



วงจรถ่วงค่าอุปกรณ์แบบลอยที่สามารถควบคุมด้วยกระแส
โดยใช้ DV-CCTA โครงสร้างแบบ BiCMOS
A Current-controlled Floating Simulator using BiCMOS DV-CCTA

อดิศร กวาวสิบสาม¹, กังวาล พัยคมกุล², ประชารัฐ สัตถาผล², ไพสิฐ พิพัฒน์จิตกร² และมนตรี ศิริปรัชญานันท์

¹วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

98 ม.8 ต.ป่าป้อ อ.คอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50220

²ห้องวิจัยการออกแบบวงจรรวม ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถ.ประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

adisorn_401@hotmail.com, kangwal.p@gmail.com, pracharat2012@hotmail.com, paisit.pi@hotmail.com,

mts@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรถ่วงค่าอุปกรณ์แบบลอย โดยใช้วงจรถ่วงค่าแรงดันขยายความนำถ่ายโอนสายพานกระแส (Differential Voltage Current Conveyor Transconductance Amplifier : DV-CCTA) ที่มีโครงสร้างแบบ BiCMOS ต่อร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว วงจรที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถแสดงผลการทำงานได้ทั้ง 3 แบบ คือ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุแบบลอยที่ขึ้นอยู่กับทางเลือกอุปกรณ์พาสซีฟในวงจรและสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งสามแบบโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวงจร อีกทั้งค่าของอุปกรณ์ที่ได้จากวงจรถ่วงค่าสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ผลการทดสอบการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice พบว่า วงจรถ่วงค่าความต้านทานแบบลอยมีอัตราคั้งกำลังไฟฟ้า 7.02mW วงจรถ่วงค่าความเหนี่ยวนำแบบลอยมีอัตราคั้งกำลังไฟฟ้า 2.29mW และวงจรถ่วงค่าตัวเก็บประจุแบบลอยมีอัตราคั้งกำลังไฟฟ้า 1.17mW เมื่อทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 27, 50 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าวงจรถ่วงค่าทั้ง 3 แบบมีค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรถ่วงค่าเปลี่ยนแปลงไปเพียง 0.31%/°C, 0.224%/°C และ 0.218%/°C ตามลำดับ

คำสำคัญ: วงจรถ่วงค่าอุปกรณ์ วงจรถ่วงค่าแรงดันขยายความนำถ่ายโอนสายพานกระแส

Abstract

This paper presents a floating simulator using only single based on BiCMOS Differential Voltage Current Conveyor Transconductance Amplifier (DV-CCTA) and only 2 grounded passive elements. The synthesized circuit can offer the floating resistance, floating inductance and floating capacitance conversion depending on the passive component selection. Moreover, they can offer all functions and without modifying circuit configuration requirement. The simulated component values can be controlled with electronic method. The circuit performance investigations obtained via PSpice for the floating simulator based on BiCMOS DV-CCTA, it is found that its power consumption for resistance simulation is 7.02mW, 2.29mW for inductance simulation and 1.17mW for capacitance simulation. In addition, the temperature deviations of the simulated values from temperature variations of 27, 50 and 100°C are 0.31%/°C, 0.224%/°C and 0.218%/°C for resistance, inductance simulator and capacitance simulator, respectively.

Keyword: floating simulator, DV-CCTA

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ การสังเคราะห์วงจรเพื่อเลียนแบบหรือจำลองอุปกรณ์พาสซีฟได้กลายเป็นเรื่องที่ได้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้หลากหลาย เช่น การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรกรองความถี่ ตลอดจนการกำจัดค่าอุปกรณ์แฝงที่ไม่ต้องการที่อยู่ในอุปกรณ์หรือวงจร [1-2] งานพัฒนาหนึ่งที่ได้ได้รับความนิยมคือ การออกแบบวงจรรวม (Integrated circuit) ที่สามารถเลียนแบบเป็นตัวเหนี่ยวนำได้ ทั้งนี้เพื่อนำไปทดแทนตัวเหนี่ยวนำจริงที่มีข้อจำกัดคือ ขนาดและน้ำหนักที่มากและประสิทธิภาพที่ต่ำ อีกทั้งไม่สามารถทำการผลิตให้อยู่ในรูปของวงจรรวมเพื่อให้ในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กได้โดยง่าย รวมทั้งไม่สามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำได้ และเมื่อไม่นานมานี้ ก็มีผู้นำเสนอทั้งวงจรเลียนแบบค่าความเหนี่ยวนำและความจุไฟฟ้าแบบลอย ที่อยู่ในรูปแบบของวงจรรวม [2-15] ซึ่งมีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่เป็นอุปกรณ์หลักที่นำมาสร้างอย่างหลากหลาย เช่น ใช้วงจรส่งผ่านความนำ (Operational Transconductance Amplifier, OTA) วงจรสายพานกระแส (Current conveyor) วงจรออปแอมป์ป้อนกลับกระแส เป็นต้น อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า วงจรที่ได้นำเสนอมานั้น ยังมีข้อจำกัดต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ต้องการความสมพงษ์ของอุปกรณ์พาสซีฟที่ใช้ [6-8], [12]
- ไม่สามารถควบคุมค่าได้ด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์ [6-13], [15] ซึ่งกำลังได้รับความนิยมสำหรับระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ เนื่องจากสามารถประยุกต์เข้ากับการควบคุมแบบอัตโนมัติหรือใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยง่าย [1]
- ใช้ตัวเก็บประจุแบบลอย ซึ่งไม่เหมาะสมกับการสร้างเป็นวงจรรวม [6-13]
- ใช้ตัวเก็บประจุต่อขั้วต่อที่ไม่เหมาะสม ซึ่งทำให้เกิดความถี่โพลา ยังผลให้ตอบสนองความถี่ได้ต่ำ [10], [13-15]
- ให้ฟังก์ชันได้เฉพาะ ตัวต้านทานแบบลบที่ผันแปรตามความถี่ (Frequency dependent negative resistance,

FDNR) ตัวเหนี่ยวนำแบบลอยและลงกราวนด์ เท่านั้น [10-15]

- ค่าอิมพีแดนซ์ที่นำมาจะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิ ส่งผลให้วงจรหรือระบบมีความไม่เสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม [2-3], [5-15]

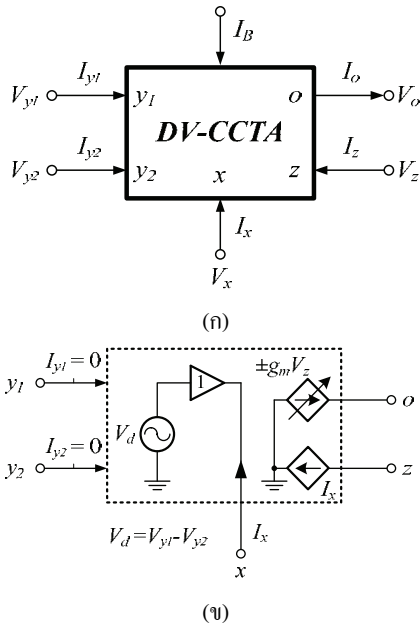
เมื่อเร็ว ๆ นี้ ได้มีผู้นำเสนอวงจรจำลองค่าอุปกรณ์แบบลอยที่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ DV-CCTA เพียงตัวเดียวและอุปกรณ์แอกทีฟที่ต่อลงกราวนด์อีก 2 ตัว [16] ซึ่งวงจรสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุแบบลอยที่ขึ้นอยู่กับค่าเลือกอุปกรณ์พาสซีฟในวงจรและยังสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งสามแบบโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวงจร อีกทั้งไม่ต้องการความสมพงษ์กันของอุปกรณ์อีกด้วย แต่อย่างไรก็ดี โครงสร้างวงจรจำลองค่าอุปกรณ์ดังกล่าวนั้น ถูกออกแบบโดยใช้เทคโนโลยี BJT ซึ่งจะส่งผลทำให้มีปัญหาในเรื่องของแรงดันและกระแสออปเซ็ท เนื่องจากการใช้ BJT ในการสร้างวงจรสะท้อนกระแสจะมีความผิดพลาดสูงกว่าวงจรสะท้อนกระแสที่สร้างมาจาก CMOS [17] โดยผลกระทบของออปเซ็ทที่เกิดขึ้นจะทำให้ความแม่นยำของวงจรลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงจรระบบการวัดและเครื่องมือวัด

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงต้องการออกแบบและสังเคราะห์วงจรจำลองค่าอุปกรณ์แบบลอยโดยใช้ DV-CCTA ที่มีโครงสร้างแบบ BiCMOS เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดของแรงดันและกระแสออปเซ็ทที่เอาต์พุต วงจรสามารถทำหน้าที่เป็นตัวต้านแบบลอย ตัวเหนี่ยวนำแบบลอยและตัวเก็บประจุแบบลอยด้วยการเลือกอุปกรณ์พาสซีฟในวงจร อีกทั้งยังสามารถทำหน้าที่ทั้งสามแบบได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและไม่ต้องต้องการความสมพงษ์กันของอุปกรณ์ วงจรที่นำเสนอประกอบด้วย DV-CCTA ที่มีโครงสร้างแบบ BiCMOS จำนวน 1 ตัวและมีอุปกรณ์แอกทีฟที่ต่อลงกราวนด์เพียง 2 ตัวเท่านั้น ทำให้วงจรที่นำเสนอมีความเหมาะสมในการพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบวงจรรวม ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวงจรจำลองค่าอุปกรณ์ในวงจรกรองความถี่แสดงถึงความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้มีการวิเคราะห์ไว้เป็นอย่างดี

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการทำงานของ DV-CCTA

ในงานวิจัยนี้ เป็นการสังเคราะห์วงจรจำลองค่าอุปกรณ์โดยใช้ DV-CCTA ที่มีโครงสร้างแบบ BiCMOS จึงขอก้าวถึงวงจร DV-CCTA อย่างคร่าวๆ ซึ่ง DV-CCTA [18] มีสัญลักษณ์และวงจรสมมูลแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 : DV-CCTA (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล

ลักษณะสมบัติของ DV-CCTA โดยทั่วไป สามารถแสดงด้วยสมการเมตริกซ์ได้ดังสมการที่ (1)

$$\begin{bmatrix} I_{y1} \\ I_{y2} \\ V_x \\ I_z \\ I_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm g_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x \\ V_{y1} \\ V_{y2} \\ V_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

เมื่อ g_m คือ ค่าความนำถ่ายไอออนของ DV-CCTA ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (2)

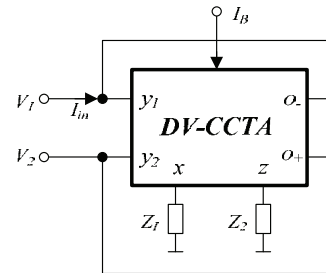
$$g_m = \frac{I_B}{2V_T} \quad (2)$$

โดยที่ I_B และ V_T คือ กระแสไบแอสและค่าศักดาความร้อนที่อุณหภูมิห้อง มีค่าประมาณ $26mV$ ตามลำดับ

2.2 วงจรที่นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้ เป็นการสังเคราะห์วงจรจำลองค่าอุปกรณ์แบบลอยโดยใช้ DV-CCTA ที่มีโครงสร้างแบบ BiCMOS โดยสามารถทำการควบคุมค่าของอุปกรณ์ได้ด้วยกระแสและ

กำหนดค่าของอุปกรณ์ได้ด้วยการเลือกอุปกรณ์พาสซีฟ Z_1 และ Z_2 ในวงจร ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 : วงจรจำลองค่าอุปกรณ์แบบลอยโดยใช้ DV-CCTA ที่มีโครงสร้างแบบ BiCMOS

จากภาพที่ 2 เมื่อทำการพิจารณาลักษณะสมบัติของ DV-CCTA จะได้อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรถัดสมการที่ (3)

$$Z_{in} = \frac{V_1 - V_2}{I_{in}} = \frac{Z_1}{g_m Z_2} \quad (3)$$

เมื่อแทนค่า g_m จากสมการที่ (2) ลงในสมการที่ (3) จะได้อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจร

$$Z_{in} = \frac{2V_T}{I_B} \frac{Z_1}{Z_2} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) พบว่าค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรสามารถควบคุมได้ด้วยกระแส I_B

เมื่อกำหนดให้ $2V_T / I_B = K$ จะได้

$$Z_{in} = K \frac{Z_1}{Z_2} \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) พบว่า วงจรสามารถทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานแบบลอย ตัวเหนี่ยวนำแบบลอยและตัวเก็บประจุแบบลอยโดยการเลือกอุปกรณ์พาสซีฟในวงจร ที่ Z_1 และ Z_2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) วงจรจำลองตัวต้านทานแบบลอย

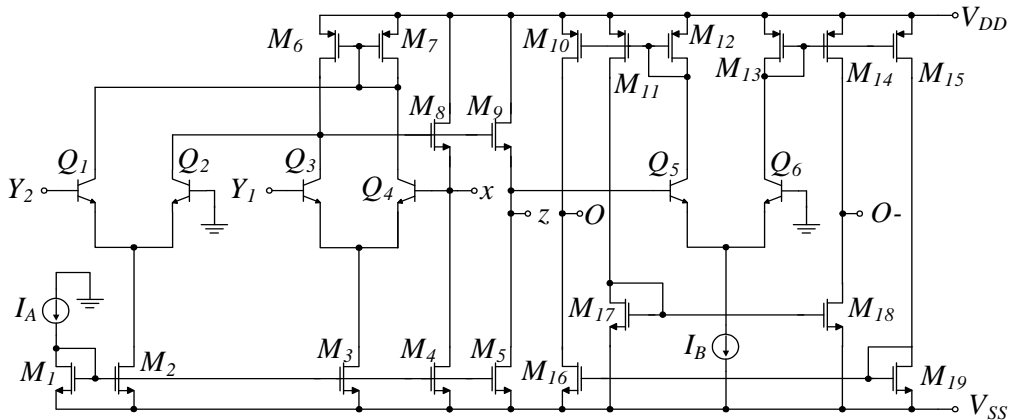
ถ้ากำหนดให้ $Z_1 = R_1$ และ $Z_2 = R_2$ จะพบว่าวงจรทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานแบบลอย ดังนี้

$$Z_{in} = K \frac{R_1}{R_2} = R_{eq} \quad (6)$$

โดยที่ค่าความต้านทานเสมือนเท่ากับ $R_{eq} = KR_1 / R_2$

2) วงจรจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบลอย

ถ้ากำหนดให้ $Z_1 = R_3$ และ $Z_2 = 1/sC_1$ จะพบว่าวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำแบบลอย ดังนี้



ภาพที่ 3 : โครงสร้างภายในของ DV-CCTA แบบ BiCMOS

$$Z_{in} = K \frac{R_3}{\left(\frac{1}{sC_1}\right)} = KsC_1R_3 = sL_{eq} \quad (7)$$

โดยที่ค่าความเหนี่ยวนำเสมือนเท่ากับ $L_{eq} = KC_1R_3$

3) วงจรจำลองตัวเก็บประจุแบบลอย

ถ้ากำหนดให้ $Z_1 = 1/sC_2$ และ $Z_2 = R_4$ จะพบว่าวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุแบบลอย ดังนี้

$$Z_{in} = K \frac{1}{sC_2} \frac{1}{R_4} = K \frac{1}{sC_2R_4} = \frac{1}{sC_{eq}} \quad (8)$$

โดยที่ค่าความจุเสมือนเท่ากับ $C_{eq} = C_2R_4 / K$

จากสมการที่ (6) ถึง (8) พบว่าสามารถควบคุมค่าตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ได้ด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการปรับที่ I_B นั่นเอง

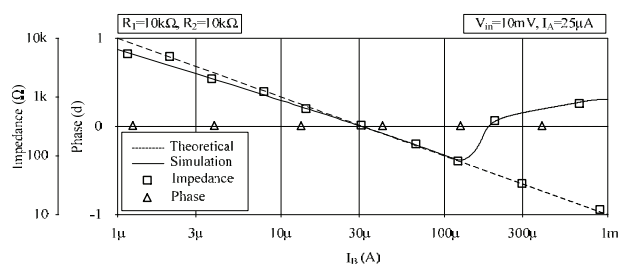
3. ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันและทดสอบสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับโครงสร้างภายในของวงจรจำลองค่าอุปกรณ์จากวงจร DV-CCTA ที่มีโครงสร้างแบบ BiCMOS แสดงดังภาพที่ 3 เมื่อกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้พารามิเตอร์ของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N เบอร์ NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของบริษัท AT&T [19] และมอสทรานซิสเตอร์ ชนิด PMOS และชนิด NMOS ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรโดยได้ใช้พารามิเตอร์ของ 0.5 μ m

MIETEC [20] ซึ่งอัตราส่วน W/L ของทรานซิสเตอร์แสดงดังตารางที่ 1 โดยกำหนดให้วงจรทำงานที่แรงดัน $\pm 1.5V$ กำหนดค่ากระแสไบแอสของ DV-CCTA แบบ BiCMOS ที่นำมาทำเป็นวงจรจำลองค่าอุปกรณ์ทั้ง 3 วงจรไว้ที่ $I_B=100\mu A$ สามารถแสดงผลการทำงานได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าอัตราส่วนขนาดของทรานซิสเตอร์ของวงจร DV-CCTA แบบ BiCMOS

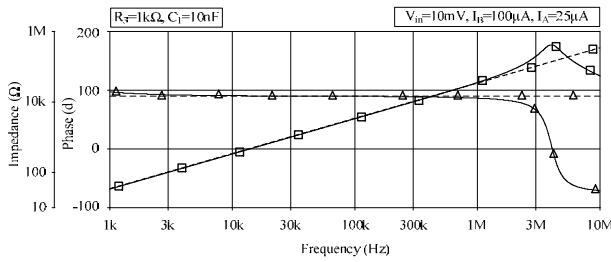
Transistors	W/L (μ m)
M ₁ -M ₅	150/1
M ₆ -M ₇	8/0.5
M ₈ -M ₁₉	10/1



ภาพที่ 4 : ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเมื่อทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานแบบลอย

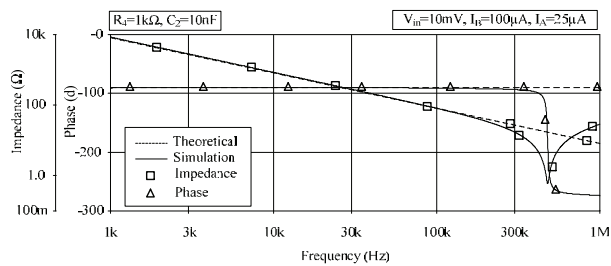
ภาพที่ 4 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรที่ได้จากการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับในทางทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้ เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานแบบลอย โดยกำหนดให้ $R_1=10k\Omega$ และ $R_2=10k\Omega$

การประชุมวิชาการครูศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 7
The 7th National Conference on Technical Education



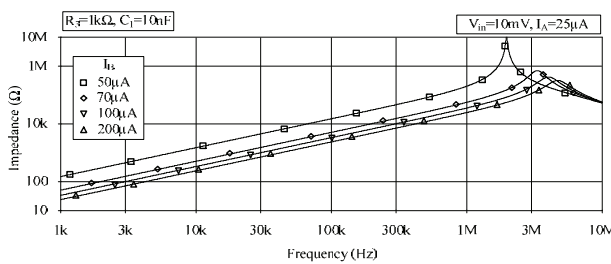
ภาพที่ 5 : ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเมื่อทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำแบบลอย

ภาพที่ 5 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรที่ได้จากการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับในทางทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้ เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำแบบลอย โดยกำหนดให้ $R_3=1k\Omega$ และ $C_1=10nF$



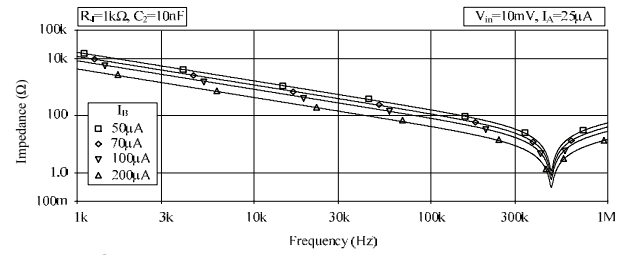
ภาพที่ 6 : ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเมื่อทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุแบบลอย

ภาพที่ 6 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรที่ได้จากการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับในทางทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้ เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุแบบลอย โดยกำหนดให้ $R_4=1k\Omega$ และ $C_2=10nF$



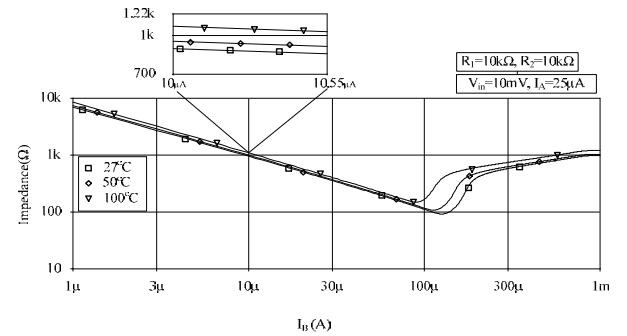
ภาพที่ 7 : ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเมื่อทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำแบบลอย เมื่อเปลี่ยนค่ากระแส I_B

ภาพที่ 7 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบลอย เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไบแอส I_B ที่ค่า ได้แก่ $50\mu A$, $70\mu A$, $100\mu A$ และ $200\mu A$ พบว่าสามารถปรับค่าอุปกรณ์ได้ด้วยกระแสไบแอส I_B



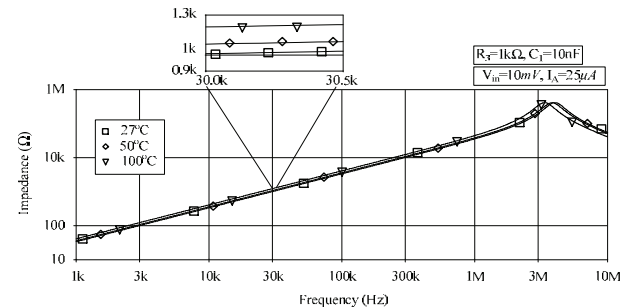
ภาพที่ 8 : ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเมื่อทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุแบบลอย เมื่อเปลี่ยนค่ากระแส I_B

ภาพที่ 8 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรจำลองตัวเก็บประจุแบบลอย เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไบแอส I_B ที่ค่า ได้แก่ $50\mu A$, $70\mu A$, $100\mu A$ และ $200\mu A$ จากภาพจะเห็นว่าสามารถปรับค่าอุปกรณ์ได้ด้วยกระแสไบแอสนั่นเอง



ภาพที่ 9 : ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเมื่อทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานแบบลอย เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

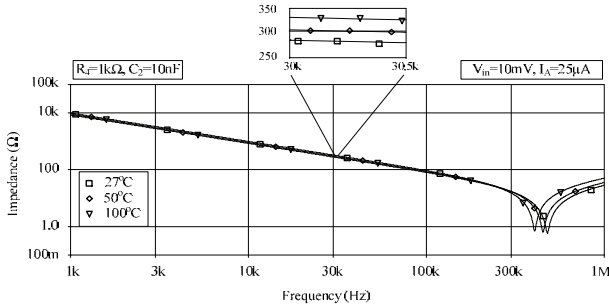
ภาพที่ 9 แสดงค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรจำลองตัวต้านทานแบบลอย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทดสอบการทำงานไปสามค่า คือ 27, 50 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร มีการเปลี่ยนแปลงไปเพียง $0.31\%/^{\circ}C$



ภาพที่ 10 : ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเมื่อทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำแบบลอย เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ภาพที่ 10 แสดงผลการทำงานของวงจรจำลองตัวเหนี่ยวนำแบบลอย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการทำงานไปสามค่า คือ 27, 50 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ของ

วงจร มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไปเพียง 0.224%/°C

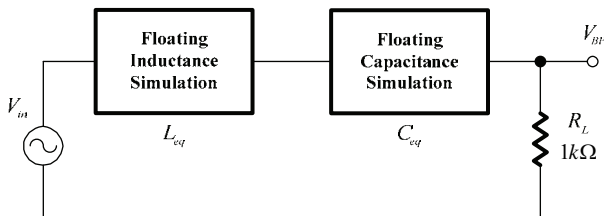


ภาพที่ 11 : ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเมื่อทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุแบบลอย เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ภาพที่ 11 แสดงผลการทำงานของวงจรจำลองตัวเก็บประจุแบบลอย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการทำงานไปสามค่า คือ 27, 50 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไปเพียง 0.218%/°C

4. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน

การประยุกต์ใช้งานวงจรจำลองค่าอุปกรณ์ในวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน แสดง ได้ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 : การประยุกต์ใช้งานในวงจรกรองแถบความถี่

จากวงจรในภาพที่ 12 จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนมาตรฐานอันดับสอง ดังสมการที่ (9)

$$T_{BP}(s) = \frac{\left(\frac{R_L}{L_{eq}}\right)}{s^2 + \left(\frac{R_L}{L_{eq}}\right)s + \left(\frac{1}{L_{eq}C_{eq}}\right)} \quad (9)$$

โดยความถี่โพล (ω_p) และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ (Q_p) สามารถแสดงได้จากสมการที่ (10) และ (11)

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_{eq}C_{eq}}} \quad (10)$$

$$Q_p = \frac{1}{R_L} \sqrt{\frac{L_{eq}}{C_{eq}}} \quad (11)$$

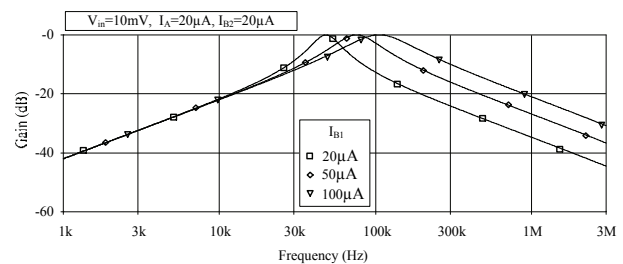
เมื่อแทนค่า $L_{eq} = KC_1R_3$ และ $C_{eq} = C_2R_4 / K$ จากสมการที่ (7) และ (8) ลงในสมการที่ (10) และ (11) ตามลำดับจะได้

$$\omega_p = \frac{\sqrt{I_{B1}}}{\sqrt{I_{B2}C_1C_2R_3R_4}} \quad (12)$$

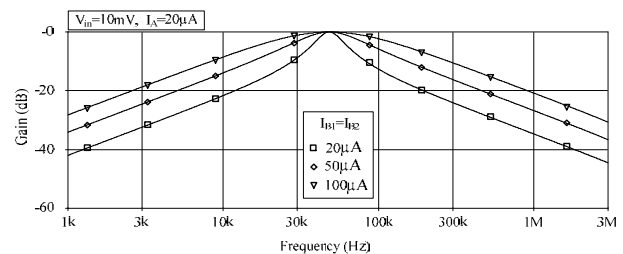
$$Q_p = \frac{2V_T}{R_L} \sqrt{\frac{C_1R_3}{I_{B1}I_{B2}C_2R_4}} \quad (13)$$

เมื่อ กำหนดให้ I_{B1} คือ กระแสไบแอสของวงจรจำลองค่าความเหนี่ยวนำแบบลอย และ I_{B2} คือ กระแสไบแอสของวงจรจำลองค่าตัวเก็บประจุแบบลอย

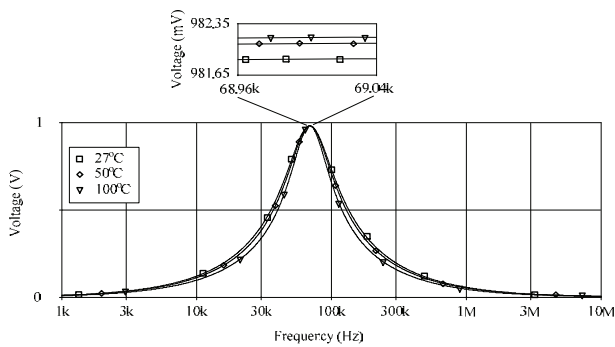
จากสมการที่ (12) และ (13) พบว่าสามารถปรับค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ของวงจรได้ด้วยการปรับค่ากระแสไบแอสที่ I_{B1} และ/หรือ I_{B2} โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความถี่โพล



ภาพที่ 13 : ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรประยุกต์ใช้งานในภาพที่ 12 เมื่อเปลี่ยนค่า I_{B1}



ภาพที่ 14 : ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรประยุกต์ใช้งานเมื่อเปลี่ยนค่า I_{B1} และ I_{B2}



ภาพที่ 15 : ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรประยุกต์ใช้งาน ที่อุณหภูมิ 27, 50 และ 100 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 13 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรในภาพที่ 12 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไบแอส I_{B1} ของวงจร จำลองตัวเห็นขั้วนาแบบลอยไปสามค่า ได้แก่ $10\mu\text{A}$, $20\mu\text{A}$ และ $30\mu\text{A}$ ภาพที่ 14 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของ V_{BP} เมื่อเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B1} และ/หรือ I_{B2} ภาพที่ 15 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการทำงานของวงจรไปสามค่า ได้แก่ 27, 50 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงไปเพียง $0.001\%/^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอ การสังเคราะห์และออกแบบวงจร จำลองค่าอุปกรณ์แบบลอยโดยใช้อุปกรณ์ DV-CCTA ที่มีโครงสร้างแบบ BiCMOS เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดของ แรงดันและกระแสโอปเซิร์ทที่เอาต์พุต วงจรที่ได้รับการ พัฒนาขึ้นนี้ สามารถควบคุมการทำงานของวงจรได้ด้วยวิธีการ อิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งวงจรยังสามารถทำหน้าที่จำลองค่า อุปกรณ์ทั้งสามแบบได้โดยการกำหนดค่าอุปกรณ์พาสซีฟใน วงจร โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวงจร ทำให้ วงจรที่ได้รับการสังเคราะห์ขึ้นนี้ มีความสะดวกและง่ายทั้งใน การนำไปต่อใช้งานและประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมแบบ อัตโนมติ หรือควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ อีกทั้ง วงจรยังมีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยกว่า หรือเมื่อนำไปพัฒนา เป็นวงจรรวมก็จะมีย่านพื้นที่ชิปที่เล็กกว่า จึงมีความ เหมาะสมกับการนำไปพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นวงจรรวมหรือที่เรียกว่าไอซี เพื่อนำไปใช้

ในงานที่ใช้เบตเตอร์เป็นแหล่งจ่ายกำลัง เช่น ระบบสื่อสารไร้ สาย ระบบเครื่องมือวัด เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะครุศาสตร์ อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร เหนือ ประจำปี 2556

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Ferri, and N.C. Guerrini, "Low-Voltage Low-Power CMOS Current Conveyors," Kluwer Academic Publishers, London, 2003.
- [2] E. Yuce, S. Minaei, and O. Cicekoglul, "Resistorless floating immittance function simulators employing current controlled conveyors and a grounded capacitor," Electrical Engineering, vol.88, pp. 519–525, 2006.
- [3] E. Yuce, O. Cicekoglul, and S. Minaei, "Novel floating inductance and FDNR simulators employing CCII+s," Journal of Circuits, Systems and Computers, vol. 15, no. 1, pp. 75–81, 2006.
- [4] E. Yuce, O. Cicekoglul, and S. Minaei, "CCII-based grounded to floating immittance converter and a floating inductance simulator," Analog Integrated Circuits and Signal Processing, vol. 46, no. 3, pp. 287–291, 2006.
- [5] S. Minaei, E. Yuce, and O. Cicekoglul, "A versatile active circuit for realizing floating inductance, capacitance, FDNR and admittance converter," Analog Integrated Circuits and Signal Processing, vol. 47, no. 2, pp. 199–202, 2006.
- [6] E. Yuce, "On the implementation of the floating simulators employing a single active device," International Journal of Electronics and Communications (AEU), vol. 61, pp. 453-458, 2007.
- [7] E. Yuce, "Floating inductance, FDNR and capacitance simulation circuit employing only grounded passive

- elements.” *International Journal of Electronics*, vol. 93, no. 10, pp. 679-688, 2006.
- [8] K. Pal, “New inductance and capacitor floatation schemes using current conveyors,” *Electronics Letters*, vol. 17, pp. 807–808, 1981.
- [9] M.T. Abuelma’atti, and N.A. Tasadduq, “Electronically tunable capacitance multiplier and frequency-dependent negative resistance simulator using the current-controlled current conveyor,” *Microelectronics Journal*, vol. 30, pp. 869–873, 1999.
- [10] R. Senani, “Floating ideal FDNR using only two current conveyors,” *Electronics Letters*, vol. 20, no. 5, pp. 205–206, 1984.
- [11] M. Higashimura and Y. Fukui, “New lossless tunable floating FDNR simulation using two current conveyors and an INIC,” *Electronics Letters*, vol. 23, no. 10, pp. 629–630, 1987.
- [12] M. Higashimura and Y. Fukui, “Novel lossless tunable floating FDNR simulation using two current conveyors and a buffer,” *Electronics Letters*, vol. 22, no. 18, pp. 938–939, 1986.
- [13] S. Nandi, P.B. Jana, and R. Nandi, “Floating ideal FDNR using current conveyors,” *Electronics Letters*, vol. 19, no. 7, pp. 251–252, 1983.
- [14] S. Nandi, P.B. Jana, and R. Nandi, “Novel floating ideal tunable FDNR simulation using current conveyors,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. CAS-31, no. 4, pp. 402–403, 1984.
- [15] H. Sedef and C. Acar, “A new floating FDNR circuit using differential voltage current conveyors,” *International Journal of Electronics and Communications (AEU)*, vol. 54, no. 5, pp. 297–301, 2000.
- [16] อติเรก จันตะคุณ, อัมพวรรณ ยินดีมาก, สุทธิพงษ์ พึ่งเดช, และ จูติพร จันทร์ดา, “วงจรจำลองอุปกรณ์แบบลอยอย่างง่ายควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ DV-CCTA เพียงตัวเดียวและการประยุกต์ใช้งาน,” *ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า (EENET 2013) Thailand*, pp. 173–176, 2556.
- [17] P. R. Gray, P. J. Hurst, S. H. Lewis, and R. G. Meyer, “Analysis and Design of Analog Integrated Circuit,” New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [18] A. Jantakun, N. Pisutthipong and M. Siripruchyanun, “A synthesis of temperature insensitive/electronically controllable floating simulators based on DVCCTAs,” *Proc. 6th Int’l Conf. Electrical Eng., Electronics, Computers, Telecom. Inf. Tech. (ECTICON’09)*, pp.560-563, Thailand, 2009.
- [19] D. R. Frey, “Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering,” *IEE Proceedings of Circuit Devices Systems*, vol.40, pp. 406-416, 1993.
- [20] S. Yamacli, S. Ozcan and H. Kuntman “New active-only grounded inductance simulator employing current-mode approach suitable for wide band operation,” *International Journal of Electronics*, vol. 98, no. 8, pp. 981-984, 2011.