

## บทที่ 5

# วงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดโดยใช้วงจรกรองความถี่ผ่านหมด เป็นตัวสร้างสัญญาณควบคุม

ภายในบทนี้อธิบายถึงวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรูปไซน์ให้มีการทำงานที่รวดเร็ว เทคนิคที่ใช้เป็นการอาศัยสมบัติการเลื่อนเฟสของวงจรกรองความถี่ผ่านหมดซึ่งได้นำมาต่อร่วมกับวงจรตรรกะสำหรับการสร้างสัญญาณ 2 สัญญาณเพื่อนำมาใช้ควบคุมจังหวะการทำงานของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณและวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณตามลำดับ ผลจากการใช้ตัวสร้างสัญญาณที่นำเสนอสามารถได้รับไม่เพียงแต่วงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดที่มีโครงสร้างเรียบง่ายเท่านั้น แต่ยังได้วงจรที่มีการทำงานที่รวดเร็ว

### 5.1 วงจรและหลักการทำงานของวงจรที่ได้พัฒนาออกแบบขึ้น

ภาพ 5.1 แสดงโครงสร้างของวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดสำหรับสัญญาณรูปไซน์ที่ได้พัฒนาขึ้นในครั้งนี้ ซึ่งประกอบด้วยวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ และวงจรสร้างสัญญาณควบคุมโดยใช้วงจรกรองความถี่ผ่านหมดเป็นพื้นฐานในการออกแบบ ภาพ 5.2 แสดงแผนภาพเวลาของสัญญาณที่สำคัญของวงจรในภาพ 5.1 ซึ่งการทำงานในแต่ละรอบนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 4 จังหวะเหมือนกับวิธีการในบทความเดิม ดังนี้คือ

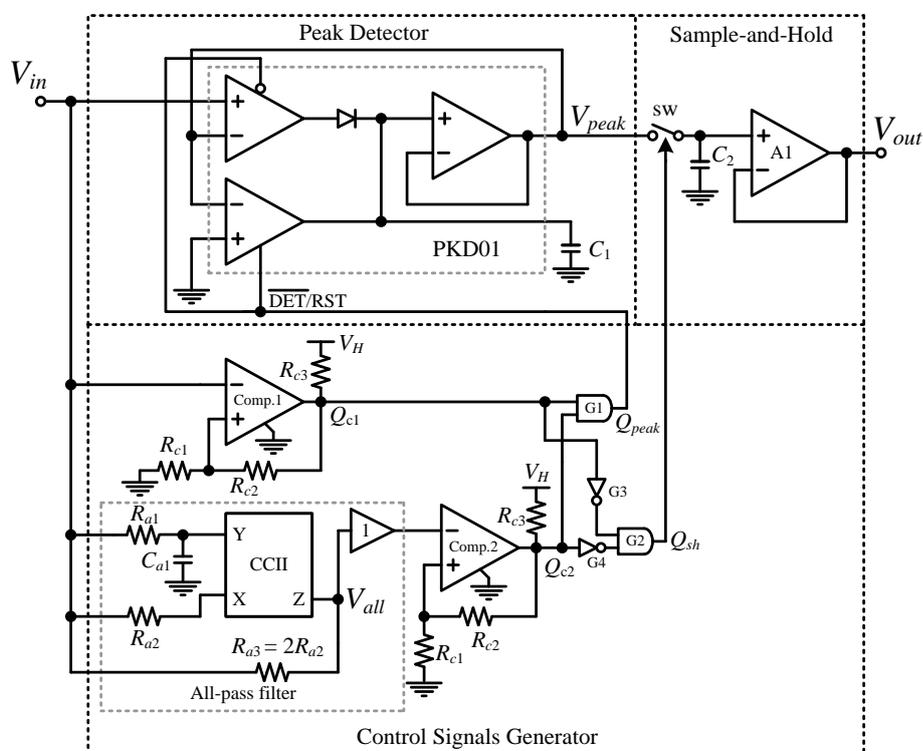
ลำดับที่ 1: สัญญาณควบคุม  $Q_{peak}$  เปลี่ยนสถานะจากตรรกะ 1 เป็นตรรกะ 0 เพื่ออนุญาตให้วงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณเริ่มทำงาน ซึ่งหลังจากเวลา  $T_{in}/4$  จะได้อาต์พุตของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณเป็นค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต

ลำดับที่ 2: สัญญาณควบคุม  $Q_{sh}$  เปลี่ยนสถานะจากตรรกะ 0 เป็นตรรกะ 1 เพื่อควบคุมให้วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณเปิดรับค่าเอาต์พุตของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณไปเป็นเอาต์พุตของวงจร

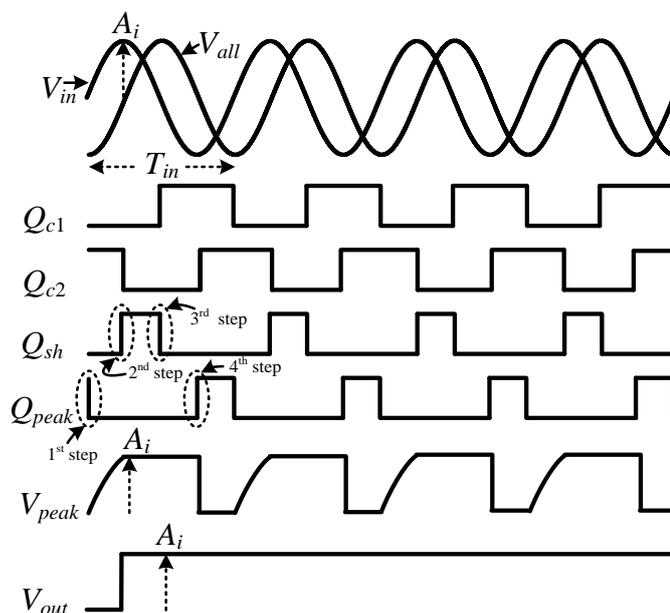
ลำดับที่ 3: สัญญาณควบคุม  $Q_{sh}$  เปลี่ยนสถานะจากตรรกะ 1 เป็นตรรกะ 0 เพื่อควบคุมให้วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณทำการหยุดรับค่าจากวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณพร้อมทั้งรักษาระดับค่าของสัญญาณเดิมไว้ให้มีค่าคงที่ก่อนที่จะมีการเปิดรับข้อมูลใหม่ในรอบการทำงานถัดไป

ลำดับที่ 4: สัญญาณควบคุม  $Q_{peak}$  เปลี่ยนสถานะจากตรรกะ 0 เป็นตรรกะ 1 เพื่อรีเซ็ตค่าเอาต์พุตเดิมของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ สำหรับการเตรียมความพร้อมในรอบการทำงานใหม่

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างวงจรที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่กับงานเดิมคือส่วนของวงจรสร้างสัญญาณควบคุมซึ่งจะสามารถควบคุมให้วงจรสามารถทำงานได้ภายในเวลา 1 คาบของสัญญาณอินพุต ในขณะที่งานเดิมใช้เวลาเท่ากับ 2 คาบของสัญญาณอินพุต ทั้งนี้เนื่องจากในงานดังกล่าว เป็นการอาศัยสมบัติของฟลิปฟลอปชนิดजेके (JK-Flip Flop) สำหรับการหาความถี่ของสัญญาณอินพุตเพื่อนำมาสร้างเป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ และวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ โดยในงานนี้ได้กำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรทั้ง 4 จังหวะเปรียบเทียบกับเฟสของสัญญาณอินพุต ( $\theta_{in}$ ) ไว้ดังนี้คือ จังหวะที่ 1 และจังหวะที่ 3 จะเกิดขึ้นในขณะที่เฟสของสัญญาณอินพุตมีค่าเท่ากับ  $0^\circ$  และ  $180^\circ$  ตามลำดับ จังหวะที่ 2 จะต้องเกิดในช่วงมุม:  $90^\circ \leq \theta_{in} < 180^\circ$  และจังหวะที่ 4 จะต้องเกิดในช่วงมุม:  $270^\circ \leq \theta_{in} < 360^\circ$



ภาพ 5.1 วงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดสำหรับสัญญาณรูปไซน์



ภาพ 5.2 แผนภาพเวลาของสัญญาณที่สำคัญของวงจรในภาพ 5.1

เพื่อให้การทำงานเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ในส่วนของวงจรสร้างสัญญาณควบคุมภายในงานนี้ได้ใช้วิธีนำสัญญาณอินพุตไปผ่านวงจรตรวจจับผ่านศูนย์และวงจรกรองความถี่ผ่านหมดดังแสดงในภาพ 5.1 เมื่อ  $Q_{c1}$  และ  $Q_{c2}$  คือสัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ Comp.1 และ Comp.2 ตามลำดับ โดยจะสามารถสังเคราะห์สัญญาณควบคุม  $Q_{peak}$  และ  $Q_{sh}$  ได้ดังนี้คือ

$$Q_{peak} = Q_{c1} \text{ and } Q_{c2} \quad (5.1)$$

$$Q_{sh} = \overline{Q_{c1}} \text{ and } \overline{Q_{c2}} \quad (5.2)$$

โดยในส่วนของวงจรกรองความถี่ผ่านหมดนั้นได้พัฒนาขึ้นจากวงจรสายพานกระแสซึ่งจะสามารถเขียนฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer function) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณแรงดันเอาต์พุต  $V_{out}$  กับสัญญาณแรงดันอินพุต  $V_{in}$  ของวงจรได้เป็น

$$H(s) = \frac{V_{oll}}{V_{in}} = \frac{(1 - sC_{o1}R_{o1})}{(1 + sC_{o1}R_{o1})} \quad (5.3)$$

เมื่อ  $V_{in} = A_i \sin(2\pi f_{in}t)$  และ  $s = j\omega = j2\pi f_{in}$ , จากสมการที่ (5.3) ขนาดและเฟสของ  $H(s)$  จะสามารถแยกเขียนได้เป็น

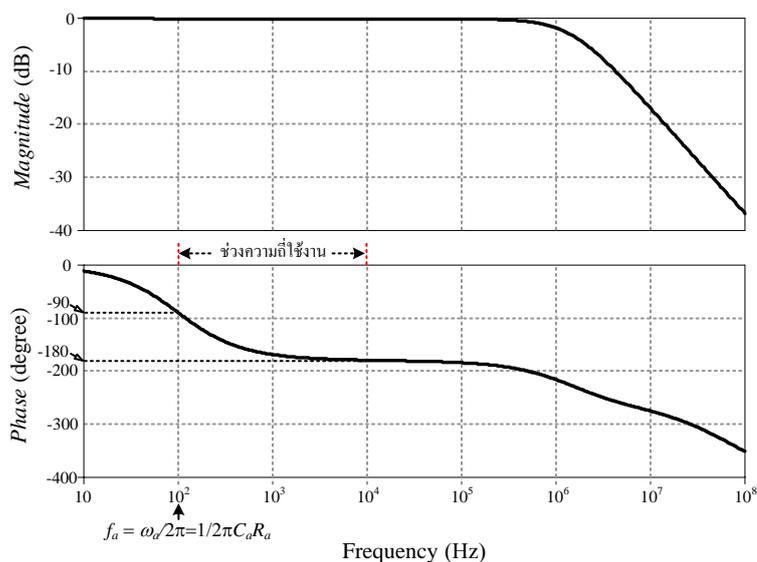
$$|H(j\omega)| = 1 \quad (5.4a)$$

$$\theta_{oll} = \angle H(j\omega) = -2 \arctan \omega C_{o1}R_{o1} \quad (5.4b)$$

สมการที่ (5.4a) แสดงให้เห็นว่าขนาดของสัญญาณเอาต์พุตตลอดช่วงความถี่ใช้งานจะมีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณอินพุต สมการที่ (5.4b) แสดงให้เห็นว่าเฟสของสัญญาณเอาต์พุตจะตามหลังเฟสของสัญญาณอินพุตโดยเมื่อกำหนดให้  $\omega_o = 1/(C_{o1}R_{o1})$  จะได้ผลการเลื่อนเฟสระหว่างสัญญาณทั้งสองเท่ากับ  $90^\circ$  รูป 3 แสดงตัวอย่างผลการเลียนแบบการทำงานของวงจรกรองความถี่ผ่านหมดด้วยโปรแกรม PSPICE ซึ่งเป็นการใช้สมบัติของไอซีเบอร์ AD844 ทำหน้าที่เป็นวงจรสายพานกระแสและบัฟเฟอร์ (Buffer) ภายในไอซีเดียวกัน กำหนดพารามิเตอร์  $f_o = \omega_o / 2\pi = 1/(2\pi C_{o1}R_{o1}) = 100$  Hz และกำหนดสัญญาณแรงดันอินพุต ( $V_{in}$ ) ของวงจรเป็นสัญญาณรูปไซน์ขนาดเท่ากับ  $1 V_{rms}$  ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรเท่ากับ  $\pm 9$  V ทำการทดลองแปรค่าความถี่ของสัญญาณ  $V_{in}$  วัดขนาด (Magnitude) และเฟส (Phase;  $\theta_{oll}$ ) ของสัญญาณเอาต์พุต ( $V_{oll}$ ) เทียบกับสัญญาณ  $V_{in}$  จากรูปผลการเลียนแบบการทำงานของวงจรช่วงความถี่ของสัญญาณ  $V_{in}$  ที่ทำให้เฟสของสัญญาณเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ  $-90^\circ$  ถึง  $-179^\circ$  ซึ่งจะได้ช่วงความถี่ประมาณเท่ากับ 2 ดีเคท (ความถี่ 100 Hz ถึง 10 kHz) อย่างไรก็ตามการกำหนดให้  $f_o = 1/(2\pi C_{o1}R_{o1})$  มีค่าสูงจากผลการเลียนแบบการทำงานของวงจรพบว่าจะมีผลทำให้ช่วงความถี่ใช้งานของวงจรมีค่าแคบลงดังแสดงในตารางที่ 5.1

จากตารางที่ 5.1 สังเกตข้อมูลลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 6 การนำวงจรกรองความถี่ผ่านหมดไปประยุกต์ใช้ สำหรับการสร้างสัญญาณควบคุม  $Q_{sh}$  จะสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ใช้งานโดยประมาณเท่ากับ 0.75 ดีเคท ถึง 2 ดีเคท โดยในทางปฏิบัติช่วงความถี่ใช้งานจะแคบกว่านี้เล็กน้อยเนื่องจากต้องเผื่อเวลาสำหรับการสร้างสัญญาณควบคุม  $Q_{peak}$  เพื่อการรีเซ็ตค่าแอม

พลิจูดเดิมของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ ยกตัวอย่างเช่นข้อมูลในลำดับที่ 5 ถ้าใช้การเผื่อเวลาไว้คิดเป็นมุมเท่ากับ  $5^\circ$  จะได้ช่วงความถี่ใช้งานเท่ากับ 10 kHz ถึง 119.6 kHz สำหรับข้อมูลในลำดับที่ 7 ซึ่งจะได้ช่วงความถี่ใช้งานประมาณเท่ากับ 0.48 ดีเคท (ช่วงความถี่ 719.88 kHz ถึง 2.16 MHz) อย่างไรก็ตามผลจากการทดสอบการทำงานพบว่าช่วงความถี่ใช้งานของวงจรถ้าค่าแอมพลิจูดจะถูกจำกัดอยู่ที่ความสามารถในการทำงานของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ ซึ่งมีค่าสูงสุดประมาณเท่ากับ 170 kHz



ภาพ 5.3 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรรองความถี่ผ่านหมด

$$\text{เมื่อกำหนด } f_a = \omega_a / 2\pi = 1 / (2\pi C_{a1} R_{a1}) = 100 \text{ Hz}$$

ตารางที่ 5.1 การเลื่อนเฟส ( $\theta_{all}$ ) ของสัญญาณเอาต์พุต ( $V_{all}$ ) เปรียบเทียบกับเฟสของสัญญาณอินพุต ( $V_{in}$ ) สำหรับวงจรกรองความถี่ผ่านหมด (จากการเลียนแบบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSPICE)

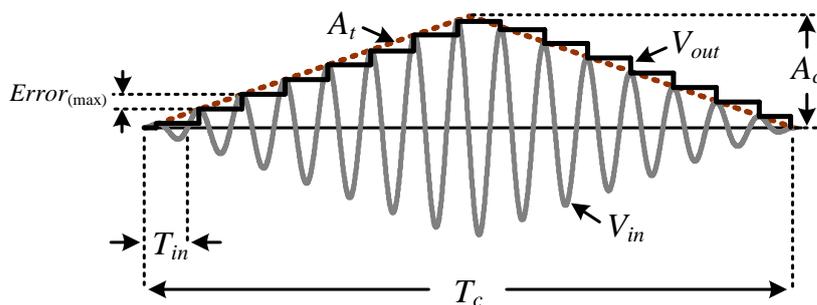
ลำดับที่	พารามิเตอร์		ค่าความถี่ของสัญญาณอินพุต พิจารณาที่ $\theta_{all}$ ต่างๆ (Hz)			ช่วงความถี่ระหว่าง $\theta_{all} = -90^\circ$ ถึง $-179^\circ$ $= \log \frac{f_{in}(\theta_{all} = -179^\circ)}{f_{in}(\theta_{all} = -90^\circ)}$ (ดีเคท)
	$C_{ot}$ ( $\mu\text{F}$ )	$R_{ot}$ ( $\text{k}\Omega$ )	$\theta_{all} = -90^\circ$	$\theta_{all} = -175^\circ$	$\theta_{all} = -179^\circ$	
1	100	1.599	1	23.33	100	2
2	10	1.599	10	230.51	1 k	2
3	1	1.599	100	2.28 k	10 k	2
4	0.1	1.599	1 k	19.98 k	42.87 k	1.63
5	0.01	1.599	10 k	119.60 k	159.25 k	1.20
6	0.001	1.599	95.51 k	490.92 k	538.34 k	0.75
7	0.0001	1.599	719.88 k	2.04 M	2.16 M	0.48

## 5.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวงจร

พารามิเตอร์ประการหนึ่งที่น่าสนใจได้แก่ผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต โดยในที่นี้ได้สมมติให้สัญญาณอินพุต ( $V_{in}$ ) ของวงจรมีความถี่คงที่  $f_{in} = 1/T_{in}$  แต่มีการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูด ( $A_i$ ) เป็นรูปสามเหลี่ยมอย่างต่อเนื่องดังแสดงในภาพ 5.4 โดยมีค่าความถี่ในการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดคือ  $f_c = 1/T_c$  และค่ายอดสูงสุดของสัญญาณอินพุตมีค่าเท่ากับ  $A_c$  กำหนดให้  $Error_{(max)}$  คือค่าผิดพลาดสูงสุดจากการทำงานของวงจร ซึ่งจะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

$$|Error_{(max)}| = \frac{2A_c f_c}{f_{in}} \quad (5.5)$$

จากสมการที่ (5.5) ยกตัวอย่างการคำนวณเช่น ถ้ากำหนดให้  $f_{in} = 50$  kHz โดย  $A_c = 5V$  และ  $f_c = 1$  kHz จะได้  $|Error_{(max)}| = 200$  mV แต่ถ้าใช้  $f_c = 100$  Hz จะได้  $|Error_{(max)}| = 20$  mV ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าต้องการลดขนาดค่าผิดพลาด  $|Error_{(max)}|$  ของวงจรจะต้องกำหนดให้  $f_{in} \gg f_c$  อย่างไรก็ตามค่าผิดพลาดดังกล่าวนี้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดแบบเดิม [14] อยู่ 50% เมื่อใช้เงื่อนไขเดียวกัน



ภาพ 5.4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต

### 5.3 การทดสอบการทำงานของวงจร

การทดสอบสมบัติการทำงานของวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดสำหรับสัญญาณรูปไซน์ภายในงานนี้ได้ใช้วิธีต่อวงจรบนบอร์ดทดลองโดยใช้ไอซีต่างๆ ดังนี้คือ วงจรสายพานกระแสและบัฟเฟอร์นั้นอาศัยสมบัติของไอซีวงจรรขยายชนิดป้อนกลับกระแสเบอร์ AD844 วงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณใช้ไอซีเบอร์ PKD01 ออปแอมป์  $A_1$  ใช้ไอซีเบอร์ LF353 ออปแอมป์ Comp.1 และ Comp.2 ซึ่งใช้สำหรับเป็นวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ใช้ไอซีเบอร์ LM311 แอนด์เกตและไอซีนี้อเกตใช้ไอซีเบอร์ MC14081BCP และ MC14069BCP ตามลำดับ สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ sw ใช้ไอซีเบอร์ MC14066BCP ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรเท่ากับ  $\pm 9$  V กำหนดค่า  $R_{c1} = R_{c3} = 1$  k $\Omega$ ,  $R_{c2} = 100$  k $\Omega$ ,  $R_{o1} = 1.6$  k $\Omega$ ,  $R_{o3} = 2R_{o2} = 20$  k $\Omega$ ,  $C_2 = 10$  nF

ลำดับที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองแปรค่าตัวเก็บประจุ  $C_1$  สำหรับวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณ ทั้งนี้เพื่อหาช่วงความถี่ใช้งานที่วงจรยังคงสามารถตรวจจับค่าแอมพลิจูดขนาด 5 V ได้ทันโดยมีความผิดพลาดในการทำงานโดยประมาณไม่เกิน  $\pm 0.1$  V (ก่อนถูกรีเซ็ตค่าทุกรอบการทำงาน) ซึ่งจะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.2

ลำดับที่ 2 ผู้วิจัยได้ทดสอบสมบัติการทำงานของวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดโดยการป้อนอินพุตของวงจรเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่มีค่าแอมพลิจูดคงที่ในช่วงความถี่ต่างๆ (โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2) ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบจังหวะการทำงานและช่วงความถี่ใช้งานของวงจร โดยจะได้รูปตัวอย่างผลการทำงานของวงจรดังแสดงในภาพ 5.5 และภาพ 5.6

ลำดับที่ 3 เป็นการทดสอบความถูกต้องในการทำงานของวงจรในกรณีที่สัญญาณอินพุตของวงจรมีความถี่เท่ากับ 1 kHz แอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตแปรค่าในช่วง 0.2 V ถึง 5 V ซึ่งได้รูปการทำงานของวงจรดังแสดงในภาพ 5.7

ลำดับที่ 4 เป็นการทดสอบสมบัติการทำงานของวงจรในกรณีที่สัญญาณอินพุตของวงจรมีการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูด โดยในที่นี้ได้นำสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 10 kHz มอดูเลตทางขนาด (amplitude modulator) กับสัญญาณความถี่ต่ำรูปร่างต่างๆ โดยจะได้รูปตัวอย่างผลการทำงานของวงจรดังแสดงในภาพ 5.8

ลำดับสุดท้ายเป็นการทดลองวัดค่าผลรวมความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิก (Total Harmonic Distortion; THD) สัญญาณเอาต์พุต ( $V_{out}$ ) ของวงจร โดยได้กำหนดให้อินพุตของวงจรเกิดจากการมอดูเลตแอมพลิจูดระหว่างสัญญาณรูปไซน์ความถี่คงที่เท่ากับ 50 kHz กับสัญญาณตัวที่สองซึ่งเป็นรูปไซน์ขนาดเท่ากับ 1 V แปรค่าความถี่ของสัญญาณตัวที่สองในช่วง 1 Hz ถึง 10 kHz ซึ่งจะได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพ 5.9

#### 5.4 ผลการทดสอบการทำงานของวงจรและการอภิปรายผล

จากตารางที่ 2 ค่า  $f_{in(min)}$  และ  $f_{in(max)}$  คือค่าความถี่ต่ำสุดและค่าความถี่สูงสุดที่วงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณสามารถทำงานได้ (จากการเลือกใช้ตัวเก็บประจุแต่ละค่า) ตามลำดับ โดยที่ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณแรงดันอินพุตกำหนดไว้เท่ากับ 5 V นอกจากนี้จากการตรวจสอบพบว่าการเลือกใช้ตัวเก็บประจุแต่ละค่านั้นวงจรจะสามารถใช้งานกับสัญญาณอินพุตที่มีค่าแอมพลิจูดต่ำสุดได้ไม่เท่ากัน โดยผู้วิจัยได้เลือกเฉพาะช่วงความถี่ที่วงจรมีช่วงปฏิบัติการ 200 mV ถึง 5 V มาแสดงผล จะสังเกตได้ว่าหากต้องการใช้งานกับสัญญาณอินพุตที่มีความถี่สูงจะต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าต่ำ แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่าวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณที่ใช้สามารถใช้งานกับสัญญาณอินพุตที่มีความถี่สูงสุดประมาณเท่ากับ 170 kHz

ตารางที่ 5.2 ตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณในแต่ละช่วงความถี่ใช้งาน

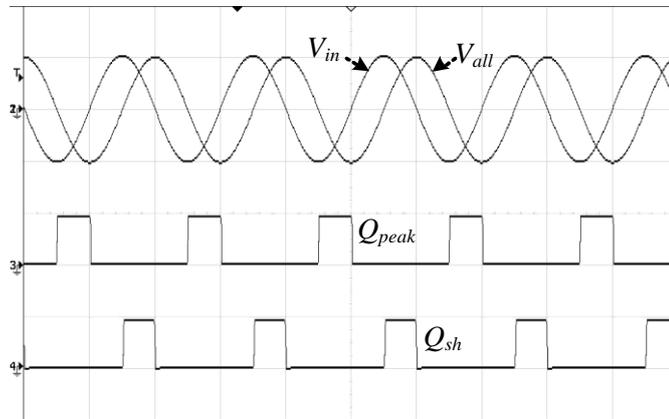
ค่าตัวเก็บประจุ (nF)	ช่วงความถี่ใช้งาน (kHz)	
	$f_{in(min)}$	$f_{in(max)}$
0.1	70	170
0.143	10	110
1	0.3	30
10	0.1	1.5
20	0.001	0.1

พิจารณาผลการทำงานของวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดในภาพ 5.5(ก) เมื่อสัญญาณอินพุตมีความถี่เท่ากับ 1 kHz (กำหนดค่า  $f_a = 1/(2\pi C_1 R_{o1}) = 1$  kHz และ  $C_1 = 10$  nF) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเฟสของสัญญาณ  $V_{all}$  ตามหลังเฟสของสัญญาณ  $V_{in}$  เท่ากับ  $90^\circ$  สัญญาณ  $Q_{sh}$  และ  $Q_{peak}$  เกิดในช่วงมุม  $90^\circ$  ถึง  $180^\circ$  และช่วงมุม  $270^\circ$  ถึง  $360^\circ$  ของสัญญาณ  $V_{in}$  ตามลำดับ สำหรับภาพ 5.5(ข) จะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุต ( $V_{peak}$ ) ของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณจะถูกรีเซ็ตค่าทุกรอบการทำงานที่เกิดมีสัญญาณ  $Q_{peak}$  ในขณะที่สัญญาณเอาต์พุต ( $V_{out}$ ) ของวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดที่ได้จะมีลักษณะเป็นไฟตรงซึ่งมีขนาดเท่ากับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต  $V_{in}$

ภาพ 5.6 แสดงผลการทำงานของวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดโดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรเช่นเดียวกับผลการทำงานในภาพ 5.5 แต่เปลี่ยนความถี่ของสัญญาณอินพุตเป็น 10 kHz โดยจะเห็นได้ว่าเฟสของสัญญาณ  $V_{all}$  ตามหลังเฟสของสัญญาณ  $V_{in}$  เกือบเท่ากับ  $180^\circ$  สัญญาณ  $Q_{sh}$  และ  $Q_{peak}$  เกิดในช่วงมุมก่อน  $180^\circ$  ถึง  $180^\circ$  และช่วงมุมก่อน  $360^\circ$  ถึง  $360^\circ$  ของสัญญาณ  $V_{in}$  ตามลำดับ ทั้งนี้วงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดยังคงสามารถทำงานได้ และจากการตรวจสอบพบว่าสามารถทำงานได้ถึงความถี่ประมาณ 20 kHz (สอดคล้องกับตารางที่ 1) นอกจากนี้ทั้งภาพ 5.5 และภาพ 5.6 ยังแสดงให้เห็นว่า 1 รอบการทำงานของวงจรจะใช้เวลาเท่ากับ 1 คาบของสัญญาณอินพุตซึ่งเร็วกว่าหลักการเดิม [14] ที่ได้เคยมีการนำเสนอไว้

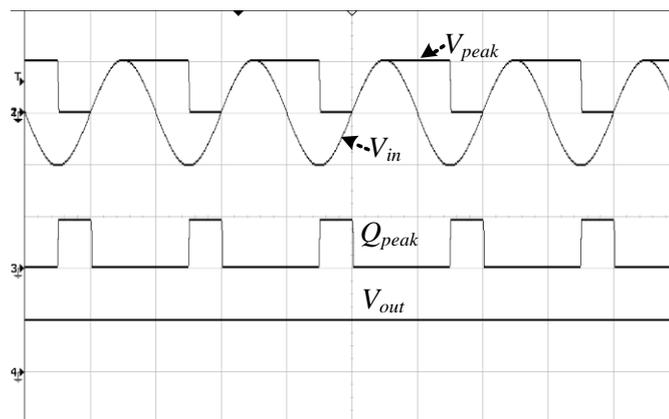
ภาพ 5.7 แสดงผลการแปรค่าแอมพลิจูดสัญญาณอินพุตของวงจร ซึ่งจะเห็นได้ว่าวงจรมีช่วงปฏิบัติการทางขนาดตั้งแต่ 200 mV ถึง 5 V โดยมีค่าความผิดพลาดในการทำงานอยู่ที่ประมาณ  $\pm 1.8\%$  ของค่าเต็มสเกล (ค่าเต็มสเกลเท่ากับ 5 V)

สำหรับผลการทำงานของวงจรในภาพ 5.8 แสดงให้เห็นว่าวงจรสามารถตรวจวัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างรวดเร็ว พิจารณาผลจากค่าความถี่ในการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตในภาพ 5.8(ข) ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 100 Hz เปรียบเทียบกับภาพ 5.8(ค) ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 500 Hz จะเห็นได้ในเบื้องต้นว่าสัญญาณเอาต์พุตของภาพ 5.8(ข) จะมีความต่อเนื่องสม่ำเสมอว่าสัญญาณเอาต์พุตของภาพ 5.8(ค) และผลจากการแปรค่าความถี่ของสัญญาณรูปไซน์ (ซึ่งถูกมอดูเลตทางขนาดกับสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 50 kHz) ในขั้นตอนการทดลองลำดับสุดท้ายแสดงให้เห็นว่าเมื่อความถี่ของสัญญาณสูงขึ้น (เข้าใกล้ความถี่ 50 kHz มากขึ้น) จะได้ค่าผลรวมความผิดพลาดสัมพัทธ์มีค่ามากขึ้น



(สเกลแนวตั้งเท่ากับ 5 V/div., 5 V/div., 10 V/div., และ 5 V/div. ตามลำดับ; สเกลแนวนอน 500  $\mu$ s/div.)

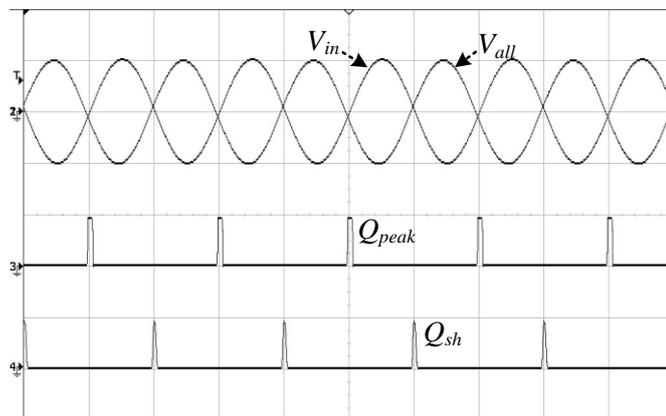
(ก) สัญญาณ  $V_{in}$ ,  $V_{all}$ ,  $Q_{peak}$  และ  $Q_{sh}$



(สเกลแนวตั้งเท่ากับ 5 V/div., 5 V/div., 10 V/div., และ 5 V/div. ตามลำดับ; สเกลแนวนอน 500  $\mu$ s/div.)

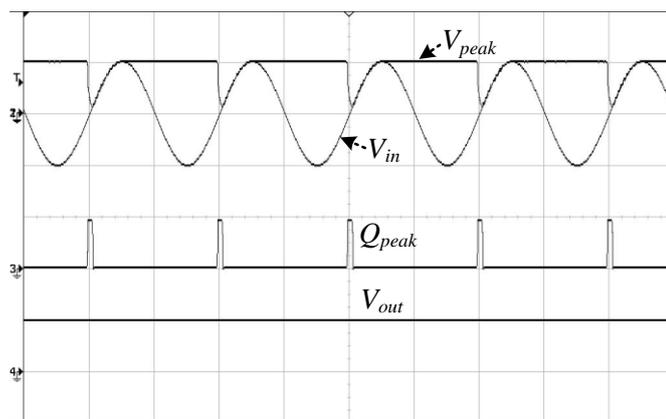
(ข) สัญญาณ  $V_{in}$ ,  $V_{peak}$ ,  $Q_{peak}$  และ  $V_{out}$

ภาพ 5.5 ผลการทำงานกรณีสัญญาณอินพุตมีค่าแอมพลิจูดคงที่เท่ากับ 5 V ความถี่ 1 kHz



(สเกลแนวตั้งเท่ากับ 5 V/div., 5 V/div., 10 V/div., และ 5 V/div. ตามลำดับ; สเกลแนวนอน 500  $\mu$ s/div.)

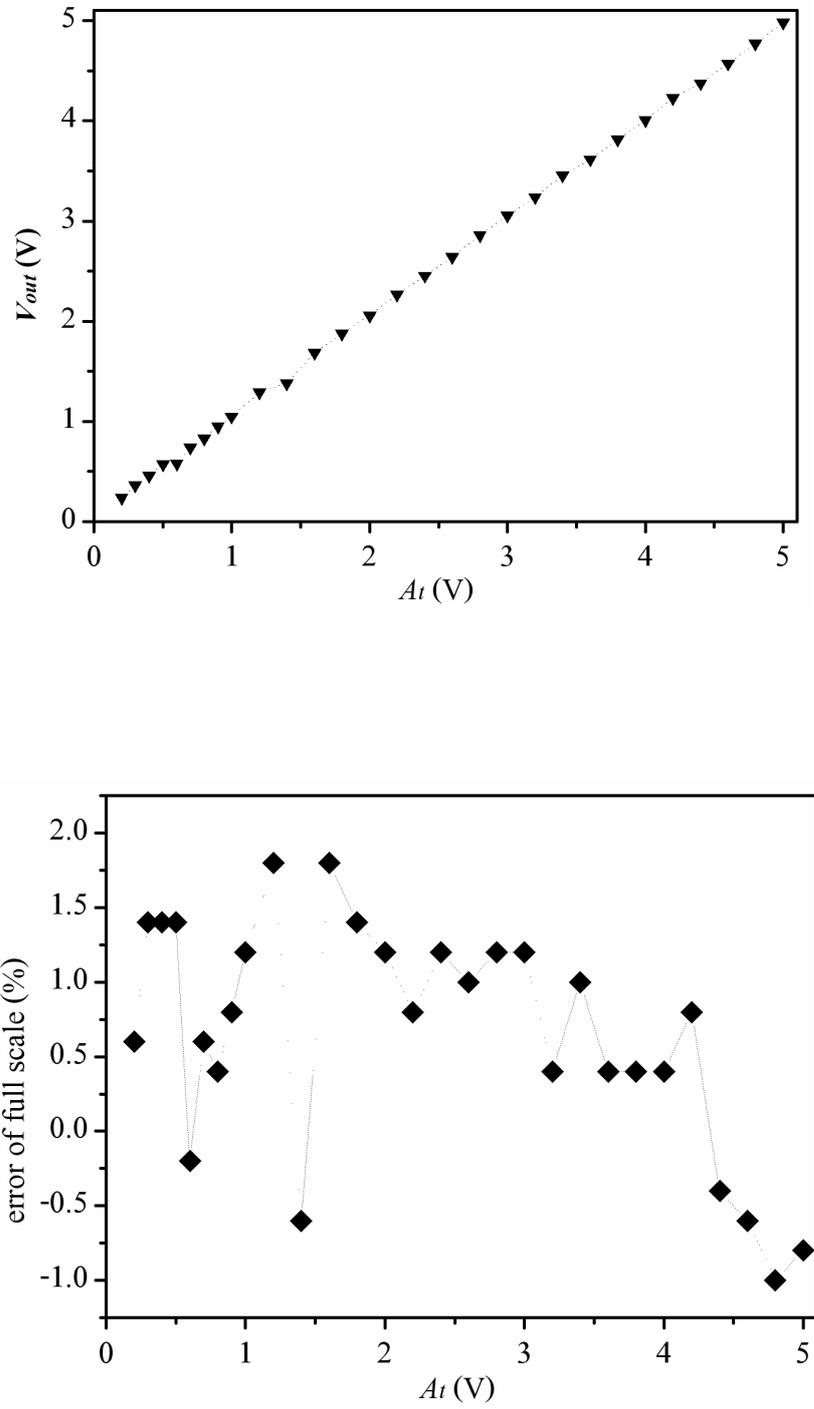
(ก) สัญญาณ  $V_{in}$ ,  $V_{all}$ ,  $Q_{peak}$  และ  $Q_{sh}$



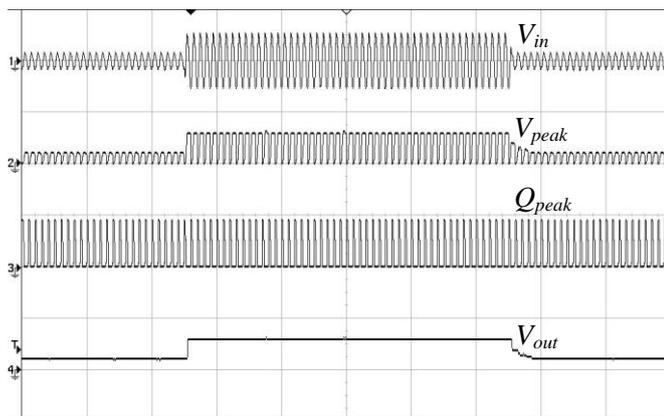
(สเกลแนวตั้งเท่ากับ 5 V/div., 5 V/div., 10 V/div., และ 5 V/div. ตามลำดับ; สเกลแนวนอน 500  $\mu$ s/div.)

(ข) สัญญาณ  $V_{in}$ ,  $V_{peak}$ ,  $Q_{peak}$  และ  $V_{out}$

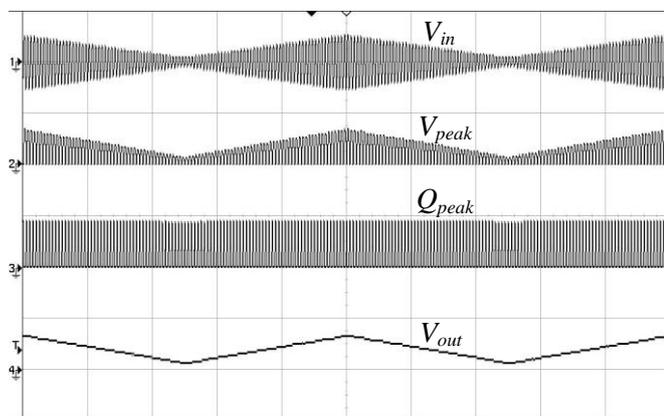
ภาพ 5.6 ผลการทำงานกรณีสัญญาณอินพุตมีค่าแอมพลิจูดคงที่เท่ากับ 5 V ความถี่ 10 kHz



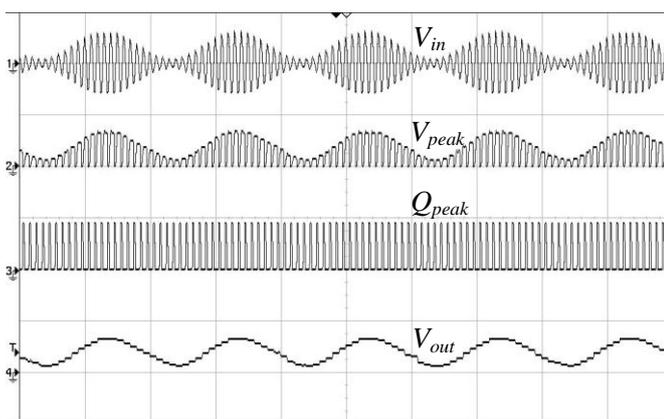
ภาพ 5.7 ผลการแปรค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต



(ก) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดเป็นรูปสี่เหลี่ยม

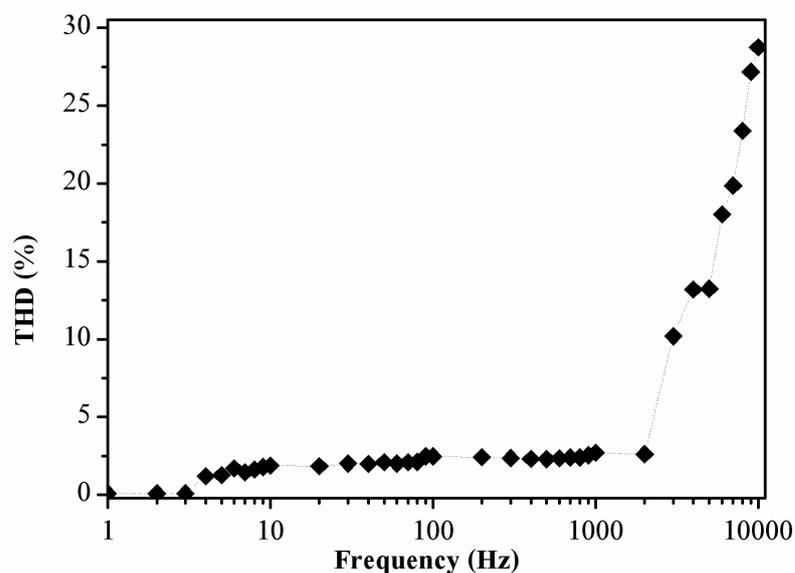


(ข) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดเป็นรูปสามเหลี่ยม



(ค) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดเป็นรูปไซน์

ภาพ 5.8 ผลการทำงานในกรณีที่สัญญาณอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงค่าแอมพลิจูดเป็นรูปต่างๆ (สเกลแนวตั้งทุกรูปเท่ากับ 5 V/div., 5 V/div., 10 V/div., และ 5 V/div. ตามลำดับ; สเกลแนวนอนสำหรับรูป 8(ก), 8(ข), และ 8(ค) เท่ากับ 1 ms/div., 2 ms/div., และ 1 ms/div. ตามลำดับ)



ภาพ 5.9 ผลการวัดค่าผลรวมความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก

## 5.5 สรุป

หลักการของตัวสร้างสัญญาณควบคุมสำหรับวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณรูปไซน์ที่ได้พัฒนาออกแบบขึ้นในครั้งนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากสมบัติการเลื่อนเฟสของวงจรกรองความถี่ผ่านหมดซึ่งได้นำมาต่อร่วมกับวงจรตรรกะ สัญญาณควบคุมที่ได้นำมาใช้ควบคุมจังหวะการทำงานของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณและวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณซึ่งเป็นวงจรร้อยภายในวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูด อาศัยการเลือกค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองความถี่ผ่านหมดที่เหมาะสมจะทำให้ได้ช่วงความถี่ใช้งานของวงจรประมาณ 0.75 ดีเคท ถึง 2 ดีเคท ต่อการเลือกกำหนดค่าพารามิเตอร์ 1 ครั้ง ค่าความถี่ใช้งานสูงสุดของวงจรตรวจวัดค่าแอมพลิจูดถูกจำกัดที่ความสามารถในการทำงานของวงจรตรวจจับค่ายอดสัญญาณซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงโดยประมาณเท่ากับ 170 kHz ช่วงปฏิบัติการทางขนาดของวงจรเท่ากับ 200 mV ถึง 5 V โดยเมื่อทดสอบกับสัญญาณอินพุตที่มีความถี่เท่ากับ 1 kHz สามารถวัดค่าความผิดพลาดสูงสุดของวงจรได้ในช่วง  $\pm 1.8\%$  ของค่าเต็มสเกล (5 V)