

การสังเคราะห์วงจรเลื่อนเฟสรูปคลื่นไซน์แบบนำหน้า

ควบคุมด้วยกระแส โดยใช้ CCCFTA เพียงตัวเดียว

(A Synthesis of Sinusoidal Leading Phase Shifting Circuit Employing Single CCCFTA)

อรรถัย เกตุแก้ว¹ สมชาย ศรีสกุลเดียว² สมลิน วาขุนทด³ และศักดิ์เดช สังคพัฒน์⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ²สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ³สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

⁴คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสังเคราะห์วงจรเลื่อนเฟสแบบนำหน้า โดยใช้ CCCFTA จุดเด่นของวงจร คือ สามารถปรับค่ามุมต่างเฟสที่ต้องการเลื่อนด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ วงจรที่นำเสนอไม่ซับซ้อนประกอบไปด้วย CCCFTA เพียงหนึ่งตัว ต่อกับตัวเก็บประจุอีกหนึ่งตัว โดยปราศจากตัวต้านทานภายนอก เหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม สมรรถนะการทำงานของวงจรที่นำเสนอสามารถยืนยันผลได้ด้วยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice สามารถทำการเลื่อนเฟสสัญญาณไซน์ได้ความถี่สูงถึง 100MHz โดยที่ยังรักษาระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับอุดมคติ วงจรนี้ใช้แหล่งจ่ายแรงดัน ± 1.2 โวลต์ และมีอัตราการใช้พลังงานเท่ากับ 320 μ W

คำสืบค้น

วงจรเลื่อนเฟสรูปคลื่นไซน์ วงจรขยายส่งผ่านความนำควบคุมด้วยกระแส

Abstract

This paper presents a synthesis of sinusoidal leading phase shifting circuit employing single Current Controlled Current Follower Transconductance Amplifier (CCCFTA). Its advantages are that a sinusoidal output phase angle can be electronically adjusted; the circuit description is very simple, consisting of merely single CCCFTA with single capacitor without external resistor. The proposed circuit is very appropriate to further develop into an integrated circuit. The PSpice simulation results are depicted. The given results agree well with the theoretical anticipation and operating frequency is up to hundreds megahertz ranges which keep in a signal level approximate an ideal. The power consumption is about 320 μ W at ± 1.2 V supply voltages

Keywords:

Sinusoidal Phase Shifting, CCCFTA

1. บทนำ

วงจรเลื่อนเฟส (Phase Shifting Circuit) เป็นวงจรกรองความถี่ที่ยอมให้ทุกความถี่ผ่าน โดยสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตจะมีขนาดเท่ากัน แต่สามารถที่จะเลื่อนเฟสให้สัญญาณเอาต์พุตกับอินพุตต่างกัน ปัจจุบันวงจรเลื่อนเฟสนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับวงจรอื่น ในระบบไฟฟ้าสื่อสาร และงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มากมาย ตัวอย่างเช่น เครื่องมือวัดเฟสมิเตอร์ ออสซิลโลสโคปในวงจรมอดูเลตแบบต่าง ๆ [1] วงจรหน่วงเวลา [2] และเครื่องช่วยฟัง จากการศึกษาพบว่า ได้มีผู้นำเสนอวงจรเลื่อนเฟสที่มีโครงสร้าง และวิธีการต่าง ๆ การออกแบบจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระดับทรานซิสเตอร์ (Transistor Level) และแบบอุปกรณ์สำเร็จรูป (Building Block) โดยวิธีที่ใช้ระดับทรานซิสเตอร์ในการออกแบบมีความซับซ้อนมากด้วยเหตุนี้ ได้มีการนำเสนอ การออกแบบวงจรด้วยอุปกรณ์สำเร็จรูป เช่น ออปแอมป์ [3] วงจรสายพานกระแส [4], [5] โอทีเอ (Operational Transconductance Amplifier) [6], [7] วงจรสายพานกระแสที่ควบคุมด้วยกระแส (Current Controlled Current Conveyor) [8] อย่างไรก็ตามวงจรที่ได้เสนอก่อนนี้ได้ ออกแบบวงจรที่ต่อร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟจำนวนมาก และในการออกแบบยังมีความซับซ้อนอยู่ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรคูณ วงจรหาร และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอยู่ในรูปของวงจรรวมหลายตัว และยังคงตอบสนองความถี่ไม่กว้างมาก ซึ่งได้เพียงระดับ 100kHz เท่านั้นที่วงจรยังคงรักษาระดับของสัญญาณไว้ได้ จึงไม่สามารถนำวงจรไปประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่สูงได้ ประกอบกับวงจรที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นวงจรที่มีโครงสร้างซับซ้อน ไม่เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ให้อยู่ในรูปของวงจรรวมจากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวงจรเลื่อนเฟส ที่สามารถปรับค่ามุมต่างเฟสด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ Current Controlled Current Follower Transconductance Amplifier (CCCFTA) [9] ซึ่งโครงสร้างของวงจรที่นำเสนอไม่ซับซ้อน ประกอบไปด้วย CCCFTA เพียงตัวเดียวต่อร่วมกับตัวเก็บประจุอีกหนึ่งตัว จึงเหมาะสมที่จะสร้างเป็นวงจรรวม ผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรโดยใช้ PSpice พบว่าวงจรยังสามารถรักษาระดับของแรงดันให้คงที่ ในย่านความถี่ที่กว้างถึงระดับเมกะเฮิรต

2. หลักการทำงานของ CCCFTA

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอใช้อุปกรณ์หลักคือ CCCFTA จึงขอกล่าวถึง CCCFTA พอสังเขป เริ่มจากความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CCCFTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_f \\ I_z \\ I_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_f & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm g_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_f \\ V_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

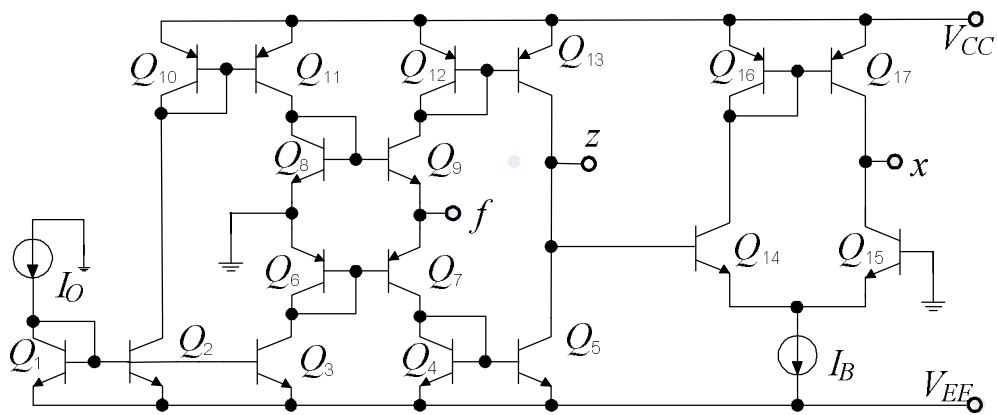
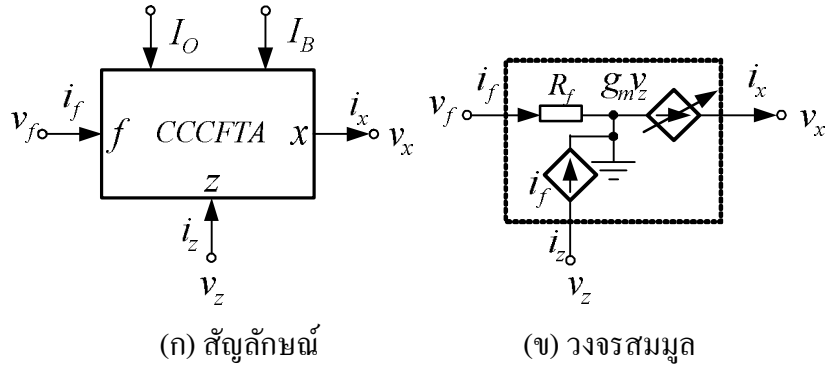
โดยที่ CCCFTA จะมีค่าความต้านทานอินพุตที่ขา f (R_f) มีค่าจำกัด ซึ่ง R_f สามารถควบคุมได้จากกระแสไบแอส I_o ดังสมการต่อไปนี้

$$R_f = \frac{V_T}{2I_o} \quad (2)$$

ค่าความนำถ่ายโอนของ CCCFTA สามารถควบคุมได้ที่ IB ดังแสดงได้ตามสมการที่ (3)

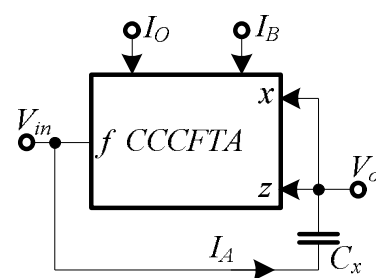
$$g_m = \frac{I_B}{2V_T} \quad (3)$$

เมื่อ V_T เป็นศักดาความร้อน CCCFTA มีสัญลักษณ์วงจรสมมูลและโครงสร้างภายในดังรูปที่ 1 (ก) และรูปที่ 1 (ข)



(ค) โครงสร้างภายในของ CCCFTA

รูปที่ 1 อุปกรณ์ CCCFTA



รูปที่ 2 โครงสร้างของวงจรเลื่อนเฟสที่นำ

3. หลักการของวงจรเลื่อนเฟสที่นำเสนอ

จากรูปที่ 2 เป็นโครงสร้างของวงจรเลื่อนเฟสที่นำเสนอ และใช้คุณสมบัติของ CCCFTA ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.1 จะได้กระแส I_f ดังนี้

$$I_f = \frac{V_{in}}{R_f} \quad (4)$$

และจากวงจรพบว่า

$$I_A = I_z + I_x \quad (5)$$

จากคุณสมบัติของ CCCFTA จะได้ $I_z = I_f$ จากสมการที่ (5) จะได้

$$I_A = I_f + I_x \quad (6)$$

นำสมการ (4) แทนในสมการ (6) และ $I_x = g_m V_z$

$$I_A = \frac{V_{in}}{R_f} + g_m V_z \quad (7)$$

จากวงจรในรูปที่ 2 จะได้กระแส I_A ดังนี้

$$I_A = sC(V_{in} - V_o) \quad (8)$$

แทนสมการ (8) ใน (7) จะได้ดังนี้

$$sC(V_{in} - V_o) = \frac{V_{in}}{R_f} + g_m V_o \quad (9)$$

ดังนั้นจะได้สมการถ่ายโอนดังนี้

$$H(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{sC - \frac{1}{R_f}}{sC - g_m} \quad (10)$$

จากสมการที่ (10) ถ้า $g_m = \frac{1}{R_f}$ ที่ได้จากการปรับกระแสไบอัส $I_B = 4I_o$ จากสมการที่ (10) จะได้

$$H(s) = \frac{sC - g_m}{sC + g_m} \quad (11)$$

เมื่อ $s = j\omega$ ในสมการที่ 11 จะได้

$$H(s) = \frac{j\omega C - g_m}{j\omega C + g_m} = 1 \quad (12)$$

และมีมุมต่างเฟสดังนี้

$$\phi(\omega) = -2 \tan^{-1} \frac{2\pi f c}{g_m} \quad (13)$$

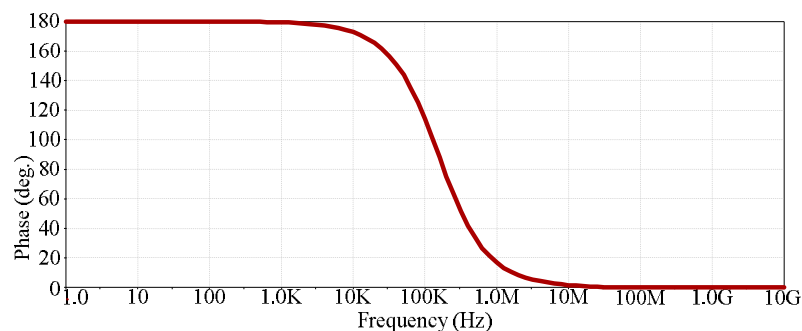
เมื่อ $g_m = \frac{I_B}{2V_T}$ จากสมการที่ (13)

$$\therefore \phi(\omega) = -2 \tan^{-1} \frac{4\pi f c V_T}{I_B} \quad (14)$$

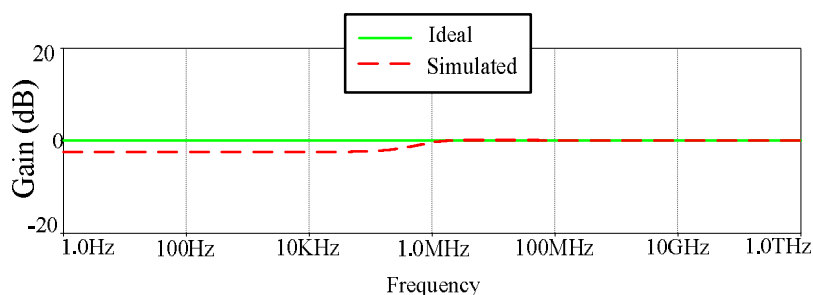
จากสมการที่ (12) และสมการที่ (14) สรุปได้ว่าวงจรเลื่อนเฟสตามรูปที่ 2 มีอัตราขยายกระแสเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นคุณสมบัติทั่วไปของวงจรเลื่อนเฟส และสามารถปรับค่ามุมต่างเฟสได้ด้วย กระแสไบแอส I_B

4. ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อยืนยันสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ใช้พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับ จัดเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของบริษัท AT&T [10] โดยกำหนดให้ CCCFTA ทำงานที่แรงดัน $\pm 1.2V$ และมีโครงสร้างภายในแสดงดังรูปที่ 1(ค) โดยตัวเก็บประจุมีค่า $1nF$ ส่วน $I_O=50\mu A$ และ $I_B=200\mu A$ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุต $10mV$

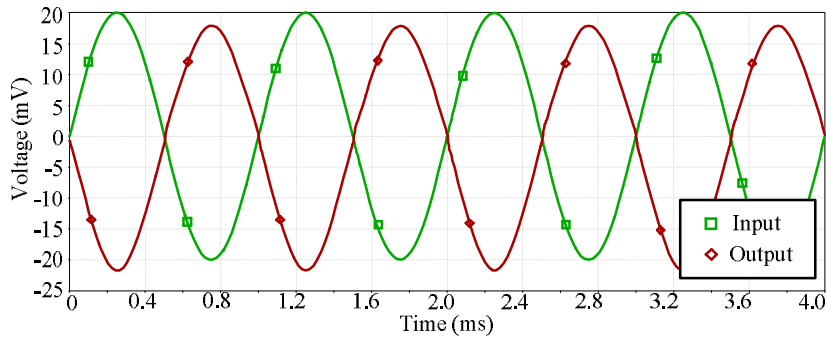


รูปที่ 3 ผลตอบสนองทางเฟสเทียบกับความถี่

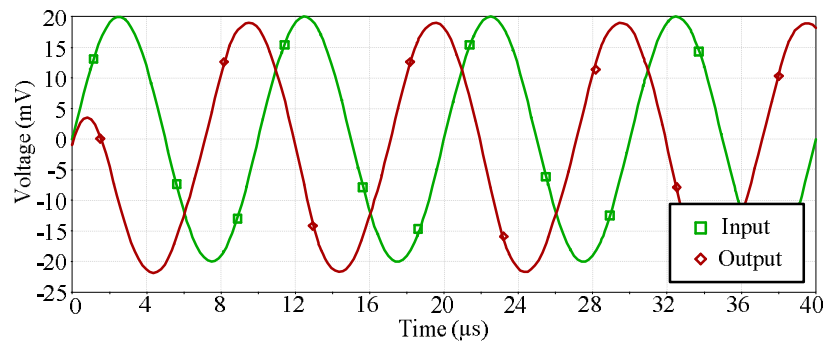


รูปที่ 4 ผลตอบสนองทางขนาดเทียบกับความถี่

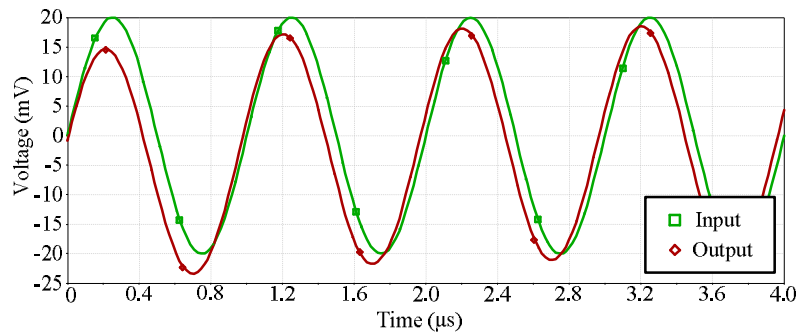
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมต่างเฟสเทียบกับความถี่ ซึ่งพบว่าที่ความถี่ต่ำสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตมีเฟสต่างกัน 180 องศา ส่วนที่ความถี่สูงมีเฟสต่างกันลดน้อยลง สอดคล้องกับสมการที่ (14) ส่วนรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดเทียบกับความถี่ของขนาดของสัญญาณในทางอุดมคติได้จากการคำนวณ กับการจำลองการทำงานของวงจรที่นำเสนอ ซึ่งผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากในทางอุดมคติประมาณ -2dB และมีความสอดคล้องกับสมการที่ (14)



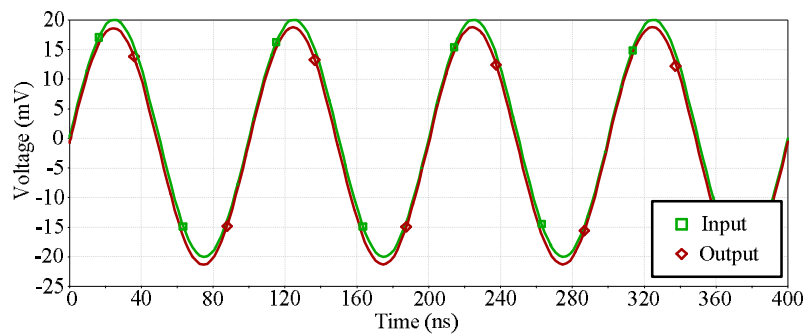
รูปที่ 5 สัญญาณอินพุตเทียบกับเอาต์พุตเมื่อป้อนอินพุตมีความถี่ 1kHz



รูปที่ 6 สัญญาณอินพุตเทียบกับเอาต์พุตเมื่อป้อนอินพุตมีความถี่ 1MHz

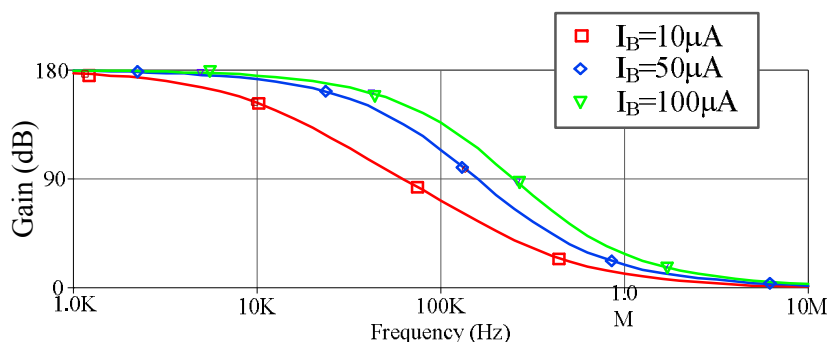


รูปที่ 7 สัญญาณอินพุตเทียบกับเอาต์พุตเมื่อป้อนอินพุตมีความถี่ 10MHz



รูปที่ 8 สัญญาณอินพุตเทียบกับเอาต์พุตเมื่อป้อนอินพุตมีความถี่ 100MHz

รูปที่ 5, 6, 7 และ 8 แสดงสัญญาณอินพุตเทียบกับเอาต์พุต เมื่อป้อนอินพุตมีความถี่ 1 kHz, 1MHz, 10MHz และ 100MHz ตามลำดับ ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการในการจำลองดังรูปที่ 3 กล่าวคือ เมื่อความถี่ 1 kHz จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีความต่างเฟสกับอินพุตอยู่ 180 องศา และที่ความถี่ 100MHz สัญญาณเอาต์พุตกับอินพุตมีเฟสเหมือนกัน ส่วนรูปที่ 9 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของมุมต่างเฟสที่กระแสไบแอสต่าง ๆ เห็นได้ชัดเจนว่า ค่ามุมต่างเฟสของสัญญาณสามารถควบคุมได้จากกระแส ไบแอส I_B สอดคล้องกับสมการที่ (14)



รูปที่ 9 ผลของมุมต่างเฟสเมื่อเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไบแอส

5. สรุปผลการจำลองการทำงาน

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอ วงจรเลื่อนเฟสแบบนำหน้า โดยใช้อุปกรณ์ CCCFTA เพียงตัวเดียวต่อร่วมกับตัวเก็บประจุอีกเพียงหนึ่งตัว จึงมีความสะดวกและง่ายต่อการพัฒนาเป็นวงจรรวม เนื่องจากจะใช้พื้นที่ในชิปน้อย โดยสามารถควบคุมความถี่ในการเลื่อนเฟสได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ วงจรมีอัตราการบริโภคพลังงานเท่ากับ 320μW ที่แรงดันไฟเลี้ยง $\pm 1.2V$

บรรณานุกรม

- [1] L. W. Couch II., "Digital and Analog Communication System", 5th ed., New York. Prenticehall, Chapter 5, 1997.
- [2] K. Bult and H. Wallinga, "A CMOS Analog Continuous-Time Delay Line with Adaptive Delay-Time Control," IEEE Journal of solid-state circuits, vol. 23, no. 3, June 1988.
- [3] E. W. Tay., and V. G. K. Murti., "Unity gain frequency-independent quadrature phase shifter," Electronics Letters, vol. 20, no. 10, 1984, pp. 431-432.
- [4] O. Cicekoglul, H. Kuntman and S. Berk., "All-pass filters using a single Current conveyor," International Journal of Electronics, vol. 86, no. 8, 1999, pp. 947-955.
- [5] อนุธิ์ หล่อสวัสดิ์ศิริ วิชา แสงพิลธิธิ์ ปราโมทย์ วาดเขียน และ วิวัฒน์ กิรานนท์. 2540 "วงจรเลื่อนเฟส และ วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรม ไฟฟ้า ครั้งที่ 20. หน้า 796-800

- [6] เสน่ห์ โมตรีจิตร เกียรติศักดิ์ คมวัชร และ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร. “วงจรเลื่อนเฟสไม่ขึ้นกับค่าที่ปรับค่ามมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ 2541” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21. หน้า 692-694
- [7] B. P. Das, N. Watson and Y. Liu, “Simulation of Voltage Controlled Tunable All Pass Filter using LM13700 OTA,” International Journal of Electrical and Computer Engineering, 5: 6, 2010.
- [8] จิรศักดิ์ โททอง, มนตรี ศิริปรัชญานันท์ และสมศักดิ์ อรรถทิมากุล, “วงจรเลื่อนเฟสสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ปรับค่ามมได้โดยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ไม่ขึ้นกับค่าที่โดยอาศัยหลักการออกแบบวงจรรวม” การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 41, หน้า 423-430, กุมภาพันธ์ 2546
- [9] N. Herencsar, J. Koton, K. Vrba, A. Lahiri and O. Cicekoglu, “Current-Controlled CFTA-Based Current-Mode SITO Universal Filter and Quadrature Oscillator,” In Proceedings of the 31st International Conference on Telecommunications and Signal Processing–TSP 2008, Paradfurdo, Hungary, 2008, pp. 107-110.
- [10] D.R. Frey, “Log-domain filtering: An approach to current-mode filtering,” Proc. Inst. Eng, vol. 140, Dec 1993, pp. 406-416.