

บทที่ 6

การประยุกต์ใช้งาน

6.1 บทนำ

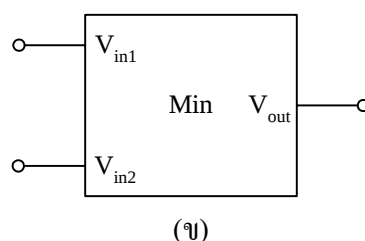
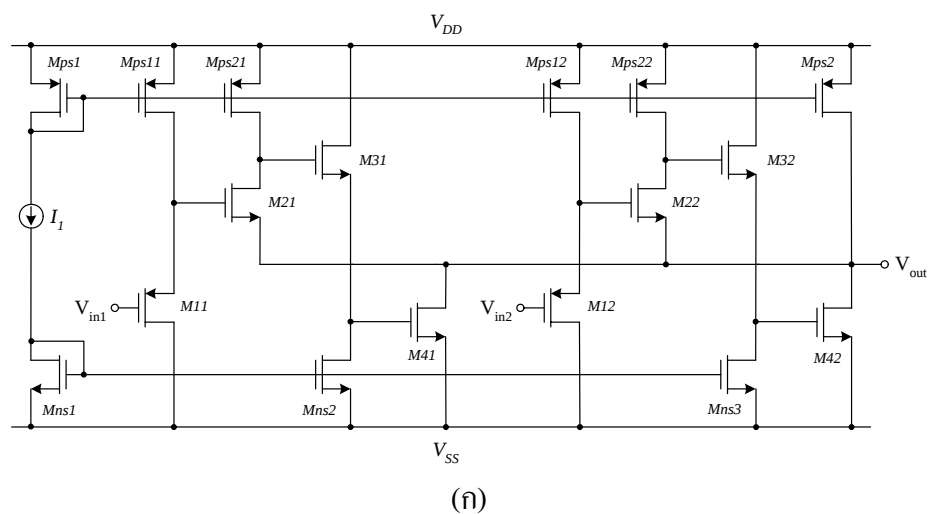
วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกโดยใช้วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดได้นำเสนอในบทที่ 6 นี้ วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดจะถูกนำมาทำหน้าที่เป็นวงจรคลิป์แรงดันบวก โดยการใช้วงจรคลิป์แรงดันบวกที่สร้างจากวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดทำให้เหมาะกับการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกที่มีจำนวนบิตมาก การเพิ่มจำนวนบิตสามารถทำได้ง่ายและมีความเที่ยงตรงต่อนั้นได้นำวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดมาประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรช้อปเปอร์มอดูเลเตอร์ วงจรมอดูเลเตอร์ 2 วงจรที่นำเสนอได้แก่ วงจรโคแวนช้อปเปอร์มอดูเลเตอร์และวงจรริงช้อปเปอร์มอดูเลเตอร์ วงจรมอดูเลเตอร์ทั้งสองเหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวมเพราะสามารถสร้างได้ด้วยมอสทรานซิสเตอร์ทั้งหมด คุณสมบัติวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกและวงจรช้อปเปอร์มอดูเลเตอร์จะถูกตรวจสอบโดยใช้โปรแกรม PSpice ผลการจำลองแสดงว่าวงจรที่นำเสนอสามารถทำงานได้เป็นที่น่าพอใจ

6.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก

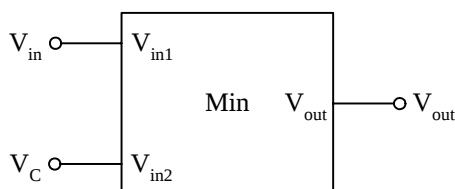
วงจรคลิป์ (Clipping circuit) คือวงจรที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก โดยทั่วไปวงจรคลิป์มักจะถูกสร้างโดยใช้โอปแอมป์ทำงานร่วมกับซีเนอร์ไดโอด [18] ซึ่งทำงานในโหมดแรงดัน จุดคลิป์สามารถกำหนดได้ด้วยค่าแรงดันซีเนอร์ไดโอดซึ่งการเปลี่ยนจุดคลิป์สามารถทำได้ด้วยค่าแรงดันของซีเนอร์ไดโอด การจะเปลี่ยนจุดคลิป์ของวงจรจะต้องเปลี่ยนตัวซีเนอร์ไดโอดซึ่งทำให้ยุ่งยาก นอกจากนี้วงจรคลิป์ที่ใช้โอปแอมป์เป็นพื้นฐานไม่เหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวมและวงจรทำงานได้ที่ความถี่ไม่สูงเนื่องจากค่า GBW ที่มีอยู่ในตัวโอปแอมป์จะจำกัดการทำงานของวงจร เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการนำวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดมาทำหน้าที่เป็นวงจรคลิป์แรงดัน วงจรที่จะนำเสนอทำงานในโหมดแรงดันแต่มีข้อดีหลายประการคือ เหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม ใช้แหล่งจ่ายแรงดันต่ำ สามารถเปลี่ยนจุดคลิป์ได้ง่าย วงจรคลิป์แรงดันบวกที่สร้างจากวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดจะถูกนำมาสร้างเป็นวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกซึ่งประโยชน์ของการใช้วงจรคลิป์ดังกล่าวคือทำให้สามารถเพิ่มบิตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกได้โดยง่ายโดยปราศจากการปรับแต่งวงจรหรือไม่ต้องการเพิ่มการถ่วงน้ำหนักเมื่อต้องการเพิ่มบิตเหมือนกับวงจรใน [19]

6.2.1 วงจรคลิปลแรงดันบวกด้วยวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุด

วงจรคลิปลแรงดันบวกจะใช้วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดในบทที่ 5 มาสร้าง วงจรคลิปลหนึ่งวงจรจะใช้วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดที่มี 2 อินพุตหนึ่งวงจร วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดที่มี 2 อินพุตที่จะนำมาใช้เป็นวงจรคลิปลแสดงได้ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งเป็นวงจรที่เหมือนกับวงจรที่เคยนำเสนอในบทที่ 5 ทุกประการ การนำวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดมาสร้างเป็นวงจรคลิปลแรงดันบวกมีดังนี้ อินพุต V_{in1} จะกำหนดให้เป็นอินพุตของสัญญาณดิจิทัล V_{in} ส่วนอินพุต V_{in2} จะกำหนดให้เป็นแรงดันคลิปลอินพุต V_C แรงดันคลิปลคือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้เป็นตัวกำหนดจุดคลิปลที่ตำแหน่งต่างๆ ที่แอมพลิจูดของสัญญาณ V_{in} ด้วยคุณสมบัติของวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดขนาดแอมพลิจูดที่อยู่สูงกว่าค่าแรงดัน V_C จะถูกคลิปลทิ้งไป ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่าวงจรคลิปลแรงดันบวกซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก จากวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดในรูปที่ 6.1 เมื่อนำมาทำหน้าที่เป็นวงจรคลิปลสามารถแสดงเป็นบล็อกได้ดังรูปที่ 6.2 วงจรในรูปที่ 6.2 จะเหมือนกับวงจรในรูปที่ 6.1 ทุกประการ การกำหนดแรงดันอินพุต V_{in} และ V_C สามารถสลับกันได้โดยไม่มีผลใดๆ กับคุณสมบัติการคลิปลแรงดันของวงจร



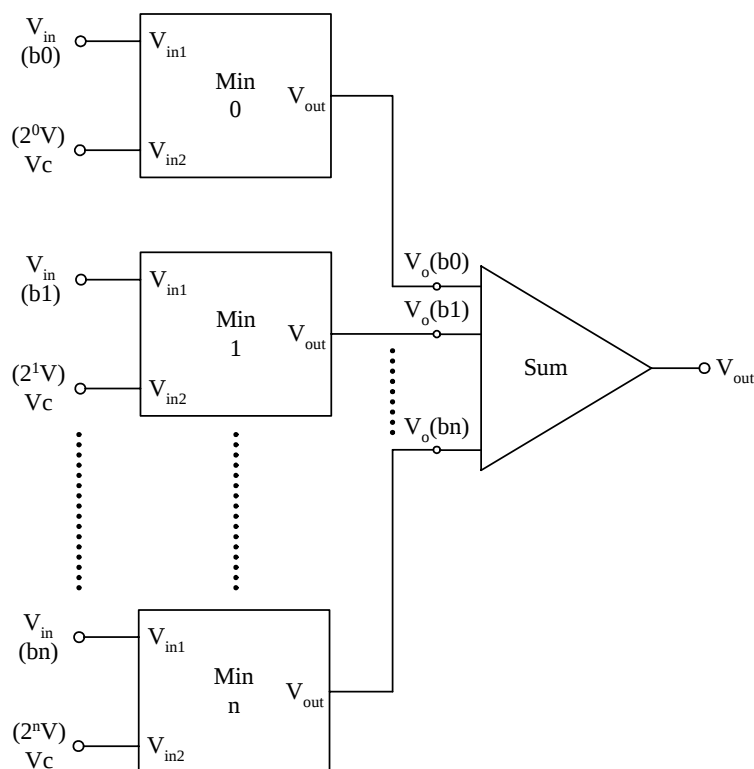
รูปที่ 6.1 วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุด 2 อินพุต (ก) วงจร (ข) บล็อกสัญลักษณ์



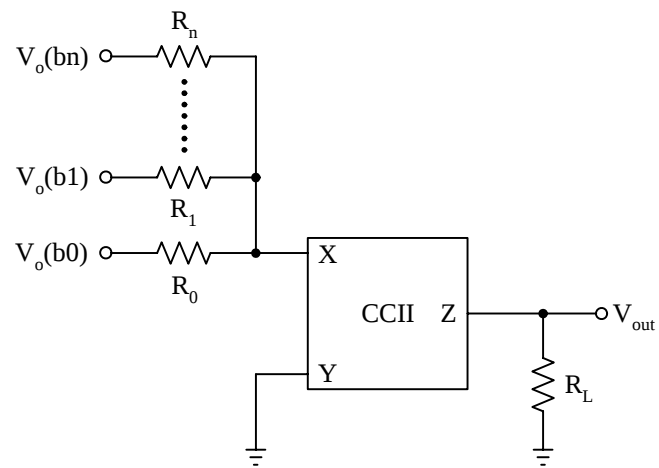
รูปที่ 6.2 บล็อกวงจรคลิป์แรงดันบวก

6.2.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกด้วยวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุด

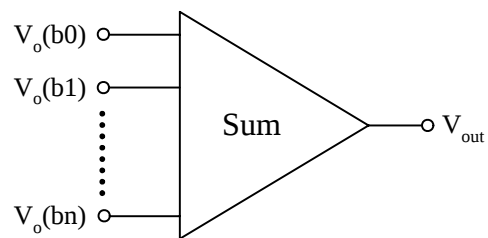
ในปัจจุบันการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัลมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง แต่เนื่องจากแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยปกติมักจะเป็นสัญญาณอนาลอก ดังนั้นระบบการประมวลผลจึงต้องการวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเป็นวงจรส่วนหน้าเสมอ ในทางกลับกันหลังจากที่ผ่านกระบวนการประมวลผลแล้วจำเป็นต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก เนื่องจากการรับรู้ของมนุษย์เป็นอนาลอกดังนั้นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกจึงมีความจำเป็นเท่าๆ กัน คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรทั้งสองคือความเที่ยงตรงเพราะความผิดพลาดจากการแปลงจะมีผลต่อคุณภาพของสัญญาณทั้งอินพุตและเอาต์พุต



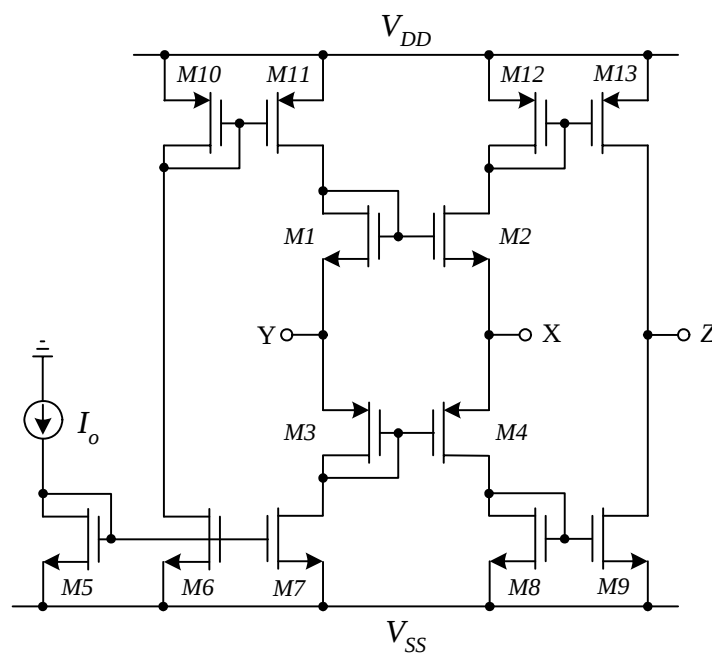
รูปที่ 6.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกโดยใช้วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุด



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6.4 วงจรรวมสัญญาณ (ก) วงจรรวมสัญญาณด้วย CCII (ข) บล็อกสัญญาณ (ค) วงจร CCII

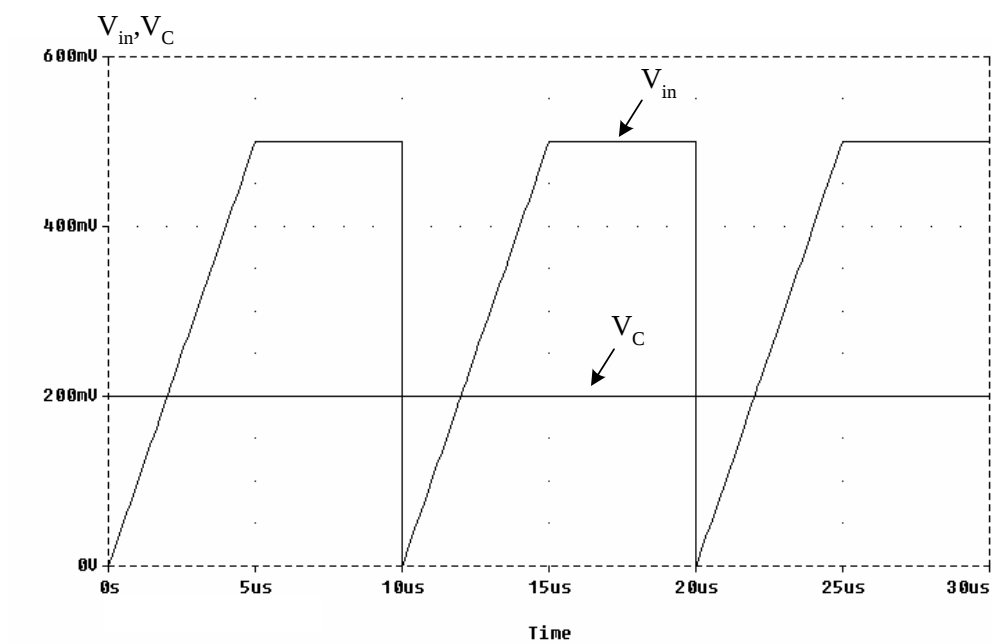
วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกโดยใช้วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดสามารถถอดรหัสได้อย่างถูกต้องจะนำเสนอในบทนี้ซึ่งวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 6.3 การกำหนดน้ำหนักของแต่ละบิตสัญญาณดิจิทัลทำได้โดยการกำหนดค่าแรงดันคลิป์ของวงจรคลิป์ “ค่าแรงดันคลิป์สูงสุด ($2^n V$)” ที่นำมาใช้จะต้องไม่มากกว่าค่าแรงดันลอจิก “1” ของสัญญาณดิจิทัล สัญญาณแรงดันที่ถูกคลิป์ตามค่าน้ำหนักของแต่ละบิตจะถูกนำมารวมกันทางเอาต์พุตด้วยวงจรรวมสัญญาณ (Summing circuit) ซึ่งวงจรที่นำมาใช้แสดงได้ดังรูปที่ 6.4 เอาต์พุตที่ได้คือสัญญาณอนาลอก วงจรรวมสัญญาณจะสร้างจากวงจรสายพานกระแส (CCII) และตัวต้านทาน จากวงจรในรูปที่ 6.4(ก) ค่าแรงดันเอาต์พุตสามารถกำหนดได้คือ

$$V_{out} = \left(\frac{V_o(b0)}{R_0} + \frac{V_o(b1)}{R_1} + \dots + \frac{V_o(bn)}{R_n} \right) R_L \quad (5.1)$$

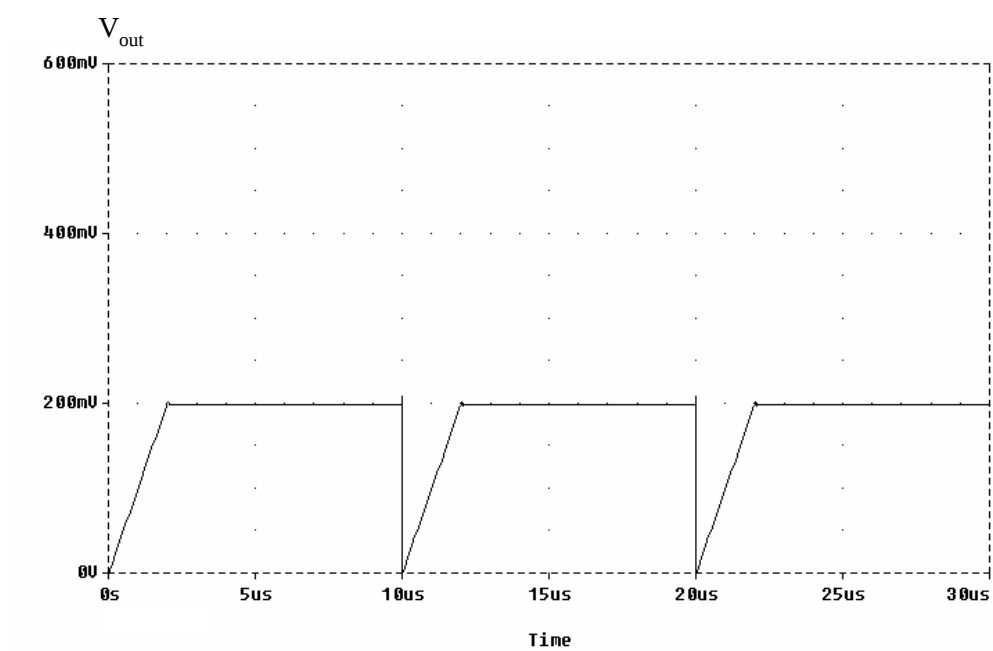
ถ้ากำหนด $R_0=R_1\dots R_n=R_L$ อัตราการขยายของวงจรจะเท่ากับ 1 วงจรสายพานกระแสสามารถสร้างได้ด้วยวงจรที่แสดงในรูปที่ 6.4(ค) การปรับอัตราการขยายหรือสโลปของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกสามารถทำได้โดยง่ายจากการกำหนดค่า V_c ซึ่งเป็นแรงดันคลิป์ทำให้ง่ายต่อจะนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบควบคุมอัตโนมัติอีกด้วย จากวงจรแปลงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกที่นำเสนอจะเห็นว่าการเพิ่มบิตของวงจรสามารถทำได้โดยง่ายเพียงแค่เพิ่มวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดเข้าไปโดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเพื่อเพิ่มการถ่วงน้ำหนักเหมือนกับวงจรใน [19]

6.3 ผลการจำลองการทำงานวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก

เพื่อตรวจสอบการทำงานของวงจรคลิป์แรงดันแบบบวกและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกที่นำเสนอ จะทำการเลียนแบบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice โดยใช้โมเดลขนาด $0.5\mu m$ ของ MIETEC วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดที่ใช้สร้างวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกกำหนดค่า W/L เหมือนกับวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุด 2 อินพุตที่นำเสนอในบทที่ 5 ทุกประการ วงจรใช้แหล่งจ่ายแรงดันคือ $V_{DD}=1.5V$ และ $V_{SS}=-1.5V$ ค่า W/L ของมอสทรานซิสเตอร์ในวงจรรูปที่ 6.4(ค) กำหนดได้คือ $10\mu m/0.6\mu m$ สำหรับ NMOS ทุกตัวและ $30\mu m/0.6\mu m$ สำหรับ PMOS ทุกตัว กระแสไบอัส $I_0=50\mu A$ และ $R_0=R_1\dots R_n=R_L=1k\Omega$ รูปที่ 6.5 แสดงผลการจำลองการทำงานเมื่อป้อนสัญญาณอินพุต V_{in} เป็นสัญญาณพัลส์ขนาด $0.5V_{p-p}$ และป้อนแรงดันคลิป์ V_c เท่ากับ $0.2V$ ให้กับวงจรคลิป์แรงดันในรูปที่ 6.2 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตแสดงได้ดังรูปที่ 6.5(ข) จากผลการจำลองการทำงานจะเห็นว่าวงจรสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง จะเห็นว่าขนาดของแอมพลิจูดที่มากกว่า $0.2V$ ถูกตัดทิ้งไปอย่างถูกต้อง

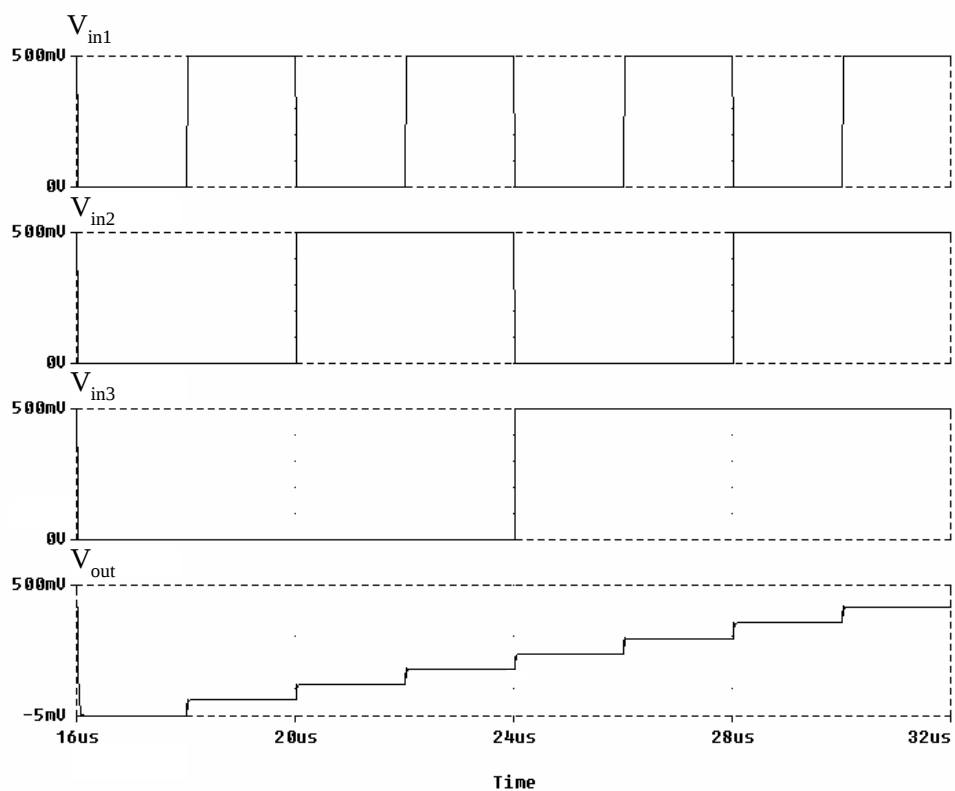


(ก)

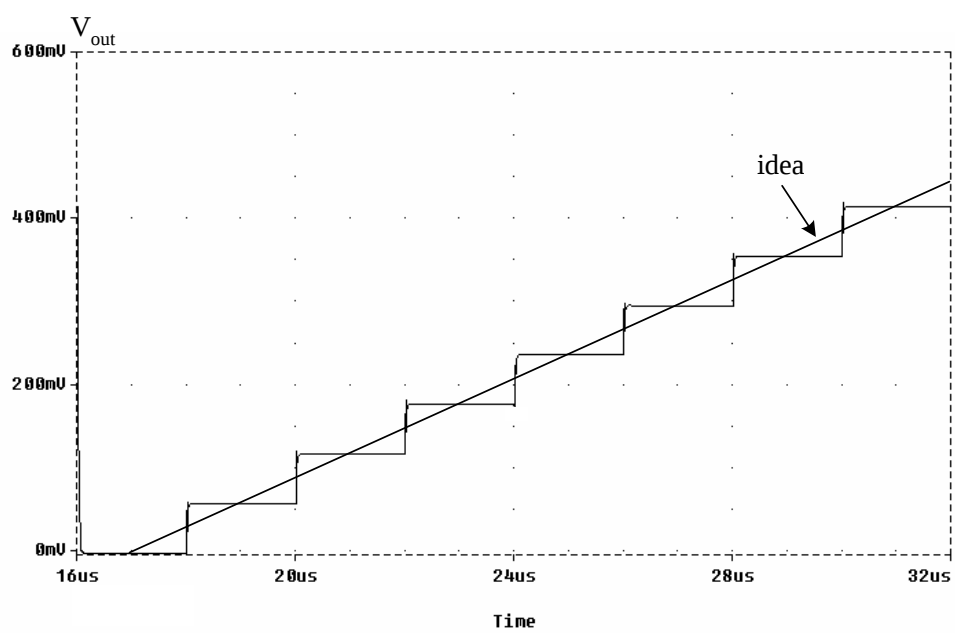


(ข)

รูปที่ 6.5 การทำงานของวงจรคลิป์แรงดัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.6 การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (ก) สัญญาณอินพุต (ข) สัญญาณเอาต์พุตที่ถูกขยาย

รูปที่ 6.6 แสดงการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก โดยได้ทดลองออกแบบเป็นวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกขนาด 3 บิต กำหนดสถานะลอจิก “0”=0V และลอจิก “1”=0.5V จากเงื่อนไขการออกแบบที่ว่า ค่าแรงดันคลิป์สูงสุด ($2^N V$) ที่นำมาใช้จะต้องไม่มากกว่าค่าแรงดันลอจิก “1” ของสัญญาณดิจิทัล ดังนั้นแรงดันคลิป์ V จึงกำหนดเท่ากับ 0.0625V ดังนั้น อินพุต $V_C(2^0 V)=0.0625V$ อินพุต $V_C(2^1 V)=0.125V$ และอินพุต $V_C(2^2 V)=0.25V$ จากผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 6.6 จะเห็นว่าผลการจำลองเป็นไปตามทฤษฎีของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกโดยแรงดันเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงตามค่าน้ำหนักของจำนวนบิตอินพุตที่ป้อนเข้ามา จากรูปจะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามค่าทางอุดมคติซึ่งสามารถกำหนดได้จากการคำนวณ

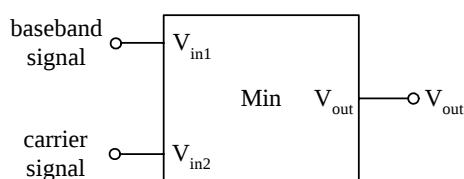
เนื่องจากช่วงปฏิบัติงานทางอินพุตของวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดคือ $\pm 600mV$ ที่แหล่งจ่าย $\pm 1.5V$ และเพื่อป้องกันความผิดพลาดได้เลือกใช้ $500mV$ ซึ่งจะเห็นว่าค่อนข้างแคบ การเพิ่มช่วงปฏิบัติงานทางอินพุตให้กว้างขึ้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มค่าแหล่งจ่ายแรงดันให้สูงขึ้นซึ่งจะทำให้วงจรมีช่วงปฏิบัติงานทางอินพุตกว้างขึ้นตามไปด้วย

6.4 วงจรช็อปเปอร์มอดูเลเตอร์

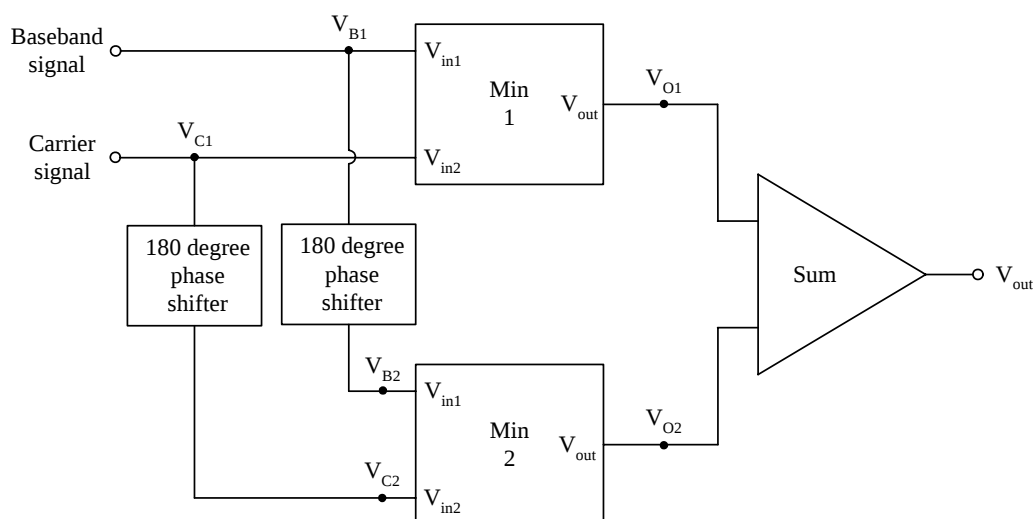
แอมพลิจูดมอดูเลเตอร์ (Amplitude Modulator: AM) คือการมอดูเลตระหว่างสัญญาณข่าวสาร (Baseband signal) และสัญญาณพาหะ (Carrier signal) โดยความถี่ของสัญญาณพาหะจะมีค่าสูงกว่าความถี่สัญญาณข่าวสาร แอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต AM จะถูกควบคุมด้วยแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารโดยมีความถี่เท่ากับสัญญาณพาหะ สัญญาณพาหะที่นำมามอดูเลตกับสัญญาณข่าวสารที่คุ้นเคยกันดีคือสัญญาณรูปคลื่นไซน์ แต่อย่างไรก็ตาม สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมก็สามารถนำมาเป็นสัญญาณพาหะได้เช่นเดียวกันซึ่งจะเรียกว่า “ช็อปเปอร์มอดูเลเตอร์” (Chopper modulator) [20] ช็อปเปอร์มอดูเลเตอร์คือการนำเอาสัญญาณพาหะรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมาตัดสัญญาณข่าวสารเป็นช่วงๆ ตามความถี่ของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ในปัจจุบันนี้ ช็อปเปอร์มอดูเลเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นโควานมอดูเลเตอร์ (Cowan modulator) และริงมอดูเลเตอร์ (Ring modulator) ที่สร้างได้โดยใช้ไดโอดและหม้อแปลงเป็นส่วนประกอบจึงทำให้ไม่เหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม

เนื้อหาในตอนที่ 6.4 นี้จะเป็นการนำเอาวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดมาประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรโควานช็อปเปอร์มอดูเลเตอร์และวงจรริงช็อปเปอร์มอดูเลเตอร์ วงจรมอดูเลเตอร์ที่นำเสนอสามารถสร้างได้ด้วยอุปกรณ์โซลิตสแตรกทั้งหมดจึงทำให้เหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวมมากกว่าวงจรมอดูเลเตอร์ที่ใช้ไดโอดและหม้อแปลงเป็นพื้นฐาน วงจรโควานช็อปเปอร์มอดูเลเตอร์ประกอบด้วยวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุด 2 อินพุต อินพุตที่ 1 ป้อนสัญญาณข่าวสารส่วนอินพุตที่ 2 ป้อนสัญญาณพาหะซึ่งบล็อกวงจรโควานช็อปเปอร์มอดูเลเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 6.7 ด้วยคุณ

สมบัติของวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดจะสามารถเป็นวงจรโคแวนซ็พเปอร์มอดูเลเตอร์ได้ สำหรับวงจรจริงซ็พเปอร์มอดูเลเตอร์จะใช้วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุด 2 อินพุต 2 วงจร วงจรเลื่อนเฟส 180 องศา 2 วงจร และวงจรรวมสัญญาณ 1 วงจร ซึ่งบล็อกวงจรจริงซ็พเปอร์มอดูเลเตอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.8 วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดสองอินพุตที่นำมาใช้สร้างวงจรซ็พเปอร์มอดูเลเตอร์แสดงดังในรูปที่ 6.1 วงจรรวมสัญญาณแสดงดังในรูปที่ 6.4 ในขณะที่วงจรเลื่อนเฟส 180 องศา จะใช้วงจรอินเวอร์ตดิเอ็มพลิไฟ์ที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 ซึ่งวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 6.9 เมื่อกำหนดค่า $R_{in}=R_o$ ค่า $V_o=-V_{in}$ ซึ่งเครื่องหมายลบจะแสดงว่าสัญญาณเอาต์พุตจะกลับขั้วกับสัญญาณอินพุต จากบล็อกวงจรซ็พเปอร์มอดูเลเตอร์ที่แสดงในรูปที่ 6.7 และ 6.8 จะเห็นได้ว่า วงจรสามารถสร้างได้ด้วยมอสทรานซิสเตอร์เกือบทั้งหมด ถึงแม้ว่าจะใช้ตัวต้านทานแบบลอยตัวอยู่บ้างแต่ตัวต้านทานเหล่านั้นสามารถแทนได้ด้วยวงจรตัวต้านทานแบบมอส ซึ่งที่ผ่านมามีวงจรตัวต้านทานลอยตัวแบบมอสนำเสนอไว้มากมาย [21]-[23] ดังนั้นวงจรที่นำเสนอจึงมีความเหมาะสมกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม นอกจากนี้วงจรยังใช้แรงดันต่ำอีกด้วยจึงทำให้สามารถนำมาใช้ในเครื่องมือสื่อสารหรือเครื่องมือประเภทพกพาได้เป็นอย่างดี

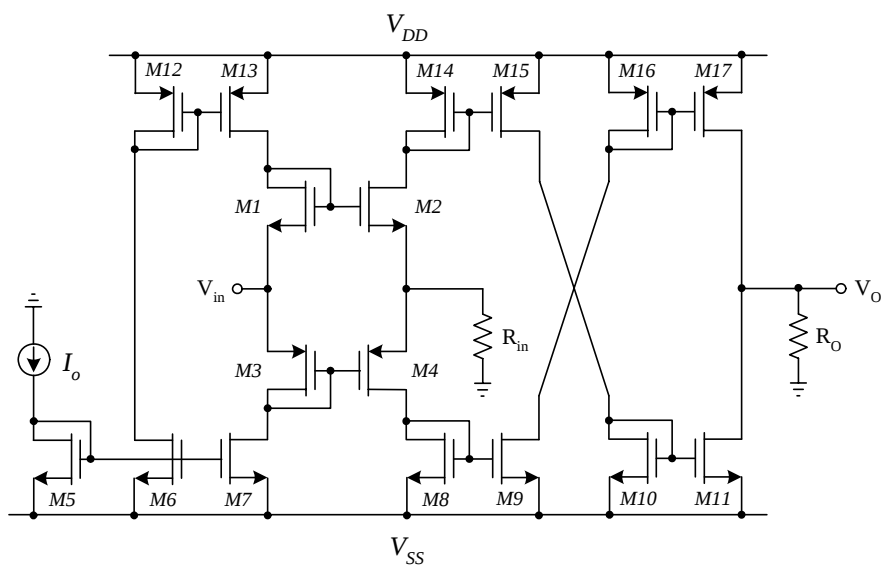


รูปที่ 6.7 วงจรโคแวนซ็พเปอร์มอดูเลเตอร์

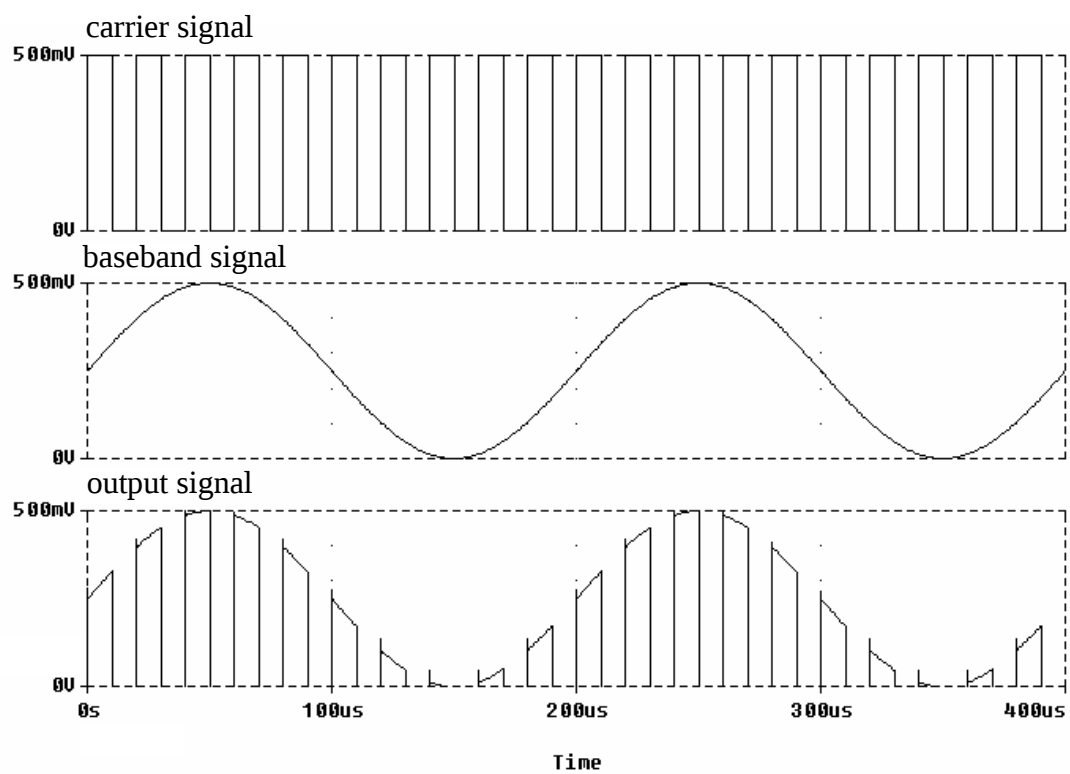


รูปที่ 6.8 วงจรจริงซ็พเปอร์มอดูเลเตอร์

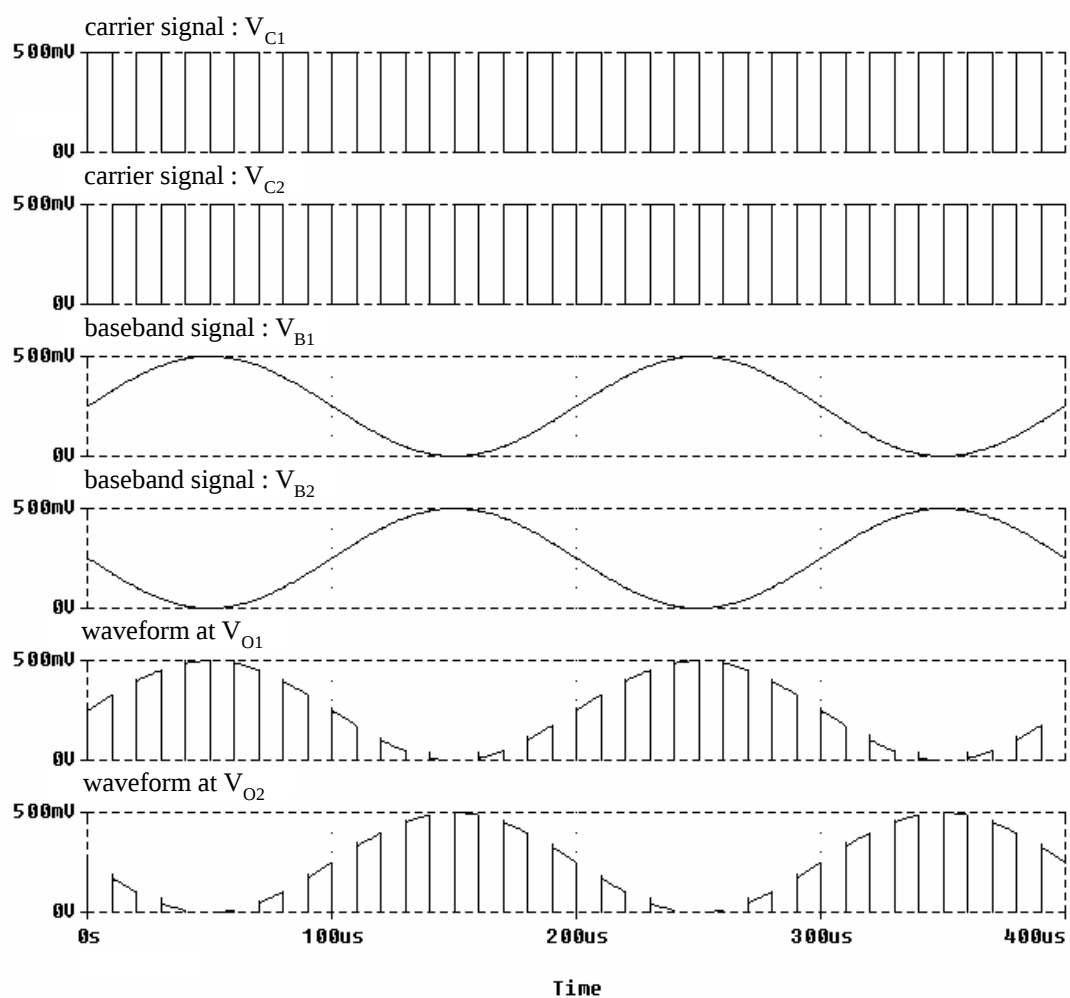
6.5 ผลการจำลองวงจรซีพเปอร์มอดูเลเตอร์



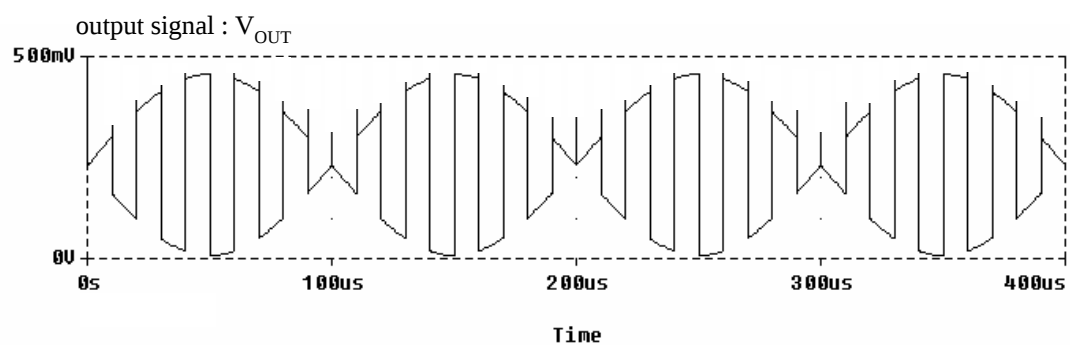
รูปที่ 6.9 วงจรเลื่อนเฟส 180 องศา



รูปที่ 6.10 การทำงานของวงจร โควานซีพเปอร์มอดูเลเตอร์



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.11 การทำงานของวงจรล็อกเฟสอัตโนมัติ (ก) รูปคลื่นที่จุดต่างๆ (ข) รูปคลื่นเอาต์พุต

เพื่อตรวจสอบการทำงานของวงจรล็อกเฟสอัตโนมัติที่นำเสนอ จะทำการเขียนแบบการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น โมเดล แหล่งจ่ายแรงดัน ค่า W/L

ของวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุด วงจรรวมสัญญาณ ค่าความต้านทาน จะมีค่าเหมือนกับการจำลองในหัวข้อ 6.3 ทุกประการ สำหรับค่า W/L ของมอสทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 6.9 กำหนดได้คือ $10\mu\text{m}/0.6\mu\text{m}$ สำหรับ NMOS ทุกตัวและ $30\mu\text{m}/0.6\mu\text{m}$ สำหรับ PMOS ทุกตัว กระแสไบอัส $I_0=50\mu\text{A}$ ผลการจำลองการทำงานมีดังนี้ รูปที่ 6.10 แสดงการทำงานของวงจรโคแวนซ์ออปเพอเรตติ้งมัลติเพล็กซ์เมื่อป้อนสัญญาณพาหะเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด $500\text{mV}_{\text{p-p}}$ ความถี่ 50kHz ในขณะที่สัญญาณข่าวสารเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด $500\text{mV}_{\text{p-p}}$ ความถี่ 5kHz โดยสัญญาณข่าวสารจะบวกค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 250mV เข้าไปด้วยเพื่อให้สัญญาณมีระดับเดียวกับสัญญาณพาหะ จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณพาหะจะมีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสาร ส่วนรูปที่ 6.11 แสดงการทำงานของวงจรริงออปเพอเรตติ้งมัลติเพล็กซ์เมื่อป้อนสัญญาณพาหะเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด $500\text{mV}_{\text{p-p}}$ ความถี่ 50kHz ในขณะที่สัญญาณข่าวสารเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ขนาด $500\text{mV}_{\text{p-p}}$ ความถี่ 5kHz โดยสัญญาณข่าวสารจะบวกค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 250mV เข้าไปด้วยเพื่อให้สัญญาณมีระดับเดียวกับสัญญาณพาหะ เหมือนกับการจำลองของวงจรโคแวนซ์ออปเพอเรตติ้งมัลติเพล็กซ์ รูปคลื่นที่จุดต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 6.11(ก) ส่วนรูปคลื่นเอาต์พุตแสดงได้ดังรูปที่ 6.11(ข) จากผลการจำลองจะเห็นว่าวงจรสามารถทำงานได้ดี ขนาดรูปคลื่นเอาต์พุตจะต่ำกว่า $500\text{mV}_{\text{p-p}}$ เล็กน้อย

6.6 บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเอาวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดที่นำเสนอในบทที่ 5 มาประยุกต์ใช้งานสร้างเป็นวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกและวงจรออปเพอเรตติ้งมัลติเพล็กซ์ วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดจะทำหน้าที่เป็นตัวคลิป์แรงดันบวก วงจรคลิป์แรงดันสามารถกำหนดจุดคลิป์สัญญาณที่จุดต่างๆ ได้โดยง่ายดังนั้นวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกที่สร้างขึ้นด้วยวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดจึงสามารถเพิ่มจำนวนบิตได้โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงวงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดแต่อย่างใด นอกจากนั้นยังได้ใช้วงจรตรวจจับค่าแรงดันต่ำสุดมาประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรโคแวนซ์ออปเพอเรตติ้งมัลติเพล็กซ์และวงจรริงออปเพอเรตติ้งมัลติเพล็กซ์อีกด้วย นี่เป็นเพียงสองตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวงจรตรวจจับค่าแรงดันที่ได้กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้เท่านั้น นอกจากนี้วงจรตรวจจับค่าแรงดันสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรอื่นๆ ได้อีกมากมาย