



การออกแบบตัวควบคุมพีไอเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึม สำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้า

นางสาววิไลวรรณ คำสอน

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การออกแบบตัวควบคุมพีไอเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึม สำหรับวงจรแปลงผัน
กำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้า



นางสาววิไลวรรณ คำสอน

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การออกแบบตัวควบคุมพีไอเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึม สำหรับวงจร
แปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้า

โดย นางสาววิไลวรรณ คำสอน

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณี น้อยยิ่ง)

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ อรรคทิมากุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกริช ภักดีโต)

กรรมการภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช อัสวานวัตร)

ชื่อ : นางสาววิไลวรรณ คำสอน
 ชื่อการค้นคว้าอิสระ : การออกแบบตัวควบคุมพีไอเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ
 จินเนติกอัลกอริทึม สำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซี
 เป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้า
 สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกริช ภัคดีโต
 หลักสูตร :
 ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค้นคว้า องค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบ
 ตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทางดีซีเป็นดีซีด้วยวิธีการ
 ทางปัญญาประดิษฐ์ อีกทั้งยังได้มีการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบที่มีพารามิเตอร์ตัว
 ควบคุมพีไอออกแบบด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริทึมเทียบกับตัววิธีการแบบดั้งเดิม การ
 ออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิมจะอาศัยวิธีการเทียบสัมประสิทธิ์สมการฟังก์ชันถ่ายโอน
 อันดับสองในการออกแบบค่าพารามิเตอร์ ขณะที่การออกแบบด้วยจินเนติกอัลกอริทึมใช้
 เทคนิคการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้หลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติและหลักการทาง
 พันธุกรรม ตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบทั้ง 2 วิธีนี้ จะถูกนำมาใช้ในการจำลอง
 สถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB เพื่อทดสอบผลตอบสนองและสมรรถนะในการควบคุม
 แรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรง 800 V ที่มีการเปลี่ยนโหลดกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การจำลอง
 สถานการณ์แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบด้วยจินเนติกอัลกอริทึมให้
 ผลตอบสนองของสมรรถนะดีกว่าและให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว เมื่อเทียบกับการออกแบบ
 ของตัวควบคุมแบบดั้งเดิม อีกทั้งยังสามารถรักษาค่าของแรงดันบัสไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่
 เสถียรแม้ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโหลดหรือระดับแรงดันอ้างอิง

(มีจำนวนทั้งสิ้น 47 หน้า)

คำสำคัญ : ตัวควบคุมพีไอ , จินเนติกอัลกอริทึม

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก

Name : Miss Wilaiwan Kamsorn
Independent Study Title : Optimal PI controller design using Genetic algorithm
for bi-directional DC-DC converter in electric vehicle
system
Major Field : Electrical Engineering
King Mongkut's University of Technology North
Bangkok
Independent Study Advisor : Assistant Professor Dr. Jakkrit Pakdeeto
Academic Year : 2024

ABSTRACT

This research proposes the optimal controller design for the bidirectional DC/DC converter using artificial intelligent technique. The system responses controlled by PI controller from both conventional design and genetic algorithm are also presented. The second order transfer function is used to compare the PI controller coefficients for conventional design. For the genetic algorithm, the best solution is obtained from the principle of natural selection. The controller parameters from both design methods are used to simulate on MATLAB program in order to regulate the DC bus equal 800 V with load variations. The simulation results show that the proposed technique can provide the better performances and rapid responses compared with the conventional design. Moreover, the proposed controller parameters are also stable operation to regulate the DC bus voltage while the load condition or voltage reference are varied.

(Total 47 Pages)

Keywords: PI Controller , Genetic Algorithm

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการออกแบบตัวควบคุมพีไอเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึมสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้า (Optimal PI controller design using Genetic algorithm for bi-directional DC-DC converter in electric vehicle system) สามารถสำเร็จจุล่งไปด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกริช ภัคดีโต ที่ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางการวิจัยด้วยความทุ่มเท รวมถึงให้การสนับสนุนทางวิชาการ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และติดตามความก้าวหน้าของงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และแรงบันดาลใจในด้านวิชาการ ตลอดระยะเวลาการศึกษา และการดำเนินงานวิจัย

วิไลวรรณ คำสอน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 กรอบแนวคิดในการวิจัย	3
บทที่ 2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมและวงจรแปลงผันกำลังในยานยนต์ไฟฟ้า	5
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมของวงจรแปลงผันกำลัง	7
2.4 การประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์สำหรับแก้ไขปัญหาเชิงวิศวกรรม	8
2.5 สรุป	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	10
3.1 บทนำ	10
3.2 ระบบที่พิจารณา	11
3.3 การออกแบบตัวควบคุมฟuzzy	13
3.3.1 การออกแบบด้วยวิธีการดั้งเดิม	13
3.3.2 การทดสอบสมรรถนะของการออกแบบตัวควบคุมฟuzzy	14

3.4 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึม	15
3.5 สรุป	19
บทที่ 4 ผลการวิจัย	20
4.1 บทนำ	20
4.2 ผลการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง	20
4.3 ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบเมื่อค่าแรงดันบัลไฟฟ้า กระแสดร่งมีการเปลี่ยนแปลง	23
4.4 สรุป	27
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	28
5.1 สรุป	28
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	28
บรรณานุกรม	29
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	34
ภาคผนวก ข	37
ภาคผนวก ค	39
ภาคผนวก ง	41
ประวัติผู้วิจัย	47

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมและวงจรแปลงผันกำลัง ในยานยนต์ไฟฟ้า	5
ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมของวงจรแปลงผันกำลัง	7
ตารางที่ 2.3 การประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์สำหรับแก้ไขปัญหา เชิงวิศวกรรม	8
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา	12
ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบช่วงเวลาขาขึ้น เวลาเข้าที่ และส่วนที่พุ่งเกิน ของแรงดัน ทั้งสองวิธี	21



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย	4
ภาพที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	11
ภาพที่ 3.2 ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา	10
ภาพที่ 3.3 ผลตอบสนอง V_{HVDC} ของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด จาก 250 kW ไปเป็น 300 kW	12
ภาพที่ 3.4 แผนภูมิแสดงกระบวนการเงินเนติกอัลกอริทึม	16
ภาพที่ 3.5 การค้นหาตัวควบคุมด้วยวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึม	17
ภาพที่ 3.6 ผลตอบสนอง V_{HVDC} ของระบบไฟฟ้าที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่มีการออกแบบด้วยเงินเนติกอัลกอริทึม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 250 kW ไปเป็น 300 kW	18
ภาพที่ 3.7 ผลตอบสนอง V_{HVDC} ของระบบไฟฟ้าที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่มีการออกแบบด้วยเงินเนติกอัลกอริทึมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด จาก 100 kW ไปเป็น 150 kW	18
ภาพที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบตัวควบคุมพีไอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 250 kW เป็น 300 kW	20
ภาพที่ 4.2 ผลการจำลองสถานการณ์กรณีที่ 1	22
ภาพที่ 4.3 ผลการจำลองสถานการณ์กรณีที่ 2	22
ภาพที่ 4.4 ผลการจำลองสถานการณ์กรณีที่ 3	23
ภาพที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบเมื่อค่าแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลง	24
ภาพที่ 4.6 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงกรณีที่ 1	25
ภาพที่ 4.7 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงกรณีที่ 2	25
ภาพที่ 4.8 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงกรณีที่ 3	26
ภาพที่ 4.9 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงกรณีที่ 4	26

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความตระหนักในเรื่องผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emissions) และปัญหามลพิษทางอากาศ ได้กระตุ้นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ทำให้ยานยนต์ไฟฟ้า (electric vehicles, EV) กำลังเป็นที่นิยมและเติบโตอย่างรวดเร็วในตลาดยานยนต์ทั่วโลก [1] ระบบควบคุมและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ยานยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพและความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น โครงสร้างและการออกแบบที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าแทนเครื่องยนต์สันดาปภายใน (internal combustion engine, ICE) เป็นพื้นฐานสำคัญ หนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของยานยนต์ไฟฟ้าคือ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง (bi-directional DC-DC converter) [2] ซึ่งทำหน้าที่บริหารการถ่ายโอนพลังงานระหว่างแบตเตอรี่และระบบขับเคลื่อน ในโหมดการขับเคลื่อนและโหมดการเบรกที่พลังงานไฟฟ้าสามารถนำกลับไปเก็บพลังงานที่แบตเตอรี่ได้ การควบคุมวงจรแปลงผันกำลังนี้จึงมีสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะของยานยนต์ไฟฟ้า การแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (ที่มีแรงดันต่ำ) ไปยังบัสไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง สำหรับระบบขับเคลื่อน หรือระบบไฟฟ้าที่ใช้ในระบบไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ภายในตัวรถที่ระดับแรงดันต่ำ เช่น ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์และไฟส่องสว่าง ล้วนแต่อาศัยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น ดังนั้นการออกแบบตัวควบคุมแปลงผันกำลังไฟฟ้าจะส่งผลต่อสมรรถนะระบบส่งกำลังไฟฟ้า (power train system) ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปเป็นพลังงานกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงาน ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในวงจรแปลงผัน และเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนของยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อระยะทางการขับขี่และสมรรถนะของยานยนต์ไฟฟ้า

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนและอินทิกรัล (proportional integral: PI Controller) เป็นหนึ่งตัวควบคุมที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า [3] เนื่องจากง่ายต่อการออกแบบและมีสมรรถนะที่ดีในการควบคุม แต่การออกแบบตัวควบคุมพีไอให้มีสมรรถนะที่ดีนั้นจำเป็นต้องปรับค่าพารามิเตอร์ K_p และ K_i อย่างเหมาะสม ในสถานะที่มีการเปลี่ยนแปลงของ

โหลดหรือสภาวะการทำงานที่ไม่แน่นอน อาจทำให้การควบคุมเกิดความผิดพลาดได้และส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้อาศัยเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence: AI) [4] มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมพีไอเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์เหมาะสมที่สุดสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง อีกทั้งยังส่งผลต่อการควบคุมที่แม่นยำภายใต้สภาวะการทำงานที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษา ค้นคว้า องค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทางดีซีเป็นดีซีด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบที่มีการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริทึมเทียบกับตัวควบคุมที่มีการออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 การออกแบบตัวควบคุมพีไอของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางด้วยวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้ได้ตัวควบคุมที่มีความเหมาะสมที่สุดให้ผลตอบสนองที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับการออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิม

1.3.2 ระบบสามารถควบคุมแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงได้จนถึงพิกัดจากพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอที่ได้จากการออกแบบทั้งสองวิธี

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 งานวิจัยนี้พิจารณาการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางพิกัด 300 กิโลวัตต์

1.4.2 งานวิจัยนี้เปรียบเทียบการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการดั้งเดิมและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์โดยใช้การค้นหาแบบจินเนติกอัลกอริทึมเท่านั้น

1.4.3 งานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะโหมดบัสต์ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางเท่านั้น

1.4.4 โหลดของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาในงานวิจัยนี้จะอาศัยโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวแบบอุดมคติ

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง

1.5.2 จีนเนติกอัลกอริทึม

1.5.3 ตัวควบคุมพีไอ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับสถาปัตยกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

1.6.2 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการดั้งเดิมและวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์โดยใช้การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึม

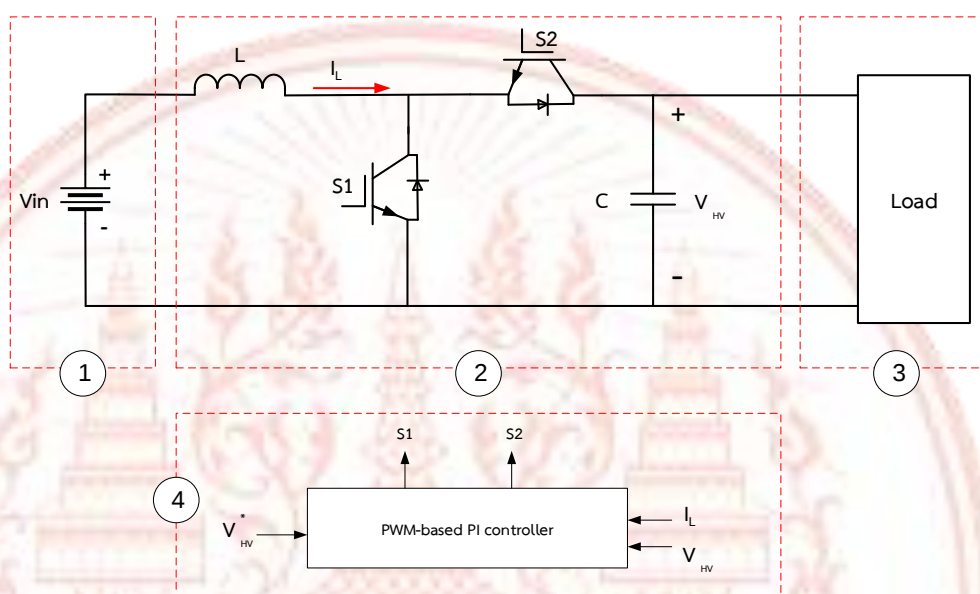
1.6.3 ได้องค์ความรู้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำสื่อการเรียนรู้ในอนาคต

1.6.4 ได้ร่างบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่

1.7 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางด้วยวิธีการจีนเนติกอัลกอริทึมเทียบกับตัวควบคุมที่มีการออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม พร้อมทั้งนำเสนอผลตอบสนองด้วยการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ โดยระบบไฟฟ้าที่พิจารณางานวิจัยแสดงได้ดังภาพที่ 1.1 ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ เป็นแหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา ส่วนที่ 2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่และบัสไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งวงจรดังกล่าวสามารถทำงานได้ 2 โหมด ได้แก่ โหมดบูสต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า และโหมดบัคที่ใช้สำหรับช่วงเวลาเบรกยานยนต์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะโหมดบูสต์เท่านั้น ส่วนที่ 3 โหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวในอุดมคติพิกัด 300 kW ค่าพิกัดดังกล่าวได้จากข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้า ยี่ห้อ Porsche รุ่น

Macan 4 Electric [5] และส่วนที่ 4 เป็นตัวควบคุมสวิตช์ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อให้คงค่าบัสไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมพีไอวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางโดยใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งอาศัยการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการค้นหาแบบจินเนติกอัลกอริทึม (GA) เพื่อค้นหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมเหมาะสมที่สุดโดยมีการประเมินสมรรถนะของระบบควบคุมผ่านฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตามเพื่อให้เข้าใจถึงองค์ความรู้สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมและวงจรแปลงผันกำลังในยานยนต์ไฟฟ้า ตัวควบคุมของวงจรแปลงผันกำลัง และการประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์สำหรับแก้ไขปัญหาเชิงวิศวกรรม โดยแยกเป็นตารางสรุปสาระสำคัญเรียงตามปีที่ตีพิมพ์เผยแพร่ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมและวงจรแปลงผันกำลังในยานยนต์ไฟฟ้า

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2020	Namitha Murali, Mini V.P and S.Ushakumari [6]	บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์รายละเอียดของโหมดการทำงานต่าง ๆ และแผนผังการสวิตช์ รวมถึงแนวทางการออกแบบสำหรับการเลือกพารามิเตอร์ของฟิลเตอร์เอาต์พุต ประสิทธิภาพของตัวแปลงที่นำเสนอได้รับการประเมินผ่านการจำลองที่เกี่ยวข้องและการตรวจสอบการทดลองบนต้นแบบในห้องปฏิบัติการขนาด 2 kW
2022	Mohammad Anwar, Arash Bavili, Ranya Badawi , Kris Sevel and Mike Wang [7]	บทความนี้เสนอมุมมองที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงสร้างระบบบัสไฟฟ้าที่ใช้กระแสตรงแรงดันสูง ที่สามารถปรับขยายและใช้ร่วมกันได้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าทุกรุ่นภายใต้การพัฒนาแพลตฟอร์ม Ultium เพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าหลากหลายประเภท ผลการทดลองบางส่วนพร้อมข้อมูลการทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบและการคาดการณ์จากการจำลองสถานการณ์

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมและวงจรแปลงผันกำลังในยานยนต์ไฟฟ้า (ต่อ)

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2023	Murari Lal Azad, Pooja Singh, Atul Kumar and Abha Shree Pandey[8]	บทความนี้นำเสนอการคาดการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบขนส่ง รวมถึงสถานะปัจจุบันของยานยนต์ไฟฟ้า การทบทวนเชิงลึกเกี่ยวกับการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า ประเภทของเครื่องชาร์จที่ใช้ ประเภทของแบตเตอรี่ ประเภทของการชาร์จพลังงานแบบไร้สาย (Wireless Power Transfer :WPT) และพัฒนาการสำคัญในอนาคตทั้งในประเทศอินเดียและระดับโลก
2023	Cun Wang, Pengfei Zheng and Jennifer Bauman [9]	บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับโมดูลพลังงานเสริม (Auxiliary Power Module – APM) ที่ช่วยในการส่งพลังงานจากแบตเตอรี่หลักไปยังโหลดไฟฟ้าแรงดันต่ำและแบตเตอรี่ 12 โวลต์ รวมถึงโครงสร้างวงจรแปลงผันกำลังที่เป็นแบบทางเดียวและแบบสองทิศทาง อีกทั้งยังมีการสำรวจความเป็นไปได้สำหรับการพัฒนาและออกแบบโมดูลพลังงานเสริมในอนาคต
2023	Ramani Kannan, Porkumaran K, Komathi C, Nursyarizal Mohd Nor and Sanjeevi Gandhi A [10]	บทความนี้เสนอตัวแปลงดีซีเป็นแบบสองทิศทางทำงานในโหมดการนำไฟฟ้าต่อเนื่อง (Continuous Conduction Mode, CCM) โดยใช้ตัวควบคุมชนิดพีไอ (PI) สำหรับการเบรกแบบรีเจนเนอเรชั่นในยานยนต์ไฟฟ้า ผ่านการใช้ตัวควบคุมชนิดพีไอแบบเรียงซ้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเบรกแบบรีเจนเนอเรชั่นในยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้การจำลองในโปรแกรม MATLAB

จากตารางที่ 2.1 พบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมและวงจรแปลงผันกำลังในยานยนต์ไฟฟ้านิยมใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกใช้วงจรดังกล่าว สำหรับการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังได้ศึกษาตัวควบคุมสำหรับควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง ซึ่งงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวควบคุมของวงจรแปลงผันกำลัง

ปีที่ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2017	Remon Das, Humayun Rashid and Iftekhar Uddin Ahmed [11]	บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างตัวแปลงสามประเภท ได้แก่ ตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ตัวแปลงที่ควบคุมด้วยพีไอและตัวแปลงที่ควบคุมด้วยพีไอดี ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตัวแปลงดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางที่ควบคุมด้วยพีไอดีมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีและตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธีการดั้งเดิม
2018	Ounis Rabiaa, Ben Hamed Mouna, Sbita Lassaad, Flah Aymen and Abid Aicha[12]	บทความนี้นำเสนอเสนอการควบคุมแบบลูปิดต่อเนื่องโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ สำหรับตัวแปลงดีซีเป็นดีซีแบบบูสต์ ซึ่งได้ทำการทดสอบ 2 แบบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีในด้านของเวลาการตอบสนองและประสิทธิภาพของตัวควบคุมพีไอ จะสามารถทำงานได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้วิธีแบบดั้งเดิม
2022	Noah Dias and Anant J Naik [13]	บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบขับเคลื่อนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ที่ใช้ตัวแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทางซึ่งออกแบบด้วยโครงสร้าง Half-Bridge โดยการแปลงพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังมอเตอร์ และการส่งพลังงานกลับไปยังชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างการเบรก
2023	Elanur Ekici , Tahsin Koroglu and Doğan Çelik [14]	บทความนี้นำเสนอการจำลองโมเดลของตัวแปลงดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางที่มีการแยกส่วน (Isolated) แบบ 5 ระดับ (5-Level) ซึ่งใช้โครงสร้าง Neutral Point Clamped (NPC) และ Dual Active Bridge (DAB) พร้อมกับตัวควบคุม Anti-Windup PI (PIAW) สำหรับการใช้งานในระบบ Vehicle-to-Home (V2H) โดยพบว่า เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวควบคุมที่นำเสนอ กับตัวควบคุม PI แบบ Single-Phase-Shift แบบดั้งเดิม ตัวควบคุม PIAW สามารถปรับปรุงการตอบสนองทางพลศาสตร์และประสิทธิภาพของตัวแปลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

จากตารางที่ 2.2 เป็นการศึกษาค้นคว้าตัวเกี่ยวกับควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า ดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง ซึ่งพบว่าตัวควบคุมชนิดพีไอ เพียงพอและเหมาะสมในการนำมา ควบคุมวงจรดังกล่าว เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการในการควบคุมและง่ายต่อการ ออกแบบ อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มสมรรถนะตัวควบคุมพีไอ จึงได้มีการศึกษาการประยุกต์ใช้ วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ในการออกแบบตัวควบคุม โดยงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการใช้ วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ เพื่อแก้ไขปัญหาทางวิศวกรรมแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์สำหรับแก้ไขปัญหาเชิงวิศวกรรม

ปีที่ ตีพิมพ์ (ค.ศ.)	คณะผู้วิจัย	สาระสำคัญของงานวิจัย
2024	Said Halwani, Hissam Tawfik, Hayssam Dahrouj and A. and Elnady[15]	บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง อัลกอริธึมทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) และการหา ผู่งอนุภาค (Particle Swarm Optimization) เพื่อแก้ไข ปัญหาความซับซ้อนเกี่ยวกับการไหลของกำลังไฟฟ้าเชิง เหมาะสม (Optimal Power Flow) โดยใช้เทคนิคการเพิ่ม ประสิทธิภาพเชิงเมตาฮีริสติก (Metaheuristics Optimization) โดยวิธีการใช้ GA มีประสิทธิภาพมากกว่า ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนได้ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ในการควบคุมต้นทุนการติดตั้ง การใช้พลังงาน และ ประสิทธิภาพของพลังงานในระบบไฟฟ้าในอนาคต
2024	Lei Lia, Yixi Wangb, Huanjun Huc, Hao Ningd and Xiang Li[16]	บทความนี้เสนอวิธีออกแบบการจัดการข้อมูลพลังงาน (Power Information Management System – PIMS) ใน อิน เตอร์เน็ตพลังงาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้จีน เนติกอัลกอริธึม (GA) มีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเทียบกับ การใช้อัลกอริธึมแบบดั้งเดิม
2024	Aishwarya Yadav and Vijaya Laxmi [17]	บทความนี้เสนอการใช้จีนเนติกอัลกอริธึม (GA) เพื่อ สร้างตัวควบคุมชนิดพีไอสำหรับระบบถังเชื่อมต่อ (Coupled Tank System: CTS) เปรียบเทียบประสิทธิภาพ กับตัวควบคุมชนิดพีไอแบบดั้งเดิมโดยนำมาใช้เพื่อควบคุม ระดับน้ำในถัง พบว่าตัวควบคุมชนิดพีไอที่ปรับแต่งด้วยจีน

		เนติกอัลกอริธึม สามารถทำงานได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะในการลดค่าของอินทิเกรตของข้อผิดพลาดสัมบูรณ์ (Integral of Absolute Error)
--	--	---

จากตารางที่ 2.3 เป็นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์สำหรับแก้ไขปัญหาเชิงวิศวกรรม ด้วยวิธีจินเนติกอัลกอริธึมเป็นวิธีการที่ได้ความนิยม อีกทั้งยังสามารถแก้ไขปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดได้ในระบบต่าง ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการประยุกต์ใช้การค้นหาค่าด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึมสำหรับออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้สำหรับควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้า

2.2 สรุป

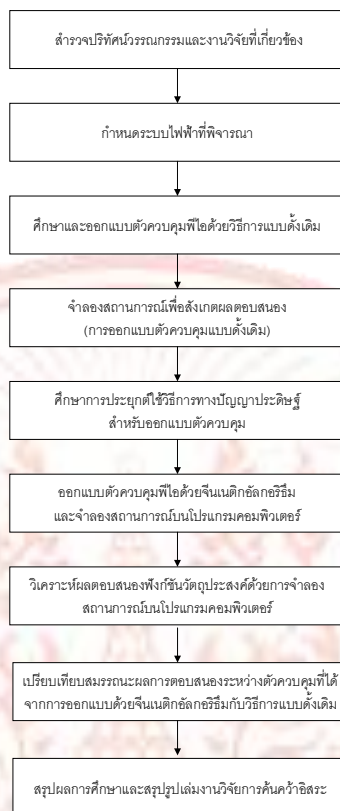
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้า เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต และการออกแบบตัวควบคุมพีไอในตัวระบบดังกล่าว เพื่อเพิ่มสมรรถนะของตัวควบคุมพีไอ ในงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้การออกแบบด้วยจินเนติกอัลกอริธึม เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมที่สุด ช่วยให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยเริ่มต้นการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรม วงจรแปลงผันกำลังในยานยนต์ไฟฟ้า ตัวควบคุมของวงจรแปลงผันกำลัง และประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์สำหรับแก้ไขปัญหาเชิงวิศวกรรม กำหนดระบบไฟฟ้าที่ใช้พิจารณาเป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในยานยนต์ไฟฟ้า และจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์โปรแกรม MATLAB เพื่อสังเกตผลตอบสนอง สำหรับการออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิม ศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์สำหรับออกแบบตัวควบคุม กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ และเปรียบเทียบสมรรถนะผลการตอบสนองระหว่างตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบด้วยจินเนติกอัลกอริทึมกับวิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดการเปรียบเทียบสมรรถนะตัวควบคุม ในบทที่ 4 เป็นลำดับถัดไป

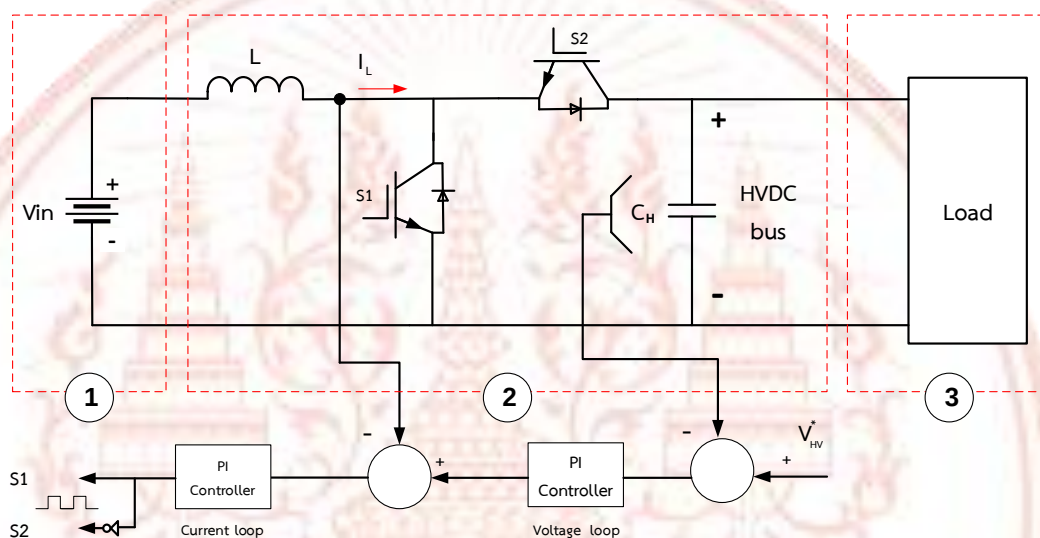


ภาพที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.2 ระบบที่พิจารณา

ระบบที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 3.2 ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ เป็นแหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา ส่วนที่ 2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่และบัสไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งวงจรดังกล่าวสามารถทำงานได้ 2 โหมด ได้แก่ โหมดบูสต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า และโหมดบัคที่ใช้สำหรับช่วงเวลาเบรกยานยนต์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะโหมดบูสต์เท่านั้น ส่วนที่ 3 โหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวในอุดมคติพิกัด 300 kW ซึ่งภายในมีลูปควบคุมแรงดัน (voltage control loop) และลูปควบคุมกระแสไฟฟ้า (current control loop) มาต่อเรียงกัน โดยแต่ละตัวทำงานเป็นตัวควบคุมฟีดแบ็ค (Feedback Controller) ที่ควบคุมสัญญาณเอาต์พุตจากการเปรียบเทียบความแตกต่างของสัญญาณอินพุต โดยจะเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยังตัวควบคุมพีไอของแรงดัน จากนั้นเอาต์พุตจากตัวควบคุมพีไอนี้จะถูกเปรียบเทียบกับกระแสที่วัดได้ในวงจร การเรียงต่อกันของตัวควบคุมทั้งสองลูปนี้ทำให้ตัวควบคุมมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแทนด้วยตัวแปร K_{pi} และ K_{ii} เป็นพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอของลูปในที่เป็นลูปกระแส ในขณะที่ K_{pv} และ K_{iv} เป็น

พารามิเตอร์ของตัวควบคุมลูปแรงดันที่เป็นลูปภายนอก อย่างไรก็ตามพบว่าการกำหนดพารามิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ดีซึ่งแบบสองทิศทาง มีผลต่อสมรรถนะของผลตอบสนองในระบบยานยนต์ไฟฟ้า อีกทั้งยังเป็นพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในการออกแบบตัวควบคุม ดังนั้นการออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของวงจรจึงมีความจำเป็น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3-1) และ (3-2) ตามลำดับ [19] ทั้งนี้จะกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ อื่น ๆ ของระบบแสดงได้ดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.2 ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ระบบไฟฟ้าที่พิจารณา

รายละเอียด	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	P	300kW
ความถี่สวิตช์	f_s	10kHz
แรงดันรีปเปิลขาออก	ΔV_o	0.28125%
กระแสรีปเปิล	ΔI_L	1.4842%

● การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ ($L_{\min}$)

$$L_{\min} = \frac{V_i(V_o - V_i)}{\Delta I_i \cdot f_s \cdot V_o} = 1 \text{ mH} \quad (3-1)$$

- การออกแบบตัวเก็บประจุ (C_H)

$$C_H = \frac{I_o(1-D)}{f_s \cdot \Delta V_o} = 15 \text{ mF} \quad (3-2)$$

จากสมการที่ (3-1) และ (3-2) เมื่อใช้ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้า 300 kW รวมถึงริปเปิลของแรงดันและกระแสจะทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเป็น 1 mH และ 15 mF ตามลำดับ

3.3 การออกแบบตัวควบคุมพีไอ

การออกแบบตัวควบคุมชนิดพีไอในงานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิมสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง ตามทฤษฎีจากการควบคุม 2 ลูป คือ ลูปควบคุมแรงดันและลูปควบคุมกระแส

3.3.1 การออกแบบด้วยวิธีการดั้งเดิม

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการดั้งเดิม โดยใช้สมการของระบบมาตรฐานอันดับ 2 ซึ่งนำผลตอบสนองมาเปรียบเทียบกับ การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการจิ้นเนติกอัลกอริธึม ที่ขึ้นอยู่กับค่าอัตราห้วง ζ และค่าความถี่ธรรมชาติ ω_n จากสมการที่ (3-3)

$$T(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3-3)$$

การออกแบบตัวควบคุมลูปแรงดัน

ลูปควบคุมแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ คือ K_{pv} และ K_{iv} เมื่อเทียบ สัมประสิทธิ์ระหว่างสมการตัวหารของสมการที่ (3-3) สามารถเขียนได้ตั้งสมการที่ (3-4) และ (3-5)

$$K_{pv} = 2\zeta\omega_{nv_H} C_H \quad (3-4)$$

$$K_{iv} = \omega_{nv_H}^2 C_H \quad (3-5)$$

การออกแบบตัวควบคุมลูประแส

ลูประควบคุมกระแสไฟฟ้าจะมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ คือ K_{pi} และ K_{ii} สามารถเขียน ได้ดังสมการที่ (3-6) และ (3-7)

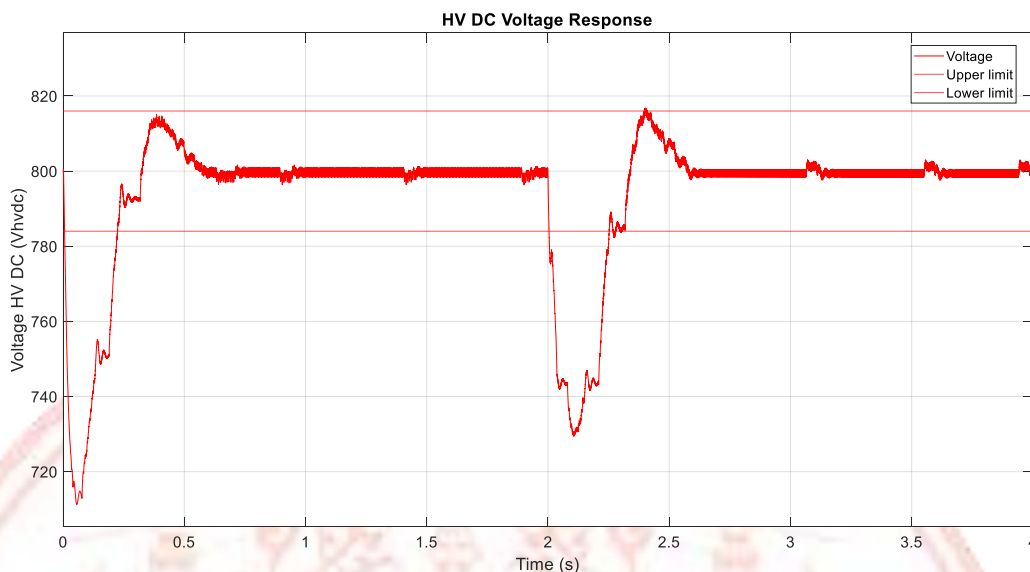
$$K_{pi} = \frac{2\zeta_i \omega_{ni} A_r L}{V_{batt}} \quad (3-6)$$

$$K_{ii} = \frac{\omega_{ni}^2 A_r L}{V_{batt}} \quad (3-7)$$

งานวิจัยนี้กำหนดอัตราส่วนการหน่วง (ζ) และ (ω_n) สำหรับการออกแบบตัวควบคุมพีไอของลูประแสมีค่า $\zeta_i = 0.9$, $\omega_{ni} = 10$ rad/s และลูประแรงดัน $\zeta_v = 0.9$, $\omega_{nv} = 20$ rad/s จะได้ค่า $K_{pv} = 0.54$, $K_{iv} = 4.5 \times 10^{-4}$, $K_{pi} = 6$ และ $K_{ii} = 0.05$

3.3.2 การทดสอบสมรรถนะของการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม

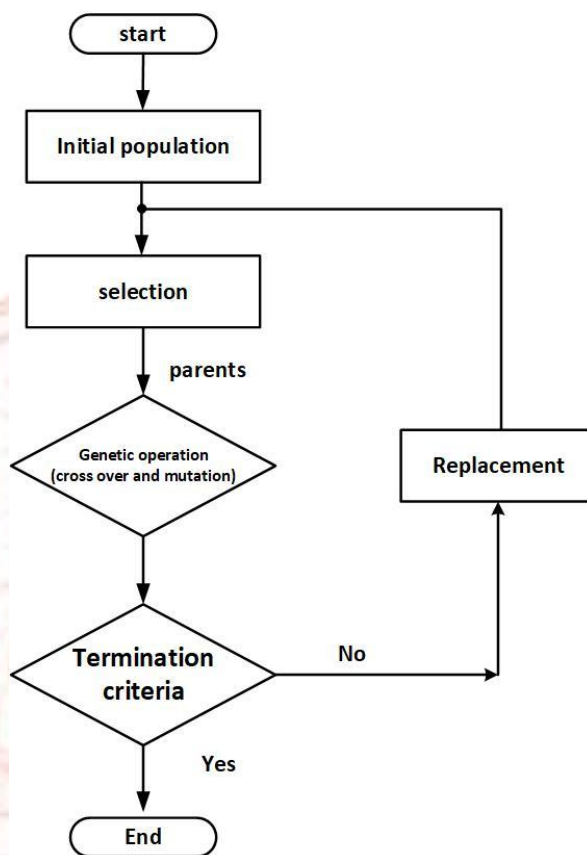
ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ถูกนำมาใช้จำลองสถานการณ์ผลตอบสนองของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาบนโปรแกรม MATLAB โดยพิจารณาเฉพาะโหมตบัสต์ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง โหลดของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาในงานวิจัยนี้จะอาศัยโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวแบบอุดมคติ พิกัด 300 kW ที่เวลา 2 ถึง 4 วินาที มีการเปลี่ยนโหลดจาก 250 kW เพิ่มเป็น 300 kW และแสดงผลตอบสนองแรงดันของระบบที่พิจารณา ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นแรงดันไฟฟ้าของผลตอบสนองที่ได้ ไม่ควรเกินค่าขีดจำกัดบน (Upper Limit) และ ขีดจำกัดล่างไม่เกิน (Lower Limit) $\pm 5\%$ ของแรงดันอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 840 V และ 760 V ตามลำดับ สามารถแสดงผลการตอบสนองแรงดันเอาต์พุตดีซี ได้ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ผลตอบสนอง V_{HVDC} ของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด จาก 250 kW ไปเป็น 300 kW

3.4 การออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึม

สำหรับการออกแบบด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึม โดยเป็นวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์วิธีหนึ่ง ที่มีฟังก์ชันสำเร็จภาพบนโปรแกรม MATLAB โดยอาศัยการสร้างกลุ่มประชากร ทำการประเมินประสิทธิภาพด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) และปรับปรุงวิธีแก้ปัญหาในแต่ละรุ่นผ่านกระบวนการทางพันธุกรรม ที่มาจากการกำหนดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันพุ่งเกิน (Percent Undershoot : P.U.) ค่าช่วงเวลาขาขึ้นของแรงดัน (Rise Time : T_r) และ ค่าเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวของแรงดัน (Settling Time : T_s) เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการทดสอบสมรรถนะของระบบยานยนต์ไฟฟ้าที่พิจารณา โดยมีลำดับขั้นตอนตามแผนภาพแสดงได้ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แผนภูมิแสดงกระบวนการจิ้นเนติกอัลกอริธึม

จากภาพที่ 3.4 มีขั้นตอนการออกแบบการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการจิ้นเนติกอัลกอริธึม ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : เริ่มต้นการทำงานของอัลกอริธึม กำหนดเงื่อนไขและพารามิเตอร์เริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 : สร้างประชากรเริ่มต้นโดยการสุ่มค่าพารามิเตอร์ของระบบ

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณค่า Fitness Function

ขั้นตอนที่ 4 : การคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีที่สุด

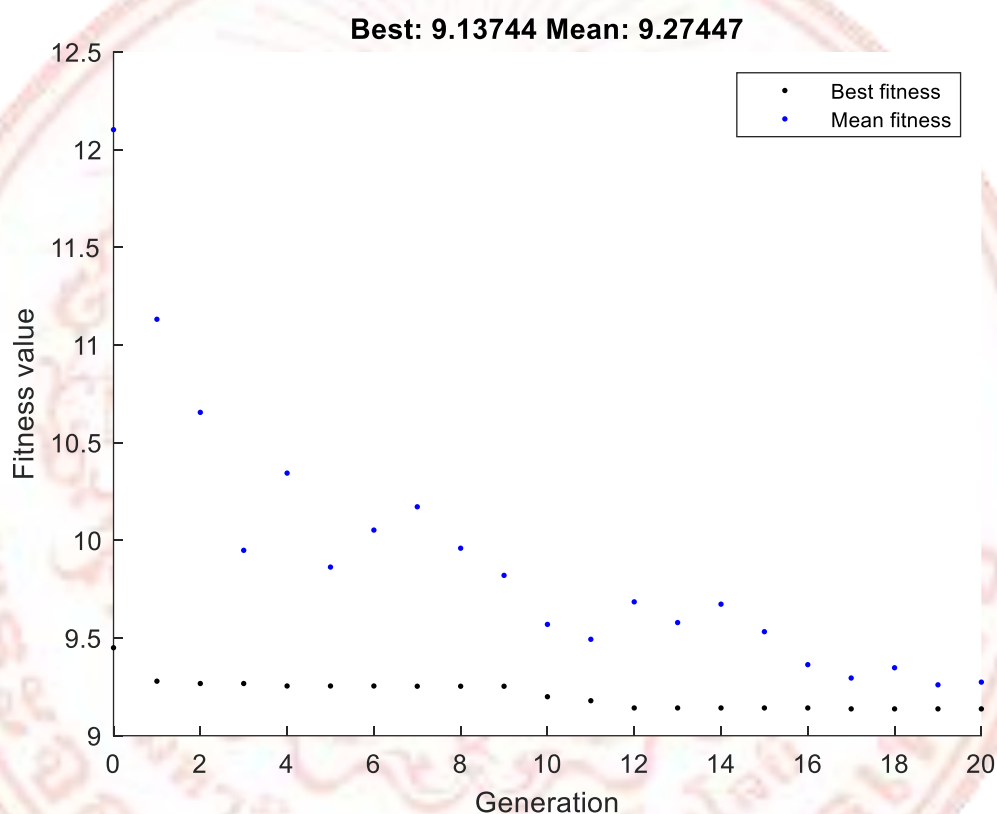
ขั้นตอนที่ 5 : กระบวนการเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสม เพื่อนำไปสร้างรุ่นถัดไป

ขั้นตอนที่ 6 : นำโครโมโซมรุ่นใหม่ที่ได้จาก Crossover และ Mutation กลับเข้าไปในประชากร

ขั้นตอนที่ 7 : ตรวจสอบว่าค่าที่ได้ดีพอหรือยัง โดยพิจารณาจาก จำนวนรอบกำหนด

หมดลง

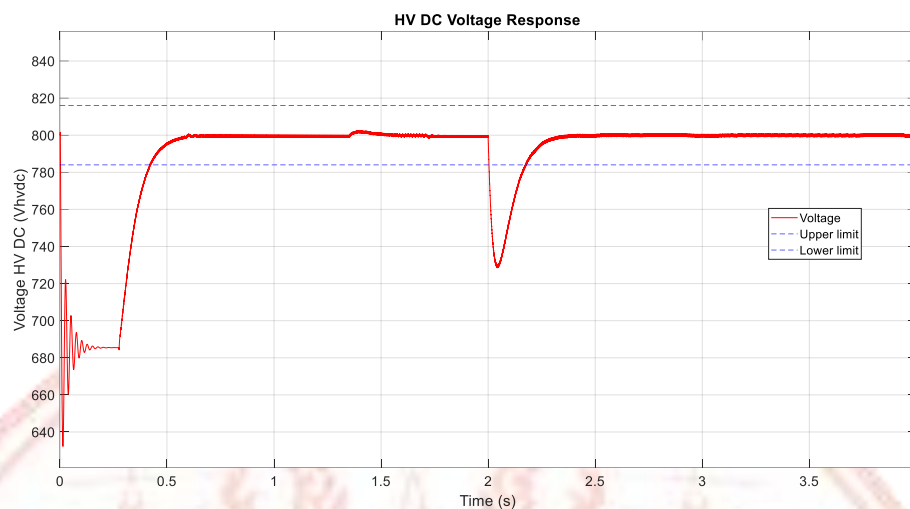
หลังจากขั้นตอนวิธีการค้นหาด้วยจินเนติกอัลกอริธึม เมื่อทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ ตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาได้กราฟการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด ได้ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การค้นหาตัวควบคุมด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึม

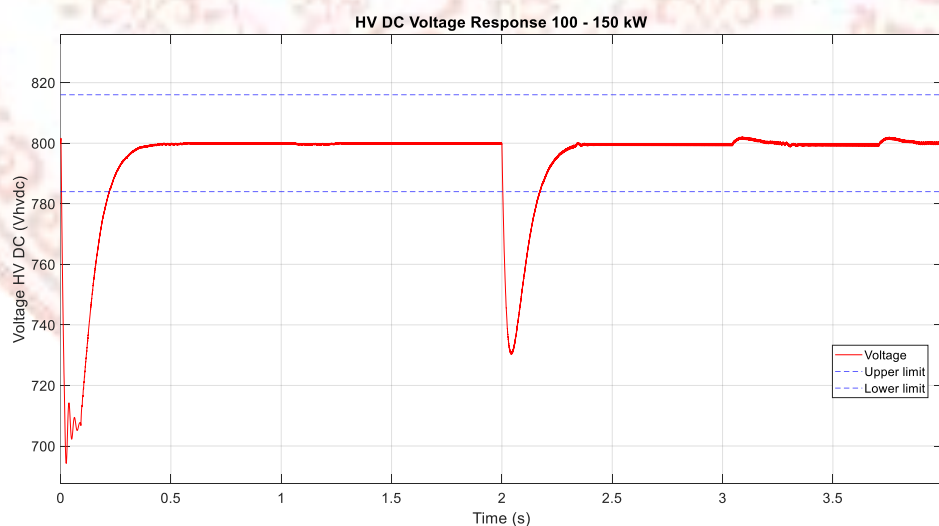
ผลตอบสนองการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึม

จากการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึม ในการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ได้ค่าพารามิเตอร์ $K_{pv} = 0.7725$, $K_{iv} = 1.6950$, $K_{pi} = 8.7013$ และ $K_{ii} = 0.0596$ และตรวจสอบสมรรถนะด้วยการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB เวลา 2 ถึง 4 วินาที มีการเปลี่ยนโหลดจาก 250 kW เป็น 300 kW ซึ่งพบว่าระบบสามารถคงค่าแรงดันบัสไฟฟ้า กระแสตรง 800 V ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ผลตอบสนอง V_{HVDc} ของระบบไฟฟ้าที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่มีการออกแบบด้วย
จินเนติกอัลกอริทึม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด จาก 250 kW ไปเป็น 300 kW

อย่างไรก็ตามผลการจำลองสถานการณ์ในภาพที่ 3.6 พบว่าเป็นจุดการทำงานเดียวกับ
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการออกแบบด้วยจินเนติกอัลกอริทึม เพื่อให้เห็นถึงสมรรถนะที่ดีขึ้นใน
ทุกสภาวะการทำงานการจำลองสถานการณ์เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 100 kW เป็น 150
kW แสดงได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ผลตอบสนอง V_{HVDc} ของระบบไฟฟ้าที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่มีการออกแบบด้วย
จินเนติกอัลกอริทึม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด จาก 100 kW ไปเป็น 150 kW

ผลการจำลองสถานการณ์ในภาพที่ 3.7 แสดงให้เห็นได้ว่า แม้ไม่ได้เป็นจุดการทำงานที่นำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุมระบบก็ยังคงควบคุมแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงได้ตามที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้เห็นถึงสมรรถนะตัวควบคุมฟิโจากการออกแบบทั้ง 2 วิธี การเปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบที่สภาวะต่าง ๆ จะได้นำเสนอรายละเอียดไว้ในบทถัดไป

3.5 สรุป

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม และวิธีการจินเนติกอัลกอริทึม นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบพารามิเตอร์ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า ผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมฟิโที่ได้จากการออกแบบทั้ง 2 วิธีสามารถควบคุมแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าเป็นไปตามที่กำหนดได้เป็นอย่างดี



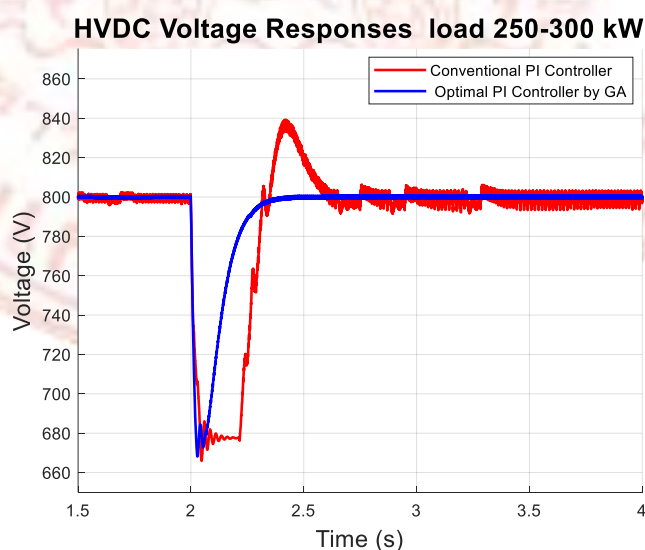
บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 บทนำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค้นคว้าองค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางด้วยจินเนติกอัลกอริทึม เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม เนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาเพื่อทดสอบสมรรถนะตัวควบคุมทั้ง 2 วิธี ด้วยการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB โดยผลการวิจัยมีรายละเอียดของการเปรียบเทียบผลตอบสนองดังต่อไปนี้

4.2 ผลการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง

ค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอที่ได้จากการออกแบบตัวควบคุมพีไอทั้ง 2 วิธี ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางถูกนำไปจำลองสถานการณ์เพื่อดูสมรรถนะบนโปรแกรม MATLAB โดยจำลองสถานการณ์ที่พิกัดโหลดที่มากที่สุดของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา 300 kW กำหนดให้เวลา 0 ถึง 2 วินาที มีโหลด 250 kW และมีการเพิ่มโหลดเป็น 300 kW ตั้งแต่ 2 วินาที เป็นต้นไป ผลตอบสนองของระบบไฟฟ้าที่พิจารณา สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบตัวควบคุมพีไอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 250 kW เป็น 300 kW

จากการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB พบว่าผลตอบสนองของตัวควบคุมพีไอที่ใช้เงินเนติกอัลกอริทึมในการออกแบบ ระบบมีผลตอบสนองและสมรรถนะที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับผลตอบสนองจากตัวควบคุมพีไอที่มีการออกแบบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ในกระบวนการออกแบบด้วยเงินเนติกอัลกอริทึมพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์ฟุงเกิน (P.U.) ค่าช่วงเวลาขาขึ้น (T_r) และค่าเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (T_s) สามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดัง ตารางที่ 4.1

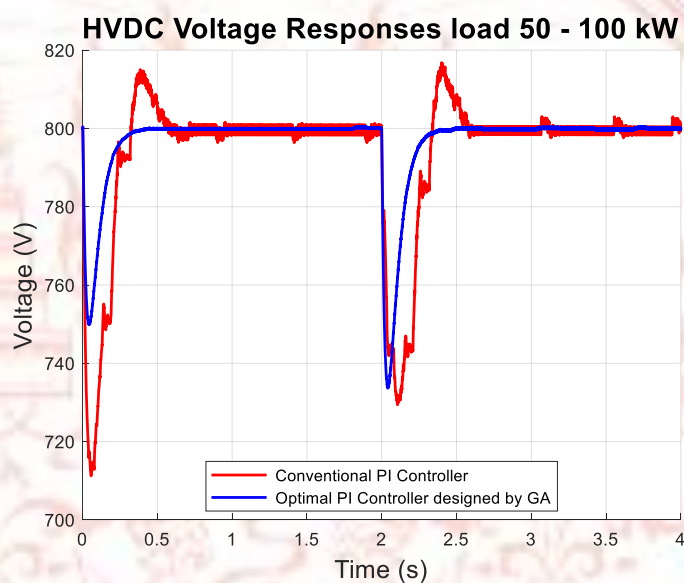
ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบช่วงเวลาขาขึ้น เวลาเข้าที่ และส่วนที่ฟุงเกินของแรงดันทั้งสองวิธี

พารามิเตอร์ของตัวควบคุม	วิธีการออกแบบ	
	วิธีการดั้งเดิม	วิธีการเงินเนติกอัลกอริทึม
K_{pv}	0.54	0.7725
K_{pi}	6	8.7013
K_{iv}	00045	1.6950
K_{ii}	0.05	0.0596
ค่าเปอร์เซ็นต์	11.17 %	9.2807 %
ค่าช่วงเวลาขาขึ้น	0.165 s	0.1705 s
ค่าเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว	0.1718 s	0.1344 s

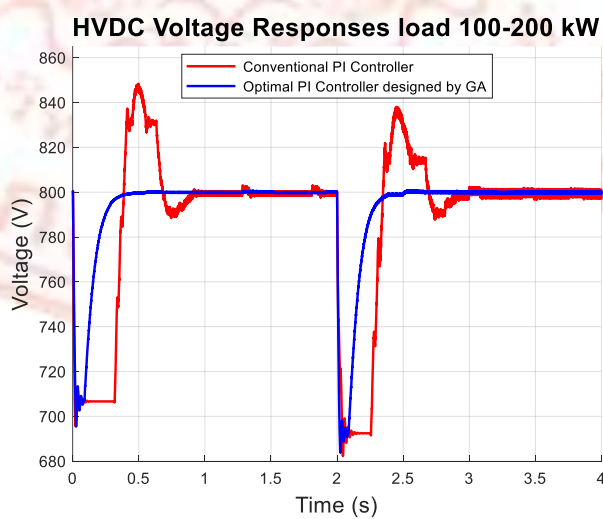
เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการออกแบบตัวควบคุมเหมาะสมที่สุดด้วยเงินเนติกอัลกอริทึมมีผลตอบสนองดีกว่า แม้ไม่ได้เป็นจุดการทำงานที่นำไปใช้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จึงได้มีการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อพิจารณาผลตอบสนองและสมรรถนะของตัวควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดทุก ๆ 2 วินาที โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้

- กรณีที่ 1 ดำเนินการเมื่อโหลดที่ต่ำสุดโดยมีการเปลี่ยนแปลง 2 ช่วง คือ โหลด 0 ถึง 50 kW ที่เวลา 0 ถึง 2 วินาที และมีการเปลี่ยนแปลงโหลด 50 kW ไป 100 kW ใช้เวลาตั้งแต่ 2 วินาที ถึง 4 วินาที โดยมีการควบคุมค่าแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรง 800 V โดยผลตอบสนองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.2

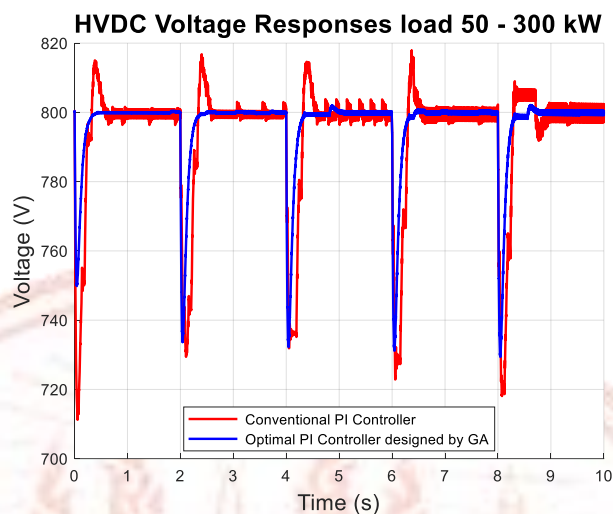
- กรณีที่ 2 ดำเนินการเปลี่ยนโหลด 2 ช่วง คือ โหลด 0 ถึง 100 kW ที่เวลา 0 ถึง 2 วินาที ขณะที่โหลด 100 kW ถึง 200 kW ใช้เวลาดังแต่ 2 วินาที ถึง 4 วินาที โดยมีการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 800 V ผลตอบสนองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.3
- กรณีที่ 3 ดำเนินการกำหนดโหลดตั้งแต่เริ่มต้น คือ 50 ถึง 300 kW ที่เวลา 0 ถึง 10 วินาที โดยทำการปรับเพิ่มโหลดครั้งละ 50 kW โดยมีการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 800 V ผลตอบสนองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.2 ผลการจำลองสถานการณ์กรณีที่ 1



ภาพที่ 4.3 ผลการจำลองสถานการณ์กรณีที่ 2

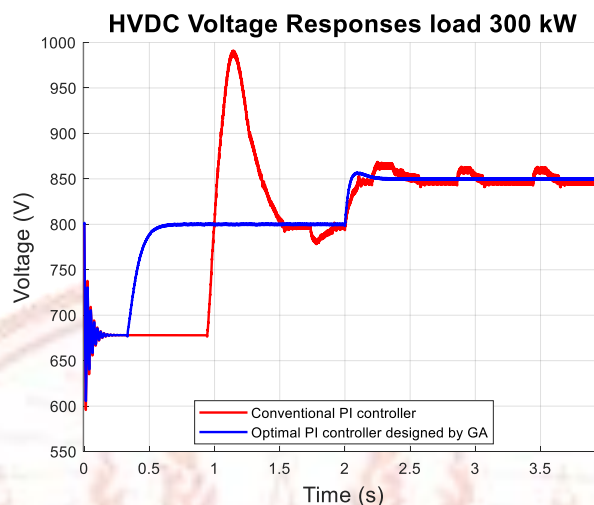


ภาพที่ 4.4 ผลการจำลองสถานการณ์กรณี 3

ผลการจำลองสถานการณ์ภาพที่ 4.2 ถึง 4.4 พบว่าสมรรถนะของตัวควบคุมพีไอที่ออกแบบโดยวิธีการจินเนติกอัลกอริทึมมีผลตอบสนองที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม อีกทั้งยังสามารถใช้ตัวควบคุมดังกล่าวแม้เป็นกรณีที่ไม่ได้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ รวมถึงเป็นการยืนยันสมรรถนะที่สามารถคงค่าแรงดันบัลไฟฟฟ้ากระแสตรง 800 V ได้ตรงตามสมมติฐานที่วางไว้

4.3 ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบเมื่อค่าแรงดันบัลไฟฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลง

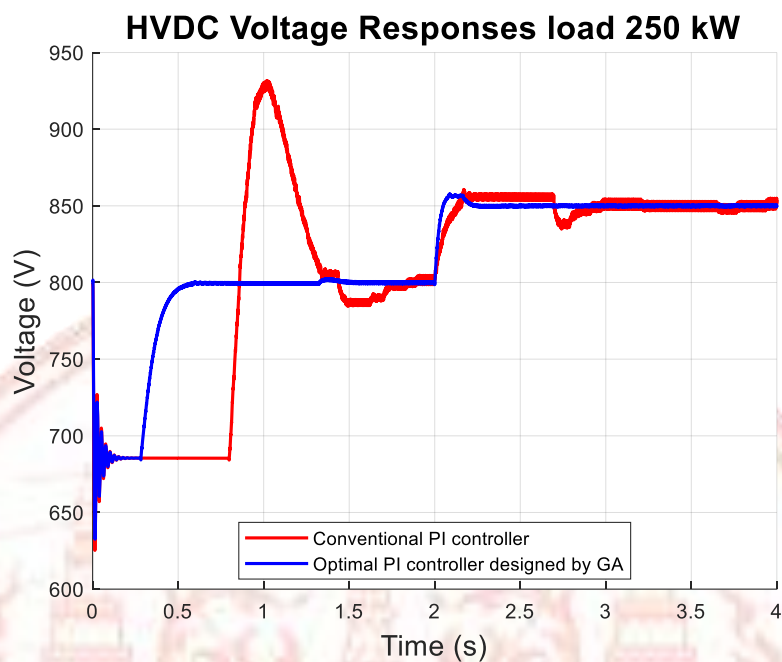
ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอที่ได้จากการออกแบบทั้ง 2 วิธี จะถูกนำไปใช้สำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง เพื่อจำลองสถานการณ์ประเมินสมรรถนะตัวควบคุมบนโปรแกรม MATLAB โดยกำหนดโหลดสูงสุด 300 kW ค่าแรงดันอ้างอิงมีการเปลี่ยนแปลง จาก 800 ไป 850 V ผลตอบสนองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.5



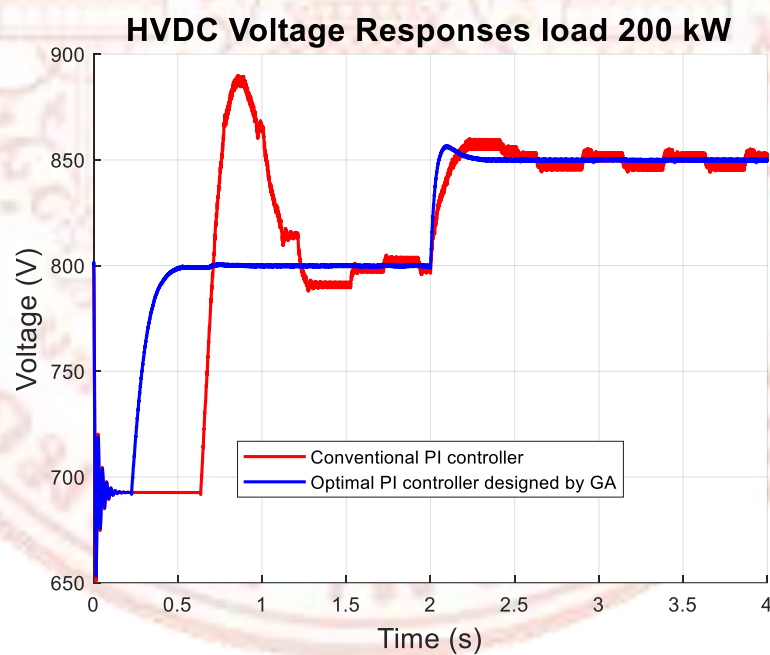
ภาพที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบเมื่อค่าแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลง

จากภาพที่ 4.5 เมื่อทำการจำลองสถานการณ์จะเห็นได้ว่าออกแบบตัวควบคุมเหมาะสมที่สุดด้วยจินเนติกอัลกอริทึมมีผลตอบสนองดีกว่า แม้ไม่ได้เป็นจุดการทำงานที่นำไปใช้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และเมื่อแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ 2 วินาที โดยใช้โหลดแบบคงที่ สามารถแบ่งการจำลองสถานการณ์เป็น 4 กรณีดังนี้

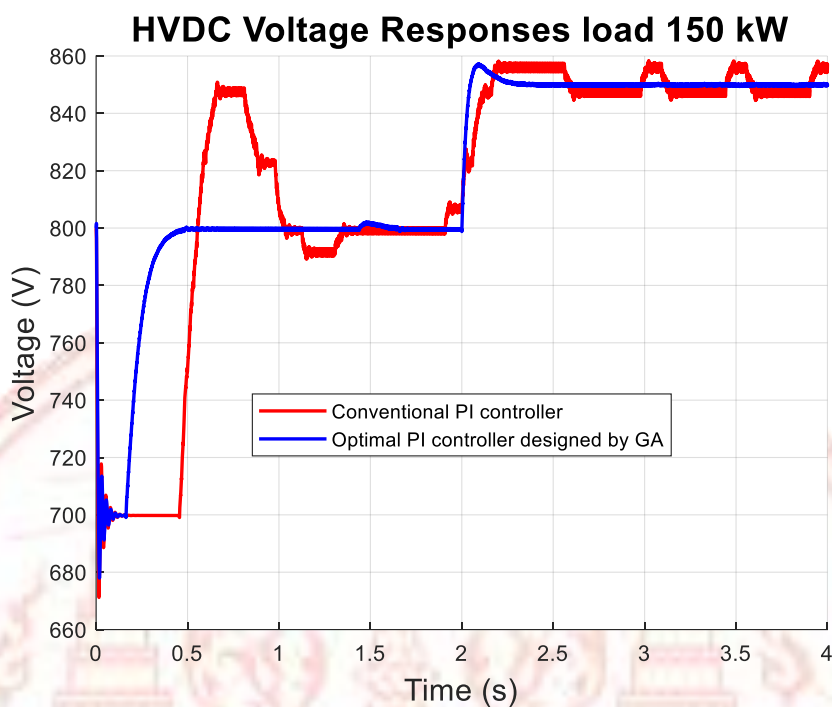
- กรณีที่ 1 ดำเนินการเปลี่ยนแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรง 2 ช่วง คือ แรงดัน 662 ถึง 800 V ที่เวลา 0 ถึง 2 วินาที ขณะที่แรงดัน 800 ถึง 850 V ใช้เวลาตั้งแต่ 2 วินาที ถึง 4 วินาที โดยใช้โหลด 250 kW ผลตอบสนองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.6
- กรณีที่ 2 ดำเนินการเปลี่ยนแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรง 2 ช่วง คือ แรงดัน 662 ถึง 800 V ที่เวลา 0 ถึง 2 วินาที ขณะที่แรงดัน 800 ถึง 850 V ใช้เวลาตั้งแต่ 2 วินาที ถึง 4 วินาที โดยใช้โหลด 200 kW ผลตอบสนองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.7
- กรณีที่ 3 ดำเนินการเปลี่ยนแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรง 2 ช่วง คือ แรงดัน 662 ถึง 800 V ที่เวลา 0 ถึง 2 วินาที ขณะที่แรงดัน 800 ถึง 850 V ใช้เวลาตั้งแต่ 2 วินาที ถึง 4 วินาที โดยใช้โหลด 150 kW โดยผลตอบสนองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.8
- กรณีที่ 4 ดำเนินการเปลี่ยนแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรง 2 ช่วง คือ แรงดัน 662 ถึง 800 V ที่เวลา 0 ถึง 2 วินาที ขณะที่แรงดัน 800 ถึง 850 V ใช้เวลาตั้งแต่ 2 วินาที ถึง 4 วินาที โดยใช้โหลด 100 kW ผลตอบสนองสามารถแสดงดังภาพที่ 4.9



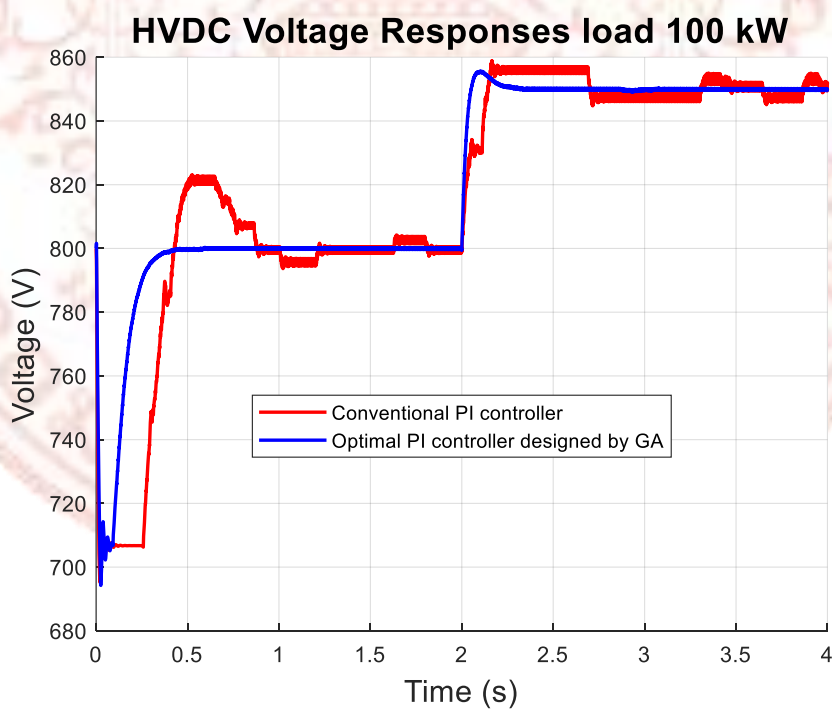
ภาพที่ 4.6 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลง กรณีที่ 1



ภาพที่ 4.7 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลง กรณีที่ 2



ภาพที่ 4.8 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลง กรณีที่ 3



ภาพที่ 4.9 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลง กรณีที่ 4

ผลการจำลองสถานการณ์ภาพที่ 4.6 ถึง 4.9 พบว่าเมื่อค่าแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรงของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลง ตัวควบคุมพีไอที่ออกแบบโดยวิธีการจินเนติกอัลกอริทึมให้สามารถผลตอบสนองที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับการออกแบบตัวควบคุมด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม อีกทั้งยังสามารถยืนยันของตัวควบคุมว่าสามารถนำไปใช้ควบคุมระบบสมรรถนะได้แม้ไม่ได้อยู่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

4.4 สรุป

เนื้อหาบทนี้นำเสนอเกี่ยวกับการเปรียบเทียบสมรรถนะพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง ที่ออกแบบด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริทึมและวิธีการดั้งเดิม เมื่อพิจารณาผลตอบสนองจากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB พบว่า ตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริทึมมีสมรรถนะที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบด้วยวิธีการดั้งเดิม นอกจากนี้ยังมีผลการตอบสนองกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันบัลไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งถือเป็นการยืนยันว่าตัวควบคุมที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริทึม มีผลตอบสนองและมีสมรรถนะที่กว่าเมื่อนำไปใช้กับระบบไฟฟ้าที่พิจารณา สามารถควบคุมระบบไฟฟ้าที่พิจารณาได้ทุกสภาวะ แม้ไม่ได้เป็นจุดที่นำไปใช้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการออกแบบด้วยจินเนติกอัลกอริทึม

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้าที่มีโหลด 300 kW โดยมีการศึกษางานวิจัยและในอดีตที่มีความเกี่ยวข้อง คือ สถาปัตยกรรมและวงจรแปลงผันกำลังในยานยนต์ไฟฟ้า ตัวควบคุมของวงจรแปลงผันกำลัง และการออกแบบตัวควบคุม รวมถึงการประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์สำหรับการแก้ไขปัญหาเชิงวิศวกรรมในด้านต่าง ๆ งานวิจัยดังกล่าวนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบตัวควบคุมพีไอ และเป็นการศึกษาค้นคว้าองค์ความรู้ที่นำมาเป็นประโยชน์กับงานวิจัยนี้ รายละเอียดของงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องนำเสนอไว้ในบทที่ 2

ระบบไฟฟ้าที่พิจารณาในงานวิจัยนี้เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางมักใช้ในระบบยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ไปใช้ในส่วนต่างๆ ของตัวรถ เช่น ระบบควบคุมตัวรถ ระบบพวงมาลัยไฟฟ้า ระบบความบันเทิง หรือ ระบบปรับอากาศ ในทางกลับกันวงจรดังกล่าวยังสามารถนำมาใช้ชาร์จพลังงานกลับสู่แบตเตอรี่ได้เช่นกัน วงจรแปลงผันดังกล่าวมีโหมดการทำงานอยู่ 2 โหมด ได้แก่ โหมดบูสต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า และโหมดบัคที่ใช้สำหรับช่วงเวลาเบรกยานยนต์ไฟฟ้าที่ส่งพลังงานกลับไปยังแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้พิจารณาโหมดขับเคลื่อน ซึ่งวงจรแปลงผันจะมีพฤติกรรมเป็นการทำงานระดับแรงดัน หรือ “โหมดบูสต์” ด้วยเหตุนี้การควบคุมวงจรแปลงผันดังกล่าวจึงมีความจำเป็น งานวิจัยนี้นำเสนอตัวควบคุมพีไอสำหรับควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง เพื่อควบคุมแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าคงที่ อย่างไรก็ตามการออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยวิธีการดั้งเดิมอาจทำให้สมรรถนะของระบบไม่ดีเท่าที่ควร จึงได้มีการประยุกต์ใช้จินเนติกอัลกอริทึมในช่วยในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมพีไอที่ได้จากการออกด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริทึม และวิธีการดั้งเดิม ด้วยการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB โดยมีการเพิ่มโหลดทุก ๆ 2 วินาที ในสถานะที่โหลดทำงานแตกต่างกัน จากกรณีที่มีโหลดต่ำไปยังโหลดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด และมีระดับแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรง 800 V จะพบว่าตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธีการจิน

เนติกอัลกอริธึม มีผลตอบสนองที่ดีกว่าในทุกสภาวะการทำงานนั้นไม่ได้อยู่ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการออกแบบแต่ยังสามารถควบคุมสมรรถนะของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาได้ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ตามรายละเอียดที่นำเสนอไว้ในบทที่ 3

การออกแบบตัวควบคุมฟีดแบ็กของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทางสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าของงานวิจัยนี้ ได้มีการจำลองสถานการณ์เพื่อสังเกตผลตอบสนองการควบคุม โดยเปลี่ยนแรงดันบัสไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงจาก 800 เป็น 850 V ซึ่งตัวควบคุมที่ใช้วิธีจินเนติกอัลกอริธึมให้ผลตอบสนองที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับตัวควบคุมที่ออกแบบด้วยวิธีดั้งเดิม ระบบยังคงสามารถควบคุมสมรรถนะของระบบไฟฟ้าได้ตามที่กำหนด โดยมีผลตอบสนองการจำลองสถานการณ์แบ่งตามกรณีนำเสนอไว้ในบทที่ 4 แนวทางการออกแบบตัวที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถนำวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์อื่นมาใช้แทนจินเนติกอัลกอริธึมได้ เพียงอาศัยหลักการและขั้นตอนที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งถือเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบตัวควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

5.2.1 งานวิจัยในอนาคตควรมีการนำตัวควบคุมไปใช้ชุดทดสอบจริงสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อยืนยันผลตอบสนองจากระบบจริง

5.2.2 การออกแบบตัวควบคุมฟีดแบ็กควรพัฒนาให้สามารถรองรับช่วงแรงดันที่กว้างขึ้น โดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์อื่น ๆ ในอนาคต เช่น การผสมผสานระหว่างวิธีการจินเนติกอัลกอริธึมและเทคนิคการค้นหาอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงวิวัฒนาการ เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] I. Veza, M. Z. Asy'ari, M. Idris, V. Epin, I. M. R. Fattah, and M. Spraggon, "Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 82, pp. 459–467, 2023.
- [2] รุ่งวิชา ไชยอต (R. Chaiyot), "Bi-Directional DC-DC Boost Converter for Electric Bike Applications in Regenerative Mode," *Science and Technology Journal of NKRAFA*, vol. 18, no. 1, pp. 50–63, 2022.
- [3] R. Das and M. A. U. Chowdhury, "Mixed Parallel Operation for Boost Converter Design in Electric Vehicle Applications," *Proceedings of the International Conference on Electrical, Electronics and Information Communication Technology (iCEEICT)*, 2016.
- [4] วิชาญะ ฉายินทุ, "การออกแบบตัวควบคุมฟิโอะของวงจรเพิ่มลดแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าบนเครื่องบิน โดยใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์," คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา, ก.ค. 2565.
- [5] EV Database, "Electric vehicle database," [Online]. Available: <https://ev-database.org>. [Accessed: May 16, 2024].
- [6] N. Murali, S. Ushakumari, M. V. P, and A. T. Varghese, "Sizing and Performance Analysis of an Electric Motor in an E-rickshaw," *2020 IEEE International Conference on Power Systems Technology (POWERCON)*, Bangalore, India, 2020, pp. 1-6.
- [7] M. Anwar, A. Bavili, R. Badawi, B. Conlon, K. Sevel, M. Wang, and A. Ludetke, "High Voltage DC Bus Architecture for Ultium Battery Electric Vehicles," 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Detroit, MI, USA, 2022, pp. 1-9.

- [8] M. L. Azad, P. Singh, A. S. Pandey, and A. Kumar, "Recent trends and challenges in EV charging systems – A review in Indian perspective," in *2023 10th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, 2023, pp. 1115–1121.
- [9] C. Wang, P. Zheng, and J. Bauman, "A review of electric vehicle auxiliary power modules: Challenges, topologies, and future trends," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 38, no. 9, pp. 11233–11244, Sept. 2023.
- [10] R. Kannan, K. C., S. G. A., P. K., and N. M. Nor, "Design and simulation of a bidirectional DC-DC converter with PI controller for regenerative braking in electric vehicles," in *2023 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, 2023, pp. 64–69.
- [11] R. Das, H. Rashid, and I. U. Ahmed, "A Comparative Analysis of PI and PID Controlled Bidirectional DC-DC Converter with Conventional Bidirectional DC-DC Converter," in *2017 3rd International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, Khulna, Bangladesh, Dec. 7–9, 2017, pp. 1–5.
- [12] R. O. Rabia, B. H. Mouna, S. Lassad, F. A. Aymen, and A. Akila, "Cascade control loop of DC-DC boost converter using PI controller," in *Proceedings of the National Engineering School of Gabes*, Gabes, Tunisia, 2024.
- [13] N. Dias and A. Naik, "Electric Vehicle Drive with Half Bridge Configuration based Bidirectional DC-DC Converter," in *Proceedings of the International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)*, Karnataka, India, Dec. 2022, pp. 1–7, 2022.
- [14] E. Ekici, T. Koroglu, and D. Çelik, "An Isolated High-Power Bidirectional Five-Level NPC Dual Active Bridge DC-DC Converter with Anti-Windup PI Controller for Electric Vehicle-to-Home Application," in *2023 International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, 2023.

- [15] S. Halwani, H. Tawfik, H. Dahrouj, and A. Elnady, "Comparative Analysis of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for Optimal Power Flow on IEEE 30-Bus System," in *2024 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, Sharjah, United Arab Emirates, 2024.
- [16] L. Li, Y. Wang, H. Hu, H. Ning, and X. Li, "Design of Energy Internet Power Information Management System Based on Genetic Algorithm," in *2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Autonomous Robot Systems (AIARS)*, 2024.
- [17] A. Yadav, "Optimization of PI Controller for Coupled Tank Systems Using Genetic Algorithm," in *2024 International Conference on E-mobility, Power Control and Smart Systems (ICEmps)*, Ranchi, India, 2024.
- [18] วิษณะ ฉายินทุ, "การออกแบบตัวควบคุมพีไอแบบเหมาะสมของวงจรแปลงผันกำลังลดทอนแรงดันไฟฟ้าแบบซิงโครนัสที่ขนานกัน ด้วยอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม," *Journal of Engineering, RMUTT (JERMUTT)*, vol. 20, , pp. 61–70, Jan.–Jun. 2022.
- [19] M. Green, "Design Calculations for Buck-Boost Converters," Application Report, SLVA535A, Texas Instruments, Aug. 2012, revised Sep. 2012.

ภาคผนวก



ผนวก ก

- การกำหนดค่าพารามิเตอร์ค้นหาคำตอบเหมาะสมที่สุดด้วยจินเนติกอัลกอริธึม



ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบตัวควบคุมพีไอด้วยจินเนติกอัลกอริทึมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทาง

ตารางที่ ก.1 การสุ่มค่าสายพันธุ์

ครั้งที่	สายพันธุ์	จำนวนรุ่น	ประชากร	ค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่ดีที่สุด
1.	20	20	20	9.4047
2.	30	20	20	9.2944
3.	40	20	20	9.4047

การทดสอบพารามิเตอร์ของจินเนติกอัลกอริทึมข้างต้น ดำเนินการโดยการสุ่มค่าเพื่อเลือกคำตอบที่ดีที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ 30 สายพันธุ์ ซึ่งได้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายเป็นค่าสายพันธุ์ที่ดีที่สุด เท่ากับ 9.2944 เพื่อนำไปใช้ในการค้นหาตัวควบคุมพีไอ ในลำดับถัดไป เป็นการสุ่มค่าจำนวนรุ่น แสดงดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 การสุ่มค่าจำนวนรุ่น

ครั้งที่	สายพันธุ์	จำนวนรุ่น	ประชากร	ค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่ดีที่สุด
1.	30	10	20	9.3022
2.	30	20	20	9.2507
3.	30	30	20	9.7881

ผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ จำนวนรุ่น 20 เนื่องจากทำให้ฟังก์ชันเป้าหมายที่ดีที่สุดค่าเท่ากับ 9.2507 ในลำดับถัดไปเป็นการสุ่มค่าประชากร แสดงได้ดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 การสุ่มค่าประชากร

ครั้งที่	สายพันธุ์	จำนวนรุ่น	ประชากร	ค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่ดีที่สุด
1.	30	20	20	9.3685
2.	30	20	30	9.1374
3.	30	20	40	9.4501

การทดสอบสุ่มค่าของการค้นหาด้วยจินเนติกอัลกอริทึมจากตารางที่ ก.3 ผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ จำนวนรุ่นเท่ากับ 20 เนื่องจากทำให้เป็นค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 9.1374

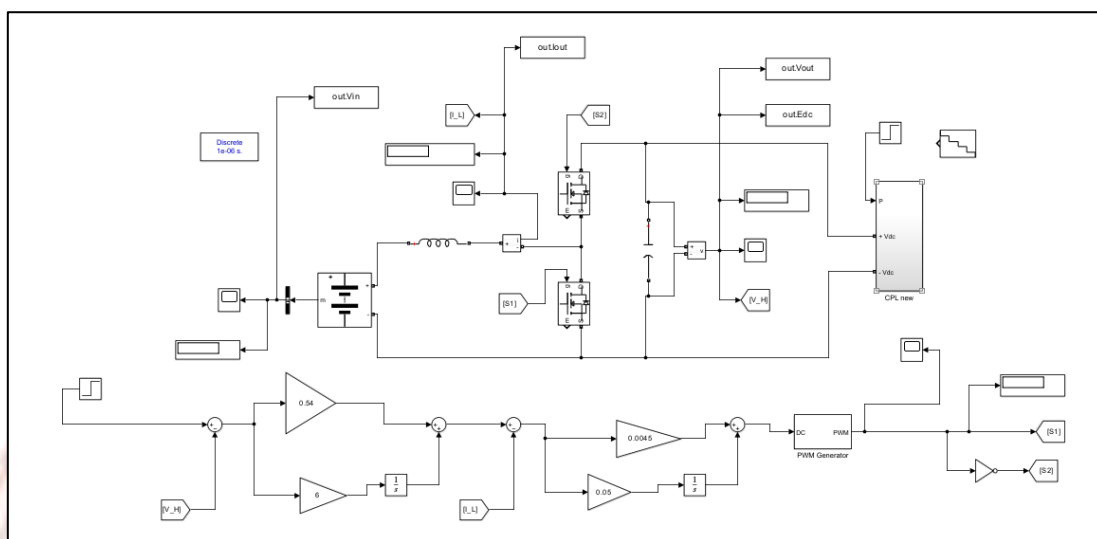
จากการทดสอบสุ่มค่าในตารางที่ ก.1 ถึง ก.3 สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ของจินเนติกอัลกอริทึมได้ดังนี้

- ค่าสายพันธุ์ เท่ากับ 30
- จำนวนรุ่น เท่ากับ 20
- ประชากร เท่ากับ 30

ผนวก ข

- รายละเอียดบล็อกการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB





ภาพที่ ข.1 รายละเอียดโปรแกรมตัวควบคุมพีไอ สำหรับจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB



1. `clc; clear all;`
2. `global Kpv Kpi Kiv Kii`
3. `FitnessFunction = @BLDFitnessW;`
4. `nvars = 4; % Number of variables`
5. `XL = [0.27 3 2.25e-4 0.025]; % Lower bound`
6. `XU = [0.81 9 6.75 0.075]; % Upper bound`
7. `options = gaoptimset;`
8. `X0 = [0.54 6 4.5e-4 0.05]; % Start point (row vector)`
9. `options = gaoptimset(options, 'InitialPopulation', X0, ...`
10. `'Generations', 20, 'Display', 'iter', ...`
11. `'StallTimeLimit', inf, 'StallGenLimit', 30, ...`
12. `'TolFun', 1e-6, 'PopulationSize', 30, ...`
13. `'PlotFcns', {@gaplotbestf});`
14. `[x, Fval] = ga(FitnessFunction, nvars, [], [], [], [], XL, XU, [], options);`



```

function y = BLDFitnessW(x)

1  % Check if the input x has at least 4 elements

2  if length(x) < 4

3      error('Input vector x must have at least 4 elements.');
```



```

4  end

5  % Assign global variables

6  global Kpv Kpi Kiv Kii

7  Kpv = x(1);

8  Kpi = x(2);

9  Kiv = x(3);

10 Kii = x(4);

11 % Simulate the model from 0 to 4 seconds

12 sim('closeloop_round4.slx', [0 4]);

13 % Extract voltage and current data

14 VhvdC = ans.EdC; % HVDC Voltage data

15 Vss = 800;      % Steady-state voltage

16 % Define time vector

17 t = 0:1e-6:4;   % Full time range

18 start_index = find(t >= 1.5, 1); % Start at 1.5s

19 end_index = find(t <= 4, 1, 'last'); % End at 4s

20 %% Calculate Percent Undershoot (PU)

```

```

21 V_1_5_4 = Vhvdц(start_index:end_index);

22 Vmin = min(V_1_5_4);

23 PU = (Vss - Vmin) / Vss * 100; % Percent undershoot

24 %% Calculate Settling Time (Ts)

25 ess = 2; % Error margin of ±2%

26 V_upper = Vss + (Vss * ess / 100);

27 V_lower = Vss - (Vss * ess / 100);

28 for i = find(Vhvdц(start_index:end_index) == Vmin, 1) + start_index:end_index
29     if Vhvdц(i) >= V_lower && Vhvdц(i) <= V_upper
30         if all(Vhvdц(i:end_index) >= V_lower & Vhvdц(i:end_index) <= V_upper)
31             t_settle = t(i);
32             break;
33         end
34     end
35 end

36 Ts = t_settle - t(find(Vhvdц == Vmin, 1)); % Settling Time (Ts)

37 %% Rise Time (Tr)

38 % Find Rise Time indices and calculate Rise Time

39 Vmin_index = find(Vhvdц(start_index:end_index) == Vmin, 1) + start_index - 1;

40 Tvmin = t(Vmin_index);

41 xmin = Vmin_index;

```

```

42 VI = Vhvdц(start_index:xmin);

43 W = 0;

44 % Loop through data to find 10% and 90% points for Rise Time

45 for i = 1:(xmin - start_index + 1)

46     Vi = VI(i);

47     if Vi <= Vhvdц(start_index) - (Vhvdц(start_index) - Vmin) * 0.1 && W == 0

48         T1 = t(start_index + i - 1);

49         W = W + 1;

50     end

51     if Vi <= Vhvdц(start_index) - (Vhvdц(start_index) - Vmin) * 0.9 && W == 1

52         Tr = t(start_index + i - 1) - T1; % Rise Time (Tr)

53         break;

54     end

55 end

56 %% Find Time from Vmin to Vomin

57 % Extract the HVDC voltage data within the specified time range

58 V_1_5_4 = Vhvdц(start_index:end_index);

59 % Find the index of Vmin within the range

60 Vmin = min(V_1_5_4);

61 Vmin_index = find(Vhvdц == Vmin, 1, 'first');

62 % Find the index of Vomin (next minimum voltage after Vmin)

```

```

63 Vomin = min(Vhvdc(Vmin_index+1:end_index)); % Find minimum after Vmin

64 Vomin_index = find(Vhvdc(Vmin_index+1:end_index) == Vomin, 1, 'first') +
Vmin_index;

65 % Calculate the time difference between Vmin and Vomin

66 if ~isempty(Vmin_index) && ~isempty(Vomin_index)

67     time_difference = t(Vomin_index) - t(Vmin_index);

68     disp(['The time from Vmin to Vomin is: ', num2str(time_difference), ' seconds']);

69     disp(['Vmin occurs at: ', num2str(t(Vmin_index)), ' seconds']);

70     disp(['Vomin occurs at: ', num2str(t(Vomin_index)), ' seconds']);

71 else

72     disp('Vmin or Vomin was not found within the specified range. ');

73 end

74 %% Calculate Rise Time from Vmin to 90% of (Vss - Vmin) + Vmin

75 % Define the target voltage level for rise time calculation

76 target_voltage = ((Vss - Vmin) * 0.9) + Vmin;

77 % Find the index where the voltage reaches the target level after Vmin

78 target_index = find(Vhvdc(Vmin_index:end_index) >= target_voltage, 1) +
Vmin_index - 1;

79 % Calculate the rise time from Vmin to the target level

80 if ~isempty(target_index)

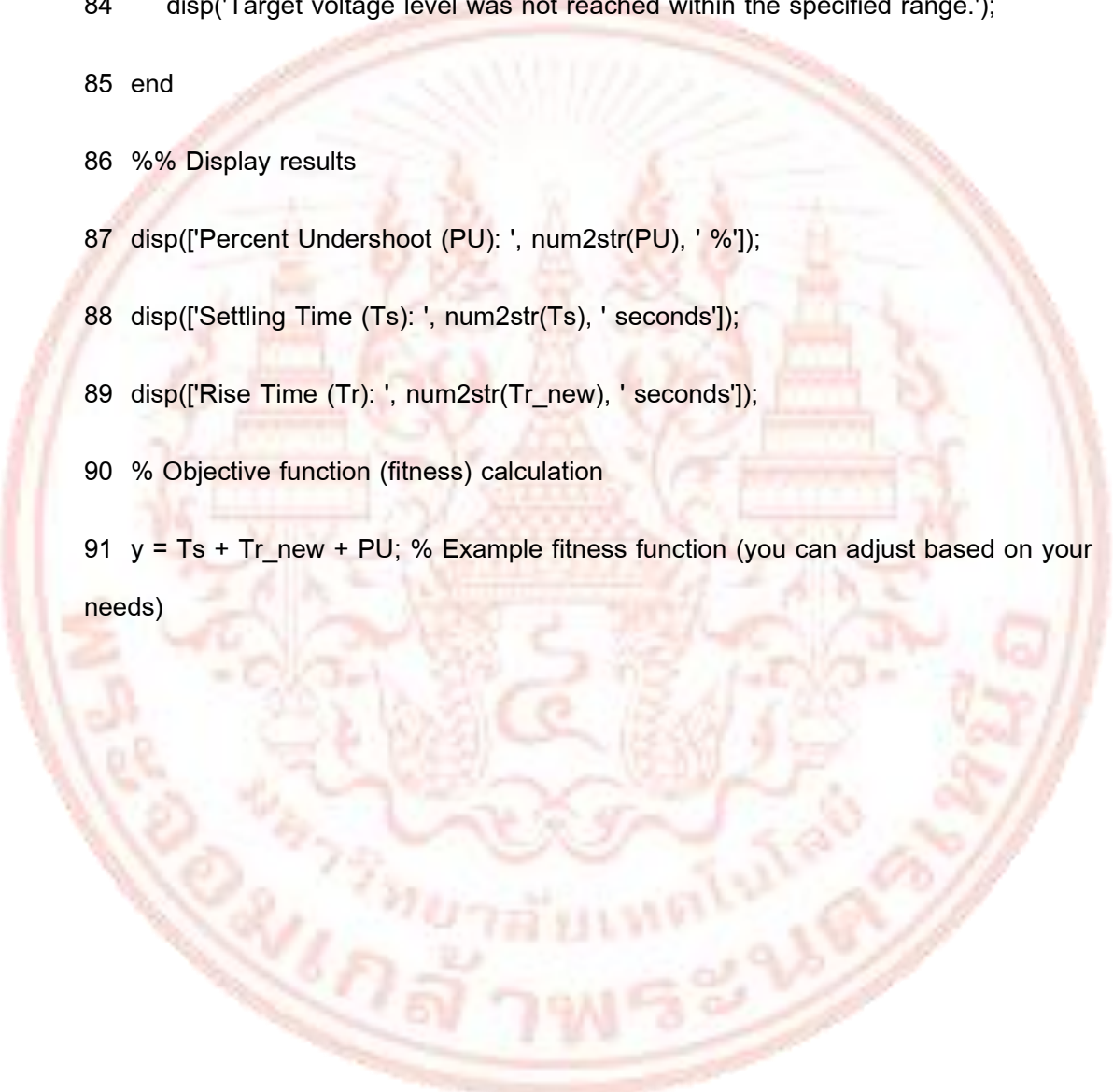
81     Tr_new = t(target_index) - t(Vmin_index);

```

```
82     disp(['Rise Time from Vmin to 90% of (Vss - Vmin) + Vmin: ', num2str(Tr_new), '
seconds']);

83 else

84     disp('Target voltage level was not reached within the specified range.');
```



```
85 end

86 %% Display results

87 disp(['Percent Undershoot (PU): ', num2str(PU), ' %']);

88 disp(['Settling Time (Ts): ', num2str(Ts), ' seconds']);

89 disp(['Rise Time (Tr): ', num2str(Tr_new), ' seconds']);

90 % Objective function (fitness) calculation

91 y = Ts + Tr_new + PU; % Example fitness function (you can adjust based on your
needs)
```

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาววิไลวรรณ คำสอน
ชื่อการค้นคว้าอิสระ	การออกแบบตัวควบคุมพีไอเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการจินเนติกอัลกอริธึม สำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางในระบบยานยนต์ไฟฟ้า
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ประวัติ	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายวิทย์-คณิต โรงเรียนนาโยวิทยาком ปีการศึกษา 2557 ครูพิเศษสอน แผนกวิชาช่างไฟฟ้า วิทยาลัยการอาชีพบ้านแพ้ว วันที่ 16 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 พนักงานราชการ(ครู) แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยการ อาชีพบ้านแพ้ว 15 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2567