

การชดเชยผลของอุณหภูมิในวงจรเลียนแบบตัวต้านทานแบบลอยชนิดบวกลบ A Temperature Compensation for Positive/Negative Floating Resistance Simulators

ภพร ศิวพันธ์¹ ไชยรัตน์ ธรรมพรหม² วิชัย ไชยกวี³ มนตรี ศิริวิชัยนันท์⁴
E-mail: phanorn@mail.ru.ac.th¹ jhai2004@yahoo.com² mns@bnuibn.ac.th³

¹โปรแกรมให้ทุนและอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
³โปรแกรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

บทคัดย่อ

บทความนี้มีสมรรถนะของตัวต้านทานแบบลอยชนิดบวกลบแบบสองขั้วแบบบวกและลบ โดยใช้ Second-generation Current controlled Current Conveyor (CCCII) ลักษณะเด่นของวงจรที่นำเสนอคือ สามารถควบคุมค่าความต้านทานได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์โครงสร้างวงจรมีจำนวนน้อย ประกอบด้วย CCCII เพียงตัวเดียว ประกอบด้วยวงจรชดเชยอุณหภูมิ / วงจรปรับค่าอุณหภูมิ พาสซีฟ และมีลักษณะที่เมื่ออุณหภูมิรอบข้างเปลี่ยนแปลง จึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรผลกรังสองขั้วโปรแกรม SPICE พบว่า วงจรทำงานได้สอดคล้องตามที่คาดการณ์ไว้ในทฤษฎี วงจรมีค่าสมรรถนะตัวต้านทาน 100MHz สามารถปรับค่าความต้านทานด้วยกระแสไบออส ในช่วง 1mA-443µA นอกจากนี้ยังได้นำเสนอตัวอย่างการนำไปใช้งานวงจรเลียนแบบตัวต้านทานในวงจรรีโอมเนชันอีกด้วย

คำสำคัญ : วงจรเลียนแบบตัวต้านทาน, CCCII

1. บทนำ

ปัจจุบันการออกแบบวงจรวม ที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ไม่นิยมใช้ที่ของแบบวงจรถัด ตัวต้านทานในวงจร เนื่องจากจำเป็นต้องใช้พื้นที่

จำนวนมาก. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

จำนวนมากในการสร้างตัวต้านทาน ดังกล่าวป็นที่ที่พบอีกทั้งไม่สามารถปรับค่าความต้านทานได้ง่าย (1) ด้วยเหตุดังกล่าวนี้จึงมีการออกแบบวงจรที่ทำหน้าที่เลียนแบบตัวต้านทาน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยวงจรเลียนแบบตัวต้านทานที่สามารถสร้างได้ที่มีขนาดเล็กและแบบที่ค่อนข้างง่ายมีดังนี้ วงจรเลียนแบบตัวต้านทานเชิงอนุพันธ์แบบตัวต้านทานและความต้านทานที่มีทั้งค่าบวกและค่าลบ โดยวงจรเลียนแบบตัวต้านทานชนิดบวก สามารถนำไปใช้ในระบวงจรมีอิมพีแดนซ์สูงซึ่งเหมาะที่จะใช้ประกอบกับตัวต้านทานชนิดบวกและค่าลบ นำไปใช้ในระบวงจรมีอิมพีแดนซ์สูงซึ่งเหมาะที่จะใช้ประกอบกับตัวต้านทานชนิดบวก สามารถประกอบกับและวงจรมีอิมพีแดนซ์สูงและค่าลบ ความต้านทานค่าบวกที่เป็นการนำใช้งาน ค่าความต้านทานที่เป็นลบ ก็มีนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ยกตัวอย่างเช่น การชดเชยอิมพีแดนซ์ การปรับรูปคลื่นสัญญาณในวงจรรีโอมเนชัน วงจรกัทช์ ความต้านทานค่าลบ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้ว การสร้างวงจรเลียนแบบตัวต้านทาน จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่ง่ายต่อการประกอบเป็นวงจรและที่ง่ายต่อการปรับค่าความต้านทานได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เช่นกัน

ส่วนมากแล้ว วงจรเลียนแบบตัวต้านทานจะถูกออกแบบด้วยเทคโนโลยีซีมอส [3-6] ซึ่งวงจรเหล่านี้ต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันที่มีค่าสูง และมีความถี่ในการใช้งานต่ำลงจากนี้ ได้มีผู้นำเสนอวงจรเลียนแบบตัวต้านทานแบบลบและค่าบวกโดยใช้วงจรที่ใช้วงจรมีอิมพีแดนซ์สูง (7) จุดเด่นของวงจรถัด

สามารถแก้ค่าความต้านทานได้จำนวน ๓ ค่าตามจำนวนของวงจรมีอิมพีแดนซ์สูง จุดเด่นของวงจรมีอิมพีแดนซ์สูงที่กล่าวถึงคือมีอิมพีแดนซ์สูงที่กว้างขวางสามารถปรับค่าความต้านทานได้จำนวนหลายตัว ทั้งนี้เมื่อเทียบกับวงจรมีอิมพีแดนซ์สูง จะทำให้จำนวนทรานซิสเตอร์ในวงจรเพิ่มขึ้นตามอย่างมากด้วย ส่งผลให้วงจรมีอัตราบริโภคกำลังงานเพิ่มขึ้น และค่าความถี่ใช้งานจะต่ำลงเมื่อเทียบกับผู้ที่มีคุณสมบัติแบบตัวต้านทานแบบสองขั้วแบบบวกโดยใช้ CCCII จำนวนสองตัวต่อตัวต้านทาน (8) ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรมวม และนำไปใช้งานด้วยสาเหตุที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และมีอัตราการใช้ผู้มีเทคโนโลยี CCCII ด้านทานแบบสองขั้วแบบบวกและลบโดยใช้ CCCII [9] ปราศจากอุปกรณ์พาสซีฟ แต่อย่างไรก็ตามวงจรที่กล่าวมาข้างต้น ค่าความต้านทานมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิรอบข้าง ซึ่งถือว่าเป็นข้อด้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ตัวต้านทานจริง

จากปัญหาก็กล่าวมาข้างต้นงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอวงจรมีอิมพีแดนซ์ค่าทานแบบสองขั้วแบบบวกและลบที่มีผลกระทบบ้างจากอุณหภูมิโดยใช้ CCCII โดยวงจรที่นำเสนอประกอบไปด้วย CCCII สองตัวร่วมกับวงจรมีอิมพีแดนซ์สูง โดยใช้ CCCII สองตัวด้านทานบวกแยก มีลักษณะพหุคูณแบบอิมพีแดนซ์สามารถปรับค่าความต้านทาน ได้ทั้งกระแสไบออส CCCII อีกทั้งยังแสดงตัวอย่างการใช้งาน วงจรที่นำเสนอ ในวงจรรีโอมเนชันและวงจรมีอิมพีแดนซ์สูง

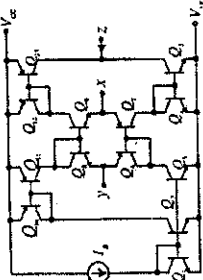
ร่วมด้วย. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

$$I_{em} = -\frac{I_k(V_1 - V_2)}{V_2} \quad (13)$$

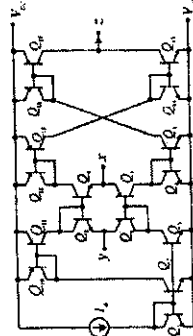
จากสมการที่ (13) จะได้ว่าความสัมพันธ์ของแรงดันขั้ว
ขั้วบวกเป็น

$$R_{y1} = -\frac{V_1 - V_2}{I_{em}} = -\frac{V_2}{I_k} \quad (14)$$

ในการทำงานเดียวกัน จากสมการที่ (11) ไม่มีพจน์ของ
 V_1 ทำให้ความสัมพันธ์ไม่มีผลกระทบจาก
อุณหภูมิ ที่เปลี่ยนแปลง และสามารถปรับค่าความ
ต้านทานได้จาก V_2 หรือ I_k



(11)



(12)

ภาพที่ 5 โครงสร้างภายในของ CCCII

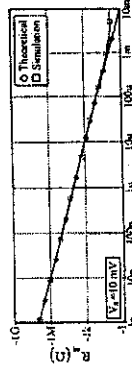
(ก) ขั้วบวก (ข) ขั้วลบ

3. ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของวงจรที่
นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรด้วย
โปรแกรม PSPICE สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ
NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร ได้ใช้
พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ
NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์
ALA400 ของ AT&T [10] ซึ่งโครงสร้างภายในของ
CCCII ขั้วบวกและขั้วลบ ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก)
และภาพที่ 5(ข) ตามลำดับ กำหนดให้ CCCII ทำงาน
ที่แรงดัน ±2V

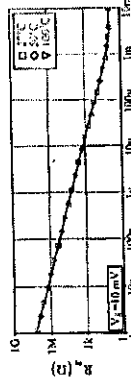


(13)



(14)

ภาพที่ 6. ค่าความต้านทานจำลองที่กระแสไบแอส
 I_k ค่าต่างๆ (ก) ขั้วบวก (ข) ขั้วลบ



(15)



(16)

ภาพที่ 7. ค่าความต้านทานจำลองที่

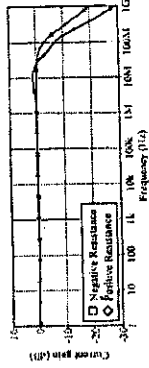
กระแสไบแอส I_k ค่าต่างๆ และที่อุณหภูมิ

27°C, 50°C และ 100°C

(ก) ขั้วบวก (ข) ขั้วลบ

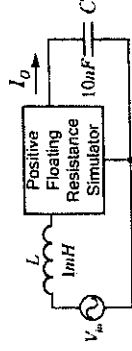
ผลในภาพที่ 6 (ก) แสดงค่าความต้านทาน
ขั้วบวกของวงจรจำลองการทำงาน เทียบกับค่าความ
ต้านทานในทางทฤษฎีเมื่อปรับกระแสไบแอสจาก
 $1\mu A - 10\mu A$ จะเห็นได้ว่าผลที่ได้สอดคล้องกับที่
วิเคราะห์ไว้ และสามารถปรับค่าความต้านทาน ได้
อย่างเป็นเชิงเส้น ในช่วง $1\mu A - 443\mu A$ ซึ่งค่าความ
ต้านทานอยู่ระหว่าง $14.01M\Omega - 26.62\Omega$ ส่วนภาพ
ที่ 6 (ข) แสดงค่าความต้านทานขั้วลบ โดยช่วงเชิง
เส้นจะอยู่ในช่วง $1\mu A - 443\mu A$ และค่าความต้านทาน
อยู่ระหว่าง $14.01M\Omega - 26.62\Omega$ เช่นเดียวกัน จุด
ผลการจำลองการทำงานดังแสดงภาพที่ 7(ก) และ

7(ข) จะได้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีผลกระทบบน
ค่าของขั้วบวกน้อยเพียงเล็กน้อย

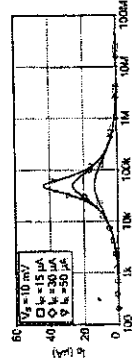


ภาพที่ 8 ผลตอบสนองของค่าความต้านทานขั้วบวก
เทียบกับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ

ส่วนภาพที่ 8 เป็นผลตอบสนองของค่าความต้านทานขั้ว
บวกเทียบกับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ โดยขั้วบวกมีค่าความต้านทาน
งาน 43.71 M Ω และส่วนขั้วลบมีค่าความต้านทาน
ใช้งาน 100 M Ω



ภาพที่ 9 วงจรจำลองขั้วบวกแบบอนุกรม RLC
ต่อด้วยขั้วลบแบบต้านทานแบบต่อค่าบวก



ภาพที่ 10 ผลตอบสนองของค่าความต้านทานขั้วบวก
วงจรถ่ายที่ 9 ที่ I_k ค่าต่างๆ

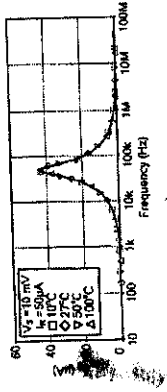
ร่วมจัดโดย : คณะครูศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

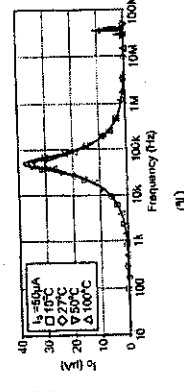
ร่วมจัดโดย : คณะครูศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

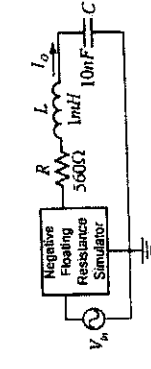
ภาพที่ 9 เป็นการนำวงจรเลียนแบบตัวต้านทานแบบลอจิกชนิดบวก ไปต่อเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม RLC ซึ่งจะได้ I_o เป็นฟังก์ชัน Bandpass ซึ่งเห็นได้ชัดเจนกว่าการปรับค่าตัวอิมพีแดนซ์ได้ ดังผลการทดลองในภาพที่ 10 เมื่อปรับกระแสไบแอส $I_b = 15 \mu A$, $30 \mu A$ และ $50 \mu A$ ตามลำดับ ส่วนผลการจำลองการทำงานในภาพที่ 11(ก) และ 11(ข) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างวงจรเลียนแบบตัวต้านทานที่นำเสนอกับวงจรเลียนแบบตัวต้านทานจาก [9] จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินำมาซึ่งการปรับค่าของ I_o เพียงเล็กน้อย



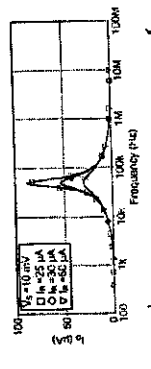
ภาพที่ 11 (ก) การเปรียบเทียบผลการทดลองทางคณิตศาสตร์ของตัวต้านทานที่อุณหภูมิ 27°C, 50°C และ 100°C



ภาพที่ 11 (ข) การเปรียบเทียบผลการทดลองทางคณิตศาสตร์ของตัวต้านทานที่อุณหภูมิ 27°C, 50°C และ 100°C

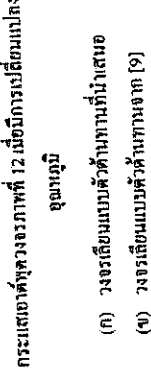


ภาพที่ 12 วงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม RLC ต่อด้วยวงจรถ่ายโอนแบบตัวต้านทานแบบลอจิกชนิดลบ

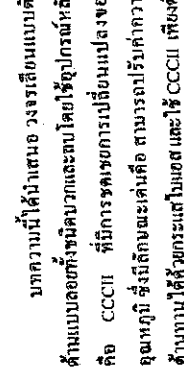


ภาพที่ 13 ผลตอบสนองทางแม่เหล็กของตัวต้านทานแบบลอจิกชนิดลบที่ I_b ต่างๆ

ในทำนองเดียวกันในภาพที่ 12 เป็นการนำวงจรเลียนแบบตัวต้านทานแบบลอจิกชนิดลบ ไปต่อเป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม RLC กระแส I_o เป็นฟังก์ชัน Bandpass ซึ่งเห็นได้ชัดเจนกว่าการปรับค่าตัวอิมพีแดนซ์ได้ ดังผลการทดลองในภาพที่ 10 เมื่อปรับกระแสไบแอส $I_b = 15 \mu A$, $30 \mu A$ และ $50 \mu A$ ตามลำดับ จะสามารถปรับค่าตัวอิมพีแดนซ์ในวงจรเรโซแนนซ์ได้ ส่วนภาพที่ 14(ก) และ 14(ข) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างวงจรถ่ายโอนแบบตัวต้านทานที่นำเสนอกับวงจรถ่ายโอนแบบตัวต้านทานจาก [9] จะเห็นว่า วงจรเรโซแนนซ์ที่นำเสนอนี้สามารถปรับค่าตัวอิมพีแดนซ์ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบผลการทดลองทางคณิตศาสตร์ของตัวต้านทานที่อุณหภูมิ 27°C, 50°C และ 100°C



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบผลการทดลองทางคณิตศาสตร์ของตัวต้านทานที่อุณหภูมิ 27°C, 50°C และ 100°C

ทั้งค่าบวกและค่าลบ มีขานความถี่ใช้งาน 100MHz วงจรมีอัตราบริโภคกำลังงาน 5.59mW ที่แหล่งจ่าย 5V อีกทั้งยังได้นาเสนอ การนำไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งวงจรนี้สามารถปรับค่าทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้จากผลการนำไปประยุกต์ใช้งานยังพบว่า อีกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบข้าง ส่งผลเพียงเล็กน้อย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Banu and Y. Tsividis, "Floating voltage controlled resistors in CMOS technology," Electron. Lett., vol. 18, no. 15, pp. 678-679, Jul. 1982.
- [2] M. Lajthoja and T. Rahkonen, "An Active Tuning and Impedance Matching Element," Proc. ISCAS/IEEE, 1998, pp. 1-559-1-562.
- [3] G. Wilson and P. K. Chan, "Novel voltage-controlled grounded resistor," Electron. Lett., vol. 25, no. 25, pp. 1725-1726, Dec. 1989.
- [4] H.O. Ehsan, S.A. Mahmoud, and A.M. Sofiman, "CMOS voltage controlled floating resistor," Int. J. Electron., vol. 81, no. 5, pp. 571-476, 1996.
- [5] G. Wilson and P.K. Chan, "Floating CMOS resistor," Electron. Lett., vol. 29, no. 3, pp. 306-307, 1993.
- [6] R. Senani, "Realization of linear voltage-controlled resistance in floating form," Electron. Lett., vol. 30, no. 23, pp. 1909-1910, 1994.
- [7] S. Wisaphanchai, A. Binhawik and K. Dejhan, "A new adjustable grounded/fining resistance

ร่วมจัดโดย : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ร่วมจัดโดย : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



NCITech408-043

circuit with enhanced dynamic range based on mixed-translinear loops," Proc. ISCTT2005/IEEE, pp.258-261, 2005

[8] H. Z. Aboula and A. Fabre, "New high-value floating controlled resistor in CMOS technology," IEEE Trans. Instrument Meas., vol. 51, no. 7, pp.1017-1020, 2006.

[9] ดร. ศิวรักษ์, สมินต์ ศรีพิบูล, วิชัย โกล้า และ มนตรี ศรีประทุมพันธ์, "วงเรดิชันแบบตัวต้านทานแบบของชนิดความจุที่ควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดสไซ์ CCI ที่ควบคุมด้วยกระแส", การประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ครั้งที่ 1, หน้า 114-122, 18-19 มกราคม 2551

[10] D. R. Frey, "Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering," IEE Proc. Circuit Devices Syst., vol. 140, pp. 406-416, 1993.