

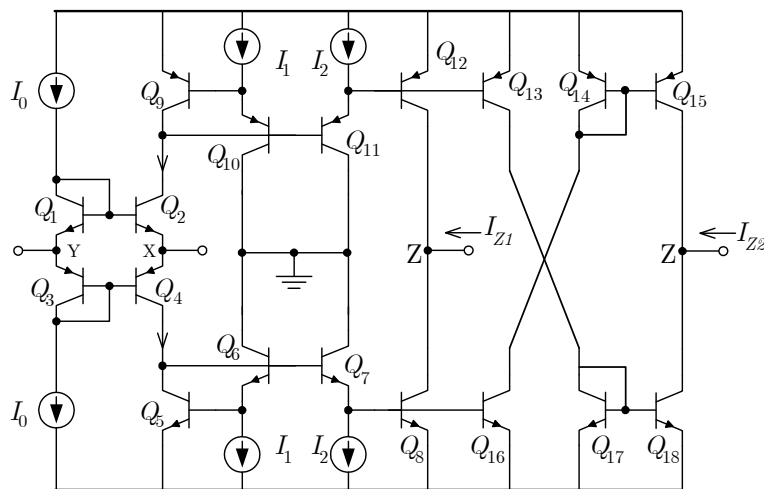
บทที่ 4

การจำลองการทำงานของวงจรกรองผ่านทุกความถี่

เพื่อตรวจสอบผลตามหลักการของการทำงานของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอ ได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรขึ้นด้วยโปรแกรม PSPICE โดยกำหนดสภาวะของการทำงานที่อุณหภูมิ 27°C เมื่อมีไฟเลี้ยงวงจรเป็น $\pm 3\text{ V}$ และได้ประกอบวงจรสายพานกระแสที่ปรับค่าได้ด้วยการใช้ ทรานซิสเตอร์ชนิดเอ็นพีเอ็นด้วยเบอร์ 2N2222A และทรานซิสเตอร์พีเอ็นพีด้วยเบอร์ 2N2907A

4.1 การจำลองคุณสมบัติของวงจรสายพานกระแสแบบปรับค่าได้

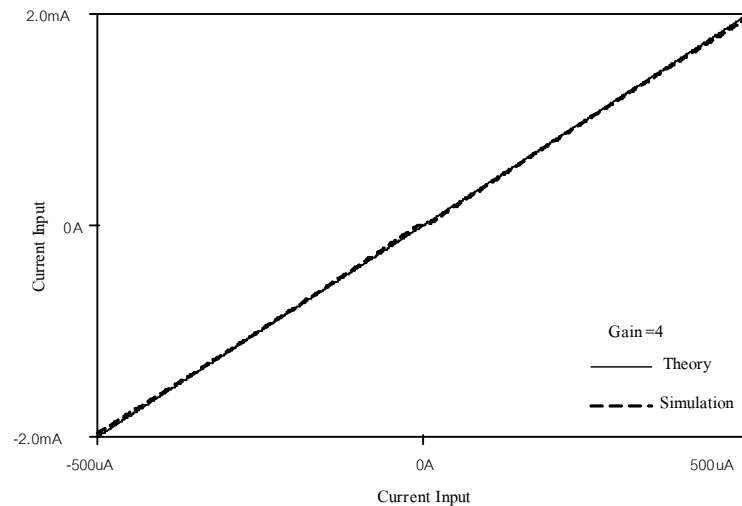
เนื่องจากว่าวงจรสายพานกระแสที่ใช้นั้นมีคุณสมบัติที่สามารถปรับค่าอัตราขยายระหว่างพอร์ต X และพอร์ต Z ได้ ในขั้นต้นจึงได้จำลองการทำงานของวงรดังกล่าวก่อน เพื่อที่ดูการทำงานของวงจรสายพานกระแสแบบปรับค่าได้ วงจรสายพานกระแสแบบปรับค่าได้ที่ใช้นี้มีแผนภาพของวงจรเป็นดังภาพที่ 20



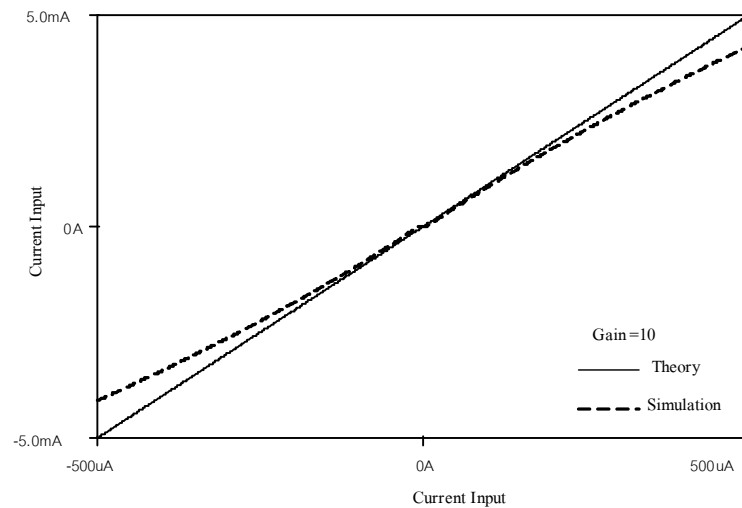
ภาพที่ 20 วงจรสายพานกระแสแบบปรับค่าได้ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

จากแผนภาพพบว่าวงจรประกอบด้วยวงจรสายพานกระแสแบบพื้นฐานและวงจรสะท้อนกระแสแบบปรับค่าได้ ทำการทดสอบการทำงานของวงจร โดยป้อนกระแสอินพุตที่มีค่า $-500\text{ }\mu\text{A}$ ถึง $500\text{ }\mu\text{A}$ เข้าที่พอร์ต X ของวงจร ในขณะที่ พอร์ต Y ได้ต่อลงกราวด์ เมื่อกำหนดให้ I_1 เป็นกระแสที่มีค่าคงที่เท่ากับ $1000\text{ }\mu\text{A}$ และใช้กระแสไบอัส I_2 ให้มีค่าต่างๆ กัน เป็น $250\text{ }\mu\text{A}$ และ $100\text{ }\mu\text{A}$ ซึ่งค่ากระแสดังกล่าวนี้จะทำให้ได้ค่าอัตราขยายกระแสในทางทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 4 และ 10

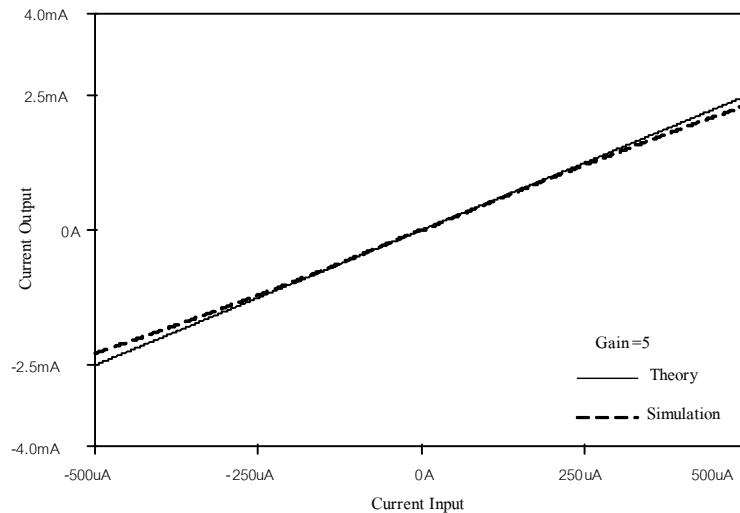
เท่า ได้ผลกระแสเอาต์พุตที่พอร์ต Z มีค่าเป็นดังภาพที่ 21 และ ภาพที่ 22 และในทางกลับกันเมื่อได้กำหนดให้กระแส I_2 เป็นกระแสค่าคงที่ เท่ากับ $100\ \mu\text{A}$ ปรับเปลี่ยนค่ากระแส I_1 ให้มีค่าต่างๆ กันเป็น $500\ \mu\text{A}$ และ $1000\ \mu\text{A}$ ทำให้ได้ค่าอัตราขยายกระแสในทางทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 5 และ 10 เท่า ได้ผลของกระแสเอาต์พุตจากวงจรสายพานกระแสเป็นดังภาพที่ 23 และภาพที่ 24



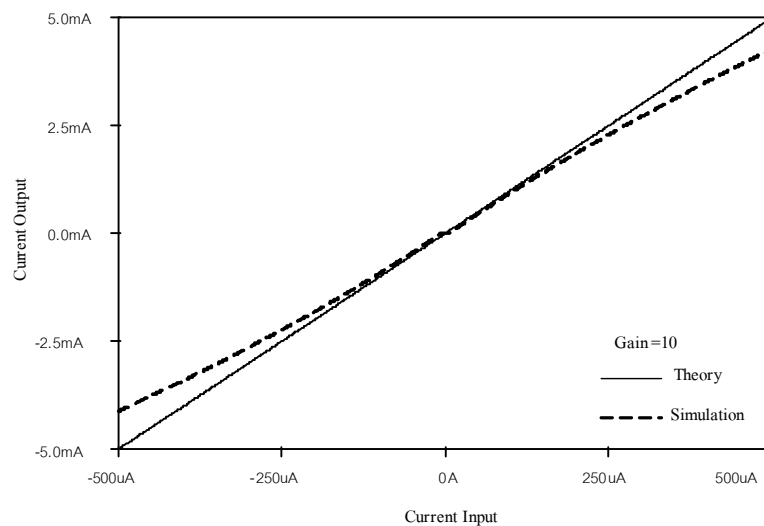
ภาพที่ 21 ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตที่ได้เมื่อ $I_2=100\ \mu\text{A}$ และอัตราขยายเท่ากับ 4



ภาพที่ 22 ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตที่ได้เมื่อ $I_2=100\ \mu\text{A}$ และอัตราขยายเท่ากับ 10



ภาพที่ 23 ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตที่ได้เมื่อ $I_1=100 \mu\text{A}$ และอัตราขยายเท่ากับ 5

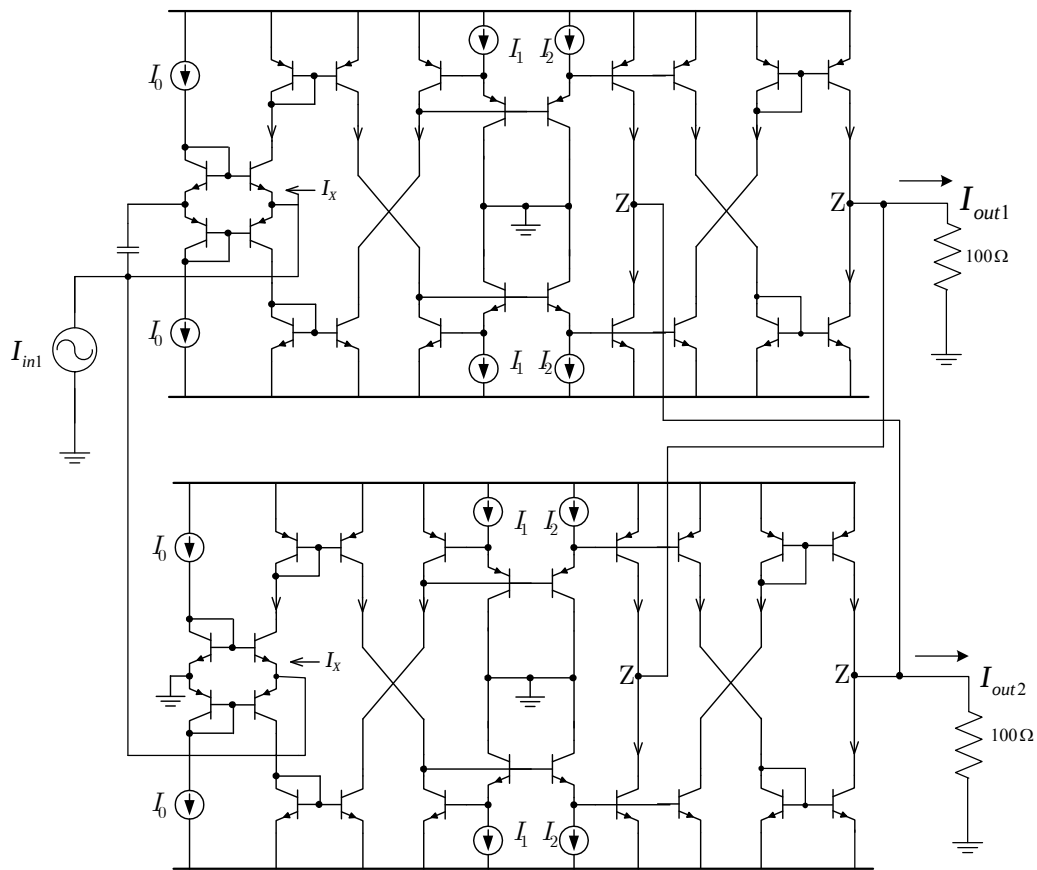


ภาพที่ 24 ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตที่ได้เมื่อ $I_1=100 \mu\text{A}$ และอัตราขยายเท่ากับ 10

จากผลการจำลองการทำงานที่แสดงในภาพที่ 21-24 สามารถยืนยันได้ว่ากระแสเอาต์พุตที่ได้จากพอร์ต Z มีการตอบสนองอย่างเป็นเชิงเส้นกับกระแสอินพุตที่ป้อนเข้าที่พอร์ต X และยังพบว่าค่าอัตราขยายกระแสนี้สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยการปรับค่ากระแสไบอัสได้ทั้งกระแส I_1 หรือ I_2 ซึ่งก็เป็นการทำงานที่สอดคล้องกับค่าทางทฤษฎี แต่อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่ากระแสเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าทางทฤษฎีอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อค่ากระแสไบอัสมีค่าสูงๆ

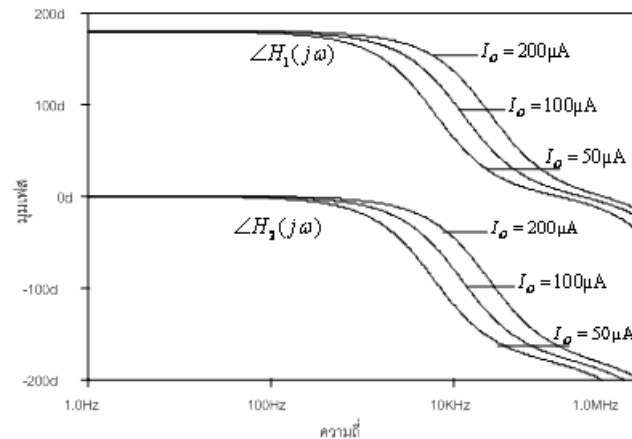
4.2 การจำลองวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอ

ได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอ โดยนำวงจรสายพานกระแสที่ปรับค่าอัตราขยายได้จำนวนสองชุดมาต่อประกอบกันพร้อมกับตัวเก็บประจุดังแผนภาพในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 วงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอ

ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเฟสและทางขนาดของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอ กำหนดให้อินพุตเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไบอัสวงจร KCCCIIs ทั้งสองตัวด้วยกระแสไบอัส I_0 ค่าต่างๆ กันดังนี้ $50\ \mu\text{A}$, $100\ \mu\text{A}$, $200\ \mu\text{A}$ และใช้ตัวเก็บประจุค่าเท่ากับ $100\ \text{nF}$ โดยที่กระแส I_1 และ I_2 ในขณะนั้นเป็นค่าคงที่เท่ากับ $100\ \mu\text{A}$ ได้ผลตอบสนองทางเฟสของกระแสเอาต์พุตทั้งสองที่เป็นแบบเฟสนำและเฟสตามดังแสดงในภาพที่ 26

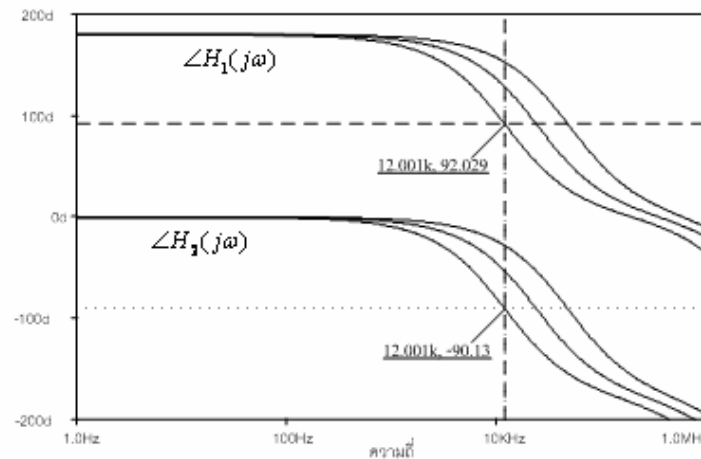


ภาพที่ 26 ผลตอบสนองทางเฟสของกระแสเอาต์พุตทั้งแบบที่เป็นเฟสนำและแบบเฟสตาม

จากผลตอบสนองทางเฟสพบว่ากระแสเอาต์พุต I_{out1} มีผลตอบสนองทางความถี่ที่มีการเลื่อนเฟสจาก 180 องศา ลงมาที่ 0 องศา เมื่อความถี่ของสัญญาณอินพุตเพิ่มสูงขึ้น วงจรจึงมีการทำงานเป็นแบบวงจรเลื่อนเฟสแบบเฟสนำ

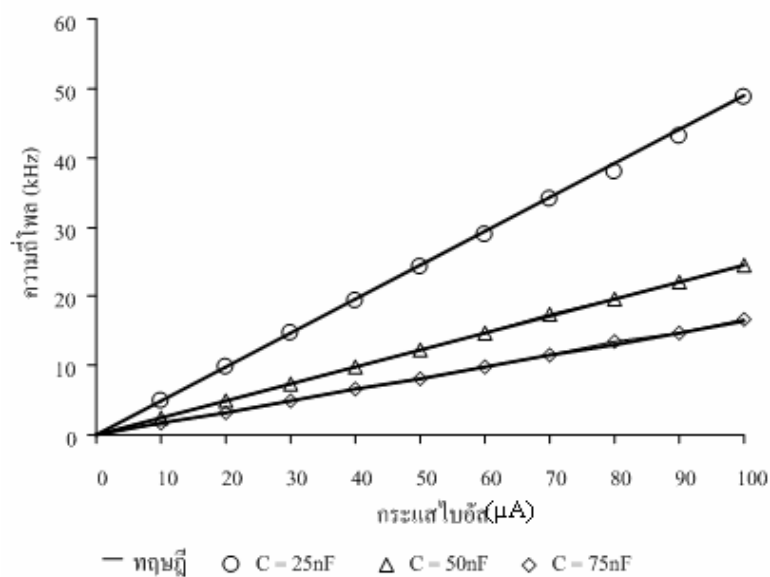
ขณะที่กระแสเอาต์พุต I_{out2} มีผลตอบสนองทางเฟสที่มีการเลื่อนเฟสจาก 0 องศา ลงมาที่ -180 องศา เมื่อความถี่ของสัญญาณอินพุตเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นลักษณะการทำงานของวงจรเลื่อนเฟสแบบเฟสตาม อีกทั้งยังพบว่ากระแสเอาต์พุตที่ได้ทั้งสองสามารถปรับค่ามุมเฟสของสัญญาณได้ด้วย การปรับค่ากระแสไบอัส I_o โดยที่ความถี่โพลที่ได้มีค่าเท่ากับ 6.15 kHz 12.4 kHz และ 24.58 kHz ตามลำดับ ถ้าวงจรได้รับความถี่อินพุตที่มีค่าความถี่เป็นค่าเดียวกับค่าความถี่โพลก็จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีการเลื่อนเฟสไป 90 องศา จากสัญญาณอินพุต

ทำการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 100 nF ให้มีค่าเป็น 50 nF โดยที่กระแส I_1 และ I_2 ในขณะนั้นเป็นค่าคงที่ เท่ากับ 100 μ A โดยที่วงจร KCCCIIs ทั้งสองตัวได้ไบอัสด้วยกระแสไบอัส I_o ค่าต่าง ๆ กันดังนี้ 50 μ A , 100 μ A และ 200 μ A ได้ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่ทั้งเฟสนำและเฟสตามเป็นดังภาพที่ 27 จะเห็นได้ว่าวงจรยังคงมีการทำงานเป็นวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสนำและเฟสตามได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ และเป็นที่สังเกตว่าวงจรกรองผ่านทุกความถี่ทั้งสองชนิดนี้มีความถี่โพลที่ตำแหน่งความถี่เดียวกัน คือที่ความถี่ 12 kHz



ภาพที่ 27 ผลตอบสนองกระแสเอาต์พุตของวงจรกรองผ่านทุกความถี่เมื่อ $C = 50 \text{ nF}$

และเมื่อได้วัดความถี่โพลของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่น่าเสนอเมื่อวงจรได้รับกระแสไบอัสที่มีค่าต่างๆ กัน ตั้งแต่ $10 \mu\text{A}$ - $100 \mu\text{A}$ เมื่อค่าตัวเก็บประจุของวงจรมีค่าต่าง ๆ กัน คือ 25 nF , 50 nF และ 100 nF ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไบอัสและความถี่โพลของวงจรกรองผ่านทุกความถี่เป็นดังภาพที่ 28

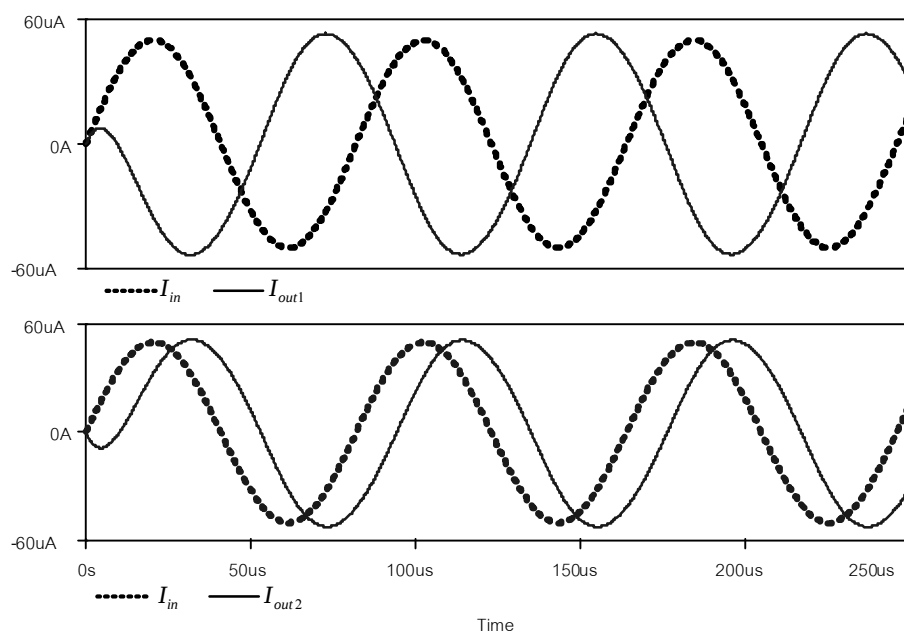


ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่โพลและกระแสไบอัส

จากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่โพลและกระแสไบอัสของวงจรในกราฟที่ 28 พบว่าความถี่โพลที่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างเป็นเชิงเส้นกับค่ากระแสไบอัส นั่นคือค่าความถี่โพลของวงจรสามารถควบคุมได้ด้วยกระแสไบอัส และจะเห็นว่าถ้าค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรมีค่ามาก

ความถี่โพลที่ได้จะมีค่าต่ำ แต่ในทางกลับกัน ถ้าตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรมีค่าต่ำ ความถี่โพลที่ได้ก็จะมีค่าสูง ซึ่งค่าที่ได้จากการจำลองนี้ก็สอดคล้องกับค่าที่คาดหวังกจากค่าทางทฤษฎีได้เป็นอย่างดี

ได้จำลองการวัดสัญญาณกระแสเอาต์พุตของวงจรทั้งที่เป็นเฟสนำและที่เป็นเฟสตาม โดยป้อนกระแสอินพุตเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 12 kHz ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรเท่ากับ $C = 25 \text{ nF}$ โดยกำหนดให้วงจรกรองผ่านทุกความถี่มีอัตราขยายกระแสเท่ากับหนึ่ง ได้ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตในทางเวลา เป็นดังภาพที่ 29 กรอบบนเป็นผลตอบสนองของกระแสอินพุตและกระแสเอาต์พุตแบบเฟสนำ ส่วนในกรอบล่างเป็นผลตอบสนองของกระแสอินพุตและกระแสเอาต์พุตแบบเฟสตาม ซึ่งจากผลการจำลองการทำงานทั้งสองพบว่า ณ ที่ตำแหน่งความถี่โพลวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอสามารถให้กระแสเอาต์พุตที่มีเฟสเปลี่ยนแปลงจากกระแสอินพุต อยู่ที่ 90 องศา สำหรับวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสตาม และความต่างเฟสอยู่ที่ -90 องศา หรือ 270 องศา สำหรับวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสตามซึ่งการทำงานของวงจรนี้ก็นับว่ามีการทำงานที่เป็นไปอย่างสอดคล้องตามทฤษฎี



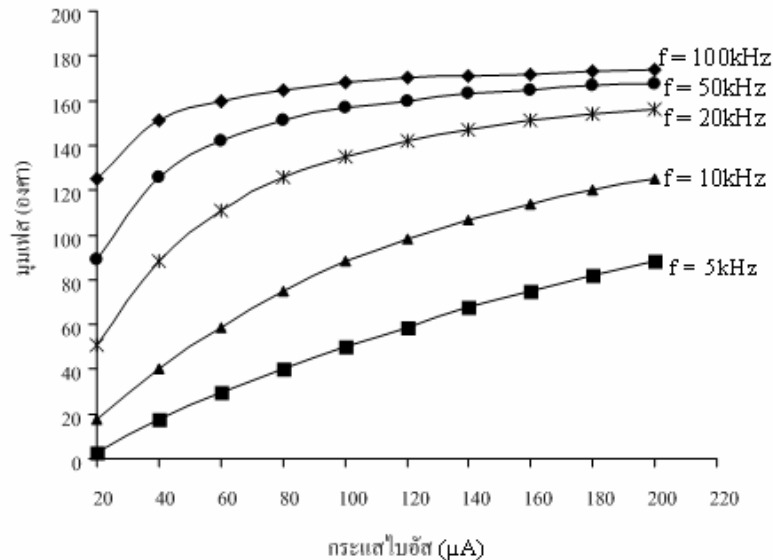
ภาพที่ 29 ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตเมื่ออินพุตแปรตามเวลา

กรอบบนแสดงสัญญาณกระแสอินพุตและสัญญาณกระแสเอาต์พุตแบบเฟสนำ

กรอบล่างแสดงสัญญาณกระแสอินพุตและสัญญาณกระแสเอาต์พุตแบบเฟสตาม

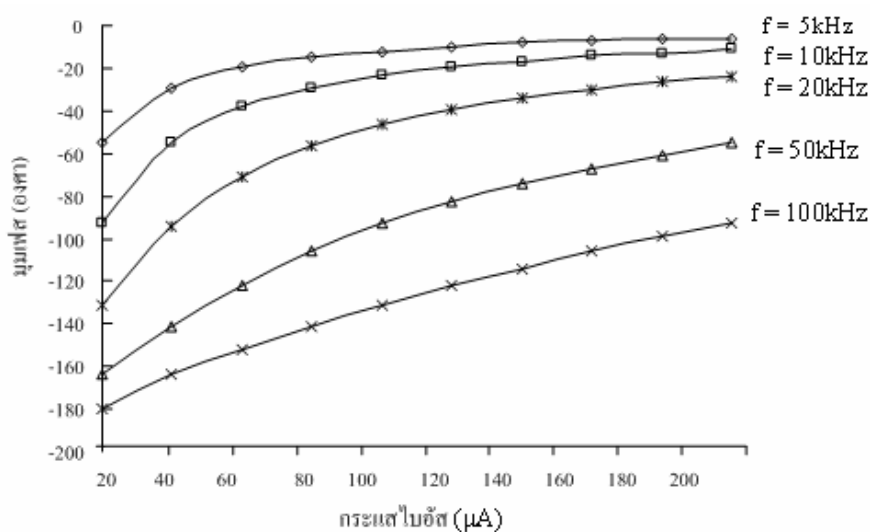
นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจสอบการเลื่อนเฟสของวงจรเมื่อกระแสไบอัสของวงจรมีการถูกควบคุม โดยได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรโดยให้สัญญาณอินพุตมีขนาดและความถี่ที่คงที่และได้วัดเฟสของกระแสเอาต์พุตของวงจรในกรณีที่กระแสไบอัสของวงจรมีค่าต่าง ๆ กัน

ตั้งแต่ $20\mu\text{A}$ ถึง $200\mu\text{A}$ ค่าตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรมีค่าเท่ากับ 25nF ได้ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตที่มีเฟสแตกต่างกันจากวงจรเลื่อนเฟสแบบเฟสนำ ในกรณีที่กระแสอินพุตมีความถี่ที่แตกต่างกันคือ 5 kHz , 10 kHz , 20 kHz , 50 kHz และ 100 kHz เป็นดังภาพที่ 30



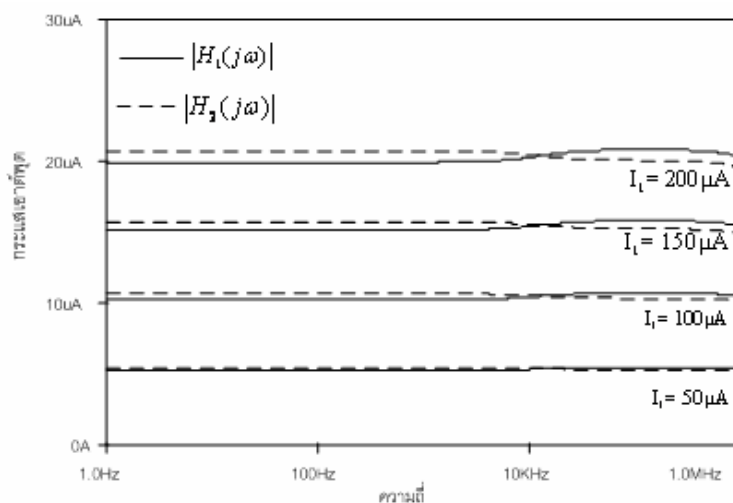
ภาพที่ 30 มุมเฟสของกระแสเอาต์พุตของวงจรเลื่อนเฟสแบบเฟสนำเมื่อกระแสไบอัสมีค่า $20\mu\text{A}$ ถึง $200\mu\text{A}$ และสัญญาณอินพุตมีความถี่เป็นค่าต่าง ๆ กัน

จากนั้นได้วัดมุมเฟสจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสตาม โดยที่นี้ยังได้ใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เท่าเดิม ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเฟสและกระแสไบอัส เมื่อความถี่ของสัญญาณอินพุตมีค่าต่าง ๆ กัน คือ 5 kHz , 10 kHz , 20 kHz , 50 kHz และ 100 kHz เป็นดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 มุมเฟสของกระแสเอาต์พุตของวงจรเลื่อนเฟสแบบเฟสตามเมื่อกระแสไบอัสมีค่า $20\mu\text{A}$ ถึง $200\mu\text{A}$ และสัญญาณอินพุตมีความถี่เป็นค่าต่าง ๆ กัน

จากผลการเลื่อนเฟสของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอในภาพที่ 30 และภาพที่ 31 ได้แสดงให้เห็นว่าวงจรเลื่อนเฟสที่นำเสนอนี้สามารถควบคุมค่าการเลื่อนเฟสได้ด้วยการปรับค่ากระแสไบอัสของวงจรได้เป็นอย่างดีที่คาดหวังไว้กับทางทฤษฎี แต่อย่างไรก็ตาม จะสังเกตว่าวงจรเลื่อนเฟสแบบเฟสนำนี้ผลการเลื่อนเฟสจะมีความสัมพันธ์กับกระแสไบอัสอย่าง เป็นเชิงเส้น ได้ดีก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณอินพุตมีค่าต่ำ ส่วนวงจรเลื่อนเฟสแบบเฟสตามความความสัมพันธ์ระหว่างการเลื่อนเฟสและกระแสไบอัสจะสัมพันธ์แบบเป็นเชิงเส้นได้ดีเมื่อความถี่ของสัญญาณอินพุตมีค่าสูง ๆ จากนั้นลองปรับค่าขนาดของกระแสเอาต์พุตทั้งสองของวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสนำและวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสตาม โดยใช้กระแสไบอัส I_2 คงที่ เท่ากับ $100\ \mu\text{A}$ ในขณะที่ปรับเปลี่ยนค่ากระแสไบอัส I_1 ของวงจรให้มีค่าต่าง ๆ กัน เป็นดังนี้ $50\ \mu\text{A}$, $100\ \mu\text{A}$, $150\ \mu\text{A}$ และ $200\ \mu\text{A}$ โดยได้ป้อนกระแสอินพุตเท่ากับ $100\ \mu\text{A}$ ที่มีความถี่ตั้งแต่ $1\ \text{Hz}$ ไปจนถึง 1MHz และ $I_o = 50\ \mu\text{A}$ และค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ $100\ \text{nF}$ ผลตอบสนองทางขนาดของเอาต์พุตทั้งสองของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ดังภาพที่ 32 โดยที่เส้นทึบแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสนำ ส่วนเส้นประแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสตาม

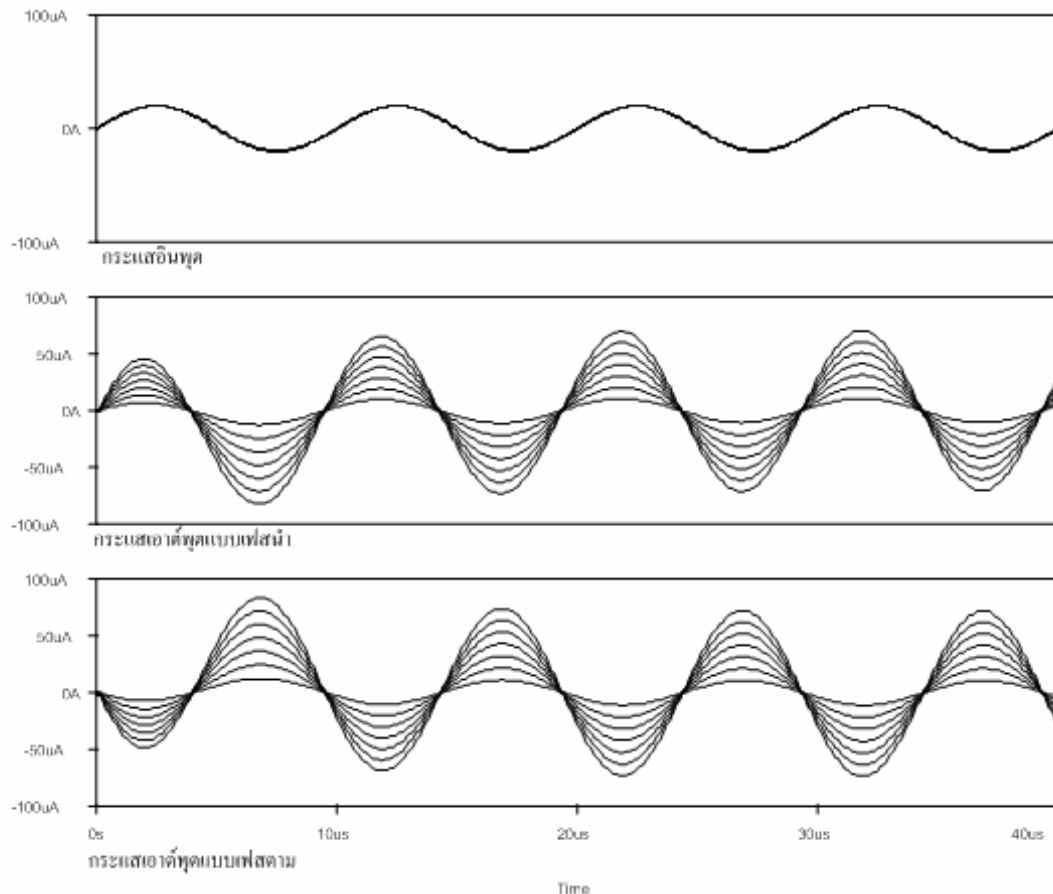


ภาพที่ 32 ผลตอบสนองทางขนาดของกระแสเอาต์พุต

จากผลตอบสนองทางความถี่ในภาพที่ 32 พบว่าวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอทั้งแบบที่เป็นแบบเฟสนำและแบบเฟสตาม มีผลตอบสนองทางขนาดที่คงที่ตลอดช่วงความถี่อินพุตที่ป้อนเข้ามา ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าวงจรสามารถทำงานเป็นวงจรกรองผ่านทุกความถี่ได้ดี และจากกราฟจะสังเกตได้ว่าผลตอบสนองทางขนาดของวงจรสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้โดยการปรับค่ากระแสไบอัสได้

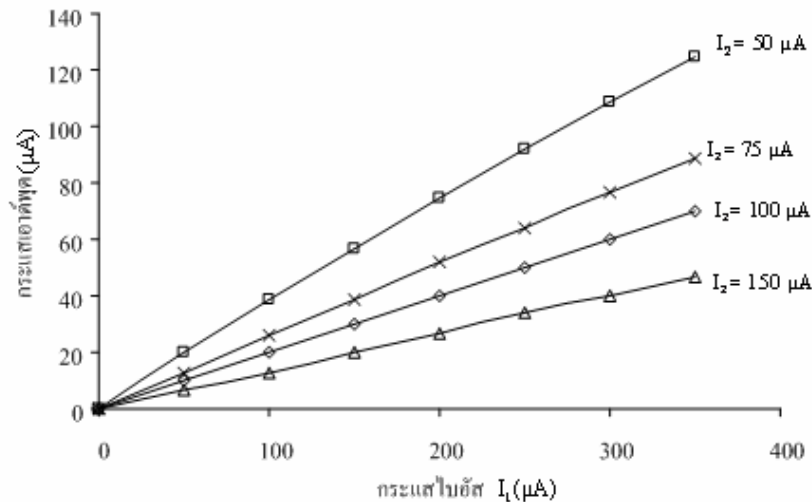
เพื่อตรวจสอบผลของขนาดของสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่ได้เมื่อกระแสไบอัส I_2 มีการเปลี่ยนแปลงจึงได้ป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่มีขนาด

20 μ A และให้กระแสไบอัส I_0 เป็นกระแสไบอัสคงที่ 50 μ A กำหนดให้กระแส $I_2 = 100\mu$ A กระแส $I_1 = 50\mu$ A-350 μ A ได้ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสนำและวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสดำเป็นดังภาพที่ 33 โดยในกรอบบนได้แสดงสัญญาณอินพุต ในกรอบกลางแสดงสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสนำ และกรอบล่างแสดงกระแสเอาต์พุตจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสดำ จากผลของสัญญาณในทางโดเมนเวลาแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่ากระแสเอาต์พุตทั้งสองที่ได้ มีการเปลี่ยนแปลงหรือถูกควบคุมได้ด้วยกระแสไบอัส I_1



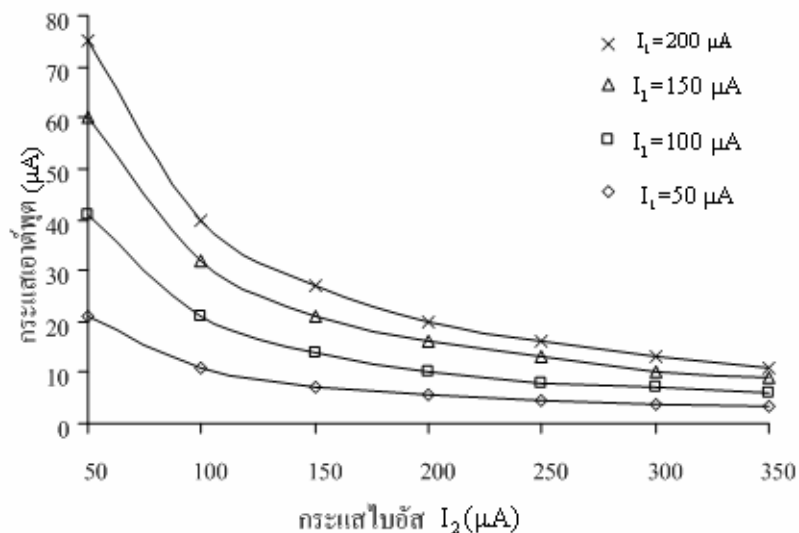
ภาพที่ 33 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอ

จากนั้นได้หาความสัมพันธ์ของขนาดของกระแสเอาต์พุตกับกระแสไบอัส I_1 โดยให้กระแสไบอัส I_2 มีค่าต่าง ๆ เป็นดังนี้คือ 50 μ A, 75 μ A, 100 μ A และ 150 μ A เมื่อกำหนดให้ I_0 เป็นกระแสไบอัสคงที่ 50 μ A อินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่มีขนาด 20 μ A เมื่อกระแสไบอัส I_1 มีค่าตั้งแต่ 50 μ A จนถึง 150 μ A ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไบอัส I_1 กับขนาดของสัญญาณเอาต์พุต ได้เป็นดังกราฟในภาพที่ 34 โดยที่แกน X แสดงถึงกระแสไบอัส I_1 ส่วนแกน Y แสดงถึงขนาดของกระแสเอาต์พุต



ภาพที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสเอาต์พุตกับกระแสไบอัส

ในการทำนองเดียวกันได้ความสัมพันธ์ของขนาดของกระแสเอาต์พุตกับกระแสไบอัส I_2 โดยให้กระแสไบอัส I_1 มีค่าต่าง ๆ เป็นดังนี้ คือ $50\mu A$, $75\mu A$, $100\mu A$ และ $150\mu A$ เมื่อกำหนดให้ I_0 เป็นกระแสไบอัสคงที่ $50\mu A$ สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่มีขนาด $20\mu A$ เมื่อกระแสไบอัส I_2 มีค่าตั้งแต่ $50\mu A$ จนถึง $150\mu A$ ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไบอัส I_2 กับขนาดของสัญญาณเอาต์พุต ได้เป็นดังกราฟในภาพที่ 35 โดยที่แกน X แสดงกระแสไบอัส I_2 ส่วนแกน Y แสดงขนาดของกระแสเอาต์พุต

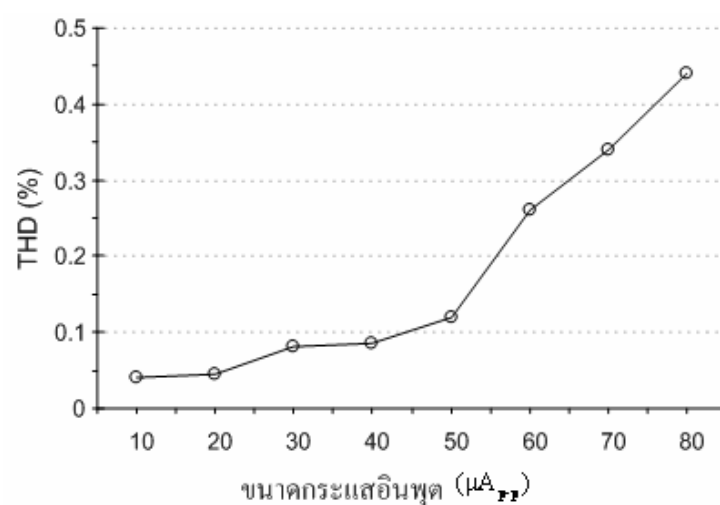


ภาพที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ของกระแสเอาต์พุตกับกระแสไบอัส

จากผลการจำลองการทำงานของวงจรพบวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอสามารถปรับค่าขนาดให้มีความถี่มากขึ้นหรือลดน้อยลงได้ด้วยการปรับค่ากระแสไบอัสของวงจร I_1 หรือ I_2

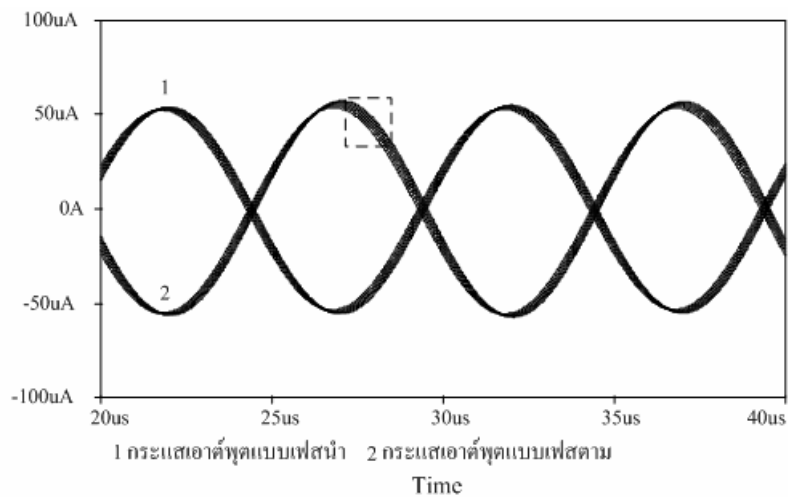
โดยกระแสเอาต์พุตของวงจรกรองผ่านทุกความถี่จะมีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับค่ากระแส I_1 ถึงแม้ว่า I_2 จะมีค่าที่แตกต่างกันก็ตาม และถ้าสังเกตกราฟจะพบว่าขนาดของกระแสเอาต์พุตในภาพที่ 35 มีความสัมพันธ์ที่แปรผันกับกระแส I_2 แบบไม่เป็นเชิงเส้นกันอยู่เมื่อ I_1 มีค่าที่ต่างๆ กัน

สำหรับกราฟแสดงค่า Total Harmonic Distortion (THD) ของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อกระแสอินพุตมีค่าตั้งแต่ $10\ \mu\text{A}$ ไปจนถึง $80\ \mu\text{A}$ ที่ความถี่อินพุต $1\ \text{kHz}$ นั้นได้ถูกแสดงในภาพที่ 36 เป็นที่สังเกตว่าค่า THD ที่ได้ขึ้นอยู่กับค่าขนาดของสัญญาณอินพุต ถ้าขนาดยิ่งมากค่า THD ก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยจากการวิเคราะห์ค่าสัญญาณเอาต์พุตมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำไม่เกิน 0.5%

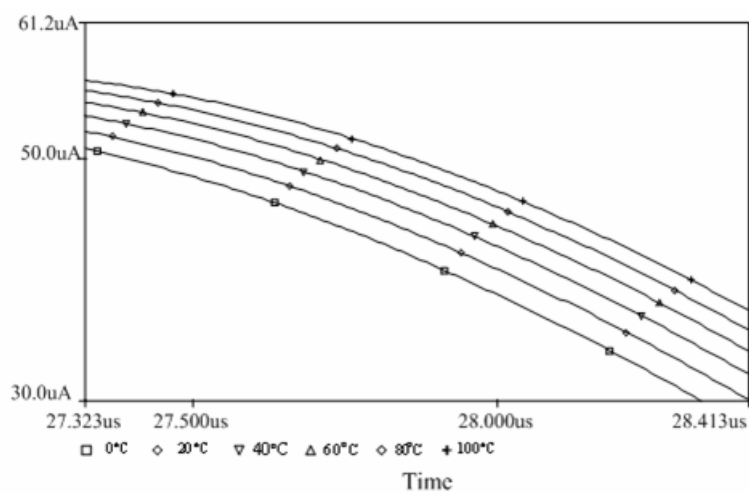


ภาพที่ 36 ค่า THD ของสัญญาณเอาต์พุต

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการทำงานของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ โดยกำหนดให้วงจรมีการทำงานที่อุณหภูมิที่ต่าง ๆ กันคือ 0°C , 20°C , 30°C , 40°C , 60°C และ 100°C และเมื่อวงจรมีอัตราขยายกระแสเท่ากับหนึ่ง ได้ผลตอบสนองของกระแสเอาต์พุตของวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสนำ และวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสตามเป็นดังภาพที่ 37



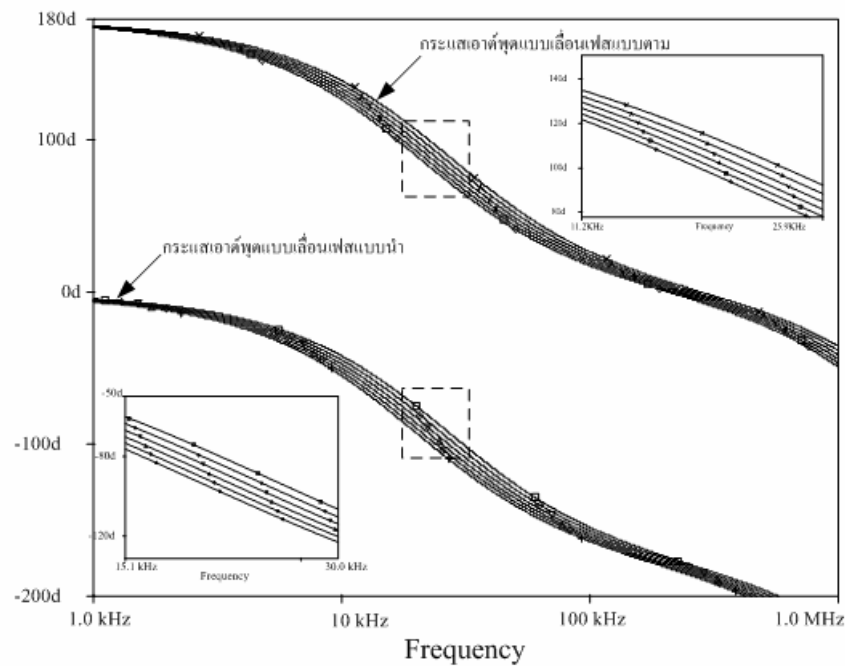
ภาพที่ 37 ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตเมื่ออุณหภูมิมีค่าที่ต่างๆ กัน



ภาพที่ 38 ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตเมื่ออุณหภูมิมีค่าที่ต่างๆ กันในบริเวณเส้นประ

จากผลการจำลองการทำงานของวงจรในภาพที่ 37 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ โดยจะทำให้ขนาดของสัญญาณเกิดการครีฟท์ (Drift) เมื่อสภาวะแวดล้อมมีอุณหภูมิที่ไม่คงที่ และเมื่อพิจารณารูปคลื่นของกระแสเอาต์พุตอย่างละเอียดและชัดเจนมากขึ้น จะเห็นได้จากผลการจำลองในภาพที่ 38 แสดงให้เห็นถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อขนาดของสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าสู่วงจร

เมื่อตรวจสอบเฟสของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ทั้งสองเอาต์พุตที่ได้ โดยให้วงจรมีการทำงานในสภาวะที่สิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้ผลตอบสนองทางเฟสเมื่อความถี่ของสัญญาณอินพุตเกิดการเปลี่ยนความถี่เป็นดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 เฟสของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไป

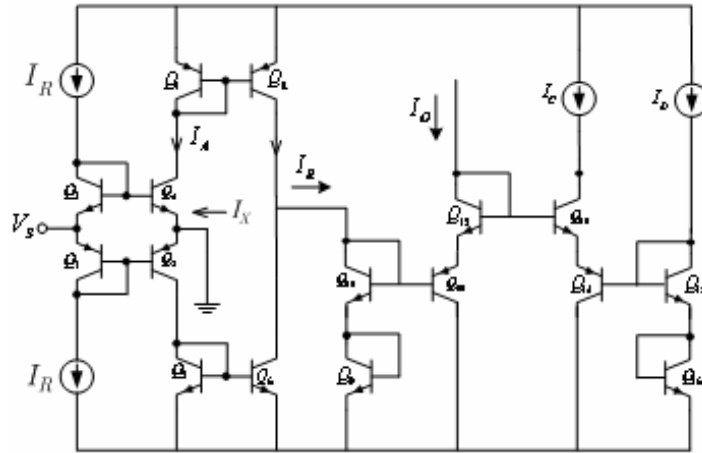
จากผลการจำลองการทำงานของวงจรจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเลื่อนเฟสของวงจรทั้งวงจรที่ทำงานเป็นแบบวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสตามและกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสน้ำ โดยจะทำให้วงจรไม่มีเสถียรภาพในการทำงานทั้งขนาดของสัญญาณและการเลื่อนเฟสของสัญญาณ

จากวงจรกรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่งที่มีการทำงานในโหมดกระแสที่นำเสนองาน วงจรสามารถทำงานได้ตามหลักการเป็นอย่างดีดังจะเห็นได้จากผลการจำลองการทำงาน วงจรสามารถให้กระแสเอาต์พุตจำนวนสองรูปแบบทั้งที่เป็นแบบเฟสน้ำและแบบเฟสตามภายในโครงสร้างเดียวกัน การเลื่อนเฟสของวงจรสามารถควบคุมได้ด้วยกระแสไบอัส อีกทั้งยังสามารถปรับค่าขนาดของวงจรได้ด้วยการปรับค่ากระแสไบอัส แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของวงจรยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสถานะแวดล้อมอยู่ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวสามารถทำให้ลดน้อยลงไปได้โดยการเพิ่มวงจรชดเชยผลของอุณหภูมิและตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้งานของวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอในการสร้างเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ดังในหัวข้อต่อไป

4.3 การชดเชยผลของอุณหภูมิ

เนื่องจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอขึ้นค่าการเลื่อนเฟสยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิรอบข้างที่มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของการเลื่อนเฟสไปตามสมการ (3.22) และ (3.30) แต่อย่างไรก็ตามปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้วงจรชดเชยอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสไบอัสที่นำมาไบอัสวงจรเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ กล่าวคือ การทำให้ I_0 แปรผันตามแรงดันเชิงอุณหภูมิ V_T ซึ่งอาจจะออกแบบวงจรทำได้หลากหลายรูปแบบตามความ

ต้องการ สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำวงจรชดเชยอุณหภูมิรูปแบบหนึ่งที่มีความน่าสนใจและให้ผลได้ดังกล่าว ซึ่งมีรูปแบบของวงจรเป็นดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 วงจรชดเชยอุณหภูมิรูปแบบหนึ่ง

การทำงานของวงจรตามภาพที่ 40 สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ทรานซิสเตอร์ $Q_1 - Q_4$ ประกอบร่วมกัน โดยมีโครงสร้างของวงจรเหมือนกับวงจรสายพานกระแสที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 จะแตกต่างกันเฉพาะแรงดันที่พอร์ต X มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะได้กระแส I_A เป็นดังสมการ (4.1)

$$I_A = 2I_R \sinh\left(\frac{V_s}{V_T}\right) \quad (4.1)$$

ถ้ากำหนดให้ $V_s \ll V_T$ จากสมการ (4.1) จะได้ว่า

$$I_A = \frac{2I_R V_s}{V_T} \quad (4.2)$$

พิจารณาในส่วนทรานซิสเตอร์ที่ต่อร่วมกันเป็นวงรอบปิด โดยอาศัยหลักการทรานสลิเนียร์ จะได้ว่า

$$I_A I_O = I_C I_D \quad (4.3)$$

กำหนดให้ $I_C = I_D = I_R$ จากสมการ (4.3) จัดรูปใหม่เป็น

$$I_O = \frac{I_R^2}{I_A} \quad (4.4)$$

แทนสมการ (4.2) ลงใน (4.4) ได้เป็น

$$I_O = \frac{I_R V_T}{2V_S} \quad (4.5)$$

แทนค่ากระแสไบอัส I_O ตามสมการ (4.5) ลงในฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองผ่านทุกความถี่แบบเฟสนำและเฟสตาม ในสมการ (3.20) และ (3.28) ตามลำดับ จะได้

$$H_1(s) = \frac{I_1}{I_2} \left(\frac{sCV_s - 2I_R}{sCV_s + 2I_R} \right) \quad (4.6)$$

$$H_2(s) = \frac{I_1}{I_2} \left(\frac{2I_R - sCV_s}{2I_R + sCV_s} \right) \quad (4.7)$$

ดังนั้นจะได้เฟสของวงจรที่มีการชดเชยอนุภูมิเป็นดังนี้

$$\angle H_1(j\omega) = \pi - 2 \tan^{-1}(\omega CV_s / 2I_R) \quad (4.8)$$

$$\angle H_2(j\omega) = -2 \tan^{-1}(\omega CV_s / 2I_R) \quad (4.9)$$

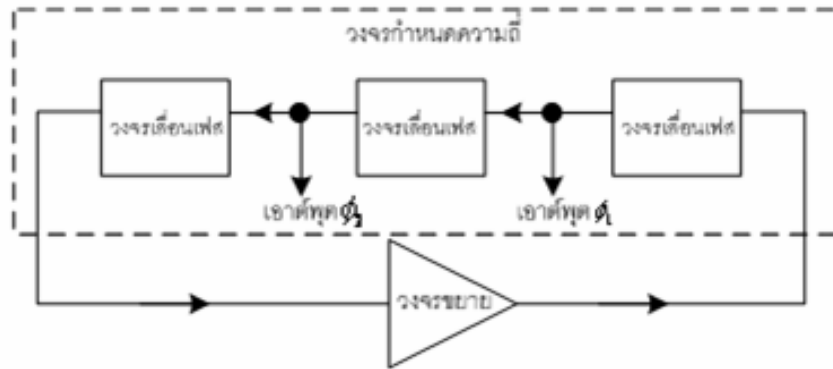
จากสมการข้างต้นจะพบว่าเมื่อป้อนกระแส I_O เป็นกระแสไบอัสให้กับวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอจะทำให้ได้วงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่มีการชดเชยผลของอนุภูมิได้ตามต้องการ

4.4 การประยุกต์ใช้งานของวงจรกรองผ่านทุกความถี่

4.4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟส

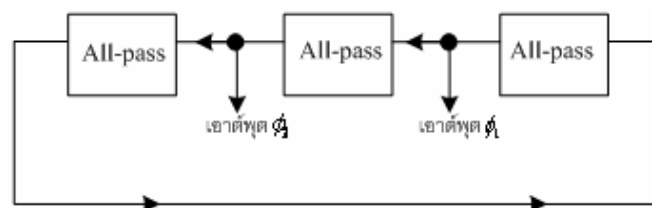
วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟสมีหลักการสร้างที่พัฒนามาจากการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณที่อาศัยหลักการป้อนกลับแบบบวก ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าหลักการดังกล่าวนี้จะประกอบด้วยวงจรกำหนดความถี่และวงจรขยายสัญญาณ ในส่วนของวงจรกำหนดความถี่นี้อาจจะให้มีการเลื่อนเฟสไป 180 องศา หรือ 360 องศา ก็ได้ ซึ่งวงจรกำหนดความถี่ในลักษณะนี้จะให้สัญญาณเอาต์พุตเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น และสัญญาณที่ได้ก็จะมีค่าคงที่เพียงเฟสเดียวเท่านั้น ถ้าทำการดัดแปลงวงจรกำหนดความถี่ใหม่ให้เป็นวงจรย่อยหลายๆ ชุดต่อกันดังแผนภาพในภาพที่ 41 โดยจัดให้แต่ละชุดมีการเลื่อนเฟสที่เท่ากัน โดยที่การเลื่อนเฟสรวมทั้งหมดของวงจรกำหนดความถี่ยังคงมีค่าเท่ากับ 180 องศา หรือ 360 องศา จากนั้นทำการป้อนกลับเป็นวงรอบปิดให้กับวงจรขยาย

สัญญาณและ อาศัยเงื่อนไขทางเฟสของบาร์คเฮาเซนที่กำหนดไว้ว่าวงจรจะเกิดการออสซิลเลตได้นั้น ค่าการเลื่อนเฟสของวงจรที่ตำแหน่งความถี่ของการออสซิลเลตต้องมีค่าเท่ากับ 360 องศา เมื่อทำการปรับค่าอัตราขยายสัญญาณของวงจรขยายสัญญาณให้มีค่ามากกว่าหนึ่งเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้วงจรเกิดการออสซิลเลตได้ โดยเอาต์พุตที่ได้จะได้จากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเลื่อนเฟสแต่ละชุด



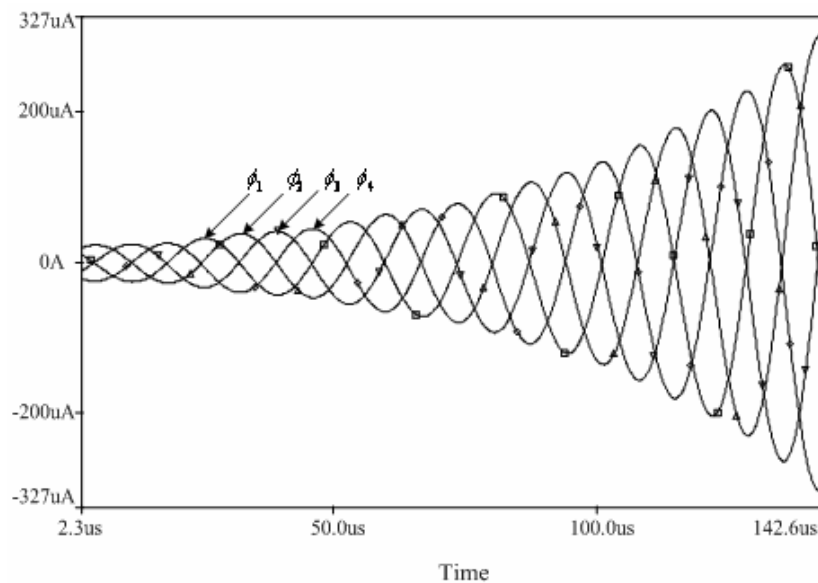
ภาพที่ 41 หลักการทั่วไปของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟส

ประเด็นความน่าสนใจในการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟสอยู่ที่การออกแบบวงจรย่อยในการสร้างเป็นวงจรกำหนดความถี่ ซึ่งจากการศึกษาวิจัยพบว่าวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟสนั้นนิยมสร้างขึ้นจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่หรือวงจรกรองความถี่ต่ำ ซึ่งแต่ละวิธีการนั้นก็ขึ้นอยู่กับความน่าสนใจอย่างมาก สำหรับวงจรกรองความถี่ต่ำที่ได้นำเสนอนั้นก็มีความน่าสนใจในประเด็นที่ว่าเมื่อนำมาสร้างเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณแบบหลายเฟสแล้วนั้นก็ทำให้ประหยัวงจรขยายสัญญาณได้ กล่าวคือเนื่องจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่เราสร้างมีอัตราขยายกระแศภายในตัววงจรเองทำให้เราไม่ต้องใช้วงจรขยายสัญญาณเพิ่มเติมเลย จึงเป็นการประหยัดอุปกรณ์ไปได้โดยที่หลักการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณที่เราได้นำเสนอนั้นก็แสดงได้ดังแผนภาพในภาพที่ 42 คือนำวงจรกรองผ่านทุกความถี่นำมาต่อกันเป็นวงรอบปิด เนื่องจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่ได้นำเสนอนั้นสามารถให้กระแศเอาต์พุตเป็นทั้งเฟสนำและเฟสตามภายในหนึ่งชุดวงจร ดังนั้นวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟสที่ได้นำเสนอจึงถ้าต้องการ n เฟส ก็จะต้องใช้วงจรกรองผ่านทุกความถี่เพียงแค่ $n/2$ เท่านั้น



ภาพที่ 42 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟสสร้างจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่ได้นำเสนอ

ทำการจำลองการทำงานของวงจรตามภาพที่ 42 เพื่อสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟสจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอได้ผลการจำลองแสดงดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟส

จากภาพที่ 43 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์หลายเฟส ที่สร้างจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีเฟสที่ต่าง ๆ กัน จำนวนสี่เฟส แต่ใช้จำนวนของวงจรกรองผ่านทุกความถี่เพียงแค่ 2 ชุดเท่านั้น