



การประชุมวิชาการประจำปีของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๑

เรื่องตีพิมพ์ประชุมของวิชาการ ครั้งที่ ๔๖ นานาชาติเกษตรศาสตร์
The Proceeding of 46th Kasetsart University Annual Conference

สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

(Subject: Architecture and Engineering)

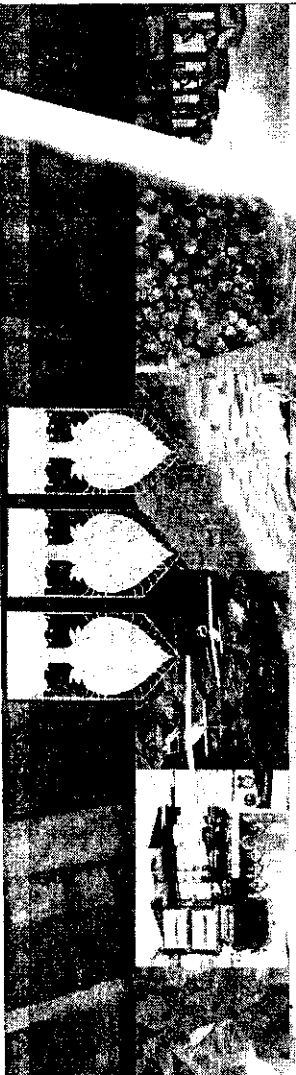
สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

(Subject: Natural Resources and Environment)



“เกษตรศาสตร์เกิดพระเกษรดี ต่อ พระธิดา
เพื่อประโยชน์ไทยอยู่เย็นเป็นสุข”

Kasetsart University celebrates His Majesty's 80th birthday
and 80 years of peace and prosperity in the Kingdom



เรื่องตีพิมพ์ ประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46
The Proceeding of 46th Kasetsart University Annual Conference

เล่มที่ 6

สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

(Subject: Architecture and Engineering)

สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

(Subject: Natural Resources and Environment)

จัดโดย (Organized by)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University)

ร่วมกับ (in cooperation with)

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (Commission of Higher Education)

กระทรวงศึกษาธิการ (Ministry of Education)

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (Ministry of Agriculture and Cooperatives)

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Ministry of Science and Technology)

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

(Ministry of Natural Resource and Environment)

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

(Ministry of Information and Communication Technology)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (National Research Council of Thailand)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (The Thailand Research Fund)

29 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2551 (29 January - 1 February 2008)

15. สด.วศ.24/O73 การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เบนซิน 4缸 และเครื่องยนต์เบนซิน 6缸 ในรถจักรยานยนต์ขนาด 100 ซีซี 119

The Comparative Study of the Performance and Fuel Consumption the Four-Stroke Engine and the Six-Stroke Engine for Motorcycle 100 cc.

โดย อนุศิษฐ์ อ้นมานะตระกูล บรรจบ อรรถ และประจวบ รณนุช

16. สด.วศ.25/O77 Realization of OTA-Based Temperature-Insensitive Floating Stimulators 127

By Winai Jaikla and Montree Stripnuchyanun

17. สด.วศ.26/O78 Voltage-Mode Universal Filter Based on CCCIs 135

By Winai Jaikla and Montree Stripnuchyanun

18. สด.วศ.28/O80 วงจรเรียงสัญญาณเต็มคลื่นโหมกกระแสแบบแม่นยำและอิสระจากจุดหน่วงโดยใช้ DO-CCCTA ที่ควบคุมด้วยกระแส 143

A High-Performance Temperature-Insensitive Current-Mode Precision Employing DO-CCCTA

โดย ชาญชัย ชะปะพรมมา ภนร ศิลลาพันธ์ วิญญ์ ใจกล้า และมนัส ศรีปริญญานันท์

19. สด.วศ.30/O86 การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการรีดเกลือโซเดียมสีเหลือง Electrical Energy Saving in Ironing Clothes of Yellow Polo Shirts โดย อภิวัฒน์ ป่านสาย และสุเทพ ศิริวิทยาปกรณ์

20. สด.วศ.32/O102 การสร้างตัวควบคุมแบบการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 ในกระบวนการระดับ..... 158

The Controller Designed on ARM7 for an Interacting Level Process

โดย อรรถนิษฐ์ พันทา และพิระยศ แดงนันทน์

วงจรรีจิสต์สัญญาณเต็มคลื่นโหมกกระแสแบบแม่นยำและอิสระจากอุณหภูมิโดยใช้ DO-CCCTA

A High-performance, Temperature-insensitive Current-mode Precision Employing DO-CCCTAs

ชาญชัย ชะปะพรมมา¹ ภนร ศิลลาพันธ์² วิญญ์ ใจกล้า³ และมนัส ศรีปริญญานันท์¹
Chayan Chapanomma¹, Phanom Silepan², Winai Jaikla³, and Montree Stripnuchyanun¹

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรรีจิสต์สัญญาณเต็มคลื่น โหมกกระแสแบบแม่นยำโดยใช้ DO-CCCTA ลักษณะเด่นของวงจรมีคือ สามารถเรียงกระแสได้โดยไม่ต้องอาศัยการปรับเฟสของสัญญาณขาเข้าและขาออก ซึ่งแตกต่างจากวงจรรีจิสต์แบบใช้ตัวเก็บประจุ โดยไม่ต้องปรับเฟสหรือเพิ่มอินพุตให้เป็นสัญญาณเต็มคลื่นหรือใช้ตัวเก็บประจุโดยไม่มีตัวเก็บประจุหรือเพิ่มอินพุตให้เป็นสัญญาณเต็มคลื่นหรือใช้ตัวเก็บประจุโดยไม่มีตัวเก็บประจุของวงจรมีข้อดีคือ DO-CCCTA เพียงตัวเดียว โดยปราศจากอุปกรณ์ที่เสถียรก่อนหน้าสำหรับโครงสร้างประกอบไปด้วย DO-CCCTA เพียงตัวเดียว โดยปราศจากอุปกรณ์ที่เสถียรก่อนหน้า ผลการทดสอบสมรรถนะปรากฏว่า วงจรที่นำเสนอสามารถรองรับการทำงานที่เข้ากันอินพุตได้กว้างจาก -1.8mA ถึง 1.8mA อย่างเป็นสิ่งง่ายเพียง ±2 โวลต์ และสามารถทำงานที่แรงดันจ่ายแรงดันเข้า 1.5 โวลต์ อีกทั้งยังสามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงถึงระดับกิโลเฮิรตซ์ อัตราบริบทกำลังไฟฟ้านับเท่ากับ 442mW

ABSTRACT

This article introduces a novel version for implementing high-performance current-mode precision full-wave rectifier, employing Double-Output Current-Controlled Current Conveyor Transconductance Amplifiers (DO-CCCTAs). The features of the proposed rectifier are that: it provides high-precision rectified output signal; the output current is temperature-insensitive. In addition, polarity of the output current signal can be arbitrarily controlled by voltage in the circuit to be

1 ภาควิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

2 ภาควิชาไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏจตุจักร
Electronic Program, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajabhat University

3 ภาควิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Electric and Electronic Program, Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

either positive or negative without changing circuit topology, which differs from the previous literatures. Circuit description merely consists of only single DO-CCCCCTA to serve as current-switching device, without any external passive components. The performances of the proposed circuit are investigated through PSPICE. They show that the proposed circuit can function as a current-mode precision full-wave rectifier where input current ranges changed from -1.8mA to 1.8mA can be achieved at ±2V power supplies. The proposed circuit can operate at supply voltages as low as ±1.5V. The maximum power consumption is 442µW. Furthermore, the highest frequency is restricted at megahertz range. With claimed outstanding features, it is very appropriate to further develop the proposed circuit to be a part of a monolithic chip for working in a current-mode signal processing.

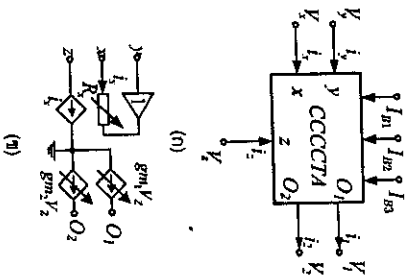
Keywords: Rectifier, DO-CCCCCTA, current-mode

บทนำ

วงจรซึ่งสัญญาณแบบมีขั้วถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการประมวลผลสัญญาณหรืออัตราการไหลไปใต้ตัว วงจรแบบเต็มขั้วจากไฟตลับไปเป็นไฟกระแสตรง วงจรรวมจะจับคู่สัญญาณ วงจรรวมจับคู่สัญญาณ ซึ่งรวมรวมคุณสมบัติของ AM และระบบควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ เป็นต้น [1-2] โดยวงจรซึ่งสัญญาณแบบมีขั้วที่ทำงานในโหมดแรงดัน จะใช้ข้อบ่งชี้ร่วมกับไดโอด [3] ในกรณีนี้สัญญาณชนิดที่ตรวจการคิดเหมือนกันจะผ่านศูนย์ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของไดโอด [4] ต่อมาจึงได้มีผู้เพิ่มเข้าปฏิกิริยาเชิงลบ โดยได้เสนอวงจรสัญญาณแบบมีขั้วโดยไม่ให้ไดโอด [5] และได้มีการพัฒนาโดยใช้อุปกรณ์ออปติฟรูดอื่น แทนการใช้ข้อบ่งชี้เพื่อไม่ให้เกิดความถี่ของสัญญาณ เช่น ใช้วงจรสายพานกระแส [6] วงจรขยายข้อบกพร่อง [7]

ในบทความนี้จะมีความพยายามที่จะลดแรงดันไฟเลี้ยง ในวงจรและระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เนื่องมาจากความต้องการที่จะมีขั้วสัญญาณแบบทิศทาง หรืออุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สาย ที่ต้องใช้แบบต่อเนื่องกันเป็นแหล่งจ่ายกำลังงาน ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคการทำงานในโหมดกระแส (Current-Mode) ซึ่งใช้ข้อผิดพลาดเป็นแบบเทียบเทคนิคการทำงานไปในโหมดแรงดัน ได้แก่ มีวงจรถ่ายสัญญาณ (Larger Dynamic Range) มีแบบเดียว กว้างและเรขาคณิตกำลังงานต่ำ [8-9] นอกจากนี้เทคนิคการออกแบบวงจรให้ทำงานในโหมดกระแส ยังใช้ข้อผิดพลาดเปรียบเทียบสัญญาณได้จากเอกสารอ้างอิง [10-11] จากการสำรวจพบว่า ได้มีผู้นำเสนอวงจรเรขาคณิตเทียบสัญญาณในโหมดกระแสอยู่บ้าง [12-13] อย่างไรก็ตามพบว่า วงจรที่มีประสิทธิภาพดีนั้นจึงสัญญาณแบบต่อเนื่องกัน ไม่สามารถเทียบสัญญาณได้โดยตรงจากตัวคูณตัวคูณ (Current Inverter) ซึ่งส่งผลให้วงจรมีความซับซ้อนขึ้น อีกทั้งบางวงจรยังมีมีการใช้อุปกรณ์เรขาคณิตเทียบสัญญาณ เมื่อไม่นานมานี้ได้มีผู้นำเสนอวงจรเรขาคณิตเทียบสัญญาณที่ให้อุปกรณ์เทียบสัญญาณโดยตรง แต่ต้องใช้จำนวนอุปกรณ์ที่มากกว่า [14] ซึ่งไม่เหมาะที่จะสร้างเป็นวงจรรวมและไม่สามารถรองรับการทำงานแบบต่อเนื่องกันได้อย่างดี [15] นอกเหนือจากนั้นแล้ววงจรส่วนใหญ่ของทั้งหมดที่กล่าวมานี้ อิทธิพลของการเปลี่ยนแบบของอุปกรณ์ยังส่งผลต่อการทำงานมาก จากปัญหานี้ที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวงจรเรขาคณิตเทียบสัญญาณแบบใหม่และแบบมีขั้ว ที่สามารถควบคุมทิศทาง หรือข้อบ่งชี้ของกระแสเอาต์พุตได้

โดยไม่เพียงแต่เพียงโครงสร้างของวงจรหรือที่แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางทำได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีการปรับกระแสไปและกลับตามทิศทางที่กำหนดโดยอัตโนมัติโดยง่าย โครงสร้างของวงจรประกอบด้วย DO-CCCCCTA ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้ใช้งานเองไม่จำเป็นต้องเป็นอุปกรณ์ในโหมดกระแสอย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ สัญญาณเอาต์พุตและอินพุตเป็นกระแสทั้งหมด และสามารถควบคุมของตัวได้โดยง่าย ผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรโดยใช้ PSPICE พบว่า วงจรสามารถรองรับสัญญาณอินพุตได้กว้างได้ถึงระดับมิลลิแอมป์ มีอัตราการทำงานที่ต่ำกว่าถึงสามเท่า สามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงถึงระดับเมกะเฮิรตซ์ และยังเป็นการควบคุมที่ง่ายยิ่งขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 1 (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูลของ DO-CCCCCTA

2. วงจรและหลักการการทำงานของ 2.1 หลักการทำงานของ DO-CCCCCTA เนื่องจากวงจรที่นำเสนอ มี DO-CCCCCTA เป็นอุปกรณ์หลัก หัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงคุณสมบัติของ DO-CCCCCTA พอสังเขป ตามสัมพันธ์ของกระแสแบบดั้งเดิมของ DO-CCCCCTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมทริกซ์ได้ดังนี้ [16]

$$\begin{bmatrix} I_x \\ I_y \\ I_z \\ I_{y_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{y_1} \\ I_x \\ I_z \\ I_{y_2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

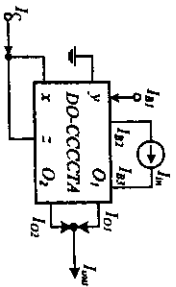
ลักษณะสมบัติของ DO-CCCCCTA โดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้าย CCCCTA (Current Controlled Current Conveyor Transconductance Amplifier) แต่ DO-CCCCCTA จะมีเอาต์พุตสองตัว ซึ่งจะมีค่าความต้านทานอินพุตที่เท่า ๆ (R_i) มีค่าจำกัด ซึ่ง R_i สามารถควบคุมได้จากกระแสไปและกลับ I_x ซึ่งสามารถเขียนเป็น

$$R_i = \frac{I_x}{g_{m1}} \quad (2)$$

ค่าความนำภายในของ DO-CCCCCTA มีค่าจำกัด โดยสามารถควบคุมได้ที่ g_{m1} ดังนั้นแสดงได้ตามสมการที่ (3)

$$S_{A,2} = \frac{I_{B2}}{2I_T} \quad (3)$$

เมื่อ V_T เป็นค่าความดันย้อน CCCCCTA มีลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 2 โครงสร้างของวงจรเรียงสัญญาณเต็มคลื่นที่นำเสนองาน

2.2 ผลการจำลองวงจรเรียงสัญญาณเต็มคลื่นที่นำเสนองาน

พิจารณาจากโครงสร้างของวงจรเรียงสัญญาณเต็มคลื่นที่นำเสนองานที่ 2 โดยได้คุณสมบัติของ DO-CCCCCTA เมื่อทราบลักษณะที่สัมพันธ์กัน จะได้ว่า [17]

$$I_{O1} = \begin{cases} 0 & \text{if } I_m > 0 \\ I_m \tanh\left(\frac{Y}{2I_T}\right) & \text{if } I_m < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$I_{O2} = \begin{cases} I_m \tanh\left(\frac{Y}{2I_T}\right) & \text{if } I_m > 0 \\ 0 & \text{if } I_m < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$I_C = I_1 + I_2 \quad (6)$$

$$I_1 = \frac{I_C}{2} \quad (7)$$

$$Y = \frac{I_C I_T}{4I_m} \quad (8)$$

$$\tanh\left(\frac{Y}{2I_T}\right) = 1 \quad (9)$$

นั่นคือ การทำงานของ DO-CCCCCTA จะอยู่ในช่วงอิมิตีว หมายถึงความว่า กระแส I_{O1} และ I_{O2} จะมีค่าเท่ากับ I_m ซึ่งหากสังเกตจากสมการที่ (8) สามารถกำหนดให้ทำงานในช่วงนี้ได้โดย ให้ $I_C \approx 8I_m$ ซึ่งจะได้ว่า

$$I_{O1} = \begin{cases} 0 & \text{if } I_m > 0 \\ I_m & \text{if } I_m < 0 \end{cases} \quad (10)$$

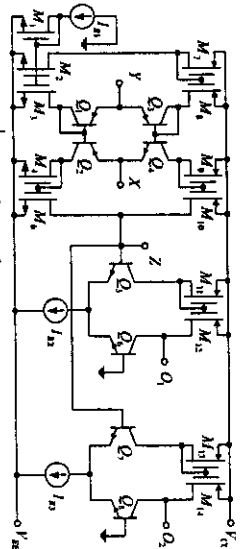
$$I_{O2} = \begin{cases} I_m & \text{if } I_m > 0 \\ 0 & \text{if } I_m < 0 \end{cases} \quad (11)$$

ดังนั้น กระแสเอาต์พุต (I_{out}) จะได้ว่า

$$I_{out} = |I_m| \quad \text{if } I_C \approx 8I_m \quad (12)$$

$$I_{out} = -|I_m| \quad \text{if } I_C \approx 8I_m \quad (13)$$

จากสมการที่ (12-13) จะพบว่า กระแสเอาต์พุตจะเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับกระแสอินพุต โดยสามารถกำหนดทิศทางหรือขั้วของกระแสเอาต์พุตได้จากค่ากระแส I_C

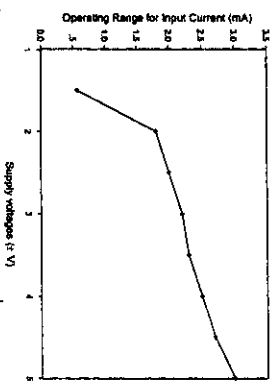


รูปที่ 3 โครงสร้างภายใน BICMOS DO-CCCCCTA

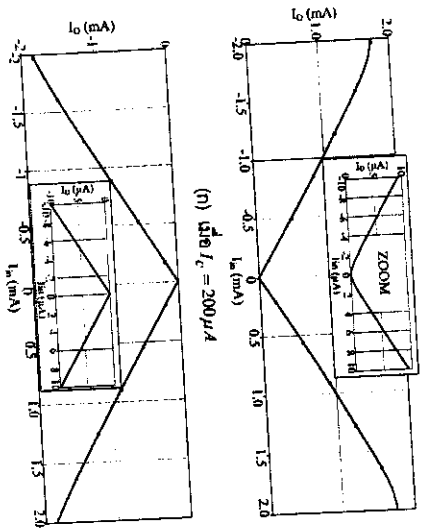
3. ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ จึงได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSPICE สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรถือได้ใช้พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์แบบ PR200N และ NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ที่ระบุไว้สำหรับ AT&T [18] และ สำหรับทรานซิสเตอร์ PMOS และ NMOS ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรถือได้ใช้พารามิเตอร์ของ 0.35μm TSMC CMOS เทคโนโลยี [19] โดยกำหนดให้ค่า V_{DD} ของ PMOS ทรานซิสเตอร์เท่ากับ 5.5V และ NMOS ทรานซิสเตอร์เท่ากับ 1.2V.4 วงจรทำงานที่แหล่งจ่าย ±2V รูปที่ 3 เป็นโครงสร้างภายใน DO-CCCCCTA ซึ่งใช้เป็นลักษณะ BICMOS เพื่อใช้ยังคงมีคุณสมบัติที่เหมือนทรานซิสเตอร์ (Transistor) จากไปโพลาร์ และให้แหล่งจ่ายระดับความดันเอาต์พุตสูงจากการใช้ CMOS เป็นวงจรระดับกระแส

ผลในรูปที่ 4 เป็นการแสดงขั้วนำการรองรับสัญญาณอินพุต เมื่อเปลี่ยนค่าแรงดันแหล่งจ่าย โดยวงจรสามารถรองรับสัญญาณอินพุตได้ในช่วงกว้างถึง ±3mA เมื่อแหล่งจ่าย ±5V อย่างไรก็ตามวงจรที่นำเสนอขึ้นยังสามารถทำงานได้ตั้งแต่ค่าถึง ±1.5V โดยจะเรียกการรองรับสัญญาณอินพุตแบบสองขั้วซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่าต้องการใส่ไบโพลาร์ รูปที่ 5 แสดงคุณสมบัติการรับเอาต์พุตของวงจรเรียงสัญญาณแบบเต็มคลื่น ระหว่างกระแสเอาต์พุตที่เชื่อมกับกระแสอินพุต โดยปรับค่า $I_{B1} = I_{B2} = 1\mu A$ และ $I_C = \pm 200\mu A$ เห็นได้ชัดจนกว่า วงจรที่นำเสนอนี้สามารถรองรับสัญญาณอินพุตได้ในช่วงกว้างได้ถึง ±1.8mA โดยไม่มีกระแสตอบกลับ อีกทั้งยังสามารถควบคุมทิศทางของกระแสเอาต์พุตได้จาก I_C

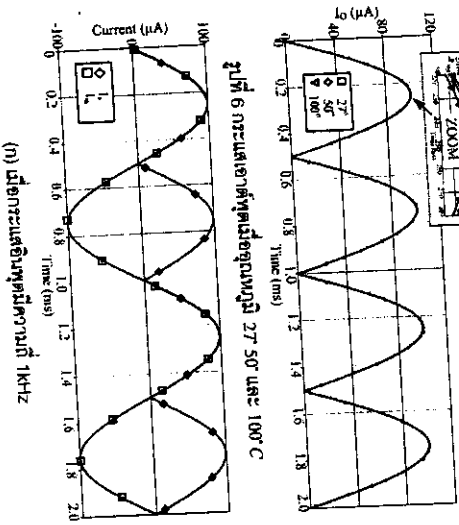


รูปที่ 4 ขั้วนำการที่ทำงานของสัญญาณอินพุตที่แหล่งจ่าย



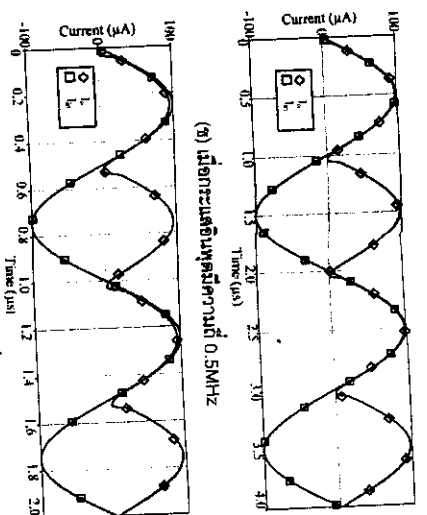
รูปที่ 5 คุณสมบัติการถ่ายโอนทางไฟตรงของวงจร

จากรูปที่ 6 เป็นผลของกระแสเอาต์พุตเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 3 ค่าคือ 27.50°C และ 100°C พบว่า
 งานของกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิด้วย ส่วนรูปที่ 7 แสดงกระแสเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนแปลง
 ความถี่อินพุต แสดงให้เห็นว่า วงจรที่นำเสนอสามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงระดับเมกะเฮิรตซ์ โดยที่ขนาด
 ของสัญญาณเอาต์พุตไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 6 กระแสเอาต์พุตเมื่ออุณหภูมิ 27.50°C และ 100°C

(ก) เมื่อกระแสอินพุตมีความถี่ 1KHz



รูปที่ 7 ผลของกระแสเอาต์พุตเทียบกับกระแสอินพุต

สรุป

ในบทความนี้ได้นำเสนอ วงจรเรียงสัญญาณต้นตมเป็นในบทความที่มีความแม่นยำสูงโดยใช้ DO-
 CCCCTA ที่สามารถเรียงสัญญาณกระแสโดยปราศจากออปโตคอปเลอร์ได้ ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางของกระแส
 เอาต์พุตได้เป็นสัญญาณด้านบวกหรือด้านลบ ได้ ด้วยกระแสอินพุตของ DO-CCCCTA โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลง
 โครงสร้าง ของวงจรหรือเพิ่มเติมวงจรอื่นแต่อย่างใด โครงสร้างของวงจรประกอบด้วย DO-CCCCTA ชนิด
 BiCMOS เพียงตัวเดียว ผลการจำลองการทำงานด้วย PSpice พบว่าวงจรที่นำเสนอ สามารถรองรับการทำงาน
 ที่ย่านอินพุต จาก -1.8mA ถึง 1.8mA อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแหล่งจ่าย ±2 โวลต์ ยังสามารถรองรับการที่ขั้วนำ
 อินพุตได้ถึง -3mA ถึง 3mA อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแหล่งจ่าย ±2 โวลต์ ยังสามารถรองรับการที่ขั้วนำ
 ต่อกระแสเอาต์พุตได้เป็นอย่างดี และสามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงระดับเมกะเฮิรตซ์ วงจรที่นำเสนอเหมาะที่จะนำไป
 พัฒนาเป็นวงจรรวม เพื่อนำไปใช้งานที่ทำการประมวลผลสัญญาณในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Boonchu and W. Surakamponkorn, "A CMOS Current-mode squarer/rectifier circuit," Proc. IEEE ISCAS2003, pp. 1405-1408, 2003.
- [2] C. Tounmazou, F. J. Lidzey and S. Chaloung, "High frequency current conveyor precision full-wave rectifier," Electronic Letters, vol. 30, pp. 745-746, 1994.
- [3] R. F. Coughlin and F. Driscoll, Operational Amplifier and Linear Integrated Circuit, New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [4] J. G. Stepihan, "Novel precision full-wave rectifier," IEEE International Conference on Circuits and Systems, pp. 206-209, 2000.
- [5] J. Sibum and D. M. Kim, "CMOS precision half-wave rectifier," IEICE Transaction on Fundamentals of electronics, communications and computer sciences, vol. E80-A, pp. 2000-2005, 1997.

- [6] A. Monpasorn, K. Dehjan and F. Cheevasuvit, "A full-wave rectifier using a current conveyor and current mirror," *Int. J. Elec.*, vol. 88, pp. 751-758, 2002.
- [7] S. J. G. Gift, "New precision rectifier with high accuracy and wide bandwidth," *Int. J. Elec.*, vol. 92, pp. 601-617, 2001.
- [8] D. R. Bhaskar, V. K. Sharma, M. Mohs and S. M. I. Rizvi, "New current-mode universal biquad filter," *Microelectronics Journal*, vol. 30, pp. 837-839, 1999.
- [9] C. Tournazou, F. J. Lidgley and D. G. Haigh, *Analogue IC design: the current-mode approach*, London: Peter Peregrinus, 1990.
- [10] G. S. Hlas and T. N. Laopoulos, "Circuit design: a study on voltage-mode to current-mode conversion technique," *Proc. of MELECON 96*, pp. 1309-1312, 1996.
- [11] H. Schmid, "Why the terms 'current mode' and 'voltage mode' neither divide nor qualify circuits," *IEEE ISCAS2002*, pp. 11-29-11-32, 2002.
- [12] S. Khucharsinsin and V. Kasemsuwan, "High performance CMOS current-mode precision full-wave rectifier," *IEEE ISCAS2003*, pp. 1-41-1-44, 2003.
- [13] A. Kongsak, T. Worapong, R. Vanchai and S. Wanlop, "sinusoidal frequency doubler and full-wave rectifier based on translinear current-controlled current conveyors," *Int. J. Elec.*, vol. 91, pp. 227-239, 2004.
- [14] นาย ศิลาพันธ์, วัชร ใจคำ, ไชยพันธ์ ประทุมมา และ นนตรี ศรีปรัญญานนท์, "วงจรตัวส่งสัญญาณแบบตัวนำและตัวเก็บประจุแบบอนุกรมโดยใช้ CDTA ที่ควบคุมด้วยกระแส", *การประจักษ์วิทยาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า* ครั้งที่ 30, หน้า 893-896, 2550
- [15] A. Anwar, M. Khan, A. El-Ela and M. A. Al-Juraigi, "Current-mode precision rectifier," *Int. J. Elec.*, vol. 79, pp. 853-859, 1995.
- [16] M. Srinachyanun, M. Phaitanasak and W. Jankla, "Current Controlled Current Conveyor Transconductance Amplifier (CCCTA): A Building Block for Analog Signal Processing", *การประจักษ์วิทยาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า* ครั้งที่ 30, หน้า 897-900, 2550
- [17] A. B. Grebene, *Bipolar and MOS analog integrated circuit design*, New York: John Wiley & Sons, 1984
- [18] D. R. Frey, "Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering," *IEE Proc. Circuit Devices Syst.*, vol. 140, pp. 406-416, 1993.
- [19] E. Yuca, S. Tokel, A. Kizilkaya and O. Cicekoglu, "CCH-based PID controllers employing grounded passive components," *Inter. J. of Elec. & Commu. (AEU)*, vol. 60, pp. 399-403, 2006.