แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า

MATHEMATIC MODELLING OF ELECTRIC GO KART

โดย

ภูริชญ์ งามคง

โครงงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

พ.ศ. ๒๕๕๘

(ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์)

เลขที่สัญญารับทุน ๓๒/๒๕๕๘

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า

MATHEMATIC MODELLING OF ELECTRIC GO KART

โดย

ภูริชญ์ งามคง

โครงงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

พ.ศ. ๒๕๕๘

(ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์)

หัวข้อวิจัย	การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า
ผู้ดำเนินการวิจัย	ภูริชญ์ งามคง
ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.กองพล อารีรักษ์
หน่วยงาน	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ปีการศึกษา	2558
เลขที่สัญญารับทุน	32/2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าใช้วิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป โดยระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้ามีแหล่งพลังงานของระบบเป็นแบตเตอรีที่ต่อพ่วงกับวงจรแปลงผันแบบชอบเปอร์ และมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าโดยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไปได้ตามสมการที่ (3-28) ถึง (3-33) และนำสมการดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลการจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าทั้ง 2 จุดการทำงาน แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.8 พบว่าผลของการจำลองสถานการณ์นั้นมีความคล้ายคลึงกันทั้งสภาวะชั่วครู่และสถานะคงตัว แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าที่ได้ดำเนินการหาด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไปนั้นมีความถูกต้อง

คำสำคัญ : รถโกคาร์ทไฟฟ้า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป

Research Title Mathematic Modelling of Electric Go Kart
Researcher Mr.Phurich Ngamkong
Research Consultants: Assoc. Prof. Dr.Kongpol Areerak
Organization Major of Electrical Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University.
Academic Year 2015
Contract Number 32/2015

ABSTRACT

This paper presents a mathematical model of electric go kart using the general state-space averaging method. The system is powered kart electric power system is Battery Creek peripheral circuits chopper converter feature. And a motor used to drive an electric car, go-kart. DC permanent magnet motor. The results of a mathematical model of a car powered by an electric kart average state space by Equation (3-28) to (3-33) and the equation compared with simulations. computer program The results of the simulation system powered kart electric two-point performance show.Figure 4.1 and Figure 4.8, the results of the simulation are similar for both transient and steady state. Show that the mathematical models of electric powered kart that was carried out using the state space is generally accurate.

Keywords : Electric Go Kart Mathematical Model state-space averaging method

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทางสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ทุกๆคน กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ เกี่ยวกับรายละเอียดของงานวิจัยทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งให้คำแนะนำแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร.กองพล อารีรักษ์ พร้อมข้อมูลที่เกี่ยวกับการดำเนินงานอันมีค่ายิ่งตลอดจนความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่ให้การสนับสนุนในการใช้อาคารและสถานที่ในการทำงานวิจัยฉบับนี้ สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ประจำปีงบประมาณ ปี 2558 ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ภูริชญ์ งามคง

25/12/58

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 คำสำคัญ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	4
2.3 วงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์	8
2.4 สรุป	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน	11
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	11
3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย	12
3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร ที่ใช้ในงานวิจัย	12
3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า	16
3.5 สรุป	23
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	24
4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 สรุป 29

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 30

5.1 สรุป 30

5.2 ข้อเสนอแนะ 28

บรรณานุกรม 32

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 33

ประวัติผู้วิจัย 35

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1	ค่าพารามิเตอร์จากเอกสารข้อมูล	13
3.2	พารามิเตอร์จากการวัดค่า	14
3.3	พารามิเตอร์ที่ใช้เทียบเคียง	14
3.4	ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในงานวิจัย	16
4.1	พารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสแบบแม่เหล็กถาวร	24
4.2	พารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์	25

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 รถโกคาร์ทไฟฟ้า 1

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร 4

2.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร 5

2.3 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร 8

2.4 วงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ 8

2.5 โหมดการทำงานของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ 9

2.6 รูปสัญญาณที่ใช้ในการอธิบายหลักการทำงานของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ 9

3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำวิจัย 11

3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำวิจัย (ต่อ) 12

3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในงานวิจัย 13

3.3 วงจรสมมูลของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร 17

3.4 ฟังก์ชันการสวิตช์ 18

4.1 ผลการตอบสนองของกระแสที่ไหลผ่านความเหนี่ยวนำทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.2 N.m เป็น 0.5 N.m 25

4.2 ผลการตอบสนองของแรงดันอาร์เมเจอร์กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.2 N.m เป็น 0.5 N.m 26

4.3 ผลการตอบสนองของกระแสอาร์เมเจอร์กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.2 N.m เป็น 0.5 N.m 26

4.4 ผลการตอบสนองของความเร็วรอบกรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.2 N.m เป็น 0.5 N.m 27

4.5 ผลการตอบสนองของกระแสที่ไหลผ่านความเหนี่ยวนำทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 N.m เป็น 1.5 N.m 27

4.6 ผลการตอบสนองของแรงดันอาร์เมเจอร์กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 N.m เป็น 1.5 N.m 28

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.7	ผลการตอบสนองของกระแสอาร์เมเจอร์กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 N.m เป็น 1.5 N.m	28
4.8	ผลการตอบสนองของความเร็วรอบกรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 N.m เป็น 1.5 N.m	29

การตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์

กฤษดากร เชื่อมกลาง[1*] , วัชระ วชิรภัทรกุล[2] , วีระ เนตราทิพย์[3] ,
ปราโมทย์ ปิ่นสกุล[4] และ พนิช สมสะอาด[5]
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

Decoration Ceramic Products with Patterns of Fabric Silk in Buriram Province By using Ceramics Decal.

Kritsadakon Chueamklang[1*], Vatchara Vachirapattarakul[2], Weera Natratip[3],
Pramote Pinsakul[4] and Panich somsa-ard[5]
Ceramics Technology Program Faculty of Industrial Technology,Buriram Rajabhat University

---

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ 2. เพื่อออกแบบและตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์ 3. เพื่อบูรณาการการวิจัยสู่การเรียนการสอนและนำไปบริการวิชาการให้กับชุมชน คณะผู้วิจัยและนักศึกษาร่วมกันสรุปแนวคิด จากนั้นจึงดำเนินการออกแบบ โดยนำแนวความคิดที่ผ่านการวิเคราะห์ สังเคราะห์ร่วมกันและนำมาปรับปรุงแก้ไข ปัญหาต่างๆอันเกิดขึ้นจากการออกแบบ ตลอดจนถึงปัญหาด้านกระบวนการผลิต เพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุด

ผลจากการศึกษาวิจัย จากโครงการวิจัย “การตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์” ทำการออกแบบภาพร่าง โดยการคลี่คลายรูปแบบต่างๆ เพื่อนำมาคัดเลือกรูปแบบที่มีความเหมาะสมที่สุด จำนวน 3 รูปแบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบวางลวดลายลงบนผลิตภัณฑ์ กำหนดสีพื้นผิว และองค์ประกอบต่างๆ ให้มีความเหมาะสมสวยงามตามแนวความคิดที่วางไว้ได้ผลสรุป คือ การใช้แนวความคิดจากลวดลายผ้าไหม ลายการบิน ลายถั่วแปบ และลายนาคกนก มาทำการสร้างต้นแบบ ในส่วนของการเตรียมผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่จะนำมาตกแต่งด้วยรูปลอกเซรามิกส์ โดยการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องโรลเลอร์แมชชีน แล้วนำมาเคลือบด้วยน้ำเคลือบชนิดขาวทึบ และการผลิตรูปลอกเซรามิกส์สีบนเคลือบ ใช้สีสำเร็จรูปในการพิมพ์ซิลค์สกรีน เพื่อ

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*] E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

ปฏิบัติงานนั้นเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบและการผลิตผลงานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ตามกระบวนการทางเซรามิกส์ จากผลงานทั้ง 3 แนวความคิด ได้นำลวดลายผ้าไหมที่โดดเด่นและเหมาะสมในการผลิตรูปลอกเซรามิกส์ นำมาตกแต่งบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ การจัดระเบียบลวดลายสวยงามน่าใช้ การนำลวดลายผ้าไหมที่สวยงามโดดเด่นมาลงบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์เพิ่มคุณค่าให้กับตัวผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ให้มีความงดงาม และสร้างสรรค์ผลงานศิลปะของลวดลายของรูปแบบลวดลายที่มี เรื่องราว ประเพณี วัฒนธรรม และสัญลักษณ์ คุณค่าของลวดลายผ้าไหมให้เกิดผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่มีลวดลายใหม่ โดยใช้กระบวนการทางเซรามิกส์ สามารถผลิตได้จริงในระบบอุตสาหกรรม ให้มีรูปแบบที่หลากหลาย เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในการสร้างผลงานการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์

คำสำคัญ : เซรามิกส์ , ผ้าไหม , รูปลอก

Abstract

The objective of this research were: 1) To study the characteristic of the fabric silk in Buriram province 2) To design and decorate a ceramic products with patterns of fabric silk in Buriram province by using ceramics decal 3) To integrating the research apply for teaching in academic and service of the community. The researchers and students were analyzed the concepts to be achievement, then the problem was designed by synthesized and improved concepts. The concepts were used to solving any problems found from the designing and manufacturing process.

The results of the study to design of the sketches design by unwinding various optimal patterns to selected of 3 designs. They are used by computer program to design the patterns of fabric on the product, coloring of surface and various of elements. The resultant appropriate a concept were consideration, the patterned of silk are include : striped flying, striped lablab and striped snake birds to make a prototype. In the preparation the product of ceramics was decorated with a ceramics decals by forming on a roller machine. Then, theirs glazing with a white opaque glaze to paint the color of

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*] E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

ceramics decal from silkscreen printing on ceramics. The operation of ceramic works is determine the production of a complete processing from them. From the 3 concepts have distinctive and suitable characteristics in a patterned silk decorative apply to ceramics products. They increased the value of products in ceramic to be excellent, and created a works of art in a patterns of stories, culture and fabric style to increase the values of new products. The process of ceramics can be produced in the industrial system. Many patterns satisfy of needs to consumers, to created a decorate of ceramic products with patterns of silk fabric in Buriram province by using ceramics decal.

Keywords : Ceramic , Fabric silk , Decal

บทนำ

จังหวัดบุรีรัมย์เป็นศูนย์กลางอารยธรรมขอม แหล่งโบราณสถานโบราณคดีทางประวัติศาสตร์และก่อนประวัติศาสตร์ แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ และมีวัฒนธรรมประเพณีที่หลากหลาย ทำให้เป็นที่รู้จักโดยทั่วไป ดังคำขวัญของจังหวัดที่ว่า “เมืองปราสาทหิน ถิ่นภูเขาไฟ ผ้าไหมสวย รวยวัฒนธรรม” (สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์ 2552) ผ้าไหมเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญและโดดเด่นของจังหวัดบุรีรัมย์ ผ้าไหมบุรีรัมย์ มีสีสันลวดลายหลากหลาย และไหมลายมัดหมี่ลวดลายต่างๆ ที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับ ว่าเป็นผ้าเอกลักษณ์ประจำจังหวัดบุรีรัมย์ ได้แก่ “ผ้าซิ่นตีนแดง” ซึ่งผลิตมากที่อำเภอพุทไธสงและนาโพธิ์ จังหวัดบุรีรัมย์ได้มีการส่งเสริมการตลาดผ้าไหมบุรีรัมย์ โดยส่งเสริมการพัฒนาลายเอกลักษณ์ ผ้าไหมจังหวัดบุรีรัมย์ จังหวัดได้จัดให้กลุ่มผู้ผลิตผ้าไหมและผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับผ้าไหมช่วยกันออกแบบลายเอกลักษณ์ผ้าไหม ปรากฏว่าได้ลายผ้าไหมที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างลวดลายที่เป็นเอกลักษณ์ของชนทั้ง 4 เผ่ากับจุดเด่นของจังหวัดบุรีรัมย์ คือ “ภูเขาไฟ”จึงเกิดเป็น “ลายกระรอกหมี่ภูภิรมย์” ขึ้น เรียกสั้นๆว่า “ผ้าไหมลาวา” แต่เนื่องจากการกลุ่มทอผ้าไหมส่วนใหญ่ไม่ถนัดมัดหมี่ลวดลายดังกล่าว ซึ่งทำให้เกิดความสวยงามได้ยาก จึงไม่นิยมทอเพื่อใช้หรือจำหน่าย ในปัจจุบันผ้าเอกลักษณ์ประจำจังหวัดบุรีรัมย์ที่เป็นที่นิยมและได้รับการยอมรับตลอดเวลาที่ผ่านมาจึงได้แก่ “ผ้าซิ่นตีนแดง”. (http://Phanomrungsilk.com. ค้นเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2557)

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*]E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

นอกจากผ้าไหมที่เป็นผลิตภัณฑ์เด่นแล้ว เครื่องเคลือบดินเผาหรืองานเซรามิกส์ก็เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ทางวัฒนธรรมที่มีความสำคัญและเป็นที่นิยมของตลาด ไม่ว่าจะเป็นงานประเภทหัตถกรรม อุตสาหกรรม หรือศิลปกรรม นอกจากจะเป็นสินค้าที่ซื้อขายกันภายในประเทศแล้ว ยังมีการส่งออกเป็นสินค้าด้วย การสร้างสรรค์ผลงานเซรามิกส์ในปัจจุบันต้องมีการพัฒนารูปแบบที่เหมาะสม สนองความต้องการของผู้บริโภคเป็นหลัก จึงต้องมีการศึกษาถึงความต้องการของผู้บริโภคเพื่อนำมาวางแผนกระบวนการสร้างสรรค์ การสร้างสรรค์จึงไม่อาจมองแต่เพียงประโยชน์ใช้สอยอย่างเดียว จำเป็นต้องมีการพัฒนารูปแบบการตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้มีความโดดเด่นเป็นเอกลักษณ์

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงคุณค่าในการสร้างสรรค์ผลงานเซรามิกส์ที่ตกแต่งด้วยลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ให้เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายและเห็นถึงคุณค่าของลวดลายผ้าไหมที่เป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดบุรีรัมย์ เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์เป็นแหล่งที่มีการทอผ้าไหมอย่างแพร่หลาย กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ แสดงให้เห็นถึงพัฒนาการในด้านการทอผ้าไหม ลวดลายที่ใช้ทอลงบนผ้าไหม จนเกิดเอกลักษณ์ของจังหวัดบุรีรัมย์ จึงได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ เพื่อนำมาพัฒนาสร้างสรรค์ลวดลายตกแต่งบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เป็นการเพิ่มคุณค่าของชิ้นงานที่มีลวดลายของผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นมีความเหมาะสมสามารถผลิตชิ้นงานได้ตามระบบและกระบวนการทางอุตสาหกรรมเซรามิกส์ และเป็นแนวทางในการนำองค์ความรู้ที่จากการวิจัยบูรณาการสู่การเรียนการสอน และบริการวิชาการให้กับชุมชนต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์
2. เพื่อออกแบบและตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์
3. เพื่อบูรณาการการวิจัยสู่การเรียนการสอนและนำไปบริการวิชาการให้กับชุมชน

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ใช้ลักษณะเฉพาะของลวดลายผ้าไหมที่เป็นเอกลักษณ์ หรือที่โดดเด่นของจังหวัดบุรีรัมย์
   - 1.1 ตัวแปรที่จะศึกษาได้แก่
     - 1.1.1 ลวดลายผ้าไหมที่เป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดบุรีรัมย์
     - 1.1.2 ลวดลายผ้าไหมที่ใช้ตกแต่งบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*] E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

1.2 การปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จะใช้การขึ้นรูปด้วยเครื่องโรลเลอร์เฮด แมชชีน

1.3 ทำการตกแต่งผลิตภัณฑ์โดยเทคนิคการใช้รูปลอกเซรามิกส์ ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถสร้างลวดลายได้ทั้งคุณภาพและปริมาณ ตามระบบอุตสาหกรรม

1.4 เผาตกแต่งผลิตภัณฑ์รูปลอกเซรามิกส์ โดยใช้เตาไฟฟ้า

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ หมายถึง การตกแต่งลวดลายจากสีสำเร็จรูปชนิดบนเคลือบที่พิมพ์ไว้บนกระดาษรูปลอกน้ำ ลงบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

2. ออกแบบ หมายถึง การนำลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์มาจัดวาง ตัดทอน ประยุกต์ ให้เกิดลวดลายที่สวยงามลงบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์อย่างเหมาะสมโดยใช้เทคนิคการตกแต่งด้วยรูปลอกเซรามิกส์

3. ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ชนิดสโตนแวร์ ใช้เคลือบชนิดขาวทึบ เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปด้วยเครื่องโรลเลอร์เฮด แมชชีน

4. ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ หมายถึง ลักษณะเฉพาะของลวดลายผ้าไหม ของกลุ่มอาชีพสตรีตำบลนาโพธิ์ อำเภอนาโพธิ์ จังหวัดบุรีรัมย์

5. รูปลอกเซรามิกส์ หมายถึง รูปลอกเซรามิกส์ชนิดสีเดียว ใช้สีบนเคลือบพิมพ์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ลงกระดาษรูปลอกน้ำ แล้วนำไปติดบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ

2. ลงมือออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์จากลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ ที่มีเอกลักษณ์โดดเด่นของจังหวัดบุรีรัมย์เป็นภาพลายเส้น เพื่อศึกษาแนวความคิดในการออกแบบ

3. คัดเลือกผลงานออกแบบที่เหมาะสมที่สุด ทั้งด้านการออกแบบตกแต่ง และกระบวนการผลิตเป็นต้นแบบสำหรับการผลิตในระบบอุตสาหกรรม

4. ดำเนินการผลิตชิ้นงาน ตามกระบวนการผลิตทางเซรามิกส์

5. วิเคราะห์ผลงานออกแบบและตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์

6. สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะข้อคิดเห็น

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000

[1*]E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์การศึกษาลักษณะเฉพาะของลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์

จากการศึกษาลักษณะผลิตภัณฑ์ผ้าไหมของอำเภอนาโพธิ์ จังหวัดบุรีรัมย์ มีการทำฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์ผ้าไหม ที่แสดง รหัสสินค้า ชื่อสินค้า ขนาด น้ำหนัก รายละเอียด วัตถุดิบ ระยะเวลาการผลิต คุณสมบัติ อายุการใช้งาน สี สถานที่ผลิต และราคา แหล่งข้อมูลที่ได้ไปศึกษาของกลุ่มอาชีพสตรี ตำบลนาโพธิ์ จังหวัดบุรีรัมย์ มีผ้าเอกลักษณ์นาโพธิ์ ซิ่นหัวแดงตีนแดง ผ้าชุดนาโพธิ์ และผ้ามัดหมี่ การศึกษาข้อมูลอีกด้านได้จากการสัมภาษณ์ ถ่ายภาพ จากศูนย์หัตถกรรมพื้นบ้านอำเภอนาโพธิ์ จังหวัดบุรีรัมย์ และแยกลักษณะของผลิตภัณฑ์ผ้าไหม ออกเป็น 2 ประเภท คือ ลวดลายดั้งเดิม และลวดลายประยุกต์ ซึ่งลวดลายดั้งเดิมนั้นเป็นลวดลายจากพืช สัตว์ สิ่งแวดล้อม เครื่องมือเครื่องใช้ และลวดลายประยุกต์เป็นการพัฒนาลวดลายใหม่ขึ้นมาจากลวดลายเดิมหรือลวดลายตามความต้องการของตลาด ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ศึกษาลักษณะเฉพาะของลวดลายตามกรอบแนวคิด ลวดลายที่ใช้ในการตกแต่งในแต่ละด้าน คือ ด้านลักษณะของลวดลาย ลวดลายจุด มีการสร้างภาพเป็นตัวลายหรือสร้างพื้นหลังให้เกิดตัวลาย ด้านรูปแบบของลวดลาย มีลวดลายต้นแบบและลวดลายประยุกต์ ลวดลายต้นแบบหรือลวดลายดั้งเดิมของผ้าไหม ที่มีการแสดงถึงการอนุรักษ์งานศิลปวัฒนธรรมที่มีคุณค่าไว้ จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ สามารถนำมาเป็นแนวความคิดในการออกแบบ ประยุกต์สร้างสรรค์ลวดลายตกแต่งในกระบวนการผลิตรูปลอกเซรามิกส์ได้

2. ผลการวิเคราะห์การออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลรายละเอียด ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ ได้สรุปสู่แนวทางการออกแบบจำนวน 3 รูปแบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างภาพร่าง ดังต่อไปนี้

ภาพร่างที่ 1 เป็นการออกแบบภาพร่างโดยใช้ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ ลายการบิน มาเป็นแนวคิดในการออกแบบ การสร้างรูปมาตรฐานต้นแบบขึ้นเพียง 1 รูป แต่สามารถผูกเป็นลวดลายอื่นๆต่อไปได้อีก ลวดลายต้นแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด และข้างในเป็นรูปเส้นหยักรูปตะขอ สัญลักษณ์การบินไทย แต่เมื่อนำลวดลายนั้นมาผูกต่อด้วย จะสามารถสร้างลายที่มีความงามขึ้นได้อีก เป็นการจัดวางรูปทรงลงในตารางกริด โดยถือเส้นแนวตารางเป็นหลักในการจัดวางรูปทรงที่นำมาใช้จัดวางเป็นรูปทรงเรขาคณิต เมื่อนำมาจัดวางลวดลาย มีการลดตัดทอนของลวดลายเดิม ให้มีจังหวะ พื้นที่ว่างของลวดลายและผลิตภัณฑ์ได้สวยงาม มีความเป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*] E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

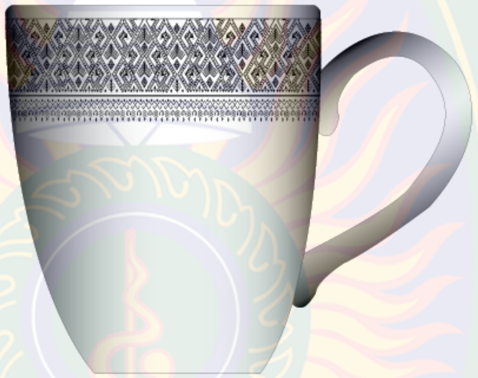
ภาพที่ 1 ภาพร่างผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ตกแต่งลวดลายโดยใช้แนวคิดจากผ้าไหมลายการบิน

ภาพร่างที่ 2 เป็นการออกแบบภาพร่างโดยใช้ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ ลายถั่วแปบ มาเป็นแนวคิดในการออกแบบ ลวดลายที่ใช้ในการตกแต่งสามารถใช้หลักการทางศิลปะ ช่วยในการสร้างลวดลาย ลวดลายจุด ลวดลายในส่วนที่เป็นภาพ มีลักษณะถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ เป็นภาพมีสีเข้ม หรือสีตามแบบสีพื้นเป็นสีขาว ลักษณะลวดลายที่เกิดจากการลากเส้นเป็นภาพโปร่ง ไม่ระบายสี ลวดลายที่เกิดจากการระบายสีทึบตัน มีการตัดเส้นขอบ ลักษณะลวดลายที่ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้ผิดแปลกไปจากต้นแบบเดิม อาจคงลักษณะหรือเอกลักษณ์ลายต้นแบบไว้ การประยุกต์ลวดลายใช้วิธีการลดทอน การลดความยุ่งยากซับซ้อนของเส้น สี จากลวดลายเดิมให้มีลักษณะง่ายขึ้น เพื่อเหมาะสมในการสร้างต้นแบบ

ภาพที่ 2 ภาพร่างผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ตกแต่งลวดลายโดยใช้แนวคิดจากผ้าไหมลายถั่วแปบ

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*]E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

ภาพร่างที่ 3 เป็นการออกแบบภาพร่างโดยใช้ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ ลายนาคกนก มาเป็นแนวคิดในการออกแบบ เป็นลายสมัยโบราณ การออกแบบลวดลายนำมาจากลวดลายที่ผู้คนสมัยก่อนนับถือพญานาค การสร้างลวดลายจากการออกแบบตกแต่งด้านศิลปะ และประยุกต์ลวดลายให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ลวดลายที่สร้างขึ้นจากรูปร่างเรขาคณิต รูปร่างที่ดูแปลกตาออกไป การออกแบบลวดลายให้เกิดความสวยงามโดยการใช้เส้น หรือรูปทรงที่มีลักษณะขอบคม แล้วจัดวางรูปทรงลงในตารางกริด เมื่อจัดวางแล้วจะก่อให้เกิดลวดลาย เป็นการนำแบบมาเรียงลำดับ และลวดลายด้านล่างในลักษณะสลับลวดลายที่แตกต่างกันออกไปจากการเรียงลำดับตามปกติ ในการสร้างต้นแบบผลิตรูปลอกเซรามิกส์ ลวดลายมีความละเอียด ทั้งจุด เส้น รูปร่าง สร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ได้



ภาพที่ 3 ภาพร่างผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ตกแต่งลวดลายโดยใช้แนวคิดจากผ้าไหมลายนาคกนก

3. ผลการวิเคราะห์ผลงานการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์

3.1 วิเคราะห์กระบวนการผลิตรูปลอกเซรามิกส์

3.1.1 การทำบล๊อกสกรีน การทำบล็อกแบบสีเดียว การทำบล็อกสกรีนรูปลอก อย่างแรกฉาบกาวอัดเทกาวอัดที่ผสมไว้แล้ว ลงบนผ้าบล็อกด้านนอก ฉาบแค่ด้านเดียว ถ้าบล็อคแห้งแล้ว นำไปวางในตู้ไฟ จากนั้น วางแบบบนกระจก และวางแผ่นไม้แข็งๆ แล้วเปิดไฟ จับเวลา 10 นาที นำบล็อกออกมาจากตู้ไฟ ใช้น้ำฉีดไม่ต้องแรงมาก ล้างคราบน้ำยาไวแสงออก ทั้งสองด้าน หลังจากนั้นก็เป่าให้แห้งแล้วนำไปผึ่งแดดให้แห้งสนิท ลวดลายที่ออกแบบไว้มีความความละเอียดของลวดลาย สามารถนำไปใช้สกรีนบนกระดาษรูปลอกได้

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*] E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

3.1.2 การเตรียมสีบนเคลือบ การเตรียมสีบนเคลือบรูปลอกเซรามิกส์ วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำรูปลอกเซรามิกส์ การตกแต่งด้วยรูปลอกเซรามิกส์ชนิดสีบนเคลือบก็มี ใช้สีสำเร็จรูปชนิดบนเคลือบ น้ำมันผสมสีพิมพ์น้ำมันกันตัน ฟิล์มเหลือง กระดาษรูปลอก บล็อกสกรีนถ่ายแบบเป็นลวดลาย ยางปาด แท่นพิมพ์ เครื่องชั่งไฟฟ้า โกร่งบดสี และ การผสมสีต้องมี การเติม medium ในสัดส่วน 1 : 1 บดผสมเข้ากัน

3.1.3 ขั้นตอนการพิมพ์และการติดรูปลอกเซรามิกส์

การพิมพ์รูปลอกเซรามิกส์ ใช้เทปกาวยึดมุมกระดาษเพื่อกำหนดตำแหน่ง การวางกระดาษรูปลอก จากนั้นนำบล็อคสกรีนที่ถ่ายแบบลวดลาย แล้วนำกระดาษรูปลอกมาวางให้ตรงตำแหน่งแล้วนำสีวางแนวของบล็อกสกรีน แล้วปาดสีลงบนบล็อกสกรีนลงไปยังกระดาษรูปลอกด้านล่าง ยกบล็อกสกรีนขึ้น จากนั้นดึงกระดาษรูปลอกออก นำไปผึ่งให้แห้ง สีที่ใช้พิมพ์มีผลในการสกรีนสีลงกระดาษในความคมชัด ต้องบดสีให้มีความละเอียด เพราะแต่ละสีมีความหยาบ ละเอียดต่างกัน ถ้าบดสีละเอียดไม่พอบล็อกจะตันเร็ว เมื่อสกรีนสีลงกระดาษแล้วนำรูปลอกเซรามิกส์ที่แห้งแล้ว เคลือบด้วยฟิล์มสีเหลือง โดยนำบล็อกสกรีนที่ทำแบบไว้สำหรับสกรีนฟิล์มเหลือง ตามลวดลายที่พิมพ์ ก็จะได้แผ่นรูปลอกเซรามิกส์ที่เสร็จพร้อมนำไปติดบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ขั้นตอนการติดรูปลอกเซรามิกส์ลงบนผลิตภัณฑ์ต้องความสะอาดผิวผลิตภัณฑ์ให้สะอาด ไม่มีฝุ่นหรือคราบสกปรก แล้วนำรูปลอกแช่น้ำ ลองเลื่อนออกจากกระดาษ แล้วเลื่อนวางให้ตรงตำแหน่งบนผิวผลิตภัณฑ์ ใช้ฟองน้ำไล่น้ำและฟองอากาศออก ผึ่งให้แห้ง ก่อนนำเข้าเผา การติดรูปลอกลวดลายรอบแก้วมีหูต้องใช้น้ำลูบที่ผลิตภัณฑ์แก้วด้วย เนื่องด้วยแบบลวดลายมีความยาว ถ้าใช้น้ำน้อยในการติดฟิล์มเหลืองจะยืด จะทำให้ลวดลายเสียสัดส่วนได้

ภาพที่ 4 แสดงการติดรูปลอกเซรามิกส์ลงบนผลิตภัณฑ์

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*] E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

3.1.4 การเผาผลิตภัณฑ์รูปลอกเซรามิกส์

การเผาผลิตภัณฑ์แก้วมีหู เผาเคลือบ ใช้เคลือบขาวทึบ เผาอุณภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เมื่อเผาเสร็จสมบูรณ์ นำมาติดรูปลอกสีบนเคลือบเซรามิกส์ ใช้เตาไฟฟ้า ในการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ลวดลายที่ออกมาหลังเผามีความคมชัด สีบนเคลือบออกมาตามที่กำหนดไว้

3.2 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์

จากการออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์ จำนวน 3 รูปแบบ ได้นำลวดลายที่โดดเด่นและเหมาะสมในการผลิตรูปลอกเซรามิกส์ มาผลิตเป็นรูปลอกเซรามิกส์ และนำมาตกแต่งบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ที่ได้ออกแบบไว้ โดยขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องโรลเลอร์เฮดแมชชีน ที่สามารถรองรับปริมาณการผลิตได้จำนวนมาก มีความรวดเร็วในการผลิต ให้สอดคล้องกับการผลิตรูปลอกโดยการพิมพ์สกรีน ที่สอดคล้องกันในกระบวนการผลิตในระบบอุตสาหกรรม เป็นผลิตภัณฑ์แก้วมีหู มีความสะดวกในการใช้งาน ทำความสะอาดง่าย มีความปลอดภัยไม่มีส่วนแหลมคม ขอบปากโค้งมน ความหนาบางของแก้ว และรอยต่อของหูแก้ว มีความแข็งแรง ขนาดเหมาะสมกับการใช้งานและการขนส่ง สามารถเป็นของฝากของที่ระลึกได้ ขนาด สีของเคลือบ ลวดลาย สวยงามน่าใช้

4. ผลการวิเคราะห์บูรณาการการวิจัยสู่การเรียนการสอนและนำไปบริการวิชาการให้กับชุมชน

จากการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ โดยบูรณาการงานวิจัยกับการเรียนการสอนในสาขาเทคโนโลยีเซรามิกส์ในรายวิชา การออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ 3 คอมพิวเตอร์เบื้องต้นเพื่อการออกแบบ และการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยสีบนเคลือบ โดยดำเนินการให้นักศึกษา ได้เก็บข้อมูลลักษณะเฉพาะของลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ คณะผู้วิจัยและนักศึกษา ร่วมกันสรุปแนวคิด จากนั้นจึงดำเนินการออกแบบ นักศึกษาออกแบบภาพร่างในรายวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ 3 สามารถนำแนวความคิดที่ผ่านการวิเคราะห์ สังเคราะห์ร่วมกัน และนำมาปรับปรุงแก้ไข อันเกิดขึ้นจากการออกแบบ อย่างเป็นขั้นตอน นำไปสร้างต้นแบบเพื่อการผลิตในรายวิชาคอมพิวเตอร์เบื้องต้นเพื่อการออกแบบ ตลอดจนปัญหาด้านกระบวนการผลิตในรายวิชาการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยสีบนเคลือบ และใช้องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยเพื่อนำไปบริการวิชาการให้กับชุมชน เผยแพร่ ให้ความรู้ เทคนิคการออกแบบสร้างสรรค์ และกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่มีรูปแบบหลากหลาย และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ให้กับชุมชนได้

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*]E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

สรุปผลการศึกษาวิจัย

ผลจากการศึกษาวิจัย จากโครงการวิจัย “การตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์” จะเป็นการศึกษาข้อมูลของลวดลายผ้าไหมจังหวัดบุรีรัมย์ และสามารถนำมาผลิตรูปลอกเซรามิกส์ได้ ในขั้นตอนการออกแบบภาพร่าง เพื่อนำมาคัดเลือกรูปแบบที่มีความเหมาะสมที่สุด ทำการพัฒนาเป็นภาพร่าง จำนวน 3 รูปแบบ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดสีพื้นผิว และองค์ประกอบต่างๆ ให้มีความเหมาะสม ได้ผลสรุป คือ การใช้แนวความคิดจากลวดลายผ้าไหมลายการบิน ลายถั่วแปบ และลายนาคกนก มาทำการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ โดยการขึ้นรูปด้วยเครื่องโรลเลอร์เฮด แมชชีน เป็นผลิตภัณฑ์แก้วมีหู นำมาชุบเคลือบชนิดขาวทึบ และการผลิตรูปลอกเซรามิกส์สีบนเคลือบ ใช้สีสำเร็จรูป จำนวน 6 สี ในการพิมพ์ซิลค์สกรีน เพื่อปฏิบัติงานนั้นเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบและการผลิตผลงานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ตามกระบวนการทางเซรามิกส์ ได้จำนวน 3 รูปแบบ ดังภาพที่ 5 - 7

ภาพที่ 5 ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ตกแต่งลวดลายโดยใช้แนวคิดจากผ้าไหมลายการบิน

ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ตกแต่งลวดลายโดยใช้แนวคิดจากผ้าไหมลายถั่วแปบ

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*] E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

ภาพที่ 7 ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ตกแต่งลวดลายโดยใช้แนวคิดจากผ้าไหมลายนาคกนก

จากผลงานทั้ง 3 แนวความคิด ปัญหาและอุปสรรค ด้านการศึกษาลักษณะเฉพาะของลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ ลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์มีหลากหลาย แต่ละลวดลายมีเรื่องราว ที่มาของลวดลายนั้นๆ เพื่อนำลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ที่โดดเด่น มาออกแบบลวดลายลงบนผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ที่สามารถนำไปผลิตรูปลอกเซรามิกส์ได้ ด้านการออกแบบต้องคำนึงถึงรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่รองรับรูปลอกเซรามิกส์ที่ได้ออกแบบ รูปทรงของผลิตภัณฑ์ ถ้าผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนโค้ง หรือพื้นที่บนผลิตภัณฑ์ในการติดรูปลอกมีขนาดใหญ่เกินไป เมื่อติดรูปลอกเซรามิกส์ รูปแบบลวดลายอาจจะเสียสัดส่วนได้ ในการออกแบบนั้นได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างต้นแบบ การออกแบบของลวดลายบนผลิตภัณฑ์มีความเป็นมาตรฐานและการขึ้นรูปใช้เครื่องโรลเลอร์เฮด แมชชีน สามารถผลิตได้จำนวนมากเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้เทคนิคการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ด้วยรูปลอกเซรามิกส์ ซึ่งสามารถผลิตได้รวดเร็วและจำนวนมากเช่นเดียวกัน ในด้านการผลิตรูปลอกเซรามิกส์นั้น ปัญหาในการผลิตจะมีส่วนลวดลายที่มีขนาดเล็ก และรายละเอียดที่ซับซ้อน ในการพิมพ์สกรีนลงบนกระดาษรูปลอกอาจไม่คมชัดเพียงพอ และสีสำเร็จรูปที่ใช้ในการพิมพ์มีความละเอียดความหยาบที่ต่างกัน ควรเลือกผ้าซิลค์สกรีนให้มีขนาดของเบอร์ที่เหมาะสมในแต่ละสี จะสามารถแก้ปัญหาบล็อกสกรีนตัน และลวดลายที่ได้คมชัดมากยิ่งขึ้น ในส่วนของการบูรณาการงานวิจัยสู่การเรียนการสอนและนำไปบริการวิชาการให้กับชุมชนนั้น นักศึกษาได้นำองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัย ร่วมคิด วิเคราะห์และสรุปร่วมกัน และปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ ที่ได้เรียนรู้ในกระบวนการเรียนการสอนในแต่ละรายวิชา เพื่อนำไปบริการวิชาการให้กับชุมชนในโอกาสต่อไป

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000
[1*]E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการพัฒนาในเรื่องของรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่รองรับลวดลายผ้าไหมบุรีรัมย์ที่ตกแต่งด้วยรูปลอกเซรามิกส์ให้มีความหลากหลายมากขึ้น
2. ควรมีการพัฒนาในด้านกระบวนการผลิตและการตลาด เพื่อวางจำหน่ายในแหล่งท่องเที่ยว
3. ควรมีการฝึกอบรมถ่ายทอดความรู้ เพื่อสามารถผลิตเซรามิกส์โดยใช้เทคนิคการตกแต่งด้วยรูปลอกเซรามิกส์ ในระบบอุตสาหกรรมได้

เอกสารอ้างอิง

จีรพันธ์ สมประสงค์ .(2535). **เทคนิคการสร้างสรรค์ศิลปะเครื่องปั้นดินเผา .**พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ **:** โอ.เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์ .

ประสพ ลี้เหมือดภัย.(2543). **องค์ประกอบในงานเครื่องปั้นดินเผา.**กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์.

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2537) . **รวมสูตรเคลือบเซรามิก.** กรุงเทพ ฯ : โอเดียนสโตร์.

มาโนช กงกระนันทน์. (2538). **ศิลปะการออกแบบ.** กรุงเทพ ฯ : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

วิรุณ ตั้งเจริญ. (2526). **การออกแบบ**.กรุงเทพ ฯ : วิฌวลอาร์ต.

วันชัย เพี้ยมแตง.(2547).**การตกแต่งเครื่องปั้นดินเผาด้วยรูปลอกเซรามิก.**กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ศักดิ์ชัย เกียรตินาคินทร์ .(2537).**การออกแบบเครื่องปั้นดินเผา.** วิทยาลัยครูอุบลราชธานี. พิมพ์ครั้งที่ 2.

สมบัติ ประจญศานต์ . (2545).**โครงการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการยกระดับภูมิปัญญาท้องถิ่น : กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมของอำเภอนาโพธิ์ จังหวัดบุรีรัมย์** .

สมศักดิ์ ชวาลาวัลย์ . (2549). **เซรามิกส์ .** พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพ ฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์ .

สุขุมาล เล็กสวัสดิ์ . (2548) **เครื่องปั้นดินเผา : พื้นฐานการออกแบบและปฏิบัติงาน**. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

http://Phanomrungsilk.com.

https://sites.google.com/site/bannonggo/make-up.

[1*, 2, 3, 4, 5] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ 439 ถนนจิระ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

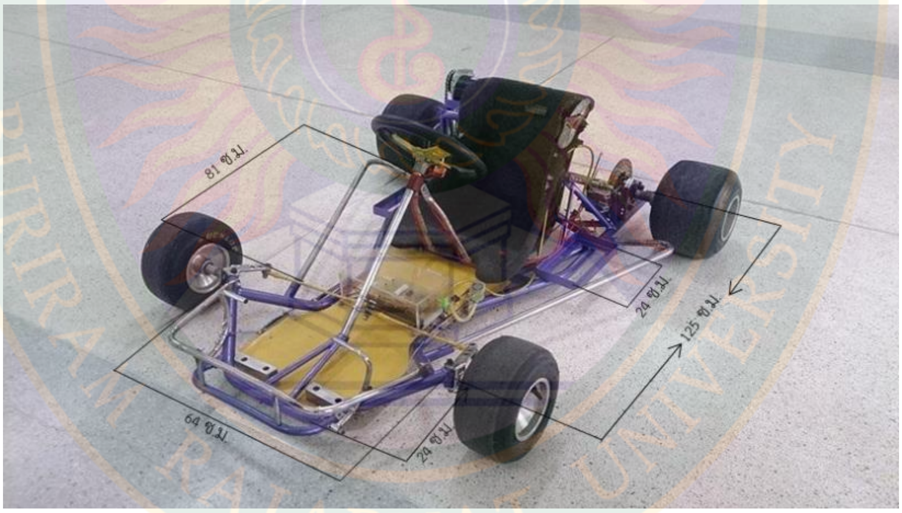
[1*, 2, 3, 4, 5] Faculty of Industry, Buriram Rajabhat University 439 Jira Road Naimuang Sub-district, Muang District Buriram Province 31000

[1*]E-mail address : kit.dew@hotmail.com โทรศัพท์ 083-3673905

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้งานยานพาหนะกันอย่างกว้างขวาง โดยส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้ได้กำลังงานในการขับเคลื่อน และเนื่องจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลาย ๆ ด้าน ดังนั้นจึงมีการหาพลังงานทางเลือกนำมาใช้กับยานพาหนะเพื่อเป็นการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมไปด้วย โดยพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่ได้มีการนำมาใช้กับยานพาหนะ ในหลาย ๆ รูปแบบ ทั้งด้านการคมนาคม ด้านอุตสาหกรรม และด้านการท่องเที่ยว ซึ่งในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจทางด้านการท่องเที่ยว เนื่องจากเป็นรายได้ที่สำคัญของประเทศ ซึ่งในแหล่งท่องเที่ยวจะมีการให้บริการเกี่ยวกับการขับรถโกคาร์ท โดยส่วนใหญ่รถโกคาร์ทที่ให้บริการนั้นจะใช้น้ำมันเป็นระบบขับเคลื่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงสนใจในการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้กับรถโกคาร์ท ซึ่งมีลักษณะของรถโกคาร์ทที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 รถโกคาร์ทไฟฟ้า

การทำงานของรถโกคาร์ทไฟฟ้าจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการขับเคลื่อนแทนการใช้เครื่องยนต์ โดยจะมีแหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี และใช้วงจรชอปเปอร์ในการปรับความเร็วของรถโกคาร์ทไฟฟ้า งานวิจัยนี้ให้ความสนใจศึกษาการทำงานของรถโกคาร์ทไฟฟ้าโดยการจำลอง

สถานการณ์โดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยมุ่งประเด็นไปที่การทำงานของรถโกคาร์ทไฟฟ้าในขณะที่ขับโหลดใด ๆ ดังนั้น ในการจำลองสถานการณ์จึงมีความจำเป็นที่ต้องหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ในการจำลองการทำงานของรถโกคาร์ทไฟฟ้าในเบื้องต้น โดยในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระบบไฟฟ้าของรถโกคาร์ทไฟฟ้าใช้วิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป ซึ่งวิธีการดังกล่าวนำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาของการสวิตชิ่ง เนื่องจากปัญหาการสวิตชิ่งนี้จะทำให้แบบจำลองของระบบขึ้นอยู่กับเวลา (time varying model) ทำให้การวิเคราะห์มีความยุ่งยากและซับซ้อน จึงต้องมีการแปลงแบบจำลองให้เป็นแบบจำลองที่ไม่ขึ้นกับเวลา (time-invarient model) และยังมีการทำให้เป็นเชิงเส้น (linearization) ด้วยวิธีการของเทย์เลอร์ ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ (chopper) ที่ต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร และนอกจากนี้ยังมีการจำลองสถานการณ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้เทียบกับการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่หาด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้วิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป

1.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เป็นแบบแม่เหล็กถาวร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำหลักการและประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

1.4.2 ได้ความรู้เกี่ยวกับการใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบไฟฟ้า

1.4.3 ได้ความรู้เกี่ยวกับการสร้างชุดขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า

1.4.4 ได้ความรู้เกี่ยวกับการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาแบบจำลองของระบบขับเคลื่อน

1.5 คำสำคัญ

1.5.1 รถโกคาร์ทไฟฟ้า คือ ยานพาหนะไฟฟ้า หรือ รถไฟฟ้า เป็นยานพาหนะซึ่งขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าแทนการใช้เครื่องยนต์ รถไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานแทนที่น้ำมันหรือ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า ซึ่งระบบขับเคลื่อนของรถโกคาร์ทไฟฟ้าประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรและวงจรชอปเปอร์ ซึ่งเป็นวงจรที่เป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องทราบถึงทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรและวงจรชอปเปอร์ เพื่อที่สามารถนำมาใช้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าและการจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้ จึงได้นำเสนอทฤษฎี สมการพื้นฐาน และการหาบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร รวมทั้งทฤษฎีของวงจรชอปเปอร์ไว้ในบทนี้

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร เป็นมอเตอร์ที่ขั้วทำมาจากแม่เหล็กถาวร มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้งานมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานในงานบางประเภท เนื่องจากไม่มีขดลวดทางด้านวงจรสนาม จึงไม่มีกำลังงานสูญเสียในขดลวดสนามเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Chapman,1999) ซึ่งจะมีลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรดังรูปที่ 2.1

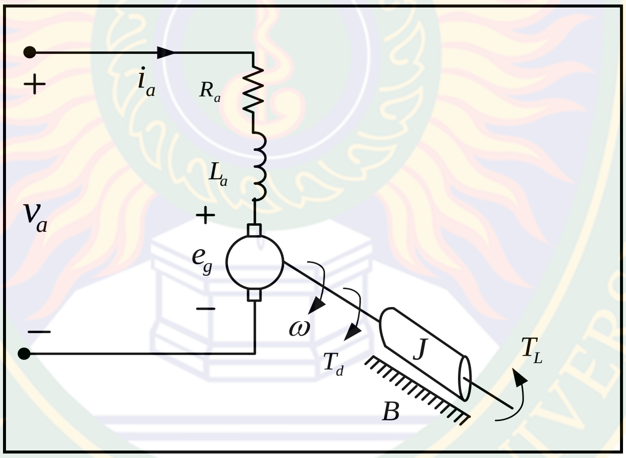
รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร เกิดจากผลลัพธ์หรือผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดของวงจรอาร์เมเจอร์ จึงทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัววงจรอาร์เมเจอร์ ดังนั้น เมื่อไม่มีขดลวดทางด้านวงจรสนาม จึงตัดปัญหาของกำลังงานสูญเสียของขดลวดทองแดงทางด้านวงจรสนามออกไป ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบและแรงบิดสามารถควบคุมได้จากการปรับค่าแรงดันทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร ประกอบไปด้วย สมการพื้นฐานของมอเตอร์ที่พิจารณาจากวงจรสมมูล การหาค่าพารามิเตอร์ และการหาบล็อกไดอะแกรมที่พิจารณาจากสมการพื้นฐานของมอเตอร์ ซึ่งจะนำเสนอดังต่อไปนี้

2.2.1 สมการพื้นฐานของมอเตอร์

สมการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (Chapman,1999) สามารถพิจารณาได้จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรอาร์เมเจอร์ (armature circuit) แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ดังรูปที่ 2.2 อธิบายความหมายของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรสมมูลได้ดังนี้

v_a คือ แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ (V)

i_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์ (A)

L_a คือ ความเหนี่ยวนำทางด้านอาร์เมเจอร์ (H)

R_a คือ ความต้านทานอาร์เมเจอร์ (Ω)

ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ $(\mathrm{kg \cdot m^2})$

B คือ ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด $(\mathrm{N \cdot m \cdot s/rad})$

e_g คือ แรงดันย้อนกลับ (V)

T_L คือ แรงบิดของโหลด $(\mathrm{N \cdot m})$

T_d คือ แรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น $(\mathrm{N \cdot m})$

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ในรูปที่ 2.2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของแรงดันทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ได้ดังสมการที่ (2-1)

$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_g \qquad (2\text{-}1)$$

พิจารณากรณีกระแสสนามมีค่าคงที่ เมื่อ $e_g = k_e \omega$ ดังนั้น สมการของแรงดันด้านวงจรอาร์เมเจอร์เป็นดังสมการที่ (2-2) และเมื่อ k_e คือ ค่าคงที่ของแรงดันย้อนกลับ จึงพิจารณาสมการการหมุนของมอเตอร์ จะได้ดังสมการที่ (2-3)

$$v_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + k_e \omega \qquad (2\text{-}2)$$

$$T_d = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \qquad (2\text{-}3)$$

จากสมการที่ (2-3) เมื่อแทนค่า $T_d = k_t i_a$ ลงในสมการที่ (2-3) จะได้ดังสมการที่ (2-4) ดังนี้

$$k_t i_a = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \qquad (2\text{-}4)$$

เมื่อ k_t คือ ค่าคงที่ของแรงบิด และโดยส่วนใหญ่แล้วจะกำหนดให้ $k_e = k_t = k$ $(\mathrm{N \cdot m/A})$

จากสมการที่ (2-2) และ (2-4) นำมาจัดรูปสมการใหม่และเขียนให้อยู่ในรูปของสมการสถานะ (state equation) จึงได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร ดังสมการที่ (2-5)

$$\begin{bmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{d\omega}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R_a}{L_a} & \frac{-k}{L_a} \\ \frac{k}{J} & \frac{-B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ T_L \end{bmatrix} \tag{2-5}$$

2.2.2 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง**แบบแม่เหล็กถาวร**

บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร [3] พิจารณาจากสมการทางไฟฟ้าและสมการทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร จากสมการที่ (2-2) และ (2-4) โดยทำการแปลงสมการที่ (2-2) และ (2-4) ให้อยู่ในรูปโดเมนเอสโดยใช้การแปลงลาปลาซ พร้อมทั้งพิจารณาค่าเริ่มต้นต่าง ๆ เป็นศูนย์ แสดงได้ตามสมการที่ (2-6) และ (2-7) ดังนี้

$$V_a(s) = R_a I_a(s) + sL_a I_a(s) + k\omega(s) \tag{2-6}$$

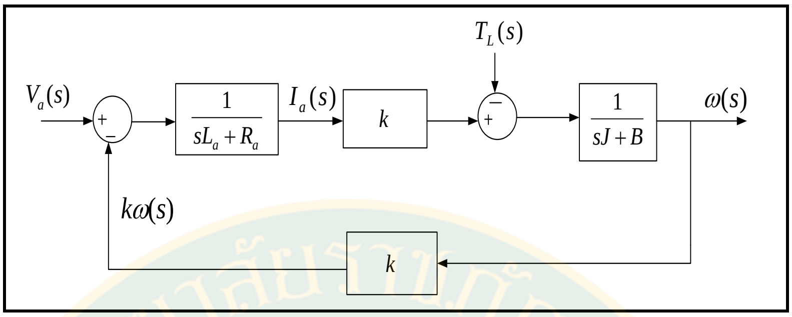
$$kI_a(s) = sJ\omega(s) + B\omega(s) + T_L(s) \tag{2-7}$$

จากสมการที่ (2-6) และ (2-7) เมื่อนำมาจัดรูปสมการใหม่ ให้อยู่ในรูปสมการของกระแสอาร์เมเจอร์และความเร็วเชิงมุม จะได้ดังสมการที่ (2-8) และ (2-9) ดังนี้

$$I_a(s) = \frac{V_a(s) - k\omega(s)}{sL_a + R_a} \tag{2-8}$$

$$\omega(s) = \frac{kI_a(s) - T_L(s)}{(sJ + B)} \tag{2-9}$$

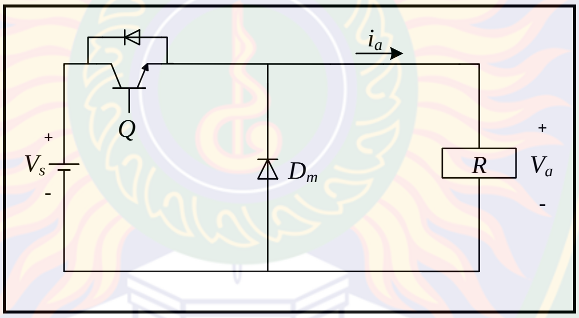
จากสมการทางไฟฟ้าในสมการที่ (2-8) และสมการทางกลในสมการที่ (2-9) สามารถนำมาจัดรูปแบบความสัมพันธ์ของแรงดันอาร์เมเจอร์และความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ตามแผนภาพบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

2.3 วงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์

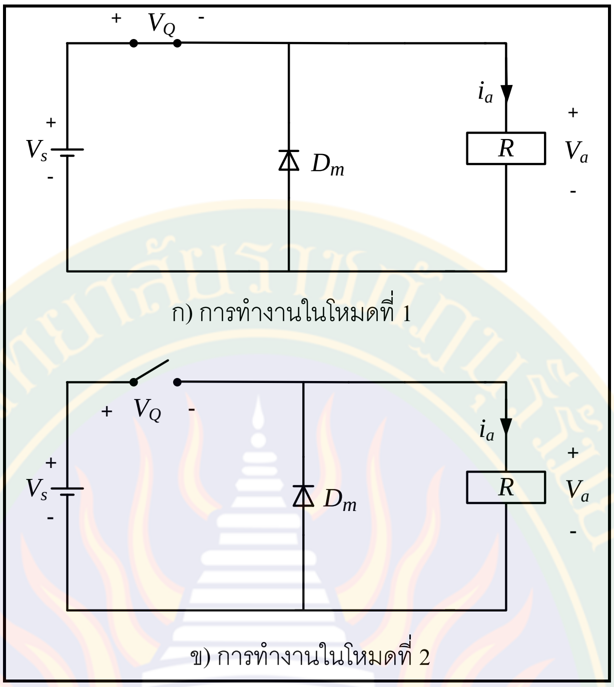
วงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ (Rashid,2004) เป็นวงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตให้มีค่าต่ำกว่าหรือมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ประกอบด้วย ไดโอด และไอจีบีทีที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างวงจรที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์

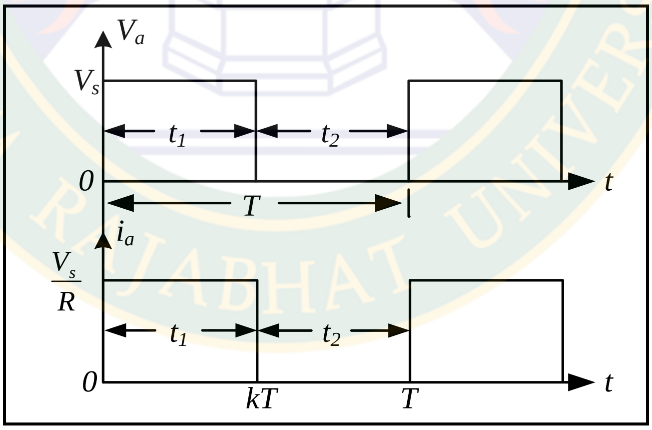
2.3.1 การทำงานของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์

การทำงานของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์แบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดที่ 1 เป็นโหมดที่ไอจีบีทีทำงาน โหมดที่ 2 เป็นโหมดที่ไอจีบีทีหยุดทำงาน สามารถแสดงการทำงานในแต่ละโหมดได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โหมดการทำงานของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์

จากวงจรในรูปที่ 2.5 เห็นได้ว่าการทำงานในโหมดที่ 1 เมื่อไอจีบีทีทำงาน เป็นเวลา t_1 ทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่โหลด (v_a) ส่วนการทำงานของโหมดที่ 2 ไอจีบีทีหยุดทำงาน เป็นเวลา t_2 ทำให้แรงดันตกคร่อมที่โหลดเป็นศูนย์ ซึ่งสามารถแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปสัญญาณที่ใช้ในการอธิบายหลักการทำงานของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์

เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ของแรงดันทางด้านเอาต์พุตกับแรงดันอินพุตในรูปที่ 2.6 สามารถคำนวณหาค่าแรงดันเฉลี่ยทางด้านเอาต์พุตได้ดังสมการที่ (2-10)

$$V_a = \frac{1}{T}\int_0^T v_a dt = \frac{V_s}{T} \times t_1 \quad (2\text{-}10)$$

กำหนดให้ t_1 คือ ช่วงเวลาที่ไอจีบีทีทำงาน ซึ่งจะคำนวณได้ตามสมการที่ (2-11) และ t_2 คือ ช่วงเวลาที่ไอจีบีทีหยุดทำงาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-12) ดังนี้

$$t_1 = kT \quad (2\text{-}11)$$

$$t_2 = (1-k)T \quad (2\text{-}12)$$

เมื่อ k คือ รอบทำงาน (duty cycle)

T คือ คาบการทำงานของไอจีบีที (s)

แทนค่า t_1 จากสมการที่ (2-11) ลงในสมการที่ (2-10) จะได้สมการคำนวณหาค่าแรงดันเอาต์พุตดังสมการที่ (2-13) ดังนี้

$$V_a = kV_s \quad (2\text{-}13)$$

2.4 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐาน สมการ และแผนภาพบล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร รวมถึงพื้นฐานการทำงานของวงจรชอปเปอร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการนำไปใช้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า

เชื้อเพลิงอื่นๆ โดยมอเตอร์ไฟฟ้าในรถไฟฟ้าจะเปลี่ยนไฟฟ้าซึ่งโดยปกติมาจากชุดแบตเตอรี่ให้เป็นพลังงานกลเพื่อการขับเคลื่อน

1.5.2 วงจรชอปเปอร์ คือ วงจรที่ใช้ในการปรับค่าความเร็วของรถโกคาร์ทไฟฟ้าให้ได้ความเร็วที่ต้องการสามารถนำหลักการและประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

1.5.3 วงจรพัลส์ PWM (Pulse width modulation) คือ วงจรที่ใช้ในการปรับความกว้างของรูปคลื่นสัญญาณพัลส์ในวงจรชอปเปอร์ เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ชิ่ง

1.5.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร คือ มอเตอร์ไฟฟ้าที่ไม่มีสนามแม่เหล็กจากขดลวดของสเตเตอร์ แต่อาศัยสนามจากแม่เหล็กถาวรแทนในการปฏิสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กของโรเตอร์เพื่อสร้างแรงบิด

1.5.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ แบบจำลองที่ใช้ภาษาทางคณิตศาสตร์ในรูปของสมการ อธิบายพฤติกรรมและความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบภายในระบบอาจประกอบด้วยความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่เป็นเส้นโค้ง เป็นต้น

1.5.6 วิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป คือ วิธีที่นำมาใช้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ถูกต้องได้ โดยวิธีดังกล่าวมีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยและเป็นวิธีการที่สามารถขจัดผลของการสวิตช์ที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ไม่ขึ้นกับเวลา

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

ในการจัดทำงานวิจัยได้มีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

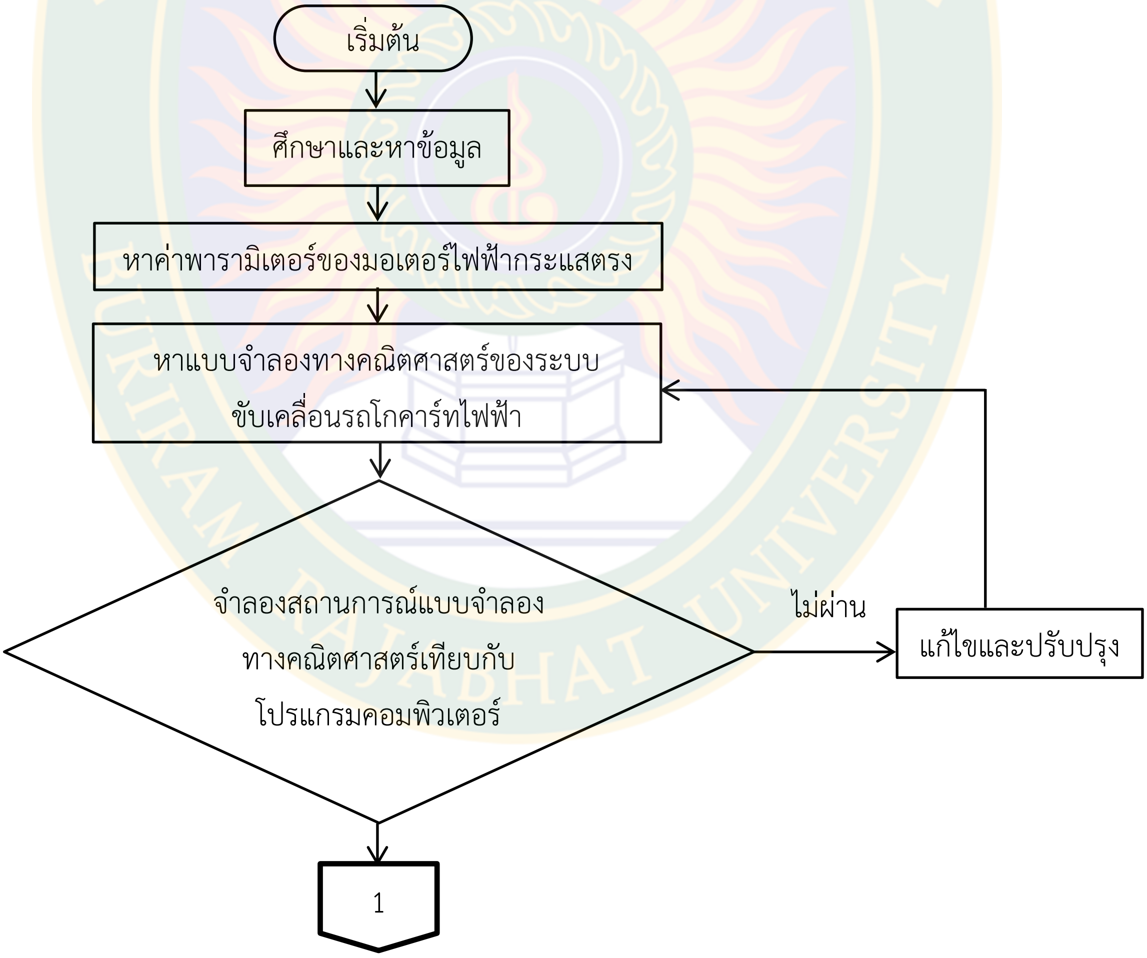
3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

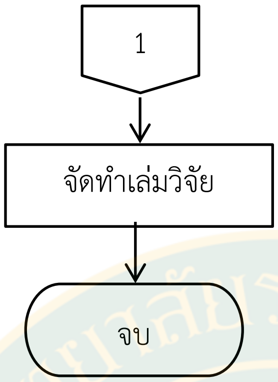
3.4 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า ซึ่งสามารถอธิบายในรูปแบบของแผนผังได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำวิจัย



รูปที่ 3.1 (ต่อ) แผนภาพขั้นตอนการทำวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมงาน

1.1 ศึกษาหาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและหนังสือ ในเรื่องการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.2 จัดทำโครงการเพื่อนำเสนอแก่คณะกรรมการ

1.3 นำเสนอโครงการวิจัยแก่คณะกรรมการ เพื่อจะอนุมัติโครงการวิจัยและเริ่มทำโครงการวิจัย

2. ขั้นตอนการดำเนินการ

2.1 หาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์

2.2 หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า

2.3 จำลองสถานการณ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	1	ตัว
- RLC มิเตอร์	1	ตัว
- คอมพิวเตอร์	1	เครื่อง

3.3 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในงานวิจัย

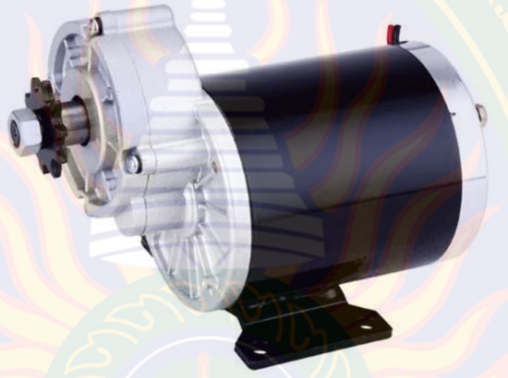
การจำลองสถานการณ์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่นำมาใช้ในการขับเคลื่อน และเนื่องจากทางบริษัทผู้ผลิตให้ข้อมูล

ของค่าพารามิเตอร์มาบางค่าเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาค่าพารามิเตอร์ตามแนวทางดังต่อไปนี้ (ภูริชญ์ งามคง,2556)

การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวทางดังนี้

แนวทางที่ 1 การหาค่าพารามิเตอร์จากเอกสารข้อมูล

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในการวิจัย มีลักษณะตามรูปที่ 3.2 ซึ่งทางผู้ผลิตจะมีเอกสารข้อมูลของมอเตอร์แนบมาด้วย แสดงได้ตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์จากเอกสารข้อมูล

พารามิเตอร์	ขนาด	หน่วย
พิกัดกำลังงาน	500	W
พิกัดความเร็ว	3000	rpm
แรงดันอาร์เมเจอร์ (v_a)	24	V
กระแสอาร์เมเจอร์ (i_a)	27	A

แนวทางที่ 2 การหาค่าพารามิเตอร์จากการวัดค่า

เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเอกสารข้อมูลไม่เพียงพอ จึงต้องหาค่าพารามิเตอร์จากการวัดค่าและหาค่าเฉลี่ย โดยใช้อุปกรณ์ทางการวัด คือ RLC มิเตอร์ ซึ่งได้ทำการวัดจากมอเตอร์ในรูปที่ 3.2 และทำการวัดค่าจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย แสดงได้ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์จากการวัดค่า

พารามิเตอร์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ค่าความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ (R_a)	0.3	0.3	0.3	0.3 Ω
ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรอาร์เมเจอร์ (L_a)	0.151	0.151	0.151	0.151 mH

จากตารางที่ 3.2 พบว่าผลจากการใช้ RLC มิเตอร์ วัดที่ขดลวดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร และหาค่าเฉลี่ยจากการวัดพบว่า ค่าความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3 Ω และค่าความเหนี่ยวนำของวงจรอาร์เมเจอร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.151 mH

แนวทางที่ 3 การหาค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณ

การหาค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณโดยการใช้วิธีเทียบเคียง เนื่องจากพารามิเตอร์บางตัวมีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณ ยกตัวอย่างเช่น การหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J) จำเป็นต้องทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์และน้ำหนักของโรเตอร์ในการคำนวณ ซึ่งในความเป็นจริงไม่สามารถถอดตัวโรเตอร์ออกมาวัดและชั่งน้ำหนักได้เนื่องจากไม่มีความชำนาญในการประกอบตัวมอเตอร์ ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์เกิดความเสียหายแก่มอเตอร์ได้ เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ใช้การคำนวณโดยการเทียบเคียงกับมอเตอร์อีกพิกัดหนึ่ง ซึ่งเป็นมอเตอร์ชนิดเดียวกันและมีลักษณะการใช้งานเหมือนกันแต่มีพิกัดโตกว่า ใช้เป็นตัวเทียบเคียง (Shahgholian and other,2010) ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่นำมาเทียบเคียงตามตารางที่ 3.3 ดังนี้

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้เทียบเคียง

พารามิเตอร์	ขนาด	หน่วย
ค่าความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ (R_a)	1.4	Ω
ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรอาร์เมเจอร์ (L_a)	8.05	mH
ค่าคงที่ของมอเตอร์ (k)	0.095	$\mathrm{N \cdot m/A}$
ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด (B)	4.32×10^{-4}	$\mathrm{N \cdot m \cdot s/rad}$
ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J)	7.49×10^{-4}	$\mathrm{kg \cdot m^2}$

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์โดยการเทียบเคียง จะคำนวณเทียบเคียงจากค่าพิกัดกำลังงานของมอเตอร์ทั้งสอง ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการหาด้วยวิธีนี้ คือ ค่าคงที่ของมอเตอร์ (k) ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด (B) และค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J) สามารถแสดงการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้ดังนี้

เมื่อ R_u เป็นค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย
R_c เป็นค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ที่ใช้เทียบเคียง
k_u เป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย
k_c เป็นค่าคงที่ของมอเตอร์ที่ใช้เทียบเคียง
B_u ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืดที่ใช้ในงานวิจัย
B_c เป็นค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืดที่ใช้เทียบเคียง
J_u เป็นค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย
J_c เป็นค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ที่ใช้เทียบเคียง

- การคำนวณหาค่าคงที่ของมอเตอร์ (k)

การคำนวณหาค่า k สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3-1)

$$k_u = \frac{R_u}{R_c} \times k_c \tag{3-1}$$

แทนค่าพารามิเตอร์ในสมการที่ (3-1) จะได้ค่าคงที่ดังนี้

$$k_u = \frac{0.3}{1.4} \times 0.095 = 0.02 \quad \mathrm{N \cdot m/A}$$

- การคำนวณหาค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด (B)

การคำนวณหาค่า B สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3-2)

$$B_u = \frac{R_u}{R_c} \times B_c \tag{3-2}$$

แทนค่าพารามิเตอร์ในสมการที่ (3-2) จะได้ค่าคงที่ดังนี้

$$B_u = \frac{0.3}{1.4} \times 4.32 \times 10^{-4} = 9.257 \times 10^{-5} \quad \mathrm{N \cdot m \cdot s/rad}$$

- การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J)
การคำนวณหาค่า J สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3-3)

$$J_u = \frac{R_u}{R_c} \times J_c \tag{3-3}$$

แทนค่าพารามิเตอร์ในสมการที่ (3-3) จะได้ค่าคงที่ดังนี้

$$J_u = \frac{0.3}{1.4} \times 7.49 \times 10^{-4} = 1.605 \times 10^{-4} \quad \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

จากการหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย ทั้งการหาค่าจากเอกสารข้อมูล การวัดค่า และการคำนวณเทียบเคียงสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.4 ดังนี้

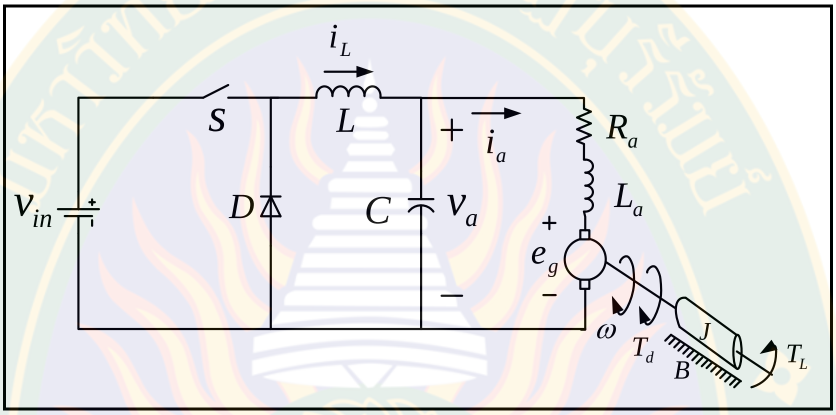
ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์	**ขนาด**	**หน่วย**
พิกัดกำลังงาน	500	W
พิกัดความเร็ว	3000	rpm
แรงดันอาร์เมเจอร์ (v_a)	24	V
กระแสอาร์เมเจอร์ (i_a)	27	A
ค่าความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ (R_a)	0.3	Ω
ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรอาร์เมเจอร์ (L_a)	0.151	mH
ค่าคงที่ของมอเตอร์ (k)	0.02	$\text{N} \cdot \text{m/A}$
ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด (B)	9.257×10^{-5}	$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s/rad}$
ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J)	1.605×10^{-4}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$

3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า

ระบบขับเคลื่อนของรถโกคาร์ทไฟฟ้าที่พิจารณาแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง วงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ โดยวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์จะเชื่อมต่อกับวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าเป็นแบบจำลองที่ขึ้นกับเวลา เนื่องจากผลของการสวิตช์ชิงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในวงจรแปลงผันแบบ

ชอปเปอร์ ทำให้ระบบที่พิจารณามีความยุ่งยากและซับซ้อนในการนำมาวิเคราะห์ จากปัญหาดังกล่าว จึงได้นำวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไปมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบขับเคลื่อนของรถโกคาร์ทไฟฟ้า เนื่องจากวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไปสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบได้ถูกต้อง มีความซับซ้อนน้อยและเพื่อเป็นการขจัดผลของการสวิตช์ที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ไม่ขึ้นกับเวลา



รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในรูปที่ 3.3 โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป (Mahdavi and other,1997) จะเริ่มต้นจากการพิจารณาสัญญาณ $f(t)$ ใด ๆ ที่เป็นสัญญาณรายคาบ ซึ่งมีคาบเป็น T สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอนุกรมฟูริเยร์เชิงซ้อน (complex Fourier series) ได้ตามสมการที่ (3-4)

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \langle x \rangle_k (t) e^{jk\omega_s t} \qquad (3\text{-}4)$$

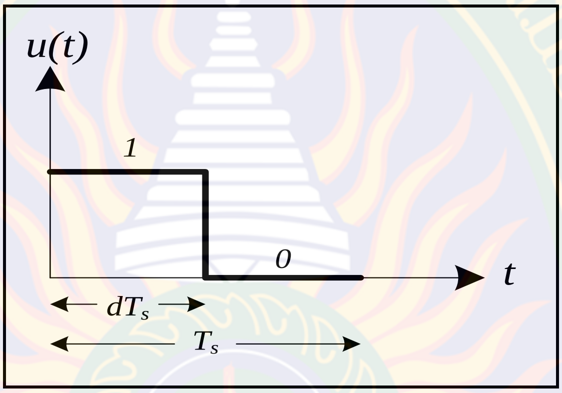
เมื่อ $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$ และกำหนดให้ $\langle x \rangle_k (t)$ คือ สัมประสิทธิ์ฟูริเยร์เชิงซ้อน (complex Fourier coefficient) ซึ่งมีลักษณะดังสมการที่ (3-5) เมื่อ T คือ คาบทางเวลา k คือ ค่าอันดับ

$$\langle x \rangle_k (t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^{t} f(t) e^{-jk\omega_s t} dt \qquad (3\text{-}5)$$

และจากสมการที่ (3-5) สามารถนำมาใช้ในการหาสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์เชิงซ้อนของฟังก์ชันการสวิตช์ได้ตามสมการที่ (3-6)

$$\langle u \rangle_k = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)e^{-jk\omega_S t}dt \qquad (3\text{-}6)$$

ซึ่งฟังก์ชันการสวิตช์ของระบบที่พิจารณา มีลักษณะของรูปสัญญาณดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ฟังก์ชันการสวิตช์

จากรูปที่ 3.4 กำหนดให้มีเงื่อนไขของฟังก์ชันการสวิตช์ตามสมการที่ (3-7)

$$u(t) = \begin{cases} 1, 0 < t < dT_s \\ 0, dT_s < t < T_s \end{cases} \qquad (3\text{-}7)$$

เมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขของฟังก์ชันการสวิตช์ข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการหาสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์เชิงซ้อนของฟังก์ชันการสวิตช์ได้ตามสมการที่ (3-8)

$$\langle u \rangle_k = \frac{1}{T_s}\int_0^{T_S} u(t)e^{-jk\omega_S t}dt \qquad (3\text{-}8)$$

โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า $k = 0$ ซึ่งสื่อความหมาย คือ ไม่พิจารณาการสั่นไกวของสัญญาณ หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นการประมาณค่าอันดับศูนย์ (zero-order approximation) ดังนั้น

เมื่อแทนค่า $k=0$ ในสมการที่ (3-8) จะได้สัมประสิทธิ์ฟูริเยร์เชิงซ้อนของฟังก์ชันการสวิตช์ตามสมการที่ (3-9)

$$\langle u \rangle_0 = d \tag{3-9}$$

เมื่อ d คือ วัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) ของฟังก์ชันการสวิตช์ และกำหนดให้สัมประสิทธิ์ฟูริเยร์เชิงซ้อนของฟังก์ชันการสวิตช์ทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ คือ u_1 ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3-10)

$$\langle u_1 \rangle_0 = d_1 \tag{3-10}$$

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป เป็นการใช้สัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ของตัวแปรสถานะของวงจรมาเป็นตัวแปรสถานะของแบบจำลอง ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากวงจรสมมูลของวงจรไฟฟ้าในรูปที่ 3.3 พบว่าตัวแปรสถานะของวงจร คือ $\dot{i}_L$, $\dot{v}_a$, $\dot{i}_a$, และ $\dot{\omega}$ จากวงจรสมมูลในรูปที่ 3.3 สามารถหาสมการอนุพันธ์ของตัวแปรสถานะโดยใช้กฎแรงดันและกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ได้ดังนี้

วงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ที่ต่อทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์

การหาสมการอนุพันธ์ของ $\dot{i}_L$ ของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ตามรูปที่ 3.2 จะใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ดังสมการที่ (3-11) จากสมการดังกล่าวแทนค่า $v_L = L\dot{i}_L$ จะได้ดังสมการที่ (3-12) และจัดเทอมสมการดังกล่าวใหม่จะได้สมการอนุพันธ์ของ $\dot{i}_L$ ดังสมการที่ (3-13)

$$+v_{L_1} + v_a - v_{in}u(t) = 0 \tag{3-11}$$

$$L\dot{i}_L + v_a - v_{in}u(t) = 0 \tag{3-12}$$

$$\dot{i}_L = -\frac{1}{L}v_a + \frac{1}{L}v_{in}u(t) \tag{3-13}$$

การหาสมการอนุพันธ์ของ $\dot{v}_a$ ในวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์จะใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ดังสมการที่ (3-14) จากสมการดังกล่าวแทนค่า $i_C = C\dot{v}_a$ จะได้ดังสมการที่ (3-15) และจัดเทอมสมการดังกล่าวใหม่จะได้สมการอนุพันธ์ของ $\dot{v}_a$ ดังสมการที่ (3-16)

$$+i_L - i_C - i_a = 0 \tag{3-14}$$

$$+i_L - C\dot{v}_a - i_a = 0 \tag{3-15}$$

$$\dot{v}_a = \frac{1}{C} i_L - \frac{1}{C} i_a \tag{3-16}$$

ในส่วนของการหาสมการอนุพันธ์ $\dot{i}_a$ จะพิจารณาทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ที่ต่ออยู่กับวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ โดยใช้กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ได้ดังสมการที่ (3-17) จากสมการดังกล่าวแทนค่า $v_{R_a} = i_a R_a$, $v_{L_a} = L_a \dot{i}_a$ และ $e_g = k\omega$ จะได้ดังสมการที่ (3-18) และจัดเทอมสมการดังกล่าวใหม่จะได้สมการอนุพันธ์ของ $\dot{i}_a$ ดังสมการที่ (3-19)

$$+v_{R_a} + v_{L_a} + e_g - v_a = 0 \tag{3-17}$$

$$i_a R_a + L_a \dot{i}_a + k\omega - v_a = 0 \tag{3-18}$$

$$\dot{i}_a = \frac{1}{L_a} v_a - \frac{R_a}{L_a} i_a - \frac{k}{L_a} \omega \tag{3-19}$$

สมการทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

การหาสมการอนุพันธ์ $\dot{\omega}$ จะพิจารณาจากสมการทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรที่ได้มีการอธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 ดังสมการที่ (3-20) จากสมการดังกล่าวแทนค่า $T_d = k i_a$ และ $J\frac{d\omega}{dt} = J\dot{\omega}$ จะได้ดังสมการที่ (3-21) และจัดเทอมสมการใหม่จะได้สมการอนุพันธ์ของ $\dot{\omega}$ ดังสมการที่ (3-22)

$$T_d = J\frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \tag{3-20}$$

$$ki_a = J\dot{\omega} + B\omega + T_L \tag{3-21}$$

$$\dot{\omega} = \frac{k}{J}i_a - \frac{B}{J}\omega - \frac{1}{J}T_L \tag{3-22}$$

การหาสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ของตัวแปรสถานะของแบบจำลอง จะพิจารณาจากคุณสมบัติของสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์เชิงซ้อนตามสมการที่ (3-23)

$$\frac{d\langle x\rangle_k}{dt} = \left\langle \frac{dx}{dt} \right\rangle_k - jk\omega_s\langle x\rangle_k \tag{3-23}$$

ดังนั้นในการทำให้ตัวแปรสถานะของวงจร คือ $\dot{i}_L$, $\dot{v}_a$, $\dot{i}_a$ และ $\dot{\omega}$ เป็นตัวแปรสถานะของแบบจำลอง จะใช้คุณสมบัติของสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ตามสมการที่ (3-23) และข้อกำหนดที่ไม่พิจารณาการสั่นไกวของสัญญาณ โดยการแทนค่า $k = 0$ ในสมการที่ (3-23) จะได้ $i_L = \langle i_L\rangle_0 = x_1$, $v_a = \langle v_a\rangle_0 = x_2$, $i_a = \langle i_a\rangle_0 = x_3$ และ $\omega = \langle \omega\rangle_0 = x_4$ โดยที่ค่า x_1, x_2, x_3 และ x_4 เป็นตัวแปรสถานะของระบบที่พิจารณา และจากนั้นแทนตัวแปรสถานะของระบบที่พิจารณาลงในสมการอนุพันธ์ของแบบจำลองในสมการที่ (3-13), (3-16), (3-19) และ (3-22) จะได้ตัวแปรสถานะของแบบจำลองตามสมการที่ (3-24) ถึง (3-27) ดังนี้

$$\dot{x}_1 = -\frac{1}{L}x_2 + \frac{d_1}{L} \tag{3-24}$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{C}x_1 - \frac{1}{C}x_3 \tag{3-25}$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{L_a}x_2 - \frac{R_a}{L_a}x_3 - \frac{k}{L_a}x_4 \tag{3-26}$$

$$\dot{x}_4 = \frac{k}{J}x_3 - \frac{B}{J}x_4 - \frac{1}{J}T_L \tag{3-27}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (3-24) ถึง (3-27) สามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าได้ตามสมการที่ (3-28) และ (3-29) ตามลำดับ

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} \tag{3-28}$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du} \tag{3-29}$$

เมื่อกำหนดให้ $x = [x_1\ x_2\ x_3\ x_4]^T$

$u = [v_{in}\ T_L]^T$

$y = [x_1\ x_2\ x_3\ x_4]$

สำหรับเมตริกซ์ Ax, Bx, Cx และ Dxเป็นตามสมการที่ (3-30) ถึง (3-33) ตามลำดับ

$$\mathrm{A} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{L_1} & 0 & 0 \\ \frac{1}{C} & 0 & \frac{-1}{C} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_a} & \frac{-R_a}{L_a} & \frac{-k}{L_a} \\ 0 & 0 & \frac{k}{J} & \frac{-B}{J} \end{bmatrix} \tag{3-30}$$

$$\mathrm{B} = \begin{bmatrix} \frac{d_1}{L} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{J} \end{bmatrix} \tag{3-31}$$

$$\mathrm{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3-32}$$

$$\mathrm{D} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{3-33}$$

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายเกี่ยวกับวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรที่นำมาใช้ในรถโกคาร์ทไฟฟ้า ที่มีทั้งการหาค่าพารามิเตอร์จากการใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและหาด้วยวิธีเทียบเคียงกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีชนิดเหมือนกันแต่พิกัดต่างกัน และยังได้หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าที่ได้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ไม่ขึ้นกับเวลา ซึ่งจะได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวไปใช้ในการจำลองสถานการณ์เทียบกับการจำลองสถานการณ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในบทที่ 4

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องก่อนที่จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้ในการจำลองสถานการณ์หรือนำไปวิเคราะห์เสถียรภาพการทำงานของระบบ ดังนั้น จึงได้นำเสนอการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ (3-30) ถึง (3-33) ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าในรูปที่ 3.3 การตรวจสอบความถูกต้องจะดำเนินการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์ที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) กับผลการจำลองสถานการณ์ผ่านระบบจริง (Exact topology model) โดยใช้โปรแกรม Simulink ของ MATLAB ซึ่งการจำลองสถานการณ์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าจะใช้ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงตามตารางที่ 4.1 ซึ่งได้มีการอธิบายรายละเอียดของค่าต่าง ๆ ไว้แล้วในบทที่ 3 โดยการจำลองสถานการณ์ได้กำหนดจุดการทำงานของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าออกเป็น 2 จุดการทำงานดังนี้

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสแบบแม่เหล็กถาวร

พารามิเตอร์	ขนาด	หน่วย
พิกัดกำลังงาน	500	W
พิกัดความเร็ว	3000	rpm
แรงดันอาร์เมเจอร์ (v_a)	24	V
กระแสอาร์เมเจอร์ (i_a)	27	A
ค่าความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ (R_a)	0.3	Ω
ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรอาร์เมเจอร์ (L_a)	0.151	mH
ค่าคงที่ของมอเตอร์ (k)	0.02	$\mathrm{N \cdot m/A}$
ค่าคงที่เนื่องจากความเสียดทานความหนืด (B)	9.257×10^{-5}	$\mathrm{N \cdot m \cdot s/rad}$
ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทั้งหมดของมอเตอร์ (J)	1.605×10^{-4}	$\mathrm{kg \cdot m^2}$

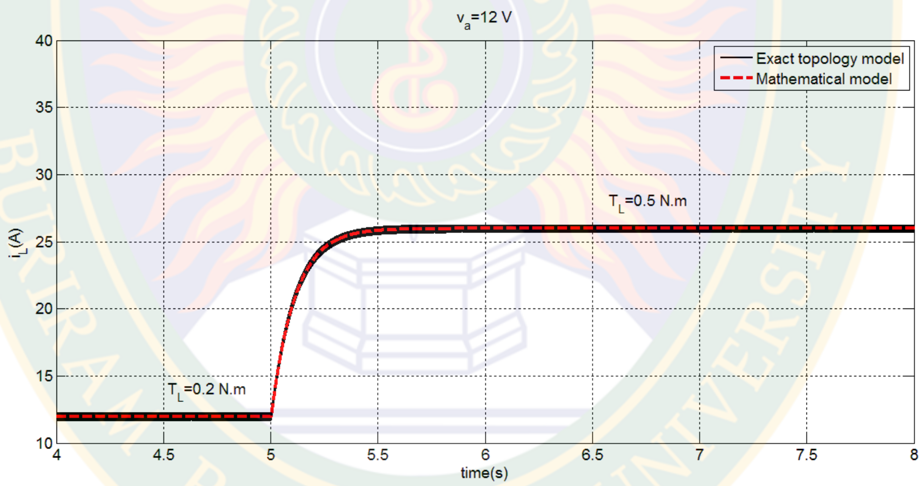
จุดการทำงานที่ 1

การจำลองสถานการณ์ของจุดการทำงานที่ 1 กำหนดเงื่อนไขในการจำลองสถานการณ์ดังนี้ ค่าแรงดันอินพุตของวงจรอาร์เมเจอร์เท่ากับ 12 V มีช่วงการเปลี่ยนแปลงแรงบิดโหลดจาก 0.2 N.m เป็น 0.5 N.m ที่เวลา 5 วินาที และค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์มีค่าตามตารางที่ 4.2 ดังนี้

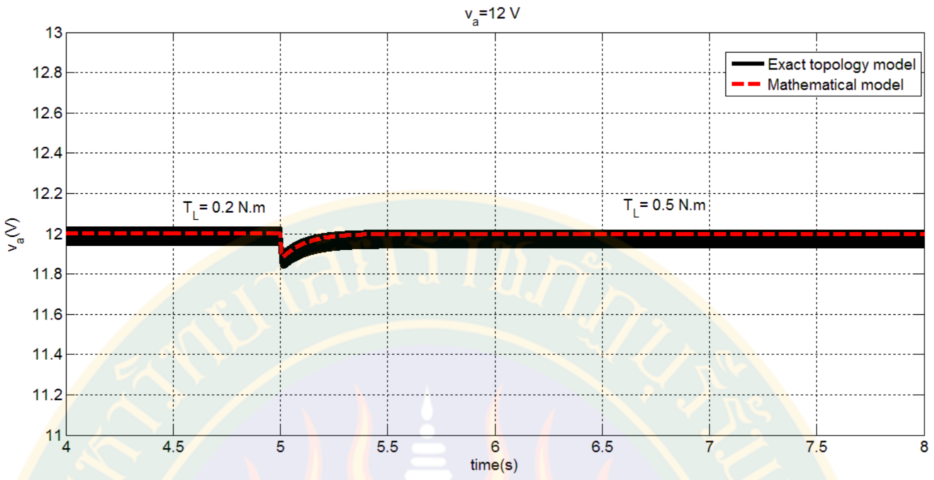
ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์

พารามิเตอร์	ขนาด	หน่วย
ค่าความเหนี่ยวนำ (L)	1	mH
ค่าตัวเก็บประจุ (C)	100	μF

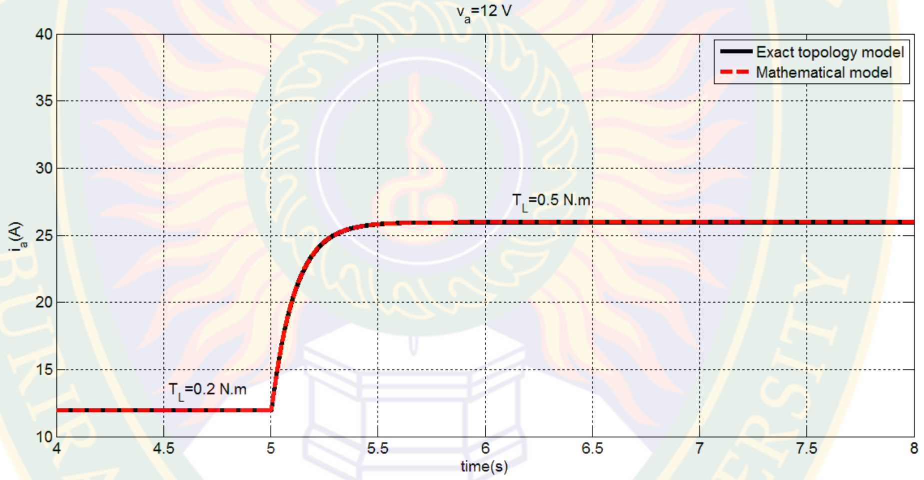
ผลการจำลองสถานการณ์การทำงานของรถโกคาร์ทไฟฟ้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ผ่านระบบจริงโดยใช้โปรแกรม Simulink ของ MATLAB สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.4 ดังนี้



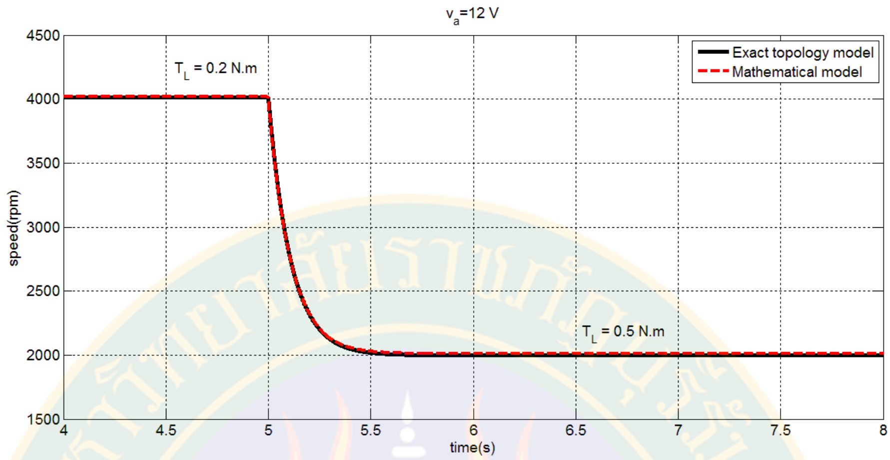
รูปที่ 4.1 ผลการตอบสนองของกระแสที่ไหลผ่านความเหนี่ยวนำทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์
กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.2 N.m เป็น 0.5 N.m



รูปที่ 4.2 ผลการตอบสนองของแรงดันอาร์เมเจอร์กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.2 N.m เป็น 0.5 N.m



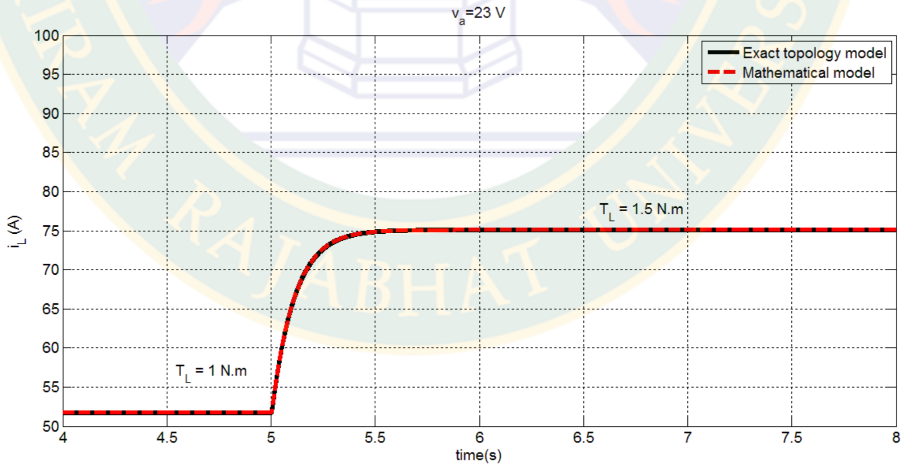
รูปที่ 4.3 ผลการตอบสนองของกระแสอาร์เมเจอร์กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.2 N.m เป็น 0.5 N.m



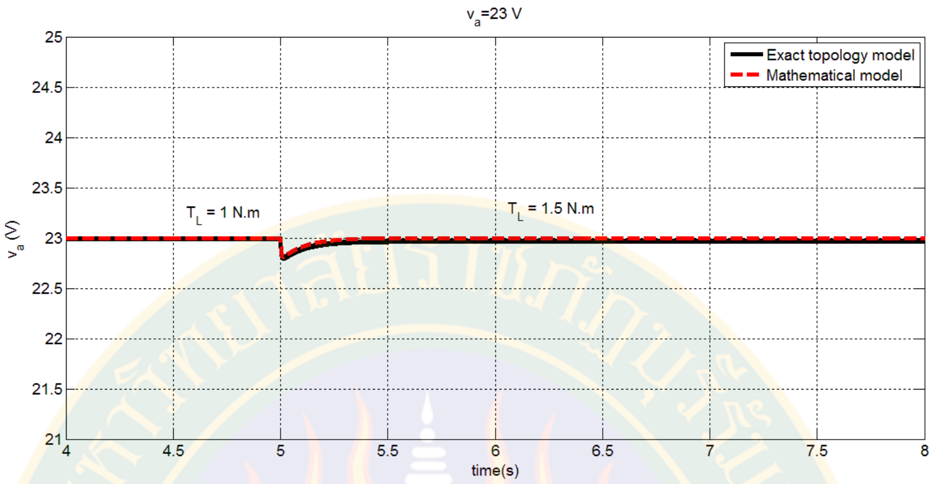
รูปที่ 4.4 ผลการตอบสนองของความเร็วรอบกรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.2 N.m เป็น 0.5 N.m

จุดการทำงานที่ 2

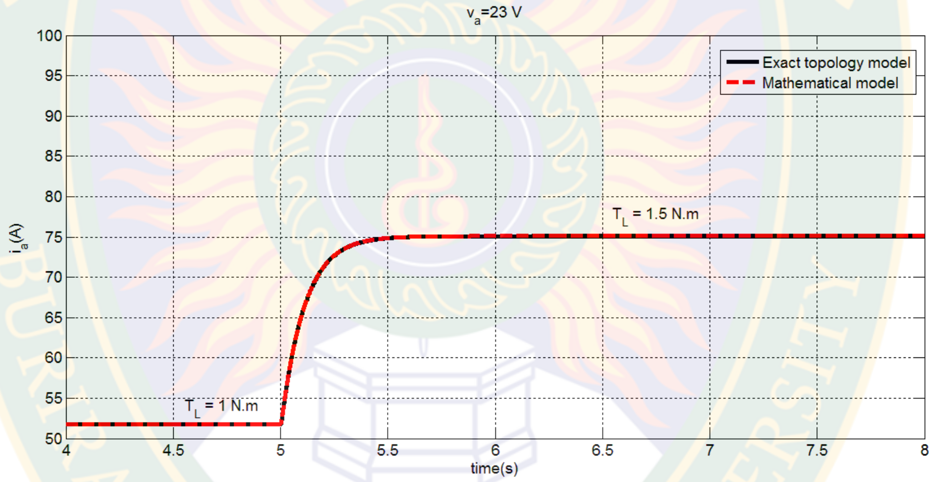
การจำลองสถานการณ์ของจุดการทำงานที่ 2 กำหนดเงื่อนไขในการจำลองสถานการณ์ดังนี้ ค่าแรงดันอินพุตของวงจรอาร์เมเจอร์เท่ากับ 23 V มีช่วงการเปลี่ยนแปลงแรงบิดโหลดจาก 1 N.m เป็น 1.5 N.m ที่เวลา 5 วินาที และค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ใช้ตามตารางที่ 4.2 ดังนั้น เมื่อนำเงื่อนไขดังกล่าวไปจำลองสถานการณ์ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นผลของการจำลองสถานการณ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ผ่านระบบจริง โดยใช้โปรแกรม Simulink ของ MATLAB สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.8 ดังนี้



รูปที่ 4.5 ผลการตอบสนองของกระแสที่ไหลผ่านความเหนี่ยวนำทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 N.m เป็น 1.5 N.m

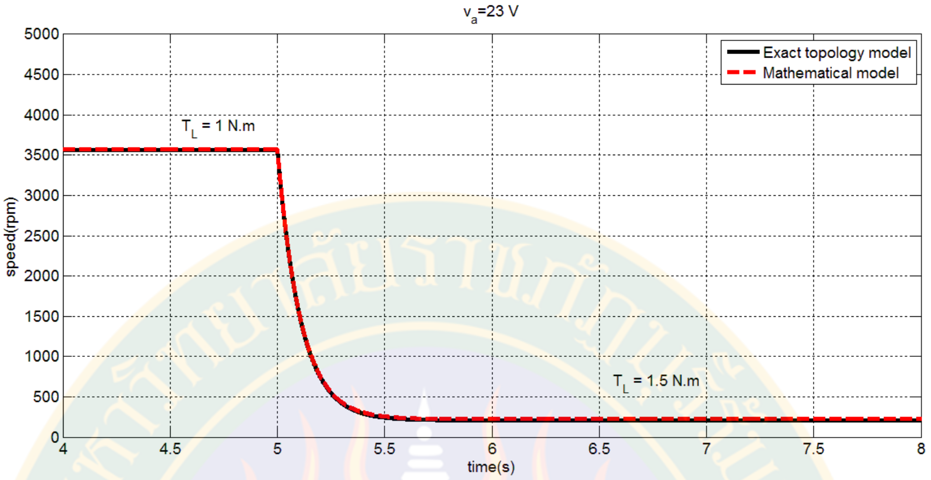


รูปที่ 4.6 ผลการตอบสนองของแรงดันอาร์เมเจอร์กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 N.m เป็น 1.5 N.m



รูปที่ 4.7 ผลการตอบสนองของกระแสอาร์เมเจอร์กรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 N.m เป็น 1.5 N.m

BURIRAM RAJABHAT UNIVERSITY



รูปที่ 4.8 ผลการตอบสนองของความเร็วรอบกรณีแรงบิดโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 N.m เป็น 1.5 N.m

4.2 สรุป

จากผลการจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าทั้ง 2 จุดการทำงานที่แสดงดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการจำลองสถานการณ์ผ่านระบบจริง โดยใช้โปรแกรม Simulink ของ MATLAB จะเห็นได้ว่าผลการจำลองสถานการณ์นั้นมีความคล้ายคลึงกันทั้งสภาวะชั่วครู่และสถานะคงตัว แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าที่ได้ดำเนินการหาด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไปนั้นมีความถูกต้อง และสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์เสถียรภาพการทำงานของรถโกคาร์ทไฟฟ้าต่อไปได้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไปและนำมาจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB และ Simulink เพื่อเป็นการพิจารณาลักษณะการทำงานในเบื้องต้นของระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้ารวมทั้งเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่หาด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป ซึ่งการดำเนินงานวิจัยดังกล่าวสำเร็จลุล่วงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 ได้นำเสนอความสำคัญและที่มาของปัญหาในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า นอกจากนี้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความจำเป็นที่ต้องทราบถึง สมการพื้นฐานของมอเตอร์ วงจรที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการนำกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดดังกล่าวได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2

บทที่ 3 เป็นการนำเสนอการหาพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วิธีการเทียบเคียงจากพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเดียวกัน เนื่องจากไม่มีข้อมูลของค่าพารามิเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากทางบริษัทผู้ผลิต จึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้ข้อมูลของมอเตอร์ชนิดเดียวกันและมีพิกัดใกล้เคียงกันเพื่อนำมาเทียบเคียงหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว และดำเนินการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไป ซึ่งระบบขับเคลื่อนของรถโกคาร์ทไฟฟ้าที่พิจารณาประกอบด้วย วงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ ที่ต่อทางด้านวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรซึ่งมีแหล่งจ่ายเป็นแบตเตอรี่ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าที่ได้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ไม่ขึ้นกับเวลา

บทที่ 4 เป็นการจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าทั้ง 2 จุดการทำงาน ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการจำลองสถานการณ์ผ่านระบบจริง โดยใช้โปรแกรม Simulinkของ MATLAB ซึ่งผลการจำลองสถานการณ์พบว่ามีความคล้ายคลึงกันทั้งสภาวะชั่วครู่และสถานะคงตัว แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบขับเคลื่อนรถโกคาร์ทไฟฟ้าที่ได้ดำเนินการหาด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไปนั้นมีความถูกต้อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิเคราะห์เสถียรภาพการทำงานของรถโกคาร์ทไฟฟ้า เนื่องจากในการใช้งานรถโกคาร์ทไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตและแรงบิดที่โหลดของมอเตอร์ รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ของความเหนี่ยวนำและตัวเก็บประประจุในวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการทำงานของระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้าได้

บรรณานุกรม

ภูริชญ์ งามคง. “**การควบคุมความเร็วและการวิเคราะห์เสถียรภาพของรถไฟฟ้า**”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556

Chapman, S. J. (1999). **ELECTRIC MACHINERY FUNDAMENTALS.** Boston : McGraw-Hill.

Mahdavi, J., Emadi, A., Bellar, M.D., and Ehsani, M. (1997). **Analysis of Power Electronic Converters Using the Generalized State Space Averaging Approach.** IEEE Trans. on Circuit and Systems. vol.44 767-770.

Rashid, M.H.(2004). **Power electronics circuit, devices, and application.** USA: Pearson Mahdavi, J., Emadi, A., Bellar, M.D., and Ehsani, M. (1997). Analysis of Power Electronic

Shahgholian, G., and Shafaghi P. (2010). **State Space Modeling and Eigenvalue Analysis of the Permanent Magnet DC Motor Drive System**. Electronic Computer Technology (ICECT). 63-67.

ภาคผนวก ก

การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
BURIRAM RAJABHAT UNIVERSITY

การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์

การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ของระบบขับเคลื่อนรถไฟฟ้าในบทที่ 3 จะกำหนดค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบดังนี้

- แรงดันไฟฟ้าอินพุตของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ (V_{in}) เท่ากับ 24 V
- แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ (V_o) เท่ากับ 12 V
- ค่าความถี่ของการสวิตช์ (f_s) เท่ากับ 10 kHz
- ค่าความเหนี่ยวนำ (L) ที่ต่ออนุกรมในวงจรเพื่อปรับกระแสพลิ้ว (ripple current : ΔI) ของกระแสเอาต์พุตให้เรียบ โดยกำหนดให้กระแสพลิ้วเท่ากับ ΔI = 0.6 A
- ค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่ต่อขนานกับโหลดเพื่อปรับแรงดันพลิ้ว (ripple voltage : ΔV) ของแรงดันเอาต์พุตให้เรียบ โดยจะกำหนดให้แรงดันพลิ้วเท่ากับ ΔV = 0.075 V

จากข้อกำหนดในเบื้องต้นสามารถคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ได้ตามขั้นตอนดังนี้ (Rashid, 2004)

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$L = \frac{V_o(V_{in} - V_o)}{f_s \Delta I V_{in}} \tag{1}$$

เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนดมาในสมการที่ (1) จะได้ค่า $L = 1$ mH

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ สมารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2)

$$C = \frac{V_o(V_{in} - V_o)}{8L\Delta V f_s^{\,2} V_{in}} \tag{2}$$

แทนค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จากการออกแบบและค่าจากข้อกำหนดในข้างต้นลงในสมการที่ (2) จะได้ค่า $C = 100\ \mu$F

จากการออกแบบหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์เพื่อนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์ในบทที่ 4 ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุที่ได้จะนำไปใช้ในวงจรแปลงผันแบบชอปเปอร์ทั้งที่ต่ออยู่กับวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. **ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)** นายภูริชญ์ งามคง

(ภาษาอังกฤษ) Mr.Phurich Ngamkong

2. **เลขที่ประจำตัวประชาชน** 1-3113-00009-61-1

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์

4. **หน่วยงานที่สังกัด** สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ เลขที่ 439 ถ.จิระ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ 31000

โทรศัพท์ 044-611221 ต่อ 3400 โทรสาร 044-612858

โทรศัพท์เคลื่อนที่ 086-6490981

Email: B4808015@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ระบบควบคุม เครื่องจักรกลไฟฟ้า

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

- หัวหน้าโครงการวิจัย วิจัยเรื่อง "Application of the Generalized State –Space Averaging Method to Modelling of DC-DC Power Converters"