

วงจรตามแรงดันเสมือนแบบซิมอส คลาส เอบี โดยใช้ทรานซิสเตอร์เกทลอยเสมือนและทรานซิสเตอร์ที่ใช้การไบอัสที่ขาบอดีและเกทลอยเสมือน

Low voltage Pseudo Voltage Follower CMOS Class AB by using Quasi-Floating-Gate and Bulk-Driven-Quasi-Floating-Gate MOS Transistor

ธวัชชัย ทองเหลี่ยม

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

เลขที่ 85 ถนนมาลัยแมน ตำบลหลวงปากโลง อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม โทรศัพท์ 034-109300 ต่อ 3012 E-mail: thawatchait@npru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรตามแรงดันเสมือนซิมอสแบบคลาส เอบี ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์แบบเกทลอยเสมือน และแบบไบอัสที่ขาบอดีและเกทลอยเสมือน อุปกรณ์แบบใหม่นำมาออกแบบเพื่อให้งจรมีช่วงปฏิบัติงานกว้าง ภาคเอาต์พุตถูกต่อในลักษณะคลาส-เอบี ด้วยทรานซิสเตอร์เกทลอยเสมือน วงจรตามแรงดันเสมือนแบบคลาส-เอบี ได้อาศัยหลักการทำงานของวงจรป้อนกลับแบบลบ วงจรที่นำเสนอนี้ถูกออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีซิมอสขนาด 0.18 ไมโครเมตร และทำงานภายใต้แรงดันไฟเลี้ยง 1 โวลต์ จากผลการจำลองวงจรตามแรงดันที่นำเสนอแสดงแรงดันอินพุตและเอาต์พุตสวิงมีช่วงปฏิบัติการกว้าง ค่าความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 43.84 Ω dB และ 40.55 Ω dB

คำสำคัญ: แรงดันไฟเลี้ยงต่ำ, วงจรตามแรงดัน, ทรานซิสเตอร์เกทลอยเสมือน, และทรานซิสเตอร์ป้อนแรงดันที่ขาบอดีและเกทลอยเสมือน

Abstract

This paper presented the low voltage CMOS class-AB voltage follower with quasi-floating-gate (QFG) MOS transistor, and bulk-driven-quasi-floating-gate (QFG) MOS transistor. The analog building blocks are employed rail-to-rail operation. The output stages are connected in the class AB configuration by using QFG transistor. The pseudo voltage follower circuits are operated negative feedback. The proposed pseudo voltage follower circuits are design by using the 0.18 μ m CMOS technology and supply voltage operated 1 V. Simulation results of the propose circuit has the wide range in rail-to-rail input and output swings. Finally, the output resistance of the voltage follower with quasi-floating-gate (QFG) MOS transistor and bulk-driven-quasi-floating-gate (QFG) MOS transistor are 43.84 Ω dB, and 40.55 Ω dB, respectively.

Keywords: Low voltage, voltage follower, quasi-floating-gate transistor, and bulk-driven-quasi-floating-gate transistor.

1. บทนำ

วงจรตามแรงดันแบบซิมอส คือวงจรที่ทำหน้าที่ส่งผ่านแรงดันจากอินพุตไปยังเอาต์พุตที่ถูกค่อด้วยโหลดค่าความต้านทานต่ำ ซึ่งวงจรตามแรงดันมีความสำคัญและถูกนำไปต่อใช้งานมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวงจรผสมสัญญาณ คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรตามแรงดันดังนี้ อินพุตอิมพีแดนซ์สูง เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำมาก สามารถขับโหลดที่มีความต้านทานต่ำได้ อัตราสูง สัญญาณเอาต์พุตสามารถสวิงได้กว้าง สามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ ความคิดเฟ้นของสัญญาณต่ำ กำลังงานสูญเสียต่ำ [1] งานวิจัยจำนวนมากที่ทำการออกแบบวงจรตามแรงดันเพื่อให้งจรตามแรงดันมีช่วงปฏิบัติการกว้าง วงจรตามแรงดันเสมือน [2] และ [3] เป็นที่นิยมอย่างมากในการนำหลักการของวงจรมาออกแบบซึ่งใช้วงจรภาคเอาต์พุตของวงจรใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด pMOS และ nMOS ทำงานลักษณะคลาส-เอบี วงจรตามแรงดันเสมือนที่ถูกออกแบบมีช่วงปฏิบัติการกว้าง แต่ข้อบกพร่องของวงจรคือ ถ้าแรงดันไฟเลี้ยงลดต่ำลงน้อยกว่าหรือเท่ากับหนึ่งโวลต์ แรงดันเอาต์พุตไม่สามารถสวิงกว้างได้

งานวิจัยนี้นำเสนอวงจรตามแรงดันเสมือนแบบซิมอสทำงานภายใต้แรงดันไฟเลี้ยงต่ำ การออกแบบวงจรภาคอินพุตได้อาศัยหลักการของวงจรโอทีเอ และออกแบบวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์อินพุต 2 วงจร ดังนี้ วงจรที่หนึ่งใช้ทรานซิสเตอร์เกทลอยเสมือน และวงจรที่สองใช้ทรานซิสเตอร์ไบอัสที่ขาบอดีและเกทลอยเสมือน ซึ่งการออกแบบวงจรดังกล่าวจะทำให้วงจรสามารถทำงานที่แรงดันไฟเลี้ยงต่ำ และอินพุตและเอาต์พุตของวงจรมีช่วงปฏิบัติการกว้าง วงจรภาคเอาต์พุตถูกต่อลักษณะคลาส เอบี ด้วยวิธีการใช้ทรานซิสเตอร์เกทลอยเสมือน

ในบทความวิจัยนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ หัวข้อที่ 2 อธิบายวงจรตามแรงดันแบบซิมอสพื้นฐาน หัวข้อที่ 3 มีการนำเสนอวงจรตามแรงดันเสมือนแบบคลาส เอบี ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เกทลอยเสมือน และ

บทความวิจัย

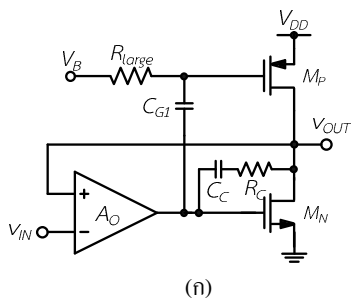
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

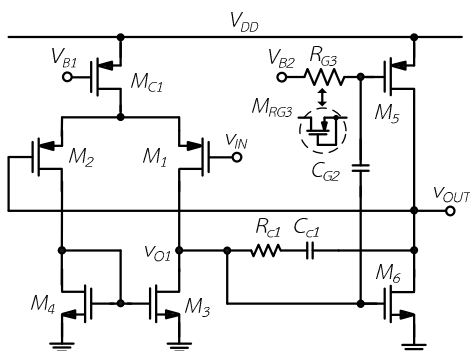
ทรานซิสเตอร์ไบอัสที่ขาบอดีและเกตลอยเสมือน และอธิบายการทำงาน หัวข้อที่ 4 แสดงผลการจำลองวงจรตามแรงดันเสมือนแบบคลาส เอบี ที่นำเสนอ และหัวข้อที่ 5 สรุปผลงานวิจัย

2. วงจรตามแรงดันแบบซิมอสขึ้นพื้นฐาน

รูปที่ 1(ก) แสดงโครงสร้างวงจรตามแรงดันเสมือน ประกอบด้วยโอทีเอ (A_O) และวงจรภาคเอาต์พุตที่ถูกออกแบบด้วย วงจรขยายข้อสร่วมต่อลักษณะคลาส-เอบี โครงสร้างของวงจรตาม แรงดันเสมือนแบบคลาส-เอบี ถูกต่อให้วงจรทำงานลักษณะป้อนกลับ แบบลบ (Negative feedback) ซึ่งจะทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ แรงดันอินพุต ภาพที่ 1(ข) แสดงวงจรตามแรงดันเสมือนแบบทั่วไป ประกอบด้วยวงจรภาคอินพุตซึ่งถูกออกแบบด้วยวงจรโอทีเอ (A_O) วงจร โอทีเอประกอบด้วยมอสทรานซิสเตอร์ M_1 - M_4 และวงจรภาคเอาต์พุต ประกอบด้วยมอสทรานซิสเตอร์ M_5 - M_6 ขาเกตของ M_2 ต่อกับเอาต์พุต ขอบกพร่องของวงจรดังกล่าวคือ เอาต์พุตสวิงบวกเท่ากับ $V_{DD} - (V_{DSAT} + V_{GS})$



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) โครงสร้างวงจรตามแรงดันเสมือน และ (ข) วงจรตามแรงดันเสมือนแบบทั่วไป

3. วงจรตามแรงดันเสมือนแบบซิมอส

3.1 วงจรตามแรงดันเสมือนแบบซิมอสซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ เกตลอยเสมือน

รูปที่ 2 (ก) แสดงวงจรตามแรงดันแบบเสมือนที่ถูกออกแบบ ด้วยพื้นฐานของวงจรโอทีเอที่ใช้มอสทรานซิสเตอร์แบบเกตลอยเสมือน นำมาออกแบบเป็นวงจรภาคอินพุตและเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ แบบป้อนกลับกระแสที่นำเสนอเป็นวงจรที่ 2 วงจรตามแรงดัน ประกอบด้วยมอสทรานซิสเตอร์ M_1 - M_6 วงจรตามแรงดันประกอบด้วย มอสทรานซิสเตอร์ M_1 - M_6 การไบอัสมอสทรานซิสเตอร์แบบเกตลอย เสมือน (QFG) ด้วยวิธีการแรงดันไบอัสมีค่าเท่ากับ V_{B3} โดยไบอัสผ่านตัว ด้านทาน R_{G1} และ R_{G2} วงจรตามแรงดันแบบเสมือนที่ถูกออกแบบด้วย พื้นฐานของวงจรโอทีเอที่ใช้มอสทรานซิสเตอร์แบบเกตลอยเสมือนจะมี ตัวเก็บประจุเชื่อมต่อระหว่างแรงดันอินพุตกับขาเกตลอยของ มอสทรานซิสเตอร์ M_1 และ M_2

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ แรงดันอินพุตเข้า มาที่ v_{IN} (ขาเกตลอยเสมือน) ของ M_1 และแรงดันเอาต์พุต v_{OUT} มีค่าไม่ เท่ากับแรงดันอินพุต v_{IN} ช่วงขณะ วงจรจะทำการขยายแรงดันผลต่างไป ปกติที่โหนด v_{O1} และทรานซิสเตอร์ M_3 และ M_6 ต่อในลักษณะคลาส- เอบี [4] แรงดันไบอัสมีค่าเท่ากับ V_{B2} โดยไบอัสผ่านตัวด้านทาน R_{G3} ซึ่งมี ค่าความต้านทานมาก ทรานซิสเตอร์ M_5 และ M_6 ทำการขยายแรงดันจาก โหนด v_{O1} ไปที่ v_{OUT} เพื่อแรงดันเอาต์พุต v_{OUT} เท่ากับแรงดันอินพุต v_{IN} ซึ่ง วงจรจะทำงานด้วยคุณลักษณะการป้อนกลับแบบลบ ตัวด้านทาน R_{C1} และตัวเก็บประจุ C_{C1} ทำหน้าที่ชดเชยผลตอบสนองความถี่ของวงจรขยาย ให้มีเสถียรภาพ เราสามารถวิเคราะห์หาค่าความต้านทานเอาต์พุตของ วงจรตามแรงดันมีค่าเท่ากับ

เราสามารถวิเคราะห์หาค่าความต้านทานเอาต์พุตของวงจรซึ่ง มีค่าเท่ากับ

$$R_{OUT} = \frac{1}{g_{m1}(g_{m5} + g_{m6})(r_{O1} \parallel r_{O3})(r_{O5} \parallel r_{O6})} \quad (1)$$

เมื่อ g_{m1} คือค่าถ่ายโอนความนำ M_1 g_{m5} และ g_{m6} คือค่าถ่ายโอนความนำ M_5 และ M_6 และ r_{O1} , r_{O3} , r_{O5} และ r_{O6} คือค่าความต้านทานเอาต์พุตของ มอสทรานซิสเตอร์ M_1 , M_3 , M_5 และ M_6

3.2 วงจรตามแรงดันเสมือนแบบซิมอสซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ใช้ การไบอัสที่ขาบอดีและเกตลอยเสมือน

รูปที่ 2(ข) แสดงวงจรตามแรงดันแบบเสมือนที่ถูก ออกแบบด้วยพื้นฐานของวงจรโอทีเอที่ใช้มอสทรานซิสเตอร์ใช้การ ไบอัสที่ขาบอดีและเกตลอยเสมือนนำมาออกแบบเป็นวงจรตามแรงดัน ซึ่งประกอบด้วยมอสทรานซิสเตอร์ M_1 - M_6 การไบอัสมอสทรานซิสเตอร์ แบบเกตลอยเสมือน (QFG) ด้วยวิธีการแรงดันไบอัสมีค่าเท่ากับ V_{B3} โดย ไบอัสผ่านตัวด้านทาน R_{G1} และ R_{G2} วงจรตามแรงดันแบบเสมือนที่

บทความวิจัย

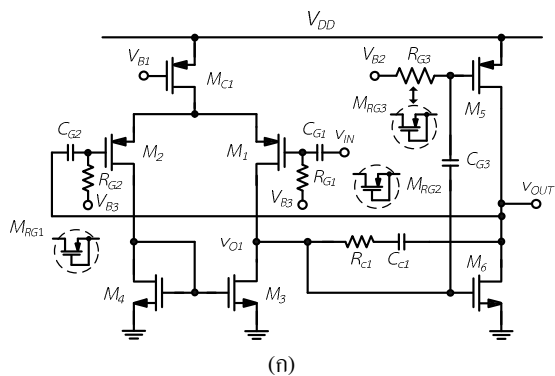
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

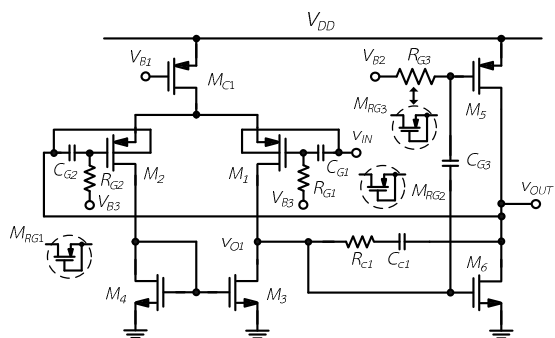
ถูกออกแบบด้วยพื้นฐานของวงจรโอทีเอทีที่ใช้มอสทรานซิสเตอร์ใช้การไบอัสที่ขาบอดีและเกตลอยเสมือนจะถูกออกแบบให้แรงดันอินพุตต่อตัวเก็บประจุซึ่งตัวเก็บประจุต่อกับขาเกตลอยเสมือน และแรงดันอินพุตต่อขาบอดี ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำให้ค่าถ่ายโอนความนำของมอสทรานซิสเตอร์เพิ่มมากขึ้น และทำให้วงจรสามารถทำงานภายใต้แรงดันไฟเลี้ยงต่ำได้ วงจรตามแรงดันแบบเสมือนมีการทำงานเหมือนกับวงจรตามแรงดันแบบเสมือนที่ถูกออกแบบด้วยพื้นฐานของวงจรโอทีเอทีที่ใช้มอสทรานซิสเตอร์เกตลอยเสมือน กล่าวคือวงจรจะทำงานด้วยคุณลักษณะการป้อนกลับแบบลบ เราสามารถวิเคราะห์หาค่าความต้านทานเอาต์พุตของวงจรซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$R_{OUT} = \frac{1}{(g_{m1} + g_{mb1})(g_{m5} + g_{m6})(r_{O1} \parallel r_{O3})(r_{O5} \parallel r_{O6})} \quad (2)$$

เมื่อ g_{mb1} คือค่าถ่ายโอนความนำการไบอัสที่ขาบอดีของ M_1



(ก)



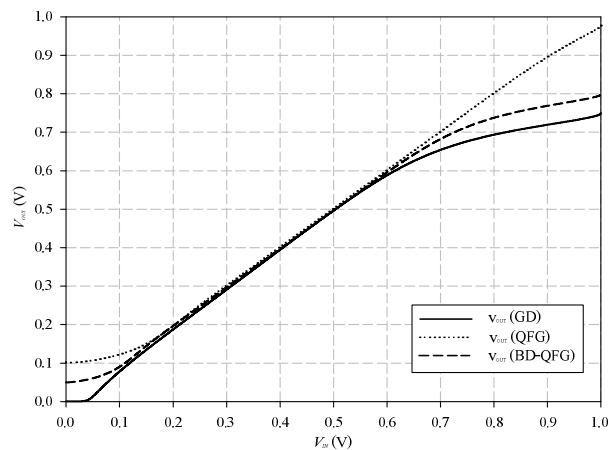
(ข)

รูปที่ 2 วงจรตามแรงดันแบบเสมือน (ก) วงจรภาคอินพุตที่ใช้มอสทรานซิสเตอร์แบบเกตลอยเสมือน และ (ข) วงจรภาคอินพุตที่ใช้มอสทรานซิสเตอร์ใช้การไบอัสที่ขาบอดีและเกตลอยเสมือน

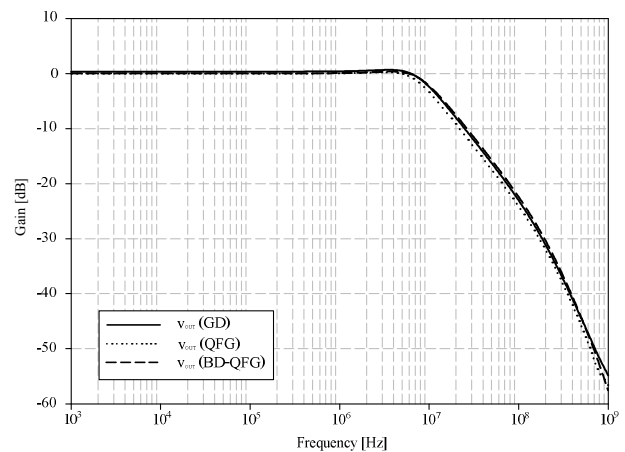
4 ผลการจำลองการทำงานของวงจร

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม HSPICE ทำการจำลองผลการทำงานของวงจรที่นำเสนอ ซึ่งใช้เทคโนโลยีซีมอสขนาด 0.18

ไมโครเมตร และทุกวงจรทำงานภายใต้ไฟเลี้ยง 1 โวลต์ กระแสสงบที่ภาคอินพุตมีค่าเท่ากับ 20 ไมโครแอมป์ และเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 10 ไมโครแอมป์ วงจรในรูปที่ 2(ก) และ (ข) ป้อนแรงดันไบอัสที่ขาเกตเท่ากับ 0.5 โวลต์ ขณะที่ภาคเอาต์พุตป้อนแรงดันไบอัสที่ขาเกตของฟิมอสเท่ากับ 0.5 โวลต์ ซึ่งป้อนผ่านตัวต้านทาน $R_{G1} - R_{G3}$ ค่าความต้านทานที่ใช้ไบอัสทรานซิสเตอร์มีค่าสูงมากซึ่งตัวต้านทานถูกสร้างด้วยมอสเฟต pMOS โดยที่ทรานซิสเตอร์ทุกตัวทำงานในย่านคัทออฟ



รูปที่ 3 กราฟคุณลักษณะถ่ายโอนทางคิ



รูปที่ 4 ผลการตอบสนองทางความถี่

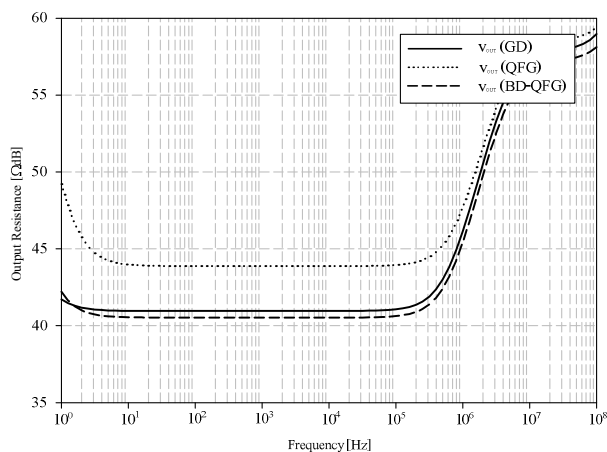
ภาพที่ 3 แสดงผลการจำลองการทำงานของวงจรตามแรงดันเสมือนแบบ คลาส เอบี ที่นำเสนอ ซึ่งแสดงผลการจำลองการป้อนแรงดันอินพุต V_{IN} ซึ่งทำการปรับค่าตั้งแต่ 0 โวลต์ ถึง 1 โวลต์ แล้ววัดแรงดันเอาต์พุต V_{OUT} จากผลการจำลองพบว่าแรงดันเอาต์พุต V_{OUT} ของวงจรตามแรงดันเสมือนที่นำเสนอมีค่าประมาณเท่ากับแรงดันอินพุต หรือ $V_{OUT} = V_{IN}$ ภาพที่ 4 แสดงผลการตอบสนองความถี่ ซึ่งต่อโหลดตัวเก็บประจุเท่ากับ 20 pF พบว่าความถี่ของวงจรตามแรงดันเสมือนแบบไบอัสที่ขา

บทความวิจัย

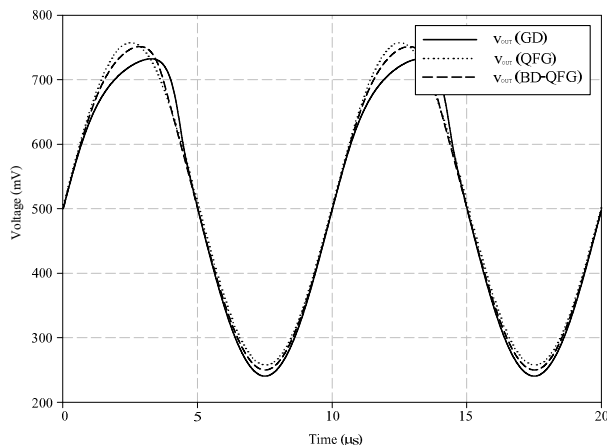
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

เกณฑ์เท่ากับ 11.1 MHz วงจรตามแรงดันเสมือนแบบเกทลอยเสมือนมีค่าเท่ากับ 9.43 MHz และวงจรตามแรงดันเสมือนแบบไบอัสที่ขาอินพุตและเกทลอยเสมือนมีค่าเท่ากับ 11.1 MHz ภาพที่ 5 แสดงผลการตอบสนองความถี่ค่าความต้านทานเอาต์พุต พบว่าค่าความต้านทานของวงจรตามแรงดันเสมือนแบบไบอัสขาอินพุตมีค่าเท่ากับ 41 Ω dB วงจรตามแรงดันเสมือนแบบเกทลอยเสมือนมีค่าเท่ากับ 43.84 Ω dB และวงจรตามแรงดันเสมือนแบบไบอัสที่ขาอินพุตและเกทลอยเสมือนมีค่าเท่ากับ 40.55 Ω dB ที่ 10 kHz ภาพที่ 6 แสดงแรงดันเอาต์พุต v_{OUT} ของวงจรตามแรงดันเสมือนที่นำเสนอ เมื่อป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 100 kHz จากผลการทดลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตสวิงของวงจรตามแรงดันเสมือนที่นำเสนอมีช่วงปฏิบัติการกว้างกว่าวงจรตามแรงดันเสมือนทั่วไป และกำลังสูญเสียทั้ง 3 วงจร มีค่าเท่ากับ 40 μ W



รูปที่ 5 ค่าความต้านทานเอาต์พุต



รูปที่ 6 แรงดันเอาต์พุต

4. สรุป

วิจัยนี้นำเสนอวงจรตามแรงดันเสมือนแบบซิมอสซึ่งมีช่วงปฏิบัติการกว้างและทำงานลักษณะคลาส-เอบี การออกแบบวงจรตาม

แรงดันเสมือนที่นำเสนอได้ใช้วิธีการของทรานซิสเตอร์แบบป้อนอินพุตที่ขาอินพุต ทรานซิสเตอร์แบบเกทลอยเสมือน และทรานซิสเตอร์แบบป้อนอินพุตที่ขาอินพุตและเกทลอยเสมือนซึ่งส่งผลให้วงจรสามารถทำงานภายใต้ไฟเลี้ยงต่ำมากได้ และมีช่วงปฏิบัติการกว้าง ผลการจำลองแสดงผลการทำงานของวงจรตามแรงดันที่นำเสนอมีช่วงปฏิบัติการกว้าง วงจรมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 9.43 MHz และ 11.1 MHz และกำลังสูญเสียทั้ง 2 วงจรมีค่าเท่ากับ 40 μ W

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Kasemsuwan, and W. Nakhlo, (2007) "A simple 1.5 V rail-to-rail CMOS current conveyor," J. Cir. Sys. Comp., 16 4 627-639.
- [2] K. Nagaraj, "Large-Swing CMOS Buffer Amplifier", IEEE J. Solid-State circuit, Vol.24, no. 1 Feb. 1989, pp. 181-183.
- [3] J. A. Fisher, "A High-Performance CMOS Power Amplifier", IEEE J. Solid-State circuit, Vol. SC-20, No. 6, Dec. 1985, pp. 1200-1205.
- [4] J. Ramirez-Angulo, R. G. Carvajal, J. A. Galan, and A. Lopez-Martin, (2006) "A Free But Efficient Low-Voltage Class-AB Two-Stage Operational Amplifier," IEEE Trans Cir. Syst. II, Express Briefs. Vol. 53, no. 7, July, 568-571.