

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

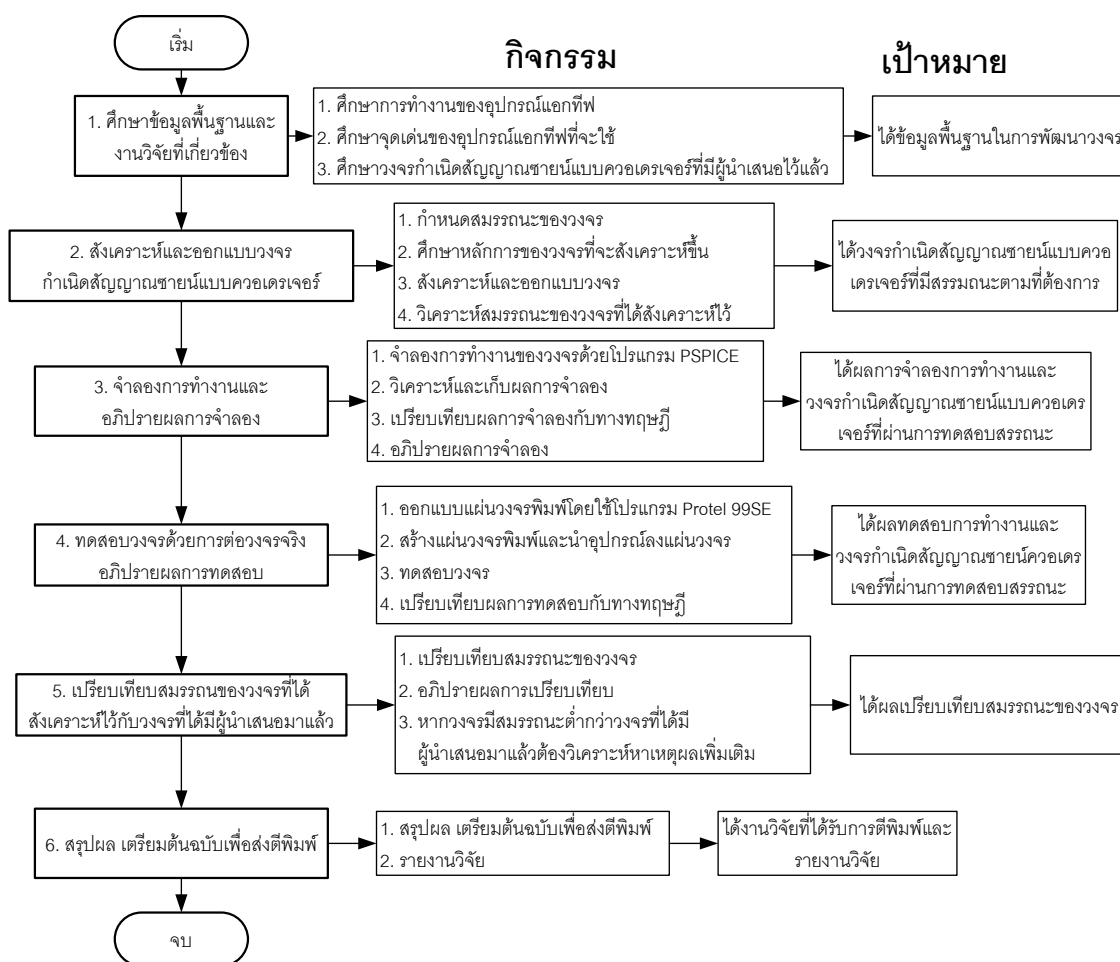
หลังจากที่ได้มีศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 แล้ว ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการสังเคราะห์และออกแบบโครงข่ายกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอดเรเจอร์โหมดกระแส รวมถึงการวิเคราะห์หาสมรรถนะของโครงข่ายที่ได้สังเคราะห์และออกแบบไว้ โดยการดำเนินงานวิจัยนี้มีขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 3.1

วิธีดำเนินการวิจัยแสดงดังภาพที่ 3.1 จะเริ่มที่ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่จะสังเคราะห์และออกแบบขึ้น ว่ามีลักษณะเด่น ข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดอย่างไรบ้าง ซึ่งในส่วนนี้ได้กระทำมาแล้วในบทที่ 2 จากนั้นจะสังเคราะห์และออกแบบโครงข่ายกำเนิดสัญญาณชายน โดยเริ่มที่กำหนดขอบเขต สมรรถนะของโครงข่ายกำเนิดสัญญาณชายนให้ได้ตามขอบเขตที่ต้องการ แล้วทำการสังเคราะห์และออกแบบโครงข่าย เพื่อให้ได้ขอบเขตและสมรรถนะตามที่ได้กำหนดเอาไว้ จากนั้นตรวจสอบและทดสอบวงจรที่ได้ด้วยโปรแกรมจำลอง PSpice พร้อมทั้งแก้ไขและปรับแต่งโครงสร้างของวงจร เพื่อให้ได้ขอบเขตและสมรรถนะตามที่กำหนดไว้ และทดสอบวงจรอีกครั้ง ต่อมาก็จะเป็นการทดสอบสมรรถนะของวงจรด้วยการต่อวงจรจริง แล้วจึงนำวงจรกำเนิดสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นมาเปรียบเทียบกับวงจรอื่นๆ ที่มีนักวิจัยได้นำเสนอไว้แล้ว โดยหากวงจรที่พัฒนาขึ้นมาจุดด้อยกว่าวงจรที่ได้มีผู้นำเสนอมาก็จะทำการวิเคราะห์หาเหตุผลเพิ่มเติม ในส่วนของผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรทั้งหมดจะแสดงในบทที่ 4 และสรุปผลการวิจัยจะแสดงในบทที่ 5

3.1 การสังเคราะห์และออกแบบโครงข่ายกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอดเรเจอร์โหมดกระแส

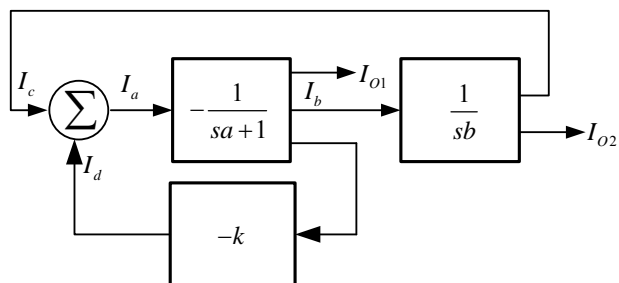
ดังที่กล่าวมาแล้วว่าโครงข่ายกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอดเรเจอร์โหมดกระแสที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์มีหลักการพื้นฐานสำคัญของวงจรถูกดำเนินการโดยใช้ CCCII เป็นอุปกรณ์หลัก ซึ่งรายละเอียดของ CCCII ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 มาประกอบร่วมกันเป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณตาม

หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณ สำหรับรายละเอียดของการการสังเคราะห์และออกแบบวงจรจะได้กล่าวถึงในหัวข้อนี้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

หลักการสังเคราะห์โครงข่ายกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดรเจอร์โหมดกระแสปะกอบไปด้วยวงจรพื้นฐาน 3 ส่วน ได้แก่ วงจรอินทิเกรเตอร์แบบสูญเสียชนิดลบ (Negative lossy integrator) วงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสีย (Lossless integrator) และวงจรขยายแบบลบ แสดงแผนผังการทำงานในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แผนผังการสังเคราะห์ที่โครงข่ายกำเนิดสัญญาณชายน้แบบควบคุมเจอร์โหมดกระแส

จากแผนผังในภาพที่ 3.2 สามารถหาสมการลักษณะสมบัติ (Characteristic) ของโครงข่ายได้ ดังนี้ เขียนสมการกระแส I_a ได้เป็น

$$I_a = I_c + I_d \quad (3.1)$$

ส่วนกระแส I_b , I_c และ I_d แสดงได้ดังนี้

$$I_b = -\frac{I_a}{sa+1} \quad (3.2)$$

$$I_c = -\frac{I_a}{sb(sa+1)} \quad (3.3)$$

และ

$$I_d = I_a \frac{k}{sa+1} \quad (3.4)$$

แทนสมการที่ (3.3) และ (3.4) ลงในสมการที่ (3.1) จะได้

$$I_a = -\frac{I_a}{sb(sa+1)} + I_a \frac{k}{sa+1} \quad (3.5)$$

จากสมการที่ (3.5) จะได้สมการลักษณะสมบัติของโครงข่ายเป็น

$$s^2 ab + sb(1-k) + 1 = 0 \quad (3.6)$$

จากสมการที่ (3.6) พบว่า ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Frequency of oscillation: FO) สามารถปรับได้อย่างอิสระจากเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Condition of oscillation: CO) ที่พารามิเตอร์ a กับ b ส่วนเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้ที่อัตราขยาย k ส่วนความต่างเฟสของสัญญาณ I_{O1} และ I_{O2} หาได้จาก

$$\frac{I_{O2}(s)}{I_{O1}(s)} = \frac{1}{sb} \quad (3.7)$$

เมื่อพิจารณาในช่วงอยู่ตัวของสัญญาณชายน้จากสมการที่ (3.7) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\frac{I_{O2}(j\omega)}{I_{O1}(j\omega)} = \frac{1}{\omega b} e^{-90^\circ} \quad (3.8)$$

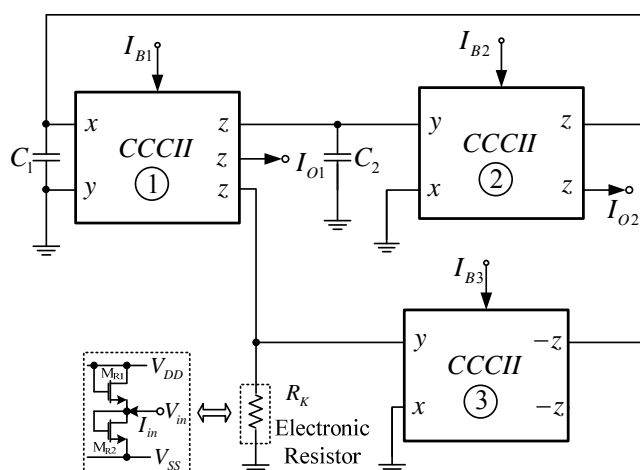
จะพบได้ว่า I_{O1} และ I_{O2} จะมีเฟสต่างกัน

$$\phi = -90^\circ \quad (3.9)$$

สำหรับโครงข่ายกำเนิดสัญญาณชายน้แบบควอดเรเจอร์โหมดกระแสที่ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้จะประกอบจากอุปกรณ์แอกทีฟ CCCII เป็นหลัก โดยอาศัย

หลักการจากบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 3.2 จะได้อุปกรณ์แสดงในภาพที่ 3.3 จากภาพพบว่าวงจรประกอบไปด้วย CCCII จำนวน 3 ตัว ตัวด้านทานแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ต่อลงกราวด์ (R_K) 1 ตัวและตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์จำนวน 2 ตัว โดย I_{B1} I_{B2} และ I_{B3} เป็นกระแสไบอัสให้กับ CCCII1, CCCII2 และ CCCII3 ตามลำดับ โดยความต้านทาน R_K หาได้ดังนี้ [25]

$$R_K = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{L}{2\mu C_{ox} W (V_{DD} - V_T)} \quad (3.10)$$



ภาพที่ 3.3 โครงข่ายกำเนิดสัญญาณชายนแบบควอดเรเจอร์โหมดกระแสที่นำเสนอง

เมื่อพิจารณาวงจรในภาพที่ 3.3 และอาศัยคุณสมบัติของ CCCII ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 สามารถเขียนสมการกระแสที่เข้า x ของ CCCII ได้เป็น

$$i_{x1} = \frac{1}{sC_1 R_{x1} + 1} (i_{z2} + i_{z3}) \quad (3.11)$$

โดยกระแสที่เข้า $i_{z1} = -i_{x1}$ จากสมการที่ (3.11) จะได้

$$i_{z1} = -\frac{1}{sC_1R_{x1}+1}(i_{z2}+i_{z3}) \quad (3.12)$$

โดยกระแส i_{z2} เขียนได้เป็น

$$i_{z2} = \frac{i_{z1}}{sC_2R_{x2}} \quad (3.13)$$

ส่วนกระแส i_{z3} เขียนได้เป็น

$$i_{z3} = -i_{z2} \frac{R_k}{R_{x3}} \quad (3.14)$$

แทนสมการที่ (3.13) และ (3.14) ลงในสมการที่ (3.12) จะได้

$$i_{z1} = -\frac{1}{sC_1R_{x1}+1} \left(\frac{i_{z1}}{sC_2R_{x2}} - i_{z1} \frac{R_k}{R_{x3}} \right) \quad (3.15)$$

จากสมการที่ (3.15) จะได้สมการลักษณะสมบัติของโครงข่ายเป็น

$$s^2C_1C_2R_{x1}R_{x2} + sC_2R_{x2} \left(1 - \frac{R_k}{R_{x3}} \right) + 1 = 0 \quad (3.16)$$

เมื่อพิจารณาในส่วนจำนวนจริง (Real part) จะได้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเป็น

$$\omega_{osc} = \sqrt{\frac{1}{C_1C_2R_{x1}R_{x2}}} \quad (3.17)$$

สำหรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ พิจารณาได้จากส่วนจำนวนจินตภาพ (Imaginary part)

$$1 = \frac{R_k}{R_{x3}} \quad (3.18)$$

เมื่อแทนค่า $R_{xi} = 1/\sqrt{kI_{Bi}}$ จะได้ความถี่และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณเป็น

$$\omega_{osc} = \sqrt{\frac{k(I_{B1}I_{B2})^{\frac{1}{2}}}{C_1C_2}} \quad (3.19)$$

และ

$$1 = R_k \sqrt{kI_{B3}} \quad (3.20)$$

ซึ่งจากสมการที่ (3.19) และ (3.20) พบว่าสามารถปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถปรับได้ที่ I_{B1} และ I_{B2} ส่วนเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณสามารถปรับได้ที่ I_{B3} และ R_k สมการที่ (3.19) เมื่อ $\omega_{osc} = 2\pi f_{osc}$ ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเท่ากับ

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k(I_{B1}I_{B2})^{\frac{1}{2}}}{C_1C_2}} \quad (3.21)$$

เมื่อพิจารณาวงจรในภาพที่ 3.3 จะได้ฟังก์ชันโอนย้ายของ I_{O1} และ I_{O2} เป็น

$$\frac{I_{O2}(s)}{I_{O1}(s)} = \frac{1}{sR_{x2}C_2} \quad (3.22)$$

เมื่อพิจารณาในช่วงอยู่ตัวของสัญญาณชายน้จากสมการที่ (3.22) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\frac{I_{o2}(j\omega)}{I_{o1}(j\omega)} = \frac{1}{\omega R_{x2} C_2} e^{-90^\circ} \quad (3.23)$$

จะพบได้ว่า I_{o1} และ I_{o2} จะมีเฟสต่างกัน

$$\phi = -90^\circ \quad (3.24)$$

3.2 การวิเคราะห์วงจรในกรณีไม่เป็นอุดมคติ

ในลำดับแรกนี้จะพิจารณารณกรณี CCCII ที่ใช้ในวงจรเกิดความไม่เป็นอุดมคติ สามารถวิเคราะห์ได้จาก

$$\begin{bmatrix} i_y \\ V_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \beta & R_x & 0 \\ 0 & \pm \alpha & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ i_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

เมื่อ α และ β เป็นค่าส่งผ่านกระแสและแรงดันจากอินพุตไปยังเอาต์พุตที่สามารถเบี่ยงเบนไปจาก 1 ซึ่งสามารถเกิดจากความไม่เป็นอุดมคติของทรานซิสเตอร์ภายในตัว CCCII พิจารณาวงจรในภาพที่ 3.3 อีกครั้งโดยใช้คุณสมบัติของ CCCII ตามสมการที่ (3.17) สามารถเขียนสมการกระแสที่ขั้ว x_1 ได้เป็น

$$i_{x1} = \frac{1}{sC_1 R_{x1} + 1} (i_{z2} + i_{z3}) \quad (3.18)$$

โดยกระแสที่ขั้ว $i_{z1} = -\alpha_1 i_{x1}$ จากสมการที่ (3.18) จะได้

$$i_{z1} = -\frac{\alpha_1}{sC_1 R_{x1} + 1} (i_{z2} + i_{z3}) \quad (3.19)$$

โดยกระแส i_{z2} เขียนได้เป็น

$$i_{z2} = \frac{i_{z1}\beta_2\alpha_2}{sC_2R_{x2}} \quad (3.20)$$

ส่วนกระแส i_{z3} เขียนได้เป็น

$$i_{z3} = -i_{z2}\beta_3\alpha_3 \frac{R_k}{R_{x3}} \quad (3.21)$$

แทนสมการที่ (3.21) และ (3.20) ลงในสมการที่ (3.19) จะได้

$$i_{z1} = -\frac{\alpha_1}{sC_1R_{x1} + 1} \left(\frac{i_{z2}\beta_2\alpha_2}{sC_2R_{x2}} - i_{z3}\beta_3\alpha_3 \frac{R_k}{R_{x3}} \right) \quad (3.22)$$

จากสมการที่ (3.22) จะได้สมการลักษณะสมบัติของโครงข่ายเป็น

$$s^2C_1C_2R_{x1}R_{x2} + sC_2R_{x2} \left(1 - \beta_3\alpha_1\alpha_3 \frac{R_k}{R_{x3}} \right) + \beta_2\alpha_1\alpha_2 = 0 \quad (3.23)$$

เมื่อพิจารณาในส่วนจำนวนจริง จะได้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเป็น

$$\omega_{osc} = \sqrt{\frac{\beta_2\alpha_1\alpha_2}{C_1C_2R_{x1}R_{x2}}} \quad (3.24)$$

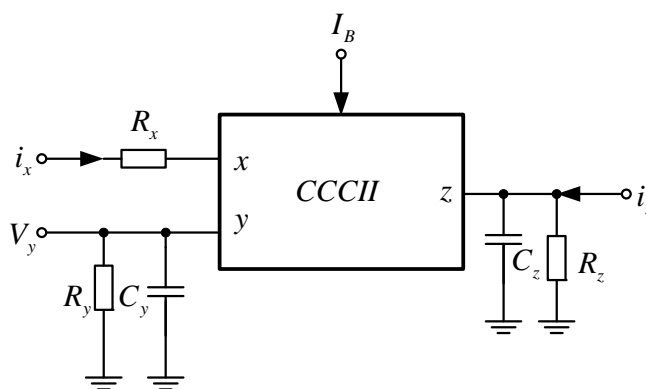
สำหรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ พิจารณาได้จากส่วนจำนวนจินตภาพ

$$1 = \beta_3 \alpha_1 \alpha_3 \frac{R_k}{R_{x3}} \quad (3.25)$$

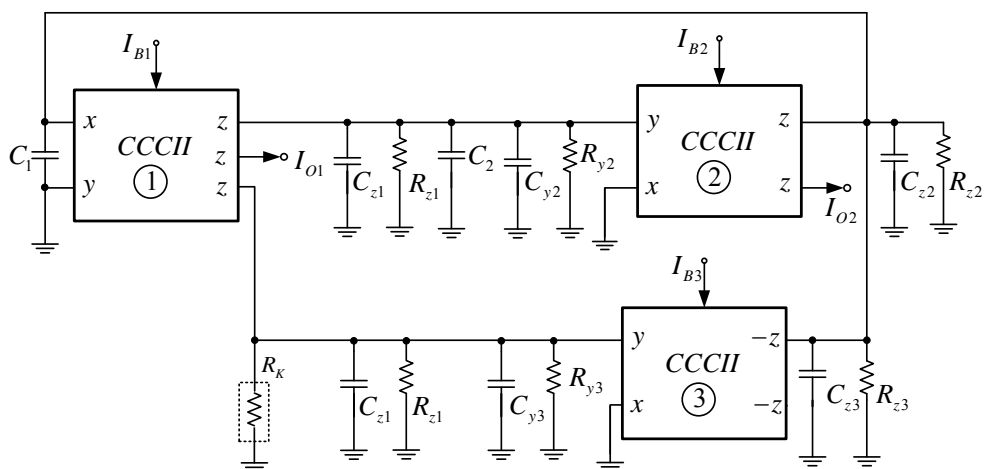
จากสมการที่ (3.24)-(3.25) พบว่าค่าในทางอุดมคติจะส่งผลทั้งเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ

นอกจากนี้แล้วหากพิจารณาที่ความถี่สูงจะพบว่าค่าความต้านทานและค่าความจุแฝงในตัว CCCII จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของวงจรกำเนิดสัญญาณที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อคำนึงถึงค่าอุปกรณ์เหล่านั้นสามารถเขียนวงจรเทียบเคียงของ CCCII ได้ดังภาพที่ 3.4 จากวงจรกำเนิดสัญญาณในภาพที่ 3.3 เมื่อพิจารณาที่ความถี่สูงสามารถเขียนวงจรได้ใหม่ดังภาพที่ 3.5 เมื่อ $G_z = 1/R_z$, $G_y = 1/R_y$ กำหนดให้

$$Y_1 = s(C_1 + C_{z2} + C_{z3}) + G_{z2} + G_{z3} \quad (3.26)$$



ภาพที่ 3.4 วงจรเทียบเคียงของ CCCII เมื่อพิจารณาที่ความถี่สูง



ภาพที่ 3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณเมื่อพิจารณาที่ความถี่สูง

$$Y_2 = s(C_2 + C_{z1} + C_{y2}) + G_{z1} + G_{y2} \quad (3.27)$$

$$Y_3 = s(C_{z1} + C_{y3}) + G_k + G_{z1} + G_{z3} \quad (3.28)$$

เขียนสมการกระแสที่ขั้ว x_1 ได้เป็น

$$i_{x1} = \frac{1}{Y_1 R_{x1} + 1} (i_{z2} + i_{z3}) \quad (3.29)$$

โดยกระแสที่ขั้ว $i_{z1} = -i_{x1}$ จากสมการที่ (3.29) จะได้

$$i_{z1} = -\frac{1}{Y_1 R_{x1} + 1} (i_{z2} + i_{z3}) \quad (3.30)$$

โดยกระแส i_{z2} เขียนได้เป็น

$$i_{z2} = \frac{i_{z1}}{Y_2 R_{x2}} \quad (3.31)$$

ส่วนกระแส i_{z2} เขียนได้เป็น

$$i_{z3} = -i_{z2} \frac{1}{Y_3 R_{x3}} \quad (3.32)$$

แทนสมการที่ (3.31) และ (3.32) ลงในสมการที่ (3.30) จะได้

$$i_{z1} = -\frac{1}{Y_1 R_{x1} + 1} \left(\frac{i_{z2}}{Y_2 R_{x2}} - i_{z3} \frac{1}{R_{x3} Y_3} \right) \quad (3.33)$$

จากสมการที่ (3.33) จะได้สมการลักษณะสมบัติของโครงข่ายเป็น

$$Y_1 Y_2 Y_3 R_{x1} R_{x2} R_{x3} + Y_2 Y_3 R_{x2} R_{x3} + Y_3 R_{x3} - Y_2 R_{x2} = 0 \quad (3.34)$$

แทนสมการที่ (3.26)-(3.38) ลงในสมการที่ (3.34) จะได้

$$\left\{ \begin{array}{l} [s(C_1 + C_{z2} + C_{z3}) + G_{z2} + G_{z3}] [s(C_2 + C_{z1} + C_{y2}) + G_{z1} + G_{y2}] [s(C_{z1} + C_{y3}) + G_k + G_{z1} + G_{z3}] R_{x1} R_{x2} R_{x3} + \\ [s(C_2 + C_{z1} + C_{y2}) + G_{z1} + G_{y2}] [s(C_{z1} + C_{y3}) + G_k + G_{z1} + G_{z3}] R_{x2} R_{x3} + [s(C_{z1} + C_{y3}) + G_k + G_{z1} + G_{z3}] R_{x3} - \\ [s(C_2 + C_{z1} + C_{y2}) + G_{z1} + G_{y2}] R_{x2} \end{array} \right\} = 0 \quad (3.35)$$

จากสมการที่ (3.35) หาก R_z แล R_y ของ CCCII แต่ละตัวมีค่ามากกว่า R_x และ R_k มากๆ สามารถประมาณสมการที่ (3.35) ได้ดังนี้

$$\left\{ \begin{array}{l} [s(C_1 + C_{z2} + C_{z3})][s(C_2 + C_{z1} + C_{y2})][s(C_{z1} + C_{y3}) + G_k]R_{x1}R_{x2}R_{x3} + \\ [s(C_2 + C_{z1} + C_{y2})][s(C_{z1} + C_{y3}) + G_k]R_{x2}R_{x3} + [s(C_{z1} + C_{y3}) + G_k]R_{x3} - \\ [s(C_2 + C_{z1} + C_{y2})]R_{x2} \end{array} \right\} = 0 \quad (3.35)$$

จากสมการที่ (3.35) จะได้

$$\left\{ \begin{array}{l} s^3(C_1 + C_{z2} + C_{z3})(C_2 + C_{z1} + C_{y2})(C_{z1} + C_{y3})R_{x1}R_{x2}R_{x3} + \\ s^2(C_2 + C_{z1} + C_{y2})(C_1 + C_{z2} + C_{z3})G_kR_{x1}R_{x2}R_{x3} + \\ s^2(C_2 + C_{z1} + C_{y2})(C_{z1} + C_{y3})R_{x2}R_{x3} + s(C_2 + C_{z1} + C_{y2})G_kR_{x2}R_{x3} + \\ s(C_{z1} + C_{y3})R_{x3} - s(C_2 + C_{z1} + C_{y2})R_{x2} + G_kR_{x3} \end{array} \right\} = 0 \quad (3.36)$$

จากสมการที่ (3.36) พบว่า จะอยู่ในรูปของสมการอันดับ 3 โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการมาตรฐานได้เป็น

$$s^3a + s^2b + sc + d = 0 \quad (3.37)$$

เมื่อ

$$a = (C_1 + C_{z2} + C_{z3})(C_2 + C_{z1} + C_{y2})(C_{z1} + C_{y3})R_{x1}R_{x2}R_{x3} \quad (3.38)$$

$$b = (C_2 + C_{z1} + C_{y2})[(C_1 + C_{z2} + C_{z3})G_kR_{x1}R_{x2}R_{x3} + (C_{z1} + C_{y3})R_{x2}R_{x3}] \quad (3.39)$$

$$c = (C_2 + C_{z1} + C_{y2})G_kR_{x2}R_{x3} + (C_{z1} + C_{y3})R_{x3} - (C_2 + C_{z1} + C_{y2})R_{x2} \quad (3.40)$$

$$d = G_kR_{x3} \quad (3.41)$$

จากสมการที่ (3.37) จะได้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเป็น

$$\omega_{osc} = \sqrt{\frac{d}{b}} \quad (3.42)$$

ส่วนเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณแสดงได้เป็น

$$ab = cd \quad (3.43)$$

แทนสมการที่ (3.39) และ (3.41) ลงในสมการที่ (3.42) จะได้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเมื่อพิจารณาที่ความถี่สูงเป็น

$$\omega_{osc} = \sqrt{\frac{G_k R_{x3}}{(C_2 + C_{z1} + C_{y2}) [(C_1 + C_{z2} + C_{z3}) G_k R_{x1} R_{x2} R_{x3} + (C_{z1} + C_{y3}) R_{x2} R_{x3}]}} \quad (3.44)$$

ส่วนเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณแสดงได้เป็น

$$\left\{ \begin{aligned} &[(C_2 + C_{z1} + C_{y2})^2 (C_1 + C_{z2} + C_{z3})(C_{z1} + C_{y3}) [(C_1 + C_{z2} + C_{z3}) G_k R_{x1} R_{x2} R_{x3} + (C_{z1} + C_{y3}) R_{x2} R_{x3}] R_{x1} R_{x2} R_{x3} = \\ &[(C_2 + C_{z1} + C_{y2}) G_k R_{x2} R_{x3} + (C_{z1} + C_{y3}) R_{x3} - (C_2 + C_{z1} + C_{y2}) R_{x2}] G_k R_{x3} \end{aligned} \right\} \quad (3.45)$$

จากสมการที่ (3.44) และ (3.45) พบว่า วงจรยังคงให้กำเนิดสัญญาณได้แต่เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามพารามิเตอร์ภายในของ CCCII ในทางปฏิบัตินั้น พารามิเตอร์ β , α ค่าความจุและความต้านทานแฝงในตัว CCCII จะมีผลต่อการทำงานของวงจร