

## วงจรรขยายสัญญาณแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้น Nonlinear Compensated Voltage Amplifiers

แสงระวี บัวแก้ว<sup>1</sup> วิชาวัฒน์ นาคทรัพย์<sup>2</sup> และไวยพจน์ ศุภบวรเสถียร<sup>2</sup>

Seangrawee Buakaew<sup>1</sup>, Wipavan Narksarp<sup>2</sup> and Vyapote Supabowornsathian<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรรขยายสัญญาณแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นที่มีหลักการพื้นฐานจากอินเวอร์สฟังก์ชันจำนวนสองรูปแบบทั้งชนิดที่สร้างจากวงจรรขยายพานกระแสและวงจรรโอทีเอที่ปรับค่าอัตราขยายกระแสได้ วงจรรขยายแรงดันที่นำเสนอมีข้อดีคือมีย่านการทำงานเป็นเชิงเส้นที่กว้างและให้ค่าความผิดเพี้ยนที่ต่ำ อีกทั้งมีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน อาศัยเพียงอุปกรณ์แอกทีฟเท่านั้น จึงทำให้มีความน่าสนใจในการผลิตเป็นวงจรรวม นอกจากนี้อัตราขยายแรงดันของวงจรรสามารถปรับให้มีค่าเป็นบวกหรือลบได้จากการควบคุมที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ไบอัสภายในวงจรร ทำให้วงจรรมีคุณสมบัติเป็นได้ทั้งวงจรรขยายแบบกลับเฟสและวงจรรขยายแบบไม่กลับเฟสในวงจรรเดียวกัน โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงโครงประกอบในวงจรรแต่ประการใด ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ยืนยันการทำงานของวงจรรที่นำเสนอสอดคล้องตามหลักการทางทฤษฎี

**คำสำคัญ** : วงจรรขยายแรงดัน วงจรรขยายพานกระแส วงจรรโอทีเอ

### ABSTRACT

Two new schemes of voltage amplifiers with nonlinear compensation based on inverted function are presented in this paper. The proposed circuits are implemented from current conveyors and operational transconductance amplifiers with controlled current gain. Wide linearity range and low distortion including simple structures are the advantages of the proposed current amplifiers. Owing to employing only active components, the proposed circuits are attractive for IC fabrication. The voltage gain values of these circuits can be adjusted to be either positive or negative by using current control. This enables the proposed circuits to realize a non-inverting amplifier or inverting amplifier without changing the circuit topology. Simulation results are confirming the capabilities of the circuits with the theory.

**Keywords** : Current amplifier, Current conveyor, OTA

E-mail : ktseangr@kmitl.ac.th

<sup>1</sup> ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Department of Electronics, Faculty of Engineering, King Mongkut Institute of Ladkrabang, Bangkok 10520

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพฯ 10160

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University, Bangkok 10160

## คำนำ

วงจรรขยายสัญญาณนั้นเป็นวงจรพื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีขาดเสียมิได้ในกระบวนการประมวลสัญญาณและพบเห็นได้บ่อยในงานวิศวกรรมสาขาต่างๆที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น ในการประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์ของระบบเครื่องมือวัด หรือในส่วนภาครับสัญญาณของระบบการสื่อสาร เป็นต้น ดังนั้นวงจรรขยายสัญญาณนับได้ว่าเป็นวงจรพื้นฐานที่สำคัญมาก จึงทำให้มีการพัฒนางวงจรรกันขึ้นอย่างกว้างขวาง ดังจะเห็นได้จากการนำเสนอบทความหลากหลายเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ผ่านมาและมีการปรับปรุงวงจรรในรูปแบบต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไป ทั้งในรูปแบบที่สร้างจากไมโครโพรเซสเซอร์และซีพียูและซีพียูและซีพียู

วงจรรขยายสัญญาณดังกล่าวมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ ซึ่งสามารถจำแนกตามลักษณะเด่นที่ใช้เป็นประเด็นต่าง ๆ อาทิเช่น วงจรรขยายสัญญาณ (Fabre A, 1988) มุ่งเน้นที่จะเพิ่มพิสัยพลวัตของวงจรรให้มากขึ้น และยังสามารถลดความผิดเพี้ยนของวงจรรให้ต่ำกว่าวงจรรที่มีอยู่เดิม ต่อมาได้มีผู้วิจัย (Duncan R. A. และคณะ, 1994 และ Chrisanthopoulos A และคณะ, 1999) ได้เสนอวงจรรขยายให้มีย่านการทำงานที่ความถี่สูงขึ้นและวงจรรสามารถจ่ายกระแสเอาต์พุตให้สูงมากขึ้นได้ตามลำดับ นอกจากนี้การปรับปรุงวงจรรขยายสัญญาณให้มีการประหยัดพลังงานโดยออกแบบวงจรรให้มีโครงสร้างที่เล็ก กะทัดรัด และใช้อุปกรณ์ที่มีจำนวนน้อยลงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจอยู่ไม่น้อย รวมทั้งการใช้คุณสมบัติในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรรด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์นั้นก็ยังได้รับความนิยมในการวิจัยเพราะทำให้วงจรรเกิดความคล่องตัวในการทำงานและยังสามารถควบคุมค่าได้อย่างอัตโนมัติอีกเป็นสำคัญ

วงจรรขยายแรงดัน (Fabre A. และคณะ, 1988) ที่สร้างขึ้นจากวงจรรสายพานกระแส และตัวต้านทานชนิดพาสซีฟอีกหนึ่งตัว วงจรรดังกล่าวนี้มีความน่าสนใจที่สามารถทำการปรับค่าอัตราขยายกระแสของวงจรรได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์โดยวิธีการปรับค่ากระแสไบอัสของวงจรรสายพานกระแส ในทำนองเดียวกันวงจรรขยาย (Geiger R.L. และคณะ, 1985) ถูกสร้างขึ้นจากวงจรรโอทีเอทีที่สามารถควบคุมค่าอัตราขยายด้วยวิธีการเดียวกัน อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าทั้งวงจรรสายพานกระแสและวงจรรโอทีเอที นั้นเป็นวงจรรที่มีช่วงการปฏิบัติงานแบบเชิงเส้นจำกัดอยู่ค่อนข้างมาก ถ้าทรานซิสเตอร์ที่ใช้ประกอบในวงจรรนั้นไม่ได้รับการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นก่อนกล่าวคือในการทำงานแบบเป็นเชิงเส้นของวงจรรสายพานกระแสแบบทรานสลิเนียร์รูปและวงจรรโอทีเอทีเอมีช่วงแรงดันอินพุตที่ถูกจำกัดอยู่ในช่วงไม่เกินค่าแรงดันเชิงอุณหภูมิจน อุณหภูมิห้องมีค่าโดยประมาณ 26 mV ด้วยเหตุดังกล่าวนั้นจึงทำให้วงจรรขยายแรงดัน (Fabre A. และคณะ, 1988 และ Geiger R.L. และคณะ, 1985) นั้นมีย่านการทำงานที่เป็นแบบเชิงเส้นอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างไม่น่าจะพอใจเท่าไรนัก เพราะอาจทำให้เกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณเอาต์พุตได้ ถ้าสัญญาณอินพุตมีการกระเพื่อมที่แรงมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดความถี่ฮาร์โมนิกที่ไม่พึงประสงค์ขึ้นด้วย ถ้าสัญญาณอินพุตของวงจรรเป็นสัญญาณที่มีองค์ประกอบของความถี่

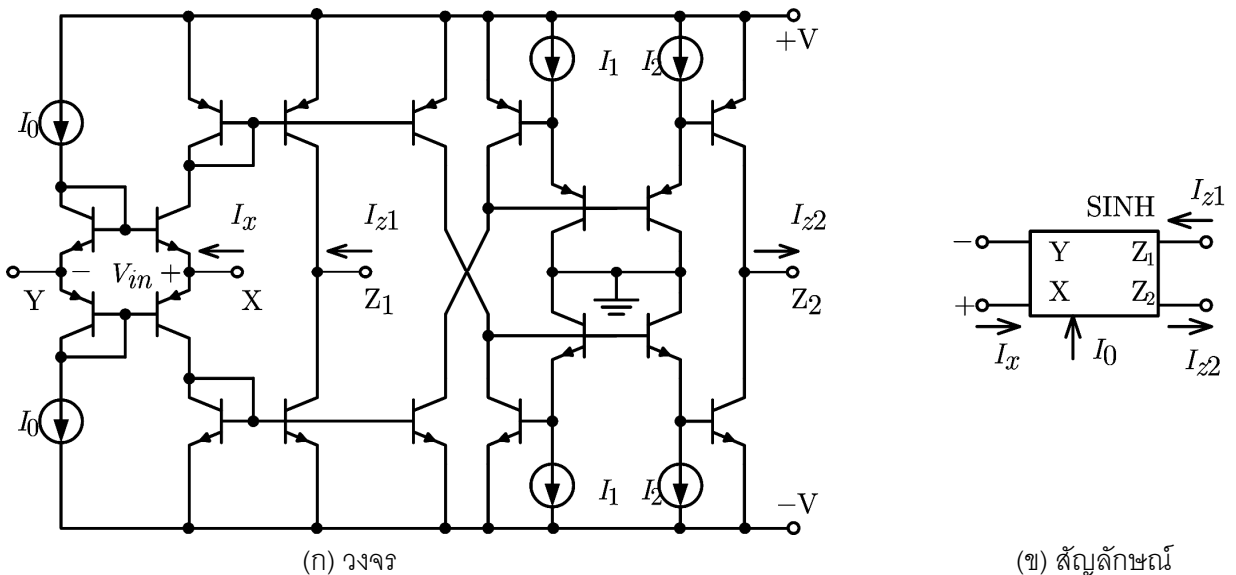
บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรรขยายแรงดันที่สร้างขึ้นจากวงจรรสายพานกระแสและวงจรรโอทีเอทีทำให้วงจรรมีช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้นที่กว้างออกไป โดยอาศัยประโยชน์ของความไม่เป็นเชิงเส้นที่มีอยู่ทั้งในวงจรรสายพานกระแสและวงจรรโอทีเอทีมาชดเชย ทำให้เกิดความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตที่สามารถทำให้ช่วงปฏิบัติงานแบบเชิงเส้นของวงจรรกว้างขึ้นได้เมื่อเทียบกับช่วงปฏิบัติงานแบบเชิงเส้นแบบเดิมที่ยังไม่ได้ชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้น วงจรรขยายแรงดันที่นำเสนอนี้มีข้อดีคือทรานซิสเตอร์แต่ละตัวที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นใด ๆ ไว้ก่อนเลย สามารถนำมา

สร้างเป็นวงจรรขยายแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นได้ จึงทำให้ประหัตอุปกรณ์ลงไปได้ อีกทั้งวงจรรขยายสัญญาณที่สร้างขึ้นก็อาศัยเฉพาะอุปกรณ์ชนิดเอกที่พเท่านั้น สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมได้ นอกจากนี้วงจรมีคุณสมบัติเป็นวงจรรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสหรือแบบกลับเฟสได้ภายในวงจรเดียวกันโดยการปรับเปลี่ยนค่ากระแสไบอัสเพียงเท่านั้น และค่าอัตราขยายของวงจรสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์

## ทฤษฎีและหลักการ

### 1. วงจรรขยายพานกระแสและวงจรอโตที่เอที่ปรับค่าอัตราขยายได้

วงจรรขยายแรงดันที่น่าเสนอนี้มีสองรูปแบบด้วยกันคือ โครงสร้างที่สร้างขึ้นจากวงจรรขยายพานกระแสแบบปรับค่าได้ และวงจรอโตที่เอแบบปรับค่าได้ ดังนั้นเพื่อความเข้าใจได้ง่าย จึงขอกล่าวถึงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของวงจรทั้งสองที่ใช้ในบทความนี้พอสังเขป โดยที่วงจรรขยายพานกระแสแบบปรับค่าได้ มีโครงสร้างภายในและสัญลักษณ์ของวงจรเป็นดังรูปที่ 1(ก) และ 1(ข) ตามลำดับ



รูปที่ 1 วงจรและสัญลักษณ์ของวงจรรขยายพานกระแสแบบปรับค่าได้

กระแสเอาต์พุตที่ได้จากพอร์ต  $Z_1$  สามารถอธิบายได้ดังสมการ

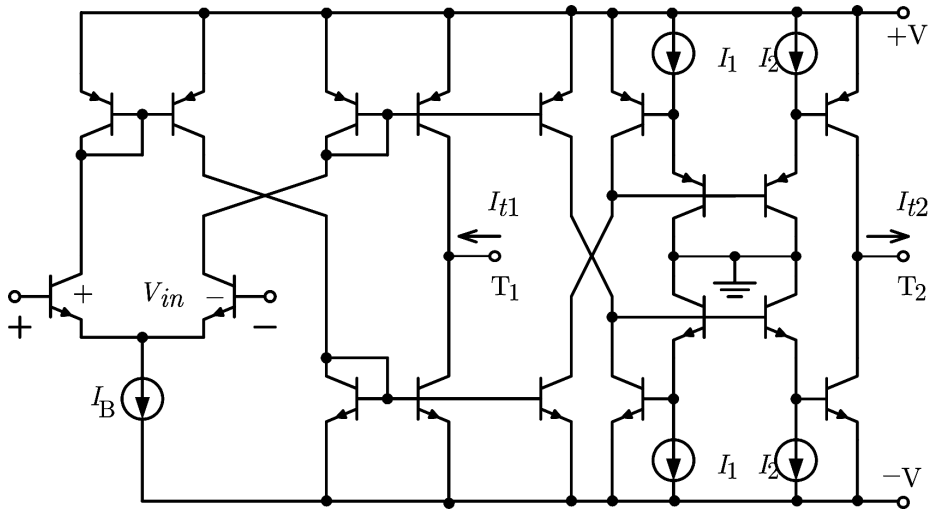
$$I_{z1} = I_x = 2I_0 \sinh\left(\frac{V_{in}}{V_T}\right) \quad (1)$$

กระแสที่พอร์ต  $Z_2$  มีความสัมพันธ์เป็น

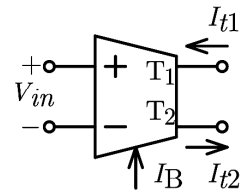
$$I_{z2} = -I_x = -2kI_0 \sinh\left(\frac{V_{in}}{V_T}\right) \quad (2)$$

โดยที่  $I_0$  คือ กระแสไบอัส  $V_T$  คือแรงดันอุณหภูมิ และ  $k = I_1/I_2$  คืออัตราขยายกระแสของวงจรรขยายพานกระแส

วงจรรอที่เอแบบปรับค่าได้มีโครงสร้างภายในและสัญลักษณ์เป็นดังรูปที่ 2(ก) และ 2(ข) ตามลำดับ



(ก) วงจรรอที่เอ



(ข) สัญลักษณ์

รูปที่ 2 วงจรและสัญลักษณ์ของวงจรรอที่เอแบบปรับค่าได้

กระแสเอาต์พุต  $I_{t1}$  ที่ได้จากขั้ว  $T_1$  ของวงจรรอที่เอ เขียนแทนด้วยสมการ

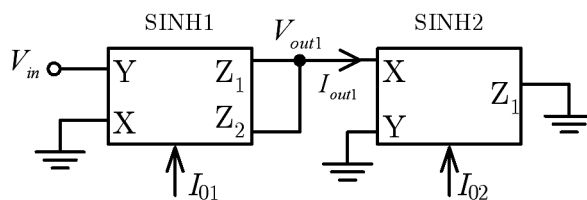
$$I_{t1} = I_B \tanh\left(\frac{V_{in}}{2V_T}\right) \quad (3)$$

โดยที่กระแสเอาต์พุต  $I_{t2}$  ได้จากขั้ว  $T_2$  มีค่าเป็นจำนวน  $k$  เท่าของกระแสเอาต์พุต  $I_{t1}$  แต่มีทิศทางที่ตรงข้ามกัน ดังสมการ

$$I_{out2} = I_B \tanh\left(\frac{V_{in}}{2V_T}\right) - kI_B \tanh\left(\frac{V_{in}}{2V_T}\right) \quad (4)$$

## 2. วงจรขยายแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นที่นำเสนอ

วงจรรขยายแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นที่สร้างจากวงจรสายพานกระแส มีแผนภาพดังรูปที่ 3 โดยที่วงจรสายพานกระแสด้านซ้ายมือ ทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงสัญญาณแรงดันให้เป็นสัญญาณกระแส ในขณะที่วงจรสายพานกระแสด้านขวามือทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงสัญญาณกระแสให้เป็นสัญญาณแรงดัน



รูปที่ 3 วงจรรขยายแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นที่สร้างจากวงจรสายพานกระแส

ในการวิเคราะห์วงจร ถ้ากำหนดเงื่อนไขการทำงานให้วงจรสายพานกระแสตัวหนึ่งมีกระแสไบอัสเป็น  $I_{01}$  และ วงจรสายพานกระแสตัวที่สองมีกระแสไบอัสเป็น  $I_{02}$  เมื่อคิดผลรวมของกระแสที่ไหลที่โหนด  $V_{out1}$  ทำให้ได้ความสัมพันธ์ที่โหนด  $V_{out1}$  เป็นดังนี้

$$I_{out1} = 2I_{01} \sinh\left(\frac{V_{in}}{V_T}\right) - 2kI_{01} \sinh\left(\frac{V_{in}}{V_T}\right) \quad (5)$$

เมื่อขั้ว X ของวงจรรายพานกระแสตัวที่สองได้รับกระแส  $I_{out1}$  ทำให้เกิดแรงดัน  $V_{out1}$  ที่มีค่าเป็นไปตามสมการนี้

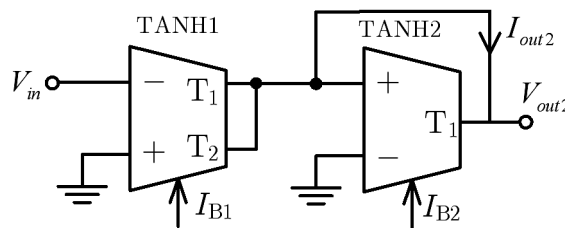
$$V_{out1} = V_T \sinh^{-1}\left[\frac{I_{out1}}{2I_{02}}\right] \quad (6)$$

เมื่อแทนค่ากระแส  $I_{out1}$  จากสมการ (5) ลงใน (6) และจัดรูปสมการใหม่ ทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตเป็น

$$V_{out1} = \frac{I_{01}}{I_{02}} \cdot (1 - (I_1/I_2)) \cdot V_{in} \quad (7)$$

เมื่อพิจารณสมการ (7) พบว่าแรงดันเอาต์พุต  $V_{out1}$  และแรงดันอินพุต  $V_{in}$  มีความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นกัน และสังเกตว่าค่าอัตราขยายแรงดันก็สามารถปรับค่าได้โดยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยการปรับค่ากระแสไบอัส  $I_{01}$  และ  $I_{02}$  อีกทั้งวงจรมีคุณสมบัติในการทำงานเป็นวงจรรายแบบไม่กลับเฟสได้ก็ต่อเมื่อ  $I_1 < I_2$  และในทางกลับกันวงจรมีการทำงานเป็นวงจรรายแบบกลับเฟสได้เมื่อ  $I_1 > I_2$

ในทำนองเดียวกันวงจรรายแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นที่สร้างจากวงจรวอร์ไอทีเอ มีแผนภาพวงจรมีดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรรายแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นที่สร้างจากวงจรวอร์ไอทีเอ

กำหนดให้  $I_{B1}$  เป็นกระแสไบอัสของวงจรวอร์ไอทีเอตัวที่หนึ่ง และ  $I_{B2}$  เป็นกระแสไบอัสของวงจรวอร์ไอทีเอตัวที่สอง ได้แรงดันเอาต์พุตเป็น

$$V_{out2} = \frac{I_{B1}}{I_{B2}} \cdot (1 - (I_1/I_2)) \cdot V_{in} \quad (8)$$

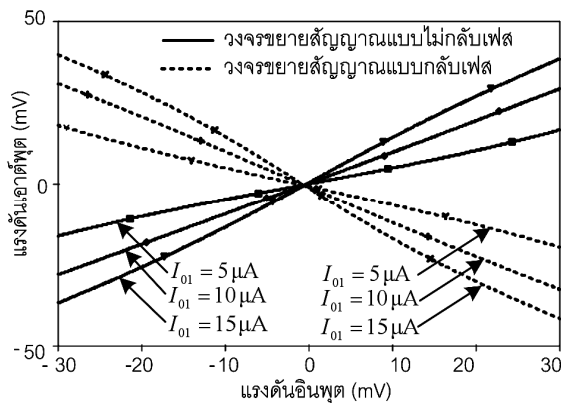
จากสมการ (8) พบว่า แรงดันเอาต์พุต  $V_{out2}$  และ แรงดันอินพุต  $V_{in}$  มีความสัมพันธ์กันอย่างเป็นเชิงเส้น โดยค่าอัตราขยายแรงดันนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยการปรับค่ากระแสไบอัส  $I_{B1}$  และ  $I_{B2}$  และยังสามารถทำงานเป็นวงจรรายแบบไม่กลับเฟสได้ก็ต่อเมื่อ  $I_1 < I_2$  และเป็นวงจรรายแบบกลับเฟสได้เมื่อ  $I_1 > I_2$  เช่นเดียวกับวงจรรายแรงดันที่สร้างจากวงจรรายพานกระแส

#### ผลการจำลองการทำงานของวงจรม

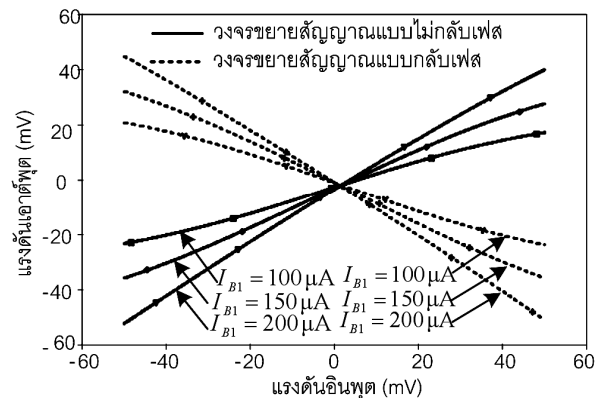
เพื่อตรวจสอบการทำงานของวงจรรายแรงดันที่นำเสนอ ได้จำลองวงจรมด้วยโปรแกรม PSPICE ป้อนอินพุตเป็นสัญญาณแรงดันไซน์ที่มีค่าตั้งแต่ -50 mV จนถึง 50 mV ให้กับวงจรมที่สร้างจากวงจรรายพานกระแสตาม

รูปที่ 3 เมื่อวงจรทำงานแบบไม่กลับเฟสเลือกใช้กระแสไบอัส  $I_{O2}=5\mu A$ ,  $I_1=30\mu A$  และ  $I_2=60\mu A$  และในขณะที่วงจรทำงานแบบกลับเฟสใช้กระแสไบอัส  $I_{O2}=5\mu A$ ,  $I_1=45\mu A$  และ  $I_2=30\mu A$  พร้อมกันนั้นเมื่อปรับค่ากระแสไบอัส  $I_{O1}$  ของวงจรทั้งสองให้มีค่าต่าง ๆ กันเป็น  $I_{O1}=5\mu A$ ,  $10\mu A$  และ  $15\mu A$  ตามลำดับ ได้อัตราขยายแรงดันที่สอดคล้องกับค่าอัตราขยายในทางทฤษฎีเท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5 ตามลำดับ และผลตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตทั้งสองวงจรแสดงดังรูปที่ 5

ส่วนวงจรรขยายแรงดันที่สร้างจากวงจรโอทีเอตามรูปที่ 4 โดยการไบอัสวงจรรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสด้วยกระแส  $I_{B2}=100\mu A$ ,  $I_1=150\mu A$  และ  $I_2=300\mu A$  และได้ไบอัสวงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสด้วยกระแส  $I_{B2}=100\mu A$ ,  $I_1=150\mu A$  และ  $I_2=100\mu A$  เมื่อปรับค่ากระแสไบอัส  $I_{B1}$  ของวงจรทั้งสองให้มีค่าเป็น  $I_{B1}=100\mu A$ ,  $150\mu A$  และ  $200\mu A$  ตามลำดับ ได้ผลตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตเป็นดังรูปที่ 6

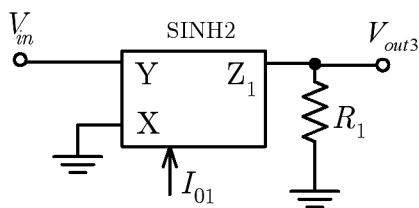


รูปที่ 5 ผลตอบสนองเอาต์พุตของวงจรรขยายแรงดันที่นำเสนอสื่อที่สร้างจากวงจรรขยายพานกระแส

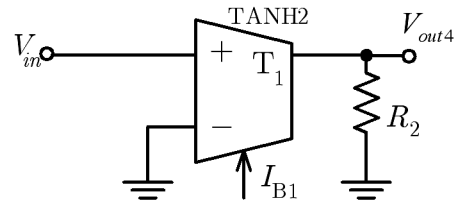


รูปที่ 6 ผลตอบสนองเอาต์พุตที่ของวงจรรขยายแรงดันที่นำเสนอสื่อที่สร้างจากวงจรรโอทีเอ

เพื่อเปรียบเทียบช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้นของวงจรรขยายแรงดันที่นำเสนอสื่อ กับวงจรรขยายแรงดันแบบเดิมที่ยังมิได้มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้น ดังรูปที่ 7 ประกอบด้วยวงจรรขยายที่สร้างขึ้นจากวงจรรขยายพานกระแส (Fabre A. และคณะ, 1988) ในรูปที่ 7(ก) และรูปที่ 7(ข) เป็นวงจรรขยายที่สร้างขึ้นจากวงจรรโอทีเอ (Fabre A. และคณะ, 1988)



(ก) วงจรรขยายแบบเดิมที่สร้างจากวงจรรขยายพานกระแส



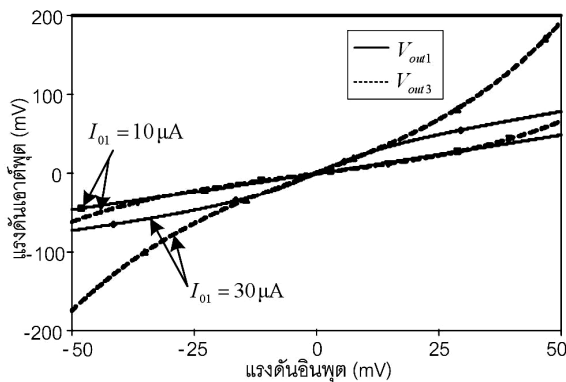
(ข) วงจรรขยายแบบเดิมที่สร้างจากวงจรรโอทีเอ

รูปที่ 7 วงจรรขยายสัญญาณที่ยังมิได้ชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้น

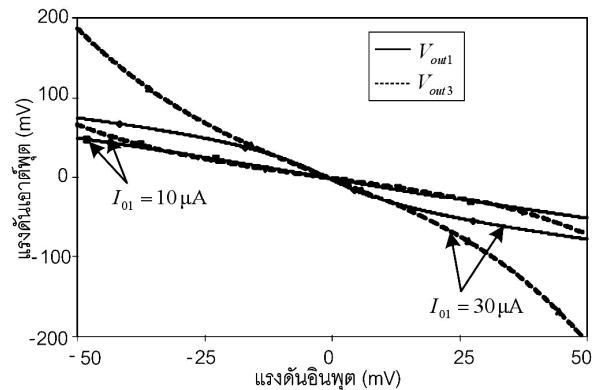
เมื่อเปรียบเทียบวงจรรขยายที่สร้างขึ้นจากวงจรรขยายพานกระแสตามรูปที่ 3 และ 7(ก) กำหนดให้  $R_1=600\ \Omega$  วงจรรขยายแบบไม่กลับเฟสมีการไบอัสด้วยกระแส  $I_{O2}=10\mu A$ ,  $I_1=25\mu A$ ,  $I_2=60\mu A$ ,  $I_{O1}=10\mu A$ ,  $30\mu A$  และวงจรรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสได้ถูกไบอัสด้วยกระแส  $I_{O2}=10\mu A$ ,  $I_1=45\mu A$ ,

$I_2=60\mu\text{A}$  , โดยปรับค่ากระแส  $I_{01}=10\mu\text{A}$  และ  $30\mu\text{A}$  พร้อมทั้งป้อนอินพุตเป็นสัญญาณแรงดันดีซีที่มีค่าตั้งแต่  $-50\text{ mV}$  ถึง  $50\text{ mV}$  ได้ผลการจำลองเป็นดังรูปที่ 8(ก) และ 8(ข) ตามลำดับ

การเปรียบเทียบงานการทำงานที่เป็นเชิงเส้นของวงจรถยายแรงดันที่สร้างจากวงจรถายโอทีเอตามรูปที่ 4 และ 7(ข) กำหนดให้  $R_2=600\ \Omega$  เมื่อกระแส  $I_{B2}=100\mu\text{A}$  ,  $I_1=150\mu\text{A}$  และ  $I_2=300\mu\text{A}$  ป้อนให้กับวงจรถยายแบบไม่กลับเฟส และวงจรถยายกระแสแบบกลับเฟสได้ไบอัสด้วยกระแส  $I_{B2}=100\mu\text{A}$  ,  $I_1=150\mu\text{A}$  และ  $I_2=100\mu\text{A}$  ตามลำดับ และ  $I_{B1}$  ของทั้งสองวงจรมีค่าเป็น  $200\mu\text{A}$  ได้ผลการจำลองดังรูปที่ 9

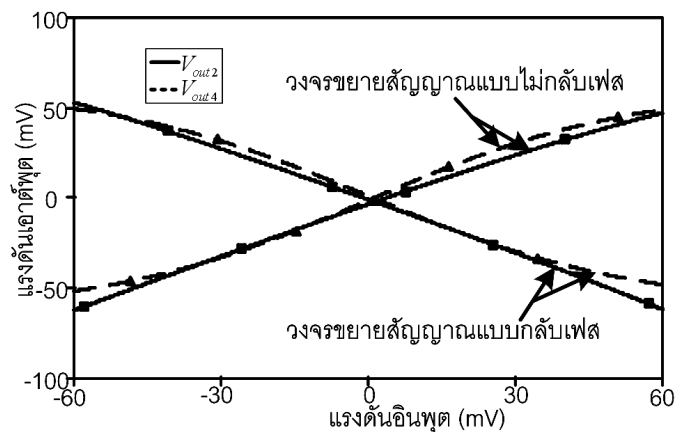


(ก) ผลตอบสนองของวงจรถยายแบบไม่กลับเฟส



(ข) ผลตอบสนองของวงจรถยายแบบกลับเฟส

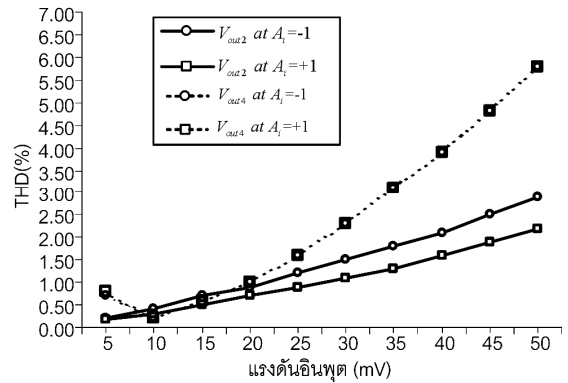
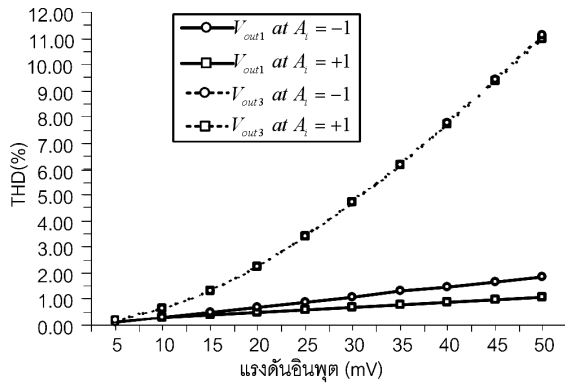
**รูปที่ 8** ผลตอบสนองของวงจรถยายแรงดันที่นำเสนอและวงจรถยายแรงดันแบบเดิมที่สร้างจากวงจรถายพานกระแส



**รูปที่ 9** ผลตอบสนองของวงจรถยายแรงดันที่นำเสนอและวงจรถยายแรงดันแบบเดิมที่สร้างจากโอทีเอ

การเปรียบเทียบค่าความผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิกสรวม (Total harmonic Distortion: THD) ที่ได้จากวงจรถายนำเสนอและวงจรถยายแรงดันตามรูปที่ 7 ทั้งสองรูปแบบ โดยทำการป้อนสัญญาณอินพุตเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่  $1\text{ kHz}$  ให้กับวงจรถยายสัญญาณทั้งสองวงจร พร้อมทั้งปรับขนาดให้มีค่าต่ำ ๆ ตั้งแต่  $5\text{ mV}$  จนถึง  $50\text{ mV}$  ได้ค่า THD ที่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุตในกรณีที่อัตราขยายแรงดัน ( $A_v$ ) มีค่าเท่ากับ  $\pm 1$  เป็นดังรูปที่ 10(ก) เป็นค่า THD ของวงจรถยายแรงดันที่สร้างจากวงจรถายพานกระแส และรูปที่ 10(ข) เป็นค่า THD ของวงจรถยายแรงดันที่สร้างจากวงจรถายโอทีเอ

จากผลการจำลองการทำงานของวงจรขยายแรงดันที่นำเสนอทั้งสองโครงสร้างจากวงจรสายพานกระแสและวงจรถอไอทีเอ พบว่าวิธีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นที่อาศัยการอินเวอร์สฟังก์ชันนั้น สามารถนำมาประยุกต์สร้างเป็นวงจรขยายแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นได้ โดยมีผลทำให้ช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายแรงดันที่นำเสนอ มีผลตอบสนองที่เป็นเชิงเส้นที่กว้างมากขึ้น เมื่อเทียบกับวงจรขยายแรงดันแบบเดิม อีกทั้งวงจรมีค่า THD ที่ต่ำกว่าวงจรขยายแบบพื้นฐานในระดับที่นำพองใจ



(ก) ค่า THD ของวงจรขยายที่สร้างจากวงจรถอไอทีเอ

(ข) ค่า THD ของวงจรขยายที่สร้างจากวงจรถอไอทีเอ

รูปที่ 10 ค่า THD ที่ได้จากวงจรขยายแรงดันที่นำเสนอและวงจรขยายสัญญาณแบบเดิม

### บทสรุป

วงจรขยายแรงดันที่มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้น ทั้งในรูปแบบโครงสร้างที่สร้างจากวงจรถอไอทีเอและโครงสร้างที่สร้างจากวงจรถอไอทีเอได้ถูกนำเสนอ โดยอาศัยหลักการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นให้กับวงจรที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยการใช้อุปกรณ์หรือวงจรถอไอทีเอเดียวกันที่มีการทำงานเป็นวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส และวงจรแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดัน นำมาต่อคาสเคด (Cascade) กัน เพื่อให้เกิดการหักล้างกันเองของความไม่เป็นเชิงเส้นที่มีอยู่ภายในตัววงจร ได้ทดสอบการทำงานของวงจรด้วยผลการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าวงจรถอไอทีเอที่นำเสนอสามารถชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้นที่มีอยู่ได้เป็นอย่างดี วงจรถอไอทีเอที่นำเสนอมีช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้นที่ขยายกว้างขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรที่ไม่ได้มีการชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้น ผลจากการวัดค่า THD แสดงให้เห็นว่าวงจรถอไอทีเอที่นำเสนอมีค่าความผิดเพี้ยนที่ต่ำ นอกจากนี้แล้วยังพบว่าวงจรมีค่า THD ที่ต่ำกว่าวงจรขยายแบบพื้นฐานในระดับที่นำพองใจ

### เอกสารอ้างอิง

Fabre A. "Translinear current controlled current amplifier." *Electron. Lett.*, vol. 24, 1988. pp. 548-549  
 Duncan R. A., Chan K.M. and Sedra A.S. "Designs for wideband current amplifier and a current conveyor." *IEEE Trans. Cir. & Syst. I*, vol. 41, 1994. pp. 272-280  
 Chrisanthopoulos A., Souliotis G. and Haritantis I. "Differential current amplifiers with improved dynamic range." *Proc. IEEE ICECSS*, 1999. pp. 501-504



- Fabre A., Saaid O., Wiest F. and Boucheron C. "High frequency applications based on a new current controlled conveyor." *IEEE Trans. Cir. & Syst. I*, vol. 43, 1996. pp. 82-91
- Geiger R.L. and Sanchez-Sinencio E. "Active filter design using operational transconductance amplifier : A tutorial." *IEEE circuit Device Mag.*, vol. 1, 1985. pp. 20-33
- Carlosen A. and Moschytz G.S. "Design of variable gain current conveyor." *IEEE Trans. Cir. & Syst. I*, vol. 41, 1994. pp. 79-81
- Chan K.M., Duncan R.A. and Sedra A.S. "High-performance current amplifier and current conveyor." *Proc. IEEE Int. Symp. Cir. & Syst.*, 1991. pp. 1825-1828