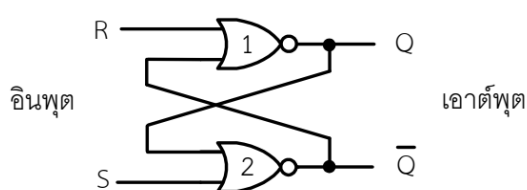


(ก) ทำงานที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา (ข) ทำงานที่ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา

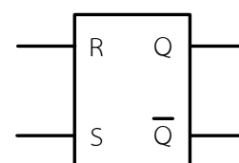
รูปที่ 1.12 สัญลักษณ์ อาร์-เอส ฟลิปฟlop ที่มีสัญญาณนาฬิกาควบคุม

2.1.1 อาร์-เอส ฟลิปฟlop แบบนอร์เกต (Cross-NOR R-S Flip-Flop)

เป็นฟลิปฟlopที่สร้างจากนอร์เกต 2 ตัว ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 1.13 จะเห็นได้ว่าอินพุตและเอาต์พุตของทั้งสองตัวจะต่อไขว้กัน กล่าวคือ เอาต์พุตปกติ (Q) ของนอร์เกตตัวที่ 1 ต่อกับขาอินพุต 1 ของ นอร์เกตตัวที่ 2 ส่วนขาอินพุตที่ 2 จะเป็นขาอินพุต เซต (S) และเอาต์พุตคอมพลิเมนต์ (\bar{Q}) ของนอร์เกตตัวที่ 2 ต่อกับขาอินพุตที่ 2 ของนอร์เกตตัวที่ 1 ส่วนขาอินพุตที่ 1 จะเป็นขาอินพุตรีเซต (R) ซึ่งการทำงานของ อาร์-เอส ฟลิปฟlop แบบนอร์เกต มีอินพุตเป็นลักษณะการทำงานที่ลอจิก HIGH คือ การป้อนลอจิก 1 ที่อินพุตเซต (S) เพื่อกำหนดให้เอาต์พุตปกติ (Q) มีสถานะลอจิกเป็น 1 และการป้อนลอจิก 1 ที่อินพุตรีเซต (R) เพื่อกำหนดให้เอาต์พุตปกติ (Q) มีสถานะลอจิกเป็น 0 เมื่อพิจารณาจากวงจรสามารถเขียนเป็นสมการพีชคณิตบูลีนของเอาต์พุตทั้งสองของฟลิปฟlopได้ดังนี้ $Q = R + \bar{Q}$ และ $\bar{Q} = S + Q$



(ก) วงจรลอจิก




(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 1.13 วงจรลอจิกและสัญลักษณ์ อาร์-เอส ฟลิปฟlopแบบนอร์เกต

โหมดการทำงาน	อินพุต		เอาต์พุต		
	R	S	(Q)	(\bar{Q})	ผลของเอาต์พุต (Q)
Hold	0	0	(Q)	(\bar{Q})	ไม่เปลี่ยนแปลง
Set	0	1	1	0	เซตให้ (Q) เป็น 1
Reset	1	0	0	1	รีเซตให้ (Q) เป็น 0
Prohibited	1	1	0	0	ห้ามใช้งาน

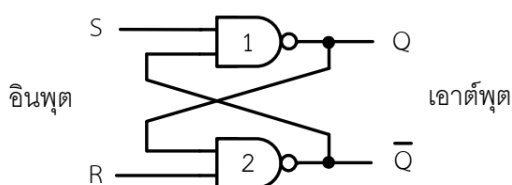
รูปที่ 1.14 แสดงรูปตารางความจริงของ อาร์-เอส ฟลิปฟlop แบบนอร์เกต

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 12
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop		

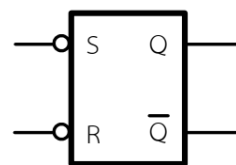
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop

2.1.2 อาร์-เอส ฟลิปฟlop แบบแนนด์เกต (Cross NAND R-S Flip-Flop)

เป็นฟลิปฟlopที่สร้างจากการใช้แนนด์เกตจำนวน 2 ตัว ซึ่งแสดงดังรูป 1.15 จะเห็นว่าแนนด์เกต 2 อินพุต ทั้งสองตัวมีการต่อลักษณะไขว้กัน กล่าวคือ เอาต์พุตปกติ (Q) ของแนนด์เกตตัวที่ 1 ต่อกับขาอินพุต 1 ของแนนด์เกตตัวที่ 2 ส่วนขาอินพุตที่ 2 จะเป็นขาอินพุต รีเซ็ต (R) และเอาต์พุตคอมพลิเมนต์ (\bar{Q}) ของแนนด์เกตตัวที่ 2 ต่อกับขาอินพุตที่ 2 ของแนนด์เกตตัวที่ 1 ส่วนขาอินพุตที่ 1 จะเป็นขาอินพุตเซต (S) ซึ่งการทำงานของ อาร์-เอส ฟลิปฟlop แบบแนนด์เกต สำหรับอินพุตเป็นลักษณะการทำงานที่ลอจิก LOW คือ การบ่อนลอจิก 0 ที่อินพุตเซต เพื่อกำหนดให้เอาต์พุตปกติ (Q) มีสภาวะลอจิกเป็น 1 และบ่อนลอจิก 0 ที่อินพุตรีเซ็ต (R) เพื่อกำหนดให้เอาต์พุตปกติ (Q) มีสภาวะลอจิกเป็น 0 เมื่อพิจารณาจากวงจรสามารถเขียนเป็นสมการพีชคณิตบูลีนของเอาต์พุตทั้งสองของฟลิปฟlopได้ดังนี้ $Q = \bar{R} \cdot \bar{Q}$ และ $\bar{Q} = \bar{S} \cdot Q$



(ก) วงจรลอจิก

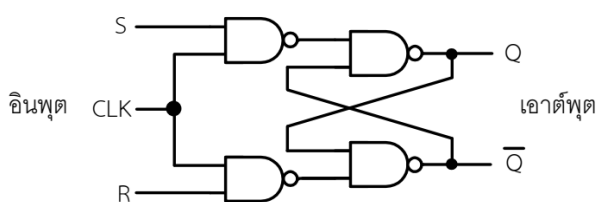


(ข) สัญลักษณ์

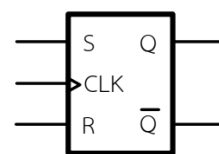
รูปที่ 1.15 วงจรลอจิกและสัญลักษณ์ อาร์-เอส ฟลิปฟlop แบบแนนด์เกต

โหมดการทำงาน	อินพุต		เอาต์พุต		
	S	R	(Q)	(\bar{Q})	ผลของเอาต์พุต (Q)
Prohibited	0	0	1	1	ห้ามใช้งาน
Set	0	1	1	0	เซตให้ (Q) เป็น 1
Reset	1	0	0	1	รีเซ็ตให้ (Q) เป็น 0
Hold	1	1	(Q)	(\bar{Q})	ไม่เปลี่ยนแปลง

รูปที่ 1.16 แสดงรูปตารางความจริงของ อาร์-เอส ฟลิปฟlop แบบแนนด์เกต




(ก) วงจรลอจิก







(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 1.17 วงจรลอจิกและสัญลักษณ์ อาร์-เอส ฟลิปฟlop แบบใช้สัญญาณนาฬิกา

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 13
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop		

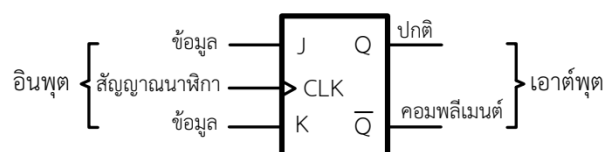
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop

โหมดการทำงาน	อินพุต			เอาต์พุต		
	CLK	R	S	(Q)	(\bar{Q})	ผลของเอาต์พุต (Q)
Hold		0	0	(Q)	(\bar{Q})	ไม่เปลี่ยนแปลง
Set		0	1	1	0	เซ็ตให้ (Q) เป็น 1
Reset		1	0	0	1	รีเซ็ตให้ (Q) เป็น 0
Prohibited		1	1	1	1	ห้ามใช้งาน

รูปที่ 1.18 แสดงรูปตารางความจริงของ อาร์-เอส ฟลิปฟlop แบบแชนด์เกตใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุม

2.2 JK-Flipflop


เจ-เค ฟลิปฟlop หรือเรียกอีกชื่อว่า ยูนิเวอร์แซล ฟลิปฟlop (Universal Flip-Flop) มีสัญลักษณ์ทางลอจิก แสดงดังรูป ที่ 1.19 คือ มี 3 อินพุต ประกอบด้วยอินพุตข้อมูลจำนวน 2 อินพุตได้แก่อินพุต J อินพุต K และอินพุตสัญญาณนาฬิกา 1 อินพุต คือ อินพุต CLK สำหรับเอาต์พุตมี 2 เอาต์พุต คือ เอาต์พุตปกติ (Q) และเอาต์พุตคอมพลีเมนต์ (\bar{Q}) สามารถทำงานแทนฟลิปฟlopแบบ ที ฟลิปฟlop และ อาร์-เอส ฟลิปฟlopได้ แต่จะมีข้อดีกว่า คือ การทำงานในโหมดห้ามใช้งานที่อินพุตมีสภาวะลอจิกเหมือนกันในกรณีของ อาร์-เอส ฟลิปฟlopจะทำให้เอาต์พุตมีสภาวะลอจิกเหมือนกันทำให้เกิดความไม่แน่นอนของการทำงาน แต่ เจ-เค ฟลิปฟlop จะเข้าสู่การทำงานในรูปแบบของ ที ฟลิปฟlop ในโหมดทอกเกิล (Toggle) มีการสลับไปสลับมาของสภาวะลอจิกเอาต์พุตทุกครั้งหลังจากมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามา



รูปที่ 1.19 สัญลักษณ์ของ เจ-เค ฟลิปฟlop

โหมดการทำงาน	อินพุต			เอาต์พุต		
	CLK	J	K	(Q)	(\bar{Q})	ผลของเอาต์พุต (Q)
Hold		0	0	(Q)	(\bar{Q})	ไม่เปลี่ยนแปลง
Reset		0	1	0	1	รีเซ็ตให้ (Q) เป็น 0
Set		1	0	1	0	เซ็ตให้ (Q) เป็น 1
Toggle		1	1	(\bar{Q})	(Q)	เปลี่ยนสภาวะเป็นตรงกันข้าม

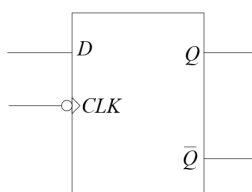
รูปที่ 1.20 แสดงรูปตารางความจริงของ เจ-เค ฟลิปฟlop

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 14
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop		



ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop

2.3 D-Flipflop

ดี ฟลิปฟlop เป็นฟลิปฟlop ที่มีสถานะทางเอาต์พุตของสัญญาณ Q ขึ้นอยู่กับสถานะลอจิกของสัญญาณอินพุต D โดยควบคุมด้วยสัญญาณ CLK ดังรูปที่ 1.21



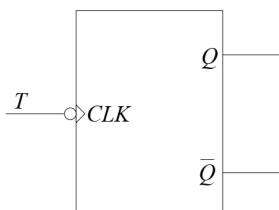
รูปที่ 1.21 แสดงสัญลักษณ์ของ ดี ฟลิปฟlop ที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณนาฬิกาขอบขาลง

อินพุต		เอาต์พุต	
CLK	D	Q_{n+1}	\bar{Q}_{n+1}
	0	0	1
	1	1	0
0	x	Q_n	\bar{Q}_n


รูปที่ 1.22 แสดงรูปตารางความจริงของ ดี ฟลิปฟlop ที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้น

2.4 T-Flipflop

ที ฟลิปฟlop หรือท็อกเกิล ฟลิปฟlop เป็นฟลิปฟlop ที่มีการเปลี่ยนสถานะทางเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเป็นตรงกันข้ามกันทุก ๆ ครั้งที่มีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาระดับขึ้น คือ ถ้าเดิม Q เป็นสถานะ “1” และ (\bar{Q}) มีสถานะเป็น “0” และเมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาระดับขึ้น 1 ลูก เอาต์พุต Q จะเปลี่ยนสถานะเป็น “0” และ (\bar{Q}) จะมีเปลี่ยนสถานะเป็น “1” ดังรูปที่ 1.24 รูปแสดงตารางความจริงของ ที ฟลิปฟlop



รูปที่ 1.23 แสดงสัญลักษณ์ของ ที ฟลิปฟlop

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 15
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป	

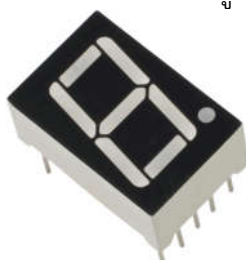
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

CLK	Q_{n+1}
\uparrow หรือ \downarrow	\bar{Q}_n

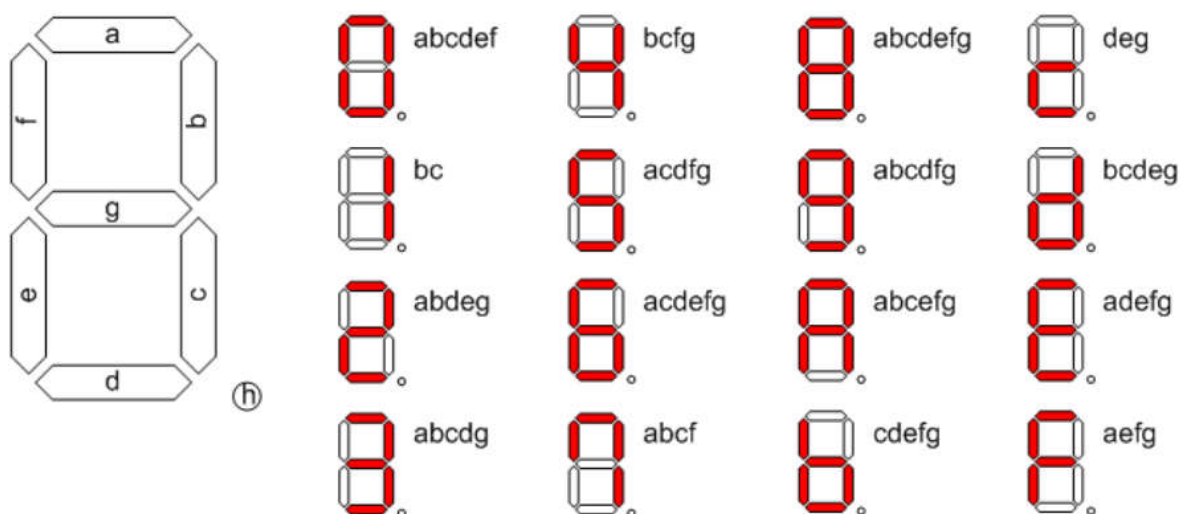
รูปที่ 1.24 แสดงรูปตารางความจริงของ ที ฟลิปฟล็อป

3. อุปกรณ์ 7-Segment


7-Segment คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแสดงผลตัวเลข หรือตัวอักษร โดยตัวอักษรสามารถแสดงผลได้แค่บางตัวเท่านั้น หน้าจอของอุปกรณ์ 7-segment สร้างมาจากอุปกรณ์ LED จัดวางในรูปเลข 8 และมีจุด เมื่อทำให้อุปกรณ์ LED ทำงานก็จะทำให้เกิดการแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขทรงเหลี่ยมในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งอุปกรณ์ 7-Segment จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่ ชนิดคอมมอน Cathode และชนิดคอมมอน Anode แต่ขนาดของการแสดงผล และแพ็คเกจของอุปกรณ์ จะมีหลากหลายขนาด ขึ้นอยู่กับความต้องการของการนำไปใช้งาน



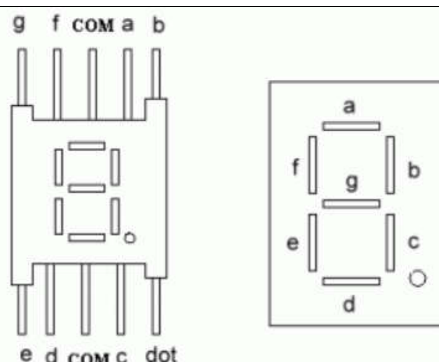
รูปที่ 1.26 รูปร่างหน้าตาของอุปกรณ์ 7-Segment ขนาด 0.56 นิ้วจำนวน 1 หลัก
(ที่มา tandyonline.co.uk)



รูปที่ 1.27 รูปแสดงอุปกรณ์ 7-Segment ทำการแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขต่าง ๆ ในระบบเลขฐาน 16
(ที่มา maruen.tistory.com)

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 16
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรพลิกฟลอป		

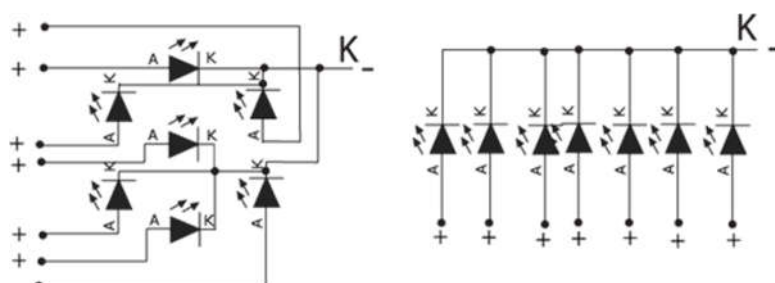
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรพลิกฟลอป



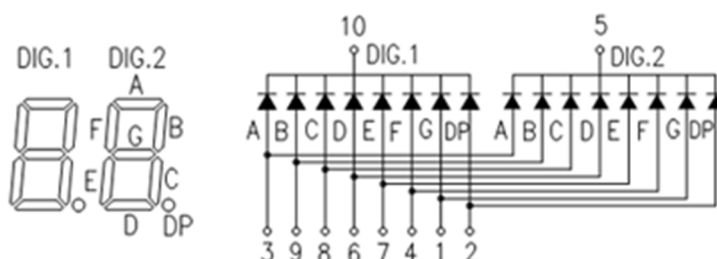
รูปที่ 1.28 รูปแสดงตำแหน่งขาของอุปกรณ์ 7-Segment และการจัดวางตำแหน่งของ LED บนจอแสดงผล (ที่มา projectcircuitpack.yolasite.com)

3.1 7-Segment ชนิดคอมมอน Cathode


7-Segment ชนิดคอมมอน Cathode คือการนำเอาขาคาโทดของอุปกรณ์ LED แต่ละตัวมาต่อร่วมกันเป็นจุดร่วม (Common) เพื่อนำมาต่อกับลอจิก '0' หรือ GND ส่วนขาแอนโนดของอุปกรณ์ LED แต่ละตัวจะใช้สำหรับต่อกับชุดข้อมูลค่าที่ต้องการให้อุปกรณ์ 7-Segment แสดงผลเป็นตัวลหรือตัวอักษร โดยจะทำงานที่ลอจิก '1'



รูปที่ 1.29 แสดงโครงสร้างภายในของอุปกรณ์ 7-Segment ชนิดคอมมอน Cathode ขนาด 1 หลัก



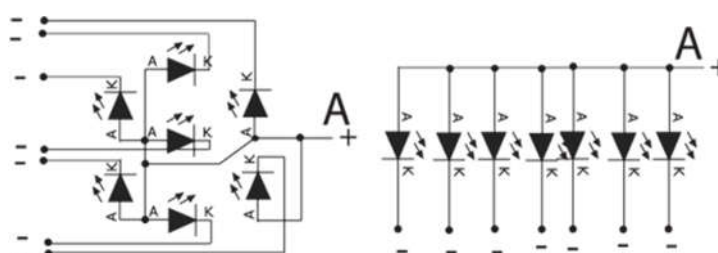
รูปที่ 1.30 แสดงโครงสร้างภายในของอุปกรณ์ 7-Segment ชนิดคอมมอน Cathode ขนาด 2 หลัก

	ใบเนื้อหา	หน้าที่ 17
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป	

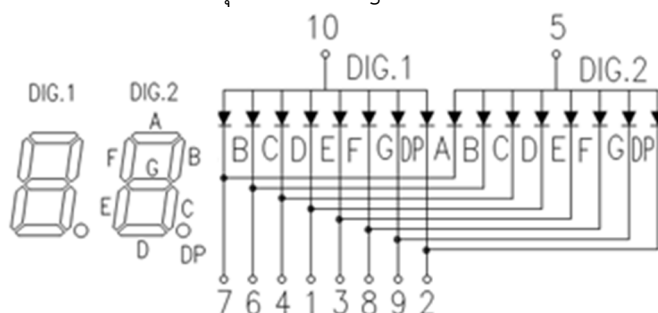
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

3.2 7-Segment ชนิดคอมมอน Anode

7-Segment ชนิดคอมมอน Anode คือการนำเอาขาอาโนดของอุปกรณ์ LED แต่ละตัวมาต่อร่วมกันเป็นจุดร่วม (Common) เพื่อนำมาต่อกับลอจิก '1' หรือ Vcc ส่วนขาคาโทดของอุปกรณ์ LED แต่ละตัวจะใช้สำหรับต่อกับชุดข้อมูลดาต้าที่ต้องการให้อุปกรณ์ 7-Segment แสดงผลเป็นตัวลขหรือตัวอักษร โดยจะทำงานที่ลอจิก '0'

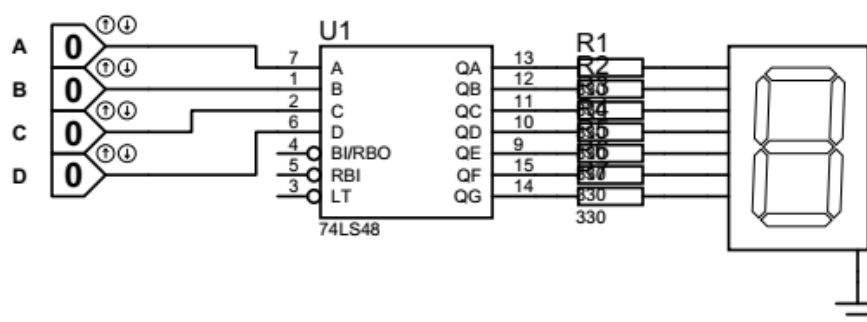


รูปที่ 1.31 แสดงโครงสร้างภายในของอุปกรณ์ 7-Segment ชนิดคอมมอน Anode ขนาด 1 หลัก




รูปที่ 1.32 แสดงโครงสร้างภายในของอุปกรณ์ 7-Segment ชนิดคอมมอน Anode ขนาด 2 หลัก
การต่อใช้งานอุปกรณ์ 7-Segment จะด้วยกัน 2 ลักษณะคือ

1. การส่งดาต้าแบบแลตช์ (Latch Data) คือการส่งข้อมูลไปยังขา Segment ของอุปกรณ์ 7-Segment ให้คงสถานะไว้จนกว่าจะมีการแสดงผลด้วยข้อมูลตัวต่อไป ส่วนใหญ่จะใช้กับการแสดงผลที่ผ่านอุปกรณ์ควบคุมการแสดงผลของ 7-Segment เช่นไอซี 74LS47 (ใช้กับอุปกรณ์ 7-Segment ชนิดคอมมอน Anode) และ 74LS48 (ใช้กับอุปกรณ์ 7-Segment ชนิดคอมมอน Cathode) เป็นต้น

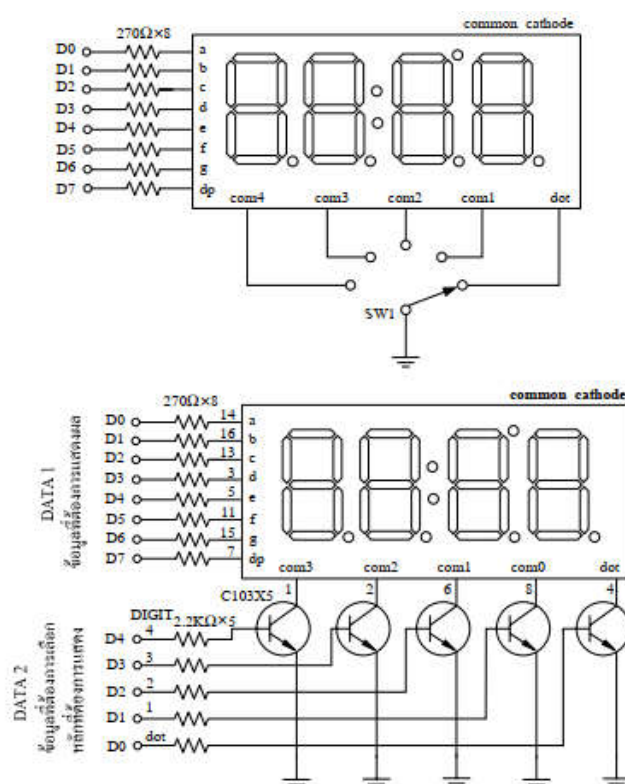


รูปที่ 1.33 แสดงการต่ออุปกรณ์ 7-Segment แบบการส่งดาต้าแบบแลตช์ (Latch Data)

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 18
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop


2. การแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์ หรือ มัลติสแกน คือการส่งข้อมูลไปยังขา Segment ของอุปกรณ์ 7-Segment ให้คงสถานะไว้ตามคาบเวลาที่ส่งข้อมูลไปควบคุมที่ขาคอมมอนของหลักนั้น ๆ จากนั้นให้ทำการส่งข้อมูลไปยังขา Segment ของอุปกรณ์ 7-Segment ด้วยข้อมูลของตัวเลขของหลักถัดไป และให้คงสถานะไว้ตามคาบเวลาที่ส่งข้อมูลไปควบคุมที่ขาคอมมอนของหลักนั้น ๆ แล้วทำการวนรอบการทำงานให้ได้ประมาณ 25 เฟรมต่อวินาที



รูปที่ 1.34 แสดงการต่ออุปกรณ์ 7-Segment แบบมัลติเพล็กซ์ หรือ มัลติสแกน

4. การออกแบบวงจรนับ

การออกแบบวงจรนับ คือการนำอุปกรณ์ฟลิปฟlopมาต่อประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรนับในระบบเลขฐานสอง หรืออาจจะนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของวงจรหารสัญญาณก็ได้ ซึ่งการออกแบบวงจรนับส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ J-K Flipflop มาประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรนับมากที่สุด ซึ่งการออกแบบวงจรนับจะมี 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ การออกแบบวงจรนับแบบอะซิงโครนัส และการออกแบบวงจรนับแบบซิงโครนัส

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 19
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop		

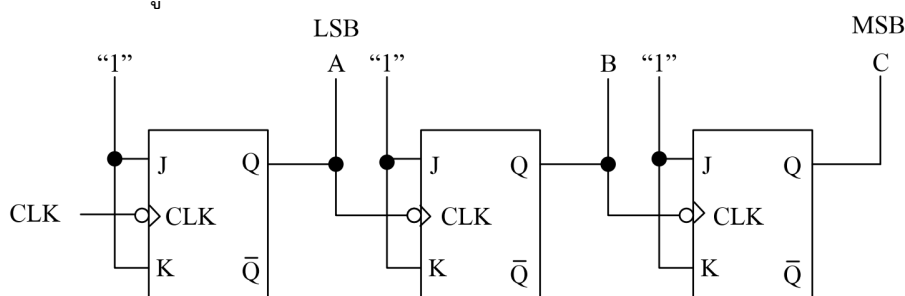
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop

4.1 วงจรนับแบบอะซิงโครนัส

วงจรนับแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Counter) แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบดังนี้

4.1.1 วงจรนับชนิดเลขฐานสอง (Binary Ripple Counter)

วงจรนับชนิดเลขฐานสอง (Binary Ripple Counter) เป็นวงจรนับแบบอะซิงโครนัส ที่นำวงจร เจ-เค ฟลิปฟlop มาประกอบเป็นวงจร ที่ ฟลิปฟlop แล้วนำมาต่ออนุกรมกัน โดยป้อนสัญญาณนาฬิกาเป็นสัญญาณ ควบคุมให้กับฟลิปฟlop ตัวแรก และนำเอาต์พุตของฟลิปฟlop ของตัวแรกป้อนเป็นสัญญาณนาฬิกาของฟลิปฟlop ตัวต่อไปจนครบทุกตัวเอาต์พุตของวงจรนับเป็นเลขฐานสองคือ Q ของฟลิปฟlop ทุกตัว โดยที่ Q ของฟลิปฟlop ตัวแรกจะเป็นบิตต่ำสุด จำนวนครั้งของการนับจะขึ้นอยู่กับจำนวนฟลิปฟlop ตามสูตร 2^n โดย n คือจำนวนของ ฟลิปฟlop วงจรนับเลขฐานสอง (Binary Ripple Counter) เป็นวงจรนับที่เป็นแบบพื้นฐานที่สุด สามารถสร้างขึ้นได้ดังรูปที่ 1.35 และมีการทำงานดังรูปตารางที่ 1.36



รูปที่ 1.35 วงจรนับเลขฐานสอง (000)₂ ถึง (111)₂

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงการนับเลขฐานสองของวงจรในรูปที่ 1.35

สัญญาณนาฬิกาอินพุต		Output			ลำดับการนับ
ลำดับที่	รูปสัญญาณ	Q _C	Q _B	Q _A	
0		0	0	0	0
1		0	0	1	1
2		0	1	0	2
3		0	1	1	3
4		1	0	0	4
5		1	0	1	5
6		1	1	0	6
7		1	1	1	7

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 20
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

เอาต์พุตของวงจรนับจะแสดงการนับที่ขาสัญญาณเอาต์พุต Q ของฟลิปฟล็อปแต่ละตัวเป็น Q_A Q_B และ Q_C ตามลำดับ โดยผลของการนับสามารถนำมาเขียนเป็นไดอะแกรมเวลาของวงจรนับเลขฐานสองดังรูปที่ 1.36



รูปที่ 1.36 แสดงไดอะแกรมเวลาของการนับเลขฐานสอง (Binary Ripple Counter) จำนวน 3 บิต

จากการทำงานของวงจรนับในรูปที่ 1.35 จะพบว่าวงจรสามารถนับได้สูงสุดเท่ากับ $(111)_2$ หรือ $(7)_{10}$ แล้วถ้าเราเพิ่มฟลิปฟล็อปขึ้นอีกเป็น 4 ตัว จะทำให้สามารถนับได้ถึง $(1111)_2$ หรือ $(15)_{10}$ และถ้าเราเพิ่มฟลิปฟล็อปเป็น n ตัว ก็จะสามารถนับได้ 2^n คือสามารถนับได้ตั้งแต่ 0 ถึง $(2^n - 1)$ และทุก ๆ ตัวของฟลิปฟล็อปจะมีค่า Delay Time เกิดขึ้น ค่า Delay Time ของวงจรจะเท่ากับจำนวนบิตของการนับ ซึ่งเรียกว่า Propagation Delay เราสามารถสรุปได้ว่า ค่าสูงสุดที่วงจรนับใด ๆ สามารถนับได้มีค่าสูงสุดเท่ากับ $2^n - 1$ เมื่อ n คือจำนวนฟลิปฟล็อป

4.1.2 วงจรนับแบบโมดูลัส (Modulus Counter)

จากวงจรนับในรูปที่ 1.35 มีสถานะของการนับที่แตกต่างกันจำนวน 8 สถานะ (000_2 ถึง 111_2) หรือเรียกว่าวงจรนับแบบ มอด 8 (MOD – 8) จะเห็นว่าจำนวนมอดจะเท่ากับจำนวนสถานะที่วงจรนับครบรอบสมบูรณ์ก่อนที่จะนับรอบใหม่ ดังนั้นตัวเลขที่สามารถนับได้สูงสุด คือ $2^n - 1$ และสามารถออกแบบให้สามารถนับเป็นวงจรมอดอื่น ๆ ได้ ซึ่งในรูปที่ 1.37 เป็นวงจรมอด 6 เป็นวงจรที่เริ่มนับตั้งแต่ $(000)_2$ ถึง $(101)_2$ แล้วใช้เอาต์พุตที่สถานะ $(110)_2$ ต่อเข้ากับอินพุตของแนนท์เกต และนำเอาต์พุตของแนนท์เกตกลับไปเคลียร์ฟลิปฟล็อปทุกตัวที่ขา CLR ของฟลิปฟล็อปเพื่อให้วงจรเริ่มนับที่ตำแหน่ง $(000)_2$ ใหม่ โดยมีตารางการนับของวงจรมอด 6 ดังตารางที่ 1.2 และมีไดอะแกรมเวลาดังรูปที่ 1.38



ใบเนื้อหา

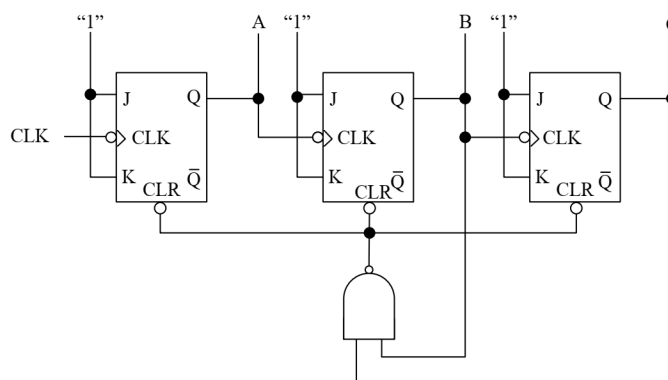
หน้าที่ 21

ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004

หน่วยที่ 3

ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

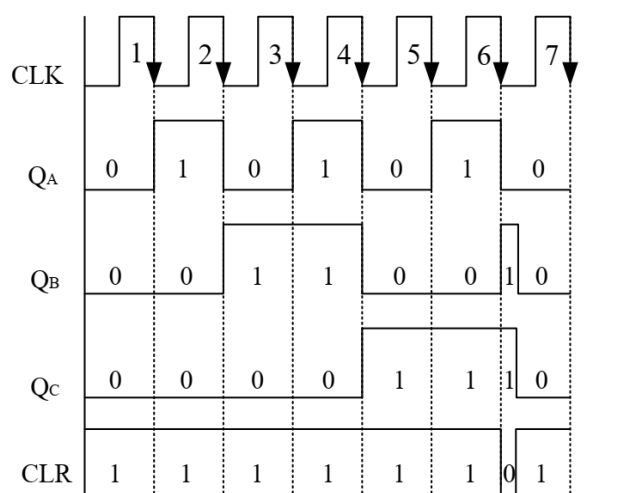
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป




รูปที่ 1.37 รูปวงจรนับแบบมอด 6

ตารางที่ 1.2 ตารางแสดงการนับเลขฐานสองแบบมอด 6 ในรูปที่ 1.37

สัญญาณนาฬิกาอินพุต		Output			ลำดับการนับ
ลำดับที่	รูปสัญญาณ	Q _C	Q _B	Q _A	
0		0	0	0	0
1		0	0	1	1
2		0	1	0	2
3		0	1	1	3
4		1	0	0	4
5		1	0	1	5
6		1	1	0	6(Reset)



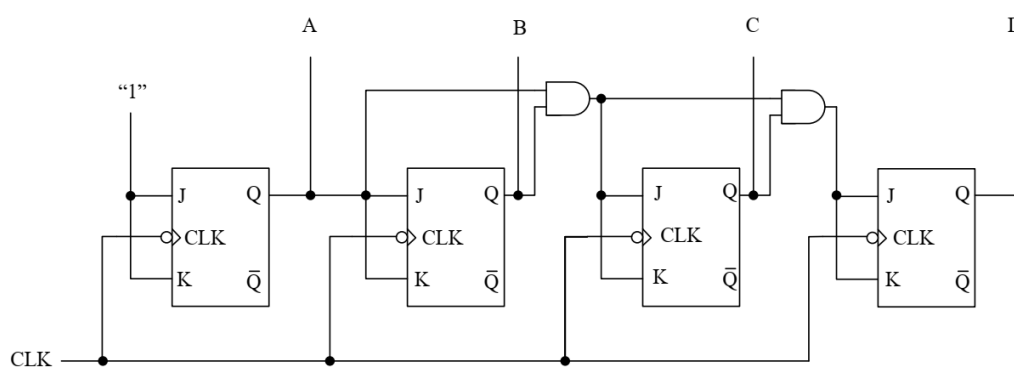
รูปที่ 1.38 แสดงไทม์ไลน์ของการนับเลขฐานสองแบบมอด 6 จำนวน 3 บิต

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 22
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟlop

4.2 วงจรนับแบบซิงโครนัส

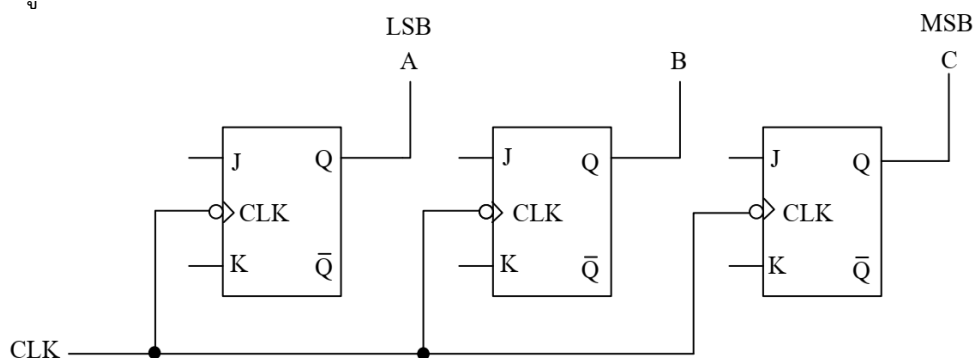
วงจรนับแบบอะซิงโครนัส ฟลิปฟlopจะไม่เปลี่ยนสภาวะพร้อมกับสัญญาณนาฬิกา ซึ่งข้อจำกัดนี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้วงจรนับแบบซิงโครนัส หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจรนับแบบขนาน (Parallel Counters) ซึ่งฟลิปฟlopทุกตัวถูกระตุ้นพร้อมกันโดยอินพุตของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นเมื่อฟลิปฟlopทุกตัวต่อกับสัญญาณนาฬิกาเราต้องควบคุมการเปลี่ยนสภาวะของฟลิปฟlop โดยอินพุต J และ K ดังรูปที่ 1.39 แสดงวงจรนับแบบซิงโครนัสมอด 16 (Synchronous MOD 16 Counters)




รูปที่ 1.39 รูปวงจรนับแบบซิงโครนัสมอด 16

การออกแบบวงจรนับแบบซิงโครนัส (Synchronous Counter) โดยใช้ JK-FF ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ให้พิจารณาว่าจะใช้ฟลิปฟlopจำนวนกี่ตัว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ต้องการนับ ในตัวอย่างนี้เป็นวงจรนับ $0_{10} - 7_{10}$ คือ $(000_2 - 111_2)$ คือการนับเลขจำนวน 3 บิตของเลขฐานสอง แสดงว่าต้องใช้ JK-FF จำนวน 3 ตัว ดังรูปที่ 1.40

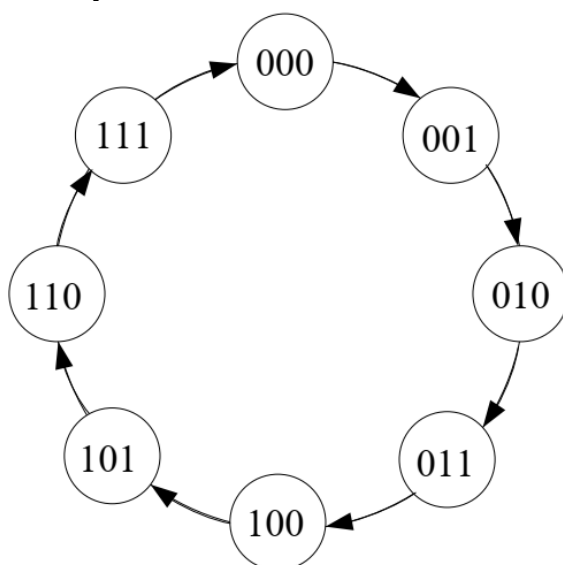


รูปที่ 1.40 วงจรนับแบบอะซิงโครนัสที่ใช้ JK-FF จำนวน 3 ตัว

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 23
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

จากรูปที่ 1.40 ต่อขาคล็อกของ JK-FF เข้าด้วยกันเพื่อป้อนสัญญาณนาฬิกา ส่วนขาเอาต์พุตประกอบด้วย Q_A , Q_B และ Q_C และขาของอินพุตประกอบด้วย J_A , K_A , J_B , K_B , J_C และ K_C ยังไม่ต้องกำหนดว่า จะต้องต่อกับอะไร โดยจะขึ้นอยู่กับารออกแบบของวงจร ซึ่งในตัวอย่างจะนับตั้งแต่ $(000)_2$ ถึง $(111)_2$ และสามารถเขียน State Transition Diagram ได้ดังรูปที่ 1.41




รูปที่ 1.41 State Transition Diagram ของการนับ 000_2 ถึง 111_2

2. พิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุต อันเกิดจากสภาวะอินพุตของ J และ K ดังรูปตารางที่ 1.42

การเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุต		สภาวะที่อินพุต	
Q_n	Q_{n+1}	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

รูปที่ 1.42 แสดงรูปตารางการเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุตเนื่องมาจากสภาวะอินพุต JK

3. ให้พิจารณาเหตุการณ์ที่เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงจาก 000_2 เป็น 001_2 แล้วสภาวะของอินพุต J_A , K_A , J_B , K_B , J_C และ K_C อยู่ในสภาวะอะไรให้บันทึกผลในรูปตารางที่ 1.43

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 24
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป


การเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุต						สถานะที่อินพุต					
สถานะปัจจุบัน(Q_n)			สถานะต่อไป(Q_{n+1})			J_C	K_C	J_B	K_B	J_A	K_A
Q_C	Q_B	Q_A	Q_C	Q_B	Q_A						
0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	1	0	1	0						
0	1	0	0	1	1						
0	1	1	1	0	0						
1	0	0	1	0	1						
1	0	1	1	1	0						
1	1	0	1	1	1						
1	1	1	0	0	0						

รูปที่ 1.43 รูปตารางบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตที่สถานะอินพุตของ JK

เอาต์พุต Q_C สถานะปัจจุบันเป็น '0' ในสถานะต่อไปเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา (Clock) 1 ลูก เอาต์พุต Q_C จะมีสถานะเป็น '0' อยู่ซึ่งจากตารางความจริงของ JK-FF จะได้ J มีสถานะเป็น '0' และ K มีสถานะ 'X' ซึ่งจะทำให้ได้ $J_C = '0'$ และ $K_C = 'X'$

เอาต์พุต Q_B สถานะปัจจุบันเป็น '0' ในสถานะต่อไปเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา (Clock) 1 ลูก เอาต์พุต Q_B จะมีสถานะเป็น '0' อยู่ซึ่งจากตารางความจริงของ JK-FF จะได้ J มีสถานะเป็น '0' และ K มีสถานะ 'X' ซึ่งจะทำให้ได้ $J_B = '0'$ และ $K_B = 'X'$

เอาต์พุต Q_A สถานะปัจจุบันเป็น '0' ในสถานะต่อไปเมื่อมีสัญญาณนาฬิกา (Clock) 1 ลูก เอาต์พุต Q_A จะมีสถานะเป็น "1" ซึ่งจากตารางความจริงของ JK-FF จะได้ J มีสถานะเป็น '1' และ K มีสถานะ 'X' ซึ่งจะทำให้ได้ $J_A = '1'$, และ $K_A = 'X'$ เมื่อพิจารณาทุกเหตุการณ์ที่เอาต์พุตจะได้ผลลัพธ์ตามรูปตารางรูปที่ 1.44

	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 25
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

การเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุต						สถานะที่อินพุต					
สถานะปัจจุบัน(Q_n)			สถานะต่อไป(Q_{n+1})			J_C	K_C	J_B	K_B	J_A	K_A
Q_C	Q_B	Q_A	Q_C	Q_B	Q_A						
0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X	X	1
0	1	0	0	1	1	0	X	X	0	1	X
0	1	1	1	0	0	1	X	X	1	X	1
1	0	0	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	1	1	1	X	0	X	0	1	X
1	1	1	0	0	0	X	1	X	1	X	1

รูปที่ 1.44 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตที่สถานะอินพุตของ JK ของวงจรนับแบบซิงโครนัส

4. เขียนสมการที่อินพุต J และ K ของฟลิปฟล็อปแต่ละตัวจากตารางความจริง และทำการลดรูปสมการลอจิกด้วย K-Map ดังรูปที่ 1.45


$J_C = A \bullet B$

$K_C = A \bullet B$

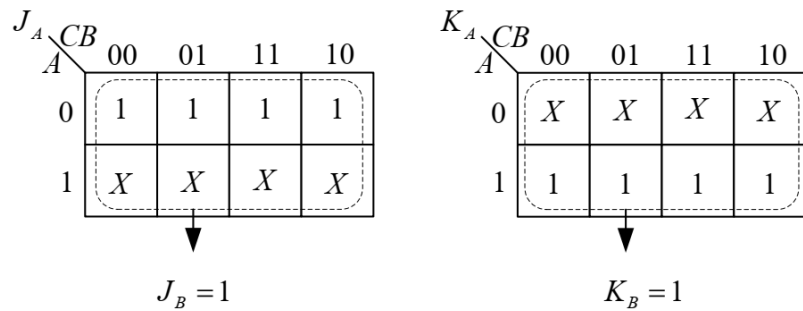
$J_B = A$

$K_B = A$

รูปที่ 1.45 การหาค่าสมการลอจิกที่ขาอินพุต J และ K ของฟลิปฟล็อป

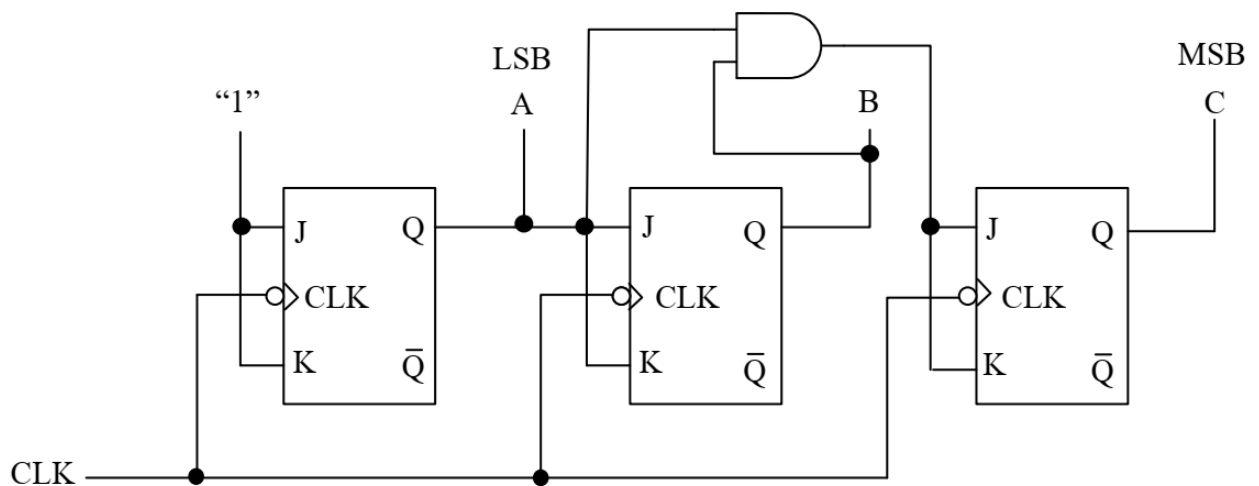
	ใบเนื้อหา		หน้าที่ 26
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004		หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป




รูปที่ 1.45 การหาค่าสมการลอจิกที่ขาอินพุต J และ K ของฟลิปฟล็อป (ต่อ)

5. เขียนวงจรลอจิกจากการลดรูปสมการในข้อที่ 4 ได้วงจรดังรูปที่ 1.46



รูปที่ 1.46 วงจรนับขึ้นแบบซิงโครนัสขนาด 3 บิต นับ $000_2 - 111_2$

การออกแบบวงจรนับนอกจากจะใช้ไอซีฟลิปฟล็อปแล้วยังสามารถใช้ไอซีดิจิทัลเบอร์ 74LS90 และไอซีดิจิทัลเบอร์ 74LS93 ในการออกแบบวงจรนับแบบอะซิงโครนัสได้ โดยสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเอกสารรายละเอียดของอุปกรณ์นั้น ๆ

	แบบฝึกหัด	หน้าที่ 1
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป	

ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป

คำสั่ง จงตอบคำถามต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

- จงอธิบายลักษณะการทำงานของวงจรมัลติไวเบรเตอร์
.....
.....
.....
- วงจรมัลติไวเบรเตอร์มีกี่ชนิด อะไรบ้าง
.....
.....
.....
- จงออกแบบวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่มีคาบเวลาของลอจิก '1' เท่ากับ 10ms และใช้ตัวเก็บประจุค่า 0.1μF โดยใช้ไอซี 555
.....
.....
.....
- จงออกแบบวงจรแอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่มีความถี่ 2kHz Duty Cycle 70% และใช้ตัวเก็บประจุค่า 0.1μF โดยใช้ไอซี 555
.....
.....
.....
- จงออกแบบวงจรแอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ที่มีความถี่ 500Hz Duty Cycle 50% และใช้ตัวเก็บประจุค่า 0.1μF โดยใช้ไอซี 555
.....
.....
.....
- จงอธิบายลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ฟลิปฟล็อป
.....
.....
.....
- ฟลิปฟล็อปมีกี่ชนิด อะไรบ้าง
.....
.....
.....

	แบบฝึกหัด	หน้าที่ 2
	ชื่อวิชา ดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์ รหัสวิชา 30127-2004	หน่วยที่ 3
	ชื่อหน่วย สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป	
ชื่อเรื่อง สัญญาณนาฬิกา และวงจรฟลิปฟล็อป		
<p>8. จงอธิบายข้อแตกต่างระหว่างอุปกรณ์ 7-Segment ชนิด Common Cathode และ Common Anode</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>9. จงออกแบบวงจรนับแบบอะซิงโครนัสชนิดนับขึ้นแบบมอด 10</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>10. จงออกแบบวงจรนับแบบซิงโครนัสชนิดนับเลขฐานสองแบบนับลงค่า $7_{10} - 0_{10}$</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		