

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบวงจรกรองอนาล็อก (Analog Filter Design) โดยการนำตัวต้านทาน (Resistor) ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) มาเชื่อมต่อกันเป็นวงจร มีข้อดี คือ สามารถซื้อหาอุปกรณ์ได้ง่าย ราคาถูก และยังสามารถทำการเชื่อมต่อกันเป็นวงจรได้ง่ายอีกด้วย แต่ในการออกแบบวงจรกรองอนาล็อกเพื่อให้มีการตอบสนองของแรงดันด้านขาออก ณ ความถี่ต่างๆ ได้ตรงตามความต้องการนั้นมีความยาก เนื่องจากถ้าผู้ออกแบบไม่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในการออกแบบวงจรกรองอนาล็อกแล้วจะไม่สามารถทำการออกแบบได้ นอกจากนี้ในการออกแบบวงจรกรองอนาล็อกยังมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป คือ ให้ผลการตอบสนองของแรงดันด้านขาออก ณ ความถี่ต่างๆ ที่มีลักษณะแตกต่างกัน อีกเหตุผลหนึ่งที่สำคัญคือ ชนิดและขนาดของอุปกรณ์ (Component) ต่างๆ ที่ทำการออกแบบได้ตามทฤษฎีนั้น อาจจะมีขนาดไม่ตรงกับที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดจริง ทำให้เมื่อนำอุปกรณ์เหล่านี้มาต่อเป็นวงจรในทางปฏิบัติจะได้ผลการตอบสนองของแรงดันด้านขาออก ณ ความถี่ต่างๆ ของวงจรที่สร้างขึ้นไม่ตรงกับความต้องการอย่างแท้จริง

เนื่องจากเงินเนติกอัลกอริทึม เป็นขบวนการที่สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยลดความยุ่งยากในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้เป็นอย่างมาก (ปัญหาในการออกแบบ เช่น การเลือกชนิดและขนาดของอุปกรณ์ที่จะนำมาเชื่อมต่อเป็นวงจร) เนื่องจากมันต้องการเพียงแค่การกำหนดค่าเบื้องต้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (กำหนดเพียงค่าผลตอบสนองของวงจร ณ ความถี่ต่างๆ ที่ต้องการออกแบบ) และจากนั้นมันจะสามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เองในที่สุด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดที่จะใช้เงินเนติกอัลกอริทึม เพื่อช่วยในการออกแบบวงจรกรองอนาล็อก โดยจะใช้เงินเนติกอัลกอริทึมออกแบบใน 3 ด้าน ได้แก่

- กำหนดชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อวงจร (Component Type) ซึ่งมี 3 ชนิด คือ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ
- กำหนดขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อวงจร (Component Size) ซึ่งตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุจะใช้ขนาดที่มีขายในท้องตลาด โดยตัวต้านทานจะมีขนาดตั้งแต่ 1 โอห์ม จนถึง 22 เมกะโอห์ม ส่วนตัวเก็บประจุมีขนาดตั้งแต่ 5 พิโคฟารัด จนถึง 10 มิลลิฟารัด

สำหรับตัวเหนี่ยวนำจะใช้ขนาดจำนวนจริง ตั้งแต่ 0.1 มิลลิเฮนรี จนถึง 1.5 เฮนรี [13] เนื่องจากตัวเหนี่ยวนำนั้น สามารถทำการพันขดลวดขึ้นใช้ได้เองตามความต้องการ

- กำหนดโครงสร้างในการเชื่อมต่อของวงจร โดยการกำหนดให้การเชื่อมต่อของวงจรมีลักษณะเป็นแบบขั้นบันได (Ladder Circuit) ซึ่งในแต่ละตำแหน่งของอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้เชื่อมต่อนั้น นอกจากที่จะเป็นการนำตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำตามปกติมาเชื่อมต่อแล้ว ยังสามารถยอมให้แต่ละตำแหน่งนี้ มีการเชื่อมต่อเป็นวงจรย่อย (วงจรที่มีอุปกรณ์ 2 ตัวต่อขนานกัน) ได้อีกด้วย โดยจะมองว่า วงจรย่อยนี้เป็นอุปกรณ์ชนิดที่ 4 ที่สามารถเกิดขึ้นได้นั่นเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบวงจรกรองอนาล็อกให้ได้ผลการตอบสนองของแรงดันด้านขาออก ตรงกับความต้องการในการออกแบบมากที่สุด
- 1.2.2 เพื่อให้ผู้ใช้ที่ไม่มีความรู้ความชำนาญในการออกแบบวงจรกรองอนาล็อกสามารถใช้ในการออกแบบวงจรกรองอนาล็อกได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบวงจรกรองอนาล็อกแบบผ่านต่ำ แบบผ่านสูง แบบผ่านแถบ และแบบก้ำกึ่งแถบ
- 1.3.2 กำหนดให้มีการออกแบบเฉพาะชนิดของอุปกรณ์ (มี 4 ชนิด คือ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ และวงจรย่อย) และขนาดของอุปกรณ์
- 1.3.3 โครงสร้างของวงจรกำหนดให้เป็นแบบขั้นบันได (Ladder Circuit) ซึ่งสามารถมีวงจรย่อยที่เป็นอุปกรณ์ 2 ตัวต่อขนานกันแทรกอยู่ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

- 1.4.1 เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาในเรื่องการใช้เงินเนติกอัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบที่ไม่สามารถทราบล่วงหน้าได้ หรือมีความยากในการ ค้นหาโดยใช้มนุษย์
- 1.4.2 ช่วยให้มี ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจในการเลือกซื้อวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องใช้ในการออกแบบ
- 1.4.3 สามารถนำงานวิจัยนี้ไปใช้ประยุกต์เพื่อออกแบบวงจรกรองอนาล็อกชนิดอื่นๆที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นได้

1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Arslan and Horrocks [1] กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของการนำเงินเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการออกแบบวงจรกรองแบบต่างๆทั้งวงจรรอนาลอกและดิจิทัล เช่น วงจรรองอนาลอกแบบผ่านต่ำ วงจรรองแบบ FIR วงจรรองแบบ IIR เป็นต้น และได้แสดงตัวอย่างการออกแบบวงจรกรองแบบ FWL IIR โดยใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นรูปแบบของสมการยกกำลังสองและใช้ฟังก์ชันการหาค่าความเหมาะสมของขนาดและมุมเฟส เป็น 1 หาคด้วยผลรวมระหว่างค่าคงที่น้อยๆค่าหนึ่ง (ϵ) กับความแตกต่างระหว่างแรงดัน (หรือมุมเฟส) ที่ต้องการออกแบบกับแรงดัน (หรือมุมเฟส) ที่ออกแบบขึ้น เพื่อป้องกันการคำนวณที่ผิดพลาดเมื่อผลต่างระหว่างแรงดันทั้งสองมีค่าเป็น 0 (1 หาคด้วย 0 ไม่สามารถหาค่าได้) จากนั้นจึงหาค่าความเหมาะสมสุดท้าย คือ ผลรวมระหว่างค่าความเหมาะสมของขนาดกับค่าความเหมาะสมของมุมเฟส

Bennett III, *et al.* [2] ได้เสนอการใช้วงจรเริ่มต้นขนาดเล็ก (Embryonic Electric Circuit) เพื่อใช้ออกแบบวงจรออปแอมป์ (Op Amp) โดยใช้ฟังก์ชันต่างๆเพื่อสร้างหรือปรับแต่งลักษณะของวงจร โดยเริ่มต้นฟังก์ชันเหล่านี้จะถูกเลือกให้ใช้กับจุดหนึ่งของวงจรเริ่มต้นขนาดเล็ก ทำให้ลักษณะของวงจรเปลี่ยนแปลงไป จากนั้นจึงแปลงเป็นคำสั่งการเชื่อมต่อวงจร (Netlist) และส่งไปประมวลผลยังโปรแกรม SPICE เพื่อหาความแตกต่างของผลตอบสนองของแรงดันด้านขาออกได้เป็นค่าความเหมาะสมต่อไป

Khalifa and Horrocks [8] ได้เสนอเทคนิคการกำจัดโครโมโซมที่แตกต่างกัน แต่เมื่อแปลงเป็นวงจรในทางปฏิบัติแล้วจะได้วงจรที่มีลักษณะเหมือนกัน (Isomorphism) ซึ่งถือว่าเป็นโครโมโซมที่ซ้ำซ้อนกัน การซ้ำซ้อนของวงจรที่ออกแบบขึ้นนี้จะทำให้การค้นหาคำตอบของเงินเนติกอัลกอริทึมในวงจรที่มีขนาดใหญ่เป็นไปได้ยากเพราะวงจรเดียวกันอาจแสดงเป็นโครโมโซมต่างๆได้มากมาย ซึ่งเทคนิคการกำจัดวงจรที่ซ้ำซ้อนนี้ใช้วิธีเปรียบเทียบว่า ถ้าค่าความผิดพลาดของผลตอบสนองของวงจรเทียบกับเป้าหมาย (Error Value Resulting) ของโครโมโซมเท่ากันแล้วแต่ค่าผลรวมความผิดพลาดยกกำลังสองไม่เท่ากัน แสดงว่าโครโมโซมทั้งสองนี้เป็นวงจรที่แตกต่างกันจริง (แต่บังเอิญมีค่าความเหมาะสมเท่ากัน) ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้การค้นหาลู่เข้าหาคำตอบ (Converge) ได้เร็วขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ (จากการทดสอบในวงจรกรองแบบผ่านต่ำอันดับที่ 7) และยังเป็นการออกแบบวงจรที่มีจำนวนอุปกรณ์มากขึ้น วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

Horrocks and Khalifa [6] ได้เสนอการออกแบบวงจรรองอนาลอกโดยใช้เงินเนติกอัลกอริทึม และกำหนดให้มีการออกแบบเฉพาะขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อวงจร (Component Size) ส่วนลักษณะการเชื่อมต่อวงจร (Topology) กำหนดขึ้นไว้ก่อนแล้ว ซึ่งขนาดของอุปกรณ์ใช้ค่าที่กำหนดขึ้นเอง คือ ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุแบ่งเป็น 12 ขนาดต่อเดเคด และตัวเหนี่ยวนำ

แบ่งเป็น 3 ขนาดต่อเคเคต และใช้การแทนค่ายีนส์ (Genes Representation) ด้วยเลขฐานสองจำนวน 6 บิต ให้กับจำนวนอุปกรณ์แต่ละชนิด ซึ่งจะได้เป็น 2^6 เท่ากับ 64 ขนาด และใช้ค่าความเหมาะสม เท่ากับผลรวมของค่าความแตกต่างระหว่างแรงดันด้านขาออกของวงจรที่ออกแบบขึ้นกับแรงดันที่ต้องการ ณ ความถี่ต่างๆยกกำลังสอง โดยกำหนดให้ค่าความความแตกต่างระหว่างแรงดันทั้งสอง ในช่วงความถี่ที่ยอมให้สัญญาณผ่านได้ (Pass-band) มีผลเป็น 2 เท่าของความแตกต่างระหว่างแรงดันทั้งสองในช่วงความถี่ที่ไม่ยอมให้สัญญาณผ่านได้ (Stop-band)

Koza, *et al.* [9] ได้นำเสนอการใช้เจเนติกโปรแกรมมิง (Genetic Programming) เพื่อออกแบบวงจรกรองอนาล็อกแบบผ่านต่ำที่มีเฉพาะตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ (Low-pass LC Filter) โดยให้มีการออกแบบลักษณะการเชื่อมต่อของวงจร ชนิดของอุปกรณ์ที่นำมาต่อกับวงจร และขนาดของอุปกรณ์ที่นำมาต่อกับวงจร โดยเริ่มจากใช้วงจรเริ่มต้นขนาดเล็ก จากนั้นจึงใช้เจเนติกอัลกอริทึมเลือกโปรแกรมย่อยต่างๆ (Sub Program) มาใช้เพื่อให้เกิดการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ชนิดและขนาดต่างๆกันเข้ากับวงจรเริ่มต้นนี้สร้างเป็นวงจรใหม่ขึ้นมา จากนั้นจึงส่งไปประมวลผล โดยโปรแกรม SPICE เพื่อหาค่าความเหมาะสม คือ ผลรวมความผิดพลาดของแรงดันด้านขาออกของวงจรที่ออกแบบขึ้นเปรียบเทียบกับแรงดันที่ต้องการ ณ ความถี่ต่างๆ ตั้งแต่ 1 เฮิรตซ์ ถึง 100,000 เฮิรตซ์ แบ่งออกเป็น 101 ความถี่ ซึ่งจะได้ว่า ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดเท่ากับ 0 และค่าความเหมาะสมที่แย่ที่สุดเท่ากับ $+\infty$ (วงจรใดที่ SPICE ไม่สามารถประมวลผลได้จะกำหนดให้มีค่าความเหมาะสมเท่ากับ 10^8)

Koza, *et al.* [10] ได้นำเจเนติกโปรแกรมมิงมาใช้ออกแบบทั้งลักษณะการเชื่อมต่อของวงจร และการกำหนดขนาดของอุปกรณ์ ของวงจรอนาล็อกต่างๆ 8 ชนิด ได้แก่ วงจรกรองแบบผ่านต่ำ วงจรกรองแบบครอส โอเวอร์ (Crossover Filter) วงจรที่ให้แรงดันด้านขาออกเมื่อความถี่ของสัญญาณด้านขาเข้าตรงกับค่าที่กำหนดไว้ (Source Identification) วงจรคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Computational) วงจรควบคุมเส้นทางการบิน (Time-Optimal Controller) วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) วงจรตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature-Sensing Circuit) และวงจรแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference Source) จากนั้นจึงส่งผ่านไฟล์การเชื่อมต่อวงจร (Netlist) ไปประมวลผลโดยโปรแกรม SPICE เพื่อหาค่าความเหมาะสม

Koza, *et al.* [11] ได้เสนอการออกแบบวงจรที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Computational Circuit) โดยออกแบบทั้งลักษณะการเชื่อมต่อวงจร และการกำหนดขนาดของอุปกรณ์ โดยได้แสดงตัวอย่างการออกแบบวงจรที่ใช้หารากที่สอง (Square Root) และวงจรหาค่ายกกำลังสอง (Squaring) ของสัญญาณด้านขาเข้า

Koza, *et al.* [12] ได้เสนอวิธีการพิจารณาถึงวงจรเริ่มต้นขนาดเล็กที่ถูกในการออกแบบวงจรที่ใช้เงินเนติกโปรแกรมมิ่ง โดยได้ทดลองกับการออกแบบวงจรกรองอนาล็อกแบบผ่านต่ำพบว่า การใช้วงจรเริ่มต้นขนาดเล็กที่มีลักษณะง่ายที่สุดคือ มีวงจรเชื่อมต่อกันระหว่าง 2 จุด ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้กับการออกแบบวงจรอื่นๆ ได้ทุกวงจร และถ้าหากสามารถกำหนดรายละเอียดของวงจรเริ่มต้นขนาดเล็กนี้ได้ เช่น กำหนดให้มีโหนดด้านขาเข้า ด้านขาออก และกราวด์ (Ground) ที่เชื่อมต่อไปยังโหนดที่อยู่ระหว่างด้านขาเข้าและขาออก นี้ ก็จะทำให้สามารถหาคำตอบได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

Lohn and Colombo [13] ได้เสนอการออกแบบวงจรกรองอนาล็อกและวงจรขยายสัญญาณ โดยใช้เงินเนติกอัลกอริทึมออกแบบโครงสร้างการเชื่อมต่อของวงจร จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ และขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ โดยใช้คำสั่งที่เรียกว่า cc-bot (Circuit-Constructing Robot) เป็นคำสั่งเพื่อสร้างวงจร เริ่มจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า จากนั้นจะใช้คำสั่ง cc-bot เพื่อกระทำกับจุดนี้ (จุด Active) สร้างวงจรต่อไปยังจุดใหม่ จุดก่อน จุดของโหนดด้านขาเข้า จุดของโหนดด้านขาออก หรือจุดของโหนดที่กราวด์ โดยได้ยกตัวอย่างการออกแบบวงจรกรองอนาล็อกแบบผ่านต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติความต้องการผลตอบสนองด้านขาออกที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ 1. วงจร Electronic Stethoscope ใช้เพื่อตรวจวัดเสียงความถี่ต่ำของร่างกาย เช่น เสียงเต้นของหัวใจ 2. วงจรกรองแบบผ่านต่ำชนิดบัตเตอร์เวิร์ด (Butterworth Low-Pass Filter) และ 3. วงจรกรองแบบผ่านต่ำอันดับสาม (Third Order Low-Pass Filter) โดยสรุปได้ว่าจุดประสงค์การนำเสนอนี้เพื่อต้องการให้สามารถออกแบบวงจรได้อย่างอัตโนมัติ สามารถนำไปใช้ออกแบบวงจรต่างๆ ทั่วไปได้โดยไม่จำเป็นต้องแก้ไขโปรแกรม และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อื่นๆ เพิ่มเติมได้

Zebulum, *et al.* [15] ได้เสนอตัวอย่างการใช้วิธาลูชันนารี อัลกอริทึม (Evolutionary Algorithms: EA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างในการออกแบบวงจรกรองอนาล็อก 3 แบบ คือ

1. ออกแบบโดยให้ความยาวของโครโมโซมเปลี่ยนแปลงได้ (Variable Length Representation) แต่กำหนดโครงสร้างของวงจรให้มีลักษณะเป็นแบบขนาน
2. ออกแบบให้ความยาวของโครโมโซมคงที่ (Fixed Length Representation) และไม่มีกำหนดโครงสร้างของวงจรที่แน่นอน
3. ออกแบบให้ความยาวของโครโมโซมเปลี่ยนแปลงได้ และไม่มีกำหนดโครงสร้างของวงจรที่แน่นอน