อุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์
DC Voltage Boot Circuit Device to Enable the Voltage on the Inverter Motor Driving

ธนพล แก้วคำแจ้ง[1*], วกร สีสัมฤทธิ์[2], ปริญญา โพธิหล้า[3] และ พนมเดช นพอาจ[4]

Thanapon Keokhumcheng[1*], Waworn Seesumrit[2], Prarinya Phpthila[3] and Phanomdet Noppaart[4]

*[*1234]สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคหนองบัวลำภู สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 จังหวัดหนองคาย 43000*

*[*1234]Field of Electronic Technology, Nongbualumphu Technical College, Institute of Vocational Education : Northeastern Region 1, Nongkhai 43000*

Received : 2021-05-01 Revised : 2021-06-05 Accepted : 2021-06-10

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อสร้างอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ โดยการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าไฟฟ้าตรงด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาดูโน่นาโน แล้วทำการศึกษาความพึงพอใจในการใช้งานเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ ให้มีค่าระดับแรงดันเอาต์พุตคงที่อยู่ที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าไฟฟ้าตรง 300 โวลต์ โดยที่จะทำการปรับระดับรักษาแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเอาท์พุตให้คงที่ตลอดการใช้งาน ในขณะที่แรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงที่อินพุตอาจมีระดับแรงดันไม่คงที่ หรือ มีระดับแรงดันอินพุตมีขนาดต่ำกว่า 100 โวลต์ อุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์จะหยุดทำงาน

งานวิจัยนี้จะเป็นการหาความพึงพอใจของอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์โดยมีผลออกมาในการทดลองใช้งานของโครงการ การศึกษาและหาความพึงพอใจอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ อยู่ในระดับมาก มีค่าสถิติดังนี้ ($\overline{X}$ =4.73, S.D. =0.65)

*ธนพล แก้วคำแจ้ง

E-mail : *kpongthanaponok@gmail.com.*

Abstract

This research aims to create a DC voltage boot circuit device to provide the voltage at the inverter for motor driving by controlling the DC voltage level with micro controller Arduino NANO. In addition, a study of satisfaction Satisfied in use was conducted. To provide the designed motor drive voltage keep the output voltage level constant at the pressure level DC 300 volts, which will adjust the level to keep the output DC voltage constant throughout use. While the DC voltage at the input may be unstable or the input voltage level is less than 100 volts. The DC voltage boot circuit device to provide voltage to the inverter. Drive motor will stop working.

This research found the satisfaction of the DC voltage boot circuit device to provide the voltage at the inverter to drive the motor. The results came out in the trial work of the

project; education and satisfaction are in good level ($\overline{X}$ = 4.73, S.D. = 0.65)

Keywords : Inverter Motor, Satisfaction

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลังงานทดแทนหรือพลังงานสะอาด เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังเป็นที่นิยมและหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนให้ความสนใจในหลาย ๆ ปีที่ผ่านมาวิกฤตการโลกร้อนทำให้มีหลายองค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนได้ส่งเสริมและทำวิจัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่มีผลงานวิจัยเป็นที่ยอมรับในหลายรูปแบบ โดยเป็นอีกหนึ่งช่องทางของพลังงานทางเลือกเป็นพลังงานไฟฟ้าในอนาคต เพื่อทดแทนการใช้พลังงานที่ใช้กันมาในระยะเวลาที่ยาวนาน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ในปัจจุบันประเทศไทย ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีในการนำเอาความร้อนของแสงอาทิตย์มาใช้ให้เป็นประโยชน์ ซึ่งเป็นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้โดยตรงที่มิต้องอาศัยเทคโนโลยีสูงหรือสลับซับซ้อนนัก และการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ทำได้ 2 วิธีคือ 1) การเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าโดยตรง และ 2) ใช้ความร้อนของแสงอาทิตย์ไปต้มน้ำหรือทำให้ก๊าซร้อน แล้วใช้ไอน้ำร้อนหรือก๊าซร้อนไปทำให้เทอร์ไบน์หรือกังหันใบพัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนอีกต่อหนึ่ง ในการเลือกใช้พลังงานงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้านั้น จะเป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าร์เซลล์ (Solar Cell) โดยจะได้พลังงานไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรง จากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอร์รี่ การนำไปใช้งานจึงต้องนำมาแปลงมาเป็นไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าสลับเสียก่อน โดยนำมาต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เรียกว่า อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้ก็จะมีการสูญเสียจากการแปลงกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสไฟฟ้าสลับ ทำให้ลดทอนประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าลงไป จากปัญหาที่เกิดขึ้นทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาระบบการชดเชยการลดทอนประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตดังกล่าว โดยการศึกษาและออกแบบการทำงานจากการใช้อุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการจ่ายไฟให้กับไมโครสวิตชิ่ง (Micro Switching) เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ลดทอนประสิทธิภาพการผลิต

จึงได้เกิดเป็นแนวคิดในการศึกษาและหาความพึงพอใจ[1] อุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ ทางการเรียนรู้เน้นในทักษะด้านความสามารถการใช้ และสามารถใช้งานได้จริง อันจะนำไปสู่การลงมือปฏิบัติจริงได้ ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนแก่นักเรียน นักศึกษา และสามารถใช้งานได้จริง อีกทั้งเพื่อศึกษาการพัฒนาและหาความพึงพอใจ[2] อุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์

1.2 ลักษณะของงานวิจัย

เพื่อสร้างอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ โดยการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาดูโน่นาโน แล้วทำการศึกษาความพึงพอใจในการใช้งานเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ ให้มีค่าระดับแรงดันเอาต์พุตคงที่อยู่ที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงขนาดแรงดัน 300 โวลต์ จากกลุ่มตัวอย่าง 20 คน ด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) จากประชากร 43 คน

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อสร้างอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ให้สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิทยาลัยเทคนิคหนองบัวลำภู

1.3.2 เพื่อหาความพึงใจของอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

อุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพ สำหรับใช้เรียนเพิ่มเติมจากผู้เรียน และ ผู้ที่สนใจ โดยเป็นการสร้างและนำไปศึกษาเพื่อหาความพึงพอใจ ในด้านของอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ อยู่ในเกณฑ์ดี

โดยการวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งเกณฑ์ความ พึงพอใจออกเป็น 2 ด้าน คือ

1.4.1 ด้านในการทดลองใช้งานของโครงการ

1.4.2 ด้านการอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพให้สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิทยาลัยเทคนิคหนองบัวลำภู

1.5.2 สามารถนำอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์มอเตอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพให้สามารถใช้งานได้จริง

1.5.3 ความพึงพอใจของอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพ ของผู้เรียนและผู้ที่สนใจ

1.6 การดำเนินการ

1.6.1 ศึกษาข้อมูลการทำงานของอินเวอร์เตอร์และการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรง

1.6.2 ทำการศึกษาโครงสร้างการทำงานของ Arduino NANO

1.6.3 ออกแบบวงจรวงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์

1.6.4 ทดสอบการทำงาน โดยการนำอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ มาจ่ายแรงดันไฟฟ้าอินพุต และวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงที่เอาต์พุต ให้ได้ตามการออกแบบ

1.6.5 กำหนดกลุ่มตัวอย่าง จากผู้ที่สนใจในวิทยาลัยเทคนิคหนองบัวลำภู จำนวน 43 คน ด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง(purposive sampling) จำนวน 20 คน

1.6.6 นำไปทดลองใช้ โดยการนำอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ ไททดลองต่อกับอินเวอร์เตอร์มอเตอร์ที่ใช้งานในสภาพจริง

1.6.7 เก็บข้อมูลหาความพึงพอใจ โดยใช้แบบสอบถามจากการออกแบบ เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) 20 คน จากจำนวนผู้สนใจ จำนวน 43 คน

1.6.8 สรุปผลการทดลอง และ แก้ไขข้อผิดพลาด

1.6.9 นำเสนอเป็นต้นแบบอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์

2. ทฤษฎี

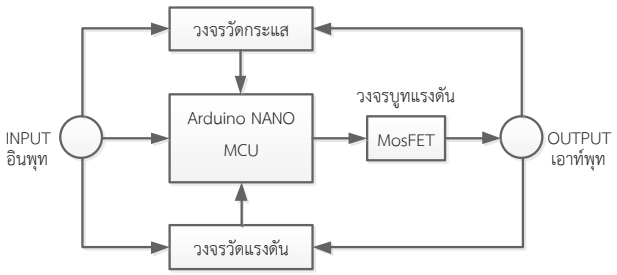
2.1 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับการแปลงแรงดัน ไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตให้มีค่ามากกว่า แรงดันทาง ด้านอินพุต ที่ป้อนเข้ามาในวงจรหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจรทบระดับ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์จะใช้มอสเฟสกำลัง (MosFET) หรือไอจีบีที (IGBT)

2.1.1 โหมด 1 เมื่อสวิตช์เปิด (Mode 1 Switch On)

2.1.2 โหมด 2 สวิตช์ปิด (Mode 2 Switch Off)

ผังการทำงานอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพโครงสร้างการทำงานอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์

จากการทำงานของวงจรทั้ง 2 โหมดนี้ทำให้เห็นได้ชัดว่าวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) จะมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดอยู่ตลอดเวลาถึงแม้ว่า จะมีบางส่วนที่สวิตช์ไม่ได้ทำงานก็ตามและจากความสัมพันธ์ของการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์(Boost Converter) ทั้ง2โหมดนี้เราสามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Va = Vs / (1-D) \quad (1)$$

เมื่อ

VS = แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรง (Dc)

D = ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle)

Va = แรงดันเอาต์พุต (Output)

2.1.3 ขณะสวิตช์นำกระแสไฟฟ้า

การทำงานของบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในสภาวะสวิตช์เปิด (Switch On) กระแสไฟฟ้าไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรง (Vin) จะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำโดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ (VL) จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย (Vin) ตามกฎแรงดันของเคอร์ชอฟตามสมการดังต่อไปนี้

$$VL = Vin = L(diL / dt) \quad (2)$$

เมื่อ

VL = แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ

Vin = แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย

L = ค่าความเหนี่ยวนำ

IL = กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

2.1.4 ขณะสวิตช์หยุดนำกระแสไฟฟ้า

ขณะสวิตช์หยุดนำกระแสไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกไบอัสไปหน้าให้นำกระแสไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้าไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมุติแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (Vo) มีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$VL = Vin - Vo \quad (3)$$

เมื่อ

VL = แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำ

Vin = แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย

VO = แรงดันไฟฟ้าที่เอาท์พุต

จากวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์จะมีค่า Duty Cycle (D) เป็นตัวกำหนดอัตราขยายแรงดันไฟฟ้า เมื่อค่า Duty Cycle เพิ่มขึ้นอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราขยายไม่เกิน 4 เท่าเพื่อให้วงจรสเถียรภาพ สามารถหาค่า Duty Cycle (D) ได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$D = [1-(Vin / Vo)] \quad (4)$$

เมื่อ

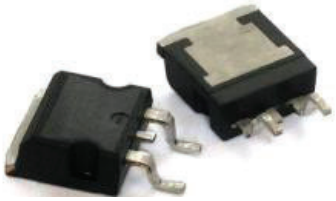
D = อัตราการเกิดรูปคลื่นสี่เหลี่ยมใน 1 วินาที

Vin = แรงดันอินพุต

VO = แรงดันเอาท์พุต

2.2 มอสเฟต

มอสเฟต (Metal–oxide–semiconductor field-effect transistor : MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้อิทธิพลสนามไฟฟ้าในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้ออกไซด์ของโลหะในการทำส่วน GATE นิยมใช้ในวงจรดิจิตอล โดยนำไปสร้างลอจิกเกตต่าง ๆ เพราะมีขนาดเล็ก



รูปที่ 2 ตัวอย่าง มอสเฟต

2.3 การทำงานวงจร Inductor

ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) บางครั้งถูกเรียกว่า คอยล์หรือรีแอคเตอร์ (coil หรือ reactor) เป็นชิ้นส่วนในวงจรไฟฟ้าแบบพาสซีฟสองขั้วไฟฟ้า (ขา) มีคุณสมบัติในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวมัน ประกอบด้วยตัวนำ เช่น ลวดทองแดงม้วนกันเป็นวงกลม เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมัน พลังงานจะถูกเก็บไว้ชั่วคราวในรูปสนามแม่เหล็กในคอยล์นั้น เมื่อกระแสไฟฟ้านั้นเปลี่ยนแปลง, สนามแม่เหล็กที่แปรตามเวลาจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าในตัวนำนั้น ตามกฎการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าของฟาราเดย์ ซึ่งจะต้านกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า

2.4 โปรแกรม Proteus 8 Professional

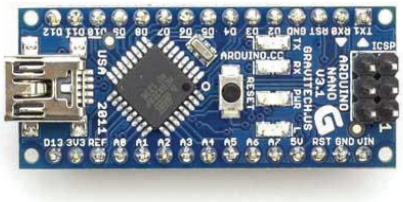
โปรแกรม Proteus สามารถออกแบบวงจรไฟฟ้า พร้อมทั้งจำลองการทำงานของวงจรได้ ทั้งยังสามารถออกแบบลายวงจรพิมพ์ได้ ความสามารถที่โดดเด่นของ Proteus นั้น เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองพฤติกรรม (Simulator) การทำงานของวงจรที่ใช้ Microcontroller เบอร์ต่าง ๆ ได้มากมาย โดยไม่ต้องสิ้นเปลืองเวลาในการประกอบวงจร และโปรแกรมที่เขียนขึ้นใช้งานได้หรือไม่ โดยวงจรและโปรแกรม (Source code) ที่ตรวจสอบด้วยโปรแกรม Proteus เป็นที่เรียบร้อยแล้วว่าถูกต้อง จากนั้นก็สามารถสร้างวงจรจริงได้ตามต้องการ

2.5 การออกแบบโปรแกรมด้วย Arduino IDE

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนางานสำหรับบอร์ด Arduino นั่นคือโปรแกรมที่เรียกว่า Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมและคอมไพล์ลงบอร์ดให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.6 บอร์ด Arduino nano

บอร์ด Arduino Nano ออกแบบมาให้มีขนาดเล็ก และใช้กับงานทั่ว ๆ ไปใช้ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ ATmega 168 หรือเบอร์ ATmega 328 โดยนำบอร์ดชนิดนี้มาใช้ในการทำงานวิจัยให้ได้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย



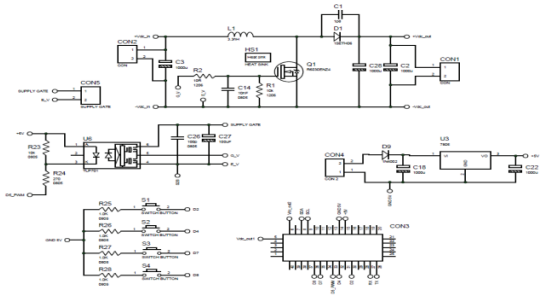
รูปที่ 3 แสดงบอร์ด Arduino Nano

3. การออกแบบ

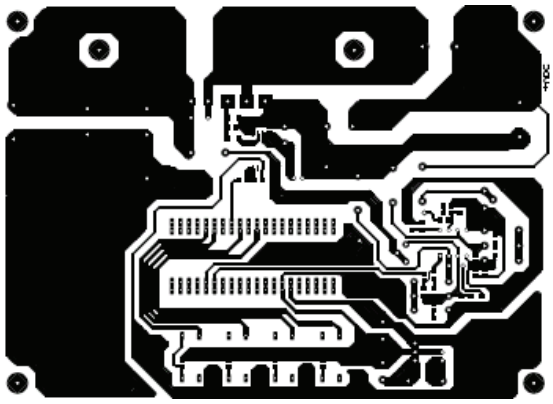
การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อสร้างอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ โดยการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาดูโน่ นาโน แล้วทำการศึกษาความพึงพอใจในการใช้งานเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ให้มีค่าระดับแรงดันเอาต์พุตคงที่อยู่ที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรง 300 โวลต์ โดยผู้จัดทำโครงการได้ดำเนินโครงการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบวงจร

ใช้โปรแกรม Proteus ทำการออกแบบลายวงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ให้สามารถทำงานได้ตามแบบที่ได้ศึกษาและออกแบบไว้

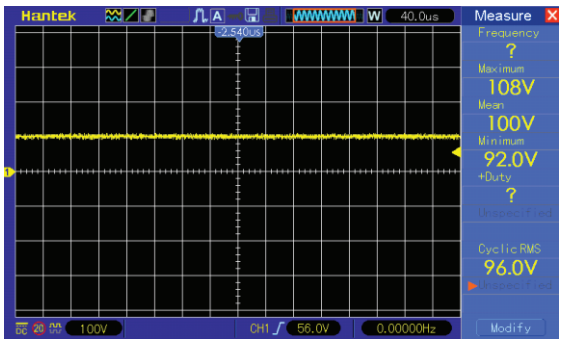


รูปที่ 4 วงจรแสดงอุปกรณ์ก่อนการออกแบบลายวงจร



รูปที่ 5 แสดงลายวงจรที่ได้จากการออกแบบวงจร

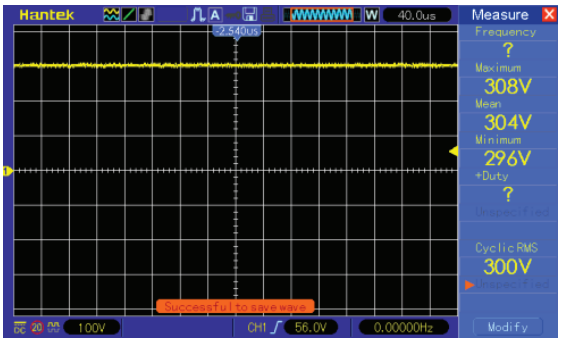
3.2 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงอินพุต สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงอินพุต จะถูกตั้งไว้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงขนาด 100 โวลต์ จะมีลักษณะดังรูปสัญญาณที่จับได้ด้วยออสซิโลสโคปโดยตั้ง Volt/Div = 100 VDC และ Time/Div = 40 uS (โหมด x10)



รูปที่ 6 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงอินพุต 100 โวลต์

3.3 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเอาต์พุต

สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเอาต์พุต จะถูกตั้งไว้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงขนาด 300 โวลต์ จะมีลักษณะดังรูปสัญญาณที่จับได้ด้วยออสซิโลสโคป โดยออสซิโลสโคปโดยตั้ง Volt/Div = 100 VDC และ Time/Div = 40 uS (โหมด x10)



รูปที่ 7 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเอาต์พุต 300 โวลต์

3.4 สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

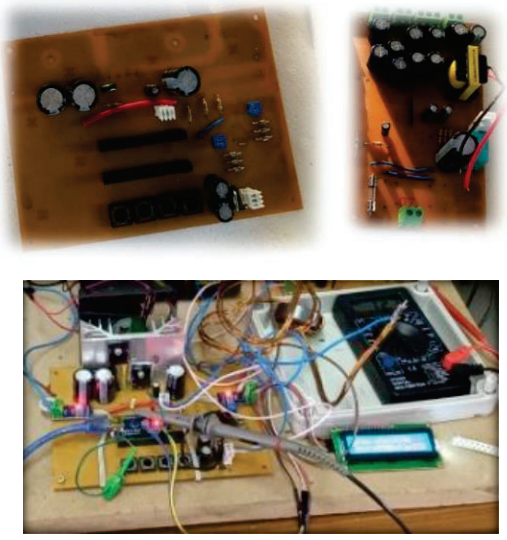
3.4.1 การสร้างเครื่องมือสำหรับการทดลองครั้งนี้ วิจัยได้แบ่งการศึกษาออกเป็นส่วน ๆ คือ อุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาประสิทธิภาพและความพึงพอใจอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ สำหรับเก็บข้อมูลโดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนิน การสร้างในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

1) ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเอา Arduino NANO มาใช้เป็นตัวตรวจสอบสถานะของกระแสไฟฟ้าและแรงดัน

2) ออกแบบวงจรวัดแรงดันในส่วนของอินพุตและเอาต์พุต

3) ใช้โมดูลวัดกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าสำเร็จรูปมาใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

4) ประกอบวงจรภายในและออกแบบบรรจุภัณฑ์ ให้สะดวกต่อการใช้งาน



รูปที่ 8 วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ขณะออกแบบทดลอง



รูปที่ 9 วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ประอบสำเร็จ



รูปที่ 10 แสดงการทำงานของหน้าปัดอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์



รูปที่ 11 ภาพแสดงการต่ออุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ นำอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ที่สร้างขึ้นมาทดสอบหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจ จากนั้นจึงอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ตามที่ได้จากการทดสอบมาทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ได้อุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ที่สมบูรณ์แบบ

3.5.1 การสร้างแบบประเมินการศึกษาหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ โดยมีการกำหนดเป็นข้อสอบถามให้เป็นไปตามต้องการ กำหนดระดับเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า ให้น้ำหนักคะแนน 5 ระดับ กล่าวคือ

ระดับคะแนน

5 หมายถึง มีประสิทธิภาพและความพึงพอใจในการทำงานระดับ มากที่สุด

4 หมายถึง มีประสิทธิภาพในการทำงานระดับ มาก

3 หมายถึง มีประสิทธิภาพและความพึงพอใจในการทำงานระดับ ปานกลาง

2 หมายถึง มีประสิทธิภาพและความพึงพอใจในการทำงานระดับ พอใช้

1 หมายถึง มีประสิทธิภาพและความพึงพอใจในการทำงานระดับต่ำควรปรับปรุง

เมื่อสร้างแบบประเมินการศึกษาหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้นำไปทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลทำการศึกษาหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อไป

3.5.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ในการวิจัยเพื่อหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจของอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ จากประชากรกลุ่มตัวอย่าง เป็นกลุ่มนักเรียนนักศึกษา แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ และผู้ที่สนใจด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 20 คน จากกลุ่มประชากร 43 คน

3.6 การดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

การทดลองครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้แบบแผนการทดลองแบบเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 20 ตัวอย่าง ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองแล้วก็ทำการทดสอบหาสมรรถนะทางกายภาพอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ การทดลองแบบนี้สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว และประหยัด ผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ไปดำเนินการทดลองเก็บข้อมูล

3.7 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยนำเครื่องมือที่สร้างขึ้น ให้กลุ่มตัวอย่างได้ตอบแบบสอบถามและเก็บข้อมูลด้วยตนเอง เกณฑ์การวิเคราะห์ผล กำหนดได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงระดับความพึงพอใจ

ระดับคะแนน	ความหมาย
	ประสิทธิภาพ
4.50 - 5.00	มากที่สุด
3.50 - 4.49	มาก
2.50 - 3.49	ปานกลาง
1.50– 2.49	พอใช้
1.00– 1.49	ควรปรับปรุง

3.8 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.8.1 ค่าเฉลี่ย (Arithmetic mean)

$$\overline{X} = \Sigma x / n \qquad (5)$$

กำหนดให้

$\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

ΣX แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

n แทน จำนวนครั้งในกลุ่ม

3.8.2 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

$$S.D. = \sqrt{[\Sigma(x-x)^2]/(N-1)}] \qquad (6)$$

กำหนดให้ S แทน ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x แทน คะแนนแต่ละตัว

$\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

n แทน จำนวนคะแนนในกลุ่ม

Σ แทน ผลรวม

4. ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อสร้างอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ โดยการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาดูโน่นาโนแล้วทำการศึกษาความพึงพอใจในการใช้งานเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ ดังต่อไปนี้

4.1 ได้อุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ 1 ชุด มีคุณภาพภาพการทำงานของโครงการ

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงประสิทธิภาพการทำงานอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์

ครั้งที่	ประสิทธิภาพการทำงาน		ผลการทดลอง	คุณภาพ (%)
	แรงดันอินพุต	แรงดันเอาท์พุต		
1	100	300.01	ยอมรับได้	100 %
2	100	304.00	ยอมรับได้	100 %
3	100	304.00	ยอมรับได้	100 %
4	100	304.00	ยอมรับได้	100 %
5	100	304.00	ยอมรับได้	100 %
6	100	304.00	ยอมรับได้	100 %

4.2 ผลการศึกษาหาประสิทธิภาพและความพึงพอใจอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ ผลการทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการหาความพึงใจในการทดลองใช้งานของโครงการการศึกษาและหาความพึงพอใจอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์

ความพึงพอใจในการทดลองใช้งาน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับ
1. มีความปลอดภัยระหว่างการปฏิบัติงาน	4.75	0.54	มากที่สุด
2. มีความสะดวกสบายในการใช้งาน	4.60	0.66	มากที่สุด
3. เทคนิคการออกแบบและระบบการทำงานถูกต้องตามหลักการ	4.80	0.51	มากที่สุด
4. รูปร่าง ขนาด น้ำหนัก มีความเหมาะสม	4.80	0.51	มากที่สุด
5. สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายชนิด	4.40	1.02	มาก
6. มีระบบป้องกันความปลอดภัยที่ดี	4.60	0.73	มากที่สุด
7. สามารถใช้ในการทำงานทางไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี	4.65	0.79	มากที่สุด
8. ทำให้อุปกรณ์บูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงทำงานเต็มประสิทธิภาพ	4.45	0.92	มาก
9. โครงการ มีความสร้างสรรค์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีความแปลกใหม่	4.65	0.79	มากที่สุด
10. สามารถนำไปต่อยอดและพัฒนากระบวนการผลิตสู่เชิงพาณิชย์ได้	4.80	0.51	มากที่สุด
11. ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน	4.75	0.54	มากที่สุด
12. ไม่เป็นการทำลายธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหากเลิกใช้งาน	4.85	0.48	มากที่สุด
13. สามารถติดตั้งใช้งานได้ง่าย	4.85	0.48	มากที่สุด
14. มีประสิทธิภาพในการใช้งาน สามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานาน	4.65	0.79	มากที่สุด
15. ท่านคิดว่า โครงการสามารถสร้างมูลค่า หรือขายได้หรือไม่	4.70	0.78	มากที่สุด
โดยรวม	**4.69**	**0.66**	**มากที่สุด**

5. ผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 คุณภาพภาพการทำงานของโครงการการศึกษาและหาความพึงพอใจอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพ คือ ระดับแรงดันอินพุต 100 VDC แรงดันเอาต์พุตจะต้องได้ 300 VDC จึงจะถือว่าการทดลองสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไข คุณภาพแรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับ 100 % แต่จากการทดลองได้ทำการทดลอง ผลที่ได้เป็นไปตามเงื่อนไขในการทดลอง

5.1.2 ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียน นักศึกษา และผู้ที่สนใจ จำนวน 20 คน มีความพึงพอใจในการทดลองใช้งานของโครงการ การพัฒนาและหาความพึงพอใจอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ สามารถสรุปได้ว่า มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด และมีความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจในการทดลองใช้งานในแต่ละข้อคำถามที่แตกต่างกัน อาทิเช่น ข้อ 5 สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายชนิด ข้อ 8 ทำให้อุปกรณ์บูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงทำงานเต็มประสิทธิภาพ ระดับความพึงพอใจมาก ส่วนข้ออื่น ๆ จะอยู่ในระดับมากที่สุด เป็นต้น ซึ่งหมายถึง โครงการการศึกษาและหาความพึงพอใจอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ สามารถสร้างความพึงพอใจเนื่องจากมีคุณภาพภาพในการทำงาน

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น

5.2.1 อุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ ที่มีประสิทธิภาพและอายุการใช้งานที่ยาวนาน มากยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรมีการดัดแปลง เพิ่มเติมให้อุปกรณ์มีความคงทน แข็งแรงเพื่อป้องกันวงจรอิเล็กทรอนิกส์เสียหาย

5.2.3 สร้างชิ้นงานให้มีน้ำหนักเบา หรือสามารถพกพาไปได้ทุกที่สะดวกสบายขณะทำงานเป็นเวลานาน ๆ

5.2.4 สร้างอุปกรณ์ให้โดดเด่น สามารถต่อยอดได้มากยิ่งขึ้น

5.2.5 สร้างอุปกรณ์ให้สามารถใช้งานในระยะพื้นที่ที่ไกลได้มากยิ่งขึ้น

5.3 ประสบการณ์ที่ผู้วิจัยได้รับ

จากการทำวิจัยโครงการในครั้งนี้ทำให้ผู้วิจัยได้คิดค้นที่จะสร้างอุปกรณ์วงจรบูทแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรงเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ เป็นการค้นคิดสิ่งที่เกิดขึ้นใกล้ๆ ตัว และได้นำเอาความรู้ในวิชาที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้กับงานฝีมือที่ทำเป็นงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้นมา อีกทั้งยังทำให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้การใช้เครื่องมือและสถิติในการวิจัยเพื่อเตรียมพร้อมสู่การวิจัยในเรื่องอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ธนพล แก้วคำแจ้ง, 2563. การศึกษาความพึงพอใจไม้เท้าของผู้สูงวัยแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่นไลน์.วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา:สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ1 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.

[2] ธนพล แก้วคำแจ้ง, 2563. การศึกษาความพึงพอใจต่อมือกลแขนกลเพื่อคนพิการสั่งงานด้วยเสียง.วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา:สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ1 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา.

[3] บุญชม ศรีสะอาด, (2545) หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[4] พรรณี ลีกิจวัฒนะ. (2544 : 10) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.

[5] พรรณี ลีกิจวัฒนะ. (2544 : 8) มัชฌิมเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ย.

[6] ARDUINO IDE ซอฟต์แวร์สำหรับโปรแกรมภาษา C เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2564 . เข้าถึงได้จาก http://www.sbt.ac.th/new/sites/.

[7] กู๊ด Good, (1973) กล่าวว่า ความพึงพอใจ

[8] ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโปรแกรมProteus8 professional เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2564. https://sites.google.com/site/intuonwsw/

[9] เคลิร์ก (Quirk, 1987)ความพึงพอใจหมายถึง

[10] เชลลี่ (Shelli, 1995, p. 9 อ้างถึงใน ปราการ กองแก้ว,2546, หน้า 17) ได้ศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับความพึงพอใจตัวเหนี่ยวนำ เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2564 . เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki/

[11] พาราสุรามาน เซทเฮมท และแบรรี่ (Parasuraman, Zaithamal & Berry, 1994 อ้างถึงใน ภูษิต สายกิ้มซ้วน,2550, หน้า 18 -20)

[12] หลักการบริการที่ดีมอเตอร์ เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2564. เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki/

[13] มอสเพส เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2564 . เข้าถึงได้จากhttps://th.wikipedia.org/wiki/

[14] มาสโลว์ (Maslow, 1970 อ้างถึงใน รังสรรค์ ฤทธิ์ผาด,2550, หน้า 23) ทฤษฎีความต้องการตามลำดับขั้น

[15] ราณี เชาวนปรีชาศ์ (2538, หน้า18 อ้างถึงใน วฤทธิ์ สารฤทธิคาม, 2548, หน้า 31) ความพึงพอใจ

[16] วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เข้าถึงเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2564 เข้าถึงได้จาก http://dspace.spu.ac.th/bitstream/

[17] วิรุฬ พรรณเทวี (2542, หน้า 111) ได้ให้ความหมายความพึงพอใจ.

[18] โวลแมน (Wolman, 1973) ความพึงพอใจ

[19] สาโรช ไสยสมบัติ (2534, หน้า 18 อ้างถึงในปราการ กองแก้ว,2546, หน้า 17) ความพึงพอใจ.