

อุปกรณ์บริหารจัดการพลังงานสำหรับ Tethered Drone

ธีรยศ เวียงทอง ^{1*} ประสูตร เดชสุวรรณ ² และ ภาณุวิทย์ โกโดยอุดม ²

วันที่รับ 26 พฤษภาคม 2563 วันที่แก้ไข 5 สิงหาคม 2563 วันที่ตอบรับ 31 สิงหาคม 2563

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนองานวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) มุ่งเน้นการแก้ปัญหาและพัฒนาต้นแบบระบบบริหารจัดการพลังงาน (Power Management Unit: PMU) ในระบบของ Tethered Drone ขนาดใหญ่ โดยอาศัยพลังงานจากภาคพื้นดินส่งผ่านสายไฟที่มีน้ำหนักเบาส่งไปยังส่วนของตัวโดรนซึ่งบินนิ่งอยู่ในอากาศ เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้ตลอดเวลา สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้เป็นจุดกระจายสัญญาณสื่อสารที่สามารถติดตั้งดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว หรือใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศในบริเวณที่มีสถานการณ์ฉุกเฉิน เป็นต้น มีการพัฒนาต้นแบบเพื่อทำการทดสอบและทดลองใช้งานจริง เนื่องจาก PMU ที่สามารถจัดหาได้ในท้องตลาดมีราคาค่อนข้างแพง และกำลังงานที่จ่ายได้ไม่เพียงพอกับที่ต้องการในการใช้งานของโดรนที่มีน้ำหนักรวมทั้งหมดที่ 20 กิโลกรัม และต้องการกำลังงานในการจ่ายทั้งมอเตอร์ และอุปกรณ์ Payloads ต่าง ๆ ไม่ต่ำกว่า 4000 วัตต์ ขอบเขตงานวิจัยและพัฒนาในโครงการดังกล่าวนี้ประกอบด้วยการออกแบบและพัฒนา ระบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับ Tethered Drone โดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบบริหารจัดการพลังงานภาคพื้นดิน เรียกว่า PMU-Ground ที่อยู่บนภาคพื้นดินทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายให้กับโดรน และระบบบริหารจัดการพลังงานของโดรน เรียกว่า PMU-Air โดยเป็นระบบที่ถูกติดตั้งอยู่บนโดรนทำหน้าที่บริหารและจัดการพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของโดรน ผู้ใช้งานสามารถมอนิเตอร์ค่าแรงดัน และกระแสต่าง ๆ รวมทั้งสามารถควบคุมการจ่ายไฟให้กับโหลดที่แรงดันต่าง ๆ โดยนำระบบ Internet of Things (IoT) มาใช้งาน

คำสำคัญ: Power management unit, Tethered drone, Internet of Things, MQTT

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² ศูนย์วิจัย MASI คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร หนองจอก กรุงเทพฯ 10530

* ผู้แต่ง, อีเมลล์: theerayod.wi@kmit.ac.th

Power Management Unit for Tethered Drone

Theerayod Wiangtong ^{1*} Prasoot Dechsuwan ² and Panvee Pokaiyaudom ²

Received 26 May 2020, Revised 5 August 2020, Accepted 31 August 2020

Abstract

This article focuses on problem solving and development of a Power Management Unit (PMU) in a large Tethered Drone system. Electrical source located on the ground is transmitted through a lightweight power cable to the drone, which is intentionally retained in the air and perform the work at all time. This can be applied to a variety of applications such as using as a communication point that can be installed quickly or using for aerial photography in areas of emergency situations etc. Since PMU systems in the market are rather expensive and not fully support all requirements from the user, this prototype is then developed for real application. In this work, the power required to lift off the drone with a total weight of 20 kilograms and various onboard payloads is at least 4KW. The scope consists of the design and development of PMU for energy management system in a large tethered drone. Generally, it is divided into 2 systems. The first is the ground power management unit called PMU-Ground, which is on the ground, acting as a power source of the drone. The second is the airborne power management unit, called PMU-Air, which is on the drone. It is used to manage the energy of the drone's devices. Users can monitor voltages and currents as well as control switches for various payloads from the ground using Internet of Things (IoT) technology.

Keywords: Power management unit, Tethered drone, Internet of Things, MQTT

¹ Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

² Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok, 10530

* Corresponding author, E-mail: theerayod.wi@kmitl.ac.th

1. บทนำ

Tethered Drone เป็นโดรนที่ใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับระบบหนึ่งเฟสที่ได้จากบ้านเรือนหรือจากเครื่องให้กำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ส่งขึ้นมาจากภาคพื้น ตัวโดรนจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งกระแสไฟฟ้าจากภาคพื้นตลอดเวลาในขณะที่ทำการบินอยู่ในอากาศตามความสูงที่กำหนดไว้ โดยในทางทฤษฎีถ้าสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโดรนตลอดเวลาโดรนก็จะสามารถทำการบินอยู่ในอากาศได้ตลอดเวลาเช่นกัน

Tethered Drone นั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น นำไปใช้กับโครงการจำลองสถานการณ์ฉุกเฉิน โดยใช้เป็นจุดกระจายสัญญาณสื่อสาร เป็นต้น ในปัจจุบันการจัดหา Tethered Drone สามารถนำเข้าจากต่างประเทศได้ แต่มีราคาสูง รวมทั้งขีดความสามารถในการแบกน้ำหนัก (Payload) ได้จำกัด อาทิเช่น ระบบสื่อสาร (Telemetry) มีน้ำหนัก 5-7 กิโลกรัม นอกจากนั้นจะมี Payload ที่เป็นทั้งกล้องความคมชัดสูง รวมทั้งอุปกรณ์อื่น ๆ (นอกเหนือจากมอเตอร์ แบตเตอรี่ สายไฟ และระบบควบคุมการบิน) ที่สามารถบรรจุขึ้นไปใช้งานสำหรับภารกิจต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม โดยความต้องการในเบื้องต้น ต้องการให้ตัวโดรน สามารถแบกน้ำหนักได้ทั้งหมดรวมกันไม่ต่ำกว่า 20 กิโลกรัม

อีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญนอกเหนือจากตัวโดรนคือ แหล่งจ่ายพลังงานจากภาคพื้นดินที่ส่งผ่านสายไฟเชื่อมโยงจากด้านล่างไปยังตัวโดรนที่อยู่ด้านบนอากาศสำหรับตัวโดรนที่ต้องรับน้ำหนักมากนั้น จำเป็นต้องใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ BLDC (Brush less DC motor) มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในท้องตลาดตัวที่มีจำหน่าย เช่น SAFE-T Smart

Tethering Station for Drones [1] หรือ FOXTECH T3500 Tethered Power System for Drones สามารถจ่ายได้เพียง 2500 และ 3500 วัตต์ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าความต้องการของหน่วยงานที่ต้องการใช้ สำหรับตัว Tether drone ที่มีน้ำหนักรวม Payload แล้วทั้งหมด 20 กิโลกรัม ต้องใช้ระบบที่สามารถจ่ายและบริหารจัดการพลังงาน หรือ Power Management Unit (PMU) ที่พิกัดกำลังไฟมากถึง 4000 วัตต์ ผ่านทางแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันสูงเกือบ 400VDC จ่ายพลังงานขึ้นไปให้กับตัวโดรน เนื่องด้วยต้องการลดปริมาณของกระแสที่จ่ายเข้าสู่สายส่งกำลัง ทำให้สามารถลดขนาดและน้ำหนักของสายส่งลงได้ ทำให้ไม่เป็นภาระกับโดรนขณะบิน

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดการพลังงานให้กับโดรนมีอย่างกว้างขวาง เพื่อขยายขีดจำกัดของระยะเวลาบินให้นานขึ้น แทนที่จะใช้แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว บทความ [3] มุ่งเน้นไปที่การสืบค้นเชิงวิชาการเกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟของตัวโดรน มีการประเมินถึงข้อได้เปรียบเสียเปรียบของโครงสร้างรูปแบบต่าง ๆ ที่สำคัญของแหล่งจ่ายไฟที่พร้อมให้โดรน ศึกษาข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับทางเลือกของระบบจ่ายไฟ เช่น Hot Swapping Battery, Laser-beam Inflight Recharging, Tethered Drone, Hybrid Power Sources ในตอนท้ายของบทความมีคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานในการออกแบบระบบได้

บทความ [4] นำเสนอการออกแบบใช้งาน Falconer ที่เป็น Tethered Drone ขนาดเล็ก มีพิกัดกำลังไฟเท่ากับ 480W แรงดันจากภาคพื้นดิน 48VDC จะถูกป้อนผ่านสายไฟขนาด 20AWG ไปยัง

ตัวโดรนที่มีตัวแปลงไฟกลับมาเป็น 12VDC สำหรับป้อนให้กับมอเตอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ บนตัวโดรน เพิ่มการควบคุมโดยกล้องจับท่าทาง Gesture Control แต่ไม่ได้เน้นถึงการออกแบบระบบบริหารจัดการพลังงานที่สามารถมอนิเตอร์และควบคุมได้

ในการใช้งานของ Tethered Drone ในรูปแบบอื่น ๆ นำเสนอในบทความ [5] [6] [7] เช่นการตรวจจับประเิน ESD ของกังหันลมไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่และสูง ตรวจจับ Light Pollution สำหรับงานทางด้านดาราศาสตร์ หรือการใช้งานเป็นโครงข่าย 4G/5G ขั้วควรวได้อย่างรวดเร็วในพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์หายนะทางธรรมชาติต่าง ๆ

การใช้งาน Tethered Drone ที่ต้องมีสายไฟโยงนั้น ในหลายบทความได้นำเสนอโมเดลและการจำลองการทำงานของระบบทางกล [8] [9] นำเสนอโมเดลที่เป็นสองมิติ เพื่อรักษาความตึง และสามารถควบคุมการบินภายใต้ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นมาบทความ [10] นำเสนอระบบที่ประกอบด้วย Pulley และ Gimbal ที่สามารถโยงใช้งานได้กับตัวโดรนหลาย ๆ ตัว ต่อเนื่องกันไปกับภาคพื้นดิน ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

บทความนี้ นำเสนอการออกแบบและทดสอบระบบ PMU สำหรับการมอนิเตอร์และควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับตัว Tethered Drone รวมทั้งอุปกรณ์ Payloads ต่าง ๆ ที่ต้องการ โดยออกแบบให้สอดคล้องเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งานให้มากที่สุด สามารถจ่ายกำลังงานได้มากที่สุดถึง 4800 วัตต์ และนำเทคโนโลยี IoTs มาใช้ในการมอนิเตอร์และควบคุม ในระยะ 100 เมตร จากภาคพื้นดินตัวโดรน

3. ความต้องการของระบบ

ขอบเขตงานวิจัยและพัฒนาในโครงการดังกล่าวนี้ประกอบด้วย การออกแบบและพัฒนาระบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับ Tethered Drone ซึ่งเรียกว่า Power Management Unit หรือ PMU ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบบริหารจัดการพลังงานภาคพื้น เรียกว่า PMU-Ground (รหัสเรียก PMU1) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนภาคพื้นทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายให้กับโดรน และระบบบริหารจัดการพลังงานของโดรน เรียกว่า PMU-Air (รหัสเรียก PMU2) เป็นระบบที่ถูกติดตั้งอยู่บนโดรน ทำหน้าที่บริหารและจัดการพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของโดรน ตัวอย่างดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างโดยรวมของระบบ

คุณสมบัติโดยรวมของระบบ แสดงได้ในตารางที่ 1 โดยจะต้องส่งกำลังงานอย่างน้อย 4000 วัตต์ ขึ้นไปยังตัวโดรน เพื่อจ่ายไปยังมอเตอร์จำนวน 8 ตัว และโหลดต่าง ๆ บน Payload ผ่านทางสายไฟในระยะความสูง 100 เมตร ในการคำนวณคร่าว ๆ กระแสที่จะต้องส่งผ่านขึ้นไปจะต้องมีประมาณ 12 แอมป์ หากส่งที่แรงดันไฟฟ้า 380VDC จะได้กำลังงานไฟฟ้าที่ 4200 Watts แต่ในความเป็นจริงนั้นจะต้อง

คำนวณค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในสายส่งจากความต้านทานแรงดันที่ตกคร่อมสาย และขนาดของสายส่ง รวมทั้งน้ำหนักที่กำหนดไว้ที่ประมาณ 3 กิโลกรัม

ตารางที่ 1 ความต้องการของระบบ

Parts	Min	Mean	Max	Qty	Power (Watt)
FCC + GPS + Datalink	4.8	5	5.2	1	5
Servo x 2 (Futaba 3010)	4.8	5	5.2	2	10
EOIR or DSLR camera	4.8	5	5.2	1	10-50W
Brushless motor for Gimbal	11.8	12	12.2	3	100
Brushless motor (main motor)	20	24	25.2	8	481x8 = 3850 @ 100% Throttle 230x8 = 1840 @ 65% Throttle
Telemetry (Range 150 km)	30	33	36	1	50
Lidar	4.8	5	5.2	1	5
IRLock camera	4.8	5	5.2	1	5
LED light	4.8	5	5.2	2	20

3.1 ระบบบริหารจัดการพลังงานภาคพื้นดิน (PMU-Ground)

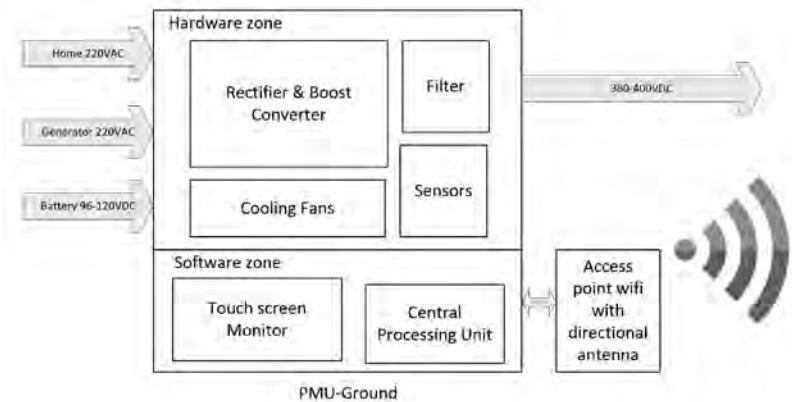
ในส่วนนี้ จะมีแหล่งพลังงานหลักที่รับมาจากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปขนาด 220 VAC และมีแหล่งพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ ใช้ในกรณีที่จำเป็น โดย PMU-Ground ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจากขนาด 220 VAC ให้มีขนาดสูงขึ้นที่ประมาณ 380VDC ที่ 4000 วัตต์ (ทำให้สามารถลดกระแสลงได้ที่กำลังงานเท่า ๆ กัน และไม่ต้องใช้สายไฟที่ขนาดใหญ่และหนัก) เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ PMU-Air ผ่านสายไฟฟ้าแบบ Ultralight Weight ความยาวไม่เกิน 300 ฟุต

ส่วนประกอบของระบบในส่วนนี้ หลัก ๆ จะประกอบด้วย

1) ส่วนที่เป็นอุปกรณ์ทางด้าน Hardware ที่จะเป็นตัวแปลงไฟจาก 220VAC ไปยัง 380VDC

พร้อมส่วนของ Housing ที่เน้นถึงความสะดวกในการใช้งาน และการเคลื่อนที่ไปยังจุดปฏิบัติการ ส่วนเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เป็น Single Phase 220VAC ที่มาจากบ้าน หรือจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Generator หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบตเตอรี่

2) จะเป็นส่วนของ Software ที่สามารถควบคุมการทำงานในการจ่ายกระแสไฟให้กับโหลดต่าง ๆ รวมทั้งมอนิเตอร์การทำงาน เช่น ค่าอุณหภูมิ ความชื้น และการใช้พลังงานในส่วนต่าง ๆ ทั้ง PMU-Ground และ PMU-Air โดยผ่านจอมอนิเตอร์ หรือผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือ โดยข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างส่วนภาคพื้นดินและอากาศจะถูกส่งสัญญาณผ่าน Access Point Wifi ที่ PMU-Ground ด้านล่าง

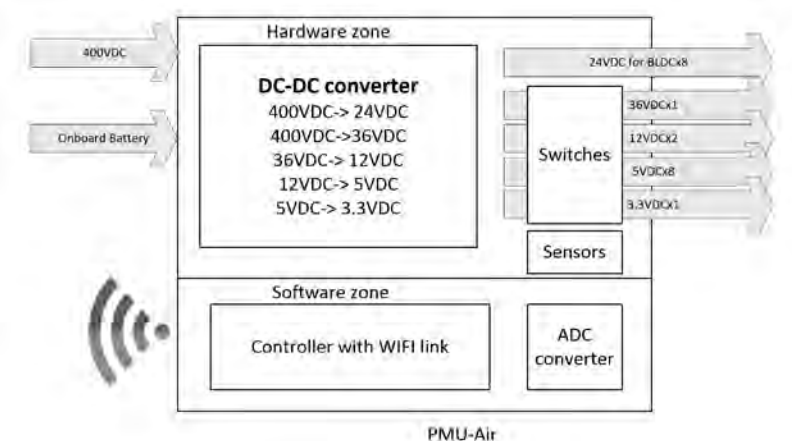


รูปที่ 2 ส่วนประกอบของ PMU-Ground

3.2 ระบบบริหารจัดการพลังงานของโดรน (PMU-Air)

ทำหน้าที่บริหารและจัดการกระแสไฟฟ้าที่รับมาจาก PMU-Ground ที่มีขนาด 380-400VDC แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขนาด 3.3, 5, 12, 24 และ 36 โวลต์ สำหรับจ่ายไปยังภาระโหลดต่าง ๆ ที่อยู่ใน Payload รวมทั้งตัวมอเตอร์ใบพัดที่เป็น Brushless DC Motor (BLDC) และชุดควบคุมการบิน Flight Control Computer (FCC)

จำนวนช่องของแต่ละแรงดันเป็นดังต่อไปนี้ ขนาด 5 โวลต์ จำนวน 8 ช่อง, 12 โวลต์ จำนวน 2 ช่อง, 24 โวลต์ จำนวน 8 ช่อง, 36 โวลต์ จำนวน 1 ช่อง, 3.3 โวลต์ จำนวน 1 ช่อง และตัว PMU-Air สามารถดึงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งไว้บนโดรนในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินได้จากการเลือกใช้งานด้วยค่าแรงดันที่มากกว่า



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของ PMU-Air

4. การออกแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ (Hardware and Software Design)

ในหัวข้อนี้ จะอธิบายการออกแบบวงจรทั้งในส่วนของ PMU-Ground และ PMU-Air เพื่อให้ได้ข้อกำหนดของการทำงานตามที่ต้องการ โดยในการออกแบบได้เลือกนำโมดูลอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีความเหมาะสมประกอบกันขึ้นมาเป็นระบบ ซึ่งมีข้อดีต่าง ๆ ที่ได้ผ่านการทดสอบและใช้งานมาแล้ว รวมทั้งด้วยขนาด น้ำหนัก มีความเป็นไปได้สำหรับข้อจำกัดต่าง ๆ ของระบบนี้ รวมทั้งเวลาที่จำกัดในการออกแบบและทดสอบ

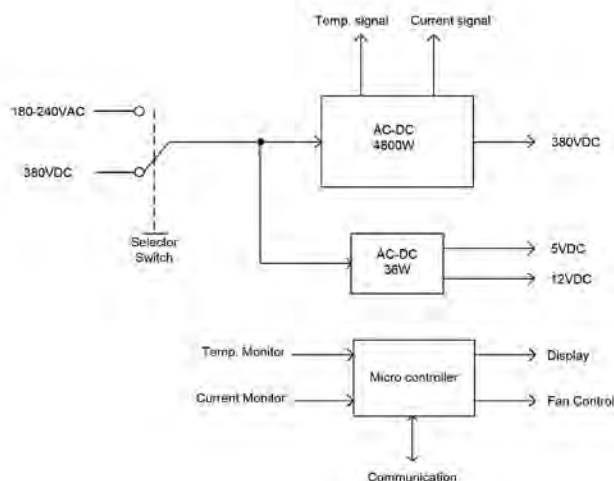
4.1 วงจร PMU-Ground

ในส่วนของ PMU-Ground แสดง Diagram ของระบบดังรูปที่ 4 โดยเลือกใช้ AC-DC Converter Module AIF04ZPFC-02NTL ของบริษัท Artesyn ซึ่งจะทำหน้าที่หลักคือการแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220Vac (มี input range 85-264Vac) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 380VDC สามารถนำโมดูลมาต่อขนานกันได้ เพื่อเพิ่มพิกัดกำลังจ่ายโหลด ซึ่งใน

การออกแบบนี้ได้ใช้ทั้งหมด 3 ตัว รวม 4800 วัตต์ ในระบบยังมีส่วนของวงจรภาคจ่ายไฟตรงอีกสองชุด ขนาดแรงดัน 5VDC และ 12VDC เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรเซสเซอร์ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล วงจรวัดอุณหภูมิ และวงจรควบคุมพัดลมระบายความร้อน

ในส่วนของ PMU-Ground นั้นจะมีตัวโปรเซสเซอร์ที่ทำหน้าที่ในการมอนิเตอร์ และควบคุมส่วนต่าง ๆ ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้ Raspberry Pi 4 เนื่องด้วยมีความพร้อมทั้งในด้านของบอร์ดที่เป็น processor แบบ 64-bit, RAM ความจุ 4GB, Wi-Fi, Bluetooth Communication และขา GPIOs ต่าง ๆ เป็นบอร์ดที่มีความนิยมใช้งานกันในปัจจุบันพัฒนาต่อไป สามารถพัฒนาได้โดยใช้ภาษาขั้นสูงต่าง ๆ เช่น ภาษาซี หรือ Python โดยจะทำหน้าที่หลักเป็น IoT Server ของระบบ

นอกจากนี้ ยังมีตัว NodeMCU คอนโทรลเลอร์ที่จะทำหน้าที่ในการติดต่อกับเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น กระแส รวมทั้งตัวสวิตช์ที่คอยเปิดปิดพัดลม เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามที่ตั้งค่าไว้ เป็นต้น



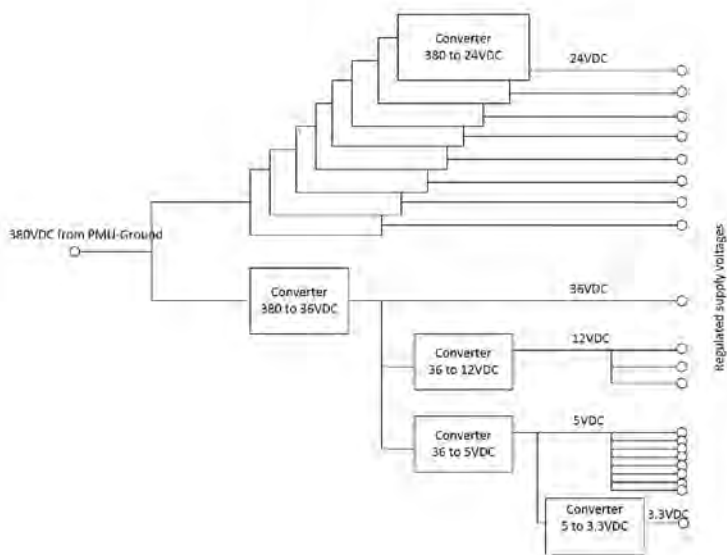
รูปที่ 4 Circuit Diagram of PMU-Ground

4.2 วงจร PMU-Air

เนื่องด้วย PMU-Air มีการใช้แรงดันหลายระดับและถูกติดตั้งบนตัวโดรนทำให้ต้องคำนึงถึงเสถียรภาพประสิทธิภาพ และน้ำหนัก ในการออกแบบจะเลือกใช้ DC-DC Converter Module ของบริษัท Vicor ได้แก่ DCM4623TD2H26, DCM4623TD2H53, DCM3623T50M13 และ DCM3623T50M06 เนื่องด้วยขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่โมดูลมีขนาดเล็กสูง ในการออกแบบได้เลือกใช้โมดูลหลากหลายเบอร์ทำหน้าที่แปลงผันแรงดันและจ่ายพิกัดกำลังไฟฟ้าตามที่ออกแบบไว้ โดยแสดงวงจรในรูปที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยวงจรแปลงผันแรงดัน Converter แปลงจากแรงดันสูง 380VDC มาเป็นแรงดัน 24VDC

จำนวน 8 ตัว ตัวละ 500W สำหรับจ่ายให้กับมอเตอร์ใบพัดชนิด BLDC โดยตัวโมดูลสามารถขนานเอาต์พุตเข้าด้วยกันเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าวรวมได้มากขึ้นในกรณีที่โหลดต้องการกำลังงานสูงกว่า 500W

นอกจากนี้ยังมีตัวที่แปลงแรงดันเอาต์พุตที่ 36VDC 500W จำนวน 1 ช่อง สำหรับโหลดที่เป็น Telemetry รวมทั้งแบ่งมาให้วงจรแปลงผันแรงดันที่ให้อาต์พุต 12VDC 320W จำนวน 3 ช่อง สำหรับโหลดที่เป็นมอเตอร์ของตัว Gimbal แบ่งมายังวงจรแปลงผันแรงดันที่ให้อาต์พุต 5VDC 180W จำนวน 8 ช่อง สำหรับโหลดต่าง ๆ ที่เป็นกล้อง เซ็นเซอร์ต่าง ๆ เซอร์โวมอเตอร์ บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ และยังมีวงจรแปลงผันแรงดันเอาต์พุต 3.3VDC 10W จำนวน 1 ช่อง



รูปที่ 5 Circuit Diagram of PMU-Air

ในการควบคุมการเปิดปิดโหลดต่าง ๆ ที่อยู่บนตัวโดรนนั้น ทำได้ด้วยวงจรสวิตช์ โดยใช้ไอซี TPS27S100 Single-Channel High-Side Switch ของบริษัท Texas Instrument ซึ่งมีข้อดีหลาย ๆ อย่าง อาทิเช่น ความต้านทานต่ำ มีตัวเซ็นเซอร์กระแสในตัว มีวงจรป้องกัน

กระแสเกิน รับแรงดันได้อินพุตสูงสุดที่ 40VDC เป็นต้น ส่วนแรงดัน 24VDC ที่จ่ายให้มอเตอร์ใบพัดไม่ได้มีการควบคุมเปิดปิดผ่านสวิตช์ เนื่องจากต้องใช้งานตลอดเวลาขณะที่บินอยู่แล้ว และลดความเสี่ยงของการเปิดปิดที่อาจเกิดขึ้นได้ จากทั้งตัวอุปกรณ์ และการปฏิบัติงาน

ค่ากระแสที่ได้จากตัวสวิตช์ที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกจะนำมาผ่านตัวแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ขนาด 16 บิต เบอร์ ACS1115 จำนวนทั้งหมด 8 ตัว ตัวละ 4 ช่อง เพื่อนำไปแสดงผลให้ทั้งค่าแรงดันและกระแสตามความเหมาะสมโดยการควบคุมผ่านทางพอร์ต I2C ของตัวคอนโทรลเลอร์ NodeMCU จำนวน 2 ตัว เท่า ๆ กัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แผนผังการต่อ A/D จำนวน 8 ตัว เข้ากับ NodeMCU#0 และ NodeMCU#1

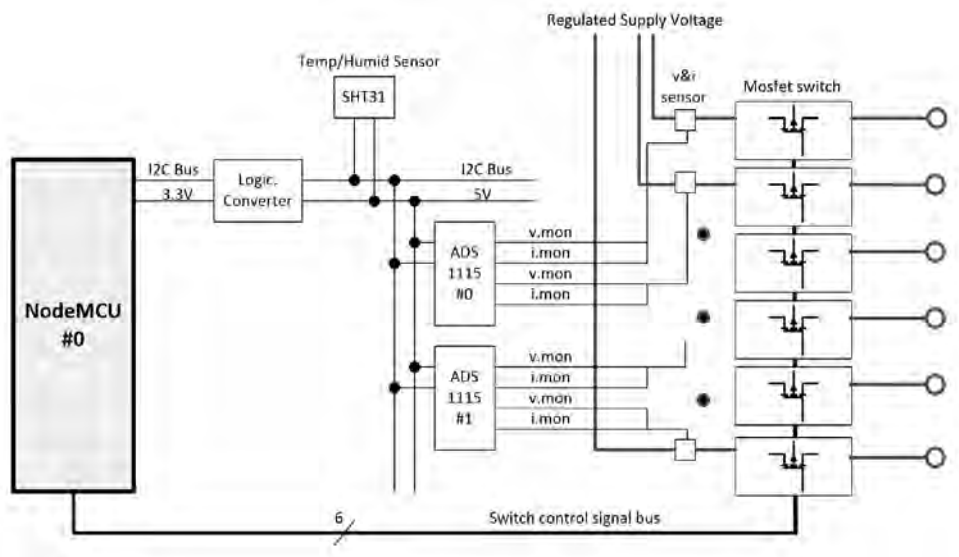
NodeMCU	ADC	Analog	Measuring Parameter
#0	0x48	A0	I0 (24V)
		A1	I1 (24V)
		A2	I2 (24V)
		A3	I3 (24V)
	0x49	A0	V0 (24V)
		A1	V1 (24V)
		A2	V2 (24V)
		A3	V3 (24V)
	0x4A	A0	I0 (5V)
		A1	I1 (5V)
		A2	I2 (5V)
		A3	I3 (5V)
	0x4B	A0	V (36V)
		A1	V (12V)
		A2	V (5V)
		A3	V (3.6V)
#1	0x48	A0	I4 (24V)
		A1	I5 (24V)
		A2	I6 (24V)
		A3	I7 (24V)
	0x49	A0	V4 (24V)
		A1	V5 (24V)
		A2	V6 (24V)
		A3	V7 (24V)
	0x4A	A0	I4 (5V)
		A1	I5 (5V)
		A2	I6 (5V)
		A3	I7 (5V)
	0x4B	A0	I (36V)
		A1	I (12V)
		A2	I (12V)
		A3	I (12V)

NodeMCU นอกจากจะทำหน้าที่ในการติดต่ออ่านค่ากระแสและแรงดันจากตัว ADC แล้ว ยังสามารถทำการควบคุมการเปิดปิดสวิตช์ที่โหลดต่าง ๆ จำนวนทั้งสิ้น 12 จุด โดยทำผ่านโปรโตคอลที่เรียกว่า MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ซึ่งจะอธิบายต่อไปในส่วนของซอฟต์แวร์ ดังนั้น NodeMCU จึงทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เซ็นเซอร์ต่าง ๆ มาถึง Raspberry Pi

ในส่วนของการวัดค่ากระแสที่ไหลผ่าน BLDC 24VDC ในส่วนนี้ผู้วิจัยใช้ตัว Hall Current Sensors ACS714 30A มาทำการวัดกระแสที่ช่องต่าง ๆ สามารถวัดได้ทั้งไฟลบและไฟบวก โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตและกระแสที่ไหลผ่านตัวเซ็นเซอร์ หรือค่า Sensitivity ที่ 66mV/1A

ที่อยู่ใน PMU-Ground ผ่านทาง Wifi 2.4GHz วงจรของ NodeMCU สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6

ในการออกแบบ PCB ของวงจรทั้งใน PMU - Ground และ PMU-Air นั้น ทางผู้วิจัยได้ออกแบบด้วยโปรแกรม EasyEDA ที่สามารถใช้งานในลักษณะกลุ่ม มีการจัดการเรื่องไลบรารี และแชร์ข้อมูลร่วมกันได้ และสะดวกในการสั่งทำแผ่น PCB จากประเทศจีนได้ในระยะเวลาสั้น



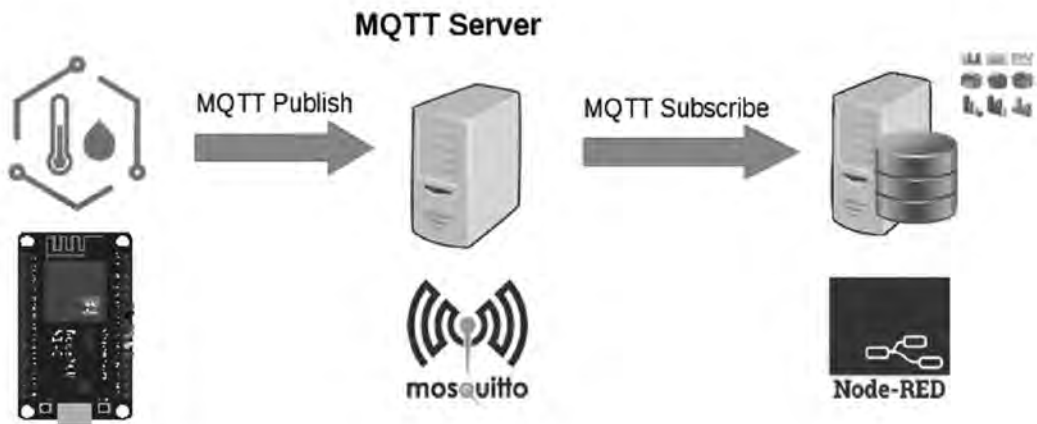
รูปที่ 6 Circuit diagram ของ NodeMCU ที่ PMU-Air

4.3 การทำงานของซอฟต์แวร์

ระบบในส่วนของซอฟต์แวร์ในโครงการนี้การมอนิเตอร์และรายงานค่าต่าง ๆ จากตัวเซ็นเซอร์วัดค่าที่จำเป็นในระบบ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าในจุดต่าง ๆ จะถูกออกแบบเป็นลักษณะของ IoT (Internet of Things) โดยใช้โครงสร้างแพลตฟอร์มที่เรียกว่า MQTT หรือที่เรียกว่า Message Queuing Telemetry Transport ซึ่งเป็น Protocol ที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ M2M (Machine-to-machine) คืออุปกรณ์กับอุปกรณ์ ทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้มนุษย์สามารถดูข้อมูลต่าง ๆ ที่ส่งมาที่เซิร์ฟเวอร์ MQTT รวมทั้งส่งการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางเซิร์ฟเวอร์นี้ได้ เช่น การสั่งปิดเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านมือถือ รวมทั้งสามารถกำหนด QoS (Quality of Services) ได้ถึง 3 ระดับ ตามการรับประกันในการจัดส่งข้อมูล และการ

ตอบรับ Handshake จากปลายทางสามารถกำหนดรหัสผ่านความปลอดภัยสำหรับการเข้าใช้งานทั้ง NodeRED และ Mosquitto ได้

เนื่องจากโปรโตคอลตัวนี้ใช้ทรัพยากรน้อย ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ในระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก แบนด์วิดท์ต่ำ ใช้หลักการแบบ Publisher/Subscriber คล้ายกับหลักการที่ใช้ใน Web Service ที่ต้องใช้ Web Server เป็นตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ แต่ MQTT จะใช้ตัวกลางที่เรียกว่า Broker เพื่อทำหน้าที่จัดการคิวรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ ทั้งในส่วนที่เป็น Publisher และ Subscriber ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 MQTT Protocol

ระบบจะประกอบไปด้วย Broker (หรือ Server) Publisher และ Subscriber แต่ละอย่างก็จะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป โดย Broker ทำหน้าที่เป็นตัวกลางคอยจัดการกับข้อมูลโดยอ้างอิงจาก Topic หรือหัวข้อที่ตั้งไว้ ส่วน Publisher จะทำหน้าที่คอยส่งข้อมูลไปยังหัวข้อนั้น ๆ Subscriber จะทำหน้าที่คอยดูการเปลี่ยนแปลงของ Message ที่อ้างอิงด้วย Topic เช่น ถ้าข้อมูลที่หัวข้อที่เฝ้าดูอยู่ (Subscribed) และมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำการดึงข้อมูลนั้น ๆ มาใช้งาน ทั้งการใช้งานในการแสดงผลข้อมูลตามปกติหรือการนำเอาข้อมูลนั้นมาเป็นคำสั่งในการสั่งการให้อุปกรณ์บางอย่างทำงาน เช่นการเปิดปิดสวิตซ์รีเลย์ สามารถถูกสั่งการด้วยคำสั่งที่เป็นข้อความ “SWON” หรือ “SWOFF” จากทางฝั่ง Publisher ทำการ Publish มาที่ MQTT Server ในหัวข้อ Tdrone/Switch หลังจากนั้นทางฝั่งของตัว Subscriber ที่ถูกกำหนดให้เฝ้าดูหัวข้อ Tdrone/Switch นี้ก็จะได้เห็นการ

เปลี่ยนแปลงข้อมูล และนำไปเป็นคำสั่งในการเปิดปิดสวิตซ์ได้

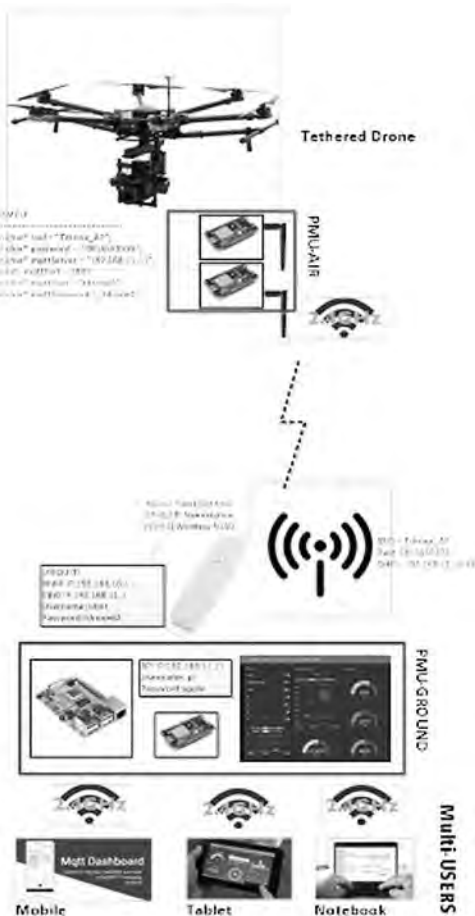
Raspberry Pi 4 ในระบบนี้ที่อยู่ในส่วนของ PMU-Ground จะถูกนำมาใช้ในการสร้าง MQTT Server ที่มีชื่อว่า Mosquitto ในส่วนของการแสดงผลผ่านทาง Dashboard นั้น จะใช้ NodeRED ในการทำงานของ Raspberry Pi นั้น จึงถูกกำหนดให้เป็น

- MQTT Broker เป็นเซิร์ฟเวอร์สำหรับการรับส่งข้อมูลจากตัวเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ในระบบ ผ่านมาจากตัว NodeMCU

- NodeRED เป็นเซิร์ฟเวอร์สำหรับการแสดงผลผ่านทาง Web Browser โดยรับข้อมูลจาก MQTT Broker มาแสดงผลทาง Dashboard ที่เป็นลักษณะของ Graphic User Interface (GUI)

4.3 โครงข่ายระบบ (System Network)

ในการทำงานของระบบโดยรวมนั้นผู้ใช้งานสามารถมอนิเตอร์และควบคุมการสวิตช์ไฟไปยังโหลดต่าง ๆ ผ่านจอมอนิเตอร์ หรือ Smart Devices ต่าง ๆ โดยเชื่อมต่อกับโครงข่ายสื่อสารที่ตั้งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นว่าผู้ออกแบบได้ตั้งระบบเครือข่ายเป็นแบบไร้สายสำหรับการติดต่อระหว่างภาคพื้นดินและอากาศ ผ่านทาง Wi-Fi 2.4GHz และมีระบบเครือข่ายที่เป็นสายสำหรับการติดต่อระหว่าง Access Point กับตัว Raspberry Pi ที่เป็นตัวเซิร์ฟเวอร์สำหรับการรัน MQTT และ NodeRED



รูปที่ 8 โครงข่ายของระบบ

เครือข่ายไร้สายจะถูกกำหนดด้วยอุปกรณ์ Access Point Outdoor UBIQUITI Nanostation (NSM) Wireless N150 ที่เป็นลักษณะของ Directional Antenna ดังนั้น ในการใช้งานจำเป็นต้องให้สายอากาศชี้ไปยังเป้าหมายหรือตัวโดรนให้ได้มากที่สุดรวมทั้งอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น มือถือ แท็บเล็ต หรือ Notebook ที่อยู่บริเวณเดียวกันในภาคพื้นดิน ก็จะสามารถเข้าถึงเครือข่ายได้ โดยสามารถมอนิเตอร์และควบคุมระบบได้เช่นกัน

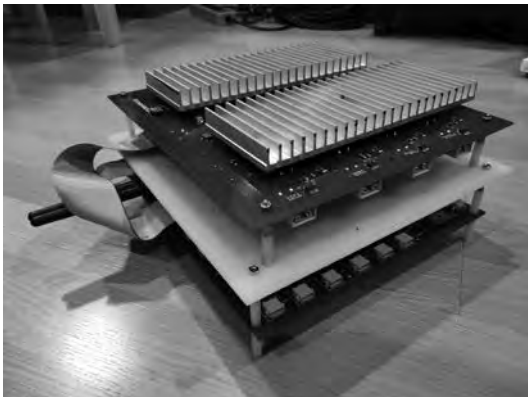
5. การทดลองและผลการทดลอง

หลังจากที่ได้มีการประกอบทั้งส่วนของ PMU-Ground และ PMU-Air ดังแสดงในรูปที่ 9 ได้มีการทดสอบการทำงานทั้งในส่วนย่อยต่าง ๆ และระบบ

5.1 การทดสอบฮาร์ดแวร์

ในการทดลองนี้จะทดสอบการเปิดปิดและวัดค่าแรงดันเอาต์พุตที่ช่องการจ่ายไฟให้กับโหลดต่าง ๆ บน Payload โดยใช้ Electronic Load ในการดึงกระแสที่ค่าต่าง ๆ และมีการบันทึกค่าแรงดันจาก DMM และรูปที่ 10 แสดงลักษณะแรงดัน Ripple จาก Oscilloscope จะเห็นว่ามีความ Peak-to-peak อยู่ในช่วง 500mV-700mV

นอกจากนี้ยังมีการใช้ BLDC Motor ความเร็วต่ำขนาด 500W มาต่อเป็นโหลดที่ 24V ของ PMU-Air จากการทดสอบสามารถขับมอเตอร์ให้หมุนได้ โดยมีค่าเฉลี่ยของกระแสอยู่ที่ประมาณ 3-4 A ในสภาวะ no load ทั้งนี้เป็นการทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น สำหรับการนำไปขับ BLDC ความเร็วสูงที่ใช้ใน Drone จริง ๆ ซึ่งได้นำไปจาก สทป. ซึ่งเป็นผู้ใช้งานจริงต่อไป



รูปที่ 9 PMU-Ground และ PMU-Air

5.2 การทดสอบระบบซอฟต์แวร์

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในการทำงานของซอฟต์แวร์ในระบบ จะเป็นลักษณะของ IoT โดยใช้โปรแกรม Mosquitto และ NodeRED ใน Raspberry Pi ร่วมกับตัวเซ็นเซอร์และสวิตช์รีเลย์ต่าง ๆ ที่ถูกอ่านหรือควบคุมผ่านทาง NodeMCU คอลโทรลเลอร์

ผู้ใช้งานสามารถมอนิเตอร์ค่าแรงดันและกระแสรวมทั้งการควบคุมการจ่ายพลังงานให้โหลดต่าง ๆ ที่อยู่บนตัวโดรนจากภาคพื้นดินผ่านทางโปรแกรม NodeRED ซึ่งมีหน้าจอตั้งรูปที่ 11 โดยในที่นี้กำหนดให้ส่งมาทุก ๆ 10 วินาที จะได้ไม่เป็นภาระกับโปรเซสเซอร์มากเกินไป และเพียงพอสำหรับมอนิเตอร์การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ

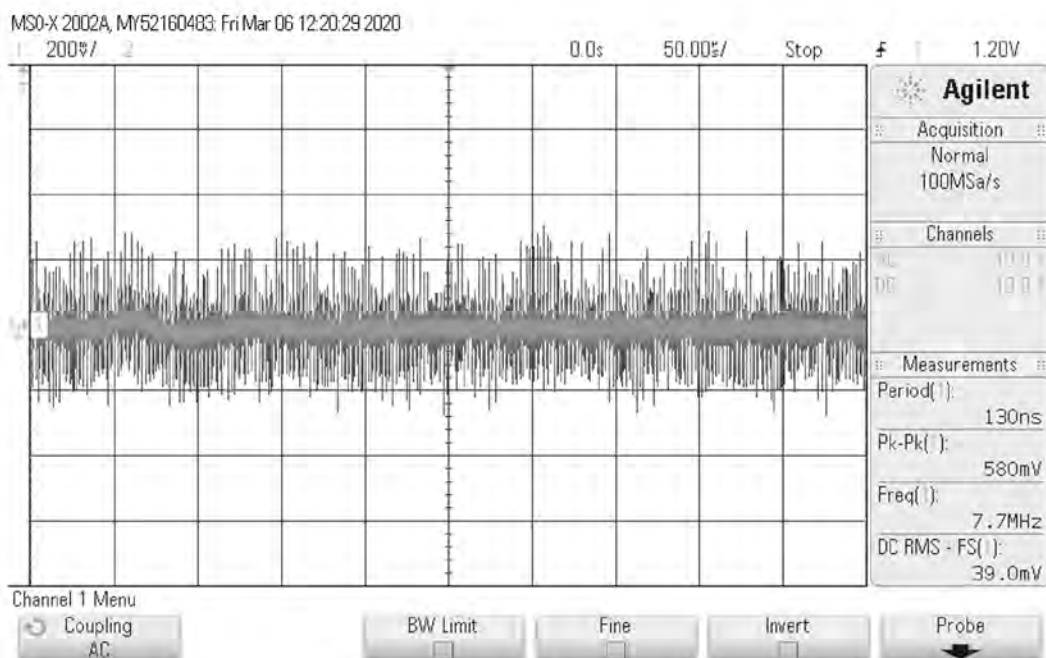
ในการเปิดเครื่องแต่ละครั้ง โปรแกรมจะถูกตั้งให้มาที่หน้าจอหลัก หรือที่ TD-Ground ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกดูข้อมูลในแต่ละหน้าได้ โดยคลิกที่แถบเมนูมุมบนซ้ายมือ แต่ละหน้าจะประกอบด้วย TD-Ground, TD-AirMon, TD-Air36V, TD-Air24V, TD-Air12V, TD-Air5V, TD-Air3.3V

ส่วน TD-Ground จะเป็นการมอนิเตอร์และควบคุม PMU-Ground ที่อยู่ภาคพื้นดิน โดยจะมีกราฟและเกจที่แสดงค่าของกระแสที่อ่านได้จากตัว AIF Converter ทั้ง 3 ตัว ทางด้านขวามือ จะเป็นการควบคุมการเปิดปิดของพัดลมระบายความร้อน ซึ่งสามารถเปิดปิดได้แบบ Manual หรือเปิดปิดด้วยค่า Threshold ที่ตั้งไว้ หากมีอุณหภูมิสูงเกินค่าที่ตั้งพัดลมก็จะทำงานอัตโนมัติ

ส่วน TD-AirMon จะแสดงภาพรวมของสถานะเกจวัดแรงดันต่าง ๆ ของโหลด ทั้ง 36VDC, 12VDC,

5VDC, และ 3.3VDC ที่ PMU-Air รวมทั้งค่าอุณหภูมิ และความขึ้นบนบอร์ดที่อยู่บนตัวไดรอน ส่วนของค่า กระแสสำหรับโหลดต่าง ๆ รวมทั้งการควบคุมการ

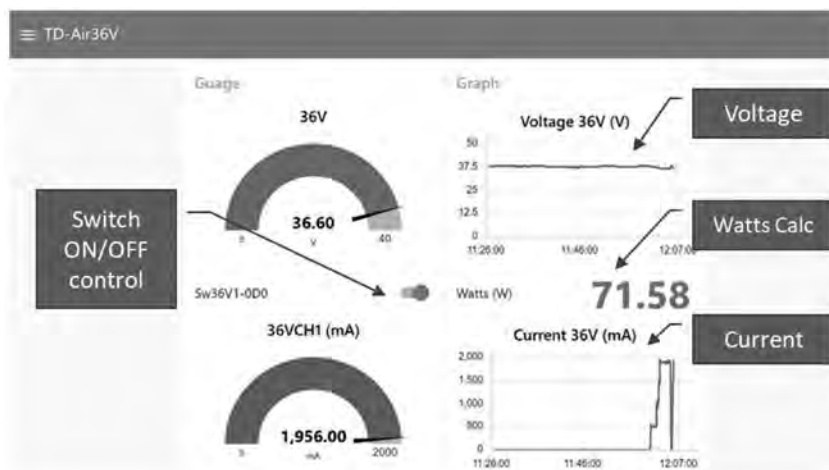
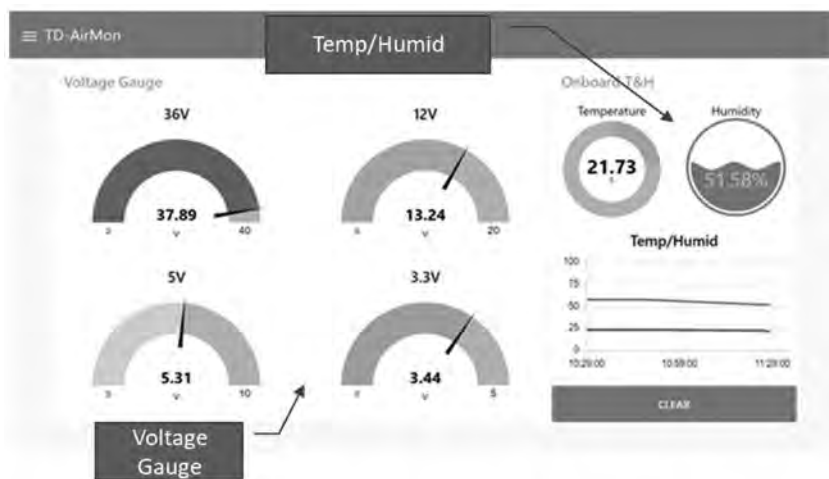
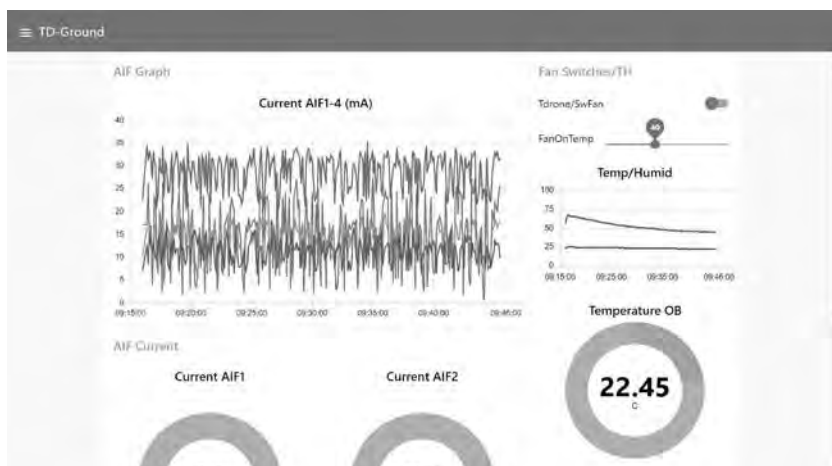
สวิตช์เปิดปิด (36VDC, 12VDC, 5VDC, 3.3VDC) จะอยู่ในแต่ละ Tab แต่ละอันถัดไป



รูปที่ 10 ตัวอย่างลักษณะแรงดันริปเปิลที่โหลด

ตารางที่ 3 ค่าแรงดันริปเปิล Peak-to-peak ที่โหลด

กระแส (A) (Load) current)	36VDC		12VDC		5VDC		3.3VDC	
	Voltage (V)	Pk-Pk. Ripples (mV)	Voltage (V)	Pk-Pk. Ripples (mV)	Voltage (V)	Pk-Pk. Ripples (mV)	Voltage (V)	Pk-Pk. Ripples (mV)
0	37.78	500mV	13.08	700mV	5.27	400mV	3.60	360mV
0.5	37.18	500mV	12.56	400mV	5.18	430mV	3.58	400mV
1	36.93	500mV	12.47	400mV	5.10	500mV	3.56	440mV
1.5	36.66	500mV	12.39	440mV	5.02	530mV	3.53	540mV
2	36.38	590mV	12.31	540mV	4.93	550mV	3.51	580mV



รูปที่ 11 ตัวอย่างหน้าจอมอนิเตอร์ และควบคุม

5.3 การทดสอบภาคสนามเบื้องต้น

การทดสอบภาคสนามจำลองจะเป็นการทดสอบที่จะมีการจำลองการใช้งานจริง ได้รับไฟฟ้า 220VAC ป้อนให้กับ PMU-Ground และส่งกำลังไฟผ่านสายไฟ 1.5mm² x 2 ที่ลากไปบนพื้นดิน ในระยะทาง 100 เมตร ไปยัง PMU-Air โดยยังไม่ใช้สายและตัวไดรอนจริง รวมทั้งมีการทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน โดยมีการทดสอบในการเปิดปิดการจ่ายไฟให้กับตัวโหลดต่าง ๆ และมีการสังเกตการณ์บันทึกผล ซึ่งสามารถเปิดปิดได้ทุกช่องตามที่กำหนดไว้

ปัจจุบันระบบได้มีการทดสอบการจ่ายไฟด้วยโหลดที่เป็น Resistive loads โดยการนำหลอดความร้อนมาติดกระแสที่แรงดัน 380VDC 4000W ซึ่ง PMU-Ground สามารถจ่ายได้ รวมทั้งมอเตอร์ 24VDC BLDC 500W ที่ PMU-Air งานที่จะทำต่อไปจะเป็นส่วนการทดสอบกับตัวไดรอนจริงที่มีโหลดมอเตอร์ BLDC ของใบพัดไดรอนที่ใช้งานจริง รวมทั้งการควบคุมการจ่ายไฟให้กับตัว Payload ต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 12 การทดสอบภาคสนามแนวราบเบื้องต้น

5.4 การทดสอบภาคสนามที่ สทป. กับตัวไดรอน

ในการทดสอบนี้ ได้ทำการติดตั้งกับตัวไดรอนจริงที่จะนำไปใช้งาน โดยให้ทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟให้กับตัวมอเตอร์ (BLDC) ทั้ง 4 ตัว ให้ได้ตามที่กำหนด ทั้งนี้ ในการออกแบบ PMU Air ได้ใช้งาน DCM converter ของ Vicor จำนวน 8 ตัว ในการจ่ายเอาต์พุตให้กับตัวมอเตอร์ โดยได้นำเอาต์พุตของตัว Converter ทั้งหมดแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดละ 4 ตัว แต่ละชุดจะมีหน้าที่จ่ายไฟให้กับมอเตอร์ 2 ตัว ตามความต้องการของไดรอนที่ใช้งาน ผ่านทางวงจร Oring

Diode ขนาด 120A ต่อชุด จำนวน 2 ชุด สำหรับการเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ของตัวไดรอนที่มี 2 ชุด เช่นกัน โดยมีขั้นตอนและผลการทดสอบดังนี้

- การทดสอบกับมอเตอร์ตัวเดียว จากชุดหนึ่งของโมดูล Converters ใน PMU-Air โดยการบังคับด้วยรีโมท ผ่านตัว ESC Control โดยเริ่มจากความเร็วต่ำ ๆ จนถึงความเร็วสูงสุด (7 ระดับ) สามารถทำได้โดยกระแสมีการรายงานผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ตามปกติ ผ่านทางตัวโมดูล Converter ในชุดที่มี 4 ตัว แบ่งจ่ายกันออกมาได้รวมกันทั้งสิ้นประมาณ 30A ที่ Full Throttle หรือที่ประมาณ 700W

- การทดสอบการหยุดจ่ายไฟจากภาคพื้นดิน PMU-Ground และสลับให้มอเตอร์ใช้ไฟจากแบตเตอรี่แทน สามารถทำได้ผ่านทางชุดวงจร Oring Diode โดยมีความเร็วตกลงมาบ้าง เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่โดยปกติแล้วจะต่ำกว่าจากชุด Converter ทั้งนี้ หากสลับกลับมาใช้ไฟจาก PMU ก็ยังสามารถทำได้เช่นกัน
- การทดสอบการบินกับตัวโดรน โดยยึดกับโครงเหล็กวางไว้ที่พื้นบริเวณลาดฟ้าของ สทป. เป็นการทดสอบการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว ของตัวโดรน ที่ Half-throttle และ Full-throttle ทั้งนี้ ได้เกิดปัญหาในการส่งสัญญาณข้อมูลกระแสจากตัว Converter ที่ขับมอเตอร์แต่ละตัวในช่วงประมาณ 60% ของการขับ มีลักษณะที่เป็นกระเพื่อมขึ้นลงซึ่งอาจเกิดจาก

ซอฟต์แวร์หรือตัวเซ็นเซอร์ซึ่งทางผู้วิจัยจะได้หาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขต่อไป ส่วนการจ่ายกำลังไฟนั้นสามารถทำได้ตามปกติ โดยจ่ายต่อเนื่อง 50% ค้างไว้ที่ 10 นาที หลังจากนั้นมีการเพิ่มการขับมอเตอร์เป็น 70% ต่อเนื่องที่ 10 นาที ระบบสามารถจ่ายได้ปกติ ส่วนการขับที่ 100% สังเกตได้ว่าขนาดของแรงดัน AC ที่จ่ายเข้ามามีค่าตกลงประมาณ 10% ตัวสายที่จ่ายเข้า PMU-Ground มีความร้อนเกิดขึ้นค่อนข้างสูง และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3 นาที Thermal Circuit Breaker Switch ของปลั๊กพ่วงได้ทำงาน เนื่องจากเกินพิกัดของปลั๊ก ทำให้ต้องหยุดและวางแผนการทดสอบ Full-throttle อีกครั้ง

ในส่วนของคุณค่าอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ กลางแจ้ง หลังจากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4 ถือว่าเป็นปกติ

ตารางที่ 4 ค่าอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ

จุดที่วัดค่าอุณหภูมิ	% Throttle (for 10 mins)	
	50%	70%
Converter Modules	44 °C	48 °C
Converter Heatsink	38 °C	43 °C
Oring Diode	38 °C	48 °C
Electronic Speed Control	42 °C	56 °C
BLDC Motor	47 °C	51 °C

6. สรุปผล

งานวิจัยชิ้นนี้ได้พัฒนาต้นแบบระบบบริหารจัดการพลังงาน (Power Management Unit: PMU) ในระบบของ Tethered Drone ขนาดใหญ่ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงถึง 4000W เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้ตลอดเวลา โดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบบริหารจัดการพลังงานภาคพื้นดิน เรียกว่า PMU-Ground ที่

อยู่บนภาคพื้นทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายให้กับตัวโดรน และระบบบริหารจัดการพลังงานของโดรน เรียกว่า PMU-Air โดยเป็นระบบที่ถูกติดตั้งอยู่บนโดรนทำหน้าที่บริหารและจัดการพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ของโดรนสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ผู้ใช้งานสามารถมอนิเตอร์ค่าแรงดันและกระแสต่าง ๆ รวมทั้งสามารถควบคุมการจ่ายไฟให้กับโหลดที่แรงดันต่าง ๆ โดยนำระบบ Internet of Things (IoT) มาใช้งาน



รูปที่ 13 การทดสอบกับตัวโดรนที่ สทป.

7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์บริหารจัดการพลังงานสำหรับ Tethered Drone สัญญารับทุนเลขที่ 620204 นี้ได้รับทุนจาก สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) โดยความร่วมมือกับทางศูนย์ MASI มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Elistair, "SAFE-T Smart Tethering Station for Drones", Available [https://elistair.com/
- [2] Foxtech, "T3500 Tethered Power System for Drones", Available: https://www.foxtechfpv.com/
- [3] M. N. Boukoberine, Z. Zhou and M. Benbouzid, "Power Supply Architectures for Drones - A Review," IECON 2019 - 45th Annual

Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Lisbon, Portugal, 2019, pp. 5826-5831

[4] R. Nith and J. Rekimoto, "Falconer: A Tethered Aerial Companion for Enhancing Personal Space," 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), Osaka, Japan, 2019, pp. 1550-1553

[5] J. Montanyà, J. A. López, P. Fontanes, M. Urbani, O. van der Velde and D. Romero, "Using tethered drones to investigate ESD in wind turbine blades during fair and thunderstorm weather," 2018 34th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Rzeszow, 2018, pp. 1-4

[6] P. Fiorentin et al., "MINLU: An Instrumental Suite for Monitoring Light Pollution from Drones or Airballoons," 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), Rome, 2018, pp. 274-278

[7] M. Y. Selim and A. E. Kamal, "Post-Disaster 4G/5G Network Rehabilitation Using Drones: Solving Battery and Backhaul Issues," 2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018, pp. 1-6

[8] Marco M. Nicotra, Roberto Naldi, Emanuele Garone, "Taut Cable Control of a Tethered UAV", IFAC Proceedings Volumes, Volume 47, Issue 3, 2014, pp. 3190-3195

[9] T. Glick and S. Arogeti, "Control of Tethered Drones with state and input Constraints - a Unified Model Approach," 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Dallas, TX, 2018, pp. 995-1002

[10] B. Kosamovsky and S. Arogeti, "A String of Tethered Drones - System Dynamics and Control," 2019 European Conference on Mobile Robots (ECMR), Prague, Czech Republic, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109