

การพัฒนาระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศ



นายณัฐวัฒน์ ยะช่อม

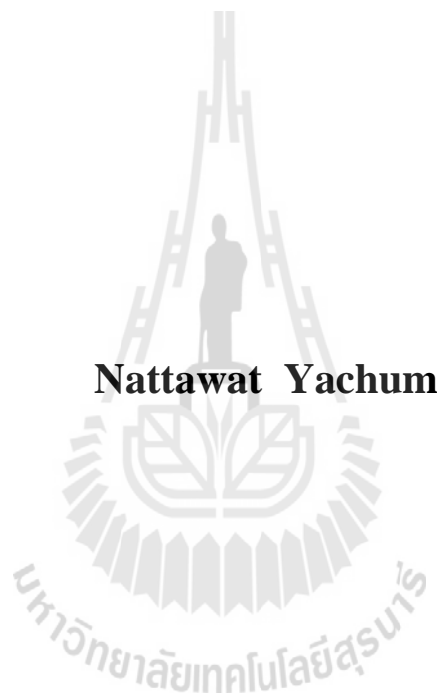
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2559

**DEVELOPMENT OF VACUUM PRESSURE CONTROL
SYSTEM IN VACUUM CHAMBER**



Nattawat Yachum

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronics Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

การพัฒนาระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร. กীরติ สุกัญญ์)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. จิระพล ศรีเสริฐผล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร. ไศรฎา แข็งการ)

กรรมการ

(ศ. ดร. ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณัฐวัฒน์ ยะชุ่ม : การพัฒนาระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศ
(DEVELOPMENT OF VACUUM PRESSURE CONTROL SYSTEM IN VACUUM
CHAMBER) อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล, 136 หน้า

การทำให้แสงซินโครตรอนมีคุณภาพสูงต้องอาศัยการทำความดันในท่อสุญญากาศในระดับสูงยิ่งยวดประมาณ 10^{-8} ถึง 10^{-11} ทอร์ ในท่อลำเลียงแสง การเคลื่อนที่ของแสงตามท่อลำเลียงมีโอกาสที่จะเกิดการชนกับผนังของท่อ ทำให้บริเวณนั้นเกิดความร้อนและเกิดการแตกตัวของแก๊สหรือไอ จากผนังของท่อ ส่งผลให้ความดันบริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้น คุณภาพของแสงที่ผ่านบริเวณนั้นก็ลดลง ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยสร้างความดันสุญญากาศในระดับสูงยิ่งยวดในท่อลำเลียงแสงดังกล่าว การสร้างความดันสุญญากาศระดับสูงยิ่งยวดของสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน(องค์การมหาชน) ใช้ปั๊มทำความดันสุญญากาศขั้นต้น (ปั๊มแบบแห้งและปั๊มดิ่งจุดโมเลกุลสูง) ที่สามารถทำความดันได้ตั้งแต่ความดันบรรยากาศ ถึง 10^{-6} ทอร์ จากนั้นจะเปลี่ยนไปใช้งานปั๊มทำความดันสุญญากาศขั้นสูง คือ ปั๊มแบบสปัตเตอร์ไอออน ที่สามารถทำความดันได้ถึง 10^{-12} ทอร์ ปัจจุบันการควบคุมการทำงานของปั๊มแบบสปัตเตอร์ไอออนต้องใช้คนในการควบคุม ทำให้เกิดความผิดพลาดจากการควบคุมการทำงานของปั๊ม งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศ โดยใช้วิธีการควบคุมแบบพีไอ ผลการดำเนินงานพบว่าระบบ สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมความดันสุญญากาศ ให้สามารถรักษาระดับความดันสุญญากาศในระดับสูงยิ่งยวดได้เหมือนกับชุดระบบควบคุมที่นำเข้าจากต่างประเทศ และสามารถรักษาระดับความดันให้ลดลงหรือเป็นปกติได้รวดเร็วเมื่อมีภาระโหลดสูงขึ้น โดยมีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำกว่าชุดที่นำเข้าจากต่างประเทศ ประมาณ 90 %

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2559

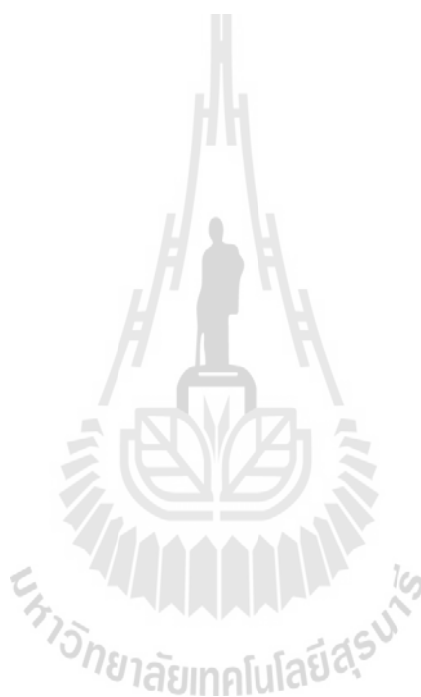
ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

NATTAWAT YACHUM : DEVELOPMENT OF VACUUM PRESSURE
CONTROL SYSTEM IN VACUUM CHAMBER. THESIS ADVISOR :
ASSOC. PROF. JIRAPHON SRISERTPOL, Ph.D., 136 PP.

CONTROL SYSTEM/VACUUM PRESSURE/VACUUM CHAMBER

High-quality utilizable synchrotron light, it needs ultra-high vacuum in the vacuum tubes at approximately 10^{-8} to 10^{-11} torr. Inside the light beam tubes, there is a tendency that the movement of a light beam might bump against the tube walls. This causes heat around the bumped areas and dissociation of gas or fume from the walls. Consequently, the pressure gets higher and the quality of the light decreases. Therefore, it can be solved by ultra-high vacuum in the light beam tubes can rapidly reduce such the higher pressure. To generate ultra-high vacuum, the Synchrotron Light Research Institute (Public Organization) uses the primary vacuum pressure pumps (Rough pump and Turbo molecular pump) which can produce pressures from about the atmospheric pressure up to 10^6 torr and then changes to the ultra-high vacuum pump, for instance, a sputter ion pump, which can release pressures up to 10^{-12} torr. The control of the sputter ion pump performance currently has human control. It may lead to an error due to the wrong pumping control. This research aims to develop Automatic Control System of Vacuum Pressure in Vacuum Chamber. Therefore, that it can work automatically and increase the efficiency of the ultra-high vacuum control by PI-controller. The developed sputter-ion pump vacuum pressure control system one can preserve the vacuum pressure

level in the ultra-high vacuum area as well as the control system set imported from foreign countries. It will be able to preserve the pressure level to decrease or return to normal rapidly, When the load increased. Moreover, Cost of construction is lower than set imported from foreign countries about 90%



School of Mechanical Engineering

Student's Signature_____

Academic Year 2016

Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณ บุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลือ ทั้งในด้านวิชาการ การดำเนินงานวิจัย รวมไปถึงหน่วยงานต่าง ๆ ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย ดังนี้

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา สำหรับนักศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษา สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย สถานที่ทำวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในงานวิจัย ตลอดจนให้การสนับสนุนข้าพเจ้าในการดำเนินชีวิตด้วยความเมตตาอย่างสูง ตลอดจนมาจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสิ้น

คณาจารย์สำนักวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำมาด้วยดี อาจารย์ ดร.โสภณา แจ่มการ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาการเขียนบทความทางวิชาการ และการทำวิทยานิพนธ์

คุณสุพรรณ บุญสุยา, คุณปรีชา กุลชนสมบูรณ์ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือบีบสูญญากาศ และคำแนะนำในการใช้ชุดควบคุมพาวเวอร์ซัพพลายบีบสูญญากาศ อีกทั้งยังเป็นผู้เริ่มสร้างต้นแบบบีบสูญญากาศ และต้นแบบชุดพาวเวอร์ซัพพลายบีบสูญญากาศ คุณสุวัฒน์ กลิ่นเขียว สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำเทคนิคในการทำงานวิจัย และการเขียนบทความทางวิชาการ และเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ตลอดทั้ง พี่ ๆ น้อง ๆ กลุ่มวิจัยของสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณศุภชัย ประวันตา คุณนิติศักดิ์ หนูมาน้อย คุณสุนทร โอบธูงาม คุณจรรยาศักดิ์ พวกขุนทด และ คุณชัชวาล เข้มเงิน ที่ได้คำปรึกษาในส่วนของความรู้ในงานวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมชาย ยะชุ่ม และคุณแม่สัทยาภรณ์ ยะชุ่ม รวมถึงครอบครัวที่ให้การอบรมเลี้ยงดู แล้วให้โอกาสในทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมาจนทำให้ผู้วิจัยประสบผลสำเร็จในชีวิตตลอดมา และตลอดไป

ณัฐวัฒน์ ยะชุ่ม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ท
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของเบื้องต้น.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ภาพรวมเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน.....	4
2.2 เทคโนโลยีสุญญากาศ.....	5
2.3 ปัมสุญญากาศแบบสปัตเตอร์ไอออน (Sputter-ion pumps).....	7
2.3.1 หลักการทำงาน.....	7
2.3.2 ระบบควบคุม.....	8
2.4 การแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง-ไฟฟ้ากระแสตรง ชนิดลดทอนแรงดัน.....	9
2.4.1 ความต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้า.....	11
2.4.2 การกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า.....	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5	การแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบฮาร์ฟ และฟลูบริดจ์.....	18
2.6	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโปรแกรม LabVIEW	22
2.6.1	Data flow and G Programming.....	22
2.6.2	ส่วนประกอบต่าง ๆ ในโปรแกรม LabVIEW	23
2.7	การควบคุมระบบ.....	25
2.7.1	ระบบวงเปิด	25
2.7.2	ระบบวงปิด	26
2.8	ระบบควบคุมแบบพีไอดี	26
2.8.1	การควบคุมแบบสัดส่วน	27
2.8.2	การควบคุมแบบปริพันธ์	27
2.8.3	การควบคุมแบบอนุพันธ์	28
2.9	ปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	28
3	การออกแบบวงจรควบคุมและโปรแกรมอินเทอร์เฟซ.....	30
3.1	การออกแบบวงจรควบคุม	30
3.2	วงจรรักษาควบคุม.....	31
3.2.1	การสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse Width Modulation).....	32
3.2.2	การออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดลดทอนแรงดัน	35
3.2.3	การออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบฟลูบริดจ์.....	40
3.2.4	การออกแบบวงจรอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าสูงจากชุดเพาเวอร์ซัพพลาย	41
3.2.5	การอ่านค่าความดันสุญญากาศ.....	41
3.3	ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	42
3.4	การออกแบบโปรแกรมอินเทอร์เฟซ	43
3.5	สรุป	48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4	การออกแบบตัวควบคุมและการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	49
4.1	การระบุเอกลักษณ์.....	49
4.2	การออกแบบตัวควบคุมพีไอ.....	53
4.3	การจำลองระบบ	56
4.4	สรุป	59
5	การวัดและผลการทดสอบ.....	61
5.1	เครื่องมือทดลอง	61
5.2	การสร้างความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ.....	65
5.3	การควบคุมและรับสัญญาณผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	70
5.4	การทดสอบระบบและเก็บข้อมูล	74
5.4.1	กรณีที่ 1 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบ เมื่อต้องการความดันอ้างอิงที่.....	76
5.4.2	กรณีที่ 2 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิง.....	80
5.4.3	กรณีที่ 3 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบ เมื่อต้องการ ความดันอ้างอิงที่ และมีการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ	84
5.4.4	กรณีที่ 4 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิงที่ และมีการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ.....	88
5.5	สรุป	92
6	สรุปและข้อเสนอแนะ	93
6.1	สรุป	93
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	95

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง	96
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. วิธีการสร้างสัญญาณพัลส์ ความถี่ 10 kHz	98
ภาคผนวก ข. การใช้งาน LABVIEW Interface for Arduino (LIFA).....	101
ภาคผนวก ค. ขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์จากโปรแกรม MATLAB/Simulink	110
ภาคผนวก ง. การใช้โปรแกรม Simulink Response Optimization	120
ภาคผนวก จ. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	125
ประวัติผู้เขียน	136

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	คุณสมบัติบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO-R3	33
4.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุเอกลักษณ์.....	52
4.2	การเกิดค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวของระบบแต่ละชนิด.....	55
4.3	ลักษณะผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต.....	55
5.1	ผลการเปรียบเทียบค่าสัญญาณทางไฟฟ้า ระหว่างสัญญาณพัลส์ และ แรงดันขาออก.....	71
5.2	ผลการเปรียบเทียบค่าสัญญาณทางไฟฟ้า ระหว่างสัญญาณพัลส์ และ สัญญาณอนาล็อก	73



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดแสงสยาม	5
2.2	กระบวนการทำงานของปั๊มแบบโรตารี.....	6
2.3	โครงสร้างของปั๊มแบบคิงคูคโมเลกุลสูง.....	7
2.4	โครงสร้างของปั๊มแบบสปีดเตอร์ไอออน.....	8
2.5	แผนภาพบล็อกไดอะแกรมชุดแหล่งจ่ายแบบสวิตซ์ซิ่ง.....	9
2.6	วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบück.....	10
2.7	วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบซิงโครนัสบück.....	11
2.8	วงจรบückในขณะนำกระแส.....	12
2.9	วงจรบückในขณะหยุดนำกระแส.....	13
2.10	รูปคลื่นการทำงานของวงจร Buck converter.....	15
2.11	สัญญาณกระแสและแรงดันสำหรับการวิเคราะห์หาค่าตัวเก็บประจุ.....	17
2.12	รูปคลื่นการทำงานและแรงดันตกคร่อมวงจร Full-bridge converter.....	19
2.13	รูปคลื่นการทำงานและแรงดันตกคร่อมวงจร Half-bridge converter.....	21
2.14	ตัวอย่างหน้าจอ Front panel.....	23
2.15	ตัวอย่าง Block Diagram.....	24
2.16	Icon และ Connector.....	25
2.17	แผนภาพระบบวงเปิด.....	26
2.18	แผนภาพระบบวงปิด.....	26
3.1	แผนผังบล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุม.....	31
3.2	แผนผังบล็อกไดอะแกรมวงจรควบคุมภาคแรงดันต่ำ.....	32
3.3	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO-R3.....	33
3.4	แรงดันขาออก ที่ความถี่ 10 kHz.....	34
3.5	วงจรควบคุมสัญญาณพัลส์.....	35
3.6	วงจรซิงโครนัสบückที่ควบคุมผ่าน IC เบอร์ IR2110.....	39
3.7	วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ 50 Hz และ 60 Hz.....	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8	วงจรถ่ายแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ที่ควบคุมผ่าน IC เบอร์ IR2110.....40
3.9	วงจรรอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าสูงจากชุดเพาเวอร์ซัพพลาย41
3.10	เซนเซอร์ และ อุปกรณ์อ่านค่าความดันสุญญากาศ42
3.11	ชุดคำสั่งสำหรับการอ่านค่าความดันจากอุปกรณ์.....42
3.12	หน้าต่างการใช้งานโปรแกรม LabVIEW44
3.13	ลำดับการทำงานของโปรแกรมควบคุม45
3.14	การเขียนโปรแกรมควบคุมแบบพีไอดี.....46
3.15	การเขียนโปรแกรมอ่านค่าความดันจากอุปกรณ์ภายนอก47
3.16	การเขียนโปรแกรมควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์.....47
4.1	แผนผังการระบุเอกลักษณ์ของระบบโดยการประมาณค่าตัวแปร50
4.2	แผนภาพแบบจำลองการใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink.....51
4.3	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กับการทดลองครั้งที่ 1.....52
4.4	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กับการทดลองครั้งที่ 2.....53
4.5	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กับการทดลองครั้งที่ 3.....53
4.6	แผนภาพแบบจำลองเพื่อหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมแบบพีไอ.....56
4.7	ผลการแสดงค่าความดันสุญญากาศ เมื่อกำหนดค่าอ้างอิงที่ 2.0×10^{-9} ทอร์57
4.8	ผลการแสดงค่าความดันสุญญากาศ เมื่อกำหนดค่าอ้างอิงที่ 2.5×10^{-9} ทอร์57
4.9	ผลการแสดงค่าความดันสุญญากาศ เมื่อกำหนดค่าอ้างอิงที่ 3.0×10^{-9} ทอร์58
4.10	ผลการแสดงค่าความดันสุญญากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความดัน59
5.1	ภาพรวมส่วนประกอบระบบควบคุมปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน62
5.2	ส่วนประกอบชุดวงจรถวลควบคุมปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน63
5.3	ส่วนประกอบอุปกรณ์สร้างความดันสุญญากาศ63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 บอร์ด Arduino UNO-R3 และ USB cable	64
5.5 ภาพที่ใช้ทำการทดสอบขนาดประมาณ 71 ลิตร	65
5.6 การติดตั้งปั๊มสุญญากาศทั้ง 3 ชนิด.....	66
5.7 การติดตั้งเกจวัดความดันและวาล์วระบบ	67
5.8 เครื่องมือตรวจวัดรอยรั่วภาวะทดสอบ.....	68
5.9 การพัน Heater Tape รอบ ๆ ภาวะทดสอบ	69
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์ (PWM) และแรงดันขาออก (V _{OUT}).....	71
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์ (PWM) และสัญญาณอนาล็อก (Analog).....	73
5.12 หน้าจอ Front panel ของโปรแกรม LabVIEW ในการเก็บผลการทดลอง	75
5.13 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.0×10^{-9} ทอร์.....	77
5.14 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.0×10^{-9} ทอร์.....	77
5.15 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.2×10^{-9} ทอร์.....	78
5.16 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.2×10^{-9} ทอร์.....	78
5.17 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์.....	79
5.18 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์.....	79
5.19 ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV.....	81
5.20 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV.....	81
5.21 ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV.....	82
5.22 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV	82
5.23 ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV.....	83
5.24 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV.....	83
5.25 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.1×10^{-9} ทอร์.....	85
5.26 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.1×10^{-9} ทอร์.....	85
5.27 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.2×10^{-9} ทอร์.....	86
5.28 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.2×10^{-9} ทอร์.....	86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.29	ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.3×10^{-9} ทอร์87
5.30	ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.3×10^{-9} ทอร์ .87
5.31	ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน.....89
5.32	ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน.....89
5.33	ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน.....90
5.34	ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน.....90
5.35	ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน.....91
5.36	ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน.....91



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

LINAC	=	Linear Accelerator
LBT	=	Low energy Beam Transport
SYN	=	Booster Synchrotron
HBT	=	High energy Beam Transport
STR	=	Storage ring
RP	=	Rotary pump
TMP	=	Turbo Molecular pump
SIP	=	Sputter-ion pump
UHV	=	Ultra-high Vacuum
PWM	=	Pulse Width Modulation
LabVIEW	=	Laboratory Virtual Instrument Workbench
Sub-VI	=	โปรแกรมย่อย
FRG	=	Full Range Gauge
CCG	=	Cold-Cathode discharge Gauge
K_p	=	Proportional Gain
K_i	=	Integral Gain
K_d	=	Derivative Gain
T_i	=	Integral Time
T_d	=	Derivative Time
Δi_L	=	Ripple Current
ΔV_O	=	Ripple Voltage

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) เป็นสถาบันฯที่มีห้องปฏิบัติการกลางของประเทศไทย ที่ให้บริการการใช้ประโยชน์จากแสงซินโครตรอน โดยมุ่งเน้นงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ และเครื่องเร่งอนุภาค งานวิจัยดังกล่าวต้องอาศัยแสงซินโครตรอนที่มีความเข้มสูงและมีกำลังงานต่อเนื่องที่ครอบคลุมช่วงพลังงานตั้งแต่อินฟราเรดถึงรังสีเอ็กซ์ การทำให้แสงซินโครตรอนมีคุณภาพสามารถนำไปใช้ในงานวิจัยได้นั้น ต้องอาศัยกระบวนการผลิตแสงซินโครตรอนจากเครื่องกำเนิดแสงสขามขนาดพลังงาน 1.2 GeV ที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่สามส่วนคือ ปืนอิเล็กตรอนสำหรับผลิตลำอนุภาคอิเล็กตรอน ระบบเครื่องเร่งอนุภาค สำหรับเร่งความเร็วของลำอิเล็กตรอน และวงกักเก็บอิเล็กตรอนสำหรับเก็บลำอนุภาคอิเล็กตรอนความเร็วสูงและบังคับให้เลี้ยวโค้งด้วยสนามแม่เหล็ก เพื่อปลดปล่อยแสงซินโครตรอนที่มีคุณภาพ

เทคโนโลยีสุญญากาศขั้นสูงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการผลิตแสงซินโครตรอนให้มีคุณภาพ ซึ่งระดับความดันที่เหมาะสมกับการลำเลียงแสงอิเล็กตรอน จะอยู่ที่ระดับประมาณ 10^{-8} ทอร์ ถึง 10^{-11} ทอร์ ในท่อลำเลียงแสง เพื่อป้องกันการรบกวน การหักเห และการชนกับมวลอากาศ ของลำแสงอิเล็กตรอน การเคลื่อนที่ของแสงตามท่อลำเลียงต่าง ๆ มีโอกาสที่จะเกิดการชนกับผนังของท่อ ทำให้บริเวณนั้นเกิดความร้อนและเกิดการแตกตัวของแก๊สหรือไอ (Outgassing) จากผนังของท่อต่าง ๆ มีผลให้ความดันบริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้น และคุณภาพของแสงที่ผ่านบริเวณนั้นก็ลดลง ความดันสุญญากาศในระดับสูงยิ่งยวดในท่อลำเลียงแสงจะทำให้ความดันที่เพิ่มขึ้นลดลงได้อย่างรวดเร็ว

การสร้างความดันสุญญากาศระดับสูงยิ่งยวด ต้องอาศัยเครื่องสูบลสุญญากาศที่มีการแบ่งประเภทของเครื่องสูบลสุญญากาศได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่มีเทคนิคการทำงานแบบสูบลหรือดึงโมเลกุลของแก๊สโดยใช้ใบพัดหมุนด้วยความเร็วเพื่อดูดอากาศจากบริเวณปิดออกสู่บรรยากาศภายนอกเช่น ปั๊มแบบโรตารี ที่มีประสิทธิภาพในการทำความดันตั้งแต่ ระดับบรรยากาศถึง 10^{-2} ทอร์ และปั๊มชนิดดึงดูดโมเลกุลสูง ที่มีประสิทธิภาพในการทำความดันตั้งแต่ ระดับ 10^{-2} ทอร์ ถึง 10^{-8} ทอร์ ส่วนอีกประเภทหนึ่งจะใช้เทคนิคในการจับโมเลกุลของแก๊สให้เกาะหรือติดอยู่ในบริเวณที่จำกัด เช่น ปั๊มแบบสปีดเตอร์ไอออน ที่มีประสิทธิภาพในการทำความดันตั้งแต่ ระดับ 10^{-7} ทอร์ ถึง 10^{-13} ทอร์

การทำความดันสุญญากาศที่ใช้ในสถาบันฯ จะเริ่มทำความดันสุญญากาศขั้นต้น โดยใช้ปั๊มแบบโรตารีให้ได้ความดันที่ประมาณ 10^{-1} ถึง 10^{-2} ทอร์ และใช้ปั๊มคิงคูดโมเลกุลสูงต่อเนื่องจากความดันที่ประมาณ 10^{-2} ทอร์ ถึง 10^{-6} ทอร์ จากนั้นจะมีการติดตั้งชุดให้ความร้อนกับภาชนะที่ต้องการเพื่อให้พื้นผิวต่าง ๆ ของภาชนะเกิดความร้อนสูง และเกิดการแตกตัวของแก๊สหรือไอตามบริเวณพื้นผิวภาชนะ เมื่อได้ระดับความดันที่ประมาณ 10^{-8} ทอร์ ถึง 10^{-9} ทอร์ ทำการปิดวาล์วของระบบการทำงานปั๊มที่ทำความดันสุญญากาศขั้นต้นและเปลี่ยน ไปใช้งานปั๊มทำความดันสุญญากาศขั้นสูงเพียงอย่างเดียว คือ ปั๊มแบบสปีดเตอร์ไอออน ที่ต้องควบคุมความดันสุญญากาศให้ได้ในระดับ 10^{-8} ทอร์ ถึง 10^{-11} ทอร์ ถึงจะได้ค่าความดันสุญญากาศที่เหมาะสม กับการลำเลียงแสงซินโครตรอน ปัจจุบันสถาบันฯ ได้พัฒนาขีดความสามารถในเทคโนโลยีสุญญากาศขั้นสูง โดยสุพรรณ บุญสุยา (2552) สามารถจัดสร้างต้นแบบปั๊มสุญญากาศแบบสปีดเตอร์ไอออนขึ้นในประเทศไทยได้ แต่ว่าระบบควบคุมการทำงานของปั๊มที่ผ่านมา สถาบันฯ นำเข้าอุปกรณ์มาจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก มีผลทำให้มูลค่าการนำเข้าเพิ่มมากขึ้น

จากปัญหาที่ได้กล่าวมา เพื่อลดการพึ่งพาสินค้านำเข้าจากต่างประเทศ ปรีชา กุศลธรรมสมบูรณ์ (2553) ได้มีการพัฒนา ต้นแบบการควบคุมการทำงานของปั๊มแบบสปีดเตอร์ไอออน ซึ่งระบบควบคุมการทำงานของปั๊ม ณ ปัจจุบัน ยังเป็นระบบที่ต้องใช้คนในการควบคุม และระบบยังไม่สามารถที่จะเก็บค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ เพื่อวิเคราะห์หาพฤติกรรมของความดันทางไดนามิกส์ของระบบ ในการแก้ปัญหาความดันที่ไม่คงที่และสิ่งรบกวนที่ทำให้ความดันสุญญากาศมีค่าผิดปกติ ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดจากการเลือกใช้งานปั๊มและระยะเวลาในการใช้งานปั๊มแต่ละตัว

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเสนอการพัฒนาระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศ ให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับระบบที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยส่วนแรกทำการควบคุมระบบสุญญากาศด้วยระบบควบคุมการทำงานของปั๊มแบบสปีดเตอร์ไอออนที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และอีกส่วนเป็นการควบคุมระบบสุญญากาศด้วยระบบควบคุมการทำงานของปั๊มที่พัฒนาขึ้น โดยระบบจะมีการเก็บค่าความดัน เพื่อวิเคราะห์หาพฤติกรรมของความดันทางไดนามิกส์ของระบบ ในการรักษาระดับความดันสุญญากาศให้ได้ระดับตามที่ต้องการ ถ้าสิ่งรบกวนต่าง ๆ ที่ทำให้ความดัน ณ ปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้น เช่น ความร้อนของอิเล็กทรอนิกส์เมื่อชนกับท่อสุญญากาศ หรือมีอากาศเข้ามาในระบบ เป็นต้น ระบบจะต้องรักษาระดับความดันให้กลับมาเป็นปกติ พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อออกแบบตัวควบคุมและพัฒนาโปรแกรมควบคุมปั๊มสุญญากาศแบบสปีดเตอร์ไอออนให้สามารถควบคุม โดยใช้โปรแกรม LABVIEW™ และ MATLAB®/SIMULINK® ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถเป็นต้นแบบในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมความดันสุญญากาศระดับสูงยิ่งยวด และลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาและพัฒนาระบบการควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะ
- 1.2.2 ทดแทนระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะ

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

เนื่องจากปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนที่ใช้งานในสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) เป็นอุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ และมีมูลค่าสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้ ปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน ที่มีใช้งานในสถาบันเท่านั้น ซึ่งมีขนาด 500 ลิตรต่อวินาที

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะที่ใช้วัสดุสแตนเลสตีล เกรด SUS304 ขนาด 71 ลิตร
- 1.4.2 ควบคุมปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนขนาด 500 ลิตรต่อวินาที
- 1.4.3 ควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ ในช่วง 1.0×10^{-8} ถึง 1.0×10^{-9} ทอร์
- 1.4.4 การควบคุมความดันสุญญากาศจะไม่พิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิ
- 1.4.5 ออกแบบตัวควบคุมสำหรับการควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ออกแบบและพัฒนาชุดควบคุมความดันสุญญากาศให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ
- 1.5.2 เป็นต้นแบบในการพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสุญญากาศ
- 1.5.3 ทดแทนการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาพรวมเครื่องกำเนิดแสงสยาม

เครื่องกำเนิดแสงสยาม (Siam Photon Source) ของสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) เป็นเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่มีขนาดพลังงาน 1.2 GeV ประกอบด้วยระบบเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน ที่ทำหน้าที่ผลิตและเร่งพลังงานอิเล็กตรอน และวงกักเก็บอิเล็กตรอนที่ทำหน้าที่กักเก็บอิเล็กตรอนพลังงานสูงและผลิตแสงซินโครตรอน โดยมีส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดแสงสยาม ดังต่อไปนี้

2.1.1 ระบบเครื่องเร่งอนุภาคทางตรง หรือ Linear accelerator (LINAC) เป็นระบบเครื่องเร่งอนุภาคทางตรงรวมถึงปืนอิเล็กตรอน ที่ผลิตแสงซินโครตรอน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า หลอดแคโทดที่เป็นโลหะผสม เมื่อถูกเผาให้ร้อนจะทำให้อิเล็กตรอนบริเวณผิวโลหะหลุดออก และเมื่อจ่ายศักย์ไฟฟ้า 120 kV ให้แคโทดเป็นขั้วลบ และแอโนดเป็นขั้วบวก อิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจากแคโทดจะวิ่งเข้าหาขั้วแอโนดและทะลุผ่านออกไปสู่เครื่องเร่งอนุภาค จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกเร่งพลังงานภายในท่อเร่งพลังงาน (Accelerating tube) ของเครื่องเร่งอนุภาคทางตรง จนมีพลังงาน 40 MeV โดยการเร่งพลังงานอิเล็กตรอน และใช้สนามไฟฟ้าจากคลื่นไมโครเวฟกำลังสูงที่ 8 ล้านวัตต์ ที่ความถี่ 2,856 MHz ซึ่งถูกผลิตจากอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไครสตรอน (Klystron) และส่งเข้าสู่ท่อเร่งพลังงานของเครื่องเร่งอนุภาคทางตรงผ่านทางท่อนำคลื่น (Wave Guide)

2.1.2 ระบบนำส่งอนุภาคพลังงานต่ำ หรือ Low energy Beam Transport (LBT) เป็นระบบนำส่งอนุภาคพลังงานต่ำเพื่อเข้าสู่เครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม ซึ่งมีระยะทาง 10.85 เมตร

2.1.3 ระบบเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม หรือ Booster synchrotron (SYN) เมื่อระบบนำส่งจากอนุภาคพลังงานต่ำที่มีลำอิเล็กตรอนพลังงาน 40 MeV เข้าสู่เครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม จะถูกเร่งพลังงานอิเล็กตรอนจาก 40 MeV เป็น 1 GeV โดยใช้สนามไฟฟ้าของคลื่นวิทยุกำลังสูงที่ความถี่ 118 MHz ภายในอุปกรณ์ที่เรียกว่า RF Cavity โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่อยู่ในอนุภาคแบบวงกลม ระยะเส้นรอบวง 43 เมตร ประมาณ 4 ล้านรอบ โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 0.6 วินาที และถูกเร่งพลังงานขึ้นทีละน้อยเมื่อเคลื่อนผ่าน RF cavity ในแต่ละรอบ

2.1.4 ระบบนำส่งอนุภาคพลังงานสูงหรือ High energy Beam Transport (HBT) เป็นระบบนำส่งอนุภาคพลังงานสูงเพื่อเข้าสู่วงกักเก็บอิเล็กตรอนซึ่งมีระยะทาง 45.94 เมตร

2.1.5 วงกักเก็บอิเล็กตรอน หรือ Storage ring (STR) เมื่อระบบนำส่งจากอนุภาคพลังงานสูงที่มีค่าอิเล็กตรอนพลังงาน 1.0 GeV เมื่อเข้าสู่วงกักเก็บอิเล็กตรอน จะถูกเร่งพลังงานอีกครั้งจนมีค่าเป็น 1.2 GeV และจะถูกกักเก็บไว้ภายในท่อสุญญากาศของวงกักเก็บอิเล็กตรอนที่มีขนาดเส้นรอบวง 81.3 เมตร เมื่ออิเล็กตรอนพลังงานสูงเคลื่อนไ้ในสนามแม่เหล็กบังคับเลี้ยว (Bending magnet) ของวงกักเก็บอิเล็กตรอน ก็จะมีการปลดปล่อยแสงซินโครตรอนออกมา



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดแสงสยาม
(ที่มา Website: <http://www.slri.or.th/th/>)

2.2 เทคโนโลยีสุญญากาศ

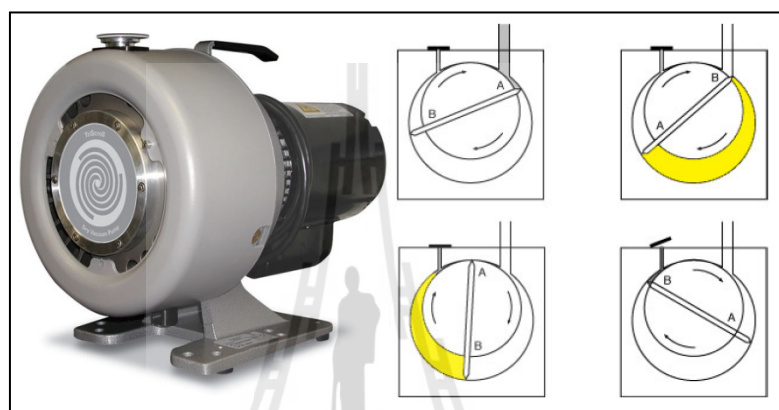
ระบบสุญญากาศ เป็นระบบที่สำคัญในงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เครื่องเร่งอนุภาค รวมถึงเป็นระบบที่สำคัญในการผลิตภาคอุตสาหกรรม ซึ่งการทำความดันสุญญากาศต้องอาศัยปั๊มในการทำความดัน ที่สามารถแบ่งความสามารถในการดึงสุญญากาศออกเป็นสองประเภทคือ

2.2.1 การดึงสุญญากาศออกจากภาชนะบรรจุในเชิงกายภาพ เช่น

1) ปั๊มชนิดโรตารี (Rotary pump)

ปั๊มสุญญากาศชนิดโรตารี หลักการทำงานของปั๊มจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นใบกวาด ที่เรียกว่า เวน (Vane) ที่มีหน้าที่กวาดอากาศจากด้านทางเข้า (Inlet) ไปยังด้านทางออก

(Outlet) ทำให้ทางด้านขาเข้านั้น เกิดสถานะสุญญากาศ โดยปกติแล้วในส่วนทางด้านทางออกจะมี วาล์วแบบสปริงย้อนเพื่อทำหน้าที่กีดปิดกลับกันอากาศไหลย้อน ทำให้มีการถ่ายเทอากาศจาก ภายในออกมาได้อย่างต่อเนื่อง โดยภายในปั๊มจะมีน้ำมันเฉพาะทำหน้าที่หล่อลื่น ระบายความร้อน และกั้นการรั่วของอากาศ สำหรับไบกวาด การทำความสะอาดของปั๊มชนิดนี้ จะอยู่ที่ประมาณ 10^{-1} ทอร์ ถึง 10^{-2} ทอร์ การใช้งาน โดยส่วนใหญ่ของปั๊มชนิดนี้จะใช้สำหรับการรักษาระดับความดันขั้นต้น ที่ไม่ต้องการความดันที่ต่ำมากนัก



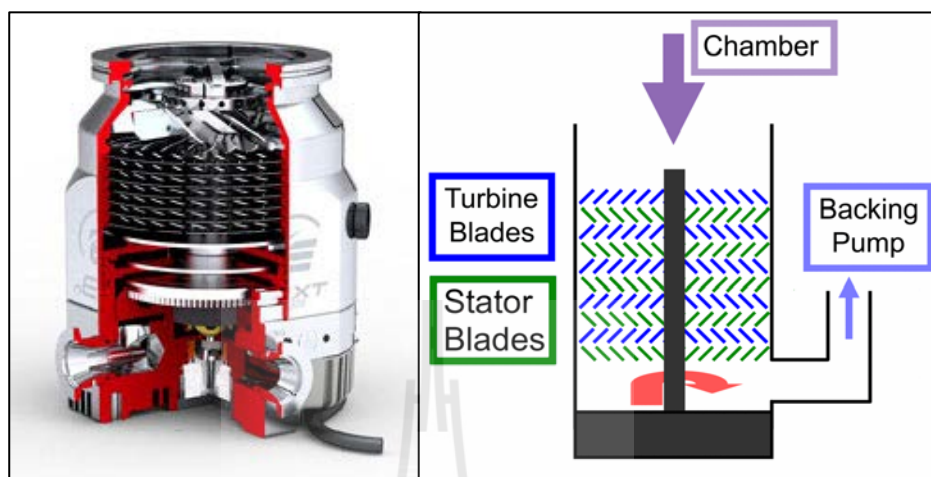
รูปที่ 2.2 กระบวนการทำงานของปั๊มแบบโรตารี

(ที่มา Website: http://philiphofmann.net/ultrahighvacuum/ind_rotaryvane.html)

2) ปั๊มดิ่งคูค โมเลกุลความเร็วสูง (Turbo molecular pump)

ปั๊มสุญญากาศแบบดิ่งคูค โมเลกุลความเร็วสูง เป็นปั๊มที่เหมาะสมกับการใช้งานสุญญากาศตั้งแต่ระดับ High Vacuum จนถึง Ultra-High Vacuum ที่ทำความสะอาดต่อเนื่องจากปั๊มชนิดโรตารี ที่ระดับความดันตั้งแต่ 10^{-2} ทอร์ ถึง 10^{-8} ทอร์ ซึ่งปกติความเร็วในการดูดของปั๊มจะอยู่ที่ 50 ถึง 2,000 ลิตรต่อวินาที ในการติดตั้งปั๊มจะต้องทำการต่ออนุกรมกันกับปั๊มด้านท้าย หรือ ปั๊มชนิดโรตารี โดยปั๊มชนิดนี้จะมีข้อดีที่ระบบมีความ สะอาดเพราะไม่มีการใช้น้ำมัน แต่ยังมีข้อเสียคือ มีชิ้นส่วนในการเคลื่อนไหวน ซึ่งทำให้มีปัญหาในเรื่องของการสันสะเทือน สำหรับกระบวนการทำงานของปั๊มแบบดิ่งคูค โมเลกุลความเร็วสูงจะมีลักษณะที่คล้ายกันกับปั๊มแบบ โรตารี โดยส่วนประกอบของปั๊ม จะมีส่วนของใบมีดที่สำคัญอยู่สองส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นใบมีดแบบ โรเตอร์(Rotor) ที่มีหน้าที่กวาดหรือดิ่งคูค โมเลกุลและส่วนที่สองจะเป็นใบมีดแบบ สเตเตอร์ (Stator) ที่มีหน้าที่เป็นทางผ่านหรือช่องให้โมเลกุลเคลื่อนที่ตามที่ต้องการ ส่วนใบมีดทั้งสองชนิด

จะมีการติดตั้งภายในของปั๊มในลักษณะที่สลับกันของใบมีดหลาย ๆ ชั้น เมื่อโมเลกุลที่โดนกวาดโดยใบมีดทั้งสองชนิดจะถูกดูดออกจากระบบผ่านทางปั๊มด้านท้าย เพื่อออกสู่บรรยากาศนั่นเอง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของปั๊มแบบคิงคูด โมเลกุลสูง

(ที่มา Website: <http://blog.johnmorris.com.au/buying-a-lab-vacuum-pump-best-six-questions-to-ask/>)

2.2.2 การคิงคูดโมเลกุลให้อยู่ในบริเวณที่จำกัด หรือฝังอยู่ในวัสดุ เช่น

1) ปั๊มแบบสปัตเตอร์ไอออน (Sputter-Ion pump)

ปั๊มสุญญากาศแบบสปัตเตอร์ไอออน เป็นปั๊มที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการความเป็นสุญญากาศระดับสูงยิ่งยวด (Ultra-High Vacuum) ที่ความดันประมาณ 10^{-8} ถึง 10^{-11} ทอร์ ซึ่งปั๊มชนิดนี้มีข้อดีและคุณสมบัติมากกว่าปั๊มสุญญากาศทั่ว ๆ ไป เช่น ไม่มีชิ้นส่วนในการเคลื่อนที่ ไม่มีปัญหาเรื่องการสั่น เป็นต้น ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดและเที่ยงตรงสูง เช่น งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ และ เครื่องเร่งอนุภาค เป็นต้น

2.3 ปั๊มสุญญากาศแบบสปัตเตอร์ไอออน (Sputter-ion pumps)

2.3.1 หลักการทำงาน

สุพรรณ บุญสุยา (2552) โครงสร้างการทำงานของปั๊ม มีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ ขั้วแอโนด (Anode) ซึ่งผลิตจากสแตนเลส เกรดพิเศษ (SUS316L) โดยมีรูปแบบเป็นทรงกระบอก และ ขั้วแคโทด (Cathode) ซึ่งผลิตจากแผ่นไทเทเนียมบริสุทธิ โดยวางประกบกันใน

ระยะห่างที่เหมาะสมที่อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ด้านนอกถึงสุญญากาศ โดยปั๊มสุญญากาศแบบสปัตเตอร์ไอออน มีหลักการทำงานดังนี้

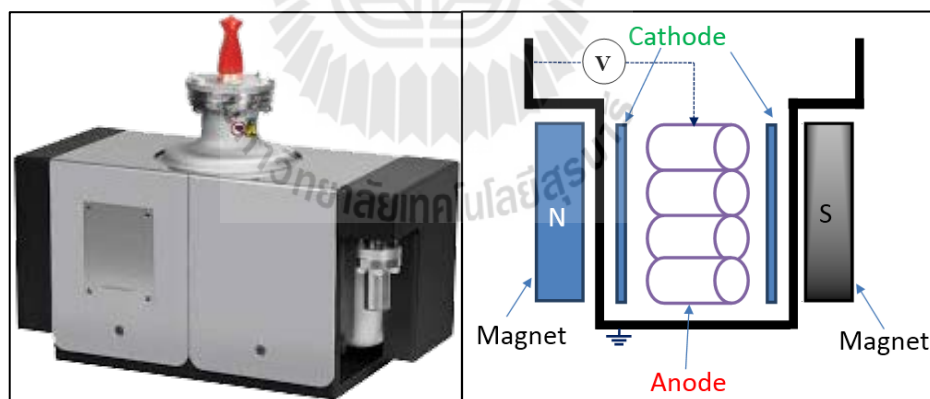
1) จ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 3,000 โวลต์ ถึง 7,000 โวลต์ ให้กับขั้วแอโนดและขั้วแคโทด โดยกำหนดให้แอโนดเป็นขั้วบวกและแคโทดเป็นขั้วลบ ซึ่งขั้วดังกล่าวจะอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กและทำให้เกิดพลาสมาขึ้นบริเวณดังกล่าว

2) อิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้หลุดออกจากแผ่นแคโทด และเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนด โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เป็นเกลียวตามแนวของสนามแม่เหล็ก

3) ในระหว่างการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีโอกาสที่จะเกิดการชนกับโมเลกุลของอากาศ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกที่มีความเร็วและพุ่งเข้าชนกับแผ่นแคโทด

4) ไอออนบวกที่พุ่งเข้าชนแผ่นแคโทดจะฝังตัวอยู่ในแผ่นแคโทด และทำให้อะตอมของไทเทเนียมหลุดออกมาในลักษณะที่เรียกว่าการเกิดสปัตเตอร์ริง

5) อะตอมของไทเทเนียมที่หลุดออกมาจะวิ่งไปเกาะรวมกันเป็นฟิล์มบางอยู่ในผิวภายในทรงกระบอกของแอโนด ซึ่งฟิล์มของไทเทเนียมนี้มีคุณสมบัติที่ดีเลิศในการดูดซับโมเลกุลของแก๊สเรียกว่า เทคนิคการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) ดังนั้น โมเลกุลของแก๊สจึงถูกปั๊มดูดจับไว้ที่ผิวภายในทรงกระบอกของแอโนด

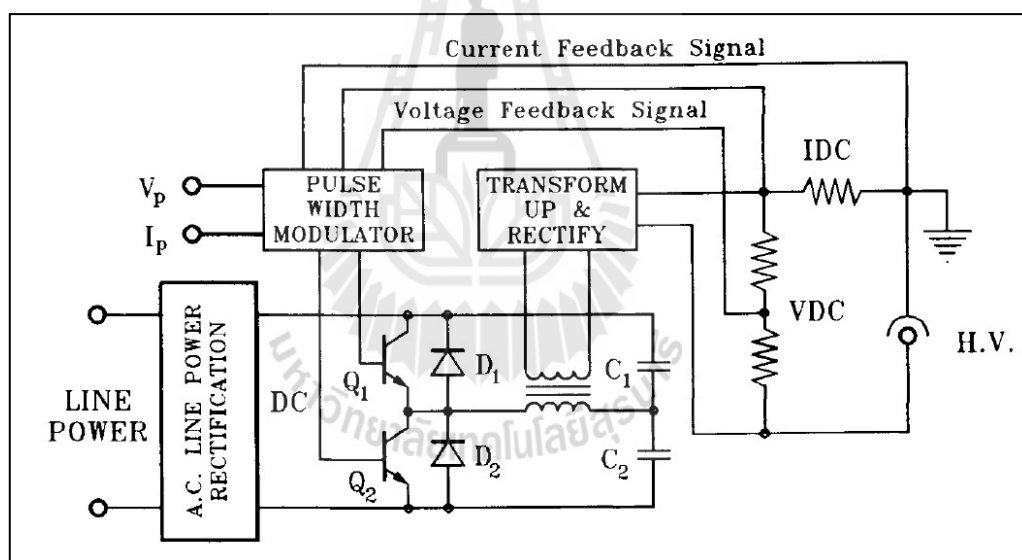


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของปั๊มแบบสปัตเตอร์ไอออน (L. Schulz, 1999)

2.3.2 ระบบควบคุม

Kimo M. Welch (2001) กล่าวว่า การพัฒนาชุดแหล่งจ่ายปั๊มแบบสปัตเตอร์ชนิดไอออน บริษัทวาเรียน (Varian) เป็นบริษัทแรกที่อธิบายหลักการการทำงานของชุดควบคุมปั๊มสุญญากาศแบบสปัตเตอร์ไอออน โดยใช้แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่ง จากแผนภาพบล็อกไดอะแกรม

รูปที่ 2.5 ได้อธิบายถึงหลักการทำงาน เริ่มต้นจะทำการใช้วงจรเรียงกระแสเพื่อทำการแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจะใช้มอดเฟตกำลัง (Power MOSFET) ที่ทนแรงดันสูงในการทำหน้าที่เป็นสวิตช์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งเมื่อมีการ Switch OFF ทั้งคู่พร้อมกัน แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะทำการชาร์จประจุไว้ที่ตัวเก็บประจุทั้ง 2 ตัว ทำให้ไม่มีแรงดันผ่านไปยังตัวหม้อแปลงไฟฟ้า อย่างไรก็ตามถ้ามีตัวทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่ง Switch ON ตัวเก็บประจุจะทำการคายประจุและเหนี่ยวนำแรงดันไปยังตัวหม้อแปลงไฟฟ้า และทำการเรียงกระแสไฟฟ้าผ่านตัวหม้อแปลง ซึ่งการสวิตช์ซิงของชุดทรานซิสเตอร์นั้นจะต้องเลือกใช้ความถี่ในการสวิตช์ซิงที่สูงมาก ๆ ประมาณ 50 ถึง 100 kHz โดยรูปแบบสัญญาณและความถี่ที่ทำการสวิตช์ซิงจะเป็นสัญญาณที่เกิดจากปรับแต่งหรือเปลี่ยนค่าแรงดันขาออก ได้ด้วยการใช้เทคนิคของการมอดูเลตสัญญาณ (Pulse Width Modulator, PWM) เป็นตัวควบคุม ซึ่งการควบคุมสัญญาณจะมีการใช้ทั้งโปรแกรมควบคุมสัญญาณและมีระบบป้องกันฟิวด์ของแรงดันและกระแสขาออก



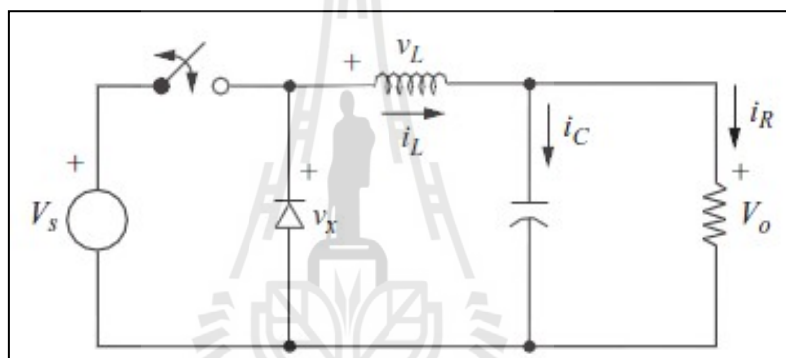
รูปที่ 2.5 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมชุดแหล่งจ่ายแบบสวิตช์ซิง (Kimo M.Welch, 2001)

2.4 การแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดลดทอนแรงดัน

การสร้างชุดแหล่งจ่ายแบบสวิตช์ซิง จะต้องออกแบบวงจรแปลงผันโดยใช้สวิตช์ในการสร้างสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณจะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการสวิตช์ เช่น ทรานซิสเตอร์ ไตรโอด ไอจีบีที และมอสเฟต เป็นต้น ซึ่งวงจรในการสวิตช์ซิงจะเรียกอีกอย่างว่า วงจรชอปเปอร์ (DC Chopper) สำหรับการออกแบบชุดแหล่งจ่ายแบบสวิตช์ซิงสำหรับ

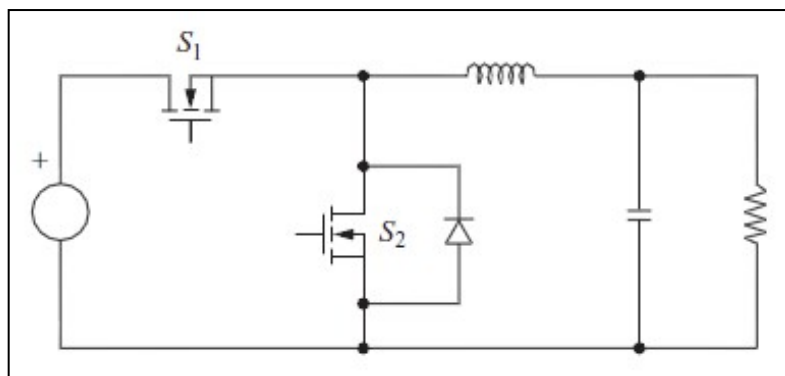
ควบคุมปั๊มสปีดเตอร์ชนิดไอออนจะใช้หลักการของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ หรือวงจรแปลงผันแบบบัก (DC-DC Buck Converter)

สุเทพ สันหลี (2549) กล่าวว่า วงจรแปลงผันแบบบัก เป็นวงจรที่นำไปใช้สร้างวงจรแปลงผันเพื่อลดทอนแรงดัน ดังนั้นแรงดันขาออกจะน้อยกว่าขาเข้าเสมอ ซึ่งวงจรลดแรงดันสามารถที่จะลดแรงดันได้ถึง 80 - 90 % พร้อมทั้งสามารถปรับค่าแรงดันขาออกด้วยการมอดูเลตสัญญาณได้ตามที่ต้องการ ซึ่งหลักการปรับแต่งสัญญาณจะใช้การ ON และ OFF ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถทำหน้าที่เป็นสวิทช์ได้ แต่วงจรแปลงผันจะมีข้อเสียในเรื่องของการสูญเสียกำลังภายในไดโอด ทำให้ประสิทธิภาพของวงจรต่ำ โดยวงจรแปลงผันแบบบักพื้นฐานทั่วไปแสดงดังภาพที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบัก (Daniel W.Hart, 2011)

จากปัญหาที่เกิดจากการสูญเสียกำลังภายในไดโอด สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยการเปลี่ยนไดโอดเป็นมอสเฟต ซึ่งจะเรียกว่าวงจรแปลงผันแปลงผันแบบซิงโครนัสบัก (Synchronous Buck Converter) ซึ่งข้อดีของวงจรนี้สามารถที่จะลดการสูญเสียภายในไดโอดได้ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบซิงโครนัสบั๊ก (Daniel W.Hart, 2011)

จากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบซิงโครนัสบั๊ก ระดับแรงดันขาออกจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการนำและหยุดนำกระแส ได้ด้วยมอสเฟต โดยอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาที่ถูกนำกระแสกับคาบเวลา จะเรียกว่า ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ดังสมการ

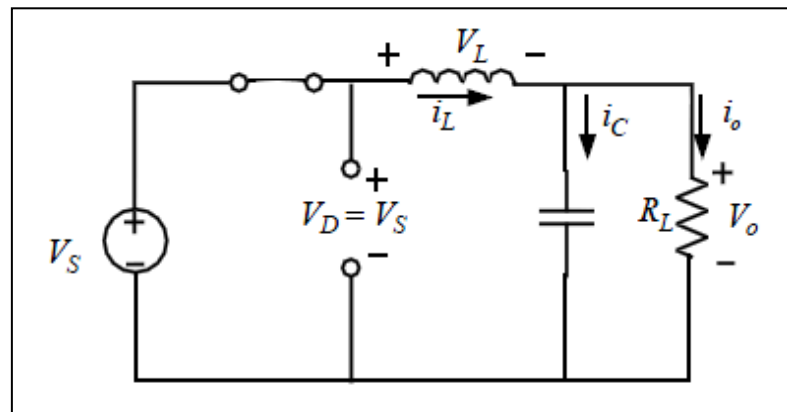
$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.1)$$

2.4.1 ความต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้า

เพื่อให้แรงดันขาออกมีความเป็นกระแสตรงมาก ๆ จึงต้องมีการเพิ่มวงจรกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) และการทำงานของวงจรแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะการทำงานของสวิตช์ ดังนี้

1) สวิตช์นำกระแส (Switch closed)

ขณะที่สวิตช์นำกระแสทำงาน กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด และในขณะเดียวกันก็มีการชาร์จประจุไว้ที่ตัวเก็บประจุ ตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ ซึ่งอธิบายการเปลี่ยนแปลงของกระแส i_L ได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 วงจรปัดในขณะนำกระแส (Daniel W.Hart, 2011)

จาก $-V_s + V_L + V_o = 0$

$$V_L = V_s - V_o$$

และ $V_L = L \frac{di_L}{dt}$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

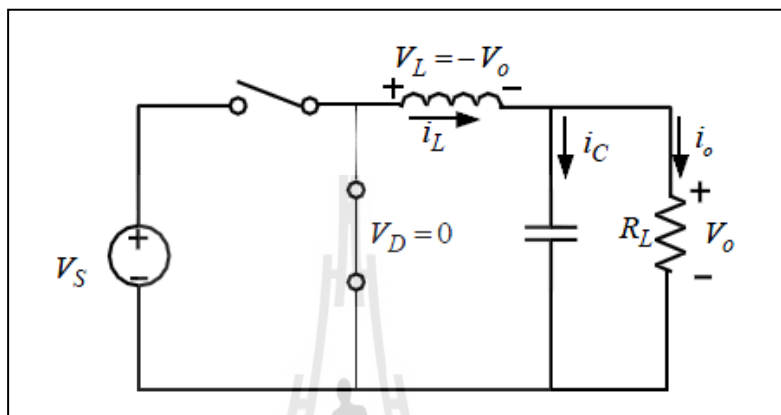
ในขณะสวิตช์นำกระแส

$$dt = DT$$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) T \quad (2.2)$$

2) สวิตช์หยุดนำกระแส (Switch open)

ขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นที่ขดลวดตัวนำ ทำให้เกิดแรงดัน V_L และนำกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้อย่างต่อเนื่อง ตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ ซึ่งอธิบายการเปลี่ยนแปลงของกระแส i_L ได้ดังนี้



รูปที่ 2.9 วงจรบัพในขณะหยุดนำกระแส (Daniel W.Hart, 2011)

ขณะหยุดนำกระแส กระแสที่ไหลผ่านตัวนำจะลดลงเรื่อย ๆ โดยช่วงที่สวิตช์หยุดนำกระแส $dt = (1-D)T$ และหาค่าความเปลี่ยนแปลงของกระแสในช่วงหยุดนำกระแสได้ตามสมการ

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \tag{2.3}$$

เมื่อวงจรทำงานที่สภาวะคงตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแส i_L ใน 1 คาบเวลาของการสวิตช์จะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \tag{2.4}$$

จากนั้นนำสมการที่ (2.2) และ (2.3) แทนลงในสมการที่ (2.4) จะได้

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)T - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0$$

ดังนั้นจะได้

$$V_o = DV_s \quad (2.5)$$

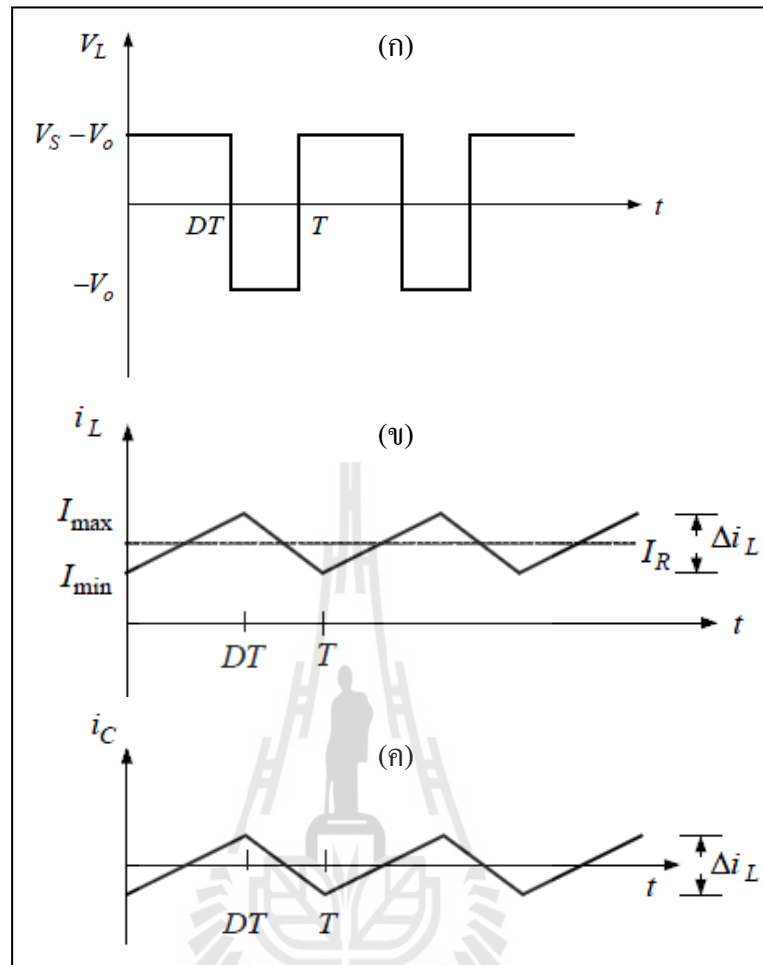
จากสมการที่ (2.5) พบว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบซิงโครนัสขึ้นอยู่กับค่าแรงดันอินพุตและค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty cycle: D) โดยแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันอินพุตเสมอ เมื่อวงจรทำงานในสภาวะคงตัว ค่ากระแสของตัวเก็บประจุ (I_c) ใน 1 คาบเวลาการสวิตช์ (T) มีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่กระแสตัวเหนี่ยวนำเฉลี่ย (I_L) เท่ากับค่ากระแสเอาต์พุตเฉลี่ย ดังนั้นจะได้

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R_L} \quad (2.6)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแส จะหาได้จากสมการที่ (2.2) และ (2.3) ดังนั้นจะได้ค่ากระแสสูงสุดและต่ำสุดที่ตัวเหนี่ยวนำ คือ

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{\max} = \frac{V_o}{R_L} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_o}{L} (1-D) T \right) \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นการทำงานของวงจร Buck converter

(ก) รูปคลื่นของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) รูปคลื่นของ

กระแสที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ และ (ค) รูปคลื่นของกระแสที่ผ่าน

ตัวเก็บประจุ (Daniel W.Hart, 2011)

จากสมการ (2.7) จัดรูปสมการ จะได้

$$I_{\max} = V_o \left(\frac{1}{R_L} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right) \quad (2.8)$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.9)$$

$$I_{\min} = \frac{V_o}{R_L} - \frac{1}{2} \left(\frac{V_o}{L} (1-D) T \right) \quad (2.10)$$

ดังนั้น

$$I_{\min} = V_o \left(\frac{1}{R_L} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right) \quad (2.11)$$

จากสมการ (2.11) หาค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่ำสุด (L_{\min}) ที่ทำให้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบซิงโครนัสบักทำงานในโหมด Continuous-current mode (CCM) โดยกำหนดให้ I_{\min} มีค่าเป็นศูนย์ จะได้

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R_L}{2f} \quad (2.12)$$

2.4.2 การกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ได้สมมติให้ตัวเก็บประจุมีค่าสูงมาก เพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ และไม่มีกรกระเพื่อมที่แรงดันเอาต์พุต ซึ่งไม่สามารถหาค่าตัวเก็บประจุดังกล่าวได้ การกระเพื่อมของแรงดันเอาต์พุตจะหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่ตัวเก็บประจุดังสมการ

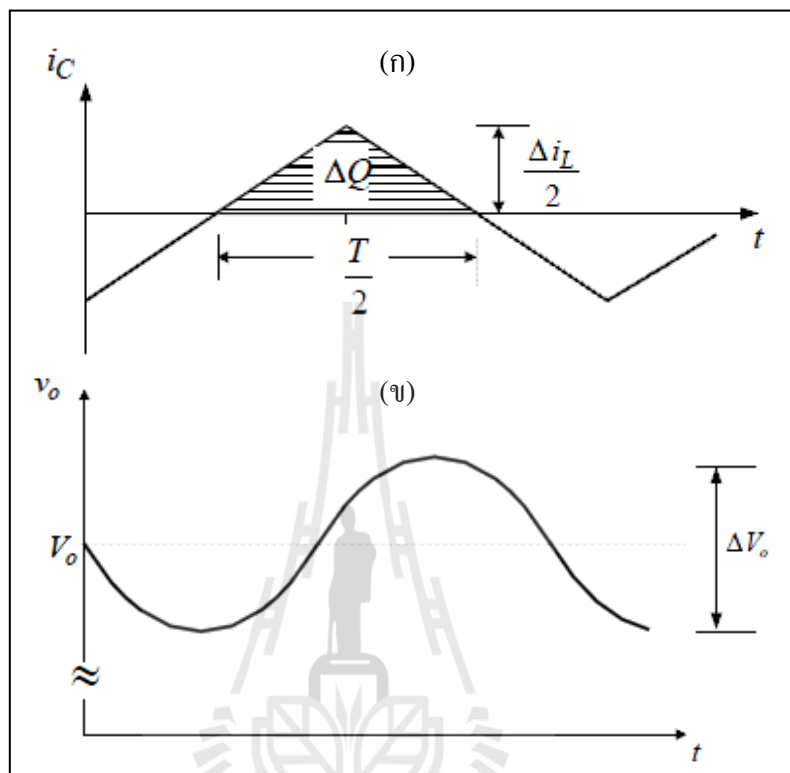
$$i_c = i_L - i_o \quad (2.13)$$

การชาร์จประจุที่ตัวเก็บประจุ จะเกิดขึ้นเมื่อค่ากระแส i_c มีค่าเป็นบวก และจากนิยามตัวเก็บประจุ จะได้สมการ คือ

$$Q = CV_o \quad (2.14)$$

$$\Delta Q = C \Delta V \quad (2.15)$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.11 สัญญาณกระแสและแรงดันสำหรับการวิเคราะห์หาค่าตัวเก็บประจุ
 (ก) กระแสที่ตัวเก็บประจุ (ข) การกระเพื่อมของแรงดันที่ตัวเก็บประจุ
 (Daniel W.Hart, 2011)

จากนั้นหาค่า ΔQ จากพื้นที่แรเงา ในรูปภาพที่ 2.11 (ก) ดังสมการ

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta i_L}{2} \right) = \left(\frac{T \Delta i_L}{8} \right) \quad (2.17)$$

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C} \quad (2.18)$$

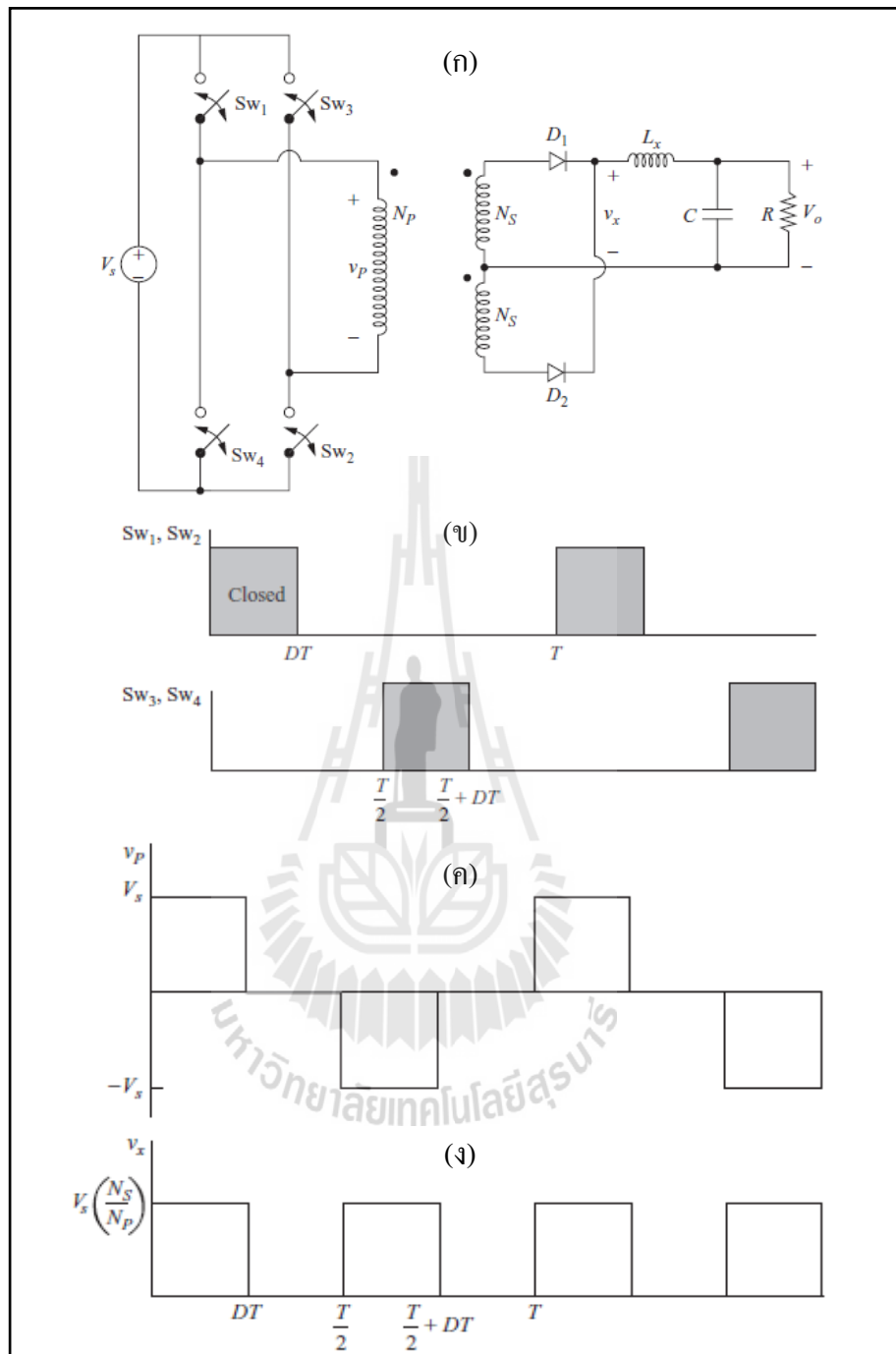
จากสมการที่ (2.3) แทนค่าลงในสมการที่ (2.18) จะได้

$$\Delta V_o = \frac{T}{8C} \times \frac{V_o}{L} (1-D)T = \frac{V_o(1-D)}{8CLf^2} \quad (2.19)$$

2.5 การแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบฮาร์ฟ และฟูลบริดจ์

Daniel W. Hart (2011) วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง แบบ Full-Bridge และ Half-Bridge จะมีลักษณะการทำงานที่คล้ายกับวงจรแปลงผันชนิด Push-Pull ที่มีคุณสมบัติจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงถึง 200 – 1,000 วัตต์ โดยวงจรแปลงผันแบบ Half-Bridge มีลักษณะการจัดเรียงวงจรที่มีการใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจร 2 ตัว และพบว่าแรงดันตกคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ขณะเปิดวงจรจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟอินพุต และกระแสคอลเลกเตอร์ขณะทรานซิสเตอร์ปิดวงจรจะเป็นสองเท่า ดังแสดงตามรูปภาพที่ 2.12 สำหรับวงจรแปลงผันแบบ Full-Bridge จะมีการจัดเรียงวงจรที่มีการใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จำนวน 4 ตัว พบว่าแรงดันตกคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ขณะเปิดวงจรจะมีค่าไม่เกินกว่าแรงดันอินพุต และกระแสคอลเลกเตอร์ที่ไหลผ่านจะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับการต่อวงจรแบบ Half-Bridge ดังแสดงตามรูปภาพที่ 2.13

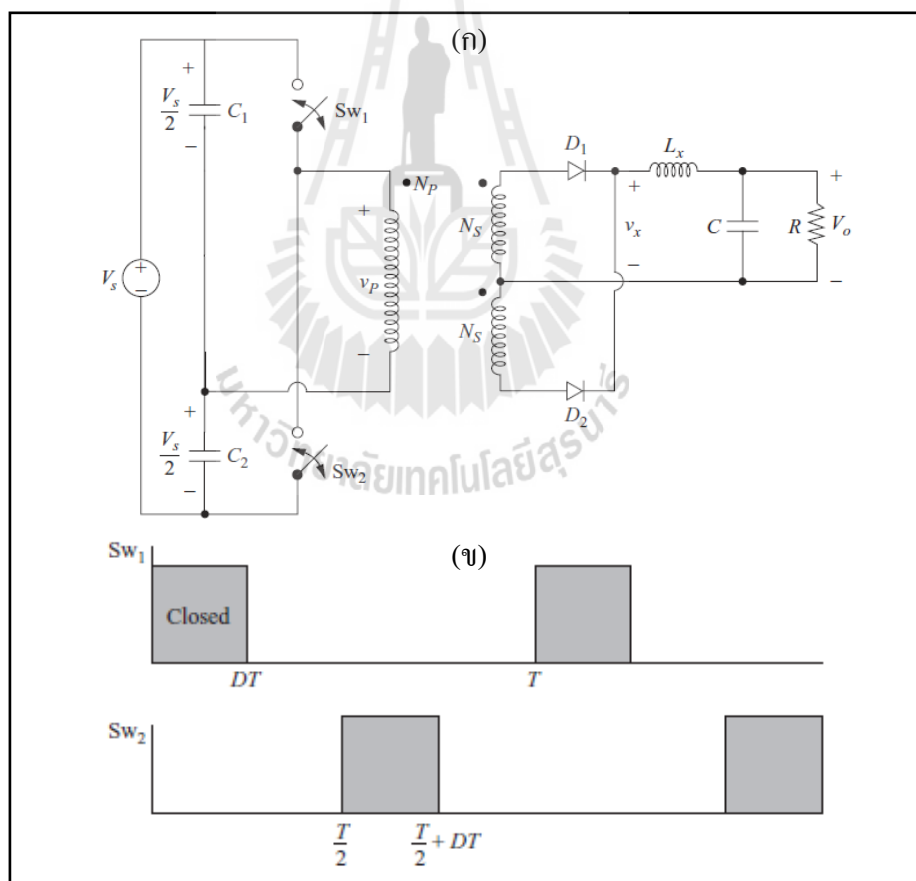


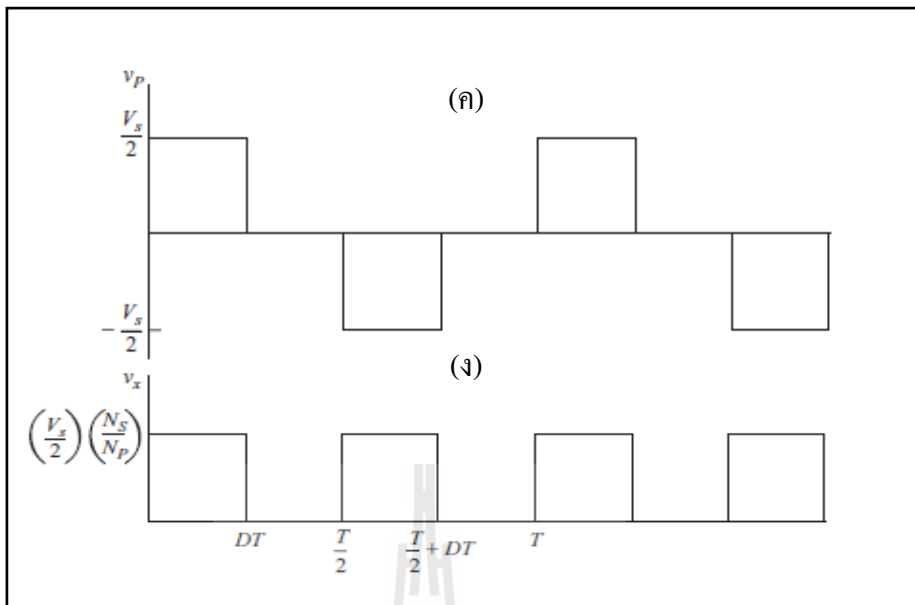


รูปที่ 2.12 รูปคลื่นการทำงานและแรงดันตกคร่อมวงจร Full-bridge converter
 (ก) วงจร Full-bridge converter (ข) รูปคลื่นลำดับการสวิตช์ซึ่ง
 (ค) แรงดันที่ตกคร่อมบริเวณหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ และ (ง) แรงดันที่ตก
 คร่อมบริเวณหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ (Daniel W.Hart, 2011)

จากรูป 2.12 (ก) วงจรประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ชุด ชุดละ 2 ตัว ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ โดยชุดที่หนึ่ง (SW1 กับ SW2) จะทำงานตรงกันข้ามกับชุดที่สอง (SW3 กับ SW4) และทรานซิสเตอร์ในแต่ละชุดจะยังคงทำงานในจังหวะเดียวกัน และผลของการปิด-เปิดวงจรทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชุดทำให้แรงดันหม้อแปลงด้านปฐมภูมิมีค่าระหว่าง $+V_s$ และ $-V_s$ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์ขณะเปิดวงจรจะไม่มีค่าเกินกว่าแรงดันอินพุตแน่นอน และการวิเคราะห์หาค่าแรงดันด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบ Full-bridge จะวิเคราะห์ได้เหมือนกับวงจรแปลงผัน ชนิด Push-pull โดยสมการ

$$V_o = 2V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) D \quad (2.20)$$





รูปที่ 2.13 รูปคลื่นการทำงานและแรงดันตกคร่อมวงจร Half-bridge converter

(ก) วงจร Half-bridge converter (ข) รูปคลื่นลำดับการสวิตช์ซึ่ง (ค) แรงดันที่ตกคร่อมบริเวณหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ และ (ง) แรงดันที่ตกคร่อมบริเวณหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ (Daniel W.Hart, 2011)

จากรูป 2.13 (ก) วงจรประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ชุด ชุดละ 1 ตัว ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ โดยชุดที่หนึ่ง (SW1) จะทำงานตรงกันข้ามกับชุดที่สอง (SW2) และทรานซิสเตอร์ในแต่ละชุดจะยังคงทำงานในจังหวะเดียวกัน และผลของการปิด-เปิดวงจรทรานซิสเตอร์ทั้งสองชุดทำให้แรงดันหม้อแปลงด้านปฐมภูมิมียุคหนึ่งของแรงดันอินพุตมีค่าระหว่าง $+ \frac{V_s}{2}$ และ $- \frac{V_s}{2}$ และกระแสคอลเลกเตอร์ที่ไหลผ่านชุดทรานซิสเตอร์จะมีค่ามากกว่าวงจรแปลงผันชนิด Full-bridge converter ถึง 2 เท่า และการวิเคราะห์หาค่าแรงดันด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบ Half-bridge จะวิเคราะห์และคำนวณได้เหมือนกับวงจรแปลงผันชนิด Full-bridge โดยสมการ

$$V_o = V_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right) D \tag{2.21}$$

2.6 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโปรแกรม LabVIEW

กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี (2554) ได้กล่าวว่าโปรแกรม LabVIEW มีการพัฒนามาจาก บริษัท เนชั่นแนลอินสทრูमेंตส์ เพื่อใช้ในการสร้างระบบการวัด ทดสอบ และควบคุม ซึ่งโปรแกรม LabVIEW จะมีการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไอค์ดูรูปภาพ (Graphical programming) และมีการต่อสายส่งข้อมูลคล้ายกับการวาด flow chart ที่สามารถทำให้ผู้เขียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น ซึ่งจุดพัฒนาจะมาพร้อมกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรมหลายหลายรูปแบบสำหรับการวิเคราะห์ประมวลผล และแสดงข้อมูล รวมถึงสามารถใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อื่น ๆ ได้ดี ในปัจจุบัน นอกจาก LabVIEW จะถูกใช้งานบนพีซีทั่วไปเพื่อตั้งสัญญาณหรือควบคุมเครื่องมือวัดแล้วยังขยายขีดความสามารถของแพลตฟอร์มให้สามารถออกแบบได้ทั้งระบบ ตั้งแต่ส่วนของการออกแบบซอฟต์แวร์ การคำนวณ ไปจนถึงการตั้งสัญญาณและการติดตั้งไปรันในฮาร์ดแวร์ทั้งแบบ วินโดวส์ เรียลไทม์ และ FPGA โดยใช้แพลตฟอร์ม LabVIEW เพียงแพลตฟอร์มเดียว ทำให้สามารถต่อยอดได้ทันทีเมื่อเวลาที่เราต้องการทำงานกับพีซีบนวินโดวส์ไปเป็นฮาร์ดแวร์แบบฝังตัว

2.6.1 DATA FLOW and G Programming

กนต์ธร ชำนิประศาสน์ ได้กล่าวว่าโปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้รูปภาพหรือสัญลักษณ์แทนการเขียนด้วยตัวอักษร ซึ่งข้อดีคือสามารถลดความผิดพลาดในการสะกดคำผิดหรือพิมพ์ผิดออกไป ข้อแตกต่างอีกอย่างหนึ่งของการเขียนโปรแกรมแบบ G กับการเขียนด้วยตัวหนังสือ คือ การเขียนด้วยภาษา G จะเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้หลักการของ Data Flow ซึ่งเมื่อเริ่มส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม เราต้องกำหนดทิศทางไหลของข้อมูลว่าจะไปทิศทางไหน และผ่านการประมวลผล คำนวณในส่วนใดบ้าง และมีการแสดงผลอย่างไร ลักษณะการเขียนภาษา G หรือ Data Flow จะมีลักษณะเหมือนกับการเขียน Block diagram ซึ่งทำให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถให้ความสนใจกับการเคลื่อนที่ของข้อมูลได้โดยไม่ต้องจดจำรูปแบบคำสั่งที่ยุ่งยาก การเขียนแบบ block diagram วิศวกรส่วนใหญ่จะมีความคุ้นเคยอยู่แล้ว จึงเป็นการง่ายที่จะทำความเข้าใจและนำไปพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ การเขียนโปรแกรมถ้าหากเรามีการเขียน Flow Chart ก่อนที่จะเริ่มเขียนโปรแกรมใน LabVIEW จะทำให้ช่วยลดขั้นตอนการเขียนโปรแกรมไปอย่างมากเพราะจะช่วยลดข้อผิดพลาดที่เราอาจเขียนโปรแกรมผิดขั้นตอนและลดระยะเวลาในการเขียนโปรแกรมด้วย

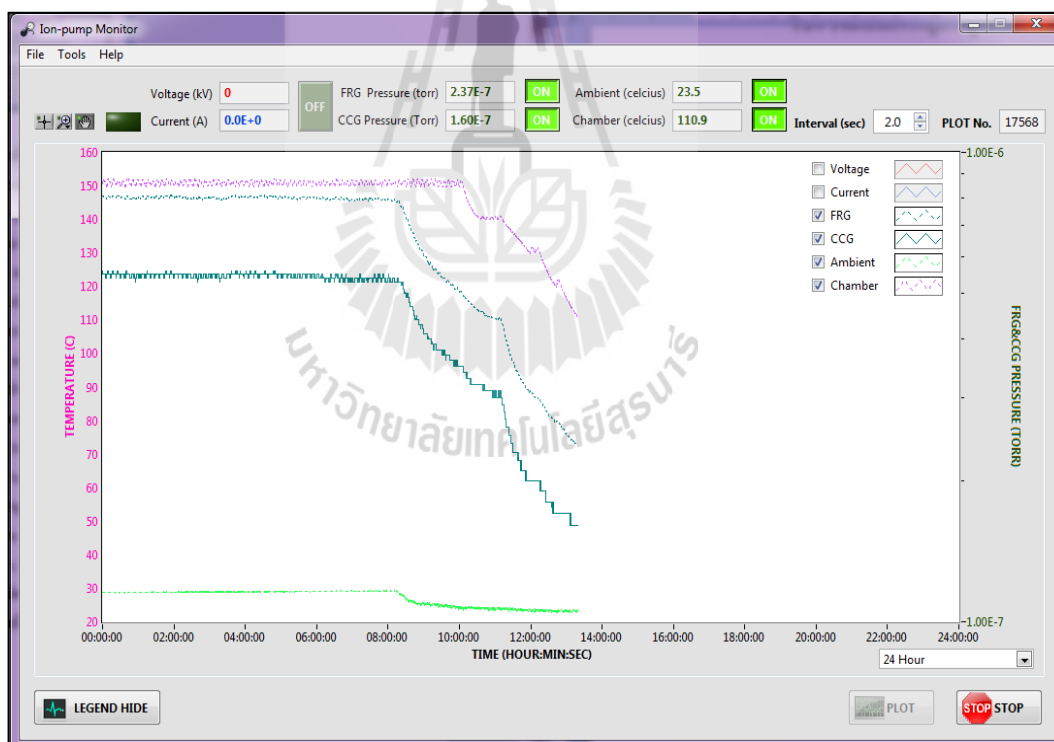
LabVIEW จะมี Front panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้เห็นและควบคุมการทำงาน โดย Front panel จะมีส่วนประกอบต่าง ๆ ให้ใช้มากมาย เช่น ปุ่มกด ปุ่มหมุน สวิตช์ หรือกราฟ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านและ พื้นที่ส่วนเขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block diagram ซึ่งจะเปรียบเสมือนกับ ฮาร์ดแวร์ สำหรับเครื่องมือวัด และมีการเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ

2.6.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ในโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย โปรแกรม LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรืออุปกรณ์เครื่องมือวัดเสมือน เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้งานจะเหมือนกับ อุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่เดียวกันภายในอุปกรณ์เสมือนจริงจะเป็นการทำงานของฟังก์ชัน และโปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ

1) หน้าต่างโปรแกรม (Front Panel)

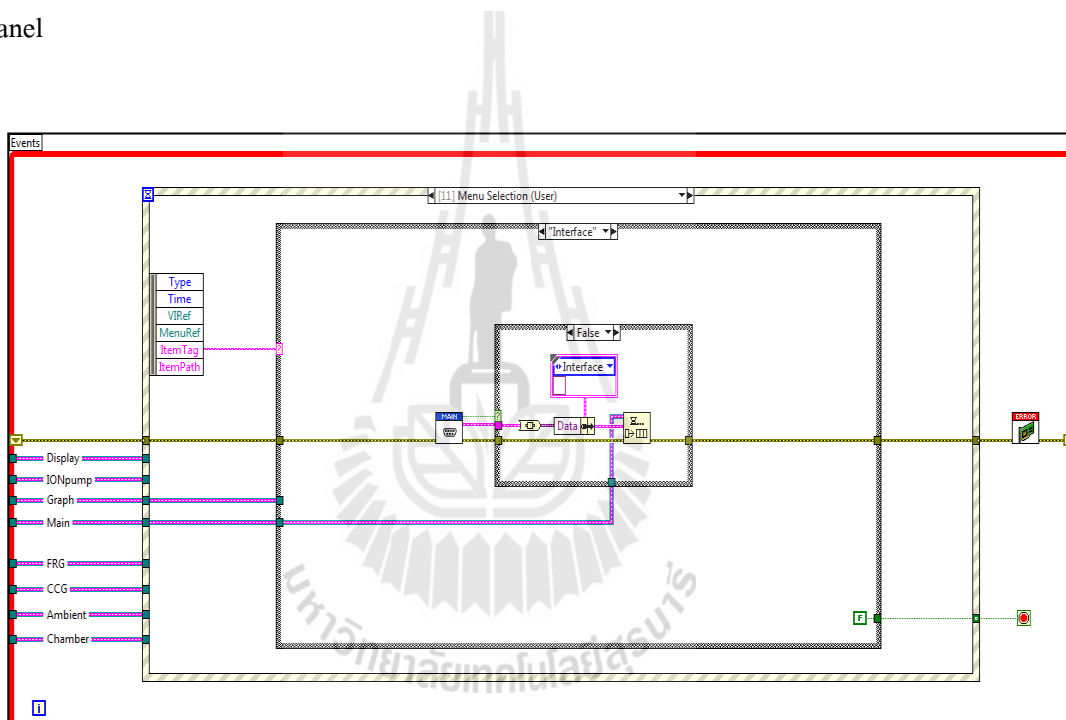
เป็นส่วนที่ใช้สื่อระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม หรือ User Interface โดยทั่วไปจะมี ลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดทั่ว ๆ ไป ซึ่ง ประกอบด้วย สวิตช์ปิด - เปิด ปุ่มกด จอแสดงผล หรือค่าที่ผู้ใช้กำหนดขึ้น สำหรับผู้ที่คุ้นเคยกับการเขียนโปรแกรมประเภท Visual จะเข้าใจกันดีว่า Front panel นี้เปรียบเสมือน GUI ของโปรแกรม ทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างหน้าจอ Front panel

2) แผนผังโค้ดโปรแกรม (Block Diagram)

Block Diagram ของ LabVIEW จะอยู่ในรูปของภาษา G ที่เปรียบเสมือนกับ Source code ของโปรแกรมทั่ว ๆ ไป ซึ่งถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถทำงานได้ทันที และข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือสามารถตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมได้ตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาด ส่วนประกอบภายใน Block Diagram ประกอบด้วย ฟังก์ชันค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงาน จากนั้นในแต่ละส่วนจะปรากฏในรูปของ Block จะต้องมีการต่อสายเข้าด้วยกันและต้องเป็นชนิดเดียวกันด้วย เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block ให้ถูกต้องตาม Data Flow ที่เราต้องการ และแสดงผลค่าที่ได้ออกสู่ Front panel



รูปที่ 2.15 ตัวอย่าง Block Diagram

3) ไอคอน (Icon) และ คอนเนกเตอร์ (Connector)

เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย (Subroutine) ในโปรแกรมปกติทั่ว ๆ ไป โดย Icon จะหมายถึง Block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW เราจะเรียก Subroutine ว่า Sub-VI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้คือสามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นภายหลังหากเราต้องการ เราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัว ทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนจะกลายเป็น Sub-VI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่าเขียนแบบ Module

สำหรับลักษณะทั่วไปของ Icon และ Connector จะแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งเราจะเห็นว่าเมื่อแสดงในรูปของ Connector จะพบว่ามีส่วนต่อข้อมูลหรือเรียกว่า Terminal ปรากฏขึ้นมาให้เห็น



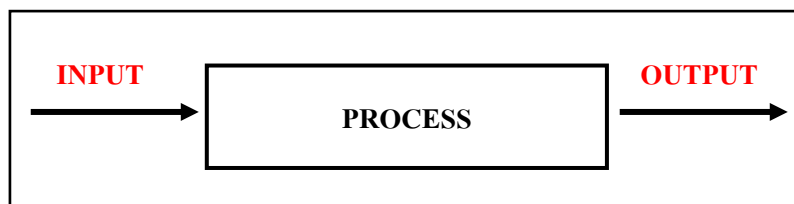
รูปที่ 2.16 Icon และ Connector

2.7 การควบคุมระบบ

Ogata. K (2010) ระบบควบคุม คือกระบวนการที่ใช้ในการควบคุมเอาต์พุตของกระบวนการที่เราต้องการควบคุม เช่น การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความเร็วที่ผู้ใช้งานต้องการ การควบคุมอุณหภูมิของชุดภาชนะทดสอบความร้อนให้ได้ค่าตามที่ต้องการ เป็นต้น ซึ่งเราสามารถมองภาพให้ง่าย ๆ ของการควบคุม คือ ระบบควบคุมที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น แท็งก์น้ำที่ติดตั้งตามบ้านแต่ละหลัง โดยส่วนใหญ่ จะมีการติดตั้งสวิตช์กลอยเพื่อทำการตัดน้ำที่ไหลเข้าสู่แท็งก์ เมื่อระดับน้ำอยู่ในระดับที่ต้องการ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า สวิตช์กลอยที่ติดตั้งจะเปรียบเสมือนตัวควบคุม (Controller) น้ำที่ไหลเข้าแท็งก์ก็เปรียบเสมือน สัญญาณอินพุต (Input) และ ระดับน้ำที่ต้องการก็เปรียบเสมือน สัญญาณเอาต์พุต (Output) ซึ่งระบบควบคุมจะมีโครงสร้างอยู่ 2 รูปแบบคือ ระบบควบคุมวงเปิด (Open loop control system) และ ระบบควบคุมวงปิด (Close loop control system)

2.7.1 ระบบควบคุมวงเปิด

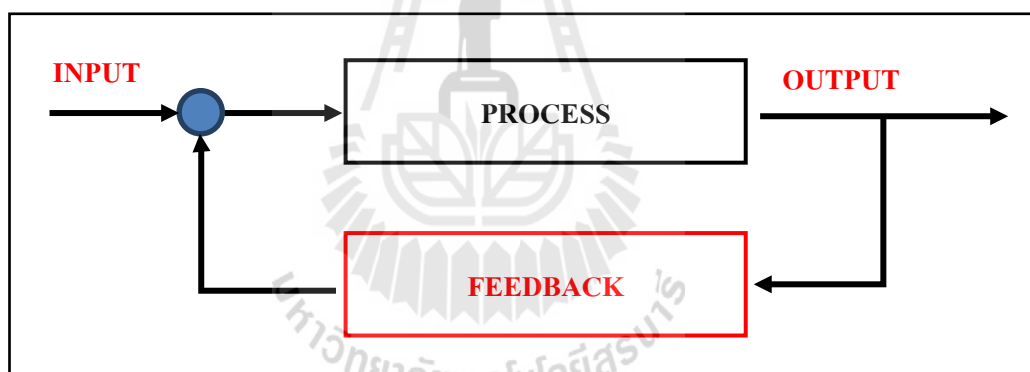
ระบบควบคุมวงเปิด (Open loop control system) เป็นระบบควบคุมที่ไม่มีการนำสัญญาณเอาต์พุตป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต โดยตัวอย่างในการควบคุมในลักษณะนี้ได้แก่ เครื่องซักผ้า คือ การแช่ผ้า ซักผ้า และการล้าง จะทำตามเวลาที่ได้ตั้งค่าไว้ โดยไม่มีการวัดสัญญาณเอาต์พุตมาเปรียบเทียบ โดยลักษณะของระบบควบคุมแบบเปิด แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แผนภาพระบบวงเปิด

2.7.2 ระบบควบคุมวงปิด

ระบบควบคุมวงปิด เป็นระบบที่มีการป้อนกลับ (Feedback) โดยการนำสัญญาณเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นจะเป็นค่าความผิดพลาด เพื่อเอาสัญญาณป้อนเข้าระบบแล้วตัวควบคุมจะนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่ เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับระบบ โดยลักษณะของระบบควบคุมวงปิด แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แผนภาพระบบวงปิด

2.8 ระบบควบคุมแบบพีไอดี

ระบบควบคุมที่พบบ่อยในอุตสาหกรรม มักเกี่ยวข้องกับการควบคุม 2 ลักษณะคือ การควบคุมระบบด้วยการปิด - เปิดการทำงาน และ การควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าต่อเนื่องในรูปแบบสัญญาณอนาล็อก ซึ่งตัวควบคุมที่นิยมใช้ในระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม จะเป็นระบบแบบพีไอดี (PID) เพราะเป็นตัวควบคุมที่ใช้งานง่าย การปรับเกนอาศัยหลักการที่ไม่ได้ซับซ้อนมากนัก ซึ่งให้ผลตอบสนองเป็นที่ยอมรับได้ สามารถปรับแต่งการควบคุมได้ตามต้องการ โดยระบบควบคุมแบบพีไอดีจะมีตัวควบคุมย่อยอยู่ 3 ส่วน คือ ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control) ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control) และ ตัวควบคุม

แบบอนุพันธ์ (Derivative Control) สำหรับการควบคุมระบบทั่วไปมักจะใช้ตัวควบคุมร่วมกัน เช่น การควบคุมแบบพีไอ การควบคุมแบบพีดี การควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานของตัวควบคุมแต่ละแบบดังนี้

2.8.1 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)

การควบคุมแบบสัดส่วน จะมีลักษณะการทำงานที่ส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณค่าความผิดพลาด ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.22

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.22)$$

การควบคุมแบบนี้เมื่อนำไปใช้งาน เมื่อปรับค่าเกนให้สูงขึ้นจะมีผลทำให้ระบบมีการตอบสนองที่เร็วขึ้น ถ้านำไปใช้กับระบบชนิด 0 (Type 0) ตัวควบคุมแบบนี้จะไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ แต่ก็สามารถทำให้ค่าความผิดพลาดตั้งกล่าวนี้น้อยลงได้ด้วยการปรับค่าเกนให้สูง แต่ในทางปฏิบัติแล้วการปรับค่าเกนให้สูงมาก เอาต์พุตที่ออกมาจริง ๆ จากตัวควบคุมจะมีค่าจำกัด และเมื่อปรับค่าเกนให้สูงในระบบที่อันดับสูง จะทำให้ผลตอบสนองไม่เป็นไปตามที่ต้องการ เช่น การปรับเกนให้สูง สำหรับระบบอันดับสอง ผลที่ตามมาจะมีค่าพุงเกินที่สูง ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อระบบได้

2.8.2 การควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control)

การควบคุมแบบปริพันธ์ จะมีลักษณะการทำงานที่ส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาจากการอินทิเกรตค่าความผิดพลาด ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.23

$$u(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2.23)$$

ตัวควบคุมแบบนี้เมื่อนำไปใช้งาน ถ้านำไปใช้กับระบบชนิด 0 (Type-0) ตัวควบคุมแบบนี้สามารถกำจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ ซึ่งข้อเสียที่อาจจะเกิดขึ้นในการนำไปใช้งาน คือ ตัวควบคุมแบบนี้ไม่สามารถลดผลของการพุงเกินของผลตอบสนองได้ และถ้ามีการปรับค่าเกนที่สูง อาจทำให้ผลตอบสนองไม่เป็นไปตามที่ต้องการ เช่น การปรับค่าเกนสูงเกินไป อาจจะทำให้ผลตอบสนองของระบบเกิดการแกว่งตัวได้

2.8.3 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)

การควบคุมแบบอนุพันธ์ จะมีลักษณะการทำงานที่ส่งสัญญาณจากการอนุพันธ์ค่าความผิดพลาด ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ 2.24

$$u(t) = K_p \frac{de(t)}{dt} \quad (2.24)$$

ตัวควบคุมแบบนี้เมื่อนำไปใช้งาน สามารถลดผลของการพุ่งเกินของผลตอบสนองได้ หรือลดผลตอบสนองที่มีการเปลี่ยนแปลงไปมาได้ แต่ต้องทำการปรับเกนให้เหมาะสมด้วย ไม่เช่นนั้นอาจทำให้ผลตอบสนองไม่เป็นตามที่ต้องการ ซึ่งปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเมื่อนำตัวควบคุมนี้ไปใช้งาน คือ ไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาดที่สถานะคงตัวได้ และอาจมีผลทำให้ระบบมีการตอบสนองที่ช้าลง

2.9 ปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

O.Seify., et al. (2014) ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน ซึ่งในบทความมีการออกแบบลักษณะของเซลล์ซีวาร์โนด (Penning Cells) ให้เหมาะสมกับระบบเครื่องเร่งอนุภาคที่ ILSF ซึ่งการออกแบบปั๊มจะขึ้นอยู่กับ แรงดันซีวาร์โนด ขนาดของซีวาร์โนด รูปทรงเรขาคณิตของซีวาร์โนด สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และการออกแบบเซลล์ซีวาร์โนดจะคำนึงถึงความเร็วของการทำความดันซึ่งได้ระบุไว้ 3 ขั้นตอน คือ 1.คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายตัวอยู่ในเซลล์ 2.ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ประมาณค่าระหว่างอิเล็กตรอนและกระแสไอออน 3.วัดความเร็วในการทำความดันจากการประมาณค่าจากกระแสไอออน ค่าอัตราการเกิดสปัตเตอร์ริง และความคลุกคลีของแก๊ส ซึ่งจากการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบได้มีการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์อิเลเมนต์ (Finite Element Method Magnatics) ในการดูผลของการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าแต่ละตำแหน่งของเซลล์ซีวาร์โนดและดูการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในปั๊มสุญญากาศ จากผลการทดสอบอัตราการทำความดันอยู่ที่ 10^{-10} Torr.litter/sec ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มค่าแรงดันที่ซีวาร์โนดผลที่ได้คือ ความเร็วการปั๊มจะสูงขึ้นและความดันก็จะลดลงตามไปด้วย

L.Schulz., et al. (1999) งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงโครงสร้าง หลักการทำงานของปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน กลไกการทำงานปั๊ม อธิบายเทคนิคปั๊มสุญญากาศในการใช้แก๊สเฉื่อยเป็นตัวช่วยในการทำปฏิกิริยากับไอออน รวมไปถึงอธิบายความแตกต่างระหว่างปั๊มที่มีโครงสร้างแบบไดโอดและแบบไตรโอด ขอบเขตที่เหมาะสมกับการใช้งานปั๊มสุญญากาศ รวมไปถึงการออกแบบปั๊ม

สุญญากาศชนิดพิเศษที่เหมาะสมกับงานเฉพาะทางสำหรับระบบเครื่องเร่งอนุภาค และในบทความนี้ได้แนะนำว่าการจะทำความดันสุญญากาศให้ได้ระดับความดันในย่าน 10^{-12} และ 10^{-11} mbar จะต้องใช้งานปั๊มสปีดเตอร์ไอออนร่วมกับ ปั๊มระเหิดไทเทเนียม (Titanium Sublimation Pump) ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ได้ความดันสุญญากาศได้ดีที่สุด และยังบอกอีกว่า ปั๊มสุญญากาศชนิดไดโอดและไตรโอดที่ใช้ ซีวคาโทด เป็นวัสดุ แทนทาลัม จะมีความเหมาะสมกับระบบสุญญากาศที่ใช้งานปั๊มที่มีอัตราการทำความดันที่สูง

ประสพโชค โห้ทองคำ (2551) งานวิจัยได้นำเสนอการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์เจ็ดระดับชนิดแคสเคด ซึ่งในบทความนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบชุดอินเวอร์เตอร์ชนิด H-Bridge 9 ชุด โดยต่อกันในรูปแบบวาย ในระบบ 3 เฟส และต่อวงจรเป็นแบบอนุกรมกัน 3 ชุด ซึ่งการทดลองจะมีการทดสอบในย่านความถี่ที่ 25, 50 และ 75 Hz โดยทำการวัดสัญญาณ PWM ที่เอาต์พุตแต่ละเฟส ซึ่งสัญญาณ PWM ที่ได้ทำการทดลองมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ สัญญาณ PWM แบบฟังก์ชันมอดูเลตแบบคลื่นไซน์ สัญญาณ PWM แบบฟังก์ชันมอดูเลตแบบ Space Vector และสัญญาณ PWM แบบฟังก์ชันการมอดูเลตแบบคลื่นไซน์รวมกันฮาร์มอนิกส์ที่ 3 โดยในการทดลองได้ทดสอบกับโหลดที่เป็นตัวต้านทานและมอเตอร์พร้อมทั้งวัดรูปคลื่นและกระแสโหลด ผลที่ได้จากการวัดรูปคลื่นที่จุดต่าง ๆ พบว่ารูปคลื่นมีความใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์มากกว่ารูปคลื่นเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ 2 ระดับที่ใช้ในปัจจุบัน

ประกวด หงษาชาติ (2555) งานวิจัยได้นำเสนอถึงการพัฒนาเครื่องจ่ายกระแสตรงแบบควบคุมกระแสขนาด 10 แอมป์ ซึ่งในบทความนี้ได้กล่าวถึงการใช่วงจรสวิตซ์ซึ่งแบบบู้กในการลดแรงดัน รวมไปถึงวิธีการออกแบบวงจรในการเลือกใช้อัตวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และไดโอด เพื่อที่จะสามารถสร้างชุดต้นแบบเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแบบควบคุมกระแสได้ 0 - 10 แอมป์ โดยในบทความนี้ได้กล่าวถึงส่วนสำคัญในการทำงานการจ่ายสัญญาณให้กับโหลดได้ตามที่ต้องการ ซึ่งจะใช่วงจร PWM Controller เป็นตัวควบคุม และวงจรมีการป้องกันกระแสไหลย้อนกลับไปยังชุดควบคุมโดยการใช้ Opto Isolator ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณไปขั้วเบสของภาคจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าวงจรที่ออกแบบสามารถที่จะปรับกระแสได้ตามที่ต้องการ และการทำงานของวงจรจะทำงานต่อเนื่องในลักษณะของวงจร Synchronous Buck Converter

บทที่ 3

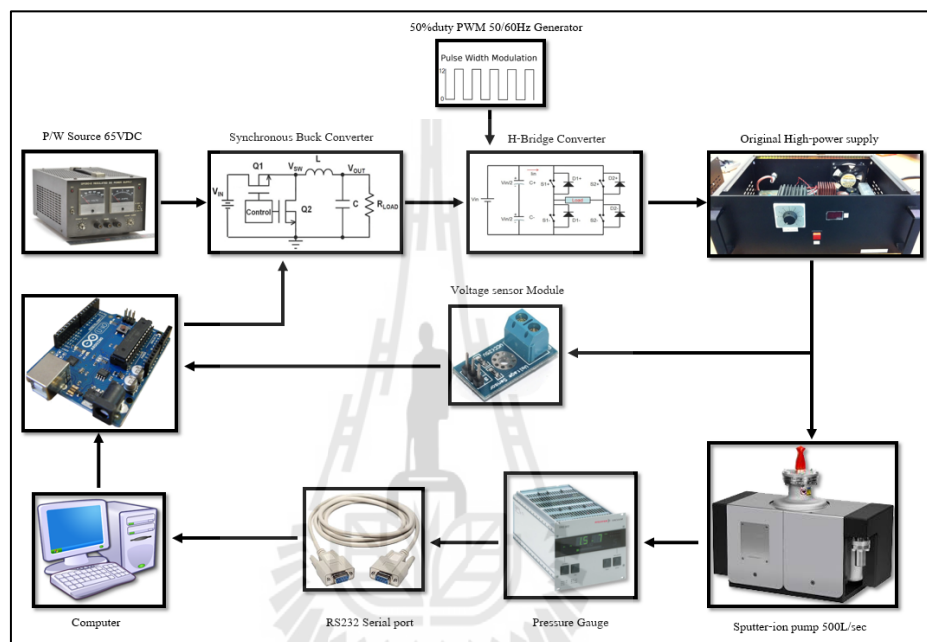
การออกแบบวงจรควบคุมและโปรแกรมอินเทอร์เฟซ

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบวงจรควบคุมและโปรแกรมควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ ซึ่งการออกแบบวงจรควบคุมจะทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยมีการออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่อเนื่อง เพื่อลดแรงดันหรือเพิ่มแรงดันให้ได้ตามที่ต้องการ แต่แรงดันที่ได้จะไม่สูงเกินกว่าแหล่งจ่ายแรงดัน และออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรืออินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อทำการสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าให้มีขนาดของแอมพลิจูดเป็น 2 เท่าของแรงดันอินพุต และมีแรงดันในรูปแบบยอดถึงยอด (Peak to Peak) ส่วนขอบเขตการออกแบบวงจรควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (High-Voltage Power Supply) สามารถควบคุมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ 0 – 5,500 โวลต์ เพื่อทำการควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบขนาด 71 ลิตร ด้วยการทำงานของปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนขนาด 500 ลิตรต่อวินาที สำหรับการออกแบบโปรแกรมควบคุมในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการติดต่อกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และติดต่อชุดอุปกรณ์วัดความดันสุญญากาศ เพื่อทำการประมวลผลต่อไป

3.1 การออกแบบวงจรควบคุม

การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน ใช้แหล่งจ่ายที่มีกำลังไฟฟ้าสูงแต่กระแสต่ำ ตั้งแต่ 3,000 ถึง 7,000 โวลต์ จากบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4 ได้กล่าวไว้ว่าการออกแบบระบบควบคุมชุดปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน (SIP) ต้องมีการสร้างวงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เพื่อทำการสร้างกระแสไฟฟ้าในรูปแบบคลื่นเสมือนไซน์ (Modified Sine Wave) ผ่านไปยังหม้อแปลงเหนี่ยวนำแรงดันให้ทำการเรียงกระแสใหม่ ให้ได้ค่าแรงดันเพิ่มขึ้นในระดับ 3,000 โวลต์ ถึง 7,000 โวลต์ ซึ่งแรงดันที่ได้จากการเรียงกระแสไฟฟ้า เป็นสัญญาณรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับชุดปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน โดยในงานวิจัยนี้มีออกแบบในส่วนของการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออก ด้วยการควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation) หรือการควบคุมรูปคลื่นสัญญาณแบบพัลส์ ที่มีความถี่คงที่ ด้วยการปรับ Duty Cycle หรือปรับความกว้างของพัลส์ จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนของการรับสัญญาณจากภายนอก มีการออกแบบ 2 ส่วน คือ

รับค่าแรงดันไฟฟ้าสูงจากชุดเพาเวอร์ซัพพลาย เพื่อนำมาประมวลผลในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และรับค่าสัญญาณที่เป็นค่าความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ โดยอ่านข้อมูลมาจากอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความดันสุญญากาศ (Cold-Cathode discharge Gauge, CCG) ที่ติดตั้งผ่านการเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม (Serial Interface) ซึ่งกระบวนการออกแบบมีแผนผังการทำงานตามรูปที่ 3.1

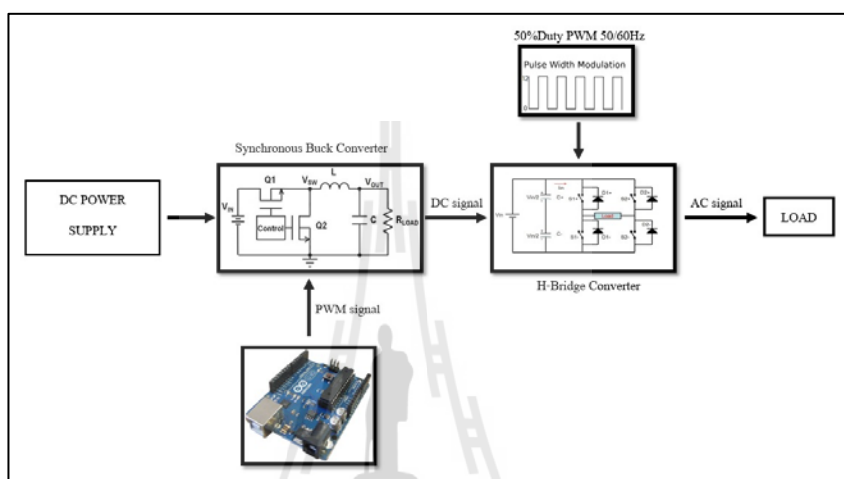


รูปที่ 3.1 แผนผังบล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุม

3.2 วงจรภาคควบคุม

การออกแบบวงจรควบคุมในงานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบวงจรในส่วนของภาคแรงดันต่ำ โดยออกแบบวงจรเพื่อเปลี่ยนแปลงรูปแบบสัญญาณทางไฟฟ้า จากสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับเปลี่ยนแอมพลิจูดได้ตามต้องการ ซึ่งสามารถนำสัญญาณทางไฟฟ้าที่ออกแบบ ไปใช้กับชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบได้ โดยขั้นตอนของการสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ปรับเปลี่ยนค่าได้ เริ่มจากการสร้างวงจรลดทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่อเนื่อง (Synchronous buck converter) โดยการควบคุมสัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตของวงจรนี้ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการแต่ไม่เกินค่าแรงดันไฟฟ้าจากชุด DC-Power Supply เมื่อได้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ที่ต้องการแล้ว ต้องสร้างวงจรอีกชุดเพื่อทำการปรับแต่ง

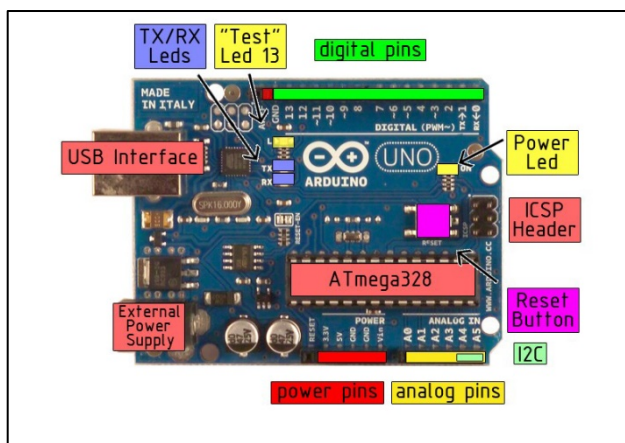
สัญญาณอินพุตที่เข้ามา เพื่อสร้างเป็นสัญญาณที่มีลักษณะคล้ายสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Modified Sine Wave) ซึ่งใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับหรืออินเวอร์เตอร์ในการปรับแต่งสัญญาณทางไฟฟ้าโดยสัญญาณที่ได้จากวงจรเป็นรูปแบบที่มีความกว้างของสัญญาณเป็น 50 %Duty cycle และมีแอมพลิจูดเป็น 2 เท่าของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงอินพุตที่เข้ามา ดังแสดงแผนผังการออกแบบตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังบล็อกไดอะแกรมวงจรควบคุมภาคแรงดันต่ำ

3.2.1 การสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse Width Modulation)

สัญญาณพัลส์ คือ สัญญาณที่มีรูปแบบเป็นคาบหรือความถี่คงที่ แต่มีการปรับความกว้างของพัลส์หรือช่วงเวลา ON ได้อย่างอิสระ โดยสัญญาณพัลส์ เป็นที่นิยมนำมาใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ปรับความเร็วมอเตอร์ดีซี ความสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยจะใช้สัญญาณพัลส์ที่มาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR คือบอร์ดอาร์ดูโน้ (Arduino) ที่มีรายละเอียดและคุณสมบัติดังนี้



รูปที่ 3.3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO-R3

(ที่มา Website: <http://elec2web.blogspot.com/2016/04/blog-post.html>)

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO-R3

(ที่มา Website: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno#techspecs>)

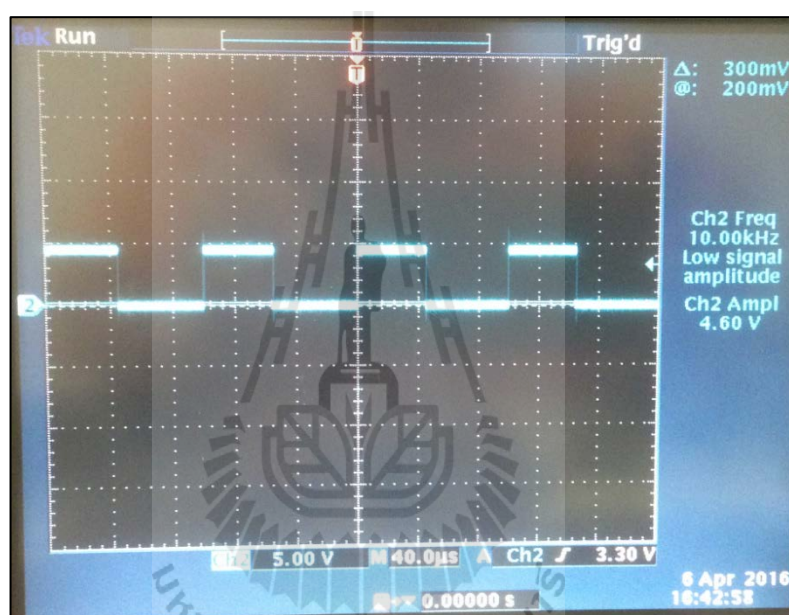
ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
แหล่งจ่ายไฟ	5 V
ไฟเข้า	6 – 20 V
ขาดิจิตอล I/O	14 ขา (6 ขา รองรับ PWM)
ขานาล็อกอินพุต	6 ขา
กระแสไฟฟ้าขาออก สำหรับ 3.3 โวลต์	40 mA
Flash Memory	32 kB
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB
Clock Speed	16 MHz

จากตารางที่ 3.1 พบว่าสัญญาณพัลส์ ขาออกสามารถใช้งานได้ทั้ง 6 ขา ประกอบด้วยขาที่ 3, 5, 6, 9, 10 และ 11 ซึ่งในงานวิจัยใช้สัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ขา pin3 โดยขา pin3 เป็นสัญญาณของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ทามเมอร์ (Timer) ที่ 2 ที่มีค่าความถี่

พื้นฐานอยู่ที่ 31.2 kHz และสัญญาณพัลส์ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มีความละเอียดอยู่ที่ 8 บิต ซึ่งสามารถปรับความละเอียดของสัญญาณพัลส์ได้ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Step Size} = 2^n \quad (3.1)$$

ดังนั้นจำนวน Step Size ที่สามารถปรับสัญญาณพัลส์ได้ อยู่ที่ 0 – 255 หน่วย และสามารถควบคุมสัญญาณพัลส์ได้ดังกราฟรูปที่ 3.4 เมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณพัลส์อยู่ที่ 5 โวลต์

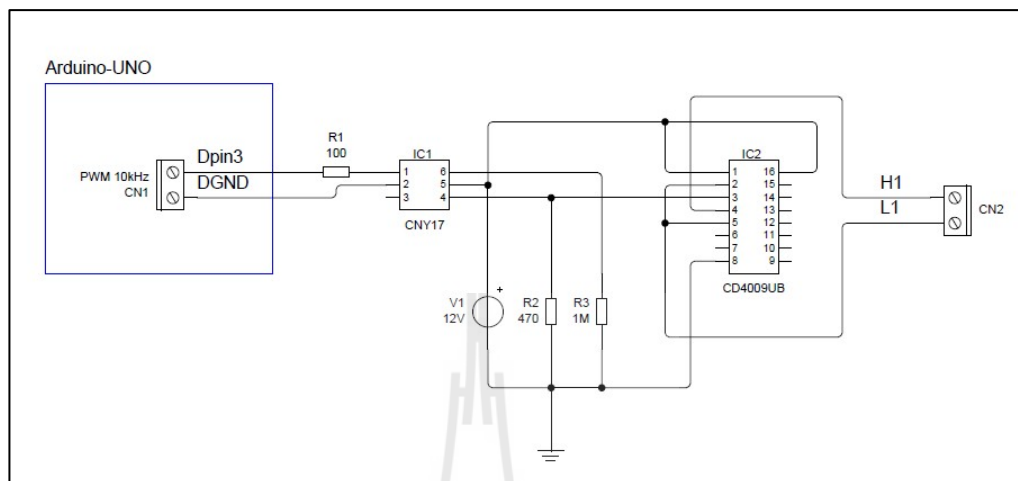


รูปที่ 3.4 แรงดันขาออก ที่ความถี่ 10 kHz

ในส่วนของการสร้างสัญญาณพัลส์จะใช้ความถี่คงที่ 10 kHz ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับ การออกแบบวงจรลดแรงดันที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.2 สำหรับการออกแบบวงจรลดแรงดันต้องมีการ ใช้สัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ที่สูงเพื่อลดขนาดของตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ให้มีค่าน้อยที่สุด และในส่วนองวิธีการสร้างสัญญาณพัลส์ ความถี่ 10 kHz จากบอร์ดอาร์ดูโน้ (Arduino) จะกล่าว ในส่วนของ ภาคผนวก ก ต่อไป

ในการควบคุมสัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มีการใช้อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำการแยกกราวด์ระหว่าง บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดวงจรลดแรงดัน เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับเข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้เกิดความเสียหายกับ บอร์ดทดลอง หรืออาจส่งผลให้คอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน เกิดความเสียหายตามไปด้วย ซึ่งอุปกรณ์

อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานคือ OPTO Isolated เบอร์ CNY17 ของบริษัท VISHAY Semiconductors โดยวงจรที่ออกแบบนั้นแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมสัญญาณพัลส์

3.2.2 การออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดลดทอนแรงดัน

ในวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดลดทอนแรงดันจะใช้วงจรซิงโครนัสบั๊กจำนวน 1 ชุด เพื่อทำหน้าที่แปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงที่มีแรงดันต่ำลงหรือสูงขึ้นตามต้องการ โดยวงจรมีลักษณะโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ชื่อว่า มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้มอสเฟตเบอร์ IRPF460 ชนิด n-channel ของบริษัท International Rectifier จำนวน 2 ตัว และขอบเขตในงานวิจัยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบการทดลองต่าง ๆ ดังนี้

แรงดันขาเข้าไม่เกิน 65 โวลต์

ความต่อเนื่องของกระแสไม่เกินกว่า 0.016 A

การกระเพื่อมของแรงดันไม่เกินกว่า 10 mV

สำหรับการออกแบบวงจรลดแรงดันมีการคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำเพื่อให้กระแสมีความต่อเนื่อง และตัวเก็บประจุเพื่อให้แรงดันขาออกมีการกระเพื่อมไม่เกินค่าที่กำหนด ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

1) การออกแบบตัวเหนี่ยวนำที่ทำให้กระแสต่อเนื่อง

จากสมการที่ (2.5)

$$V_o = DV_s$$

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

จากสมการที่ (2.6)

$$I_o = \frac{V_o}{R_L}$$

$$R_L = \frac{V_o}{I_o}$$

จากสมการที่ (2.9) เมื่อต้องการหาค่าขดลวดเหนี่ยวนำต่ำสุด ($I_{\min} = 0$) จะได้

$$I_{\min} = 0 = I_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_L = \frac{\Delta i_L}{2}$$

และจากสมการ (2.12)

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R_L}{2f}$$

นำสมการที่ (2.5), (2.6) และ (2.9) แทนในสมการที่ (2.12) จะได้

$$L_{\min} = \frac{(1 - \frac{V_o}{V_s}) \frac{V_o}{(\Delta i_L / 2)}}{2f}$$

ดังนั้น

$$L_{\min} = \frac{(V_s - V_o)V_o}{fV_s\Delta i_L} \quad (3.2)$$

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

แรงดันขาเข้า $V_s = 65$ โวลต์

แรงดันขาออก $V_o = 50$ โวลต์

ความถี่สวิตช์สัญญาณพัลส์ $f = 10$ kHz

ความต่อเนื่องของกระแสที่ต้องการ $\Delta i_L = 0.025$ A

จากสมการที่ (3.2) เมื่อแรงดันขาออกที่ต้องการอยู่ที่ 65 โวลต์ ดังนั้นต้องคำนวณแรงดันขาออกที่มีผลต่อความราบเรียบของกระแสมากที่สุด ซึ่งเท่ากับ 50 % ของแรงดันขาออกที่ 32.5 โวลต์ เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ในสมการจะได้

$$L_{\min} = \frac{(65 - 32.5)32.5}{(10,000)(65)(0.025)} = 65mH$$

ดังนั้น เลือกใช้งานขดลวดเหนี่ยวนำที่มีขนาด 80 mH

2) การออกแบบตัวเก็บประจุที่ลดการกระเพื่อมของแรงดัน

จากสมการที่ (2.16)

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C}$$

$$\Delta Q = C \Delta V_o$$

จากสมการที่ (2.17) หา ΔQ จากพื้นที่แรเงารูปภาพที่ 2.11(ก)

$$\Delta Q = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{\Delta i_L}{2}\right)\left(\frac{T}{2}\right) \quad \text{เมื่อ } T = \frac{1}{f}$$

$$\Delta Q = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{\Delta i_L}{2}\right)\left(\frac{1}{2f}\right) = \frac{\Delta i_L}{8f}$$

จาก $\Delta Q = C \Delta V_o$ จะได้

$$C \Delta V_o = \frac{\Delta i_L}{8f}$$

ดังนั้น

$$C = \frac{\Delta i_L}{8f \Delta V_o} \quad (3.3)$$

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

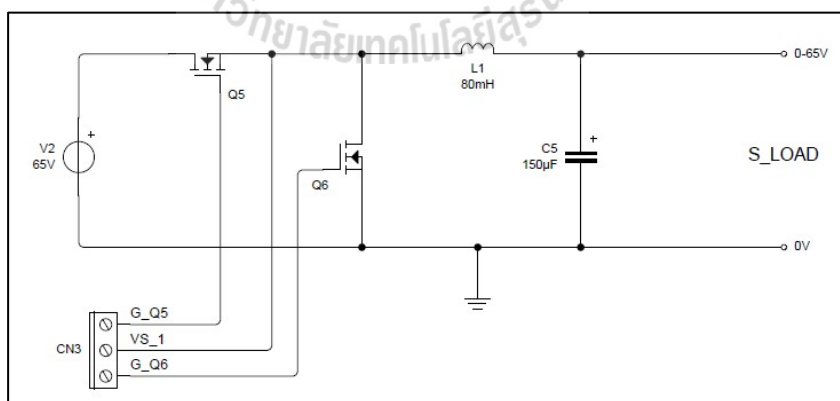
$$\begin{aligned} \text{ความถี่สวิตช์สัญญาณพัลส์} \quad f &= 10 \text{ kHz} \\ \text{ความต่อเนื่องของกระแสที่ต้องการ} \quad \Delta i_L &= 0.025 \text{ A} \\ \text{แรงดันขาออกกระแสเพื่อไม่เกินไป} \quad \Delta V_o &= 10 \text{ mV} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (3.3) เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ในสมการจะได้

$$C = \frac{0.025}{8(10,000)(0.05)} = 62.5 \mu\text{F}$$

ดังนั้น เลือกใช้งานตัวเก็บประจุที่มีขนาด $150 \mu\text{F}$

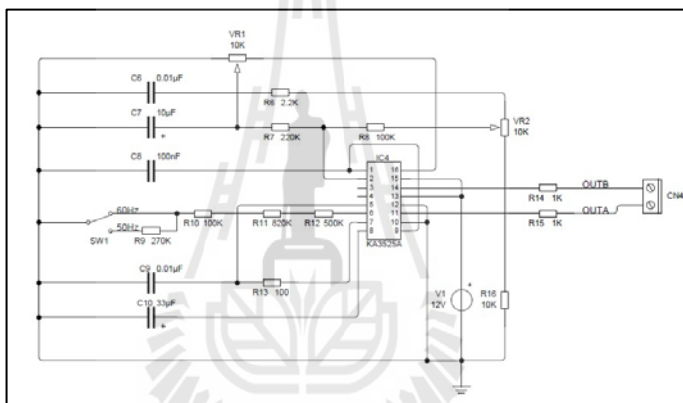
การออกแบบวงจรลดแรงดันแบบซิงโครนัสบั๊ก จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ชื่อว่า Power MOSFET ชนิด n-channel ในการทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ซึ่งชนิด n-channel จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่มีลักษณะเป็นแบบปกติเปิด (Normally Open) และในการควบคุมมอสเฟต จำเป็นต้องมีชุดวงจรที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อน (Gate) ของมอสเฟต ให้ทำงานตามสัญญาณพัลส์ที่เข้ามา ซึ่งในงานวิจัยเลือกใช้ IC เบอร์ IR2110 ของบริษัท International Rectifier ทำหน้าที่ขับเคลื่อนจำนวน 2 ตัว โดยวงจรที่ออกแบบนั้น แสดงดังรูปที่ 3.6



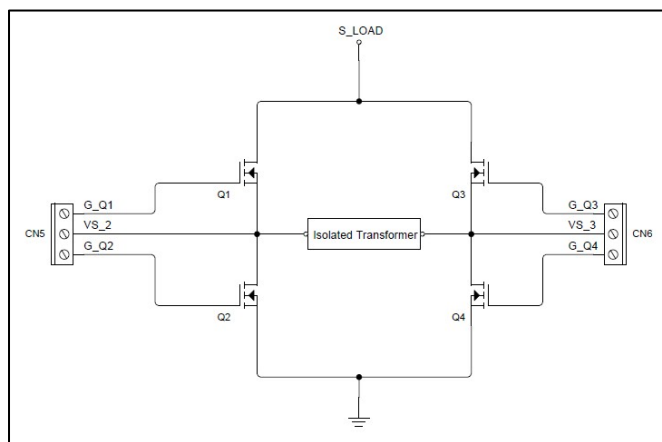
รูปที่ 3.6 วงจรซิงโครนัสบั๊กที่ควบคุมผ่าน IC เบอร์ IR2110

3.2.3 การออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบฟูลบริดจ์

การออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีค่าแอมพลิจูดได้ทั้งฝั่งบวกและฝั่งลบ เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะคล้ายสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ซึ่งในการออกแบบวงจรมีการออกแบบ 2 ส่วน คือ วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 50/60 Hz และ วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ที่ใช้ไอซีเบอร์เดียวกันกับวงจรซิงโครนัสบีก จำนวน 2 ชุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วงจรที่สร้างสัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ IC เบอร์ KA3525A ของบริษัท FAIRCHILD Semiconductor ที่ออกแบบวงจรให้สามารถปรับความถี่ 50/60 Hz เพื่อนำไปใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกกราวด์ (Isolated Transformer) ของชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบ โดยวงจรที่ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8



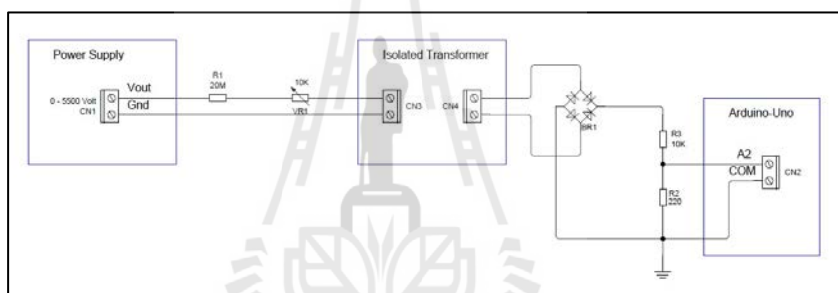
รูปที่ 3.7 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ 50 Hz และ 60 Hz



รูปที่ 3.8 วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ที่ควบคุมผ่าน IC เบอร์ IR2110

3.2.4 การออกแบบวงจรอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าสูงจากชุดเพาเวอร์ซัพพลาย

การออกแบบวงจรไฟฟ้าเพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้าสูงจากชุดเพาเวอร์ซัพพลายที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออก 0 – 5,500 โวลต์ เข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องมีการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าแรงดันสูงให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณอนาล็อก เนื่องจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานมีพอร์ตที่รองรับสัญญาณในรูปแบบอนาล็อก ที่มีขนาดข้อมูล 10 บิต และแรงดันอยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 5 โวลต์ ซึ่งการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าใช้วิธีการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) และใช้หม้อแปลงแยกกราวด์เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ พร้อมทั้งแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นแบ่งแรงดันอีกครั้งเพื่อให้สัญญาณที่ได้มีขอบเขตของแอมพลิจูดอยู่ระหว่าง 0 – 5 โวลต์ เพื่อป้องกันไม่ให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานเกิดความเสียหาย ซึ่งวงจรที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าสูงจากชุดเพาเวอร์ซัพพลาย

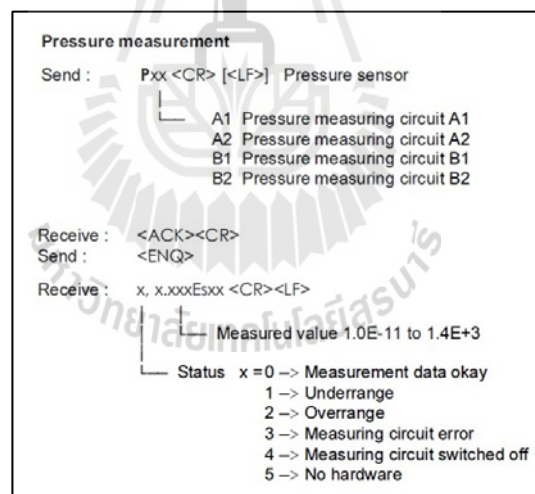
3.2.5 การอ่านค่าความดันสุญญากาศ

การอ่านค่าความดันสุญญากาศในขณะทดสอบ ต้องมีการติดเซนเซอร์วัดความดันและอุปกรณ์อ่านค่าความดัน โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับความดันสุญญากาศในระดับ 1.0×10^{-3} ถึง 1.0×10^{-12} ทอร์ ซึ่งในงานวิจัยได้เลือกใช้ เซนเซอร์วัดความดันสุญญากาศ CCG gauge (Cold-Cathode Discharge Gauge) ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เซนเซอร์ และ อุปกรณ์อ่านค่าความดันสุญญากาศ

สำหรับการอ่านค่าข้อมูลความดันจากชุดอุปกรณ์ งานวิจัยนี้ใช้การอ่านข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อทางพอร์ตอนุกรม (RS232-Serial Interface) โดยส่งชุดข้อมูลแต่ละบิตจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์วัดความดันเพื่อให้มีการส่งข้อมูลความดันกลับมา ซึ่งการส่งผ่านข้อมูลพัฒนาโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการเขียน โค้ด (CODE) คำสั่ง ซึ่งชุดคำสั่งในการติดต่อกับชุดอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ชุดคำสั่งสำหรับการอ่านค่าความดันจากอุปกรณ์

3.3 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ชิพไอซีพิเศษชนิดหนึ่ง ที่สามารถรับข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลเพื่อทำการประมวลผล และสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานได้ตามที่ต้องการ ซึ่งชิพ (Chip) ภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยความจำ พอร์ตเชื่อมต่อ อยู่ในชิพตัวเดียวกัน อาจเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิพเดียว ซึ่งโครงสร้างทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

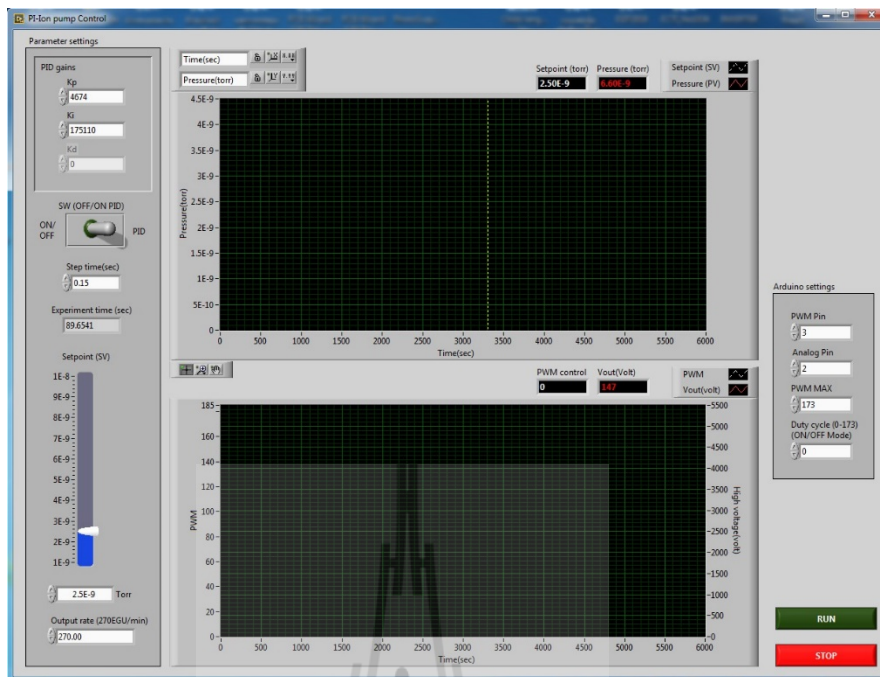
- 1) หน่วยประมวลผลกลาง หรือ ซีพียู (CPU: Central Processing Unit)
- 2) หน่วยความจำ สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำถาวร (ROM) และหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) โดยหน่วยความจำถาวรเปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์คือข้อมูลใด ๆ ที่ถูกเก็บไว้จะไม่สูญหายถึงแม้ไม่มีไฟเลี้ยง ส่วนหน่วยความจำชั่วคราวเปรียบเสมือนเป็นกระดาดชดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยงจ่ายไว้ ข้อมูลก็จะหายไป

ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และ EEPROM (Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

- 3) ส่วนของการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือ พอร์ต (PORT) มี 2 แบบ คือ พอร์ตอินพุต และ พอร์ตเอาต์พุต โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเช่นกัน เพื่อนำไปประมวลผล และส่งต่อไปยังพอร์ตเอาต์พุตที่แสดงผล เช่น การกระพริบของหลอดไฟ เป็นต้น
- 4) ช่องทางการเดินของสัญญาณ หรือ BUS คือ เส้นทางของการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งการส่งสัญญาณข้อมูลจำนวนมากที่อยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แบ่งเป็น บัสข้อมูล (Data Bus) บัสที่อยู่ (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)
- 5) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Timer) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะ หากสัญญาณมีความถี่ที่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้รวดเร็ว และประมวลผลสูงตามไปด้วย

3.4 การออกแบบโปรแกรมอินเทอร์เฟซ

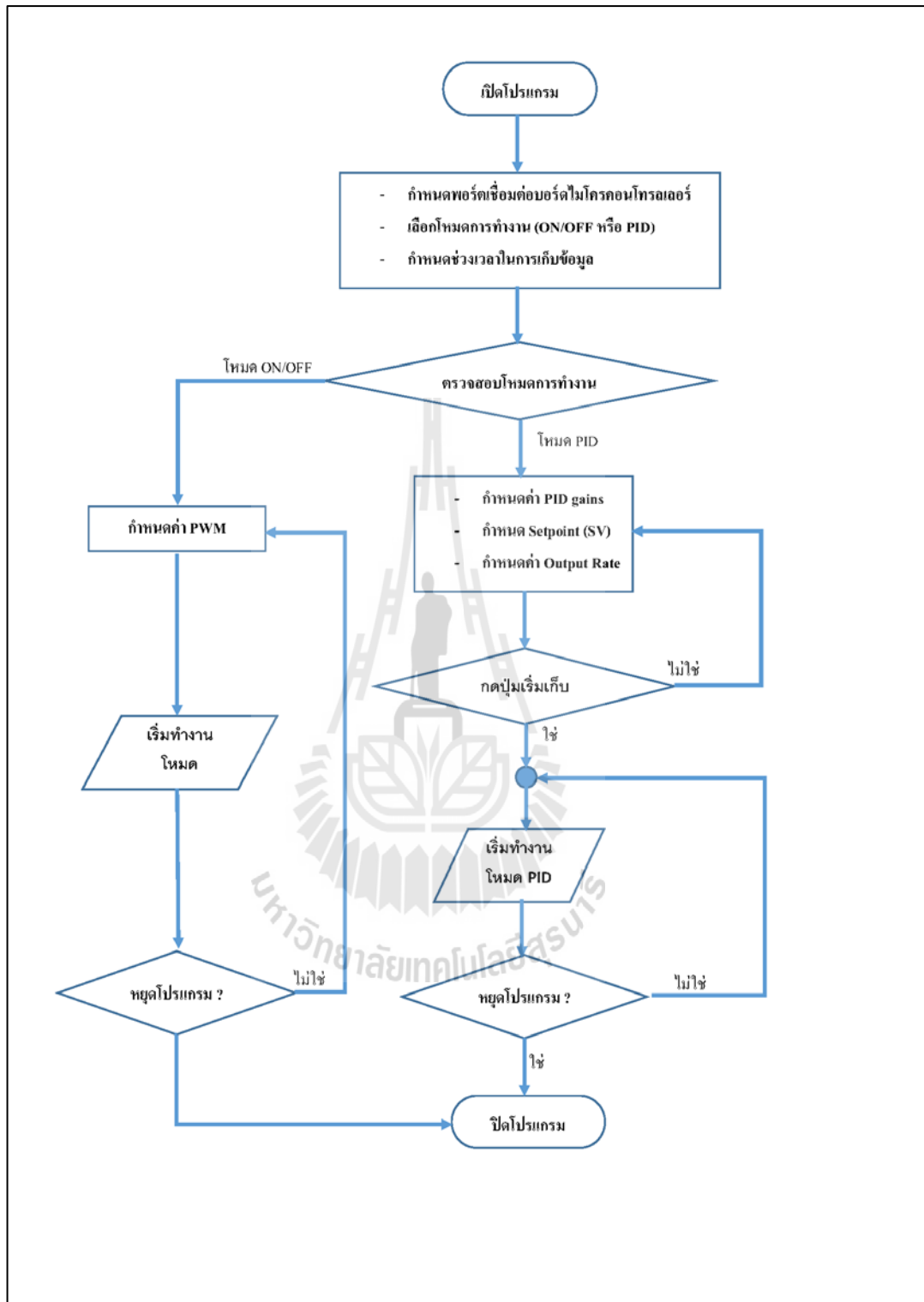
เมื่อทำการออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และออกแบบวงจรภาคแรงดันต่ำ พร้อมทั้งติดตั้งตัวเซนเซอร์วัดความดันสัญญาณและออกแบบการรับค่าสัญญาณภายนอก เช่น การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าสูงจากเพาเวอร์ซัพพลาย และการอ่านค่าความดันจากภาชนะทดสอบ ต่อไปเป็นการออกแบบโปรแกรมควบคุม ซึ่งในงานวิจัยใช้โปรแกรม LabVIEW เวอร์ชัน 2014 ในการพัฒนาระบบ โดยโปรแกรม LabVIEW มีการออกแบบหน้าต่างการใช้งาน (Front Panel) ดังรูปที่ 3.12 และมีขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมควบคุม สำหรับการติดต่อชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนี้



รูปที่ 3.12 หน้าต่างการใช้งานโปรแกรม LabVIEW

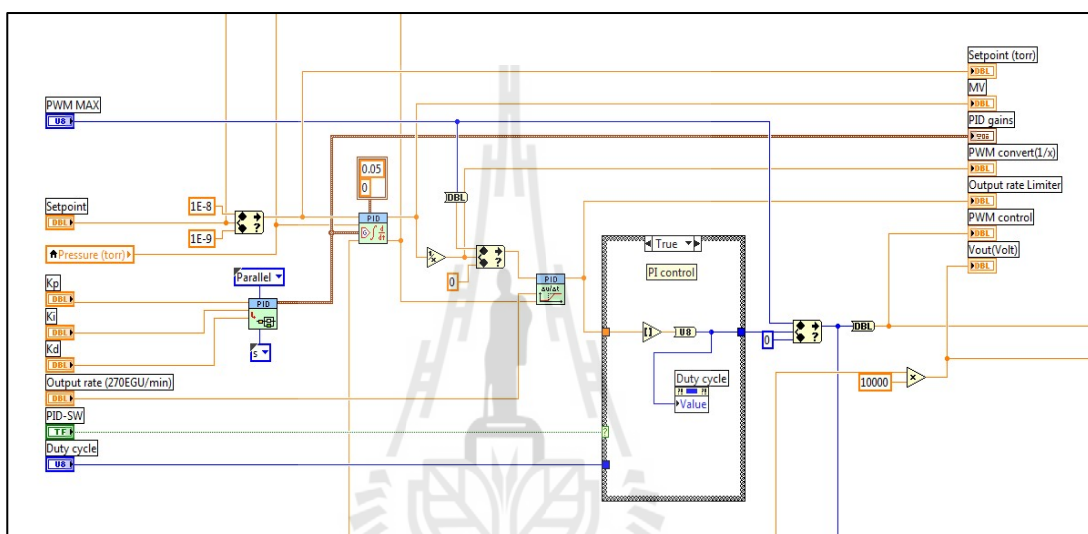
การออกแบบโปรแกรม LabVIEW เพื่อติดต่อชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และติดต่อชุดอุปกรณ์วัดความดัน มีการออกแบบ 2 ส่วนคือ การออกแบบหน้าต่างโปรแกรมเพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจกับระบบ (User Interface) และการออกแบบโปรแกรมย่อย (Sub-VI) หรือ Source code ให้ผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถแก้ไขได้ง่าย เมื่อโปรแกรมมีปัญหาในอนาคต

การออกแบบโปรแกรมย่อย (Sub-VI) ในโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุมชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ และ อ่านค่าความดันจากอุปกรณ์ภายนอก มีการเขียนคำสั่งลำดับการทำงาน ดังรูปที่ 3.13 โดยโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนามีการเขียนโปรแกรมที่แยกโมดูลแต่ละส่วนของอุปกรณ์ เพื่อง่ายต่อการแก้ไขข้อผิดพลาดในอนาคต โดยมีการพัฒนาชุดคำสั่งที่เขียนด้วยโปรแกรม LabVIEW 3 ส่วน ดังต่อไปนี้



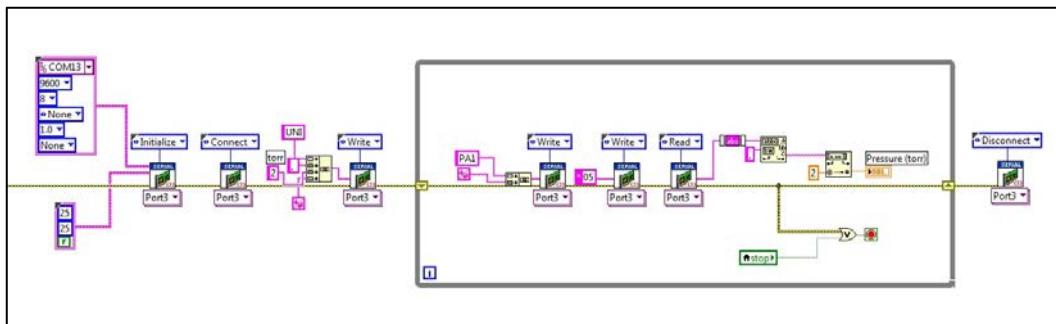
รูปที่ 3.13 ลำดับการทำงานของโปรแกรมควบคุม

ส่วนที่ 1 คือส่วนของการออกแบบโค้ด โปรแกรมที่ทำการควบคุมแบบ ON/OFF หรือควบคุมแบบ PID ซึ่งในส่วนของโปรแกรม LabVIEW มี Tools ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองและออกแบบระบบควบคุม ซึ่งจะเลือกใช้ในส่วนของ Sub-VI ที่ชื่อว่า PID.vi, PID Structure Conversion.vi และ PID Output rate Limiter.vi ซึ่งแต่ละ โมดูลต้องมีการป้อนค่า พารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น PID gains , Setpoint, Process variable, Step time เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างการเขียนดังรูปที่ 3.14



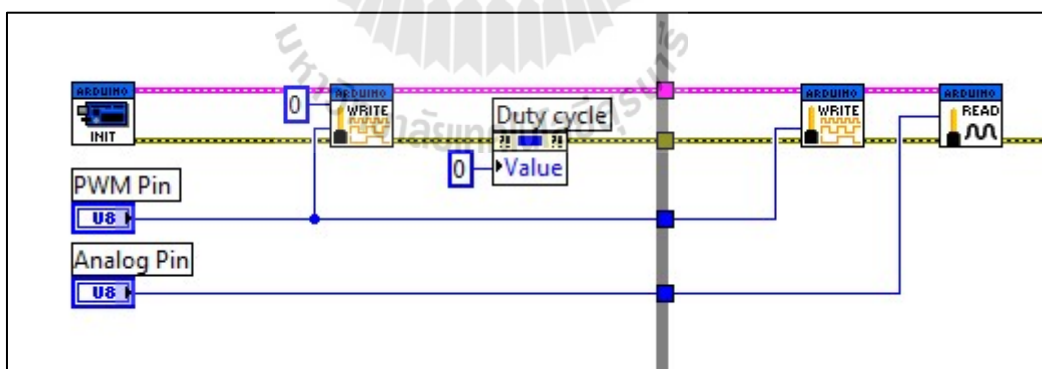
รูปที่ 3.14 การเขียนโปรแกรมควบคุมแบบพีไอดี

ส่วนที่ 2 คือส่วนของการออกแบบโค้ด โปรแกรมที่ทำการอ่านค่าความดันจากอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งวิธีการเขียนโปรแกรมจะเขียนในลักษณะของโมดูลแต่ละอุปกรณ์ ประกอบด้วย โมดูลสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม (RS232 Serial Interface) ที่ต้องกำหนดค่า Com port, baud rate, data bit, parity, stop bit และ flow control เป็นต้น นอกจากนี้ก็จะมีการสร้าง โมดูลการส่งคำสั่ง, โมดูลอ่านคำสั่ง และ โมดูลการยกเลิกการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ ดังแสดงตัวอย่างการเขียนดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การเขียนโปรแกรมอ่านค่าความดันจากอุปกรณ์ภายนอก

ส่วนที่ 3 คือส่วนของการออกแบบโค้ดโปรแกรมที่ทำการควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งวิธีการเขียนโปรแกรมเขียนในลักษณะของโมดูลแต่ละอุปกรณ์ โดยที่โมดูลควบคุมจะต้องมีการติดตั้งเพิ่มเติมจากโปรแกรม LabVIEW Interface for Arduino (LIFA) ซึ่งเป็นโปรแกรมกลางที่เชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม LabVIEW และบอร์ดอาร์ดูโน้ โดยขั้นตอนการลงโปรแกรม LIFA ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW จะกล่าวในส่วนของภาคผนวก ข ซึ่งตัวอย่างการเขียนโปรแกรมต้องมีการกำหนดค่า Pin ของช่องสัญญาณพัลส์ที่ใช้งาน และกำหนด ช่องของสัญญาณอนาล็อกที่ได้รับเข้ามา ดังแสดงรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การเขียนโปรแกรมควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการออกแบบวงจรไฟฟ้าในส่วนของภาคแรงดันต่ำ เช่น การออกแบบวงจรลดแรงดันได้ตามที่ต้องการ การเปลี่ยนแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณรูปคลื่นไซน์ เป็นต้น โดยผลจากการออกแบบ ทำให้วงจรที่สามารถสร้างสัญญาณให้เข้ากับชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบได้ โดยที่ไม่ต้องสร้างชุดเพาเวอร์ซัพพลายตัวใหม่ นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งชุดหม้อแปลงแยกกราวด์ 2 ส่วน คือ ส่วนควบคุม และส่วนของการรับสัญญาณไฟฟ้าขาออก เพื่อแยกระบบออกจากส่วนของชุดเพาเวอร์ซัพพลายที่มีแรงดันสูงและมีกระแสไหลย้อนกลับ ทำให้มีการป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ได้



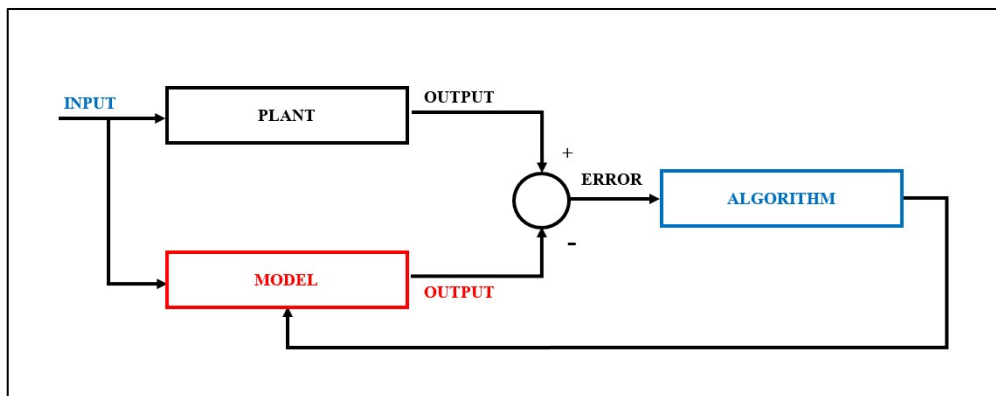
บทที่ 4

การออกแบบตัวควบคุมและการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในบทนี้แสดงถึงการออกแบบตัวควบคุม และการจำลองระบบของการควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ ซึ่งการจำลองระบบจะพิจารณาแบบ ระบบควบคุมวงปิดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Controller) สำหรับการออกแบบตัวควบคุม จะต้องทำการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมที่ต้องการ โดยในงานวิจัยนี้ จะทำการหาค่าพารามิเตอร์จากการระบุเอกลักษณ์ของระบบ 2 ส่วน คือ ระบุเอกลักษณ์ส่วนของชุดควบคุมเพาเวอร์ซัพพลายไฟฟ้าแรงดันสูง (High-Voltage Power Supply) โดยพิจารณาจากผลการตอบสนองของระบบควบคุมอันดับ 1 (First-Order System) และระบุเอกลักษณ์ส่วนของชุดอุปกรณ์ทำความดันสุญญากาศโดยพิจารณาจากผลการตอบสนองของระบบควบคุมอันดับ 2 (Second-Order System) ในส่วนของการจำลองระบบจะทำการทดสอบความสามารถของตัวควบคุมในกรณีที่สำคัญอย่างอิงความดันสุญญากาศคงที่ และกรณีที่สำคัญอย่างอิงความดันสุญญากาศมีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบขั้นบันได

4.1 การระบุเอกลักษณ์

การระบุเอกลักษณ์ (System Identification) เป็นกระบวนการคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบพลวัตที่สนใจโดยอาศัยข้อมูลสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบที่ได้จากการทดสอบ โดยทั่วไปการทดสอบระบบเพื่อระบุเอกลักษณ์จะใช้ผลการตอบสนองของระบบที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เปรียบเทียบกับผลการตอบสนองของระบบจริง และทำการปรับปรุงพารามิเตอร์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จนกระทั่งให้ผลตอบสนองแบบเดียวกับระบบจริง โดยแบบจำลองที่ได้ทำการระบุเอกลักษณ์จะรู้จักกันในนามของ “แบบจำลองกล่องดำ (Black-box model)” ซึ่งจะอธิบายพฤติกรรมทางพลวัตของระบบ แต่ค่าพารามิเตอร์ที่ปรากฏในแบบจำลองจะไม่มี ความหมายทางฟิสิกส์ ซึ่งการระบุเอกลักษณ์ของระบบในงานวิจัย จะใช้การระบุเอกลักษณ์ของระบบ โดยการใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าตัวแปร (Parameter Estimation) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่ง ที่ได้รับความนิยม และนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งหลักการทำงานของ การระบุเอกลักษณ์ของระบบจะอาศัยการเปรียบเทียบจากผลการตอบสนองของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กับผลการตอบสนองของระบบจริง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังการระบุเอกลักษณ์ของระบบโดยการประมาณค่าตัวแปร

การระบุเอกลักษณ์ของระบบ จากแผนภาพรูปที่ 4.1 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบจากการทดสอบจริง (Plant) และผลการตอบสนองของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model) จะได้ผลต่างระหว่างผลตอบสนองของระบบมีค่าความคลาดเคลื่อนผ่านอัลกอริทึมเพื่อปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยจะใช้อัลกอริทึมแบบ Gradient Descent ในการประมาณหาค่าตัวแปรที่ต้องการ ซึ่งวิธีการประมาณค่าแบบ Gradient Descent Algorithm เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับฟังก์ชัน หรือ Cost Function โดยการวนหาค่าที่ทำให้ Cost ต่ำสุด จากการคำนวณ slope ณ จุดที่เราต้องการคำนวณ โดยเทียบจากจุดเริ่มต้น ทำให้สามารถช่วยปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จนมีผลตอบสนองใกล้เคียงกับระบบจริงมากที่สุด ซึ่งการประมาณค่าตัวแปร จะกล่าวในส่วนของ ภาคผนวก ค และการระบุเอกลักษณ์ของระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การระบุเอกลักษณ์ของชุดควบคุมเพาเวอร์ซัพพลาย

การประมาณค่าตัวแปรของชุดควบคุมเพาเวอร์ซัพพลาย จะมีผลการตอบสนองของระบบ ที่มีลักษณะรูปแบบเป็นระบบควบคุมอันดับ 1 (First-Order System) ซึ่งสามารถกำหนดตัวแปรที่จะทำการระบุเอกลักษณ์ได้ดังสมการที่ 4.1

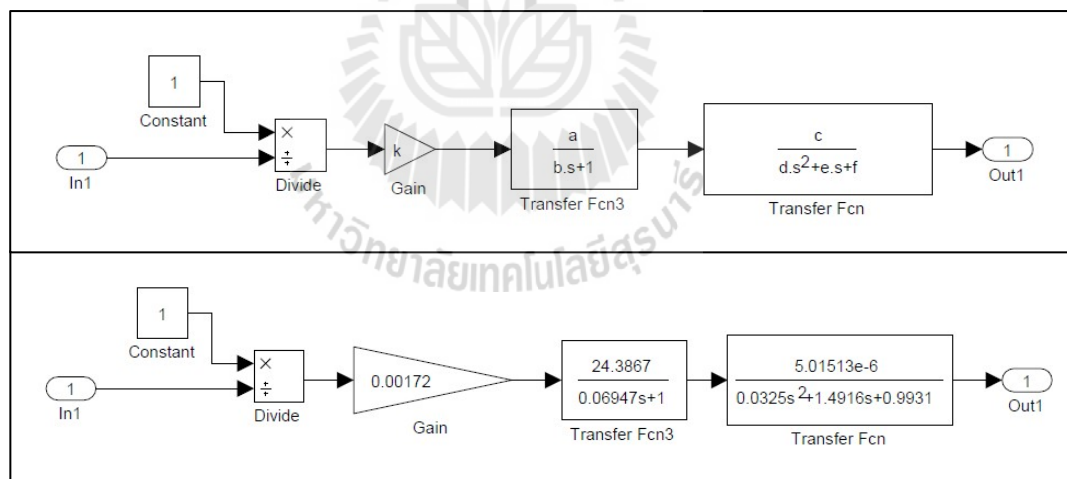
$$G_1(s) = \frac{a}{bs + 1} \quad (4.1)$$

4.1.2 การระบุเอกลักษณ์ของชุดปั๊มสุญญากาศชนิด ไอออน

การประมาณค่าตัวแปรของปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนขนาด 500 ลิตรต่อวินาที จะมีผลการตอบสนองของระบบ ที่มีลักษณะรูปแบบเป็นระบบควบคุมอันดับ 2 (Second-Order System) ซึ่งสามารถกำหนดตัวแปรที่จะทำการระบุเอกลักษณ์ได้ดังสมการที่ 4.2

$$G_2(s) = \frac{c}{ds^2 + es + f} \quad (4.2)$$

จากการกำหนดตัวแปรทั้ง 2 แบบตามสมการที่ 4.1 และ 4.2 ของระบบควบคุมความดันสุญญากาศ สามารถที่จะนำไปทำการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดได้ ซึ่งการระบุเอกลักษณ์ของงานวิจัยจะทำการระบุเอกลักษณ์จากผลการทดสอบจริงทั้งหมด 3 การทดลอง แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรแต่ละตัวที่กำหนด ซึ่งก็จะทำให้การระบุเอกลักษณ์มีการประมาณที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด โดยแผนภาพการจำลองระบบแสดงดังรูปที่ 4.2 และผลจากการประมาณค่าตัวแปรแสดงดังตารางที่ 4.1

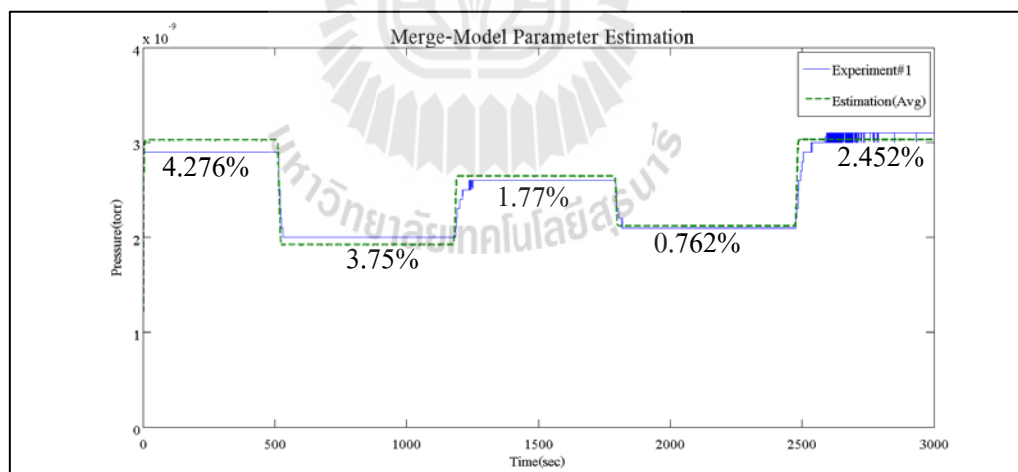


รูปที่ 4.2 แผนภาพแบบจำลองการใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

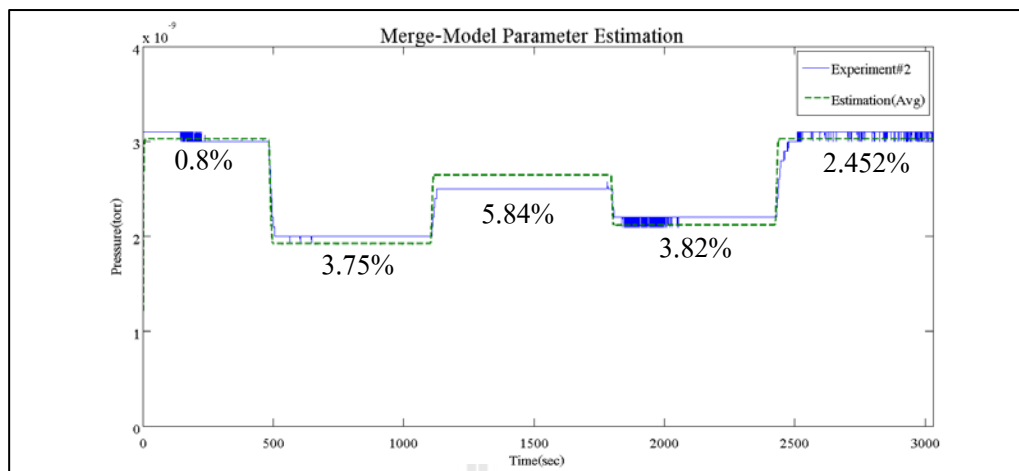
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุเอกลักษณ์

Variable	Parameter Estimation			
	Exp1	Exp2	Exp3	Average
k	0.0017386	0.0017105	0.0017158	0.001721633
a	24.263	24.469	24.428	24.38666667
b	0.064156	0.081748	0.062506	0.06947
c	4.9445E-06	5.0331E-06	5.0678E-06	5.01513E-06
d	0.031369	0.049688	0.016576	0.032544333
e	1.5588	1.2889	1.6271	1.4916
f	0.9934	0.99385	0.99197	0.993073333

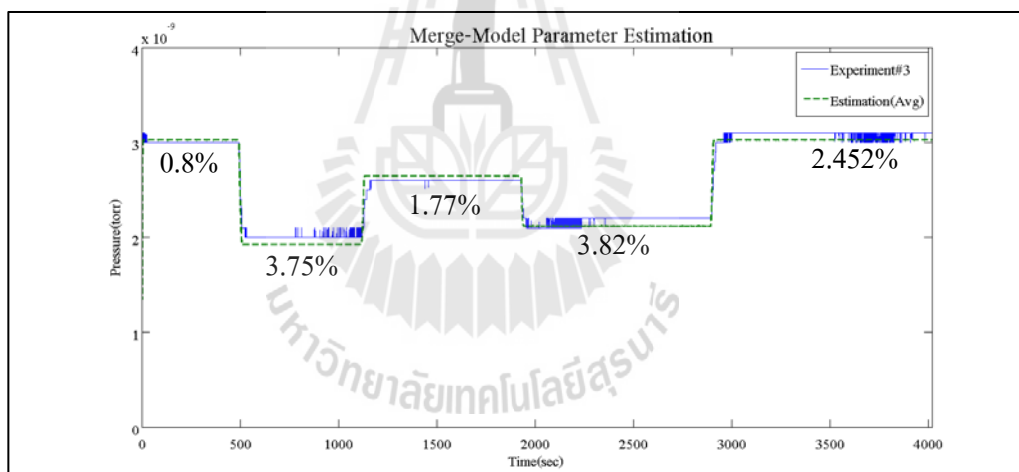
เมื่อได้ระบุเอกลักษณ์ของระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ ในรูปแบบของการจำลองทางคณิตศาสตร์ และเมื่อนำแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงจะมีความคลาดเคลื่อนดังกราฟรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
กับการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
กับการทดลองครั้งที่ 3

4.2 การออกแบบตัวควบคุมพีไอ

การควบคุมแบบพีไอ จะเป็นตัวควบคุมที่มีลักษณะการทำงานร่วมกันของตัวควบคุมแบบสัดส่วนและตัวควบคุมแบบปริพันธ์ ซึ่งจะสามารถเขียน ได้ดังสมการที่ 4.3

$$u(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt) \quad (4.3)$$

เมื่อนำสมการที่ (4.3) ไปทำการแปลงลาปลาซ (The Laplace Transformation) จะสามารถเขียนได้
ดังสมการที่ 4.4

$$U(s) = \left(\frac{K_p + K_i}{s} \right) E(s) \quad (4.4)$$

เมื่อ $K_i = \frac{K_p}{T_i}$

การควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ จะทำการควบคุมความดันสุญญากาศให้คงที่ ซึ่งตัวควบคุมที่ใช้กับระบบ จะทำการออกแบบโดยพิจารณาจากการระบุเอกลักษณ์จากหัวข้อที่ 4.1 ซึ่งมีการระบุเอกลักษณ์อยู่ 2 ส่วน และเมื่อนำแบบจำลองมาพิจารณาจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะ ดังสมการที่ 4.5

จากสมการที่ (4.1)

$$G_1(s) = \frac{a}{bs+1}$$

และสมการที่ (4.2)

$$G_2(s) = \frac{c}{ds^2 + es + f}$$

เมื่อจัดรูปสมการจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบเป็น

$$G(s) = G_1(s) \times G_2(s) = \frac{ac}{bds^3 + (be+d)s^2 + (bf+e)s + f} \quad (4.5)$$

จากสมการที่ 4.5 จะพบว่าเป็นระบบชนิด 0 (Type-0) ซึ่งเมื่อต้องการควบคุมความดันสัญญาณในภาชนะทดสอบให้คงที่ และมีการป้อนสัญญาณอินพุตในรูปแบบขั้นบันได (Step Input) จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Steady-state Error) ซึ่งในส่วนของการทำงานที่จะกำจัดค่าความผิดพลาดที่สถานะคงตัวให้หมดไป จำเป็นต้องมีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Controller) ทำให้ระบบควบคุมเป็นระบบชนิด 1 (Type-1) ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเกิดค่าความผิดพลาดที่สถานะคงตัวของระบบแต่ละชนิด (Ogata, K, 2010)

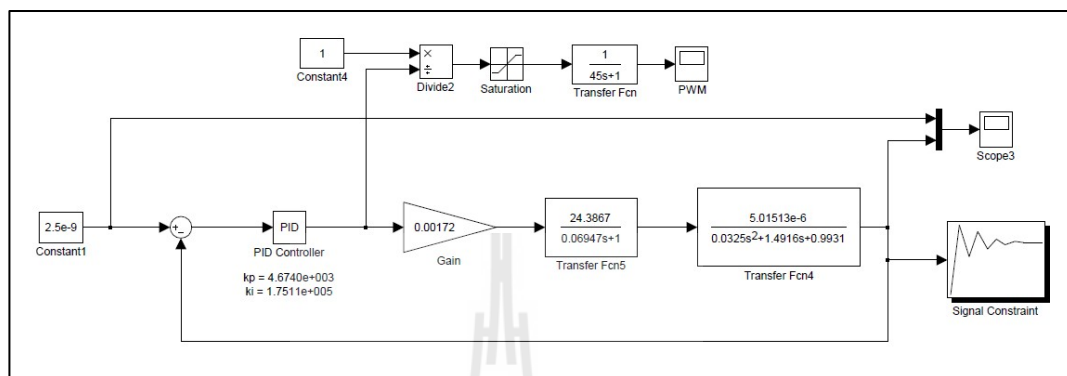
Input	Type-0	Type-1	Type-2
	Steady-State Error	Steady-State Error	Steady-State Error
Step	$\frac{1}{1+k_p}$	0	0
Ramp	∞	$\frac{1}{k_v}$	0
Parabolic	∞	∞	$\frac{1}{k_a}$

ในการออกแบบตัวควบคุมพีไอจะทำการออกแบบตัวควบคุมด้วยการประมาณค่า โดยวิธี Response Optimization ซึ่งเป็นฟังก์ชันของโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการใช้งาน Response Optimization จะกล่าวในส่วนของภาคผนวก ง สำหรับการกำหนดค่าตอบสนองที่เหมาะสมกับระบบจะกำหนดค่าสัญญาณเอาต์พุตให้มีผลตอบสนองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต

Rise time	70 วินาที
Settling time	120 วินาที
% Overshoot	10 %
% Rise time	90 %
% Settling time	2 %

จากตารางที่ 4.3 สามารถนำค่าต่าง ๆ เหล่านี้ไปทำการตั้งค่าลักษณะของสัญญาณที่ต้องการ (Desired Response) ซึ่งเป็นฟังก์ชัน Toolbox ของ MATLAB/Simulink ที่ชื่อว่า Signal Constraint ดังแสดงรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภาพแบบจำลองเพื่อหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมแบบพีไอ

จากการใช้งานโปรแกรมในส่วนของฟังก์ชัน Response Optimization ของโปรแกรม MATLAB/Simulink จะได้ค่าตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสมกับระบบ คือ

$$K_p = 4,674$$

$$K_i = 175,110$$

และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังสมการที่ 4.6

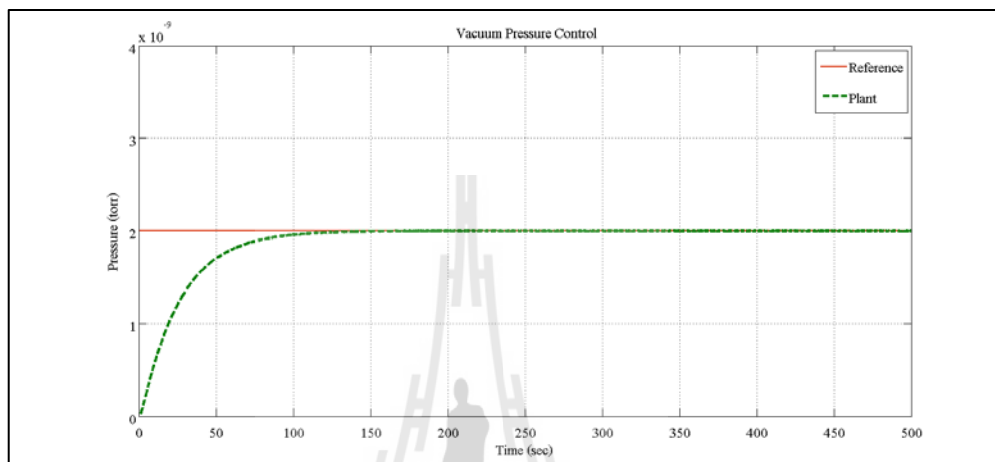
$$G_c(s) = \frac{K_p s + K_i}{s} = \frac{4,674s + 175,110}{s} \tag{4.6}$$

4.3 การจำลองระบบ

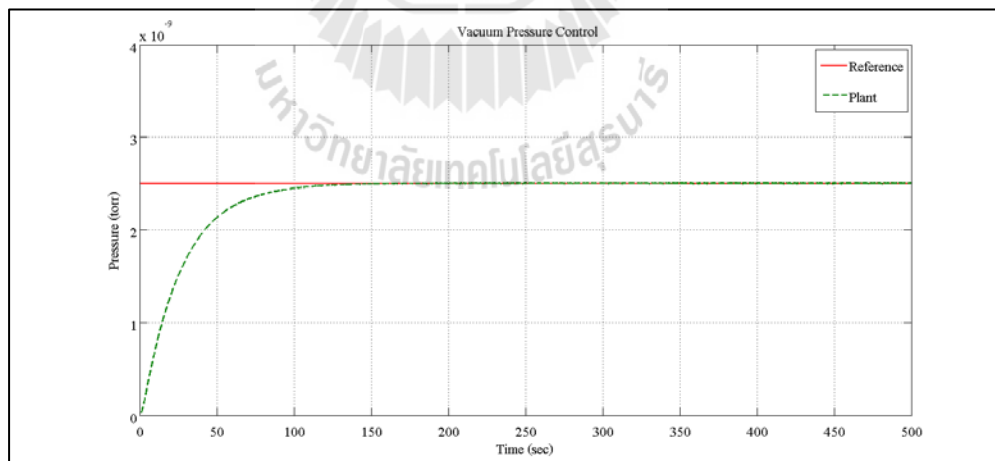
ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงการจำลองสถานการณ์ การทำงานของระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ ซึ่งระบบที่จำลองสถานการณ์จะเป็นระบบที่มีการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอ (PI-Controller) โดยในส่วนของการจำลองระบบจะมีการจำลองด้วยกัน 2 กรณี คือ การจำลองความดันสุญญากาศอ้างอิงคงที่ และ การจำลองความดันสุญญากาศอ้างอิงที่มีการเปลี่ยนแปลง

4.3.1 การจำลองความดันสุญญากาศอ้างอิงคงที่

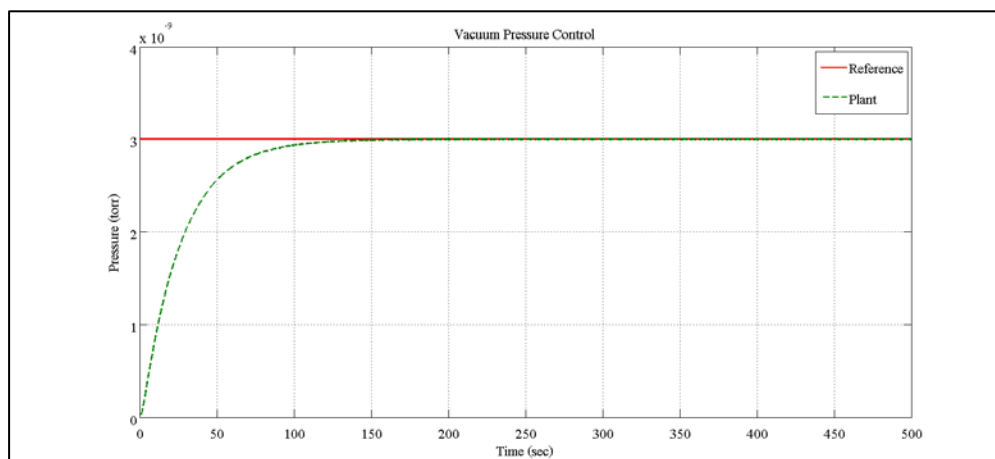
การจำลองหัวข้อนี้จะมีการพิจารณาการทำงานของระบบควบคุมความดันสุญญากาศที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยอ้างอิงค่าความดันคงที่ คือ 2.0×10^{-9} ทอร์, 2.5×10^{-9} ทอร์ และ 3.0×10^{-9} ทอร์ ซึ่งผลการตอบสนองการทำงานของระบบ แสดงดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.7 ผลการแสดงความดันสุญญากาศ เมื่อกำหนดค่าอ้างอิงที่ 2.0×10^{-9} ทอร์



รูปที่ 4.8 ผลการแสดงความดันสุญญากาศ เมื่อกำหนดค่าอ้างอิงที่ 2.5×10^{-9} ทอร์

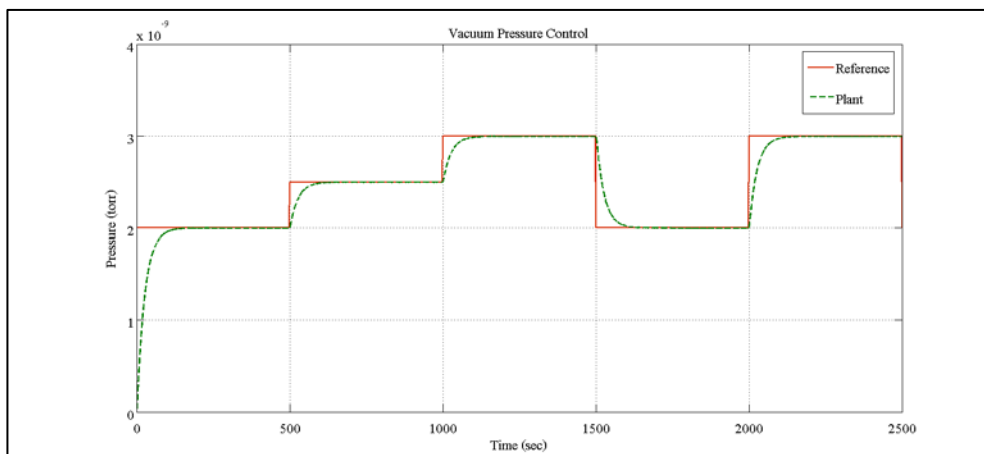


รูปที่ 4.9 ผลการแสดงความดันสุญญากาศ เมื่อกำหนดค่าอ้างอิงที่ 3.0×10^{-9} ทอร์

จากรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 พบว่าผลการตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ ในกรณีที่ทำกรใช้ความดันอ้างอิงคงที่ ตั้งแต่ 2.0×10^{-9} ทอร์, 2.5×10^{-9} ทอร์ และ 3.0×10^{-9} ทอร์ จะเห็นว่าระบบสามารถตอบสนองตามสัญญาณอ้างอิงและพบว่ามีการใช้ช่วงเวลาเข้าที่ (Settling time) ที่ใกล้เคียงกันประมาณ 115 - 120 วินาที เมื่อมีการออกแบบค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2\%$

4.3.2 การจำลองความดันสุญญากาศอ้างอิงที่มีการเปลี่ยนแปลง

การจำลองหัวข้อนี้จะมีการพิจารณาการทำงานของระบบควบคุมความดันสุญญากาศที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ โดยอ้างอิงค่าความดันที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าในรูปแบบขั้นบันได คือ 2.0×10^{-9} ทอร์, 2.5×10^{-9} ทอร์, 3.0×10^{-9} ทอร์, 2.0×10^{-9} ทอร์ และ 3.0×10^{-9} ตามลำดับ ซึ่งผลการตอบสนองการทำงานของระบบ แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผลการแสดงผลค่าความดันสุญญากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความดัน

จากรูปที่ 4.10 พบว่าผลการจำลองระบบของตัวควบคุมแบบพีไอ ในกรณีที่ทำกรใช้ความดันอ้างอิงที่เปลี่ยนแปลงในรูปแบบขั้นบันได คือ 2.0×10^{-9} ทอร์, 2.5×10^{-9} ทอร์, 3.0×10^{-9} ทอร์, 2.0×10^{-9} ทอร์ และ 3.0×10^{-9} ตามลำดับ พบว่าระบบสามารถตอบสนองตามสัญญาณอ้างอิง และมีการใช้ช่วงเวลาเข้าที่ (Settling time) ประมาณ 121, 80, 80, 103 และ 92 วินาที ตามลำดับ เมื่อมีการออกแบบค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2\%$

4.4 สรุป

ระบบควบคุมความดันสุญญากาศภายในภาชนะทดสอบ ในงานวิจัยนี้จะอาศัยการจ่ายของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกระแสต่ำ เป็นตัวเร่งที่ทำให้ความดันสุญญากาศภายในภาชนะทดสอบมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการออกแบบระบบควบคุมเพื่อต้องการรักษาความดันสุญญากาศ จะเริ่มจากการหาค่าพารามิเตอร์ การระบุเอกลักษณ์ของระบบด้วยวิธีการประมาณค่าตัวแปร (Parameter Estimation) ซึ่งการระบุเอกลักษณ์ของระบบนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้า และส่วนของปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน ขนาด 500 ลิตรต่อวินาที ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้จะนำไปสู่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ ซึ่งเป็นระบบชนิด 0 (Type-0) และเมื่อออกแบบตัวควบคุมพีไอ (PI-Controller) จะทำให้ระบบที่ควบคุมกลายเป็นระบบชนิด 1 (Type-1) ซึ่งมีผลทำให้มีการกำจัดความผิดพลาดที่สถานะคงตัวของระบบออกไป และเมื่อได้แบบจำลองที่เป็นระบบชนิด 1 ก็จะนำไปสู่การจำลองระบบ ซึ่งการจำลองระบบจะมี 2 กรณี คือ การจำลองความดันสุญญากาศอ้างอิงคงที่ และการจำลองความดันสุญญากาศอ้างอิงที่มีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบขั้นบันได โดยผลการ

จำลองระบบจะสามารถประมาณค่าช่วงเวลาของการตอบสนองของช่วงเวลาเข้าที่ (Settling time) ซึ่งการใช้ระยะเวลาในการเข้าที่ของระบบจะขึ้นอยู่กับความถี่สัญญาณตั้งต้นและความถี่สัญญาณที่ต้องการ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ที่มากขึ้น การใช้ช่วงเวลาเข้าที่ก็จะมากขึ้นด้วย และอีกกรณีหนึ่งจะขึ้นอยู่กับการทำความถี่ให้สูงขึ้นหรือการรักษาความถี่ให้ลดลง ระยะเวลาในการเข้าที่ก็จะแตกต่างกันไปด้วย โดยการทำความถี่ให้ลดลงจะใช้ช่วงเวลาเข้าที่นานกว่าการทำความถี่ให้สูงขึ้น



บทที่ 5

การวัดและผลการทดสอบ

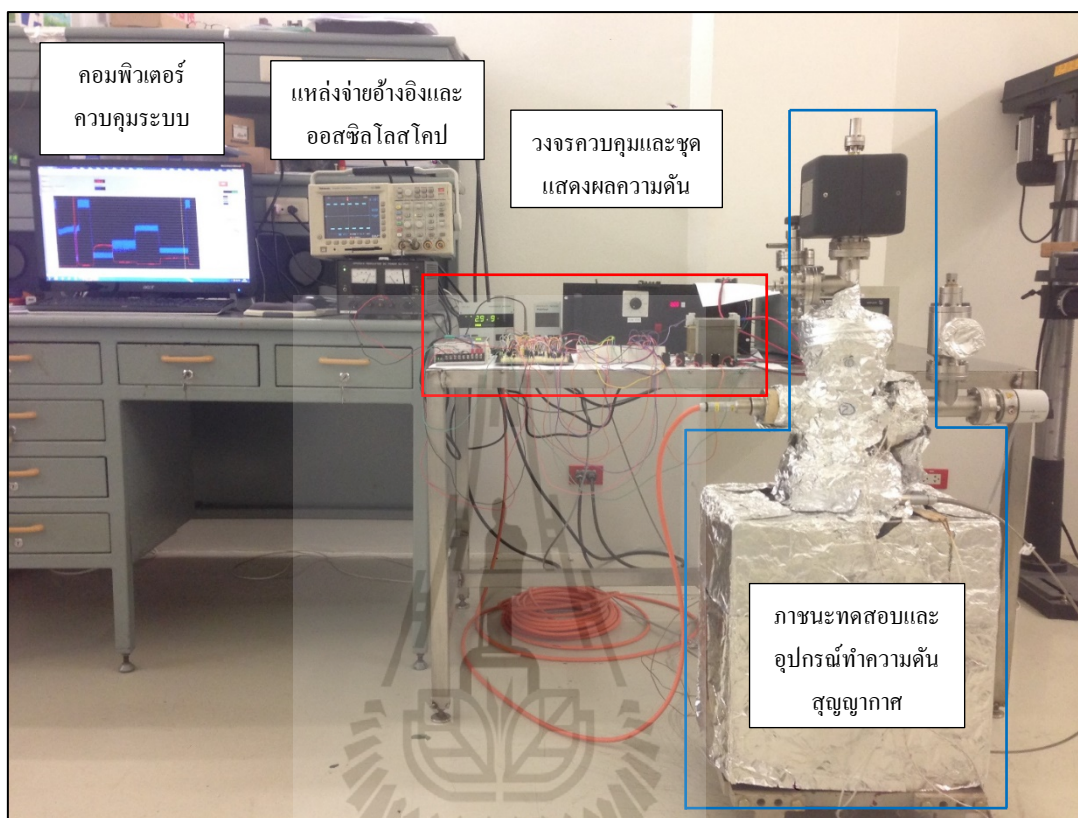
ในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือการทดลอง, กระบวนการทดลอง และการวัดค่าความดันที่เกิดขึ้นกับระบบ จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองระหว่าง ความดันที่เกิดจากการจำลอง และผลที่ได้จากการทดสอบจริง โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ทดสอบวัดความดันที่ระบบไม่ถูกรบกวนจากอากาศภายนอก และทดสอบวัดความดันที่ระบบถูกรบกวนจากอากาศภายนอก ซึ่งเนื้อหาในส่วนนี้จะแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์

5.1 เครื่องมือทดสอบ

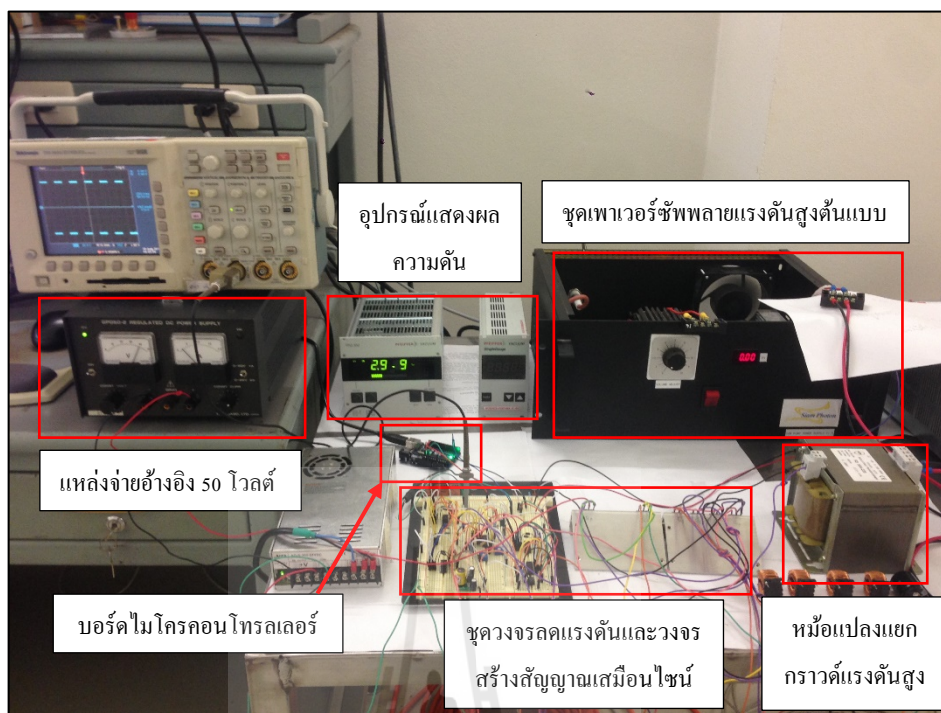
ในขั้นตอนของงานวิจัยจะทดสอบด้วยการเขียน โปรแกรมควบคุมที่มีหน้าจ่อินเตอร์เฟซให้สามารถมอนิเตอร์ ควบคุม และเก็บข้อมูลการวัดตลอดเวลา ด้วยโปรแกรม LabVIEW สำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อควบคุมนั้นจะทำการควบคุมสัญญาณพัลส์โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR คือ Arduino UNO-R3 ซึ่งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีการเชื่อมโยงระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ผ่านสาย USB Port ซึ่งบอร์ดนี้มีฟังก์ชันที่สามารถส่งสัญญาณอนาล็อก (Analog) ดิจิตอล (Digital) และสัญญาณที่มีรูปแบบเป็นคาบเวลาหรือสัญญาณพัลส์ได้ (PWM) รวมไปถึงบอร์ดชุดนี้สามารถรับสัญญาณที่มีลักษณะเป็น สัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล ได้หลายช่องทางอีกด้วย โดยในส่วนของงานวิจัยจะมีการส่งสัญญาณที่มีรูปแบบเป็นคาบเวลา 1 ช่องสัญญาณ เพื่อควบคุมชุดวงจรทางไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ และรับสัญญาณอนาล็อกจำนวน 1 ช่องสัญญาณ ที่ทำการอ่านค่าแรงดันสูงเอาต์พุต (High-Voltage Output) ของชุดเพาเวอร์ซัพพลายที่จ่ายให้กับปั๊มสุญญากาศ และอ่านค่าความดันจากอุปกรณ์วัดความดันภายในภาชนะทดสอบโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับอุปกรณ์วัดความดัน

สำหรับการทดลองนั้นจะมีชุดแหล่งจ่ายอ้างอิงที่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้กับชุดวงจรในส่วนของภาคแรงดันต่ำที่ประกอบด้วยส่วนของวงจรแปลงผันชนิดลดทอนแรงดันและวงจรแปลงผันแบบฟูลบริดจ์ ก่อนที่จะเข้าสู่ชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบ ผ่านทางหม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกกราวด์ ซึ่งตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการจ่ายสัญญาณพัลส์ไปยังชุดควบคุมที่ออกแบบไว้ตามคำสั่งอัลกอริทึม (Algorithm) ของโปรแกรม LabVIEW เมื่อชุดวงจรที่ออกแบบมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูง ไปยังชุดปั๊มสุญญากาศที่ได้ติดตั้งไว้ ก็จะทำให้ความดันภายในภาชนะทดสอบมีค่าลดลง ซึ่งภาชนะทดสอบจะมีอุปกรณ์เซนเซอร์และอุปกรณ์แสดงผลค่าความดัน

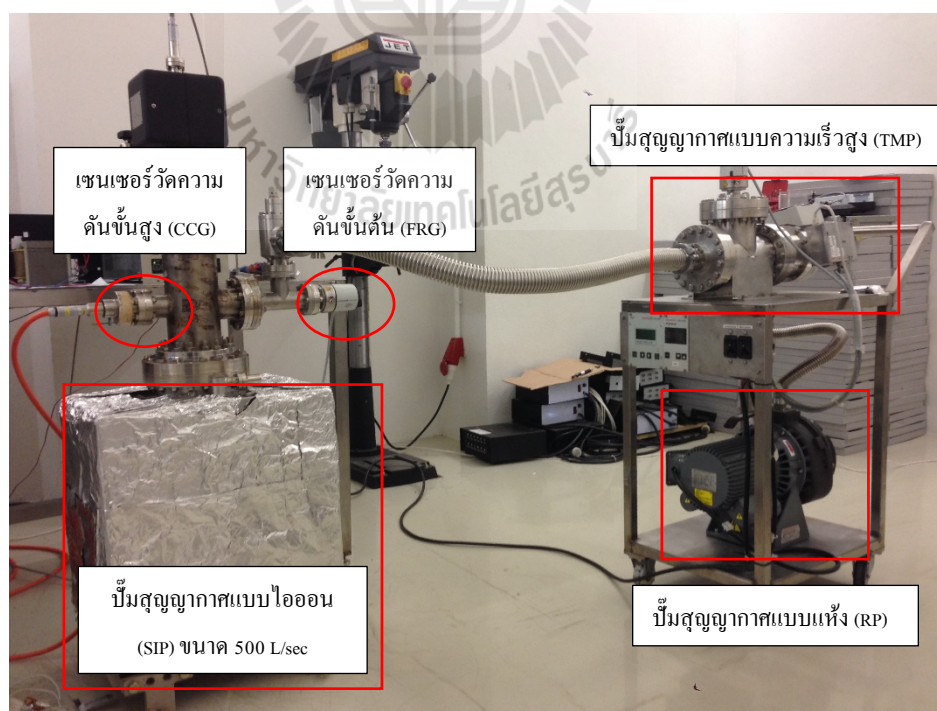
ติดตั้งอยู่ และทำการอ่านค่าความดันกลับไปยังโปรแกรมควบคุม โดยการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม เพื่อประมวลผลให้โปรแกรมควบคุมทำงานต่อไป



รูปที่ 5.1 ภาพรวมส่วนประกอบระบบควบคุมปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน



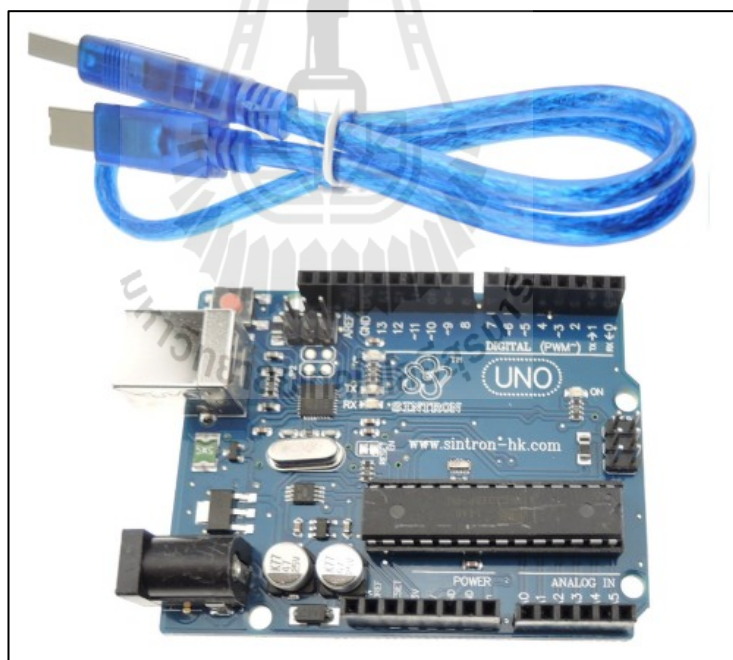
รูปที่ 5.2 ส่วนประกอบชุดวงจรควบคุมปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน



รูปที่ 5.3 ส่วนประกอบอุปกรณ์สร้างความดันสุญญากาศ

ส่วนประกอบของระบบควบคุมปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน

- 1) ปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน (SIP) ขนาด 500 ลิตรต่อวินาที
- 2) ชุดโมบายปั๊มสุญญากาศขั้นต้น ที่ประกอบด้วย ปั๊มแบบแห้ง(RP) และ ปั๊มแบบดึงดูดโมเลกุลความเร็วสูง (TMP)
- 3) ภาชนะทดสอบ ขนาดประมาณ 71 ลิตร
- 4) เซนเซอร์วัดความดันขั้นสูง Cold-Cathode discharge Gauge (CCG)
- 5) เซนเซอร์วัดความดันขั้นต้นชนิด Pirani Gauge หรือ Full-Range Gauge (FRG)
- 6) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO-R3 ดังแสดงรูปที่ 5.4
- 7) ชุดเพาเวอร์ซัพพลายแรงดันสูงต้นแบบ
- 8) ชุดเพาเวอร์ซัพพลาย แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 65 โวลต์
- 9) ออสซิลโลสโคป
- 10) คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows7 32bit และ โปรแกรม LabVIEW v2014



รูปที่ 5.4 บอร์ด Arduino UNO-R3 และ USB cable

(ที่มา Website: <http://www.roboseed.com/product/3/arduino-uno-r3-พร้อมสาย-usb>)

5.2 การสร้างความดันสุญญากาศภายในภาชนะทดสอบ

การสร้างความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ ที่ต้องการความเป็นสุญญากาศระดับสูงยิ่งยวด (Ultra-High Vacuum) ที่ความดันประมาณ 1.0×10^{-8} ถึง 1.0×10^{-11} ทอร์ เพื่อเหมาะสมกับงานที่ต้องการความละเอียดและเที่ยงตรงสูง เช่น งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ และเครื่องเร่งอนุภาค เป็นต้น ซึ่งการสร้างความดันสุญญากาศในระดับสูงนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถในการดึงดูดโมเลกุลหรืออากาศภายในภาชนะวงปิด ออกสู่ภายนอกบรรยากาศได้ สำหรับขั้นตอนในการสร้างความดันสุญญากาศภายในภาชนะ มีขั้นตอนดังนี้

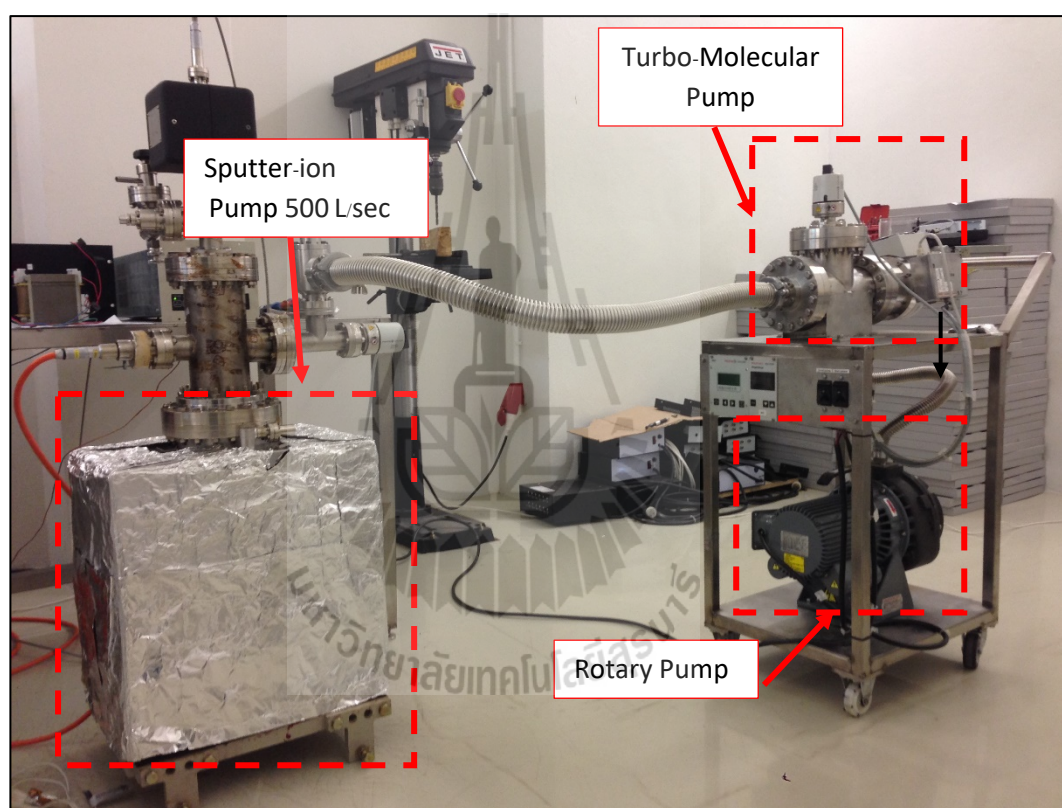
5.2.1 เลือกใช้ชุดภาชนะที่ต้องการทำความดันสุญญากาศซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ภาชนะวัสดุสแตนเลสสตีล เกรด SUS304 ขนาดประมาณ 71 ลิตร ดังแสดงรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ภาชนะที่ใช้ทำการทดสอบขนาดประมาณ 71 ลิตร

5.2.2 ติดตั้งปั๊มสุญญากาศจำนวนสองชนิด ประกอบด้วย ปั๊มที่มีคุณสมบัติที่สามารถดึงดูดมวลโมเลกุลหรืออากาศที่อยู่ภายในภาชนะออกสู่ภายนอกบรรยากาศ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ปั๊มแบบหยาบหรือโรตารีปั๊ม (Rotary Pump: RP) และปั๊มดึงดูดโมเลกุลความเร็วสูง (TMP) ซึ่งลักษณะ

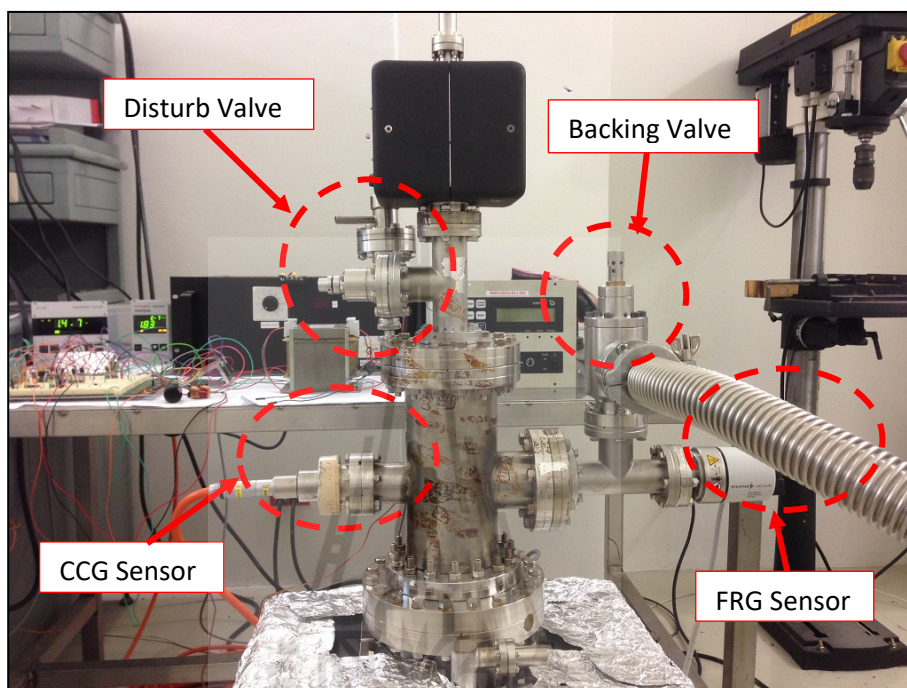
ในการติดตั้งปั๊ม จะทำการติดตั้งเป็นแบบอนุกรม และติดตั้งปั๊มสุญญากาศที่มีคุณสมบัติสามารถจับมวลโมเลกุลอากาศหรือแก๊สไว้ในบริเวณที่จำกัด ซึ่งในงานวิจัยจะต้องเลือกใช้งานปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนที่มีขนาดมากกว่าภาชนะที่ทดสอบที่มีขนาดประมาณ 71 ลิตร แต่ปั๊มที่มีอัตราการทำความดันมากกว่าหรือใกล้เคียงกับภาชนะทดสอบมีข้อจำกัดในเรื่อง จัดหาอุปกรณ์ที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้งานปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนที่มีขนาด 500 ลิตรต่อวินาที ซึ่งเป็นปั๊มสุญญากาศที่ยังไม่มีการใช้งาน โดยปั๊มสุญญากาศทั้ง 3 ชนิดมีการติดตั้งดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 การติดตั้งปั๊มสุญญากาศทั้ง 3 ชนิด

5.2.3 ติดตั้งตัวเซนเซอร์วัดความดันซึ่งในการทดลองนี้จะติดตั้งตัววัดความดันอยู่ 2 จุด ประกอบด้วยตัววัดความดันแบบเกจพีรานี (FRG) ที่สามารถวัดความดันได้ตั้งแต่บรรยากาศจนถึงระดับ 10^{-8} ทอร์ ซึ่งโดยปกติแล้วตัววัดความดันแบบพีรานีจะวัดค่าความดันไม่ต่ำกว่า 10^{-7} ทอร์ เพราะว่าการผิดพลาดของการวัดจะมีมากขึ้นเมื่อความดันในขณะนั้นต่ำมาก ๆ และเกจวัดความดันอีกชุดจะเป็น เกจชนิดไอออนไนเซชัน (CCG) ที่มีความสามารถวัดความดันตั้งแต่ 10^{-3} ถึง 10^{-12} ทอร์

นอกจากนี้จะมีการติดตั้งชุดวาล์วอยู่ด้วยกัน 2 ชุด คือ ชุดวาล์วที่ทำการตัดระบบปั๊มส่วนหน้า (Backing Valve) ออกจากภาชนะทดสอบ และชุดวาล์วที่สามารถสร้างสิ่งรบกวนหรือสร้างมวลอากาศ (Disturb valve) เข้าสู่ภายในภาชนะทดสอบ ดังรูปที่ 5.7

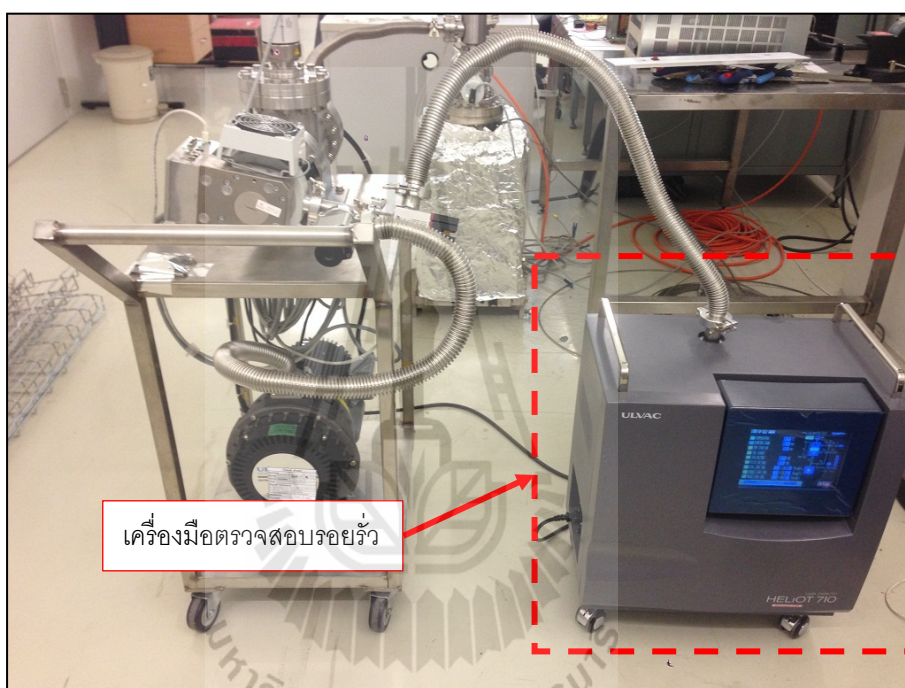


รูปที่ 5.7 การติดตั้งเกจวัดความดันและวาล์วระบบ

5.2.4 เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ต่อไปทำการเปิดปั๊มสุญญากาศทำงานซึ่งอันดับแรกจะทำการใช้งานปั๊มแบบโรตารีที่มีโครงสร้างภายในเป็นเหมือนใบพัดที่จะทำการหมุนและดึงดูดอากาศภายในภาชนะออกสู่ภายนอก และเมื่อความดันภายในภาชนะวัดได้ 10^{-3} ทอร์ เป็นต้นไป จากนั้นทำการใช้งานปั๊มสุญญากาศชนิดดิ่งดูดโมเลกุลสูง (TMP) ร่วมกันกับปั๊มแบบโรตารี (RP) ที่ได้ต่ออนุกรม เพื่อให้ได้ระดับความดันอยู่ที่ 10^{-9} ทอร์ แต่ในความเป็นจริงไม่สามารถทำความดันได้ถึงในระดับ High vacuum โดยในการทดลองสามารถทำความดันสุญญากาศได้ประมาณ 10^{-6} ทอร์

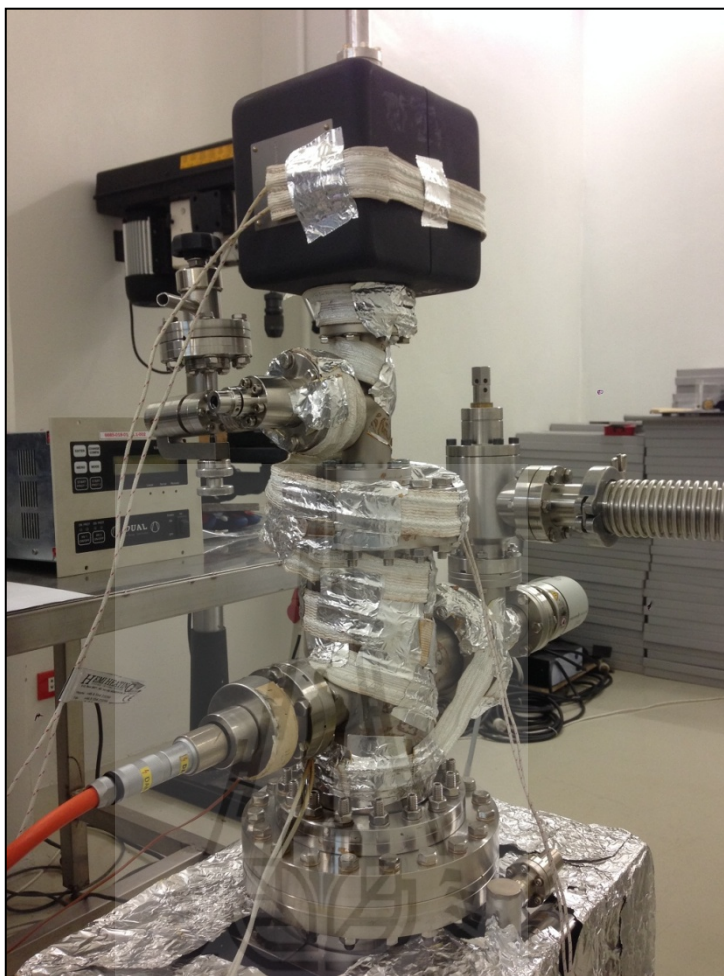
5.2.5 เมื่อความดันภายในภาชนะไม่สามารถที่จะทำความดันให้ต่ำกว่า 10^{-6} ทอร์ ต่อไปจะต้องมีการให้ความร้อนกับระบบที่ทดสอบเพื่อที่จะทำให้โมเลกุลและแก๊สที่ยังหลงเหลืออยู่ภายในพื้นผิวของภาชนะเกิดการแตกตัวและถูกดึงดูดออกสู่ภายนอกบรรยากาศ ซึ่งการจะเริ่มขั้นตอนการให้ความร้อนจะต้องมีการตรวจสอบรอยรั่วของภาชนะสุญญากาศที่ได้ติดตั้งไปก่อน

หน้านี้ว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้นหรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือตรวจสอบรอยร้าวตามจุดหรือข้อต่อต่าง ๆ ของภาชนะทดสอบ ดังรูปที่ 5.8 สำหรับการตรวจสอบรอยร้าวนั้นจะใช้เครื่องมือดังกล่าวทำการวิเคราะห์หาแก๊สที่ยังหลงเหลืออยู่ในภาชนะทดสอบ ซึ่งจะใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวทดสอบในการฉีดเข้าสู่ข้อต่อต่าง ๆ ในระบบ หากมีการพบรอยร้าวเครื่องมือวิเคราะห์แก๊สก็จะตรวจวัดปริมาณแก๊สฮีเลียมที่อยู่ภายในภาชนะได้ ซึ่งค่าที่วัดได้จะพิจารณาจากค่า Ion Current ที่แสดงผลมายังหน้าจอเครื่องตรวจวัด ต้องไม่สูงเกินกว่า 10^{-10} A



รูปที่ 5.8 เครื่องมือตรวจวัดรอยร้าวภาชนะทดสอบ

5.2.6 เมื่อภาชนะที่ทดสอบไม่มีรอยร้าว ขั้นตอนต่อไปจะทำการให้ความร้อนกับภาชนะที่ทดสอบ โดยการใช้ชุดให้ความร้อน (Temperature Control) ร่วมกับการพันชุด Heater Tape ที่มีพิกัดแรงดัน 220 VAC ซึ่งจะพันรอบ ๆ ภาชนะที่ทดสอบ ดังรูปที่ 5.9 และต้องพัน Heater Tape ไม่ให้ทับกันเพราะอาจจะเกิดความร้อนสูงเกินกว่า ภาชนะทดสอบหรืออุปกรณ์เช่นเซอร์วัดความดันจะรองรับความร้อนที่เกิดขึ้นได้ และทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดความร้อนที่บริเวณภาชนะทดสอบจำนวน 1 จุด ซึ่งขั้นตอนการให้ความร้อนกับภาชนะ จะเริ่มให้ความร้อนที่ 50°C และเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10°C ในระยะเวลา 30 นาที จนถึง 150°C และทำการคงค่าอุณหภูมิไว้ที่ 150°C เป็นระยะเวลาอย่างต่ำ 60 ชั่วโมง โดยในงานวิจัยนี้จะไม่พิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อความดันสุญญากาศ



รูปที่ 5.9 การพัน Heater Tape รอบ ๆ ภาชนะทดสอบ

5.2.7 หลังจากให้ความร้อนกับภาชนะทดสอบเป็นระยะเวลา 60 ชั่วโมง ขั้นตอนต่อไปจะทำการลดอุณหภูมิของภาชนะทดสอบลง ซึ่งการลดอุณหภูมิจะลดอุณหภูมิครั้งละ 10°C ต่อหนึ่งชั่วโมง ไปจนถึงอุณหภูมิตั้งที่ 50°C จากนั้นเริ่มใช้งานชุดควบคุมปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน (SIP) ที่มีขนาด 500 ลิตรต่อวินาที โดยใช้ชุดควบคุมที่ได้พัฒนาทำหน้าที่จ่ายแรงดันไปยังขั้วอาร์โนด (Anode) ที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ $0 - 5,500$ โวลต์ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวปั๊มไปเร่งให้เกิดพลาสมา (Plasma) บริเวณขั้วอาร์โนด และดึงคู่อิเล็กตรอนที่อยู่ในส่วนของขั้วแคโทด (Cathode) หลุดออกจากวัสดุไทเทเนียม (Titanium) แล้วเคลื่อนที่มายังขั้วอาร์โนดเพื่อทำการจับโมเลกุล มวลของอากาศหรือแก๊สที่ยังหลงเหลืออยู่ในภาชนะทดสอบ แล้วนำไปฝังไว้ที่ขั้วแคโทด ทำให้ความดันภายในภาชนะมีความเป็นสุญญากาศมากขึ้น ที่ประมาณ 10^{-7} ถึง 10^{-8} ทอร์ หลังจากค่าอุณหภูมิที่ 50°C พร้อมทั้งใช้งานปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนไปด้วยเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

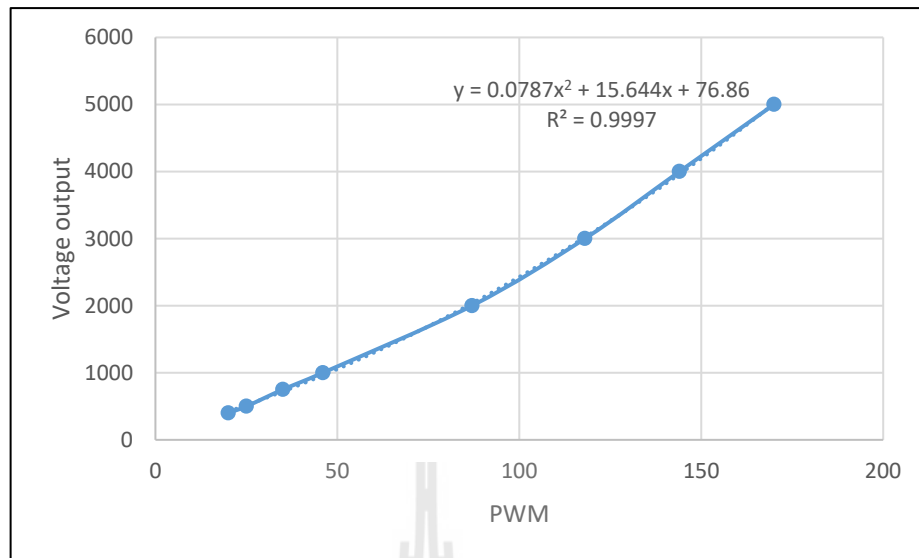
จากนั้นทำการปิดชุดให้ความร้อนกับภาชนะทดสอบ จะพบว่าความดัน ณ เวลานั้นลดลงไปได้อีกประมาณ 10^{-8} ทอร์ ถึง 10^{-9} ทอร์ เมื่อได้ระดับความดันภายในภาชนะที่มีความเป็นสุญญากาศได้ดีกว่าส่วนของปั๊มด้านท้าย (Backing Pump) คือ ปั๊มแบบแห้ง (RP) และปั๊มดิ่งจุดโมเลกุลสูง (TMP) จะต้องทำการปิดวาล์วเพื่อตัดการใช้งานปั๊มด้านท้าย 2 ส่วนออกไป และใช้งานเฉพาะปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน (SIP) เท่านั้น ความดันที่ได้ก็จะลดลงไปได้อีกประมาณ 10^{-9} ทอร์ ถึง 10^{-10} ทอร์

5.3 การควบคุมและรับสัญญาณผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

จากบทที่ 3 ในส่วนของหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสัญญาณพัลส์ จะต้องมีการใช้สัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถในการควบคุมจ่ายสัญญาณพัลส์ได้ตามต้องการ และสัญญาณที่ต้องการจะต้องมีความถี่ที่สูงพอ ซึ่งในการทดลองจะมีการใช้ความถี่ของบอร์ดควบคุมที่ 10 kHz และมีค่าแอมพลิจูดอยู่ที่ 5 โวลต์ เพื่อทำการควบคุมชุดวงจรภาคแรงดันต่ำที่ได้ออกแบบ ให้ได้ค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นแบบคลื่นไซน์ (Modified Sine Wave) ที่มีค่าพิคคสูงสุดอยู่ที่ ± 65 โวลต์ ซึ่งการควบคุมสัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้โปรแกรม LabVIEW ควบคุม และในส่วนของารรับสัญญาณเพื่อนำมาประมวลผลการทดสอบ จะมีการรับสัญญาณ 2 ส่วน คือ การอ่านค่าความดันจากชุดอุปกรณ์ตรวจวัดผ่านการเชื่อมต่อแบบพอร์ตอนุกรม ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3.2.5 และอ่านค่าไฟฟ้าแรงดันสูงขาออกจากชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบ ที่มีพิคคแรงดันอยู่ที่ 0 – 5,500 โวลต์

5.3.1 การควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

การเปลี่ยนแปลงสัญญาณพัลส์ เพื่อควบคุมชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบให้ได้แรงดัน 0 -5,500 โวลต์ ในงานวิจัยนี้จะใช้การควบคุมสัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาดของบิตข้อมูลจำนวน 8 บิต คือ สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้ 256 ค่า โดยในงานวิจัย จะทำการปรับค่าตั้งแต่ 0 -173 เท่านั้น ทำให้ได้แรงดันขาออกจากชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบมีพิคคของแรงดันอยู่ที่ 0 – 5,117 โวลต์ ดังกราฟรูปที่ 5.10 และ แสดงผลค่าสัญญาณพัลส์เทียบกับแรงดันขาออกตามตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์ (PWM) และแรงดันขาออก (V_{OUT})

ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบค่าสัญญาณทางไฟฟ้า ระหว่างสัญญาณพัลส์ และ แรงดันขาออก

PWM	Voltage	PWM	Voltage
0	76.86	70	1,553.86
5	157.01	75	1,688.61
10	241.06	80	1,827.26
15	329.01	85	1,969.81
20	420.86	90	2,116.26
25	516.61	95	2,266.61
30	616.26	100	2,420.86
35	719.81	105	2,579.01
40	827.26	110	2,741.06
45	938.61	115	2,907.01
50	1,053.86	120	3,076.86
55	1,173.01	125	3,250.61
60	1,296.06	130	3,428.26
65	1,423.01	135	3,609.81

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) ผลการเปรียบเทียบค่าสัญญาณทางไฟฟ้า ระหว่างสัญญาณพัลส์ และ แรงดันขาออก

PWM	Voltage	PWM	Voltage
140	3,795.26	160	4,576.06
145	3,984.61	165	4,781.01
150	4,177.86	170	4,989.86
155	4,375.01	173	5,117.04

จากข้อมูลที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าสัญญาณพัลส์และสัญญาณแรงดันขาออก นำไปหาสมการความสัมพันธ์จากโปรแกรม Excel จะ ได้สามารถอยู่ในรูปแบบพหุนามอันดับที่ 2 ที่ $R^2 = 0.9997$ ดังนี้

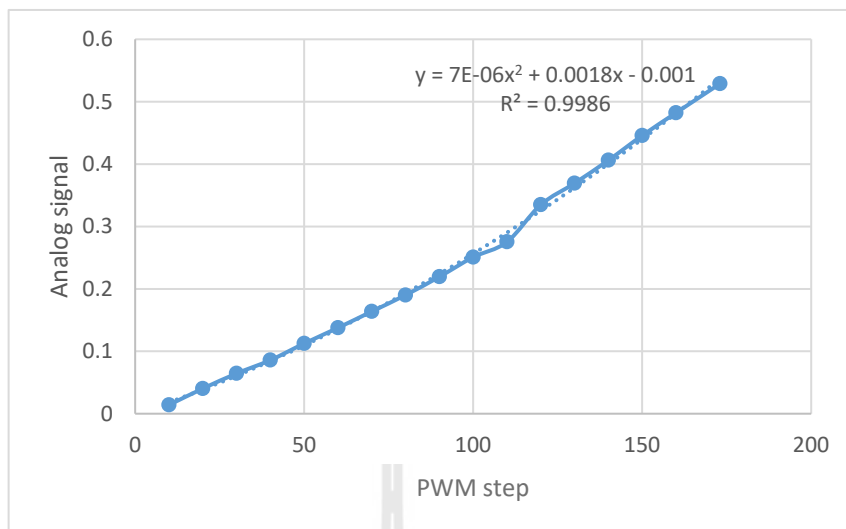
$$y = 0.0787x^2 + 15.644x + 76.86 \quad (5.1)$$

โดยที่ x คือ สัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในหน่วยของเลข 8 บิต
 y คือ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นโวลต์

5.3.2 การรับสัญญาณผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

การรับสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูงจากชุดเพาเวอร์ซัพพลายที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออก 0 – 5,500 โวลต์ เข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะต้องมีการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าแรงดันสูงให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณอนาล็อก เนื่องจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานมีช่องรับสัญญาณในรูปแบบอนาล็อก ที่มีขนาดข้อมูล 10 บิต และแรงดันอยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 5 โวลต์ ซึ่งการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าจะใช้วิธีการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) และใช้หม้อแปลงแยกกราวด์ (Isolated Transformer) เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับเข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อาจทำให้บอร์ดเกิดความเสียหาย หรือคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานอาจจะได้รับความเสียหายได้

โดยในงานวิจัยได้ทำการปรับค่าสัญญาณพัลส์ที่ 0 -173 ซึ่งจะทำให้ได้แรงดันขาออกจากชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบมีพิคคของแรงดันอยู่ที่ 0 – 5,117 โวลต์ ดังกราฟการเปรียบเทียบค่าสัญญาณ รูปที่ 5.11 ระหว่างค่าสัญญาณพัลส์เทียบกับค่าสัญญาณอนาล็อกของชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้า และสามารถแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้รับ เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนได้



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณพัลส์ (PWM) และสัญญาณอนาล็อก (Analog)

ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าสัญญาณทางไฟฟ้า ระหว่างสัญญาณพัลส์ และ สัญญาณอนาล็อก

PWM	Analog signal	PWM	Analog signal
173	0.528787	80	0.190123
160	0.482107	70	0.163858
150	0.445776	60	0.137629
140	0.406109	50	0.11253
130	0.369386	40	0.0858547
120	0.334818	30	0.0644633
110	0.275312	20	0.0402557
100	0.250824	10	0.014054
90	0.219412		

จากข้อมูลที่ได้จากการปรับเทียบค่าสัญญาณพัลส์และสัญญาณอนาล็อกจากชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้า นำไปหาสมการความสัมพันธ์จากโปรแกรม Excel จะได้สมการที่อยู่ในรูปแบบโพลีโนเมียลอันดับที่ 2 ที่ $R^2 = 0.9986$ ดังนี้

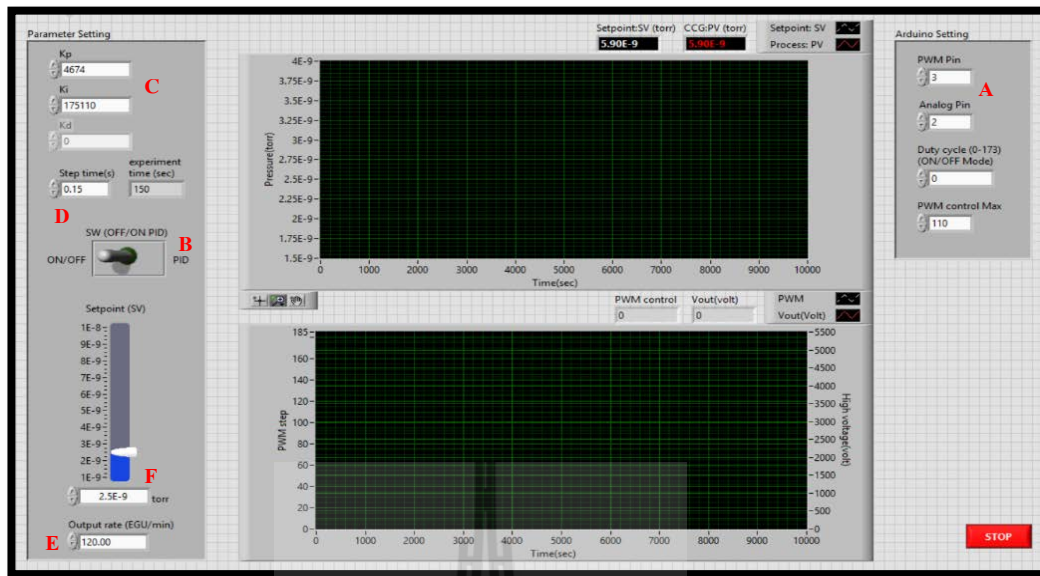
$$y = (7 \times 10^{-6})x^2 + 0.0018x - 0.001 \quad (5.2)$$

โดยที่ x คือ สัญญาณพัลส์จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในหน่วยของเลข 8 บิต
y คือ สัญญาณอนาล็อก มีหน่วยเป็นโวลต์

5.4 การทดสอบระบบและเก็บข้อมูล

ในการทดสอบชุดวงจรภาคแรงดันต่ำที่ได้พัฒนา ร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงต้นแบบ เพื่อควบคุมความดันภายในภาชนะทดสอบ ผ่านตัวบิ่่มสุญญากาศชนิดไอออน (SIP) ที่มีขนาด 500 ลิตรต่อวินาที และเก็บข้อมูลผลการทดสอบ มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- 1) เปิดโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ออกแบบและพัฒนา ดังรูปที่ 5.12 พร้อมทั้งกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น ค่าเกน PID, ค่าที่กำหนด (Setting value, SV), โหมดการทดลอง (PID- Mode) เป็นต้น
- 2) การควบคุมระบบและการเก็บข้อมูล มีขั้นตอนการตั้งค่าดังนี้
 - a) กำหนด pin connection ของสัญญาณพัลส์ และสัญญาณอนาล็อก
 - b) เลือกโหมดการควบคุมเป็นแบบ PID
 - c) ตั้งค่าพารามิเตอร์เกน K_p , K_i และ K_d
 - d) เลือกช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล (Step time)
 - e) ตั้งค่า Output rate (EGU/min)
 - f) กำหนดค่า SV เพื่อระบุความดันเริ่มต้น



รูปที่ 5.12 หน้าจอ Front panel ของโปรแกรม LabVIEW ในการเก็บผลการทดลอง

3) หลังจากกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เรียบร้อย เมื่อกดปุ่มเริ่มทำงาน ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการจ่ายสัญญาณพัลส์ไปยังชุดวงจรที่ออกแบบ เพื่อให้ได้แรงดันขาออกที่มีค่าไฟฟ้าแรงดันสูงอยู่ที่ 0 – 5,000 โวลต์ เมื่อจ่ายแรงดันไปยังปั๊มสุญญากาศที่ติดตั้งไว้ จะทำให้ความดันภายในภาชนะทดสอบมีค่าความดันที่อยู่ในระดับสุญญากาศ โดยในการทดสอบจะทำการเปลี่ยนแปลงค่า SV ของความดันที่ต้องการในลักษณะรูปแบบขั้นบันได โดยเปลี่ยนแปลงค่า SV ของความดันอยู่ที่ 3.0×10^{-9} ทอร์, 2.5×10^{-9} ทอร์, 2.2×10^{-9} และ 2.8×10^{-9} ทอร์ ตามลำดับ ซึ่งแต่ละลำดับของการปรับค่า SV จะทำการคงค่าความดันเป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาที

การทดสอบการประมาณค่าความดันในภาชนะด้วยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง

การประมาณค่าความดันในภาชนะทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยจะใช้วิธีการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าให้กับชุดปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน ขนาด 500 ลิตรต่อวินาที เพื่อทำการควบคุมความดันในภาชนะที่มีขนาดประมาณ 71 ลิตร ให้มีค่าความดันอยู่ในระดับสุญญากาศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า หรือมีมวลอากาศเข้าสู่ภายในภาชนะทดสอบ จะส่งผลให้ความดันในภาชนะมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ความดันมีค่าไม่คงที่หรือมีความดันไม่อยู่ในระดับสุญญากาศ (7.5×10^{-10} ถึง 7.5×10^{-7} ทอร์) ซึ่งส่งผลให้ระบบที่ออกแบบไม่สามารถนำไปใช้กับระบบจริงได้ ดังนั้นชุดควบคุม

ความดันสุญญากาศที่ออกแบบและพัฒนา ต้องมีการรักษาความดันสุญญากาศให้คงที่ โดยกำหนดขอบเขตของการควบคุมความดันอยู่ที่ 2.0×10^{-9} ถึง 4.0×10^{-9} ทอร์

สำหรับการทดสอบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบ แบ่งออกเป็น 4 กรณี คือ

- 1) ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อต้องการความดันอ้างอิงคงที่
- 2) ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิง
- 3) ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อต้องการความดันอ้างอิงคงที่ และมี

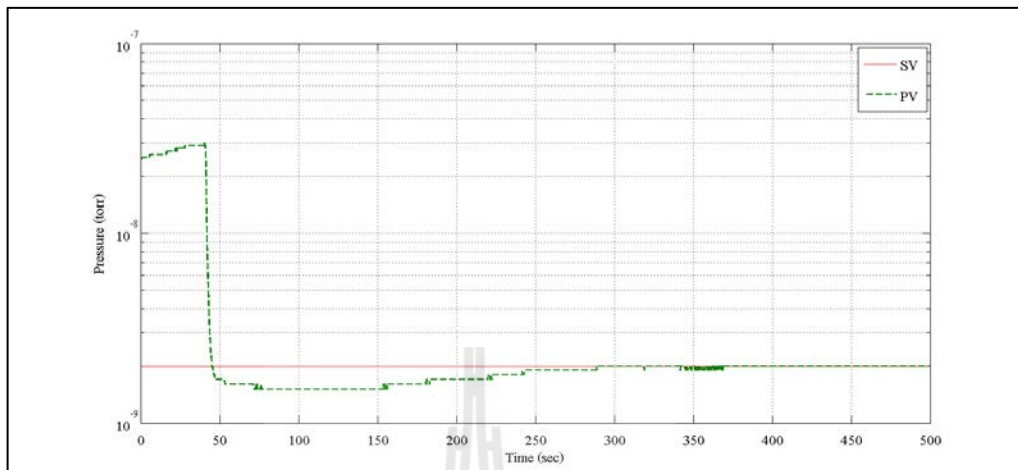
การสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ

- 4) ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิง และมีการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ

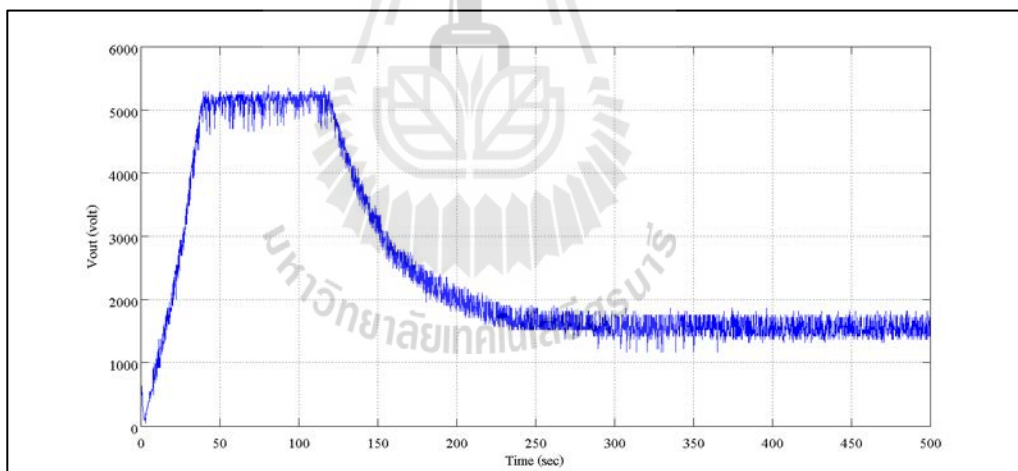
5.4.1 กรณีที่ 1 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อต้องการความดันอ้างอิงคงที่

ทำการทดสอบควบคุมความดันสุญญากาศในช่วงขอบเขตระหว่าง 2.0×10^{-9} ถึง 4.0×10^{-9} ทอร์ โดยทำการตั้งค่า SV ในลักษณะรูปแบบขั้นบันได จำนวน 3 ครั้ง คือ 2.0×10^{-9} ทอร์, 2.2×10^{-9} ทอร์ และ 2.5×10^{-9} ทอร์ เมื่อความดันเข้าสู่จุด SV อ้างอิง จะทำการคงค่าความดันเป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาที และเก็บผลการทดสอบ

- ผลการทดสอบเมื่อตั้งค่า SV ที่ 2.0×10^{-9} ทอร์ ดังแสดงในรูป 5.13 และ 5.14

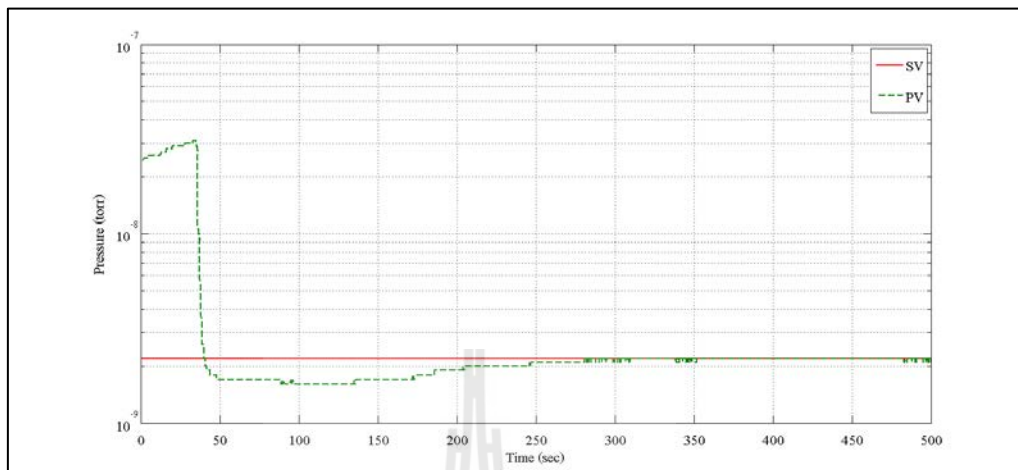


รูปที่ 5.13 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.0×10^{-9} ทอร์

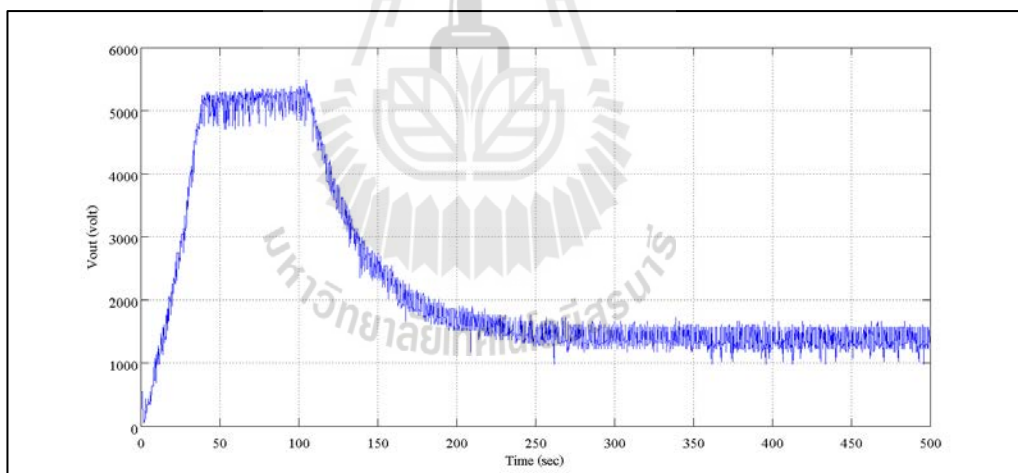


รูปที่ 5.14 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.0×10^{-9} ทอร์

- ผลการทดสอบเมื่อตั้งค่า SV ที่ 2.2×10^{-9} ทอร์ ดังแสดงในรูป 5.15 และ 5.16

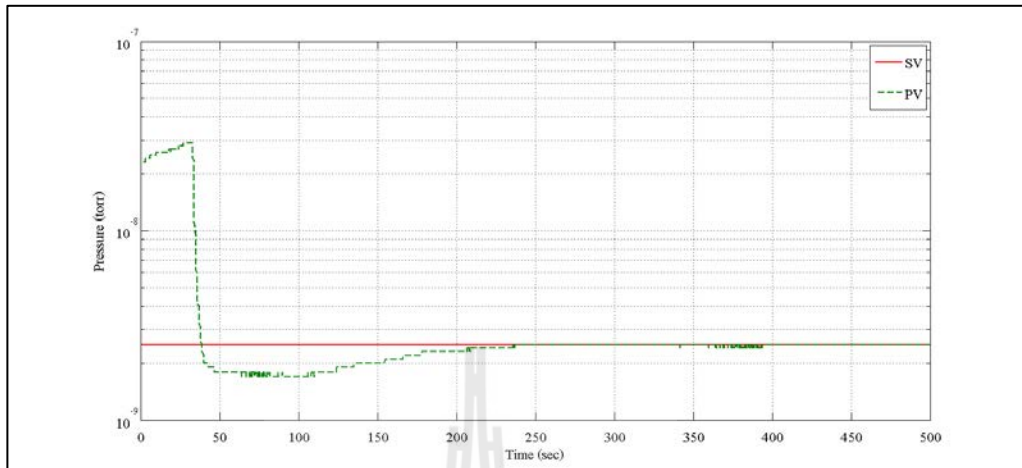


รูปที่ 5.15 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.2×10^{-9} ทอร์

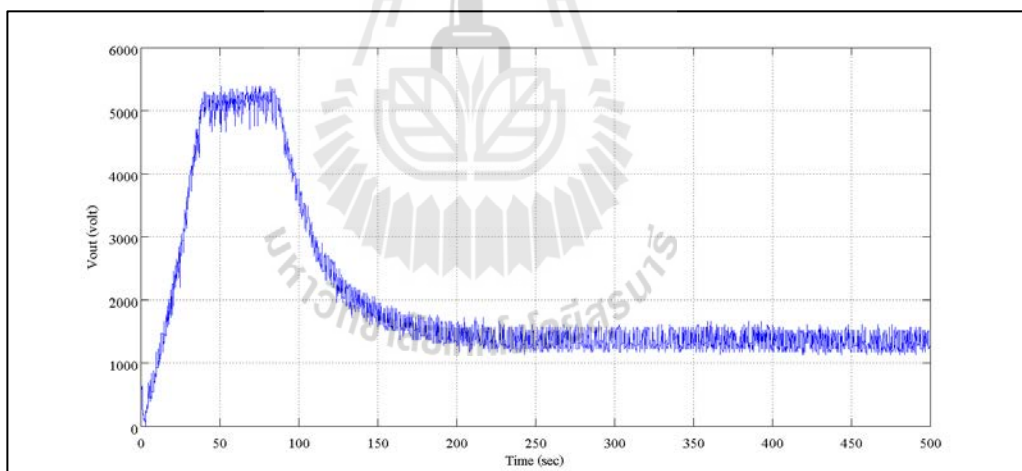


รูปที่ 5.16 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.2×10^{-9} ทอร์

- ผลการทดสอบเมื่อตั้งค่า SV ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์ ดังแสดงในรูป 5.17 และ 5.18



รูปที่ 5.17 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์

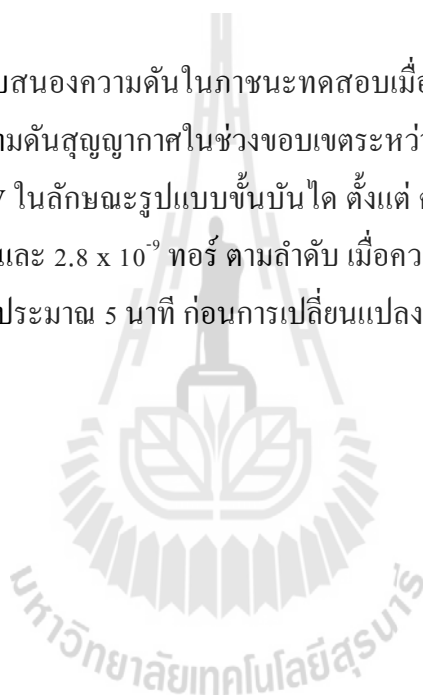


รูปที่ 5.18 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อกำหนดค่า SV ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์

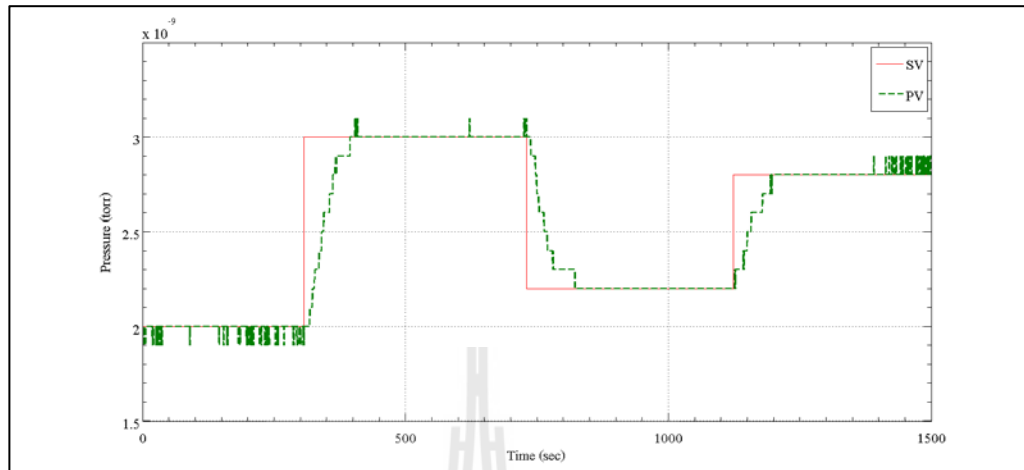
จากผลการทดสอบกรณีที่ 1 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบ เมื่อต้องการความดันอ้างอิงคงที่ พบว่าการทดลองทั้ง 3 กรณีมีการตั้งค่า SV ในลักษณะรูปแบบขั้นบันได ที่ 2.0×10^{-9} ทอร์, 2.2×10^{-9} ทอร์ และ 2.5×10^{-9} ทอร์ ตามลำดับ ผลการตอบสนองต่ออินพุตแบบขั้นบันได ปรากฏการพุ่งเกิน (Overshoot) ประมาณ 25 % , 27.27 % และ 32 % ตามลำดับ ที่เวลาประมาณ 100 วินาที โดยใช้เวลาเพิ่มระดับการตอบสนองถึง 100 % ที่เวลาประมาณ 45 วินาที และมีช่วงเวลาเข้าที่หรือผลการตอบสนองเริ่มคงตัวภายในเวลาประมาณ 240 - 270 วินาที

5.4.2 กรณีที่ 2 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิง

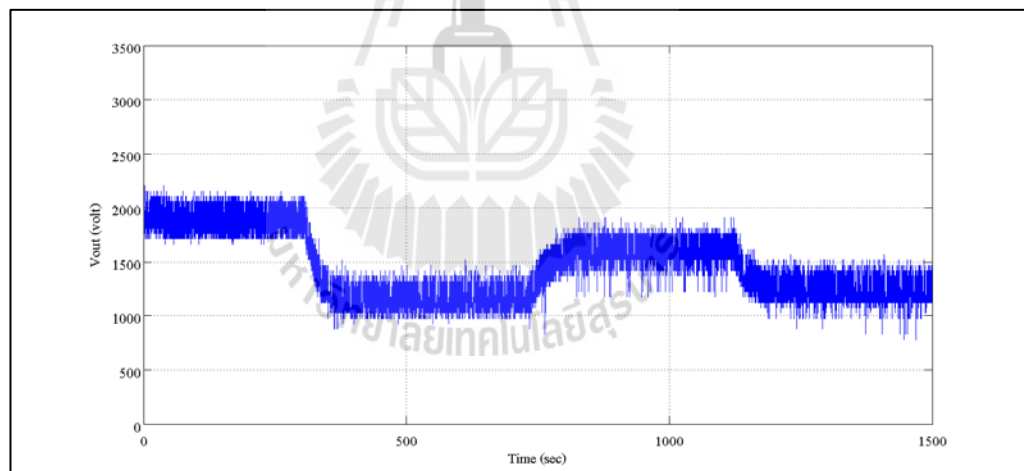
ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิง ทำการทดสอบควบคุมความดันสุญญากาศในช่วงขอบเขตระหว่าง 2.0×10^{-9} ถึง 4.0×10^{-9} ทอร์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่า SV ในลักษณะรูปแบบขั้นบันได ตั้งแต่ ค่าความดันที่ 2.0×10^{-9} ทอร์, 3.0×10^{-9} ทอร์, 2.2×10^{-9} ทอร์ และ 2.8×10^{-9} ทอร์ ตามลำดับ เมื่อความดันเข้าสู่จุด SV อ้างอิง ทำการคงค่าความดันเป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาที ก่อนการเปลี่ยนแปลง SV และเก็บผลการทดสอบ



- ผลการทดสอบครั้งที่ 1 ดังแสดงในรูป 5.19 และ 5.20

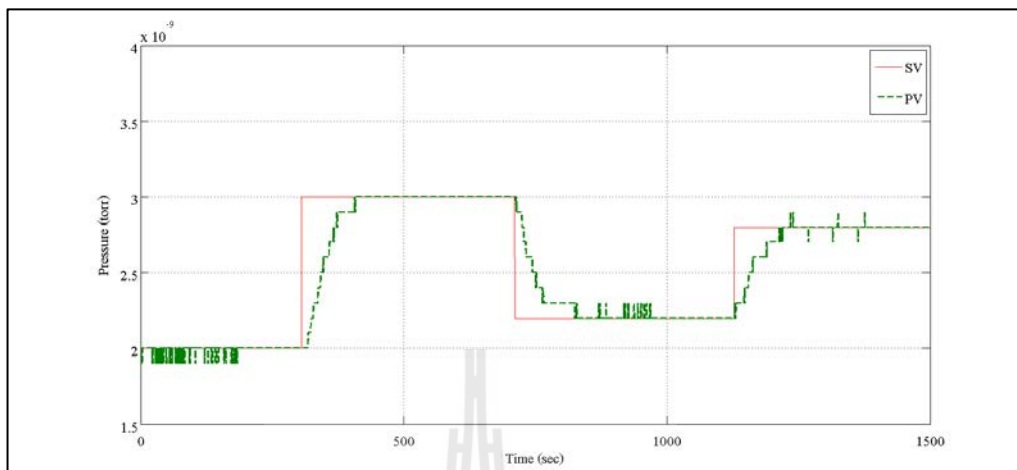


รูปที่ 5.19 ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV

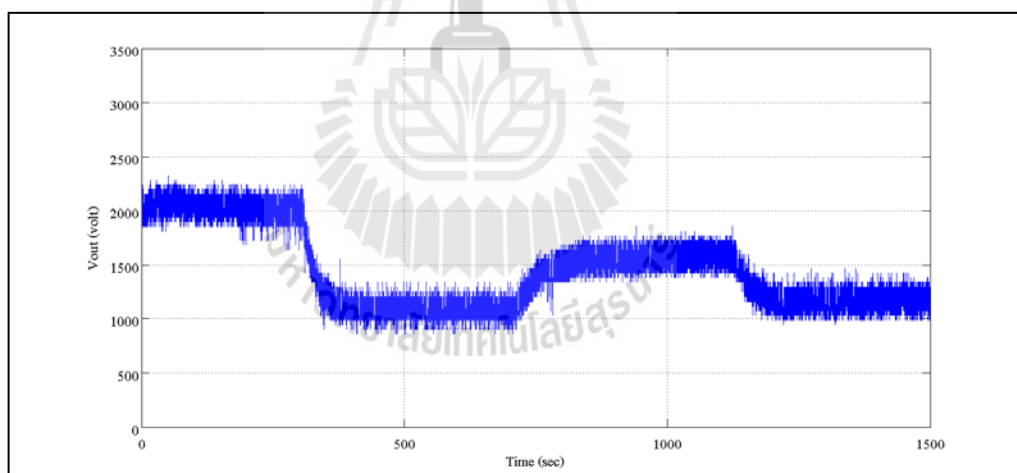


รูปที่ 5.20 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV

- ผลการทดสอบครั้งที่ 2 ดังแสดงในรูป 5.21 และ 5.22

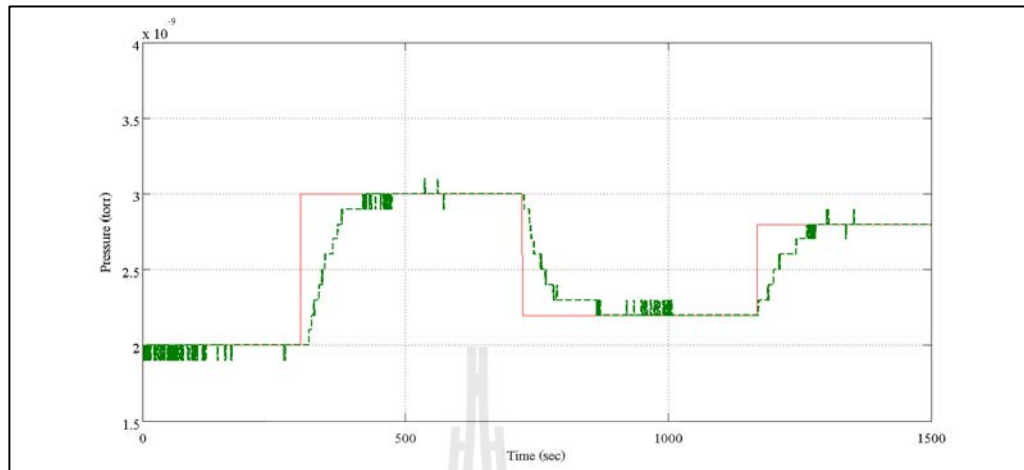


รูปที่ 5.21 ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV

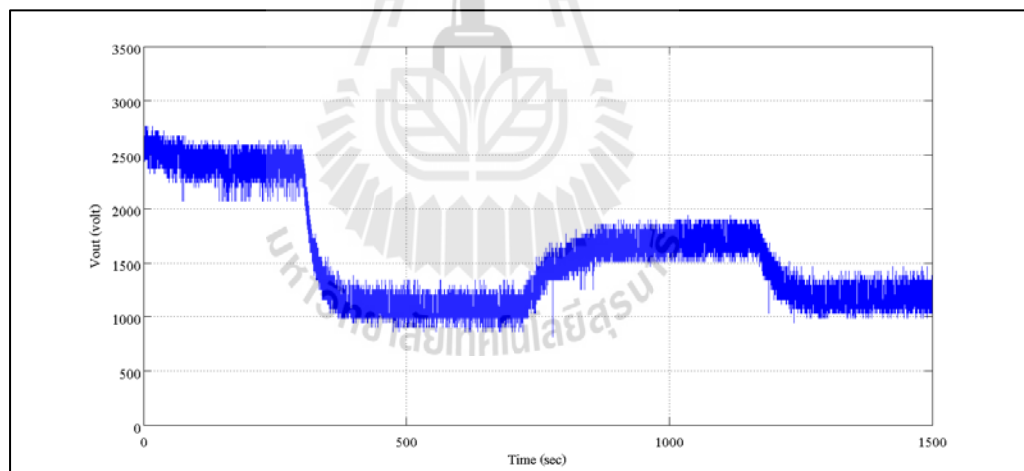


รูปที่ 5.22 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV

- ผลการทดสอบครั้งที่ 3 ดังแสดงในรูป 5.23 และ 5.24



รูปที่ 5.23 ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV



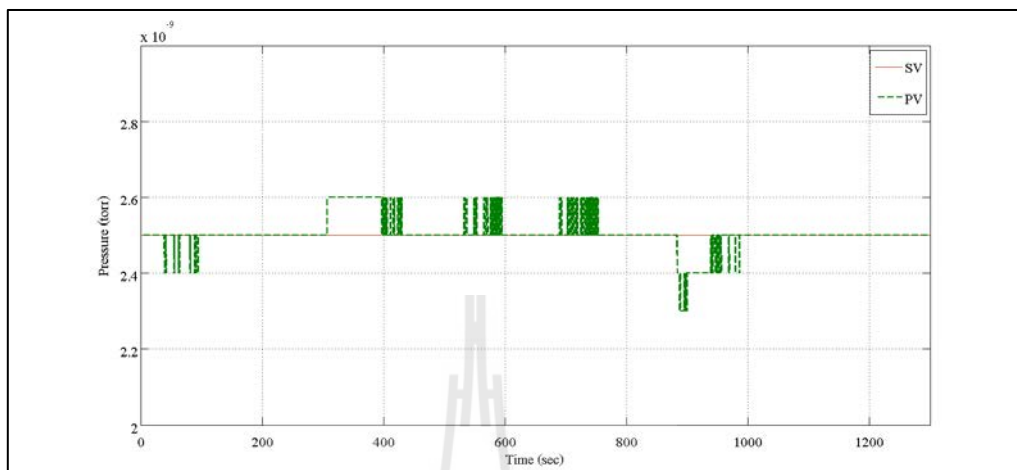
รูปที่ 5.24 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV

จากผลการทดสอบกรณีที่ 2 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิง พบว่าการทดลองทั้ง 3 กรณี มีการเปลี่ยนแปลงค่า SV ในลักษณะรูปแบบขั้นบันได ที่ 2.0×10^{-9} ทอร์, 3.0×10^{-9} ทอร์, 2.2×10^{-9} ทอร์ และ 2.8×10^{-9} ทอร์ ตามลำดับ ผลการตอบสนองของความดันแต่ละการทดสอบ สามารถควบคุมความดันที่มีการเปลี่ยนแปลงในขอบเขตที่กำหนดได้ ในช่วง 2.0×10^{-9} ทอร์ ถึง 4.0×10^{-9} ทอร์ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการทดลองแต่ละครั้ง มีการใช้ระยะเวลาในการตอบสนองความดันเข้าสู่จุด SV หรือผลตอบสนองเริ่มคงตัวที่เวลาประมาณ 80 - 100 วินาที

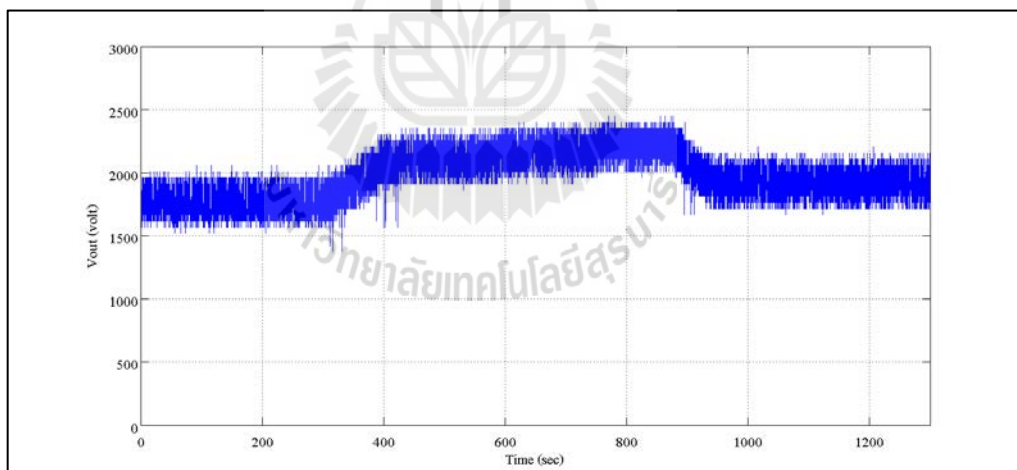
5.4.3 กรณีที่ 3 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อต้องการความดันอ้างอิงคงที่ และมีการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ

ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อต้องการความดันอ้างอิงคงที่ และมีการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ จะทำการทดสอบควบคุมความดันสุญญากาศในช่วงขอบเขตระหว่าง 2.0×10^{-9} ถึง 4.0×10^{-9} ทอร์ โดยตั้งค่า SV ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์ ในลักษณะรูปแบบขั้นบันได เมื่อความดันเข้าสู่จุด SV อ้างอิง ทำการคงค่าความดันเป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นทำการสร้างสัญญาณรบกวนที่เป็นอากาศเข้าสู่ภาชนะทดสอบ โดยเปิดวาล์วค้างไว้เพื่อให้อากาศเข้าสู่ระบบตลอดเวลา ซึ่งขนาดของการสร้างสัญญาณรบกวนระบบทำให้ความดันสูงขึ้น มีขนาดประมาณ 0.1×10^{-9} ทอร์, 0.2×10^{-9} ทอร์ และ 0.3×10^{-9} ทอร์ ตามลำดับ พร้อมทั้งคงค่าสัญญาณรบกวนเป็นเวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นปิดวาล์ว และเก็บผลการทดสอบ

- ผลการทดสอบเมื่อตั้งค่า SV ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์ และสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.1×10^{-9} ทอร์ ดังแสดงในรูป 5.25 และ 5.26

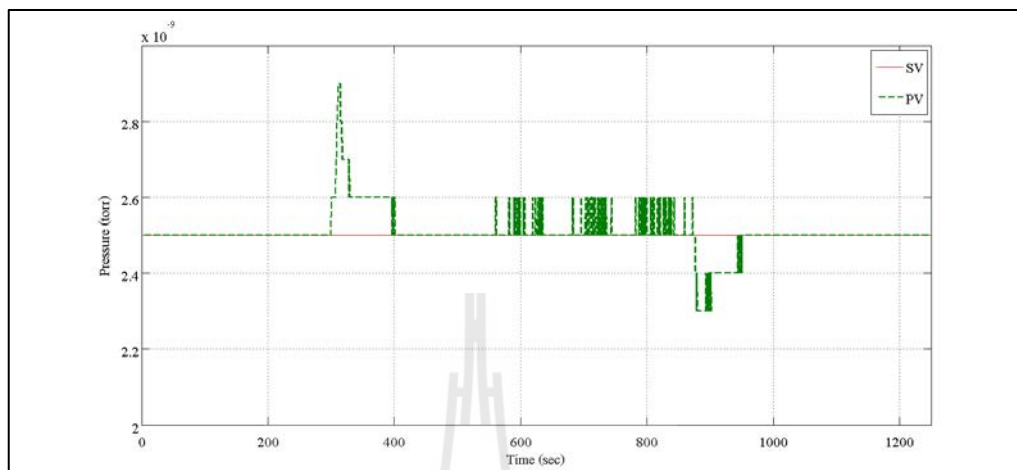


รูปที่ 5.25 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.1×10^{-9} ทอร์

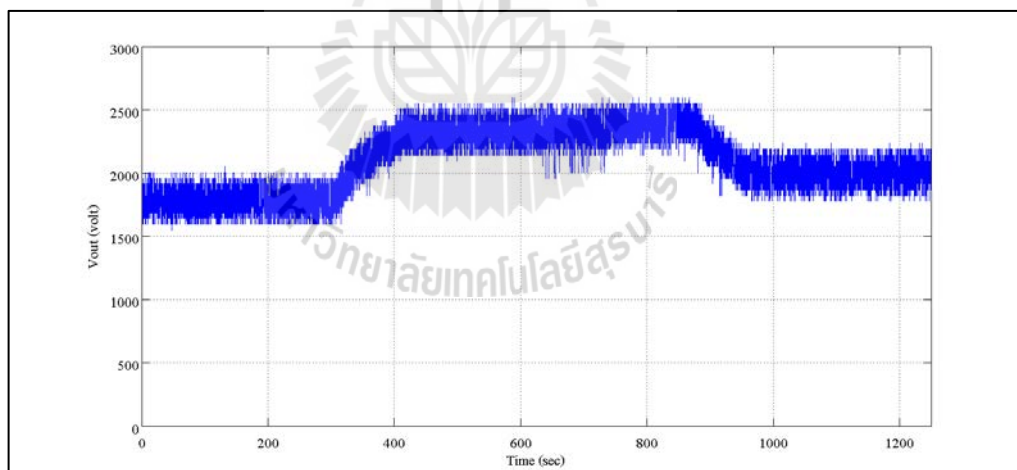


รูปที่ 5.26 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.1×10^{-9} ทอร์

- ผลการทดสอบเมื่อตั้งค่า SV ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์ และสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.2×10^{-9} ทอร์ ดังแสดงในรูป 5.27 และ 5.28

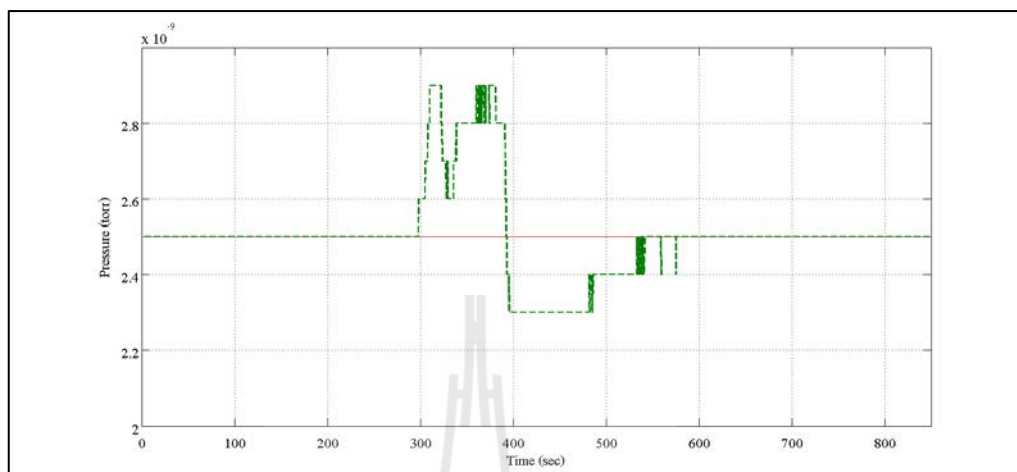


รูปที่ 5.27 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.2×10^{-9} ทอร์

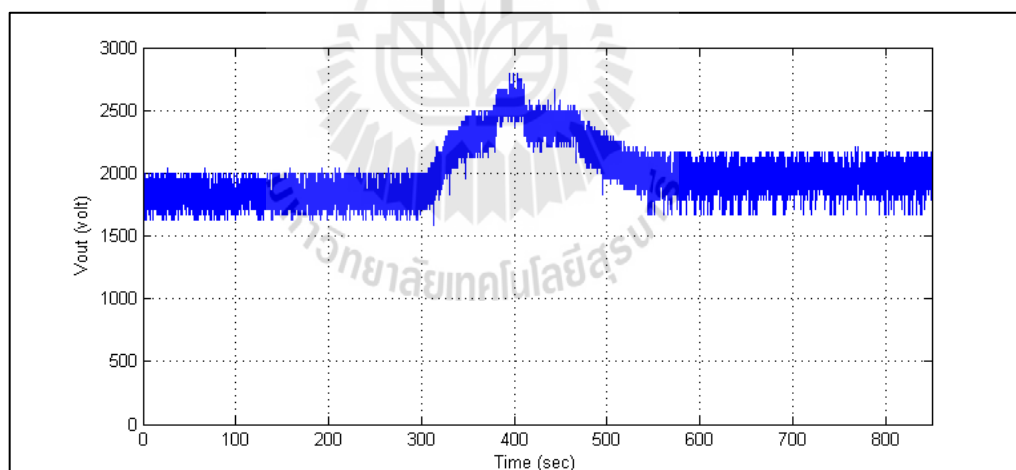


รูปที่ 5.28 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.2×10^{-9} ทอร์

- ผลการทดสอบเมื่อตั้งค่า SV ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์ และสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.3×10^{-9} ทอร์ ดังแสดงในรูป 5.29 และ 5.30



รูปที่ 5.29 ผลการตอบสนองของความดัน เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.3×10^{-9} ทอร์



รูปที่ 5.30 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก เมื่อสร้างสัญญาณรบกวนประมาณ 0.3×10^{-9} ทอร์

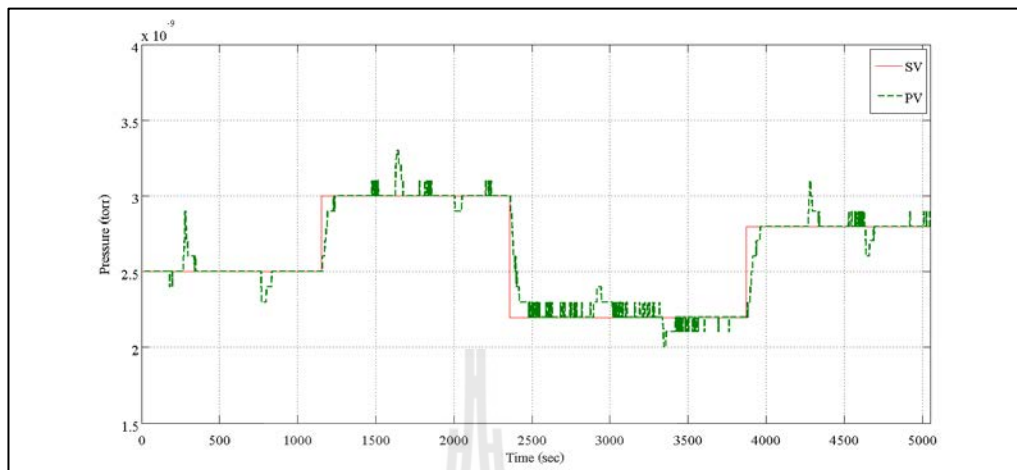
จากผลการทดสอบกรณีที่ 3 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อต้องการความดันอ้างอิงที่ และมีการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ พบว่าการทดลองทั้ง 3 กรณี ตั้งค่า SV อ้างอิงที่ 2.5×10^{-9} ทอร์ พร้อมทั้งสร้างสิ่งรบกวนที่เป็นอากาศเข้าสู่ภาชนะทดสอบ ขนาด 0.1×10^{-9} ทอร์, 0.2×10^{-9} ทอร์ และ 0.3×10^{-9} ทอร์ ตามลำดับ ระบบควบคุมที่พัฒนาสามารถรักษาความดันสุญญากาศในกรณีที่สร้างสิ่งรบกวน ขนาด 0.1×10^{-9} ทอร์ และ 0.2×10^{-9} ทอร์ โดยระยะเวลาการรักษาความดันสุญญากาศ การสร้างสิ่งรบกวนที่มีขนาดน้อยจะใช้ระยะเวลาที่รวดเร็วในการรักษาความดันให้เข้าสู่จุดอ้างอิง ในส่วนกรณีการสร้างสิ่งรบกวนที่มีขนาด 0.3×10^{-9} ทอร์ ระบบไม่สามารถรักษาความดันให้เข้าสู่จุดอ้างอิงได้ แต่สามารถรักษาความดันให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับจุด SV ที่ประมาณ 2.8×10^{-9} ทอร์ ทำให้ความดันสุญญากาศในระบบไม่เกิดความเสียหาย

5.4.4 กรณีที่ 4 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิง และมีการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ

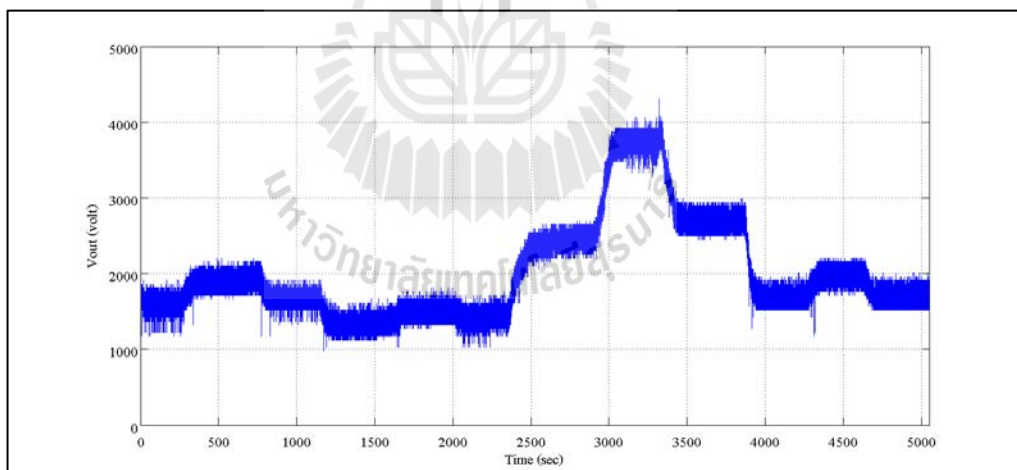
ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิง และมีการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ ทำการทดสอบควบคุมความดันสุญญากาศในช่วงขอบเขตระหว่าง 2.0×10^{-9} ถึง 4.0×10^{-9} ทอร์ โดยเปลี่ยนแปลงค่า SV ในลักษณะรูปแบบขั้นบันได ตั้งแต่ค่าความดันที่ 2.5×10^{-9} ทอร์, 3.0×10^{-9} ทอร์, 2.2×10^{-9} และ 2.8×10^{-9} ทอร์ ตามลำดับ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- 1) เมื่อความดันเข้าสู่จุด SV อ้างอิง ทำการคงค่าความดันเป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาที
- 2) สร้างสัญญาณรบกวนที่เป็นอากาศเข้าสู่ภาชนะทดสอบ โดยเปิดวาล์วค้างไว้ เพื่อให้อากาศเข้าสู่ระบบตลอดเวลา ซึ่งขนาดการสร้างสัญญาณรบกวนระบบทำให้ความดันสูงขึ้น มีขนาดประมาณ 0.2×10^{-9} ทอร์ และคงค่าสัญญาณรบกวนเป็นเวลาประมาณ 5 นาที
- 3) ปิดวาล์วเพื่อหยุดการสร้างสัญญาณรบกวน พร้อมทั้งให้ระบบมีการรักษาความดันให้กลับสู่ค่า SV อ้างอิง และคงค่าความดันเป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาที
- 4) เปลี่ยนแปลงการตั้งค่า SV ลำดับต่อไป จากนั้นกลับไปทดสอบอีกครั้งตามหัวข้อที่ 1 จนกระทั่งเปลี่ยนแปลงค่า SV จนครบ
- 5) เก็บผลการทดสอบ

- ผลการทดสอบครั้งที่ 1 ดังแสดงในรูป 5.31 และ 5.32

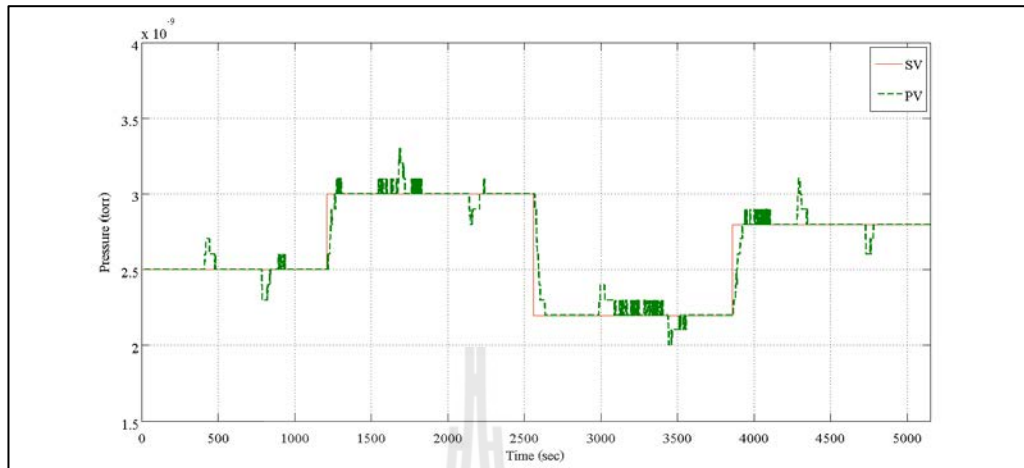


รูปที่ 5.31 ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน

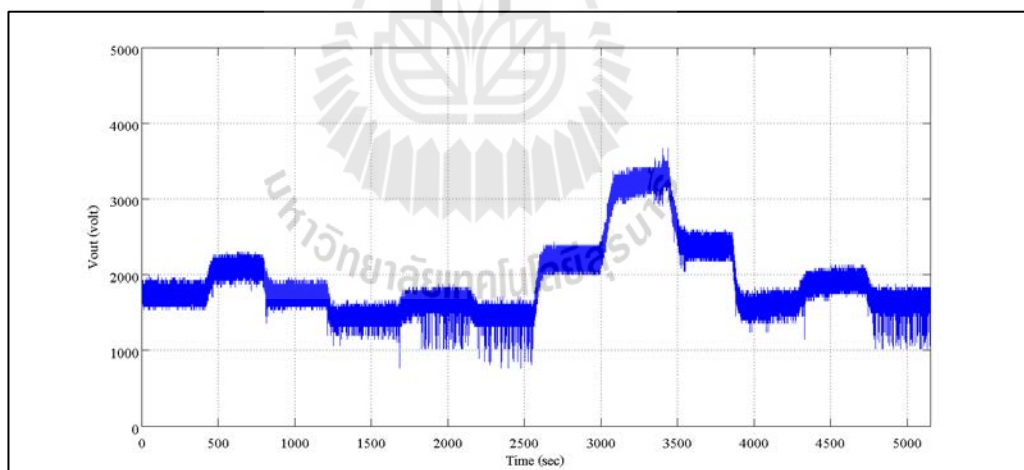


รูปที่ 5.32 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน

- ผลการทดสอบครั้งที่ 2 ดังแสดงในรูป 5.33 และ 5.34

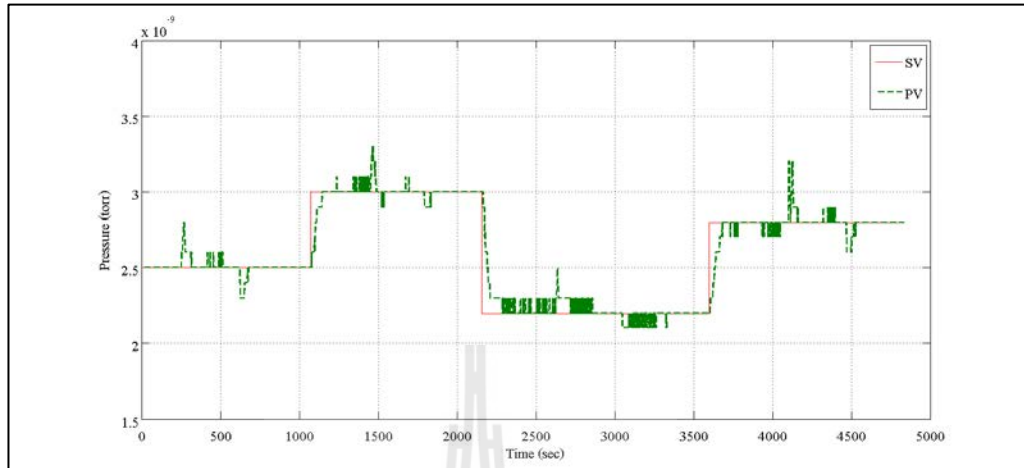


รูปที่ 5.33 ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน

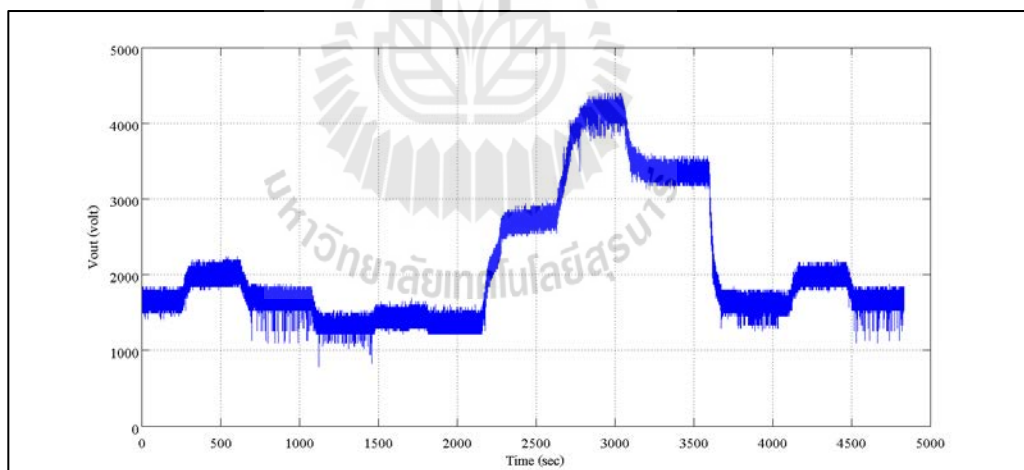


รูปที่ 5.34 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน

- ผลการทดสอบครั้งที่ 3 ดังแสดงในรูป 5.35 และ 5.36



รูปที่ 5.35 ผลการตอบสนองของความดัน ครั้งที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน



รูปที่ 5.36 ผลการตอบสนองของแรงดันขาออก ครั้งที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV และสร้างสัญญาณรบกวน

จากผลการทดสอบกรณีที่ 4 ผลการตอบสนองความดันในภาชนะทดสอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันอ้างอิง และมีการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ พบว่าการทดลองทั้ง 3 กรณี มีการเปลี่ยนแปลงค่า SV ในลักษณะรูปแบบขั้นบันได ที่ 2.5×10^{-9} ทอร์, 2.5×10^{-9} ทอร์, 2.2×10^{-9} ทอร์ และ 2.8×10^{-9} ทอร์ ทอร์ ตามลำดับ พร้อมทั้งมีการสร้างสิ่งรบกวนที่เป็นอากาศเข้าสู่ภาชนะทดสอบที่ขนาด 0.2×10^{-9} ทอร์ ระบบควบคุมที่พัฒนา สามารถรักษาความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบได้ ไม่ว่าจะเปลี่ยนแปลงค่า SV เป็นค่าอื่น ๆ ที่อยู่ในขอบเขตของการทดสอบระหว่าง 2.0×10^{-9} ถึง 4.0×10^{-9} ทอร์ ระบบควบคุมสามารถรักษาความดันให้กลับเข้าสู่จุด SV ที่ต้องการได้ และจากการสังเกตผลการทดสอบ เมื่อกำหนด SV อ้างอิง อยู่ใกล้ขอบเขตที่กำหนด พร้อมทั้งสร้างสัญญาณรบกวนเข้าสู่ระบบ พบว่าการรักษาความดันให้เข้าสู่จุด SV มีความผิดพลาดประมาณ $\pm 5\%$ ของค่า SV อ้างอิง ซึ่งเกิดจากการจ่ายแรงดัน ไฟฟ้าให้กับปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนมีค่าใกล้เคียงหรือเกินขอบเขตที่ออกแบบไว้

5.5 สรุป

จากผลการทดสอบการประมาณค่าความดันในภาชนะทดสอบทั้ง 4 กรณี พบว่าระบบสามารถตอบสนองต่อค่า SV ที่ต้องการหรือมีการเปลี่ยนแปลงค่า SV ในช่วงขอบเขตของความดันสุญญากาศระหว่าง 2.0×10^{-9} ถึง 4.0×10^{-9} ทอร์ และมีการตอบสนองของระบบที่รักษาความดันให้อยู่ในค่า SV อ้างอิง เมื่อระบบถูกรบกวนด้วยอากาศภายนอก ทำให้สามารถนำระบบควบคุมดังกล่าวไปใช้งานในการทำความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศ เพื่อเป็นแนวทางหรือต้นแบบในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านสุญญากาศ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมความดันสุญญากาศต้นแบบ ซึ่งกระบวนการออกแบบชุดควบคุมจะมีการออกแบบที่ซับซ้อน เนื่องจากต้องอาศัยความรู้ทางวิศวกรรมหลายด้าน เช่น เครื่องกล ไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งแนวคิดของงานวิจัยเป็นการออกแบบระบบเพื่อควบคุมการทำงานปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน (Sputter-ion Pump) ขนาด 500 ลิตรต่อวินาที เท่านั้น โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ระบบควบคุมความดันสุญญากาศ ทำงานได้อย่างอัตโนมัติและสามารถควบคุมความดันในภาชนะทดสอบขนาด 71 ลิตร ในช่วง 1.0×10^{-8} ทอร์ ถึง 1.0×10^{-9} ทอร์ ของระบบลำแสงซินโครตรอน ห้องปฏิบัติการแสงสยาม สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) โดยระบบควบคุมที่พัฒนามีประสิทธิภาพเทียบเท่า หรือสามารถทดแทนระบบควบคุมความดันสุญญากาศที่นำเข้าจากต่างประเทศ สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

- 1) ได้ศึกษาและออกแบบวงจรภาคแรงดันต่ำ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR คือ บอร์ด Arduino-UNO เป็นตัวควบคุมที่รับคำสั่งจากโปรแกรม LabVIEW และออกแบบวงจรลดแรงดัน วงจรสร้างสัญญาณเสมือนคลื่นไซน์ (Modified Sinewave) เพื่อสามารถควบคุมชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบที่มีแรงดันสูงประมาณ 0 – 5,500 โวลต์ ได้ตามที่ต้องการ

- 2) ได้ศึกษาและประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมความดันสุญญากาศ โดยใช้วิธีระบุเอกลักษณ์ของระบบ ประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของระบบควบคุมไฟฟ้าแรงดันสูงที่ประมาณแบบจำลองโดยใช้ผลการตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง และส่วนของปั๊มสุญญากาศชนิดไอออนที่ประมาณแบบจำลองโดยใช้ผลการตอบสนองของระบบอันดับสอง

- 3) ระบุเอกลักษณ์ของระบบควบคุมความดันสุญญากาศ โดยใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าตัวแปร (Parameter Estimation) ในโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม โดยผลการตอบสนองของอินพุตและเอาต์พุต

4) ออกแบบตัวควบคุม สำหรับระบบความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบแบบพีไอ (PI-Controller) โดยกำหนดลักษณะผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุต คือ ช่วงเวลาขาขึ้น (T_r) 70 วินาที ,ช่วงเวลาเข้าที่ (T_s) 120 วินาที ,%การพุ่งเกิน ($P.O.$) 10 % และ ค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว (e_{ss}) ± 2 %

ผลการทดสอบทำให้เห็นว่าการออกแบบชุดควบคุมความดันสุญญากาศที่มีการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการใช้ผลการตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งร่วมกับผลการตอบสนองของระบบอันดับสอง สามารถทำความดันสุญญากาศในภาชนะทดสอบได้ในช่วง 1.0×10^{-8} ทอร์ ถึง 1.0×10^{-9} ทอร์ และสามารถควบคุมความดันในช่วงขอบเขตระหว่าง 2.0×10^{-9} ทอร์ ถึง 4.0×10^{-9} ทอร์ สำหรับผลการตอบสนองที่มีการกำหนดความดันอ้างอิงคงที่ และมีความดันจากจุดเริ่มต้นประมาณ 2.5×10^{-8} ทอร์ พบว่ามีผลการตอบสนอง ค่าการพุ่งเกินประมาณ 28% ช่วงเวลาอยู่ตัว ประมาณ 260 วินาที และความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวที่ ± 5 % ส่วนผลการตอบสนองที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความดันอ้างอิง ระบบควบคุมสามารถรักษาระดับความดันได้ตามที่ต้องการแม้ว่าจะมีสัญญาณรบกวนที่เป็นอากาศภายนอกเข้าสู่ระบบ โดยสัญญาณรบกวนต้องมีขอบเขตระหว่าง 1.0×10^{-8} ทอร์ ถึง 2.0×10^{-8} ทอร์ หรือคิดเป็น 8% ของความดันสุญญากาศตั้งต้น ซึ่งผลการตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตมีการพุ่งเกินน้อยกว่า 5% ช่วงเวลาอยู่ตัว ประมาณ 115 วินาที และความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวที่ ± 5 %

เมื่อพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์มูลค่าของงานวิจัย สามารถลดต้นทุนจากการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศได้เป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนในการพัฒนาระบบควบคุมความดันสุญญากาศที่มีราคาประมาณไม่เกิน 20,000 บาท และต้นทุนที่นำเข้าสู่ชุดควบคุมความดันสุญญากาศจากต่างประเทศที่มีราคาประมาณ 200,000 ถึง 300,000 บาท ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการนำเข้าได้ถึง ประมาณ 90% หรือ ลดต้นทุนถึง 10 เท่า ของราคาที่นำเข้าจากต่างประเทศ อีกทั้งเป็นการพัฒนาระบบควบคุมต้นแบบที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีสุญญากาศ และรองรับการขยายสถานีทดลองในห้องปฏิบัติการแสงสยามที่มีการใช้งานปั๊มสุญญากาศจำนวนมากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

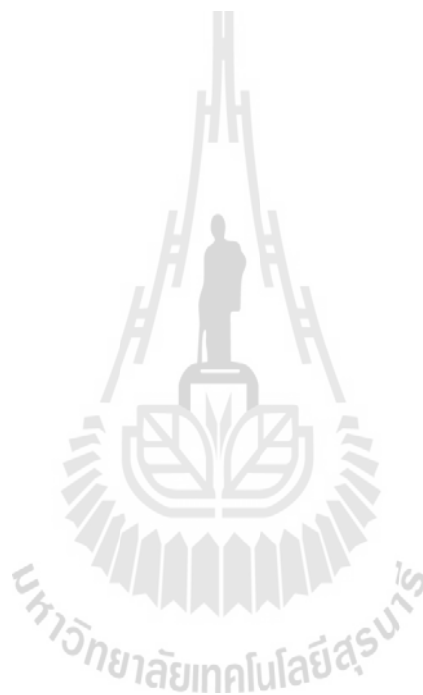
การศึกษาออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความดันสุญญากาศในภาชนะด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อให้ชุดควบคุมความดันสุญญากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ควรจะมีลักษณะดังนี้

- 1) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของป้อนแบบสปีดเตอร์ไอออน โดยพิจารณาแบบจำลองทางทฤษฎีที่อาศัยหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ เพื่อให้สามารถออกแบบระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้
- 2) ออกแบบหรือเลือกใช้งานชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีฟังก์ชันการจ่ายสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ที่สูง และสามารถปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่มีขนาดของบิตข้อมูลที่มากกว่า 8 บิต เพื่อลดค่าของการออกแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุได้
- 3) ออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรืออินเวอร์เตอร์ให้มีระดับของการอินเวอร์เตอร์ มากกว่า 2 ระดับ ซึ่งทำให้สัญญาณขาออกมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์มากขึ้น เพื่อลดการเกิดฮาร์โมนิกส์ หรือสัญญาณรบกวน ให้มีการเพี้ยนของสัญญาณให้น้อยที่สุด
- 4) ออกแบบชุดวงจรลดแรงดัน ให้สามารถควบคุมชุดเพาเวอร์ซัพพลายต้นแบบ ให้มีแรงดันขาออกอยู่ที่ 0 -7,000 โวลต์ เพื่อทำการเร่งประจุอิเล็กตรอนในป้อนสุญญากาศชนิดไอออนให้หลุดออกจากขั้วแคโทดมากขึ้น ซึ่งทำให้ความดันมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วกว่า การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่มีขอบเขตของการควบคุมต่ำกว่า

รายการอ้างอิง

- กิจไพบูลย์ ชีวพันธุ์ศรี (2554). LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาาระบบการวัดและควบคุม. ซีเอ็ด
ยูเคชั่น. 267 หน้า
- กนต์ธร ชำนิประศาสน์. การวัดเชิงกลด้วย LabVIEW สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, บทที่ 1 หน้า 1-5.
- ประกวอด หงษาชาติ (2555). การพัฒนาเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบควบคุมกระแสขนาด
10 แอมป์. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 9 หน้า
- ประสพโชค ให้อทองคำ (2551) วงจรอินเวอร์เตอร์เจ็ดระดับชนิดแคสเคด, วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 9 ฉบับที่ 16
- ปรีชา กุลธนสมบูรณ์ (2553). การพัฒนาแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับ Sputter Ion Pump ขนาด
150 L/sec. ส่วนระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ฝ่ายเทคนิคและวิศวกรรม สถาบันวิจัยแสง
ซินโครตรอน (องค์การมหาชน). รายงานประจำปี 2553, หน้า 43-44.
- สุพรรณ บุญสุยา (2552). การพัฒนาระบบสุญญากาศ. ส่วนเดินเครื่อง และซ่อมบำรุง
ฝ่ายเครื่องเร่งอนุภาค สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน). รายงานประจำปี
2552, หน้า 43.
- สุเทพ สันหลี (2549). การวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแรงดันต่ำ กระแส
สูง แบบซิงโครนัสบั๊กที่มีการขนาน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าพระนครเหนือ. 87 หน้า
- Daniel W. Hart (2011). "Power Electronics", United States of America, McGraw-Hill
- D. Grahame Homes and Thomas A Lipo (2003). "Pulse Width Modulation for Power Converter
Principles and practice," Wiley interscience.
- Kimo M. Welch (2001). "Capture Pumping Technology", 2nd Ed. Elsevier, North-Holland,
pp.158-160
- L. Schulz CERN (1999). "Vacuum Technology", CERN-99-05 (Ed.): S Turner (Geneva: CERN),
Accelerator School, p 37
- Ogata, K (2010). Modern Control Engineering, 5th edition, ISBN: 10:0-13-713337-5, Pearson,
New Jersey.

- O. Seify (2014). DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE SPUTTER ION PUMP IN ILSF, Proceedings of IPAC2014, Dresden, Germany
- S. Chonsatidjamroen, K-N. Areerak and K-L. Areerak (2013). “The Application of Averaging Model for Optimized Cascade PI Controllers of Buck Converters using Artificial Intelligence Techniques”, European Journal of Scientific Research, Volume 98, No 3, 2013, pp. 339-353.





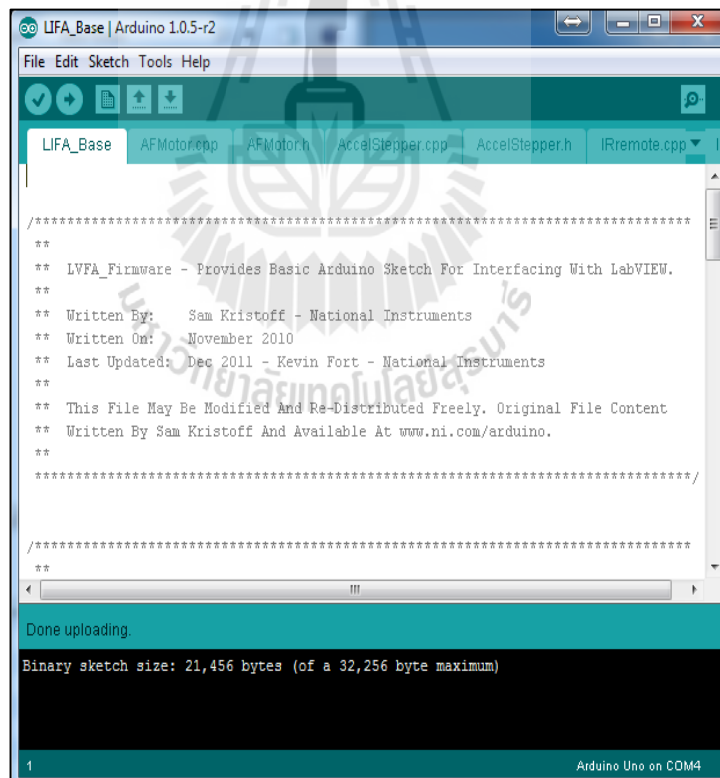
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

วิธีการสร้างสัญญาณพัลส์ ความถี่ 10 kHz

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 การสร้างสัญญาณพัลส์ ความถี่ 10kHz จากบอร์ด Arduino-UNO

การเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ที่ 10 kHz จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino-UNO) จะทำการเขียนด้วยภาษา C++ บนโปรแกรม Arduino v1.0.5-r2 ดังรูปที่ ก.1 ซึ่งการจะเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณพัลส์ที่ความถี่ 10 kHz จะต้องมีการแก้ไขข้อมูล Register ที่อยู่ใน IC Atmel 328P ที่อยู่บนบอร์ด Arduino โดยปกติบอร์ด Arduino จะมีการจ่ายความถี่ที่ค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 488 Hz ที่ pin ขา 3 และ ขา 11 ดังตารางที่ ก.1 ซึ่งความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่มีค่าน้อย จะไม่เพียงพอต่อการออกแบบ Switching Power Supply ได้ เพราะว่าการออกแบบวงจร Filter ที่มีการใช้ ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ จะต้องมีการใช้งานขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การออกแบบดังกล่าวไม่เหมาะกับการใช้งานอุปกรณ์ที่มีเนื้อที่จำกัด และหาซื้อได้ยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้ เลือกใช้ความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ 10 kHz เพื่อที่จะลดขนาดของการออกแบบตัว Filter ได้



รูปที่ ก.1 โปรแกรม Arduino v1.0.5-r2

ตารางที่ ก.1 แสดงรายละเอียดความถี่ของสัญญาณพัลส์

Pin	Base Frequency (Hz)	Divisor	Timer	Frequency Output
3,11	31250	1	TCCR2B (Timer 2)	31250
		8		3906
		32		977
		64		488
		128		244
		256		122
		1024		31

ในส่วนของการสร้างสัญญาณพัลส์ที่ 10 kHz จะมีการแก้ไขข้อมูลที่ Register เป็นแบบ Fast PWM Mode ซึ่งเป็นโหมดที่มีการสร้างสัญญาณ PWM ความถี่สูงด้วยวิธีการแบบสโลปเดียว (Single Slope) โดยจะเหมาะกับการนำไปใช้งานในด้าน วงจรสร้างกระแสดตรงคงที่ หรือ วงจรเรียงกระแส เป็นต้น ซึ่งข้อเสียของโหมดนี้คือจะไม่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ตามต้องการ ซึ่งโค้ดโปรแกรมสามารถเขียนได้ดังรูปที่ ก.2

```

set_frequency_PWM | Arduino 1.0.5-r2
File Edit Sketch Tools Help
set_frequency_PWM $
const int PWMpin = 3; //กำหนด pin3 เป็นขาพัลส์สัญญาณพัลส์ต้องการ
void setup() {
// generate 10kHz PWM pulse rate on Pin 3
pinMode(PWMpin, OUTPUT); // OCR2B sets duty cycle
// Set up Fast PWM on Pin 3
TCCR2A = 0x23; //0x23 COM2B1, WGM21, WGM20
// Set prescaler
TCCR2B = 0x0A; //0x0A WGM21, prescaler = /8
// Set TOP and initialize duty cycle to zero(0)
OCR2A = 199; // 199 TOP DO NOT CHANGE, SETS PWM PULSE RATE
OCR2B = 0; // initial duty cycle for Pin 3 (0-199) generates 1 500nS pulse even when 0 :(
}
void loop() {
OCR2B = 100; // This sets duty cycle to approx 50%
}
Arduino Uno on COM10
  
```

รูปที่ ก.2 โค้ดโปรแกรม Arduino สำหรับการสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 10 kHz



ภาคผนวก ข

การใช้งาน LabVIEW Interface for Arduino (LIFA)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข.1 ข้อมูลทางเทคนิคบอร์ด Arduino UNO

Arduino/Genuino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328P. It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz quartz crystal, a USB connection, a power jack, an ICSP header and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. You can tinker with your UNO without worrying too much about doing something wrong, worst case scenario you can replace the chip for a few dollars and start over again.

"Uno" means one in Italian and was chosen to mark the release of Arduino Software (IDE) 1.0. The Uno board and version 1.0 of Arduino Software (IDE) were the reference versions of Arduino, now evolved to newer releases. The Uno board is the first in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for an extensive list of current, past or outdated boards see the Arduino index of boards.

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino-Uno)

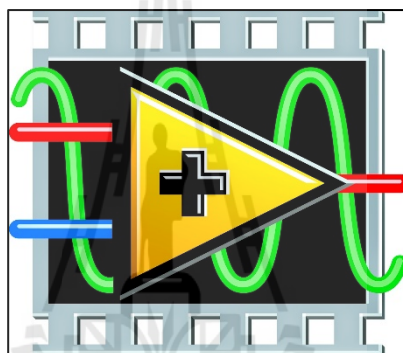
Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) คุณสมบัติบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino-Uno)

Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

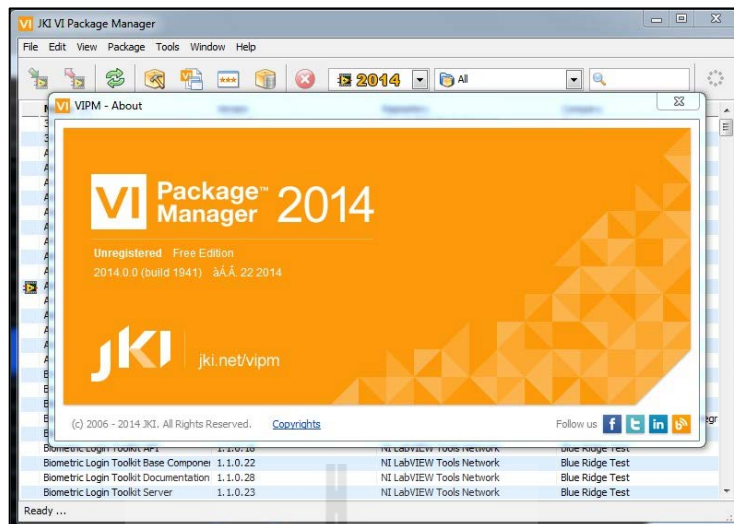
ข.2 การติดตั้งฮาร์ดแวร์ Arduino ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW

- 1) ติดตั้งโปรแกรม LabVIEW ดาวน์โหลดได้ที่ <http://www.ni.com/download-labview/>



รูปที่ ข.1 โลโก้โปรแกรมแล็บวิว

- 2) ติดตั้ง Driver NI-VISA เพื่อให้สามารถควบคุมบอร์ด Arduino ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW โดยดาวน์โหลดได้ที่ <http://www.ni.com/download/ni-visa-5.0.3/2251/en/>
 - 3) ติดตั้งโปรแกรม JKI-VIPM 2014 โดยดาวน์โหลดได้ที่ <http://vipm.jki.net/get>
- ดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 โปรแกรม JKI VI Package Manager 2014

4) ติดตั้งโมดูล Package ที่ชื่อว่า LabVIEW Interface for Arduino ซึ่งสามารถทำตามขั้นตอนดังนี้

- 4.1 เปิดโปรแกรม JKI VI Package Manager 2014 ที่ได้ทำการติดตั้งแล้ว จากข้อที่ 3
- 4.2 ค้นหาโมดูลที่ต้องการโดยไปที่ ช่องค้นหารูปแว่นขยาย แล้วพิมพ์ “Arduino”

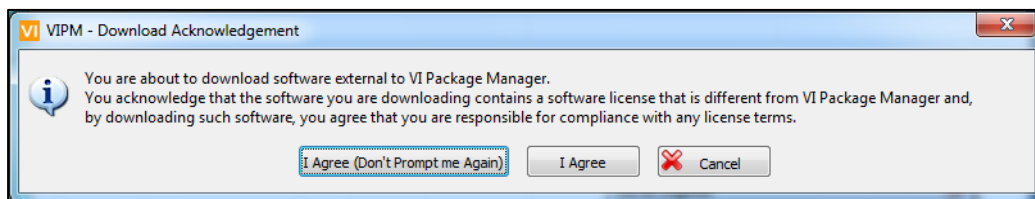
Name \ /	Version	Repository	Company
LabVIEW Interface for Arduino	2.2.0.79	NI LabVIEW Tools Network	National Instruments

รูปที่ ข.3 ขั้นตอนการลงโปรแกรม LabVIEW Interface for Arduino

4.3 คลิกติดตั้งโมดูล
แสดงดังรูปที่ ข.4

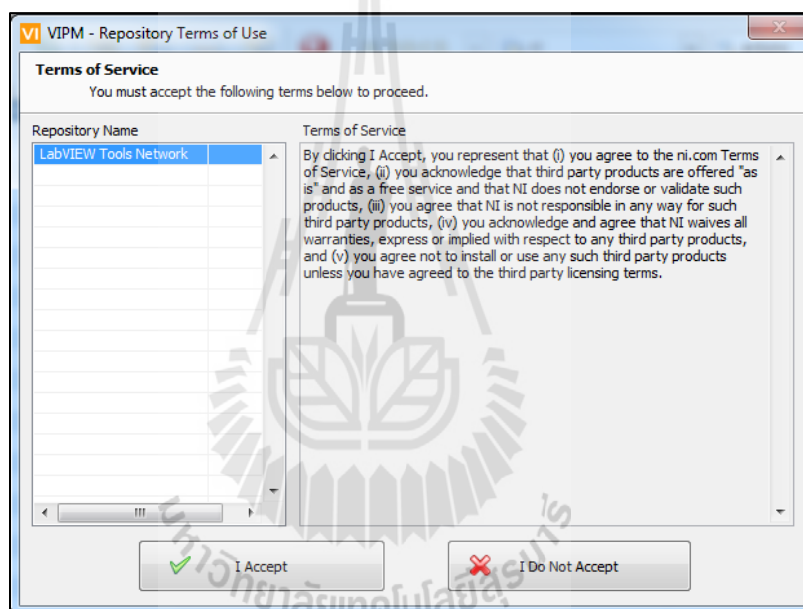


และกดปุ่มยืนยัน I Agree (Don't Prompt me Again)



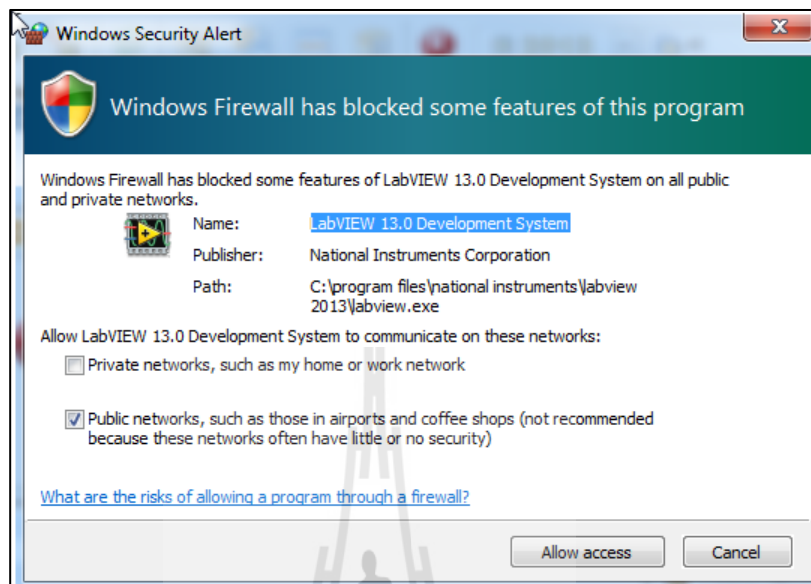
รูปที่ ข.4 ขั้นตอนการลงโปรแกรม LabVIEW Interface for Arduino (ต่อ)

4.4 คลิก I Accept



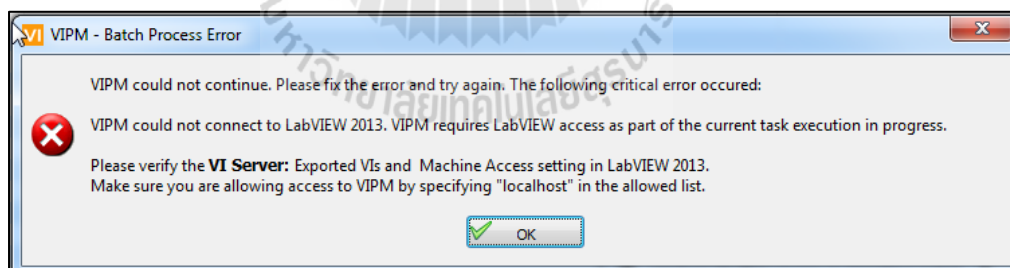
รูปที่ ข.5 ขั้นตอนการลงโปรแกรม LabVIEW Interface for Arduino (ต่อ)

4.5 จะมีหน้าต่าง Windows Security Alert ขึ้นมา ให้คลิก Allow access



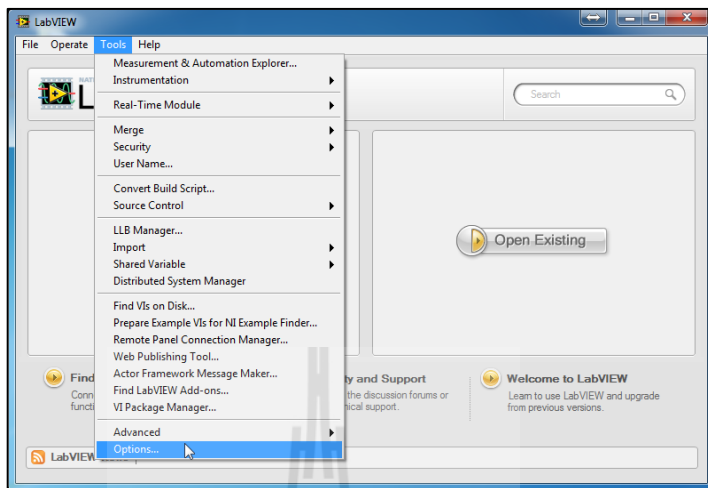
รูปที่ ข.6 ขั้นตอนการลงโปรแกรม LabVIEW Interface for Arduino (ต่อ)

4.6 หากมีข้อความ VIPM-Batch Process Error ขึ้นมา ให้ทำการแก้ไขดังนี้



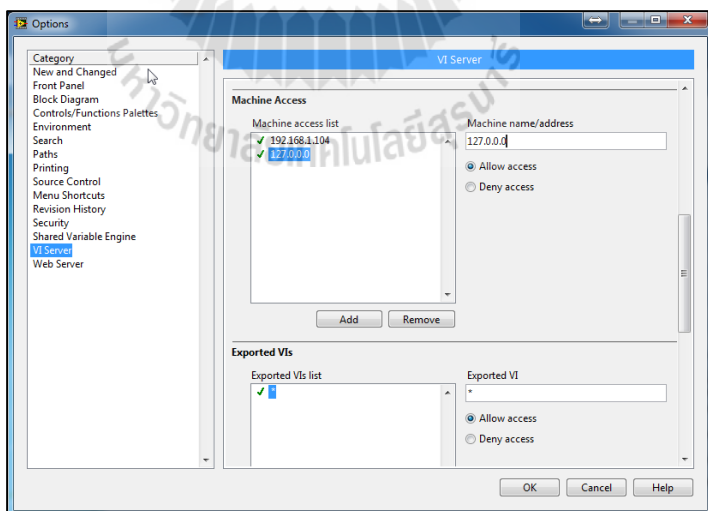
รูปที่ ข.7 ขั้นตอนการลงโปรแกรม LabVIEW Interface for Arduino (ต่อ)

4.6.1 เปิดโปรแกรม LabVIEW จากข้อที่ 1 แล้วไปที่เมนู Tools>>Options



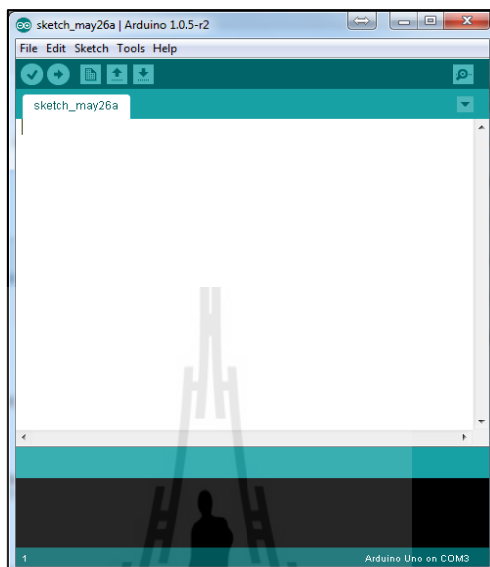
รูปที่ ข.8 ขั้นตอนการลงโปรแกรม LabVIEW Interface for Arduino (ต่อ)

4.6.2 เลือก VI Server คลิก Add ในช่อง Machine name/address แล้วพิมพ์ตัวเลข 127.0.0.0 จากนั้น คลิก Ok ต่อกลับไปติดตั้งใหม่อีกครั้ง ในข้อที่ 4



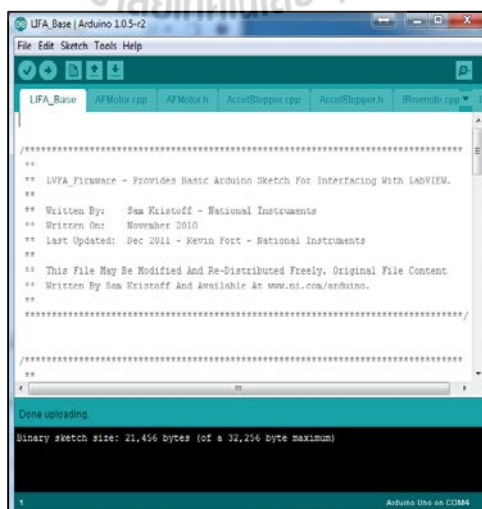
รูปที่ ข.9 ขั้นตอนการลงโปรแกรม LabVIEW Interface for Arduino (ต่อ)

- 5) ติดตั้งโปรแกรม Arduino v1.0.5-r2 โดยสามารถดาวน์โหลดได้ที่
<http://arduino.googlecode.com/files/arduino-1.0.5-r2-windows.exe>



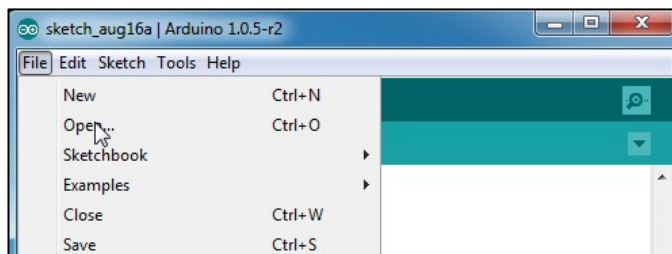
รูปที่ ข.10 โปรแกรม Arduino v1.0.5-r2

- 6) อัปโหลด Firmware ที่ชื่อว่า "LIFA_Base.ino" ลงใน Arduino Board โดยผ่านโปรแกรมที่ติดตั้งจากข้อที่ 4 ซึ่งจะมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ ข.11 ขั้นตอนการอัปโหลด Firmware

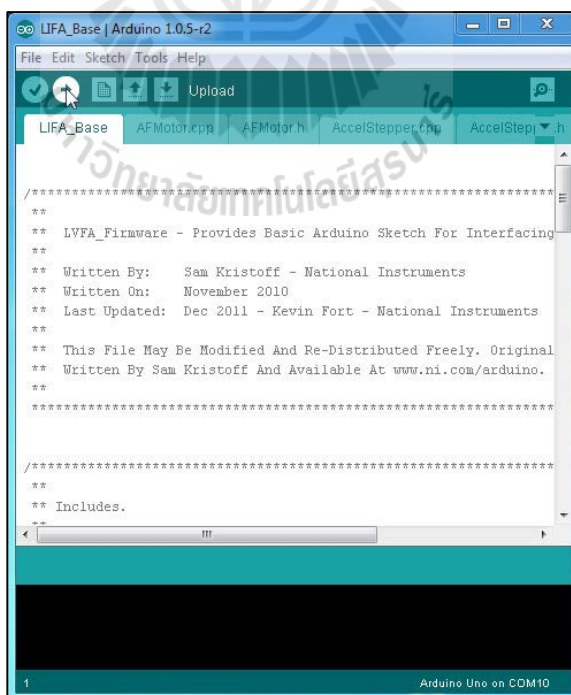
6.1 เปิดโปรแกรม Arduino แล้วไปที่เมนู File >> Open



รูปที่ ข.12 ขั้นตอนการอัปโหลด Firmware (ต่อ)

6.2 เลือกไฟล์ LIFA_Base.ino แล้วคลิก Open โดยไฟล์ Firmware อยู่ที่
 “ C: \Program Files\National Instruments\LabVIEW 2013\vi.lib\LabVIEW Interface for
 Arduino\Firmware\LIFA_Base.ino ”

6.3 คลิกปุ่มอัปโหลด Firmware ลงบนบอร์ด Arduino เป็นอันเสร็จสิ้นการเชื่อมต่อ
 ระหว่างโปรแกรม LabVIEW และบอร์ด Arduino



รูปที่ ข.13 ขั้นตอนการอัปโหลด Firmware (ต่อ)

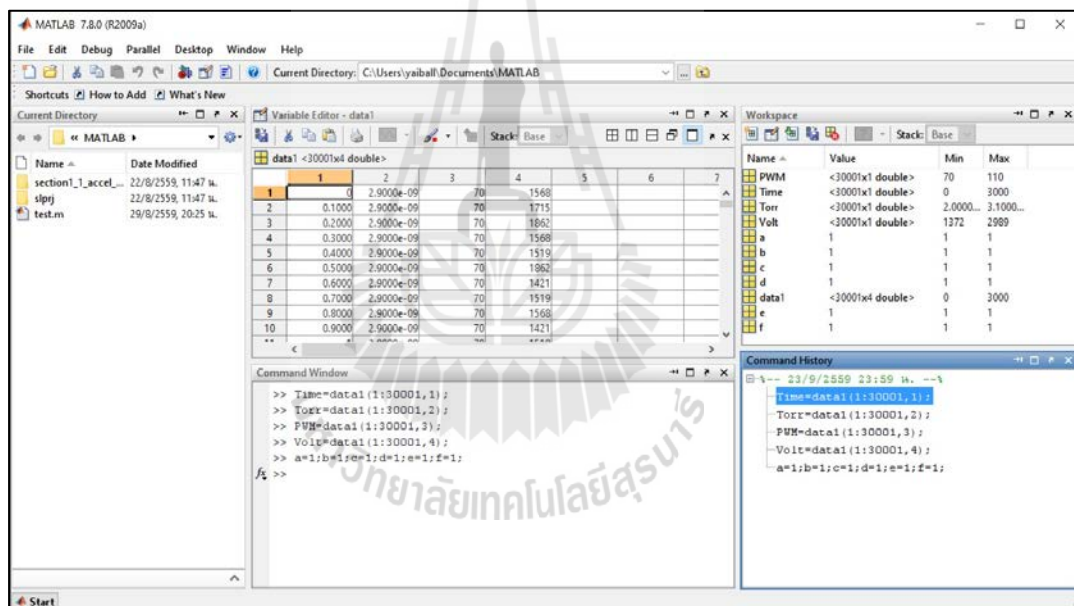


ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์จากโปรแกรม MATLAB/Simulink

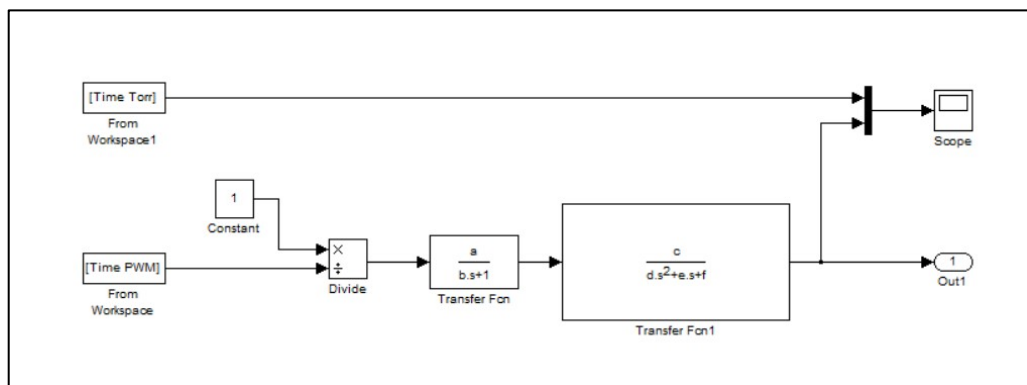
ค.1 ขั้นตอนระบุเอกลักษณ์จากโปรแกรม MATLAB/Simulink ในส่วนของฟังก์ชันการประมาณค่าตัวแปร (Parameter Estimation)

เปิดโปรแกรม MATLAB แล้วนำข้อมูลจากผลการทดลอง คือ ข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุต มาไว้ใน Workspace ของโปรแกรม MATLAB ซึ่งการนำข้อมูลมาเก็บไว้ใน Workspace สามารถนำเข้าข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบ Note page หรืออยู่ในรูปแบบ Excel ได้ โดยการกดปุ่ม Import Data แล้วเลือกข้อมูลที่ต้องการ แต่ก่อนที่จะระบุเอกลักษณ์จะต้องมีแบบจำลองเริ่มต้นของระบบก่อน ต่อไปกำหนดชื่อตัวแปรและข้อมูลเริ่มต้นของระบบ โดยการพิมพ์คำสั่งที่หน้าต่าง Command Window ดังรูปที่ ค.1



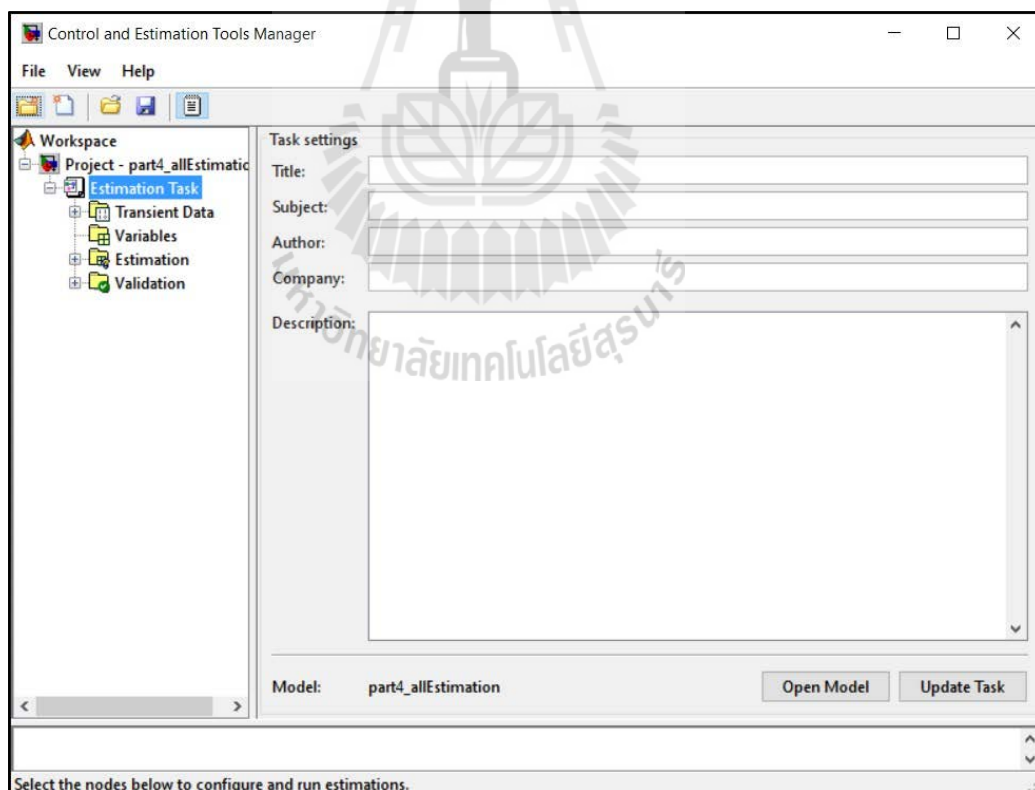
รูปที่ ค.1 หน้าต่างโปรแกรม MATLAB v2009a

1. เปิดการใช้งาน MATLAB/Simulink เพื่อทำการวาดแผนภาพแบบจำลองของระบบ ดังรูปที่ ค.2 พร้อมกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการประมาณค่า โดยพิมพ์คำว่า Simulink ที่ช่อง Command Window



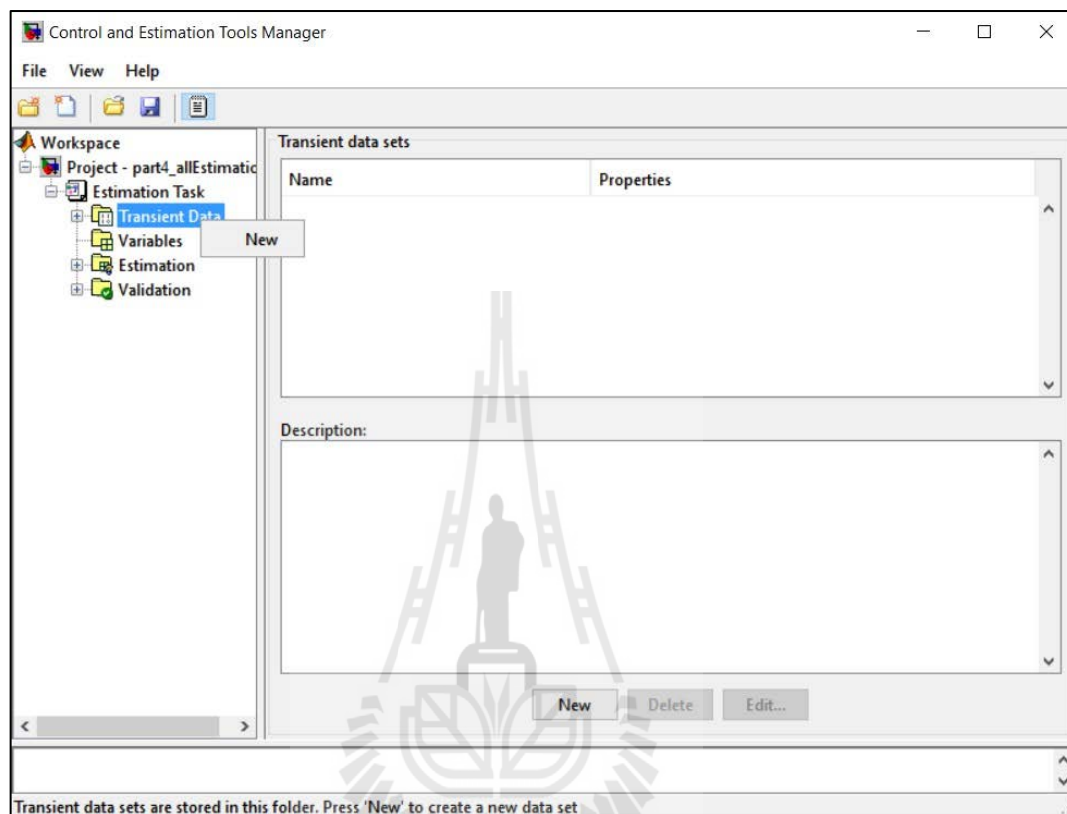
รูปที่ ค.2 แผนภาพแบบจำลองของชุดแหล่งจ่ายและป้อนสัญญาณเทคนิคไอออน

2. ต่อไปประมาณค่าตัวแปร (Parameter Estimation) โดยไปที่เมนู Tools > Parameter Estimation จะมีหน้าต่างขึ้นมา ดังรูปที่ ค.3



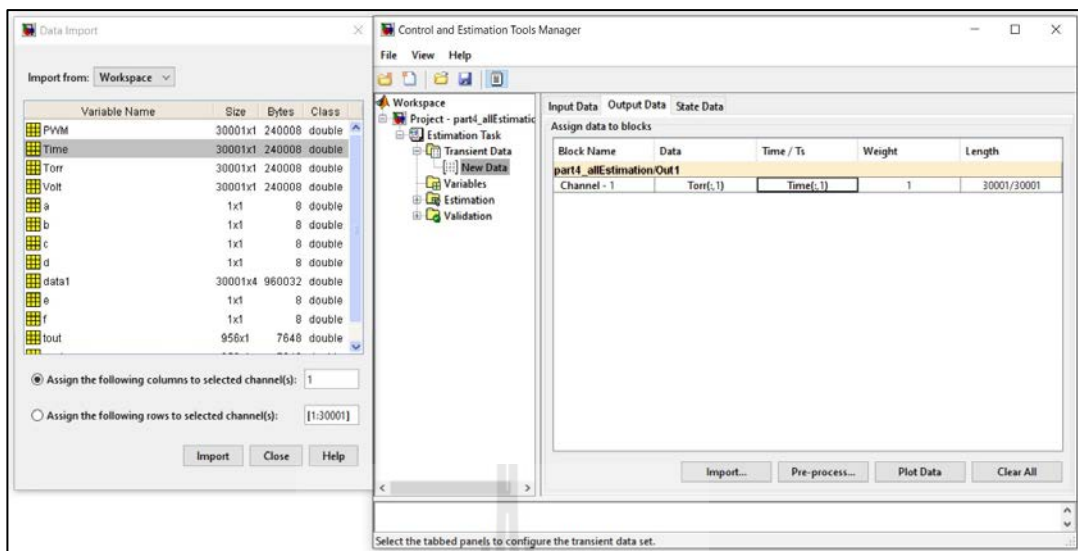
รูปที่ ค.3 แผนภาพหน้าต่างเครื่องมือสำหรับประมาณค่าตัวแปร

3. ทำการสร้าง Task ใหม่ เพื่อทำการประมาณค่าตัวแปร โดยคลิกขวาที่ Transient Data > New จะได้ผลดังรูปที่ ค.4



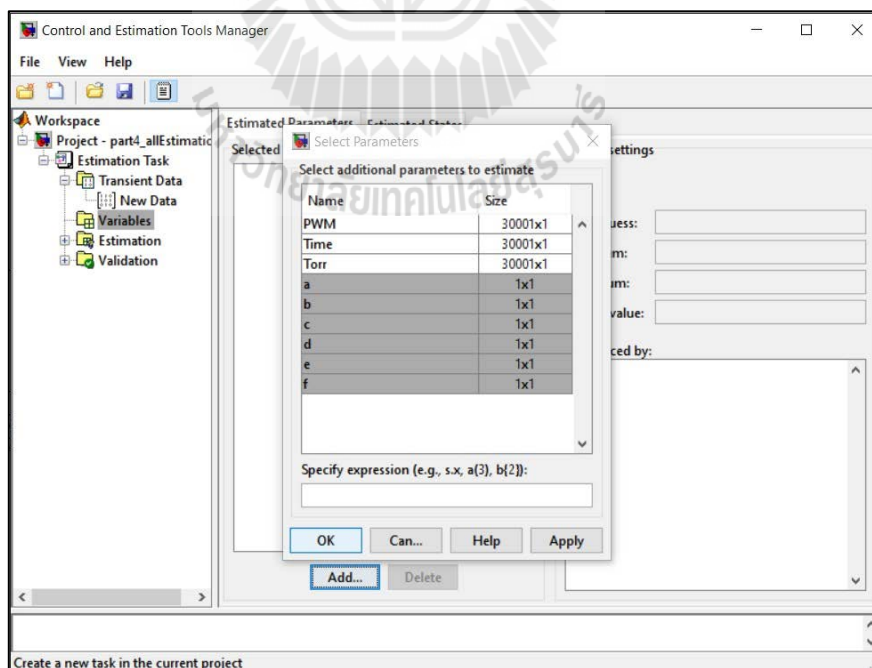
รูปที่ ค.4 ภาพแสดงหน้าต่างการเลือก New Data

4. ทำการเพิ่มข้อมูลเอาต์พุตจากการทดลองและเวลาของการทดลองจริง ที่ Tab ของ Output Data ดังรูปที่ ค.5



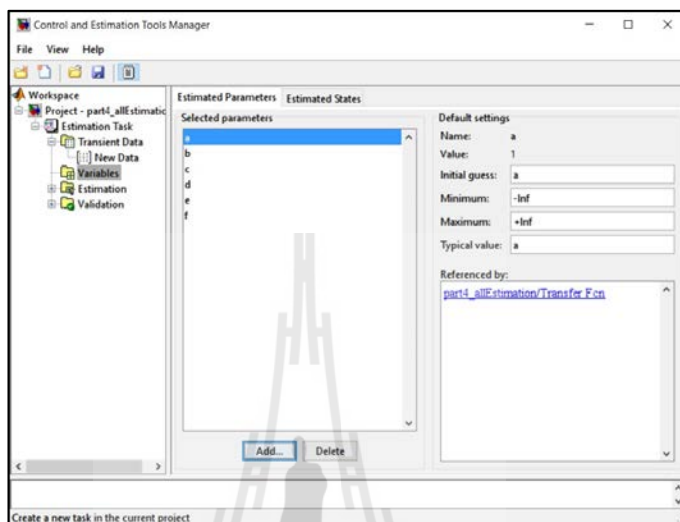
รูปที่ ค.5 หน้าต่างการเพิ่มข้อมูลสัญญาณเอาต์พุตและข้อมูลเวลา

5. เพิ่มตัวแปรที่จะทำการประมาณค่า โดยคลิกที่ Variable > Tab Estimated Parameters
> Add ดังรูปที่ ค.6



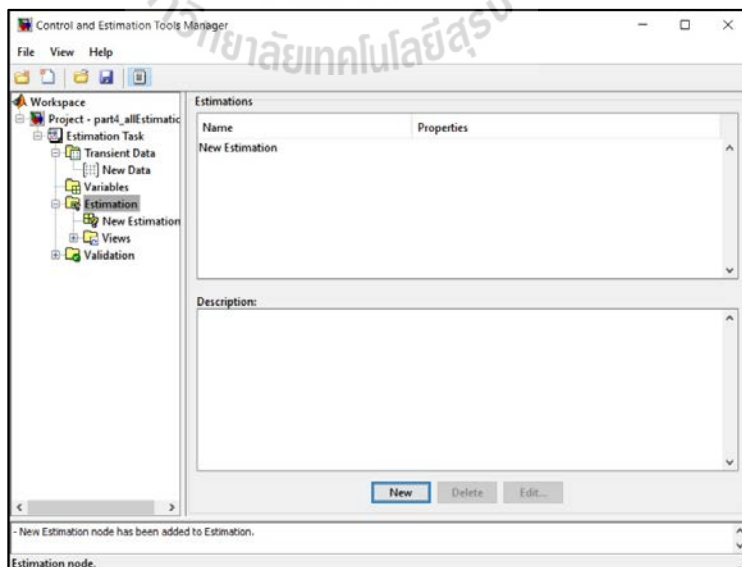
รูปที่ ค.6 หน้าต่างการเพิ่มข้อมูลสัญญาณเอาต์พุตและข้อมูลเวลา

6. เมื่อทำการเพิ่มข้อมูลที่ต้องการประมาณค่าแล้ว ต้องทำการกำหนดขอบเขตของแต่ละตัวแปรเพื่อให้โปรแกรมทำการสุ่มค่าที่อยู่ภายในขอบเขต เพื่อลดระยะเวลาให้น้อยลง ดังรูปที่ ก.7



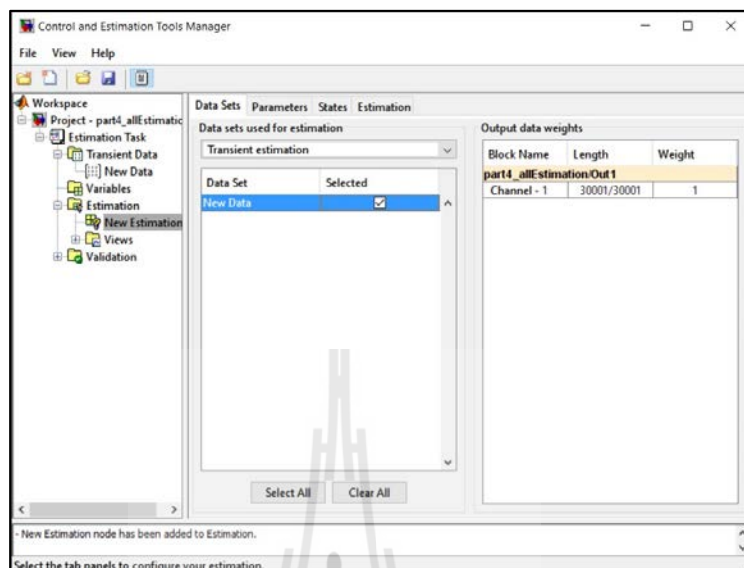
รูปที่ ก.7 หน้าต่างการกำหนดขอบเขตค่าตัวแปรที่ต้องการประมาณค่า

7. สร้าง Estimation Task ใหม่ โดยคลิกขวาที่ Estimation > New จะได้ผลดังรูปที่ ก.8



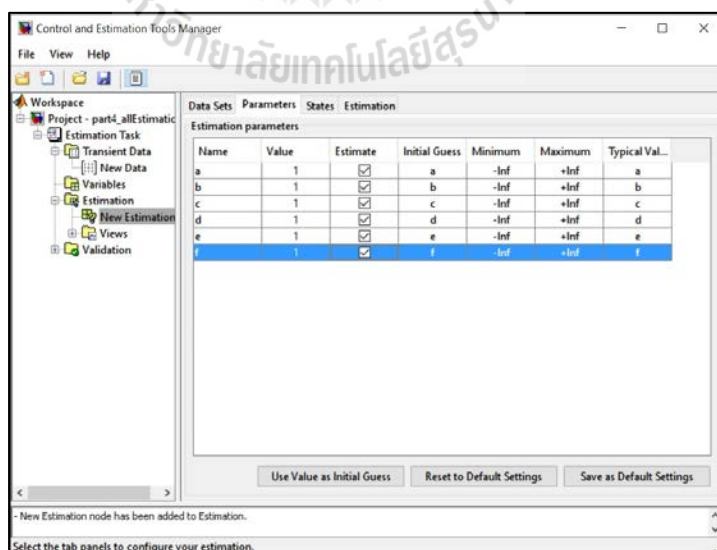
รูปที่ ก.8 หน้าต่างแสดงการสร้าง New Estimation

8. เลือกข้อมูลที่จะทำการประมาณ โดย คลิกช่อง Checkbox ดังรูปที่ ก.9



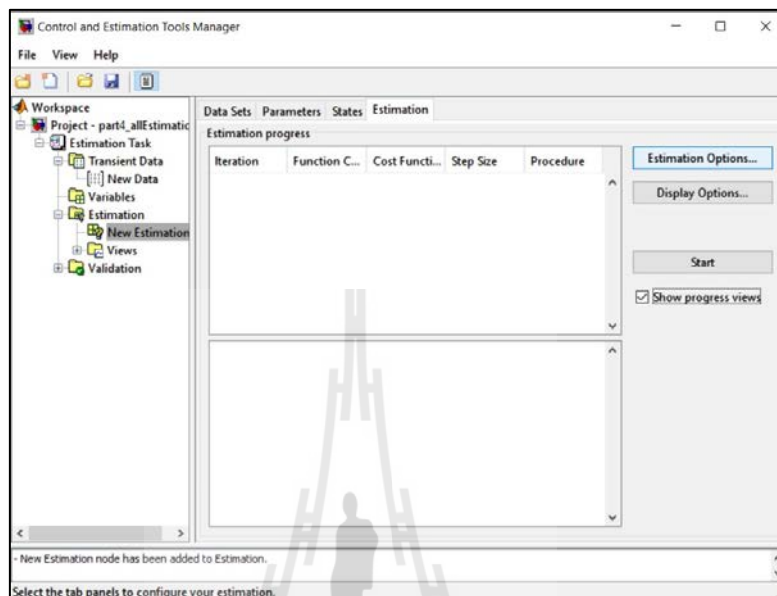
รูปที่ ก.9 หน้าต่างแสดงการเลือกชุดข้อมูลในการประมาณค่า (Estimation)

9. เลือกตัวแปรที่ต้องการประมาณค่าโดยสามารถ คลิกช่อง Checkbox แต่ละตัว ดังรูปที่ ก.10



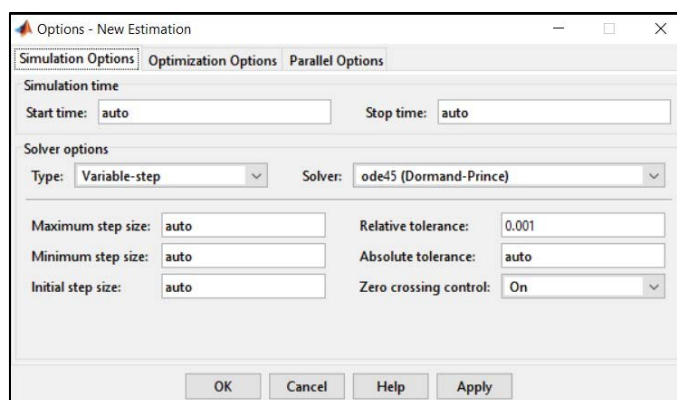
รูปที่ ก.10 หน้าต่างการเลือกตัวแปรแต่ละตัวในการประมาณค่า

10. เลือก Tab Estimation เพื่อทำการกำหนดเงื่อนไขหรือกำหนดอัลกอริทึม ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ดังรูปที่ ค.11



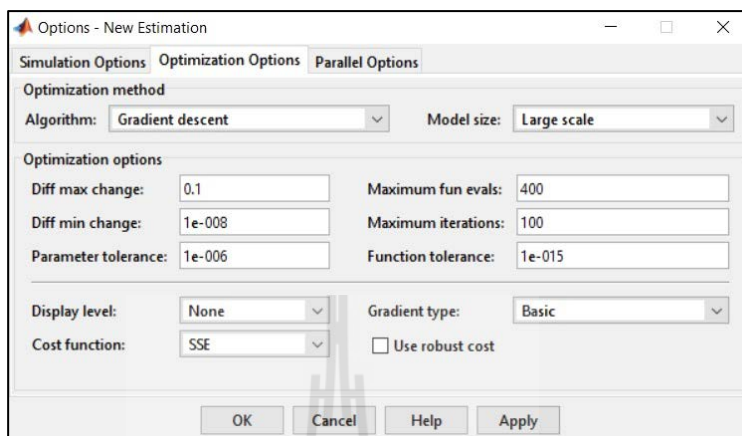
รูปที่ ค.11 หน้าต่างแสดงการกำหนดเงื่อนไขและแสดงผลการประมาณค่า

11. กำหนดเงื่อนไขในการประมาณค่า โดยคลิกที่ Estimation Options ดังรูปที่ ค.11 จากนั้นเลือก Tab Simulation Options โดยส่วนนี้จะสามารถกำหนดช่วงเวลาในการประมาณค่า วิธีการคำนวณ และกำหนด Step size ของข้อมูล ดังรูปที่ ค.12



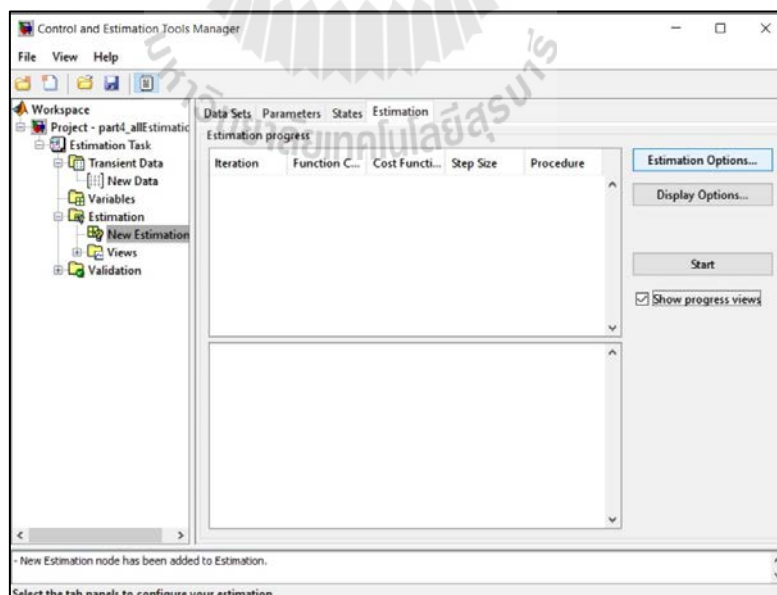
รูปที่ ค.12 หน้าต่างการจำลอง การประมาณค่าตัวแปร

12. ต่อกำหนดค่าการกำหนดอัลกอริทึมที่จะทำการประมาณค่า โดยคลิกที่ Tab Optimization Options โดยจะสามารถกำหนด อัลกอริทึมในการคำนวณ ค่าความผิดพลาด ดังรูปที่ ค.13

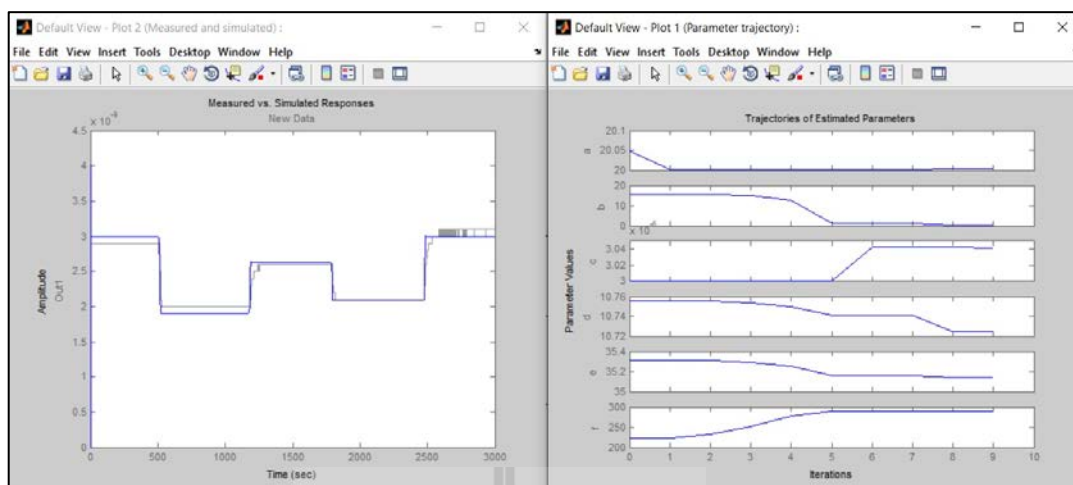


รูปที่ ค.13 หน้าต่างการกำหนดอัลกอริทึมในการประมาณค่า

13. คลิก Checkbox > Show process views > ปุ่ม Start ดังรูปที่ ค.14 แล้ว โปรแกรมก็จะแสดงผลของกราฟการประมาณค่าตัวแปร ดังรูปที่ ค.15



รูปที่ ค.14 หน้าต่างเริ่มการประมาณค่าตัวแปร



รูปที่ ค.15 หน้าต่างผลการตอบสนองจากการประมาณค่า

หลังจากการประมาณค่าตัวแปรเสร็จสิ้น ผลของตัวแปรที่ทำการประมาณ จะถูกบันทึกอยู่ที่หน้าต่างแสดงผลโปรแกรม MATLAB ตรงช่อง Workspace ที่ได้กำหนดตัวแปรตั้งแต่ a ถึง f ไว้ก่อนหน้านั้น โดยในงานวิจัยได้มีการประมาณค่าตัวแปรอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนของชุดเพาเวอร์ซัพพลาย และ ส่วนของปั๊มสุญญากาศชนิดไอออน ซึ่งแต่ละส่วนจะมีการประมาณทั้งหมด 3 ครั้งแล้วทำการหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำผลจากการประมาณค่าทั้ง 2 ส่วน มารวมกัน โดยผลที่ได้จะแสดงดังตาราง ที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้การประมาณค่าตัวแปร

Variable	Parameter Estimation			
	Exp1	Exp2	Exp3	Average
k	0.0017386	0.0017105	0.0017158	0.001721633
a	24.263	24.469	24.428	24.38666667
b	0.064156	0.081748	0.062506	0.06947
c	4.9445E-06	5.0331E-06	5.0678E-06	5.01513E-06
d	0.031369	0.049688	0.016576	0.032544333
e	1.5588	1.2889	1.6271	1.4916
f	0.9934	0.99385	0.99197	0.993073333



ภาคผนวก ง

การใช้โปรแกรม Simulink Response Optimization

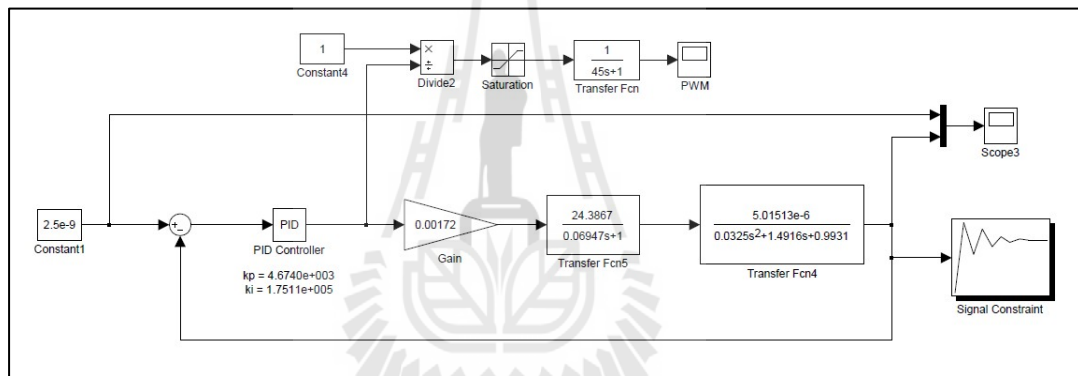
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ง.1 การใช้โปรแกรม Simulink Response Optimization

1. นำแบบจำลองของระบบที่ผ่านการระบุเอกลักษณ์แล้ว มาทำการออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอ (PI – Controller) โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ทำการเพิ่มฟังก์ชัน 2 ส่วน คือ

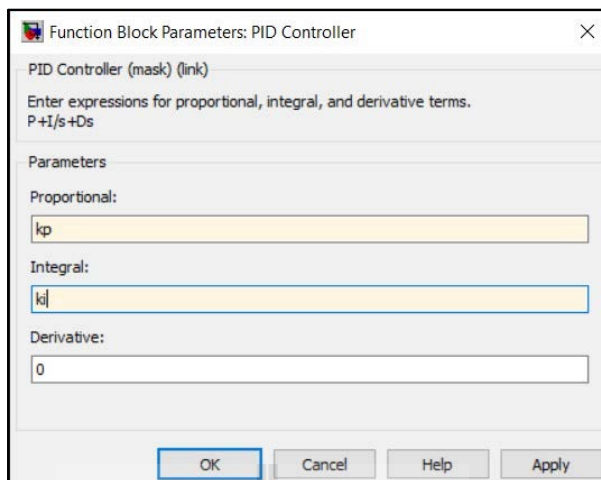
1.1 ฟังก์ชันบล็อก PID Controller โดยไปที่ Libraries > Simulink Extras > Additional Linear > PID Controller

1.2 ฟังก์ชันบล็อก Signal Constraint โดยไปที่ Libraries > Simulink Design Optimization > Signal Constraint จากนั้นทำการวาดแผนภาพแบบจำลองระบบ ตามรูปที่ ง.1



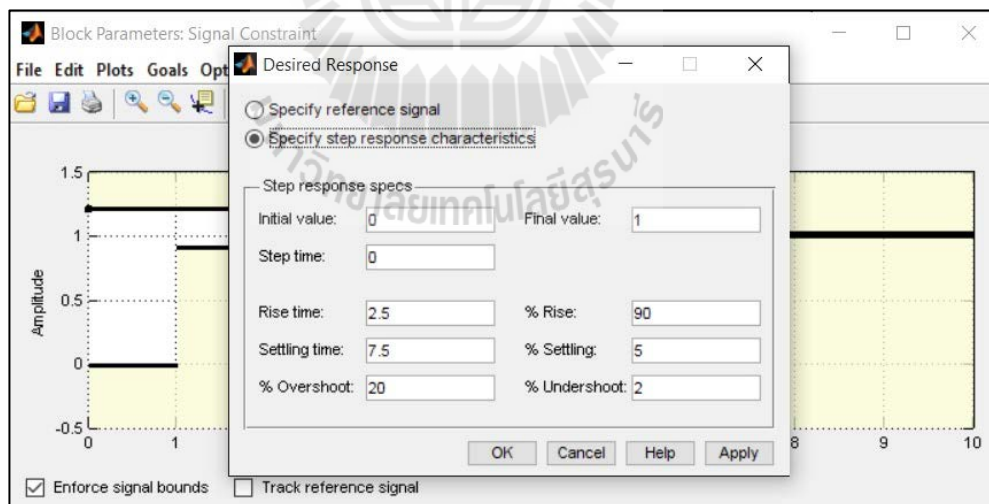
รูปที่ ง.1 แบบจำลองระบบควบคุมแบบพีไอ

2. เพิ่มค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวแปร คือ k_i และ k_p ลงไปในบล็อกของ PID Controller ดังรูป ง.2 พร้อมทั้งกำหนดค่าเริ่มต้นของ k_i และ k_p บนหน้าต่าง Command Window ของโปรแกรม MATLAB ด้วย



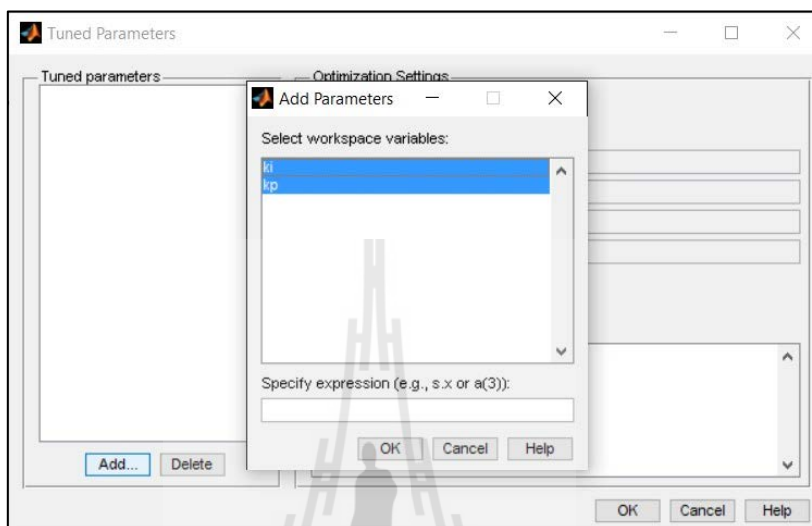
รูปที่ ง.2 ฟังก์ชันบล็อกการกำหนดค่า PID Controller

3. ทำการกำหนดค่ารูปแบบของสัญญาณเอาต์พุตในฟังก์ชันบล็อก Signal Constraint โดยไปที่ Menu Goals > Desired Response แล้วเลือก Specify step response characteristics เพื่อ กำหนดค่า Rise time, Settling time %Overshoot และอื่น ๆ ดังรูปที่ ง.3



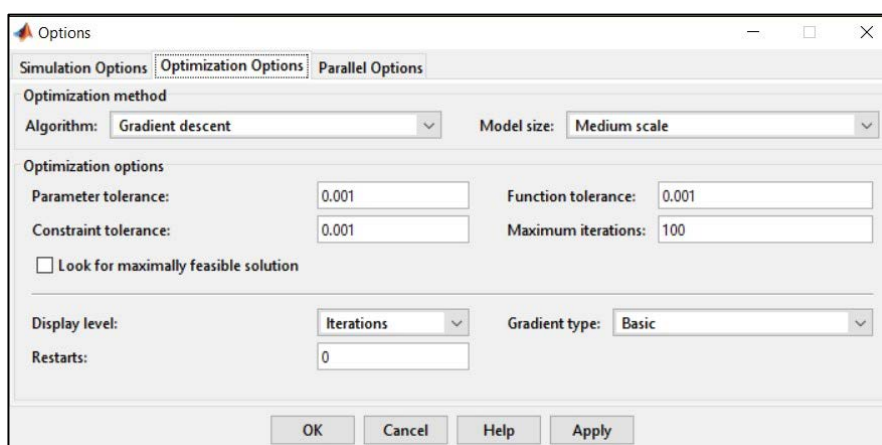
รูปที่ ง.3 แผนภาพแสดงหน้าต่าง Signal Constraint และการกำหนดค่ารูปแบบสัญญาณ

4. ทำการเลือกตัวแปรสำหรับการออกแบบควบคุมชนิด PI โดยไปที่ Menu Optimization > Tuned Parameters... แล้วเลือกตัวแปรที่ทำการออกแบบ พร้อมทั้งสามารถกำหนดขอบเขตของการประมาณค่าได้ แสดงรูปที่ ง.4



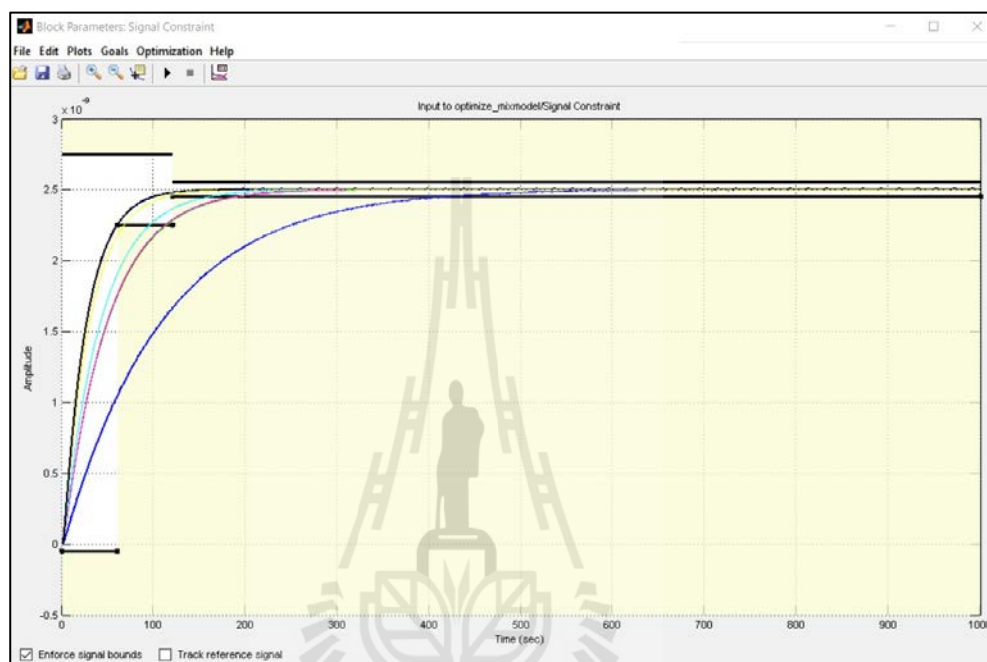
รูปที่ ง.4 แผนภาพแสดงหน้าต่าง Signal Constraint และการกำหนดค่ารูปแบบสัญญาณ

5. กำหนดค่าวิธีการคำนวณหรือเลือกอัลกอริทึมในการคำนวณค่า PI โดยไปที่ Menu Optimization > Optimization Options... ซึ่งในส่วนนี้สามารถจะกำหนดอัลกอริทึมในการคำนวณ และ ความละเอียดของค่าผิดพลาด ดังแสดงรูปที่ ง.5



รูปที่ ง.5 แผนภาพการกำหนดอัลกอริทึม ของการ Optimize

6. เมื่อทำการกำหนดค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ต่อไปก็ทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ โดยไปที่ Menu Optimization > Start โปรแกรมก็จะทำการประมวลผลสัญญาณให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดจากข้อที่ 3 ดังแสดงรูปที่ ๖.6 จากนั้นค่าตัวแปรที่ทำการปรับแต่งก็จะถูกบันทึกไว้ที่หน้าจอ Workspace ของโปรแกรม MATLAB



รูปที่ ๖.6 แผนภาพแสดงผลของการตอบสนองสัญญาณในขอบเขตที่กำหนดไว้

โดยผลที่ได้จากการปรับแต่งค่าตัวแปร K_p และ K_i โดยใช้โปรแกรม Simulink Response Optimization ในส่วนของฟังก์ชันบล็อก Signal Constraint จะเท่ากับ

$$K_p = 4,674$$

$$K_i = 175,110$$



ภาคผนวก จ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Nattawat Yachum Sorada Khaengkarn and Jiraphon Srisertpol, (2016). The Development Control System of Vacuum Pressure in Vacuum Chamber. **The 2nd International Conference on Engineering Science and Innovative Technology (ESIT 2016)**, Phuket, Thailand, April 21 – 23 2016 (ID 121)



The Development Control System of Vacuum Pressure in Vacuum Chamber

Nattawat Yachum^{1, 2*}, Sorada Khaengkarn², Jiraphon Srisertpol²

Abstract

High-quality utilizable synchrotron light needs ultra-high vacuum in the vacuum tubes at approximately 10^{-8} to 10^{-11} torr. While the light beam is moved in the tubes, it tends to hit against the tube walls. This phenomenon causes heat around the hit areas and dissociation of gas or fume from the walls. Consequently, the pressure of beam gets higher and the quality of the light decreases. Ultra-high vacuum pressure in the light beam tubes can rapidly reduce such the increased pressure. Then, the ultra-high vacuum pressure generating, the Synchrotron Light Research Institute uses the primary vacuum pressure pumps (Rough pump and Turbo molecular drag pump) which can produce pressures from the atmospheric pressure up to 10^{-6} torr. Before the system turns off the primary vacuum pressure pumps, the system will change to the high pressure pump instead, i.e. a sputter ion pump, which can release pressures up to 10^{-12} torr. Currently, the pumps system using human for controlling. It may lead to an error due to the wrong choice of pumps and period of each pump usage. This research developed the Automatic Control System of Vacuum Pressure in Vacuum Chamber to replace the manual control which using in the recently system. The control system used LABVIEW programming and it can control the system as good as the imported system of the institute. Therefore, the pumps can work automatically and increase the efficiency of the ultra-high vacuum pressure control. Moreover, when the load increased, the system will be able to preserve the pressure level for it to decrease or return to normal rapidly.

Keywords : vacuum pressure, ultra-high vacuum, pressure control, Synchrotron Light

¹ Synchrotron Light Research Institute, Nakhonratchasima.

² School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology.

* Corresponding author, E-mail: bellamy007@hotmail.com

1. Introduction

Synchrotron Light Research Institute (Public Organization) is an institute with Thailand's central laboratory that offered services from synchrotron light. The quality of synchrotron used for research must rely on the synchrotron light creation process from a photon source and the vacuum technology is important. The suitable pressure level in the vacuum tube is approximately 10^{-8} torr to 10^{-11} torr. The Light moves along the tube may crash into the tube's walls, which may create heat in those areas and dissociation of gas or fume from the walls will be occurred. This is a reason of pressure increasing of that area and the quality of light passed those area will be decreased. To generate the Ultra- high vacuum pressure in the vacuum tube will allow pressure rapidly be increased and decreased. The creation of Ultra-high vacuum pressure relied on 2 types of vacuum pump i.e. molecule drag pump, which can attract molecules within a closed cycle to the outside atmosphere (rotary pumps and turbo-molecular drag pumps) and sputter-ion pumps that bound molecules to attach or stick them onto the pump's structure.

Regarding the previous pump's control system, the institute imported numerous equipment from abroad. In order to reduce dependency on imported foreign products, the institute currently developed a prototype of a sputter-ion pump [1], which used a manual pump's control system. However, the system was still unable to collect important parameters in order to solve the problem of unstable pressure and disturbances that caused incorrect vacuum pressure values for the pump selection and the usage duration of each pump.

Thus, this article presents the development of the vacuum pressure control system in a vacuum container which able to automatically control vacuum pressure. The developed control system will be compared the performance to the imported systems of the institute. The

MOSFET control circuit was designed for power supply, along with a circuit voltage reduction set that can be controlled through signals that adjusted Pulse Width Modulation, PWM [9]. The PWM signal will be controlled by using the LabVIEW program through the Arduino microcontroller board. Sensors were also used to measure pressure in order to control electric current as needed.

2. Literature reviews

2.1 Synchronous Buck DC-DC Converter

The development of a switching power supply set must be included the design of a converter circuit by using switches to create electrical signals [2, 3, 4]. The equipment used for signal generation will use electronic equipment for switching such as transistors, triodes, IGBTs, MOSFET, etc. The design of a switching power supply set for the sputter-ion pump control system will use the principle of converter circuit to convert direct current to low direct current that can reduce voltage by 80-90%. The outlet pressure can be adjusted by signal modulation as desired. The replacement of diodes by MOSFET reduced power losses in diodes. The standard buck converter circuit is shown in Figure 1.

From the synchronous buck converter DC-DC circuit, output voltage will change according to the duration of inductive current and reverse-bias by MOSFET [5]. Where the ratio between the switching equipment's duration of current induction and the period will be called the duty cycle as the equation below.

$$\text{Duty Cycle: } D = \frac{t_{on}}{T} \quad (1)$$

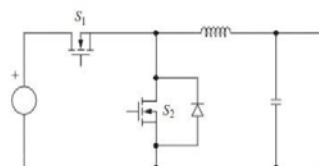


Fig. 1. Synchronous buck DC-DC converter [2]

2.1.1 Finding the inductor for a continuous current

Circuit design for desired output currents [2, 6] will be considered the inductive current and reverse-bias of the switch. When the current induction (switch off), an electrical current will flow through the inductor to the load. At the same time, current charging was stored in the capacitor according to Kirchoff's law, and there was changed in the current (i_L) as shown in Figure 2(a). While the switch does not induce the current, a magnetic field will occur at the conducting coil, which will create voltage (V_L) and current flow through the inductor continuously according to Kirchoff's law. The current difference is found in the period of reverse-bias (i_L) as in Figure 2(b).

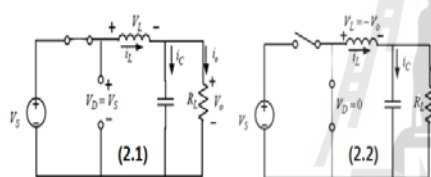


Fig. 2. (a) Buck circuit while inducing current (b) Buck circuit while reverse-bias [2]

From Figure 2 (a), the Buck circuit while the current conduction switch was closed, the following equation represented the current change.

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) T \quad (2)$$

From Figure 2 (b), the Buck current while the current conduction switch was opened, the following equation represented the current change current change.

$$\Delta i_{L,off} = - \left(\frac{V_o}{L} \right) (1-D) T \quad (3)$$

When the circuit work on a stable condition, current change i_L in 1 period of switching will be equal to 0. Thus, we get.

$$V_o = D V_s \quad (4)$$

The circuit's output voltage will depend on the input voltage and the duty cycle value (Duty cycle: D), where the output voltage will be always lower than the input voltage. When the circuit works on a stable condition, the value of the capacitor's current (I_c) in 1 switching period (T) will be equal to zero while the average inductive current (I_L) will be equal to the average output current. Thus, we get

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R_L} \quad (5)$$

The changed current while inductive current and reverse-bias, the maximum and minimum inductive current in inductor will be calculated from equation (6) and (7).

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = V_o \left(\frac{1}{R_L} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right) \quad (6)$$

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = V_o \left(\frac{1}{R_L} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right) \quad (7)$$

The minimally inductive coil (L_{min}) that allows the Synchronous buck DC-DC Converter works in Continuous-Current Mode (CCM) will be determined the value of I_{min} to be zero. Thus,

$$\Delta i_L = \frac{V_o(V_s - V_o)}{fL V_s} \quad (8)$$

2.1.2 The capacitor for reducing output voltage ripples

The capacitor's value was assumed to be very high value [2, 6] in order to preserve and stabilize output voltage without ripples. The value of the aforementioned capacitor could not be found. Output voltage ripples can be found from the relationship between voltage and current in the capacitor in the equation (9).

$$i_c = i_L - i_o \tag{9}$$

Capacitor charging will occur when the value of the current i_c is positive. From the definition of a capacitor, we get,

$$Q = CV_o \tag{10}$$

$$\Delta Q = C\Delta V \tag{11}$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} \tag{12}$$

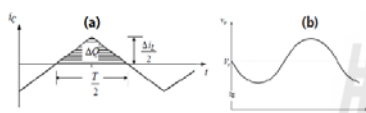


Fig. 3. Voltage and current signals for capacitor value analyses [2]

(a) Capacitor current (b) Capacitor voltage ripple

To find the value of ΔQ from the shaded area in Figure 2(a) using equation (11).

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta i_c}{2} \right) = \left(\frac{T \Delta i_c}{8} \right)$$

Thus,
$$\Delta V_o = \frac{\Delta i_c}{8fC} \tag{13}$$

2.2 Full Bridge Converter

The converter of direct current to alternating current using switches to close and open the circuit as shown in Table 1. The analyzing of the voltage can uses the circuit in Figure 4 and can be divided into 3 levels, i.e. $+V_o, -V_o, 0$ [7]. The H-bridge inverter will be operated in 4 sequences. In the case of the switches S_1 and S_2 are closed (switch on) simultaneously this causes the positive voltage. On the

others hand, if the switches S_3 and S_4 are closed (switch on) simultaneously, the voltage will be negative. But when switches S_1 and S_3 or S_2 and S_4 are closed (switch on) simultaneously, the voltage will be zero.

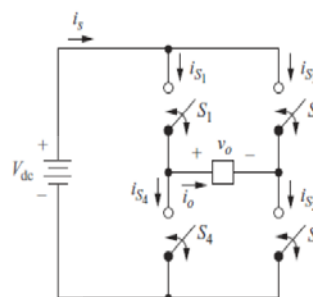


Fig.4 . H-Bridge inverter circuit [2]

Table 1 The characteristics of the switches of the H-Bridge inverter [2]

Sequence	Switched Closed	Output Voltage, V_o
1	S1 and S2	$+V_o$
2	S1 and S3	0
3	S3 and S4	$-V_o$
4	S2 and S4	0

3. Methodology

3.1 Circuit design

The design of the sputter ion pump control circuit will use a supply source with a minimal voltage at 7,000– 3,000 volts [8]. This work designed the equalization circuit from AC current to direct current. This circuit can adjust or increase as needed with a continuous voltage reduction circuit controlled by PWM signal control via microcontroller boards. Electrical signals passed the voltage reduction circuit was converted to sin wave-like signals by using the H bridge inverter circuit [9]. The design steps and methods according to the following block diagram in Figure 5.

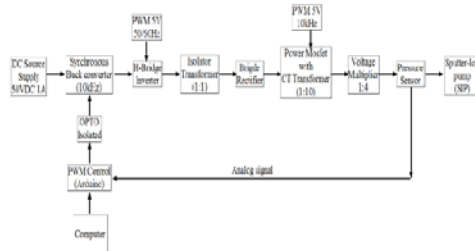


Fig. 5. Function block diagram

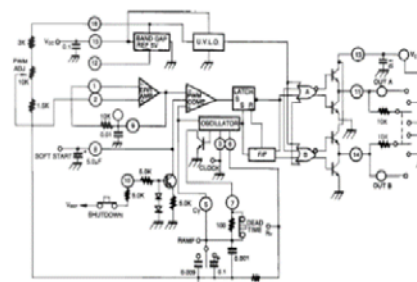


Fig. 6. Microcontroller board and PWM control circuit numberKA3525A (<https://www.arduino.cc> and <http://www.datasheetcatalog.com>)

3.1.1 Power supply source

The DC Power supply set chose at 50 volts, 1 ampere.

3.1.2 Design of Synchronous Buck DC-DC converter circuit

(1) Design of an inductor for a ripple current

From equation (8), the entry voltage was determined at 50 volts and the output voltage that affected ripple the most at 25 volts ($\Delta I_L \leq 0.12A$). The frequency in signal switch was at 10 kHz [10]. Thus, the selected inductor was $L \geq 20mH$.

(2) Design of a capacitor to reduce output voltage ripples

From equation (13), output voltage ripples were determined at not exceed $\Delta V_o \geq 10mV$ [10]. Thus, the selected capacitor was $C \geq 150\mu F$.

3.1.3 PWM signal control set

The PWM signal control set in the sputter ion control circuit consisted of 3 parts, (1) Synchronous Buck DC-DC converter circuit control, (2) the inverter circuit control, and (3) the voltage expansion circuit control. The 2 of PWM signal control were controlled the signal through a set of microcontroller boards and signal control through IC sets, number KA3525A as shown in Figure 6. The PWM signals was supplied with constant frequencies and amplitudes. In the part of Synchronous Buck DC-DC converter circuit control, analog signals were received from pressure sensors in order to control PWM signals according to load.

3.1.4 Opto Isolated

A power supply control signal splitter using IC number CNY17 and 12 V of electricity, which was suitable for working well with IC along with the MOSFET gate drive circuit as shown in Figure 7.

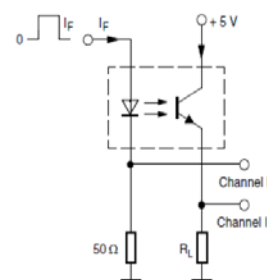


Fig. 7. Opto Isolated circuit number CNY17

3.1.5 Power MOSFET Switching

Figure 8 showed a voltage power supply controller that used a MOSFET p-Channel number IRFP460 with a voltage rating of 500 V. It was suitable for use with high voltage and was designed to be able to use with inverter circuits.

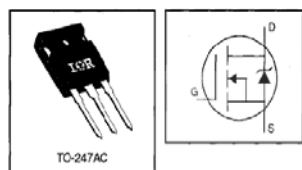


Fig. 8. MOSFET number IRFP460

3.1.6 TPG300 Pressure gauge

A TPG300 pressure gauge shown in Figure 5 was using for measuring pressure in UHV levels in closed system. The pressure gauge has an analog signal output that can change values into pressure.



Fig. 9. TPG300 Pressure gauge

(SIP) that bound molecules in the pump’s structure. For the vacuum process creation, it starts with rough pressure by using rotary and turbo molecular pumps in order to achieve a pressure of 10^{-6} torr. After that, checking for container and various joint leaks were completed with using a leak detector as shown in Figure 11. When leaks were not found, the next process was to apply up to 150°C heat to the container at least 60 hours to test the outgassing of its surface as much as possible. After that, the heat generation set was turned off, the pressure was reduced to approximately 10^{-7} torr. Subsequently, the sputter ion pump (SIP) can be started, which caused the container’s pressure decreased to 10^{-8} torr. When the obtained pressure was more than the pressure from the rough pump, the pump was closed in order to eliminate the part of the rough pump and only use the part of the sputter ion pump.

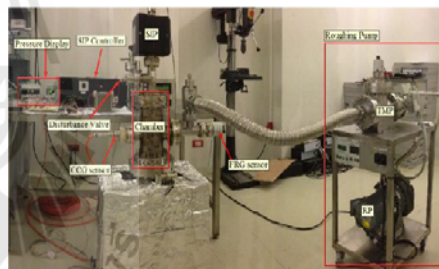


Fig. 10. Components and equipment used in vacuum pressure creation

3.2 Equipment and operation of vacuum creation

From Figure10 , there is an equipment set for creating vacuum pressure in containers for preserving the pressure at extremely high levels, or at approximately 10^{-9} to 10^{-11} torr. The 2 types of pressure pumps are required i.e. molecule drag pump, which attracted molecules within the closed cycle to the outside atmosphere, such as rotary pump (RP) or turbo molecular pump (TMP) and sputter ion pump



Fig.11 . Vacuum container leak detector

4. Results and discussion

The test of the vacuum pressure control system set in the 2,300 liter test container, before testing, the pressure in the test container must be maintained at the HV level, or around less than 10^{-7} torr. For the tests of both sputter ion pump control sets, compared between an imported control sets and developed control sets, the 3000 V direct current voltage was supplied to each sets. Moreover, both experimentations was simulated the air disturbances entering the test containers and pressure increasing around 10^{-7} torr was controlled through control valves installed on the container. After that, pressure was measured with the following experimental results.

4.1 The imported control set

The electricity was supplied to the control set at 3,000 volts and created air disturbance in into containers, which caused the pressure increasing to 10^{-7} torr. After that, the valve was closed and the reduced pressure was measured. As the control set preserved pressure levels by increasing voltage to the pump, which took time to restore the pressure back to normal approximately 1.5 minutes as shown in Figure 12.

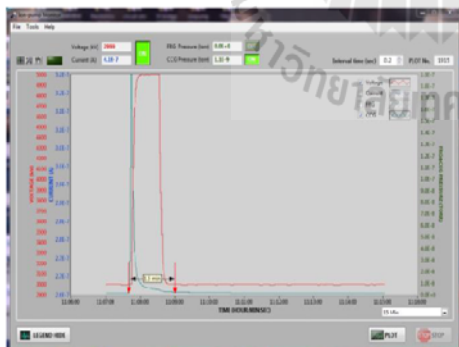


Fig. 12. The graph display pressure decrease by using the imported control sets

4.2 Developed control sets

The electricity was supplied to the control set at 3,000 volts through a microcontroller board with programming by using the LABVIEW program and an inverter circuit. After that, air disturbance was created and sent into containers, which increased its pressure to 10^{-7} torr. After that, the valve was closed and the reduced pressure was measured. The developed control set will have a stable electric power. The duration for pressure restoration back to normal took around 2 minutes as shown in Figure 13.

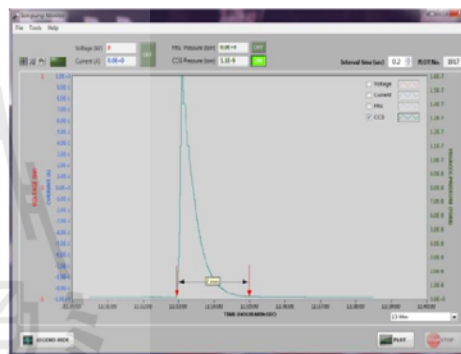


Fig. 13. The graph display pressure decrease by using the developed control sets

5. Conclusion

From experimentations, the developed sputter ion control system was able to preserve vacuum pressure in the Ultra High Vacuum area for a long period as good as the imported control system. However, the interference signal i.e. air was fed in the test container, pressure was increased. The control system with electric power control function when load increased it was able to preserve pressure levels by decrease or restore pressure to normal level faster than control system with a constant electric power supply.

Acknowledgement

Many thanks to the Synchrotron Light Research Institute (Public Organization) and the Ministry of Science and Technology for support in the form of tools, equipment, budgets, and research locations.

Cascade PI Controllers of Buck Converters using Artificial Intelligence Techniques", European Journal of Scientific Research, Volume 98, No 3, 2013, pp. 339-353.

Reference

- [1] The Development of Sputter-ion pump power supply, Synchrotron Light Research Institute (Public Organization), Annual Report 2011.
- [2] Daniel W. Hart, "Power Electronics", United States of America, McGraw-Hill, 2011 pp. 196-205, and pp. 331-332.
- [3] R. Leyva 2012, Design and Optimization of buck and double buck converters by means of geometric programming.
- [4] S. Sunlee 2006, Analysis and Design of paralleling Synchronous Buck for Low Voltage High Current DC-DC Converter Electrical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok.
- [5] J. Webster 2007, DC-DC Power Converter, Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronic Engineering, Copyright©2007 John Wiley & Sons, Inc.
- [6] P. Hotongkum 2008, Seven-level cascaded Inverter, Engineering Journal Siam University.
- [7] P. Hongsachat 2012, Development of Direct Current Power Supply with Current Regulator 10 AMP, IE Network Conference 2012, Phetchaburi, Thailand.
- [8] L. Schulz CERN Accelerator School: Vacuum Technology CERN-99-05 (Ed.): S Turner (Geneva: CERN) pp. 37 (1999).
- [9] D. Grahame Homes and Thomas A Lipo "Pulse Width Modulation for Power Converter Principles and practice," Wiley interscience, 2003.
- [10] S. Chonsatidjamroen, K-N. Areerak and K-L. Areerak, "The Application of Averaging Model for Optimized



KMUTNB



Certificate to Participation

This is to certify that

**Nattawat Yachum, Sorada Khaengkarn,
Jiraphon Srisertpol**

have participated

**The 2nd International Conference on
Engineering Science and Innovative Technology**

April 21-23, 2016, Angsana Laguna Phuket, Phuket, THAILAND

P. Ong-aree

Asst. Prof. Preecha Ong-aree
Dean of College of Industrial Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

T. Boonyasophon

Prof. Dr. Teravuti Boonyasophon
President
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

S.

Asst. Prof. Dr. Rattanakorn Phadungthin
Chair and Program Coordinator
ESIT Conference 2016

ประวัติผู้เขียน

นายณัฐวัฒน์ ยะชุ่ม เกิดเมื่อวันที่ 24 ตุลาคม 2526 ที่อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน ปัจจุบันมีชื่อในทะเบียนบ้านเลขที่ 1111/46 หมู่ 4 หมู่บ้านสิริสุข วิลเลข 3 ตำบลหนองจะบก อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เริ่มต้นการศึกษาในระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 1 - 6 ที่โรงเรียนศรีเวียงสาวิทยาคาร อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน จากนั้นศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1 - 6 ที่โรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร อำเภอเมือง จังหวัดน่าน ต่อมาได้ศึกษาในระดับอุดมศึกษาที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ในปี พ.ศ. 2548 จากนั้นได้ทำงานในตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า ของสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) เป็นเวลา 7 ปี จากประสบการณ์ในการทำงานและสนใจในด้านระบบควบคุม จึงได้ขอลาศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (หลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์) ณ สถาบันการศึกษาเดิม โดยได้รับทุนการศึกษาภายในประเทศ จากกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

