บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง วิธีการดำเนินงานนี้สามารถนำเสนอเป็นขั้นตอนตามลำดับดังนี้

1. ขั้นตอนในการดำเนินงาน
2. เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน
3. การออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
4. การทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1. ขั้นตอนในการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์นี้มีลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1.1 ศึกษาข้อมูลของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มีการประดิษฐ์อยู่แล้วในปัจจุบัน โดยศึกษาหลักการทำงาน, การใช้งาน, โครงสร้างและการออกแบบ, ปัญหาจากการใช้งาน

1.2 ศึกษาสภาพปัญหาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงในปัจจุบัน

1.3 ศึกษาข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยข้อมูลที่จะศึกษาประกอบไปด้วยลักษณะการควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกได้

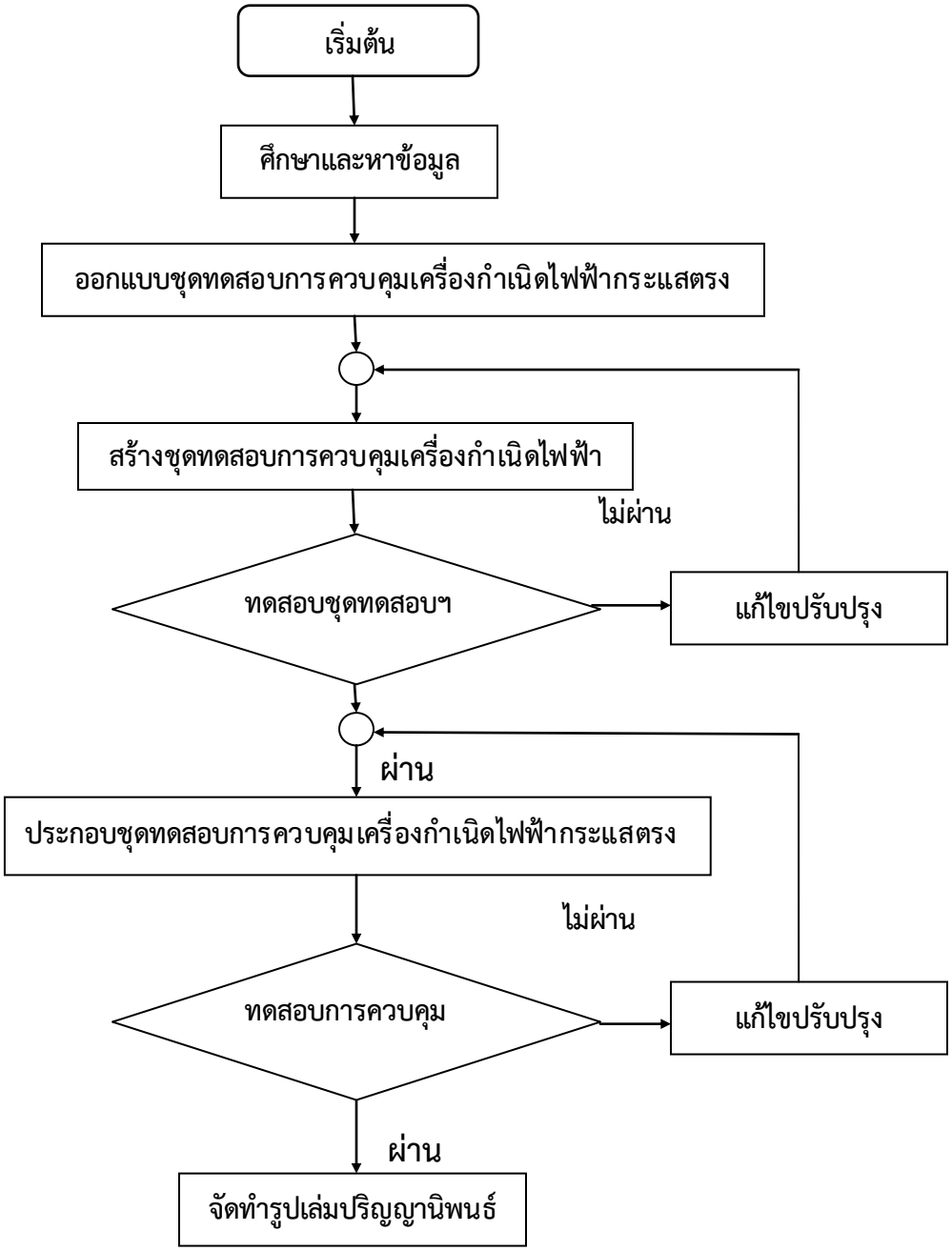
1.4 ออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ทดลองและปรับปรุงแก้ไขให้ตัวเครื่องสามารถใช้งานได้สมบูรณ์

1.5 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบ โดยมีการทดสอบวงจรในการควบคุมทดสอบควบคุมความเร็วมอเตอร์และทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

1.6 วิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน

1.7 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

การดำเนินงานจัดทำการออกแบบชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ทางคณะผู้จัดทำ ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานไว้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานของปริญญานิพนธ์

2. เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงใช้เครื่องมือในการทดสอบตามตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

ที่	เครื่องมือ	คุณลักษณะของเครื่องมือ	ภาพถ่ายเครื่องมือ
1	หลอดไฟ	หลอดไฟชนิดหลอดไส้ 24V DC 25W	
2	มิเตอร์ไฟฟ้า	มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล สำหรับใช้วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้ง AC และ DC	
3	หัวแร้ง	เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบัดกรี โดยให้ความร้อนกับสารบัดกรี จนหลอมเหลวและไหลเข้าไปเชื่อมชิ้นงานโลหะเข้าด้วยกัน	
4	ไขควง	อุปกรณ์ชนิดหนึ่งซึ่งออกแบบมาเพื่อขันสกรูให้แน่นหรือคลายสกรูออก	

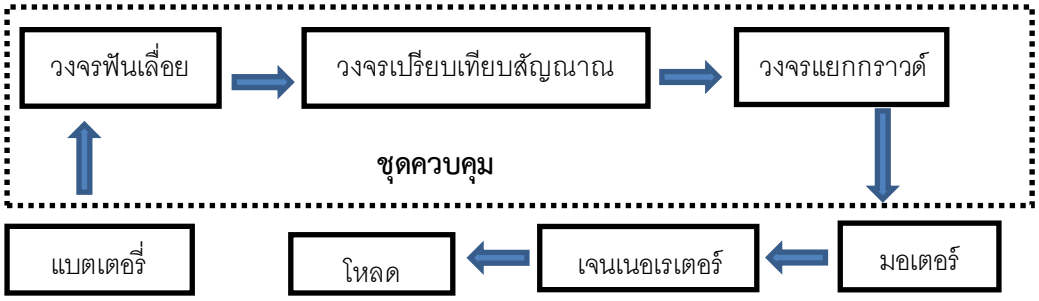
ตารางที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน **(ต่อ)**

ที่	เครื่องมือ	คุณลักษณะของเครื่องมือ	ภาพถ่ายเครื่องมือ
5	คีม	เครื่องมือประเภทมือจับชนิดหนึ่งมี 2 ขาคล้ายกรรไกร ใช้สำหรับ คีบ จับ ตัด ดัด งอโค้ง ของต่างมือ	
6	สว่านไฟฟ้า	เครื่องมือชนิดหนึ่ง ใช้สำหรับเจาะรูบนวัสดุหลายประเภท เป็นเครื่องมือที่ใช้บ่อยในงานไม้และงานโลหะ	
7	ตู้เชื่อม	ทำให้ชิ้นงานหลอมละลายและการเพิ่มเนื้อโลหะเติมลงในแอ่งหลอมละลายของวัสดุที่หลอมเหลว เมื่อเย็นตัวรอยต่อจะมีความแข็งแรง	
8	กระบอกดูดตะกั่ว	ใช้สำหรับดูดตะกั่วที่ไม่ต้องการออกจากแผงวงจร	
9	เลื่อย	การตัดเป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นงานที่เราต้องการแยกออกจากกัน	
10	เครื่องวัดความเร็ว	อุปกรณ์วัดความเร็วการเคลื่อนที่ของวัตถุ	

3. การออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

3.1 กรอบแนวความคิด

การออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีกรอบแนวความคิดในการออกแบบและพัฒนาตามภาพที่ 3.1

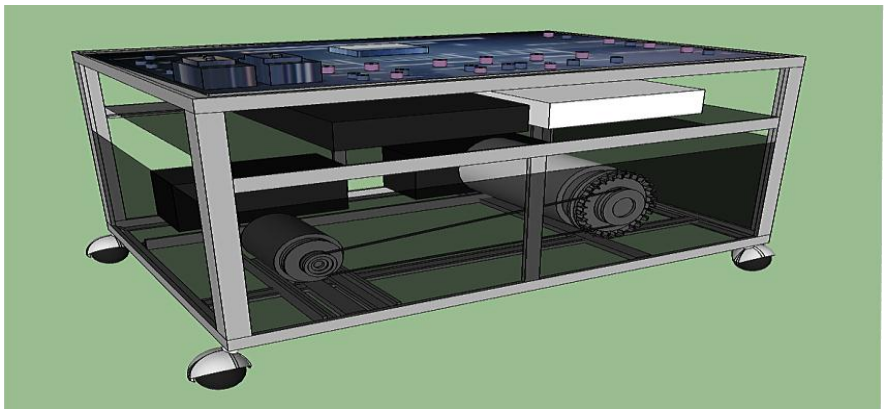


ภาพที่ 3.2 กรอบแนวความคิดในการออกแบบชุทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

จากกรอบแนวความคิดข้างต้นจะเห็นได้ว่าชุดควบคุมการทำงานของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มต้นด้วยใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์จากแบตเตอรี่จ่ายให้กับมอเตอร์ไปขับเจนเนอเรเตอร์ และจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +15 โวลต์ -15 โวลต์ ให้กับวงจรพัลส์เพื่อทำการควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

3.2 การออกแบบรูปทรงของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

การออกแบบรูปทรงของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเน้นออกแบบให้ตัวเครื่องมีขนาดพอเหมาะใช้งานง่าย ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและมีความแข็งแรงทนทานตามที่แสดงไว้ในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.3 แบบจำลอง 3 มิติ แสดงขนาดและรูปทรงของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

3.3 การพัฒนาชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

การพัฒนาชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้พัฒนาตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ในแต่ละส่วนดังนี้

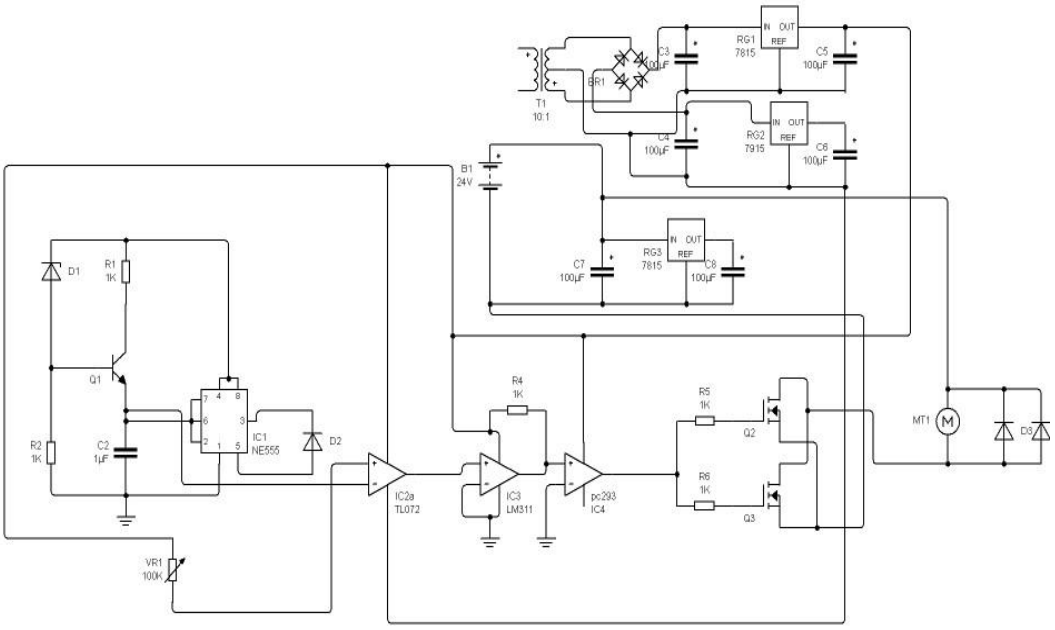
3.3.1 ออกแบบให้ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและต้องมีความแข็งแรงรองรับน้ำหนักโครงสร้างของตัวเครื่อง น้ำหนักมอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุม โดยในการออกแบบได้มีการใช้ลูกล้อเหล็กหุ้มยางขนาด 2 นิ้ว ที่สามารถรับน้ำหนักได้ล้อละ 50 กิโลกรัม รวมทั้งหมด 4 ล้อ รับน้ำหนักสูงสุดได้ 100 กิโลกรัม หมุนอิสระได้ตามทิศทางที่ต้องการ ตามภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.4 ลูกล้อเหล็ก 2 นิ้ว

3.3.2 ส่วนโครงเหล็กที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบป้อนกลับ นั้นเป็นเหล็กสแตนเลสขนาด 3 x 1/2 นิ้ว ประกอบเป็นโครงสร้างของตัวเครื่องตามที่แสดงไว้ในภาพที่ 3.4

ภาพที่ 3.5 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบป้อนกลับ

3.3.3 ออกแบบให้มีวงจรในการควบคุมมอเตอร์การควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้น จำเป็นต้องมีวงจรเข้ามาควบคุมเพื่อให้ได้ความเร็วรอบตามที่เราต้องการ สามารถปรับความเร็วมอเตอร์โดยการหมุนปรับจากวงจรควบคุม โดยออกแบบวงจรให้มีฟังก์ชันควบคุมที่ไม่ซับซ้อนมาก สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ตามต้องการและยังใช้อุปกรณ์น้อยทำให้ใช้ต้นทุนในการสร้างไม่มากนัก ซึ่งการบำรุงรักษาก็ง่ายดังแสดงในภาพที่ 3.5

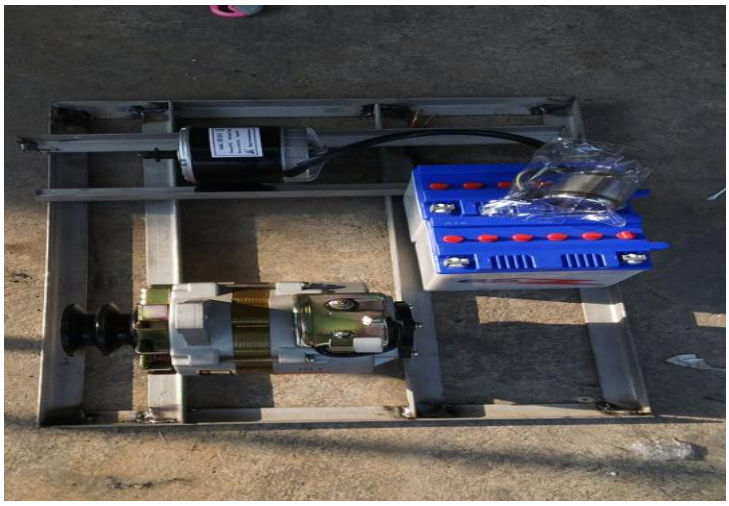


ภาพที่ 3.6 วงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของมอเตอร์

ชุดควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เป็นชุดที่ออกแบบไว้เพื่อต่อวงจรควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าด้วยกันและสะดวกต่อการมองและง่ายต่อการใช้งาน แสดงดังภาพที่ 3.6

ภาพที่ 3.7 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

3.3.5 ออกแบบตัวเครื่องโดยในการออกแบบรูปทรงเพื่อสำหรับวางมอเตอร์ ไดนาโม แบตเตอรี่ ได้โดยใช้อลูมิเนียมฉากแทนเหล็กเพราะไม่เป็นสนิมง่าย อีกทั้งยังมีความแข็งแรงตัวเครื่อง แสดงได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.8 การวางชิ้นงานเพื่อทำรูปทรง

3.3.6 ออกแบบตัวเครื่องให้มีอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน โดยมี Circuit Breaker ขนาด 30 แอมป์ ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินพิกัดที่เครื่องทำงานได้ และมีสายดินป้องกันไฟฟ้ารั่วในขณะที่เครื่องทำงานซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยจากไฟฟ้ารั่วไปยังผู้ใช้งานทำให้ผู้ใช้งานเกิดความมั่นใจ อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน แสดงดังภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.9 Circuit Breaker ขนาด 30 A ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

สำหรับปริญญานิพนธ์นี้ได้มีการทดสอบชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยได้ทำการทดสอบตามกระบวนการทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์
2) ทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีโหลด
3) ทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้หลอดไฟเป็นโหลด
4) ทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

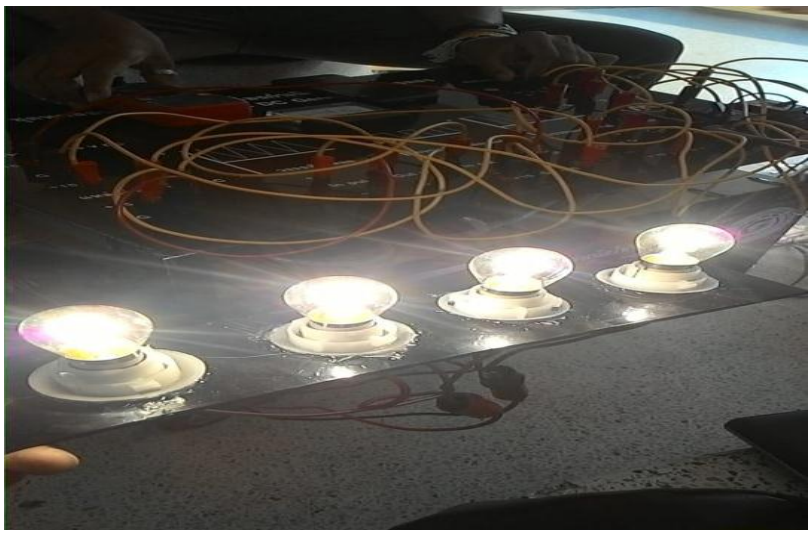
. 3.4.1 ทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ทดสอบความเร็วของมอเตอร์เพื่อหาความเร็วรอบของมอเตอร์ที่รอบสูงสุดในการทำงานและรอบที่ต่ำที่สุดจนกระทั้งเจนเนอเรเตอร์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้พัลส์ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์และใช้เครื่องวัดความเร็วรอบในการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 3.9

ภาพที่ 3.10 การทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์

3.4.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีโหลดทำการทดสอบชุดควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยการเริ่มจากการจ่ายไฟ 24 โวลต์ ไปยังมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์หมุนเจนเนอเรเตอร์ จากนั้นทำการทดสอบวงจรควบคุมโดยจ่ายไฟ 15 โวลต์ ให้วงจรและทำการปรับความเร็วของมอเตอร์โดยใช้พัลส์ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แล้ววัดแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากเจนเนอเรเตอร์และทำการบันทึกผล แสดงดังภาพที่ 3.10

ภาพที่ 3.11 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีโหลด

3.4.3 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้หลอดไฟเป็นโหลดการทดสอบชุดควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เริ่มจากจ่ายไฟ 24 โวลต์ ให้กับมอเตอร์เพื่อหมุนเจนเนอเรเตอร์ และจ่ายไฟ 15 โวลต์ ให้กับวงจรที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ เมื่อทุกระบบทำงานก็จะทำการปรับความเร็วมอเตอร์โดยใช้พัลส์ในการควบคุมแล้วจึงใช้หลอดไฟเป็นโหลดในการทดลองและทำการบันทึกผลการทดลองดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.12 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบใช้หลอดไฟเป็นโหลด

3.4.4 ทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเริ่มจากการจ่ายไฟ 24 โวลต์ ให้กับมอเตอร์เพื่อหมุนเจนเนอเรเตอร์และจ่ายไฟ 15 โวลต์ ให้กับพัลส์หรือวงจรควบคุม

จากนั้นทำการปรับความเร็วที่ต่ำที่สุดของมอเตอร์และความเร็วที่สูงสุดของมอเตอร์แล้วทำการวัดแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากเจนเนอเรเตอร์ที่ความเร็วต่ำสุดและความเร็วสูงสุดทำการบันทึกผลการทดลอง แสดงดังภาพที่ 3.12

ภาพที่ 3.13 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

การวิเคราะห์และการนำเสนอผลการดำเนินงานปริญญานิพนธ์เรื่อง ชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง นี้ นำเสนอในรูปของตารางประกอบคำบรรยาย และภาพประกอบคำบรรยาย โดยแบ่งการนำเสนอเป็น 4 ข้อ ดังนี้

1. ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีโหลด
2. ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้หลอดไฟเป็นโหลด
3. ผลการทดสอบวงจรควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
4. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

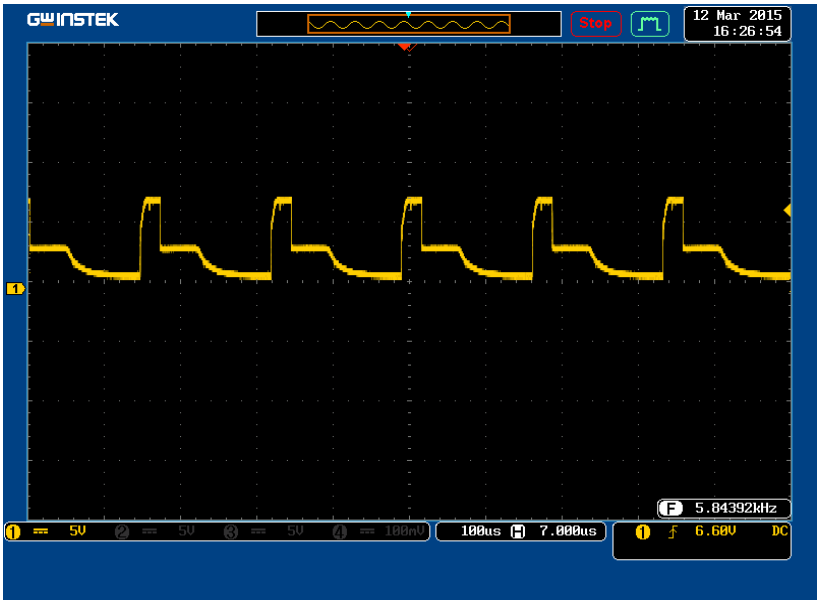
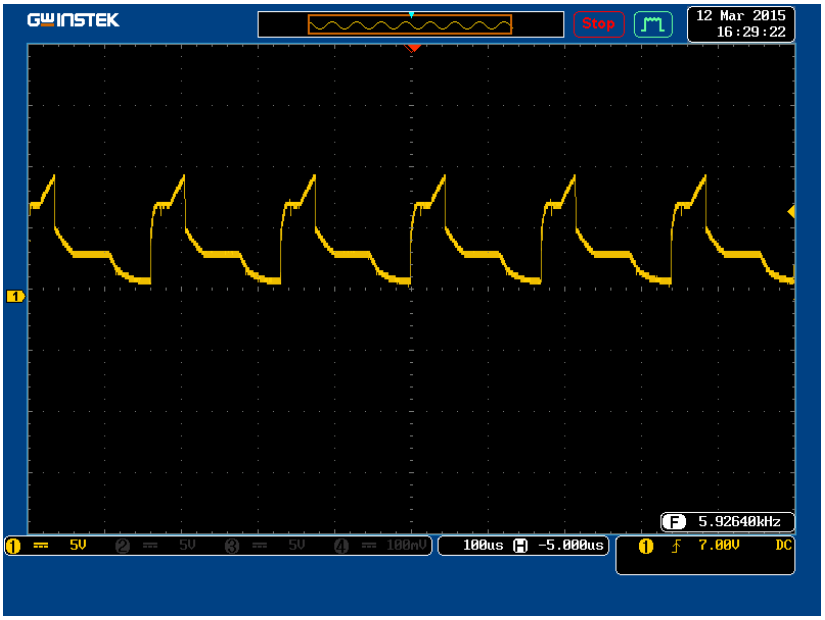
4.1 ผลการทดสอบทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีโหลด

ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีโหลด สำหรับการทดสอบการทำงานของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดวัดแรงดันเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อเริ่มเปิดเครื่องคณะทำงานได้ทำการปรับความเร็วของชุดทดสอบ 4 ระดับคือ ระดับที่ 1 ปรับอินพุตที่ 3 โวลต์ ระดับที่ 2 ปรับที่ 6 โวลต์ ระดับที่ 3 ปรับที่ 9 โวลต์ และปรับความเร็วสูงสุดที่ 12 โวลต์ แต่ละระดับจะมีความเร็วและแรงดันเอาต์พุตดังตารางที่ 4.1

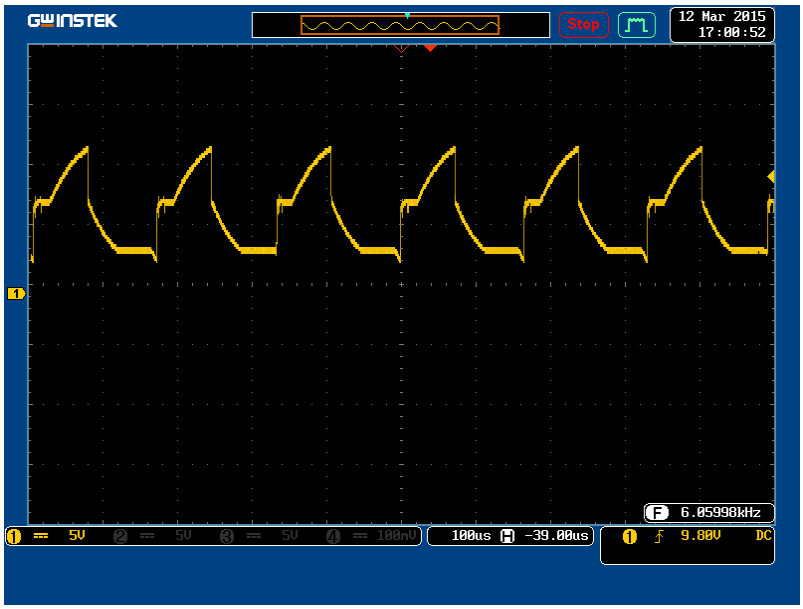
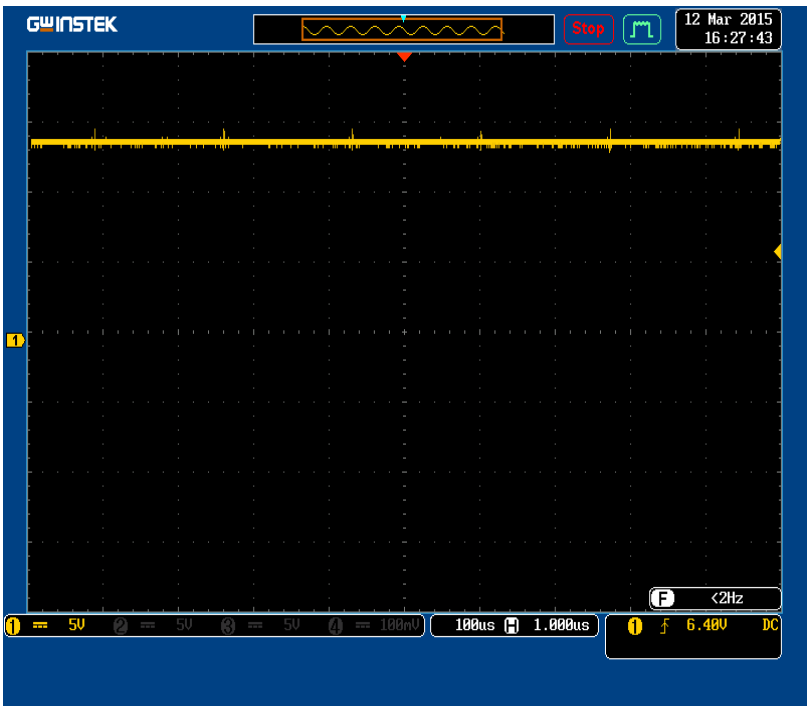
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีโหลด

ระดับ	แรงดันอินพุต (V_R)	ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)	แรงดันเอาต์พุตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (V_{dc})	คิดเป็นร้อยละ (%)
1	3	960	7.06	20%
2	6	1721	28.48	83%
3	9	2709	32.8	95%
4	12	3216	34.20	100%

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสัญญาณพัลส์แบบไม่มีโหลด

ปรับค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์	ภาพสัญญาณตกคร่อมมอเตอร์
25%	
50%	

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสัญญาณพัลส์แบบไม่มีโหลด **(ต่อ)**

ปรับค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์	ภาพสัญญาณตกคร่อมมอเตอร์
75%	
100%	

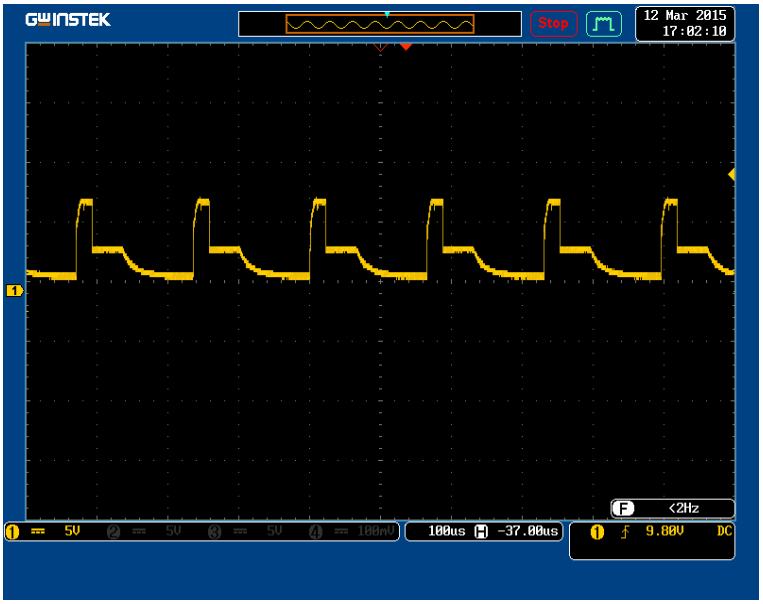
4.2 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้หลอดไฟเป็นโหลด

จากการทดสอบชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง คณะทำงานได้ทำการใช้หลอดไฟในการทดสอบโดยในการทดสอบใช้หลอดไฟขนาด 50 วัตต์ และ100 วัตต์ ทำการปรับความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามี4ระดับจากการทดสอบพบว่าเมื่อทำการเพิ่มหลอดไฟขึ้นแรงดันเอาต์พุตเริ่มลดลงตามลำดับดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

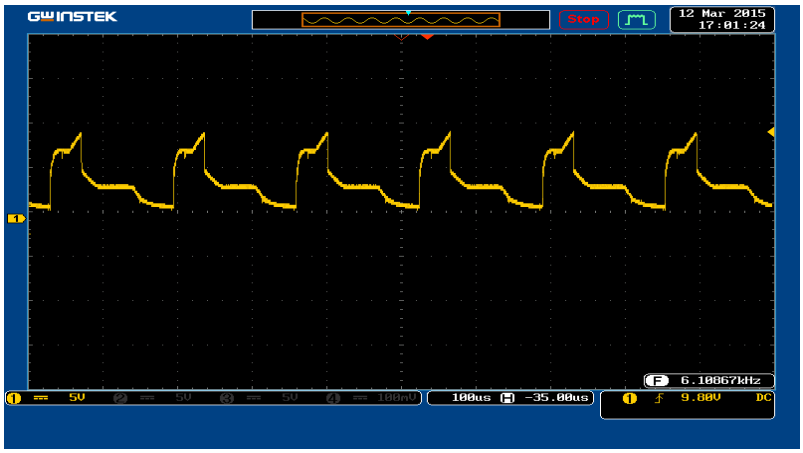
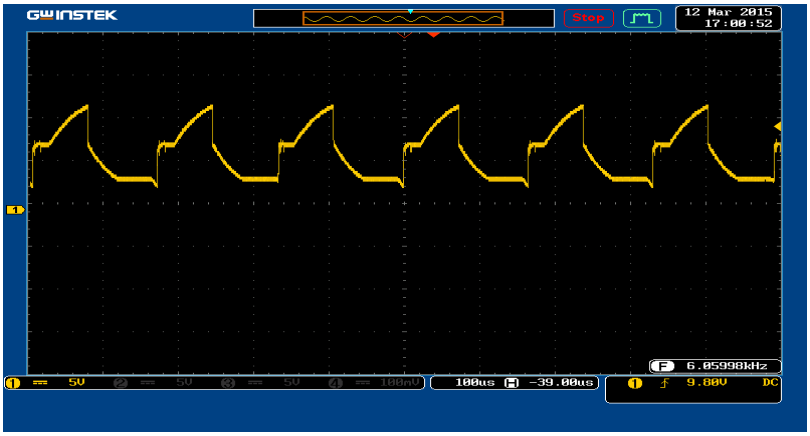
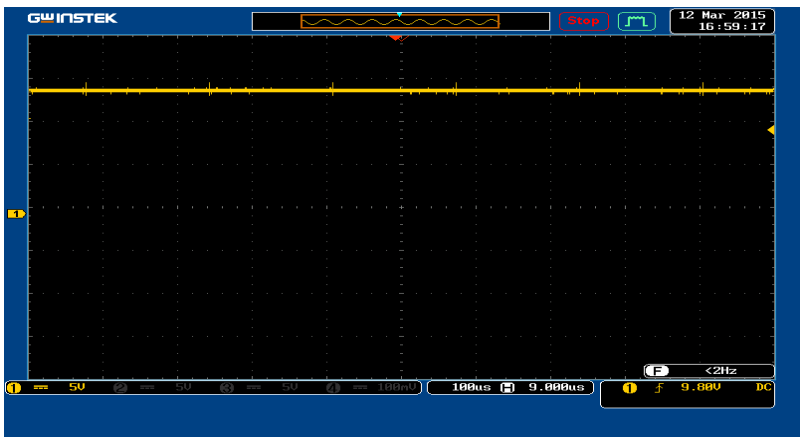
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้หลอดไฟ 50 วัตต์

ระดับ	แรงดันอินพุต (V_R)	ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)	แรงดันเอาต์พุตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (V_{dc})	คิดเป็นร้อยละ (%)
1	3	883	0	0 %
2	6	990	17.20	54 %
3	9	2376	31.50	98%
4	12	2951	31.85	100%

ตารางที่4.4 ผลการทดสอบสัญญาณพัลส์โดยใช้หลอดไฟ 50 วัตต์

ปรับค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์	ภาพสัญญาณตกคร่อมมอเตอร์แบบมีโหลดหลอดไฟฟ้า
25%	

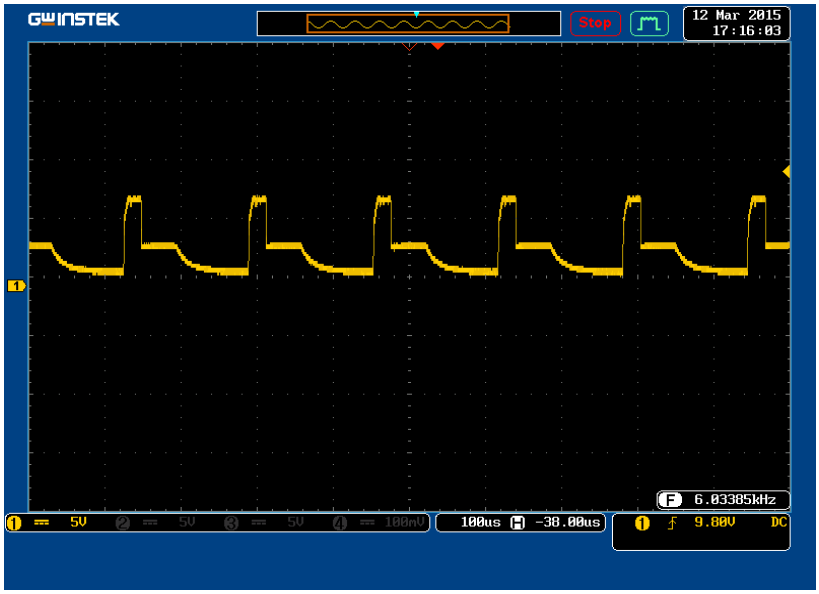
ตารางที่4.4 ผลการทดสอบสัญญาณพัลส์โดยใช้หลอดไฟ 50 วัตต์ (ต่อ)

ปรับค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์	ภาพสัญญาณตกคร่อมมอเตอร์แบบมีโหลดหลอดไฟฟ้า
50%	
75%	
100%	

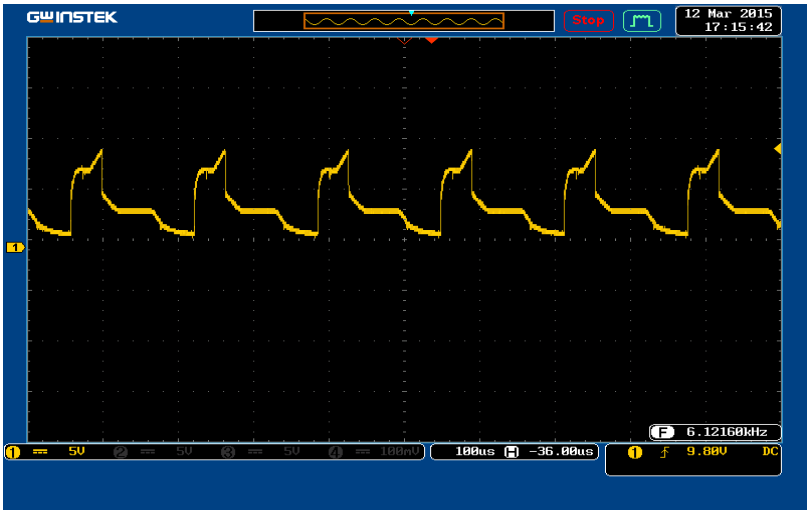
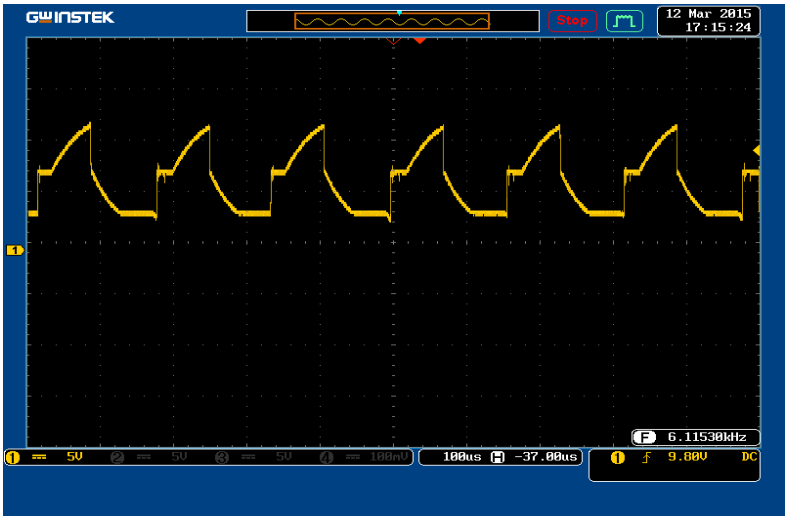
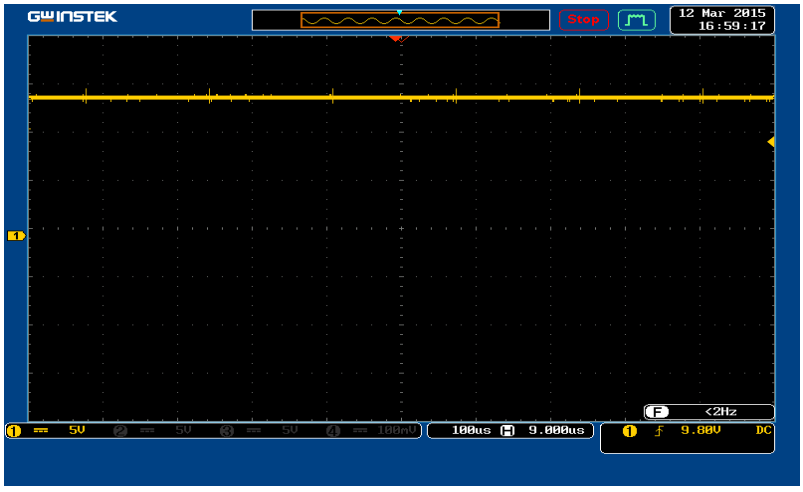
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้หลอดไฟ 100 วัตต์

แรงดันอินพุต (V_R)	ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)	แรงดันเอาต์พุตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (V_{dc})	คิดเป็นร้อยละ (%)
3	755	0	0%
6	833	13.40	43%
9	1974	29.60	96%
12	2615	30.54	100%

ตารางที่4.6 ผลการทดสอบสัญญาณพัลส์โดยใช้หลอดไฟ 100 วัตต์

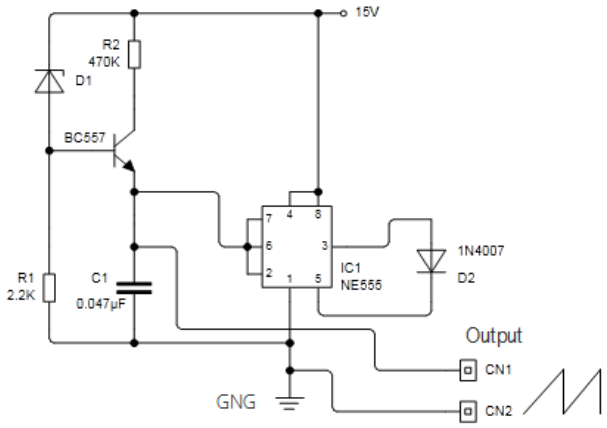
ปรับค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์	ภาพสัญญาณตกคร่อมมอเตอร์แบบมีโหลดหลอดไฟฟ้า
25%	

ตารางที่4.6 ผลการทดสอบสัญญาณพัลส์โดยใช้หลอดไฟ 100 วัตต์ (ต่อ)

50%	
75%	
100%	

4.3 การทดสอบวงจรควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย (sawtooth wave generator) เป็นสัญญาณที่นำมาเพื่อเป็นสัญญาณที่ใช้ในการเปรียบเทียบ โดยสามารถสร้างได้จากไอซี ยี่ห้อTEXAS INSTRUMENTS เบอร์ NE555 ซึ่งจะมีโครงสร้างของวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย

จากวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยในรูปที่ 4.3 ประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ ไดโอด ทรานซิสเตอร์ และตัวต้านทาน โดยการต่อวงจรในลักษณะดังกล่าว ทำให้ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 2/3 เท่าของแรงดันไฟเลี้ยงของวงจร ซึ่งการออกแบบวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4-1)

$$f = \frac{(V_{cc} - 2.7)}{R \times C \times V_{pp}} \tag{4-1}$$

โดยที่ V_{cc} คือ แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของวงจร (V)

V_{pp} คือ ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต (V)

f คือ ค่าความถี่ในการออกแบบ (Hz)

C คือ ค่าตัวเก็บประจุ (F)

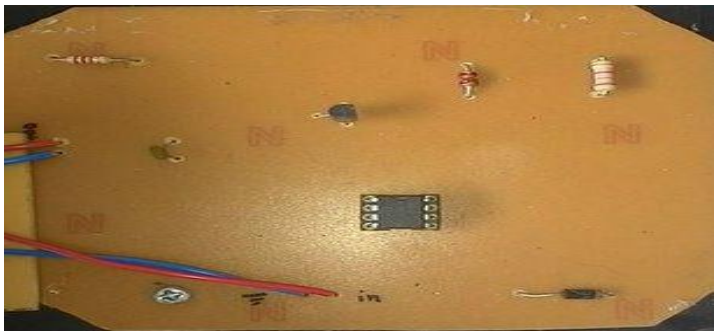
R คือ ตัวต้านทาน (Ω)

การออกแบบสัญญาณฟันเลื่อยให้มีค่าความถี่ของสัญญาณเท่ากับ 10 kHz ไฟเลี้ยงของวงจร (V_{cc}) เท่ากับ 15 โวลต์ ดังนั้น ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย (V_{pp}) มีค่าเท่ากับ $\frac{2}{3} \times 15 = 10\,\text{V}$ และการออกแบบจะกำหนดให้ค่าตัวเก็บในวงจรมีค่า

เท่ากับ 0.047 μF ดังนั้น การคำนวณหาค่าตัวต้านทานจะพิจารณาจากสมการที่ (4-1) โดยจัดรูปสมการเพื่อหาค่าตัวต้านทานได้ตามสมการที่ (4-2)

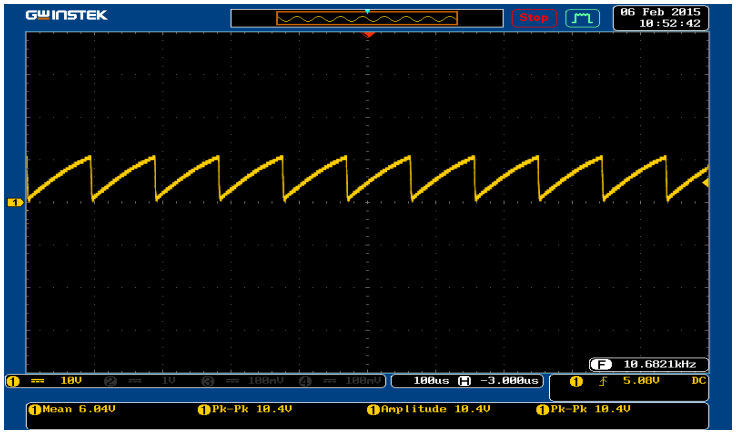
$$R = \frac{(V_{CC} - 2.7)}{f \times C \times V_{pp}} \tag{4-2}$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ของวงจรตามที่ได้กำหนดไว้ในเบื้องต้นลงในสมการที่(4-2) จะได้ค่าตัวต้านทาน $R = 2.63k\Omega$ ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างของวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยที่ได้จากการออกแบบได้ดังรูปที่ 4.3 และวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยที่นำมาใช้งานจริงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 วงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยที่ใช้งานจริง

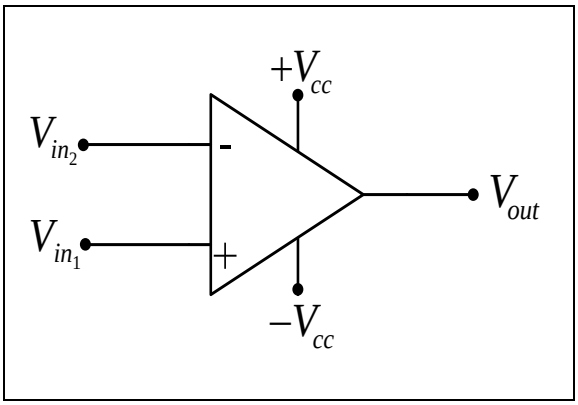
การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยในภาพที่ 4.2 ได้ดำเนินการทดสอบโดยการจ่ายไฟเลี้ยงของวงจรเท่ากับ 15 โวลต์ ตามที่ได้มีการออกแบบไว้ และทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อย ซึ่งสามารถแสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยได้ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตวงจรฟันเลื่อย

จากผลการทดสอบวงจรสร้างสัญญาณฟันเลื่อยในภาพที่ 4.3 พบว่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีขนาดของแอมพลิจูดเท่ากับ 10 โวลต์ และมีค่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ 10 kHz ซึ่งเป็นไปตามที่ได้อธิบายไว้ในเบื้องต้น

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณเป็นวงจรที่ใช้ในการตรวจสอบสัญญาณแรงดันของอินพุตหนึ่งกับสัญญาณแรงดันของอีกอินพุตหนึ่ง โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะตามความแตกต่างของสัญญาณอินพุต ซึ่งในงานวิจัยวิทยานิพนธ์จะใช้ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ในการเปรียบเทียบสัญญาณ โดยมีโครงสร้างของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

จากภาพที่ 4.4 สามารถหาค่าแรงดันเอาต์พุตได้ตามสมการที่ (4-3)

$$V_{out} = (V_{in_1} - V_{in_2}) \tag{4-3}$$

โดยที่ V_{in_1} คือ แรงดันอินพุตที่ 1

V_{in_2} คือ แรงดันอินพุตที่ 2

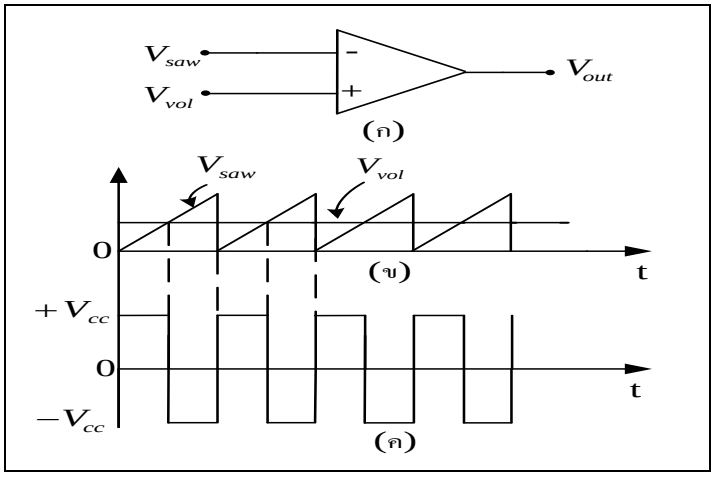
V_{out} คือ แรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (4-3) พบว่า ถ้า V_{in_1} มีค่ามากกว่า V_{in_2} ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเป็นบวก และถ้า V_{in_1} มีค่าน้อยกว่า V_{in_2} ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเป็นลบ โดยทางปฏิบัติแล้วค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรจะถูกจำกัดด้วยไฟเลี้ยงของออปแอมป์ (V_{cc}) ซึ่งจากที่อธิบายมาข้างต้น จะพบว่าค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณมีสภาวะการทำงาน 2 สภาวะ คือ

สภาวะที่ 1 $V_{out} = +V_{cc}$ เมื่อ $V_{in_1} > V_{in_2}$ (4-4)

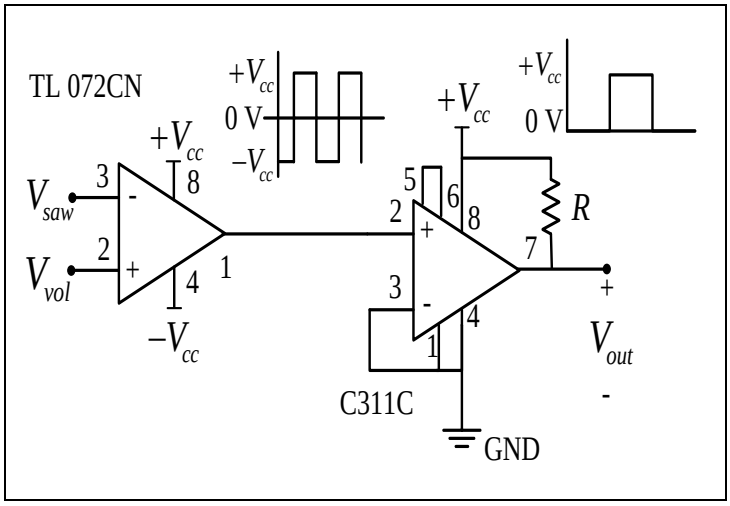
สภาวะที่ 2 $V_{out} = -V_{cc}$ เมื่อ $V_{in_1} < V_{in_2}$ (4-5)

จากการทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณตามที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น กำหนดให้ V_{vol} เป็นสัญญาณที่ใช้ในการอ้างอิง (reference signal) ในส่วนของสัญญาณสามเหลี่ยม V_{saw} เป็นสัญญาณพาหะ (carrier signal) โดยให้แรงดันอ้างอิงจ่ายเข้าที่ขานอนอินเวอร์ติง (+) และสัญญาณพาหะจ่ายเข้าที่ขาอินเวอร์ติง (-) ของออปแอมป์ ซึ่งมีลักษณะของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณดังรูปที่ 4.5 (ก) และมีลักษณะการเปรียบเทียบกันของสัญญาณดังรูปที่ 4.5 (ข) ซึ่งทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณดังภาพที่ 4.5 (ค) ดังนี้

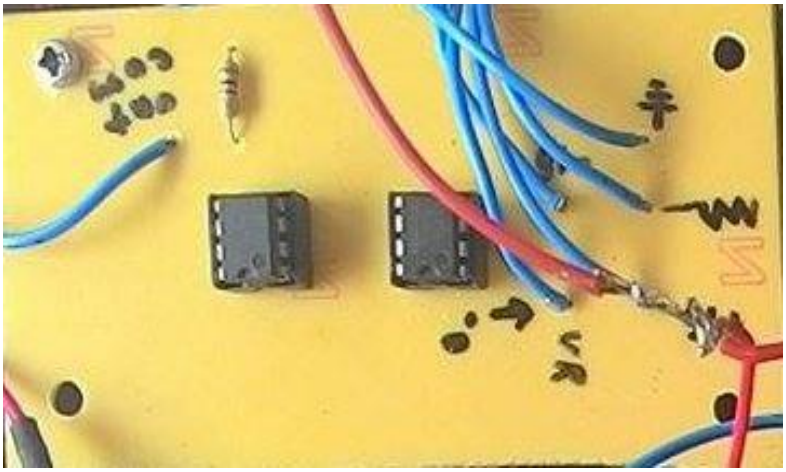


ภาพที่ 4.5 การทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

จากรูปที่ 4.5 (ค) พบว่าแรงดันเอาต์พุตมีการเปลี่ยนสภาวะจาก $-V_{cc}$ ไปเป็น $+V_{cc}$ หรือจาก $+V_{cc}$ ไปเป็น $-V_{cc}$ ตรงจุดที่แรงดันอ้างอิง V_{vol} มีค่าเท่ากับสัญญาณแรงดันพาหะ V_{saw} และเมื่อสังเกตสัญญาณเอาต์พุตจะพบว่า เมื่อ $V_{vol} > V_{saw}$ จะให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ $+V_{cc}$ และเมื่อ $V_{vol} < V_{saw}$ จะให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ $-V_{cc}$ ตามที่ได้อธิบายการทำงานของวงจรไว้แล้วในเบื้องต้น แต่ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์ต้องการให้ระดับสัญญาณอยู่บนซีกบวกจึงได้นำออปแอมป์เบอร์ C311C มาช่วยในการยกระดับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ โดยจะมีลักษณะของการต่อวงจรในลักษณะแบบไม่กลับเฟส ดังนั้นออปแอมป์ที่นำมาใช้ในวงจรเปรียบเทียบสัญญาณมีดังนี้ คือ ออปแอมป์ ยี่ห้อ ST Microelectronics เบอร์ TL 072CN และออปแอมป์ ยี่ห้อ Malaysia เบอร์ C311C ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณได้ดังภาพที่ 4.5 และวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่นำมาใช้งานจริงในงานวิจัยดังภาพที่ 4.6

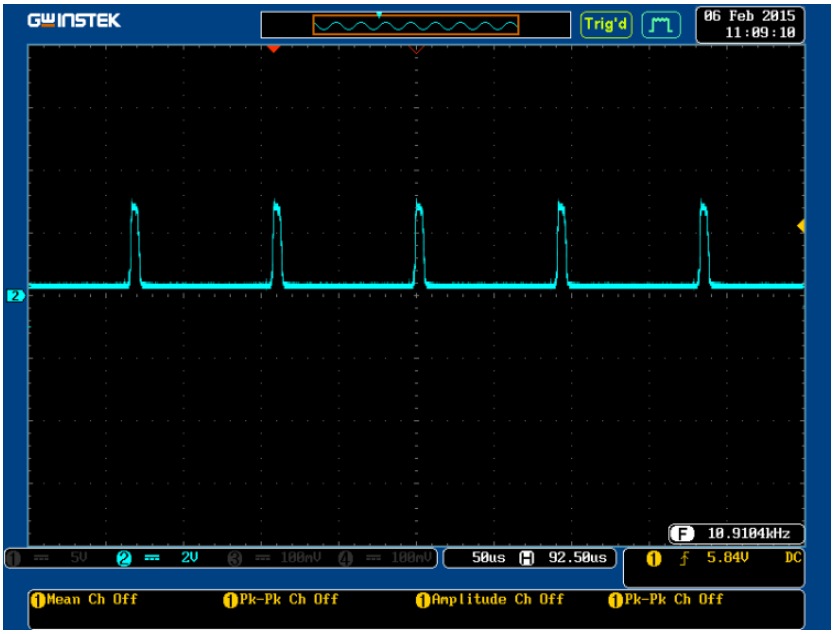


ภาพที่ 4.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์

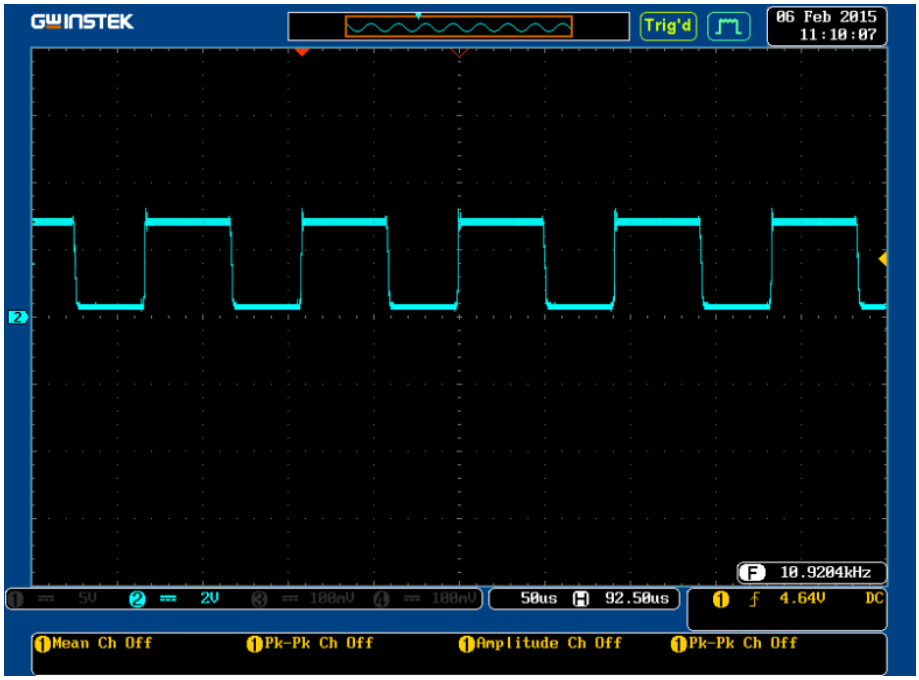


ภาพที่ 4.7 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ใช้งานจริง

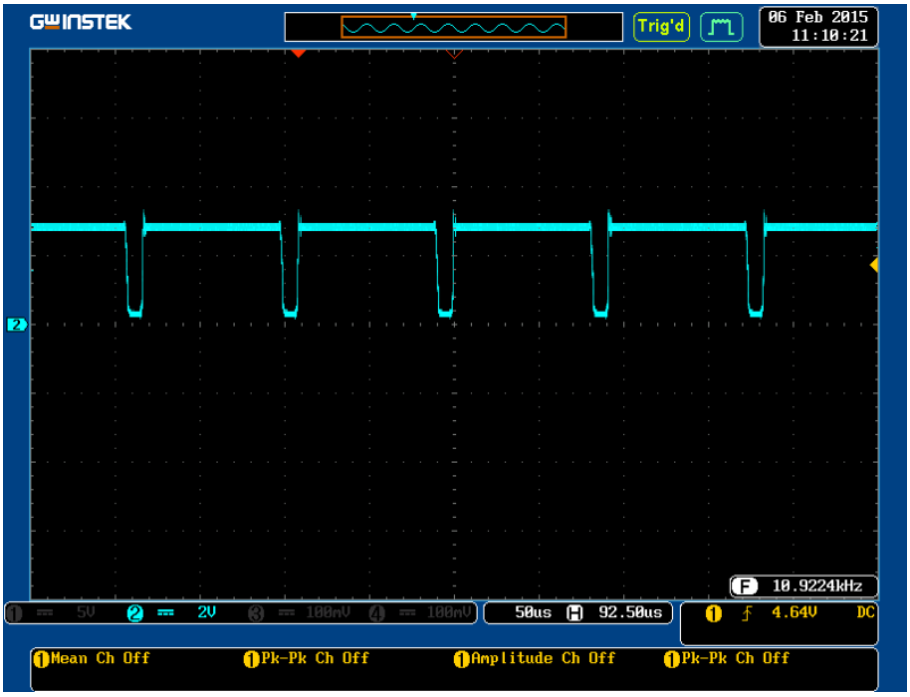
การทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณโดยใช้วงจรตามรูปที่ 4.7 ทำการทดสอบโดยการจ่ายอินพุตที่เป็นระดับแรงดัน (V_{vol}) ซึ่งในการทดสอบจะดำเนินการทดสอบโดยการปรับระดับของแรงดันอินพุตออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1.ระดับแรงดันอินพุตเท่ากับ 0 โวลต์ กรณีที่ 2.ระดับแรงดันอินพุตเท่ากับ 6 โวลต์ และกรณีที่ 3.ระดับแรงดันอินพุตเท่ากับ 9 โวลต์ ซึ่งไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับวงจรเปรียบเทียบสัญญาณมีค่าเท่ากับ ± 15 โวลต์ และทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ โดยช่องสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณทั้ง 3 กรณีได้ดังภาพที่ 4.8 ถึงภาพที่ 4.10 ดังนี้



ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณกรณีที่ 1



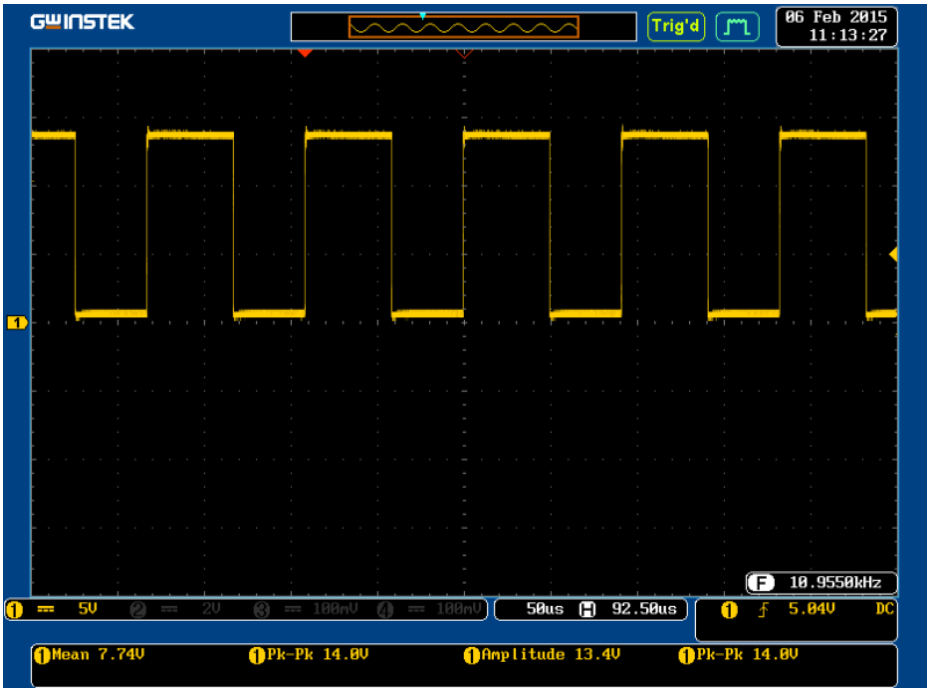
ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณกรณีที่ 2



ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบวงจรเปรียบเทียบสัญญาณกรณีที่ 3

จากผลการทดสอบการทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณตามภาพที่ 4.7 ถึงภาพที่ 4.9 พบว่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้ เป็นไปตามที่ได้มีการอธิบายการทำงานไว้ในเบื้องต้น

วงจรแยกกราวด์ เป็นวงจรก่อนเข้าวงจรขับเพื่อป้องกันไฟย้อนกลับจากชุดขับและไม่ให้วงจรPWM จ่ายกระแสมากเกินไป โดย จ่ายไฟเลี้ยง 15 โวลต์ ที่ขา 8 และสัญญาณเข้าที่ขา 2 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 6กราวที่ขา 7 โดยให้ไปดึงไฟจากแหล่งจ่ายมาจ่ายให้ขาเกตของมอสเฟสเพื่อชดเชยกระที่วงจร PWM0 จ่ายให้ไม่พอ ถ้าวงจร PWM จ่ายกระแสให้กับขาเกศมากเกินไปจะทำไห้ตัวไอซี TL 072 และ C311 นั้นร้อนและเสียได้



ภาพที่ 4.11 สัญญาณวงจรแยกกราวด์

4.4 การทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยการทดสอบนั้นทางคณะได้ทำการปรับความเร็วของมอเตอร์ที่4ระดับคือ 3โวลต์,6โวลต์,9โวลต์,12โวลต์ ทดสอบกับหลอดไฟขนาด 50 วัตต์และ 100 วัตต์จะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเริ่มทำงานที่ 3 โวลต์ แต่จะมีกระแสไฟฟ้าที่ 6 โวลต์ เมื่อปรับไปที่ 12 โวลต์ ชุดทดสอบจะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการทำงานของชุดทดสอบการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 4.7 การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง **50 วัตต์**

แรงดันอินพุต (V_R)	แรงดันเอาต์พุตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (V_{dc})	กำลังวัตต์	คิดร้อยละ (%)
3	0	50	0%
6	17.20	50	54%
9	31.21	50	98%
12	31.85	50	100%

ตารางที่ 4.8 การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 100 วัตต์

แรงดันอินพุต (V_R)	แรงดันเอาต์พุตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (V_{dc})	กำลังวัตต์	คิดร้อยละ (%)
3	0	100	0%
6	13.4	100	43%
9	29.60	100	96%
12	30.54	100	100%