

วงจรรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมมองตามแบบสมมูล และปรับค่าความถี่ได้กว้างโดยการปรับค่ากระแส

ประกาศิต ปราบพาด, วรวัฒน์ เสี่ยงวิบูล และอภิรักษ์ อูร์ โสภณ
หน่วยวิจัยอิเล็กทรอนิกส์การเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,
จังหวัดมหาสารคาม 44150, E-mail: wor_nui@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมมองตาม วงจรถูกนำไปสร้างเป็นวงจรรวมได้ สถาปัตยกรรมของวงจรไม่สลับซับซ้อน และ สมมูล ด้วยสัญญาณความแตกต่าง ค่าของความถี่ f_0 ณ จุดที่ขนาด และมุมมองของฟังก์ชันถ่ายโอน มีค่าเป็น 0 เดซิเบล และ -90 องศา ตามลำดับ การทดลองเป็นการจำลองการทำงานของวงจรโดยใช้โปรแกรม SPICE โดยการปรับค่าของกระแส สามารถปรับค่าได้กว้างแบบเชิงเส้นตลอดย่านความถี่ถึง 1000 เท่า ความถี่ f_0 ใช้งานประมาณ 220 เมกะเฮิรตซ์

คำสำคัญ: วงจรรองสัญญาณผ่านทั้งหมด, แบบสมมูล, ปรับความถี่ด้วยกระแส

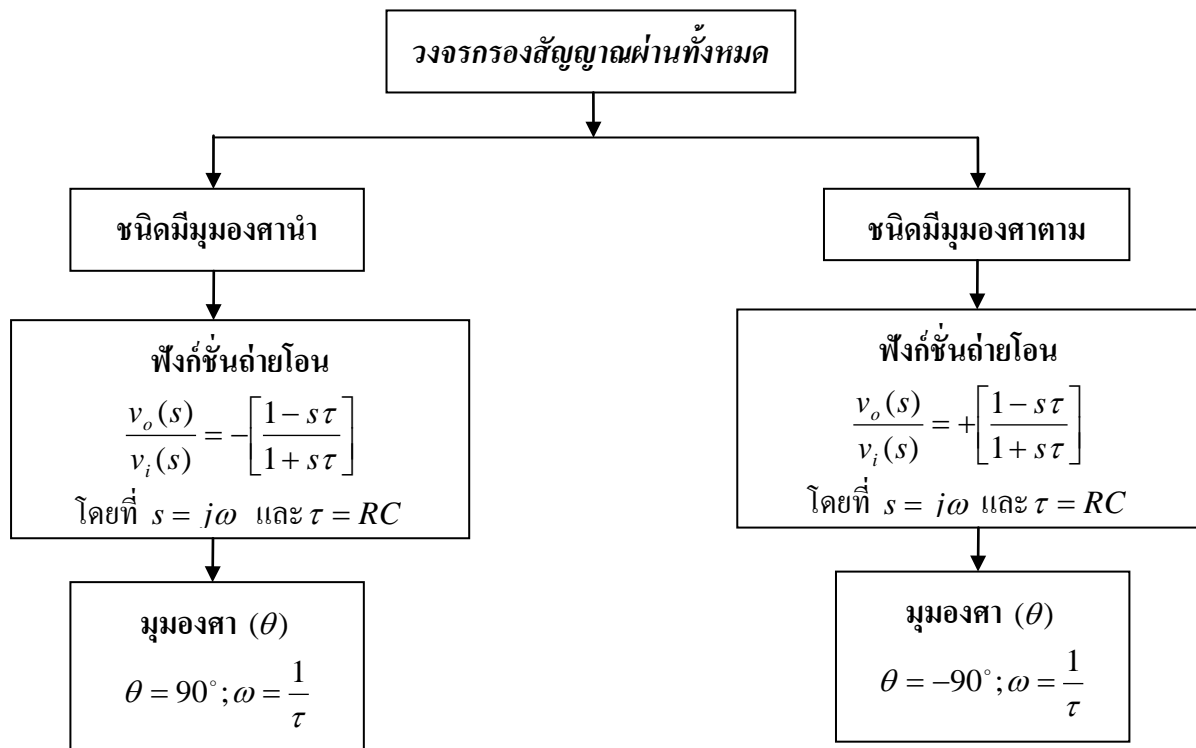
1. บทนำ

วงจรรองสัญญาณผ่านทั้งหมด (All Pass Filter, APF) คือ วงจรที่ใช้กรองสัญญาณผ่านทุกความถี่ ซึ่งลักษณะพิเศษของวงจร นี้จะยอมให้สัญญาณผ่านทุกย่านความถี่ที่ต้องการโดยสัญญาณที่ผ่านจะมีขนาดเท่ากับสัญญาณอินพุตและเฟสต่างกัน 90 องศา ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในวงจรเฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop) เป็นต้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีวงจรรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีองศาหน้า (Leading APF) [1] แบบสมมูลและชนิดองศาตาม (Lagging APF) [2] ได้มีการพัฒนางจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดจากการใช้ออมแอมป์ [3] [4] ซึ่งวงจรยังไม่สมมูล เป็นการออกแบบโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ สามารถปรับช่วงความถี่ด้วยกระแส วงจรมีลักษณะสมมูล ไม่ซับซ้อน โดยวงจรรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดองศาหน้า มีความถี่เชิงมุมที่ได้จากการออกแบบคือ ความถี่เชิงมุม (ω_0) มีค่าเท่ากับ $1/\tau$ เมื่อ $\tau = 2CV_T/I_T$ กระแส I_T คือ กระแสกระตุ้นการทำงานของวงจร C คือค่าตัวเก็บประจุ และ V_T คือ แรงดันเทอร์มอล (Thermal Voltage) ของรอยต่อพี-เอ็น ของสารกึ่งตัวนำโดยปกติประมาณ 26 mA ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนวงจรรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมมองตาม มีความถี่เชิงมุม (ω_0) มีค่าเท่ากับ $1/\tau$ มีค่า เมื่อ $\tau = 8CV_T/I_T$ ค่าของความถี่เชิงมุมมีผลต่อการปรับช่วงของความถี่ของการกรองสัญญาณ ถ้าความถี่เชิงมุมมีค่าสูงจะได้ความถี่ของวงจรมีค่าสูง

บทความนี้จึงนำเสนอวงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมองศาตาม โดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ ช่วงความถี่กว้างสามารถปรับความถี่ได้ด้วยกระแสไบแอส โดยมีความถี่เชิงมุม (ω_0) มีค่าเท่ากับ $1/\tau$ เมื่อ $\tau = 2CV_T / I_T$ ซึ่งจะได้ความถี่ที่สูงกว่าวงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดคงศาตามที่กล่าวมา จากผลการจำลองสามารถปรับความถี่ได้สูง 220 MHz โดยที่เฟสของแรงดันเอาต์พุตแบบล้าหลัง -90 องศา

2. หลักการเบื้องต้น

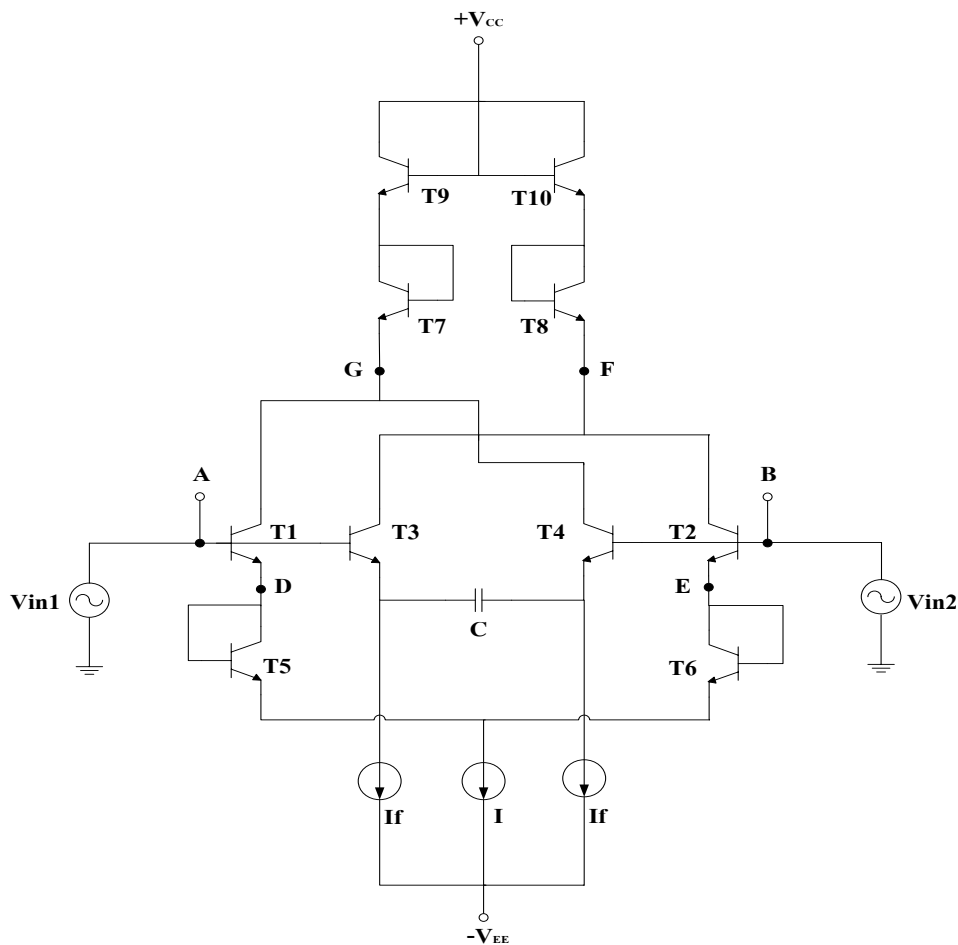


รูปที่ 1 หลักการเบื้องต้นของวงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมด

จากรูปที่ 1 วงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดองศาหน้าและชนิดองศาตาม เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตของวงจรทั้ง 2 ชนิด จะได้สมการฟังก์ชันถ่ายโอนและมุมองศา โดยชนิดองศาหน้า มีฟังก์ชันถ่ายโอน คือ $-\frac{1-s\tau}{1+s\tau}$ มุมองศา 90° และชนิดองศาตาม มีฟังก์ชันถ่ายโอน คือ $+\frac{1-s\tau}{1+s\tau}$ มุมองศา -90° [5] จุดแตกต่างกันของวงจรทั้ง 2 ชนิด คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนและมุมองศา

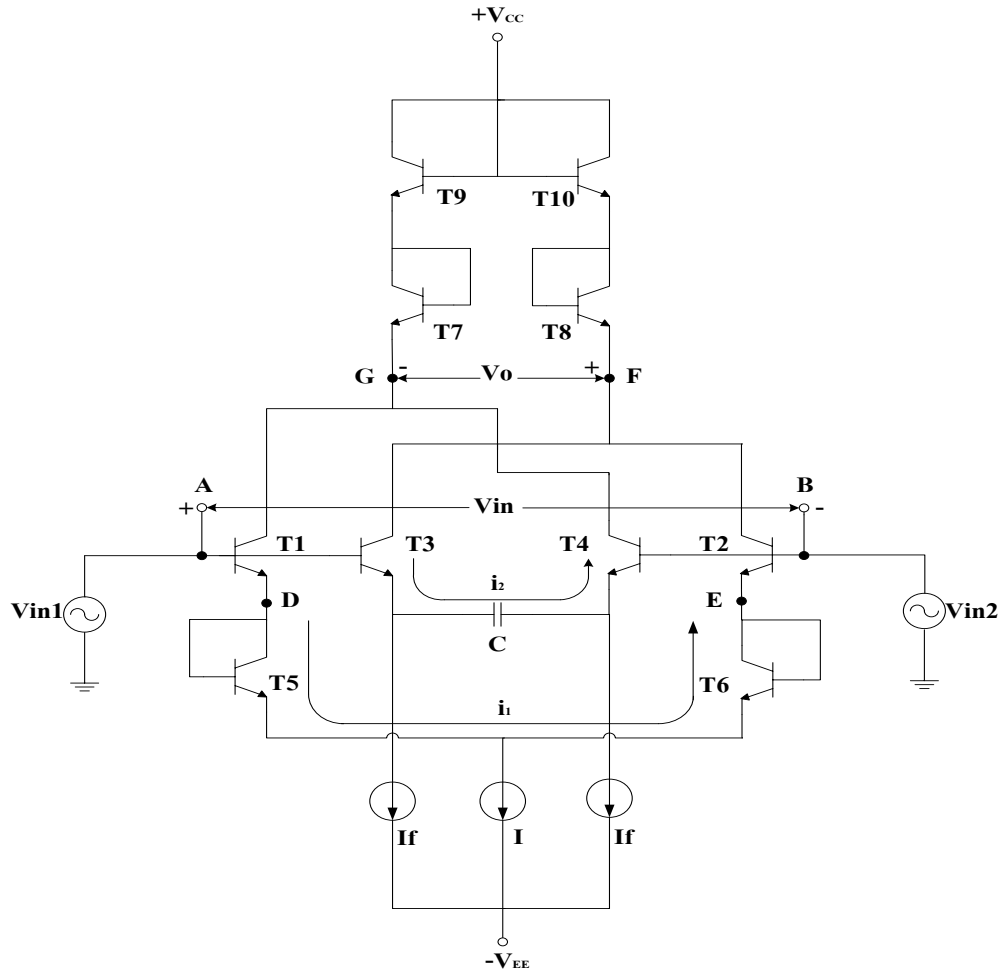
3. วงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมมองตามแบบสมมูลและปรับค่าความถี่ได้กว้างโดยการปรับค่ากระแสที่นำเสนอ

จากการออกแบบวงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดโดยใช้โอปแอมป์ จะยังไม่เป็นแบบสมมูล [3] [4] ผู้วิจัยนำเสนอ วงจรจากรูปที่ 2 เป็นวงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมมองตาม วงจรมีความสมมูลและปรับค่าความถี่ได้กว้างโดยการปรับค่ากระแสที่ได้จากการออกแบบวงจร จากวงจรจะเห็นว่าประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ชนิด NPN 10 ตัว (T1-T10) ที่เหมือนกันทุกประการ ตัวเก็บประจุ (C) และวงจรดึงกระแส I และ I_f ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดสัญญาณความแตกต่างขนาดเล็ก V_{in1} และ V_{in2} ถูกป้อนเข้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ T1- T2 และ T3- T4 ระหว่างโหนด A และ B จะมีแรงดันไฟฟ้าที่จุดสัญญาณออกความแตกต่างขนาดเล็ก V_n ตกร่วมที่ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ T5-T6 ที่โหนด D และ E ตามลำดับ กระแส I/2 จะไบอัสทรานซิสเตอร์ T1 T2 T5 และ T6 ในขณะที่กระแส I_f จะไบอัสทรานซิสเตอร์ T3 T4 T7 T8 T9 และ T10 จากวงจรจะเห็นว่ามีส่วนประกอบที่เป็นแบบสมมูล



รูปที่ 2 วงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมมองตาม แบบสมมูล และปรับค่าความถี่ได้กว้าง โดยการปรับค่ากระแส

3.1 การวิเคราะห์หาค่าสัมบัติของวงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมมองตามแบบสมมูลและปรับค่าความถี่ได้กว้างด้วยปรับค่ากระแส



รูปที่ 3 วงจรที่จุดสัญญาณออกความแตกต่างขนาดเล็ก V_{n1} และ V_{n2}

จากรูปที่ 3 เมื่อป้อนแรงดันสัญญาณความแตกต่างขนาดเล็ก V_{n1} จะทำให้เกิดกระแสความแตกต่างขนาดเล็กที่จุดสัญญาณเข้า V_{in} จะทำให้เกิดกระแส i_1 ไหลโดยจะมองทรานซิสเตอร์เป็น r_e มีค่าดังสมการ

$$i_1 = \frac{V_{in}}{4r_e} \quad (1)$$

เมื่อป้อนแรงดันสัญญาณความแตกต่างขนาดเล็ก V_{n2} จะทำให้เกิดกระแสความแตกต่างขนาดเล็กที่จุดสัญญาณเข้า V_{in} จะทำให้เกิดกระแส i_2 ไหลและมีค่าดังสมการ

$$i_2 = \left(\frac{V_{in}}{2r_e + \frac{1}{sC}} \right) \quad (2)$$

จากสมการที่ 1 และ 2 จะได้กระแสขาออกของวงจรคือ

$$i_o = i_1 - i_2 \quad (3)$$

$$i_o = V_{in} \left[\frac{1 - 2r_e sC}{4r_e (2r_e sC + 1)} \right]$$

$$\tau = 2r_e C = \frac{2V_T C}{I_f} \quad (4)$$

V_T คือ แรงดันเทอร์มอล (Thermal Voltage) ของรอยต่อพี-เอ็น ของสารกึ่งตัวนำ โดยปกติประมาณ 26 mV ที่อุณหภูมิห้อง (300 K หรือ 27 °C)

$$i_o = V_{in} \left[\frac{1 - s\tau}{4r_e (1 + s\tau)} \right] \quad (5)$$

ได้สมการแรงดันป้อนเข้า V_{in} คือ

$$V_{in} = i_o \left[\frac{4r_e (1 + s\tau)}{(1 - s\tau)} \right] \quad (6)$$

จากโหนด F และ G ดังรูปที่ 3 จะได้แรงดันที่จุดสัญญาณออก V_o คือ

$$V_o = i_o [4r_e] \quad (7)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองสัญญาณทั้งหมดชนิดนี้มีมุมมองตาม วงจรมีความสมดุลและปรับค่าความถี่ได้กว้าง โดยการปรับค่ากระแสคือ

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{i_o [4r_e]}{i_o \left(\frac{4r_e(1+s\tau)}{(1-s\tau)} \right)} \quad (8)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{(1-s\tau)}{(1+s\tau)} \quad (9)$$

$$\omega_o = \frac{1}{\tau} = \frac{I_f}{2CV_T} \quad (10)$$

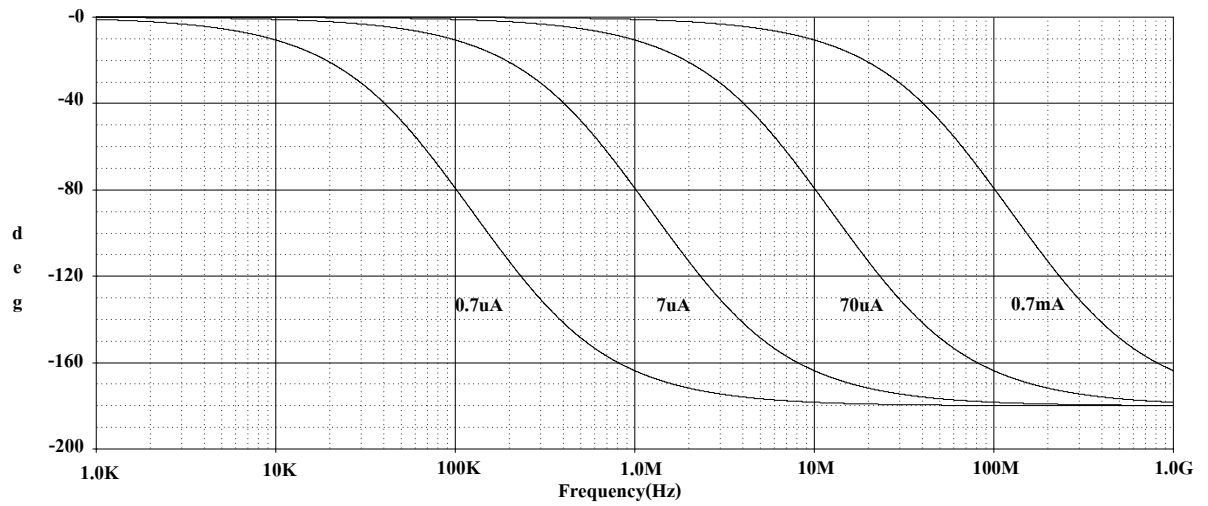
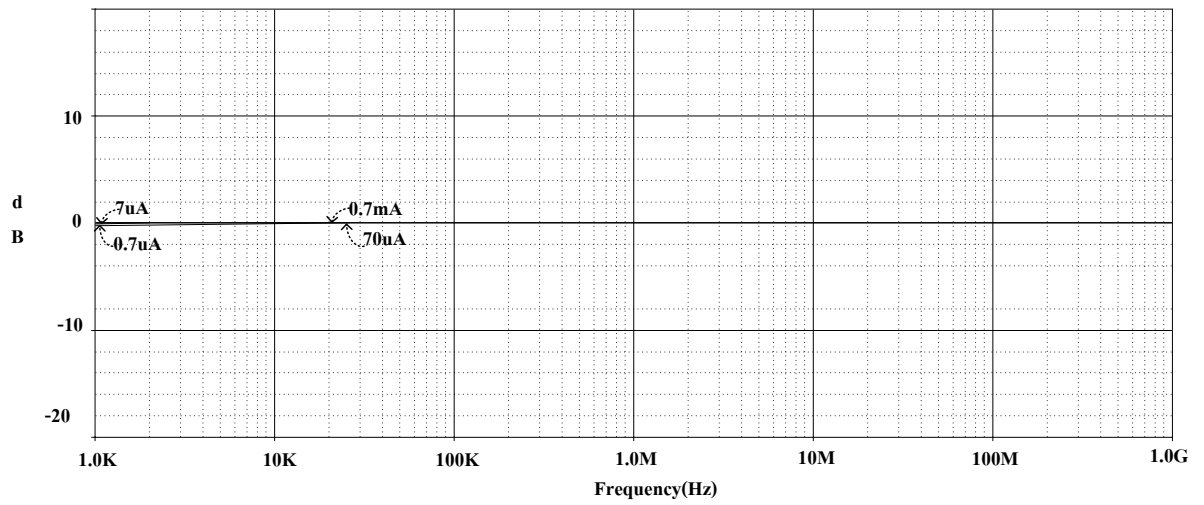
4. ผลการจำลองการทำงาน

การทดลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมมองตาม ดังรูปที่ 2 คือวงจรที่ใช้ในการทดลองและทรานซิสเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในวงจรในการ ทดลอง นั้นใช้แบบจำลองของทรานซิสเตอร์เบอร์ QMPS2222A ทรานซิสเตอร์มีความถี่ f_T ที่ 300 MHz [6] โดยการทดลองวงจรใช้ โปรแกรม SPICE ในการจำลองวงจร จากรูปที่ 4 เป็นผลการทดลองหาค่า Magnitude (dB) และ Phase Shift (degree) โดยพิจารณาจากฟังก์ชันถ่ายโอน V_o/V_i กับความถี่ ที่ได้รับจากการจำลองการทำงาน โดยใช้ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 10 pF ค่ากระแส I เท่ากับ 200 μ A และค่ากระแส I_f เท่ากับ 0.7 μ A 7 μ A 70 μ A 0.7 mA ดังแสดงในรูปที่ 4 ได้มุมมองค่าที่ -90 และมีค่า ความถี่เชิงมุมสำหรับการปรับค่า ค่ากระแส I_f แต่ละค่า ที่ 214 kHz , 2.142 MHz, 21.42 MHz, 214 MHz ตามลำดับ และค่าของ Magnitude ประมาณ 0 dB

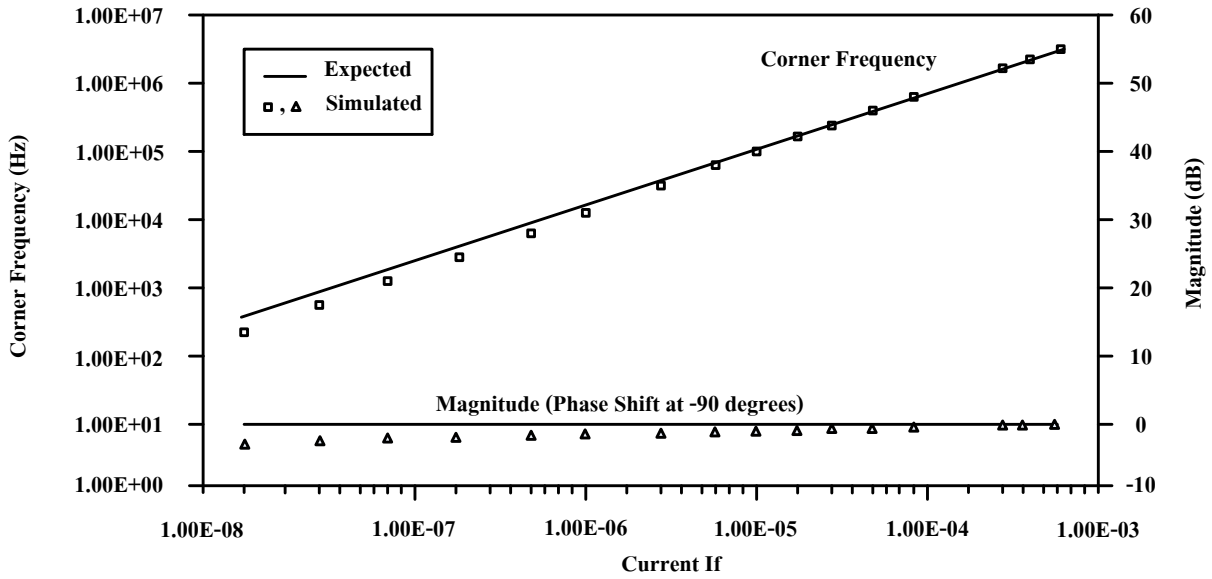
จากรูปที่ 5 ผลการทดลอง หาค่าความถี่เชิงมุมและขนาดของวงจร มีฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจร คือ V_o/V_i และค่ามุมมอง -90 องศา หาค่าของวงจรโดยการปรับค่ากระแส I_f กำหนด ค่าตัวเก็บประจุ $C = 10$ pF และกระแส $I = 200$ μ A จะเห็นว่า จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงมุมที่เป็นฟังก์ชันของเส้นตรงกับการปรับค่าของกระแส I_f ช่วงของแถบความถี่กว้าง โดยได้ระยะกว้างประมาณวงจรอันดับ 3 ของขนาดของวงจร

จากรูปที่ 6 ผลการทดลอง หาค่าความถี่เชิงมุมและขนาดของวงจร มีฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจร คือ V_o/V_i ค่ามุมมอง -90 องศา โดยการปรับค่าตัวเก็บประจุ กำหนด ค่า $I_f = 0.7$ mA และกระแส $I = 200$ μ A ซึ่งเห็นว่า จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงมุมที่เป็นฟังก์ชันของเส้นตรงกับการปรับค่าของตัวเก็บประจุ จากการทดลองค่าน้อยที่สุดของตัวเก็บประจุได้ค่าประมาณ 20 pF ได้ค่าความถี่สูงสุดที่คาดหวังถึงประมาณ 220 MHz

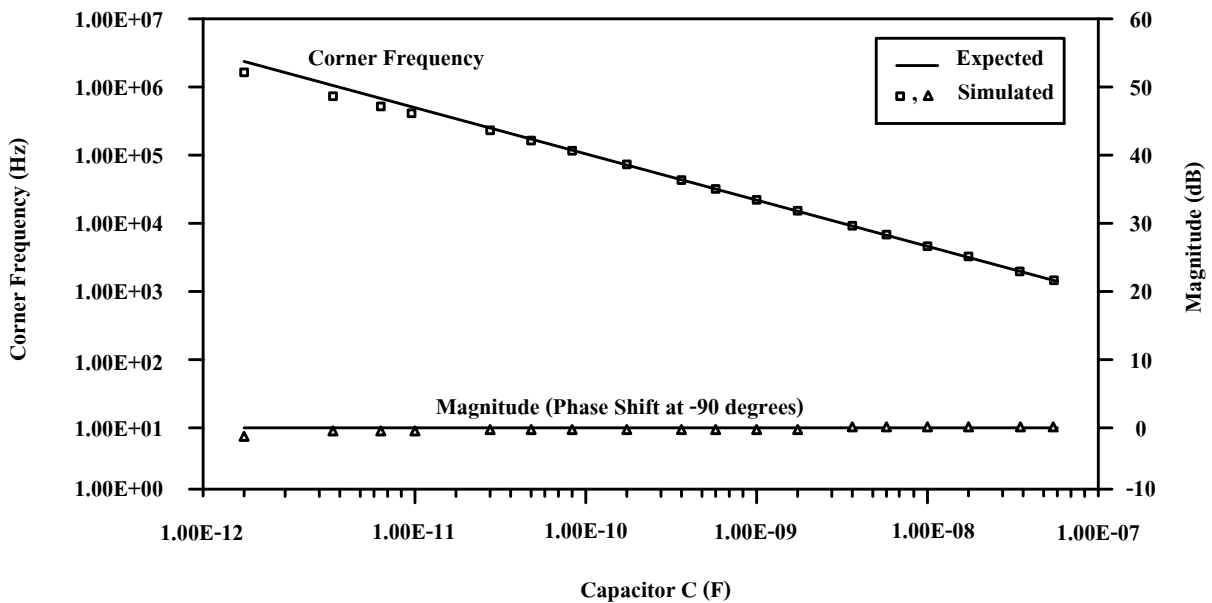
จากการทดลองจะเห็นว่าผลของการทดลองได้ค่าความถี่ที่สูงกว่า งานวิจัยที่ ผ่านมาของ วงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมุมมองตาม (Lagging APF) [2] แบบสมดุค ที่ 112 MHz เป็นความถี่ที่ 220 MHz เป็นผลมาจากมีค่าความถี่เชิงมุม (ω_o) ที่สูงกว่าและมีค่าความถี่เท่ากับวงจร ชนิดองคานำ (Leading APF) [1] ที่มีค่าความถี่เชิงมุมที่เท่ากัน



รูปที่ 4 ค่า Magnitude (dB) และ Phase Shift (degree) โดยพิจารณาจากฟังก์ชันถ่ายโอน V_o/V_i กับความถี่
ที่ใช้ค่า $C = 10 \text{ pF}$ และ $I = 200 \text{ } \mu\text{A}$ และค่า $I_f = 0.7 \text{ } \mu\text{A}, 7 \text{ } \mu\text{A}, 70 \text{ } \mu\text{A}, 0.7 \text{ mA}$



รูปที่ 5 แสดงกราฟผลการทดลองการปรับค่ากระแส I_f
โดยกำหนด ค่าตัวเก็บประจุ $C = 10$ pF และกระแส $I = 200$ μ A



รูปที่ 6 แสดงกราฟผลการทดลองการปรับค่าตัวเก็บประจุ C
โดยกำหนด กระแส $I_f = 70$ μ A และกระแส $I = 200$ μ A

5. สรุป

วงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมูมองศาตาม ที่นำเสนอจะเห็นได้ว่าวงจรมีความสมดุล ด้วยสัญญาณความแตกต่าง วงจรสามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมได้ การปรับค่าของกระแสจะเห็นว่าจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงมุมที่เป็นฟังก์ชันของเส้นตรงกับการปรับค่าของกระแส I_f ช่วงของแถบความถี่กว้างโดยผลการทดลองแสดงด้วยกราฟโดยกราฟที่ได้จะประกอบด้วย ความถี่เชิงมุม ที่เป็นเชิงเส้นด้วยการปรับค่ากระแส ช่วงกวาดของช่วงความถี่ กว้างโดยได้ระยะกว้างประมาณวงจรอันดับ 3 ของขนาดของวงจรถ่ายค่าสูงสุดของความถี่เชิงมุมมีค่าประมาณ 220 MHz ข้อเสนอแนะควรใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีค่า f_T สูง และค่าตัวเก็บประจุ C ต่ำ เพื่อที่จะให้ค่าความถี่เชิงมุมที่สูงขึ้นและนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] อิศราวุธ สีดาदान, วัลลภ สุระกำพลธร และบันลือ ศรีสุขินวงศ์ “วงจรกรองสัญญาณผ่านทั้งหมดชนิดมีมูมองศาตาม วงจรมีความสมมาตรและสามารถปรับความถี่ได้กว้างโดยการปรับค่ากระแส”วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ฉบับที่ 1: 31-41, 2001
- [2] Srisuchinwong Banlue, “A Fully-Balanced Wide-Frequency Current-Tunable All-Pass Filter” ICICS, 1732-1736, 1997
- [3] Tay,E.W. and Murti, V.G.K. “Unity-gain frequency-independent quadature phase shifter” Electron.Lett, 20.1984
- [4] Comer,D.T., Comer,D.J. and Gonzalez, J.R. “A Hight-Frequency Integrable Bandpass Filter Configuration,” IEEE Trans. On Circuit a Systems-II: Analog and Digitial Signal Processing, Vol.44, No.10.1999.pp.856-861.
- [5] Donald A. Bell. Operational Amplifiers Application, Troubleshooting and Design. Second Edition. NewYoke: McGraw-Hill Higher Education.2001
- [6] Viewspice User’s Manual, Workview PLUS on Windows, Viewlogic qsystems, 1993.

บทความนี้ส่งเข้ามาเมื่อ 5 กันยายน 2554 และได้รับพิจารณาให้ตีพิมพ์เมื่อ 16 กันยายน 2554