บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนายานพาหนะไฟฟ้าโดยใช้ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานช่วงชะลอเบรกและช่วงเบรก ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้ 1) ผลการศึกษาการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ 2) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ 3) ผลการวิเคราะห์ใช้ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์กับการขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า 4) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของยานพาหนะไฟฟ้า จากผลการทดลองสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และอธิบายคุณลักษณะของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ในการขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้าได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์การประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบการตอบสนองเบื้องต้น โดยทดสอบการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จำนวน 1 ชุด ซึ่งมีค่าความจุ 330F 48V โดยใช้แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 48V และใช้กระแสทดสอบในการประจุที่ 10A 20A 30A 40A 50A 60A 70A 80A 90A และ 100A ตามลำดับ ในส่วนของการปล่อยประจุได้ใช้อิเล็กทรอนิกส์โหลดเป็นโหลดทางไฟฟ้าโดยตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสปล่อยประจุได้ตั้งค่าที่ 10A 20A 30A 40A 50A 60A 70A 80A 90A และ 100A ตามกระแสทดสอบในการประจุ

จากการทดลองการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ เพื่อหาคุณลักษณะของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ จากการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงานที่สะสมช่วงเก็บพลังงานและช่วงปล่อยพลังงาน ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 10A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 10A

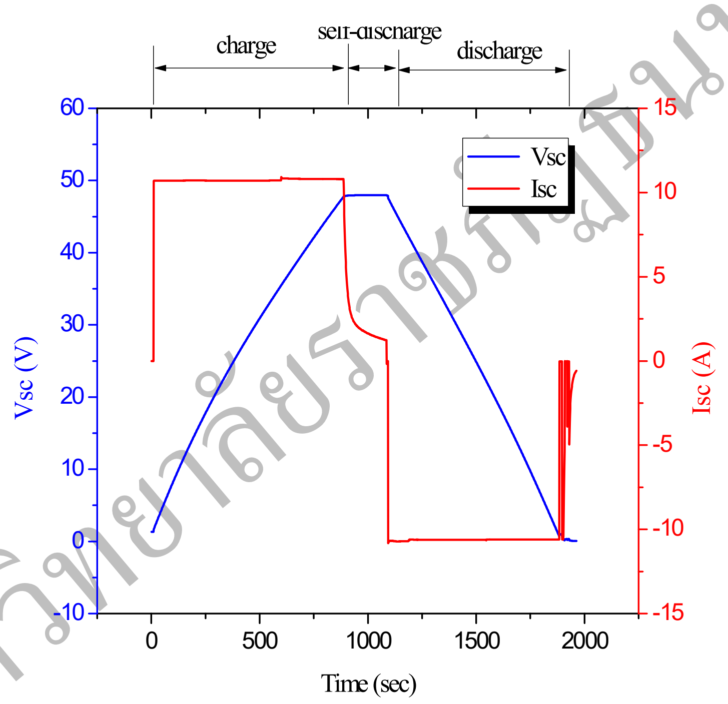
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 10A

V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_c (sec)	t_d (sec)	W_c (W)	W_d (joule)	W_R (W)	η (%)
47.97	0.97	0.67	10	0.03	1075	790	278,425	210,140	2,370	98.88

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 10A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 1.31V แรงดันเริ่มการประจุที่ 1.67V จนถึงการ

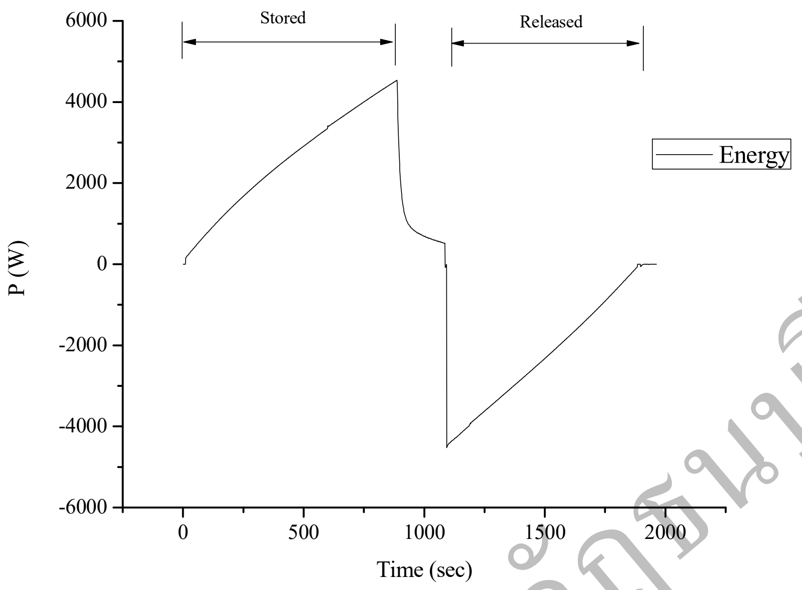
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.97V และ ใช้เวลาในการประจุ 1075 วินาที แรงดันเฉลี่ย 31.06V ใช้พลังงานในการเก็บประจุ 278,425J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.89V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 47.53V ถึง 0.67V แรงดันเฉลี่ย 25.01V ใช้เวลาปล่อยประจุ 790 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 0.97V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 210,140J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานอนุกรมภายใน (ESR) 2,370J ประสิทธิภาพ 98.88% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่ 48V 10A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.2 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 10A

จากภาพที่ 4.1 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดแบบค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นแบบค่าคงที่ลบ (-) ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.2 จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบทรานเซียน และพลังงานที่ใช้ช่วงประจุจะมากกว่าพลังงานที่ใช้ช่วงปล่อยประจุ

การทดลองที่ชาร์จ 48V 10A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 10A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะสามารถปล่อยพลังงานเกือบหมดจนแรงดันที่ขั้วเหลือ 0.61V

2. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 20A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 20A

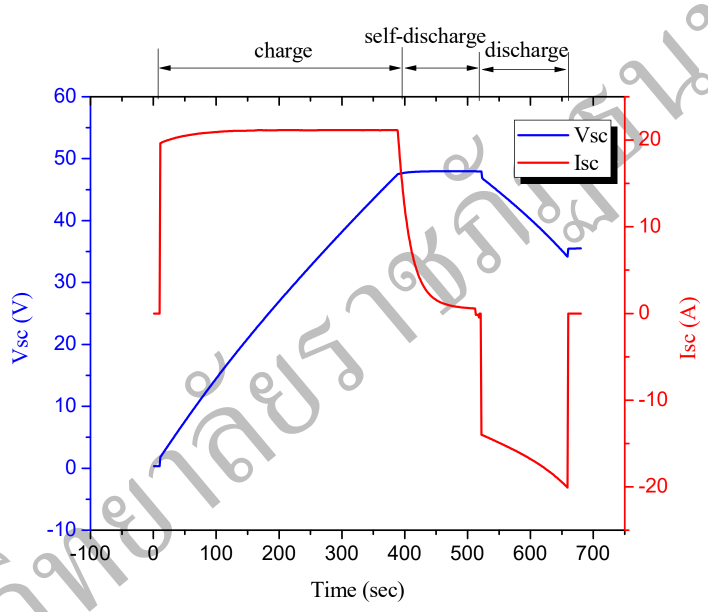
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 20A

V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_C (sec)	t_d (sec)	W_C (Joule)	W_d (Joule)	W_R (Joule)	η (%)
47.98	35.47	34.16	20	0.065	501	137	231,036.15	92,185.93	3,562	96.28

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 20A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.338V แรงดันเริ่มเก็บประจุที่ 1.78V จนถึงการประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.98V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 501 วินาที แรงดันเฉลี่ย 31.51V ใช้

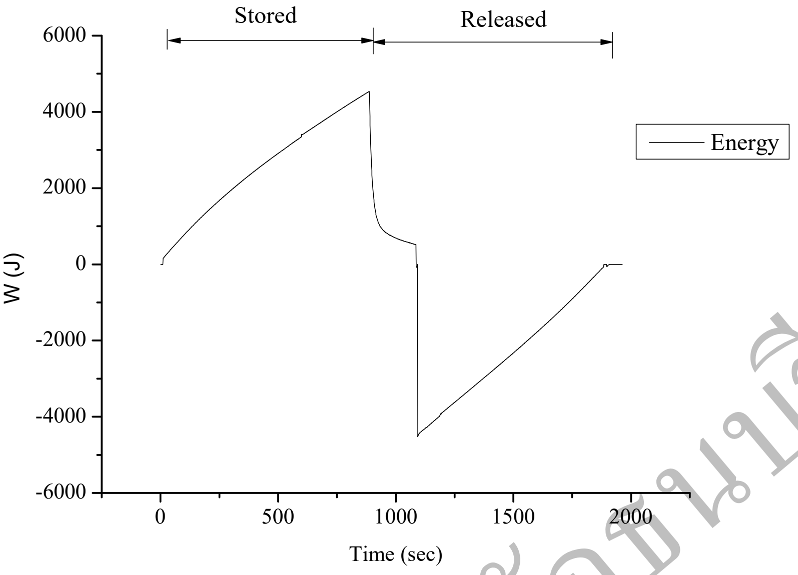
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

พลังงานในการประจุ 231,036.15J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.92V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 47.92V โดยการปล่อยประจุจะถูกปลดออกที่แรงดันถึง 34.16V อันเนื่องมาจากการซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จากผู้ผลิตที่จำกัดแรงดันที่จ่ายโหลด โดยมีแรงดันเฉลี่ย 40.91V ใช้เวลาปล่อยประจุ 137 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 35.47V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 92,185.93J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 3,562J ประสิทธิภาพ 96.28% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่ 48V 20A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.4 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 20A

จากภาพที่ 4.4 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดขึ้นเป็นค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นค่าคงที่ลบ (-) ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.4 ช่วงครึ่งบวก (+) จะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงแบบทรานเซียน และพลังงานที่ใช้ช่วงประจุจะมากกว่าพลังงานที่ใช้ช่วงปล่อยประจุ

การทดลองที่ชาร์จ 48V 20A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 20A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะไม่สามารถปล่อยพลังงานได้หมด เนื่องจากวงจรภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานที่แรงดัน 34.14V ซึ่งทำให้ยังคงมีพลังงานที่เหลือภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จำนวนมาก ทำให้การประจุครั้งต่อไปจำเป็นต้องปล่อยพลังงานภายในให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ 10A จนพลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์หมด

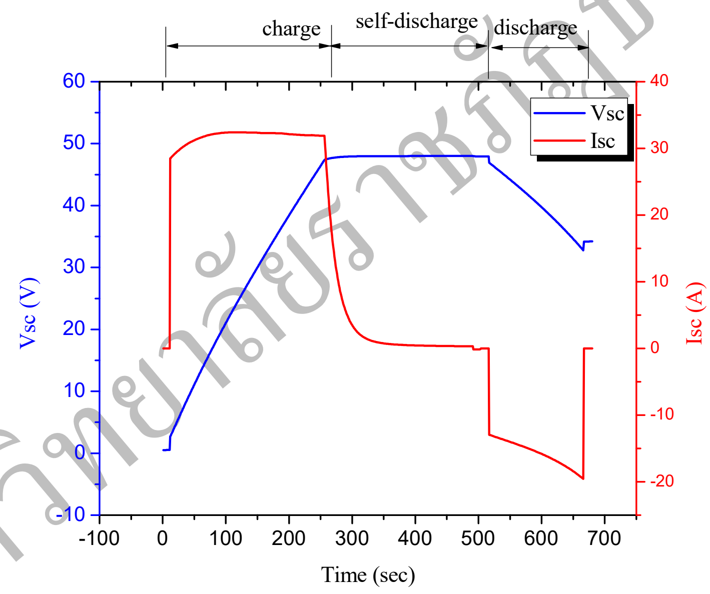
3. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 30A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 30A

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 30A

V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_C (sec)	t_d (sec)	W_C (Joule)	W_d (Joule)	W_R (Joule)	η (%)
47.99	34.18	32.77	30	0.047	482	149	203,034.6	93,344.03	6,302.7	93.67

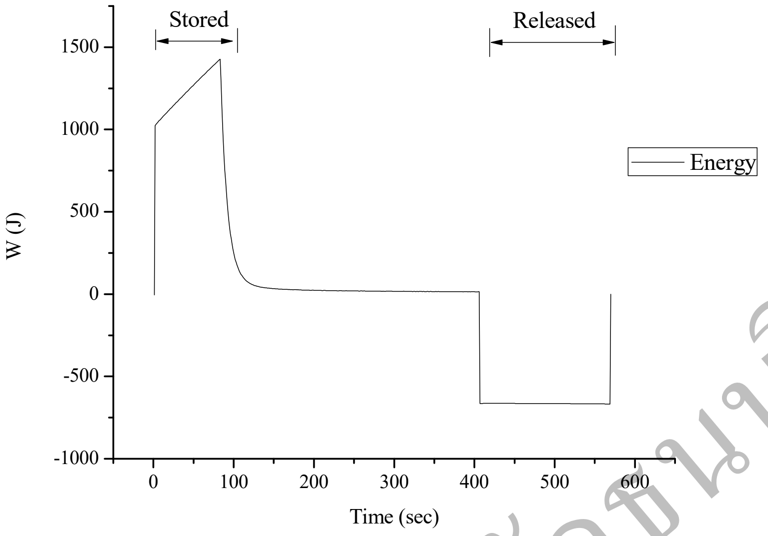
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 30A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.52V แรงดันเริ่มเก็บประจุที่ 2.68V จนถึงการประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.99V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 482 วินาที แรงดันเฉลี่ย 46.58V ใช้พลังงานในการประจุ 203,034.6J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.91V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 46.92V โดยการปล่อยประจุจะถูกปลดออกที่แรงดันถึง 32.77V เนื่องจากผู้ผลิตซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ แรงดันเฉลี่ย 40.30V ใช้เวลาปล่อยประจุ 149 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 34.18V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 93,344.03J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 6,302.7J ประสิทธิภาพ 93.67% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6



มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ภาพที่ 4.5 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุที่ 48V 30A



ภาพที่ 4.6 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 30A

จากภาพที่ 4.5 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดขึ้นเป็นค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นลบ (-) ค่าคงที่ ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.6 ช่วงครึ่งบวก (+) จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน เสมือนเป็นตัวรับพลังงาน ส่วนช่วงครึ่งลบ (-) เป็นตัวจ่ายพลังงานแบบคงที่

การทดลองที่ชาร์จ 48V 30A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 30A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะไม่สามารถปล่อยพลังงานได้หมด เนื่องจากวงจรภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานที่แรงดัน 32.77V ซึ่งทำให้ยังคงมีพลังงานที่เหลือภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ ทำให้การประจุครั้งต่อไปจำเป็นต้องปล่อยพลังงานภายในให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ 10A จนพลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์หมด

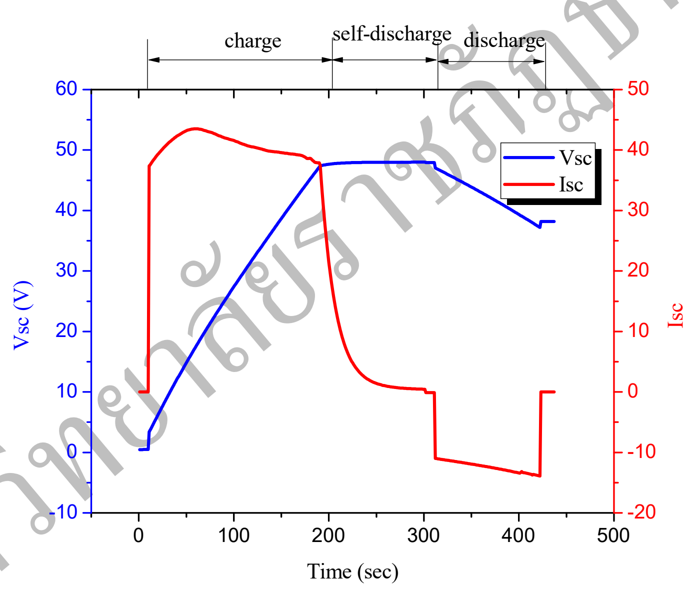
4. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 40A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 40A

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 40A

V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_C (sec)	t_d (sec)	W_C (Joule)	W_d (Joule)	W_R (Joule)	η (%)
47.99	38.18	37.18	40	0.025	290	113	225,480.8	59,035.72	4,520	92.88

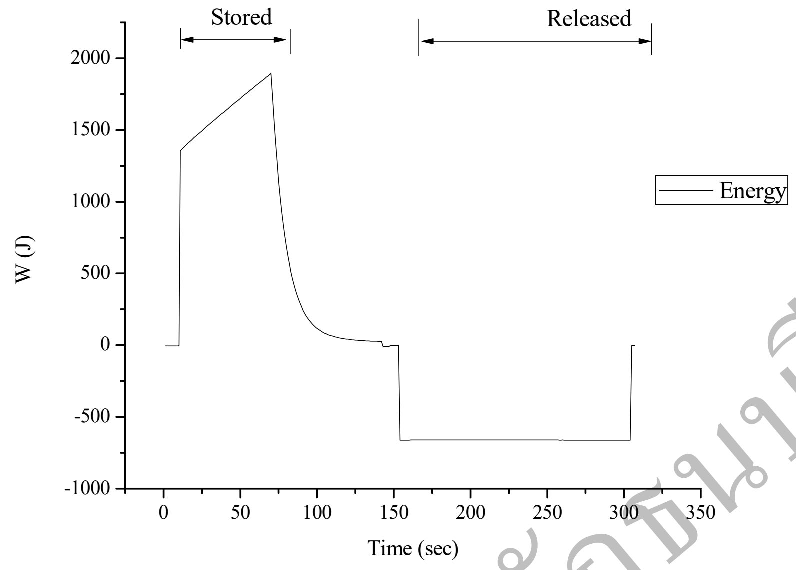
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 40A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.48V แรงดันเริ่มเก็บประจุที่ 3.40V จนถึงการประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.99V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 290 วินาที แรงดันเฉลี่ย 34.84V ใช้พลังงานในการประจุ 225,480.8J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.92V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 47.05V โดยการปล่อยประจุจะถูกปลดออกที่แรงดันถึง (V_{min}) 37.18V เนื่องจากผู้ผลิตซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ แรงดันเฉลี่ย 42.30V ใช้เวลาปล่อยประจุ 113 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 38.18V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 59,035.72J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 4,520J ประสิทธิภาพ 92.88% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.7 และภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.7 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่ 48V 40A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.8 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 40A

จากภาพที่ 4.7 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดขึ้นเป็นค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นลบ (-) ค่าคงที่ ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.8 ช่วงครึ่งบวก (+) จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน เสมือนเป็นตัวรับพลังงาน ส่วนช่วงครึ่งลบ (-) เป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบค่าคงที่

การทดลองที่ชาร์จ 48V 40A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 40A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะไม่สามารถปล่อยพลังงานได้หมด เนื่องจากวงจรภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานที่แรงดัน 37.18V ซึ่งทำให้ยังคงมีพลังงานที่เหลือภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จำนวนมาก ทำให้การประจุครั้งต่อไปจำเป็นต้องปล่อยพลังงานภายในให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ 10A จนพลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์หมด

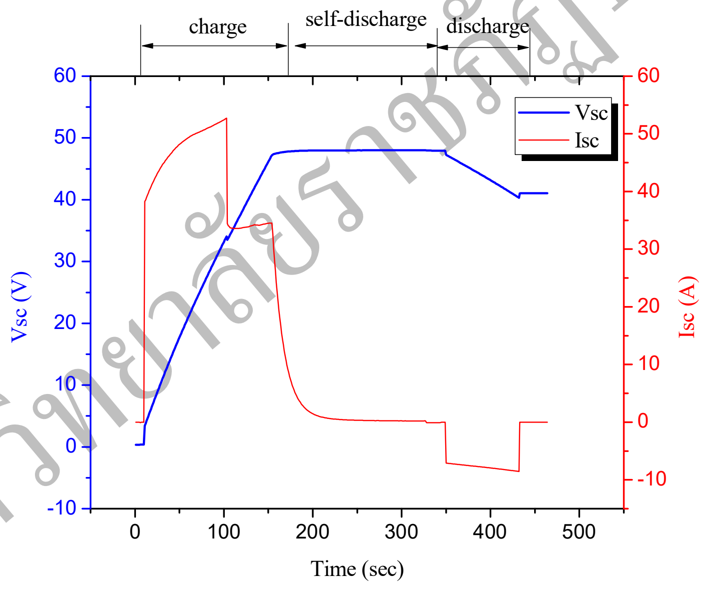
5. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 50A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 50A

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 50A

V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_C (sec)	t_d (sec)	W_C (Joule)	W_d (Joule)	W_R (Joule)	η (%)
47.98	41.04	40.31	50	0.0146	201	82	181,169.34	27,989.06	2,993	90.34

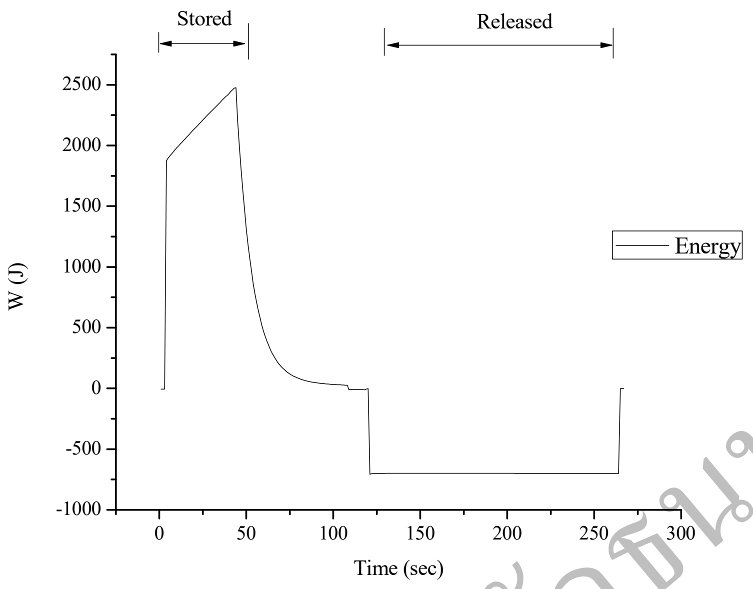
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 50A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.366V แรงดันเริ่มเก็บประจุที่ 3.43V จนถึงการประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.98V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 201 วินาที แรงดันเฉลี่ย 32.92V ใช้พลังงานในการประจุ 181,169.34J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.92V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 47.18V โดยการปล่อยประจุจะถูกปลดออกที่แรงดันถึง (V_{min}) 40.31V เนื่องจากผู้ผลิตซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ แรงดันเฉลี่ย 43.88V ใช้เวลาปล่อยประจุ 82 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 41.04V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 27,989.06J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 2,993J ประสิทธิภาพ 63.46% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.9 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่ 48V 50A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.10 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 50A

จากภาพที่ 4.9 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดขึ้นเป็นค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นลบ (-) ค่าคงที่ ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.10 ช่วงครึ่งบวก (+) จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน เสมือนเป็นตัวรับพลังงาน ส่วนช่วงครึ่งลบ (-) เป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบค่าคงที่

การทดลองที่ชาร์จ 48V 50A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 50A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะไม่สามารถปล่อยพลังงานได้หมด เนื่องจากวงจรภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานที่แรงดัน 40.34V ซึ่งทำให้ยังคงมีพลังงานที่เหลือภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จำนวนมาก ทำให้การประจุครั้งต่อไปจำเป็นต้องปล่อยพลังงานภายในให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ 10A จนพลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์หมด

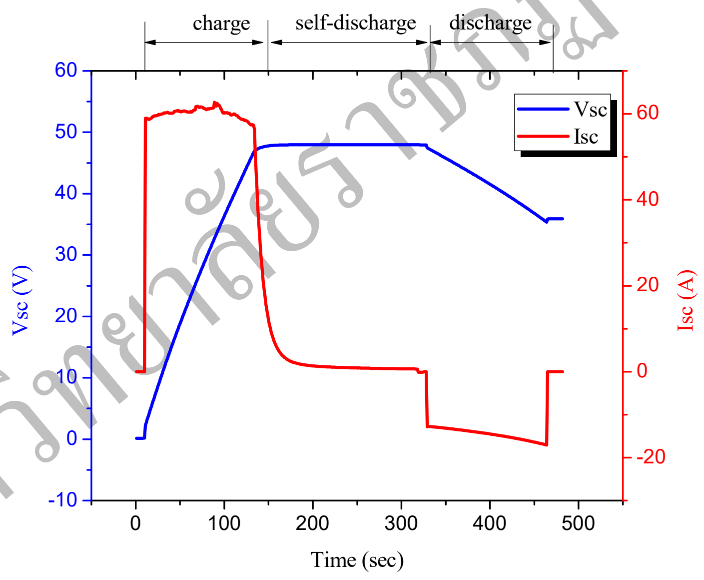
6. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 60A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 60A

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 60A

V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_C (sec)	t_d (sec)	W_C (Joule)	W_d (Joule)	W_R (Joule)	η (%)
47.99	35.90	35.34	60	0.0106	197	135	223,519.35	81,354.91	5,184	94.01

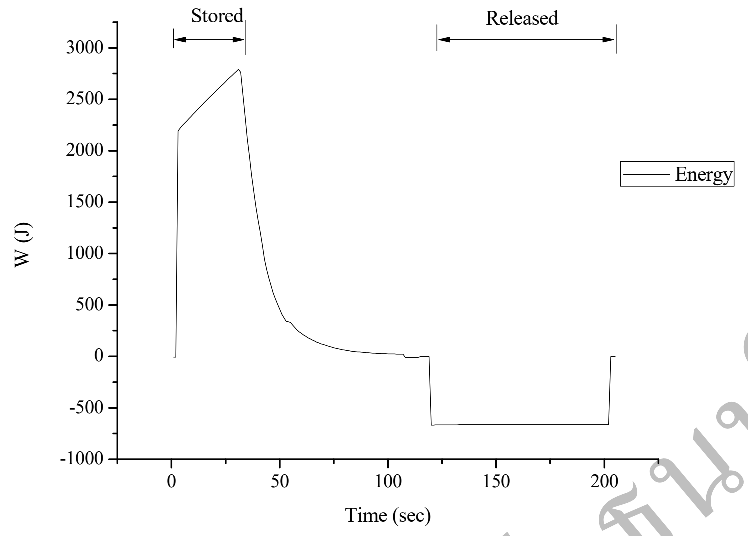
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 50A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.16V แรงดันเริ่มเก็บประจุที่ 2.31V จนถึงการประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.979V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 197 วินาที แรงดันเฉลี่ย 34.32V ใช้พลังงานในการประจุ 223,519.35J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.95V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 47.53V โดยการปล่อยประจุจะถูกปลดออกที่แรงดันถึง (V_{min}) 35.35V เนื่องจากผู้ผลิตซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ แรงดันเฉลี่ย 41.69V ใช้เวลาปล่อยประจุ 135 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 35.89V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 81,354.91J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 5,184J ประสิทธิภาพ 94.01% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.11 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่ 48V 60A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.12 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 60A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

จากภาพที่ 4.11 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดขึ้นเป็นค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นลบ (-) ค่าคงที่ ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.12 ช่วงครึ่งบวก (+) จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน เสมือนเป็นตัวรับพลังงาน ส่วนช่วงครึ่งลบ (-) เป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบค่าคงที่

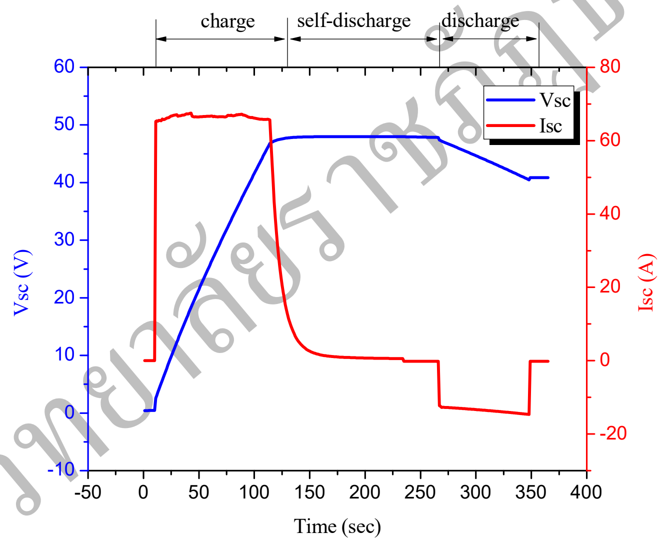
การทดลองที่ชาร์จ 48V 60A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 60A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะไม่สามารถปล่อยพลังงานได้หมด เนื่องจากวงจรภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานที่แรงดัน 35.35V ซึ่งทำให้ยังคงมีพลังงานที่เหลือภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จำนวนมาก ทำให้การประจุครั้งต่อไปจำเป็นต้องปล่อยพลังงานภายในให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ 10A จนพลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์หมด

7. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 70A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 70A

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 70A

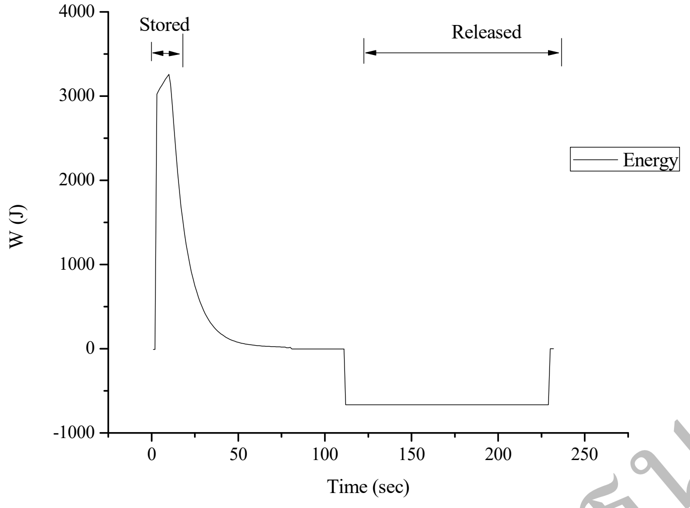
V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_C (sec)	t_d (sec)	W_C (Joule)	W_d (Joule)	W_R (Joule)	η (%)
47.97	40.86	40.46	70	0.0057	164	81	209,326.32	48,216.14	2,262.33	95.52

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 50A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.54V แรงดันเริ่มเก็บประจุที่ 2.57V จนถึงการประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.97V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 164 วินาที แรงดันเฉลี่ย 34.105V ใช้พลังงานในการประจุ 209,326.32J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.93V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 47.44V โดยการปล่อยประจุจะถูกปลดออกที่แรงดันถึง (V_{min}) 40.46V เนื่องจากผู้ผลิตซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ แรงดันเฉลี่ย 43.99V ใช้เวลาปล่อยประจุ 81 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 40.86V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 48,216.14J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 2,262.33J ประสิทธิภาพ 95.52% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.13 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่ 48V 70A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.14 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 70A

จากภาพที่ 4.13 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดขึ้นเป็นค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นลบ (-) ค่าคงที่ ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.14 ช่วงครึ่งบวก (+) จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน เสมือนเป็นตัวรับพลังงาน ส่วนช่วงครึ่งลบ (-) เป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบค่าคงที่

การทดลองที่ชาร์จ 48V 70A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 70A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะไม่สามารถปล่อยพลังงานได้หมด เนื่องจากวงจรภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานที่แรงดัน 40.46V ซึ่งทำให้ยังคงมีพลังงานที่เหลือภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จำนวนมาก ทำให้การประจุครั้งต่อไปจำเป็นต้องปล่อยพลังงานภายในให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ 10A จนพลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์หมด

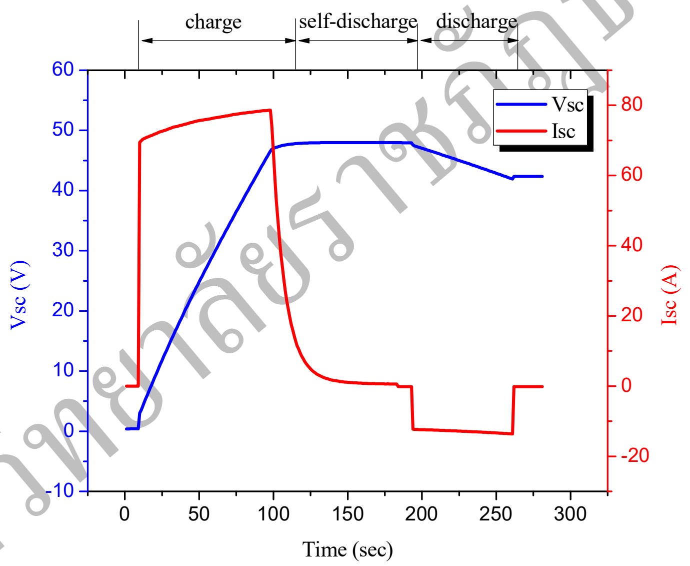
8. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 80A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 80A

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 80A

V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_C (sec)	t_d (sec)	W_C (joule)	W_d (joule)	W_R (joule)	η (%)
47.98	42.34	41.90	80	0.005	141	67	210,884.95	38,654.98	2,144	94.74

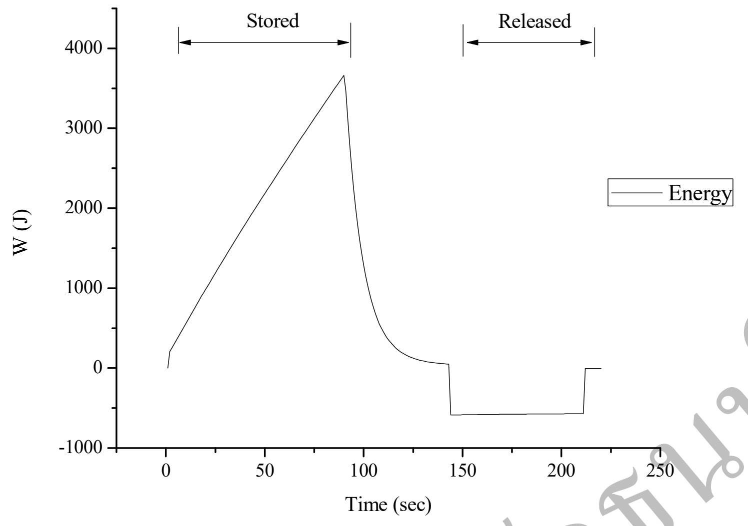
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 80A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.42V แรงดันเริ่มเก็บประจุที่ 2.99V จนถึงการประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.98V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 141 วินาที แรงดันเฉลี่ย 34.18V ใช้พลังงานในการประจุ 210,884.95J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.92V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 47.56V โดยการปล่อยประจุจะถูกปลดออกที่แรงดันถึง (V_{min}) 41.90V เนื่องจากผู้ผลิตซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ แรงดันเฉลี่ย 44.76V ใช้เวลาปล่อยประจุ 67 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 42.34V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 38,654.98J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 2,144 ประสิทธิภาพ 94.974% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.15 และภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.15 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่ 48V 80A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.16 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 80A

จากภาพที่ 4.15 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดขึ้นเป็นค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นลบ (-) ค่าคงที่ ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.16 ช่วงครึ่งบวก (+) จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน เสมือนเป็นตัวรับพลังงาน ส่วนช่วงครึ่งลบ (-) เป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบค่าคงที่

การทดลองที่ชาร์จ 48V 80A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 80A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะไม่สามารถปล่อยพลังงานได้หมด เนื่องจากวงจรภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานที่แรงดัน 41.91V ซึ่งทำให้ยังคงมีพลังงานที่เหลือภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จำนวนมาก ทำให้การประจุครั้งต่อไปจำเป็นต้องปล่อยพลังงานภายในให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ 10A จนพลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์หมด

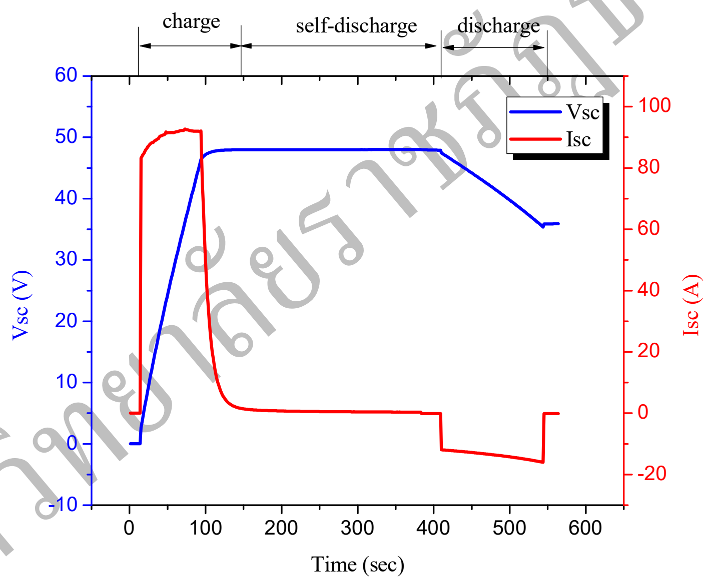
9. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 90A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 90A

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 90A

V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_C (sec)	t_d (sec)	W_C (joule)	W_d (joule)	W_R (joule)	η (%)
47.98	35.87	35.37	90	0.005	146	134	230,804.97	75,879.77	5,427	93.32

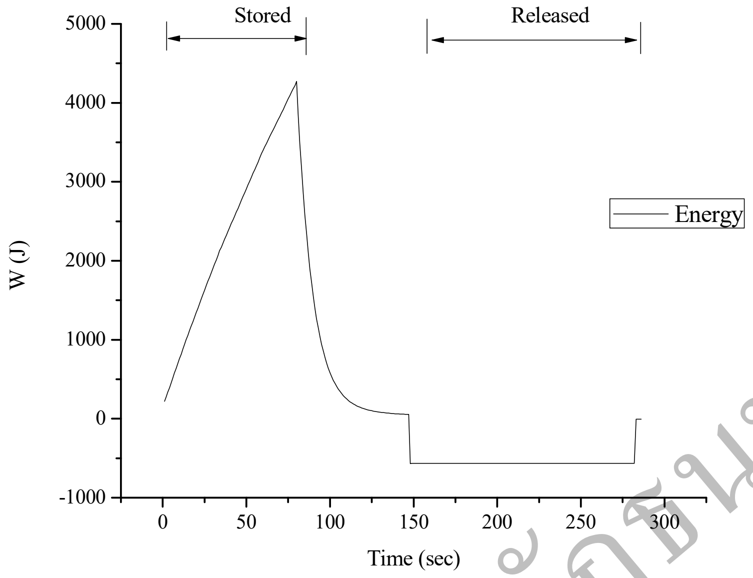
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 90A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.012V แรงดันเริ่มเก็บประจุที่ 2.65V จนถึงการประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.98V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 146 วินาที แรงดันเฉลี่ย 35.91V ใช้พลังงานในการประจุ 230,804.97J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.90V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 47.47V โดยการปล่อยประจุจะถูกปลดออกที่แรงดันถึง (V_{min}) 35.37V เนื่องจากผู้ผลิตซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ แรงดันเฉลี่ย 41.71V ใช้เวลาปล่อยประจุ 134 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 35.87V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 75,879.77J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 5,427J ประสิทธิภาพ 93.32% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.17 และภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.17 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่ 48V 90A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.18 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 90A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

จากภาพที่ 4.17 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดขึ้นเป็นค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นลบ (-) ค่าคงที่ ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.18 ช่วงครึ่งบวก (+) จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน เสมือนเป็นตัวรับพลังงาน ส่วนช่วงครึ่งลบ (-) เป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบค่าคงที่

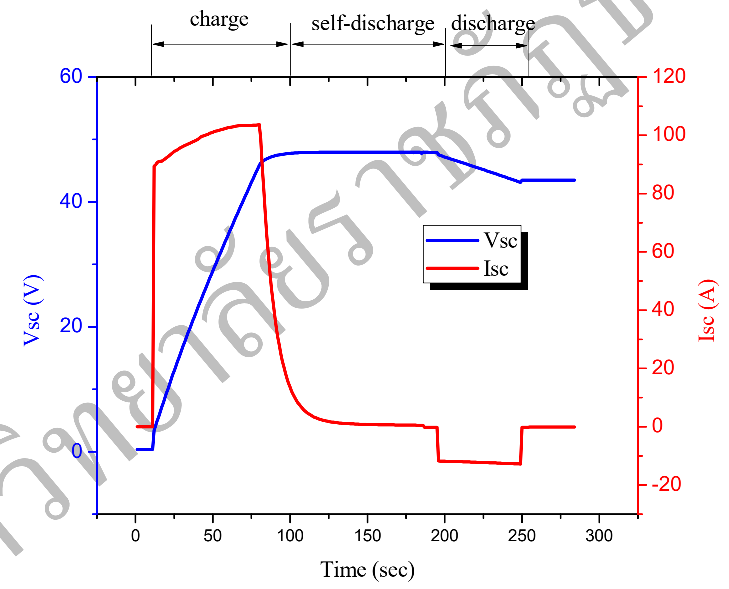
การทดลองที่ชาร์จ 48V 90A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 90A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะไม่สามารถปล่อยพลังงานได้หมด เนื่องจากวงจรภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานที่แรงดัน 35.37V ซึ่งทำให้ยังคงมีพลังงานที่เหลือภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จำนวนมาก ทำให้การประจุครั้งต่อไปจำเป็นต้องปล่อยพลังงานภายในให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ 10A จนพลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์หมด

10. ผลการวิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงาน ที่ 48V 100A อิเล็กทรอนิกส์โหลด 100A

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลการประจุและปล่อยประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ 48V 100A

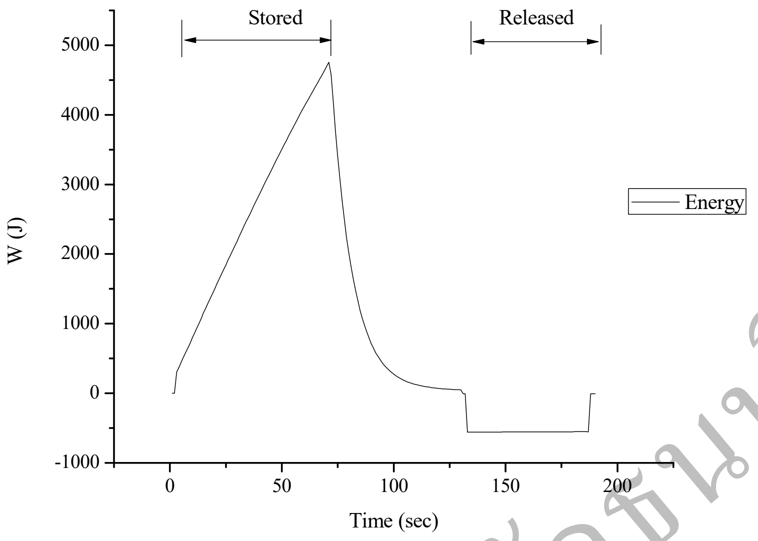
V_w (V)	V_f (V)	V_{min} (V)	I_d (A)	ESR (Ω)	t_C (sec)	t_d (sec)	W_C (joule)	W_d (joule)	W_R (joule)	η (%)
47.98	35.87	35.37	100	0.005	127	53	226,465	29,417.38	2,650	91.74

การทดลองการประจุและปล่อยประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 48V กระแสในการประจุที่ 90A โดยมีแรงดันภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.377V แรงดันเริ่มเก็บประจุที่ 3.44V จนถึงการประจุแรงดันเต็มพิกัด 47.98V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 127 วินาที แรงดันเฉลี่ย 35.95V ใช้พลังงานในการประจุ 226,465J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 47.93V และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 47.55V โดยการปล่อยประจุจะถูกปลดออกที่แรงดันถึง (V_{min}) 43.139V เนื่องจากผู้ผลิตซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ แรงดันเฉลี่ย 45.36V ใช้เวลาปล่อยประจุ 53 วินาที หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_f) เท่ากับ 43.51V ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 29,417.38J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 2,650J ประสิทธิภาพ 91.74% ซึ่งผลการตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.19 และภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.19 แรงดันและกระแสช่วงการประจุและปล่อยประจุที่ 48V 100A

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.20 พลังงานช่วงการประจุและปล่อยประจุ ที่อิเล็กทรอนิกส์โหลด 100A

จากภาพที่ 4.19 พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน และกระแสจะเกิดขึ้นเป็นค่าคงที่บวก (+) หมายถึงเป็นตัวรับพลังงาน และช่วงปล่อยประจุแรงดันจะลดลงแบบทรานเซียน กระแสจะเป็นลบ (-) ค่าคงที่ ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงาน ในส่วนของพลังงาน ภาพที่ 4.20 ช่วงครึ่งบวก (+) จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแบบทรานเซียน เสมือนเป็นตัวรับพลังงาน ส่วนช่วงครึ่งลบ (-) เป็นตัวจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบค่าคงที่

การทดลองที่ชาร์จ 48V 100A และปล่อยพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด 100A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะไม่สามารถปล่อยพลังงานได้หมด เนื่องจากวงจรภายในของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานที่แรงดัน 43.139V ซึ่งทำให้ยังคงมีพลังงานที่เหลือภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จำนวนมาก ทำให้การประจุครั้งต่อไปจำเป็นต้องปล่อยพลังงานภายในให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลดที่ 10A จนพลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์หมดแรงดันเหลือ 0.50V

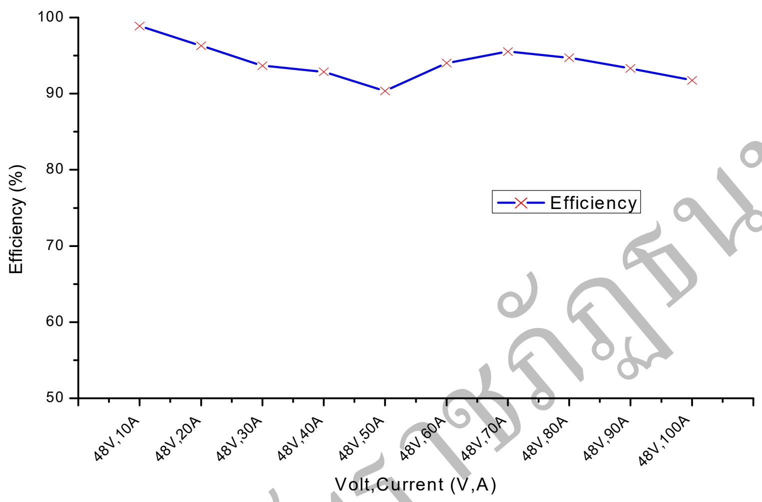
ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้าในการเก็บประจุคงที่ 48V กระแส 10A พบว่าที่กระแสเก็บประจุต่ำจะได้ประสิทธิภาพสูงถึง 98.88% และเมื่อเพิ่มกระแสในการประจุเป็น 50A และ 100A จะได้ประสิทธิภาพลดต่ำลงเป็น 90.34% และ 91.74% แสดงดังภาพที่ 4.21 โดยการหาค่าประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ สามารถหาได้ดังนี้

ที่แรงดัน 48V กระแส 10A หาค่าประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ (η) ได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ } \eta_{SC} = \frac{\sum (V_{out} \times I_{out})}{\sum (V_{in} \times I_{in})} \times 100\%$$

$$= \frac{21,0140}{278,425} \times 100\% = 98.88\%$$



ภาพที่ 4.21 ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

จากภาพที่ 4.21 ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์สูงสุดที่ 98.88% เมื่อใช้กระแสในการประจุต่ำที่ 10A และเมื่อเพิ่มกระแสในการประจุมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง เมื่อใช้กระแสในการประจุที่ 50A จะได้ประสิทธิภาพ 90.34% แต่ในการทดลองพบว่าในการประจุที่กระแส 100A อิเล็กทรอนิกส์โหลดสำหรับปล่อยประจุ 100A จะได้ประสิทธิภาพ 91.74% ซึ่งสูงกว่าที่กระแสในการประจุ 50A ซึ่งเกิดจากซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดวงจรภายด้วยตัวเองที่แรงดัน 43.139V ทำให้พลังงานภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ยังคงเหลือสำหรับจ่ายโหลดที่กระแสต่ำกว่า 10A

ความต้านทานอนุกรมภายในซุปเปอร์คาซิเตอร์

ความต้านทานอนุกรมภายในซุปเปอร์คาซิเตอร์ (Equivalent Series Resistance or ESR) สามารถหาได้จากการจ่ายไฟในช่วงแรงดัน (ΔV) และกระแส (ΔI) ในระหว่างการปล่อยประจุ และสามารถหาค่าความต้านทานอนุกรมภายในได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

$$ESR = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

$$ESR = \frac{V_f - V_{min}}{I_d}$$

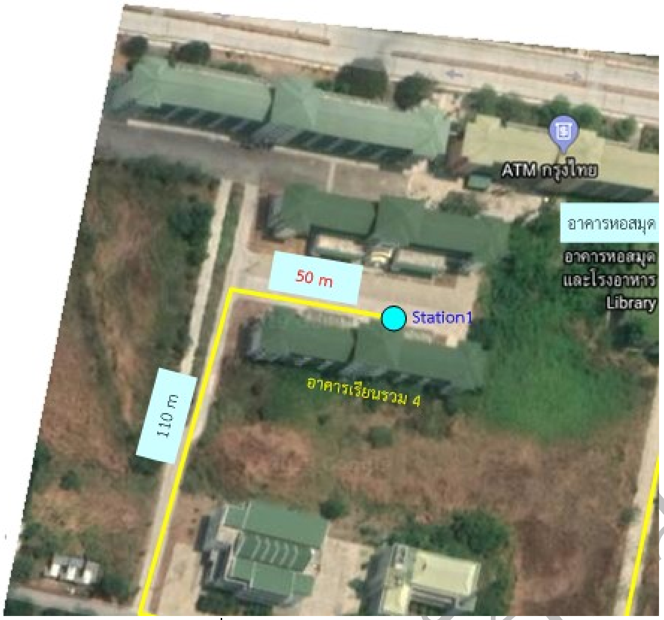
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความต้านทานอนุกรมภายในซุปเปอร์คาซิเตอร์(ESR) และพลังงานสูญเสีย W_R

V, I (V, A)	ESR (ohm)	W_R (joule)
48V, 10A	0.03	2,370
48V, 20A	0.065	3,562
48V, 30A	0.047	6,302.7
48V, 40A	0.025	4,520
48V, 50A	0.0146	2,993
48V, 60A	0.0106	5,184
48V, 70A	0.0057	2,262.33
48V, 80A	0.005	2,144
48V, 90A	0.005	5,427
48V, 100A	0.005	2,650
เฉลี่ย	0.02129	3,742

ผลการวิเคราะห์ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์กับการขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์ใช้ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานแทนแบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า โดยการวิ่งทดสอบไป กลับ ระหว่างอาคารเรียนรวม 4 และอาคารหอสมุด มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ ซึ่งมีระยะทาง 505 เมตรต่อเที่ยว และระยะทางไปกลับรวม 1010 เมตร แสดงดังภาพที่ 4.22

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

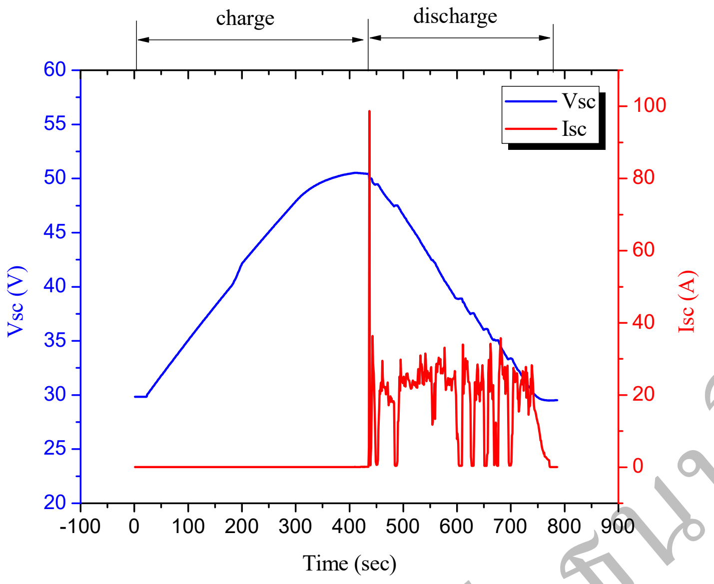


ภาพที่ 4.22 แผนผังการทดลองวิ่งของยานพาหนะไฟฟ้ารวมระยะทาง 505 กิโลเมตร

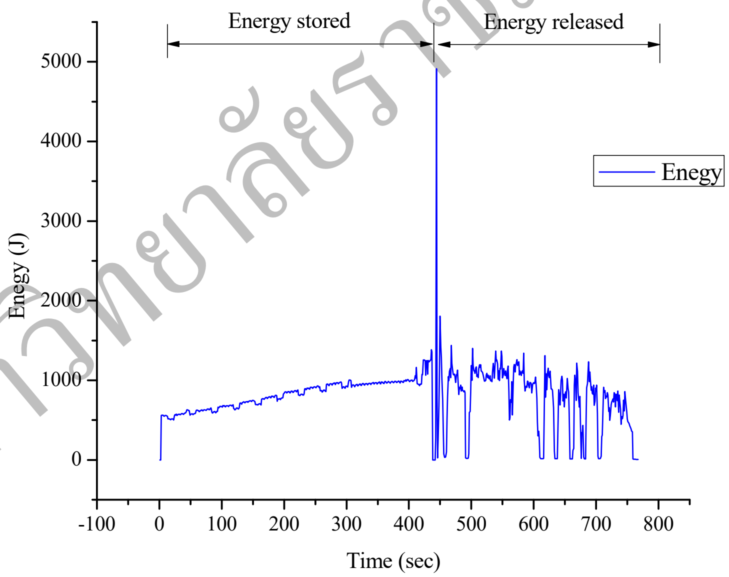
ผลการวิเคราะห์ยานพาหนะไฟฟ้าโดยการใช้พลังงานจากซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าของยานพาหนะไฟฟ้า มีดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์ชาร์จที่แรงดันคงที่ 50.52V กระแส 20.33A

เมื่ออัดประจุ (ชาร์จ) จนเต็มที่พิกัดแรงดัน 50.52V กระแส 20.33A ใช้เวลาอัดประจุ 447 วินาที (7 นาที 27 วินาที) การชาร์จใช้พลังงานเฉลี่ย 822.47W พลังงานสูงสุด 1384.03W พลังงานต่ำสุด 502.65W จากนั้นทำการทดลองวิ่งจริงตามเส้นทางที่กำหนดโดยน้ำหนักบรรทุก 3 คน รวมน้ำหนักทั้งหมด (290kg+60kg+65kg+65kg) เท่ากับ 480 kg ใช้เวลา 315 วินาที (5 นาที 15 นาที) วัดระยะทางที่วิ่งได้ 1010 เมตร การขับเคลื่อนใช้พลังงานเฉลี่ย 798.29W พลังงานสูงสุด 4914.15W พลังงานต่ำสุด 12.91W และผลตอบสนองของกระแส แรงดัน แสดงดังภาพที่ 4.23 และพลังงานช่วงการประจุและช่วงการปล่อยประจุ แสดงดังภาพที่ 4.24 โดยวงจรภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานเมื่อแรงดันต่ำสุด 30.10V



ภาพที่ 4.23 กระแส แรงดันชาร์จที่ 50.52V กระแส 20.33A ทดลองวิ่งที่น้ำหนักรวม 480 kg



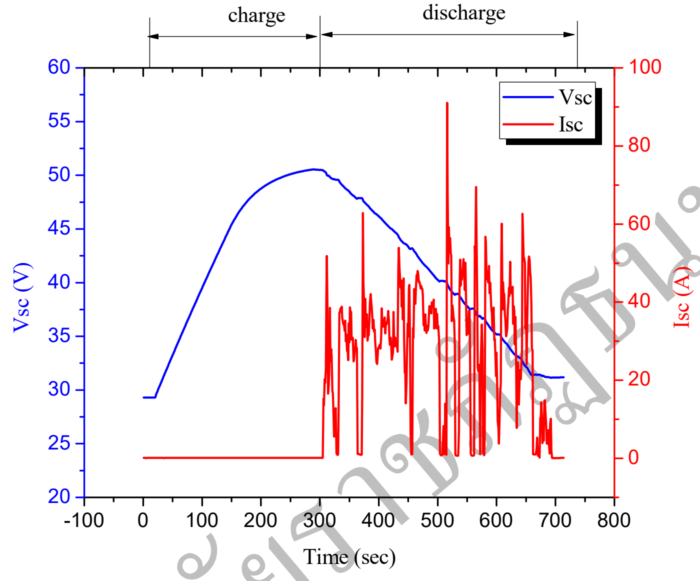
ภาพที่ 4.24 พลังงานช่วงชาร์จ 50.52V กระแส 20.33A ทดลองวิ่งที่น้ำหนักรวม 480 kg

2. ผลการวิเคราะห์ชาร์จที่แรงดันคงที่ 50.53V กระแส 39.53A

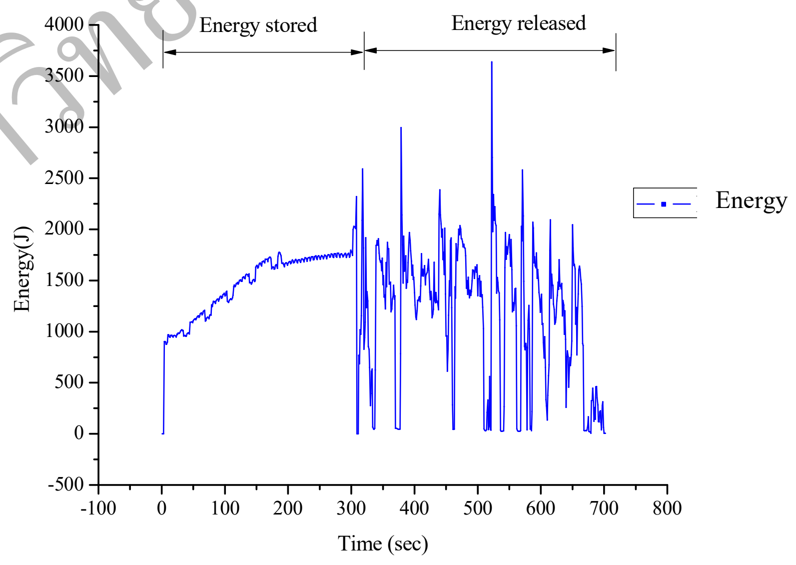
เมื่ออัดประจุ (ชาร์จ) จนเต็มที่พิกัดแรงดัน 50.53V กระแส 39.53A ใช้เวลาอัดประจุ 310 วินาที (5 นาที 10 วินาที) การชาร์จใช้พลังงานเฉลี่ย 1459.30W พลังงานสูงสุด 1777.04W พลังงานต่ำสุด 874.95W จากนั้นทำการทดลองวิ่งจริงตามเส้นทางที่กำหนดโดยน้ำหนักบรรทุก 2 คน รวมน้ำหนัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

ทั้งหมด (290kg+60kg+65kg) เท่ากับ 415 kg ใช้เวลา 388 วินาที (6 นาที 28 นาที) วัดระยะทางที่วิ่งได้ 1100 เมตร การขับเคลื่อนใช้พลังงานเฉลี่ย 896.92W พลังงานสูงสุด 1174.06W พลังงานต่ำสุด 64.02W และผลตอบสนองของกระแส แรงดัน แสดงดังภาพที่ 4.25 และพลังงานช่วงการประจุและช่วงการปล่อยประจุ แสดงดังภาพที่ 4.26 โดยวงจรภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานเมื่อแรงดันต่ำสุด 31.14V



ภาพที่ 4.25 แรงดัน กระแสชาร์จที่ 50.53V กระแส 39.53A ทดลองวิ่งน้ำหนักรวม 415 kg

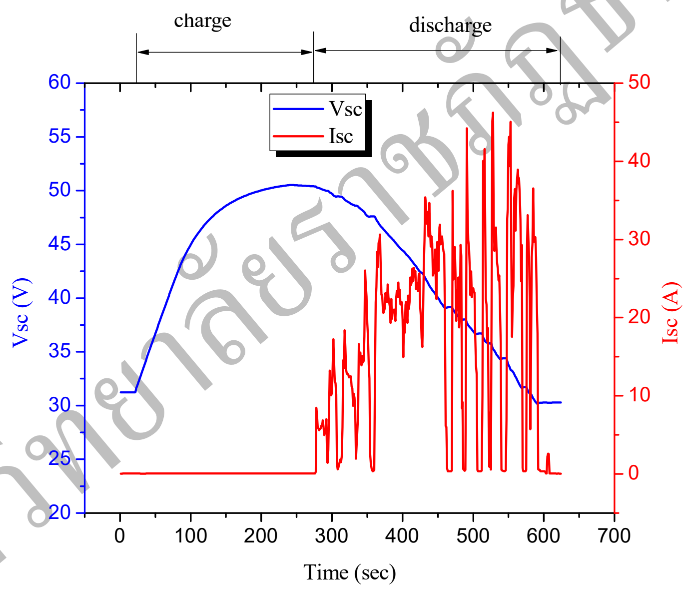


ภาพที่ 4.26 พลังงานช่วงชาร์จ 50.53V กระแส 39.53A ทดลองวิ่งที่น้ำหนัก 415 kg

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

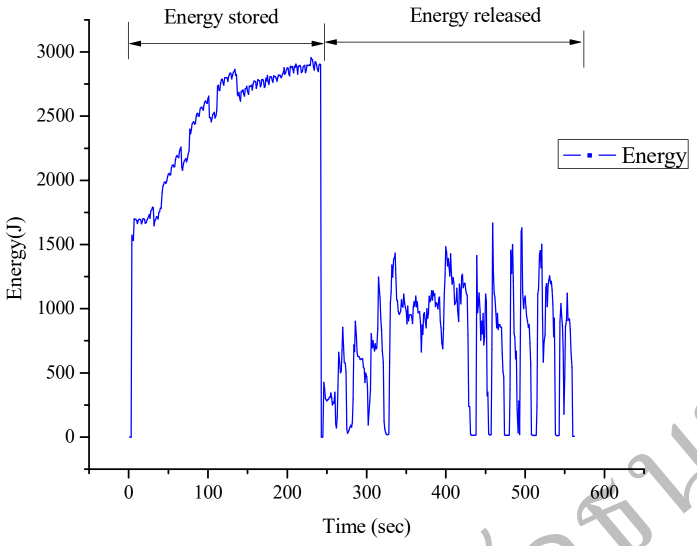
3. ผลการวิเคราะห์ชาร์จที่แรงดันคงที่ 50.50V กระแส 57.41A

เมื่ออัดประจุ (ชาร์จ) จนเต็มที่พิกัดแรงดัน 50.50V กระแส 57.41A ใช้เวลาอัดประจุ 238 วินาที (3 นาที 58 วินาที) การชาร์จใช้พลังงานเฉลี่ย 2484.53W พลังงานสูงสุด 2956.45W พลังงานต่ำสุด 1531.77W จากนั้นทำการทดลองวิ่งจริงตามเส้นทางที่กำหนดโดยน้ำหนักบรรทุก 2 คน รวมน้ำหนักทั้งหมด (290kg+60kg+65kg+65kg) เท่ากับ 480 kg ใช้เวลา 313 วินาที (5 นาที 12 นาที) วัดระยะทางที่วิ่งได้ 990 เมตร การขับเคลื่อนใช้พลังงานเฉลี่ย 743.39W พลังงานสูงสุด 1667.78W พลังงานต่ำสุด 10.99W และผลตอบสนองของกระแส แรงดัน แสดงดังภาพที่ 4.27 และพลังงานช่วงการประจุและช่วงการปล่อยประจุ แสดงดังภาพที่ 4.28 โดยวงจรภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานเมื่อแรงดันต่ำสุด 30.15V



ภาพที่ 4.27 แรงดัน กระแสชาร์จที่ 50.50V 57.41A ทดลองวิ่งที่น้ำหนักรวม 480 kg

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

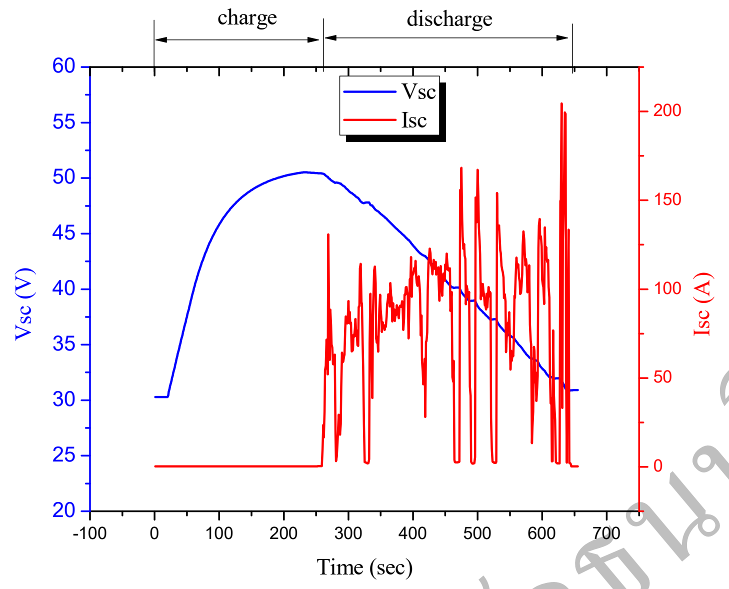


ภาพที่ 4.28 พลังงานช่วงชาร์จ 50.50V กระแส 57.41A ทดลองวิ่งที่น้ำหนักรวม 480 kg

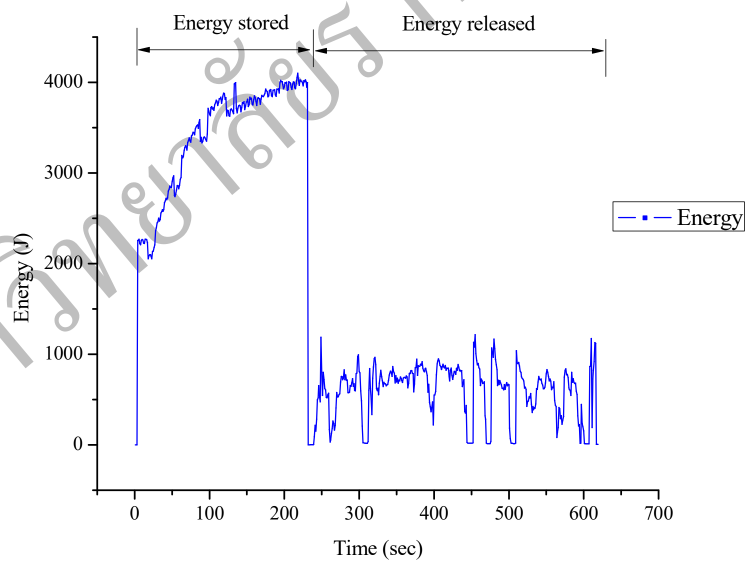
4. ผลการวิเคราะห์ชาร์จที่แรงดันคงที่ 50.49V กระแส 79.15A

เมื่ออัดประจุ (ชาร์จ) จนเต็มที่พิกัดแรงดัน 50.49V กระแส 79.15A ใช้เวลาอัดประจุ 222 วินาที (3 นาที 42 วินาที) การชาร์จใช้พลังงานเฉลี่ย 3428.44W พลังงานสูงสุด 4100.26W พลังงานต่ำสุด 2052.51W จากนั้นทำการทดลองวิ่งจริงตามเส้นทางที่กำหนดโดยน้ำหนักบรรทุก 2 คน รวมน้ำหนักทั้งหมด (290kg+60kg+55kg) เท่ากับ 405 kg ใช้เวลา 381 วินาที (6 นาที 21 นาที) วัดระยะทางที่วิ่งได้ 1150 เมตร การขับเคลื่อนใช้พลังงานเฉลี่ย 591.78W พลังงานสูงสุด 1216.17W พลังงานต่ำสุด 3.69W และผลตอบสนองของกระแส แรงดัน แสดงดังภาพที่ 4.29 และพลังงานช่วงการประจุและช่วงการปล่อยประจุ แสดงดังภาพที่ 4.30 โดยวงจรภายในซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะตัดการจ่ายพลังงานเมื่อแรงดันต่ำสุด 30.82V

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

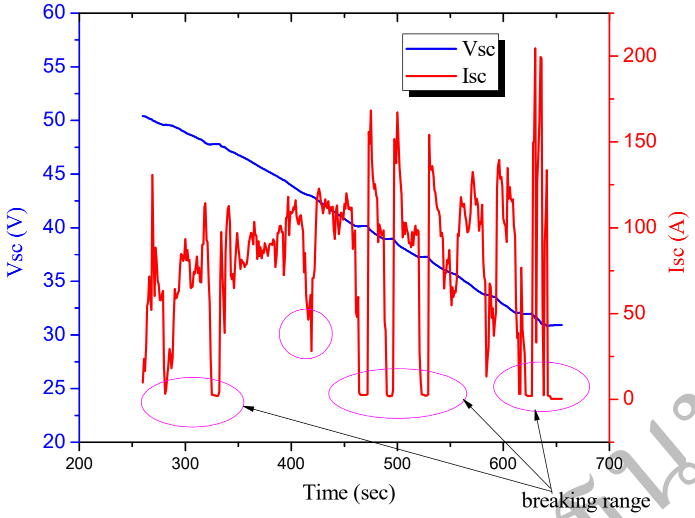


ภาพที่ 4.29 แรงดัน กระแสชาร์จที่ 50.49V 79.15A ทดลองวิ่งที่น้ำหนัก 405 kg



ภาพที่ 4.30 พลังงานช่วงชาร์จ 50.49V กระแส 79.15A ทดลองวิ่งที่น้ำหนัก 405 kg

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.31 กระแส แรงดันช่วงเบรกและชะลอเบรก

จากภาพที่ 4.31 เป็นผลจากการทดลองวิ่งเพื่อศึกษาการเก็บพลังงานของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ช่วงเบรกและชะลอเบรก ซึ่งซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะได้รับการประจุแรงดันไฟฟ้าจากไดชาร์จซึ่งทำให้ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ได้รับการประจุช่วงเบรกและชะลอเบรก

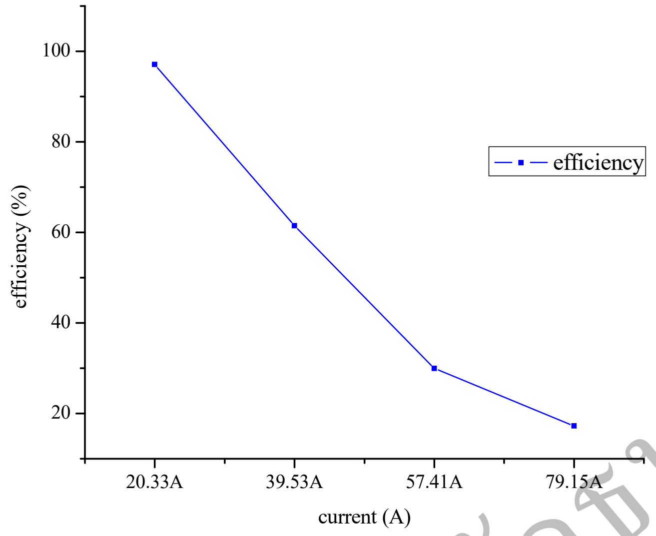
ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของยานพาหนะไฟฟ้า

จากการติดตั้งซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เพื่อขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้า โดยทดสอบชาร์จที่กระแสค่าต่างๆ จากนั้นได้ทดลองวิ่งตามเส้นทางจริงทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด 97.06% ที่กระแสชาร์จ 20.33A และเมื่อเพิ่มกระแสชาร์จสูงขึ้นที่ 79.15A จะทำให้ประสิทธิภาพลดลงเป็น 17.26%

ตารางที่ 4.12 แสดงพลังงานที่ใช้ชาร์จและขับเคลื่อนยานพาหนะไฟฟ้าที่กระแสชาร์จต่างกัน

Charge current (A)	Time (sec)		Energy stored (Watt)	Energy released (Watt)	Efficiency (%)
	charge	discharge			
20.33A	447	315	798.29	822.47	97.06
39.53A	310	388	896.92	1459.30	61.46
57.41A	238	313	743.39	2484.53	29.92
79.15A	222	381	591.78	3428.44	17.26

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



ภาพที่ 4.32 ประสิทธิภาพของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ที่ใช้ขับยานพาหนะไฟฟ้า

จากภาพที่ 4.32 พบว่าที่กระแสชาร์จ 20.33A ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูงสุด 97.06% และเมื่อเพิ่มกระชาร์จสูงขึ้น 79.15 จะทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง 17.26% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการชาร์จที่กระแสต่ำจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มกระแสชาร์จสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงตามลำดับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี