

วงจรถ่วงค่าตัวอุปกรณ์แบบลอยที่ไม่ไวต่ออุณหภูมิโดยใช้
หลักการวงจรถ่วงแปลงผันแรงดันเป็นกระแส
**A Temperature-insensitive Floating Simulator Using
Voltage to Current Converter**

ธนภัทร มาลีลย์¹ พงศ์พัทธ์ มังคละศิริ¹ ไพสิฐ พิพัฒน์จิตติกร² มนตรี ศิริปรัชญานันท์²
¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม
tanapatra@npu.ac.th, sayam@npu.ac.th,

²ศูนย์วิจัยการออกแบบวงจรรวม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ paisit.pi@hotmail.com, mts@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ วงจรถ่วงค่าตัวอุปกรณ์แบบลอยที่มีความไวต่ำต่ออุณหภูมิ โดยใช้วงจรถ่วงแปลงผันแรงดันเป็นกระแสที่สร้างจากวงจรถ่วงขยายความนำถ่ายโอนสายพานกระแส (Current Conveyor Transconductance Amplifier : CCTA) โดยวงจรถ่วงสามารถจำลองได้ทั้งค่าอุปกรณ์แบบลอยที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทานชนิดลบที่ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency Dependent Negative Resistor, FDNR) นอกเหนือจากนี้แล้วยังสามารถปรับค่าต่างๆ ได้จากการควบคุมที่กระแสไบแอส โครงสร้างวงจรถ่วงประกอบไปด้วย CCTA จำนวน 2 ตัว และอุปกรณ์พาสซีฟจำนวน 3 ตัว โดยไม่ต้องการความสมพงษ์ของอุปกรณ์ใดๆ วงจรถ่วงจึงมีโครงสร้างที่ง่ายมากสามารถที่จะพัฒนาไปเป็นวงจรรวมได้ ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice พบว่าวงจรถ่วงทำงานได้สอดคล้องตามทฤษฎี โดยวงจรถ่วงค่าตัวเก็บประจุมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอิมพีแดนซ์เพียง $0.246\%/^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่วงจรถ่วงค่าตัวเหนี่ยวนำมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอิมพีแดนซ์เพียง $0.241\%/^{\circ}\text{C}$ มีอัตราการใช้พลังงานกำลังไฟฟ้าเพียง 5.47mW ที่แหล่งจ่ายแรงดัน $\pm 1.5\text{V}$

คำสำคัญ: วงจรถ่วงค่าตัวอุปกรณ์แบบลอย วงจรถ่วงแปลงผันแรงดันเป็นกระแส ตัวต้านทานชนิดลบที่ขึ้นอยู่กับความถี่

Abstract

This article introduces a temperature-insensitive floating simulator device based on principle of voltage to current converter by using current conveyor transconductance amplifier (CCTA). The circuit can simulate all of the inductor, capacitor and FDNR devices. Their values can be electronically tuned via corresponding input bias currents and are theoretically temperature-insensitive. The circuit scheme consists of merely 2 CCTAs, 3 passive elements, without any matching conditions. The proposed circuit is very appropriate to further develop into an integrated circuit architecture. The PSpice simulation results are depicted. The given results agree well with the theoretical anticipation. The temperature deviations of simulated capacitance and inductance are only $0.246\%/^{\circ}\text{C}$, and $0.241\%/^{\circ}\text{C}$, respectively. The maximum power consumption is 5.47mW at $\pm 1.5\text{V}$ supply voltages.

Keyword: Floating simulator, Voltage to current convertor, Frequency dependent negative resistor

1. บทนำ

การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่สมัยอดีตจนถึงปัจจุบันส่วนแล้วแต่มีการใช้อุปกรณ์ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน หากวงจรนั้นใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำที่มีระดับ mH และตัวเก็บประจุระดับ μF ส่งผลทำให้วงจรที่ได้มีขนาดใหญ่โต แต่เนื่องด้วยปัจจุบันนี้มีความต้องการที่จะทำให้อุปกรณ์เหล่านี้ที่มีขนาดเล็กลง พกพาได้ง่าย จึงจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์เหล่านี้ที่มีขนาดเล็กลง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีการหนึ่งที่นิยมคือ ทำตัวอุปกรณ์เหล่านี้ให้อยู่ในรูปแบบวงจรรวม โดยการนำวงจรรวมทำหน้าที่เลียนแบบเป็นอุปกรณ์พาสซีฟแบบต่างๆ อีกทั้งพัฒนาให้สามารถปรับค่าตัวอุปกรณ์ได้จากการปรับกระแสไบแอส [1-6] เพื่อให้อุปกรณ์การควบคุมแบบอัตโนมัติหรือไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ดังนั้นวงจรจำลองค่าตัวอุปกรณ์แบบลอยซึ่งมีความยืดหยุ่นกว่าแบบลงกราวด์จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เพราะสามารถเป็นได้ทั้งตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน โดยหลักการออกแบบวงจรจำลองค่าแบบลอยนั้นก็สามารถทำได้หลายวิธีการ และหลักการของวงจรแปลงผันแรงดันเป็นกระแส (V-I) ก็เป็นหนึ่งในหลักการที่ได้รับความนิยม

วงจรแปลงผันแรงดันเป็นกระแสได้ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย รูปแบบง่ายที่สุดคือ OTA แต่ผลของกระแสเอาต์พุตนั้นมีความแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ อีกทั้งระดับแรงดันอินพุตจะต้องไม่สูงกว่า $2V_T$ (Thermal voltage: V_T) หรือประมาณ $52mV$ ที่อุณหภูมิห้อง จึงเป็นย่านแรงดันที่แคบมากต่อการนำไปใช้งานจริง อย่างไรก็ตามก็ยังมีผู้ทำวิจัยหลายท่านได้นำวงจรแปลงผันแรงดันเป็นกระแสไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆวงจรเช่น วงจรจำลองค่าอุปกรณ์ วงจรกรองความถี่ วงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรขยายสัญญาณเครื่องมือวัด เป็นต้น [7-13]

เมื่อเวลาผ่านไปได้มีอุปกรณ์ตัวใหม่ๆถูกพัฒนาขึ้น หนึ่งในนั้นคือ CCTA [14] ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์มากในการสังเคราะห์และออกแบบวงจรที่มีการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก [14-16] ซึ่งสามารถใช้อุปกรณ์นี้เป็นทางเลือกที่ดีทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบวงจรที่ทำงานในโหมดกระแส โหมดแรงดัน หรือในโหมดผสม (Hybrid

mode) นอกเหนือจากนี้แล้ว ยังสามารถปรับค่าอัตราขยายกระแสที่เอาต์พุตของอุปกรณ์ได้

จากการสำรวจงานวิจัยเกี่ยวกับวงจรจำลองค่าตัวอุปกรณ์แบบลอยนั้นพบว่าได้มีผู้นำเสนอจำนวนมากแต่วงจรนั้นก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น

- ค่าของตัวอุปกรณ์ที่จำลองขึ้นมานั้นยังคงแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ [17-19]
- ใช้อุปกรณ์พาสซีฟและแอกทีฟต่อร่วมกันจำนวนมาก [20]
- จำลองค่าอุปกรณ์ได้เฉพาะตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุเท่านั้น [21-23]

จากทั้งหมดที่ได้กล่าวมานั้น ในบทความนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะนำเสนอวงจรจำลองค่าอุปกรณ์แบบลอย โดยใช้อุปกรณ์ CCTA จำนวน 2 ตัวมาต่อเป็นวงจรแปลงผันแรงดันเป็นกระแส และมีอุปกรณ์พาสซีฟร่วมด้วยจำนวน 3 ตัว ซึ่งวงจรสามารถปรับค่าอุปกรณ์ได้จากกระแสไบแอส และมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยผลที่ได้จาก PSpice มีความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้

2. วงจรและหลักการการทำงานของวงจร

2.1 หลักการพื้นฐานของ CCTA

CCTA เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงขอกกล่าวถึง CCTA พอสังเขย ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CCTA แสดงได้ดังนี้

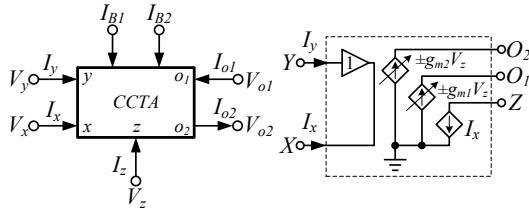
$$\begin{bmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \\ I_{o1} \\ I_{o2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm g_{m1} & 0 \\ 0 & 0 & \pm g_{m2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x \\ V_y \\ V_z \\ V_{o1} \\ V_{o2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

เมื่อ
$$g_{m1} = \frac{I_{B1}}{2V_T}, g_{m2} = \frac{I_{B2}}{2V_T} \quad (2)$$

และ V_T เป็นศักดาความร้อน (Thermal voltage) ส่วนสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CCTA แสดงได้ดังภาพที่ 1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ สามารถนำมาต่อใช้งานในหลักการวงจร

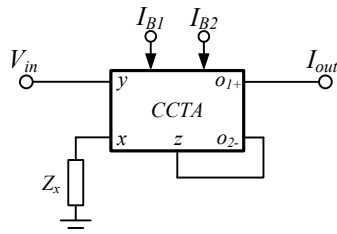
แปลงผันแรงดันเป็นกระแสได้ดังภาพที่ 2 โดยมีสมการกระแสเอาต์พุตดังนี้

$$I_{out} = \frac{I_{B1}}{I_{B2}} \frac{V_{in}}{Z_x} \quad (3)$$



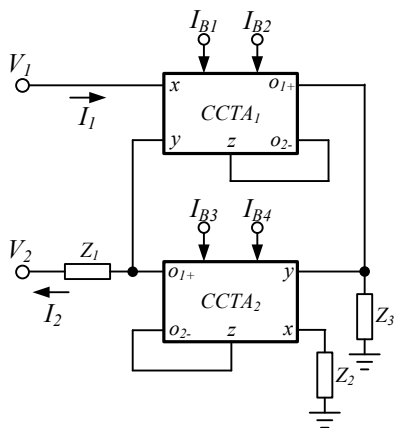
(ก) (ข)

ภาพที่ 1 CCTA วงจรสมมูล (ข) สัญลักษณ์ (ก)



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ CCTA ที่ต่อใช้งานเป็นวงจรแปลงผันแรงดันเป็นกระแส

2.2 วงจรจำลองค่าตัวอุปกรณ์ที่นำเสนอ



ภาพที่ 3 วงจรจำลองค่าแบบลอยที่นำเสนอ

จากโครงสร้างของวงจรจำลองค่าอุปกรณ์แบบลอยที่นำเสนอดังภาพที่ 3 สามารถหาค่าอิมพีแดนซ์ได้ดังนี้

$$Z_{in} = \frac{I_{B1} I_{B3} Z_1 Z_3}{I_{B2} I_{B4} Z_2} \quad (4)$$

เมื่อ $Z_1 = R_1$, $Z_2 = R_2$ และ $Z_3 = 1/C_1s$ จะพบว่าวงจรจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุแบบลอย

$$Z_{in} = \frac{I_{B1} I_{B3} R_1}{I_{B2} I_{B4} R_2 C_1 s} = \frac{1}{s C_{eq}} \quad (5)$$

$$C_{eq} = \frac{I_{B2} I_{B4} R_2 C_1}{I_{B1} I_{B3} R_1} \quad (6)$$

เมื่อ $Z_1 = R_1$, $Z_2 = 1/C_1s$ และ $Z_3 = R_2$ จะพบว่าวงจรจะทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำแบบลอย

$$Z_{in} = \frac{I_{B1} I_{B3} R_1 R_2 C_1 s}{I_{B2} I_{B4}} = s L_{eq} \quad (7)$$

$$L_{eq} = \frac{I_{B1} I_{B3} R_1 R_2 C_1}{I_{B2} I_{B4}} \quad (8)$$

เมื่อ $Z_1 = 1/C_1s$, $Z_2 = R_1$ และ $Z_3 = 1/C_2s$ จะพบว่าวงจรจะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานชนิดลบที่ขึ้นอยู่กับความถี่ (FDNR) โดยเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่าความต้านทานที่เป็นลบจะมีค่าลดลง

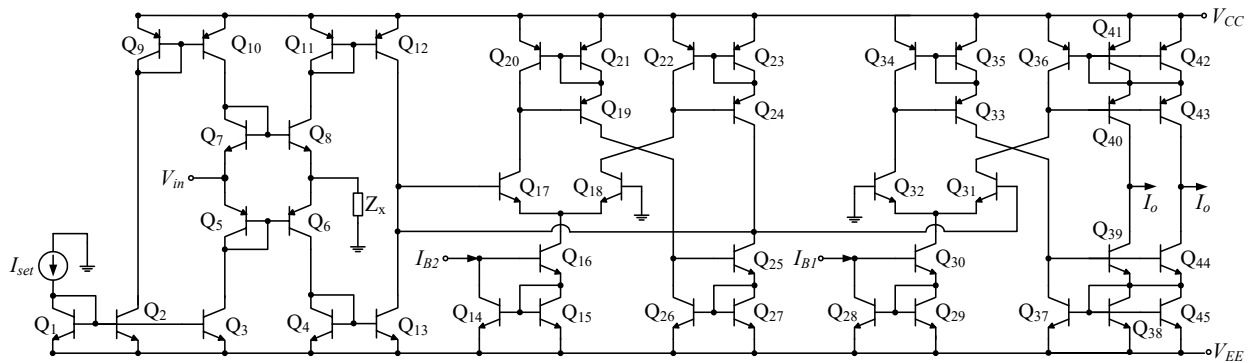
$$Z_{in} = \frac{I_{B1} I_{B3}}{s^2 I_{B2} I_{B4} R_1 C_1 C_2} = \frac{1}{s^2 D_d} \quad (9)$$

$$D_d = \frac{I_{B2} I_{B4} R_1 C_1 C_2}{I_{B1} I_{B3}} \quad (10)$$

จากการสังเคราะห์วงจรจำลองค่าแบบลอยพบว่าวงจรสามารถเป็นได้ทั้ง ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และ FDNR

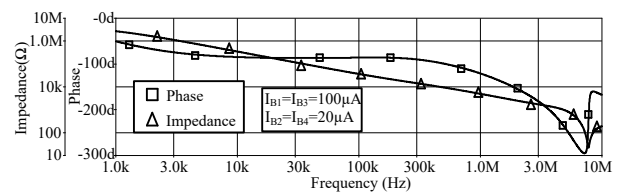
2.3 ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันและทดสอบสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอจึงได้มีการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ใช้พารามิเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T โดยใช้โครงสร้างภายในของ CCTA แสดงดังภาพที่ 4 ใช้ไฟเลี้ยงวงจร $\pm 1.5V$ และกำหนดให้ $I_{set} = 100 \mu A$



ภาพที่ 4 โครงสร้างภายในของ CFTA

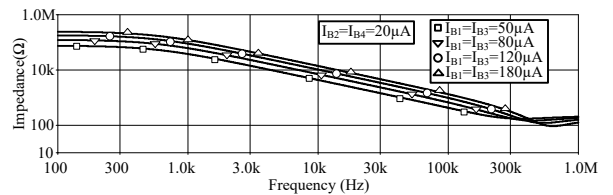
$Z_2 = R_2 = 10k\Omega$, $Z_1 = R_1 = 10k\Omega$ จากวงจร เมื่อ และ $Z_3 = 1/C_1s$, $C = 1nF$ จะได้ตัวเก็บประจุแบบลอยซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์และเฟสดังแสดงในภาพที่ 5 วงจรสามารถปรับค่า



ภาพที่ 5 ผลตอบสนองความถี่ของขนาดและเฟสของวงจรจำลองค่าตัวเก็บประจุ

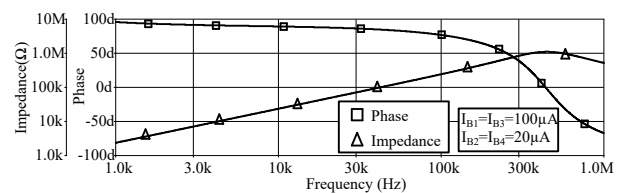
อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจากกระแสไบแอส I_{B1} และ I_{B3} แสดงผลได้ดังภาพที่ 6

ในกรณี ที่ให้ $Z_1 = R_1 = 10k\Omega$, $Z_2 = 1/C_1s$, $C = 1nF$ และ $Z_3 = R_2 = 10k\Omega$ จะได้ตัวเหนี่ยวนำแบบลอยซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์และเฟสดังแสดงในภาพที่ 7 วงจรสามารถปรับค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำจากกระแสไบแอส I_{B1} และ I_{B3} แสดงผลได้ดังภาพที่ 8



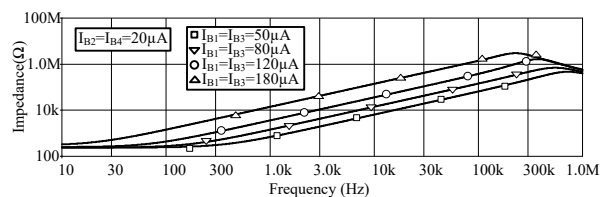
ภาพที่ 6 อิมพีแดนซ์ของการจำลองค่าตัวเก็บประจุเมื่อปรับค่ากระแสไบแอส I_{B1} และ I_{B3}

ส่วนกรณีที่ให้ $Z_1 = 1/C_1s$, $C = 10nF$, $Z_2 = R_1 = 10k\Omega$ และ $Z_3 = 1/C_2s$, $C = 10nF$ จะได้ FDNR ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์และเฟสดังแสดงในภาพที่ 9 วงจรสามารถปรับค่าอิมพีแดนซ์ของ FDNR จากกระแสไบแอส I_{B1} และ I_{B3} แสดงผลได้ดังภาพที่ 10

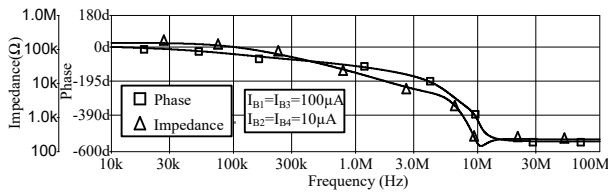


ภาพที่ 7 ผลตอบสนองความถี่ของขนาดและเฟสของวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำ

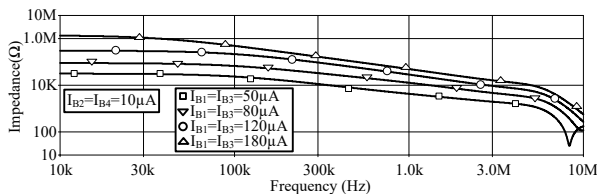
ในภาพที่ 11 และ 12 เป็นผลของขนาดของวงจรจำลองค่าตัวเก็บประจุและวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำ เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไป 3 ค่า คือ $40^\circ C$, $80^\circ C$ และ $100^\circ C$ วงจรจำลองค่าตัวเก็บประจุมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอิมพีแดนซ์ $0.246\%/^\circ C$ และวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอิมพีแดนซ์ $0.241\%/^\circ C$



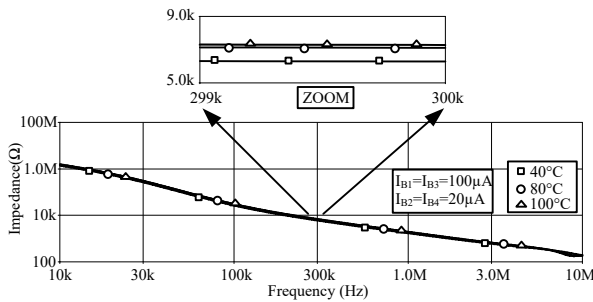
ภาพที่ 8 อิมพีแดนซ์ของการจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำเมื่อปรับค่ากระแสไบแอส I_{B1} และ I_{B3}



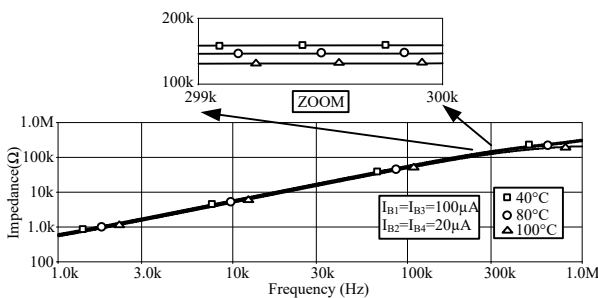
ภาพที่ 9 ผลตอบสนองความถี่ของขนาดและเฟสของ FDNR



ภาพที่ 10 อิมพีแดนซ์ของ FDNR เมื่อปรับค่ากระแสไบแอส I_{B1} และ I_{B3}



ภาพที่ 11 ผลตอบสนองของวงจรจำลองค่าตัวเก็บประจุ เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 40°, 80° และ 100°C



ภาพที่ 12 ผลตอบสนองของวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำ เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 40°, 80° และ 100°C

2.4 สรุป

บทความนี้นำเสนอ วงจรจำลองค่าอุปกรณ์แบบลอยที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ สามารถควบคุมค่าอุปกรณ์ได้ด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้วงจรแปลงผันแรงดันเป็นกระแสที่ใช้อุปกรณ์ CCTA เป็นอุปกรณ์หลักต่อร่วมกับตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน วงจรสามารถจำลองค่าได้ทั้งตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และ FDNR วงจรจำลองค่าตัวเก็บประจุมีความไวต่อ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอิมพีแดนซ์เพียง 0.246%/°C และ วงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอิมพีแดนซ์เพียง 0.241%/°C มีอัตราการใช้พลังงานกำลังไฟฟ้า 5.47mW ที่แหล่งจ่ายแรงดัน ±1.5V

3. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สัญญาเลขที่ FTE-2560-06

4. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Minaei, E. Yuce, and O. Cicekoglul, "Lossless active floating inductance simulator," *Proceedings of the Third IEEE International Workshop on Electronic Design*, pp. 332-335, 2005.
- [2] A. Kartci, U. E. Ayten, N. Herencsar, R. Sotner, J. Jerabek, and K. Vrba, "Application possibilities of VDCC in general floating element simulator circuit," *European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD 2015)*, Norway, pp. 428-431, 2015.
- [3] M. Srivastava, D. Prasad, Laxya, and G. Singh, "A new simulator for realizing floating resistance/capacitance with electronic control," *International Conference on Micro-Electronics and Telecommunication Engineering (ICMETE 2016)*, India, pp. 663-666, 2016.
- [4] U. E. Ayten, M. Sagbas, N. Herencsar and J. Koton, "Novel floating FDNR, inductor and capacitor simulator using CBTA," *International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP 2011)*, Hungary, pp. 312-316, 2011.
- [5] M. Siripruchyanun, M. Phattanasak, and W. Jaikla, "Temperature-insensitive, current conveyor-based floating simulator topology," *International Symposium on Integrated Circuits (ISIC 2007)*, Singapore, pp. 65-68, 2007.
- [6] A. Jantakun, N. Pisutthipong, and M. Siripruchyanun, "A synthesis of temperature insensitive/electronically controllable floating simulators based on DV-CCTAs," *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Conference (ECTI-CON 2009)*, Thailand, pp. 560-563, 2009.
- [7] R. Shukla, J. Ramirez-Angulo, A. Lopez-Martin, and R. G. Carvajal, "A low voltage rail to rail V-I conversion scheme for applications in current mode A/D converters," *International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2004)*, Canada, pp. 916-919, 2004.
- [8] R. J. Van De Plassche, "A wide-band monolithic instrumentation amplifier [application of voltage-current convertor]," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 10, Issue. 6, pp. 424-431, December 1975.
- [9] A. J. Lopez-Martin, J. Ramirez-Angulo, and R. G. Carvajal, "±1.5V 3mW CMOS V-I converter with 75 dB SFDR for 6V input swings," *Electronics Letters*, vol. 43, Issue. 6, pp. 31-32, March 2007.

- [10] I. A. Khan, and M. T. Ahmed, "Wide-range electronically tunable multifunctional OTA-C filter for instrumentation applications," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 36, Issue. 6, pp. 11–17, Jan. 1987.
- [11] R. Senani, "New electronically tunable OTA-C sinusoidal oscillators," *Electronics Letters*, vol. 25, Issue. 4, pp. 286–287, 1989.
- [12] W. Jaikla, and M. Siripruchyanun, "Floating positive and negative inductance simulators based on OTAs," International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2006), Thailand, pp. 344–347, 2006.
- [13] V. Springl, W. Jaikla, and M. Siripruchyanun, "Floating positive/negative resistance simulators employing single dual-output OTA," International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2006), Thailand, pp. 352–355, 2006.
- [14] R. Prokop, and V. Musil, "New modern circuit block CCTA and some its applications," The Fourteenth International Scientific and Applied Science Conference - Electronics ET2005, Book 5. Sofia: TU Sofia, pp. 93-98, September 2005.
- [15] R. Prokop, and V. Musil, "Modular approach to design of modern circuit blocks for current signal processing and new device CCTA," Proceeding of Seventh IASTED International Conference on Signal and Image Processing, Anaheim, USA, pp. 494-499, 2005.
- [16] R. Prokop, and V. Musil, "CCTA—a new modern circuit block and its internal realization," Electronic Devices and Systems IMAPS CZ International Conference 2005, Brno, Czech Republic, pp. 89-93, 2005.
- [17] A. De Marcellis, G. Ferri, N. C. Guerrini, G. Scotti, V. Stornelli, and A. Trifiletti, "A novel low-voltage low-power fully differential voltage and current gained CCII for floating impedance simulations," *Microelectronics Journal*, vol. 40, Issue. 1, pp. 20-25, January 2009.
- [18] M. Srivastava, P. Bhanja, and S. F. Mir, "A new configuration for simulating passive elements in floating state employing VDCCs and grounded passive elements," IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES 2016), India, pp. 1-4, 2016.
- [19] H. Alpaslan, "A modified VDVT and its applications to floating simulators and a quadrature oscillator," *Microelectronics Journal*, vol. 51, pp. 1-14, May 2016.
- [20] W. Jaikla, and M. Siripruchyanun, "Realization of OTA-based, temperature-insensitive floating simulators," The Proceedings of the 46th Kasetsart University Annual Conference, Thailand, pp. 127–134, 2008.
- [21] O. Channumsin, J. Pimpol, C. Thongsopa, and W. Tangsrirat, "VDBA-based floating inductance simulator with a grounded capacitor," 2015 7th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE 2015), Thailand, pp. 114-117, 2015.
- [22] A. Kartci, N. Herencsar, K. Vrba, and S. Minaei, "Novel grounded capacitor-based resistorless tunable floating/grounded inductance simulator," IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS 2016), United Arab Emirates, pp.747-750, 2016.
- [23] W. Jaikla, A. Lahiri, and M. Siripruchyanun, "Capacitance multipliers using tunable four terminal floating nullors," International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2010), Thailand, pp. 42-45, 2010.