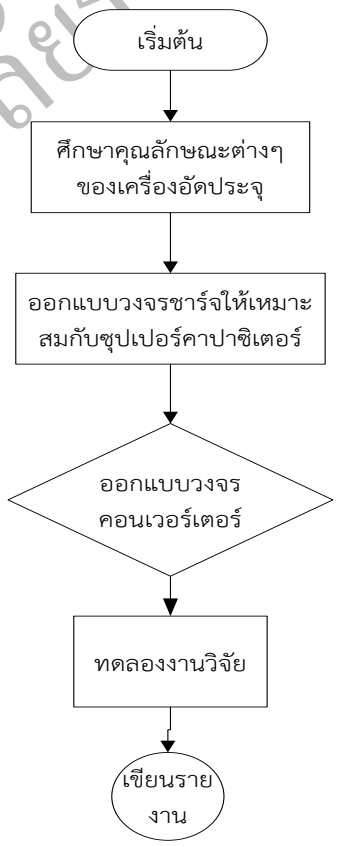
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง การสร้างเครื่องอัดประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงด้วยเทคนิคสวิตชิ่งความถี่สูง ผู้วิจัยได้ดำเนินตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. แบบแผนการวิจัย
2. การออกแบบวงจรชาร์ท
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. วิธีดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

แบบแผนงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการออกแบบเครื่องอัดประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงด้วยเทคนิคสวิตชิ่งความถี่สูง โดยผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้ ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

1. ศึกษาคุณลักษณะเครื่องอัดประจุประสิทธิ์ภาพสูงด้วยเทคนิคสวิตชิ่งความถี่สูง ให้เหมาะกับยานพาหนะไฟฟ้า

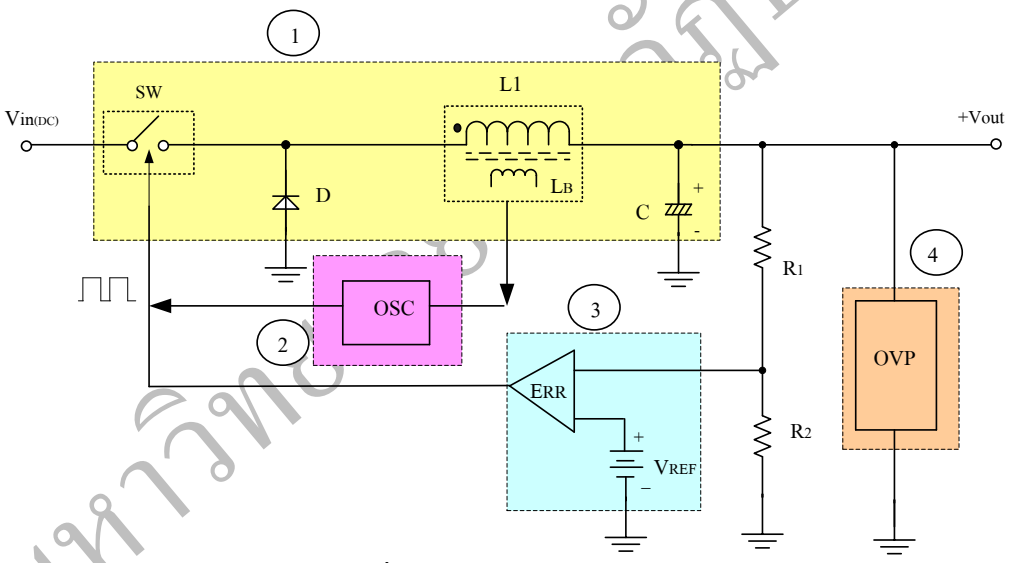
2. ออกแบบระบบวงจรชาร์จ (สถานีชาร์จ) ทดลองและเก็บข้อมูลการชาร์จและดิสชาร์จของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

3. ออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์และวงจรพัลส์ควบคุมเพื่อให้สามารถรับกระแสและจ่ายกระแสได้ต่อเนื่อง (ช่วงชะลอเบรกและช่วงเบรก)

4. เขียนรายงานการวิจัย

การออกแบบวงจรชาร์ท

1. การออกแบบสร้างวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์



ภาพที่ 3.2 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

สำหรับวงจรบัค คอนเวอร์เตอร์แบบขดลวดเดียว ผู้วิจัยได้ใช้กำลังขนาด 2000 วัตต์ที่ใช้เพาเวอร์มอสเฟตมาเป็นสวิตช์ตัดต่อแรงดันไฟตรงดีซี เมื่อมาทำการทดสอบวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด L ได้เท่ากับ 1.02 mH เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำขดลวดมีค่าไม่สูงมากนัก การออกแบบวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ขดลวดเดียวจึงกำหนดความถี่ในการสวิตช์ เท่ากับ 10 kHz เวลาในหนึ่งคาบสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ 100 µs และด้วยคุณลักษณะของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้เพาเวอร์มอสเฟตเป็นสวิตช์ซึ่งนำกระแสได้ด้วยการให้ไบอัสแรงดันไฟทางขาเกต (Gate) โดยกำหนด

แรงดันไฟดีซีทางเอาต์พุต เท่ากับ 48 V และแรงดันไฟทางด้านอินพุตจะต้องสูงกว่าทางด้านเอาต์พุตเสมอ ในที่นี้กำหนดให้ เท่ากับ 220 V

ดังนั้น ค่า Duty Cycle หาได้จากสมการที่ (3)

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} \quad ; T_S \text{ คือ คาบเวลาในการสวิตช์ (kHz)}$$

$$V_o = \frac{V_s \times t_{on}}{T_s}$$

$$48V = \frac{220\ V \times t_{on}}{100\ \mu s}$$

$$t_{on} = \frac{48\ V \times 100\ \mu s}{220\ V}$$

$$\therefore\ t_{on} = 21.81\ \mu s$$

แทนค่า $\mathbf{t_{on}}$ ลงในสมการ จะได้

$$D = \frac{21.81 \mu s}{100\ \mu s}$$

$$\therefore\ D = 0.21$$

เมื่อต้องการแรงดันที่เอาต์พุต V_o เท่ากับ 48 V กำหนดค่า Duty Cycle (D) เท่ากับ 0.21 สามารถหาค่าแรงดัน V_s ได้จากสมการที่ (2)

$$V_o = V_s \times D$$

$$V_s = \frac{V_o}{D}$$

$$= \frac{48\ V}{0.21}$$

$$\therefore\ V_s = 228.57\ V$$

ดังนั้นจึงกำหนดให้ $V_s = V_{in(DC)} \cong 228\ V$

และเมื่อใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ AC สามารถหา $V_{in(rms)}$ ได้จากสมการ (โดยไม่คิดค่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้น)

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

$$V_{AC(rms)} = \frac{V_{in(DC)}}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{228\ V}{\sqrt{2}}$$

$$= 161\ V$$

$$\therefore\ V_{in(rms)} \cong 161\ V$$

การกำหนดให้วงจรบัค คอนเวอร์เตอร์ จ่ายกำลังได้เท่ากับ 2000 W ที่แรงดันไฟ V_o เท่ากับ 48 V ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะเท่ากับ

$$I_{Load} = \frac{P}{V_o}$$

$$= \frac{2000W}{48\ V}$$

$$= 41.6\ A$$

และหาค่าความต้านทานโหลด R_L จะได้

$$R_{Load} = \frac{V_o}{I_L}$$

$$= \frac{48\ V}{41.6\ A}$$

$$\therefore\ R_{Load} = 2\ \Omega$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองการอัดประจุให้กับซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ ทดลองการอัดประจุโดยต่อเข้ากับซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

1. ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

การศึกษาการอัดประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ ยี่ห้อ Maxwell รุ่น BMOD0165P048 BXX, 165F, 48V จำนวน 2 ลูก ต่อขนานจะได้เป็นขนาดพิกัดรวม จำนวน 1 ชุดอายุการใช้งาน 10 ปี หรือ 1,000,0000 วัฏจักร แสดงดังภาพที่ 3.4 โดยมีคุณลักษณะที่มีความหนาแน่นกำลังงานสูง มีข้อจำกัดในเรื่องแรงดันในการประจุไม่เกิน 51 โวลต์

(ก) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ขนาดพิกัด 165F, 48V

(ข) การต่อขนานซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ขนาดพิกัดรวม 330 F, 48 V

ภาพที่ 3.3 การต่อขานซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏ

2. แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด แบบ Seaied Lead Acid Battery ยี่ห้อ LION ขนาด 12 V, 42 Ah แรงดันประจุสูงสุด 14.4-14.8V แรงดันต่ำสุด 9.6 V อายุการใช้งาน 2-3 ปี หรือ 500-600 วัฏจักร แสดงดังภาพที่ 3.5 โดยมีคุณสมบัติที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีข้อจำกัดในเรื่องกระแสในการประจุ cycle usage

ภาพที่ 3.4 แบตเตอรี่ LION ขนาดพิกัด 12 V, 42 Ah

3. อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

อุปกรณ์เก็บข้อมูล AGILENT 34970a BENCHLINK DATA LOGGER ใช้ในการบันทึกค่าแรงดันและกระแส ในการทดลองการประจุและคายประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์และแบตเตอรี่ การวัดค่ากระแสจะวัดผ่านตัวต้านทานอนุกรม (Shunt Resistor) มีค่าความต้านทาน 0.001 โอห์ม

ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์เก็บข้อมูล AGILENT 34970a BENCHLINK DATA LOGGER

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดประจุขณะกำลังอัดประจุให้กับซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จากการเก็บประจุ

จากการศึกษาคุณลักษณะพฤติกรรมของเครื่องอัดประจุขณะกำลังอัดประจุให้กับซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ และจากการเก็บข้อมูลการเก็บประจุ (Charge) ของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ ดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

1.1 ให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48 V และเปลี่ยนระดับกระแส 20 A, 40 A, 60 A, 80 A และ 100 A ตามลำดับ

การทดลองเก็บประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

(1) นำซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ต่อกับเครื่องอัดประจุ โดยกำหนดแรงดันในการเก็บประจุที่ 48 V

(2) วัดและบันทึกค่าแรงดันและกระแสขณะเก็บประจุ

(3) นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บประจุและคายประจุ ไปหาค่าประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. วิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงานที่สะสมช่วงเก็บพลังงานและช่วงปล่อยพลังงานของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

$$W_c = \frac{1}{2}CV_c^2 \qquad (3.1)$$

เมื่อ W_c คือ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็น จูล (J) หรือ วัตต์-วินาที

C คือ ความจุ มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)

V_c คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

และสามารถหาค่าพลังงานสะสมที่ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บประจุกับการปล่อยประจุได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

$$\Delta W\,(W_t) = \frac{1}{2}C(V_1^2 - V_2^2) \qquad (3.2)$$

เมื่อ V_1 คือ แรงดันช่วงเก็บประจุ (Charge Voltage)

V_2 คือ แรงดันช่วงปล่อยประจุ (Discharge Voltage)

2. วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ จากสมการที่ 3.5 โดยนำข้อมูลแรงดัน และกระแส ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) มาเขียนกราฟเพื่อวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงกระแสและแรงดันช่วงเก็บประจุเทียบกับเวลา นำมาหาค่าพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุหาได้จาก พลังงานที่เกิดจากความต้านทานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์และหาค่ากำลังสูญเสีย (Power loss) ได้จาก

$$W_R = I^2Rt \qquad (3.3)$$

ความต้านทานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ (ESR) $= \dfrac{V_i - V_{min}}{I_d}$ (3.4)

จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) สามารถนำมาหาค่าประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ได้ดังนี้

ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ (η) $= \dfrac{W_C}{W_t} = \dfrac{W_C}{W_C + W_R}$ (3.5)

3. เวลาในการเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุยิ่งยวดสามารถชาร์จด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง, ชุดสำรองไฟกระแสตรง, แบตเตอรี่ และโซล่าเซลล์ โดยไม่ต้องคำนึงถึงระดับของกระแสในการชาร์จไฟแต่ต้องคำนึงถึงระดับของแรงดันไม่ให้เกินพิกัดของแรงดันที่ตัวเก็บประจุยิ่งยวดสามารถทนได้ ซึ่งเวลาในการเก็บประจุและการปล่อยประจุสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.6) ถึง (3.1.7)

เวลาช่วงการปล่อยประจุ สำหรับกระแสคงที่

$$t = C \times \frac{(V_0 - V_1)}{I} \qquad (3.6)$$

เวลาช่วงการปล่อยประจุ สำหรับกำลังไฟฟ้าคงที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

$$t = 0.5 \times C \times \frac{\left(V_0^2 \quad V_1^2\right)}{P} \tag{3.7}$$

เวลาช่วงการปล่อยประจุ สำหรับความต้านทานคงที่

$$t = -C \times R \times \ln \frac{V_1}{V_0} \tag{3.8}$$

เวลาช่วงการปล่อยประจุ สำหรับการเปลี่ยนตามความจุแบตเตอรี่ที่ระบุ

$$Ah = 0.5 \times C \times \frac{V_0^2}{(3600 \times V_b)} \tag{3.9}$$

เมื่อ t คือ เวลาช่วงการปล่อยประจุ (s)

V_0 คือ แรงดันเก็บประจุ (Charge Voltage), (V)

V_1 คือ แรงดันปล่อยประจุ (Discharge Voltage), (V)

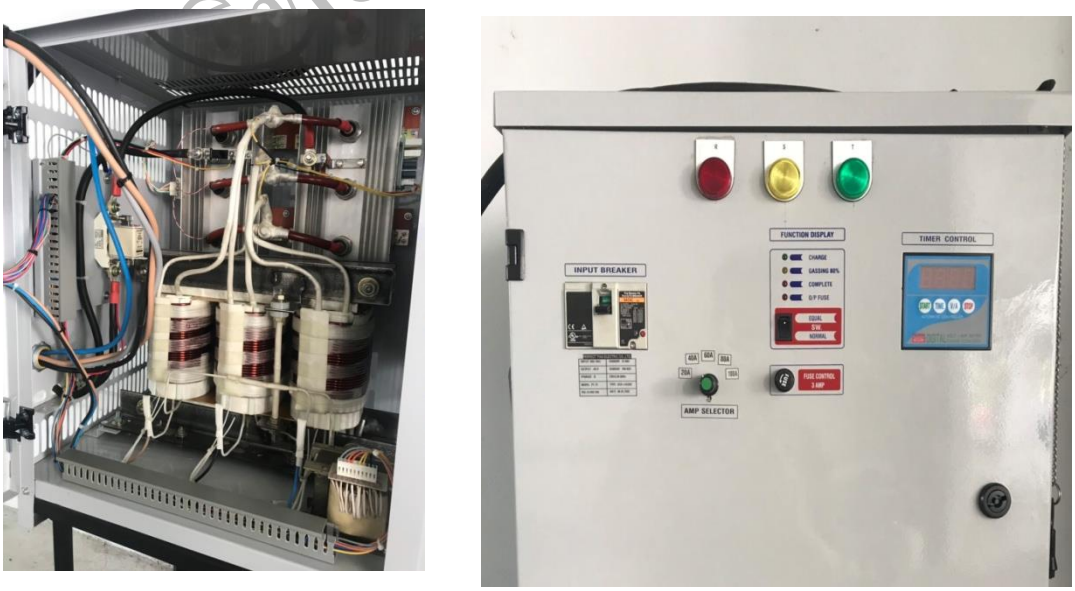
V_b คือ แรงดันแบตเตอรี่ที่ระบุ (Nominal Battery Voltage), (V)

I คือ กระแสปล่อยประจุ (A)

R คือ ความต้านทานปล่อยประจุ (Ω)

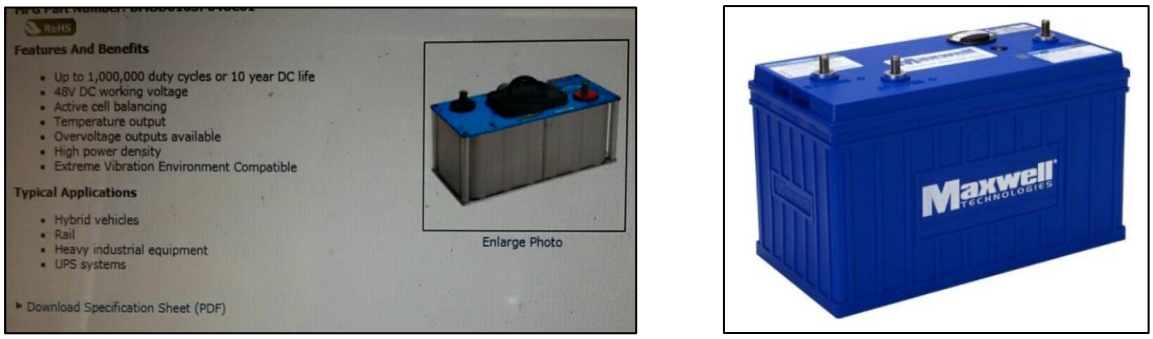
P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

4. อุปกรณ์ส่วนประกอบของโครงงาน



ภาพที่ 3.6 เครื่องอัดประจุประสิทธิ์ภาพสูง

วิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 3.7 ซุปเปอร์คาปาซิสเตอร์ 165 ฟารัด 48 โวลต์กระแสตรง จำนวน 1 ตัว

ภาพที่ 3.8 รถกอล์ฟขนาด 4 ที่นั่ง จำนวน 1 คัน