

วงจรกรองความถี่หลายฟังก์ชันโหมดกระแสที่ปรับค่าพารามิเตอร์ ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์แบบสามอินพุทและหนึ่งเอาต์พุท

Electronically Tunable Current-Mode Multifunction Filter with Three Inputs and Single Output

มนตรี คำเงิน กอบชัย เดชหาญ

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรกรองความถี่หลายฟังก์ชัน โหมดกระแสแบบสามอินพุทและหนึ่งเอาต์พุท โดยใช้วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์สองวงจรและตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์สองตัว โดยการเลือกอินพุทอย่างเหมาะสมวงจรที่นำเสนอสามารถสร้างการกรองได้ครบห้าแบบคือ ความถี่ต่ำผ่าน แถบความถี่ผ่าน ความถี่สูงผ่าน แถบความถี่หยุดและผ่านทุกความถี่ วงจรมีเอาต์พุทอิมพีแดนซ์สูงและพารามิเตอร์ ω_0 และ Q สามารถปรับค่าได้อย่างอิสระจากกันด้วยกระแสไบอัสของวงจรสายพานกระแส การสร้างการตอบสนองแบบต่างๆ ของวงจรที่นำเสนอไม่ต้องการเงื่อนไขความสัมพันธ์ของอุปกรณ์และวงจรมีค่าความไวต่ำ คุณสมบัติของวงจรที่นำเสนอจะถูกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE เพื่อยืนยันคุณสมบัติทางทฤษฎี

คำสำคัญ: วงจรกรองความถี่หลายฟังก์ชัน, วงจรโหมดกระแส, วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์

Abstract

This paper presents a new current-mode multifunction filter with three inputs and single output employing only two translinear current conveyors and two grounded capacitors. By appropriately connecting the inputs, the proposed circuit can simultaneously realize of low-pass, band-pass, high-pass, band-stop and all-pass current responses. The proposed filter also enjoys an independent current control of the natural frequency (ω_0) and quality factor (Q) through adjusting bias current of current conveyors. The proposed configuration no requires of any cancellation constrain for realizing all the filter responses and all the incremental parameter sensitivities are low. The characteristics of the proposed circuit are simulated using PSPICE to confirm the theory.

Key Words: Multifunction filter, current-mode, translinear current conveyor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ปัจจุบันวงจรรองความถี่โหมดกระแสได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายเพราะมีข้อดีคือ มีช่วงปฏิบัติงานกว้างกว่า มีค่าพิสัยพลวัตและมีความเป็นเชิงเส้นดีกว่า มีความเที่ยงตรงกว่าและใช้กำลังงานน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรโหมดแรงดัน [1] วงจรรองความถี่โหมดกระแสที่มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์สูงเป็นวงจรที่ได้รับความสนใจเพราะว่าง่ายต่อการนำมาต่อแบบคาตเดคเพื่อสร้างการกรองอันดับสูง [2] ในขณะที่เดียวกันวงจรรองความถี่ที่ใช้ตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์เป็นวงจรที่เหมาะสมกับการนำมาสร้างเป็นวงจรรวม [3]

วงจรสายพานกระแสเป็นวงจรที่มีความยืดหยุ่นสูงและเป็นบล็อกที่สำคัญสำหรับสร้างวงจรประมวลผลสัญญาณที่ทำงานในโหมดกระแส นอกจากนี้วงจรรองความถี่ที่ใช้วงจรสายพานกระแสที่ควบคุมด้วยกระแส [4] ยังสามารถปรับค่าความถี่ได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย

วงจรรองความถี่แบบไบควอดเป็นวงจรที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สร้างเป็นวงจรรองความถี่อันดับสูงเมื่อพิจารณาวงจรรองความถี่โหมดกระแสที่ใช้วงจรสายพานกระแสสองวงจรและตัวเก็บประจุสองตัวเป็นอุปกรณ์พื้นฐาน มีวงจรรองความถี่ลักษณะดังกล่าวนำเสนอไว้ใน [5]-[8] วงจรที่นำเสนอใน [5] เป็นวงจรกรองแบบอินพุตเดียวและหลายเอาต์พุตที่ใช้ตัวเก็บประจุแบบลอยตัวทำให้ไม่เหมาะกับการนำมาสร้างเป็นวงจรรวม นอกจากนี้บางเอาต์พุตของวงจรดังกล่าวมีอิมพีแดนซ์ไม่สูงทำให้ต้องใช้งานบัฟเฟอร์มาก่อนนำเอาต์พุตนั้นๆ ไปต่อใช้งาน ส่วนวงจรรองความถี่ใน [6]-[7] เป็นวงจรรองความถี่แบบหลายอินพุตและหลายเอาต์พุตที่ยากต่อการปรับค่า พารามิเตอร์ ω_0 และค่า Q ที่เป็นอิสระจากกันและไม่สามารถเป็นวงจรรองความถี่ที่สามารถปรับค่า Q ได้สูง ในขณะที่วงจรรองความถี่แบบหลายอินพุตและหลายเอาต์พุตใน [8] สามารถปรับค่า Q ได้สูง แต่ให้เอาต์พุตการกรองได้ไม่ครบห้าแบบ

บทความนี้นำเสนอวงจรรองความถี่หลายฟังก์ชันโหมดกระแสแบบสามอินพุตและหนึ่งเอาต์พุตโดยใช้วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์สองวงจรและตัว

เก็บประจุสองตัว วงจรที่นำเสนอสามารถสร้างค่าการทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันได้ห้าแบบในวงจรเดียวคือความถี่ต่ำผ่าน ความถี่สูงผ่าน แถบความถี่ผ่าน ผ่านทุกความถี่และแถบความถี่หยุด ค่าพารามิเตอร์ ω_0 และค่า Q สามารถปรับค่าได้โดยอิสระจากกัน ค่า ω_0 สามารถปรับค่าได้ด้วยกระแสไบอัส ในขณะที่ค่า Q สามารถปรับค่าได้ด้วยอัตราขยายกระแสของวงจรสายพานกระแส การใช้ตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์และไม่ใช้ตัวต้านทานทำให้วงจรที่นำเสนอเหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม

2. วงจรที่นำเสนอ

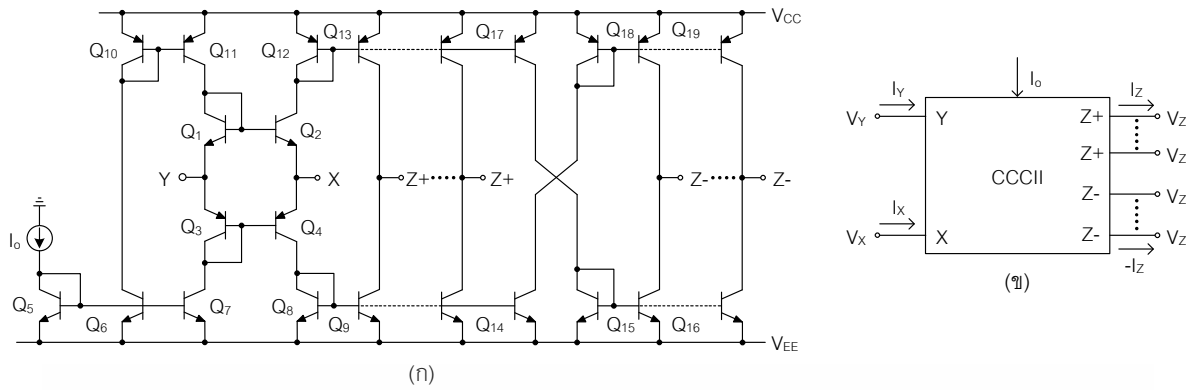
วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์คือวงจรที่ได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรมอดูลต่างๆ มากมาย วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์ที่สร้างจากไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ที่รู้จักกันดีคือวงจรใน [4] จากวงจรสายพานกระแสดังกล่าวเมื่อใช้วงจรสะท้อนกระแสและวงจรสะท้อนกระแสไขว้สลับมาต่อทางเอาต์พุต วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์แบบเอาต์พุตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 [9] จากวงจรสายพานกระแสในรูปที่ 1 เมื่อใช้วงจรสะท้อนกระแสที่มีอัตราการสะท้อนกระแส [10] มาสะท้อนกระแสทางเอาต์พุตตามวิธีการที่นำเสนอใน [11] และใช้วงจรสะท้อนกระแสต่อแบบไขว้สลับ วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์ที่สามารถปรับค่าอัตราขยายกระแสแบบเอาต์พุตคู่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 [8] จากรูปที่ 1 และรูปที่ 2 คุณสมบัติของวงจรสายพานกระแสที่เป็นอุดมคติสามารถเขียนเป็นสมการที่อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้คือ

$$\begin{pmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \\ I_{zk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & R_x & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm k & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_y \\ I_x \\ V_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

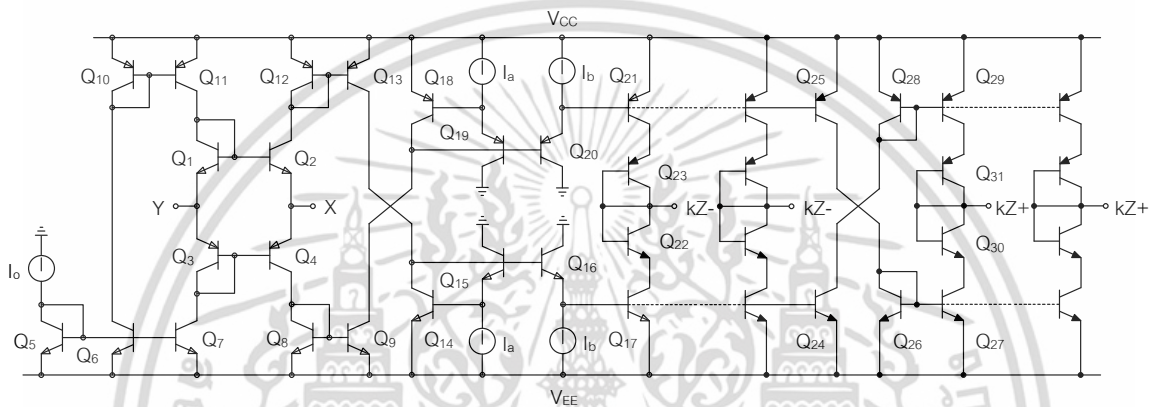
โดยที่ R_x คือค่าความต้านทานภายในที่ขั้ว X ของวงจรสายพานกระแสซึ่งสามารถกำหนดได้คือ [4]

$$R_x = \frac{V_T}{2I_0} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 (ก) วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์หลายเอาต์พุต (ข) สัญลักษณ์



รูปที่ 2 วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์ที่มีอัตราขยายกระแสเอาต์พุต

เมื่อ V_T คือค่าแรงดันอุณหภูมิ มีค่าประมาณ 26mV ที่ $27^\circ C$ จากสมการที่ (2) ค่าความต้านทาน R_X สามารถปรับค่าได้ด้วยการเปลี่ยนค่ากระแส I_o ส่วนค่า k คือค่าอัตราขยายกระแสระหว่างขั้ว X และขั้ว Z ของวงจรสายพานกระแสซึ่งสามารถกำหนดได้คือ [10]-[11]

$$k = \frac{I_a}{I_b} \quad (3)$$

ส่วนเครื่องหมาย \pm ในสมการที่ (1) แสดงได้ว่าวงจรในรูปที่ 1 และ 2 มีเอาต์พุตแบบบวกและแบบลบ

รูปที่ 3 แสดงวงจรกรองความถี่หลายฟังก์ชันที่นำเสนอจากรูปวงจรที่นำเสนอใช้วงจรสายพานกระแสเพียงสองวงจรและตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์เพียงสองตัวเท่านั้น เมื่อใช้คุณสมบัติของวงจรสายพานกระแสโดยกำหนด I_1 , I_2 และ I_3 เป็นอินพุต กระแสเอาต์พุต I_{out} ของวงจรในรูปที่ 3 สามารถกำหนดได้คือ

$$I_{out} = \frac{(s^2\tau_1\tau_2 + s\tau_2 + 1)I_3 - s\tau_2 I_2 k_1 + I_1}{D(s)} \quad (4)$$

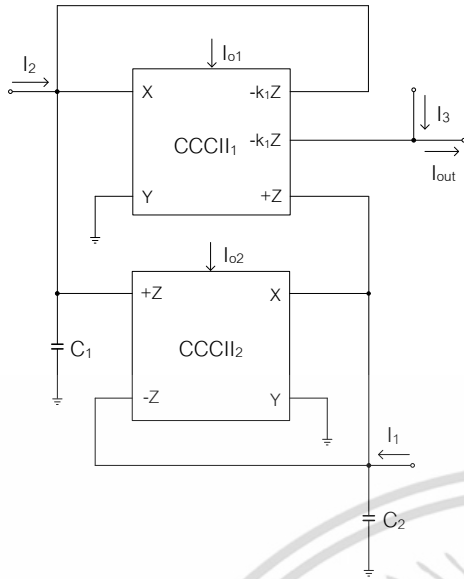
เมื่อ $\tau_1 = R_{X1}C_1$ และ $\tau_2 = R_{X2}C_2$ โดยที่คุณสมบัติ $D(s)$ มีค่าเท่ากับ

$$D(s) = s^2\tau_1\tau_2 + s\tau_2 k_1 + 1 \quad (5)$$

จากสมการที่ (4) และ (5) จะสามารถกำหนดค่าการทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันทั้งห้าแบบได้คือ

- (1) ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันแบบความถี่ต่ำผ่าน (LP) กำหนดได้คือ $I_1 = I_m$ และ $I_2 = I_3 = 0$
- (2) ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันแบบแถบความถี่ผ่าน (BP) กำหนดได้คือ $I_2 = I_m$ และ $I_1 = I_3 = 0$
- (3) ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันแบบความถี่สูงผ่าน (HP) กำหนดได้คือ $-I_1 = I_2 = I_3 = I_m$
- (4) ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันแบบแถบความถี่หยุด (BS) กำหนดได้คือ $I_2 = I_3 = I_m$ เมื่อ $I_1 = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 วงจรกรองความถี่โหมมดกระแสหลายฟังก์ชันที่นำเสนอ

(5) ค่าทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันแบบผ่านทุกความถี่ผ่าน (๐๐ AP) กำหนดได้คือ $I_2/2=I_3=I_m$ เมื่อ $I_1=0$ ค่าพารามิเตอร์ ω_0 และ Q กำหนดได้คือ

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_{x1}R_{x2}C_1C_2}} \quad (6)$$

$$Q = \frac{1}{k_1} \sqrt{\frac{R_{x1}C_1}{R_{x2}C_2}} \quad (7)$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวงจรที่นำเสนอสามารถสร้างเป็นวงจรกรองความถี่แบบอันดับที่สองได้ห้าแบบ เมื่อพิจารณาสมการที่ (7) และ (8) จะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ ω_0 สามารถปรับค่าได้ด้วยการเปลี่ยนค่า R_{x1} และ R_{x2} ผ่านกระแสไบอัส ในขณะที่พารามิเตอร์ Q สามารถปรับค่าได้ด้วยอัตราขยายกระแส k_1 โดยไม่มีผลกระทบต่อค่าพารามิเตอร์ ω_0 จากสมการที่ (8) เมื่อแทนค่า k_1 ด้วยสมการที่ (3) สมการที่ (7) จะกลายเป็น

$$Q = \frac{I_{b1}}{I_{a1}} \sqrt{\frac{R_{x1}C_1}{R_{x2}C_2}} \quad (8)$$

จากสมการที่ (6) และ (8) ค่าความไวของพารามิเตอร์ ω_0 และ Q สามารถหาค่าได้คือ

$$S_{R_{x1}}^{\omega_0} = S_{R_{x2}}^{\omega_0} = S_{C_1}^{\omega_0} = S_{C_2}^{\omega_0} = -\frac{1}{2} \quad (9)$$

$$S_{I_a}^Q = -S_{I_b}^Q = -1 \quad (10)$$

$$S_{R_{x1}}^Q = -S_{R_{x2}}^Q = S_{C_1}^Q = -S_{C_2}^Q = \frac{1}{2} \quad (11)$$

จากสมการที่ (9)-(11) ค่าความไวของพารามิเตอร์มีค่าไม่เกินหนึ่ง

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจร

ค่าที่ไม่เป็นอุดมคติของวงจรสายพานกระแสที่มีผลต่อคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่จะถูกพิจารณา เมื่อรวมค่าที่ไม่เป็นอุดมคติของวงจรสายพานกระแส สมการที่ (1) สามารถเขียนใหม่ได้คือ

$$\begin{pmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \\ I_{zk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \alpha_j & R_x & 0 \\ 0 & \pm\beta_j & 0 \\ 0 & \pm\beta_j k & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_y \\ I_x \\ V_z \end{pmatrix} \quad (12)$$

เมื่อ $\alpha_j=1-\epsilon_v$ และ $\epsilon_v(|\epsilon_v|\ll 1)$ แสดงค่า voltage tracking error ระหว่างขั้ว Y และ X ส่วน $\beta_j=1-\epsilon_i$ และ $\epsilon_i(|\epsilon_i|\ll 1)$ แสดงค่า current tracking error ระหว่างขั้ว X และ Z ของวงจร CCCII ตัวที่ j เมื่อใช้สมการที่ (12) สมการที่ (6) และ (7) สามารถเขียนใหม่ได้คือ

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\beta_1\beta_2}{R_{x1}R_{x2}C_1C_2}} \quad (13)$$

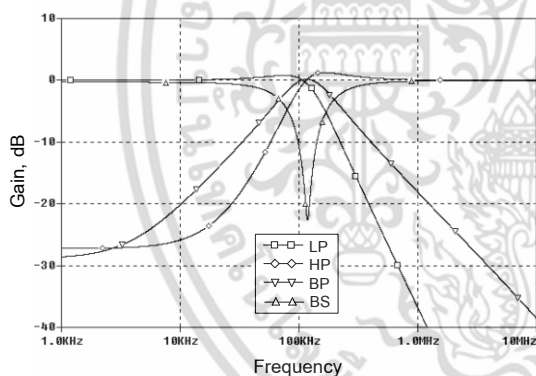
$$Q = \frac{I_{b1}}{I_{a1}} \sqrt{\frac{R_{x1}C_1\beta_1}{R_{x2}C_2\beta_2}} \quad (14)$$

4. ผลการจำลองการทำงาน

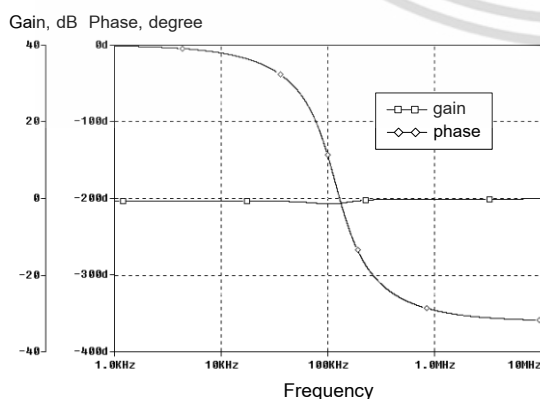
วงจรกรองความถี่ที่นำเสนอในรูปแบบที่ 3 จะถูกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE โดยทรานซิสเตอร์ใช้พารามิเตอร์ของ PR100N และ NR100N ของ ALA400 จาก AT&T [11] วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์ลิเนียร์ในรูปแบบที่ 1 และ 2 จะถูกนำมาใช้ในวงจรรูปที่ 3 โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน $\pm 3V$ ตัวอย่างการออกแบบได้กำหนดให้ค่า $C_1=C_2=10nF$ ค่า $I_{o1}=I_{o2}=100\mu A$ และ $I_{a1}=I_{b1}=50\mu A$

จะทำให้ได้ค่า f_0 เท่ากับ 127kHz และค่า Q เท่ากับ 1 ผลการจำลองการทำงานสามารถแสดงได้ดังนี้ รูปที่ 4 แสดงผลการตอบสนองทางความถี่ทั้งสี่แบบของวงจร ส่วนรูปที่ 5 แสดงผลการตอบสนองความถี่ของการกรองความถี่แบบผ่านทุกความถี่ จากรูปที่ 4 และ 5 สามารถแสดงได้ว่า วงจรที่นำเสนอสามารถสร้างการตอบสนองได้ครบห้าแบบ

เพื่อแสดงว่าพารามิเตอร์ ω_0 สามารถปรับค่าได้ด้วยกระแสไบอัส จึงกำหนดกระแส $I_{o1}=I_{o2}=I_0$ แล้วเปลี่ยนค่า I_0 เป็น 50 μ A 100 μ A 200 μ A และ 500 μ A ตามลำดับ ในขณะที่ I_{a1} และ I_{b1} เท่ากับ 50 μ A ($Q=1$) ผลการจำลองการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 ส่วนรูปที่ 7 แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์ Q ด้วยอัตราขยายกระแสโดยกำหนดให้ I_{o1} และ I_{o2} เท่ากับ 100 μ A ส่วน I_{a1} เท่ากับ 50 μ A ในขณะที่ I_{b1} มีค่าเป็น 50 μ A 500 μ A 750 μ A และ 1000 μ A ตามลำดับ

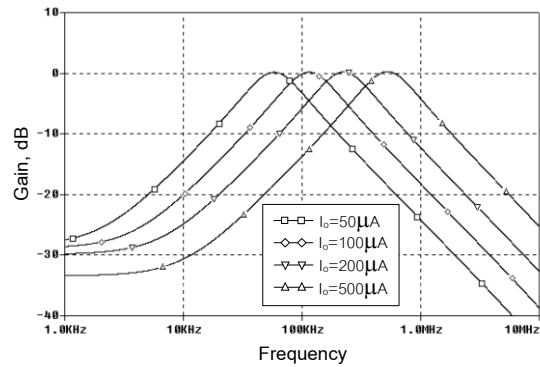


รูปที่ 5 ผลการตอบสนองความถี่ของ LP, BP, HP และ BS

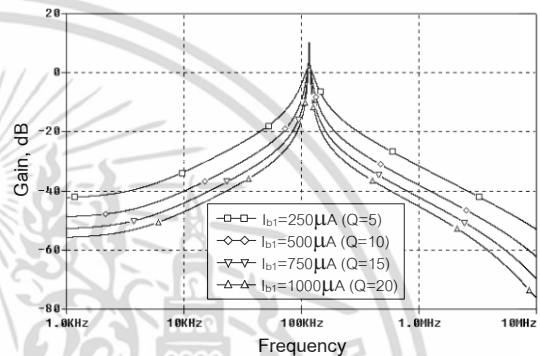


รูปที่ 6 ผลการตอบสนองความถี่ของ AP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 การเปลี่ยนค่า ω_0 ด้วยการแปรไบอัส I_0



รูปที่ 8 การเปลี่ยนค่า Q ด้วยค่าอัตราขยายกระแส k

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอวงจรกรองความถี่โหมดกระแสแบบสามอินพุทและหนึ่งเอาต์พุทโดยใช้วงจรสายพานกระแสแบบทรานส์เจียร์สองวงจรและตัวเก็บกระแสแบบต่อลงกราวด์สองตัว วงจรกรองความถี่ที่นำเสนอสามารถสร้างการตอบสนองได้ห้าแบบ ค่าพารามิเตอร์ ω_0 และ Q สามารถปรับค่าได้โดยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์และเป็นอิสระจากกัน นอกจากนี้ยังสามารถปรับให้ค่า Q ให้มีค่าสูงด้วยอัตราขยายกระแสของวงจรสายพานกระแส ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE สามารถยืนยันทฤษฎีที่นำเสนอ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] G. W. Roberts and A. S. Sedra, "All-current-mode frequency selective circuits," Electronics Letters, Vol. 25, pp. 759-761, 1989.

- [2] A. Fabre, F. Dayoub, L. Duruisseau, and M. Kamoun, "High input impedance current conveyor filters," *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I*, Vol. 41, pp. 918-921, 1994.
- [3] M. Bhusan and R. W. Newcomb, "Grounding of capacitors in integrated circuits," *Electronics Letters*, Vol. 3, pp. 148-149, 1967.
- [4] A. Fabre, O. Saaid, F. Wiest, and C. Boucheron, "Current controlled bandpass filter based on translinear conveyors," *Electronics Letters*, Vol. 31, pp. 1727-1728, 1995.
- [5] M. Sagbas and K. Fidanboyu, "Electronically tunable current-mode second-order universal filter using minimum elements," *Electronics Letters*, Vol. 40, pp. 2-4, 2004.
- [6] T. Tsukutani, Y. Sumi, and N. Yabuki, "Versatile current-mode biquadratic circuit using only plus type CCCIs and grounded capacitors," *International Journal of Electronics*, Vol. 94, pp. 1147-1156, 2007.
- [7] S. Tu, C.-M. Chang, and K.-P. Liao, "Novel versatile insensitive universal current-mode biquad employing two second generation current conveyors," *International Journal of Electronics*, Vol. 89, pp. 897-903, 2002.
- [8] M. Kumngern, P. Moungnoul, S. Junnapiya, and K. Dejhan, "Current-mode universal filter using translinear current conveyors," in *Proceeding of The 2008 ECTI International Conference*, Krabi, Thailand, May 14-17, 2008, pp.717-720.
- [9] M. T. Abuelma'atti and M. A. Al-Qahani, "A new current-controlled multiphase sinusoidal oscillator using translinear current conveyor," *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, Vol. 45, pp. 881-885, 1998.
- [10] C. Toumazou, F. J. Lidgey, and D. G. Haig, *Analogue IC design: the current-mode approach*, Peter Peregrinus, London: UK, 1990.
- [11] A. Fabre and N. Mimeche, "Class A/AB second generation current conveyor with controlled current gain," *Electronics Letters*, Vol. 30, pp. 1267-1269, 1994.
- [12] D. R. Frey, "Log domain filtering: an approach to current mode filtering," *IEE Proceedings Part G of the Institute of Electrical Engineering, Circuits, Devices and Systems*, Vol. 140. pp. 406-416, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้