



วงจรวีค่าความจุไฟฟ้าแบบลงกราวนด์โดยใช้วงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2

กนกวรรณ เรืองศิริ^{1*} และ มนต์รี ศิริปรัชญานันท์²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างวงจรวีค่าความจุไฟฟ้าแบบต่อลงกราวนด์ โดยใช้คุณสมบัติของวงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 ต่อรวมกันกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ผลของการวีค่าความจุไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับค่าอัตราขยายของวงจรวีค่าความจุไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยค่าอัตราส่วนของตัวต้านทาน โดยวงจรวีค่าความจุไฟฟ้าแบบลงกราวนด์ที่นำเสนอมีค่าถูกต้องตามหลักการทางทฤษฎี และให้ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice มีความสอดคล้องกันกับผลที่ได้จากการวัดจริง โดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน $\pm 5\%$

คำสำคัญ: วงจรวีค่าความจุไฟฟ้า วงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร. 08-9872-2974 อีเมล: krs_Teched@hotmail.co.th



Grounded Capacitance Multiplier Using Second Generation Current Conveyor

Kanokwan Ruangsiri^{1*} and Montree Siripruchyanun²

Abstract

This research proposes the design and production of a grounded capacitance multiplier, that comprises of resistors and a capacitor. The results obtained depend on the gain of the circuit which is controlled by the resistors, in which the grounded capacitance multiplier that is presented produces the standard value according to theory. The results from simulation by PSpice is correlated with actual evaluation that has standard deviation of $\pm 5\%$

Keywords: Grounded Capacitance Multiplier, Second Generation Current Conveyor

¹ Master Degree Student, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

² Associate Professor, Department of Technological Education, Faculty of Technical Education King Mongkut's University of Technology North Bangkok

* Corresponding Author Tel. 08-9872-2974 Email: krs_Teched@hotmail.co.th

1. บทนำ

ในปัจจุบันการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วงจรกรองความถี่ วงจรกำเนิดสัญญาณ สำหรับประยุกต์ใช้ในงานด้านการสื่อสาร หรือการประมวลผลสัญญาณ พบว่า การมีการใช้ค่าความจุจากตัวเก็บประจุภายนอกต่อร่วมกันกับอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ เช่น ตัวต้านทาน หรือ อุปกรณ์ประเภทไอซี [1] เพื่อให่วงจรเกิดการดำเนินงานตามคุณสมบัติที่ต้องการ และในกรณีที่วงจรที่ออกแบบ มีความต้องการ การใช้ค่าความจุที่สูงขึ้นเพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติบางประการของวงจร เช่นการปรับค่าความถี่ หรือการปรับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่งผลให้ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้งานมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งการทำงานของวงจรบางประเภท จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าความจุที่เหมาะสม ในทางปฏิบัติสามารถทำได้โดยการใช้ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ แต่จะมีขนาดใหญ่กว่าการใช้ตัวเก็บประจุแบบค่าคงที่ หรือใช้วิธีการถอดประกอบอุปกรณ์เพื่อปรับเปลี่ยนให้ได้ค่าตามที่ต้องการ แต่วิธีการดังกล่าว พบว่ามีปัญหาในเรื่องของขนาดและความไม่สะดวกในการใช้งาน ซึ่งอาจส่งผลต่อความเสียหายของวงจรได้ เนื่องจากการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ควรคำนึงถึงการออกแบบให้วงจรมีขนาดเล็ก และใช้พลังงานให้น้อยที่สุด เพื่อความเหมาะสมและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

จากปัญหาดังกล่าว จึงได้มีนักวิจัยทำการออกแบบและนำเสนอวงจรทวีค่าความจุไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ วงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าแบบลอย และวงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าแบบลงกราวด์ แต่จากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าข้อได้เปรียบของวงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าแบบลงกราวด์ สามารถทำได้โดยการใช้แผ่นเพลตที่ทำการชิลิกอนเพียงด้านเดียวเนื่องจากอีกด้านสามารถใช้ร่วมกับกราวด์ของวงจรได้ ทำให้ขนาดของวงจรเล็กลง [2]

วงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าแบบลงกราวด์ได้มีการพัฒนาและออกแบบมาอย่างต่อเนื่อง โดยในยุคแรกมีการออกแบบโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทรานซิสเตอร์แบบซีมอสสำหรับการควบคุมให้วงจรใช้แหล่งจ่ายแรงดันที่ต่ำลงและลดค่ากำลังไฟฟ้า ส่งผลให้การออกแบบวงจรมีการใช้พื้นที่ในการสร้างลดลง ในขณะที่วงจรยังมี

ประสิทธิภาพสูง มีความเร็วในการทำงานอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ประเภทแอกทีฟ [3-7] แต่จากการศึกษา ยังพบข้อจำกัดบางประการ ของการใช้เทคโนโลยีทรานซิสเตอร์แบบซีมอส นั่นคือ ต้องการความสมพ่วงกันของอุปกรณ์ [6, 7]

ต่อมาจึงได้มีการนำเสนอวงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ประเภทแอกทีฟเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว เช่น การใช้อุปกรณ์ประเภทออปแอมป์ (Operational Amplifier: Op-Amp) ทำงานร่วมกับวงจรขยายความนำ (Operation Transconductance Amplifier: OTA) [8] แต่จากการศึกษาพบว่าวงจรที่นำเสนอด้วยออปแอมป์ให้ผลตอบสนองทางความถี่ต่ำ และสัญญาณทางด้านออกมีความผิดเพี้ยนสูงเนื่องจากวงจรจะถูกจำกัดด้วยอัตราขยายช่วงความถี่ (Gain Bandwidth) ของออปแอมป์

ที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยบางกลุ่มได้มีการประยุกต์การใช้ อุปกรณ์ประเภทแอกทีฟอื่นๆ สำหรับสร้างเป็นวงจรทวีค่าความจุไฟฟ้า เช่น (Operation Transconductance Amplifier: OTA) [9], (Differential Voltage Current Conveyor: DVCC) [10] และ (Current Controlled Current Conveyor Transconductance Amplifier: CCCCTA) [11] ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวเหล่านี้มีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไปตามรูปแบบการใช้งาน โดยเฉพาะในกรณีที่อุปกรณ์บางชนิดยังไม่มีการผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ทำให้การใช้งานจริงต้องประยุกต์ใช้ไอซีประเภทต่างๆ มาต่อรวมกันเพื่อให้ได้ผลการทำงานตามที่ต้องการ [12-13] ทำให้เกิดความยุ่งยากในการต่อใช้งาน และอาจส่งผลให้มีอัตราการใช้พื้นที่กำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น อันเนื่องมาจากจำนวนของอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นและความแตกต่างกันของประเภทไอซีที่นำมาต่อรวมกัน ดังนั้นการออกแบบวงจร โดยการเลือกใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นและลดความแตกต่างของไอซี ที่ใช้ จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะการออกแบบวงจร โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ผลิตออกมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์อยู่แล้ว จะช่วยเป็นการลดต้นทุนของวงจรได้ [14] ซึ่งอุปกรณ์ที่มีการผลิตในเชิงพาณิชย์ มีหลายชนิด เช่น วงจรขยายความนำหรือ OTA และวงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 หรือ CCII และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติของอุปกรณ์

ดังกล่าว พบว่าวงจรสายพานกระแสมีข้อดีในการใช้งาน เนื่องจากสามารถทำงานได้ทั้งในโหมดแรงดันและโหมดกระแส และสามารถควบคุมการปรับค่ากระแสได้จากอุปกรณ์ภายนอกโดยอุณหภูมิไม่มีผลต่อด้านออกของวงจร [15]

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและสร้างวงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าแบบตอลงกราวนด์ โดยใช้วงจรสายพานกระแส รุ่นที่ 2 เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ และช่วยส่งเสริมงานวิจัยทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้มีการพัฒนา และประยุกต์ใช้เป็นสื่อการสอนสำหรับนักศึกษาและผู้สนใจต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างวงจรทวีค่าความจุแบบตอลงกราวนด์ด้วยวงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2

2.2 เพื่อเปรียบเทียบทฤษฎี ผลการจำลองโปรแกรมจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการทดสอบวงจรจริง

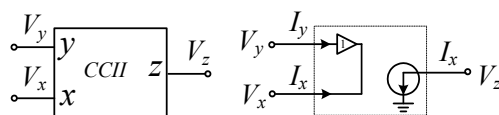
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการวิจัยต้องอาศัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเป็นข้อมูลประกอบการสร้างและออกแบบวงจรโดยมีทฤษฎีดังนี้

3.1 คุณสมบัติของวงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2

วงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าแบบตอลงกราวนด์ที่นำเสนอประยุกต์ใช้คุณสมบัติของวงจรสายพานกระแสในการออกแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

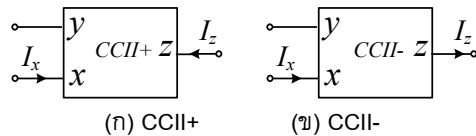
วงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 (CCII) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมประยุกต์ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างหลากหลาย มีขนาดเล็ก และอัตราการบริโภคพลังงานต่ำมีสัญลักษณ์และวงจรมุมภายใน แสดงดังรูปที่ 1



(ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรมุมภายใน

รูปที่ 1 วงจรสายพานกระแส CCII

รูปที่ 1 แสดงสัญลักษณ์และวงจรมุมภายในของวงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภท 3 ขั้ว ได้แก่ ขั้ว x ขั้ว y และ ขั้ว z โดยขั้ว x และ ขั้ว y เป็น ขั้วอิมพีแดนซ์ทางด้านเข้า (Input Impedance) แต่จะต่างกันที่ขั้ว y จะค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านเข้าสูงมาก ส่งผลให้กระแส I_y ที่ไหลเข้าในวงจรมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนขั้ว z จะเป็นขั้วอิมพีแดนซ์ทางด้านออก (Output Impedance) วงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 แบ่งออกเป็น 2 ชนิด แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชนิดของวงจรสายพานกระแส CCII

รูปที่ 2 แสดงชนิดของวงจร CCII ได้แก่ วงจร CCII+ และวงจร CCII- โดยชนิดแรกแสดงดังรูปที่ 2 (ก) มีกระแสทางด้านขั้ว z (I_z) เท่ากับกระแสทางด้านขั้ว x (I_x) และมีทิศทางการไหลของกระแสที่สวนทางกัน ตามลักษณะทิศทางการไหลของกระแสที่สวนทางกัน ตามลักษณะทิศทางการไหลของกระแสที่สวนทางกัน ตามลักษณะทิศทางการไหลของกระแสที่สวนทางกัน ตามลักษณะทิศทางการไหลของกระแสที่สวนทางกัน ตามลักษณะทิศทางการไหลของกระแสที่สวนทางกัน ตามลักษณะทิศทางการไหลของกระแสที่สวนทางกัน ตามลักษณะทิศทางการไหลของกระแสที่สวนทางกัน

$$\begin{bmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ I_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสของวงจรสายพานกระแส

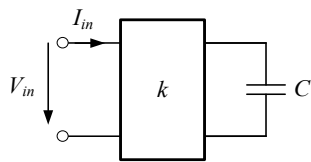
โดยที่ I_y หมายถึงกระแสที่ขา y มีค่าเท่ากับศูนย์

V_x หมายถึงแรงดันที่ขา x มีค่าเท่ากับแรงดันที่ขา y หรือ

I_z หมายถึงกระแสที่ขา z มีค่าเท่ากับค่ากระแสที่ขา x หรือ

3.2 หลักการของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้าแบบ ลงกราวด์

หลักการของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้าเป็นการนำเอาวิธีการที่ใช้อิมพีแดนซ์เสมือนโดยมีค่า k เป็นแฟคเตอร์ขยาย (Gain factor) ของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้าอาศัยหลักการ การขยายกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุที่อยู่ทางด้านนอกให้ไหลมากขึ้น k เท่า เพื่อให้ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่อยู่ทางด้านนอกถูกทรีค่าความจุด้วยค่าคงที่ k แสดงดังรูปที่ 3



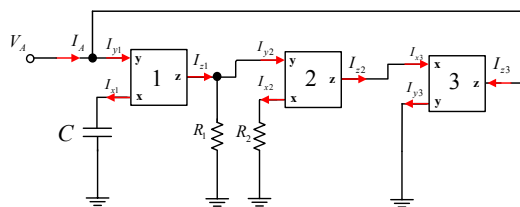
รูปที่ 3 หลักการของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้า

4. ผลการวิจัย

จากหลักการของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้ารูปที่ 3 ได้ทำการออกแบบโดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 วงจรถีค่าความจุไฟฟ้าที่ออกแบบ

วงจรถีค่าความจุไฟฟ้าโดยใช้วงจรสะพานพานกระแสรุ่นที่ 1 ที่ผู้วิจัยออกแบบ เป็นการนำเอาหลักการการออกแบบวงจรถีค่าความจุไฟฟ้า ต่อร่วมกับโครงสร้างของตัวเก็บประจุ [17-18] เพื่อให้เกิดการทำงานเป็นวงจรถีค่าความจุทางไฟฟ้า ตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรถีค่าความจุไฟฟ้าที่นำเสนอ

โดยสมการของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้าที่นำเสนอจากการวิเคราะห์คือ จากวงจรค่ากระแส I_{x1} มีค่าเท่ากับ

$$I_{x1} = V_{x1} C_s \quad (2)$$

จากคุณสมบัติของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้ากระแส $I_{x1} = I_{z1}$

$$I_{z1} = V_{x1} C_s \quad (3)$$

พิจารณาระแสด้านนอก I_{z1}

$$I_{z1} = \frac{V_{y2}}{R_1} \quad (4)$$

จากคุณสมบัติของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้ากระแส $V_{x2} = V_{y2}$ ดังนั้นจะได้

$$V_{x2} = I_{z1} R_1 \quad (5)$$

พิจารณาวงจร ที่ขา x ของ CCII ตัวที่สอง พบว่า

$$V_{x2} = I_{x2} R_2 \quad (6)$$

เทียบสมการที่ (5) และ (6) จะได้

$$I_{z1} R_1 = I_{x2} R_2 \quad (7)$$

ดังนั้น

$$I_{x2} = I_{z1} \frac{R_1}{R_2} \quad (8)$$

แทนค่า I_{z1} จากสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (7)

$$I_{x2} = \frac{V_{x1} R_1 C_s}{R_2} \quad (9)$$

จากคุณสมบัติของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้ากระแส

$$I_{x2} = I_{z2} = I_{x3} = I_{z3} \text{ ดังนั้น}$$

$$I_{z3} = \frac{V_{x1} R_1 C_s}{R_2} \quad (10)$$

จากกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ ค่า $I_A = I_{z3}$ (เนื่องจาก $I_{y1} = 0$) และแรงดันที่จุด $V_A = V_{x1}$ จะได้

$$I_A = \frac{V_A R_1 C_s}{R_2} \quad (11)$$

จากสมการที่ (11) พิจารณาแอดมิตแดนซ์ของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้า

$$\frac{1}{Z_C(s)} = \frac{1}{V_A/I_A} = \frac{R_1 C_s}{R_2} \quad (12)$$

$$\frac{1}{Z_C(s)} = \frac{1}{V_A/I_A} = \frac{R_1 C_s}{R_2} \quad (13)$$

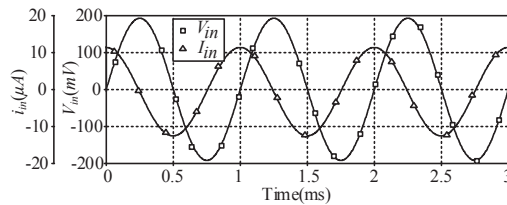
ดังนั้นค่าทรีค่าความจุเท่ากับ

$$C_{eq} = \left(\frac{R_1}{R_2} \right) C \quad (14)$$

จากสมการที่ (13) พบว่าวงจรถีค่าความจุไฟฟ้าสามารถควบคุมค่าความจุทางไฟฟ้าของวงจรถีค่าความจุไฟฟ้าได้ด้วยโดยปรับอัตราส่วนของความต้านทาน R_1 และ R_2 นั้นเอง

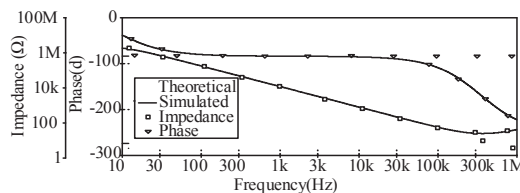
4.2 การจำลองวงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าแบบ ลงกราวนด์ด้วยโปรแกรม PSpice

วงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าแบบลงกราวนด์ที่นำเสนอ
ดังรูปที่ 4 เมื่อนำไปจำลองผลการทำงานด้วยโปรแกรม
PSpice โดยใช้คุณสมบัติของวงจรสายพานกระแส
รุ่นที่ 2 ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูปเบอร์ AD844 กำหนด
ค่าพารามิเตอร์ดังนี้ $V_{in}=200mV_{p-p}$, $f=1kHz$, $R_1=1k\Omega$,
 $R_2=1k\Omega$ และ $C=1nF$ ที่แรงดันไฟเลี้ยงอุปกรณ์ $\pm 5V$
วัดสัญญาณด้านเข้าของวงจร แรงดัน V_{in} เทียบกับ
กระแสของวงจร I_{in} ผลการจำลอง แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 สัญญาณด้านเข้าของวงจรทวีค่าความจุทาง
ไฟฟ้า

จากรูปที่ 5 พบว่าสัญญาณของกระแส (I_{in}) มีมุมเฟส
ของสัญญาณนำหน้าสัญญาณของแรงดัน (V_{in})
90 องศาซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ
จากนั้นทำการทดลองปรับค่าความถี่ในช่วง
10Hz - 1MHz เพื่อวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) และ
เฟสของวงจร ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6

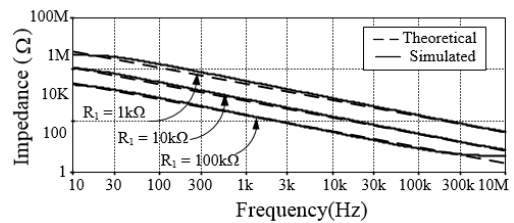


รูปที่ 6 ผลตอบการตอบสนองต่อความถี่ของค่า
อิมพีแดนซ์และเฟส

รูปที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าอิมพีแดนซ์ของ
วงจร ที่ช่วงความถี่ 10Hz - 1MHz พบว่าค่าอิมพีแดนซ์
มีค่าเกิดขึ้นระหว่าง $50\Omega - 10M\Omega$ และเมื่อปรับความถี่
สูงขึ้นไปจะส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรลดลง ในส่วน
ของมุมเฟสของวงจรพบว่ามีค่าต่างเฟสที่ 90 องศา
ผลการเปรียบเทียบวิธีการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice
และวิธีการทางทฤษฎี พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน

เกิดขึ้นในช่วงความถี่สูง อันเนื่องมาจากข้อจำกัดในการ
ตอบสนองต่อความถี่ของอุปกรณ์ แต่อย่างไรก็ตามผลที่
ได้เป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีและคุณสมบัติของการ
ทวีค่าความจุของตัวเก็บประจุ

การทดสอบการทวีค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ
กำหนดตัวเก็บประจุ $C=1nF$ โดยปรับค่าความต้านทาน
 R_1 ที่ $1k\Omega$, $10k\Omega$ และ $100k\Omega$ ในขณะที่คงค่าความ
ต้านทาน $R_2=1k\Omega$ ผลการจำลองค่าอิมพีแดนซ์แสดง
ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 อิมพีแดนซ์ด้านเข้าเมื่อปรับค่า R_1

รูปที่ 7 แสดงการปรับเปลี่ยนค่าอัตราทวีค่าความ
ทางไฟฟ้า โดยการปรับค่าความต้านทาน R_1 ผลการ
จำลองพบว่าเมื่อค่า R_1 สูงขึ้น ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรที่
ได้จะมีค่าลดลง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าค่าตัวเก็บประจุ
เสมือนในวงจร จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากการปรับค่า R_1
นั่นเอง และเมื่อพิจารณาที่ในแต่ละช่วงความถี่พบว่าเมื่อ
ความถี่สูงขึ้นจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีค่าลดลงผลการ
เปรียบเทียบค่าอิมพีแดนซ์ที่จำลองด้วยโปรแกรมมีค่า
สอดคล้องกัน เมื่อเทียบกับวิธีการทางทฤษฎี

ตารางที่ 1 ผลของการทวีค่าความจุไฟฟ้าเมื่อ $C=1nF$

อัตราทวี ค่าความ จุไฟฟ้า (R_1/R_2)	ค่าที่ได้จาก การคำนวณ ทางทฤษฎี (F)	ค่าที่ได้ จากการ จำลอง (F)	ค่าความ ผิดพลาด (%)
1	1	0.985n	1.50
10	10	9.75n	2.50
100	100	96.15n	3.85
500	500	478.55n	4.29
1,000	1u	0.965u	3.50
1,500	1.5u	1.43u	4.60

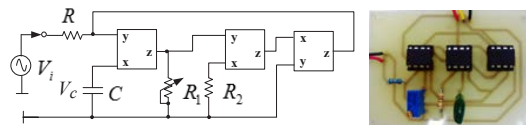
การตรวจสอบการทวีค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บ
ประจุในรูปแบบการคำนวณย้อนกลับเพื่อแสดงค่า
ตัวเก็บประจุที่แท้จริง ทำได้โดยการกำหนดค่า $C=1nF$

นำค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการจำลองไปคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อกำหนดค่า C ในวงจรเท่ากับ 1 nF ทำการปรับค่าอัตราการทวีค่าความจุไฟฟ้าโดยการปรับค่า R_1 เพื่อให้ได้อัตราการทวีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 1, 10, 100, 500, 1,000 และ 1,500 เท่า ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมจำลอง พบว่า ค่าความจุทางไฟฟ้าของวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของการทวีค่าความจุ และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับวิธีการทางทฤษฎีพบว่ามีความสอดคล้องกันและมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน $\pm 5\%$

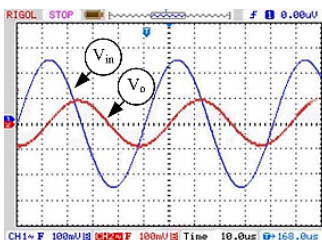
5. การสร้างและทดสอบวงจร

การจำลองผลการทำงานของวงจรเปรียบเทียบผลที่ได้กับการคำนวณทางทฤษฎี มีความสอดคล้องกัน เพื่อเป็นการทดสอบการทำงานจริงของวงจรจริง ผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างวงจรโดยใช้วงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูปเบอร์ AD844 กำหนด $V_{in}=500\text{ mV}_{P-P}$, $f=20\text{ kHz}$, $R_1=1\text{--}64\text{ k}\Omega$, $R_2=1\text{ k}\Omega$ และ $C=10\text{ nF}$ ต่อร่วมกับตัวต้านทาน $R=1\text{ k}\Omega$ แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 วงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

ใช้เครื่องมือวัด วัดสัญญาณ V_{in} เทียบกับสัญญาณที่ตัวเก็บประจุ V_C ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 9

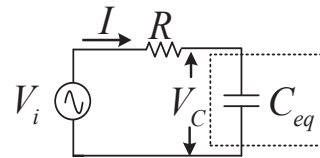


รูปที่ 9 แรงดันทางด้านเข้าและแรงดันที่ตัวเก็บประจุ

รูปที่ 9 แสดงผลการวัดสัญญาณด้านเข้าของวงจร (V_{in}) เทียบกับสัญญาณที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) ด้วย

เครื่องมือวัดออสซิลโลสโคป ผลที่ได้พบว่าสัญญาณทั้งสองมีความต่างเฟสกัน 90 องศา ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ

ทดลองปรับค่าตัวต้านทาน R_1 ตั้งแต่ $1\text{ k}\Omega - 64\text{ k}\Omega$ เพื่อทดสอบการทวีค่าความจุของตัวเก็บประจุ โดยการวัดแรงดันที่ด้านเข้า และแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่มีค่า 10 nF เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความจุทางไฟฟ้าโดยใช้คุณสมบัติของวงจร RC อนุกรม แสดงดังรูปที่ 10



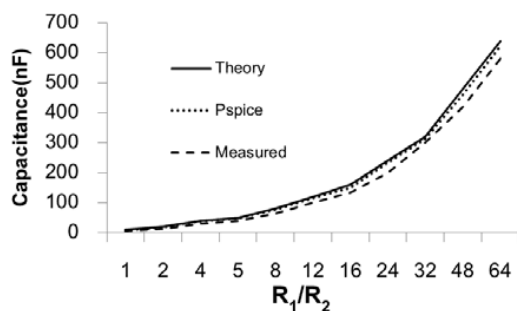
รูปที่ 10 หลักการของการวัดเพื่อตรวจสอบการทวีค่าความจุทางไฟฟ้า

สมการสำหรับคำนวณหาค่าความจุทางไฟฟ้าเสมือน (C_{eq}) เขียนได้ดังนี้

$$C_{eq} = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (15)$$

โดยที่ $X_C = \frac{V_C}{I}$, $I = \frac{V_R}{R}$ และ $V_R = \sqrt{V_i^2 - V_C^2}$

ผลที่ได้จากการวัดค่าที่อัตราขยายต่างๆ (R_1/R_2) เมื่อนำไปเขียนกราฟเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการทวีค่าความจุที่ค่าของตัวเก็บประจุ มีค่า 10 nF

รูปที่ 11 แสดงผลการปรับค่าอัตราทวีค่าความจุทางไฟฟ้าของตัวเก็บประจุขนาด 10 nF โดยเลือกปรับค่าตัวต้านทาน R_1 ที่มีค่าตั้งแต่ $1\text{ k}\Omega - 64\text{ k}\Omega$ ผลที่ได้พบว่าค่าความจุทางไฟฟ้าของวงจร มีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วน

ของเกณฑ์การขยายที่ควบคุมด้วยตัวต้านทาน R_1 โดยผลที่ได้จากการวัดมีค่าถูกต้องตามหลักการทางทฤษฎี และสอดคล้องกันกับโปรแกรมจำลอง Pspice

6. สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการออกแบบและสร้างวงจรทวีความจุไฟฟ้าแบบลงกราวนด์ โดยใช้วงจรสายพานกระแสรั้งที่ 2 ผลที่ได้จากการทดสอบ พบว่าวงจรสามารถทวีค่าความจุของตัวเก็บประจุได้ โดยการเพิ่มอัตราขยายของวงจรผ่านการปรับอัตราส่วนค่าความต้านทานของ R_1 และ R_2 วงจรให้ผลการทำงานที่ถูกต้องตามหลักการทางทฤษฎี และให้ผลที่สอดคล้องกันกับโปรแกรมจำลองเชิงพาณิชย์ที่มีค่าผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน $\pm 5\%$ ดังนั้นวงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าที่นำเสนอในครั้งนี้ จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์งานวิจัย และเป็นสื่อการเรียนการสอน เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพทางการเรียนรู้ของนักศึกษาต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] มนตรี สมดุลยภน และคณะ. (2554). วงจรทวีค่า "ความจุแบบลอยตัวโดยใช้วงจร CCDDCs และการประยุกต์ใช้งาน." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า. ครั้งที่ 34 : 901-904.
- [2] M.Bhusha and R.Newcomb. (1967). "Grounding of capacitors in integrated circuit." Electronics letter. Vol.3 : 148-149
- [3] M.T. Ahmed, I.A. Khan and T. Praveen. (1988). "Wide range electronically tunable component multiplier." International journal of Electronics. Vol.65 No.5 : 1007-1011.
- [4] I.A. Khan and M.T. Ahmed. (1986). "OTA-Based integrable voltage/current-controlled ideal C-Multiplier." Electronics letters. Vol. 22 No.7 : 365-346.
- [5] S. Minaei, E. Yuce and O. Cicekoglu. (1998). "A versatile active circuit for realizing floating inductance, capacitance, FDNR and admittance converter." Analog Integrated Circuits and Signal Processing. Vol.47 : 199 - 202.
- [6] K. Pal. (1981). "New induce and capacitor floatation schemes using current conveyors ". Electronics letters. Vol.17 : 807-808.
- [7] E. Yuce. (2005). "Floating inductance, FDNR and capacitance simulation circuit employing only grounded passive elements." International Journal of Electronics. Vol.93 No.10 : 679-688.
- [8] M.T. Ahmed, I.A. Khan and N. Minhaj. (1995). "Novel electronically tunable C - Multipliers." Electronics letters. Vol.31 No.1 : 9-11.
- [9] W. Jaikla and M. Siripruchyanun. (2006). "An electronically controllable capacitance multiplier with temperature compensation." International Symposium on communications and Information Technologies. Bangkok : THAILAND, 356-359
- [10] M. Siripruchyanun and W. Jaikla. (2007). "Floating capacitance multiplier using DVCC and CCCIs." International Symposium on Communications and Information Technologies Sydney: AUSTRALIA, 218-221.
- [11] P. Silapan, C.Tanaphatsiri and M. Siripruchyanun. (2008). "Current controlled CCTA based-novel grounded Capacitance multiplier with temperature compensation." The 2008 Asia Pacific Conference on Circuits and Systems. Macao: CHINA, 1490-1493
- [12] K.C. Smith and A.Sedra. (1968). "The current conveyor - A new building block." Electronics letters. Vol.56 : 1368-1369.



- [13] A.Sedra and K.C.Smith. (1970). "A Second – generation current conveyor and its applications." IEEE Transaction on Circuit Theory. Vol. CT-17 : 132–134.
- [14] Ian A. Grout PhD. (2006). Integrated Circuit Test Engineering. Typesetting : Camera ready by author . Production : LETEX Jelonek, Schmidt & Vockler GbR, Leipzig, Germany : Printed in Germany.
- [15] Giuseppe Ferri and Nicola Carlo Guerrini. (2001). "Low-voltage low-power novel CCII topologies and application." 8th IEEE International Conference on Electronics Circuits and System. Vol.2 : 1095-1098.
- [16] Sedra A and Smith K. (1970) . "A second – generation current-conveyor and its applications." IEEE Transaction on Circuit Theory. Vol. CT-17 : 132-134.
- [17] Achwek Ben Saied , Samir Ben Salem and Dorra Sellami Masmoidi. (2012). "High Frequency CCII Ameliorate Band - Pass Filter." Journal of Control Engineering and Technology. Vol 2. No.2 : 88-91.
- [18] วุฒิไกร อินทอุดม และ วิวัฒน์ กิรานนท์. (2546). วงจรทวีค่าความจุไฟฟ้าแบบลอยตัวที่มีพื้นฐานอยู่บนวงจรสายพานกระแส. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน : 323-337.