

## บทที่ 4

### การออกแบบวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแส

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การออกแบบวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแส ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ โดยเนื้อหาประกอบด้วย บทนำ หลักการของวงจรที่นำเสนอ ทฤษฎีและหลักการ การออกแบบวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสและการปรับค่าตัวประกอบคุณภาพ ค่าความไวของวงจร การวิเคราะห์คุณสมบัติของ OTAs-C ของวงจรที่นำเสนอ และบทสรุป

#### 4.1. บทนำ

วงจรกรองสัญญาณหรือวงจรกรองความถี่ (Filter) เป็นวงจรพื้นฐานด้านโทรคมนาคม ระบบเครื่องมือวัดและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มากมาย ซึ่งวงจรเหล่านี้มักได้รับการคิดค้นและพัฒนาวงจรใหม่อย่างต่อเนื่อง ดังเช่นวงจรกรองสัญญาณหลายหน้าที่ ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่แบบหนึ่งที่สามารถทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่แบบต่าง ๆ ได้หลายชนิดในวงจรเดียวกัน ซึ่งได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางโดยมีการนำเสนอมาแล้วอย่างมากมายในอดีต หลักการพื้นฐานของวงจรกรองสัญญาณหลายหน้าที่มีอยู่มากมายหลายหลักการ แต่ที่นิยมใช้กันอยู่ก็คือ หลักการใช้วงจรแบบดิฟเฟอเรนเชียลและแบบอินทิเกรตเตอร์มาทำการออกแบบ อาศัยวิธีการแบบไบควอดมาใช้เพื่อนำไปสู่สมการส่งผ่านของวงจรกรองสัญญาณชนิดต่าง ๆ ได้โดยง่าย ซึ่งในปัจจุบันการออกแบบและสังเคราะห์วงจรกรองสัญญาณจะให้ความสำคัญกับวงจรในรูปแบบของกระแสมากขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เด่นกว่าวงจรในรูปแบบแรงดันอยู่หลายประการ คือ มีแบนด์วิดท์กว้าง ให้ผลตอบสนองทางความถี่ได้สูง ใช้แรงดันไฟเลี้ยงต่ำและออกแบบวงจรได้ง่ายโดยใช้อุปกรณ์จำนวนน้อย โดยเป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำจึงเหมาะสำหรับนำมาสร้างเป็นวงจรรวม ด้วยเหตุผลนี้จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาออกแบบวงจรที่ทำงานในรูปแบบกระแสมากขึ้น ซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจในหลักการดังกล่าวและเลือกใช้อุปกรณ์แอกทิฟมาช่วยในการออกแบบ เช่น วงจรออปแอมป์ (OA) วงจรขยายความนำ (OTA) วงจรกระแสแตกต่าง (CDBA) และวงจรสายพานกระแส (CCII) เป็นต้น

## 4.2. หลักการของวงจรที่นำเสนอ

ฟังก์ชันการส่งผ่าน (Transfer Function) ของวงจรกรองความถี่  $T(s)$  จะเป็นตัวกำหนด ช่วงผ่านและช่วงหยุดของความถี่ ในช่วงผ่านมักเรียกช่วงนี้ว่า แถบผ่าน (Pass-Band) และในช่วง ลดทอนมักเรียกช่วงนี้ว่า แถบหยุด (Stop-Band) ซึ่งในทางอุดมคติช่วงแถบผ่านจะมีค่าของ  $|T(s)| = 1$  และช่วงแถบหยุดจะมี  $|T(s)| = 0$  ด้วยรูปแบบของแถบผ่านและแถบหยุดนี้ทำให้เกิดเป็น วงจรกรองความถี่พื้นฐาน 4 แบบ คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-Pass Filter) วงจรกรองความถี่ สูงผ่าน (High-Pass Filter) วงจรกรองแถบความถี่ที่ต้องการผ่าน (Band-Pass Filter) และวงจรกรอง แถบความถี่ที่ต้องการออก (Band-Reject Filter) ในการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่ (Universal Filter) เป็นวงจรกรองความถี่ที่มีรูปสมการฟังก์ชันการส่งผ่านเป็นฟังก์ชันแบบไบควอดเรตริก (Biquadratic Function) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ฟังก์ชันแบบไบควอด ซึ่งมีรูปแบบของสมการ มาตรฐานดังนี้

$$T(s) = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $\omega_0$  คือ ค่าความถี่ของโพล (Pole Frequency),  $a_0, a_1, a_2$  คือ สัมประสิทธิ์ของจำนวน เศษ และ  $Q$  คือ ค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ของโพล (Pole Quality Factor) ค่าความถี่  $\omega_0$  และค่า  $Q$  จะ กำหนดตำแหน่งของโพล ตามสมการ

$$p_1 \cdot p_2 = -\frac{\omega_0}{2Q} \pm j\omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{1}{4Q^2}\right)} \quad (4.2)$$

จากฟังก์ชันไบควอดเรตริกข้างต้น สามารถที่จะให้ฟังก์ชันเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรกรองความถี่สูงผ่าน วงจรกรองแถบความถี่ที่ต้องการผ่าน วงจรกรองแถบความถี่ที่ต้องการ ออก และวงจรกรองแถบความถี่ผ่านทุกความถี่ ได้จากฟังก์ชันการส่งผ่านเดียวกันโดยกำหนดจาก สัมประสิทธิ์ของจำนวนเศษ ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าทรานสมิชั่นซีโร (Transmission Zero) ของวงจร กรองความถี่อันดับสอง ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวกำหนดชนิดของฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่ได้

วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสดชนิคสามอินพุทหนึ่งเอาท์พุท ที่ใช้ โครงสร้างดิฟเฟอเรนเชียลสามารถปรับค่าตัวประกอบคุณภาพได้อย่างเป็นอิสระทาง

อิเล็กทรอนิกส์ ในหัวข้อวิจัยนี้ได้นำเสนอหลักการของฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบไบควอดที่ได้จากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งมีการทำงานในลักษณะของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลคือ มีการทำงานคล้ายกันกับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ในกรณีความถี่สูงอัตราขยายจะสูงขึ้น เพื่อชดเชยกับการตอบสนองทางความถี่ของอุปกรณ์แอกทิฟและเมื่อสร้างเป็นวงจรกรองความถี่จึงทำให้เกิดการเสถียรภาพทางความถี่ที่สูงขึ้นสำหรับการชดเชยให้กับแบนด์วิดท์ของอุปกรณ์แอกทิฟ โดยวงจรที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและยุ่งยากจากวิธีการออกแบบด้วยเทคโนโลยีของซิมอส

### 4.3. ทฤษฎีและหลักการ

#### 4.3.1 สมการไบควอดเดเรติก

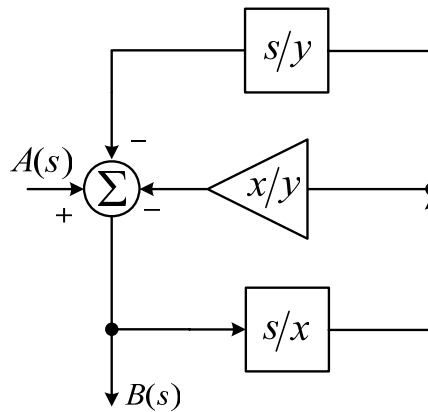
สมการไบควอดเดเรติกเป็นสมการทางคณิตศาสตร์แบบหนึ่งที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์วงจรทางไฟฟ้าผลลัพธ์ที่ได้วิเคราะห์อยู่ในรูปของฟังก์ชันอันดับที่สอง จากการวิจัยที่นำเสนอได้ใช้สมการตั้งต้นของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-Pass Filter: LPF) และอาศัยหลักการของฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบไบควอดเดเรติกมาช่วยในการวิเคราะห์สมการตั้งต้นดังกล่าว สำหรับฟังก์ชันการถ่ายโอนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (LPF) มีค่าดังสมการที่ (4.3)

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{xy}{s^2 + sy + xy} \quad (4.3)$$

ปรับค่าของสมการที่ (4.3) ให้อยู่ในรูปโครงสร้างของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลได้ดังสมการที่ (4.4) คือ

$$B(s) = A(s) - \frac{B(s)s^2}{xy} - \frac{s}{y} \quad (4.4)$$

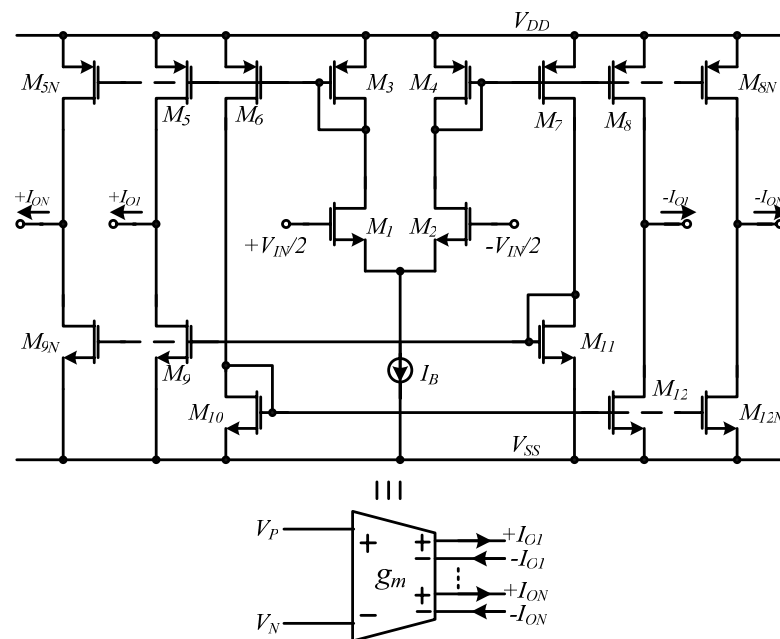
นำสมการที่ (4.4) มาทำการออกแบบบล็อกไดอะแกรมตามหลักการที่นำเสนอ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมตามหลักการที่นำเสนอ

#### 4.3.2 วงจรโอทีเอหลายเอาต์พุตแบบซีมอส

วงจรโอทีเอหลายเอาต์พุตแบบซีมอสพื้นฐาน (Basic CMOS Multiple Output - Operational Transconductance Amplifier: CMOS MO-OTA) ดังภาพที่ 4.2 มีคุณสมบัติโดยให้เอาต์พุตเป็นกระแสและอินพุตเป็นแรงดัน [17] สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตดังสมการที่ (4.5) และจากสมการที่ (4.5) ค่าทรานสคอนดักแตนซ์ ( $g_m$ ) นั้น สามารถปรับค่าได้ทางอิเล็กทรอนิกส์จากการปรับค่ากระแสไบอัสของโอทีเอ ( $I_B$ )



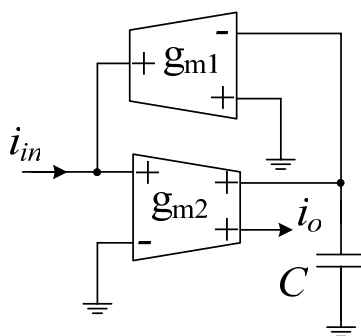
ภาพที่ 4.2 วงจรโอทีเอหลายเอาต์พุตแบบซีมอสพื้นฐาน

สมการความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตมีค่าเป็น

$$\frac{I_o}{V_{in}} = g_m = \sqrt{(I_B)(\mu_O C_{OX} W/L)_{1,2}} \quad (4.5)$$

### 4.3.3 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์

จากหลักการในการออกแบบบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 4.1 การสังเคราะห์วงจรกรองความถี่สำหรับงานวิจัยนี้ซึ่งใช้วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์แบบไม่สูญเสีย (Lossless Differentiator) ที่สร้างจากวงจรมหาความนำ OTAs แบบหลายเอาต์พุตและตัวเก็บประจุแบบต่อกราวด์ แสดงได้ดังภาพที่ 4.3 และมีฟังก์ชันการถ่ายโอนเป็นดังสมการที่ (4.6)



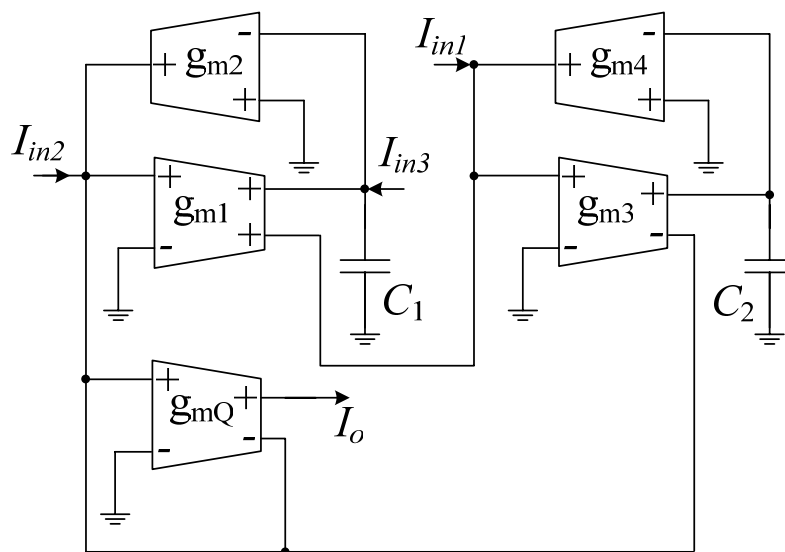
ภาพที่ 4.3 วงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์แบบไม่สูญเสีย

สมการความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต มีค่าเป็น

$$\frac{i_o}{i_{in}} = \frac{sC}{g_{m1}} \quad (4.6)$$

### 4.4. การออกแบบวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแส

จากหลักการของบล็อกไดอะแกรมตามหลักการที่นำเสนอในภาพที่ 4.1 และวงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์แบบไม่สูญเสียในภาพที่ 4.3 ได้ถูกนำมาสังเคราะห์เป็นวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสที่นำเสนอในการวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 4.4 โดยมีฟังก์ชันการถ่ายโอนดังสมการที่ (4.7) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าทรานคอนคัคแดนซ์ของ  $g_{m3}$  ไม่มีผลต่อกระทบกับสมการที่ (4.7) เนื่องจากถูกหักล้างกันหมดจากสมการที่ (4.6)



ภาพที่ 4.4 วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสที่นำเสนอสอน

ฟังก์ชันการถ่ายโอนของวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสที่นำเสนอสอนในภาพที่ 4.4 สามารถแสดงดังสมการที่ (4.7) และ (4.8) ตามลำดับ

$$I_o(s) = \frac{I_{in1}s^2 \frac{g_{mQ}}{g_{m1}} - I_{in2}s \frac{g_{m4}g_{mQ}}{g_{m1}C_2} + I_{in3} \frac{g_{m2}g_{m4}g_{mQ}}{g_{m1}C_1C_2}}{D(s)} \quad (4.7)$$

เมื่อ

$$D(s) = s^2 + s \frac{g_{m4}g_{mQ}}{g_{m1}C_2} + \frac{g_{m2}g_{m4}}{C_1C_2} \quad (4.8)$$

พิจารณาเทียบกับรูปแบบของสมการโพลควอดเรติกดังสมการที่ (4.9) คือ

$$D(s) = s^2 + s \frac{\omega_p}{Q_p} + \omega_p^2 \quad (4.9)$$

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง  $\omega_p$  และ  $Q_p$  มีค่าเท่ากับ

$$\omega_p = \sqrt{\frac{g_{m2}g_{m4}}{C_1C_2}} \quad (4.10)$$

และ

$$Q_P = \left( \frac{g_{m1}}{g_{mQ}} \right) \sqrt{\frac{g_{m2}C_2}{g_{m4}C_1}} \quad (4.11)$$

จากสมการที่ (4.7) – (4.8) สามารถสรุปเป็นเงื่อนไขของการกรองความถี่ห้ารูปแบบ คือ (HPF, LPF, BPF, BRF และ APF) ได้ดังนี้

การกรองความถี่สูงผ่าน (HPF) เมื่อกำหนดให้  $I_{in2} = I_{in3} = 0$  และ  $I_{in1} = I_{in}$

การกรองความถี่ต่ำผ่าน (LPF) เมื่อกำหนดให้  $I_{in1} = I_{in2} = 0$  และ  $I_{in3} = I_{in}$

การกรองความถี่ที่ตรงการผ่าน (BPF) เมื่อกำหนดให้  $I_{in1} = I_{in3} = 0$  และ  $I_{in2} = I_{in}$

การกรองความถี่ที่ตรงการออก (BRF) เมื่อกำหนดให้  $I_{in2} = 0$  และ  $I_{in1} = I_{in3} = I_{in}$

การกรองผ่านทุกความถี่ (APF) กำหนดโดย  $I_{in1} = I_{in2} = I_{in3} = I_{in}$

หรือสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนของวงจรกรองความถี่ทั้งห้ารูปแบบในวงจรเดียวกันตามที่นำเสนอ สรุปได้ดังนี้

$$T_{LP}(s) = \frac{I_{in3} \frac{g_{m2}g_{m4}g_{mQ}}{g_{m1}C_1C_2}}{D(s)} \quad (4.12)$$

$$T_{HP}(s) = \frac{s^2 I_{in1} \frac{g_{mQ}}{g_{m1}}}{D(s)} \quad (4.13)$$

$$T_{BR}(s) = \frac{s^2 I_{in1} \frac{g_{mQ}}{g_{m1}} + I_{in3} \frac{g_{m2}g_{m4}g_{mQ}}{g_{m1}C_1C_2}}{D(s)} \quad (4.14)$$

$$T_{BP}(s) = -\frac{s I_{in2} \frac{g_{m4}g_{mQ}}{g_{m1}C_2}}{D(s)} \quad (4.15)$$

$$T_{AP}(s) = \frac{s^2 I_{in1} \frac{g_{mQ}}{g_{m1}} - s I_{in2} \frac{g_{m4} g_{mQ}}{g_{m1} C_2} + I_{in3} \frac{g_{m2} g_{m4} g_{mQ}}{g_{m1} C_1 C_2}}{D(s)} \quad (4.16)$$

$$\text{และ} \quad D(s) = s^2 + s \frac{g_{m4} g_{mQ}}{g_{m1} C_2} + \frac{g_{m2} g_{m4}}{C_1 C_2} \quad (4.17)$$

สำหรับกรณีของวงจรรองความถี่สูงผ่าน (HPF) วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน (LPF) และวงจรรองผ่านทุกความถี่ (APF) จะต้องกำหนดให้ค่าทรานสคอนดักแตนซ์  $g_{m1} = g_{m2} = g_{m4} = g_{mQ} = g_m$  และค่าของตัวเก็บประจุ  $C_1 = C_2 = C$  เมื่อ ( $Q_p = 1$ ) ส่วนในกรณีของวงจรรองความถี่ที่ต้องการผ่าน (BPF) และวงจรรองความถี่ที่ต้องการออก (BRF) นั้นต้องกำหนดให้ค่าทรานสคอนดักแตนซ์  $g_{m1} = g_{m2} = g_{m4} = g_m$  และค่าของตัวเก็บประจุ  $C_1 = C_2 = C$  และจากสมการที่ (4.10) ในการปรับค่าความถี่ตอบสนอง  $\omega_p$  สามารถทำได้โดยการปรับค่าอัตราขยายของ OTAs ทั้งสอง ซึ่งถ้า OTAs ทั้งสองมีค่าเท่ากันจะเห็นได้ว่าการควบคุมความถี่ตอบสนอง  $\omega_p$  จะมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

ส่วนในกรณีการปรับค่าตัวประกอบคุณภาพ  $Q_p$  จากสมการที่ (4.11) นั้นสามารถที่จะปรับค่าตัวประกอบคุณภาพได้อย่างเป็นอิสระโดยไม่มีผลกระทบต่อค่าความถี่ตอบสนอง  $\omega_p$  ทำได้จากการปรับค่า กระแสไบอัสของ  $OTA_1$  หรือ  $OTA_Q$  โดยปรับจาก  $I_{B1}$  หรือ  $I_{BQ}$  ดังกล่าว

#### 4.5. ค่าความไวของวงจร

สิ่งที่สามารถยืนยันประสิทธิภาพของวงจรรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสนิดสามอินพุทหนึ่งเอาต์พุท ที่ใช้โครงสร้างดิฟเฟอเรนเชียลสามารถปรับค่าตัวประกอบคุณภาพได้อย่างเป็นอิสระทางอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ คือ ค่าความไวของวงจร (Circuit Sensitivity) ที่มีผลต่ออุปกรณ์ประเภทแอกทีฟหรือแพสซีฟกับผลของความถี่ตอบสนอง ( $S_x^{\omega_p}$ ) และค่าตัวประกอบคุณภาพ ( $S_x^{Q_p}$ ) เมื่อ ( $x$ ) คือ อุปกรณ์แอกทีฟหรือแพสซีฟของแต่ละตัว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 ดังนี้

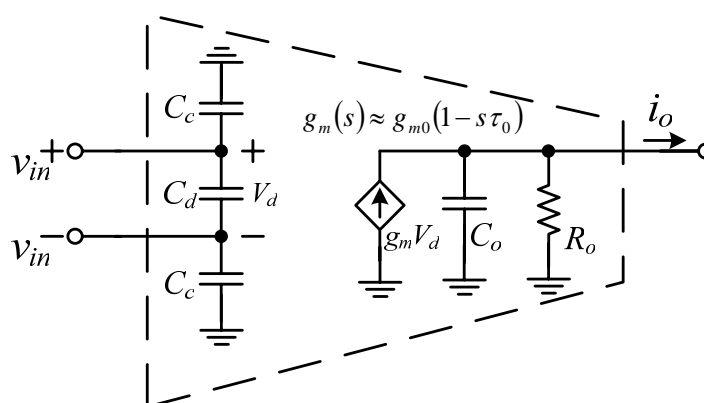


ตารางที่ 4.1 ค่าความไวของอุปกรณ์แอกทีฟหรือแพสซีฟ

$x$	$S_x^{op}$	$S_x^{Qp}$
$g_{m1}$	0	1
$g_{m2}$	0.5	0.5
$g_{m4}$	0.5	-0.5
$g_{mQ}$	0	-1
$C_1$	-0.5	-0.5
$C_2$	-0.5	0.5

#### 4.6. การวิเคราะห์คุณสมบัติของ OTAs-C ของวงจรที่นำเสนอ

การวิเคราะห์คุณสมบัติของ OTAs-C ในด้านของผลกระทบเชิงที่ไม่เป็นอุดมคติ ใช้สำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสชนิดสามอินพุตหนึ่งเอาต์พุตที่ใช้โครงสร้างดิฟเฟอเรนเชียลสามารถปรับค่าตัวประกอบคุณภาพได้อย่างเป็นอิสระทางอิเล็กทรอนิกส์ตามที่ได้มีการนำเสนอ จากการวิเคราะห์โดยใช้รูปแบบทั่วไปของวงจรสัญญาณขนาดเล็กของ OTA แสดงได้ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 รูปแบบทั่วไปของวงจรสัญญาณขนาดเล็กของ OTA

จากภาพที่ 4.5 คุณสมบัติโดยทั่วไปของวงจรสัญญาณขนาดเล็กของ OTA คือ มีความแตกต่างระหว่างขั้วของอินพุตทั้งสองจากค่าความจุของ ( $C_d$  และ  $C_c$ ) ส่วนที่เอาต์พุตก็จะเกิดจากค่าความจุ ( $C_o$ ) ค่าความต้านทาน ( $R_o$ ) และค่าทรานสคอนดักแตนซ์ ( $g_m$ ) โดยที่ค่าของทรานสคอนดัก

แต่นซ์จะส่งผลกระทบต่อค่าของความถี่ตอบสนอง โดยผลกระทบดังกล่าวจะส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ที่โพลต่าง ๆ โดยสรุปได้เป็น

$$X_i(s) \approx \frac{g_{mi}\omega_{pi}}{sC_i(s + \omega_{pi})} \approx \frac{g_{mi}}{sC_i(1 + \tau_i s)} ; i = 1, 2, 3 \dots \quad (4.18)$$

เมื่อค่าของ  $\omega_p$  คือ ค่าพารามิเตอร์โพลอันดับที่สองของ OTAs-C และ  $\tau = 1/\omega_p$  ที่ย่านความถี่  $\omega \ll \omega_p$  ดังนั้นค่าพารามิเตอร์โพลของ OTAs-C มีค่าดังสมการที่ (4.19)

$$X_i(s) \approx \frac{g_{mi}}{sC_i}(1 - \tau_i s) \quad (4.19)$$

และเมื่อนำสมการที่ (4.7) และ (4.8) มาทำการวิเคราะห์ในเชิงไม่เป็นอุดมคติด้วยสมการที่ (4.19) สามารถวิเคราะห์ได้เป็น 2 กรณี คือ กรณี  $Q = 1$  และ  $Q \gg 1$  ซึ่งสามารถดูวิธีการวิเคราะห์ได้จาก (ภาคผนวก ข)

#### 4.7. บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง การออกแบบวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสดสามอินพุทหนึ่งเอาต์พุทที่ใช้โครงสร้างดิฟเฟอเรนเชียลเฟอเรนเชียลสามารถปรับค่าตัวประกอบคุณภาพได้อย่างเป็นอิสระทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยประกอบด้วยหลักการของวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่ซึ่งอาศัยสมการของฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบไบควอดเรตริกที่ได้มาจากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (LPF) ซึ่งเสมือนกับคุณลักษณะการทำงานของวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเฟอเรนเชียลคือมีการทำงานเหมือนกับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน เช่นในกรณีความถี่สูง อัตราขยายจะสูงขึ้น เพื่อชดเชยกับการตอบสนองทางความถี่ของอุปกรณ์แอกทิฟและเมื่อถูกสร้างเป็นวงจรกรองความถี่ จะทำให้เกิดการเสถียรภาพทางความถี่สูงที่ดีขึ้นสำหรับการชดเชยให้กับแบนด์วิดท์ของอุปกรณ์แอกทิฟ การออกแบบการทำงานของวงจรที่นำเสนอมาจากวงจรโอทีเอหลายเอาต์พุทแบบซีมอสพื้นฐาน (CMOS MO-OTA) ซึ่งจะมีคุณสมบัติโดยให้อเอาต์พุทเป็นกระแสและอินพุทเป็นแรงดัน โดยมีการสังเคราะห์วงจรกรองความถี่สำหรับงานวิจัยนี้จากวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเฟอเรนเชียลแบบไม่สูญเสีย (Lossless Differentiator) ที่สร้างจากวงจรขยายความนำ OTAs แบบหลายเอาต์พุทและตัวเก็บประจุแบบต่อกราวด์ ผลการออกแบบวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่รูปแบบกระแสดสามอินพุทหนึ่งเอาต์พุทที่ใช้โครงสร้าง

ดิฟเฟอเรนเชียลสามารถปรับค่าตัวประกอบคุณภาพได้อย่างเป็นอิสระทางอิเล็กทรอนิกส์ ในทางทฤษฎีได้มีการวิเคราะห์ในรูปของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ทั้งห้ารูปแบบในวงจรเดียวกัน พบว่าสามารถให้สมการต่าง ๆ ของวงจรรองความถี่ได้ครบทั้งห้ารูปแบบ รวมถึงค่าของสมการในการปรับค่าตัวประกอบคุณภาพได้อย่างเป็นอิสระจากค่าความถี่ตอบสนองอีกด้วย และวงจรที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและยุ่งยาก จากวิธีการออกแบบด้วยเทคโนโลยีของซีมอสจึงทำให้วงจรที่นำเสนอเหมาะสำหรับการสร้างเป็นวงจรรวมต่อไป