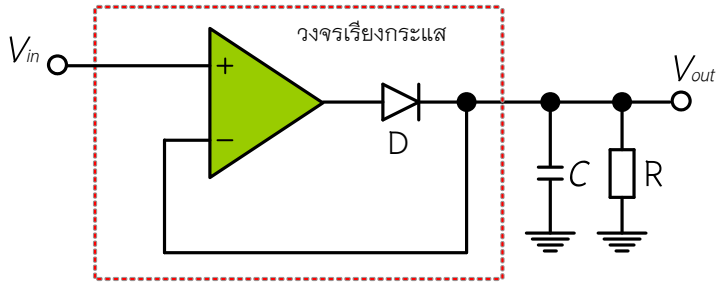
# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากประโยชน์และความสำคัญของวงจรหาค่าแอมพลิจูดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ดังนั้นที่ผ่านมาจึงได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาออกแบบวงจรหาค่าแอมพลิจูด โดยได้มีการนำเสนอผลงานการออกแบบวงจรผ่านการประชุมวิชาการ และวารสารทางวิชาการ รวมทั้งการจดสิทธิบัตรเพื่อประโยชน์ทางการค้าไว้หลายหลักการ ดังนั้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในบทนี้จึงเป็นการอธิบายถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและหลักการวงจรกลุ่มย่อยที่สำคัญต่างๆ ซึ่งจะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของวงจรหาค่าแอมพลิจูดในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

## 2.1 หลักการออกแบบวงจรหาค่าแอมพลิจูดที่น่าสนใจที่ผ่านมา

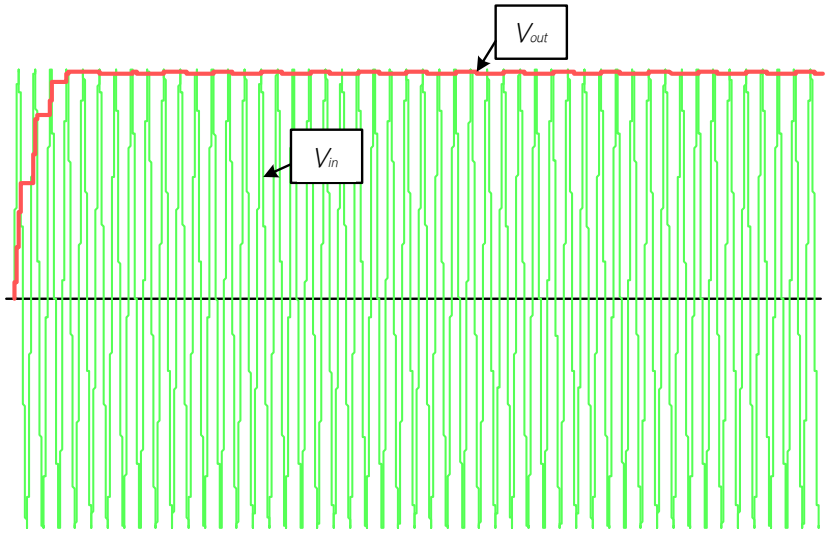
### 2.1.1 การใช้วงจรเรียงกระแสต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน [9–10]

ภาพ 2.1(ก) แสดงตัวอย่างวงจรหาค่าแอมพลิจูดโดยใช้วงจรเรียงกระแสต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ข้อดีของหลักการดังกล่าวนี้คือสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสัญญาณอินพุตความถี่สูงได้ดี แต่ก็จะมีข้อจำกัดอยู่ที่ในช่วงเริ่มต้นจะต้องใช้เวลาหลายคาบของสัญญาณอินพุตก่อนที่จะให้ผลการทำงานที่ถูกต้องออกมา นอกจากนี้ในขณะที่ในขณะที่แอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตมีค่าคงที่ แต่ตัววงจรจะให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีลักษณะกระเพื่อมอยู่เล็กน้อย ดังแสดงในภาพ 2.1(ข)




(ก) วงจร

ภาพ 2.1 ตัวอย่างวงจรหาค่าแอมพลิจูดโดยใช้วงจรเรียงกระแส
ต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

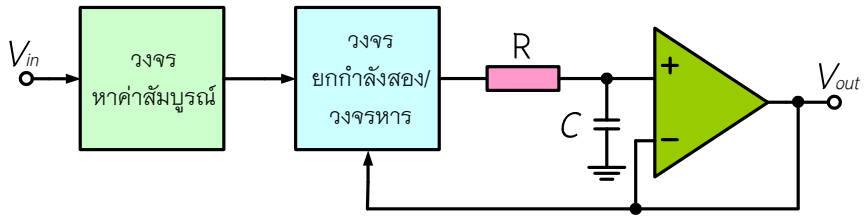



(ข) ลักษณะของสัญญาณ

ภาพ 2.1 (ต่อ) ตัวอย่างวงจรหาค่าแอมพลิจูดโดยใช้วงจรเรียงกระแสต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

### 2.1.2 การอาศัยหลักการของวงจรหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (root mean square; rms) [8]

สำหรับสัญญาณรูปไซน์ ค่า rms ของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับขนาดแอมพลิจูดหารด้วย $\sqrt{2}$ ดังนั้นการตรวจวัดค่าแอมพลิจูดจึงสามารถใช้วงจรหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแทนได้ ตัวอย่างของหลักการออกแบบวงจรที่ได้เคยมีการนำเสนอไว้สามารถแสดงได้ดังภาพ 2.2




ภาพ 2.2 วงจรหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง

จากวงจรในภาพ 2.2 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณแรงดันอินพุตยกกำลังสองหารด้วยค่าเฉลี่ยของสัญญาณเอาต์พุต (โดยใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านหาค่าเฉลี่ย) โดยจะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

$$V_{out} = \frac{V_{in}^2}{V_{out}} \tag{2.1}$$

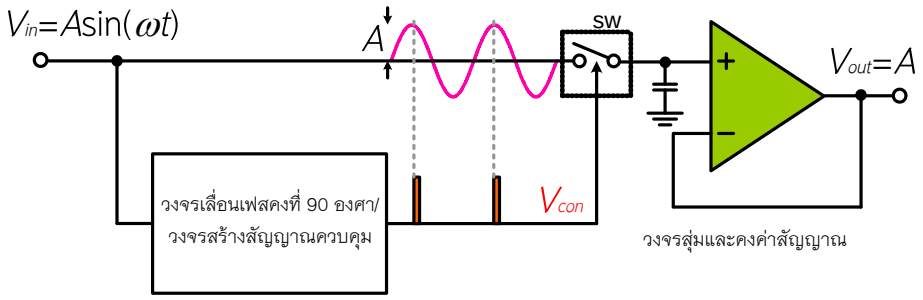
จากสมการที่ (2.1) เมื่อกำหนดให้สัญญาณแรงดันอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ $A$ อาศัยหลักการวิเคราะห์วงจร จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณแรงดันเอาต์พุต $V_{out}$ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$V_{out} = \frac{A}{\sqrt{2}} \tag{2.2}$$

ข้อดีของหลักการดังกล่าวนี้จะคล้ายกับวงจรในภาพ 2.1 นั่นคือสามารถใช้งานกับสัญญาณอินพุตความถี่สูงได้ดี แต่สัญญาณเอาต์พุตจะมีลักษณะกระเพื่อมอยู่เล็กน้อยเนื่องจากผลของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

### 2.1.3 การใช้วงจรเลื่อนเฟส 90 องศาต่อรวมกับวงจรควบคุมลอจิก วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ [12–13]

จากวงจรในภาพ 2.3 วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณทำหน้าที่ไปรับสัญญาณอินพุตในช่วงจังหวะมุมเท่ากับ 90 องศา และนำไปเป็นเอาต์พุตของวงจร ซึ่งจังหวะนี้เป็นเวลาที่ขนาดของสัญญาณอินพุตมีค่ามากที่สุดหรือเป็นค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตนั่นเอง ต่อจากนั้นจะทำการรักษาระดับของค่าดังกล่าวไว้จนกระทั่งสัญญาณอินพุตรอบใหม่เข้ามา ข้อดีของหลักการนี้คือวงจรจะให้เอาต์พุตที่มีลักษณะราบเรียบจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต อย่างไรก็ตามในกรณีที่ความถี่ของสัญญาณอินพุตเปลี่ยนไปจะมีผลทำให้วงจรเลื่อนเฟส 90 องศาและวงจรควบคุมความกว้างของจังหวะการสุ่มสัญญาณทำงานผิดพลาดไป จึงจำเป็นจะต้องเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุหรือค่าความต้านทานภายในวงจรเลื่อนและวงจรควบคุมความกว้างของจังหวะการสุ่มสัญญาณ เพื่อให้เหมาะสมกับความถี่ใช้งาน




ภาพ 2.3 ตัวอย่างวงจรหาค่าแอมพลิจูดโดยใช้วงจรเลื่อนเฟส 90 องศา ต่อรวมกับวงจรสร้างสัญญาณ และวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

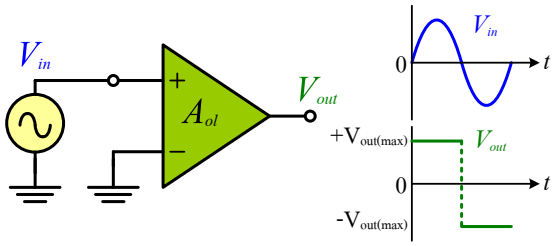
### 2.1.4 หลักการอื่น ๆ

เนื่องจากวงจรหาค่าแอมพลิจูดเป็นวงจรที่มีประโยชน์และความสำคัญ ในบางกรณีจะมีการตั้งชื่อตามวัตถุประสงค์การใช้งานเช่น วงจรแอมพลิจูดดีมอดูเลเตอร์ (amplitude demodulator) วงจร Envelope Detector และวงจร RF Peak Detector เป็นต้น โดยมีตัวอย่างหลักการออกแบบวงจรที่ได้เคยมีการนำเสนอไว้ เช่น การใช้วงจรขยายอิมิตเตอร์ตาม (emitter follower) ที่มีโหลดเป็นตัวเก็บประจุและแหล่งจ่ายกระแสคงที่ [16] การออกแบบโดยใช้วงจรขยายซอร์สร่วม (common source) ที่มีโหลดเป็นตัวเก็บประจุและแหล่งจ่ายกระแสคงที่ [17] การออกแบบโดยใช้วงจรดิฟเฟอเรนซิเอเตอร์ (differentiator) 2 ตัว ต่อร่วมกับวงจรคูณสัญญาณ วงจรยกกำลังสอง วงจรลบสัญญาณ และวงจรหาค่ารากที่สอง [18] และการออกแบบโดยใช้วงจรเลื่อนเฟสคงที่ 90 องศา ต่อร่วมกับวงจรคูณสัญญาณและวงจรหาค่ารากที่สอง [19] เป็นต้น

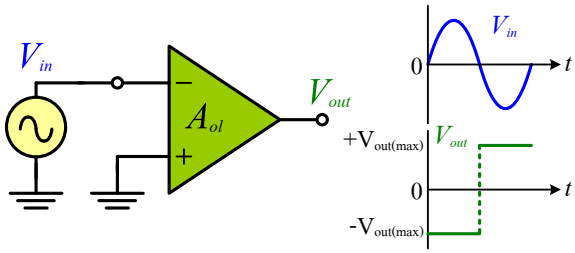
## 2.2 หลักการของวงจรกลุ่มย่อยที่สำคัญต่าง ๆ

### 2.2.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า (Voltage Comparator)โดยใช้ออปแอมป์

การใช้ออปแอมป์เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าถือว่าเป็นการใช้งานออป-แอมป์แบบเปิดวงจร (บางครั้งจะมีการต่อวงจรในลักษณะป้อนกลับแบบบวก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขาอินพุตทั้งสองของออปแอมป์จะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของออปแอมป์จะมีสองสถานะคือ สถานะที่แรงดันอินพุตที่ขานอนอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์มีค่ามากกว่าแรงดันที่ขาอินเวอร์ติ้ง และสถานะที่แรงดันที่ขาอินเวอร์ติ้งมีค่ามากกว่าแรงดันที่ขานอนอินเวอร์ (สถานะที่แรงดันอินพุตทั้งสองขามีค่าเท่ากันจะเป็นไปได้น้อยมาก เนื่องจากออปแอมป์มีค่าอัตราขยายแรงดันสูงมาก)




(ก) แบบไม่กลับเฟส




(ข) แบบกลับเฟส

ภาพ 2.4 วงจรตรวจจับผ่านศูนย์

**การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับแรงดันไฟฟ้าระดับศูนย์โวลต์** (zero-level detection) : บางครั้งจะถูกเรียกว่า “วงจรตรวจจับผ่านศูนย์” (zero-crossing detector) เป็นการใช้งานออปแอมป์แบบเปิดวงจรด้วยการนำสัญญาณอินพุตมาเปรียบเทียบกับแรงดันขนาด 0V หรือกราวด์ ในภาพ 2.4 แสดงตัวอย่างการนำอินพุตที่เป็นสัญญาณรูปไซน์มาเปรียบเทียบกับกราวด์ ในสองลักษณะคือ การป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขานอนอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์

(ภาพ 2.4(ก)) และการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขาอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์ (ภาพ 2.4(ข)) พิจารณาคุณสมบัติการทำงานของออปแอมป์ในย่านที่สัญญาณแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 0V จะได้คุณสมบัติตามอุดมคติดังนี้คือ

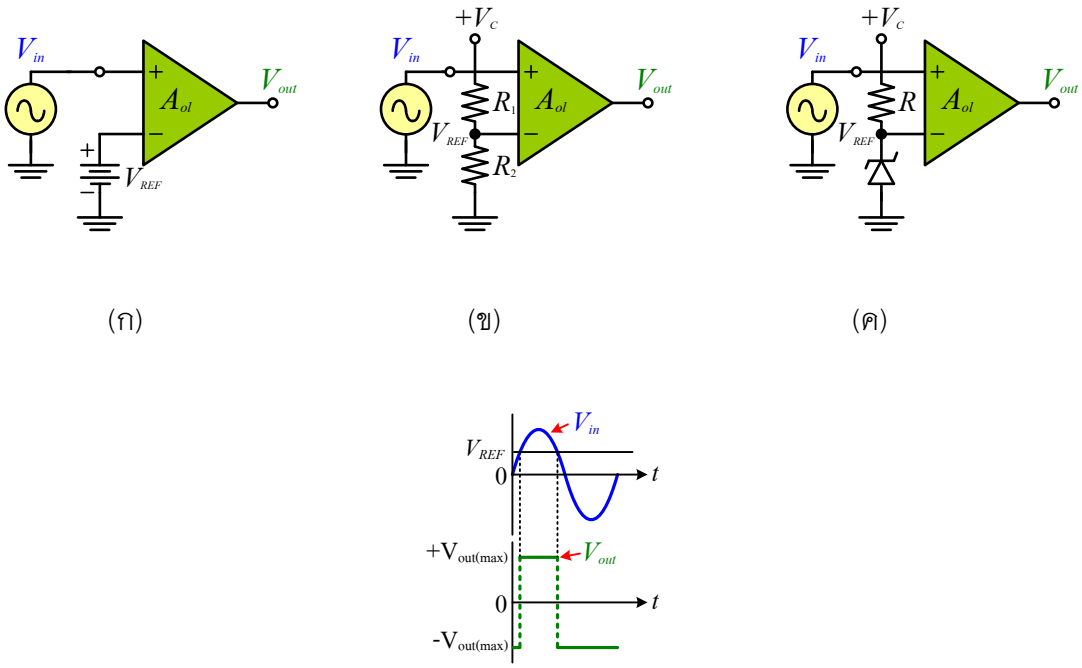
$$V_{out\,(\text{ideal})} = \begin{cases} +A_{ol}V_{in} & ;V_{in} > 0 \\ \\ -A_{ol}V_{in} & ;V_{in} < 0 \end{cases} \qquad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) เนื่องจาก $A_{ol}$ มีค่าสูงมากยกตัวอย่างเช่น สมมุติให้ $A_{ol}$ มีค่าเท่ากับ 100,000 เมื่อ $V_{in}$ เท่ากับ +1mV จะสามารถคำนวณ $V_{out}$ ได้เท่ากับ 100V และถ้า $V_{in}$ เท่ากับ –1mV จะสามารถคำนวณ $V_{out}$ ได้เท่ากับ –100V แต่อย่างไรก็ตามขนาดของสัญญาณแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าได้ไม่เกินเท่ากับแรงดันไฟเลี้ยงของวงจร เมื่อกำหนดให้ $+V_{out(\max)}$ และ $-V_{out(\max)}$ คือค่าขนาดของแรงดันเอาต์พุตสูงสุด ด้านบวกและด้านลบของออปแอมป์ตามลำดับ ซึ่งสมการที่ (2.3) จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$V_{out} = \begin{cases} +V_{out\,(\max)} & ;V_{in} > 0 \\ \\ -V_{out\,(\max)} & ;V_{in} < 0 \end{cases} \qquad (2.4)$$

**การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับแรงดันไฟฟ้าระดับต่าง ๆ :** ในภาพ 2.5 และภาพ 2.6 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ออปแอมป์เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตกับระดับแรงดันอ้างอิงค่าต่างๆ โดยในภาพ 2.5 แสดงวิธีการต่อสัญญาณอินพุตเข้าที่ขานอนอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์ ซึ่งเมื่อค่าของสัญญาณอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง สัญญาณเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณซีกบวก ขนาดเท่ากับ $+V_{out(\max)}$ และเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณซีกลบ ขนาดเท่ากับ $-V_{out(\max)}$ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

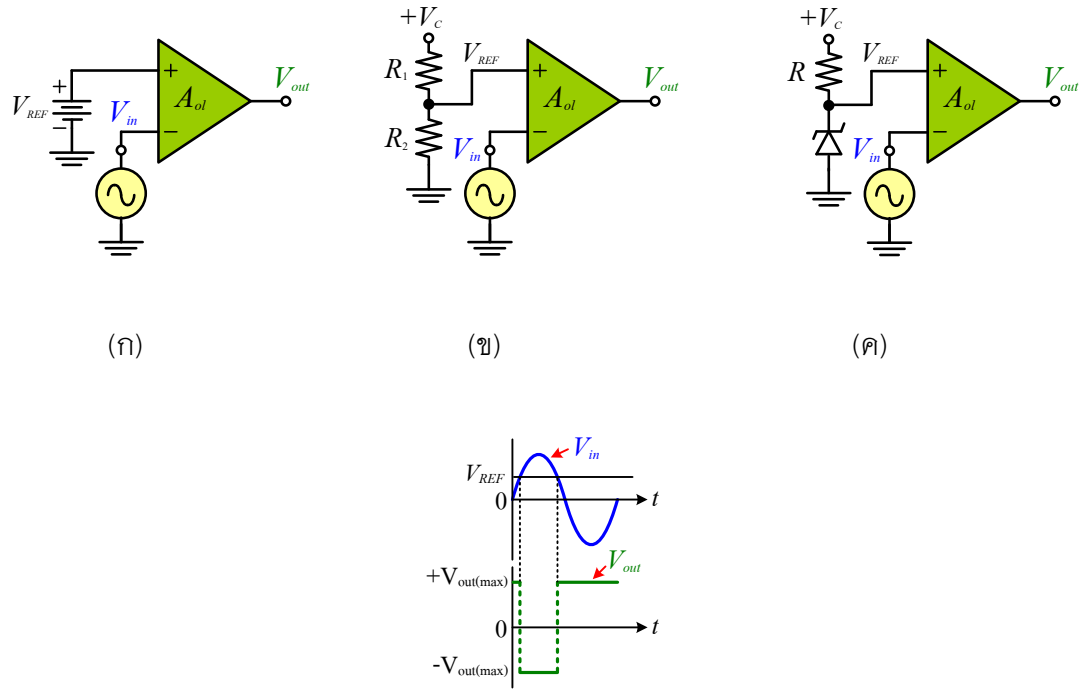
$$V_{out} = \begin{cases} +V_{out\,(\max)} & ;V_{in} > V_{REF} \\ \\ -V_{out\,(\max)} & ;V_{in} < V_{REF} \end{cases} \qquad (2.5)$$




(ก) (ข) (ค)

(ง)

ภาพ 2.5 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบไม่กลับเฟส




(ก) (ข) (ค)

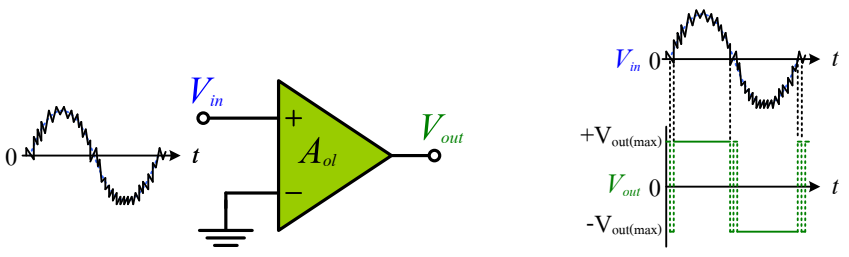
(ง)

ภาพ 2.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบกลับเฟส

ในภาพ 2.6 แสดงวิธีการต่อสัญญาณอินพุตเข้าที่ขาอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์โดยการทำงานจะตรงข้ามกับวงจรในภาพ 2.5 นั่นคือ เมื่อค่าของสัญญาณอินพุตมีค่ามากกว่าค่าแรงดันอ้างอิง สัญญาณเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณซีกลบขนาดเท่ากับ $-V_{out(max)}$ และเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันอ้างอิงสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณซีกบวกขนาดเท่ากับ $+V_{out(max)}$ โดยจะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

$$V_{out} = \begin{cases} -V_{out\,(max)} & ; V_{in} > V_{REF} \\ \\ +V_{out\,(max)} & ; V_{in} < V_{REF} \end{cases} \qquad (2.6)$$

**ผลของสัญญาณรบกวนด้านอินพุต :** สำหรับการใช้งานวงจรเปรียบเทียบสัญญาณในทางปฏิบัตินั้นบางครั้งจะมีสัญญาณรบกวนผสมเข้ามากับสัญญาณอินพุตซึ่งจะมีผลทำให้การทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณผิดพลาดไป ในภาพ 2.7(ก) แสดงตัวอย่างการป้อนสัญญาณอินพุตรูปไซน์ที่มีสัญญาณรบกวนให้กับวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ เนื่องจากเป็นการป้อนแรงดันอินพุตเข้าที่ขานอนอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์ ดังนั้นในทางอุดมคติแล้วสัญญาณเอาต์พุตของวงจรควรจะมีค่าเท่ากับ $+V_{out(max)}$ เมื่ออินพุตเป็นสัญญาณซีกบวก ($V_{in} > 0V$) และควรจะมีค่าเท่ากับ $-V_{out(max)}$ เมื่ออินพุตเป็นสัญญาณซีกลบ ($V_{in} < 0$ V) แต่เมื่อมีสัญญาณรบกวนผสมเข้ามากับสัญญาณอินพุตจะเกิดความผิดพลาดขึ้นในบริเวณที่ขนาดของสัญญาณอินพุตมีค่าต่ำๆ ดังแสดงในภาพ 2.7(ข) ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจะเกิดการแกว่งกลับไปกลับมาระหว่างค่า $+V_{out(max)}$ และ $-V_{out(max)}$




(ก) (ข)

ภาพ 2.7 ผลของสัญญาณรบกวน

**การลดผลของสัญญาณรบกวนด้วยฮีสเตอร์รีซีส :**

จากหัวข้อที่ผ่านมาการประยุกต์ใช้ออปแอมป์เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณจะมีข้อควรระวังอันเนื่องมาจากผลของสัญญาณรบกวนที่แฝงมากับสัญญาณอินพุต ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการแกว่งกลับไปกลับมาของสัญญาณเอาต์พุตในช่วงที่สัญญาณอินพุตมีค่าใกล้เคียงกับระดับของสัญญาณแรงดันอ้างอิง เพื่อเป็นการลดผลของสัญญาณรบกวนดังกล่าวนี้ วิธีการต่อวงจรวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมนำมาใช้คือการต่อออปแอมป์ในลักษณะป้อนกลับแบบบวก (positive feedback) ดังแสดงในภาพ 2.8 ซึ่งจะเรียกวงจรในลักษณะนี้ว่าวงจรเปรียบเทียบสัญญาณแบบมีฮีสเตอร์รีซีส

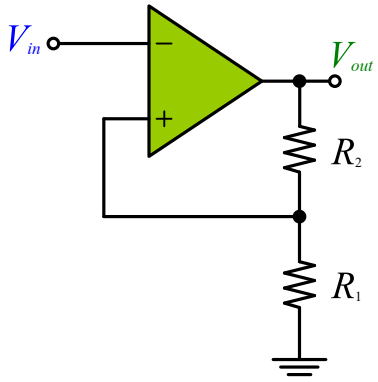
คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรในภาพ 2.8 คือ ค่าแรงดันอ้างอิงของวงจร ($V_{REF}$) ที่เป็นไปได้จะมีด้วยกัน 2 ค่า ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับผลการเปรียบเทียบแรงดันในสภาวะก่อนหน้า ยกตัวอย่างเช่นในสภาวะเริ่มต้นสัญญาณแรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ $+V_{out(\max)}$ ซึ่งเมื่ออาศัยกฎการแบ่งแรงดันอันเนื่องจากตัวต้านทาน $R_1$ และ $R_2$ จะสามารถคำนวณค่าแรงดันอ้างอิงได้มีค่าเท่ากับ

$$V_{REF} = V_{UTP} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}\left((+)V_{out\,(\max)}\right) \qquad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.7) ในเวลาต่อมาเมื่อขนาดของแรงดันอินพุตมีค่าน้อยกว่า $V_{UTP}$ สัญญาณเอาต์พุตจะยังคงมีสถานะเดิมนั่นคือมีค่าเท่ากับ $+V_{out(\max)}$ และในเวลาต่อมาเมื่อสัญญาณอินพุต (บวกสัญญาณรบกวน) มีค่ามากกว่า $V_{REF}$ ค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะกลับสถานะกลายเป็นค่าอิ่มตัวด้านลบ หรือ $V_{out}=-V_{out(\max)}$ ซึ่งค่าแรงดันอ้างอิงของวงจรจะกลายเป็น

$$V_{REF} = V_{LTP} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}\left(-V_{out\,(\max)}\right) \qquad (2.8)$$

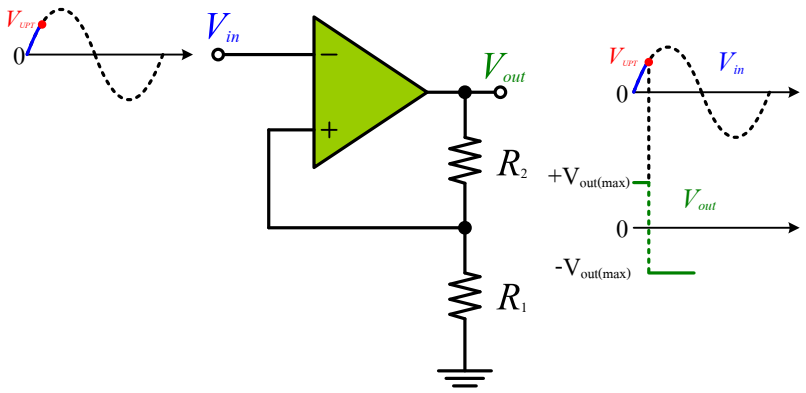
จากสมการที่ (2.8) ในเวลาต่อมา เมื่อขนาดของสัญญาณแรงดันอินพุต (บวกสัญญาณรบกวน) มีค่ามากกว่าระดับแรงดันอ้างอิง $V_{LTP}$ สัญญาณเอาต์พุตจะยังคงมีสถานะเดิม นั่นคือ $V_{out} = -V_{out(\max)}$ และจะยังคงสถานะนี้ (แม้ว่า $V_{in}$ จะมีค่าน้อยกว่า $V_{UTP}$) ต่อไปจนกว่าค่าแรงดันอินพุต (บวกสัญญาณรบกวน) จะมีค่าน้อยกว่า $V_{LTP}$ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรจึงจะกลับสถานะขึ้นไปเป็น $+V_{out(\max)}$ อีกครั้ง ซึ่งค่าแรงดันอ้างอิงของวงจรก็จะกลับไปมีค่าเป็นไปตามสมการที่ (2.7)



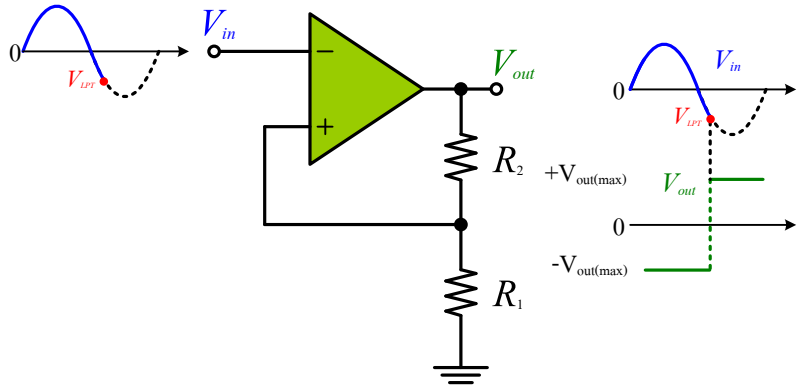

ภาพ 2.8 วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าแบบมีฮิสเตอร์รีซีส

ในภาพ 2.9 แสดงการทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าแบบมีฮิสเตอร์รีซีส สำหรับสัญญาณอินพุตรูปไซน์โดยในภาพ 2.9(ก) และ ภาพ 2.9(ข) เป็นการทำงานของวงจรเมื่อสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์แบบบริสุทธิ์ (ไม่มีสัญญาณรบกวนผสมเข้ามา) ในภาพ 2.9(ค) ซึ่งแสดงผลการทำงานเมื่อสัญญาณอินพุตมีสัญญาณรบกวนผสมเข้ามา โดยจะเห็นได้ว่าวงจรมีคุณสมบัติที่จะสามารถลดผลของสัญญาณรบกวนที่มีขนาดเล็กๆ ได้ วงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีฮีสเตอร์รีซิสนี้บางครั้งจะถูกเรียกว่าชมิททริกเกอร์ (Schmitt trigger) โดยค่าแรงดันฮิสเตอร์รีซิสของวงจรจะถูกนิยามได้เป็น

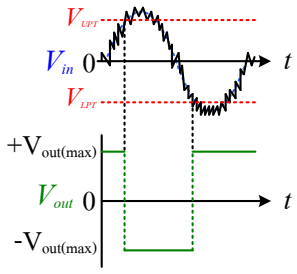
$$V_{HYS} = V_{UTP} + V_{LTP} \qquad (2.9)$$




(ก)




(ข)

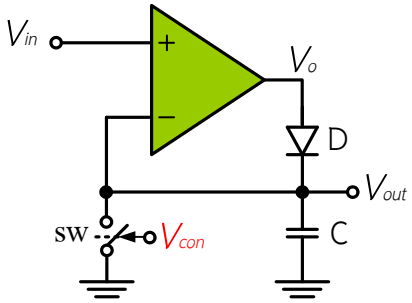



(ค)

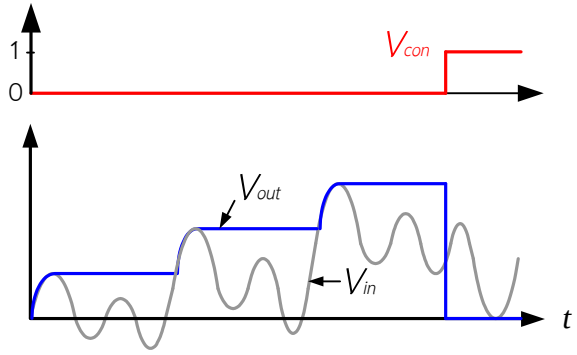
ภาพ 2.9 การทำงานของวงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบมีฮิสเตอร์รีซีส

### 2.2.2 **วงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ (Peak Detector)**

ภาพ 2.10(ก) แสดงวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณอย่างง่ายโดยใช้ออปแอมป์ต่อร่วมกับไดโอดและตัวเก็บประจุ และมีสวิตช์ sw ใช้สำหรับรีเซ็ตค่ายอดสัญญาณเดิมที่ถูกตรวจจับได้ในสภาวะก่อนหน้า ในกรณีที่สวิตช์ sw อยู่ในลักษณะเปิดวงจร (open circuit) (โดย $V_{con}$=0) และมีการป้อนสัญญาณแรงดันอินพุตที่เป็นสัญญาณซีกบวกให้กับวงจรเมื่อขนาดของสัญญาณแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่าสัญญาณเอาต์พุตค่าแรงดันเอาต์พุต $V_o$ ของออปแอมป์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตัวไดโอดจะได้รับการไบอัสตรง และจะนำกระแสไปชาร์จให้กับตัวเก็บประจุ แรงดันเอาต์พุต $V_{out}$ ของวงจรจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าประมาณเท่ากับแรงดันอินพุต และเมื่อเวลาต่อมาขนาดของสัญญาณแรงดันอินพุตมีค่าลดต่ำลงกว่าเดิม ไดโอดจะได้รับการไบอัสกลับ ค่าแรงดันเอาต์พุต ($V_{out}$) ของวงจรจะยังคงมีค่าเท่าเดิมจนกว่าสัญญาณอินพุตที่เข้ามาใหม่จะมีค่ามากกว่าเดิม ตัวอย่างรูปคลื่นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรสามารถแสดงได้ดังภาพ 10(ข) โดยเมื่อสวิตช์ sw ปิดวงจร (close circuit) (โดย $V_{con}$=1) ประจุไฟฟ้าภายในตัวเก็บประจุจะถูกดิสชาร์จ แรงดันเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าลดลงเป็น 0 V

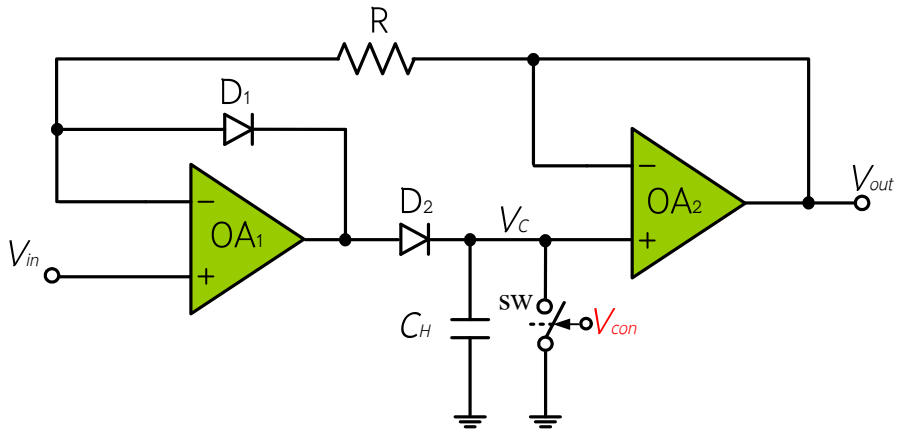



(ก) วงจร




(ข) ตัวอย่างผลการทำงานของวงจร

ภาพ 2.10 วงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณอย่างง่าย

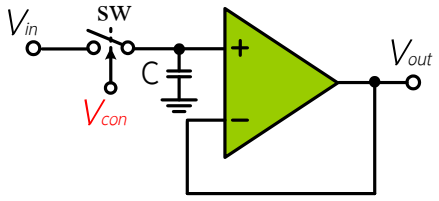



ภาพ 2.11 วงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณแบบปรับปรุง

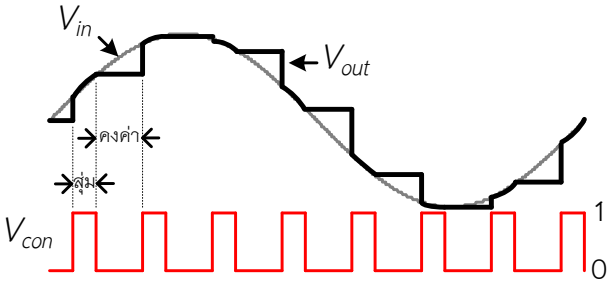
สำหรับภาพ 2.11 เป็นวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณแบบใช้ออปแอมป์และไดโอดอย่างละสองตัว ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติการทำงานของวงจรให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น รวมทั้งมีค่าความต้านทานด้านอินพุตและเอาต์พุตเหมาะสมกับการนำไปต่อร่วมกับวงจรภาคอื่นๆ ต่อไป

### 2.2.3 **วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (Sample-and-Hold circuit)**

วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณประกอบด้วยออปแอมป์ต่อเป็นวงจรตามแรงดันไฟฟ้า (Voltage Follower) โดยมีตัวเก็บประจุ C ใช้สำหรับคงค่าสัญญาณ และมีสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ sw ซึ่งถูกควบคุมการเปิด/ปิดด้วยสัญญาณควบคุม $V_{con}$ การทำงานของวงจรจะแบ่งออกเป็น 2 สภาวะคือ สภาวะการสุ่ม ($V_{con}$=1) แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตของวงจรในขณะนั้นอย่างต่อเนื่อง สภาวะที่สองคือสภาวะการคงค่าสัญญาณ ($V_{con}$=0) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าคงที่เท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตของวงจรในช่วงเวลาสุดท้ายก่อนจะเข้าสู่ช่วงการคงค่า




(ก) วงจร




(ข) แผนภาพสัญญาณ

ภาพ 2.12 วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ

### 2.2.4 **วงจรขยาย ± 1 เท่า (± unity-gain amplifier)**

ภาพ 2.13 แสดงวงจรขยาย ±1 เท่า ซึ่งจะได้มีการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวงจรย่อยสำหรับการพัฒนาออกแบบวงจรดีมอดูเลเตอร์สัญญาณรีโซลเวอร์ (บทที่ 6) หลักการทำงานของวงจรขยาย ±1 เท่าสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

ในขณะที่สัญญาณลอจิก $Q_{con}$ = 1 สวิตท์อิเล็กทรอนิกส์ sw จะปิดวงจรดังแสดงในภาพ 2.13(ข) ซึ่งมีผลทำให้ขาบวกของออปแอมป์ถูกเชื่อมต่อกับศักย์ดาดิน ดังนั้นออปแอมป์จะทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต $V_{out}$ กับค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุต $V_{in}$ ดังนี้คือ

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1}V_{in} \qquad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.10) เมื่อกำหนดให้ $R_2$=$R_1$ จะได้

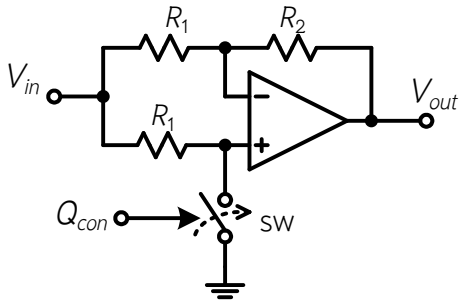
$$V_{out} = -V_{in} \qquad (2.11)$$

ในขณะที่สัญญาณลอจิก $Q_{con}$ = 0 สวิตท์อิเล็กทรอนิกส์ sw จะเปิดวงจรดังแสดงในภาพ 2.13(ข) ซึ่งมีผลทำให้ขาบวกของออปแอมป์อยู่ในสภาวะลอย (floating) โดยจะมีผลทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาบวกและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาลบของออปแอมป์มีค่าเท่ากับ $V_{in}$ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต $V_{out}$ มีค่าเท่ากับ

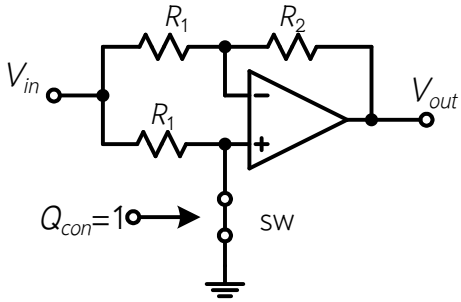
$$V_{out} = V_{in} \tag{2.12}$$

จากสมการที่ (2.11) และสมการที่ (2.12) สามารถรวมเป็นสมการเดียวกันได้ดังนี้คือ

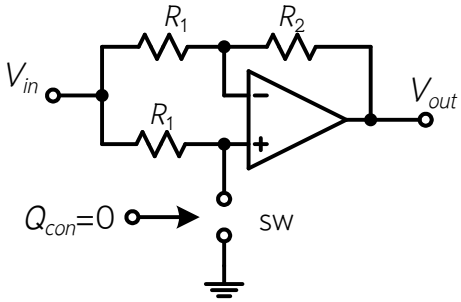
$$V_{out} = \begin{cases} -V_{in} & ;Q_{con} = 1 \\ V_{in} & ;Q_{con} = 0 \end{cases} \tag{2.13}$$




(ก) วงจร




(ข) การทำงานขณะ $Q_{con}$ = 1

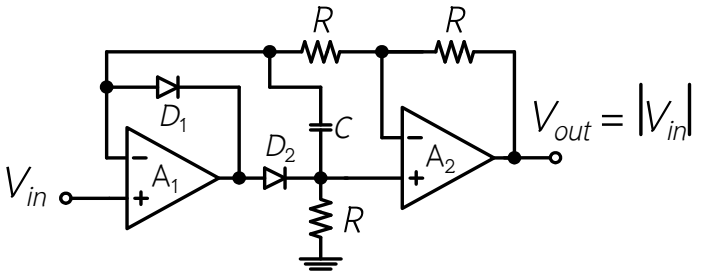



(ค) การทำงานขณะ $Q_{con}$ = 0

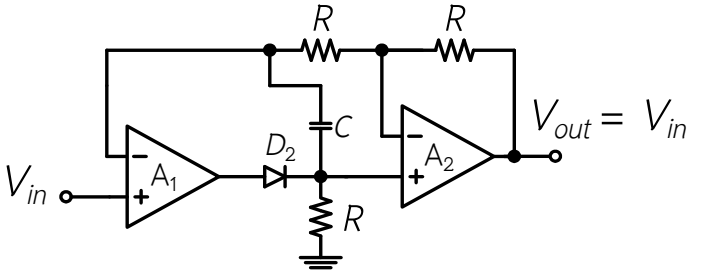
ภาพ 2.13 วงจรขยาย ±1 เท่า

2.2.5 **วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier)**

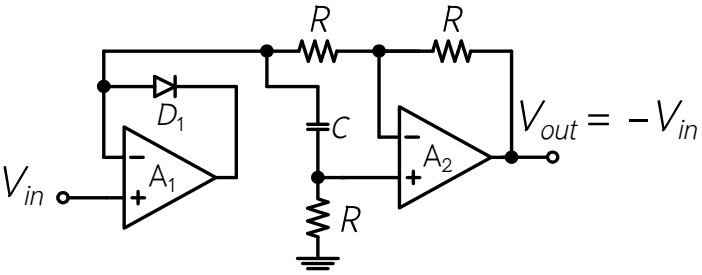
ภายในงานวิจัยนี้ วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นถูกใช้เป็นส่วนประกอบของวงจรดีมอดูเลเตอร์สัญญาณรีโซลเวอร์ (บทที่ 6) โดยบางครั้งจะมีการเรียกชื่อวงจรอีกแบบหนึ่งว่า “วงจรหาค่าสัมบูรณ์ (Absolute Circuit)” เนื่องจากหน้าที่ของวงจรดังกล่าวนี้ (ภาพ 2.14) จะทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่เป็นซีกบวกไปเป็นเอาต์พุตของวงจร แต่ถ้าอินพุตเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซีกลบ ตัววงจรจะทำหน้าที่กลับทิศของสัญญาณให้กลายเป็นซีกบวกโดยมีขนาดเท่าเดิม




(ก) วงจร




(ข) การทำงานขณะ $V_{in} > 0$




(ค) การทำงานขณะ $V_{in} < 0$

ภาพ 2.14 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

เพื่อความสะดวกในการอธิบาย ในที่นี้จะแยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือกรณีที่ $V_{in} > 0$ และกรณีที่ $V_{in} < 0$ จากภาพ 2.14(ข) แสดงวงจรสมมูลของวงจรหาเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นในกรณีที่ $V_{in} > 0$ ซึ่งกรณีนี้ไดโอด $D_1$ จะได้รับการไบแอสกลับเสมือนกับเป็นการเปิดวงจร ในขณะเดียวกันไดโอด $D_2$ จะทำการเชื่อมต่อกับวงจร จึงเกิดการป้อนกลับจากเอาต์พุตของออปแอมป์ $A_2$ เข้ามาที่ขาอินพุตลบของออปแอมป์ $A_1$ วงจรจะทำหน้าที่เสมือนกับเป็นวงจรตามแรงดันไฟฟ้า ทำให้เอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับอินพุต ($V_{out} = V_{in}$)

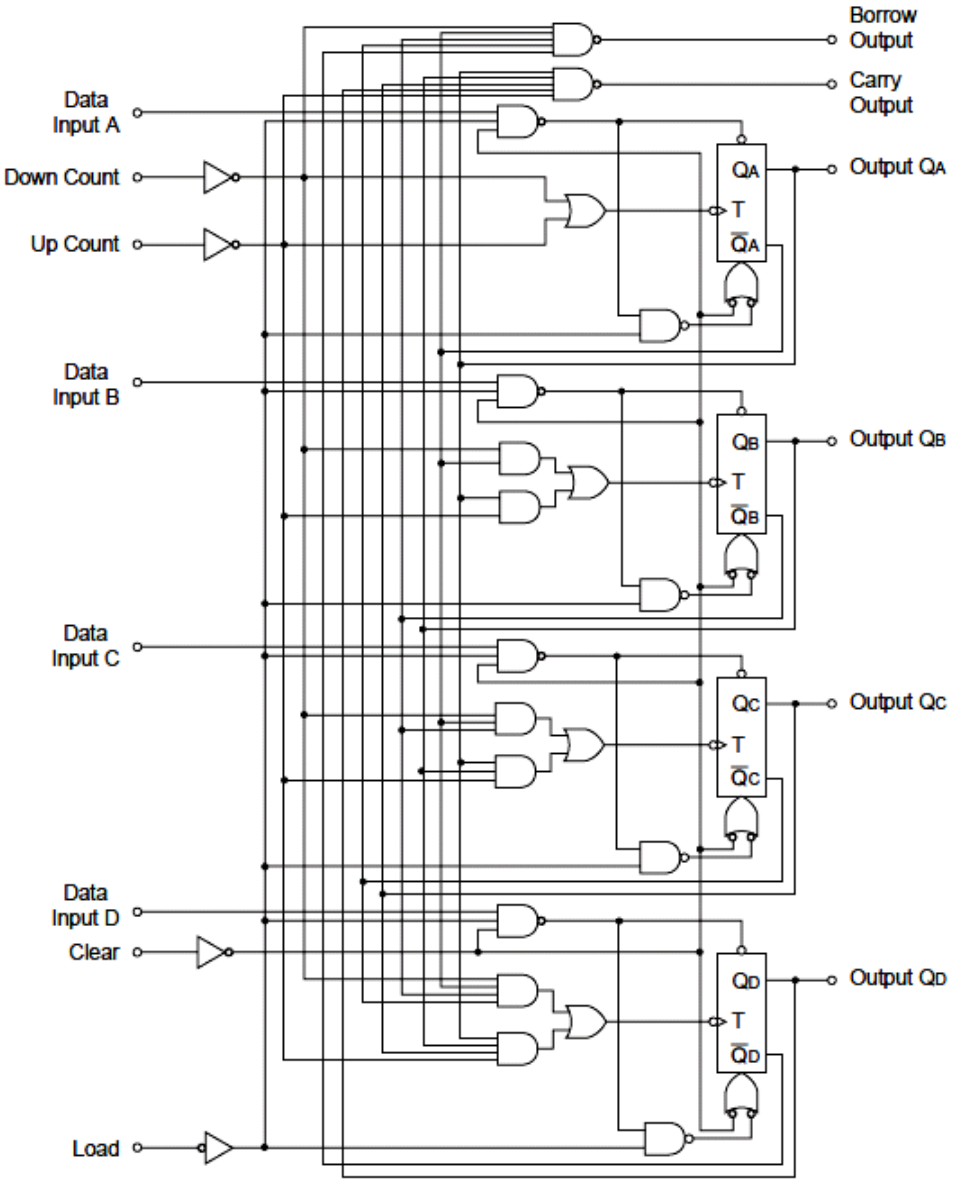
ภาพ 2.14(ค) แสดงวงจรสมมูลของวงจรหาเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นในกรณีที่ $V_{in} < 0$ สังเกตที่ออปแอมป์ $A_1$ ไดโอด $D_1$ จะได้รับการไบแอสตรงเสมือนกับเป็นวงจรตามแรงดัน ขณะเดียวกันไดโอด $D_2$ จะได้รับการไบแอสกลับเสมือนกับเป็นการเปิดวงจร ผลที่ได้คือที่ขาอินพุตบวกของออปแอมป์ $A_2$ จะถูกลัดลงกราวด์ โดยออปแอมป์ $A_2$ จะทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณอินพุต ($V_{out} = -V_{in}$)

จากคุณสมบัติการทำงานทั้งสองกรณี สามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$V_{out} = \begin{cases} V_{in} & ; for\ V_{in} > 0 \\ -V_{in} & ; for\ V_{in} < 0 \end{cases} \qquad (2.14)$$

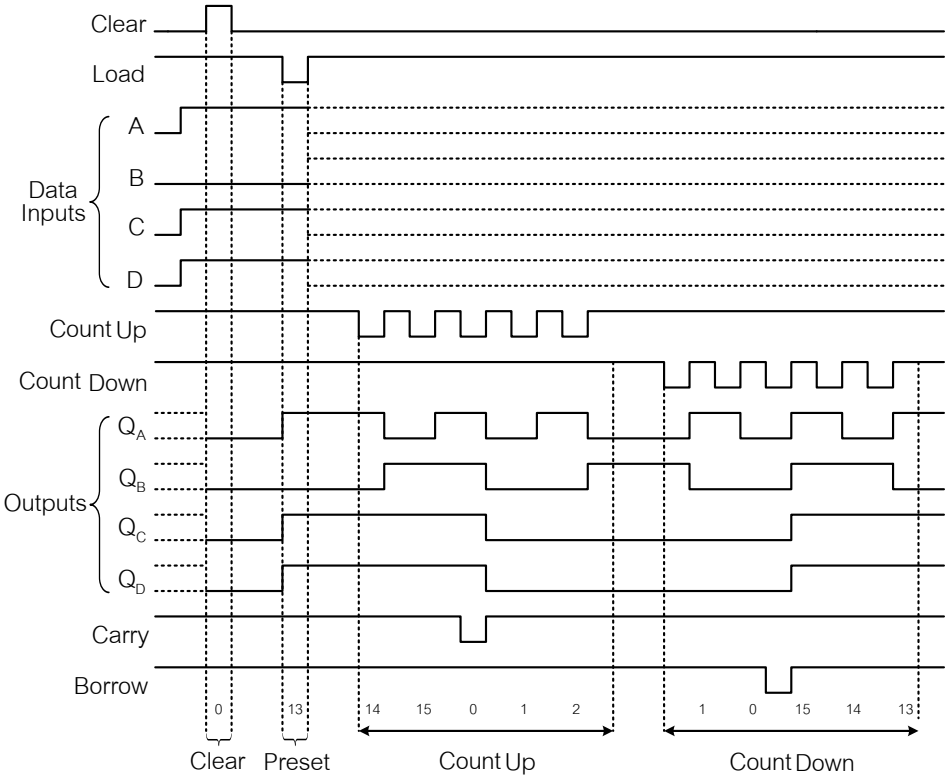
### 2.2.6 **ไอซีวงจรนับ HD74LS193**

ไอซี HD74LS193 เป็นวงจรนับสิบขึ้น–ลง ชนิด 4 บิตแบบซิงโครนัส สามารถควบคุมให้นับขึ้น (0–15) และนับลง (15–0) ได้ และมีอินพุตข้อมูลขนาด 4 บิต สามารถโหลดข้อมูลเลขฐานสองให้วงจรนับเริ่มนับตามข้อมูลจากอินพุตดังกล่าวได้ การให้วงจรทำงานนับขึ้นหรือนับลงสามารถควบคุมได้โดยการต่อวงจรลอจิกเกตเพิ่มเพื่อสร้างเป็นสัญญาณนาฬิกาควบคุมการนับขึ้นหรือนับลง ซึ่งโครงสร้าง, ไดอะแกรมเวลา และการจัดวางขาของวงจรรวมเบอร์ HD74LS193 แสดงในภาพ 2.14 จะเห็นว่าขาการทำงานประกอบด้วยขาเอาต์พุต 6 ขา คือ เอาต์พุต Carry เอาต์พุต Borrow และเอาต์พุต $Q_A$, $Q_B$, $Q_C$ และ $Q_D$ และมีอินพุต 8 ขา คือ อินพุต Clear อินพุต Load อินพุตข้อมูล 4 บิต (A, B, C และ D) อินพุตนับขึ้น และอินพุตนับลง

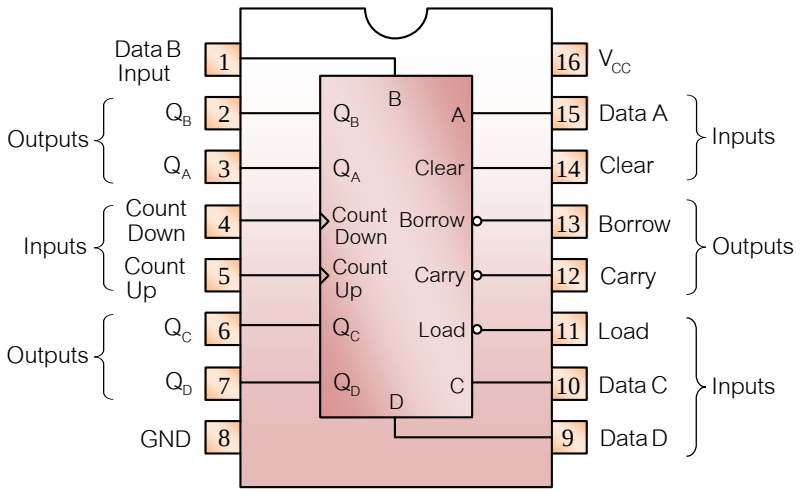



(ก) โครงสร้างวงจร

ภาพ 2.15 โครงสร้างวงจร แผนภาพเวลา และการจัดการขาของไอซี HD74LS193




(ข) แผนภาพเวลา




(ค) การจัดการขาของไอซี

ภาพ 2.15 (ต่อ) โครงสร้างวงจร แผนภาพเวลา และการจัดการขาของไอซี HD74LS193

หน้าที่และหลักการทำงานของอินพุตและเอาต์พุตแต่ละขาของวงจรรวมเบอร์ HD74LS19 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อินพุต Clear เมื่อป้อนลอจิก “1” เข้าที่ขานี้จะทำให้ฟลิปฟลอปทุกตัวภายในไอซีถูกรีเซต ทำให้เอาต์พุต $Q_A$, $Q_B$, $Q_C$ และ $Q_D$ เป็นลอจิก “0” ทั้งหมด

2. อินพุต Load เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์ลบหรือลอจิก “0” เข้าที่ขานี้ข้อมูลที่อินพุต A, B, C และ D จะถูกโหลดไปไว้ในฟลิปฟลอป A ถึง D และจะไปปรากฏเป็นเอาต์พุต $Q_A$, $Q_B$, $Q_C$ และ $Q_D$ ตามลำดับ

3. อินพุต A, B, C และ D เป็นขาสำหรับป้อนค่าข้อมูลเข้าไปที่ฟลิปฟลอปแต่ละตัว เป็นขากำหนดค่าเริ่มต้นของการนับ ใช้งานร่วมกับขา Load

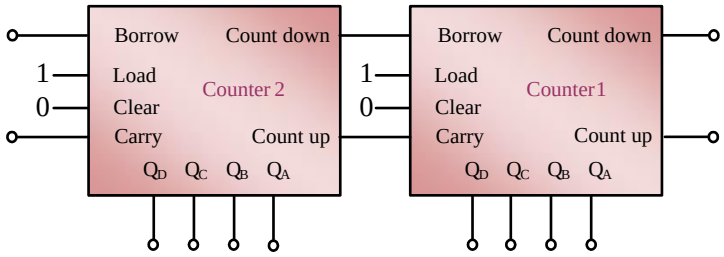
4. อินพุตนับขึ้น (Count Up) และนับลง (Count Down) เป็นขาสำหรับป้อนสัญญาณนาฬิกา ซึ่งการนับจะเกิดขึ้นทุกครั้งที่ได้รับขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา

5. เอาต์พุต $Q_A$, $Q_B$, $Q_C$ และ $Q_D$ เป็นขาเอาต์พุตสำหรับแสดงผลการนับ โดยเอาต์พุต $Q_A$ เป็นหลักที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant Bit: LSB) และเอาต์พุต $Q_D$ เป็นหลักที่มีนัยสำคัญสูงสุด (Most Significant Bit: MSB)

6. เอาต์พุต Carry หรือขาทดออก จะมีสถานะเป็นลอจิก “0” เมื่อวงจรนับทำการนับขึ้นจนถึงเลข 15 (1111)

7. เอาต์พุต Borrow หรือขายืมออกจะมีสถานะเป็นลอจิก “0” เมื่อวงจรนับทำการนับลงจนถึงเลข 0 (0000)

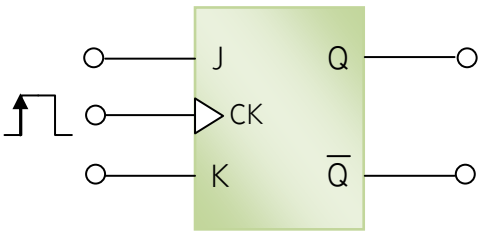
เอาต์พุต Carry และเอาต์พุต Borrow จะใช้ในกรณีที่ต้องการต่อวงจรนับขึ้นหรือนับลงมากกว่า 1 หลัก ในกรณีของการนับขึ้นจะใช้ขา Carry Out ของหลักที่ต่ำกว่าต่อเข้ากับขา Count Up ของหลักถัดไป หรือในกรณีของการนับลงจะใช้ขา Borrow Out ของหลักที่ต่ำกว่าต่อเข้ากับขา Count Down ของหลักถัดไปแสดงในภาพ 2.16




ภาพ 2.16 การต่อไอซีเบอร์ HD74LS193 สำหรับการนับขึ้นหรือนับลงมากกว่า 1 หลัก

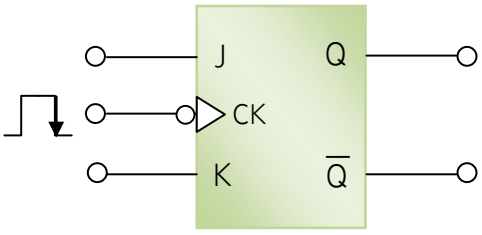
2.2.7 **เจเคฟลิปฟลอป (JK–Flip Flop)**

การออกแบบวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดภายในบทที่ 3 และบทที่ 4 รวมทั้งการออกแบบวงจรดีมอดูเลเตอร์สัญญาณรีโซลเวอร์ในบทที่ 6 ได้มีการใช้เจเคฟลิปฟลอปสำหรับหารความถี่ของสัญญาณอินพุตเพื่อนำมาสร้างเป็นสัญญาณควบคุมให้กับวงจรย่อยในส่วนต่างๆ ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงตารางความจริงของเจเคฟลิปฟลอปชนิดที่ทำงานด้วยขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา และเจเคฟลิปฟลอปชนิดที่ทำงานด้วยขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา ดังแสดงในภาพ 2.17 และภาพ 2.18 ตามลำดับ




| อินพุต | | | เอาต์พุต |
|---|---|---|---|
| CK | J | K | Q |
| X | 0 | 0 | NC |
| ↑ | 0 | 1 | 0 |
| ↑ | 1 | 0 | 1 |
| ↑ | 1 | 1 | TG |

ภาพ 2.17 เจเคฟลิปฟลอปชนิดที่ทำงานด้วยขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา




| อินพุต | | | เอาต์พุต |
|---|---|---|---|
| CK | J | K | Q |
| X | 0 | 0 | NC |
| ↓ | 0 | 1 | 0 |
| ↓ | 1 | 0 | 1 |
| ↓ | 1 | 1 | TG |

ภาพ 2.18 เจเคฟลิปฟลอปชนิดที่ทำงานด้วยขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา

## 2.3 สรุป

ภายในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการออกแบบวงจรหาค่าแอมพลิจูดที่น่าสนใจที่ผ่านมา ซึ่งได้แก่ การออกแบบโดยใช้วงจรเรียงกระแสต่อร่วมกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน การออกแบบโดยอาศัยหลักการของวงจรหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง การออกแบบโดยการใช้วงจรเลื่อนเฟส 90 องศาต่อรวมกับวงจรควบคุมลอจิก วงจรสุ่มและ คงค่าสัญญาณ รวมทั้งการอาศัยหลักการอื่นๆ หัวข้อถัดมาได้อธิบายถึงหลักการวงจรกลุ่มย่อยที่สำคัญต่างๆ บางวงจรที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของวงจรหาค่าแอมพลิจูดในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งได้แก่ วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ออปแอมป์ วงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ วงจรขยาย ± 1 เท่า วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น และสุดท้ายคือไอซีวงจรนับ HD74LS193