



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 แหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน

##### 4.1.1 แบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์

##### 4.1.1.1 การวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์

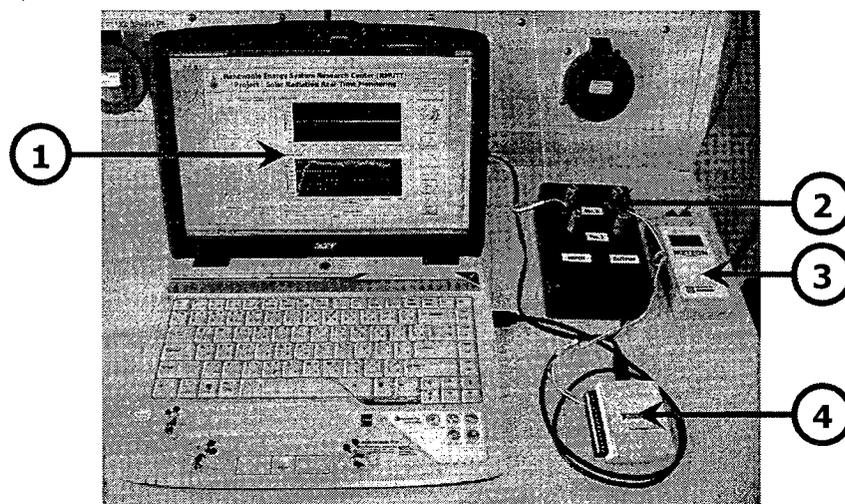
การวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ด้วยโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มทดสอบการวัดรังสีจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 7.00 น.-18.00 น. ซึ่งจะวัดและบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที โดยในการทดสอบนั้นจะมีส่วนที่ใช้งานทั้งหมด 4 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของหน้าจอการแสดงผลการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

ส่วนที่ 2 คือ วงจรสำหรับขยายแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากไพรานอมิเตอร์

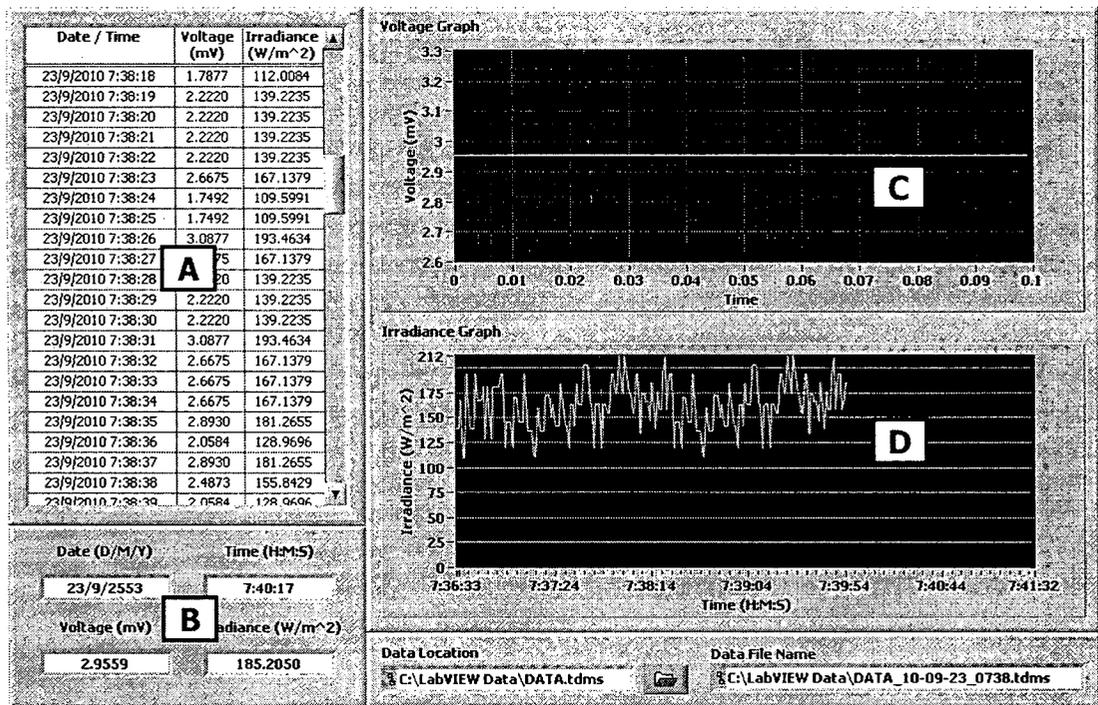
ส่วนที่ 3 คือ Data Logger ที่นำมาใช้วัดเทียบกับการวัดด้วยโปรแกรม LabVIEW

ส่วนที่ 4 คือ NI USB-6008 ที่ใช้รับข้อมูลจากวงจขยายแรงดันเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 4.1 การทดสอบการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์

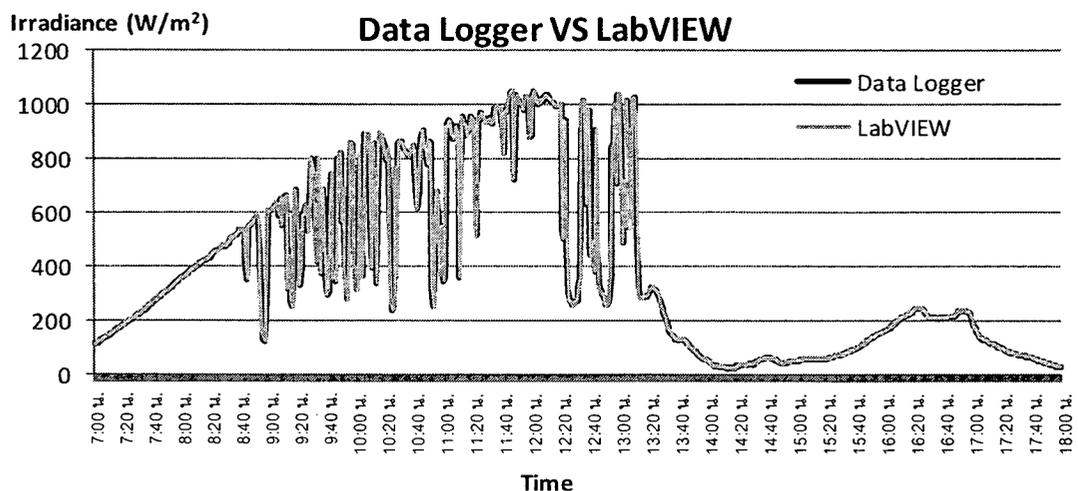
โดยโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ มีคุณสมบัติเบื้องต้น การแสดงผลและการจัดเก็บข้อมูล



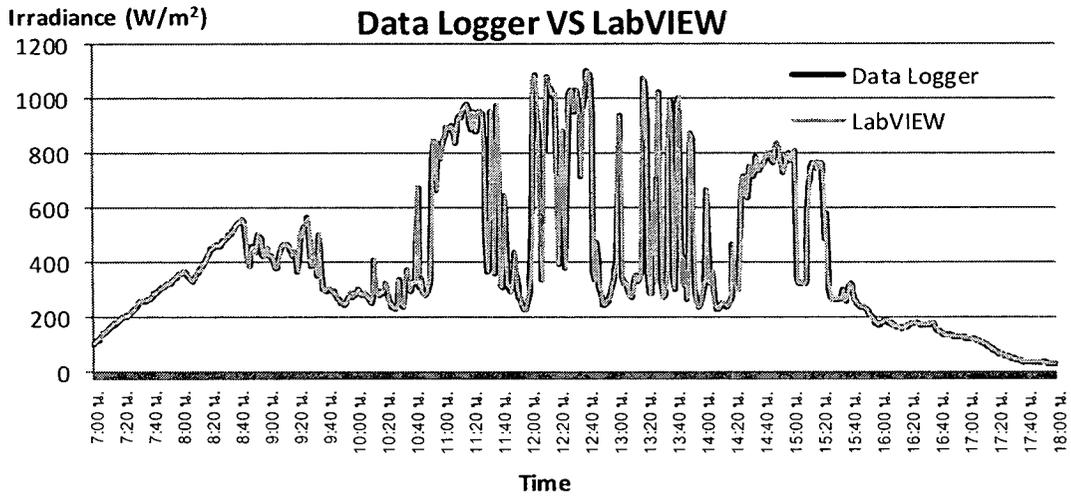
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการแสดงผลของโปรแกรม

#### 4.1.1.2 วิเคราะห์ผลการวัดและบันทึกข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์

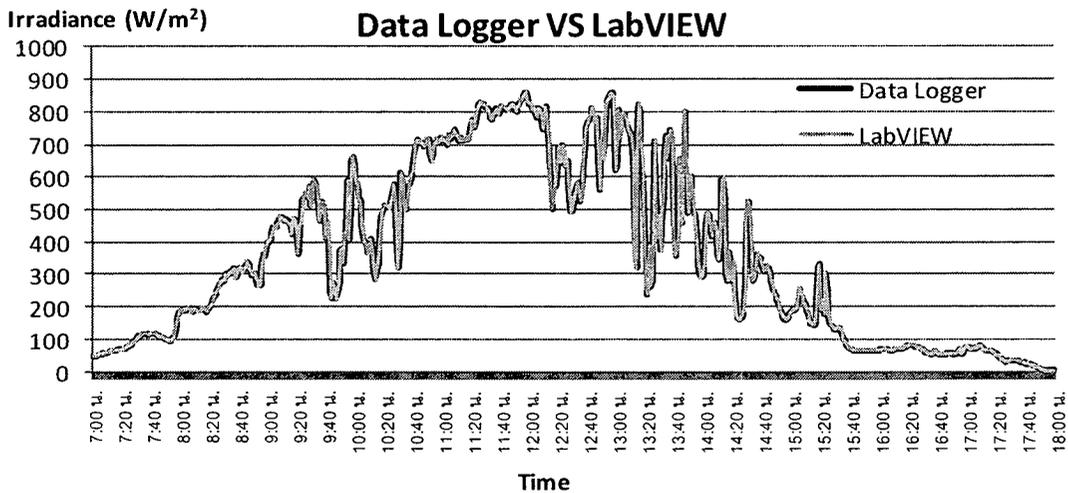
เมื่อนำค่าที่วัดได้จากโปรแกรม LabVIEW มาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ด้วย Data Logger ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบรูปกราฟดังนี้



รูปที่ 4.3 ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 1



รูปที่ 4.4 ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 2



รูปที่ 4.5 ค่าที่ได้จากการวัดด้วย data logger กับจำลองจากโปรแกรม LabVIEW วันที่ 3

จากการสังเกตโดยรวมในวันที่ทำการทดสอบการวัดและบันทึกข้อมูล พบว่าสภาพ หากท้องฟ้าเป็นช่วงที่มีเมฆหนาปิดบัง พร้อมกับมีฝนตกลักษณะกราฟจะมีค่าปริมาณแสงลดลง ถ้า ท้องฟ้าเปิดไม่มีเมฆ ก็จะทำการวัดได้ค่าปริมาณแสงมาก โดยลักษณะกราฟทั้ง 3 วันที่ได้ทำการ ทดสอบการวัดและบันทึกนั้น แสดงให้เห็นว่าค่าที่วัดได้จาก Data Logger และค่าที่วัดได้จาก โปรแกรม LabVIEW นั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันตลอดหมายความว่าวงจรขยายแรงดัน และ โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้นั้น สามารถทำงานได้อย่างปกติและวัดค่าได้เช่นเดียวกันกับการใช้ Data Logger

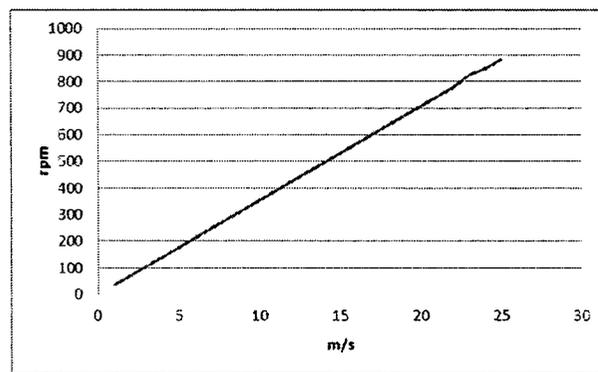


#### 4.1.2 การออกแบบแบบจำลองของแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนพลังงานลม

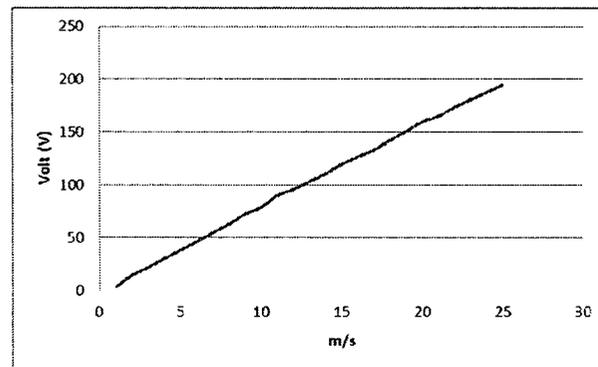
##### 4.1.2.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรขนาด 1 กิโลวัตต์

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสแม่เหล็กถาวรแบบ 3 เฟส โดยวัดและบันทึกค่า ความเร็วรอบ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังเอาต์พุต และคำนวณหา กำลังอินพุตกับประสิทธิภาพ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ

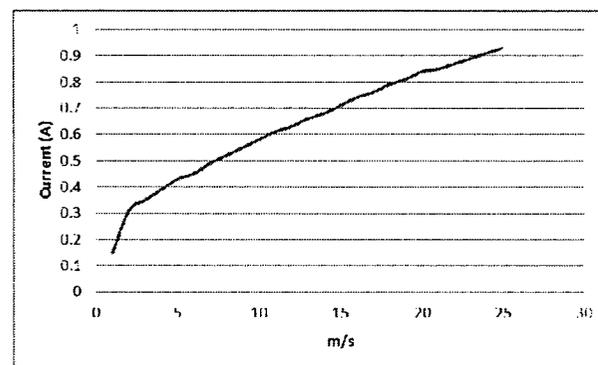
1. โดยการทดสอบที่โหลดคงที่ ความเร็วลมเปลี่ยนแปลง ทำการทดสอบโดยการจำลองความเร็วลมตั้งแต่ 1-25 m/s ต่อ โหลดความต้านทานขนาด 900 วัตต์ โดยมีการแสดงผลเป็นกราฟดังนี้



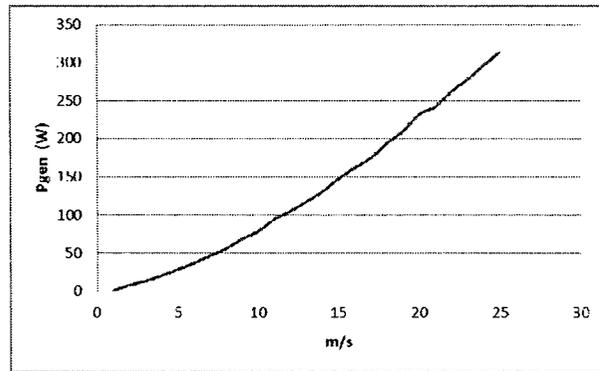
รูปที่ 4.6 ความเร็วลมและความเร็วรอบ



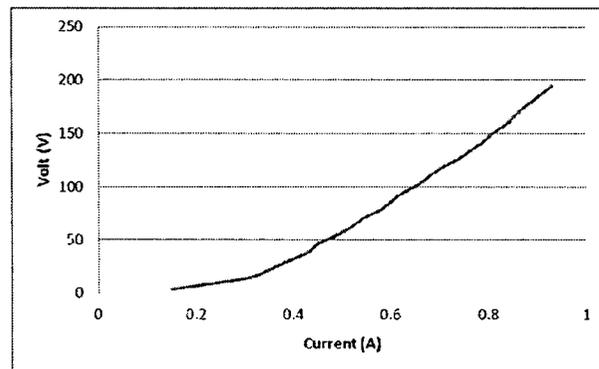
รูปที่ 4.7 ความเร็วลมและแรงดันไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด



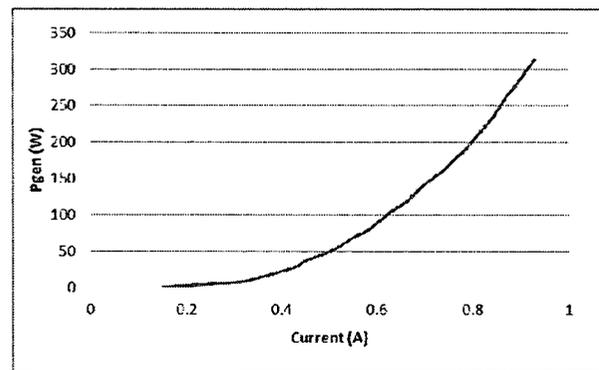
รูปที่ 4.8 ความเร็วลมและกระแสไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด



รูปที่ 4.9 ความเร็วลมและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด

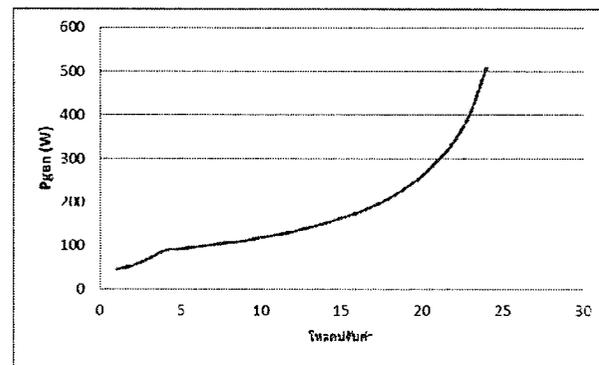


รูปที่ 4.10 กระแสไฟฟ้าและแรงดันขณะจ่ายโหลด

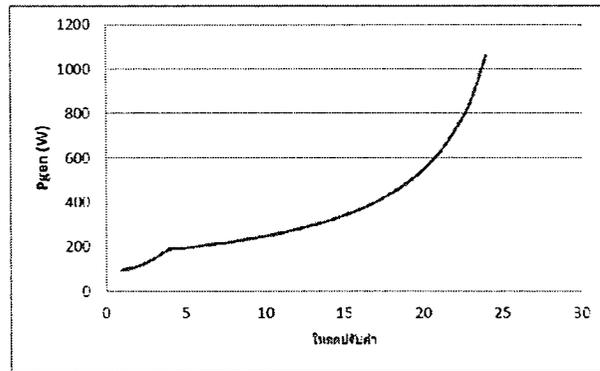


รูปที่ 4.11 กระแสไฟฟ้าและกำลังเอาต์พุตขณะจ่ายโหลด

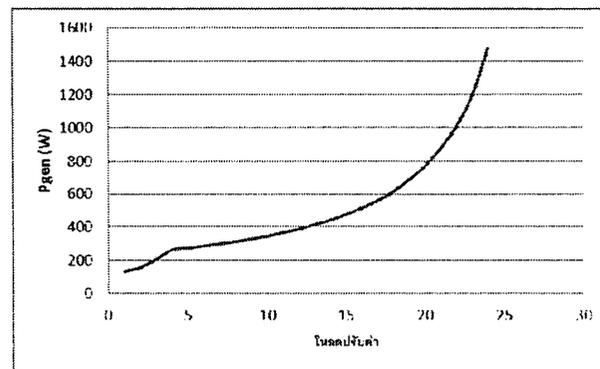
2. โดยการทดสอบที่ความเร็วลมคงที่ โหลดเปลี่ยนแปลง ทำการทดสอบความเร็วคงที่ 14 m/s 21 m/s และ 25 m/s ต่อโหลดความต้านทานปรับค่าได้ โดยมีการแสดงผลเป็นกราฟดังนี้



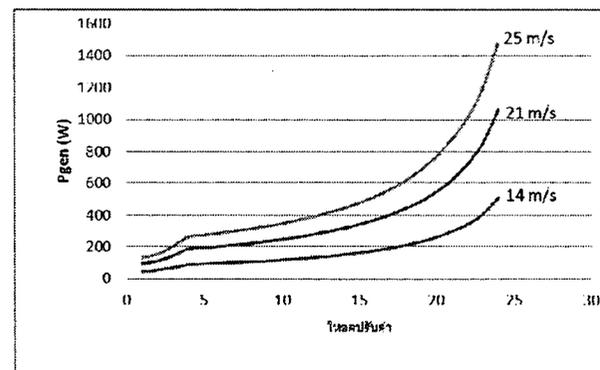
รูปที่ 4.12 การปรับโหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลดที่ 14 m/s



รูปที่ 4.13 การปรับ โหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลดที่ 21 m/s



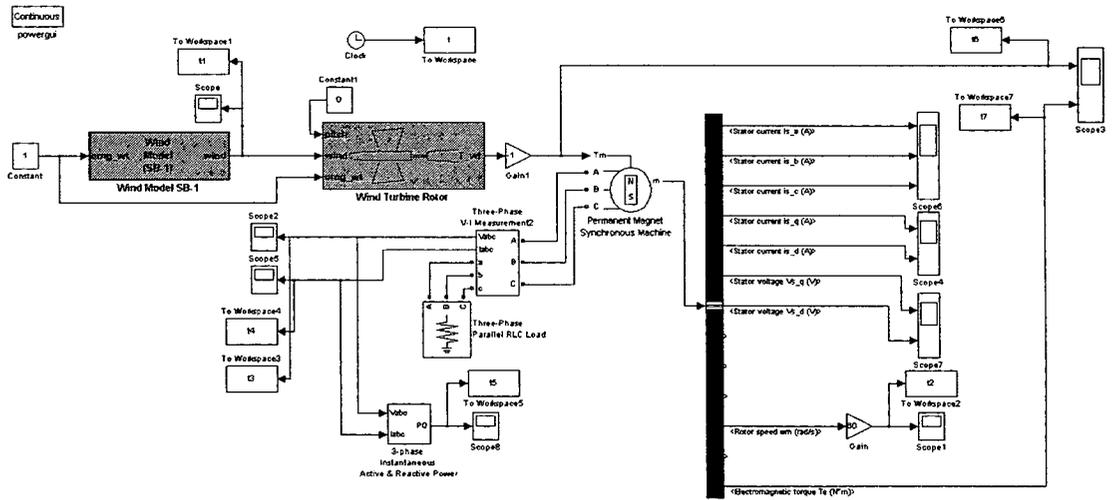
รูปที่ 4.14 การปรับ โหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลดที่ 25 m/s



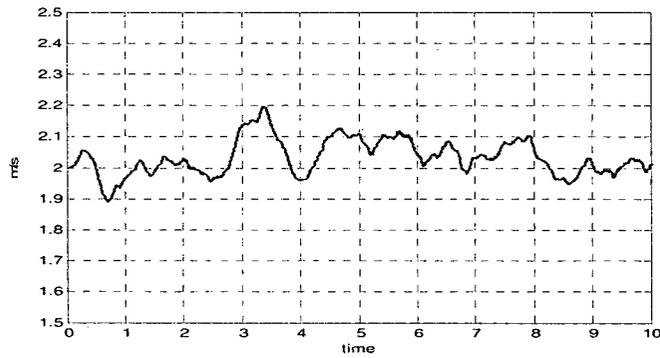
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบการปรับ โหลดและกำลังเอาต์พุตที่จ่ายโหลด

#### 4.1.2.2 ผลการจำลองการทำงานของกังหันลมด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

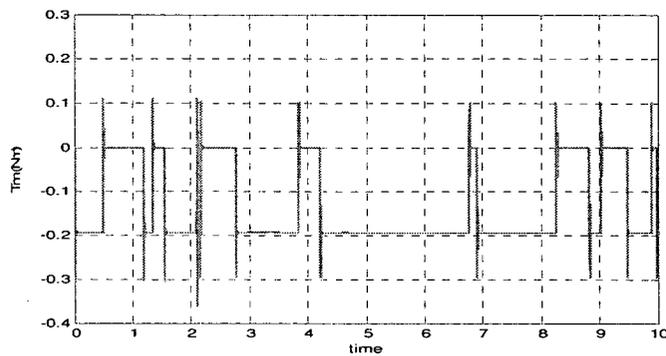
การจำลองการทำงานของกังหันลมขนาด 1 kW ในสภาวะเริ่มทำงาน Cut in สภาวะทำงานปกติที่พิกัด Normal และสภาวะหยุดทำงาน Cut out โดยมีการแสดงผลเป็นกราฟดังนี้



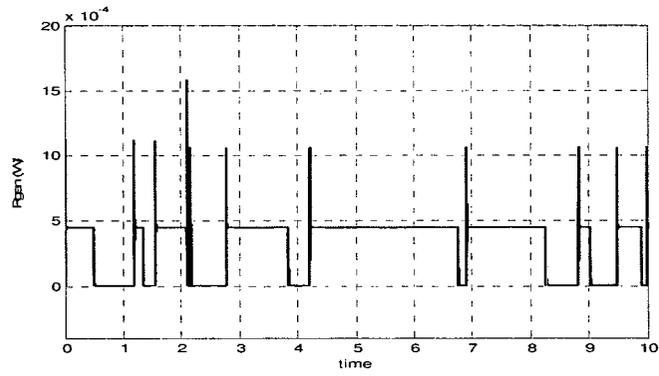
รูปที่ 4.16 การจำลองการทำงานของกังหันลมด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK



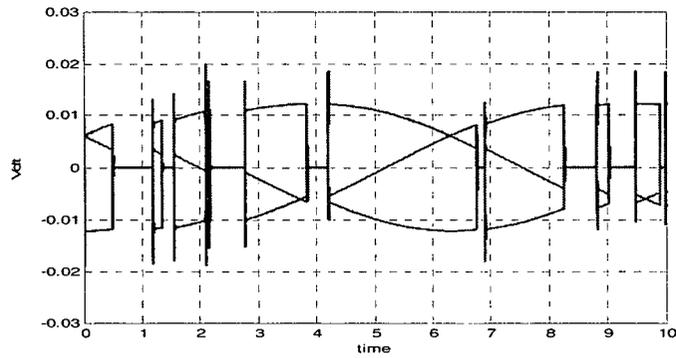
รูปที่ 4.17 ความเร็วลมที่ความเร็วเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s



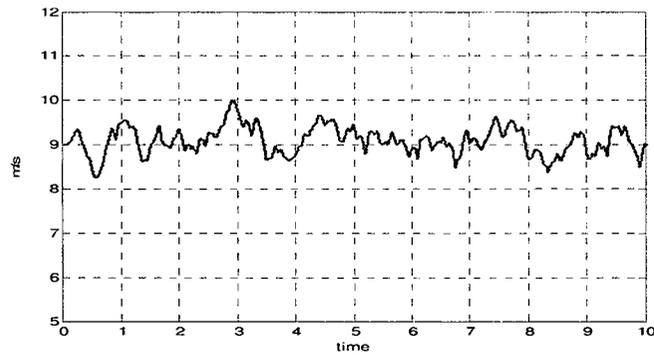
รูปที่ 4.18 แรงบิดที่สถานะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s



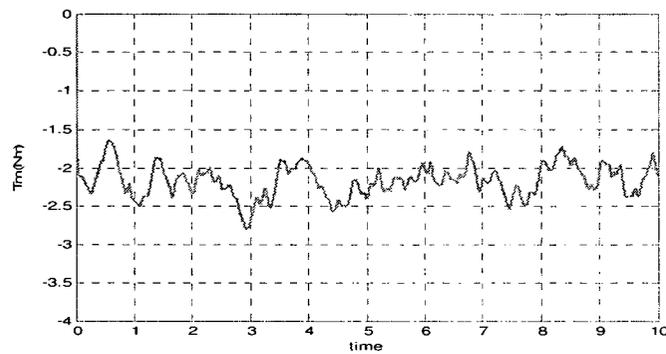
รูปที่ 4.19 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สถานะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s



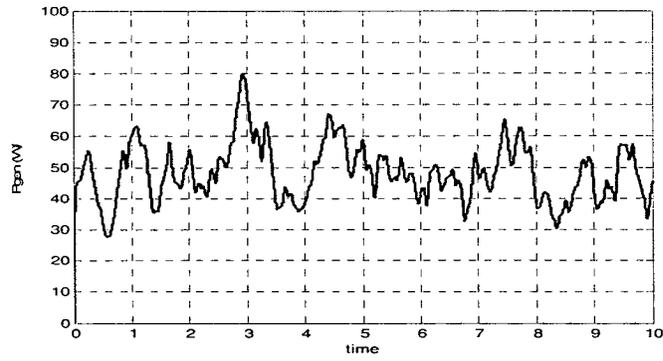
รูปที่ 4.20 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าสถานะเริ่มทำงาน Cut in 2 m/s



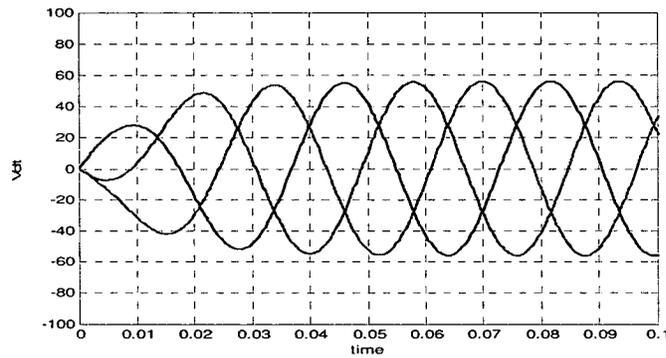
รูปที่ 4.21 ความเร็วลมที่ความเร็วทำงานปกติ Normal 9 m/s



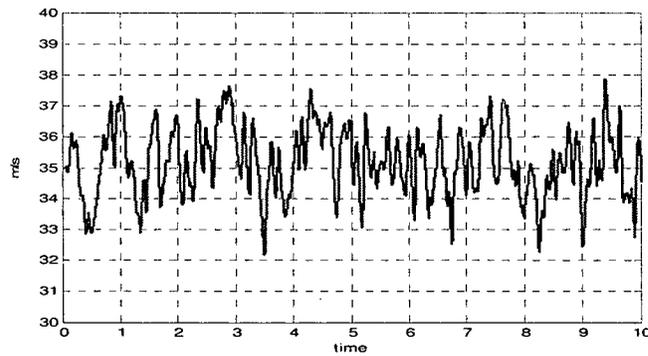
รูปที่ 4.22 แรงบิดที่สถานะทำงานปกติ Normal 9 m/s



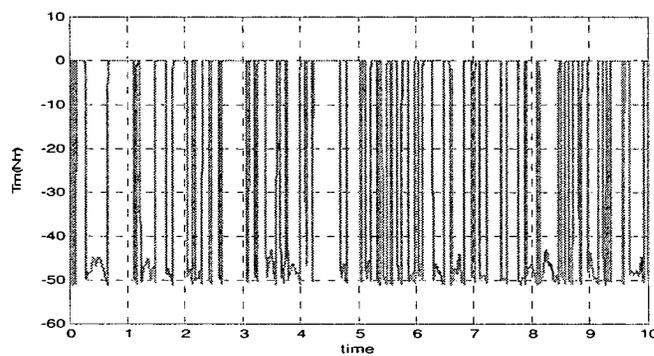
รูปที่ 4.23 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s



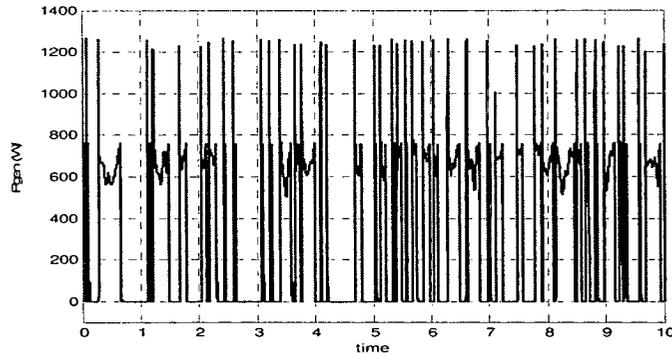
รูปที่ 4.24 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะทำงานปกติ Normal 9 m/s



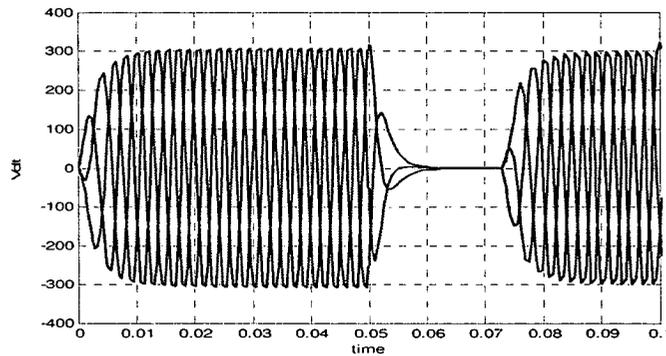
รูปที่ 4.25 ความเร็วลมที่ความเร็วในช่วง Cut out 35 m/s



รูปที่ 4.26 แรงบิดที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s



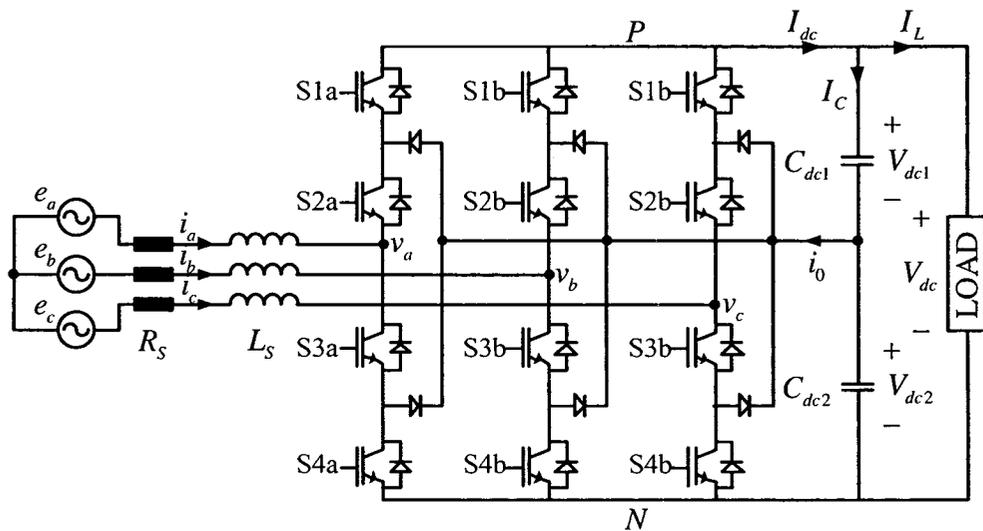
รูปที่ 4.27 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s



รูปที่ 4.28 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะทำงาน Cut out 35 m/s

## 4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้าแบบสามระดับกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

เป็นการทดสอบการจำลองการทำงานของระบบที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบวงจรแปลงผันดังรูปที่ 4.29 และระบบที่สร้างขึ้นนี้มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1



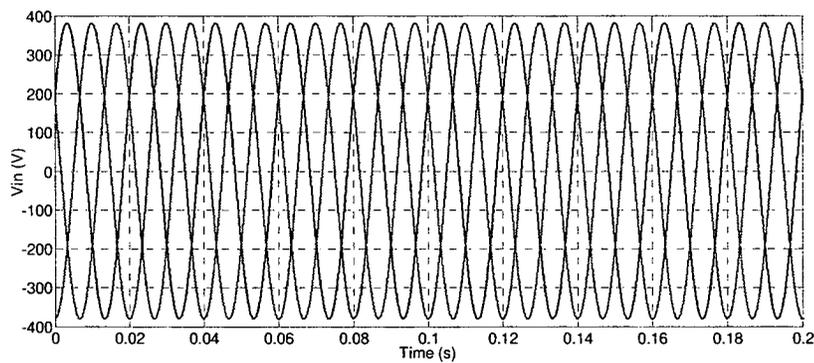
รูปที่ 4.29 วงจรจำลองการทำงานของระบบ



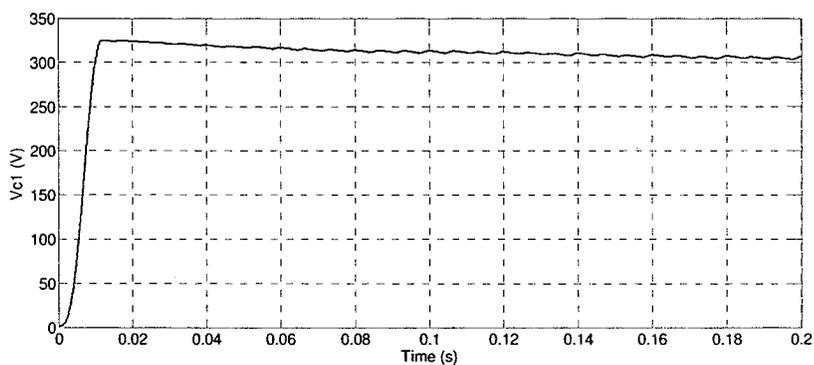
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของวงจรการจำลองการทำงาน

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ระบบไฟฟ้า	3 เฟส 3 สาย
แรงดันใช้งานระหว่างสาย	380 V
ความถี่	50 Hz
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	600 V
กำลังไฟฟ้าที่ภาระสูงสุด	100 kW
ความถี่สวิตช์	10 kHz

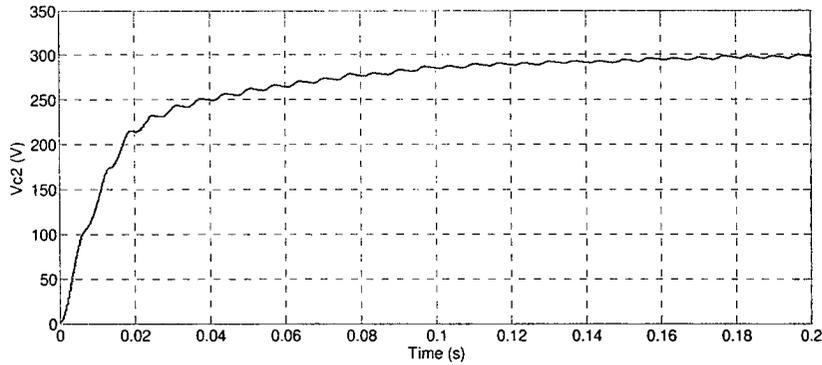
สำหรับในการทดสอบการจำลองการทำงาน จะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับแบบเก่า



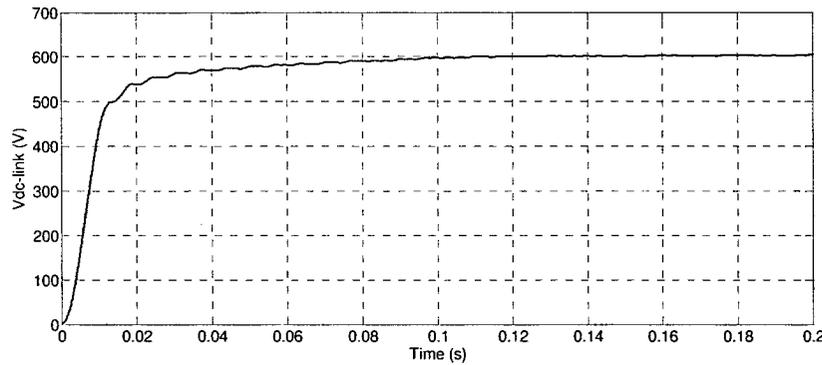
รูปที่ 4.30 แรงดันแหล่งจ่ายในวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ



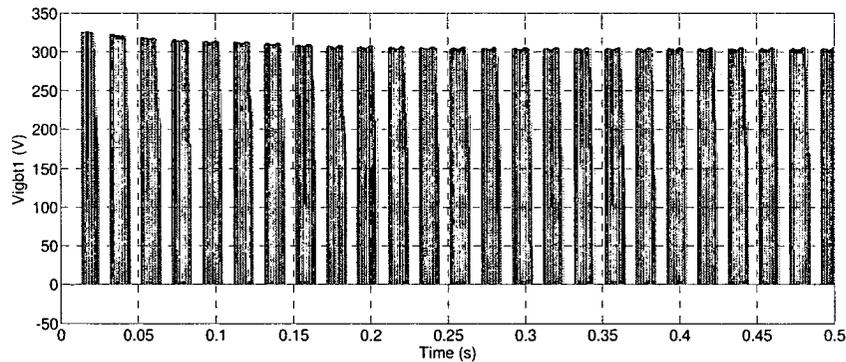
รูปที่ 4.31 แรงดันของตัวเก็บประจุ C1 ของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ



รูปที่ 4.32 แรงดันของตัวเก็บประจุ C2 ของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ



รูปที่ 4.33 แรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ

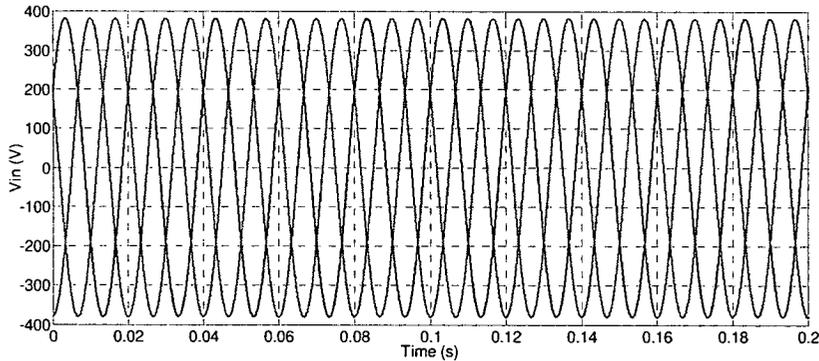


รูปที่ 4.34 แรงดันตกคร่อมที่ตัวอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็คทรอนิกส์ (IGBT) ในวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ

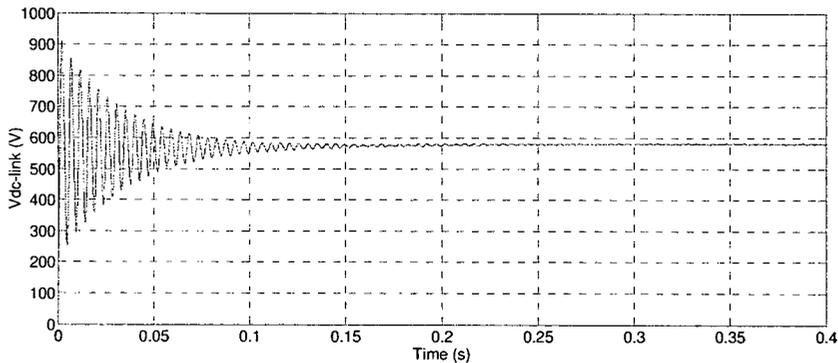
ในรูปที่ 4.30 เป็นแรงดันแหล่งจ่ายของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ ในรูปที่ 4.31 และรูปที่ 4.32 คือแรงดันที่ตัวเก็บประจุ C1 และ C2 ของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ จะเห็นว่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันด้านออก ดังนั้นเราสามารถใชตัวเก็บประจุที่พิกัดแรงดันประมาณ 1/2 ของพิกัดแรงดันด้านออกได้ รูปที่ 4.33 เป็นแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับ จะเห็นว่าแรงดันด้านออกของวงจรจะมีค่าประมาณ 600 V ตามค่าที่ตั้งไว้และมีอัตรากระเพื่อมของแรงดัน ( $\Delta V$ ) ในปริมาณที่น้อยอีกด้วย รูปที่ 4.34 คือแรงดันตกคร่อมที่ตัวอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็คทรอนิกส์ (IGBT) ในวงจรแปลงผันฯแบบ



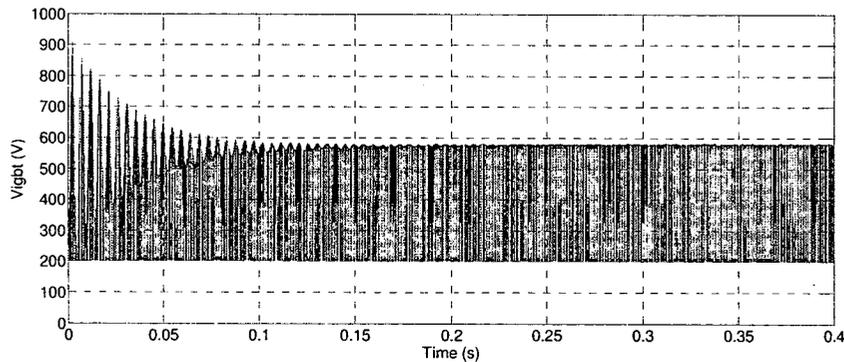
สามระดับ จะเห็นว่าแรงดันที่ตกคร่อมในอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันด้านออก ดังนั้นสามารถเพิ่มพิกัดแรงดันของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับนี้เป็น 1200 V ได้โดยที่อุปกรณ์อื่นๆในวงจรแปลงผันฯไม่ได้รับความเสียหาย



รูปที่ 4.35 แรงดันแหล่งจ่ายในวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ



รูปที่ 4.36 แรงดันของตัวเก็บประจุ C หรือแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ



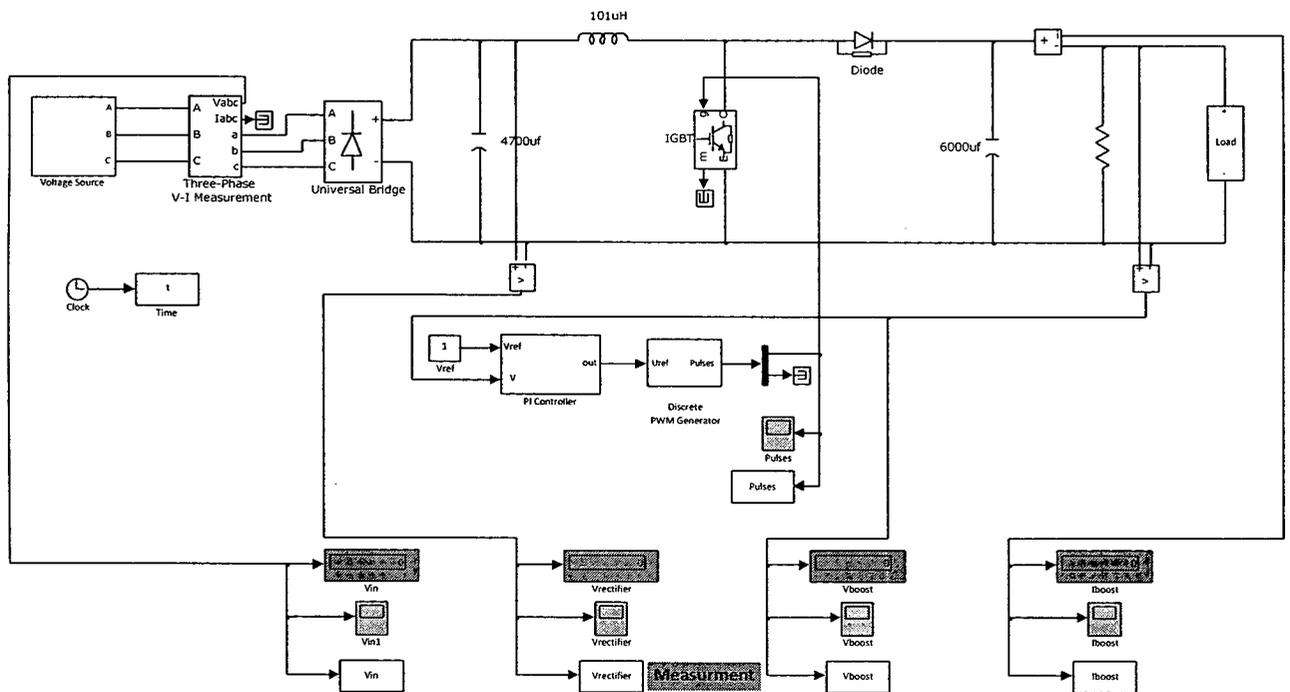
รูปที่ 4.37 แรงดันตกคร่อมที่ตัวอุปกรณ์สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ (IGBT) ในวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ

ในรูปที่ 4.35 เป็นแรงดันแหล่งจ่ายของวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ ในรูปที่ 4.36 แรงดันที่ตัวเก็บประจุ C หรือแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ จะเห็นว่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันฯ ซึ่งจะต้องใช้ตัวเก็บประจุที่พิกัดเดียวกับพิกัดแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันฯ รูปที่ 4.37 ก็คือแรงดันตกคร่อมที่ตัว



อุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ (IGBT) ในวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ จะเห็นว่าแรงดันที่ตกคร่อมในอุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์จะมีค่าเท่ากับแรงดันด้านออก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ อุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่พิกัดเท่ากับพิกัดแรงดันด้านออกของวงจรแปลงผันฯ ซึ่งไม่สามารถรับแรงดันที่พิกัดสูงขึ้นกว่านี้ได้ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับนั้น แรงดันที่ DC-link ของวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับจะมีค่ามากกว่าแรงดันที่ DC-link ของวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ อีกทั้งยังมีความสม่ำเสมอของแรงดันมากกว่าวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ ซึ่งนั่นก็คือมีปริมาณสัญญาณความผิดเพี้ยนหรือมีอัตราการกระเพื่อมของแรงดันด้านออกน้อยกว่านั่นเอง โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ทุกตัวเหมือนกัน อีกทั้งตัวอุปกรณ์สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ (IGBT) แต่ละตัวยังมีแรงดันตกคร่อมในปริมาณที่น้อย ดังนั้นวงจรแปลงผันฯแบบสามระดับจึงสามารถรับระดับแรงดันได้มากกว่าวงจรแปลงผันฯแบบสองระดับ

### 4.3 การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 4.38 วงจรการจำลองของวงจรทระดับแรงดันใน MATLAB/SIMULINK [10]



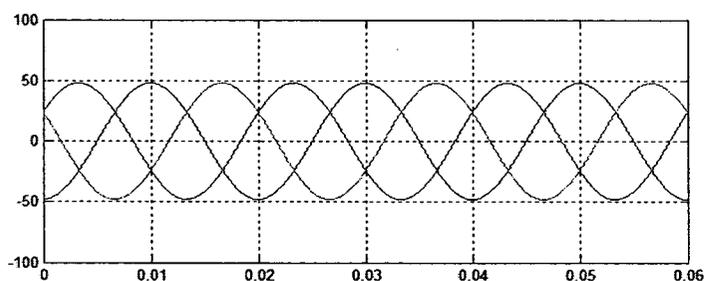
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์การจำลองการทำงานใน MATLAB/SIMULINK

พารามิเตอร์	รายละเอียด
แรงดันออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	48 V
แรงดันด้านเข้าของวงจรทระดับ	64.82 V
แรงดันด้านออกของวงจรทระดับ	100 V
กระแสด้านออกของวงจรทระดับ	15 A
ค่าความเหนี่ยวนำ (L)	60 $\mu H$
ค่าเก็บประจุ(C)	52 $\mu F$
ความถี่ในการสวิตช์	10KHz

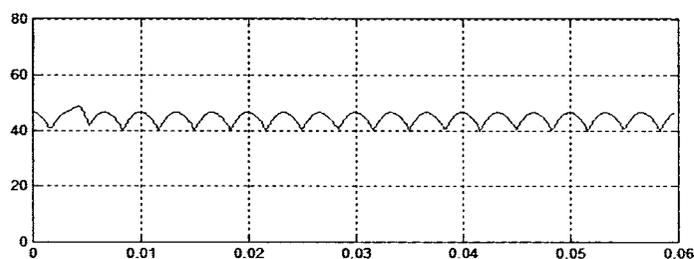
#### 4.3.1 ผลการจำลองวงจรทระดับแรงดันใน MATLAB/SIMULINK

การทดลองการจำลองของระบบจะทำการทดลองที่สภาวะแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่แรงดันด้านออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 48 V คงที่ และดูสภาวะแรงดันของวงจรต่าง ๆ ในระบบ และทำการจำลองในกรณีที่สภาวะแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างฉับพลันเพื่อดูสภาวะแรงดันต่าง ๆ ของวงจรว่าทำงานตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

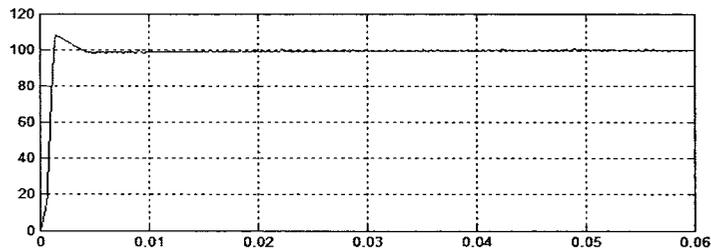
##### 4.3.1.1 การจำลองสภาวะแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่แรงดันด้านออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 48 V คงที่



รูปที่ 4.39 การจำลองแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แรงดัน 48 V คงที่



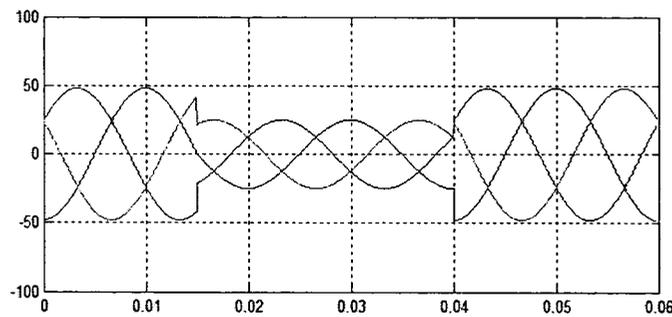
รูปที่ 4.40 การจำลองแรงดันที่ออกจากวงจรเรียงกระแส



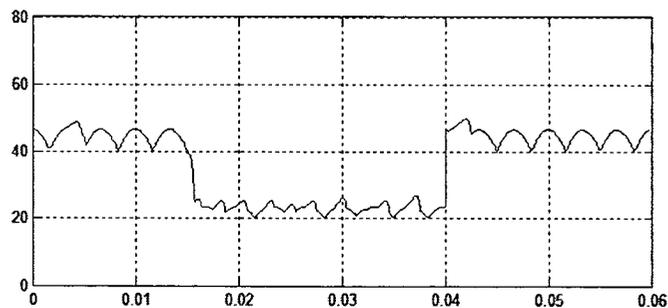
รูปที่ 4.41 การจำลองแรงดันที่ออกจากวงจรวงจรทระดับแรงดัน

จากรูปที่ 4.39 จะเป็นแรงดันด้านออกที่จำลองเป็นแรงดันด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งทำการจำลองให้มีแรงดันด้านออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 48 โวลต์คงที่ ส่วนรูปที่ 4.40 เป็นแรงดันด้านออกจากวงจรเรียงกระแสสามเฟส และรูปที่ 4.41 เป็นแรงดันด้านออกจากวงจรทระดับแรงดันซึ่งทำการยกแรงดันขึ้นมาที่ 100 โวลต์

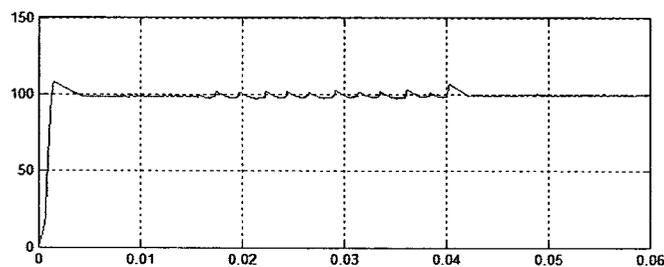
#### 4.3.1.2 การจำลองสภาวะแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่แรงดันด้านออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสภาวะความเร็วลมเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน



รูปที่ 4.42 การจำลองแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สภาวะแรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน



รูปที่ 4.43 การจำลองแรงดันที่ออกจากวงจรเรียงกระแส



รูปที่ 4.44 การจำลองแรงดันที่ออกจากวงจรวงจรทระดับแรงดัน

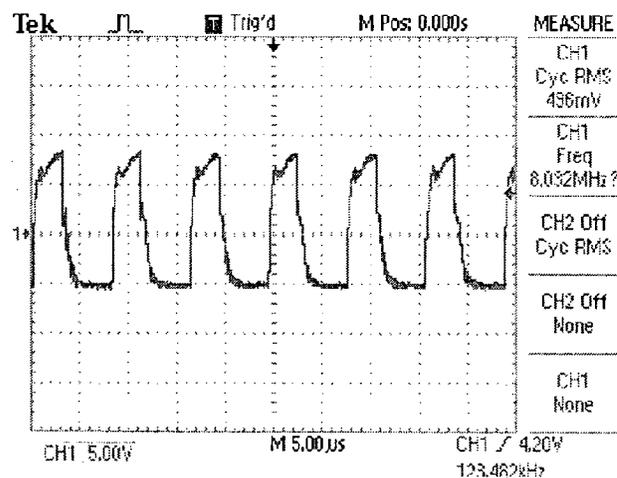


จากรูปที่ 4.42 จะเห็นว่าเมื่อแรงดันด้านออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจะพบว่าแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแสเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะแรงดันด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังรูปที่ 4.43 ส่วนแรงดันด้านออกของวงจรทระดับแรงดันจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.44 เนื่องจากการควบคุมแรงดันให้คงที่โดยตัวควบคุมแบบ PI ที่มีการตรวจจับแรงดันด้านออกของวงจรทระดับแล้วส่งสัญญาณกลับมาให้ตัว PI Control สร้างสัญญาณความกว้างพัลส์เข้าไปขับสวิตช์ของวงจรทระดับแรงดัน เพื่อให้ได้แรงดันที่ออกจากวงจรทระดับที่ 100 โวลต์

### 4.3.2 ผลการทดสอบวงจรทระดับที่ได้ออกแบบสร้าง

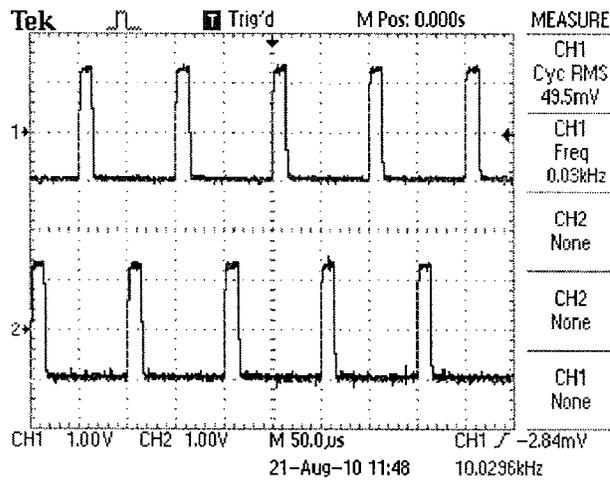
ผลการทดสอบวงจรทระดับแรงดันในสภาวะแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่แรงดันด้านออกจากรูปร่างกำเนิดไฟฟ้าคงที่ และดูสภาวะแรงดันของวงจรต่างๆ ในระบบ และทำการทดสอบในกรณีที่สภาวะแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อดูสภาวะแรงดันต่างๆ ของวงจรว่าได้ทำงานตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

#### 4.3.2.1 การทดสอบที่สภาวะแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรที่แรงดันด้านออกจากรูปร่างกำเนิดไฟฟ้าคงที่



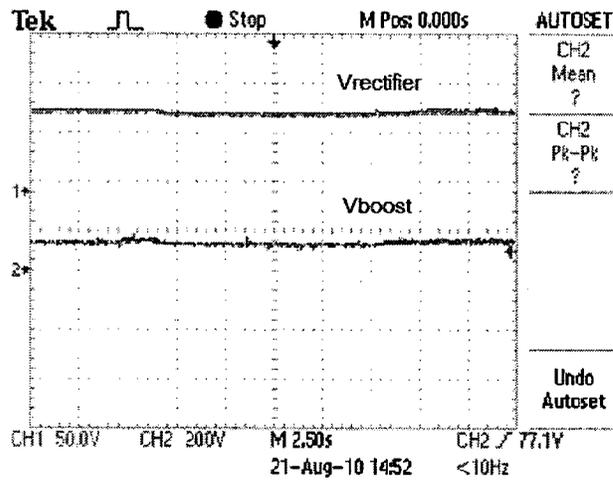
รูปที่ 4.45 สัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ Mosfet ของวงจรทระดับแรงดัน

จากรูปที่ 4.45 เป็นสัญญาณจากตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่จะไปขับสวิตช์ Mosfet ของวงจรทระดับแรงดัน



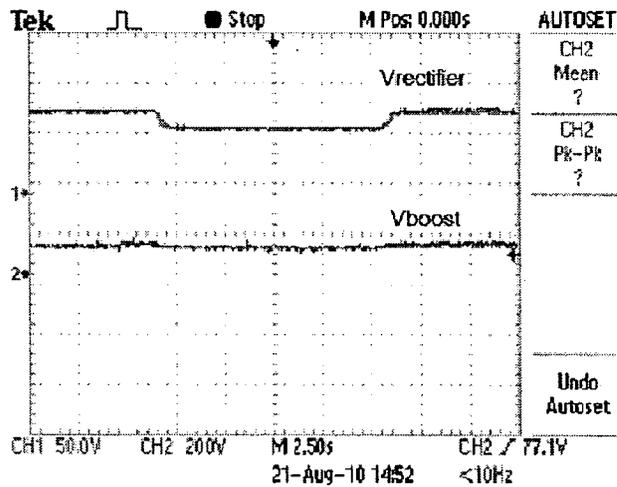
รูปที่ 4.46 สัญญาณที่ใช้ขับสวิตช์ Mosfet ของวงจรพุก-พูลคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 4.46 เป็นสัญญาณจาก IC TL494 ซึ่งเป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM เพื่อไปขับสวิตช์ของวงจรพุก-พูลคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสัญญาณที่ออกจากวงจร IC TL494 นั้นจะมีสัญญาณออกมา 2 สัญญาณแต่ละสัญญาณจะต้องทำงานต่างช่วงเวลากันซึ่งได้ทำการสร้างค่า Dead time เพื่อไม่ให้สองสัญญาณนั้นทำงานไม่พร้อมกันเพื่อไปขับสวิตช์ Mosfet



รูปที่ 4.47 แรงดันของวงจรเรียงกระแสและวงจรทระดับแรงดันเมื่อสภาวะแรงดันคงที่

จากรูปที่ 4.47 เป็นแรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแส และแรงดันด้านออกของวงจรทระดับแรงดันที่สภาวะแรงดันด้านออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำคงที่



รูปที่ 4.48 แรงดันของวงจรเรียงกระแสและวงจรทบระดับแรงดันเมื่อสภาวะแรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.48 เป็นแรงดันด้านออกจากวงจรเรียงกระแสสามเฟส จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันตามแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรซึ่งทำการทดสอบโดยเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนแรงดันด้านออกของวงจรทบระดับแรงดันนั้นยังรักษาระดับแรงดันไว้ช่วงที่ต้องการไว้ได้เพราะในส่วนของวงจรทบระดับนั้นมีการตรวจจับสัญญาณแรงดันด้านออกแล้วส่งผ่านให้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลทำการสร้างสัญญาณความกว้างพัลส์เพื่อไปควบคุมสวิทช์ Mosfet ของวงจรทบระดับแรงดัน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบที่สภาวะแรงดันต่างๆของวงจรทบระดับแรงดัน

Vin (V)	Vrectifier (V)	Vboost (V)	Iboost (A)	Vpush-pull (V)	Ipush-pull (A)
10.1	10.4	14.5	1.21	59.5	0.16
21.7	25.8	37.5	2.13	183.4	0.29
28.2	35.3	51.9	2.62	261.5	0.35
31.9	40.4	59.1	2.84	299.2	0.38
42.9	54.8	80.7	3.53	424.3	0.48
50.2	64.9	98.5	3.92	506.4	0.53
53.4	69.2	102.3	4.17	548.4	0.56
57.2	74.5	109.5	4.42	585.2	0.58
58.5	76.3	111.2	4.56	600.1	0.59
60.8	79.8	115.1	4.62	609.2	0.61
65.5	85.6	115.7	4.63	615.4	0.62
70.2	91.4	116.2	4.64	620.1	0.63

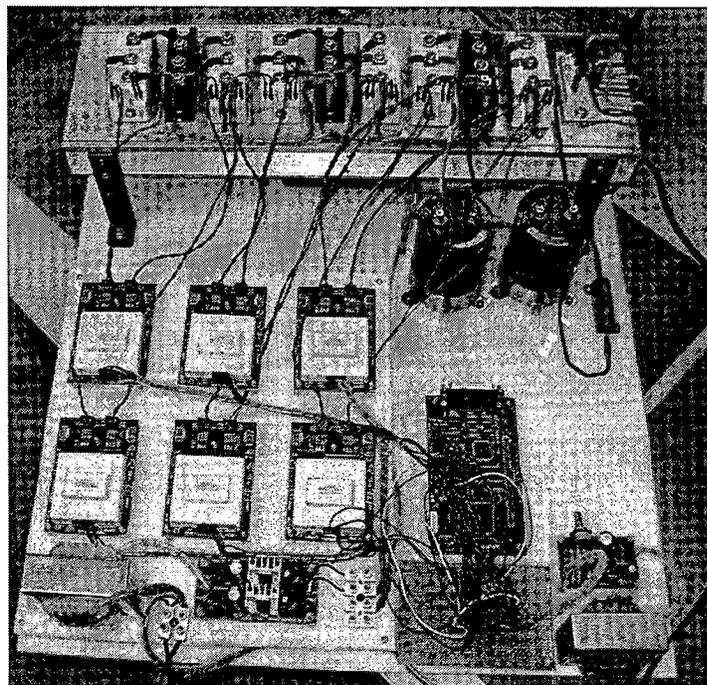


การทดสอบเมื่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงนั้นจะทำให้ค่าแรงดัน กระแส และความถี่ที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรนั้น เกิดการเปลี่ยนแปลง และแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นมีแรงดันต่ำ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นให้ได้

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าเมื่อสภาวะแรงดันด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคงที่แต่มีแรงดันด้านเข้าต่ำ ดังนั้นระบบจึงได้ทำการยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นด้วยวงจรทระดับแรงดัน และวงจรพุก-พูล คอนเวอร์เตอร์ และเมื่อทดสอบระบบที่สภาวะแรงดันด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงจะเห็นได้ว่าวงจรเรียงกระแสสามเฟสจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามแรงดันด้านออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่จะเห็นว่าแรงดันด้านออกของวงจรทระดับแรงดันนั้นยังคงรักษาแรงดันให้อยู่ในช่วงที่ออกแบบไว้ได้ดังรูปที่ 4.48 และทำการยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นอีกก่อนเข้าวงจรคอนเวอร์เตอร์ในชุดถัดไป

#### 4.4 การทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ

จากการออกแบบการสร้างอินเวอร์เตอร์สามระดับ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของวงจรภาคกำลังและภาคควบคุมดังรูปที่ 4.9



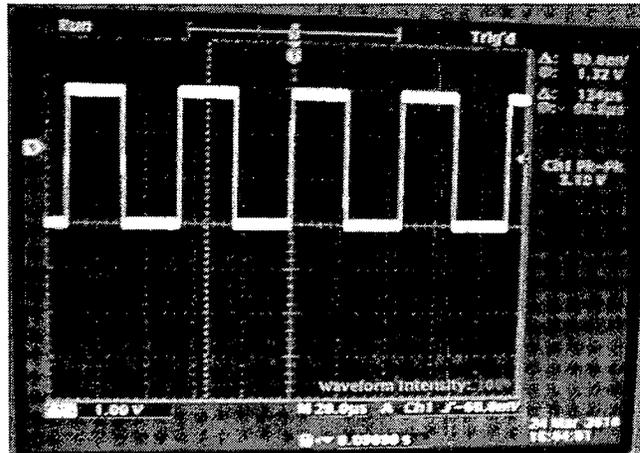
รูปที่ 4.49 ภาพรวมวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ



#### 4.4.1 ผลของสัญญาณภาคควบคุม

##### 4.4.1.1 สัญญาณจาก ezDSP TMS320F2812

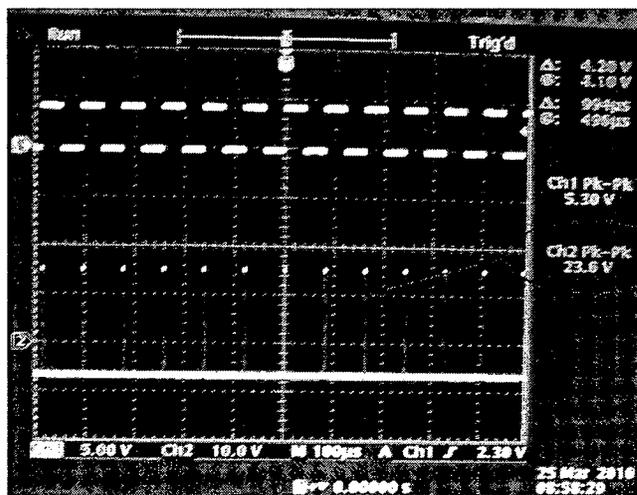
เมื่อทำการเขียนวงจรสร้างสัญญาณ PWM ในโปรแกรม MATLAB R2006b แล้วส่งสัญญาณเข้าไปในตัว ezDSPTMS320F2812 แล้วทำการวัดสัญญาณที่ออกจาก ezDSPTMS320 F2812 มีสัญญาณออกอยู่ระหว่าง 0-3.3 โวลต์ (Vpeak)



รูปที่ 4.50 รูปคลื่นแรงดันทางด้านขาออก ezDSP TMS320F2812

##### 4.4.3 ผลของสัญญาณที่ออกจากวงจรขับเคลื่อน

เมื่อทำการวัดสัญญาณ ที่ผ่านวงจรขับเคลื่อน (SKHI 22B) ดังแสดงในรูปที่ 4.51 จะเห็นว่าค่าสัญญาณที่ได้มีค่าเพียงพอที่จะนำไปขับขาคัดของ ไอจีบีทีให้ทำงานได้ โดยแรงดันขาเกตที่ ไอจีบีทีเบอร์ SKM75GB063D ต้องการให้ทำงานอยู่ที่บวกลบ 20 โวลต์ ซึ่งสัญญาณที่ได้จากชุดขับเคลื่อนมีค่าแรงดันอยู่ที่ 23 โวลต์ (Vpeak) ซึ่งสัญญาณที่ได้เพียงพอต่อการนำไปขับ ไอจีบีทีได้ แต่สัญญาณที่ได้ค่อนข้างมีช่วงเวลาเปิดการทำงานน้อยอันเนื่องมาจากการกำหนดค่าความต้านทาน ช่วงเปิดการทำงานทางด้านขาออกมากเกินไปแต่ก็ยังสามารถนำไปใช้งานได้ตามปกติดังรูปที่ 4.51



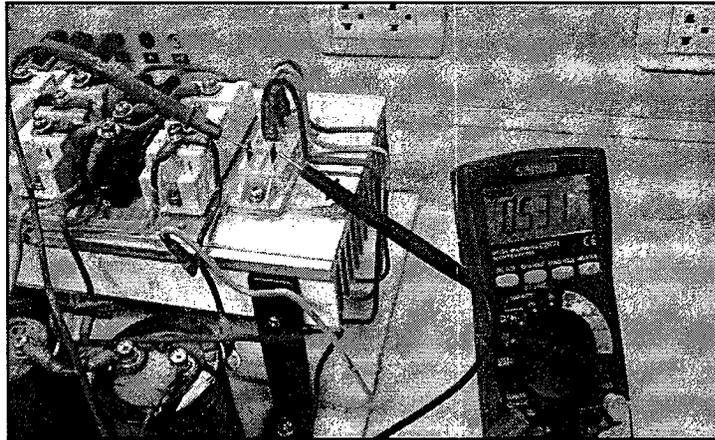
รูปที่ 4.51 รูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าทางด้านขาออกของวงจรขับเคลื่อน



#### 4.4.2 ผลสัญญาณภาคกำลัง

##### 4.4.2.1 ผลของแรงดันที่ผ่านวงจรเรียงกระแส

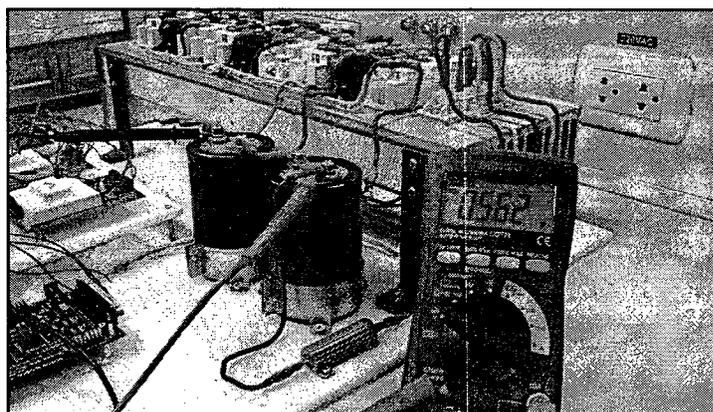
เมื่อทำการจ่ายแรงดันกระแสสลับ 380 โวลต์ ให้กับวงจรเรียงกระแส สามารถวัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตได้แรงดันกระแสตรง 531 โวลต์ ซึ่งยังไม่ผ่าน DC Link



รูปที่ 4.52 ค่าแรงดันที่ผ่านวงจรเรียงกระแส 3 เฟส

##### 4.4.2.2 ผลของแรงดันที่ตกคร่อมคาปาซิเตอร์ดีซีลิง

เมื่อทำการจ่ายแรงดันกระแสสลับ 380 โวลต์ ให้กับวงจรเรียงกระแสสามารถวัดแรงดันเอาต์พุตได้แรงดันกระแสตรง 531 โวลต์ โดยแรงดันที่ได้จากวงจรเรียงกระแสจะต้องนำมาผ่านคาปาซิเตอร์อีกครั้งเพื่อทำการกรองแรงดันให้เรียบยิ่งขึ้นก่อนนำไปเป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยในที่นี้ใช้คาปาซิเตอร์สองตัวนำมาอนุกรมกันเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสามระดับ โดยใช้คาปาซิเตอร์ขนาด  $2200 \mu\text{F}$  450 V 2 ตัว ตัวอนุกรมกัน วัดแรงดันตกคร่อมทางด้านคาปาซิเตอร์ได้แรงดัน 562 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.53 ค่าแรงดันเมื่อต่อคาปาซิเตอร์



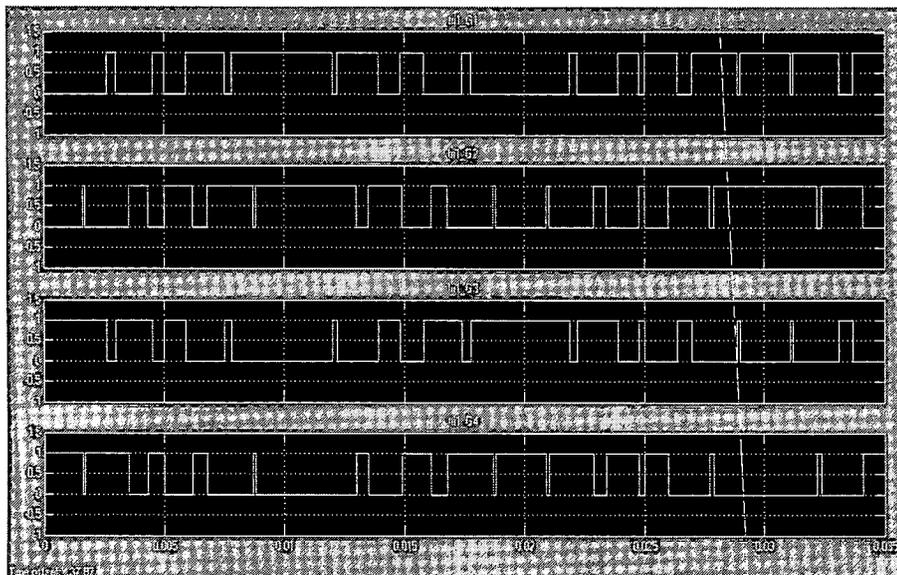
#### 4.4.3 ผลการจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ

การทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับ สามารถจำลองระบบการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อวิเคราะห์การทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับที่ความถี่และดัชนีการมอดูเลตที่ค่าต่างๆ และได้ทำการบันทึกภาพสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม แรงดันและกระแสเมื่อจำลองการทำงานเป็นแบบแอนเดอร์มอดูเลชั่น รวมทั้งวัดค่า RMS ของแรงดันระหว่างสาย โดยวงจรอินเวอร์เตอร์มีพารามิเตอร์ของระบบที่ทำการทดลองดังตารางที่ 4.4

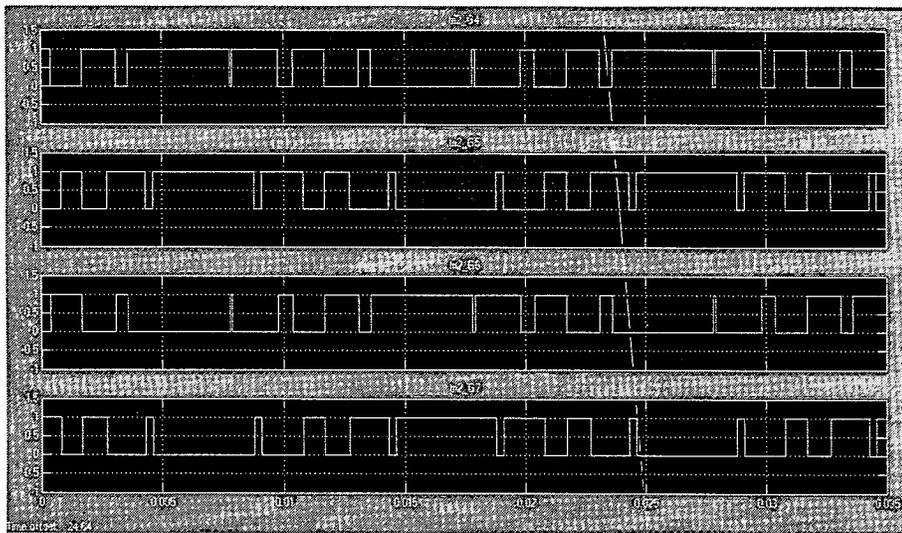
ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของระบบในการจำลองการทำงาน

พารามิเตอร์	รายละเอียด
ระบบไฟฟ้า	3 เฟส 3 สาย
แรงดันใช้งานระหว่างสาย	380 V
ความถี่	50 Hz
แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	600 V
กำลังไฟฟ้าที่ภาระสูงสุด	1 kW
ความถี่สวิตช์	20 kHz

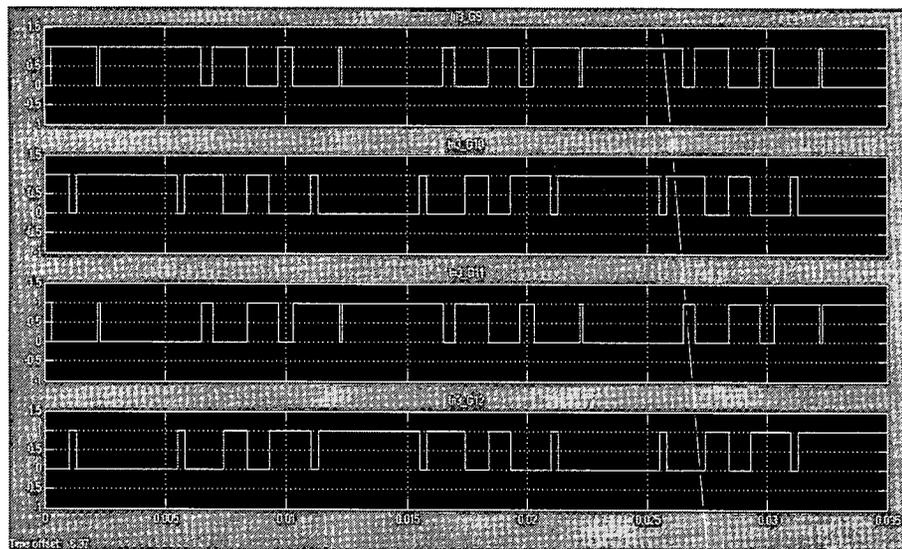
##### 4.4.3.1 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ได้จากโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 4.54 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มในเฟส A



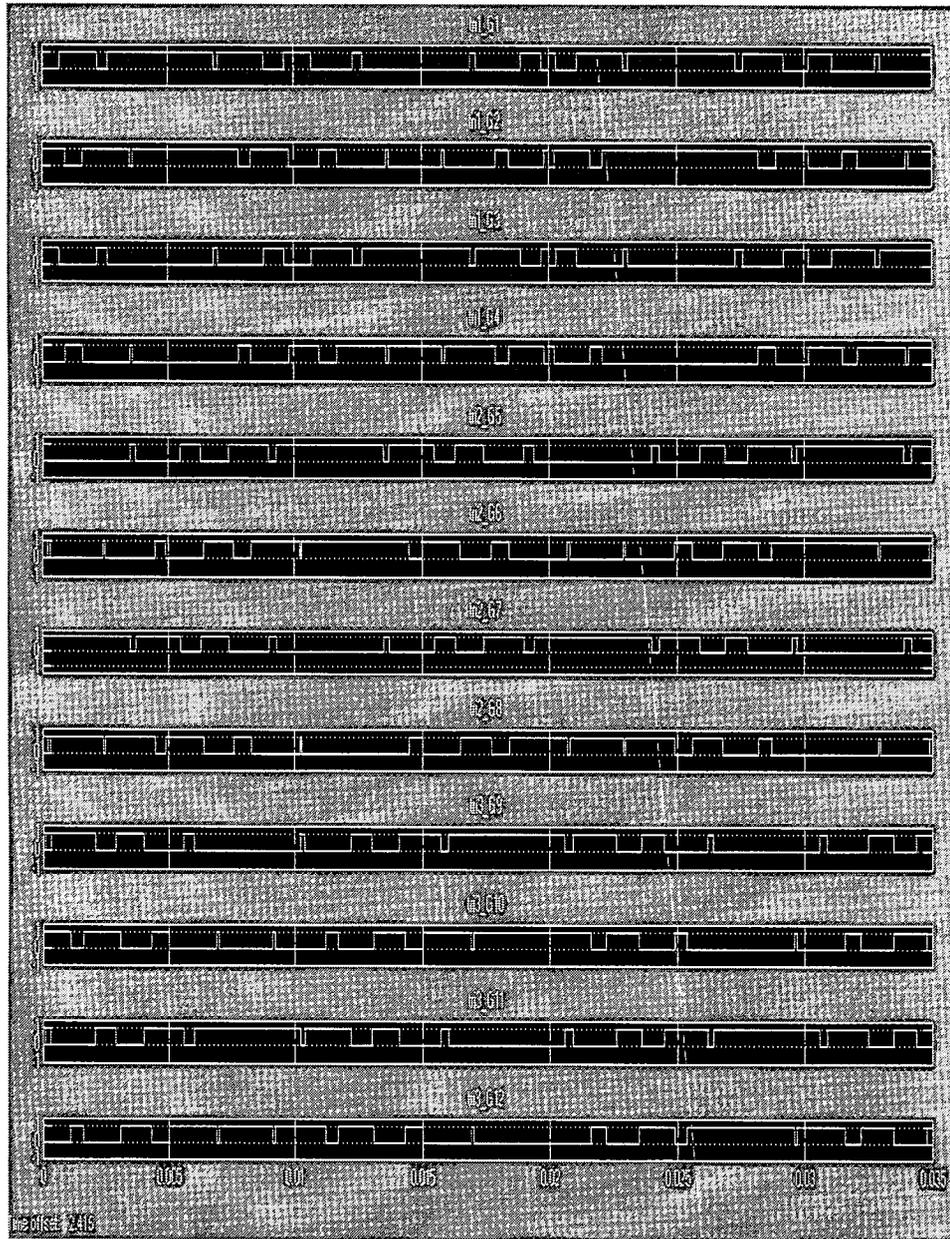
รูปที่ 4.55 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มในเฟส B



รูปที่ 4.56 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มในเฟส C

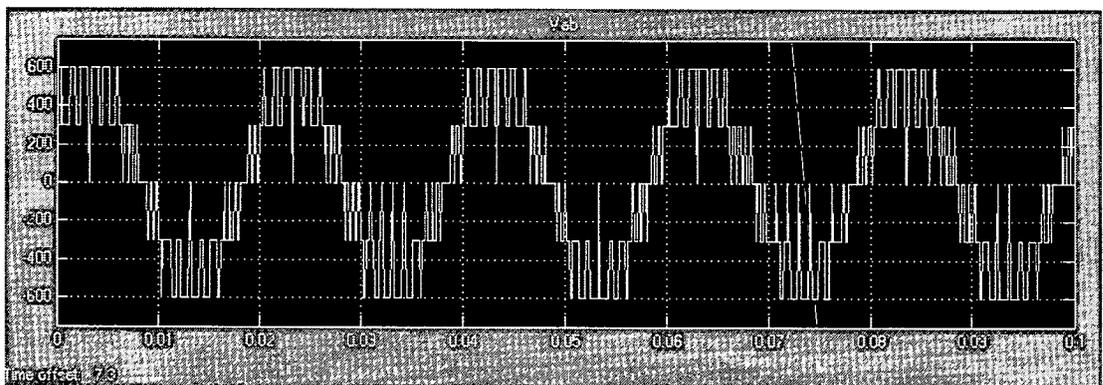
จะเห็นว่ารูปคลื่นสัญญาณที่ได้ออกมาแต่ละเฟสจะเป็นไปตามทฤษฎีแต่ยังไม่มีช่วงเวลาเดดไทม์ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะหากไม่มีค่าเดดไทม์ระหว่างช่วงเวลาของการเปิดปิดสวิตช์นั้นจะทำให้อุปกรณ์สวิตซ์หรือวงจรของอินเวอร์เตอร์เกิดการเสียหายได้เนื่องจากการลัดวงจร

สัญญาณที่ใช้ในการทริกขาเกตในวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับจะใช้ทั้งหมด 12 สัญญาณ ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์รูปคลื่นสี่เหลี่ยม มีขนาดแรงดัน 1 โวลต์ แสดงดังรูปที่ 4.57

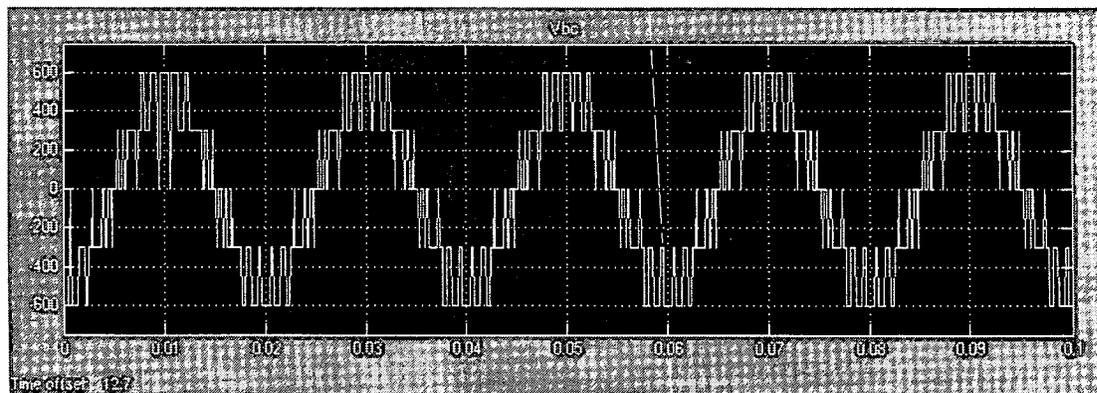


รูปที่ 4.57 สัญญาณพีดีบีเบิลยูเอ็มรวมเฟส A, B, C

#### 4.4.3.2 ผลของการจำลองการวัดแรงดันระหว่างเฟสของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ

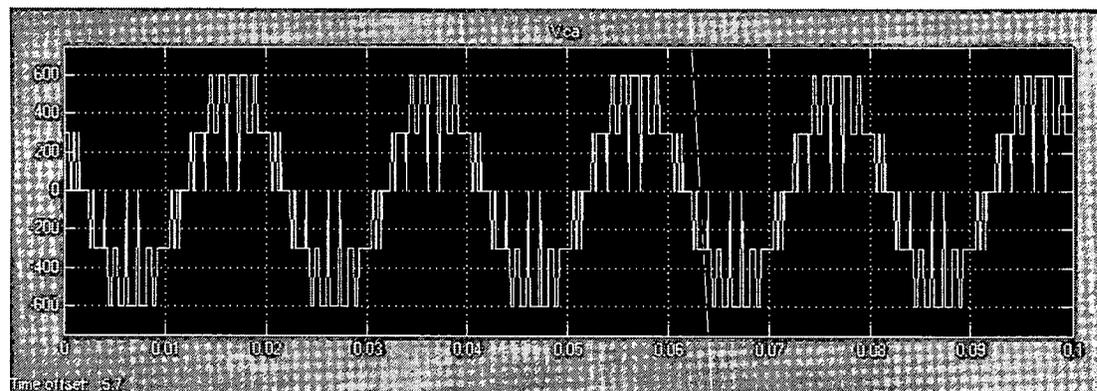


รูปที่ 4.58 รูปคลื่นแรงดัน  $V_{ab}$  ที่โหลดความต้านทาน 1 กิโลวัตต์ 200 โอห์ม แรงดัน 600V

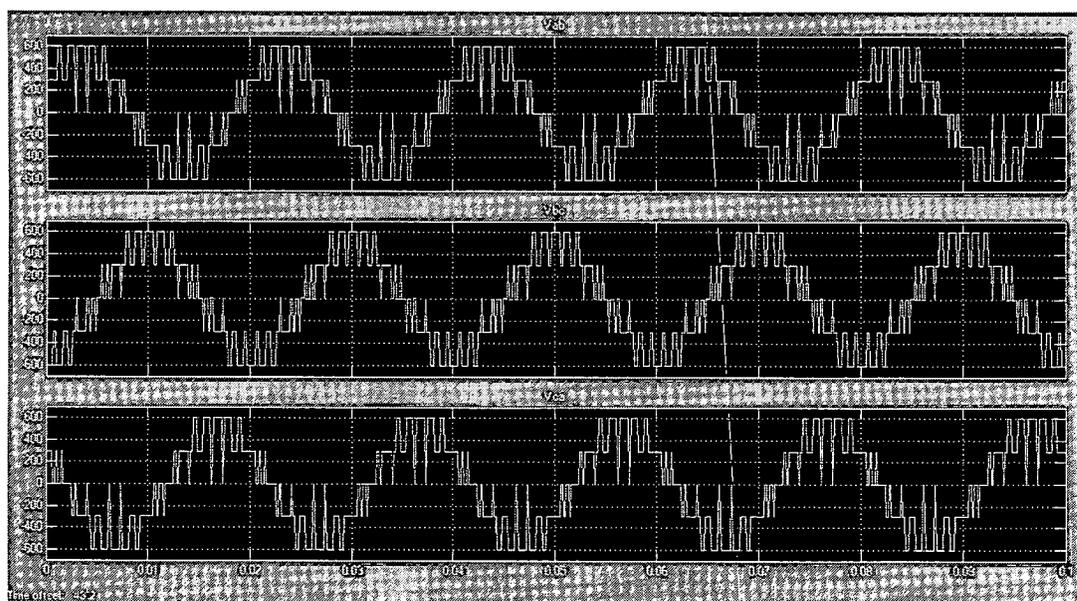


รูปที่ 4.59 รูปคลื่นแรงดัน  $V_{bc}$  ที่โหลดความต้านทาน 1 กิโลวัตต์ 200 โอห์มแรงดัน 600V

จากรูปจะสังเกตเห็นได้ชัดว่ารูปคลื่นที่ได้จะไม่ค่อนข้างเป็นรูปไซน์ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่ามีค่าฮาร์มอนิกส์ที่ไม่ต้องการอยู่ทางด้านเอาต์พุตมากเกินไป โดยวิธีการแก้ไขคือการเพิ่มขนาดของคาปาซิเตอร์ทางด้าน LC FILTER ให้เพิ่มมากขึ้นซึ่งจะทำให้ได้เอาต์พุตราบเรียบยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.60 รูปคลื่นแรงดัน  $V_{ca}$  ที่โหลดความต้านทาน 1 กิโลวัตต์ 200 โอห์มแรงดัน 600V

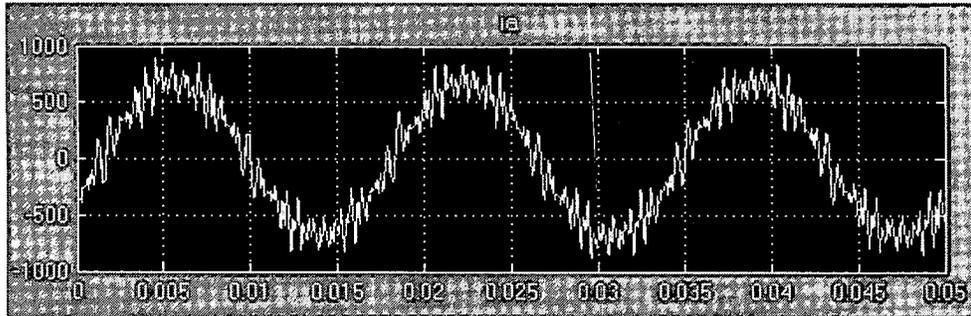


รูปที่ 4.61 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ารวม  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$ ,  $V_{ca}$  แรงดัน 600 V

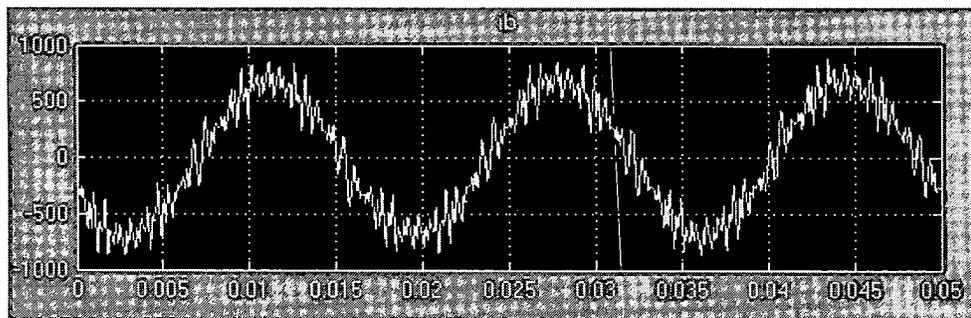


#### 4.4.3.3 ผลของการจำลองการวัดกระแสของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับ

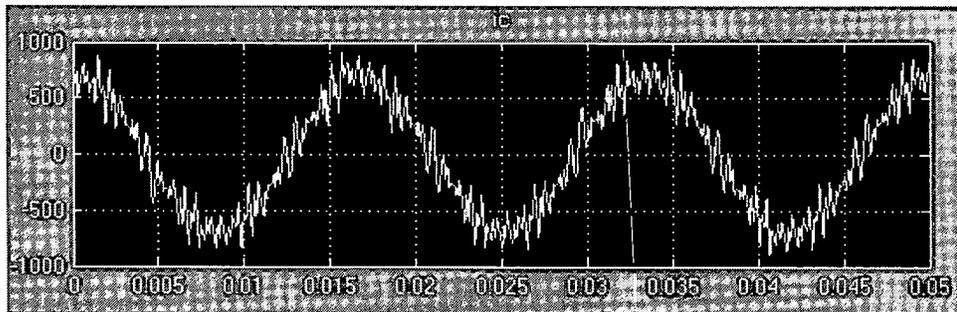
สำหรับในส่วนของการกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในระบบของวงจรอินเวอร์เตอร์สามระดับจะได้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 4.62, รูปที่ 4.63 และรูปที่ 4.64 ดังนี้คือ



รูปที่ 4.62 กระแสในสาย Ia ของวงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.63 กระแสในสาย Ib ของวงจรอินเวอร์เตอร์

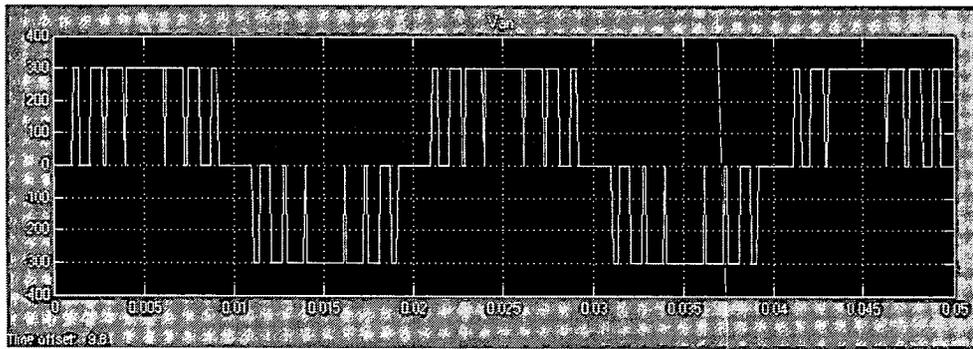


รูปที่ 4.64 กระแสในสาย Ic ของวงจรอินเวอร์เตอร์

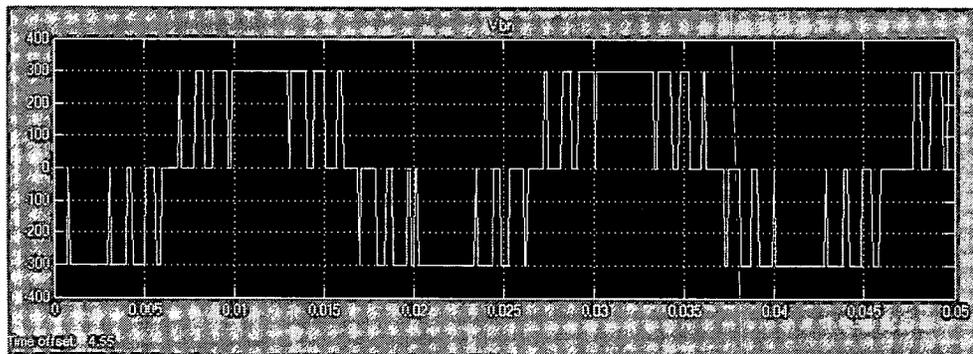
จากรูปเป็นค่ากระแสในแต่ละเฟสที่โหลดความต้านทาน 1 กิโลวัตต์ โดยกราฟที่ออกมายังไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ที่ชัดเจนอันเนื่องมาจากสัญญาณฮาร์มอนิกส์ ซึ่งถ้าหากใช้วงจร LC FILTER มาใช้กรองกระแสและแรงดันก็จะทำให้รูปคลื่นกระแสและแรงดันมีค่าราบเรียบยิ่งขึ้น



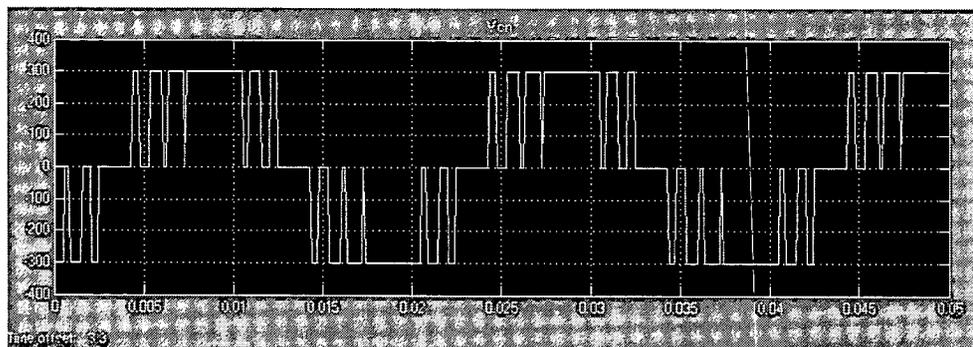
#### 4.4.3.4 ผลของการจำลองการวัดแรงดันเฟส



รูปที่ 4.65 แรงดันเฟส Van ของวงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.66 แรงดันเฟส Vbn ของวงจรอินเวอร์เตอร์



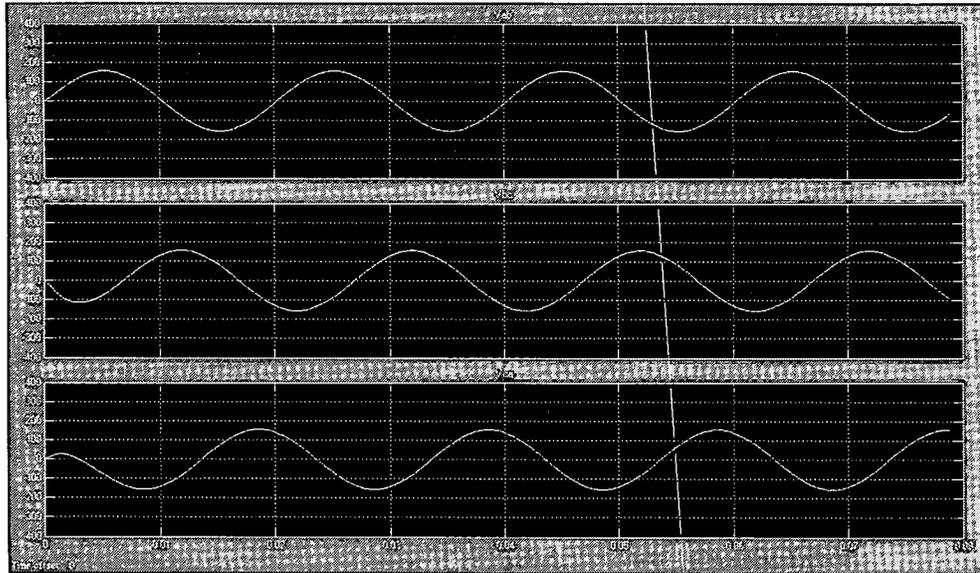
รูปที่ 4.67 แรงดันเฟส Vcn ของวงจรอินเวอร์เตอร์

ซึ่งจากผลการจำลอง การคำนวณหาค่าคาบเวลาการสวิตช์ของและเวกเตอร์รวมทั้งวิธีการสร้างสัญญาณการสวิตช์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ ผู้วิจัยได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อวิเคราะห์การทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับ อ้างอิงความถี่ 50 Hz แรงดันบัสไฟตรงได้จากการเรียงกระแสแรงดันไฟสลับ 3 เฟส ขนาด 380 V ค่าของตัวเก็บประจุ C1 และ C2 ที่ใช้และตัวมีขนาด 2200  $\mu\text{F}$  และเราจะทำการควบคุมแรงดันนิวทรัลให้เปลี่ยนแปลงด้วยในขอบเขตเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของครึ่งหนึ่งของแรงดันบัสไฟตรง (มีค่าประมาณ 27 V) สวิตช์ที่ใช้ในการจำลองเป็นแบบอุดมคติโดยมีความถี่สวิตช์เท่ากับ 20 kHz โดยจะมีโหลดของอินเวอร์เตอร์ต่ออยู่กับวงจรอินเวอร์เตอร์ทางด้านขาออก



#### 4.4.4 ผลการการต่อโหลดความต้านทานขนาด 1 กิโลวัตต์

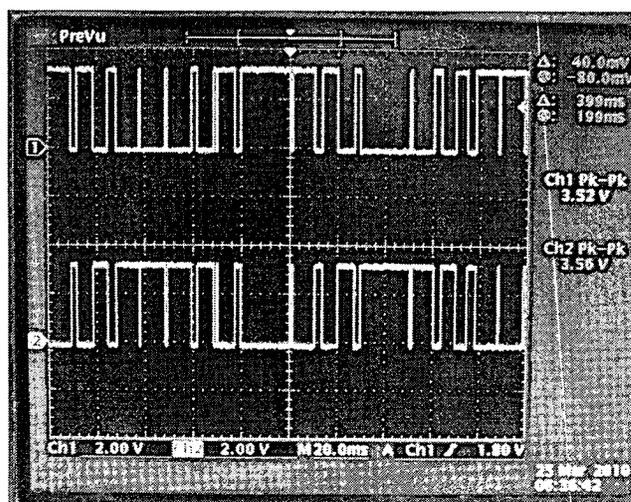
เมื่อทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับค่าแรงดันระหว่างเฟสด้านเอาต์พุตที่ได้ก็จะเป็นดังรูปข้างล่างนี้



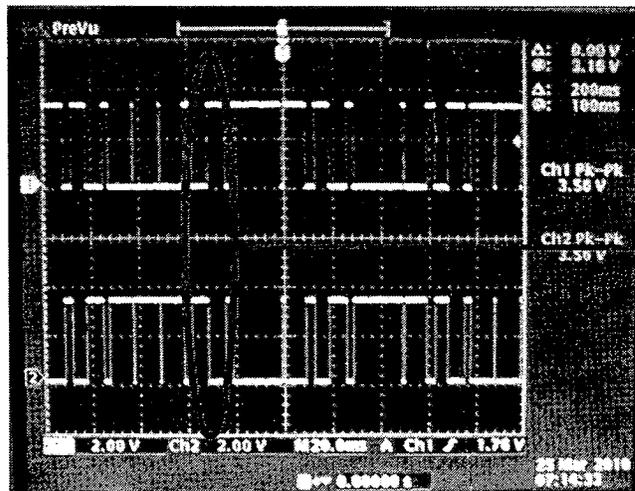
รูปที่ 4.68 วัดแรงดัน  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$ ,  $V_{ca}$  เมื่อต่อ โหลดขนาด 1 กิโลวัตต์

เมื่อทำการต่อโหลด 1 กิโลวัตต์แล้วทำการวัดแรงดันระหว่างเฟสรูปคลื่นที่ได้ก่อนข้างจะเหมือนรูปคลื่นไซน์ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมโหลดจะมีค่าเท่ากับ 180 โวลต์

#### 4.4.5 ผลของสัญญาณควบคุมที่ออกจาก DSP ที่นำไปเป็น INPUT ของตัวขับไอจีบีที

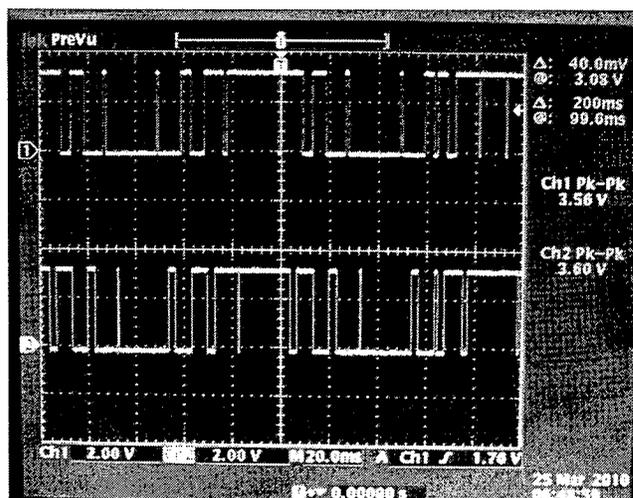


รูปที่ 4.69 สัญญาณขา G1 กับ G3 เฟส A

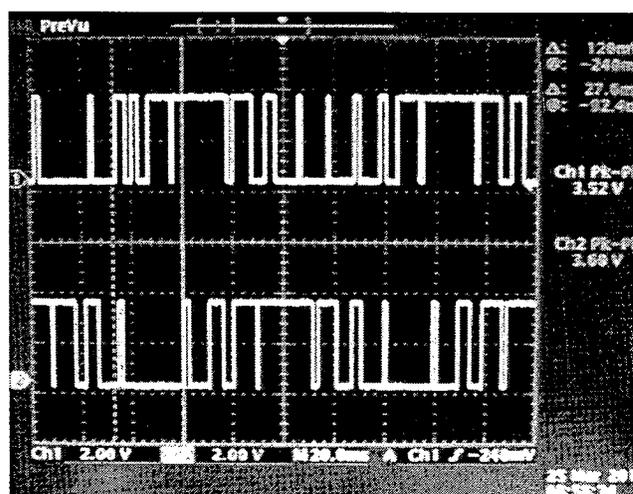


ช่วงเวลาแคดโทม์  
ของสวิตช์แต่ละตัว  
ซึ่งมีความสำคัญใน  
การทำงาน

รูปที่ 4.70 สัญญาณขา G2 กับ G4 เฟส A



รูปที่ 4.71 สัญญาณขา G1 กับ G2 เฟส B



รูปที่ 4.72 เปรียบเทียบสัญญาณ G1 เฟส A กับ สัญญาณ G1 เฟส B

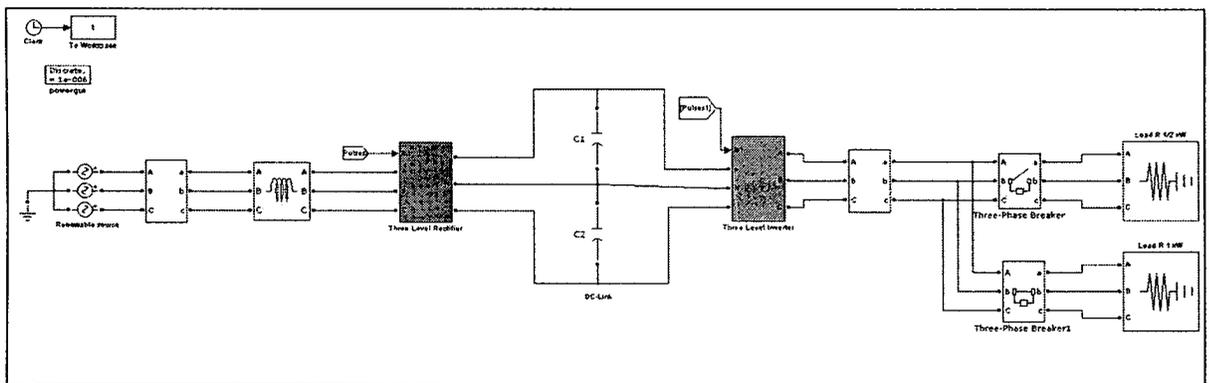
จากรูปเป็นสัญญาณที่ได้จากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งใช้เป็นสถานะการสวิตซ์ในการทำงานของอินเวอร์เตอร์สามระดับซึ่งมีค่าแคดโทม์กำหนดอยู่ด้วย



## 4.5 การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ

### 4.5.1 การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

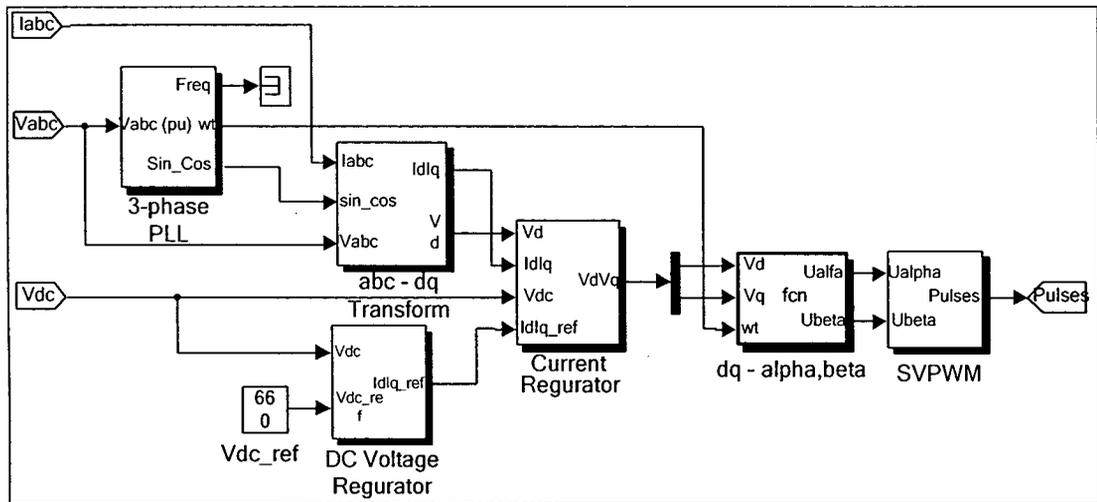
โครงสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับที่นำมาจำลองการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.73 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดพลังงาน วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสามระดับ(Rectifier) วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ(Inverter) ตัวเก็บประจุจำนวน 2 ตัว โหลด 0.5 กิโลวัตต์ 1 กิโลวัตต์ และมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังตารางที่ 4.73 นอกจากนี้จะประกอบด้วยบล็อกควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ในวงจรแปลงผันฯทั้งสองวงจรแสดงดังรูปที่ 4.74



รูปที่ 4.73 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

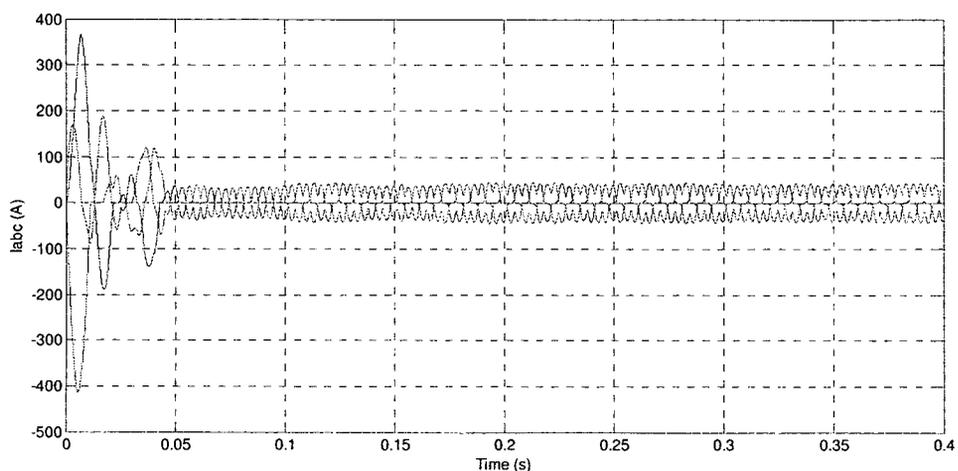
พารามิเตอร์	รายละเอียด
แหล่งกำเนิดพลังงาน	380 Volt
ความถี่	50 Hz
ตัวเก็บประจุ	4,700 $\mu F$
ความถี่สวิตซ์	20 kHz
โหลด 50%, 100%	1/2 kW, 1 kW



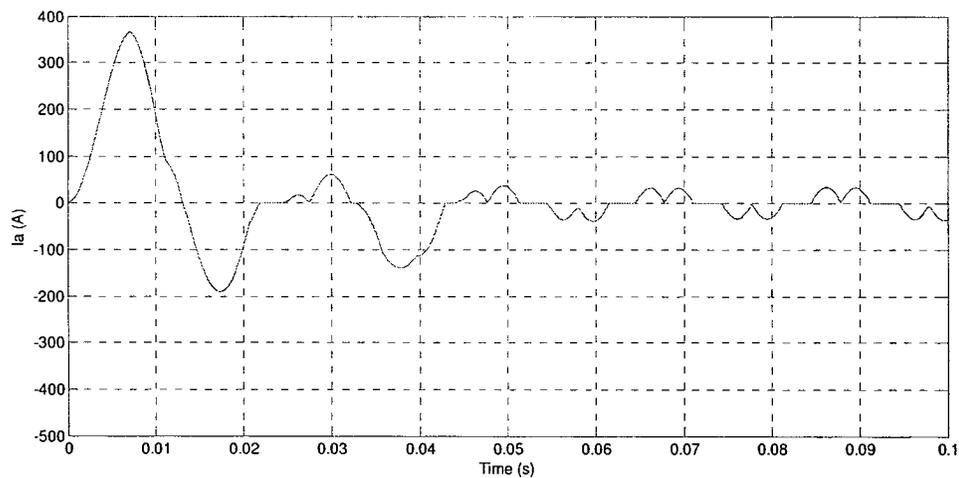
รูปที่ 4.74 บล็อกควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Rectifier) ในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

#### 4.5.2 ผลการจำลองการทำงานวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ

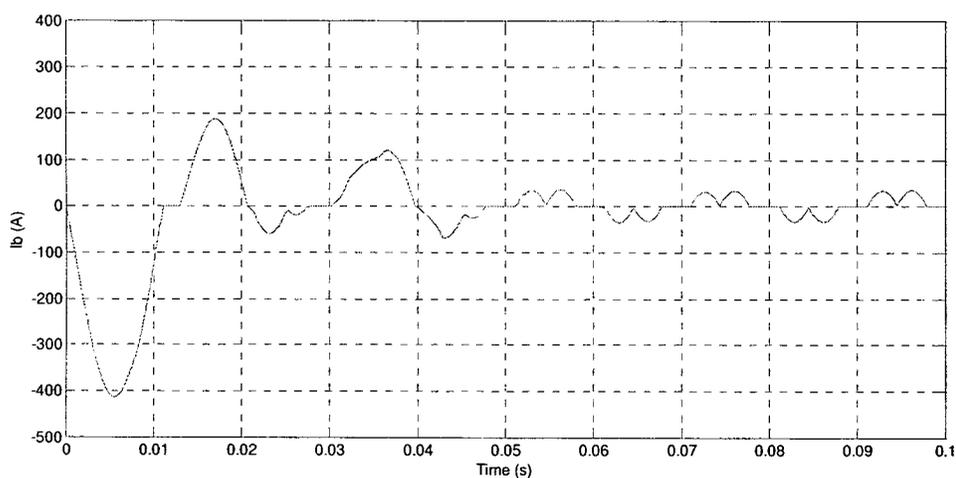
การจำลองการทำงานวงจรแปลงผันนั้นจะใช้เวลา 0.4 วินาที โดยรูปคลื่นกระแสด้านเข้าที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดพลังงานแสดงดังรูปที่ 4.75 และมีการแบ่งตามเฟส A, เฟส B และเฟส C แสดงดังรูปที่ 4.76, รูปที่ 4.77 และรูปที่ 4.78 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นกระแสมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างมากซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน นอกจากนี้รูปคลื่นแรงดันด้านเข้าจะแสดงดังรูปที่ 4.79 ซึ่งดังที่กล่าวข้างต้นคือกำหนดระดับรูปคลื่นแรงดันที่ 380 โวลต์ รูปคลื่นแรงดันที่บริเวณ DC-Link แสดงดังรูปที่ 4.80 – รูปที่ 4.82 ในส่วนของรูปคลื่นกระแสด้านออกแสดงดังรูปที่ 4.83 และรูปคลื่นแรงดันด้านออกแสดงดังรูปที่ 4.84



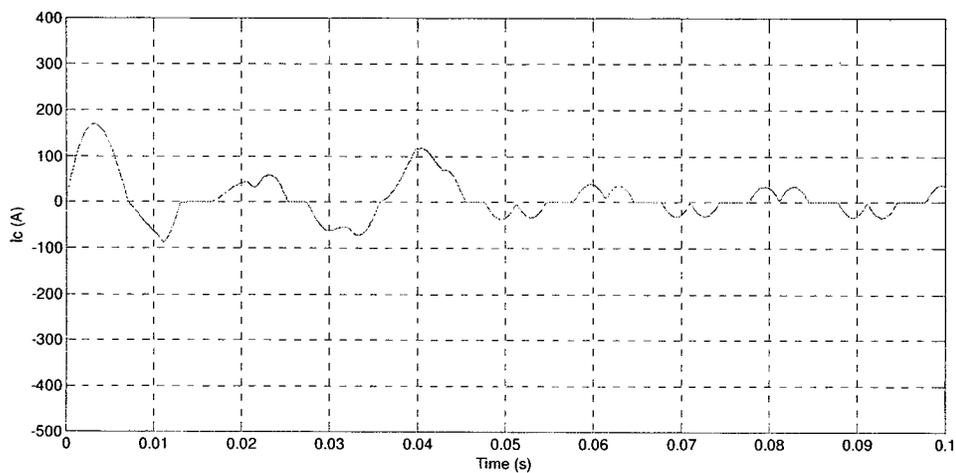
รูปที่ 4.75 กระแสด้านเข้าที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดพลังงาน



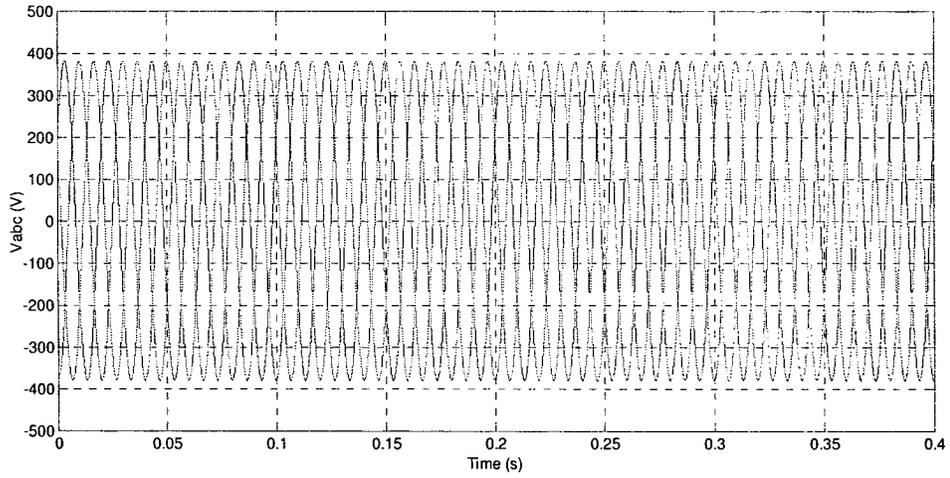
รูปที่ 4.76 กระแสด้านเข้าของเฟส A



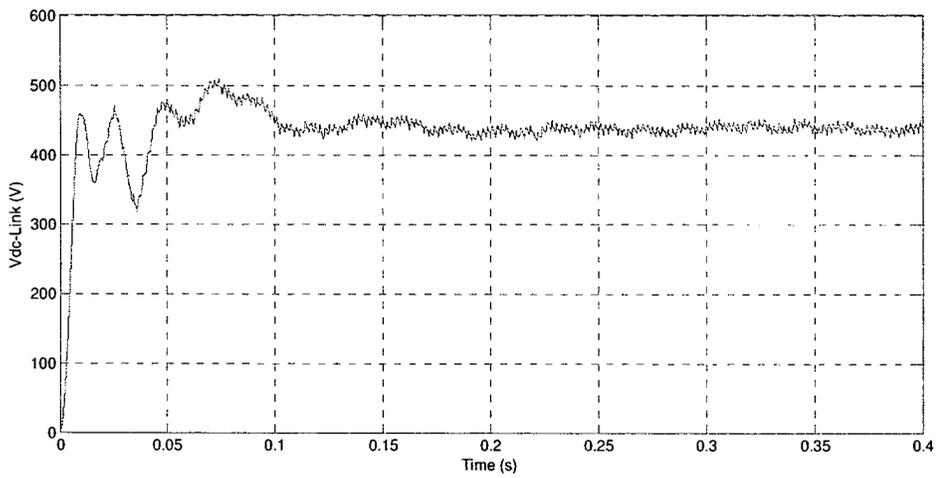
รูปที่ 4.77 กระแสด้านเข้าของเฟส B



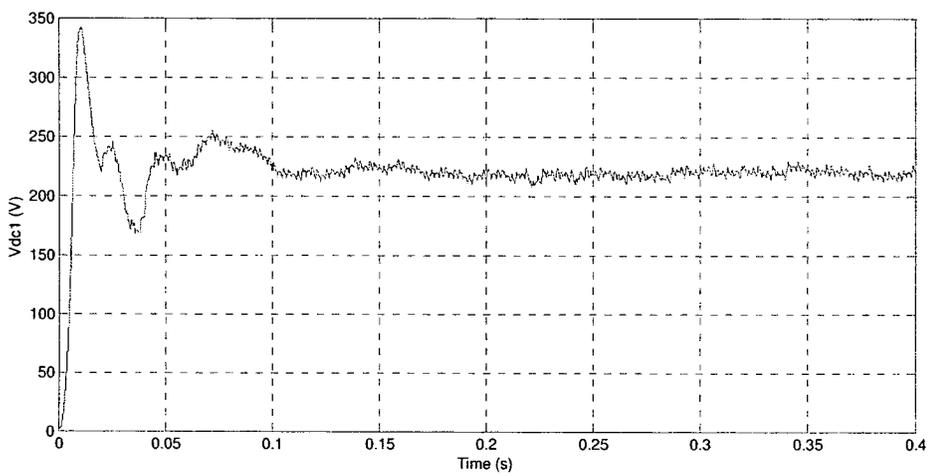
รูปที่ 4.78 กระแสด้านเข้าของเฟส C



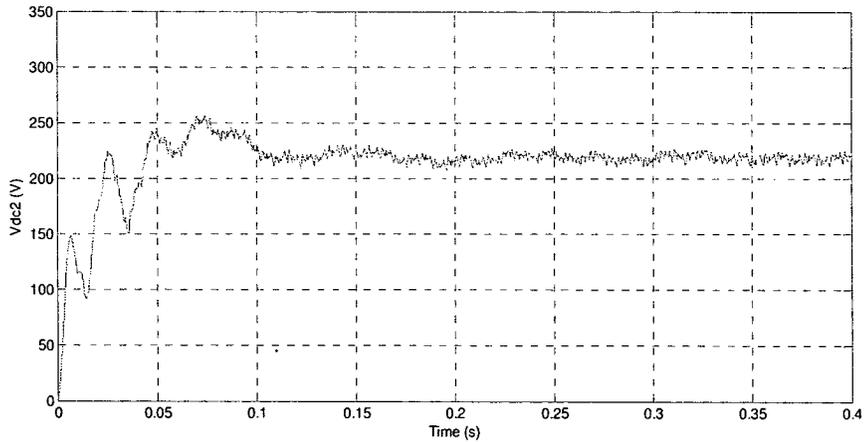
รูปที่ 4.79 แรงดันด้านเข้าที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดพลังงาน



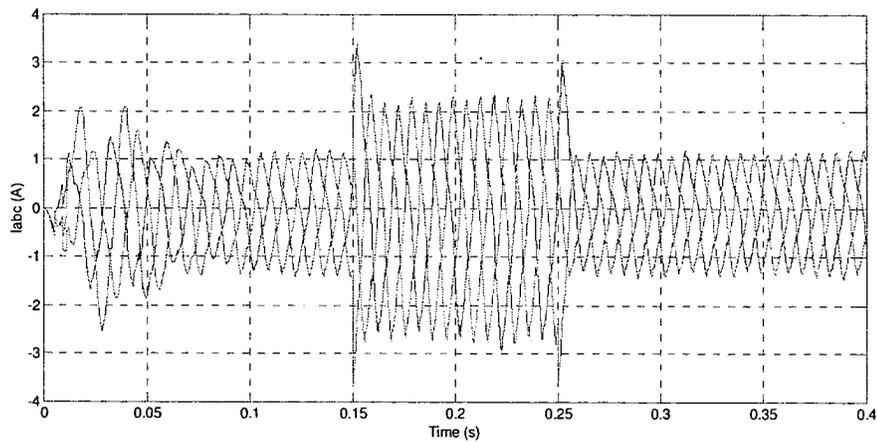
รูปที่ 4.80 แรงดันที่ DC-Link



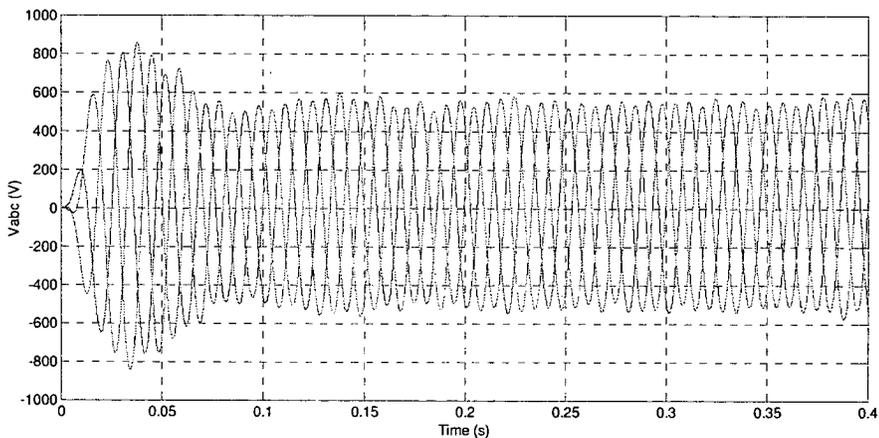
รูปที่ 4.81 แรงดันที่ตัวเก็บประจุตัวที่ 1



รูปที่ 4.82 แรงดันที่ตัวเก็บประจุตัวที่ 2



รูปที่ 4.83 กระแสด้านออกที่ผ่านวงจรแปลงผันฯ



รูปที่ 4.84 แรงดันด้านออกที่ผ่านวงจรแปลงผันฯ

จากผลการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับ จะเห็นว่าระบบของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบสามระดับทำงานได้ค่อนข้างดีถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงโหลด