

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทดสอบอุปกรณ์การเชื่อมสตัดแบบใช้การดิสชาร์จจากตัวเก็บประจุประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่การทดสอบแหล่งจ่ายไฟการเชื่อมสตัดแบบใช้การดิสชาร์จจากตัวเก็บประจุ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของอุปกรณ์การทดลอง และการทดลองการเชื่อมสตัดแบบใช้การดิสชาร์จจากตัวเก็บประจุ เพื่อทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานเชื่อมที่ได้จากกระบวนการเชื่อมสตัด และทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างสมมูลการเชื่อมและค่าแรงดึงที่ได้จากกระบวนการเชื่อมสตัดแบบใช้การดิสชาร์จจากตัวเก็บประจุ

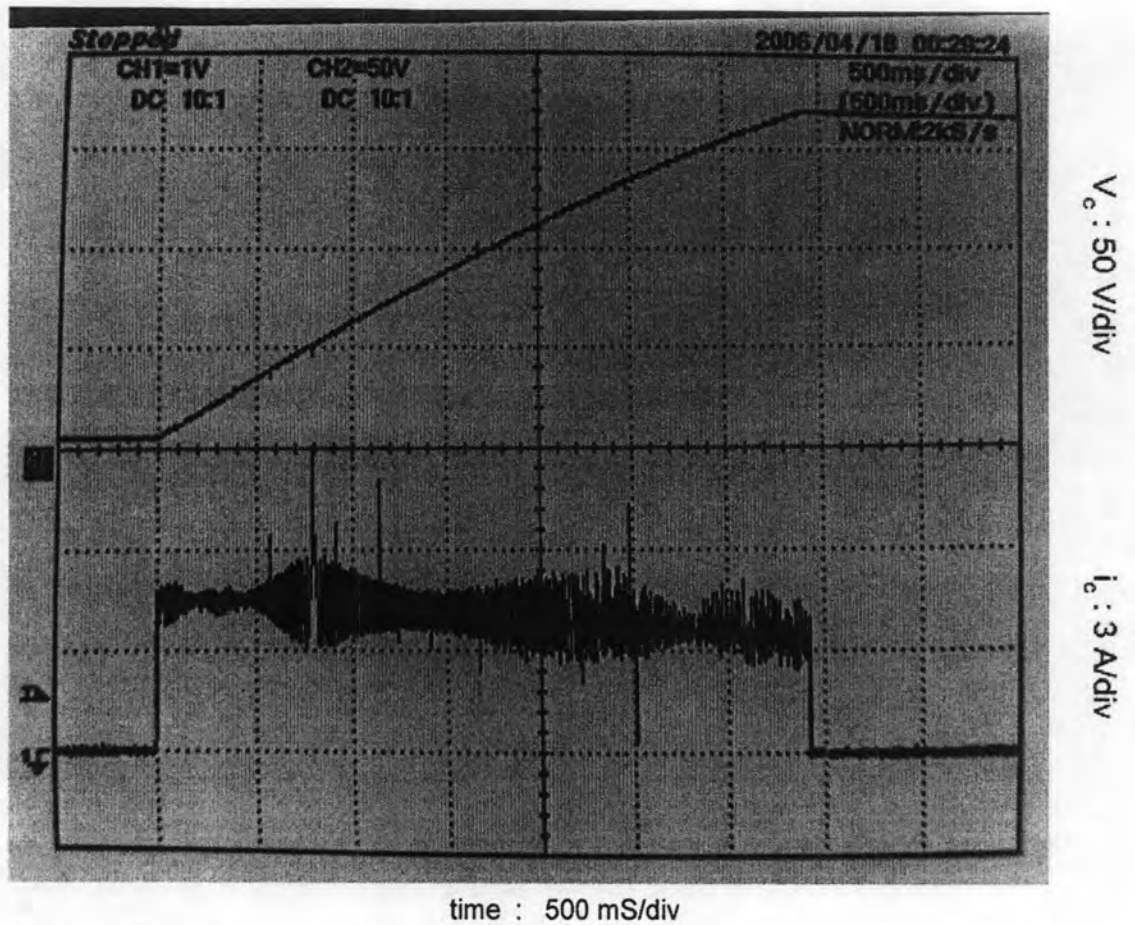
4.1 การทดลองแหล่งจ่ายไฟการเชื่อมสตัดแบบใช้การดิสชาร์จจากตัวเก็บประจุ

การทดสอบแหล่งจ่ายไฟการเชื่อมสตัดแบบใช้การดิสชาร์จจากตัวเก็บประจุประกอบด้วย การทดสอบ 2 ส่วน ส่วนแรกคือการทดสอบการชาร์จตัวเก็บประจุและการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ส่วนที่สองคือการทดสอบการลดระดับแรงดันและการคืนพลังงาน ได้ผลการทดลอง ดังนี้

4.1.1 การทดลองการชาร์จตัวเก็บประจุและการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

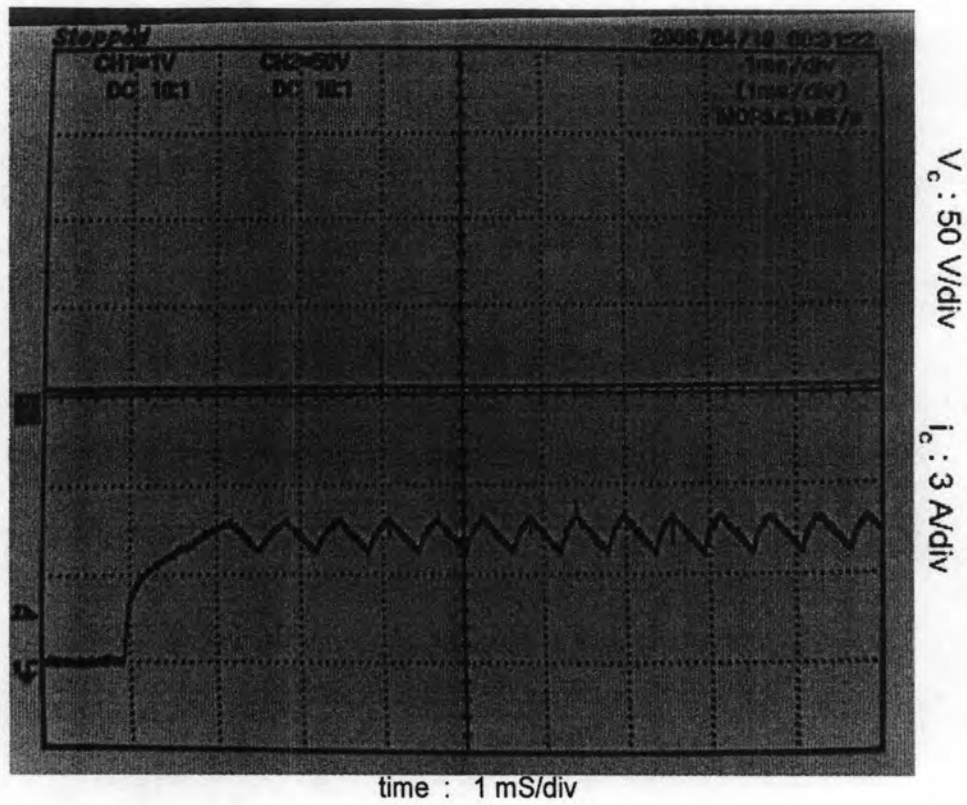
4.1.1.1 ผลการทดลองการชาร์จตัวเก็บประจุ

ในการทดลองชาร์จตัวเก็บประจุทำการทดลองโดยการป้อนค่าแรงดันให้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในลักษณะค่าขั้น (step) โดยกำหนดจำนวนขั้นไว้ที่ 690 ขั้น ที่จำนวนขั้นนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการชาร์จตัวเก็บประจุที่ค่าแรงดันประมาณ 170 โวลต์ กระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (I_C) ถูกตั้งขอบล่าง (I_L) ไว้ที่ 3 แอมป์ และถูกตั้งขอบบน (I_H) ไว้ที่ 6 แอมป์ ความถี่การสวิตช์มีค่าประมาณ 1-3 kHz จากนั้นทำการเก็บค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) และกระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (I_C) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1-4.5

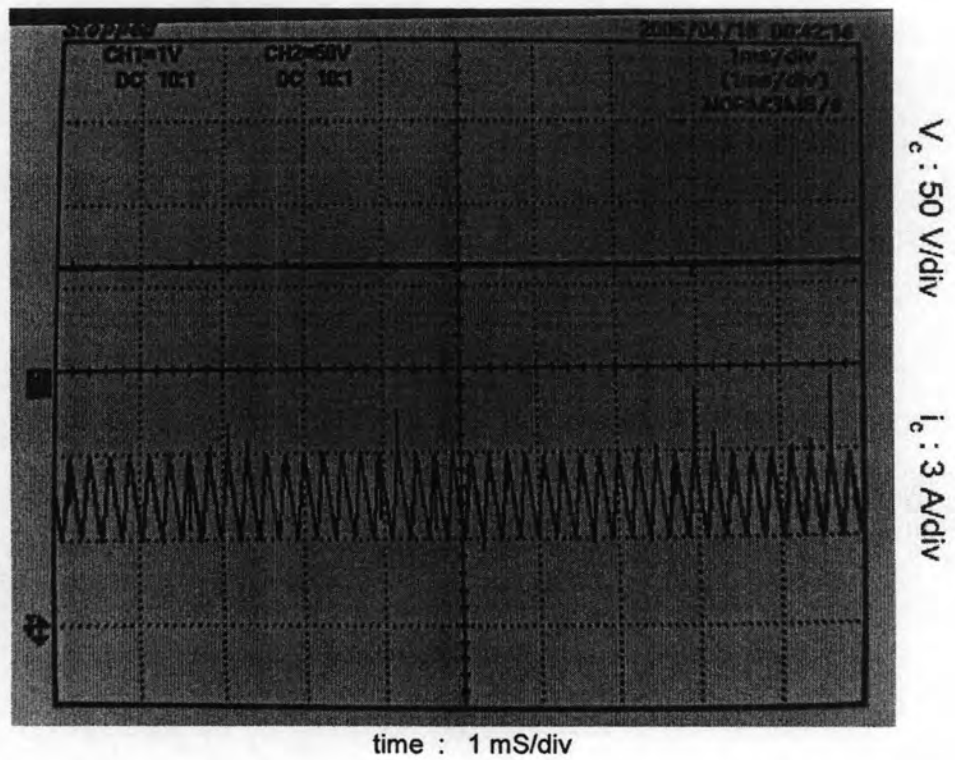


รูปที่ 4.1 กราฟแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) และกระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (I_C) ขณะชาร์จตัวเก็บประจุ (รูปบนแสดงแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) รูปล่างแสดงกระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (I_C))

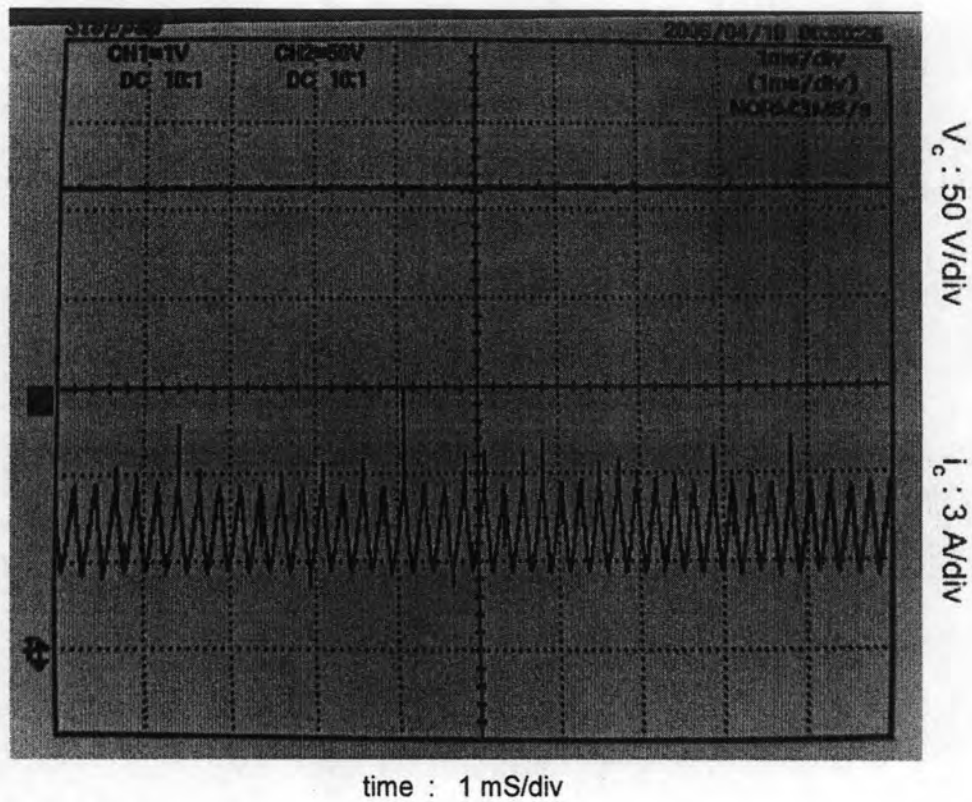
จากกราฟเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าเพิ่มเป็นเชิงเส้นตามสมการ $V_C = \frac{i_C}{C} \cdot t$ อย่างไรก็ตามค่ากระแสที่วัดได้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากการสุมแรงดันของ ออสซิลโลสโคปที่เป็นแบบดิจิตอล โดยเมื่อทำการขยายช่วงเวลาการวัด (time/div) ที่ช่องละ 1 มิลลิวินาที จะได้รูปกราฟของกระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (I_C) ดังนี้



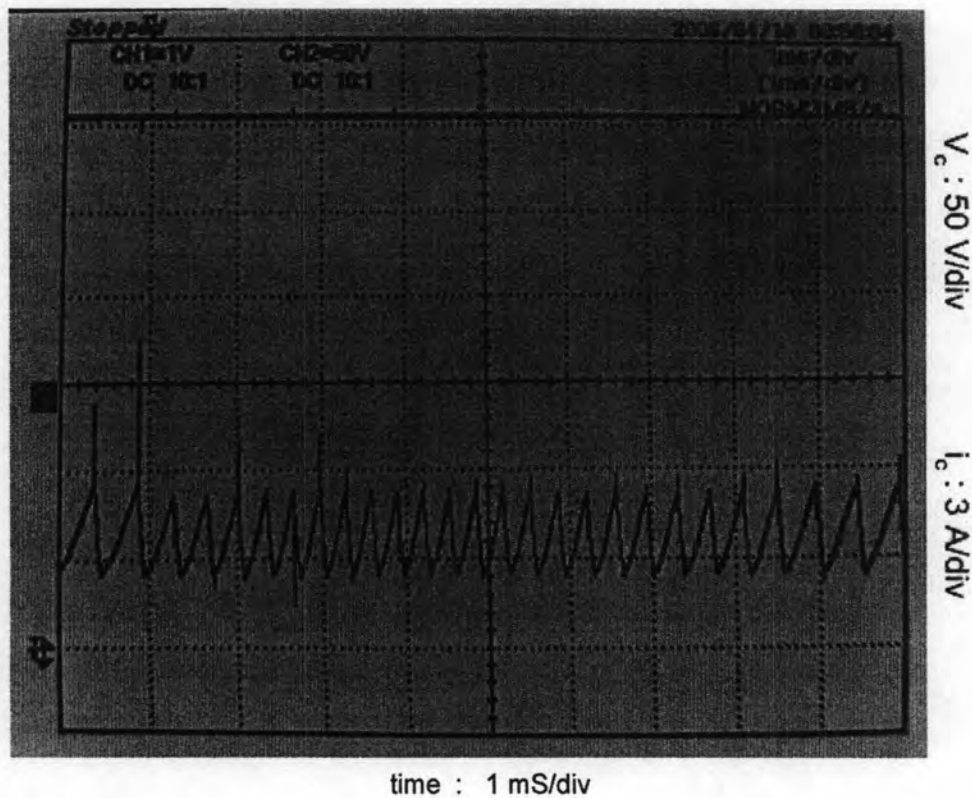
รูปที่ 4.2 กราฟแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_c) และกระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (I_c) ที่เวลาเริ่มชาร์จตัวเก็บประจุ



รูปที่ 4.3 กราฟแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_c) และกระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (I_c) ที่เวลา 1 วินาทีหลังจากการเริ่มชาร์จตัวเก็บประจุ



รูปที่ 4.4 กราฟแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_c) และกระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (I_c) ที่เวลา 2 วินาทีหลังจากการเริ่มชาร์จตัวเก็บประจุ



รูปที่ 4.5 กราฟแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_c) และกระแสชาร์จตัวเก็บประจุ (I_c) ที่เวลา 3 วินาทีหลังจากการเริ่มชาร์จตัวเก็บประจุ

จากกราฟจะเห็นได้ว่ากระแสขาร์จตัวเก็บประจุ (I_C) จะถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง 3-6 แอมป์ อย่างไรก็ตามก็ตีค่ากระแสขาร์จตัวเก็บประจุจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป อันเป็นผลเนื่องจากการตอบสนองของตัวเปรียบเทียบแรงดันในวงจรมิตต์ทริกเกอร์มีค่าไม่คงตัว เนื่องจากการขึ้น-ลงของกระแสขาร์จตัวเก็บประจุที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุใดๆ มีค่าต่างกัน

ในที่นี้เวลาขาร์จตัวเก็บประจุจากแรงดัน 0-170 โวลต์ จะมีค่าประมาณ 3.4 วินาที และสามารถประมาณค่ากระแสขาเข้าได้จากสมการ

$$I_{AC,rms} = \frac{V_{C,max} \cdot i_C}{V_{AC,rms}}$$

ได้ว่า

$$I_{AC,rms} = \frac{170 \cdot 4.5}{220} = 3.47 A$$

4.1.1.2 ผลการทดลองการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

การทดลองควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุประกอบด้วยการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในช่วงเพิ่ม-ลดระดับแรงดันและช่วงคงค่าแรงดัน และการทดลองควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในช่วงก่อนเริ่มกระบวนการเชื่อมสตัด ที่มีการตรวจเช็คระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเพิ่มเข้ามา ได้ผลการทดลองดังนี้

1) ผลการทดลองการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุช่วงเพิ่มลดระดับแรงดัน

ในที่นี้จะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ตามโพลีชาร์ตการเพิ่ม-ลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุในรูปที่ 3.41 จากนั้นทำการป้อนแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในลักษณะค่าขึ้น โดยกำหนดจำนวนขั้นตั้งแต่ 100-700 ขั้น ทำการเพิ่มจำนวนขั้นทีละ 100 ขั้น และทดลองควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ขั้นละ 10 ค่า ใช้ฮอสซิลโลสโคปวัดค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) ที่ได้หลังจากวงจรถาร์จตัวเก็บประจุหยุดขาร์จประจุ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การกำหนดค่าขึ้นและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขาออกที่ได้จากการควบคุมแรงดันโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ค่าขึ้น	แรงดัน										ค่าเฉลี่ย (Mode)	ความผิดพลาด (Max. Error)	เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด (%Error)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
100	28	24.8	27.6	27.6	28	27.6	28	27.6	27.6	28	27.6	2.8	10.14
150	39.2	39.6	39.2	39.6	39.6	39.6	37.2	39.6	39.6	39.6	39.6	2.4	6.06
200	50	50	50	50	50.4	48	49.2	48.4	50.4	47.2	50	2.8	5.6
300	68	70	70	69.6	70	69.2	70	70	70.4	70.4	70	2	2.86
400	92	92	91.6	91.6	92	92	92	89.2	92	92	92	2.8	3.04
500	112.4	116	115.6	114.8	116.4	113.6	113.6	116	116	116	116	3.6	3.1
600	137.6	143.2	143.2	142.4	137.6	138.8	143.2	142.4	143.6	143.6	143.2	5.6	3.91
700	172.4	174.8	175.2	175.6	175.6	175.2	172.8	176	176	176	176	3.6	2.05

จากผลการทดลองแสดงการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการทดลองช่วงเพิ่ม-ลดระดับแรงดันพบว่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าค่อนข้างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนชั้นที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 10% ที่ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขาออกต่ำกว่า 50 โวลต์ และความผิดพลาดอยู่ในช่วง 4% ที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขาออกสูงกว่า 50 โวลต์ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเกิดจากผลของการรบกวนและยอดแหลมที่เกิดขึ้นบนแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเนื่องมาจากการสวิตช์ของวงจรชาร์จตัวเก็บประจุ

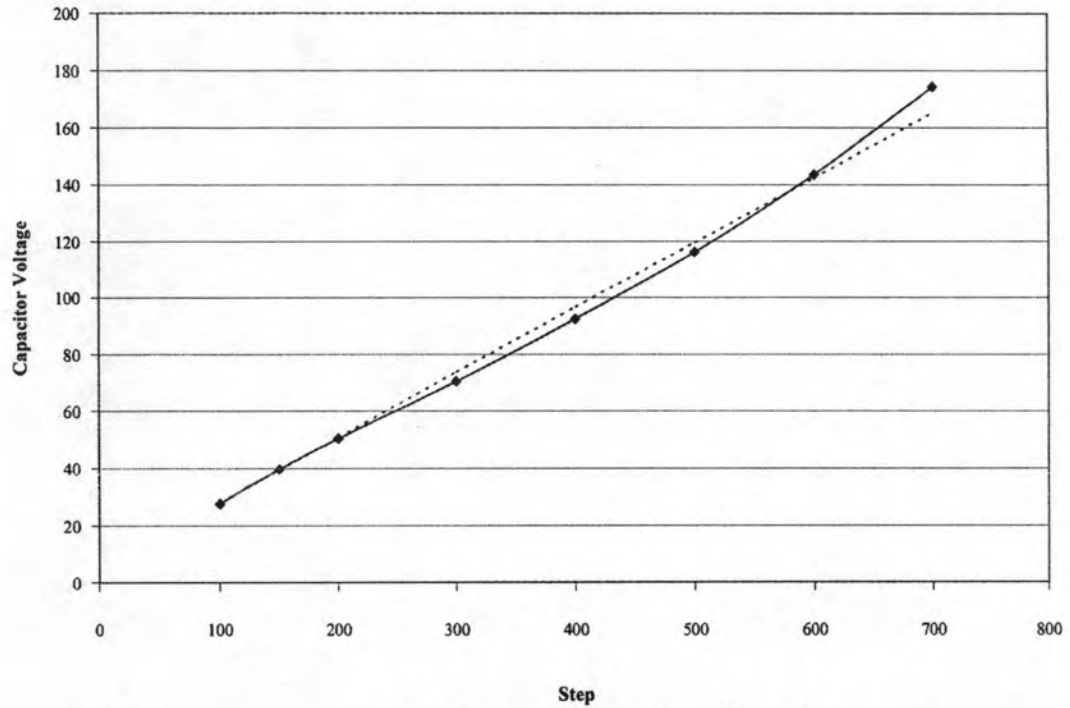
2) ผลการทดลองการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุช่วงก่อนเริ่มกระบวนการเชื่อมสตัด

ในที่นี้จะทำการเขียนโปรแกรมตามไฟล์ชาร์ตการเพิ่ม-ลดระดับแรงดัน โดยหลังจากการชาร์จตัวเก็บประจุแล้วจะสั่งให้มีการตรวจเช็คระดับแรงดันตามไฟล์ชาร์ตย่อยการชาร์จและตรวจเช็คระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 3.45 ทำการป้อนค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในลักษณะค่าชั้น โดยกำหนดจำนวนชั้นตั้งแต่ 100-700 ชั้น ทำการเพิ่มจำนวนชั้นทีละ 100 ชั้น และทดลองควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ชั้นละ 10 ค่า ใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) ที่ได้หลังจากวงจรชาร์จตัวเก็บประจุหยุดชาร์จประจุ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การกำหนดค่าขึ้นและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุขาออกที่ได้จากการควบคุมแรงดันโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
เมื่อมีการตรวจเช็คระดับแรงดัน

ค่าขึ้น	แรงดัน										ค่าเฉลี่ย (Mode)	ความผิดพลาด (Max. Error)	เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาด (%Error)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
100	27.6	27.6	28	27.6	27.6	27.6	28	28	28	27.6	27.6	0.4	1.45
150	39.6	39.6	39.6	38.8	39.6	39.6	39.6	39.6	39.2	40	39.6	0.8	2.02
200	50	50	50	50.4	50.4	50.4	50.8	49.6	50.4	50.4	50.4	0.8	1.59
300	70.4	70.4	70.4	70.4	70.4	70	70.4	70.4	70	70.4	70.4	0.4	0.57
400	92.4	92	92.4	92.4	92.4	92.4	92	92.4	92.4	92.4	92.4	0.4	0.43
500	116	116	116	116.4	116.4	116	116.4	116.4	115.2	114.4	116.2	1.8	1.55
600	143.2	142.8	143.6	143.2	143.6	141.6	143.6	143.6	143.6	141.2	143.6	2.4	1.67
700	174.4	174.4	174.4	172	174.8	174.8	174.4	172.4	174.8	174.8	174.4	2.4	1.38

จากผลการทดลองการควบคุมแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแบบมีการตรวจเช็คระดับแรงดัน พบว่าแรงดันขาออกมีค่าค่อนข้างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนขั้นที่ป้อนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ความผิดพลาดที่ได้อยู่ในช่วง 2% ที่ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุต่ำกว่า 50 โวลต์ และอยู่ในช่วง 1.7% ที่ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุออกสูงกว่า 50 โวลต์ สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนขั้น (step) และแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุออกได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนขั้น (step) ที่ป้อนเข้ามาและค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุออก ในกรณีที่มีการตรวจเช็คระดับแรงดัน

จากกราฟสามารถประมาณได้ว่า $V_C = 2.3(step) + 5$

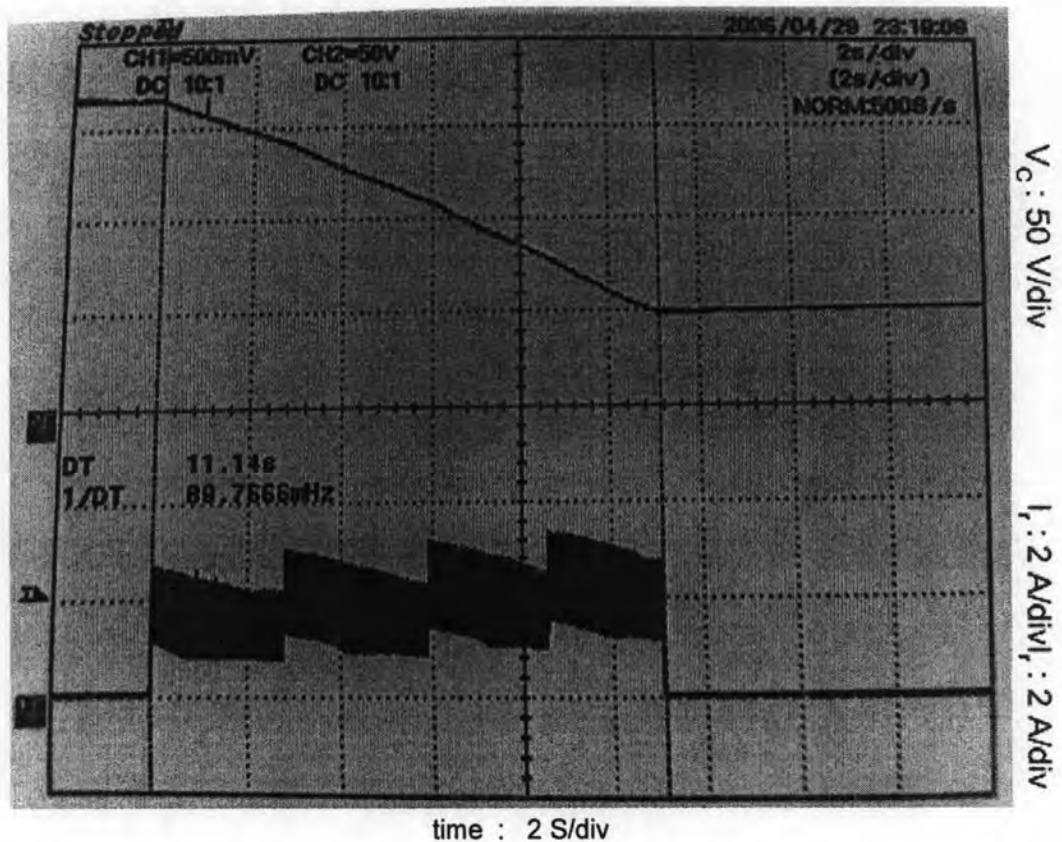
$$\text{หรือ } step = 4.35 \cdot V_C + 21.74$$

4.1.2 ผลการทดลองการลดระดับแรงดันและการคืนพลังงาน

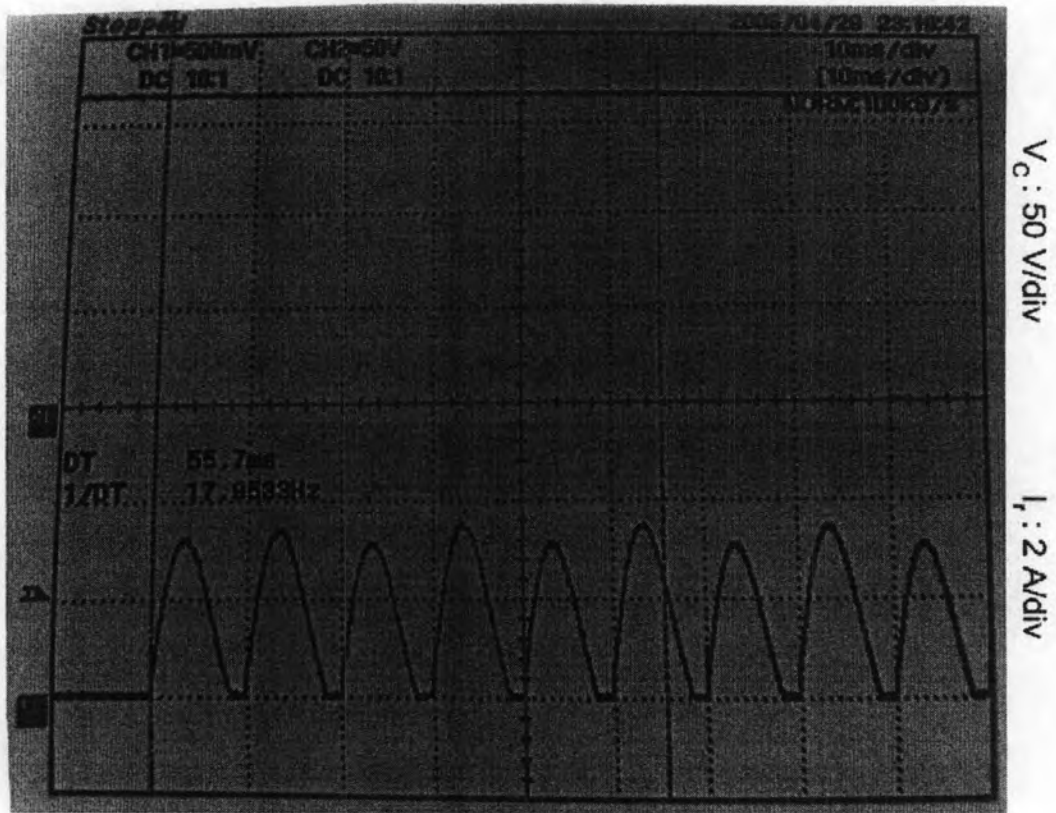
ในการทดสอบวงจรลดระดับแรงดันตกรวมตัวเก็บประจุจะประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือการทดสอบการลดระดับแรงดันตกรวมตัวเก็บประจุ โดยการกำหนดให้วงจรเรียงกระแสควบคุมเฟสทำงานแบบอินเวอร์เตอร์ในภาคกระแสไม่ต่อเนื่อง และการคืนพลังงานตกรวมตัวเก็บประจุ โดยการกำหนดให้วงจรเรียงกระแสควบคุมเฟสทำงานในภาคกระแสต่อเนื่อง ดังนี้

4.1.2.1 ผลการทดลองการลดระดับแรงดัน

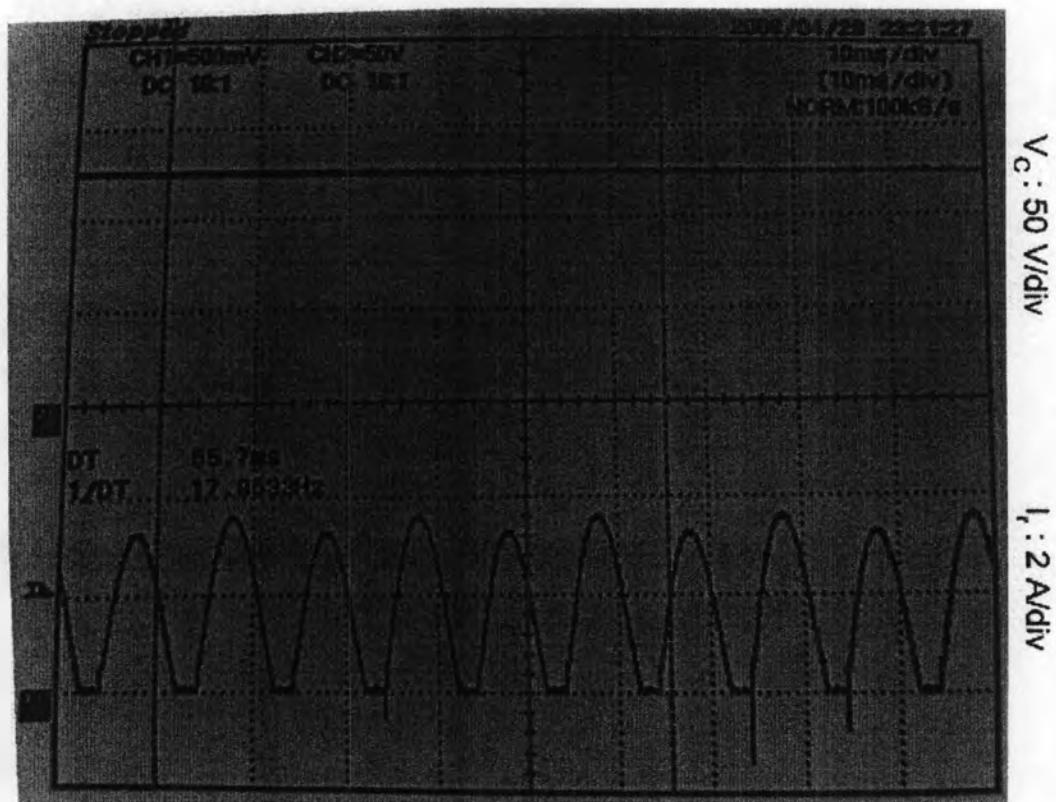
ในที่นี้จะทำการเขียนโปรแกรมตามไฟล์ชาร์ตการเพิ่ม-ลดแรงดันตกรวมตัวเก็บประจุ โดยกำหนดให้มีการชาร์จตัวเก็บประจุจนแรงดันตกรวมตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 170 โวลต์ โดยกำหนดจำนวนขั้นไว้ที่ 690 ขั้น และทำการป้อนค่าแรงดันตั้งค่า V_c^* ใหม่อีกรอบเพื่อให้วงจรลดระดับแรงดันตกรวมตัวเก็บประจุทำงาน โดยกำหนดให้ลดระดับแรงดันตกรวมตัวเก็บประจุไปที่ 50 โวลต์ โดยกำหนดจำนวนขั้นไว้ที่ 190 ขั้น ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7-4.10



รูปที่ 4.7 กราฟการลดระดับแรงดันตกรวมตัวเก็บประจุ

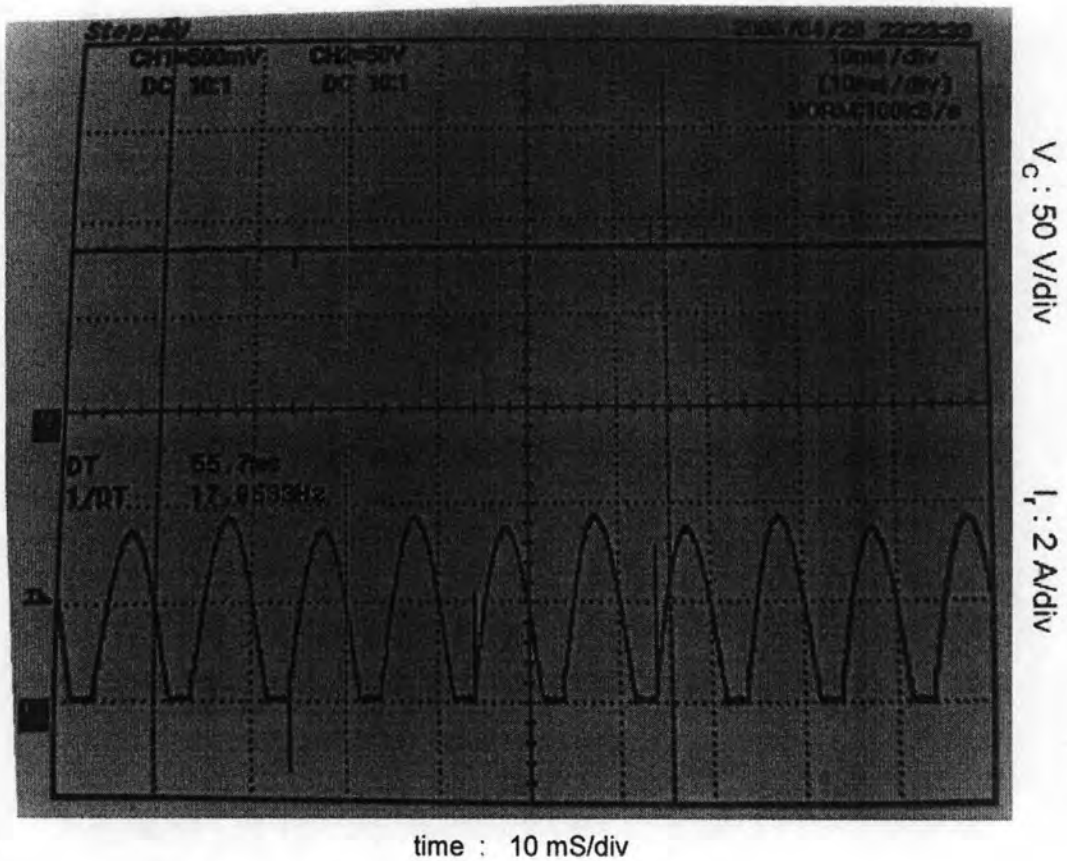


รูปที่ 4.8 กราฟการลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุที่เวลาเริ่มต้น



รูปที่ 4.9 กราฟการลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

หลังจากเริ่มลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ 4 วินาที



รูปที่ 4.10 กราฟการลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

หลังจากเริ่มลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ 8 วินาที

จากกราฟแสดงการลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ จากแรงดัน 170 โวลต์ ไปยังระดับแรงดัน 50 โวลต์ จะเห็นได้ว่าระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีการลดลง โดยระยะเวลาการลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจาก 170 โวลต์เป็น 50 โวลต์ จะใช้เวลาประมาณ 11 วินาที จากกราฟเห็นได้ว่าการดึงพลังงาน I_c จะมีการลดเป็นช่วงๆ เนื่องจากเมื่อมีการลดระดับแรงดันและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าลดลง กระแสการคืนพลังงานจะลดลง ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุลดลงช้า จึงต้องมีการลดมุมจุดขนวนเพื่อให้กระแสดึงพลังงานสูงขึ้น โดยกำหนดมุมจุดขนวนตามค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การตั้งค่ามุมจุดขนวนในการลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ	มุมจุดขนวน (α_c)	ระยะเวลาหน่วงเวลา
140-170	144°	8.0 mS
110-140	135°	7.5 mS
80-110	126°	7.0 mS
50-80	117°	6.5 mS
<50	108°	6.0 mS

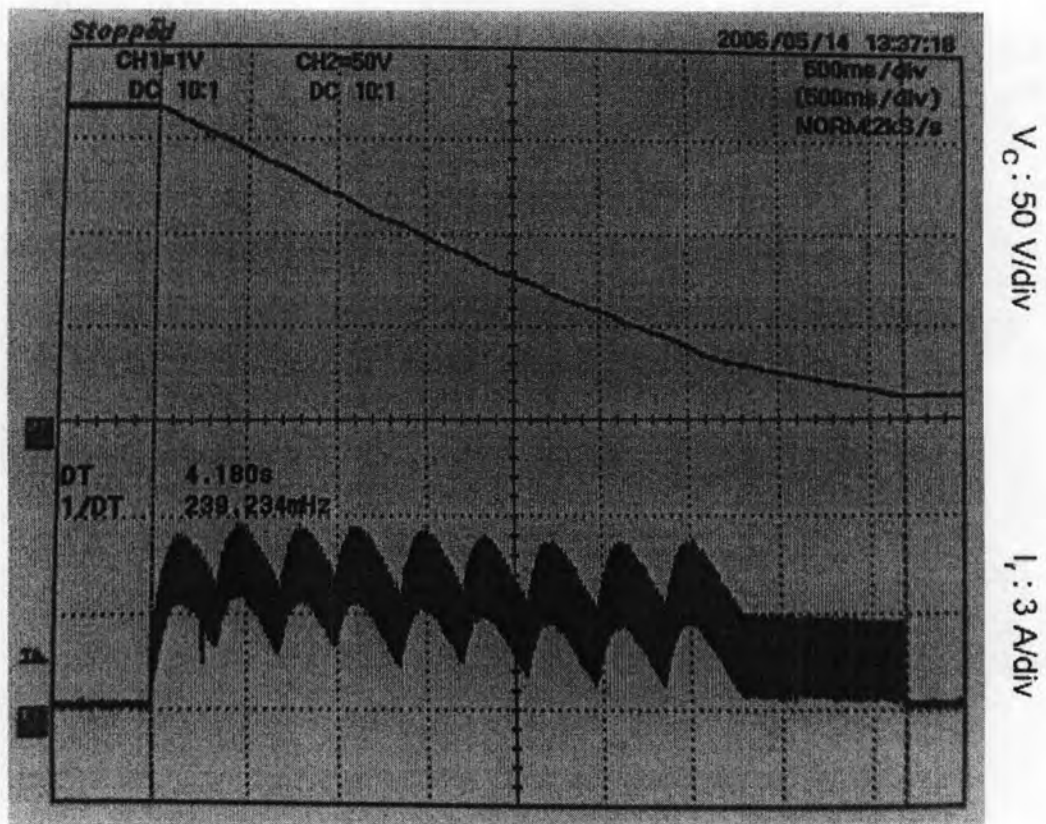
เมื่อดูจากกราฟขยายเชิงเวลาของการลดระดับแรงดันจะเห็นว่าเมื่อมีการลดมุมจุดชนวน กระแสดึงพลังงานจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากลดมุมจุดชนวน

4.1.2.2 ผลการทดลองการคืนพลังงาน

ในที่นี้จะทำการเขียนโปรแกรมตามไฟล์ชาร์ตการเพิ่ม-ลดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ โดยกำหนดให้มีการชาร์จตัวเก็บประจุจนแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 170 โวลต์ โดยกำหนดจำนวนขั้นไว้ที่ 690 ขั้น และทำการป้อนค่าแรงดันตั้งค่า V_c^* ใหม่อีกรอบเพื่อให้วงจรลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุทำงาน โดยกำหนดให้ลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุไปที่ 10 โวลต์ มุมจุดชนวนถูกกำหนดใหม่ตามตารางที่ 4.4 เพื่อให้วงจรเรียงกระแสควบคุมเฟสทำงานแบบอินเวอร์เตอร์ในภาคกระแสต่อเนื่อง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การตั้งค่ามุมจุดชนวนในการคืนพลังงานจากตัวเก็บประจุไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับ

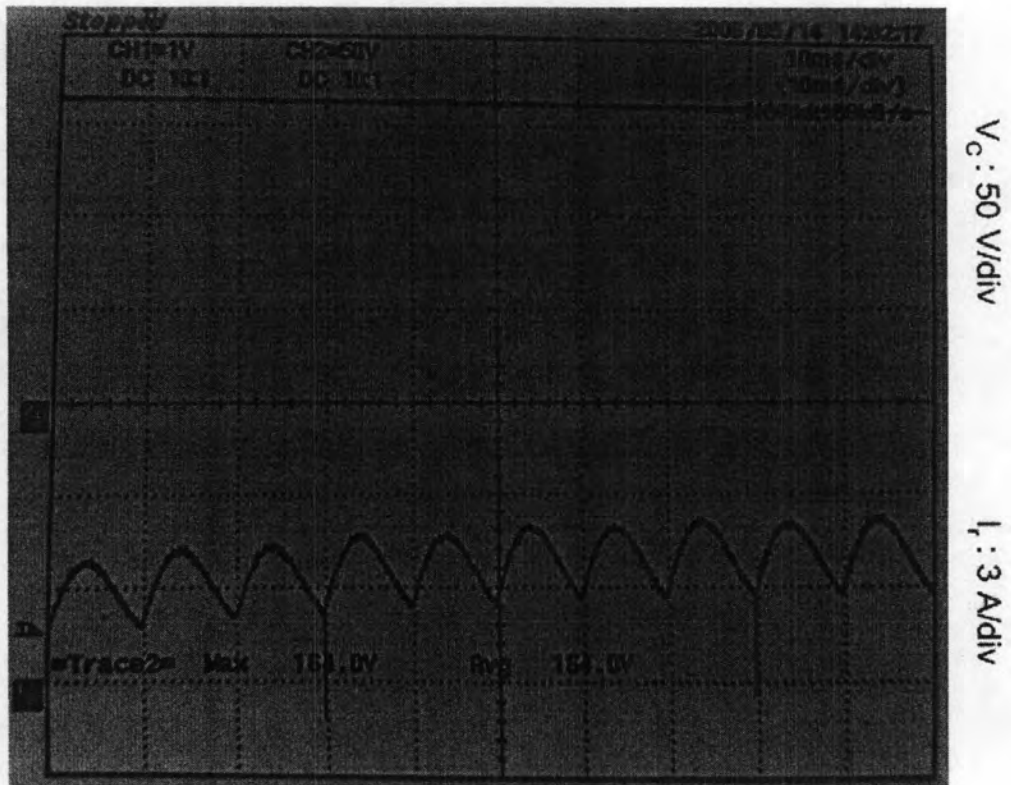
แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ	มุมจุดชนวน(α_r)	ระยะเวลาการหน่วงเวลา
170	131.8°	7.3 mS
150	126°	7 mS
135	120.6°	6.7 mS
120	115.9°	6.4 mS
105	110.9°	6.2 mS
90	106.6°	5.9 mS
75	102.2°	5.7 mS
60	97.9°	5.4 mS
45	93.6°	5.2 mS



time : 500 mS/div

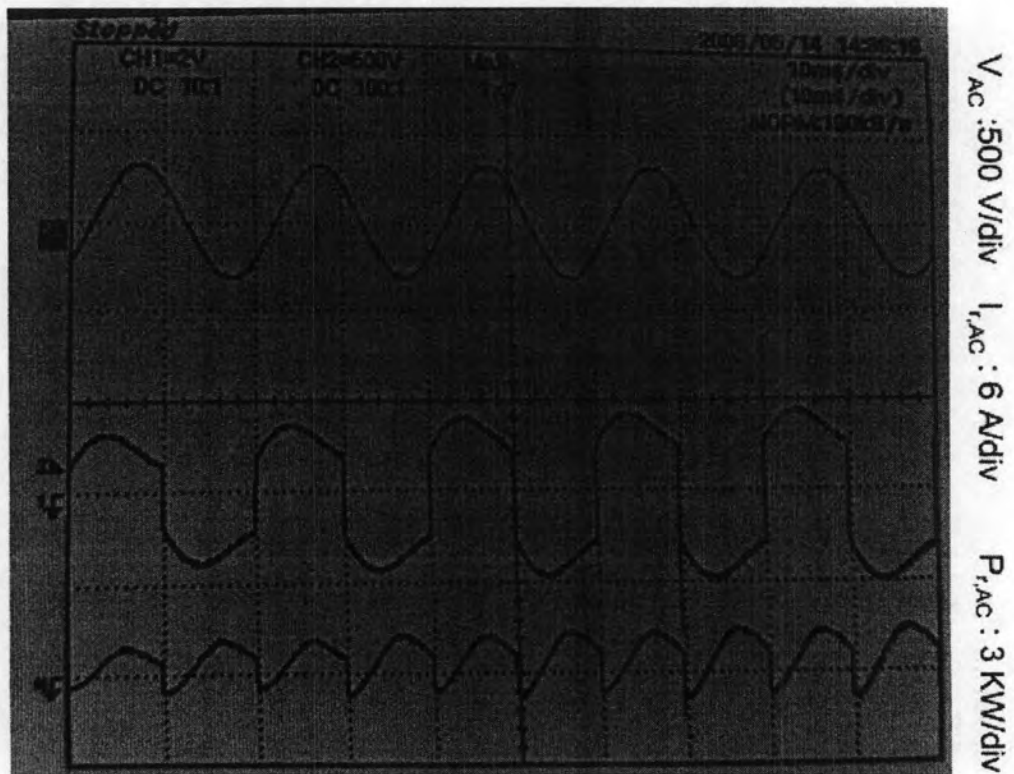
รูปที่ 4.11 กราฟแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) และกระแสคืนพลังงาน (I_r)

รูปที่ 4.11 แสดงแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) และกระแสคืนพลังงาน (I_r) กระแสคืนพลังงานจะถูกควบคุมโดยการตั้งค่ามอดุขนวนให้อยู่ในภาคกระแสต่อเนื่องโดยมีค่าประมาณ 4 แอมแปร์ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะลดลงอันเนื่องจากการคืนพลังงานไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับ V_{AC} เมื่อแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าต่ำกว่า 28 โวลต์ กระแสคืนพลังงานจะเปลี่ยนมาอยู่ในภาคกระแสไม่ต่อเนื่อง เวลาในการคืนพลังงานจากตัวเก็บประจุไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับจนตัวเก็บประจุมีแรงดัน 10 โวลต์ ใช้เวลาประมาณ 4 วินาที เมื่อขยายกราฟแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) และกระแสคืนพลังงาน (I_r) เทียบกับกราฟแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) และกระแสคืนพลังงานด้านไฟสลับ ($I_{r,AC}$) ที่เวลาต่างๆ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.12-4.17



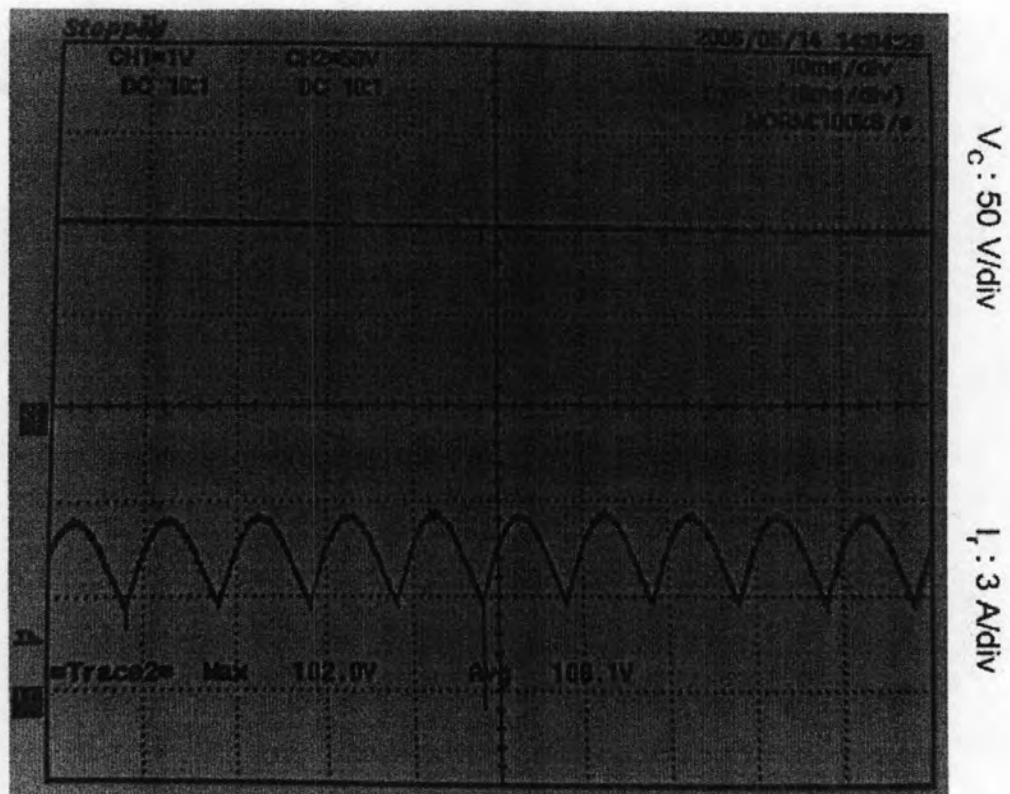
time : 10 mS/div

รูปที่ 4.12 กราฟขยายเชิงเวลาของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) และกระแสคืนพลังงาน (I_r) ที่เวลาเริ่มต้นการคืนพลังงาน



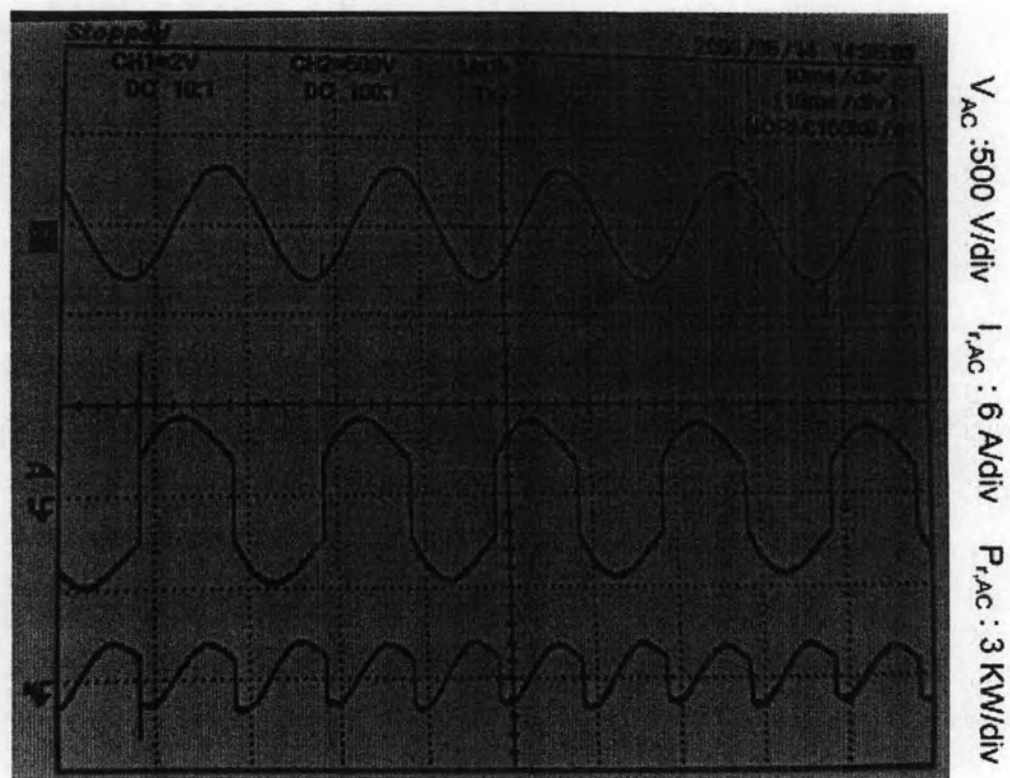
time : 10 mS/div

รูปที่ 4.13 กราฟแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) และกระแสคืนพลังงานฝั่งไฟสลับ ($I_{r,AC}$) และกำลังไฟฟ้าการคืนพลังงานกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับ ($P_{r,AC}$) ที่เวลาเริ่มต้นการคืนพลังงาน



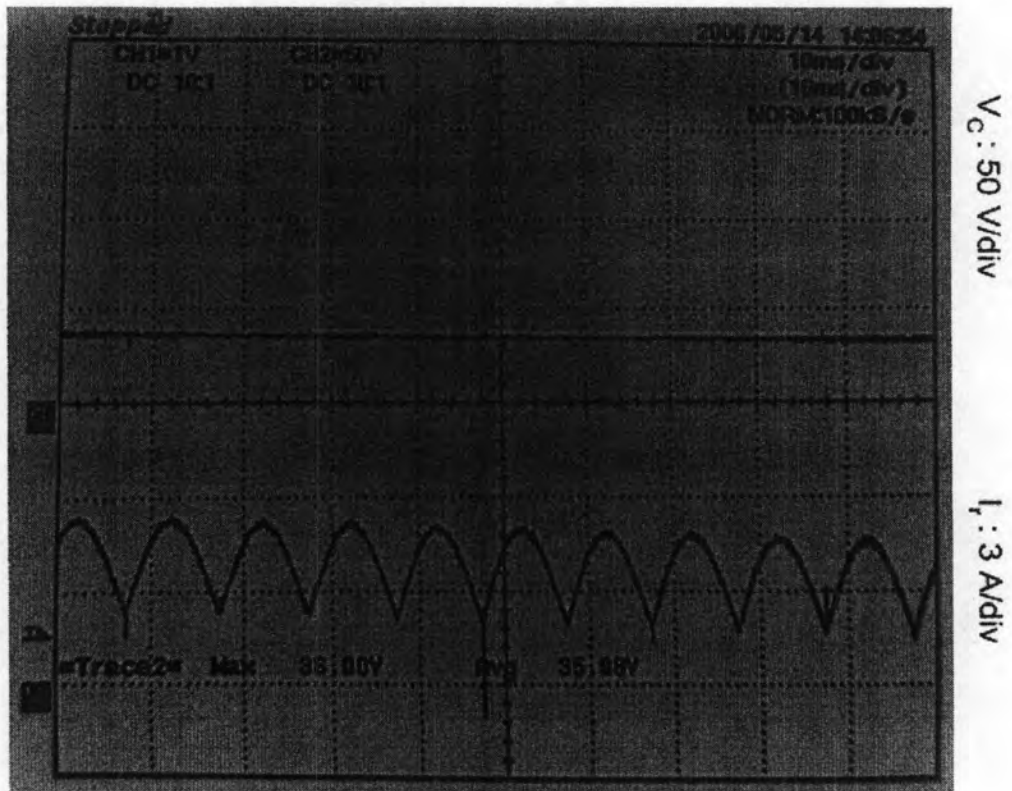
time : 10 mS/div

รูปที่ 4.14 กราฟขยายเชิงเวลาของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) และกระแสคืนพลังงาน (I_r) ที่เวลาเริ่มต้น 1.5 วินาทีหลังเริ่มการคืนพลังงาน

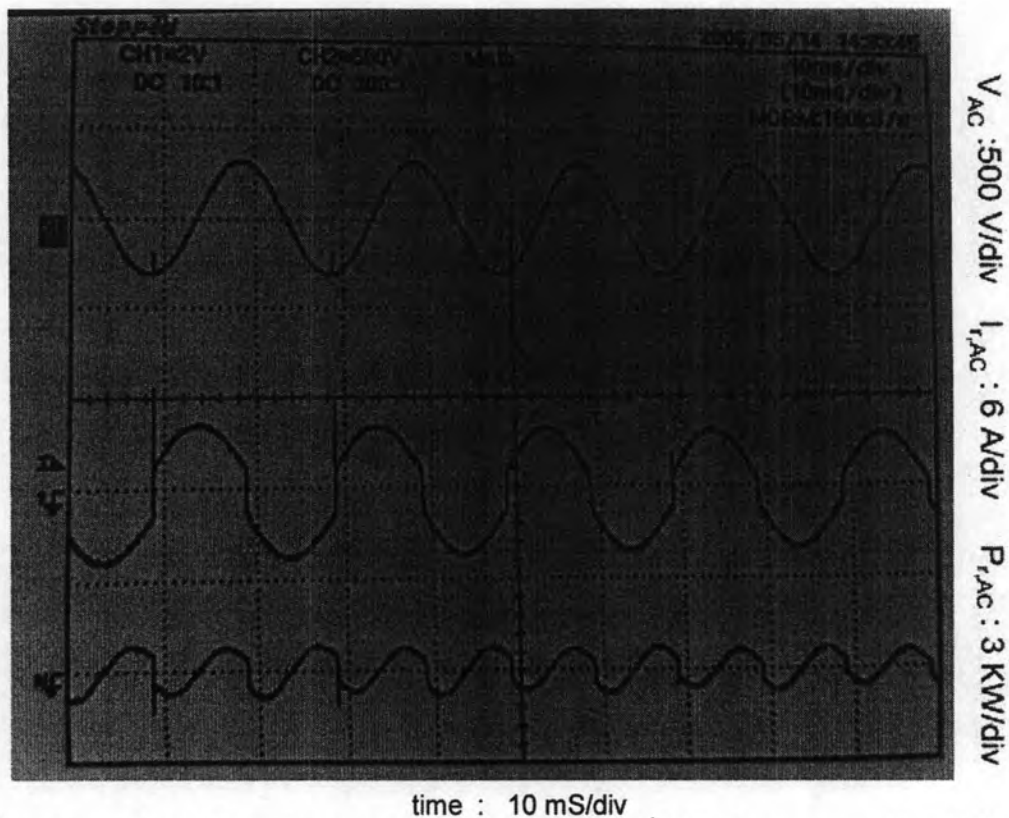


time : 10 mS/div

รูปที่ 4.15 กราฟแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) และกระแสคืนพลังงานฝั่งไฟสลับ ($I_{r,AC}$) และกำลังไฟฟ้าการคืนพลังงานกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับ ($P_{r,AC}$) ที่เวลา 1.5 วินาที หลังเริ่มต้นคืนพลังงาน



รูปที่ 4.16 กราฟขยายเชิงเวลาของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) และกระแสคืนพลังงาน (I_r) ที่เวลาเริ่มต้น 3 วินาทีหลังเริ่มการคืนพลังงาน



รูปที่ 4.17 กราฟแรงดันไฟสลับ (V_{AC}) และกระแสคืนพลังงานฝั่งไฟสลับ ($I_{r,AC}$) และกำลังไฟฟ้าการคืนพลังงานกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับ ($P_{r,AC}$) ที่เวลา 3 วินาที หลังเริ่มต้นคืนพลังงาน

จากรูปแสดงกราฟกระแสค้ำพลังงานทั้งในด้านไฟตรงและไฟสลับที่เวลาต่างๆ จะเห็นได้ว่ากระแสค้ำพลังงาน (I_r) จะมีค่าต่อเนื่อง และกระแสค้ำพลังงานฝั่งไฟสลับ ($I_{r,AC}$) จะมีการสลับค่าบวก-ลบตามการจุดชนวน เมื่อพิจารณากราฟกำลังไฟฟ้การค้ำพลังงานไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับ $P_{r,AC} = V_{AC} \cdot I_{r,AC}$ จะเห็นได้ว่ามีการค้ำพลังงานเกิดขึ้น ที่เวลาเริ่มต้นการค้ำพลังงาน ขณะที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่าประมาณ 170 โวลต์ พื้นที่กราฟกำลังไฟฟ้การค้ำพลังงานจะมีพื้นที่ส่วนใหญ่ในด้านบวก ที่เวลา 1.5 วินาทีหลังจากการเริ่มค้ำพลังงาน ขณะแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่า 100 โวลต์ พื้นที่กราฟกำลังไฟฟ้การค้ำพลังงานจะมีพื้นที่ในด้านบวกลดลงและมีพื้นที่ในด้านลบสูงขึ้นอันเนื่องมาจากการปรับลดมุมจุดชนวน ส่งผลให้การค้ำพลังงานไปยังแหล่งจ่ายไฟสลับมีค่าลดลง และที่เวลา 3 วินาทีหลังจากการเริ่มค้ำพลังงาน ขณะแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุมีค่า 35 โวลต์ พื้นที่กราฟการค้ำพลังงานในด้านบวกจะมีค่าลดลงจนใกล้เคียงกับพื้นที่กราฟด้านลบแสดงให้เห็นว่ามีการค้ำพลังงานน้อยมากที่ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุต่ำๆ

ในการออกแบบตัวอุปกรณ์จะใช้การจุดชนวนเพื่อลดระดับแรงดันขณะที่ต้องการลดระดับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุระหว่างการเชื่อม และจะกำหนดให้มีการค้ำพลังงานไฟฟ้าในขณะที่มีการปิดเครื่องเชื่อมเพื่อหยุดใช้งานหรือเลิกใช้งาน

4.2 การทดลองการเชื่อมสตัดแบบใช้การดิสชาร์จจากตัวเก็บประจุ

การทดลองการเชื่อมสตัดมีการทดลองด้วยกัน 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองการเชื่อมสตัด การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลการเชื่อม และค่าแรงดึง และการทดลองเพื่อพิจารณาหลักขณะขาป็นเชื่อมที่เหมาะสม ดังนี้

4.2.1 การทดลองการเชื่อมสตัด

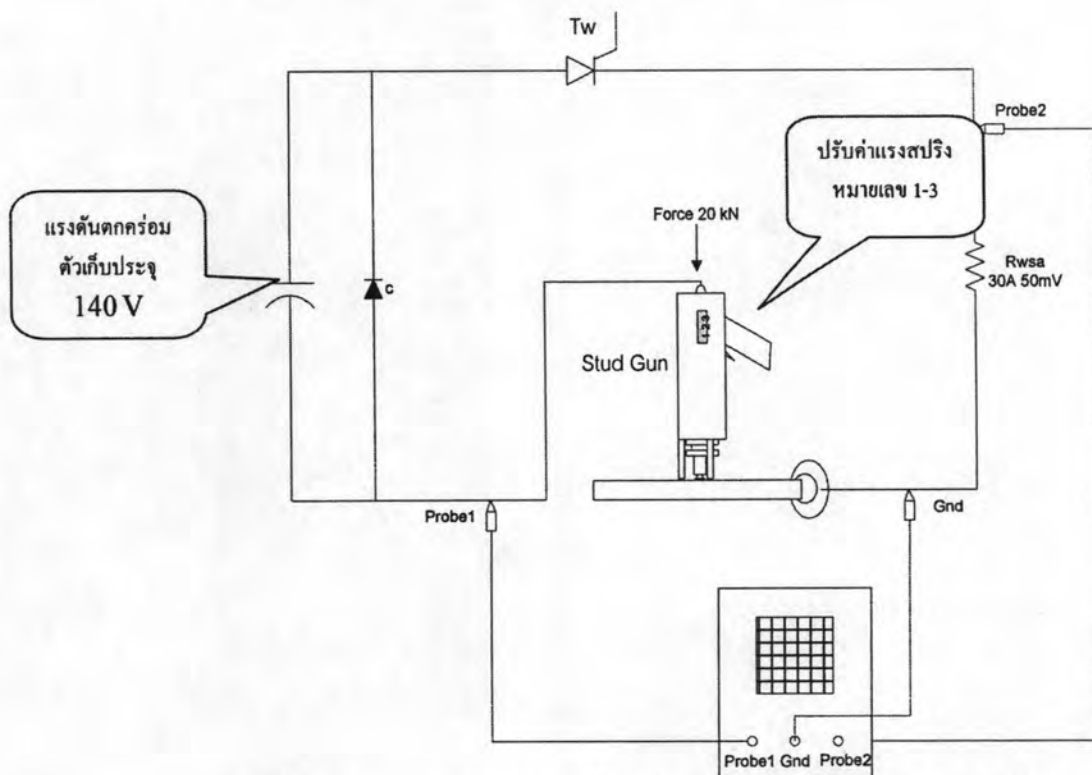
การทดลองการเชื่อมสตัด ประกอบด้วย การทดลองย่อย 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองเพื่อหาค่าแรงสปริงใช้งาน และการทดลองเพื่อหาค่าแรงดัน-ความแข็งแรงการเชื่อมสตัด ดังนี้

4.2.1.1 การทดลองเพื่อพิจารณาค่าแรงสปริงใช้งาน

จุดมุ่งหมาย : เพื่อพิจารณาค่าแรงสปริงที่ใช้ในการเชื่อมสตัด

ทดลองเชื่อมสลักเกลียวอลูมิเนียม AL5754 ขนาด M6 บนแผ่นอลูมิเนียม AL6063 ความหนา 3 มิลลิเมตร กำหนดค่าแรงดันการเชื่อมไว้ที่ 140 โวลต์ ปรับค่าออฟเซตสปริงตั้งแต่หมายเลข 1-3 ทำการเชื่อมสลักเกลียวที่หมายเลขสปริงละ 10 ตัว ขณะทดลองใช้โหลดขนาด 20 kN กดป็นเชื่อมสตัดให้ติดกับแผ่นโลหะฐาน (รูปที่ 4.18) ทำการเก็บผลการทดลองโดย

- 1) เก็บค่ากระแส-แรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อม
- 2) นำผลการเชื่อมไปทดสอบแรงดึง



รูปที่ 4.18 ชุดการทดลองการเชื่อมสลักเกลียวเพื่อพิจารณาค่าสปริงใช้งาน

จากการทดลอง ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การตั้งค่าหมายเลขสปริงเทียบกับระยะเวลาการอาร์กและค่าแรงดึง

หมายเลขสปริง	ระยะเวลาการอาร์กเฉลี่ย	ค่าแรงดึง
1	1209	2591
2	943	1936
3	818	2150

จากผลการทดลองเห็นได้ว่ระยะเวลาการอาร์กจะลดลงตามหมายเลขสปริง โดยที่ค่ากระแสสูงสุด (peak current) เฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยขณะตั้งค่าสปริงหมายเลข 1 ที่ค่าออฟเซตสปริง ΔX เป็นศูนย์ ระยะเวลาการอาร์กจะมีค่าเฉลี่ยที่ 1209 ไมโครวินาที และรอยเชื่อมมีค่าแรงดึงเฉลี่ย 2591 นิวตัน ในขณะที่การตั้งค่าออฟเซตสปริงหมายเลข 3 ที่ค่าออฟเซตสปริงเป็น 10 มิลลิเมตร ระยะเวลาการอาร์กจะมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดที่ 818 ไมโครวินาที และรอยเชื่อมมีค่าแรงดึงเฉลี่ย 2150 นิวตัน

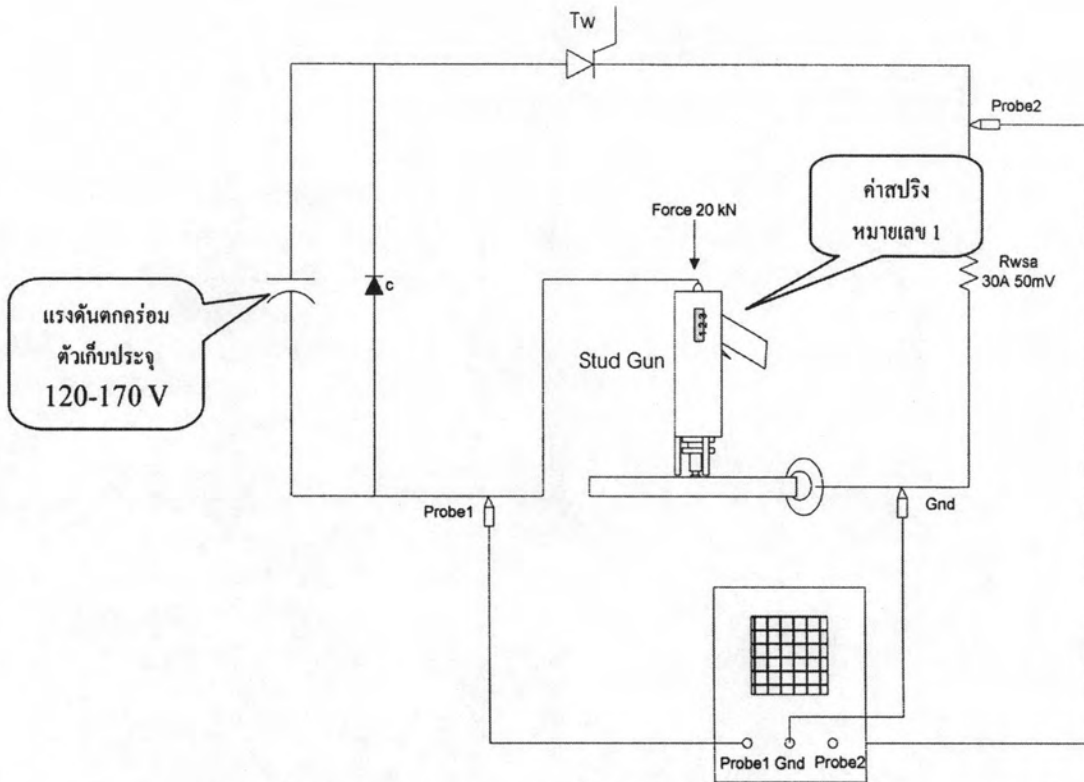
4.2.1.2 การทดลองเพื่อพิจารณาค่าแรงดัน-ความแข็งแรงการเชื่อมสตัด

จุดมุ่งหมาย : เพื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงและแรงดันที่ใช้ในการเชื่อมสตัด

ทดลองเชื่อมสลักเกลียวอลูมิเนียม AL5754 ขนาด M6 บนแผ่นอลูมิเนียม AL6063 ความหนา 3 มิลลิเมตร ตั้งค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุไว้ในช่วง 120-170 โวลต์ ทำการปรับค่าแรงดันที่ละ 10 โวลต์ ตั้งค่าแรงสปริงตามค่าที่ให้ผลการเชื่อมมีค่าแรงดึงสูงสุด ทำการทดลองการเชื่อมสลักเกลียวที่ค่าแรงดันละ 10 ตัว ขณะทดลองใช้โหลดขนาด 20 kN กดป็นเชื่อมสตัดให้ติดกับแผ่นโลหะฐาน (รูปที่ 4.19) ทำการเก็บผลการทดลองโดย

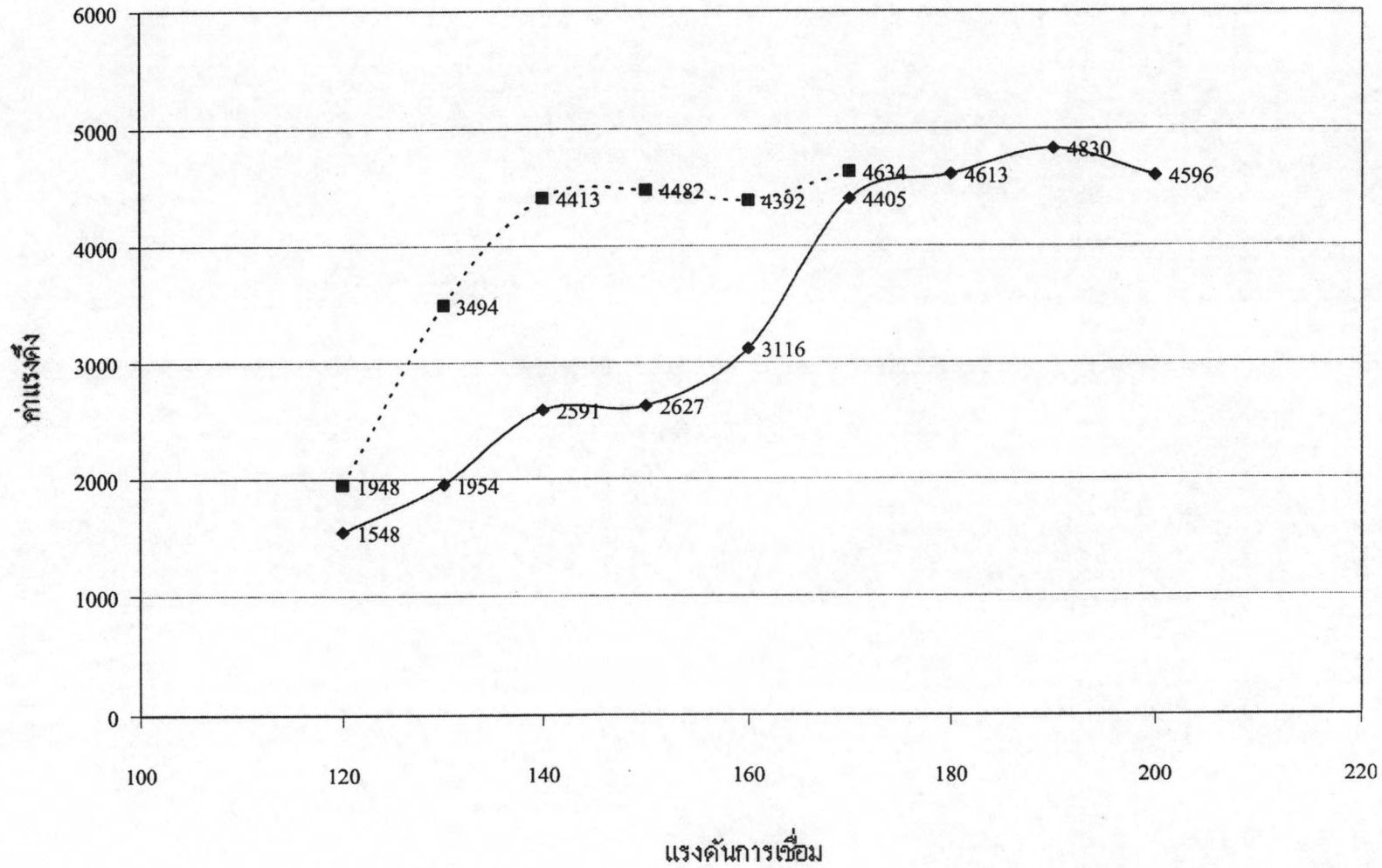
- 1) เก็บค่ากระแส-แรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อม
- 2) นำผลการเชื่อมไปทดสอบแรงดึง
- 3) นำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องเชื่อมสตัด Köco

KST8



รูปที่ 4.19 ชุดการทดลองการเชื่อมสตั๊ดเพื่อพิจารณาค่าแรงดัน-ความแข็งแรง

จากผลการทดลองเพื่อพิจารณาค่าแรงดัน-ความแข็งแรงการเชื่อมสตั๊ด ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.20



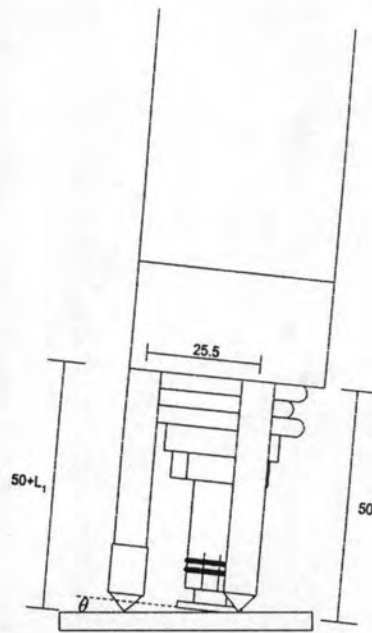
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันการเชื่อมและค่าความแข็งแรงการเชื่อมสตัด (เส้นประแสดงค่าแรงดึงที่ได้จากเครื่องเชื่อมสตัด Köco KST8
เส้นปกติแสดงค่าแรงดึงที่ได้จากระบบทดสอบ)

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันการเชื่อม (V_c) และค่าแรงดึงที่ได้จากการทดสอบ พบว่าค่าความแข็งแรงของระบบในการทดสอบและค่าความแข็งแรงของเครื่องเชื่อมสตัด Köco KST8 จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ V_c จนถึงค่าหนึ่งความแข็งแรงจะเริ่มคงที่

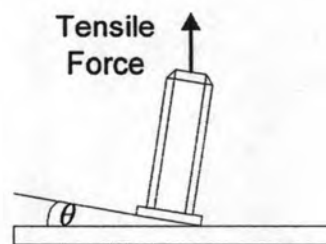
จากผลการทดลองที่ได้จากระบบทดสอบและจากเครื่องเชื่อมสตัด Köco KST8 เห็นได้ว่าค่าแรงดึงจะเริ่มคงที่ที่ค่าประมาณ 4400 นิวตัน โดยที่ระบบทดสอบจะใช้แรงดันในการเชื่อมมากกว่าคือ 170 โวลต์ เทียบกับที่ได้จากเครื่องเชื่อมสตัด Köco KST8 คือ 140 โวลต์ เนื่องจากความต้านทานระบบมีมากกว่า (ดูภาคผนวก รูปที่ ก1.3) เมื่อทำการเชื่อมสตัดที่ค่าแรงดันสูงกว่าค่านี้แรงดึงจะมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากรอยเชื่อมมีลักษณะเป็นรอยเชื่อมร้อน

4.2.2 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมดุผลการเชื่อมและค่าแรงดึง

จุดมุ่งหมาย : เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเอียงและค่าความแข็งแรงในการเชื่อมสตัด และเพื่อหาขีดจำกัดของการเสียสมดุปลิ้นเชื่อมสตัด



รูปที่ 4.21 การปรับขาปืนเชื่อมในการทดลองเชื่อมสตัด

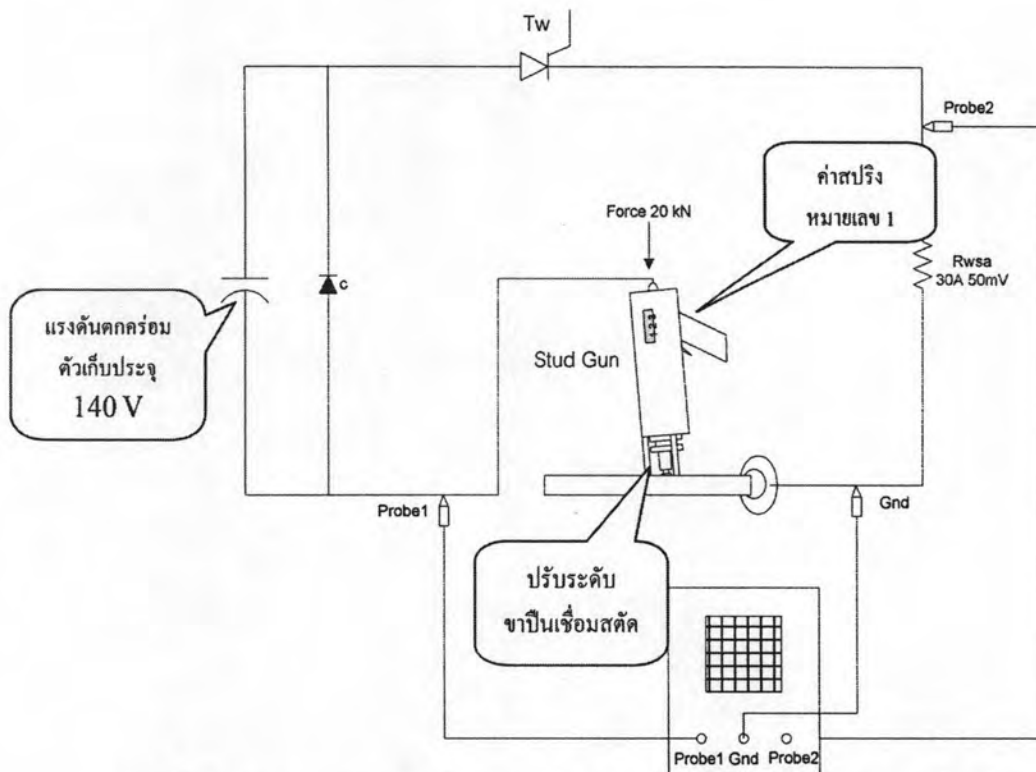


$$\theta = \tan^{-1} \frac{L_1}{25.5}$$

รูปที่ 4.22 ความเอียงของสลักเกลียวในการทดสอบ

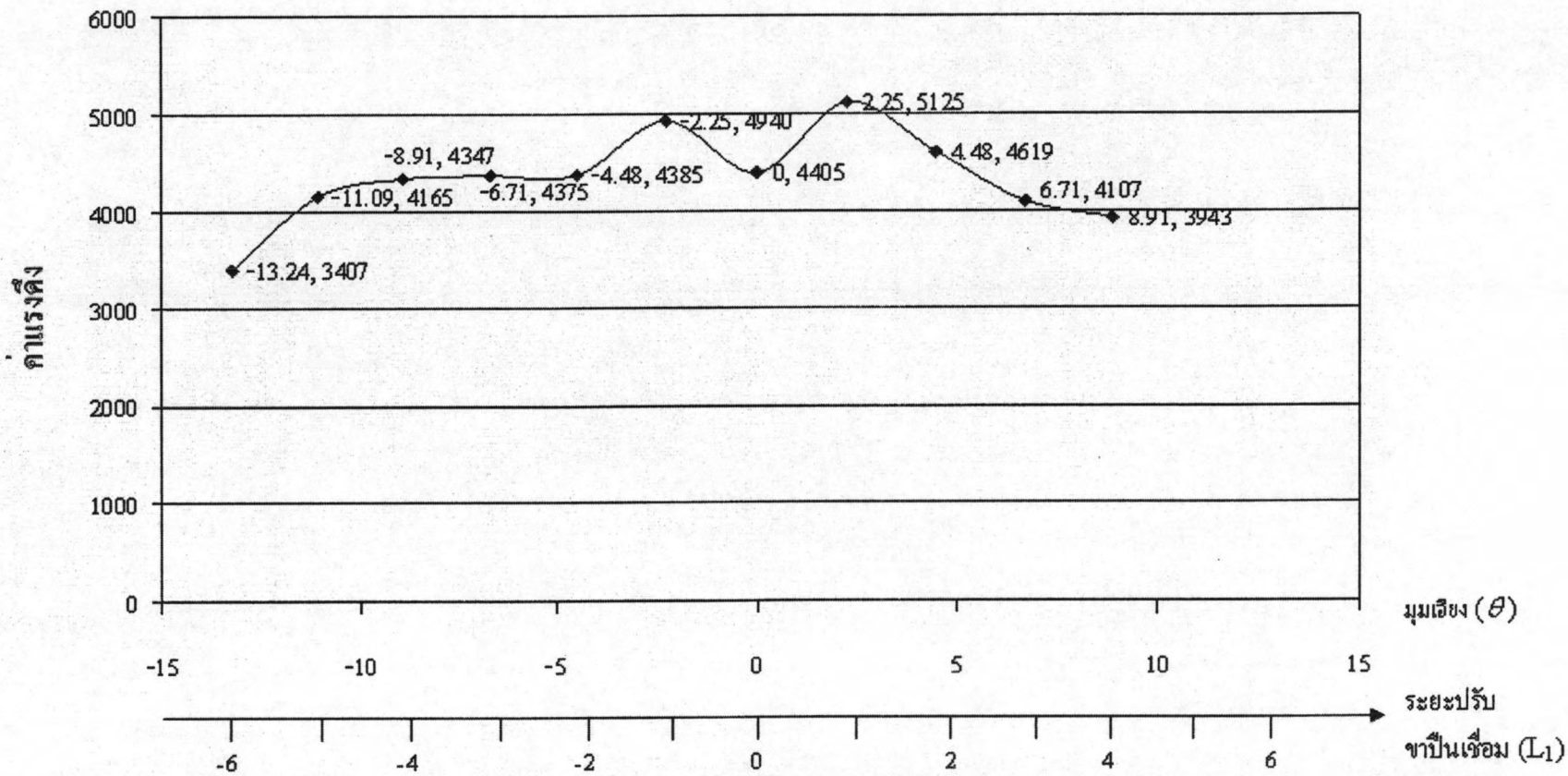
ทดลองเชื่อมสลักเกลียวอลูมิเนียม AL5754 ขนาด M6 บนแผ่นอลูมิเนียม AL6063 ความหนา 3 มิลลิเมตร ตั้งค่าแรงสปริงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุที่ให้ค่าความแข็งแรงการเชื่อมสูงสุดจากผลการทดลองที่ได้จากแบบการทดลองแรก ปรับความยาวขาป็นเชื่อมสดไว้ในช่วง -6 ม.ม. ถึง +4 ม.ม. จากระดับขาป็นเชื่อมปกติ โดยปรับความยาวขาป็นเชื่อมทีละ 1 มิลลิเมตร ทำการทดลองเชื่อมสลักเกลียวทีละระยะขาป็นเชื่อมละ 10 ตัว ขณะทดลองใช้โหลดขนาด 20 kN กดป็นเชื่อมสดให้ติดกับแผ่นโลหะฐาน (รูปที่ 4.21-4.23) ทำการเก็บผลการทดลองโดย

- 1) เก็บค่ากระแส-แรงดันที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อม
- 2) นำผลการเชื่อมไปทดสอบแรงดึง



รูปที่ 4.23 ชุดทดลองการเชื่อมสดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมดุป็นเชื่อมและค่าแรงดึง

จากการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างสมดุป็นเชื่อมและค่าแรงดึง ได้ผลการทดลองดังนี้ ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของสลักเกลียวและค่าแรงดึงที่ได้จากการเชื่อมสตั๊ด

จากกราฟแกนนอนแสดงมุมเอียงที่ได้จากการปรับขาปืนเชื่อมสตัด แกนตั้งแสดงค่าความแข็งแรงที่ได้จากการเชื่อมสตัดที่มุมเอียงใดๆ จากผลการทดลองพบว่าค่าแรงดึงที่ได้จากการเชื่อมสตัดจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปรับขาปืนเชื่อมให้สลักเกลียวเอียงเล็กน้อยในช่วง $\pm 2.25^\circ$ และค่าแรงดึงจะมีค่าค่อยๆ ลดลงเมื่อปืนเชื่อมและสลักเกลียวเอียงมากขึ้น ในการปรับลดความยาวขาปืนเชื่อมพบว่าความแข็งแรงของสลักเกลียวจะลดลงอย่างเมื่อสลักเกลียวเอียงมากกว่า -11.09° ที่การปรับความยาวขาปืนเชื่อมสตัด -5 มิลลิเมตร เนื่องจากขอบสลักเกลียว (flange) สัมผัสกับแผ่นโลหะฐานก่อนการดิสซาร์จก่อนกระบวนการเชื่อม ทำให้เกิดการละลายและพื้นที่การเชื่อมลดลง ในการปรับเพิ่มความยาวขาปืนเชื่อมพบว่าสลักเกลียวจะไม่มี การเชื่อมติดเมื่อสลักเกลียวเอียงมากกว่า 8.91° ที่การปรับความยาวขาปืนเชื่อมสตัด +4 มิลลิเมตร เนื่องจากสลักเกลียวมีระยะยกมากเกินไป ผิวหน้าสลักเกลียวจึงไม่สามารถถูกขับเคลื่อนไปติดกับแผ่นโลหะฐานได้

