

รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย ประจำ ปี 2541

ชื่อโครงการ
วงจขยายแบบอินสทรูเมนต์ที่ใช้ OTA
OTA based instrumentation amplifier

ผู้วิจัย

นาย เกียรติศักดิ์ คมวัชระ

RCH *Mr. Kiattisak Kumwachara*

TK

๖๘๖๙

ก๕๕๕๕

เลขหมู่..... ๖๕๕

เลขทะเบียน 64324

วัน,เดือน,ปี 1 1 0.ย. 2549

b. 11108666

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

วงจรรขยายแบบอินสทรูเมนต์ที่ใช้ OTA

OTA-Based Instrumentation Amplifier

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวงจรรขยายแบบอินสทรูเมนต์ (Instrumentation Amplifiers) โดยใช้ OTA เป็นหลักในการออกแบบ ซึ่งค่าอัตราขยายความแตกต่างของวงจรสามารถแปรค่าได้โดยทางอิเล็กทรอนิกส์ วงจรที่นำเสนอประกอบด้วย OTA 3 ตัวต่อร่วมกับความต้านทาน 2 ตัว ผลของศักดาความร้อนของ OTA ได้ถูกชดเชยเป็นผลให้วงจรมีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิที่ดี ผลตอบสนองต่อความถี่ของ CMRR จะมีช่วงกว้างและมีค่า CMRR ที่สูง ส่วนของ ค่าสมรรถนะของวงจรสามารถจะยืนยันได้ด้วยผลการทดลอง

An operational transconductance amplifier (OTA) based instrumentation amplifier circuit, where the differential gain of the circuit can be electronically varied, is proposed in this research. The circuit comprises of three OTAs and two resistors. The thermal voltage (V_T) affecting transconductance gain (g_m) of OTA has been compensated. The proposed circuit has high common-mode rejection ratio (CMRR) over a wide bandwidth. Experimental results that confirm the circuit performance are also included.

1. บทนำ

วงจรรขยายแบบอินสทรูเมนต์เป็นวงจรหนึ่งที่มีการประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ อย่างมาก ทั้งในด้านงานวัดคูลมและระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบอนาลอก ในอดีต Smithers และคณะ [1] ได้เสนอวงจรรขยายแบบอินสทรูเมนต์ โดยใช้โอปแอมป์ 3 ตัว ประกอบกับความต้านทาน 7 ตัว ค่าความต้านทานที่ใช้จะต้องมีความสมพงษ์กันมาก จึงจะทำให้วงจรมีค่า CMRR สูง ต่อมาได้มีการพัฒนาวงจรรขยายแบบอินสทรูเมนต์ในรูปของวงจรรวม (Integrated Circuit) หรือ IC ขึ้นโดย Van de เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plassche [2] วงจรขยายแบบอินสทรูเมนต์แบบนี้จะใช้ตัวเปลี่ยนศักดาเป็นกระแส 2 ชุด และจะมีผลตอบสนองต่อความถี่ที่คงที่ไม่ขึ้นอยู่กับค่าอัตราขยายของวงจร เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการเสนอวงจรถ่ายแบบอินสทรูเมนต์ขึ้นใหม่ 2 วงจร [3], [4] โดยใช้วงจรถ่ายพานกระแสยุคที่สอง (Second generation Current Conveyor) เป็นหลัก วงจรขยายแบบอินสทรูเมนต์แบบนี้จะมีผลตอบสนองต่อความถี่ที่กว้างและมีค่า CMRR ที่สูงโดยไม่ต้องใช้ความต้านทานที่มีความสมพียงกัน และในปัจจุบันนี้ OTA เป็นที่รู้จักกันมากขึ้นและได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวางในด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบอนาล็อก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอการออกแบบวงจรถ่ายแบบอินสทรูเมนต์โดยใช้ OTA เป็นหลัก โดยวงจรที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นจะสามารถแปรค่าอัตราขยายความแตกต่างได้ โดยการควบคุมกระแสจากภายนอก และมีค่า CMRR ที่ค่อนข้างสูงโดยไม่ต้องใช้ความต้านทานที่สมพียงกัน ตลอดจนวงจรมีผลตอบสนองทางความถี่ที่กว้าง

2. วงจรภายในและค่าของ g_m ของ OTA

2.1 หลักการโอทีเอเบื้องต้น

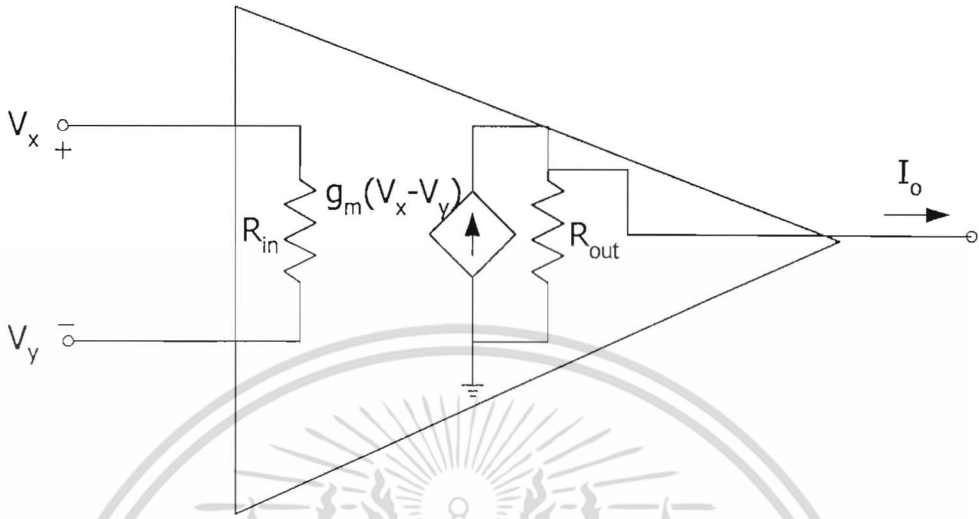
โอทีเอเป็นวงจรถ่ายที่ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นกระแส จัดได้ว่าเป็นอุปกรณ์ประเภทแอกทีฟ ทำงานในลักษณะแหล่งจ่ายกระแสที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Current Source) โดยมีสัญญาณอินพุตเป็นแรงดัน และสัญญาณเอาต์พุตขาออกเป็นกระแส ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ (transconductance) หรือ g_m ของโอทีเอสามารถควบคุมได้โดยกระแสไบแอสจากภายนอก และพัฒนาให้สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างพื้นฐานของโอทีเอ

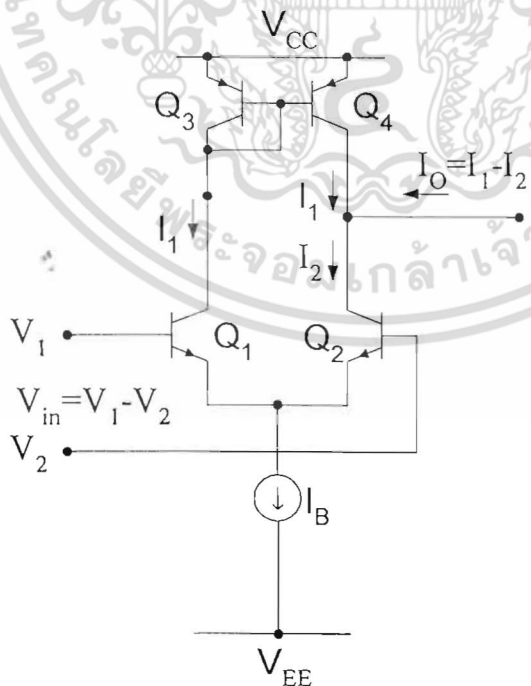
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างอย่างง่าย ๆ ของโอทีเอ โดยมีคุณสมบัติพื้นฐานคือมีอินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Output Impedance) สูง สำหรับวงจรสมมูลย์ทางอุดมคติแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรสมมูลย์ของโอทีเอทางอุดมคติ

โครงสร้างภายในของโอทีเอประกอบด้วยวงจรขยายความต่าง (Differential Amplifier) แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งจะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัว และแหล่งจ่ายกระแสคงที่ 1 ตัว



รูปที่ 3 วงจรขยายความต่าง

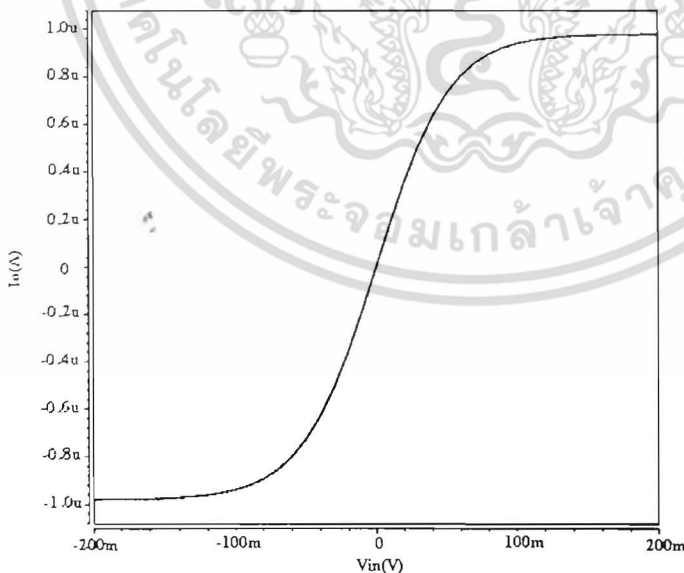
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูปที่ 3 จะมีทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เป็นวงจรขยายความต่างแบบดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส ส่วนทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 เป็นวงจรสะท้อนกระแส ซึ่งมีค่าอัตรากระแสสะท้อนกระแสเท่ากับหนึ่ง โดยมีกระแส I_B เป็นกระแสไบแอสให้กับวงจร เมื่อป้อนแรงดันเข้ามาที่ V_{in} จะทำให้เกิดกระแส I_1 และ I_2 ขึ้นที่ Q_1 และ Q_2 ตามลำดับ และกระแส I_1 จะถูกสะท้อนกระแสเนื่องจากวงจรสะท้อนกระแสแบบลบของทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 ไปหักลบออกจากค่ากระแส I_2 ที่เกิดขึ้นที่ทรานซิสเตอร์ Q_2 ซึ่งจะได้กระแสเอาต์พุตเป็นกระแส I_o มีค่าเท่ากับ $I_1 - I_2$

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส I_o กับค่าแรงดันที่อินพุต V_{in} ของวงจรขยายความต่างในรูปที่ 3 มีค่าเป็นดังสมการที่ 1

$$I_o = I_B \tanh\left(\frac{V_{in}}{2V_T}\right) \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) จะสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสเอาต์พุต I_o กับค่าแรงดันอินพุต V_{in} ได้ดังรูปที่ 4 จากกราฟจะเห็นว่าค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ของโอทีเอจะมีความสัมพันธ์อยู่ในลักษณะของฟังก์ชันไฮเพอร์โบล่าแทนเจนท์ (Hyperbolic-Tangent) โดยในช่วงเชิงเส้นจะอยู่ในช่วงแคบ ๆ แล้วจากนั้นจะเข้าสู่ช่วงอิ่มตัว



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเอาต์พุตกับแรงดันอินพุตของโอทีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (1) สามารถแสดงค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ g_m ได้ดังนี้

$$g_m = \left. \frac{dI_o}{dV_{in}} \right|_{V_{in}=0} = \frac{I_B}{2V_T} \quad (2)$$

เมื่อ I_B คือกระแสไบแอสของตัวโอทีเอ

V_T คือแรงดันความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัวโอทีเอ

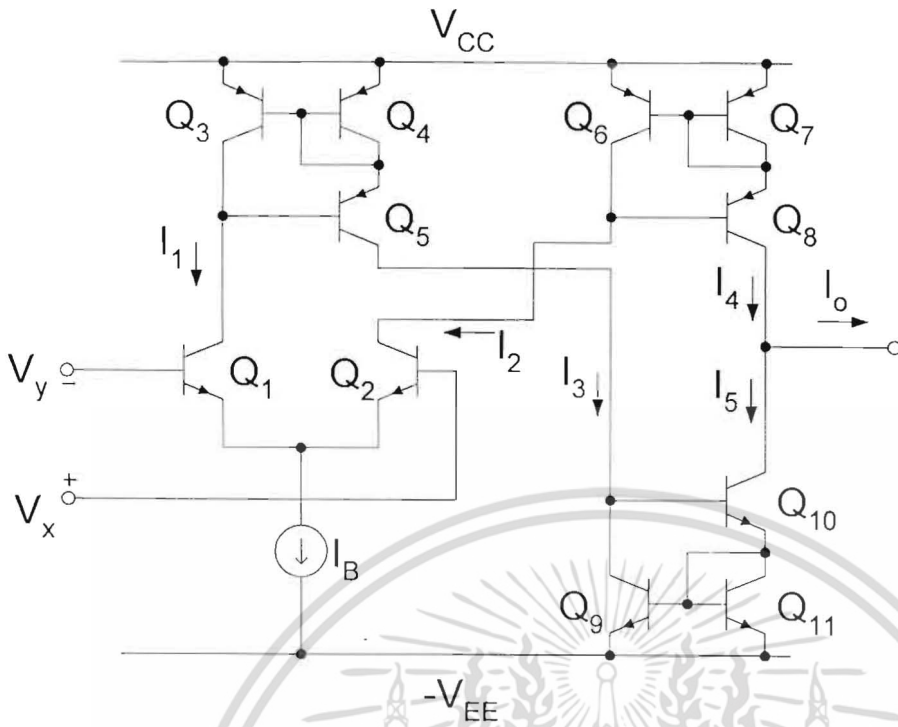
ดังนั้นจะได้ว่าค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ g_m ของวงจรที่เกิดขึ้นสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้โดยค่าของกระแส I_B ซึ่งทำให้วงจรดังกล่าวสามารถที่จะควบคุมค่า g_m ได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ และผลของแรงดันความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อค่า g_m ของโอทีเอ

2.2 การทำงานของโอทีเอ

สำหรับการทำงานของโอทีเอในรูปที่ 5 เป็นวงจรโอทีเอที่ใช้งานอยู่ทั่วไป จะประกอบไปด้วยวงจรขยายความต่าง Q_1 และ Q_2 และวงจรสะท้อนกระแสแบบ Wilson ที่มีอัตราการส่งผ่านกระแสเท่ากับหนึ่ง 3 วงจร ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q_3 - Q_5 , Q_6 - Q_8 และ Q_9 - Q_{11} สำหรับการดำเนินงานของวงจรโอทีเอในรูปที่ 5 นี้จะกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ทุกตัวในวงจรมีความสมพงษ์กันทุกประการ ค่าอัตราขยายกระแส (h_{fe}) มีค่าสูงมาก ๆ หรือค่า $\beta \gg 1$ เพื่อให้กระแสเบสของทรานซิสเตอร์ทุกตัวมีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับกระแสของคอลเลคเตอร์ กระแส I_B เป็นแหล่งจ่ายกระแสคงที่เพื่อจะไบแอสกระแสให้กับโอทีเอ โดยทรานซิสเตอร์ Q_3 จะทำหน้าที่เป็นวงจรสะท้อนกระแสแบบบวก ซึ่งมีอัตราการส่งผ่านกระแสเท่ากับหนึ่ง โดยจะทำการสะท้อนกระแสคอลเลคเตอร์จาก I_{C3} ซึ่งมีค่าเท่ากับ I_B ไปยัง I_{C4} ให้มีค่าเท่ากับ I_B ด้วย โดยเมื่อป้อนสัญญาณขนาดเล็กที่อินพุต V_x เท่ากับที่อินพุต V_y หรือ $V_x - V_y = 0$ กระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_1 หรือกระแส I_1 จะเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ Q_2 หรือกระแส I_2 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $I_B/2$ นั่นเอง ในขณะที่เดียวกันวงจรสะท้อนกระแส Q_3 - Q_5 และ Q_6 - Q_8 จะทำการสะท้อนกระแส ทำให้กระแส I_1 เท่ากับกระแส I_3 และกระแส I_2 เท่ากับกระแส I_4 ตามลำดับ และใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำหนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 5 วงจรรวมพื้นฐานของไอทีเอทีใช้งานทั่วไป

ทำนองเดียวกันวงจรสะท้อนกระแส $Q_9 - Q_{11}$ จะทำให้กระแส I_3 เท่ากับกระแส I_5 ดังนั้นในกรณีที่ $V_x - V_y = 0$ จะหาค่ากระแสที่เอาต์พุต I_o ได้ดังนี้

$$I_o = I_4 - I_5 = I_2 - I_1 = 0 \quad (3)$$

แต่ถ้าป้อนสัญญาณขนาดเล็กที่อินพุต V_x มากกว่าที่อินพุต V_y หรือ $V_x > V_y$ สัญญาณนี้จะบังคับให้กระแสคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ไม่เท่ากันเพราะเนื่องจากค่ากระแสคอลเลกเตอร์ (I_C) และแรงดันระหว่างเบสและอีมิเตอร์ (V_{BE}) มีความสัมพันธ์กันดังสมการต่อไปนี้

$$I_C = I_S \exp \frac{qV_{BE}}{kT} \quad (4)$$

เมื่อ I_S คือ ค่ากระแสย้อนกลับอิมิตัว

k คือ ค่าคงที่ของโบลทซ์มาน (Boltzman constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.38×10^{-23} J/K

q คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

T คือ ค่าอุณหภูมิในหน่วยของสเคลวิน (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ แจกจ่าย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

64324

และ kT/q นี้มีค่าเทียบเท่าเป็นค่าแรงดันที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งมักเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ V_T มีค่าประมาณ 26 mV ที่ 300K ดังนั้นสำหรับในกรณีที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 มีพื้นที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์เท่ากัน จะได้ว่าค่ากระแสย้อนกลับอิมิตตัว I_S จะมีค่าเท่ากัน ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลต่างของแรงดัน V_x และ V_y กับค่ากระแสคอลเลคเตอร์ ดังต่อไปนี้

$$(V_x - V_y) = \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \left(\frac{I_{C2}}{I_{C1}} \right) \quad (5)$$

เมื่อ I_{C1} และ I_{C2} คือ กระแสคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 หรือกระแส I_1 และ I_2 ตามลำดับ ถ้าค่าผลต่างของแรงดัน V_x และ V_y มีค่าเล็กมาก ๆ ประมาณเป็นมิลลิโวลต์ (mV) แล้ว จะได้ $I_{C1} \approx I_{C2} \approx I_B/2$ หรืออัตราส่วน I_{C2}/I_{C1} จะมีค่าเข้าใกล้ 1 จากอนุกรมของเทเลอร์ (Taylor's series expansion) ซึ่งมีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$f(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \frac{f'''(0)}{3!}x^3 + \dots \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) ถ้ากำหนดให้ $f(x) = e^x$ จะได้ว่า

$$e^x = 1 + x + \frac{1}{2!}x^2 + \frac{1}{3!}x^3 + \dots \quad (7)$$

ถ้ากำหนดค่าให้

$$x = \ln \frac{I_{C2}}{I_{C1}} \quad (8)$$

แทนค่าจากสมการที่ (8) ลงในสมการที่ (7) จะได้ว่า

$$e^x = e^{\ln \frac{I_{C2}}{I_{C1}}} = \frac{I_{C2}}{I_{C1}} = 1 + x + \frac{1}{2!}x^2 + \frac{1}{3!}x^3 + \dots \quad (9)$$

จากสมการที่ (9) ถ้าประมาณค่าของอนุกรมเทเลอร์เพียงแค่ 2 เทอมแรกจะได้ว่า

$$\frac{I_{C2}}{I_{C1}} \cong 1 + x \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$x \cong \frac{I_{C2}}{I_{C1}} - 1 \cong \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{C1}} \quad (11)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ (8) กับ (11) จะได้ว่า

$$x = \ln \frac{I_{C2}}{I_{C1}} \cong \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{C1}} \quad (12)$$

จากสมการที่ (5) และ (12) จะประมาณได้ว่า

$$(V_x - V_y) \cong \frac{kT}{qI_{C1}} (I_{C2} - I_{C1}) = \frac{kT}{qI_B/2} (I_{C2} - I_{C1}) \quad (13)$$

จากสมการที่ (3) จะได้ว่า

$$(V_x - V_y) = \frac{2kT}{qI_B} (I_2 - I_1) = \frac{2kT}{qI_B} I_o \quad (14)$$

หรือ

$$I_o = \frac{I_B}{2 \left(\frac{kT}{q} \right)} (V_x - V_y) \quad (15)$$

หรือ

$$I_o = \frac{I_B}{2V_T} (V_x - V_y) \quad (16)$$

จากสมการที่ (2) จะได้กระแสที่เอาต์พุตของโอทีเอ I_o มีค่าดังนี้

$$I_o = g_m (V_x - V_y) \quad (17)$$

ดังนั้นสรุปได้ว่า สามารถปรับเปลี่ยนค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ g_m ได้ด้วยการปรับค่ากระแสควบคุม I_B ถ้าสัญญาณที่อินพุตของโอทีเอมีค่าน้อยพอควรแล้ว I_{C2}/I_{C1} จะมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง จะทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่อินพุตและกระแสที่เอาต์พุตของโอทีเอดังแสดงในสมการที่ (17) กล่าวคือ โอทีเอจะทำงานได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่อินพุตและกระแสที่เอาต์พุตเป็นเชิงเส้น

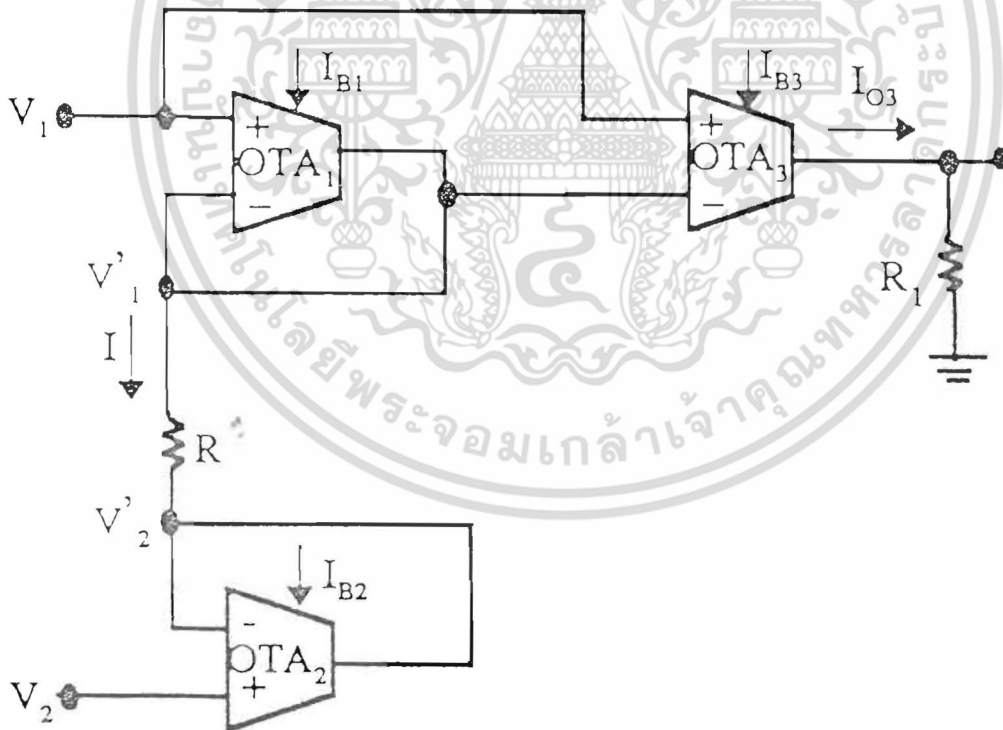
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลักการของวงจร

ในรูปที่ 6 แสดงวงจรขยายแบบอินสทรูเมนต์ที่ใช้ OTA ที่ได้พัฒนาขึ้น จากวงจรในรูปที่ 6 OTA₁, OTA₂ และ R จะทำหน้าที่เป็นวงจรเปลี่ยนศักดาความแตกต่าง (V₁ - V₂) เป็นกระแส I ที่ไหลผ่านความต้านทาน R ถ้า OTA₁ และ OTA₂ มีความสมพียงกัน และกระแสไบอัส I_{B1} = I_{B2} = I_B ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส I และศักดาความแตกต่าง (V₁ - V₂) สามารถหาได้จาก

$$I = \frac{Rg_m}{(Rg_m + 1)} \frac{(V_1 - V_2)}{R} \quad (18)$$

เมื่อ g_m คือค่าความนำของ OTA₁ และ OTA₂ ที่มีค่าเท่ากับ I_B/2V_T โดยที่ V_T คือค่าศักดาความร้อน ถ้ากำหนดให้ Rg_m >> 1 OTA₁ และ OTA₂ จะทำหน้าที่เป็นวงจรตามศักดา (Buffer) ซึ่งจากรูปที่ 6 จะได้ V'₁ = V₁ และ V'₂ = V₂ ดังนั้นสมการที่ (18) จะเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ (19) ดังนี้



รูปที่ 6 วงจรขยายแบบอินสทรูเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = \frac{(V_1 - V_2)}{R} \quad (19)$$

จากรูปที่ 6 สัปดาห์ที่ตกคร่อม OTA₁ (V₁ และ V₁') จะเป็นศักดาจุดเข้าให้กับ OTA₃ และกระแสจุดออก I_{O3} จะหาได้จาก

$$\begin{aligned} I_{O3} &= \frac{gm_3}{gm_1} \frac{(V_1 - V_2)}{R} = \frac{I_{B3}}{I_{B1}} \frac{(V_1 - V_2)}{R} \\ &= A_i \frac{(V_1 - V_2)}{R} \end{aligned} \quad (20)$$

เมื่อ A_i คือค่าอัตราขยายกระแสที่สามารถแปรค่าได้โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของกระแส I_{B3} และ I_{B1} หรืออาจจะกล่าวได้ว่าค่าอัตราขยาย A_i สามารถแปรค่าได้แบบอิเล็กทรอนิกส์ จากสมการที่ (20) จะเห็นได้ว่าผลของศักดาความร้อน V_T ได้ถูกลดทอนไป สำหรับค่าศักดาจุดออก V_O จะหาได้จาก

$$V_O = A_i \frac{R_1}{R} (V_1 - V_2) \quad (21)$$

จากสมการที่ (21) จะได้ว่าในกรณีของอัตราขยายสัญญาณร่วม (common-mode gain) V₁ = V₂ ค่าศักดาจุดออก V_O จะเท่ากับศูนย์ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ค่าความต้านทานที่สมพ้องกัน และศักดา V_O ยังขึ้นอยู่กับค่าอัตราขยาย A_i ที่สามารถควบคุมได้จากกระแสไบอัสจากภายนอก

ผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ค่า gm ของ OTA ผิดพลาดไปจากที่ได้กำหนดเอาไว้ วงจรขยายแบบอินสทรูเมนต์ในรูปที่ 6 สามารถที่จะลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อค่า gm ลงได้ โดยความไวต่ออุณหภูมิของวงจรขยายแบบอินสทรูเมนต์ในรูปที่ 6 สามารถหาได้จาก

$$S_T^{K_1} = \frac{-2V_T}{(2V_T + I_{B1}R)} \quad (22)$$

โดยที่ K₁ = gm₃/(1-gm₁R) จากสมการที่ (22) จะเห็นได้ว่าถ้ากำหนดให้ I_{B1}R มีค่าที่สูงจะได้ค่าความ

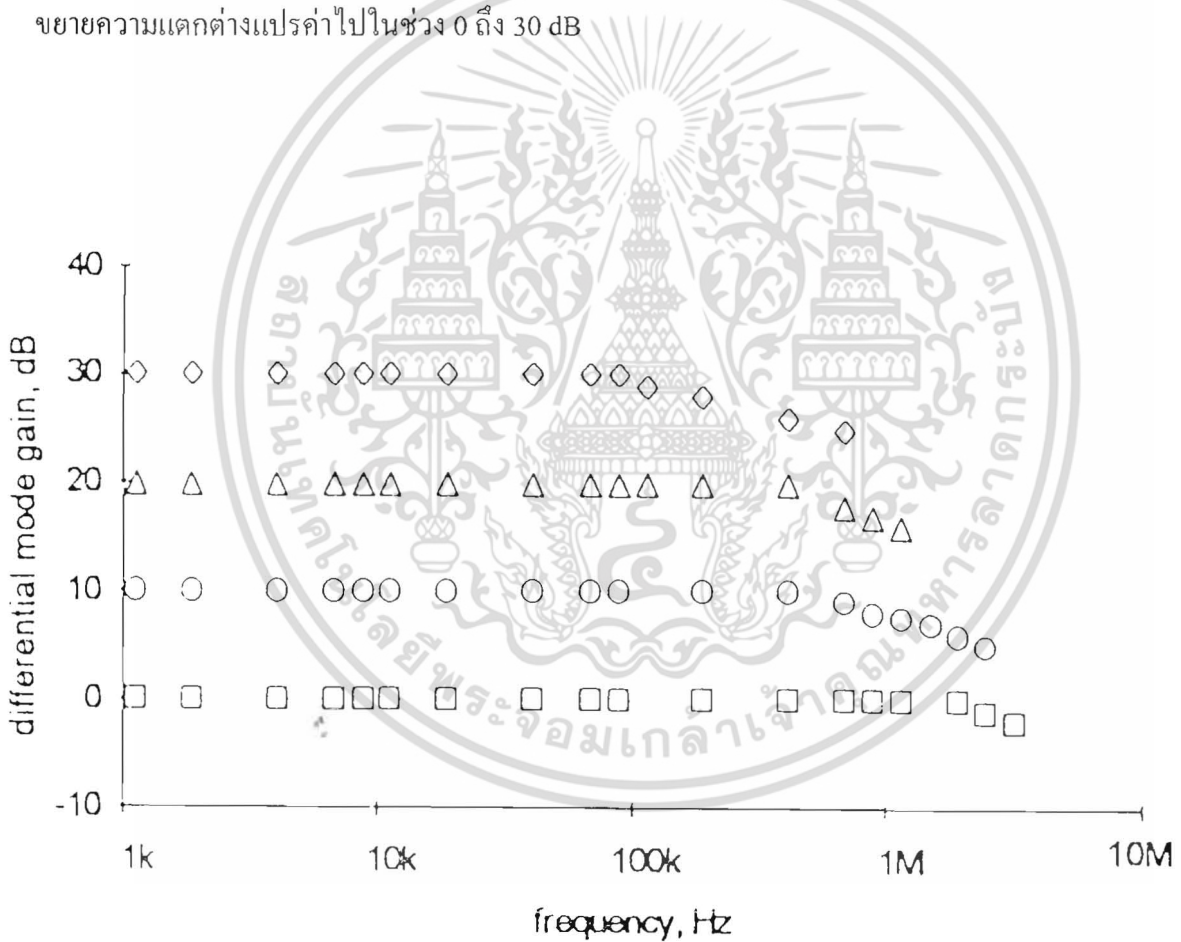
ไวต่ออุณหภูมิที่ต่ำ ตัวอย่างเช่น I_{B1} = 100μA และ R = 10kΩ จะได้ว่าความไวเท่ากับ -0.049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

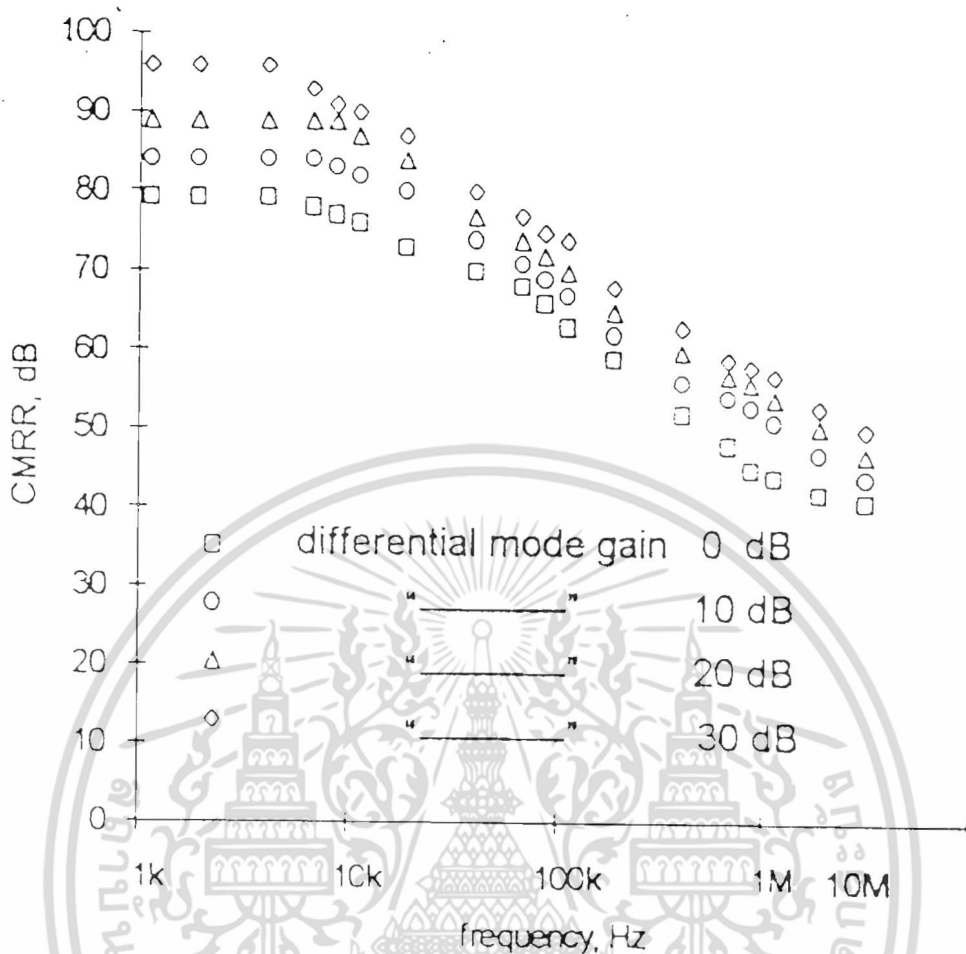
4. ผลการทดลอง

สมรรถนะของวงจรขยายแบบอินสทรูเมนต์ในรูปที่ 6 สามารถที่จะยืนยันได้โดยการทดลอง OTA ที่ใช้ในวงจรคือ LM13600 และกำหนดกระแสไบอัส $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$ ซึ่งจะได้ค่า $g_{m1} = g_{m2} = 0.019 A/V$ ค่าความต้านทาน R มีค่าเท่ากับ $10k\Omega$ ส่วนความต้านทาน R_1 และ g_{m3} จะแปรค่าไปเพื่อให้ได้ค่าอัตราขยายตามที่ต้องการ ในรูปที่ 7(ก) เป็นผลการทดลองของค่าอัตราขยายความแตกต่างซึ่งจะได้ผลตอบสนองทางความถี่ในช่วง 0.2 MHz ถึง 4 MHz สำหรับในรูปที่ 7(ข) เป็นผลการทดลองของค่า CMRR ซึ่งจะมีค่าในช่วง 80 dB ถึง 96 dB เมื่อค่าอัตราขยายความแตกต่างแปรค่าไปในช่วง 0 ถึง 30 dB



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 ผลการทดลอง (ก) อัตราขยายความแตกต่าง (ข) CMRR

5. สรุป

วงจรรขยายแบบอินสทรูเมนต์ โดยใช้ OTA ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้จำนวนอุปกรณ์น้อยและมีสมรรถนะที่ดีสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลตอบสนองทางความถี่ของค่า CMRR จะมีค่าที่สูงโดยการขึ้นขึ้นด้วยผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.A. Smither, D.R. Pugh and L.M. Jun Woolard, “CMRR analysis of the 3 Op-Amp Instrumentation Amplifier,” Electronics Letter, No. 13, pp. 594, 1977.
- [2] R. J. Van de plassche, “A Wide-Band Monolithic Instrumentation Amplifier,” IEEE Journal of Solid-State Circuit, No. 10, pp. 424-431, 1975.
- [3] C. Toumazou and F. J. Lidgy, “Novel Current-Mode Instrumentation Amplifier,” Electronics Letter, No. 25, pp. 228-230, 1989.
- [4] B. Wiloson, “Universal Conveyor Instrumentation Amplifier,” Electronics Letter, No. 25, pp. 470-471, 1989.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้