

# PROCEEDINGS



**PHAYAO**

**RESEARCH**

**CONFERENCE**

**25-28 JAN 2021**

**UNIVERSITY OF PHAYAO**

**10**



PHAYAO RESEARCH CONFERENCE 10

25-28 JANUARY 2021 UNIVERSITY OF PHAYAO

ISBN (e-book): 978-616-7820-93-4

จัดทำโดย: กองบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา  
จังหวัดพะเยา 56000 โทร 054-466-666 ต่อ 1047-1048

ปีที่พิมพ์: มกราคม 2564

จำนวนพิมพ์: 4,281 แผ่น

#### คณะผู้จัดทำ

รองศาสตราจารย์ ดร.เสมอ ถาน้อย

รองศาสตราจารย์ ดร.เปรมวิทย์ วิวัฒน์เศรษฐ์

นางสาวอัญชลี เทียมศิริ

นายจักรพงศ์ มาลีพัตร

นางสาวรัชฎาภรณ์ แก้วสืบ

นางสาววิศรา คลังนุ้ม

รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและนวัตกรรม

บรรณธิการวารสารมนุษยศาสตร์และ

สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

รักษาการแทนผู้อำนวยการกองบริหารงานวิจัย

เลขานุการ

ผู้ช่วยเลขานุการ

ผู้ช่วยเลขานุการ

## วงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำแบบลอยที่ปรับค่าได้ทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ CCTA

### Electronically tunable floating inductance simulator circuit using CCTA

ธาดา คำแดง<sup>1</sup>

Tada Comdang<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำแบบลอย โดยใช้วงจรสายพานกระแสส่งผ่านความนำ (Current Conveyor Transconductance Amplifier : CCTA) ต่อกับอุปกรณ์พาสซีฟแบบต่อลงกราวด์ ลักษณะเด่นของวงจร คือ สามารถปรับค่าตัวเหนี่ยวนำได้กว้างโดยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการปรับกระแสไบอัสของ CCTA วงจรประกอบด้วย CCTA จำนวนเพียง 1 ตัว และ ตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 1 ตัว วงจรที่นำเสนอจึงเหมาะที่จะนำไปสร้างเป็นวงจรรวม นอกจากนี้ยังได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานวงจรที่สังเคราะห์ขึ้นในวงจรอนุกรมเรโซแนนซ์ ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ตามทฤษฎี

**คำสำคัญ:** วงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำแบบลอย, วงจรสายพานกระแสส่งผ่านความนำ

#### Abstract

This paper presents a floating inductance simulator using only single based on Current Conveyor Transconductance Amplifier (CCTA) and only grounded passive elements. Its outstanding feature is that the inductance value can be widely adjusted by input bias currents of the CCTA. The circuit construction consists of only single CCTA, with a grounded capacitor. The proposed circuit is then suitable for IC architecture. The application example as RLC resonant is included. The simulation results using PSPICE are given for the introduced grounded simulator to verify the theory and to exhibit the performances of the circuit.

**Keywords:** Floating Inductance Simulator Circuit, CCTA

<sup>1</sup> สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

<sup>1</sup> Industrial Arts Faculty of Industrial Technology Thepsatri Rajabhat University lopburi 15000

\*Corresponding author email: tada-comedang@hotmail.com

## บทนำ

การสังเคราะห์และออกแบบวงจรจำลองค่าตัวอุปกรณ์พาสซีฟ เป็นหัวข้อที่นักวิจัยให้ความสนใจในการออกแบบวงจรแอนะล็อก เนื่องจากวงจรจำลองค่าตัวอุปกรณ์พาสซีฟ สามารถนำมาใช้แทนอุปกรณ์พาสซีฟจำพวก ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ อีกทั้งสามารถปรับค่าได้ทางอิเล็กทรอนิกส์ จึงทำให้ง่ายต่อการปรับใช้งาน วงจร [1-6] โดยเฉพาะการออกแบบวงจรรวมนั้นจะไม่นิยมใช้ตัวเหนี่ยวนำที่เป็นขดลวด เนื่องจากทำให้วงจรที่ออกแบบมีน้ำหนักมาก มีขนาดใหญ่ อยากรต่อการปรับค่าความเหนี่ยวนำ จึงไม่สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ดังนั้นวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำจึงถูกสังเคราะห์มาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

ปัจจุบันมีผู้วิจัยและพัฒนาอุปกรณ์แอคทีฟที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น หลากหลายชนิด เพื่อประยุกต์ใช้งานในการออกแบบเป็นวงจรประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก จากการศึกษาพบว่ามีการวิจัยที่นำเสนอวงจร CCTA (Current Conveyor Transconductance Amplifier) ขึ้น วงจร CCTA ประกอบขึ้น [7-8] ด้วย 2 ส่วนหลัก คือ วงจรสายพานกระแส (Current Conveyor) และวงจรขยายค่าความนำ (Transconductance amplifier) อุปกรณ์แอคทีฟชนิดนี้มีโครงสร้างของวงจรที่ไม่ซับซ้อน สามารถทำงานได้ ทั้งโหมดแรงดันและโหมดกระแส สามารถนำไปออกแบบเป็นวงจรรวมที่มีความคล่องตัวสูง สามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของอุปกรณ์ได้ด้วยการไบอัสกระแสจากภายนอก หรือที่เรียกว่าการปรับค่าด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้วงจร CCTA ที่มีโครงสร้างภายในโดยใช้อุปกรณ์ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ สำหรับออกแบบวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำแบบลอย โครงสร้างของวงจรที่นำเสนอ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์แอคทีฟพร้อมกับอุปกรณ์พาสซีฟ วงจรที่นำเสนอสามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำสมมูล ได้ด้วยการปรับค่าและควบคุมกระแสไบอัสจากภายนอกของวงจร นอกจากนี้ได้นำวงจรเลียนแบบตัวเหนี่ยวนำแบบลอยตัวไปประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์วงจรอนุกรมเรโซแนนซ์ เพื่อยืนยันความถูกต้องของวงจรว่าเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีที่ได้นำเสนอ วงจรจะถูกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE

## วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. ออกแบบวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำแบบลอย โดยใช้วงจร CCTA
2. วงจรสามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำสมมูลได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยปรับกระแสไบอัสจากภายนอกของวงจร

## ผลการศึกษา

1. หลักการพื้นฐานของ CCTA

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ CCTA [8] หัวข้อนี้จึงขอกล่าวถึง CCTA พอสังเขป โดย CCTA ประกอบด้วยขั้วอินพุตจำนวนสองขั้ว คือ ขั้ว  $x$  และขั้ว  $y$  และขั้วเอาต์พุตจำนวนสองขั้ว คือ ขั้ว  $z$  และขั้ว  $o$  โดยขั้ว  $x$  จะมีค่าความต้านทานแฝง ( $R_x$ ) ต่ออนุกรมอยู่ ซึ่งสามารถปรับค่า  $R_x$  ได้จากแหล่งจ่ายกระแสจากภายนอก ขั้ว  $y$  จะเป็นขั้วเอาต์พุตที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง ในขณะที่ขั้ว  $z$  และ  $o$  เป็นขั้วเอาต์พุตที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูงทั้งสองขั้วสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CCTA แสดงได้ดังภาพที่ 1(ก) และ (ข) ตามลำดับ ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสของ CCTA แสดงด้วยสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_y \\ V_x \\ I_{z+} \\ I_{z-} \\ I_{o+,-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ R_x & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_{m1} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x \\ V_y \\ V_{z+} \\ V_{z-} \\ V_{o+,-} \end{bmatrix} \quad (1)$$

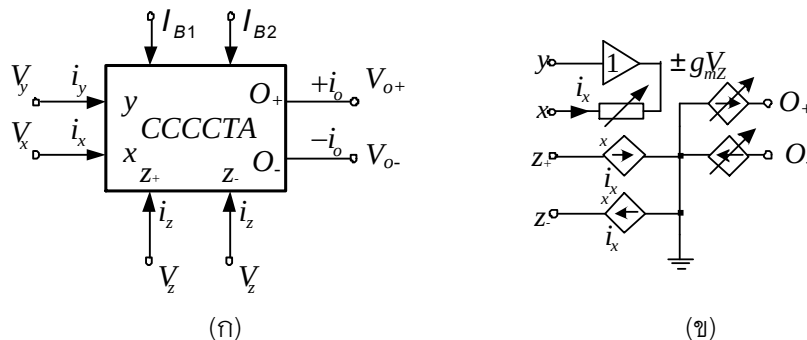
โดยที่ค่าความต้านทานแฝง ( $R_x$ ) และค่าความนำถ่ายโอน ( $g_m$ ) สามารถควบคุมได้ที่กระแสไบอัส  $I_{B1}$  และ  $I_{B2}$  ตามลำดับ ดังแสดงได้ดังสมการ

$$R_x = \frac{V_T}{2I_{B1}} \quad (2)$$

และ

$$g_m = \frac{I_{B2}}{2V_T} \quad (3)$$

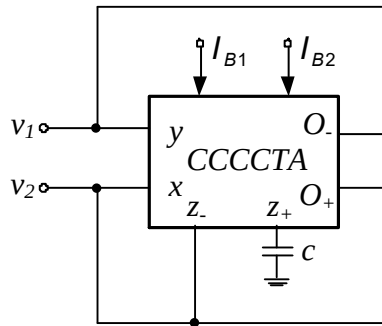
เมื่อ  $V_T$  คือ ศักดาความร้อน (Thermal Voltage) มีค่าประมาณ 26mV ที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 1 (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมบูรณ ของ CCCTA

## 2. หลักการของวงจรที่นำเสนอ

ในการออกแบบวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำแบบลอย ใช้วงจร CCTA เป็นอุปกรณ์ แอคทีฟหลักในการออกแบบและใช้อุปกรณ์พาสซีฟ ดังนั้นจึงทำการออกแบบวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำแบบลอย โดยใช้เพียงวงจร CCTA หนึ่งตัวตัวเป็นอุปกรณ์แอคทีฟหลัก และตัวเก็บประจุจำนวน 1 ตัว วงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบสามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำได้ด้วยการปรับเปลี่ยนค่ากระแสไบอัสจากภายนอก ซึ่งการปรับค่ากระแสไบอัสจากภายนอกจะทำให้อัตราขยายค่าความนำถ่ายโอน ( $g_m$ ) ของวงจร CCTA เปลี่ยนแปลง ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำจะพิจารณาจากค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของตัวเหนี่ยวนำ สามารถพิจารณาจากภาพที่ 4.7



ภาพที่ 2 วงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำแบบลอยโดยใช้ CCTA

จากคุณสมบัติของวงจร CCTA จะได้ว่า

$$I_{O-} = -g_m V_{z+} \quad (4)$$

$$V_{z+} = \frac{-I_z}{C_s} = \frac{-I_x}{C_s} \quad (5)$$

$$I_x = \frac{V_1 - V_2}{R_x} \quad (6)$$

จากสมการที่ (4) – (6) สามารถพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ ( $Z_{eq}$ ) ระหว่างขา  $v_1$  และ  $v_2$  ได้ดังนี้

$$Z_{eq} = \frac{R_x C_s}{g_m} = \frac{3V_T C_s}{2I_{B1} I_{B2}} \quad (7)$$

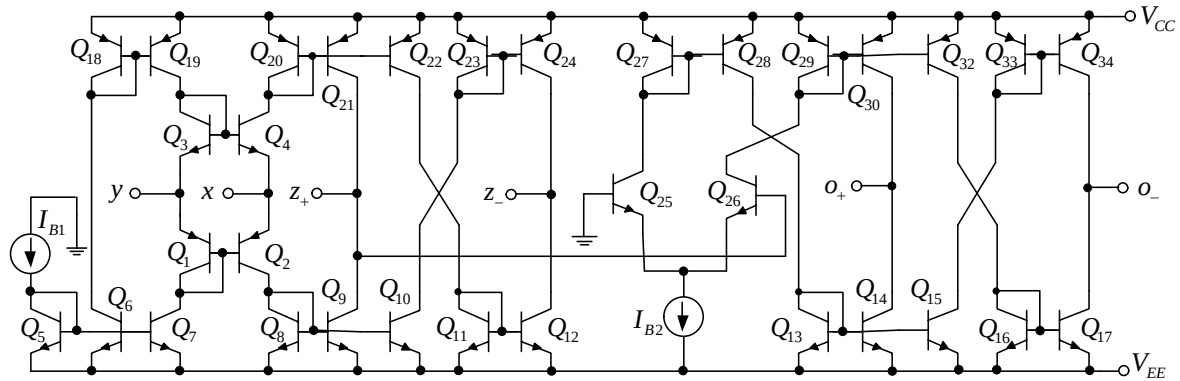
จากความสัมพันธ์  $Z_{eq} = sL_{eq}$  ดังนั้นสามารถหาค่าความเหนี่ยวนำสมมูล ( $L_{eq}$ ) ของวงจรที่ออกแบบได้ดังนี้

$$L_{eq} = \frac{3V_T C}{2I_{B1} I_{B2}} \quad (8)$$

จากสมการที่ (8) พบว่าวงจรสามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำสมมูลได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยปรับกระแสไบอัส  $I_{B1}$  และ  $I_{B2}$

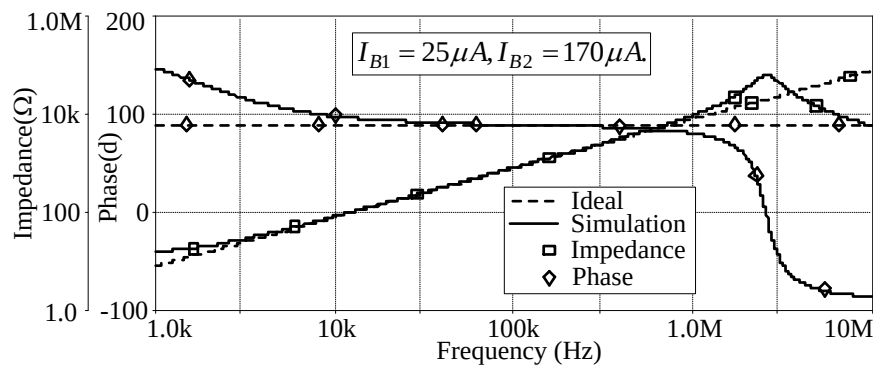
### 3. ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSPICE สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T ในภาพที่ 3 เป็นโครงสร้างภายในของ CCTA โดยกำหนดให้วงจรทำงานที่ไฟเลี้ยง  $\pm 2V$  ตัวเก็บประจุขนาด  $1nF$

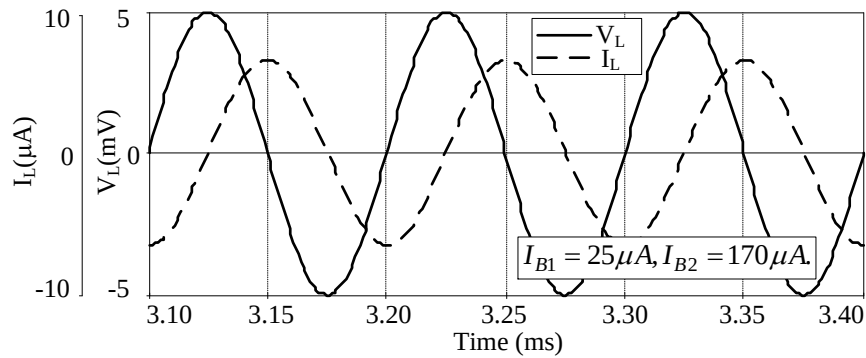


ภาพที่ 3 โครงสร้างภายในของ CCTA

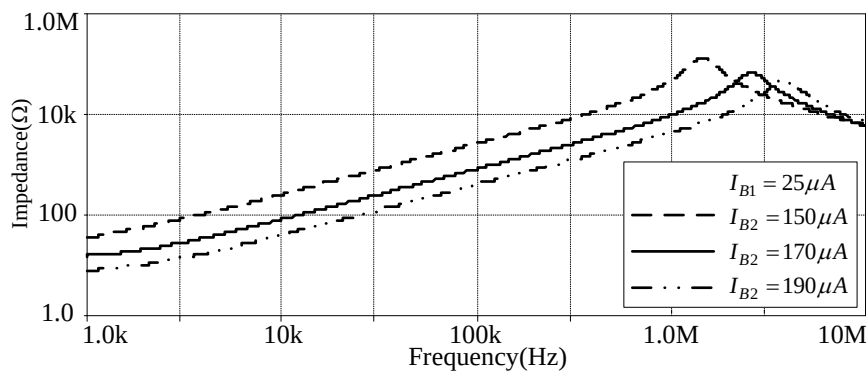
ภาพที่ 4 เป็นผลการจำลองการทำงานของวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำ โดยแสดงความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์และเฟสกับความถี่ โดยเปรียบเทียบกับตัวเหนี่ยวนำอุดมคติ จะเห็นได้ว่า ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ จะมีความเป็นเชิงเส้นอยู่ในช่วงความถี่  $10Hz - 1MHz$  และในภาพที่ 5 พบว่าสัญญาณของกระแส ( $I_L$ ) มีมุมเฟส ของสัญญาณล้าหลังสัญญาณของแรงดัน ( $V_L$ ) 90 องศา ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 4 ค่าอิมพีแดนซ์และเฟสกับความถี่ของวงจรจำลองตัวเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้ากับเวลา

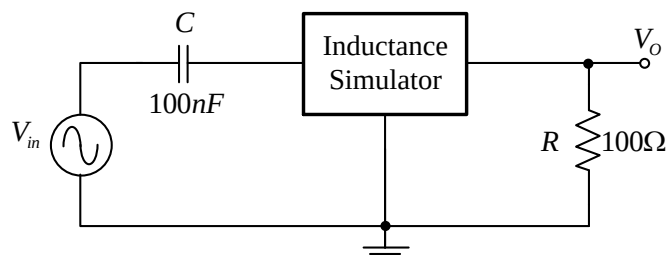


ภาพที่ 7 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าเมื่อปรับกระแสไบอัส  $I_{B2}$

ภาพที่ 7 แสดงการปรับเปลี่ยนค่าตัวเหนี่ยวนำ โดยการปรับกระแสไบอัส  $I_{B2}$  โดยกำหนดค่ากระแสไบอัส  $I_{B1}$  ไว้คงที่ ผลจำลองการทำงานที่ได้สามารถยืนยันได้ว่าวงจรที่ออกแบบสามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยปรับกระแสไบอัส ซึ่งเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีที่ได้ออกแบบไว้ในสมการที่ (8)

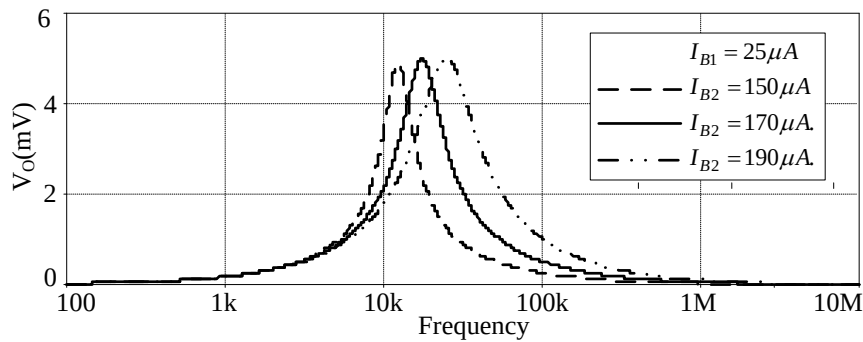
#### 4. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน

ในภาพที่ 8 เพื่อแสดงสมรรถนะของวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำ ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้งานวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำ ในวงจรอนุกรมเรโซแนนซ์ เมื่อกำหนดให้  $V_{in} = 5mV$  จากผลจำลองการทำงานสามารถแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ดังภาพที่ 9 เมื่อเปลี่ยนแปลงกระแสไบอัส  $I_{B1} = 150\mu A$  ,  $170\mu A$  และ  $190\mu A$



ภาพที่ 8 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าเมื่อปรับกระแสไบอัส  $I_{B2}$





ภาพที่ 9 ผลตอบสนองทางความถี่เมื่อปรับกระแสไบอัส  $I_{B2}$

### สรุปผลและอภิปรายผล

บทความนี้ได้นำเสนอวงจรจำลองค่าตัวเหนี่ยวนำแบบลอย วงจรที่นำเสนอประกอบด้วย CCTA จำนวน 1 ตัว และตัวเก็บประจุ 1 ตัว ค่าความเหนี่ยวนำสามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยการปรับกระแสไบอัส ด้วยโครงสร้างที่ประกอบด้วยอุปกรณ์แอคทีฟจำนวนน้อย และไม่ต้องการความสมพงษ์กันของอุปกรณ์ จึงมีความเหมาะสมในการนำไปต่อใช้งาน หรือในการพัฒนาเป็นวงจรรวม เพื่อใช้ในงานประมวลผลสัญญาณในอุปกรณ์และผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่พกพาได้ นอกจากนี้ยังได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานวงจรที่สังเคราะห์ขึ้นในวงจรอนุกรมเรโซแนนซ์ สมรรถนะการทำงานของวงจรยืนยันได้ด้วยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจรในทางทฤษฎี และผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE ซึ่งผลการทำงานของวงจรมีความสอดคล้องและเป็นไปในทางเดียวกัน

### เอกสารอ้างอิง

1. Susan D, Jayalalitha S. Frequency selective circuits using Op-Amp based simulated inductor. In 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI). 2017. pp. 2310–2314.
2. Zhou X, Zeng R. .Floating Inductance Simulators Based on Active Components. In Asia-Pacific Engineering and Technology Conference. 2017. pp. 1904–1908.
3. Tsirimokou G, Psychalinos C, Elwakil A.S, Salama K.N . Electronically Tunable Fully Integrated Fractional-Order Resonator. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. 2018; .65(2) : 166–170.
4. Singh A.K, Kumar P, Senani R. Electronically tunable grounded / floating inductance simulators using Z-copy. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2018; 26 : 1041–1055.
5. Al-Absi M.A, Realization of a Large Values Floating and Tunable Active Inductor. IEEE Access. 2019; 7:42609–42613.

6. Jain M, Kumar R.S, Nair L, Pandey R. VDTA Based Fractional Order Floating Inductor and its Applications. In 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN). 2020. pp. 929–934.
7. Prokop R, Musil V. CCTA—a new modern circuit block and its internal realization. In Proceedings of International Conference on Electronic devices and systems. 2005. pp. 89–93.
8. Siripruchyanun M, Jaikla W. Current controlled current conveyor transconductance amplifier (CCCCTA): a building block for analog signal processing. Electrical Engineering. 2008; 90:443–453.

## **กองบรรณาธิการ พะเยาวิจัยครั้งที่ 10**

- |                                               |                                              |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ เกียรติคุณ ดร.ไมตรี สุทนต์     | 15. รองศาสตราจารย์ ดร.เชวศักดิ์ รักเป็นไทย   |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.อุทัย ณ นคร                 | 16. รองศาสตราจารย์ ดร.เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ   |
| 3. ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกมาลิน       | 17. รองศาสตราจารย์ ดร.ชยันต์ บุญรักษ์        |
| 4. ศาสตราจารย์ ดร.สำสมร ล้ายอง                | 18. รองศาสตราจารย์ ดร.เสมอ ถาน้อย            |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.ประยงค์ จันทร์แดง        | 19. รองศาสตราจารย์ ดร.สุทิส ถาน้อย           |
| 6. รองศาสตราจารย์ ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน        | 20. รองศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ช่อลำเจียก   |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.จำเนียร บุญมาก           | 21. รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ดำ จงแก้ววัฒนา   |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.นิรัช สุตสังข์           | 22. รองศาสตราจารย์ ดร.พัชรีย์ พริบตีเวช      |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพรรณ นิมสุข          | 23. รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงกมล ชันธเลิศ        |
| 10. รองศาสตราจารย์ ดร.เปรมวิทย์ วิวัฒน์เศรษฐ์ | 24. รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.จตุพร กระจ่างศรี  |
| 11. รองศาสตราจารย์ ดร.นิรุฒ หวังชัย           | 25. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริกเกียรติ จินดำ |
| 12. รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ศักดิ์ หนูสอน      | 26. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพล สำเนียง     |
| 13. รองศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ประสาทเขตร์การ | 27. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล พวงเพชร    |
| 14. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ กังวล           | 28. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร เมฆรักษาวิช   |

**เลขานุการ**

นายจักรพงศ์ มาลีพัตร

**ผู้ช่วยเลขานุการ**

นางสาวรัชฎาภรณ์ แก้วสืบ

นางสาววิศรา คลังนุ่ม