



วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562

Vol. 9 No. 1 January - June 2019

JOURNAL OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

UBON RATCHATHANI RAJABHAT UNIVERSITY



คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

ISSN 2651-1282 (Printed)

ISSN 2651-1290 (Online)

วารสารได้รับการประเมินคุณภาพให้อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1

วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562

เจ้าของ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ
รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา
รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.จิรยุทธ์ มัทธกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
อาจารย์ ดร.นันทพงศ์ นันทสำเริง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร

วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่บทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Review Article) ของคณาจารย์ นักศึกษา และนักวิชาการทั้งภายในและภายนอกสถาบัน วารสารยินดีรับบทความที่มีขอบเขตเนื้อหาเกี่ยวข้องกับศาสตร์ทางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ประกอบด้วย เทคโนโลยีโยธา เทคโนโลยีการก่อสร้าง เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีสารสนเทศ เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม ออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การจัดการโลจิสติกส์ วิศวกรรมและสารสนเทศ และเทคโนโลยีวิศวกรรม ตลอดจนวิศวกรรมศาสตร์แขนงต่าง ๆ ทั้งนี้ไม่รวมบทความด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ศึกษา และวิทยาศาสตร์สุขภาพ โดยทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่น้อยกว่า 2 ท่านต่อบทความ

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ	ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-มิถุนายน
	ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม

บทความและงานวิจัยที่ส่งพิมพ์เป็นข้อคิดเห็น ข้อค้นพบของผู้เขียนเท่านั้นและจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความและงานวิจัยนั้น

บทบรรณาธิการ

โลกในปัจจุบันนั้นต่างจากอดีตอย่างสิ้นเชิง จากการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างก้าวกระโดด จากการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 1 จนถึงการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 และจากคอมพิวเตอร์เมนเฟรมสู่ควอนตัมคอมพิวเตอร์ การศึกษาค้นคว้าและวิจัยทางด้านเทคโนโลยีจึงมีความสำคัญและเป็นรากฐานของการพัฒนาอย่างยั่งยืน

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เป็นบทความวิจัยทางเทคโนโลยีที่น่าสนใจในด้านวิศวกรรมโยธาเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างเหล็กของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลมแบบถอดประกอบง่าย การพัฒนานั่งคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวนความร้อน หรือแม้แต่บทความด้านธุรกิจอสังหาริมทรัพย์

บทความด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดรถบรรทุกสินค้าขาออก การแก้ปัญหาการขนส่งสำหรับรถบรรทุกหลายขนาด ระบบแจ้งเตือนน้ำหนักรถบรรทุก รูปแบบวัสดุคงคลังสำหรับการสั่งซื้อวัตถุดิบสองชนิดจากแหล่งเดียวกัน

การจัดการกับข้อมูลเป็นเรื่องที่อยู่ในความสนใจของทุกภาคส่วน บทความเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิคแบบรวมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแบบจำลองตามกฎในเมืองข้อมูล และการพัฒนาระบบการจัดการฐานข้อมูลมันสำปะหลังโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์พิจารณาบทความในวารสารฯ ด้วยความเที่ยงธรรม ขอบคุณคณะทำงานวารสารฯ ทุกท่านที่ช่วยให้การจัดทำวารสารฯ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอบคุณผู้เขียนบทความ นักวิจัย และผู้อ่านทุกท่านที่ให้การสนับสนุนวารสารฯ มาโดยตลอด

กองบรรณาธิการ



กระบวนการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างเหล็กของอาคารสำเร็จรูปครึ่งทรงกลม แบบถอดประกอบง่าย	1
Design and Construction Processes of Steel Structure of Hemisphere Pre-engineered Building with Easy Assembly Typeปราโมทย์ วีรานุกูล และกิตติพงษ์ สุวิโร.....	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผนังคอนกรีตมวลเบาด้วยการเสริมแผ่นโฟมอัดแน่นเพื่อเป็นฉนวน ความร้อน	15
Development of Light-weight Precast Concrete Wall Panel Product with Adding High Density Foam Sheetผกามาศ ชูสิทธิ์.....	
การพัฒนาเพิ่มรพูนเปิดต่อเนื่องในเนื้อดินสำหรับเตรียมอุปกรณ์กรองน้ำเซรามิก เพื่อกรองน้ำบริโภค ด้วยการเติมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	27
Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat Universityจิตติมา คุณยศยิ่ง.....	
การพัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการจัดรถบรรทุกสินค้าขาออก: กรณีศึกษา บริษัทกระจายสินค้าเครื่องดื่ม	41
The Mixed Integer Programming Model for Outbound Truck Arrangement: A Case Study of Beverage Distribution Firmรศ.นัย อัครรุ่งเรืองกุล นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์ และเอกวิทย์ พิมพ์ปัจฉิม.....	
ตัวแบบความได้เปรียบเชิงการแข่งขันอย่างสมดุลและยั่งยืนสำหรับธุรกิจค้าปลีกศูนย์ รวมสินค้าบ้านและที่อยู่อาศัย	55
The Sustainable and Balanced Competitive Advantage Model for Home Center and Living in Retail Businessสิริพร ทัดทวี-ธรีณี มณีศรี และวรพล วัฒนานนท์.....	



การแก้ปัญหาการขนส่งสำหรับรถบรรทุกหลายขนาด โดยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม : กรณีศึกษาบริษัทกระจายสินค้าเครื่องดื่ม	69
Transportation Problem Solving for Various Trucks Size using Mixed Integer Programming Model: A Case Study of Beverage Distribution Firmรักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส และภูริเกษม สุพัฒน์ธนานนท์.....	
วงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่ทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำโดยใช้เทคนิคขาเกตเสมือนลอยตัว	83
A Low Voltage Class-AB Current Mirror Using Quasi-Floating gate Techniqueหาญพล มิตรวงศ์.....	
การประยุกต์ใช้เทคนิคแบบรวมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแบบจำลองตามกฎ ในเหมืองข้อมูล	97
Applying Ensemble Techniques for Improving the Performance of Rule-based Models in Data Miningปพิชญา กลางนอก และจारी ทองคำ.....	
ระบบแจ้งเตือนภาระน้ำหนักของรถบรรทุกในการขนส่งสินค้า	109
Loading Conditions Alert System for Load Weight of Truck in Transportationเสกสรรค์ วินยวงศ์กุล และมาริษา พองคำ.....	
การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมเพื่อผลิตสื่อการเรียนรู้ความปลอดภัยของระบบสารสนเทศ	121
Applying Augmented Reality to Produce Learning Media of Information Securityศุภเทพ สติมัน ปิยนุช วรบุตร ภาณุพงศ์ บุญรมย์ กษมา ดอกดวง และชานนท์ จังกาจิต..	
รูปแบบวัสดุคงคลังสำหรับการสั่งซื้อวัตถุดิบสองชนิดจากแหล่งเดียวของร้านกาแฟ : กรณีศึกษา	133
Inventory model for ordering two raw materials from a single source of coffee shop : case studyวราภรณ์ วโรส พรเทพ ขอบจายเกียรติ และนิศานาถ แก้ววินัด.....	



วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562

ISSN 2651-1282 (Printed)

ISSN 2651-1290 (Online)

การพัฒนาระบบการจัดการฐานข้อมูลมันสำปะหลังโดยใช้ระบบสารสนเทศ

ภูมิศาสตร์ กรณีศึกษา จังหวัดอุบลราชธานี

147

The Development of Cassava Database Management System Using
Geographic Information System: A Case Study of Ubon Ratchathani
Province

.....พัฒนา ศรีชาติ อรอุมา เนียมหอม อัจฉริยา เหล่าศิริ และปิยภัทร โกษาพันธุ์.....

วงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่ทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ
โดยใช้เทคนิคขาเกตเสมือนลอยตัว

หาญพล มิตรวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

อีเมล : mhanphon@pkru.ac.th

* วันที่รับบทความ 24 พฤษภาคม 2561

วันที่แก้ไขบทความ 17 กรกฎาคม 2561

วันที่ตอบรับบทความ 7 กันยายน 2561

บทคัดย่อ

วงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่นำเสนอออกแบบโดยใช้เทคนิคขาเกตเสมือนลอยตัว เพื่อให้วงจรสามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ การนำเทคนิคขาเกตเสมือนลอยตัวมาใช้ทำให้สามารถไบอัสแหล่งจ่ายไฟให้มอสเฟตทรานซิสเตอร์แต่ละตัวได้ ในขณะที่วงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีแบบอื่น ๆ ใช้แหล่งจ่ายไฟที่สูงกว่าเนื่องจากถูกจำกัดด้วยแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ วงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่นำเสนอถูกนำมาจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม SPICE (simulation program with integrated circuit emphasis) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของวงจร โดยใช้เทคโนโลยีขนาด 0.13 ไมโครเมตร ภายใต้ไฟเลี้ยง 0.5 โวลต์ พบว่าวงจรมีความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตเท่ากับ 832 โอห์ม และมีความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 7.79 กิโลโอห์ม ซึ่งวงจรมีความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตสูงกว่าความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุต 165 เท่า นอกจากนี้ มีค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกโดยรวม (total harmonic distortion, THD) น้อยกว่า 1% เมื่อกระแสอินพุตน้อยกว่า ± 38 ไมโครแอมแปร์ และวงจรมีฟังก์ชันการถ่ายโอนเท่ากับ -0.053 เดซิเบล (dB) หรือประมาณ 0.99 เท่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของวงจรโดยรวมพบว่าวงจรสามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำได้จริง

คำสำคัญ : สะท้อนกระแส คลาสเอบี ไฟเลี้ยงต่ำ ขาเกตเสมือนลอยตัว

A Low Voltage Class-AB Current Mirror Using Quasi-Floating gate Technique

Hanphon Mitwong

Faculty of Science and Technology Phuket Rajabhat University

E-mail: mhanphon@pkru.ac.th

* Received: May 24, 2018

Revised: July 17, 2018

Accepted: September 7, 2018

Abstract

The proposed Class AB current mirror is designed using a quasi-floating gate technique to allow the circuit to efficiently operate under low power supply. The quasi-floating gate technique allows the bias power supply to each of the MOSFET transistors. While other Class AB current mirror use higher power supply because it is limited by the threshold voltage of the MOSFET transistor. The proposed circuit was simulated using a SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) program. The program is used to study the overall efficiency of the circuit utilising 0.13 μm technologies under a 0.5 V power supply. The results show that the circuit has an input impedance of 832 Ohms and has an output impedance of 7.79k Ohms. The circuit has a higher output resistance than the input resistance of 165 times. Moreover, a total harmonic distortion (THD) is less than 1% when the input current is less than $\pm 38 \mu\text{A}$. The circuit also has a transfer function of -0.053 decibels (dB), which is approximately 0.99 times. However, overall, the circuit is able to efficiently operate under low power.

Keywords: current mirror, class-ab, low voltage, quasi-floating gate

1. บทนำ

ปัจจุบันอุปกรณ์พกพามีขนาดเล็กลง แต่ขนาดของอุปกรณ์พกพาถูกจำกัดด้วยขนาดของแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้น หากลดขนาดของแบตเตอรี่ได้ อุปกรณ์พกพาจะมีขนาดเล็กลง อย่างไรก็ตามการลดขนาดแบตเตอรี่ส่งผลให้วงจรที่ถูกพัฒนามีความจำเป็นที่จะต้องมีความถี่ที่เล็กลง เพราะแรงดันไฟเลี้ยงและกำลังงานของแบตเตอรี่มีค่าจำกัด ทำให้การสวิงสัญญาณของวงจรในโหมดแรงดันถูกจำกัด และผลตอบสนองทางความถี่ (frequency response) ของวงจรมีค่าต่ำ ในขณะที่วงจรในโหมดกระแสมีปัญหในเรื่องการสวิงสัญญาณที่ไม่มาก และสามารถทำงานได้ภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำได้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

วงจรสะท้อนกระแส (current mirror) เป็นวงจรพื้นฐานในโหมดกระแสที่ถูกพัฒนาขึ้น และนำไปประยุกต์ใช้ในส่วนต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น วงจรกรองความถี่ (filter circuits) วงจรขยายกระแส (Current Operational Amplifier, COAs) วงจรสายพานกระแส (current conveyor) วงจรทรานสคอนดักเตอร์หรือโอทีเอ (Operational Transconductance Amplifier, OTA) ฯลฯ [1-6] จากการศึกษาพบว่าวงจรสะท้อนกระแสในปัจจุบันมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ [7-10] โดยส่วนมากวงจรสะท้อนกระแสที่สามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำถูกพัฒนาโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ อาทิเช่น เทคนิคขาคอดี (bulk-driven) เทคนิคขาคอลอยตัว (floating-gate) เทคนิคการออกแบบวงจรให้ทำงานภายใต้แรงดันต่ำกว่าแรงดันขีดเริ่ม (sub threshold voltage) และเทคนิคอื่น ๆ อีกมากมาย อย่างไรก็ตามวงจรสะท้อนกระแสที่ออกแบบโดยใช้เทคนิคขาคอดีมีปัญหาเนื่องจากตัวเก็บประจุแฝงที่ส่งผลให้การสวิงสัญญาณลดลง และความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตของวงจรมีค่ามาก แต่วงจรสามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ โดยใช้ไฟเลี้ยงประมาณแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ (Threshold Voltage, V_T) [11,12] สำหรับวงจรสะท้อนกระแสที่ถูกออกแบบให้ทำงานภายใต้แรงดันต่ำกว่าแรงดันขีดเริ่มวงจรสามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำได้ แต่ค่าความนำไฟฟ้า (Transconductance, g_m) ของทรานซิสเตอร์มีค่าน้อย ส่งผลให้วงจรมีผลตอบสนองทางความถี่ต่ำ และความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตของวงจรมีค่ามาก นอกจากนี้การสะท้อนกระแสทางด้านเอาต์พุตมีความผิดเพี้ยนเกิดขึ้น [13] สำหรับวงจรสะท้อนกระแสที่พัฒนาโดยใช้เทคนิคขาคอลอยตัว วงจรใช้ไฟเลี้ยงประมาณแรงดันขีดเริ่มของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ แต่ก็มีปัญหาในเรื่องการฝังตัวของประจุ (tapping) นอกจากนี้ความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตมีค่ามาก และผลตอบสนองทางความถี่ที่ต่ำ [14,15] สังเกตเห็นได้ว่าวงจรสะท้อนกระแสที่ถูกพัฒนาโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมา วงจรสามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำได้ อย่างไรก็ตามความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตมีค่ามาก และมีประสิทธิภาพของการทำงานยังไม่ค่อยดี

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอวงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่สามารถทำงานได้ภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ โดยใช้เทคนิคขาคอลอยตัว และการป้อนกลับแบบลบถูกนำมาใช้ในวงจร เพื่อทำให้วงจรมีความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตที่มีค่าน้อย และสามารถสะท้อนกระแสได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ

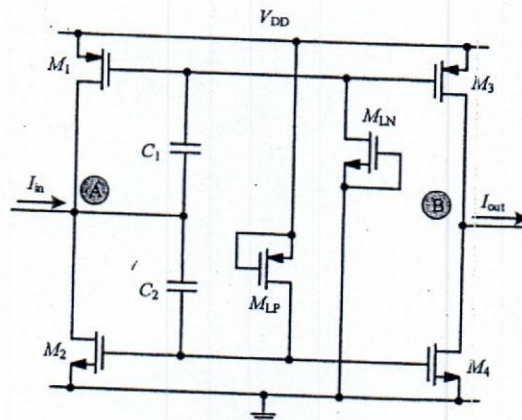
2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่สามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ

3. การศึกษาและออกแบบวงจรสะท้อนกระแส

3.1 วงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไป

วงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีแบบทั่วไปถูกออกแบบโดยใช้เทคนิคเกตเสมือนลอยตัว ประกอบด้วย มอสเฟตทรานซิสเตอร์ 4 ตัว (M_1 , M_2 , M_3 และ M_4) ตัวเก็บประจุ 2 ตัว (C_1 และ C_2) และความต้านทานขนาดใหญ่ โดยใช้มอสเฟตทรานซิสเตอร์ในโหมดคัทออฟ (M_{LP} และ M_{LN}) ดังรูปที่ 1 การนำเทคนิคเกตเสมือนลอยตัวมาออกแบบวงจรเพื่อให้วงจรสามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ โดยการนำความต้านทานขนาดใหญ่และตัวเก็บประจุที่ขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์แต่ละตัว ซึ่งสามารถแยกป้อนแหล่งจ่ายไฟที่เหมาะสมให้กับมอสเฟตทรานซิสเตอร์แต่ละตัวได้อย่างอิสระ ในขณะที่สัญญาณจะถูกส่งผ่านตัวเก็บประจุไปยังขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์แต่ละตัว การออกแบบความต้านทานขนาดใหญ่ควรออกแบบให้ความต้านทานมีค่ามากเพื่อไม่ให้กระทบกับความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุต และทำให้ความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตมีค่าน้อย หากความต้านทานที่ออกแบบมีค่าน้อย จะทำให้มีสัญญาณบางส่วนไหลผ่านตัวต้านทานส่งผลให้เกิดการลดทอนสัญญาณขึ้น สำหรับตัวเก็บประจุควรออกแบบให้มีความจุที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถส่งผ่านสัญญาณได้ และไม่กระทบต่อค่าความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุต นอกจากนี้ หากพิจารณาผลกระทบต่อความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตของวงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่ออกแบบโดยใช้เทคนิคเกตเสมือนลอยตัวพบว่าไม่ส่งผลกระทบ



รูปที่ 1 วงจรสะท้อนกระแสทั่วไปโดยใช้เทคนิคเกตเสมือนลอยตัว

ขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2 ถูกต่อเข้ากับขาเดรนของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2 ผ่านตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ในขณะเดียวกันขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_3 ก็ถูกต่อเข้ากับกราวด์ผ่านตัวต้านทานขนาดใหญ่ และขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_2 และ M_4 ก็ถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ

ผ่านตัวต้านทานขนาดใหญ่ เมื่อวิเคราะห์วงจรพบว่า ความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตและความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตมีค่าดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2) ตามลำดับ

$$R_{in} \cong \frac{1}{(g_{m1} + g_{m2})} \quad (1)$$

$$R_{out} \cong r_{o3} // r_{o4} \quad (2)$$

- เมื่อ R_{in} คือ ค่าความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตของวงจร
 R_{out} คือ ค่าความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตของวงจร
 g_m คือ ค่าทรานคอนดักแตนซ์หรือค่าความนำไฟฟ้าของมอสเฟตทรานซิสเตอร์
 r_{o_n} คือ ความต้านทานเอาต์พุตระหว่างขาเดรน และขาซอร์สของมอสเฟตทรานซิสเตอร์

หลักการทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อกระแสอินพุตไหลเข้าที่โหนด A กระแสก็ถูกแปลงเป็นแรงดันเกิดเป็นสัญญาณซิกบวก สัญญาณถูกส่งผ่านไปยังขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2 ทำให้กระแสไหลผ่านขาเดรนไปยังขาซอร์สของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2 ในขณะเดียวกันสัญญาณถูกส่งไปยังขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_3 และ M_4 สัญญาณก็จะถูกแปลงให้เป็นกระแสเอาต์พุตไหลเข้าที่โหนด B ในกรณีที่กระแสอินพุตไหลออกจากโหนด A กระแสก็ถูกแปลงเป็นแรงดันเกิดเป็นสัญญาณซิกลบ และถูกส่งผ่านไปยังขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2 กระแสจะไหลผ่านขาซอร์สไปยังขาเดรนของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2 มีค่าเท่ากับกระแสอินพุต ในขณะเดียวกันสัญญาณถูกส่งไปยังขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_3 และ M_4 จะถูกแปลงให้เป็นกระแสเอาต์พุตไหลออกจากโหนด B

3.2 วงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ

วงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไปสามารถทำงานได้ภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ แต่มีปัญหาเรื่องความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตที่มีค่ามาก ในการออกแบบสามารถทำการลดความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตได้โดยการเพิ่มขนาดทรานซิสเตอร์ อย่างไรก็ตามขนาดที่ใหญ่ทำให้วงจรสิ้นเปลืองพลังงาน อีกวิธีการหนึ่งคือเพิ่มวงจรขยายเข้าไปในวงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไปดังรูปที่ 2 วงจรขยายถูกเพิ่มเข้าไปในวงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไปที่ออกแบบโดยใช้เทคนิคขาคัดเสมือนแบบลอยตัวเช่นกัน สังเกตเห็นได้ว่าวงจรขยายประกอบไปด้วยมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_5 , M_6 , M_7 และ M_8 ซึ่งมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_6 และ M_8 ต่อยู่ในลักษณะวงจรสะท้อนกระแส ขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_5 คือ ขาบวกของวงจรขยาย (V^+) ถูกต่อเข้ากับขาเดรนของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2 ในขณะที่ขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_7 คือ ขาลบของวงจรขยาย (V^-) ถูกไปอัสไว้คงที่ โหนด C คือขาเอาต์พุต

อินพุตไหลออกจากโหนด A กระแสก็ถูกแปลงเป็นแรงดันเกิดเป็นสัญญาณซิกลอป สัญญาณก็จะถูกขยายไปยังโหนด C และถูกส่งผ่านไปยังขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2 ทำให้กระแสไหลผ่านขาซอร์สไปยังขาเดรนของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2 ในขณะเดียวกันสัญญาณถูกส่งไปยังขาเกตของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_3 และ M_4 สัญญาณก็จะถูกแปลงให้เป็นกระแสเอาต์พุตไหลออกจากโหนด B โดยมีฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการ

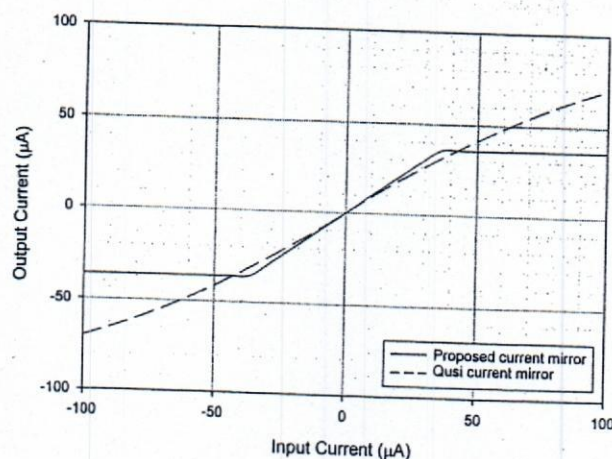
$$\frac{i_{out}}{i_{in}} \cong \frac{g_{m3} + g_{m4}}{g_{m1} + g_{m2}} \quad (6)$$

เมื่อ i_{in} คือ สัญญาณทางด้านอินพุตของวงจร

i_{out} คือ สัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจร

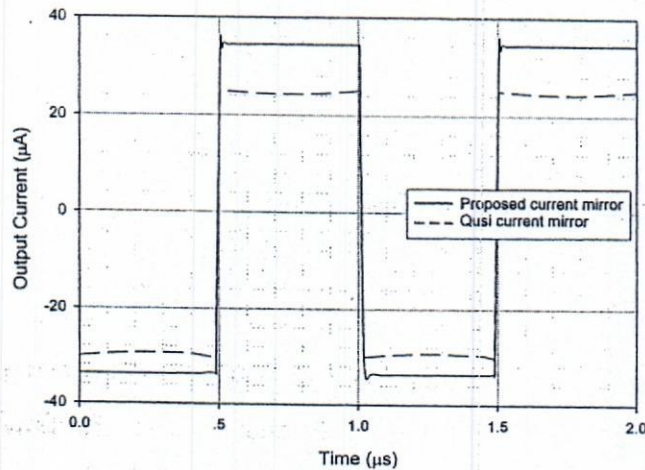
4. ผลการทดลอง

วงจรสะท้อนกระแสทั้งสองถูกนำมาทดสอบการทำงานของวงจร โดยจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม SPICE (simulation program with integrated circuit emphasis) ใช้เทคโนโลยีซีมอสทรานซิสเตอร์ขนาด 0.13 ไมโครเมตร โมเดล IBM 130nm level 49 ในการจำลองการทำงานภายใต้ไฟเลี้ยง 0.5 โวลต์ เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้ โดยพิจารณาจากแรงดันขีดเริ่มของพีมอสทรานซิสเตอร์ (PMOS) $V_{TH0} = -0.2256378$ และแรงดันขีดเริ่มเอ็นมอสทรานซิสเตอร์ (NMOS) $V_{TH0} = 0.0541243$ และกำหนดให้มอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_1 M_3 M_5 และ M_7 มีขนาด W/L เท่ากับ $31.02\mu\text{m}/1\mu\text{m}$ มอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_2 M_4 M_6 และ M_8 มีขนาด W/L เท่ากับ $10\mu\text{m}/1\mu\text{m}$ มอสเฟตทรานซิสเตอร์ M_{LP} และ M_{LN} มีขนาด W/L เท่ากับ $1\mu\text{m}/1\mu\text{m}$ ตามลำดับ



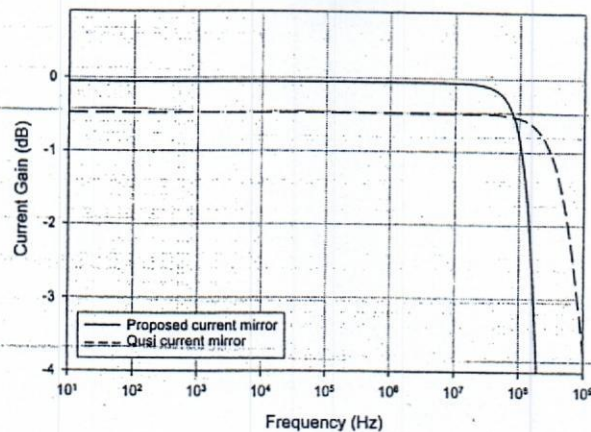
รูปที่ 3 ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ และวงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไปที่ออกแบบโดยเทคนิคขาเกตเสมือนลอยตัว

ผลการจำลองการทำงาน พบว่า วงจรมีฟังก์ชันการถ่ายโอนดังรูปที่ 3 สังเกตเห็นได้ว่า วงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอนี้ (เส้นทึบ) สามารถสะท้อน กระแสได้ประมาณ $+38$ ไมโครแอมป์ ในขณะที่วงจรสะท้อนกระแสทั่วไป (เส้นประ) สามารถสะท้อนกระแสได้ประมาณ ± 15 ไมโครแอมป์ ซึ่งวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอนี้ สามารถสะท้อนกระแสได้มากกว่าวงจรสะท้อนกระแสทั่วไปประมาณ 2.5 เท่า ทั้งนี้เกิดจากวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอนี้มีความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตของวงจรที่น้อยกว่า ส่งผลให้กระแสที่ไหลจากแหล่งจ่ายกระแสเข้าสู่วงจรสามารถไหลได้มากกว่า



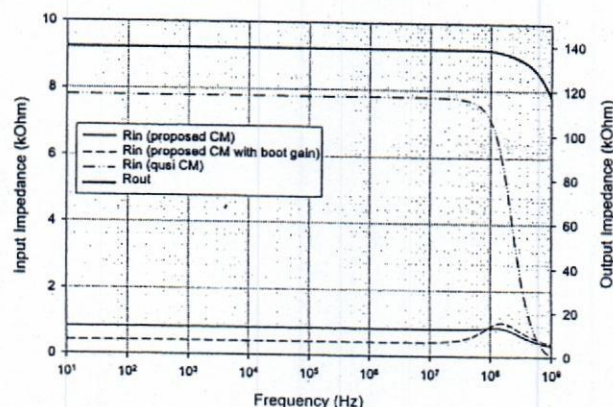
รูปที่ 4 ผลตอบสนองทางเวลาของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอนี้ และวงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไปที่ออกแบบโดยเทคนิคขาคัดเสมือนลอยตัว เมื่อป้อนอินพุตแบบสเต็ป ขนาด ± 35 ไมโครแอมป์ ที่ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์

รูปที่ 4 แสดงผลตอบสนองทางเวลาเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตแบบสเต็ป ขนาด ± 35 ไมโครแอมป์ ที่ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ พบว่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอนี้มีลักษณะที่เหมือนสัญญาณอินพุต ซึ่งมีขนาด ± 34.8 ไมโครแอมป์ ในขณะที่วงจรสะท้อนกระแสทั่วไป (เส้นประ) มีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณอินพุต ซึ่งมีขนาดไม่สมมาตรกัน กล่าวคือสัญญาณทางซิกบวกรมีค่าประมาณ 25 ไมโครแอมป์ และสัญญาณทางซิกลบมีค่าประมาณ -29.2 ไมโครแอมป์ ซึ่งผลตอบสนองทางเวลาของที่นำเสนอนี้สามารถสะท้อนกระแสได้มากกว่าวงจรสะท้อนกระแสทั่วไปประมาณ 1.4 เท่า และเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตแบบสเต็ป ขนาด ± 25 ไมโครแอมป์ พบว่าผลตอบสนองทางเวลาของวงจรสะท้อนกระแสทั้งสองมีความสมมาตรเกิดขึ้นทั้งสองวงจร



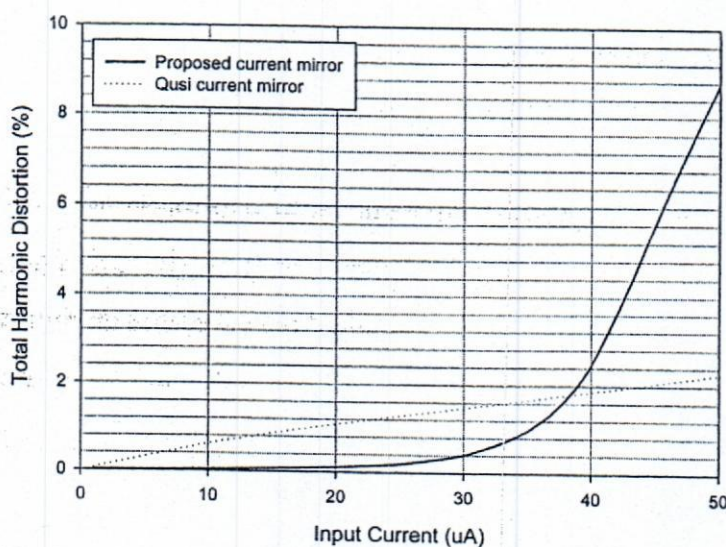
รูปที่ 5 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ และวงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไปที่ออกแบบโดยเทคนิคขาคาเกตเสมือนลอยตัว

รูปที่ 5 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ สังเกตเห็นได้ว่าวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ (เส้นทึบ) มีผลตอบสนองทางความถี่ที่ 165 เมกะเฮิรตซ์ ในขณะที่วงจรสะท้อนกระแสทั่วไป (เส้นประ) มีผลตอบสนองทางความถี่ที่ 850 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรสะท้อนกระแสทั่วไปมีค่ามากกว่าวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ เนื่องจากการเพิ่มวงจรขยายเข้าไปในวงจร หากวงจรขยายที่เพิ่มเข้าไปในวงจรมีผลตอบสนองทางความถี่ที่ต่ำก็จะส่งผลให้ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรสะท้อนกระแสต่ำไปด้วย ในบทความวิจัยฉบับนี้ได้ทำการปรับขนาดของวงจรขยายให้มีขนาดที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามถึงวงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไปจะมีผลตอบสนองความถี่ที่สูงกว่า แต่วงจรสะท้อนกระแสทั่วไปมีปัญหา เมื่อพิจารณาในเรื่องของอัตราขยายของวงจรหรืออัตราการสะท้อนกระแสพบว่า วงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ (เส้นทึบ) มีอัตราการสะท้อนกระแสเท่ากับ -0.053 เดซิเบล ในขณะที่วงจรสะท้อนกระแสทั่วไป (เส้นประ) มีอัตราการสะท้อนกระแสเท่ากับ -0.47 เดซิเบล สังเกตเห็นได้ว่าวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอมีความผิดเพี้ยนน้อยกว่าวงจรสะท้อนกระแสทั่วไป



รูปที่ 6 ความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุต และความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ และวงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไปที่ออกแบบโดยเทคนิคขาคาเกตเสมือนลอยตัว

รูปที่ 6 แสดงความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตและเอาต์พุต สังเกตเห็นได้ว่าวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ (เส้นทึบ) มีความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุต-832 โอห์ม-และเมื่อนำขาเกตของทรานซิสเตอร์ $M_7 (V^-)$ ต่อเข้ากับขาเกตของทรานซิสเตอร์ M_8 เพื่อเพิ่มอัตราขยายของวงจร (เส้นประจุด) พบว่า วงจรมีความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตเท่ากับ 413 โอห์ม ในขณะที่วงจรสะท้อนกระแสทั่วไป (เส้นประกั้นจุด) มีความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตของวงจรเท่ากับ 7.79 กิโลโอห์ม และความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตของวงจรทั้งสอง (เส้นทึบหนา) มีค่าเท่ากับ 138 กิโลโอห์ม สังเกตเห็นได้ว่าความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตมีค่ามากกว่าอินพุต 165 เท่า สำหรับวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ และ 18 เท่า สำหรับวงจรสะท้อนกระแสทั่วไป



รูปที่ 7 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ และวงจรสะท้อนกระแสแบบทั่วไป ที่ออกแบบโดยเทคนิคขาเกตเสมือนลอยตัว

รูปที่ 7 ความเพี้ยนโดยรวมของสัญญาณ (Total Harmonic Distortion, THD) ของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ เมื่อพิจารณาผลการจำลองการทำงานพบว่าวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ (เส้นทึบ) มีความผิดเพี้ยนของวงจรมีค่าต่ำกว่า 1% เมื่อกระแสอินพุตน้อยกว่า 38 ไมโครแอมป์ และวงจรสะท้อนกระแสทั่วไป (เส้นประ) ความผิดเพี้ยนของวงจรมีค่าต่ำกว่า 1% เมื่อกระแสอินพุตน้อยกว่า 18 ไมโครแอมป์ สังเกตเห็นได้ว่าวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอสามารถทำงานภายใต้ความผิดเพี้ยน 1% ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรสะท้อนกระแสทั่วไป

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ

รายการ	วงจรสะท้อนกระแสอ้างอิง						วงจรที่ นำเสนอ
	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[13]	
ไฟเลี้ยงวงจร (V)	3	1.8	1	0.8	± 0.5	0.8	0.5
คลาสการทำงาน	AB	A	A	AB	A	A	AB
กำลังไฟฟ้า (W)	-	-	341 μ	-	-	-	338 μ
เทคโนโลยี (um)	0.5	0.35	0.18	0.5	0.18	0.18	0.13
ความต้านทานเสมือนด้านอินพุต (Ohm)	0.01	-	27.6	-	-	-	832
ความต้านทานเสมือนด้านเอาต์พุต (Ohm)	8 G	8 M	3.33 M	8 M	-	-	7.79 K
ผลตอบสนองความถี่ (Hz)	40 M	-	907 M	20 M	-	10 M	165 M
ช่วงการทำงานของกระแสอินพุต (μ A)	20-100	20-160	1-100	10-100	27-264	1-60	± 35
ความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม	-	-	-	1% <20 μ A	-	-	1% <38 μ A

- : ไม่พบข้อมูล

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการทำงานของวงจรสะท้อนกระแสที่นำเสนอ ผลดังกล่าวถูกนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการทำงานกับวงจรสะท้อนกระแสที่ถูกพัฒนาขึ้นก่อนหน้านี้ สังเกตเห็นได้ว่าไฟเลี้ยง (supply voltage) ของวงจรที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่า โดยวงจรที่นำเสนอก่อนหน้ามีไฟเลี้ยงที่แรงดันสูงกว่า 1 โวลต์ ในขณะที่ไฟเลี้ยงของวงจรที่นำเสนอมีค่าแรงดันเพียง 0.5 โวลต์ เมื่อพิจารณาเทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบ (technology) และทดสอบการทำงานพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตของวงจร (input impedance) มีค่ามากกว่างานที่นำเสนอ [7,13] ทั้งนี้เกิดจากการกำหนดขนาดของตัวมอสเฟตทรานซิสเตอร์ และแรงดันไฟเลี้ยงที่ป้อนให้กับวงจรไม่เท่ากัน หากต้องการให้ค่าความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตของวงจรมีค่าน้อยลงสามารถกำหนดขนาดของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะเดียวกันความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าลดลง การเพิ่มขนาดของมอสเฟตทรานซิสเตอร์จะส่งผลให้วงจรใช้พื้นที่มากขึ้น และต้องใช้พลังงานที่มากขึ้น หากพิจารณาความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุต พบว่ามีค่ามากกว่าความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุต ในกรณีที่พิจารณาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร (frequency response) พบว่ามีค่ามากกว่าวงจรที่นำเสนอก่อนหน้า แต่ยังมีค่าน้อยกว่าวงจรที่นำเสนอใน [9] นอกจากนี้เมื่อพิจารณาช่วงการทำงานของกระแสอินพุตของวงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่นำเสนอกับวงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบี ที่ได้รับการพัฒนามาก่อนหน้าพบว่าช่วงการทำงานของกระแสอินพุตของวงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่นำเสนอสามารถทำงานได้น้อยกว่า เพราะวงจรสะท้อนกระแสคลาสเอบีที่นำเสนอถูกออกแบบให้ทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ โดยกำหนดขนาดของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้

วงจรใช้พลังงานน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ได้โดยกำหนดขนาดของมอสเฟตทรานซิสเตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตของวงจรให้มีค่าน้อยลง ในขณะเดียวกันความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตของวงจรจะมีค่าลดลงเช่นกัน และวงจรจะใช้พลังงานเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในภาพรวมพบว่าวงจรสามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุปผล

วงจรสะท้อนกระแสคลาสิกเอนที่นำเสนอถูกออกแบบโดยใช้เทคนิคคาเทดเสมือนลอยตัว เพื่อให้วงจรสามารถทำงานที่ไฟเลี้ยง 0.5 โวลต์ โดยใช้เทคโนโลยีซีมอสขนาด 0.13 ไมโครเมตร ทั้งนี้เทคนิคการป้อนกลับแบบลบถูกนำมาใช้ในวงจรส่งผลทำให้วงจรมีความต้านทานเสมือนทางด้านอินพุตมีค่าน้อย และมีความต้านทานเสมือนทางด้านเอาต์พุตที่มีค่ามาก วงจรสามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง และมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณค่อนข้างต่ำ เมื่อนำผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรไปเปรียบเทียบกับวงจรที่นำเสนอ [7-13] ก่อนหน้าพบว่าวงจรที่นำเสนอนั้นสามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพจริง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nikorn Henngam, Jirayuth Mahattanakul. Analysis of Amplitude in the Standard CMOS Integrated Oscillator. Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University. 2017; 7(1): 12-24. (in Thai)
- [2] Souliotis G, Psychalinos C. Current-Mode Linear Transformation Filters Using Current Mirrors. Transactions on Express Briefs Circuits and Systems II: Express Briefs. 2008 June; 55(6): 541-545.
- [3] Palmisano G, Palumbo G, Pennisi S. A high-drive high-gain CMOS current operational amplifier. In Ogorzalek MJ, editors. Proceedings of the 1998 International Symposium on Circuits and Systems; 1998 May 31 - June 3; Monterey Conference Center. California: Institute of Electrical and Electronics Engineers; 1998. p. 456-459.
- [4] Uygur A, Kuntman H. An ultra-low-voltage ultra-low-power DTMOS-based CCII design for speech processing filters. In Hakan Kuntman H, Huseyin Yesil, editors. International Conference on Electrical and Electronics Engineering; 2013 November 28-30; EMO Chamber of Turkish Electrical Engineers - Bursa Section. Bursa: EMO Chamber of Turkish Electrical Engineers - Bursa Section; 2013. p. 31-35.

- [5] Ferri G, De Marcellis A, Di Carlo C, Stornelli V, Flammini A, Depari A, Marioli D, Sisinni E. A CCI-Based Low-Voltage Low-Power Read-Out Circuit for DC-Excited Resistive Gas Sensors. *IEEE Sensors Journal*. 2009; 9(12): 2035-2041.
- [6] Ferri G, Sansen W. A rail-to-rail constant-gm low-voltage CMOS operational transconductance amplifier. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*. 1997; 32(10): 1563-1567.
- [7] Garimella A, Garimella L, Ramirez-Angulo J, Lopez-Martin A J, Carvajal R G. Low-voltage high performance compact all cascode CMOS current mirror. *Electronics Letters*. 2005; 41(25): 1359-1360.
- [8] Meaamar A, Othman M. Low-Voltage High-Performance Current Mirror Circuit Techniques. In Burhanuddin Yeop Majlis, editors. *IEEE International Conference on Semiconductor Electronics*; 2006 November 29 - December 1; Prince Hotel & Residence Kuala Lumpur. Kuala Lumpur: Institute of Electrical and Electronics Engineers Malaysia Section; 2006. p. 661-665.
- [9] Gabbouj HB, Hassen N, Besbes K. Comparative study and design of new low voltage high performance current mirrors. In Mohamed Masmoudi, Michel Renovell, editors. *3rd International Conference on Design and Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era*; 2008 March 25-27; National Engineering School of Sfax, Tozeur: Institute of Electrical and Electronics Engineers Tunisia Section; 2008. p. 1-6.
- [10] Molinar-Solis JE, Garcia-Lozano RZ, Hidalgo-Cortes C, Rocha-Perez JM, Diaz-Sanchez A. A very compact CMOS class AB current mirror for low voltage applications. In Lorena Garcia, Yuli Andrea Rodriguez P, editors. *Colombian Workshop on Circuits and Systems*; 2012 November 1- 2; Universidad del Norte. Barranquilla: Circuit and Systems Society Chapter and Institute of Electrical and Electronics Engineers Colombia; 2012. p. 1-4.
- [11] Xuguang Z, El-Masry El. A high-performance low-voltage body-driven CMOS current mirror. In Sethuraman Panchanathan, Dave Allstot, editors. *International Symposium on Circuits and Systems*; 2002 May 26-29; Fairmont Scottsdale Princess. Arizona: Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2002. p. V-49-V-52.

- [12] Aggarwal B, Gupta M. Low-Voltage Cascode Current Mirror Based on Bulk-Driven MOSFET and FGMOS Techniques. In Amlan Chakrabarti, Prafulla Kumar Behera, RD Sudhaker Samuel, editors. International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing; 2009 October 27-28; Kottayam. Kerala: IEEE Computer Society; 2009. p. 473-477.
- [13] Li-Yani, Yang-Yintang, Zhu Zhangming. A novel low-voltage low-power bulk-driven cascade current mirror. In Wen Desheng, Wang Ruofeng, Xie Yi, editors. International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering; 2010 August 20-22; Sichuan University. Chengdu: Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2010. p. V3-78 - V3-83.
- [14] Gupta R, Sharma S, Jamuar SS. A low voltage current mirror based on quasi-floating gate MOSFETs. In Fakhrul Zaman Rohani, Siti Anom Ahmad, Azura Che Soh, Haslina Jaafar, editors. Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS); 2010 December 6-9; Universiti Putra Malaysia. Kuala Lumpur: Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2010. p. 580-583.
- [15] Sharma S, Rajput SS, Magotra LK, and Jamuar SS. FGMOS based wide range low voltage current mirror and its applications. In Pissaloux Edwige, Yuliana Slashcheva, editors. Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems; 2002 October 28-31; Discovery Kartika Plaza. Denpasar: Institute of Electrical and Electronics Engineers; 2002. p. 331-334.



ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย
Thai-Journal Citation Index Centre

สนับสนุนโดย   และ 

หน้าแรก เกี่ยวกับ TCI » ฐานข้อมูล TCI » คำ TJIF การประชุม/อบรม » งานวิจัยของ TCI » เกณฑ์คุณภาพวารสาร » กระดานสนทนา FAQ

ผลการประเมินคุณภาพวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI

โปรดระบุหมายเลข ISSN หรือชื่อของวารสารที่ต้องการทราบผลประเมิน :

ค้นหา

ลำดับ	ชื่อวารสาร	ISSN	เจ้าของ	จัดอยู่ในวารสาร กลุ่มที่	สาขา
1	วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ราชภัฏอุบลราชธานี	2229-1210	คณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ราชภัฏ อุบลราชธานี	1	วิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี

[Back to top](#)

Copyright 2005. Thai-Journal Citation Index (TCI) Centre. All rights reserved.

Contact: tcj.thai@gmail.com



ที่ ศธ ๐๕๔๗.๐๓/๐๘๒๕

วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
๒ ถนนราชธานี อำเภอเมือง
จังหวัดอุบลราชธานี ๓๔๐๐๐

๗ กันยายน ๒๕๖๑

เรื่อง หนังสือรับรองการตีพิมพ์

เรียน คุณหาญพล มิตรวงศ์

ตามที่ ท่านได้จัดส่งบทความเรื่อง “วงจรสะท้อนกระแสคลาสเปีที่ทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำ โดยใช้เทคนิคขาเกตเสมือนลอยตัว” เพื่อขอตีพิมพ์ และเผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ของ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี นั้น บัดนี้ บทความของท่าน ได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และได้รับการรับรองให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร เทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ ๙ ฉบับที่ ๑ (มกราคม – มิถุนายน) ๒๕๖๒

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์)
บรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี