

ABSTRACT

This paper presents the electronically controllable grounded simulator, which can function as a resistor, an inductor, and a capacitor determined by the approach of selecting a passive device without modifying the circuit structure. The structure of the circuit consists of one Current Conveyor Transconductance Amplifier (CCTA) and two grounded passive devices. The proposed circuit can adjust the device by modifying the CCTA external bias currents; therefore, the proposed circuit denotes appropriately to be utilized in a communication system and to formulate an integrated circuit. The simulation was using PSPICE computer software applying AD844 and LM13700 IC, unitedly proceed as CCTA. The result verified that the operation properties of the proposed circuit successfully corresponded to the theoretical principles.

Keywords: Current Conveyor Transconductance Amplifier (CCTA), Resistor, Inductor, Capacitor

1. บทนำ

ปัจจุบันการสังเคราะห์และออกแบบวงจรเสมือนอุปกรณ์พื้นฐาน ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุเป็นงานวิจัยที่ได้รับความนิยมโดยเห็นได้จากมีการตีพิมพ์เป็นจำนวนมากอันเนื่องมาจากความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวมและนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างหลากหลาย เช่น วงจรกำเนิดสัญญาณชายน [1-4] วงจรกรองความถี่ [5-7] วงจรสุ่มสัญญาณตัวอย่างข้อมูล [8,9] เป็นต้น การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่เป็นอุปกรณ์หลักในการวิจัยและพัฒนาวงจรเสมือนอุปกรณ์ทำให้สามารถปรับค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างง่าย เช่น ตัวต้านทานสามารถปรับค่าความต้านทานได้ตามความต้องการดังสมการที่ 6 ตัวเหนี่ยวนำเป็นขดลวดที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ของวงจรสามารถปรับค่าความเหนี่ยวนำตามสมการที่ 7 จะเห็นว่าวงจรไม่ได้ใช้ตัวเหนี่ยวนำที่เป็นขดลวดแต่จะใช้ตัวเก็บประจุแทนและตัวเก็บประจุสามารถปรับค่าความจุได้ตามความต้องการดังสมการที่ 8 การปรับค่าในสมการที่ 6-8 คือ การปรับกระแสไบแอสซึ่งเป็นการปรับค่าด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์นั่นเอง อย่างไรก็ตามจากที่ได้ศึกษางานวิจัยวงจรเสมือนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องพบว่าวงจรที่ได้นำเสนอมีการใช้อุปกรณ์แอคทีฟที่แตกต่างกันออกไป อีกทั้งยังมีข้อจำกัดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. วงจรไม่สามารถปรับค่าด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ [9-11] ซึ่งหากนำไปประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมอัตโนมัติ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้ยากต่อการควบคุม

2. การใช้ตัวเก็บประจุแบบลอยไม่เหมาะสมกับการพัฒนาสร้างเป็นวงจรรวม [10] เพราะใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้น

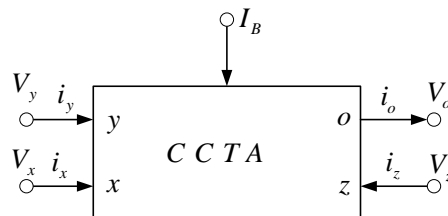
3. วงจรใช้อุปกรณ์แอคทีฟและพาสซีฟจำนวนมาก [9,11] ทำให้ใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ในการสร้างวงจรรวม

4. วงจรควบคุมความจุแบบต่อลงกราวด์มีการกำหนดการทำงานเฉพาะ [9,10,12] ทำให้ไม่สามารถใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานได้อย่างหลากหลาย

ดังนั้นงานวิจัยที่นำเสนอมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์วงจรเสมือนอุปกรณ์แบบต่อลงกราวด์สามารถทำหน้าที่ได้เสมือน 3 วงจรคือ วงจรตัวต้านทาน วงจรตัวเหนี่ยวนำและวงจรตัวเก็บประจุ ขึ้นอยู่กับการเลือกอุปกรณ์พาสซีฟโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวงจร วงจรนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์แอคทีฟ 1 ตัว และ อุปกรณ์พาสซีฟ 2 ตัว วงจรสามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์เมื่อป้อนอินพุต วงจรถูกออกแบบให้หลีกเลี่ยงความต้านทานแฝง 50 Ω ที่ขั้ว x ของอุปกรณ์แอคทีฟ และวงจรมีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นรูปแบบของวงจรรวม การสังเคราะห์และจำลองการทำงานด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Pspice แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะและสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์เป็นอย่างดี

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยวงจรเสมือนอุปกรณ์นี้ใช้อุปกรณ์แอคทีฟในการสังเคราะห์วงจรขยายความนำถ่ายโอนสายพานกระแส(Current Conveyor Transconductance Amplifier) หรือ CCTA ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ ที่วิจัยและนำเสนอโดย Prokop และ Musil [18] มีข้อดีคือทำงานได้ทั้งโหมดแรงดันและโหมดกระแส กระแสทางเอาต์พุตสามารถควบคุมได้ด้วยการปรับค่ากระแสไบแอสจากภายนอก จากคุณสมบัติข้อดีของ CCTA นี้ จึงได้นำ CCTA มาใช้เป็นอุปกรณ์ในการสังเคราะห์วงจร สัญลักษณ์ของวงจรขยายความนำถ่ายโอนสายพานกระแสแสดงดังรูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันสามารถแสดงให้เห็นด้วยสมการเชิงเมตริกได้ในสมการที่ 1



รูปที่ 1 สัญลักษณ์ของวงจรขยายความนำถ่ายโอนสายพานกระแส

$$\begin{bmatrix} i_y \\ V_x \\ i_z \\ i_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm g_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_x \\ V_y \\ V_z \\ V_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

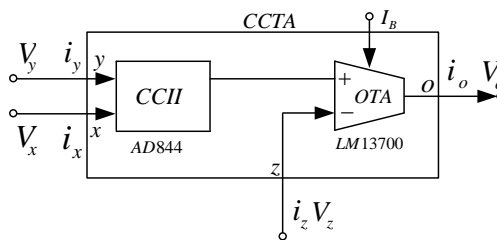
เมื่อค่า g_m คือ ค่าความนำถ่ายโอน (Transconductance Gain) และมีโครงสร้างของ CCTA ที่สร้างด้วยไอซี AD844 และ LM13700 ดังรูปที่ [2] สามารถคำนวณค่าความนำถ่ายโอนได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$g_m = \frac{I_B}{2V_T} \quad (2)$$

โดยสมการที่ 2 ค่า V_T คือค่าศักดาความร้อน(Thermal Voltage) มีค่าเท่ากับ 26mV ที่อุณหภูมิห้องหรือที่อุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส และค่า I_B คือกระแสไบแอสที่สามารถปรับค่าได้จากภายนอก ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า g_m สามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

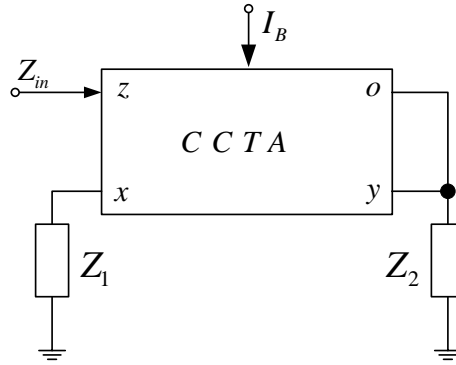
3. วิธีดำเนินการวิจัย

วงจรเสมือนอุปกรณ์แบบต่อลงกราวด์เป็นการสังเคราะห์จำลองค่าอุปกรณ์โดยใช้ CCTA ที่โครงสร้างภายในประกอบด้วยไอซี AD844 (CCII) และ LM13700 (OTA) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างภายในของ CCTA

โครงสร้างของวงจรที่นำเสนอประกอบด้วย CCTA จำนวน 1 ตัวและอุปกรณ์พาสซีฟต่อลงกราวด์ 2 ตัว ดังรูปที่ 3 สามารถเลือกใช้งานเป็นวงจรเสมือนได้ 3 วงจรคือ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรเสมือนอุปกรณ์แบบต่อลงกราวด์ที่นำเสนอ

วงจรที่นำเสนอสสามารถกำหนดหน้าที่ของวงจรด้วยการเลือกอุปกรณ์พาสซีฟ Z_1 และ Z_2 ในวงจร และจากวงจรนี้ทำให้สามารถสังเคราะห์สมการอินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) ของวงจรเสมือนอุปกรณ์ได้ดังนี้

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{Z_1}{g_m Z_2} \quad (3)$$

เมื่อแทนค่าความนำถ่ายไอออน g_m จากสมการที่ 2 ลงในสมการที่ 3 จะได้สมการอินพุตอิมพีแดนซ์ใหม่ดังสมการที่ 4

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{2V_T Z_1}{I_B Z_2} \quad (4)$$

สมการที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรสามารถควบคุมได้วิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ด้วยการปรับกระแสไบแอส I_B ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ $K_{mul} = 2V_T / I_B$ เป็นอัตราขยายอุปกรณ์พาสซีฟ Z_1 / Z_2 เมื่อนำ K_{mul} ไปแทนในสมการที่ 4 จะได้สมการอินพุตอิมพีแดนซ์ใหม่ดังสมการที่ 5

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = K_{mul} \frac{Z_1}{Z_2} \quad (5)$$

เมื่อนำสมการที่ 5 มาทำการการวิเคราะห์พบว่าวงจรสามารถทำหน้าที่เป็นวงจรเสมือนอุปกรณ์คือตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุด้วยการเลือกอุปกรณ์พาสซีฟ Z_1 และ Z_2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. วงจรเสมือนตัวต้านทาน ถ้าเลือก $Z_1 = R_1$ และ $Z_2 = R_2$ พบว่าวงจรจะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานแบบต่อลงกราวด์ มีสมการอินพุตอิมพีแดนซ์ดังนี้

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = K_{mul} \frac{R_1}{R_2} = R_{eq} \quad (6)$$

โดยมีค่าความต้านทานเสมือนเท่ากับ $R_{eq} = K_{mul} R_1 / R_2$

2. วงจรเสมือนตัวเหนี่ยวนำ ถ้าเลือก $Z_1 = R_1$ และ $Z_2 = 1/sC_2$ พบว่าวงจรจะทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำแบบต่อลงกราวด์ มีสมการอินพุตอิมพีแดนซ์ดังนี้

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = K_{mul} R_1 s C_2 = s L_{eq} \quad (7)$$

โดยมีค่าความตัวเหนี่ยวนำเสมือนเท่ากับ $L_{eq} = K_{mul} R_1 C_2$

3. วงจรเสมือนตัวเก็บประจุ ถ้าเลือก $Z_1 = 1/sC_1$ และ $Z_2 = R_2$ พบว่าวงจรจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ แบบต่อลงกราวด์ มีสมการอินพุตอิมพีแดนซ์ดังนี้

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = K_{mul} \frac{1}{s C_1 R_2} = \frac{1}{s C_{eq}} \quad (8)$$

โดยมีค่าความเก็บประจุเสมือนเท่ากับ $C_{eq} = C_1 R_2 / K_{mul}$

การวิเคราะห์ห้วงจรกรณีไม่เป็นอุดมคติ

โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์ห้วงจรที่ไม่เป็นอุดมคติจะวิเคราะห์ถึงความผิดพลาดของ CCTA ที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของการส่งผ่าน (Tracking Error) ของทั้งกระแสและแรงดันที่เบี่ยงเบนไปจาก 1 ซึ่งสามารถแสดงคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของ CCTA ในกรณีที่ไม่เป็นอุดมคติได้จากสมการเมตริกดังสมการที่ 9 ดังนี้

$$\begin{bmatrix} i_y \\ V_x \\ i_z \\ i_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & 0 & 0 \\ \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm \beta g_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_x \\ V_y \\ V_z \\ V_o \end{bmatrix} \quad (9)$$

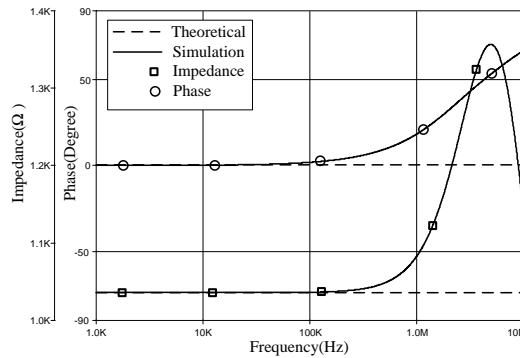
เมื่อ γ, α และ β คือค่าความผิดพลาดของการส่งผ่านของกระแส แรงดันและความนำถ่ายไอออนอธิบายได้ดังนี้ γ คือ ความผิดพลาดของการส่งผ่านแรงดันจากขั้ว y ไปที่ขั้ว x ส่วน α คือ ความผิดพลาดของการส่งผ่านกระแสจากขั้ว x ไปที่ขั้ว z และ β คือ ความผิดพลาดของการส่งผ่านความนำถ่ายไอออนจากขั้ว z ไปที่ขั้ว o ความผิดพลาดของการส่งผ่านที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของสารกึ่งตัวนำ ความถี่และอุณหภูมิ ดังนั้นจากสมการเมตริกที่ 9 สามารถนำมาสังเคราะห์หาสมการอินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรเสมือนอุปกรณ์แบบต่อลงกราวด์ทั้ง 3 แบบ ได้ใหม่ดังนี้

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{Z_1}{\gamma \alpha \beta g_m Z_2} \quad (10)$$

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

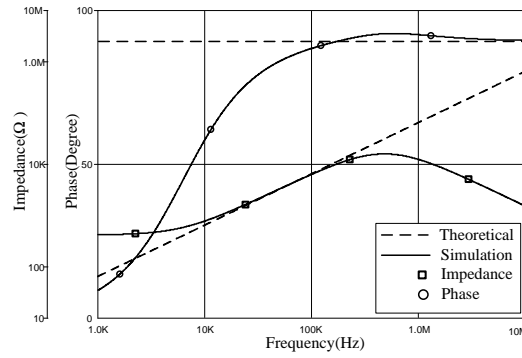
การจำลองการทำของโปรแกรมที่นำเสนอด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice จะเป็นการยืนยันและทดสอบสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอว่าจะสอดคล้องเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ทำการ

วิเคราะห์ไ่ว์ในหัวข้อที่ผ่านมา โดยใช้วงจรรูปที่ 3 โดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟ CCTA ที่โครงสร้างภายในประกอบด้วยด้วยไอซี AD844 และ LM13700 ดังรูปที่ 2 และอุปกรณ์พาสซีฟ ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ กำหนดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 5 โวลต์ และกำหนดค่ากระแสไบแอสของ CCTA ที่นำมาเป็นวงจรมีอนุกรมทั้ง 3 วงจรไว้ที่ $I_B = 50 \mu A$ แสดงผลการทำงานได้ดังต่อไปนี้ ในรูปที่ 4 แสดงอิมพีแดนซ์และเฟส

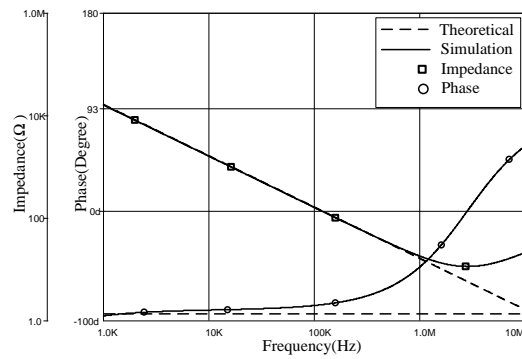


รูปที่ 4 อิมพีแดนซ์และเฟสเมื่อวงจรถ้าหน้าที่เป็นตัวต้านทาน

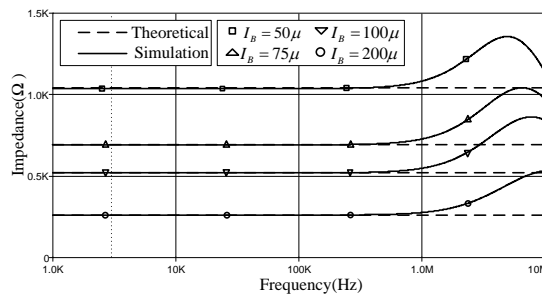
เมื่อวงจรถ้าหน้าที่เป็นตัวต้านทาน จากการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไ่ว์ในหัวข้อที่ผ่านมา โดยกำหนดให้ $I_B = 50 \mu A$ และ $Z_1 = Z_2 = 10 K\Omega$ พบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะขึ้นอยู่กับค่า K_{mul} เพราะค่า $Z_1 = Z_2$ เท่ากัน เฟสที่ได้ จะมีค่าอยู่ที่ 0 องศา รูปที่ 5 แสดงอิมพีแดนซ์และเฟสเมื่อวงจรถ้าหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำได้จากการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไ่ว์ในหัวข้อที่ผ่านมา โดยกำหนดให้ $I_B = 50 \mu A$ และ $Z_1 = 10 K\Omega$ กับ $Z_2 = 1/sC_2$ พบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะขึ้นอยู่กับค่า $K_{mul} R_1 2\pi C_2 Freq$ เมื่อ $Freq$ คือค่าความถี่และ $C_2 = 1nF$ เฟสที่ได้จะมีค่าอยู่ที่ 90 องศา รูปที่ 6 แสดงอิมพีแดนซ์และเฟสเมื่อวงจรถ้าหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุที่ได้จากการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไ่ว์ในหัวข้อที่ผ่านมา โดย กำหนดให้ $I_B = 50 \mu A$ และ $Z_1 = 1/sC_1$ กับ $Z_2 = 10 K\Omega$ พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ขึ้นอยู่กับค่า $K_{mul} / R_2 2\pi C_1 Freq$ เมื่อ $Freq$ คือค่าความถี่และ $C_1 = 1nF$ เฟสมีค่าอยู่ที่ -90 องศา



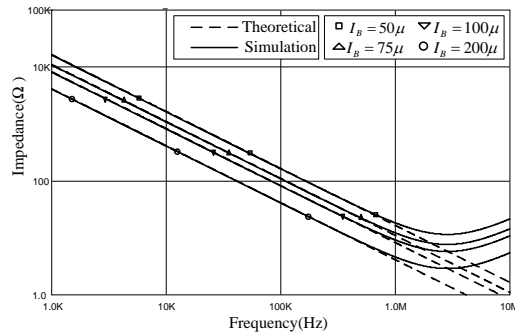
รูปที่ 5 อิมพีแดนซ์และเฟสเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ



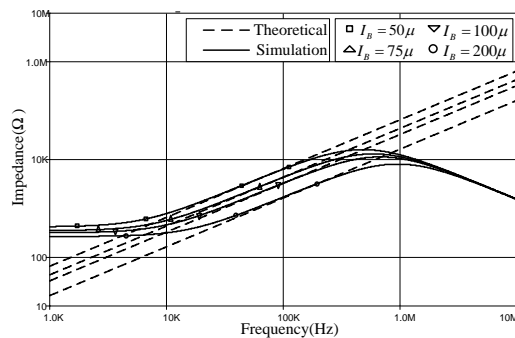
รูปที่ 6 อิมพีแดนซ์และเฟสเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ



รูปที่ 7 อิมพีแดนซ์เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานและเปลี่ยนกระแส I_B

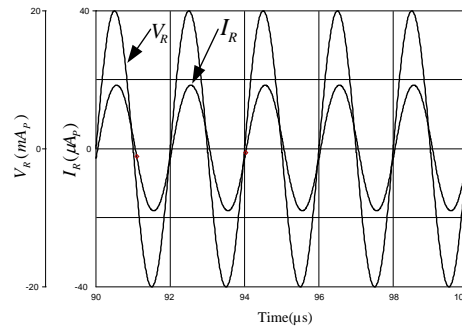


รูปที่ 8 อิมพีแดนซ์เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำและเปลี่ยนกระแส I_B

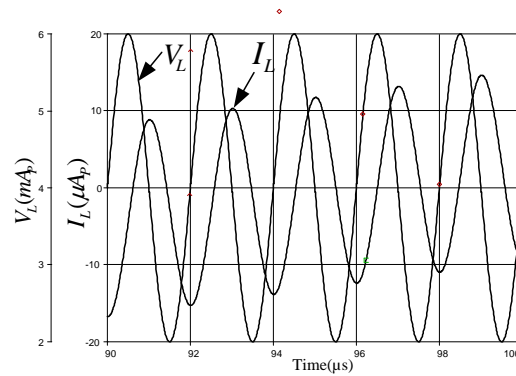


รูปที่ 9 อิมพีแดนซ์เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุและเปลี่ยนกระแส I_B

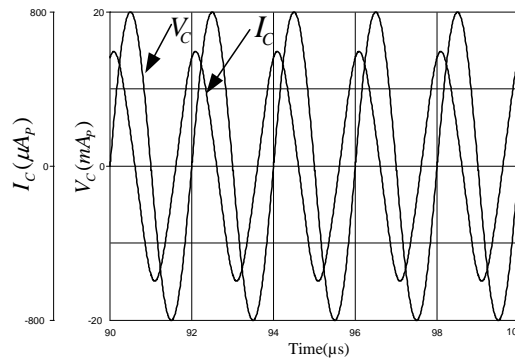
จากรูปที่ 7 แสดงอิมพีแดนซ์เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานและเปลี่ยนกระแสไบแอส โดยกำหนดให้ I_B มีค่า $50 \mu A$, $75 \mu A$, $100 \mu A$ และ $200 \mu A$ เมื่อ $Z_1 = Z_2 = 10 K\Omega$ ผลจากการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าค่าอิมพีแดนซ์มีค่าคงที่เมื่อกระแสไบแอสตามลำดับรูปที่ 8 แสดงอิมพีแดนซ์เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำและเปลี่ยนกระแสไบแอส โดยกำหนดให้ I_B มีค่า $50 \mu A$, $75 \mu A$, $100 \mu A$ และ $200 \mu A$ เมื่อ $Z_1 = 10 K\Omega$, $Z_2 = 1/sC_2$ และ $C_2 = 1nF$ ผลจากการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะลดลงเมื่อเพิ่มกระแสไบแอสตามลำดับ รูปที่ 9 แสดงอิมพีแดนซ์เมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุและเปลี่ยนกระแสไบแอส โดยกำหนดให้ I_B มีค่า $50 \mu A$, $75 \mu A$, $100 \mu A$ และ $200 \mu A$ เมื่อ $Z_1 = 1/sC_1$, $Z_2 = 10 K\Omega$ และ $C_1 = 1nF$ ผลจากการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะลดลงเมื่อกระแสไบแอสตามลำดับ รูปที่ 10 การทำงานของวงจรในโดเมนเวลาเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานและทำการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ $500 KHz$ มีขนาดแรงดัน $20mV_p$ และ $Z_1 = Z_2 = 10 K\Omega$ พบว่าแรงดันของวงจรมีเฟสไม่ต่างจากกระแสหรือมีเฟสต่างกัน 0 องศา



รูปที่ 10 การทำงานของวงจรในโดเมนเวลาเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวต้านทาน



รูปที่ 11 การทำงานของวงจรในโดเมนเวลาเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 12 การทำงานของวงจรในโดเมนเวลาเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ

จากรูปที่ 11 แสดงการทำงานของวงจรในโดเมนเวลาเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำและทำการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 500 KHz มีขนาดของแรงดัน 20 mV_p เมื่อ $Z_1 = 10\text{ K}\Omega$, $Z_2 = 1/sC_2$ และ $C_2 = 1\text{ nF}$ พบว่าแรงดันของวงจรมีเฟสต่างจากกระแส 90 องศา รูปที่ 12 แสดงการทำงานของวงจรในโดเมนเวลาเมื่อวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุและทำการป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 500 KHz มีขนาดแรงดัน 20 mV_p เมื่อ $Z_1 = 1/sC_1$, $Z_2 = 10\text{ K}\Omega$ และ $C_1 = 1\text{ nF}$ พบว่า

แรงดันของวงจรมีเฟสต่างจากกระแส -90 องศาเฟสและมุมของกระแสกับแรงดันทั้ง 3 วงจรเป็นไปตามคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เป็นอย่างดี

5. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอวงจรเสมือนอุปกรณ์แบบต่อลงกราวด์ที่สามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยโครงสร้างของวงจรประกอบด้วยอุปกรณ์แอกทีฟคือวงจรขยายความนำถ่ายโอนสายพานกระแสหรือ CCTA จำนวน 1 ตัว กับอุปกรณ์พาสซีฟต่อลงกราวด์ 2 ตัว วงจรนี้สามารถทำหน้าที่เป็นวงจรเสมือนอุปกรณ์ได้ 3 วงจร โดยไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวงจรเพียงแต่เลือกชนิดและค่าอุปกรณ์พาสซีฟในวงจรเท่านั้น อีกทั้งวงจรที่นำเสนอนี้สามารถปรับค่า ความต้านทาน ความเหนี่ยวนำและค่าการเก็บประจุได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์โดยการปรับกระแสไบแอสของ CCTA ทำให้มีความง่ายและสะดวกเหมาะสมในการนำไปประยุกต์และต่อใช้งานในระบบสื่อสารหรือนำไปพัฒนาให้อยู่ในรูปของวงจรรวม ผลของการจำลองงานด้วยโปรแกรม Pspice พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ เฟสและมุมของกระแสกับแรงดันทั้ง 3 วงจรเป็นไปตามคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Psychalinos C., Pal K. and Vlassis S. (2018). A floating generalized impedance converter with current feedback operational amplifiers. **AEU-International Journal of Electronics and Communications**, 62(2), 81-85.
- [2] Saad, Ramy A., Soliman and Ahmed M. (2010). On the systematic synthesis of CCII-based floating simulators. **International Journal of Circuit Theory and Applications**, 38(9), 935-967.
- [3] Sagbas, M., Ayten U.E., Sedef H. and Koksak, M. (2009). Floating immittance function simulator and its applications. **Circuits Systems & Signal Processing**, 28(1), 55-63.
- [4] Yuce, E. (2006). On the realization of the floating simulators using only grounded passive components. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, 49(2), 161-166.
- [5] Tangsirat, W. (2013). Floating simulator with a single DVCCTA. **Indian Journal of Engineering & Materials Sciences**, 20, 79-86.

-
- [6] Çam U., Çiçekoğlu, O., and Kuntman, H. (2001). Novel lossless floating immittance simulator employing only two FTFNs. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, **29**(3), 233-235.
- [7] Yuce E. (2007). On the implementation of the floating simulators employing a single active device. **AEU- International Journal of Electronics and Communications**, **61**(7), 453-458.
- [8] Yuce E., Cicekoglul O., and Minaei S. (2006). CCII-based grounded to floating immittance converter and a floating inductance simulator. **Analog integrated circuits and signal processing**, **46**(3), 287-291.
- [9] Çam, U., Kaçar, F., Cicekoglul O., Kuntman, H. and Kuntman, A. (2004). Novel two OTRA-based grounded immittance simulator topologies. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, **39**(2):169-175.
- [10] Jaikla, W., and Siripruchyanun, M. (2007). Realization of current conveyors-based floating simulator employing grounded passive elements. In **Proceedings of the ECTI con**, pp. 89-92.
- [11] Premont, C., Grisel, R., Abouchi, N. and Chante, J.P. (1997). A current conveyor based capacitive multiplier. In **Proceedings of 40th Midwest Symposium on Circuits and Systems**, pp.146-147, IEEE.
- [12] Silapan, P., Tanaphatsiri, C., & Siripruchyanun, M. (2008). Current controlled CCTA based-novel grounded capacitance multiplier with temperature compensation. In **APCCAS 2008-2008 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems**, pp. 1490-1493.
- [13] Yuce, E., Minaei, S., & Cicekoglul O. (2006). Resistor less floating immittance function simulators employing current controlled conveyors and a grounded capacitor. **Electrical Engineering**, **88**(6), 519-525.
- [14] Khan, A., Bimal, S., Dey, K., and Roy, S. (2002). Current conveyor-based R-and C-multiplier circuits. **International journal of electronics and communications**, **56**(5), 312-316.
- [15] Pal, K. (1981). New inductance and capacitor floatation schemes using current conveyors. **Electronics letters**, **17**(21), 807-808.
-

- [16] Yuce, E. (2008). Grounded inductor simulators with improved low-frequency performances. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 57(5), 1079-1084.
- [17] Prasad, D., and Bhaskar, D.R. (2012). Grounded and floating inductance simulation circuits using VDTAs. **Circuits and Systems**, 3(4), 342-347.
- [18] Prokop, R. and Musil, V. (2005). New modern circuit block CCTA and some its applications. **The Fourteenth International Scientific and Applied Science Conference – Electronics ET**, pp. 93-98.

