

การพัฒนาชุดตรวจวัดพารามิเตอร์เพื่อหาขีดจำกัดการส่งกระแสแบบพลวัตของสายส่ง



นายอภิรักษ์ เจริญทรัพย์ยานนท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A SET OF SENSORS FOR FINDING DYNAMIC LINE RATINGS OF A TRANSMISSION LINE

Mr. Apinont Charoensupyanant



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

อภิพนธ์ เจริญทรัพย์ยานันท์ : การพัฒนาชุดตรวจวัดพารามิเตอร์เพื่อหาขีดจำกัดการส่งกระแสแบบพลวัตของสายส่ง (DEVELOPMENT OF A SET OF SENSORS FOR FINDING DYNAMIC LINE RATINGS OF A TRANSSMISSION LINE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. เอกชัย ลีลาวัศมี, 53 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาชุดวัดพารามิเตอร์รอบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิรอบสาย และส่งกลับไปยังสถานีหลัก เพื่อคำนวณหาขีดจำกัดกระแสในสายส่งตามมาตรฐานIEEE 738 Std. Rev.2006 หรือเรียกว่า ขีดจำกัดกระแสในสายส่งแบบพลวัต (Dynamic Line Rating: DLR) ผู้จ่ายไฟฟ้าจะต้องเผื่อระวางกระแสโหลดในสายส่งไม่ให้เกินขีดจำกัดDLRที่คำนวณได้ เมื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดกระแสในสายส่งแบบคงที่(Static Line Rating: SLR)ที่ใช้อยู่ปัจจุบัน ระบบDLRสามารถยืดระยะเวลาการสร้างแนวสายส่งใหม่ออกไป ชุดวัดพารามิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วยเซ็นเซอร์และโมดูลต่างๆ ได้แก่ ชุดวัดความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิรอบสายส่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูลโทรศัพท์เคลื่อนที่ โมดูลระบุตำแหน่ง และ แผงพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ทุกๆ 5-15 นาที ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ และข้อมูลจะส่งกลับสถานีหลักผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5470449421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: IEEE738 / ขีดจำกัดกระแสแบบคงที่ / ขีดจำกัดกระแสแบบพลวัต / สายส่งไฟฟ้าแรงสูง

APINONT CHAROENSUPYANANT: DEVELOPMENT OF A SET OF SENSORS FOR FINDING DYNAMIC LINE RATINGS OF A TRANSSMISSION LINE. ADVISOR: ASSOC. PROF. EKACHAI LEELARASMEE, Ph.D., 53 pp.

This thesis propose a set of hardware that is developed for remote monitoring of ambient parameters under a high voltage AC transmission line. These parameters are wind speed, wind direction, and ambient temperature. They are measured and transfer to the main station for calculating the maximum allowable currents that AC line can carry at that moment according to IEEE 738 Rev.2006 standard. This method is called Dynamic Line Rating or DLR. Using DLR, a utility provider can monitor and control the current through the transmission line without exceeding its limit. Compared to the currently used static line rating method that fixed the maximum allowable current with a constant value. DLR can prolong the costly and timely construction of new transmission line as well as reduce the copper loss. Developed hardware included an anemometer, wind vane, temperature sensor, microcontroller, GSM module, GPS module and solar panel. Data are measured every 5 to 15 minutes depending on resolution that providers need and transferred to the main station via GSM network.

Department: Electrical Engineering

Student's Signature

Field of Study: Electrical Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ไม่อาจจะสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงได้ ถ้าไม่ได้รับความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัมย์ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำการทำวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ ที่กรุณามาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อนำไปปรับปรุงการทำวิทยานิพนธ์ ดร.ฐิติพร สังข์เพชร ท่านกรรมการสอบ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย พี่ สราวุฒิ เดชจรัสโยธิน ที่คอยให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความรู้และประสบการณ์ดีๆ ทั้งด้านวิชาการ สังคม และอื่นๆแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา คุณลุง คุณป้า อย่างสุดซึ้งซึ่งทำให้การสนับสนุนข้าพเจ้าด้วยดี ตลอดมา ทั้งด้านการเงิน กำลังใจ และอื่นๆอีกมากมาย

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆทุกท่าน ในห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบและประยุกต์ วงจรรวม ที่คอยให้การช่วยเหลือไม่ว่าจะเรื่องเล็กๆน้อยๆหรือเรื่องใหญ่ก็ตาม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3. ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4. วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5. ลำดับขั้นตอนการนำเสนอผลการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	5
2.1. ซีตจำกัดกระแสแบบพลวัต(Dynamic Line Rating หรือ DLR).....	5
2.2. มาตรฐาน IEEE 738	6
2.2.1. การคำนวณความร้อนที่ลมพาออกจากสายส่ง	8
2.2.1.1. ความหนาแน่นของอากาศ.....	9
2.2.1.2. ความชื้นของอากาศ	9
2.2.1.3. ความสามารถในการนำความร้อนของอากาศ.....	10
2.2.2. การแผ่รังสีความร้อนจากสายส่ง.....	11
2.2.3. ความร้อนของสายส่งที่เกิดจากแสงอาทิตย์.....	11
2.2.3.1. ความร้อนรวมที่ผิวตัวนำที่ความสูงของระดับน้ำทะเล.....	12

2.2.3.2. ระดับมุมสูงของดวงอาทิตย์.....	13
2.2.3.3. มุมเบี่ยงเบนดวงอาทิตย์	14
2.2.3.4. ผลรวมของความร้อนและความเข้มข้นของแสงอาทิตย์บนสายส่ง.....	15
2.2.3.5. มุมแนวราบของดวงอาทิตย์.....	15
2.2.4. ค่าความต้านทานในสายส่ง.....	16
บทที่ 3 การออกแบบชุดตรวจวัดพารามิเตอร์รอบสายส่ง และฮาร์ดแวร์.....	17
3.1 การออกแบบชุดตรวจวัดพารามิเตอร์รอบสายส่ง	17
3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์สำหรับตัวควบคุมและประมวลผลชุดตรวจวัด	18
3.2.1. หน้าที่ขาต่างๆของ dsPIC30F4011[2].....	18
3.2.1.1. คุณสมบัติด้านฮาร์ดแวร์	19
3.2.1.2. คุณสมบัติการเชื่อมต่อ	19
3.2.2. การเชื่อมต่อ dsPIC30F4011 กับ ส่วนประกอบต่างๆของชุดตรวจวัด.....	19
3.3. เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดพารามิเตอร์รอบสายส่ง	20
3.3.1. เซ็นเซอร์วัดความเร็วลม	20
3.3.2. เซ็นเซอร์วัดทิศทางลม	20
3.3.3. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบสายส่ง	22
3.3.3.1. คุณสมบัติของMPL3115A2	22
3.4. การระบุพิกัดตำแหน่งของเสาส่ง.....	23
3.4.1. คุณสมบัติของSIM-908 (GPS)[6]	23
3.5. การเชื่อมต่อระหว่างชุดตรวจวัดและคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง	24
3.5.1. คุณสมบัติของSIM 908(GSM)[6]	25
3.6. การแสดงสถานะของชุดตรวจวัด.....	25
3.7. พลังงานที่ใช้ในชุดตรวจวัด.....	25

3.7.1. คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์	26
3.7.2. คุณสมบัติของแบตเตอรี่	26
3.7.3. คุณสมบัติของSolar Charger	26
3.7.4. ปริมาณการใช้พลังงานของระบบ.....	27
บทที่ 4 ซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน และการสื่อสาร	28
4.1. การแสดงผลการคำนวณ รายละเอียดจุดตรวจวัด และการแจ้งเตือน	29
4.2. การจำลองสถานการณ์การคำนวณหาขีดจำกัดกระแสDLR.....	29
4.3. การเชื่อมต่อกับชุดตรวจวัดพารามิเตอร์	30
4.3.1. รูปแบบชุดข้อมูล	31
4.3.2. ฝั่งการทำงานของารรับข้อมูลจากชุดตรวจวัด.....	31
4.4. การคำนวณตามมาตรฐานIEEE 738	33
4.5. การบันทึกข้อมูล	36
4.5.1. บันทึกข้อมูลจากชุดตรวจวัด.....	36
4.5.2. บันทึกข้อมูลจากการคำนวณหาค่ากระแส	37
4.6. การแก้จุดบกพร่องและเฝ้าสังเกตโปรแกรม	37
บทที่ 5 การทดสอบและประเมินผล	39
5.1. การทดลองตรวจวัดกับแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 500 กิโลโวลต์	39
5.1.1. ความเร็วลมที่วัดได้.....	41
5.1.2. ทิศทางลมที่วัดได้.....	42
5.1.3. อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบสายส่ง และสภาพท้องฟ้า.....	42
5.1.4. พารามิเตอร์อื่นๆที่เกี่ยวข้อง	43
5.2. ผลการคำนวณขีดจำกัดกระแสแบบพลวัตที่คำนวณได้ เปรียบเทียบกับขีดจำกัดกระแส แบบคงที่ และกระแสไหลจริง	43

บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ.....	46
6.1. ข้อสรุป	46
6.2. ข้อเสนอแนะ.....	46
รายการอ้างอิง	47
ภาคผนวก.....	49
คู่มือการใช้งานโปรแกรมติดต่อสื่อสารกับชุดตรวจวัด	49
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	53



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 ความหนืด ความหนาแน่น และความสามารถในการนำความร้อนของอากาศ	10
ตารางที่ 2-2 ตัวคูณสมการที่สภาพท้องฟ้าต่างๆ.....	13
ตารางที่ 2-3 ตัวคูณเพิ่มเติมที่ระดับความสูงต่างๆ.....	15
ตารางที่ 2-4 ค่า C ที่มุม ω ต่างๆ	16
ตารางที่ 3-1 เอ้าท์พุทของWind vane.....	22



สารบัญรูป

รูปที่ 1-1 ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนของสายส่ง	1
รูปที่ 1-2 ชุดตรวจวัดพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมรอบสายส่ง	2
รูปที่ 2-1 สภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อสายส่ง	5
รูปที่ 2-2 รูปแบบความร้อนที่เกิดขึ้นและระบายออกของสายส่ง	6
รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์การหาตัวแปรต่างๆจากมาตรฐาน	7
รูปที่ 2-4 มุมสูง และมุมราบ ของดวงอาทิตย์	13
รูปที่ 2-5 มุมเบี่ยงเบนของดวงอาทิตย์	14
รูปที่ 3-1 โครงสร้างระบบชุดวัดพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบ	17
รูปที่ 3-2 ชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ประกอบเสร็จ	18
รูปที่ 3-3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011	18
รูปที่ 3-4 การเชื่อมต่อของบอร์ดETT-dsPIC30F4011	19
รูปที่ 3-5 เซ็นเซอร์วัดความเร็วลม	20
รูปที่ 3-6 เซ็นเซอร์วัดทิศทางลม	21
รูปที่ 3-7 โครงสร้างภายในของ Wind vane	21
รูปที่ 3-8 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิSparkfun MPL3115A2	22
รูปที่ 3-9 โมดูลSIM 908	23
รูปที่ 3-10 โครงสร้างการเชื่อมต่อระหว่างชุดตรวจวัดและคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์กลาง	24
รูปที่ 3-11จอแสดงผลLCD ขนาด16x2	25
รูปที่ 3-12 แผงโซลาร์เซลล์12โวลต์ ขนาด10วัตต์	25
รูปที่ 3-13 แบตเตอรี่ขนาด12โวลต์ และSolar Charger	26
รูปที่ 4-1 GUI ที่พัฒนาขึ้นสำหรับแสดงผลและติดต่อผู้ใช้	28

รูปที่ 4-2 การแสดงผลการคำนวณขีดจำกัดกระแส ข้อมูลจุดตรวจวัด และการแจ้งเตือน.....	29
รูปที่ 4-3 เลือกจุดที่ต้องการจำลองการคำนวณ	30
รูปที่ 4-4 การป้อนข้อมูลสำหรับจำลองการคำนวณ.....	30
รูปที่ 4-5 รูปแบบการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และชุดตรวจวัด.....	30
รูปที่ 4-6 รูปแบบชุดข้อมูลที่ใช้ส่งข้อมูล	31
รูปที่ 4-7 ผังการทำงานการรับข้อมูลจากชุดตรวจวัด.....	32
รูปที่ 4-8 ผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์	33
รูปที่ 4-9 แผนผังขั้นตอนการคำนวณหาค่ากระแส.....	34
รูปที่ 4-10 ตัวอย่างไฟล์ที่บันทึกข้อมูลจากชุดตรวจวัด.....	36
รูปที่ 4-11 ตัวอย่างไฟล์ที่บันทึกผลการคำนวณหาค่ากระแส	37
รูปที่ 4-12 หน้าต่างเฝ้าสังเกตการทำงาน และหน้าต่างตรวจสอบการคำนวณ.....	37
รูปที่ 5-1 แผนที่แสดงที่ตั้งจุดที่ทำการตรวจวัด สถานีไฟฟ้าฯ ไทรน้อย และโรงไฟฟ้าวังน้อย	39
รูปที่ 5-2 จุดที่ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์	40
รูปที่ 5-3 ชุดตรวจวัดวางบนหลังคารถแทนการติดตั้งบนเสาส่ง	41
รูปที่ 5-4 แนวสายส่ง และทิศทางที่ติดตั้งสำหรับการวัดทิศทางลม	41
รูปที่ 5-5 ความเร็วลมที่ตรวจวัดได้	42
รูปที่ 5-6 ทิศทางลมที่กระทำต่อแนวสายส่งจากการตรวจวัด.....	42
รูปที่ 5-7 อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบสายส่งจากการตรวจวัด	43
รูปที่ 5-8 แผนภูมิแสดงผลการคำนวณDLRเปรียบเทียบกับSLR และกระแสไหล.....	44
รูปที่ 5-9 ผลการคำนวณ q_c , q_r และ q_s	44

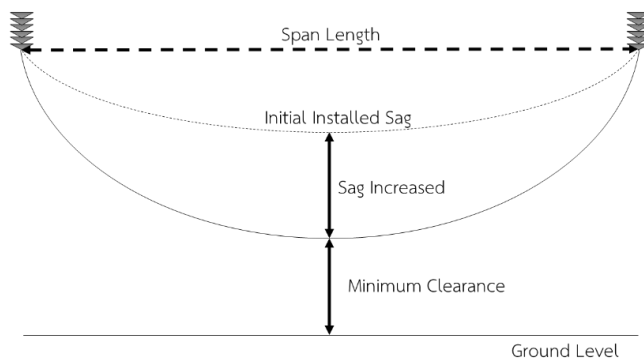
บทที่ 1

บทนำ

1.1. แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปี ทำให้ต้องมีการผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการทางพลังงานที่เพิ่มขึ้น เหตุดังกล่าวทำให้สายส่งต้องรับภาระมากขึ้นในการส่งกระแสไปถึงผู้ใช้ไฟฟ้า แต่ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) ไม่ได้มีการตรวจวัดขีดจำกัดกระแสของสายส่งอย่างจริงจัง แต่ได้ใช้วิธีกำหนดขีดจำกัดกระแสของสายส่งเป็นแบบคงที่ ทำให้บางครั้งเมื่อกระแสไหลล้นมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอาจจะเกินขีดจำกัดกระแสของสายส่ง และผู้ควบคุมก็ไม่สามารถทราบได้ว่าสายส่งเส้นนั้นสามารถรองรับปริมาณกระแสเพิ่มได้อีกเท่าไรเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ต้องจ่ายกระแสไหลล้นเพิ่มปริมาณมาก วิธีแก้ปัญหาดังกล่าวอาจจะใช้วิธีเพิ่มแนวสายส่งใหม่ หรือเปลี่ยนชนิดตัวนำที่สามารถรับกระแสไหลล้นได้มากกว่าที่ใช้ปัจจุบัน

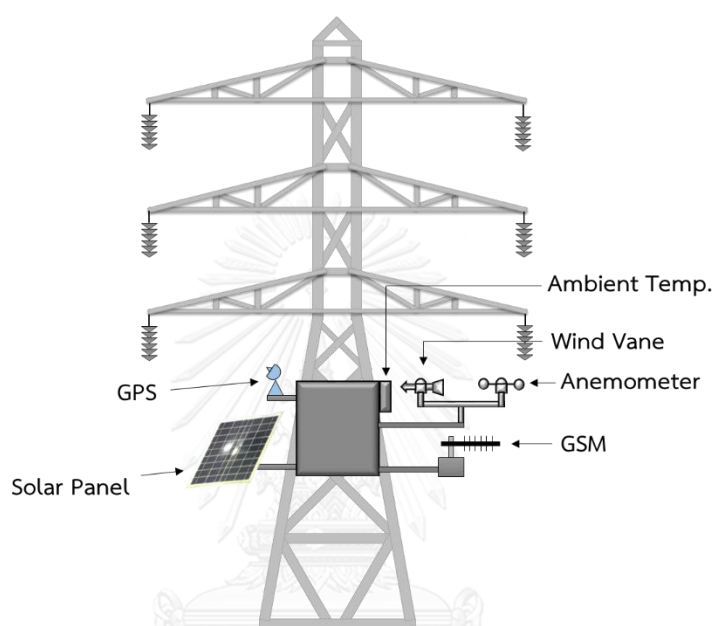
วิธีทั้งสองดังกล่าวข้างต้นนั้นใช้เวลาในการดำเนินการมากและมีค่าใช้จ่ายสูง การแก้ปัญหาในระยะสั้นจึงใช้วิธีเพิ่มประสิทธิภาพของสายส่งเส้นเดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการหาค่าขีดจำกัดกระแสในสายส่งเหนือหัว (Overhead Transmissions Line) ซึ่งเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศของบริเวณนั้นๆ เรียกว่า ขีดจำกัดกระแสแบบพลวัต หรือ Dynamic line rating (DLR) ขีดจำกัดกระแสของแต่ละฤดูกาลไม่เท่ากัน เช่น ฤดูร้อนในประเทศไทยเป็นช่วงที่มีอากาศร้อนมากที่สุด และมีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดของปี ผลจากความร้อนตามฤดูทำให้สายส่งรับภาระได้น้อยลงกว่าฤดูกาลอื่นที่มีอากาศเย็นกว่า เนื่องจากความต้านทานของสายส่งที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอากาศ ประกอบกับปริมาณกระแสการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของปี จึงมีโอกาสที่พลังงานที่ส่งไปอาจจะเกินขีดจำกัดของสายส่ง เป็นเหตุให้สายส่งอาจจะเกิดการเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ และความร้อนที่เพิ่มขึ้นอาจจะทำให้สายส่งหย่อน (Sag) มากขึ้นจนถึงระยะปลอดภัยขั้นต่ำ (Minimum Clearance) ดังรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 ระยะหย่อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนของสายส่ง

เพื่อป้องกันไม่ให้สายส่งเสื่อมสภาพ ผู้ดูแลสายส่งจะต้องคอยตรวจสอบตลอดเวลาว่า กระแสในสายส่งมีค่าใกล้เคียงขีดจำกัดหรือไม่ ถ้าใกล้เคียงจะต้องจำกัดกระแสไว้ แล้วให้กระแสส่วนที่เหลือไหลไปทางสายส่งเส้นที่ยังไม่ถึงเกณฑ์

ปัจจุบันประเทศไทยใช้ขีดจำกัดกระแสแบบคงที่ หรือ Static line rating (SLR) ที่คำนวณหาค่าขีดจำกัดกระแสจากพารามิเตอร์ที่มีค่าคงที่ และเป็นกรณีที่แย่ที่สุด เช่น ความเร็วลมต่ำที่สุด อุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงสุด ทำให้ขีดจำกัดรวมของกระแสทั้งหมดต่ำกว่าความเป็นจริง



รูปที่ 1-2 ชุดตรวจวัดพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมรอบสายส่ง

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ดังรูปที่ 1-2 ที่จำเป็นต่อการคำนวณหาค่าขีดจำกัดกระแสแบบพลวัตผ่านเซนเซอร์ต่างๆ เช่น ความเร็วลม ทิศทางลมกระทำต่อแนวสายส่ง อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบๆสายส่ง สภาพท้องฟ้า โดยการคำนวณจะอ้างอิงมาตรฐาน IEEE 738 Rev.2006[1]

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

พัฒนาชุดตรวจวัดค่าขีดจำกัดกระแสแบบพลวัตของระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงตามมาตรฐานIEEE 738[1] ที่สามารถติดตั้งได้โดยไม่ต้องหยุดจ่ายกระแสและไม่สัมผัสกับสายส่ง พร้อมพัฒนาโปรแกรมสำหรับติดต่อผู้ใช้งานและติดต่อชุดตรวจวัด

1.3. ขอบเขตงานวิจัย

ระบบที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนชุดตรวจวัดสภาพแวดล้อมสายส่ง และโปรแกรมนำค่าจากชุดตรวจวัดมาคำนวณและแสดงผล

1.3.1. ชุดตรวจวัดพารามิเตอร์

พัฒนาชุดตรวจวัดพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมรอบสายส่งที่จำเป็นต่อการคำนวณหาขีดจำกัดกระแสแบบพลวัต มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัด ความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิสภาพอากาศ
2. ใช้เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่2Gในการติดต่อสื่อสารระหว่างชุดตรวจวัดและโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์
3. ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน

1.3.2. โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์สำหรับติดต่อกับชุดตรวจวัดและแสดงผลต่างๆดังนี้

1. ขีดจำกัดกระแสแบบพลวัตที่คำนวณตามมาตรฐานIEEE 738[1]
2. แผนที่แนวสายส่งสถานีฯ ไทรน้อย-โรงไฟฟ้าวังน้อย(ช่วงสั้นๆ)และจุดที่ติดตั้งชุดวัด
3. ผลการคำนวณแผนภูมิเส้นระหว่างขีดจำกัดกระแสที่คำนวณและกระแสโหลด

1.4. วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษามาตรฐานIEEE 738 Rev.2006[1]
2. ทดสอบการคำนวณตามมาตรฐาน[1]บนโปรแกรมMATLAB
3. ศึกษาและเลือกใช้เซนเซอร์ต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ตรวจวัดสภาพแวดล้อมตามมาตรฐาน[1]
4. ออกแบบและเขียนโปรแกรมควบคุมชุดตรวจวัดสภาพแวดล้อมรอบสายส่ง
5. สร้างและทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดสภาพแวดล้อม
6. ออกแบบและเขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์เพื่อติดต่อกับชุดตรวจวัด
7. เขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าพารามิเตอร์จากชุดตรวจวัดบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านดาต้าโมเด็มในการรับ-ส่งข้อมูลโดยใช้โมเด็มสำเร็จรูป และทดสอบการส่งข้อมูล
8. เขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณหาขีดจำกัดกระแสแบบพลวัตจากข้อมูลที่ได้รับจากชุดตรวจวัด พร้อมแสดงผลแผนที่แนวสายส่งและจุดติดตั้งชุดตรวจวัด เพื่อทดสอบการแสดงผลของโปรแกรม

9. นำชุดตรวจวัดไปทดสอบที่แนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง จากสถานีฯ ไทรน้อย-โรงไฟฟ้าวังน้อย วงจรที่1
10. รวบรวมผลการทดลอง สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5. ลำดับขั้นตอนการนำเสนอผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น6บท ดังนี้ บทที่2 กล่าวถึงหลักการและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น หลักการสมดุลความร้อน, มาตรฐานIEEE738 บทที่3 กล่าวถึงการออกแบบฮาร์ดแวร์ ชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ และพลังงานที่ใช้ในชุดตรวจวัด บทที่4 การออกแบบโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน และติดต่อกับชุดตรวจวัด บทที่5 การนำชุดตรวจวัดไปทดลองตรวจวัดนอกสถานที่ที่แนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง วังน้อย-ไทรน้อย บทที่6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป



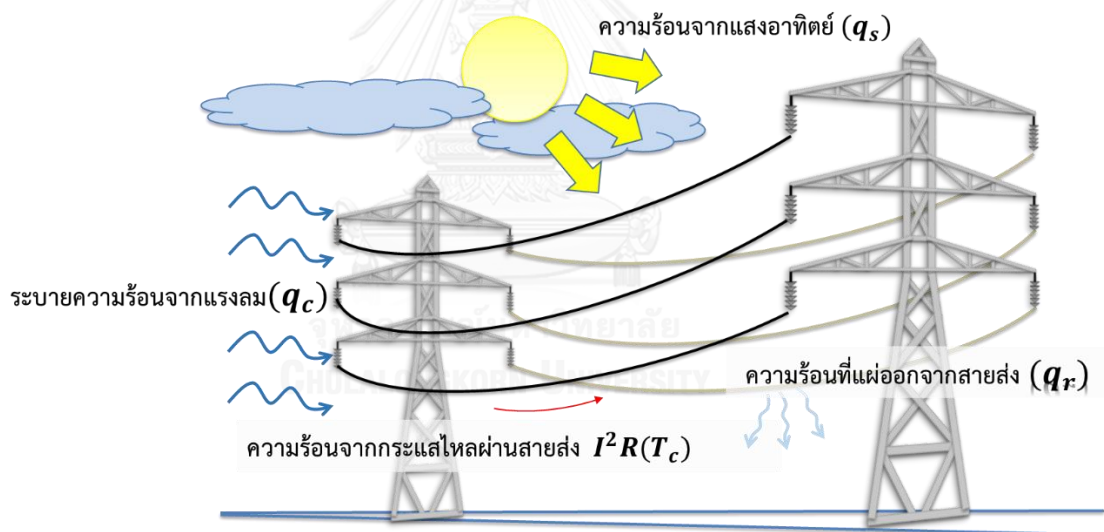
บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงความรู้พื้นฐาน หลักการ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย ขีดจำกัดกระแสแบบพลวัต(DLR) และมาตรฐาน IEEE 738[1]

2.1. ขีดจำกัดกระแสแบบพลวัต(Dynamic Line Rating หรือ DLR)

ขีดจำกัดกระแสแบบพลวัตคือ ค่าสูงสุดของกระแสที่สายส่งสามารถรับได้ โดยไม่ทำให้อุณหภูมิของสายส่งเกินค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งค่าขีดจำกัดของกระแสขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิรอบสายส่ง ดังรูปที่ 2-1 ค่าขีดจำกัดดังกล่าวจะเป็นค่าที่ป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของสายส่งรับกระแสไหลเกินความสามารถเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติเนื่องมาจากความร้อนสูง และป้องกันการหย่อนของสายส่งดังที่กล่าวในบทที่ 1



รูปที่ 2-1 สภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อสายส่ง

สภาพภูมิอากาศและอุณหภูมิที่แตกต่างกันของแต่ละพื้นที่ หรือภาระโหลดที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ล้วนมีผลต่อขีดจำกัดกระแสของสายส่ง ความร้อนที่เกิดขึ้นมาจาก ความร้อนจากแสงอาทิตย์ (q_s) และ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง (I) ซึ่งในสายส่งมีความต้านทาน (R) ความต้านทานที่เกิดขึ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสายส่ง (T_c) ส่วนการระบายความร้อนออกจากสายส่งเกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านสายส่ง (q_c) และการแผ่รังสีความร้อน (q_r) ออกจากตัวสายส่ง ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นสมการสมดุลความร้อน(Heat balance equation) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ(2.2)

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อขีดจำกัดกระแสของสายส่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ พารามิเตอร์ของสายส่ง และ พารามิเตอร์ทางสภาพแวดล้อมรอบสายส่ง

1. พารามิเตอร์ของสายส่ง ได้แก่ ความต้านของสายส่ง สัมประสิทธิ์การดูดซับรังสี ความร้อน สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน และ อุณหภูมิของสายส่ง

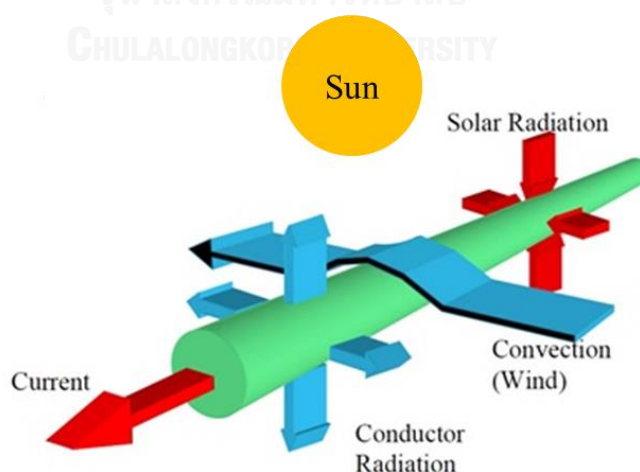
2. พารามิเตอร์ทางสภาพแวดล้อม ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม แสงแดด อุณหภูมิ สภาพแวดล้อมรอบสายส่ง ความสูงจากระดับน้ำทะเลของเสาส่ง และตำแหน่งละจิจูดของสายส่ง

พารามิเตอร์ทั้ง 2 ประเภท จะนำมาใช้คำนวณเพื่อหาขีดจำกัดกระแสแบบพลวัตตามมาตรฐาน IEEE 738 Revision.2006[1] ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.2. มาตรฐาน IEEE 738

มาตรฐาน IEEE 738[1] เป็นมาตรฐานสำหรับคำนวณหาขีดจำกัดกระแสแบบพลวัต โดยใช้พารามิเตอร์ทางภูมิอากาศ สภาพแวดล้อม และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ในการคำนวณ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆที่ซับซ้อน แต่หลักใหญ่ของการคำนวณได้แก่หลักการสมดุลความร้อน

สมการสมดุลความร้อน (Heat balance equation) กล่าวว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวสายส่งย่อมมีค่าเท่ากับความร้อนที่ระบายออกจากตัวสายส่ง ความร้อนที่เกิดขึ้นในสายส่งมาจาก 2 แหล่งด้วยกัน คือ ความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายตัวนำ ซึ่งมีความต้านทานภายใน และ ความร้อนที่แสงอาทิตย์สาดส่องลงบนสายตัวนำ ส่วนการระบายความร้อนของสายส่งเกิดจากแรงลม และจากการแผ่รังสีความร้อนออกสู่อากาศบริเวณรอบๆของสายส่ง ดังรูปที่ 2-2 ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นสมการที่(1)



รูปที่ 2-2 รูปแบบความร้อนที่เกิดขึ้นและระบายออกของสายส่ง

$$q_c + q_r = q_s + I^2 R(T_c) \quad (1)$$

เมื่อ q_c = ความร้อนที่ถูกลบออกจากสายส่ง (W/m)

q_r = การแผ่รังสีความร้อนของสายส่งสู่อากาศบริเวณรอบๆ (W/m)

q_s = ความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ (W/m)

I = กระแสในสายส่ง (A)

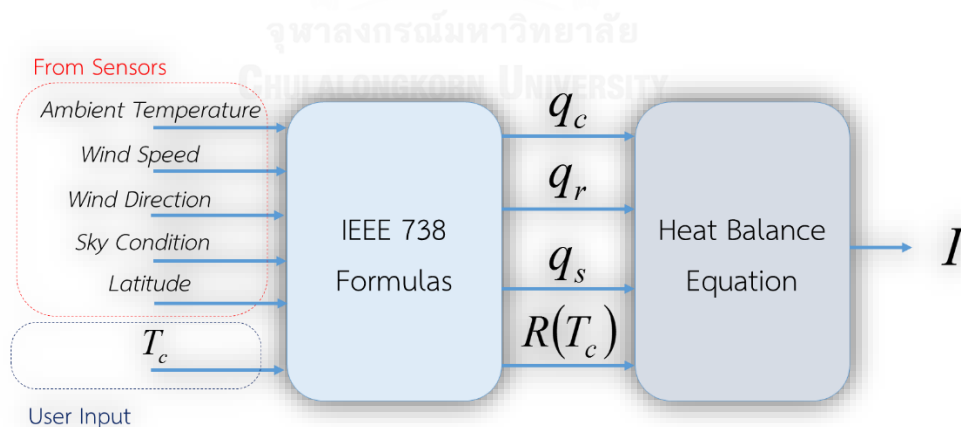
R = ความต้านทานของสายส่ง (Ω/m)

T_c = อุณหภูมิของสายส่ง ($^{\circ}C$)

ค่าพิกัดกระแสในสายส่งแบบพลวัตจะหาได้จากสมการสมดุลความร้อนในสภาวะคงตัว(Steady State) โดยนำสมการที่(1)มาขยายข้างเพื่อหากระแสจะได้

$$I = \sqrt{\frac{q_c + q_r - q_s}{R(T_c)}} \quad (2)$$

จากสมการที่(2) ทำให้ทราบว่าขีดจำกัดของกระแสสูงสุดในสายส่งเป็นเท่าใดต่อสายตัวนำหนึ่งเส้น แต่ค่ากระแสจะขึ้นอยู่กับตัวแปร q_c , q_r , q_s และ $R(T_c)$ ตัวแปรดังกล่าวจะใช้มาตรฐานIEEE 738[1]ในการหาค่าตัวแปร โดยมีอินพุตจากข้อมูลจากการตรวจวัดจากเซ็นเซอร์และผู้ใช้กำหนดเอง ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์การหาตัวแปรต่างๆจากมาตรฐาน

2.2.1. การคำนวณความร้อนที่ลมพาออกจากสายส่ง

การสูญเสียความร้อนในสายส่งโดยการใช้แรงลมเป็นการระบายความร้อนออกจากสายส่งโดยใช้ลมเป็นพาหะ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีตามความเร็วลมของลมที่พัดผ่านสายส่ง ดังนี้

$$q_c = \begin{cases} q_{c1} = \left[1.01 + 0.0372 \left(\frac{D \rho_f V_w}{\mu_f} \right)^{0.52} \right] k_f K_{angle} (T_c - T_a) & \text{ความเร็วลมต่ำ} & (3) \\ q_{c2} = \left[0.0119 \left(\frac{D \rho_f V_w}{\mu_f} \right)^{0.6} \right] k_f K_{angle} (T_c - T_a) & \text{ความเร็วลมสูง} & (4) \\ q_{cn} = 0.0205 \rho_f^{0.5} D^{0.75} (T_c - T_a)^{1.25} & \text{ลมหยุดนิ่ง} & (5) \end{cases}$$

$$\text{โดย } K_{angle} = 1.194 - \cos(\phi) + 0.194 \cos(2\phi) + 0.368 \sin(2\phi) \quad (6)$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำ (mm)

V_w = ความเร็วลม (m/s)

K_{angle} = ตัวประกอบทิศทางลม

T_c = อุณหภูมิสายส่งตัวนำ (°C)

T_a = อุณหภูมิอากาศรอบสายส่ง (°C)

ϕ = มุมที่ลมกระทำต่อแนวสายส่ง degree

ρ_f = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

μ_f = ความหนืดของอากาศ (kg/m-s)

k_f = ความสามารถในการนำความร้อนของอากาศ

ที่อุณหภูมิ T_{film} (W/(m-°C))

แต่ในการใช้งานจริงนั้นไม่มีตัวชี้วัดใดสามารถบอกได้ว่าความเร็วลมเท่าไรเป็นความเร็วลมต่ำ หรือ ความเร็วลมสูง ในมาตรฐาน[1]จึงอธิบายเพิ่มเติมว่าที่ความเร็วลมใดๆสามารถนำมาสมการที่(3)และ(4) นำมาคำนวณพร้อมกันได้ โดยเลือกใช้สมการที่ให้ผลลัพธ์มากที่สุด

สำหรับกรณีที่ไม่มีความเร็วลมจะใช้หลักการระบายความร้อนจากธรรมชาติ (Natural Convection) สามารถคำนวณได้จากสมการที่(6) นอกจากนี้จะสามารถนำมาใช้กับกรณีที่ความเร็วลมเป็นศูนย์ ยังสามารถนำไปใช้กับความเร็วลมที่ต่ำมากๆได้เช่นกัน มาตรฐาน[1]จึงอธิบายเพิ่มเติมที่ความเร็วลมต่ำมากๆสามารถคำนวณพร้อมกันได้ทั้งสมการที่(3)และ(5) และเลือกใช้สมการที่ให้ผลลัพธ์มากที่สุด

2.2.1.1. ความหนาแน่นของอากาศ

ความหนาแน่นของอากาศ คือมวลของอากาศต่อปริมาตรของอากาศ มีหน่วยวัดเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยความหนาแน่นของอากาศมีค่ามากที่สุดที่ระดับน้ำทะเล และความหนาแน่นจะเริ่มต่ำเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่(7)

$$\rho_f = \frac{1.293 - 1.525 \times 10^{-4} H_e + 6.379 \times 10^{-9} H_e^2}{1 + 0.00367 T_{film}} \quad (7)$$

เมื่อ ρ_f = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

H_e = ระดับความสูงของสายส่งจากระดับน้ำทะเล (m)

จากสมการที่(12)สามารถใช้หาความหนาแน่นของอากาศ หรือ สามารถใช้วิธีเปิดตารางที่ 2-1 โดยใช้ T_{film} เป็นตัวกำหนดซึ่งจะกล่าวในภายหลัง

2.2.1.2. ความหนืดของอากาศ

ความหนืดของอากาศ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความต้านทานการไหลในตัวของไหลเอง ถ้าในอากาศมีความหนืดมากจะทำให้การนำพาความร้อนเป็นไปได้ยาก เพราะอากาศเคลื่อนที่ได้ยาก แต่ถ้าอากาศมีความหนืดต่ำ ความสามารถในการนำพาความร้อนจะเพิ่มขึ้น เพราะอากาศสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่า. สามารถหาค่าความหนืดของอากาศได้จากสมการที่(8)

$$\mu_f = \frac{1.458 \times 10^{-6} (T_{film} + 273)^{1.5}}{T_{film} + 383.4} \quad (8)$$

โดย

$$T_{film} = \left(\frac{T_c + T_a}{2} \right)$$

เมื่อ μ_f = ความหนืดของอากาศ (Pa-s)

T_{film} = อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างสายส่งกับอุณหภูมิรอบสายส่ง (°C)

ค่าความหนืดของอากาศสามารถหาจากการคำนวณโดยใช้สมการที่(8)หรือเปิดจากตารางที่ 2-1 ได้เช่นกัน โดยใช้ค่า T_{film} เป็นตัวกำหนดซึ่งจะกล่าวในภายหลัง

2.2.1.3. ความสามารถการนำความร้อนของอากาศ

การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากแหล่งหนึ่งไปสู่อีกแหล่งโดยใช้อากาศเป็นพาหะเป็นตัวกลางการนำความร้อน การถ่ายเทความร้อนได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความสามารถการนำความร้อนของอากาศ ถ้ามีความสามารถการนำความร้อนมาก จะระบายความร้อนได้มาก โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่(9)

$$k_f = 2.424 \times 10^{-2} + 7.477 \times 10^{-5} T_{film} - 4.407 \times 10^{-9} T_{film}^2 \quad (9)$$

เมื่อ k_f = ความสามารถการนำความร้อนของอากาศ (W/(m·°C))

จากสมการที่(13)นำไปคำนวณหาความสามารถการนำความร้อนของอากาศ หรือสามารถเปิดจากตารางได้โดยใช้ T_{film} เป็นตัวกำหนด

ในหัวข้อที่ 2.2.1.1., 2.2.1.2. และ 2.2.1.3. สามารถใช้วิธีคำนวณโดยใช้สมการที่(9) หรือ วิธีเปิดตาราง โดยใช้ค่า T_{film} เป็นตัวกำหนดดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1ความหนืด ความหนาแน่น และความสามารถการนำความร้อนของอากาศ

Temperature T_{film}	Dynamic discosity μ_f	Air density ρ_f (kg/m^3)				Thermal conductivity of air k_f
		0 m	1000 m	2000 m	4000 m	
°C	(Pa-s)					W/(m·°C)
0	0.0000172	1.293	1.147	1.014	0.785	0.0242
5	0.0000174	1.270	1.126	0.995	0.771	0.0246
10	0.0000176	1.247	1.106	0.978	0.757	0.0250
15	0.0000179	1.226	1.087	0.961	0.744	0.0254
20	0.0000181	1.205	1.068	0.944	0.731	0.0257
25	0.0000184	1.184	1.051	0.928	0.719	0.0261
30	0.0000186	1.165	1.033	0.913	0.707	0.0265
35	0.0000188	1.146	1.016	0.898	0.696	0.0269
40	0.0000191	1.127	1.000	0.884	0.685	0.0272
45	0.0000193	1.110	0.984	0.870	0.674	0.0276
50	0.0000195	1.093	0.969	0.856	0.663	0.0280

55	0.0000198	1.076	0.954	0.843	0.653	0.0283
60	0.0000200	1.060	0.940	0.831	0.643	0.0287
65	0.0000202	1.044	0.926	0.818	0.634	0.0291
70	0.0000204	1.029	0.912	0.806	0.625	0.0295
75	0.0000207	1.014	0.899	0.795	0.616	0.0298
80	0.0000209	1.000	0.887	0.783	0.607	0.0302
85	0.0000211	0.986	0.874	0.773	0.598	0.0306
90	0.0000213	0.972	0.862	0.762	0.590	0.0309
95	0.0000215	0.959	0.850	0.752	0.582	0.0313
100	0.0000217	0.946	0.839	0.741	0.574	0.0317

2.2.2. การแผ่รังสีความร้อนจากสายส่ง

การแผ่รังสีความร้อนออกจากสายส่ง เป็นการแผ่รังสีความร้อนออกจากสายส่งจากแหล่งหนึ่งไปอีกแหล่งหนึ่งแบบรอบทิศทางโดยไม่อาศัยตัวกลาง ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิของสองแหล่ง คือ อุณหภูมิของสายตัวนำ และอุณหภูมิของอากาศรอบสายส่ง ทำให้การแผ่รังสีความร้อนสามารถเกิดได้แม้ในสภาวะสุญญากาศ สามารถหาความร้อนที่สูญเสียได้จากสมการที่(10)

$$q_r = 0.0178 D \varepsilon \left[\left(\frac{T_c + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (10)$$

เมื่อ q_r = ความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน (W/m)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางสายตัวนำ (mm)

ε = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (0.23-0.91)

T_c = อุณหภูมิของสายส่ง (°C)

T_a = อุณหภูมิของอากาศรอบสายส่ง (°C)

2.2.3. ความร้อนของสายส่งที่เกิดจากแสงอาทิตย์

ความร้อนจากดวงอาทิตย์มีผลกระทบต่อสายส่งอย่างมากสำหรับประเทศไทย เพราะประเทศไทยมีแสงแดดตลอดทั้งปี ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น แสงอาทิตย์ทำมุมเท่าใดกับสายส่ง สายส่งตั้งอยู่จุดใด หรือความสูงจากระดับน้ำทะเลของสายส่ง สามารถหาความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้จากสมการที่(11)

$$q_s = \alpha Q_{se} \sin(\theta) A' \quad (11)$$

โดย $\theta = \cos^{-1}(\cos(H_c) \cos(Z_c - Z_l))$

เมื่อ	$q_s =$ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์	(W/m)
	$\alpha =$ สัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีของสายตัวนำ (0.23-0.91)	
	$Q_{se} =$ ผลรวมของความร้อนและความเข้มข้นแสงอาทิตย์ บนสายส่ง	(W/m ²)
	$\theta =$ มุมของดวงอาทิตย์	(degree)
	$A' =$ พื้นที่หน้าตัดของสายตัวนำต่อความยาว	(m ² /m)
	$H_c =$ มุมสูงของดวงอาทิตย์	(degree)
	$Z_c =$ มุมแนวราบดวงอาทิตย์	(degree)
	$Z_l =$ มุมทางเดินของแนวสายส่ง	(degree)

2.2.3.1. ความร้อนรวมที่ผิวตัวนำที่ความสูงของระดับน้ำทะเล

เนื่องจากความสูงของสายส่งแต่ละพื้นที่มีระดับต่างกัน แสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านสายส่งและความร้อนที่ระบายออกจากผิวดิน และคลายความร้อนขึ้นมาที่สายส่ง จึงมีความร้อนที่สะสมแตกต่างกันที่ความสูงแต่ละระดับ ยิ่งมีความสูงมากอุณหภูมิจะเริ่มต่ำลงประมาณ 6.5 องศาเซลเซียสต่อความสูง 1 กิโลเมตร สามารถหาค่าความร้อนรวมได้จากสมการที่(12)

$$Q_s = A + BH_c + CH_c^2 + DH_c^3 + EH_c^4 + FH_c^5 + GH_c^6 \quad (12)$$

เมื่อ $Q_s =$ ความร้อนรวมสะสม (W/m²)

$H_c =$ มุมสูงของดวงอาทิตย์ (degree)

$A, B, , G =$ ตัวคูณสมการ

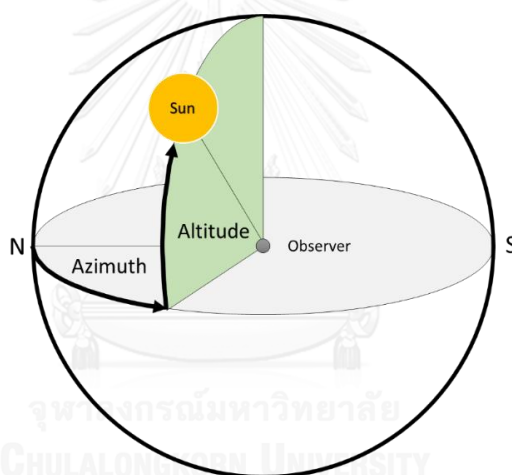
จากสมการที่(12)ตัวคูณสมการ A, B, C, D, E, F และ G จะเปลี่ยนค่าไปตามสภาพท้องฟ้า(Sky condition) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2เงื่อนไข 1.ท้องฟ้าปลอดโปร่ง 2.ท้องฟ้ามีเมฆมาก สามารถหาค่าตัวคูณได้จากตารางที่2-2

ตารางที่ 2-2 ตัวคูณสมการที่สภาพท้องฟ้าต่างๆ

	Clear Atmosphere	Industrial Atmosphere
A	-42.2391	53.1821
B	63.8044	14.2110
C	-1.9220	6.6138×10^{-1}
D	3.46291×10^{-2}	-3.1658×10^{-2}
E	-3.61118×10^{-4}	5.4654×10^{-4}
F	1.94318×10^{-6}	-4.3446×10^{-6}
G	-4.07608×10^{-9}	1.3236×10^{-8}

2.2.3.2. ระดับมุมสูงของดวงอาทิตย์

ระดับมุมสูงของดวงอาทิตย์(Altitude of the sun) วัดจากเส้นอ้างอิงของแกนโลก ทำมุมกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นแนวตั้ง ดังรูปที่2-4



รูปที่ 2-4 มุมสูง และมุมราบ ของดวงอาทิตย์

ในการคำนวณหามุมสูงของดวงอาทิตย์ จะใช้ตำแหน่งละจิจูด ตำแหน่งของประเทศ และเวลาของโซน(Time Zone) ดังสมการที่(13)

$$H_c = \sin^{-1}[\cos(lat) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(lat) \sin(\delta)] \quad (13)$$

โดย
$$\omega = (t - 12) \times 15 \quad (14)$$

เมื่อ H_c = มุมสูงของดวงอาทิตย์ (degree)

δ = มุมเบี่ยงเบนของดวงอาทิตย์ (degree)

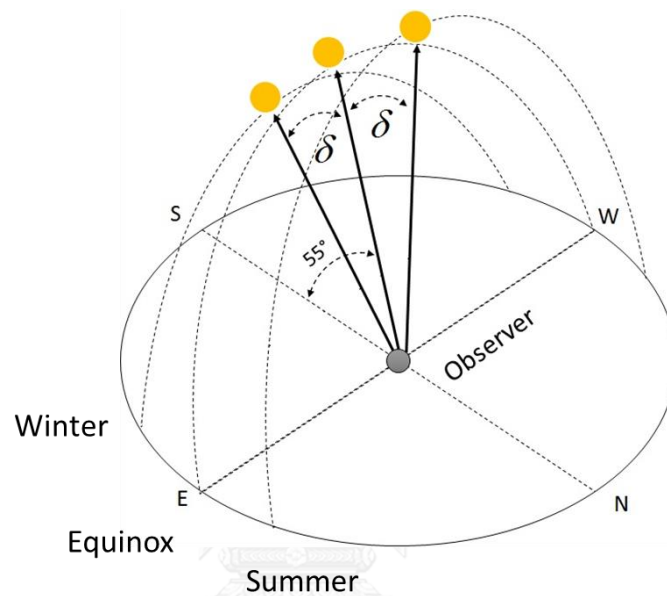
N = จำนวนวันปัจจุบัน (0-365)

lat = ละติจูดของตำแหน่งที่ตรวจวัด

ω = ตำแหน่งดวงอาทิตย์เทียบกับนาฬิกา (degree)

t = เวลาที่ทำการตรวจวัด (0-24 นาฬิกา)

2.2.3.3. มุมเบี่ยงเบนดวงอาทิตย์



รูปที่ 2-5 มุมเบี่ยงเบนของดวงอาทิตย์

ในแต่ละฤดูกาลดวงอาทิตย์จะไม่อยู่ในตำแหน่งเดิมเสมอไป เนื่องจากการเอียงของแกนโลก ทำให้ฤดูร้อนมีเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน และ ฤดูหนาวมีเวลากลางคืนมากกว่ากลางวัน โดยช่วงที่เวลากลางวันเท่ากับเวลากลางคืน (Equinox) เมื่อผู้สังเกตยืนหันหน้าไปทางทิศใต้ มุมที่ผู้สังเกตเห็นดวงอาทิตย์เทียบกับพื้นโลกทางทิศใต้จะทำมุม 55 องศา ดังรูปที่ 2-5 เป็นมุมที่แกนโลกไม่มีการเบี่ยงเบนจึงกำหนดให้เป็นมุมอ้างอิง แต่ฤดูกาลอื่นมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นโลกจะเปลี่ยนไป โดยจะเบี่ยงเบนออกจากจุดอ้างอิงเป็นมุม (δ) ครั้งละ 23.45 องศา ซึ่งค่าเบี่ยงเบนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับฤดูกาล ซึ่งมุมเบี่ยงเบนจะมีค่าอยู่ระหว่าง -23.45 องศา ถึง 23.45 องศา สามารถหาได้จากสมการที่(15)

$$\delta = 23.4583 \sin \left[\frac{284 + N}{365} 360 \right] \quad (15)$$

เมื่อ δ = มุมเบี่ยงเบนของดวงอาทิตย์ (degree)

N = จำนวนวันปัจจุบัน

2.2.3.4. ผลรวมของความร้อนและความเข้มข้นของแสงอาทิตย์บนสายส่ง

เนื่องจากหัวข้อ 2.2.3.1. Q_s ยังไม่รวมการคำนวณความสูงของสายส่งเข้าไป ในหัวข้อนี้จึงใช้ความสูงของสายส่งและ K_{solar} เพื่อหาความร้อนที่เกิดขึ้นที่ระดับความสูงของสายส่ง เนื่องจากที่พื้นที่สูงแสงแดดจะมีความร้อนมากกว่าพื้นที่ต่ำ จึงมีการคูณตัวประกอบ (m) ตามระดับความสูงของสายส่ง เปรียบเทียบจากตารางที่ 2-3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่(16)

$$Q_{se} = K_{solar} Q_s \times m \quad (16)$$

โดย
$$K_{solar} = A + BH_e + CH_e^2$$

เมื่อ $A = 1$

$$B = 1.148 \times 10^{-4}$$

$$C = -1.108 \times 10^{-8}$$

$$H_e = \text{ระดับความสูงของสายส่ง} \quad (\text{m})$$

ตารางที่ 2-3 ตัวคูณเพิ่มเติมที่ระดับความสูงต่างๆ

Elevation above sea level H_e (m)	Multipliers for values in Table 5
0	1.00
1 000	1.10
2 000	1.19
4 000	1.28

2.2.3.5. มุมแนวราบของดวงอาทิตย์

มุมแนวราบดวงอาทิตย์ (Azimuth of the sun) สามารถวัดได้จากเส้นอ้างอิงแกนโลกทิศเหนือทำมุมกับตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวราบ ดังรูปที่ 2-4 สามารถหามุมแนวราบดวงอาทิตย์ได้จากสมการที่(17)

$$Z_c = C + \tan^{-1}(\chi) \quad (17)$$

โดย
$$\chi = \frac{\sin(\omega)}{\sin(lat) \cos(\omega) - \cos(lat) \tan(\delta)} \quad (18)$$

เมื่อ $Z_c =$ มุมในแนวราบของดวงอาทิตย์ (degree)

C = ค่าคงที่ของแนวราบดวงอาทิตย์ (degree)

χ = ตัวแปรของแนวราบดวงอาทิตย์

ω = ตำแหน่งดวงอาทิตย์ตามเวลามาฬิกา (degree)

lat = ละติจูด

δ = มุมเบี่ยงเบนของดวงอาทิตย์ (degree)

หลังจากทราบค่า ω สามารถนำไปหาค่าคงที่แนวราบของดวงอาทิตย์ (C) เพื่อนำไปใช้ในสมการที่(15) ดังตารางที่2-4

ตารางที่ 2-4 ค่า C ที่มุม ω ต่างๆ

"Hour Angle," ω (degrees)	C if $\chi \geq 0$ (degrees)	C if $\chi < 0$ (degrees)
$-180 \leq \omega < 0$	0	180
$0 \leq \omega \leq 180$	180	360

2.2.4. ค่าความต้านทานในสายส่ง

สายตัวนำที่ใช้ในการส่งไฟฟ้าแรงสูงส่วนใหญ่จะเป็น ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforce) ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับความถี่ของระบบ Skin Effect และอุณหภูมิของตัวนำ สามารถคำนวณหาความต้านทานของสายส่ง ณ อุณหภูมิใดๆได้จากสมการที่ (19)

$$R(T_c) = \left[\frac{R(T_{high}) - R(T_{low})}{T_{high} - T_{low}} \right] (T_c - T_{low}) + R(T_{low}) \quad (19)$$

เมื่อ $R(T_c)$ = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T_c (Ω/m)

$R(T_{high})$ = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T_{high} (Ω/m)

$R(T_{low})$ = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T_{low} (Ω/m)

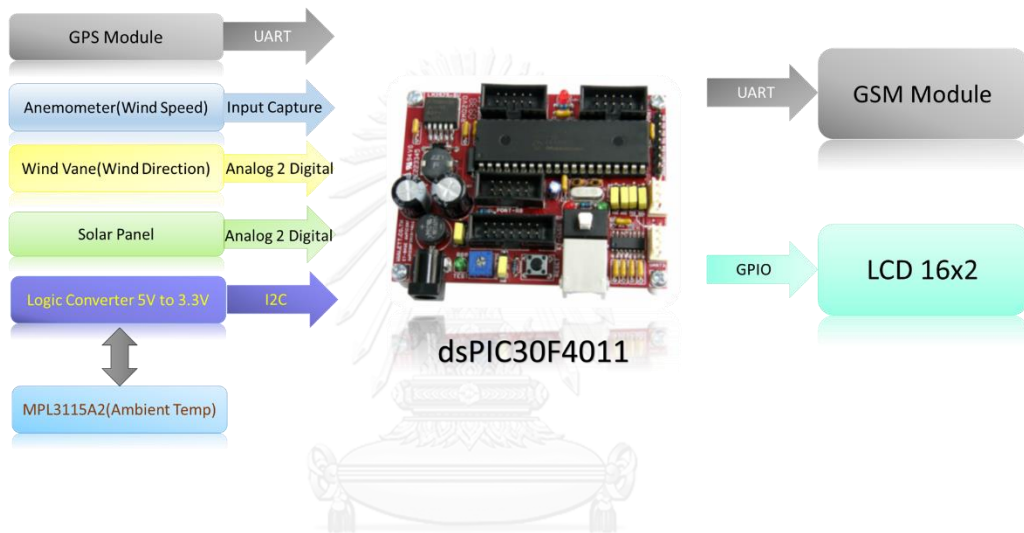
จากสมการที่(7) $R(T_{high})$ คือ ค่าความต้านทานของสายตัวนำที่อุณหภูมิสูง และ $R(T_{low})$ คือ ค่าความต้านทานของสายตัวนำที่อุณหภูมิต่ำ ทั้ง2ค่าจะถูกระบุมาในเอกสารข้อมูลจำเพาะของสายส่ง ส่วนใหญ่อุณหภูมิต่ำจะอยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงจะอยู่ในช่วง 70-75 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

การออกแบบชุดตรวจวัดพารามิเตอร์รอบสายส่ง และฮาร์ดแวร์

ในบทนี้ได้กล่าวการออกแบบชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ และฮาร์ดแวร์ ซึ่งใช้ตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่มาตรฐาน[1]ต้องการในการคำนวณ และการจัดเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลัก ในการจ่ายแรงดันให้กับชุดตรวจวัดสำหรับใช้งานกลางแจ้ง

3.1 การออกแบบชุดตรวจวัดพารามิเตอร์รอบสายส่ง



รูปที่ 3-1 โครงสร้างระบบชุดวัดพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบ

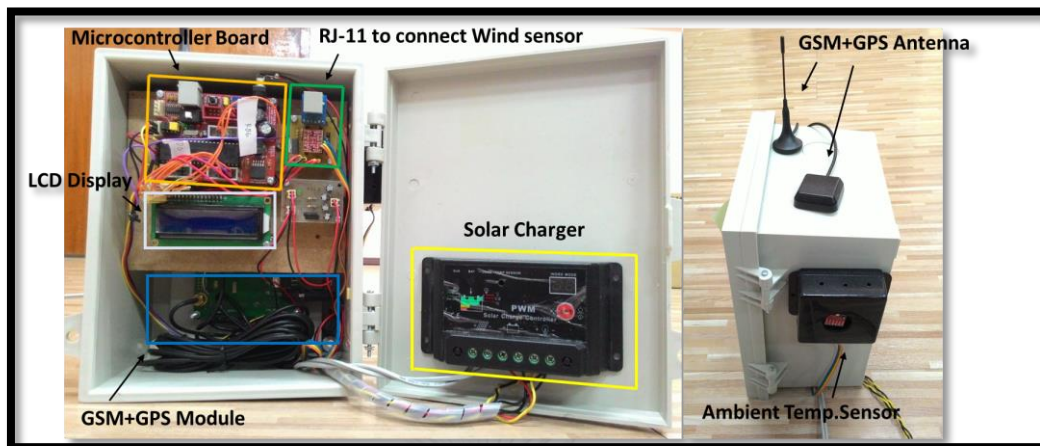
ชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ได้ถูกออกแบบเพื่อตรวจวัดพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมรอบๆสายส่ง และใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลัก ดังรูปที่ 3-1 ประกอบไปด้วย4ส่วน ได้แก่ ส่วนประมวลผลกลาง ส่วนตรวจวัดพารามิเตอร์ ส่วนสื่อสารเพื่อส่งข้อมูลกลับไปส่วนกลาง และส่วนจัดเก็บพลังงาน

1. ส่วนประมวลผลชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ เป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดตรวจวัด ทั้งการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ และการส่งข้อมูลกลับไปส่วนกลาง

2. ส่วนตรวจวัดพารามิเตอร์รอบสายส่ง ทำการตรวจวัดโดยการใช้เซ็นเซอร์ต่างๆ เช่น เซ็นเซอร์วัดความเร็วลม (Anemometer) เซ็นเซอร์วัดทิศทางลม (Wind vane) และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

3. ส่วนสื่อสารระหว่างชุดตรวจวัดกับคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง ติดต่อโดยใช้เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในโหมดดาต้า

4. ส่วนจัดเก็บพลังงานสำหรับชุดตรวจวัด ซึ่งชุดตรวจวัดใช้แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ และใช้แบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงานที่ได้



รูปที่ 3-2 ชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ที่ประกอบเสร็จ

หลักจากนำทุกส่วนที่เกี่ยวข้องมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยใช้ตู้เนกประสงค์เป็นภาชนะสำหรับบรรจุวงจรและบอร์ดต่างๆ เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายตอนใช้งานกลางแจ้ง จึงได้ชิ้นงานดังรูปที่ 3-2

3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์สำหรับตัวควบคุมและประมวลผลชุดตรวจวัด

ฮาร์ดแวร์สำหรับตัวควบคุมและประมวลผลชุดตรวจวัด ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ดังรูปที่ 3-3 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต มีคุณสมบัติพร้อมโมดูลต่างๆ ที่เพียงพอต่อการใช้งาน และคุ้นเคยในการใช้งาน ซึ่งมีคุณสมบัติตามหัวข้อที่ 3.2.1.

3.2.1. หน้าที่ยาต่าง ๆ ของ dsPIC30F4011[2]

MCLR	1	40	AVDD
EMUD3/AN0/VREF+/CN2/RB0	2	39	AVSS
EMUC3/AN1/VREF-/CN3/RB1	3	38	PWM1L/RE0
AN2/SS1/CN4/RB2	4	37	PWM1H/RE1
AN3/INDX/CN5/RB3	5	36	PWM2L/RE2
AN4/QEA/IC7/CN6/RB4	6	35	PWM2H/RE3
AN5/QEB/IC8/CN7/RB5	7	34	PWM3L/RE4
AN6/OCFA/RB6	8	33	PWM3H/RE5
AN7/RB7	9	32	VDD
AN8/RB8	10	31	VSS
VDD	11	30	C1RX/RF0
VSS	12	29	C1TX/RF1
OSC1/CLKIN	13	28	U2RX/CN17/RF4
OSC2/CLKO/RC15	14	27	U2TX/CN18/RF5
EMUD1/SOSCI/T2CK/U1ATX/CN1/RC13	15	26	PGC/EMUC/U1RX/SDI1/SDA/RF2
EMUC1/SOSCO/T1CK/U1ARX/CN0/RC14	16	25	PGD/EMUD/U1TX/SDO1/SCL/RF3
FLTA/INT0/RE8	17	24	SCK1/RF6
EMUD2/OC2/IC2/INT2/RD1	18	23	EMUC2/OC1/IC1/INT1/RD0
OC4/RD3	19	22	OC3/RD2
VSS	20	21	VDD

รูปที่ 3-3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

3.2.1.1. คุณสมบัติด้านฮาร์ดแวร์

- MCU ขนาด 16บิต ความเร็วสูงสุด 30 MIPS
- หน่วยความจำ 2,048ไบต์ พื้นที่สำหรับโปรแกรม 48 กิโลไบต์
- หน่วยประมวลผลสัญญาณDSP
- Analog to Digitalขนาด 10 บิต จำนวน 9 ช่อง
- Timerขนาด 16 บิต
- ขนาดแรงดันช่วงการทำงาน 2.5 – 5.5 โวลต์

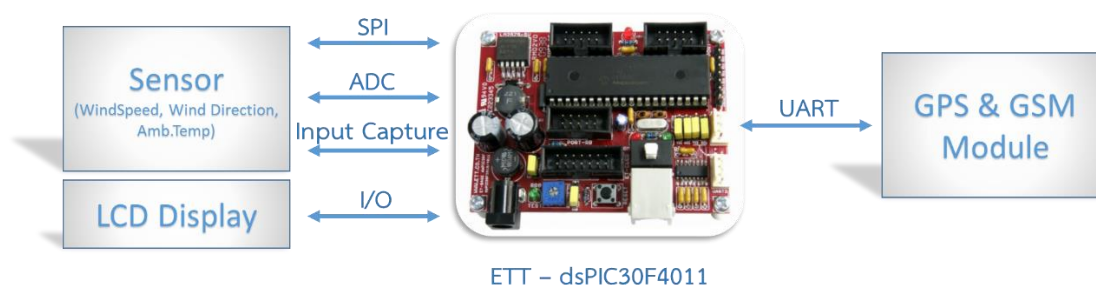
3.2.1.2. คุณสมบัติการเชื่อมต่อ

- SPI 1 พอร์ต
- I2C 1 พอร์ต
- UART จำนวน 2 พอร์ต

การพัฒนาซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้โปรแกรม MPLAB X IDE ของ Microchip พัฒนาโดยใช้ภาษาซี

3.2.2. การเชื่อมต่อ dsPIC30F4011 กับ ส่วนประกอบต่างๆของชุดตรวจวัด

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้บอร์ดทดลองของETT[3] ซึ่งเป็นบอร์ดสำเร็จรูปพร้อมใช้ และเป็นอุปกรณ์ที่ห้องปฏิบัติการมีอยู่แล้ว จึงนำมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 การเชื่อมต่อของบอร์ดETT-dsPIC30F4011

บอร์ด ETT-dsPIC30F4011[3] ทำหน้าที่เป็นบอร์ดควบคุมกลาง สำหรับอ่าน เซ็นเซอร์ต่างๆผ่านช่องการสื่อสารต่างๆ เช่น SPI(Serial Peripheral Interface), ADC (Analog to Digital Converter) และIC (Input Capture) แสดงผลสถานะของชุดตรวจวัดผ่านจอแสดงผล LCD ขนาด 16x2 โดยใช้พอร์ต I/O (Input/Output port) และระบุตำแหน่งของชุดตรวจวัดโดยใช้โมดูลจีพีเอสผ่านพอร์ตUART พร้อมทั้งสามารถส่งข้อมูลที่ทำกรตรวจวัดแล้วกลับไปศูนย์กลางผ่านโมดูลโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งอยู่บนโมดูลเดียวกัน

3.3. เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดพารามิเตอร์รอบสายส่ง

พารามิเตอร์ที่ต้องการสำหรับการหาค่าขีดจำกัดกระแสของสายส่งใช้การตรวจวัด โดยใช้เซ็นเซอร์ต่างๆ ดังนี้

3.3.1. เซ็นเซอร์วัดความเร็วลม

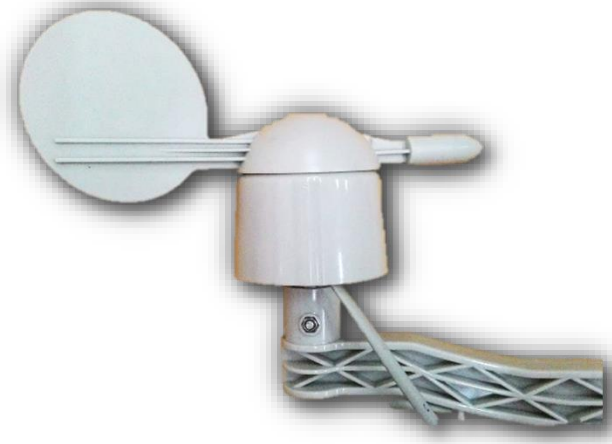


รูปที่ 3-5 เซ็นเซอร์วัดความเร็วลม

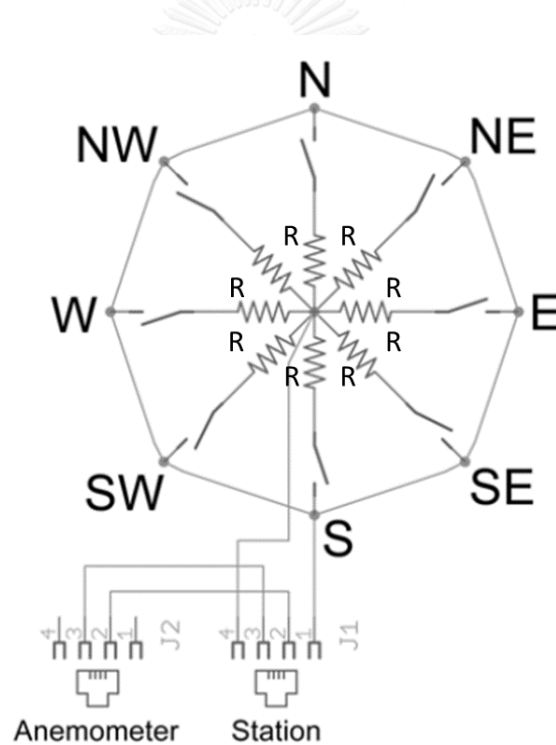
วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้Anemometerมาตรวจวัดความเร็วลม ดังรูปที่ 3-5. โดยเมื่อมีอากาศไหลผ่านจะทำให้แขนของเครื่องวัดหมุนด้วยความเร็วที่แปรผันเชิงเส้นกับความเร็วลม ภายในเซ็นเซอร์จะบรรจุสวิทช์สำหรับตัดต่อวงจร เพื่อให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นดิจิตอล(0-5โวลต์) เซ็นเซอร์ที่ใช้เป็นของArgent Data System[4]มีความละเอียด 2.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 0.6672 เมตรต่อวินาที ต่อการตัดต่อสวิทช์ 1 ครั้งใน 1 วินาที และใช้พอร์ตRJ-11สำหรับเชื่อมต่อภายนอก

3.3.2. เซ็นเซอร์วัดทิศทางลม

วิทยานิพนธ์นี้ใช้Wind vaneเป็นตัววัดทิศทางลม เซ็นเซอร์ที่ใช้เป็นของAgent Data System[4]เช่นกัน ดังรูปที่ 3-6 โดยใบพัดจะบอกถึงทิศทางลมว่าไปในทิศทางใด และเข็มจะชี้ทิศทางลมว่ามาจากทิศใด ภายในตัวเซ็นเซอร์จะประกอบไปด้วยความต้านทานทั้งหมด 8 ตัว ที่มีค่าแตกต่างกัน และสวิทช์แม่เหล็กจำนวน 8 ตัวที่ตำแหน่งของความต้านทาน ดังรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-6 เซ็นเซอร์วัดทิศทางลม



รูปที่ 3-7 โครงสร้างภายในของ Wind vane

เมื่อตัวเซ็นเซอร์หันไปในทิศทางใดสวิตช์แม่เหล็ก 2 ตัวจะปิดวงจร ทำให้ค่าความต้านทานรวมเปลี่ยนไป ความละเอียดของเซ็นเซอร์สามารถบอกทิศทางได้ครั้งละ 22.5 องศา และเชื่อมต่อภายนอกผ่านพอร์ต RJ-11 โดยเอาท์พุทอยู่ในรูปแรงดัน ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 เอาท์พุทของWind vane

Direction (Degrees)	Resistance (Ohms)	Voltage (V=5v, R=10k)
0	33k	3.84v
22.5	6.57k	1.98v
45	8.2k	2.25v
67.5	891	0.41v
90	1k	0.45v
112.5	688	0.32v
135	2.2k	0.90v
157.5	1.41k	0.62v
180	3.9k	1.40v
202.5	3.14k	1.19v
225	16k	3.08v
247.5	14.12k	2.93v
270	120k	4.62v
292.5	42.12k	4.04v
315	64.9k	4.78v
337.5	21.88k	3.43v

จากตารางที่ 3-1 จะเห็นได้ว่าความละเอียดของWind vaneจะอยู่ที่ 22.5 องศา แต่เมื่อนำมาใช้งานจริงกลับพบว่าความละเอียดที่ได้นั้น 45 องศาเท่านั้น

3.3.3. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบสายส่ง



รูปที่ 3-8 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิSparkfun MPL3115A2

การวัดอุณหภูมิใช้เซ็นเซอร์ของ Freescale MPL3115A2[5]เป็นเซ็นเซอร์สำหรับทำสถานีตรวจวัดอากาศ สามารถตรวจวัดได้ทั้ง อุณหภูมิ ความดันอากาศ และ ความสูง แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศเท่านั้น ดังรูปที่ 3-8 ตัวเซ็นเซอร์มีคุณสมบัติดังนี้

3.3.3.1. คุณสมบัติของMPL3115A2

- มีขนาดเล็ก
- ความละเอียด 12 บิต สำหรับการวัดอุณหภูมิ

- ความผิดพลาด $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถวัดได้ $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ และต่ำสุด $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$
- แรงดันในการทำงาน 1.6-3.6 โวลต์ ใช้พลังงานต่ำไม่เกิน 100 ไมโครวัตต์
- สามารถตั้งเวลาเก็บค่าในตัวชิพได้ตั้งแต่ 1วินาที ถึง 9 ชั่วโมง
- ติดต่อผ่าน I²C

3.4. การระบุพิกัดตำแหน่งของเสาส่ง



รูปที่ 3-9 โมดูลSIM 908

เนื่องจากมาตรฐาน[1]มีการใช้ตำแหน่งของเสาส่ง(ละจิจูด)ในการคำนวณ ดังนั้นจึงได้นำโมดูลGPSมาใช้ในการระบุตำแหน่ง โดยใช้โมดูล SIM908[6] ดังรูปที่ 3-9 ซึ่งเป็นโมดูลรวมทั้งGPSและGSMในตัวเดียวกัน มาพร้อมกับบอร์ดทดลองเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านUART สั่งงานโดยใช้AT Command เอาท์พุทที่ได้เป็นฟอร์แมทNMEA (Nation Maritime Electronics Association) นอกจากนี้ยังใช้รับค่าเวลาUTPจากดาวเทียมสำหรับปรับตั้งค่าเวลาของชุดตรวจวัดให้เที่ยงตรง และแม่นยำ

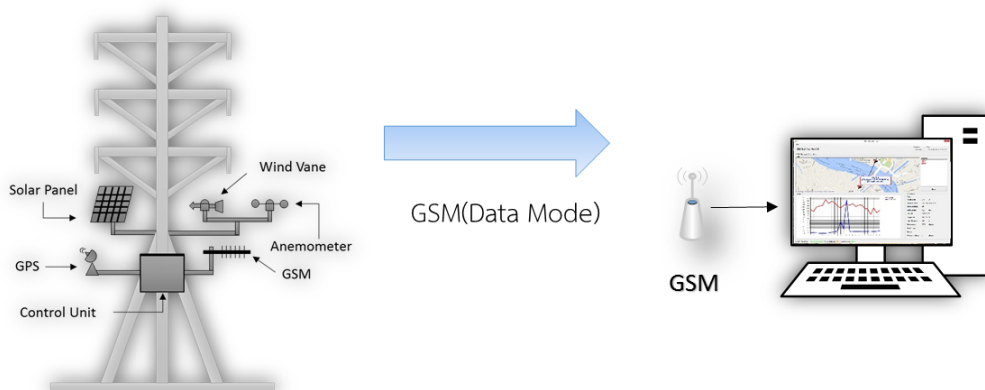
3.4.1. คุณสมบัติของSIM-908 (GPS)[6]

- Receiver type
- 42-Channel
- High performance STE Engine

- **Sensitivity**
 - Tracking: -160 dBm
 - Cold start: -143 dBm
- **Time to First Fix**
 - Cold start: 30 seconds
 - Hot start: 1 s
- **Accuracy**
 - Horizontal position: < 2.5m CEP
- **Power Consumption**
 - Acquisition: 77mA
 - Tracking: 76 mA

3.5. การเชื่อมต่อระหว่างชุดตรวจวัดและคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง

การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางเพื่อส่งข้อมูลกลับไปเพื่อคำนวณ โดยใช้โมดูล SIM908 เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.4 ซึ่งส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2G คลื่น 850/900 MHz โดยใช้ค่าอัตราเร็วในการส่งข้อมูล 9600 kbps ดังรูปที่ 3-10 ทางด้านคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง จะมีโมดูลโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อรับข้อมูลจากชุดตรวจวัดเช่นกัน สำหรับรายละเอียดการส่งข้อมูลจากชุดตรวจวัดจะอธิบายเพิ่มเติมในบทถัดไป



รูปที่ 3-10 โครงสร้างการเชื่อมต่อระหว่างชุดตรวจวัดและคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์กลาง

3.5.1. คุณสมบัติของSIM 908(GSM)[6]

- 2G Quad-band 850/900/1800/1900 MHz.
- Data mode : Baud rate 9600 kbps.
- Supply voltage:3.2–4.8 V

3.6. การแสดงสถานะของชุดตรวจวัด



รูปที่ 3-11จอแสดงผลLCD ขนาด16x2

การแสดงสถานะการทำงานของชุดตรวจวัด และใช้ตรวจสอบความถูกต้องขณะทดสอบการทำงาน โดยใช้จอLCDขนาด16ตัวอักษร 2บรรทัด ดังรูปที่ 3-11

3.7. พลังงานที่ใช้ในชุดตรวจวัด



รูปที่ 3-12 แผงโซลาร์เซลล์12โวลต์ ขนาด10วัตต์

พลังงานหลักสำหรับใช้ในชุดตรวจวัดนั้นมาจากแสงอาทิตย์เป็นหลักโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ แรงดัน12โวลต์ ขนาด10วัตต์ ดังรูปที่ 3-12 เพื่อให้ชุดตรวจวัดสามารถใช้งานกลางแจ้งได้ด้วยตัวเองพร้อมกับเป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพท้องฟ้า(มีแสงแดดหรือไม่มีแสงแดด) และมีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน ดังรูปที่ 3-13 สำหรับเก็บพลังงานสำรองในยามที่แดดอ่อน ซึ่งเพียงพอต่อคงสถานะทำงานของชุดตรวจวัดเป็นเวลา12ชั่วโมง

นอกจากนี้ยังใช้อุปกรณ์ช่วยชาร์จประจุจากแผงโซลาร์เซลล์ ทำให้แบตเตอรี่ไม่เสื่อมสภาพเนื่องจากแรงดันเกินที่มาจากแผงโซลาร์เซลล์ และยังช่วยเลือกแหล่งพลังงานที่ป้อนให้กับชุดตรวจวัด



รูปที่ 3-13 แบตเตอรี่ขนาด12โวลต์ และSolar Charger

3.7.1. คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์

- แรงดัน 12 โวลต์ ขนาด 10 วัตต์
- กระแสขณะทำงาน 0.57 แอมป์
- แรงดันขณะทำงาน 17.49 โวลต์

3.7.2. คุณสมบัติของแบตเตอรี่

- แรงดัน 12 โวลต์ กระแส 5.5 แอมป์-ชั่วโมง หรือ 66 วัตต์-ชั่วโมง
- แรงดันขณะทำงาน 13.0-13.7 โวลต์

3.7.3. คุณสมบัติของSolar Charger

- แรงดันของระบบ 12/24 โวลต์
- รับกระแสสูงสุดของระบบ10 แอมป์
- ชาร์จประจุแบบPWM
- สามารถเลือกแหล่งพลังงานเพื่อจ่ายให้ภาระแบบอัตโนมัติ เมื่อแหล่งพลังงานใดพลังงานหนึ่งไม่สามารถจ่ายกระแสได้เพียงพอกับโหลด

3.7.4. ปริมาณการใช้พลังงานของระบบ

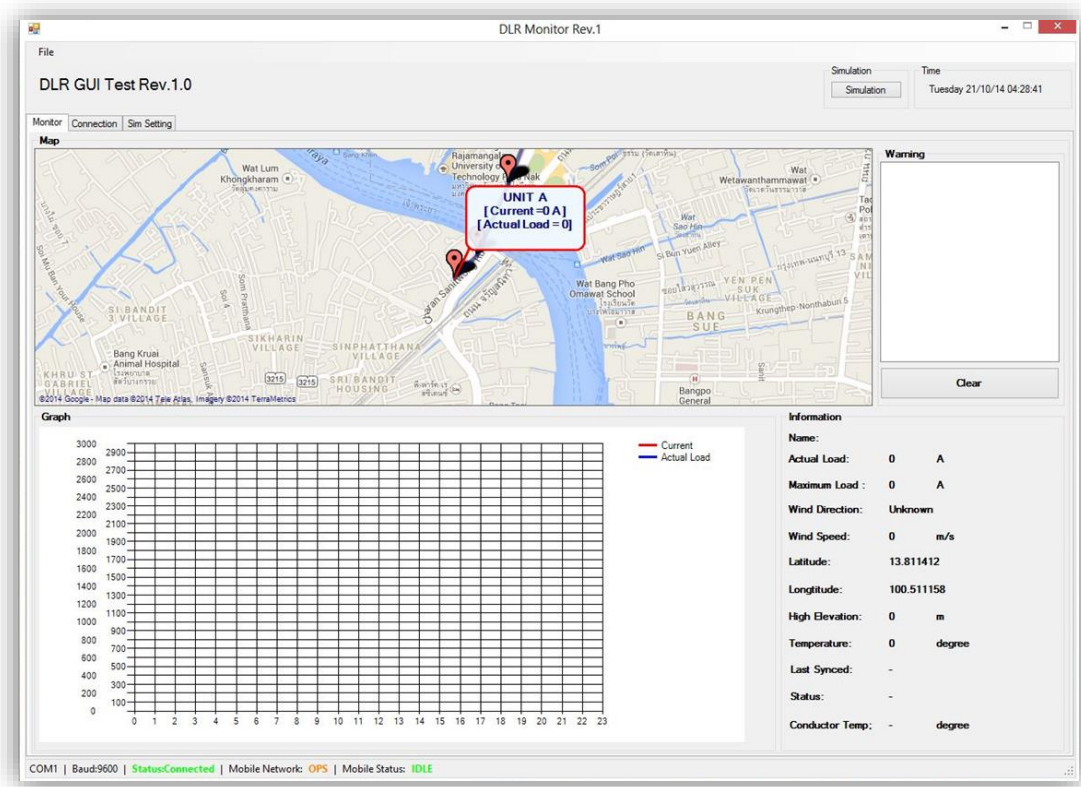
- พลังงานที่ใช้ทั้งระบบในสภาวะหยุดนิ่ง(Idle)
 - ใช้กระแสประมาณ 191มิลลิแอมป์ หรือ 2.2 วัตต์
- พลังงานที่ใช้ขณะมีการส่งข้อมูล(ระยะเวลาสั้นๆ)
 - ใช้กระแสประมาณ 370มิลลิแอมป์ หรือ 4.44 วัตต์
- ระยะเวลาเฉลี่ยที่สามารถทำงานได้ กรณีไม่มีพลังงานจากแสงแดด
 - กำหนดการใช้พลังงานเฉลี่ยของระบบ 250 มิลลิแอมป์

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลา(h)} &= \frac{\text{ขนาดแบตเตอรี่(Ah)}}{\text{ปริมาณการใช้พลังงานของระบบ(A)}} \\
 &= \frac{5.5 \text{ Ah}}{250 \text{ mA}} \\
 &= 22 \text{ ชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

บทที่ 4

ซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน และการสื่อสาร

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ สำหรับการแสดงผลการคำนวณค่ากระแส โดยการใช้ข้อมูลสำหรับการคำนวณจากชุดตรวจวัดซึ่งติดต่อผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และการออกแบบชุดข้อมูลของชุดตรวจวัดเพื่อส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง

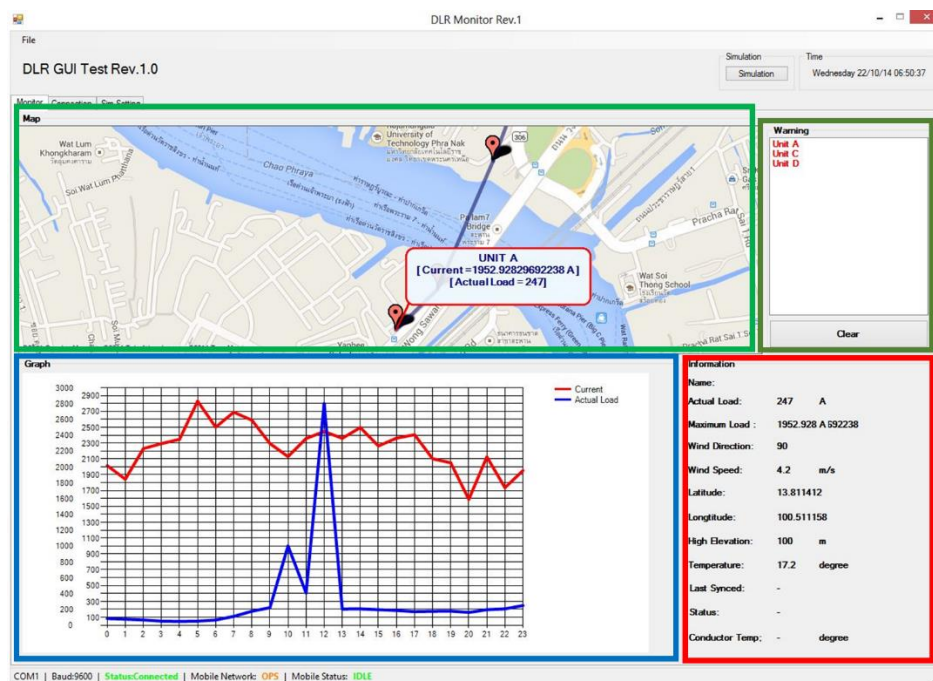


รูปที่ 4-1 GUI ที่พัฒนาขึ้นสำหรับแสดงผลและติดต่อผู้ใช้

คอมพิวเตอร์ศูนย์กลางจะทำหน้าที่สื่อสารกับชุดตรวจวัด คำนวณค่าขีดจำกัดกระแส และทำการแสดงผลผ่าน GUI (Graphic User Interface) ซึ่งพัฒนาขึ้นบนโปรแกรม Visual Studio 2012 โดยใช้ภาษาC# ดังรูปที่ 4-1 ซึ่งประกอบไปด้วยหน้าต่างสำหรับแสดงผลการคำนวณ การจำลองสถานการณ์ และเฝ้าสังเกต

4.1. การแสดงผลการคำนวณ รายละเอียดจุดตรวจวัด และการแจ้งเตือน

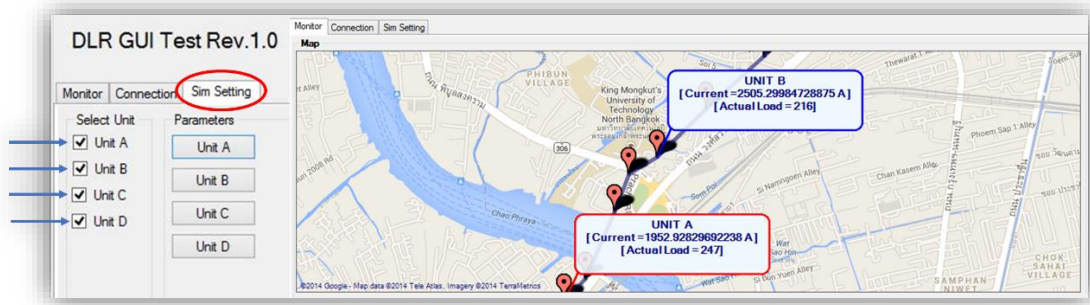
หลังจากที่คำนวณหาค่าขีดจำกัดกระแสได้แล้ว โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณโดยใช้แผนภูมิเส้น(กรอบสีฟ้า) โดยเปรียบเทียบกระแสไหลจริง(เส้นสีน้ำเงิน)เทียบกับขีดจำกัดกระแส(เส้นสีแดง)ที่คำนวณได้ โดยแสดงผลเป็นรายชั่วโมงพร้อมทั้งแสดงข้อมูลข้อมูลล่าสุดของจุดวัดแต่ละจุดในกรอบข้อมูลด้านขวา(กรอบสีแดง) เช่น ข้อมูลกระแสไหลจากการตรวจวัดครั้งล่าสุด ขีดจำกัดกระแสที่คำนวณได้ ทิศทางลม ความเร็วลม นอกจากนี้ถ้ากระแสไหลมีค่าเกินกว่าขีดจำกัดกระแสที่คำนวณได้ โปรแกรมจะขึ้นเตือนจุดที่มีกระแสเกินขีดจำกัดในกล่องข้อความด้านขวาบน ดังรูปที่ 4-2.



รูปที่ 4-2การแสดงผลการคำนวณขีดจำกัดกระแส ข้อมูลจุดตรวจวัด และการแจ้งเตือน

4.2. การจำลองสถานการณ์การคำนวณหาขีดจำกัดกระแสDLR

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เพิ่มการจำลองการคำนวณหาขีดจำกัดกระแส ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดจริงได้ เนื่องจากความไม่สะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์บนเสาสูง หรือต้องการทดลองการคำนวณเพื่อหาขีดจำกัดกระแสเบื้องต้น โดยเลือกจุดที่ต้องการจำลองการคำนวณได้ ดังรูปที่ 4-3 เป็นการจำลองให้มีจุดที่ติดตั้งทั้งหมด4จุด Unit A, B, C และ D พร้อมทั้งข้อมูลป้อนพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมและกระแสไหลผ่านหน้าต่างโปรแกรมที่สร้างขึ้น ซึ่งความถี่การจำลองจะตั้งไว้เป็นรายชั่วโมง ดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-3 เลือกจุดที่ต้องการจำลองการคำนวณ

Parameter Unit A

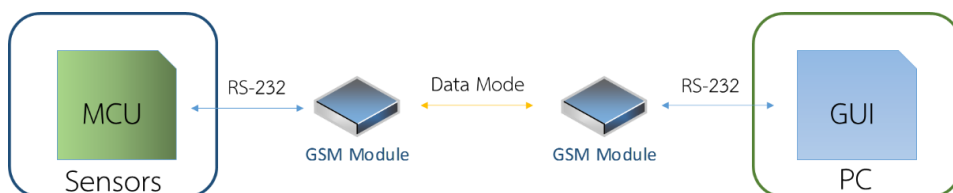
Latitude : 13.811412 Longitude : 100.511158 Altitude : 100

Hours	Minutes	Wind Direction	Wind Speed	Ambient Temp.	Sky Condition	Actual Load
00	00	90	5	20	1	82
01	00	90	3.8	21.8	1	75
02	00	90	7	19.5	1	65
03	00	90	7.5	18.5	1	50
04	00	90	8	18.1	1	46
05	00	90	15	17.4	1	50
06	00	90	10	18.6	0	64
07	00	90	13.4	20.2	0	110
08	00	90	12.1	21.2	0	175
09	00	90	8.6	24.2	0	220
10	00	90	7.2	27.2	0	1000
11	00	90	10.9	29.6	0	406
12	00	90	13.4	32.7	0	2800
13	00	90	12.8	35.6	0	203
14	00	90	16.3	37.6	0	205
15	00	90	11.2	36.4	0	195
16	00	90	12.1	34.2	0	185
17	00	90	11	28.4	0	170
18	00	90	6.2	24.7	1	175
19	00	90	5.2	20.6	1	177
20	00	90	2.1	20.9	1	160
21	00	90	5.6	17.3	1	195
22	00	90	2.8	18.1	1	205
23	00	90	4.2	17.2	1	247

Save

รูปที่ 4-4 การป้อนข้อมูลสำหรับจำลองการคำนวณ

4.3. การเชื่อมต่อกับชุดตรวจวัดพารามิเตอร์



รูปที่ 4-5รูปแบบการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และชุดตรวจวัด

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับชุดตรวจวัด จะเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังรูปที่ 4-5. ทั้งฝั่งคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางและชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ จะต้องติดตั้งโมดูลโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้ง 2 ฝั่งผ่านพอร์ตอนุกรม(Serial Port) และส่งข้อมูลโดยใช้ดาต้าโหมด(Data Mode) บนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งมีความเร็วในการส่งข้อมูล 9,600 kbps

4.3.1. รูปแบบชุดข้อมูล

ข้อมูลที่ชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ส่งกลับไปคอมพิวเตอร์ กำหนดขนาดของชุดข้อมูลไม่เกิน 70 ไบต์ต่อการส่ง 1 ครั้ง ซึ่งรวมข้อมูลทุกอย่างที่จำเป็นต่อการคำนวณ เช่น อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม ความเร็วลม ทิศทางลม สภาพท้องฟ้า ตำแหน่งเสาส่ง และนำข้อมูลดังกล่าวไปเรียงใส่รูปแบบชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นมาเอง มีส่วนประกอบหลักๆดังนี้

1. ขนาดของข้อมูล
2. สัญลักษณ์เปิดชุดข้อมูล([)
3. ตัวคั่นประเภทข้อมูล(จุลภาค) (,)
4. ข้อมูลที่ต้องการส่ง
5. สัญลักษณ์ปิดชุดข้อมูล(])

จากส่วนประกอบดังกล่าวสามารถนำมาเรียงได้ดังรูปที่ 4-6



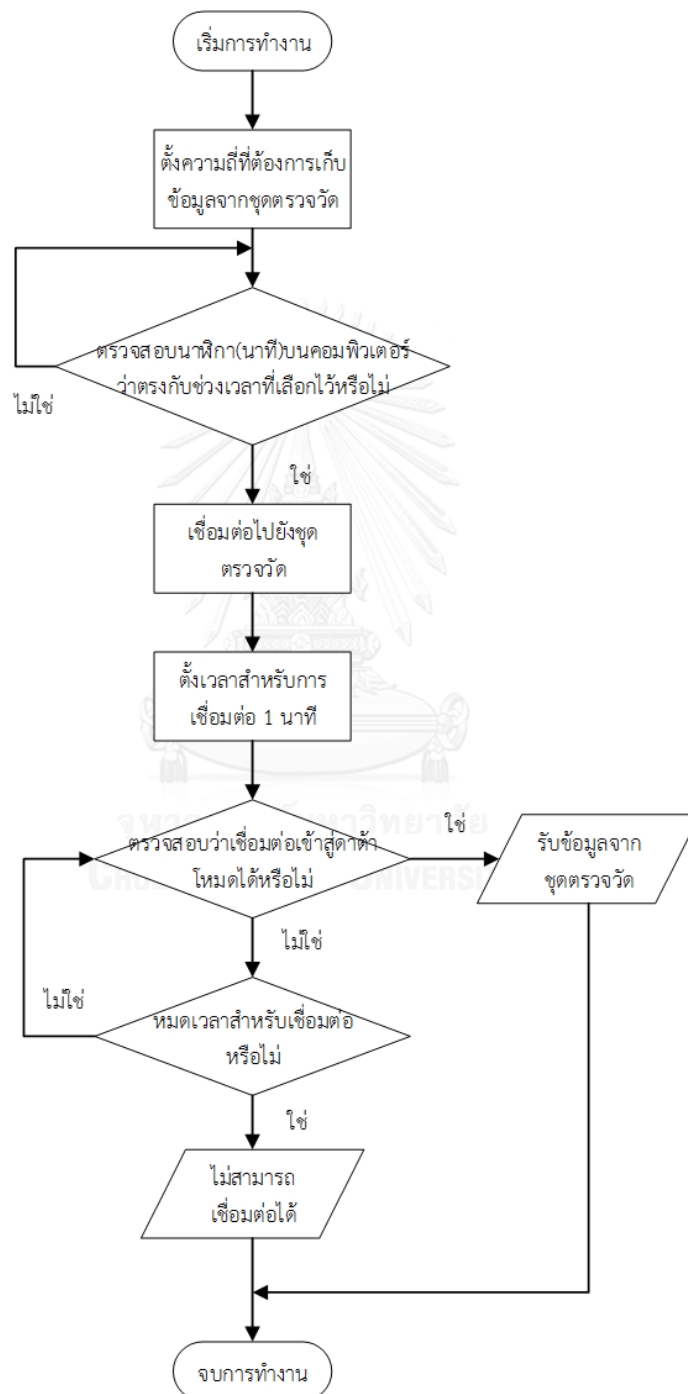
รูปที่ 4-6 รูปแบบชุดข้อมูลที่ใช้ส่งข้อมูล

จากรูปที่ 4.6 ชุดข้อมูลจะขึ้นต้นด้วยขนาดของข้อมูลเป็นจำนวนไบต์ที่จะส่งไป เพื่อให้ฝั่งคอมพิวเตอร์จะได้รู้ว่าจะมีขนาดข้อมูลกี่ไบต์สำหรับการรับข้อมูลครั้งนี้จากชุดตรวจวัด และใช้สัญลักษณ์เปิดชุดข้อมูลเป็นตัวเริ่มต้นของข้อมูลที่ต้องการส่ง โดยใช้ตัวคั่นข้อมูล(จุลภาค)เป็นตัวคั่นระหว่างข้อมูลแต่ละประเภท และปิดชุดข้อมูลด้วยสัญลักษณ์ปิดชุดข้อมูล เพื่อให้คอมพิวเตอร์รับรู้ว่าการส่งข้อมูลจากชุดตรวจวัดแล้ว ซึ่งขนาดของชุดข้อมูลจะถูกกำหนดไว้ให้ขนาดไม่เกิน 70 ไบต์

4.3.2. ฝั่งการทำงานของารรับข้อมูลจากชุดตรวจวัด

การทำงานของโปรแกรมเพื่อเรียกข้อมูลจากชุดตรวจวัด สามารถตั้งความถี่ที่ต้องการให้คอมพิวเตอร์เรียกเก็บข้อมูลจากชุดตรวจวัดได้ เช่น ทุก 15 นาที หรือ 30 นาที ซึ่งโปรแกรมจะทำการตรวจสอบกับนาฬิกาที่คอมพิวเตอร์ในหน่วยของนาฬิกาว่าเลขของนาฬิกานั้นตรงกับที่ตั้งไว้หรือไม่ หลังจากนั้นจะเรียกเก็บข้อมูลโดยใช้วิธีการโทรออกจากคอมพิวเตอร์จากศูนย์กลางไปยังชุดตรวจวัด

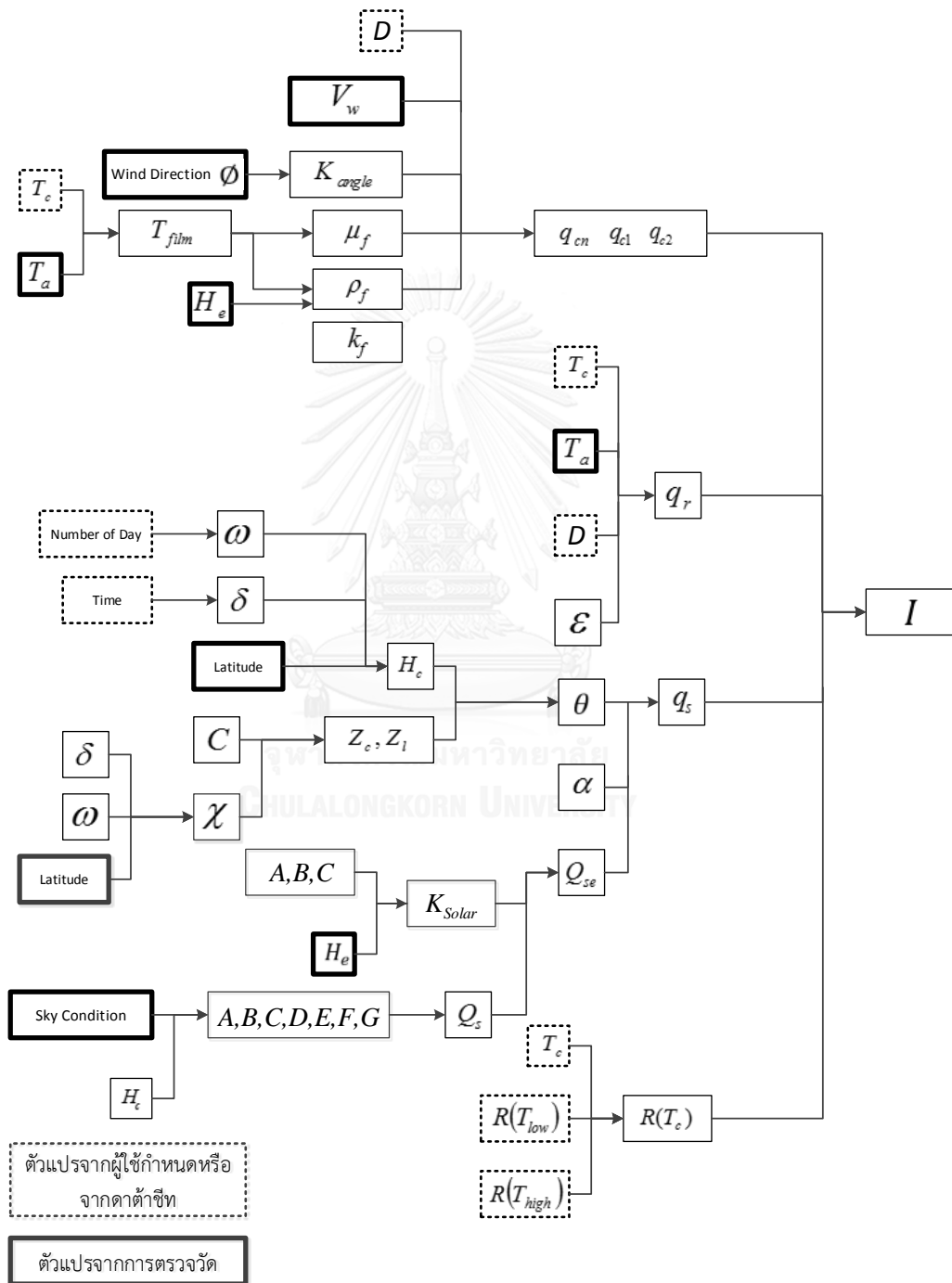
และเปลี่ยนโหมดการเชื่อมต่อให้เป็นดาต้าโหมด โดยจะมีเวลาจำกัดระหว่างรอการเชื่อมต่อ 1 นาที ถ้าสามารถเชื่อมต่อเข้าสู่ดาต้าโหมดสำเร็จ คอมพิวเตอร์จะรับข้อมูลจากชุดตรวจวัดทันที แต่ถ้าไม่สามารถเชื่อมต่อได้คอมพิวเตอร์จะทำการแสดงผลในช่องข้อความว่าไม่สามารถเชื่อมต่อได้ สามารถนำมาเขียนเป็นผังการทำงานได้ดังรูปที่ 4-7



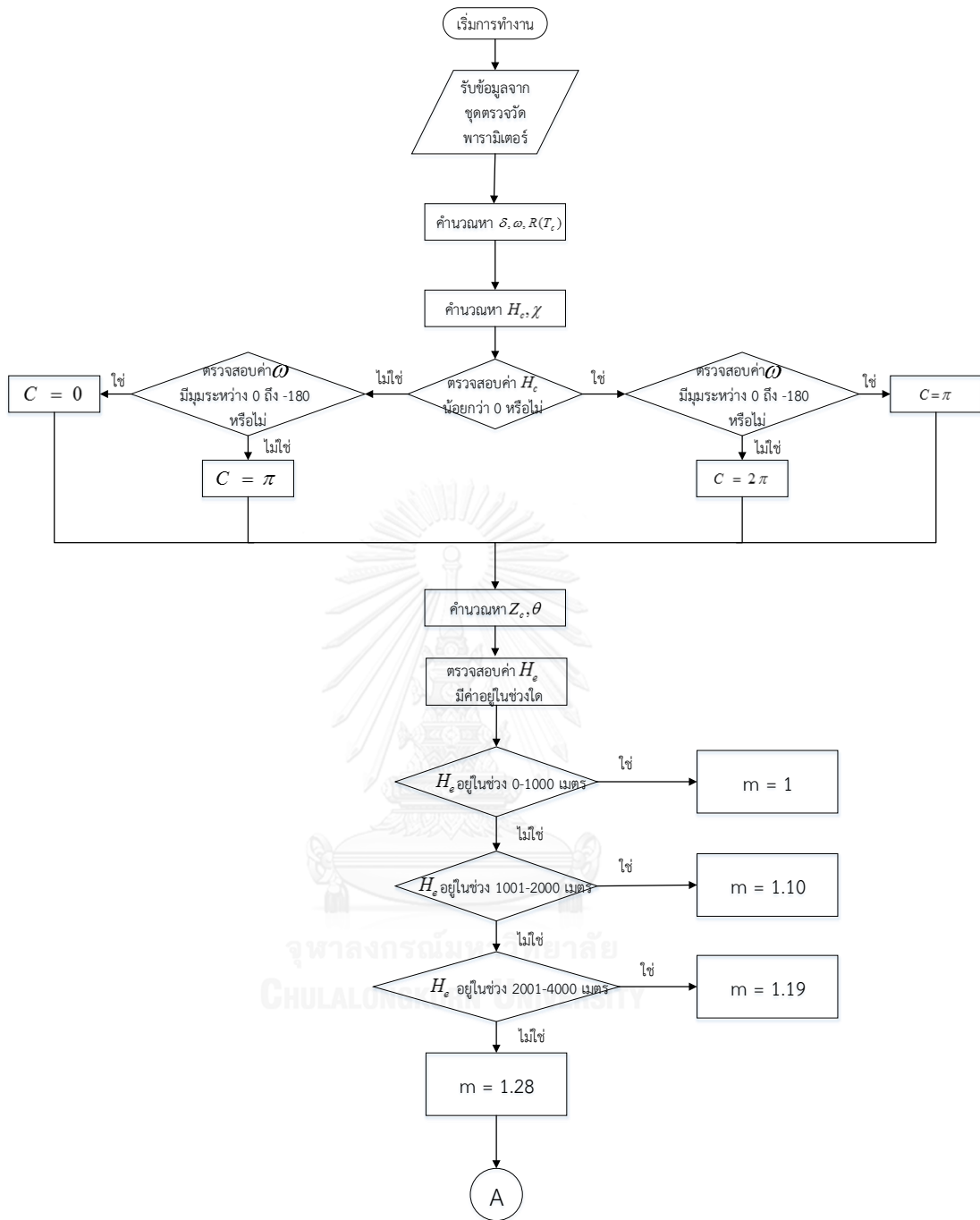
รูปที่ 4-7 ผังการทำงานการรับข้อมูลจากชุดตรวจวัด

4.4. การคำนวณตามมาตรฐาน IEEE 738

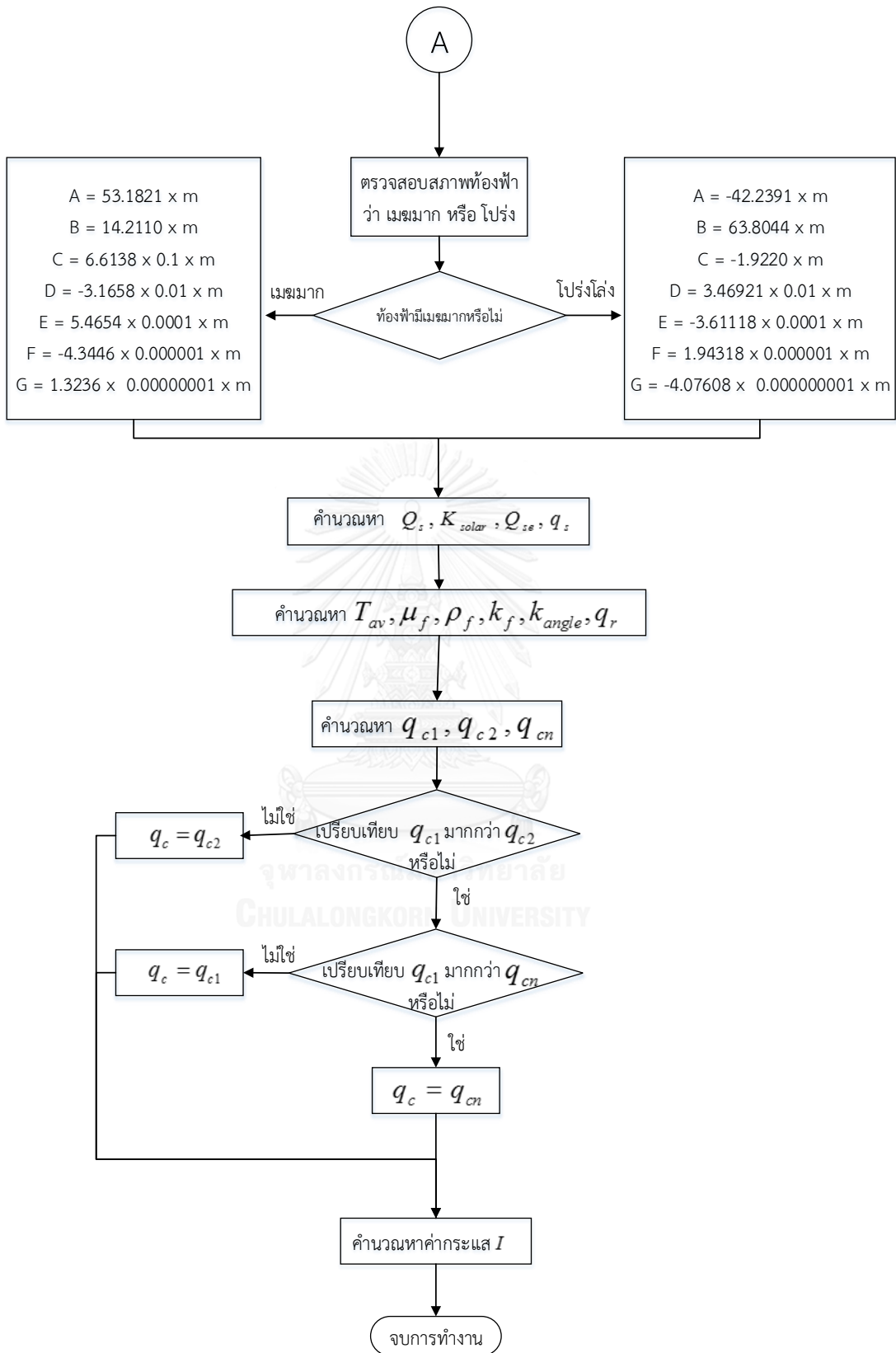
หลังจากได้รับข้อมูลจากชุดตรวจวัดเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณเพื่อหาค่ากระแสโดยใช้พารามิเตอร์จากหัวข้อที่ 2.2.1. ถึง 2.2.4 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ได้ดังรูปที่ 4-8 และ เขียนผังขั้นตอนการคำนวณได้ดังรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-8 ผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์



รูปที่ 4-9 แผนผังขั้นตอนการคำนวณหาค่ากระแส



รูปที่ 4-9 แผนผังขั้นตอนการคำนวณหาค่ากระแส(ต่อ)

4.5. การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลของโปรแกรม จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. บันทึกข้อมูลจากชุดตรวจวัด
2. บันทึกข้อมูลจากการคำนวณหาค่ากระแส

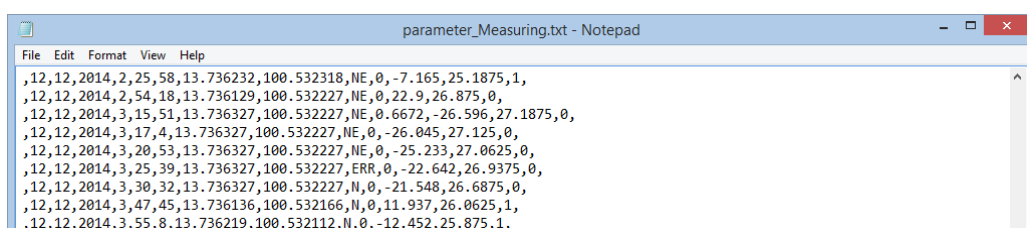
การบันทึกข้อมูลทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถใช้เรียกดูในภายหลังหรือนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยบันทึกลงในไฟล์ข้อความนามสกุล .txt โดยใช้โปรแกรม notepad.exe ในการบันทึก ซึ่งข้อมูลที่นำมาบันทึกแต่ละข้อมูลจะถูกแบ่งโดยใช้จุลภาค(,)

4.5.1. บันทึกข้อมูลจากชุดตรวจวัด

ข้อมูลที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้รับจากชุดตรวจวัดจะถูกบันทึกบนไฟล์ชื่อ parameter_Measuring.txt โดยมีข้อมูลที่ถูกรับบันทึกดังนี้

1. วัน เดือน ปี ที่ได้รับข้อมูล
2. เวลาที่ตรวจวัด ได้แก่ ชั่วโมง นาที และวินาที
3. ละติจูด ลองจิจูด ของชุดตรวจวัด
4. ทิศทางลม
5. ความเร็วลม
6. ความสูงจากระดับน้ำทะเลของจุดติดตั้ง
7. อุณหภูมิสภาพแวดล้อม
8. สภาพท้องฟ้า

ข้อมูลด้านบนที่กล่าวไปจะถูกบันทึกลงไฟล์ข้อความดังรูปที่ 4-10



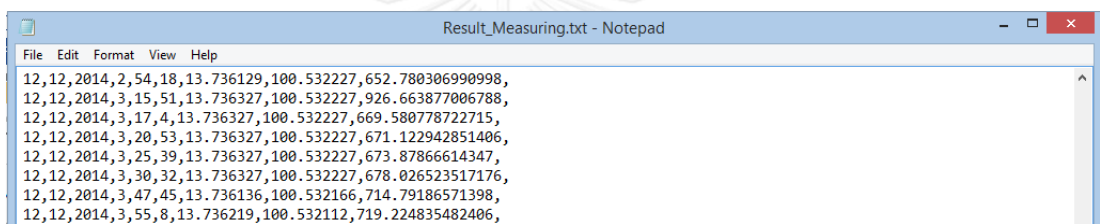
รูปที่ 4-10 ตัวอย่างไฟล์ที่บันทึกข้อมูลจากชุดตรวจวัด

4.5.2. บันทึกข้อมูลจากการคำนวณหาค่ากระแส

ค่าขีดจำกัดกระแสDLRจะถูกบันทึกลงบนไฟล์ข้อความทุกครั้งที่มีการคำนวณ ซึ่งบันทึกลงบนไฟล์ชื่อ Result_ (ชื่อหน่วยวัด).txt โดยมีข้อมูลที่ถูกบันทึกดังนี้

1. วัน เดือน ปี ที่ทำการคำนวณ
2. ชั่วโมง นาที วินาที ที่ทำการตรวจวัด
3. ละติจูด ลองจิจูด ของจุดที่ตรวจวัด
4. ค่าขีดจำกัดกระแสที่คำนวณได้

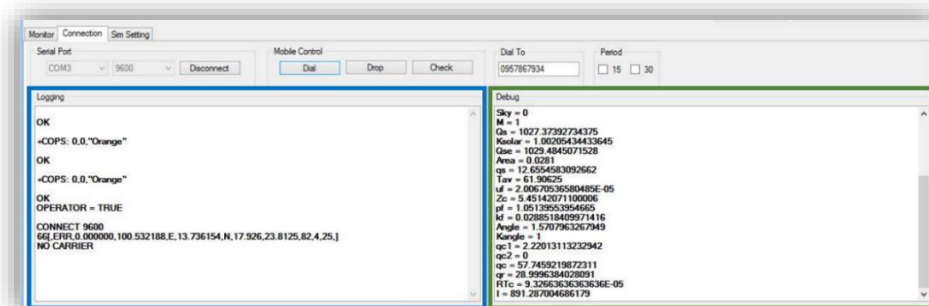
จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะถูกบันทึกลงในไฟล์ข้อความดังรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-11 ตัวอย่างไฟล์ที่บันทึกผลการคำนวณหาค่ากระแส

ไฟล์ข้อความจากหัวข้อย่อยที่ 4.5.1 และ 4.5.2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมMicrosoft Excel ได้ เนื่องจากโปรแกรมสามารถตรวจจับไฟล์ข้อความที่ค้นข้อมูลด้วยจุลภาค และแยกข้อมูลออกเป็นตารางโดยอัตโนมัติ

4.6. การแก้จุดบกพร่องและเฝ้าสังเกตโปรแกรม



รูปที่ 4-12 หน้าต่างเฝ้าสังเกตการทำงาน และหน้าต่างตรวจสอบการคำนวณ

ผู้ใช้สามารถเฝ้าดูการทำงานของโปรแกรมว่าสามารถเชื่อมต่อหาชุดตรวจวัดได้หรือไม่ ผ่านหน้าต่างสังเกตการทำงานการเชื่อมต่อ หรือตรวจสอบการคำนวณแต่ละขั้นตอนว่าถูกต้องหรือไม่หลังได้รับข้อมูล ดังรูปที่ 4-12.

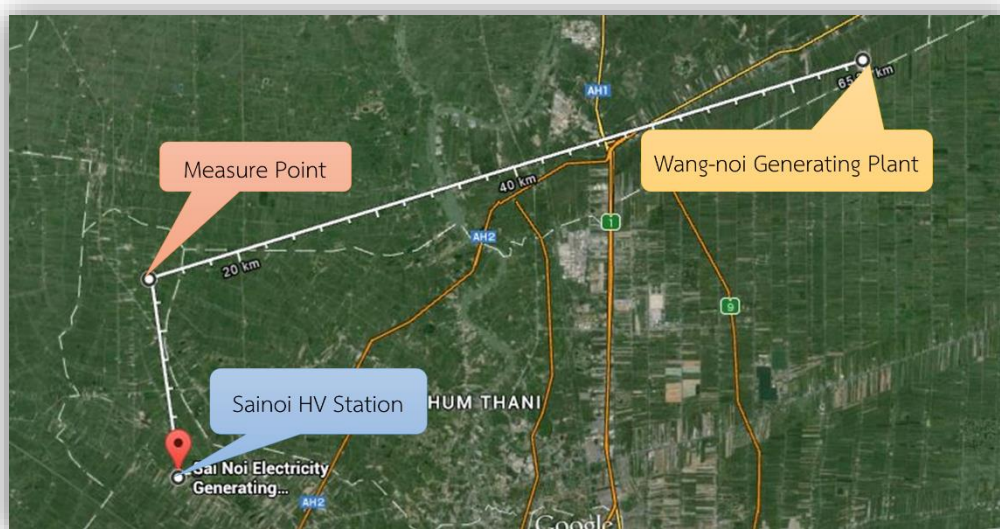


บทที่ 5

การทดสอบและประเมินผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบชุดตรวจวัด เพื่อคำนวณหาค่าขีดจำกัดกระแสแบบพลวัตเปรียบเทียบกับขีดจำกัดกระแสแบบคงที่

5.1. การทดลองตรวจวัดกับแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 500 กิโลโวลต์



รูปที่ 5-1 แผนที่แสดงที่ตั้งจุดที่ทำการตรวจวัด สถานีไฟฟ้าไทรน้อย และโรงไฟฟ้าวังน้อย

การทดลองนี้ได้ใช้แนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 500 กิโลโวลต์ จากโรงผลิตไฟฟ้าวังน้อย จ.อยุธยา ถึง สถานีไฟฟ้าแรงสูง ไทรน้อย จ.นนทบุรี ดังรูปที่ 5-1 ประกอบไปด้วยวงจรส่งทั้งหมด 3 วงจร โดยได้รับความช่วยเหลือจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(EGAT)สำหรับข้อมูลของสายส่งของแต่ละวงจร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- **วงจรที่ 1 และ 2**
 - ประเภทสายส่ง 795 MCM ACSR จำนวน 4 เส้น ต่อ 1 เฟส
 - ขีดจำกัดกระแสขณะมีแสงแดด 3,272 แอมแปร์ หรือ 2,833.5 MVA
 - ขีดจำกัดกระแสขณะไม่มีแสงแดด 3,596 แอมแปร์ หรือ 3,114.13 MVA

● **วงจรถัดที่ 3**

- ประเภทสายส่ง 1272 MCM ACSR จำนวน 4 เส้น ต่อ 1 เฟส
- ขีดจำกัดกระแสขณะมีแสงแดด 4,312 แอมแปร์ หรือ 3,734.19 MVA
- ขีดจำกัดกระแสขณะไม่มีแสงแดด 4,788 แอมแปร์ หรือ 4,146.41 MVA

การติดตั้งชุดตรวจวัดบนเสาส่งไม่สามารถที่จะกระทำได้ เนื่องจากเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงเป็นทรัพย์สินของEGAT ทำให้ต้องได้รับอนุญาตจากEGATอย่างเป็นทางการ เพราะฉะนั้นจึงไม่ได้ติดตั้งชุดตรวจวัดบนเสาส่ง แต่ได้หาสถานที่โล่งแจ้ง ใกล้เสาส่งไฟฟ้าแรงสูง และอยู่ใต้แนวสายส่ง จึงเลือกสถานที่ ต.ราชบุรีนิคม อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี ตั้งอยู่บนพิกัด ละติจูด 14.097359 ลองจิจูด 100.323433 ความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 5 เมตร ซึ่งอยู่ติดถนน และสายส่งพาดผ่านเหนือถนนพอดี ทำให้สะดวกในการตรวจวัด ดังรูป 5-2.



รูปที่ 5-2 จุดที่ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์

หลังจากนั้นได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ โดยวางชุดตรวจวัด แผงโซลาร์เซลล์ ชุดวัดความเร็วลมและทิศทางลม บนหลังคารถยนต์ ดังรูปที่ 5-3 ซึ่งชุดวัดทิศทางลมจะหันทิศเหนือของเซ็นเซอร์ชี้ไปทางแนวของสายส่งเพื่อตั้งให้เป็นทิศอ้างอิง ดังรูปที่ 5-4 และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมจะติดตั้งอยู่ใกล้กับด้านข้างกล่องควบคุมชุดตรวจวัด เพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับแสงแดดโดยตรง เพราะอาจทำให้การวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมผิดพลาด และแผงโซลาร์เซลล์หันไปทางทิศตะวันออก



รูปที่ 5-3 ชุดตรวจวัดวางบนหลังรถแทนการติดตั้งบนเสาส่ง

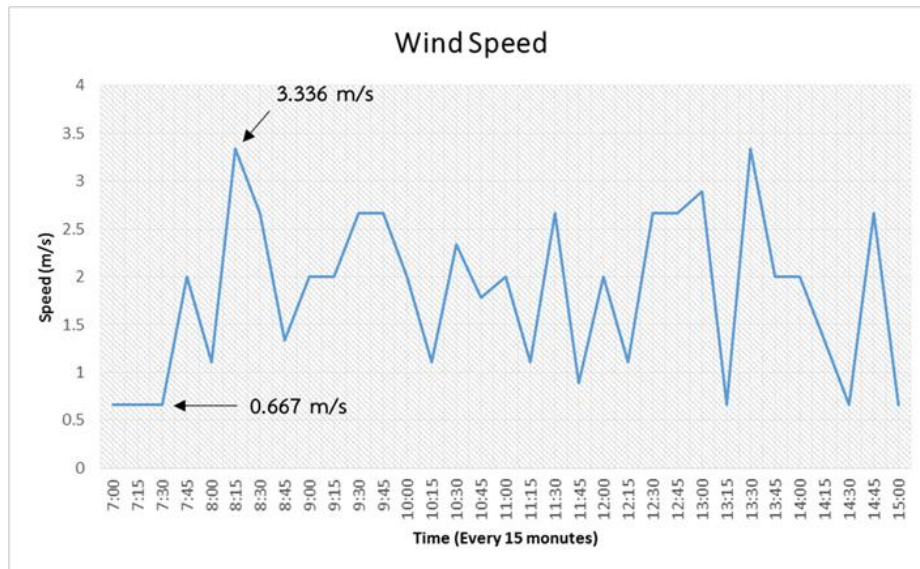


รูปที่ 5-4 แนวสายส่ง และทิวค้ำอิงที่ติดตั้งสำหรับการวัดทิศทางลม

การตรวจวัดพารามิเตอร์ได้ทำการตรวจวัดย้อนหลังเนื่องจากเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวไป ซึ่งเป็นการตรวจวัดของวันที่ 8 กันยายน 2557 ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน เริ่มตรวจวัดตั้งแต่เวลา 7:00 น. ไปจนถึงเวลา 15:00 น. โดยใช้ความถี่ในการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบข้อมูลกระแสจาก EGAT ของวันที่ 8 กันยายน 2557

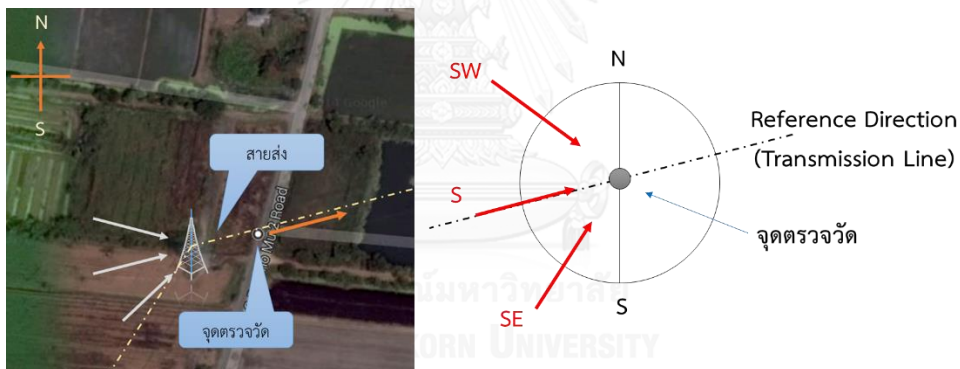
5.1.1. ความเร็วลมที่วัดได้

เนื่องจากไม่สามารถจะนำชุดตรวจวัดไปติดตั้งอยู่ในระดับเดียวกับสายส่งได้ ทำให้ความเร็วลมที่วัดได้อาจจะผิดเพี้ยนจากความเป็นจริงไปบ้าง เนื่องจากระดับความสูงการตรวจวัดที่แตกต่างกัน และความละเอียดของเซ็นเซอร์ที่ต่ำ ซึ่งความเร็วลมที่ตรวจวัดได้มีค่าตามแผนภูมิเส้น รูปที่ 5-5. ซึ่งความเร็วลมสูงสุดที่วัดได้มีค่า 3.336 เมตรต่อวินาที ส่วนความเร็วลมต่ำสุดมีค่า 0.667 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5-5 ความเร็วลมที่ตรวจวัดได้

5.1.2. ทิศทางลมที่วัดได้

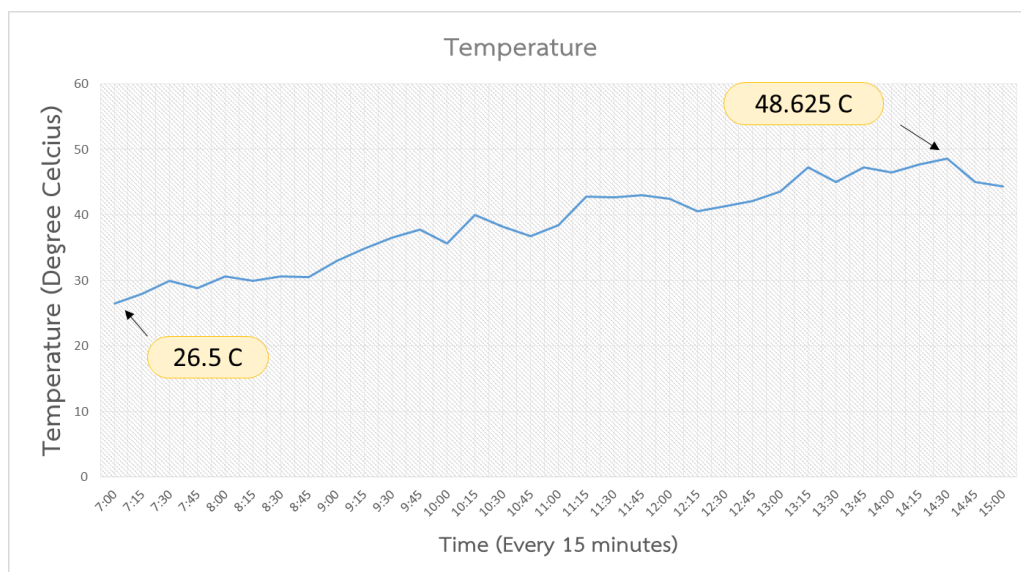


รูปที่ 5-6 ทิศทางลมที่กระทำต่อแนวสายส่งจากการตรวจวัด

ทิศทางลมที่ตรวจวัด ทิศทางของลมในวันที่ตรวจวัดมีทิศทางมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เมื่อเทียบกับเข็มทิศ และถ้าเทียบกับแนวสายส่ง ทิศทางลมจะมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ถ้าคิดเป็นมุมจะอยู่ในช่วง 0 – 45 องศา สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5-6.

5.1.3. อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบสายส่ง และสภาพท้องฟ้า

อุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่ตรวจวัดได้ มีอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงเช้า(เวลา 7:00 น.)ที่ 26.5 องศาเซลเซียส และค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนสูงสุด(เวลา 14:30 น.)ที่ 48.625 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 5-7 ซึ่งในวันที่ตรวจวัด ท้องฟ้าโปร่งใส และมีแดดตลอดทั้งวัน



รูปที่ 5-7 อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบสายส่งจากการตรวจวัด

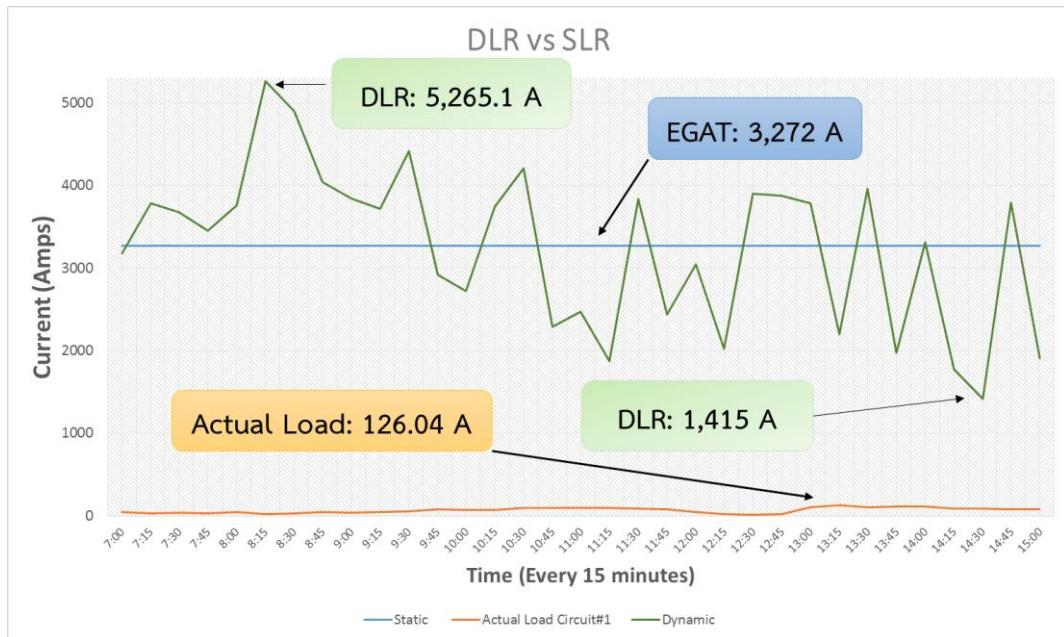
5.1.4. พารามิเตอร์อื่นๆที่เกี่ยวข้อง

พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ เช่น ความต้านทานสายส่งที่ความถี่ 50 เฮิรซ์(จากการคำนวณ) สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน และสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสี สามารถสรุปได้ดังนี้

- ประเภทสายส่ง Drake 795 MCM ACSR
 - ความต้านทานสายส่งอุณหภูมิ 25 องศา $R(25) = 7.2366 \times 10^{-5} \Omega/m$
 - ความต้านทานสายส่งอุณหภูมิ 75 องศา $R(75) = 8.6358 \times 10^{-5} \Omega/m$
 - เส้นผ่านศูนย์กลางกลางตัวนำ 28.1432 มิลลิเมตร
 - อุณหภูมิสูงสุดของสายส่งที่ใช้ในการคำนวณ 75 องศาเซลเซียส
- สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน(ϵ) มีค่า 0.8
- สัมประสิทธิ์การดูดซับรังสี(α) มีค่า 0.9
- จำนวนวันตั้งแต่ต้นปีจนถึงวันที่ทำการตรวจวัด(N) 251 วัน

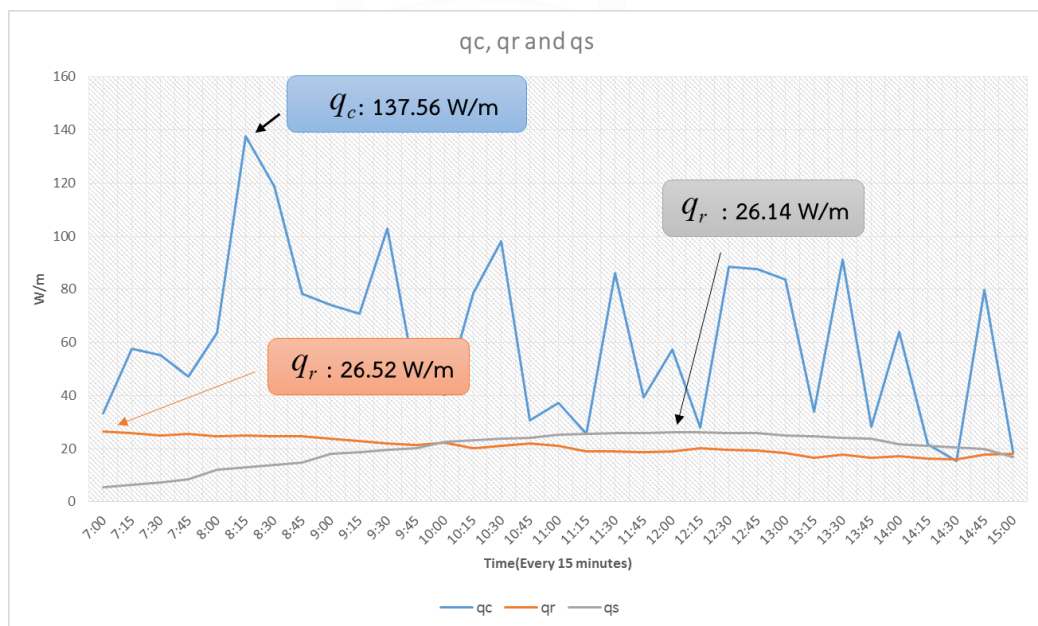
5.2. ผลการคำนวณขีดจำกัดกระแสแบบพลวัตที่คำนวณได้ เปรียบเทียบกับขีดจำกัดกระแสแบบคงที่ และกระแสไหลจริง

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะนำมาคำนวณหาค่าขีดจำกัดกระแสแบบDLRของวงจรส่งที่1 ซึ่งตามหลักการแล้วควรมีขีดจำกัดกระแสมากกว่าแบบSLRที่ใช้อยู่ปัจจุบันอย่างต่ำประมาณ 5-15%



รูปที่ 5-8 แผนภูมิแสดงผลการคำนวณDLRเปรียบเทียบกับSLR และกระแสโหลด

จากรูปที่ 5-8 แสดงถึงผลการคำนวณขีดจำกัดแบบDLR(เส้นสีเขียว)ของสายส่งวงจรที่1 ซึ่งมีกระแสDLRสูงสุด 5,265.1 แอมแปร์ ที่เวลา8:15น. ซึ่งมีค่าสูงกว่าขีดจำกัดที่ทางEGATกำหนดไว้ขณะมีแสงแดด(เส้นสีน้ำเงิน)ที่3,272 แอมแปร์ เพิ่มขึ้นประมาณ60% และต่ำสุด 1,415 แอมแปร์ ซึ่งต่ำกว่าที่ทางEGATกำหนดไว้ประมาณ56.7% ในขณะที่กระแสโหลดจริง(เส้นสีส้ม)นั้นมีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดทั้ง2ค่าอยู่พอสมควร ทำให้สายส่งเส้นนี้สามารถรับกระแสโหลดที่เพิ่มขึ้นได้อีกมาก



รูปที่ 5-9 ผลการคำนวณ q_c , q_r และ q_s

จากรูปที่ 5-9 แสดงผลการคำนวณค่าการระบายความร้อนจากแรงลม (q_c) การแผ่ความร้อน (q_r) และความร้อนจากแสงแดด (q_s) ซึ่ง q_c เป็นค่าที่มีผลต่อการตรวจวัดครั้งนี้มากที่สุด เนื่องจากมีความกว้างมากที่สุด จุดที่กระแสDLRสูงสุดค่า q_c มีค่าสูงสุด และจุดที่กระแสDLRต่ำสุด q_c มีค่าต่ำสุดเช่นเดียวกัน ส่วน q_r จะมีค่าลดลงเรื่อยๆจากช่วงเช้าจนถึงช่วงบ่าย เพราะอุณหภูมิแวดล้อมที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้การแผ่ความร้อนทำได้น้อยลง และ q_s เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจากช่วงเช้าเนื่องจากการตรวจวัดในวันนั้นมีแสงแดดตลอดทั้งวัน

สาเหตุที่ทำให้กระแสDLRบางเวลามีค่าต่ำมากนั้น ส่วนหนึ่งมาจากความผิดพลาดจากการตรวจวัด ที่ไม่สามารถนำชุดตรวจวัดไปติดตั้งจริงบนเสาส่งได้ ทำให้พารามิเตอร์บางตัวมีค่าผิดพลาดไปจากความเป็นจริง เช่น ความเร็วลมที่ควรจะมีค่าสูงมากกว่านี้เพราะลมบนและลมล่างจะมีความเร็วลมที่ต่างกัน และอุณหภูมิรอบสายส่งที่สูงมากเนื่องมาจากไอความร้อนจากหลังคาารถที่ร้อนมากขึ้นในช่วงบ่ายทำให้การวัดผิดพลาด ซึ่งในตำแหน่งตรวจวัดที่สูงขึ้นค่าทั้ง 2 จะมีความถูกต้องมากขึ้น



บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. ข้อสรุป

1. เครื่องตรวจวัดพารามิเตอร์สำหรับคำนวณหาขีดจำกัดกระแสแบบDLRที่พัฒนาขึ้น สามารถตรวจวัดพารามิเตอร์ตามที่มาตรฐานต้องการ และส่งข้อมูลกลับไปคอมพิวเตอร์ส่วนกลางเพื่อคำนวณได้
2. โปรแกรมติดต่อผู้ใช้ที่พัฒนาขึ้น สามารถคำนวณหาค่ากระแสDLRพร้อมทั้งแสดงผลการคำนวณ เปรียบเทียบกับแบบSLR และแจ้งเตือนจุดตรวจวัดที่มีกระแสไหลเกินขีดจำกัด
3. โปรแกรมสามารถจำลองการคำนวณหาขีดจำกัด
4. พารามิเตอร์บางตัวต้องใช้เครื่องมือในการตรวจวัดเฉพาะ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของสายส่ง และสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีของสายส่ง ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าพารามิเตอร์ทั้งสองค่าควรจะมีค่าเป็นเท่าไร ในการคำนวณจึงกำหนดค่าดังกล่าวตามที่มาตรฐานกำหนดสำหรับกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดค่าดังกล่าวได้

6.2. ข้อเสนอแนะ

1. การตรวจวัดพารามิเตอร์ควรใช้เซ็นเซอร์ที่มีความละเอียดมากกว่านี้ เนื่องจากความแม่นยำของการคำนวณขึ้นอยู่กับความละเอียดของเซ็นเซอร์
2. ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการคำนวณตามมาตรฐานIEEE 783 Rev.2006 และได้ทดสอบขั้นตอนการคำนวณตามมาตรฐานแล้วว่ามี ความถูกต้องเมื่อทำการทดสอบกับตัวอย่างตามมาตรฐานกำหนด แต่ไม่สามารถยืนยันผลลัพธ์การคำนวณจากการทดลองวัดจริงได้ว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้จะทำการทดลองและตรวจวัดอย่างละเอียดในห้องปฏิบัติการ
3. เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ทำการตรวจวัดสายส่งแรงสูง500kV ทำให้ระดับกระแสอาจจะต่ำเกินไป ควรจะทดลองวัดที่แรงดันระดับ115kV-230kV เพิ่มเติมเนื่องจากปริมาณกระแสในสายส่งแรงดันดังกล่าวจะมีค่าสูงกว่าในสายส่งแรงดัน500kV

รายการอ้างอิง

1. IEEE Power Engineering Society. Transmission and Distribution Committee, *IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors*. 2006: New York.
2. Microchips. *dsPIC30F4011*. 2013]; Available from: www.microchip.com/DSPIC30F4011.
3. Team, E. *ET-BASE dsPIC30F4011*. 2012]; Available from: http://ett.co.th/product2009/ET-PIC/ET-BASE_dsPIC30F4011.html.
4. System, A.D. *Weather Sensors*. 2013]; Available from: https://www.argentdata.com/catalog/product_info.php?cPath=29&products_id=145.
5. Freescale. *MPL3115A2 Absolute Digital Pressure Sensor*. 2013]; Available from: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPL3115A2.
6. Com, S. *SIM908*. 2013]; Available from: <http://wm.sim.com/producten.aspx?id=1024>.



ภาคผนวก

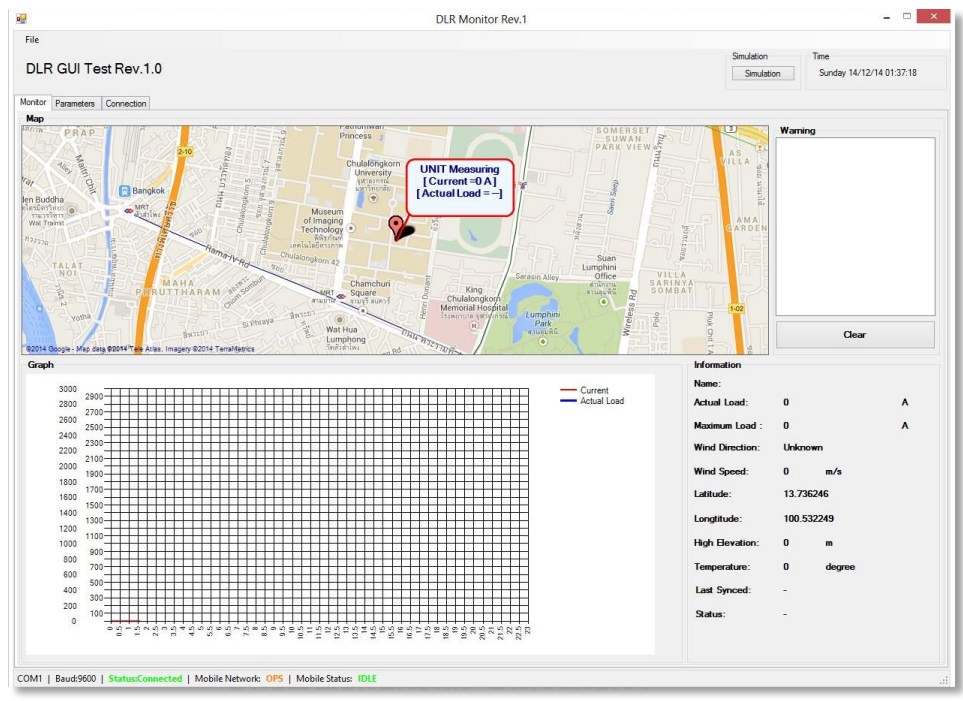
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

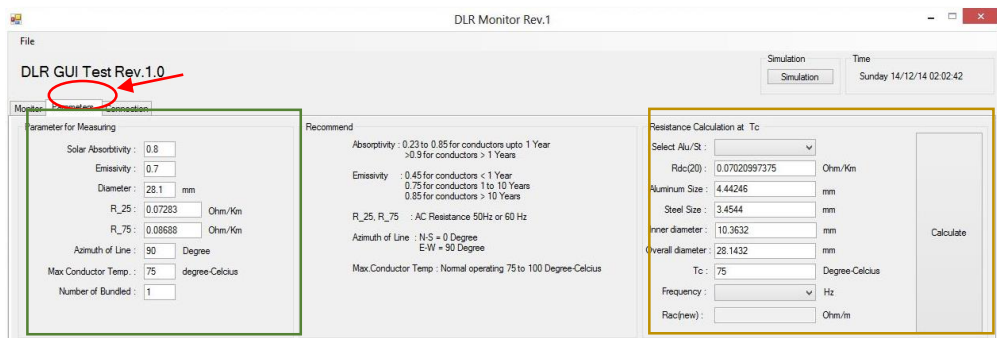
คู่มือการใช้งานโปรแกรมติดต่อสื่อสารกับชุดตรวจวัด

วิธีใช้งานโปรแกรม

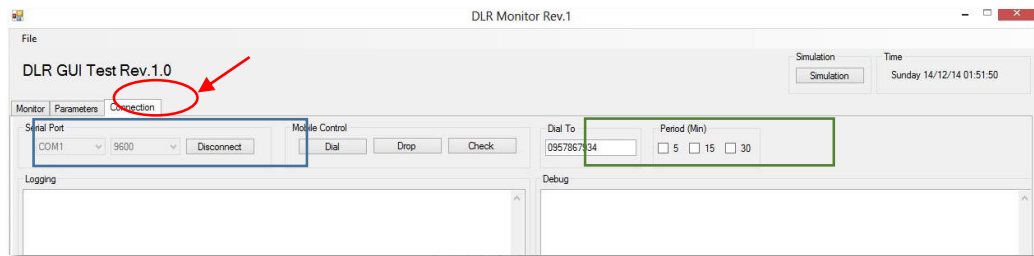
1. หน้าจอหลักของโปรแกรม



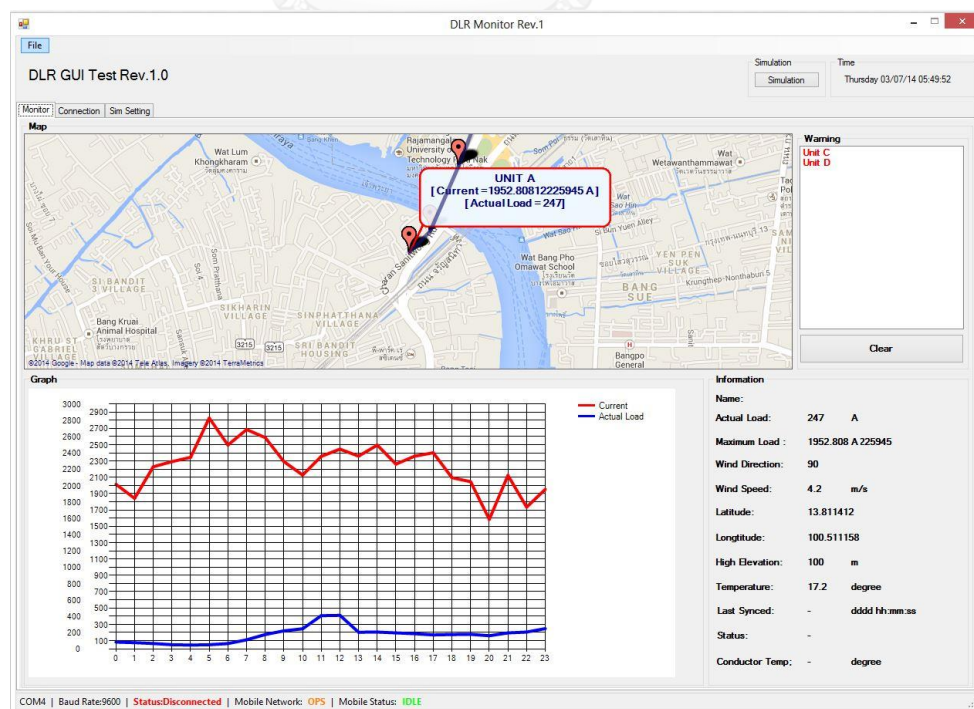
2. การใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆสามารถใส่ได้ที่หน้าต่างParameters และคำนวณหาค่าความต้านทาน $R_{ac}(T_c)$ จาก $R_{dc}(20)$ ได้ในหน้าต่างเดียวกัน



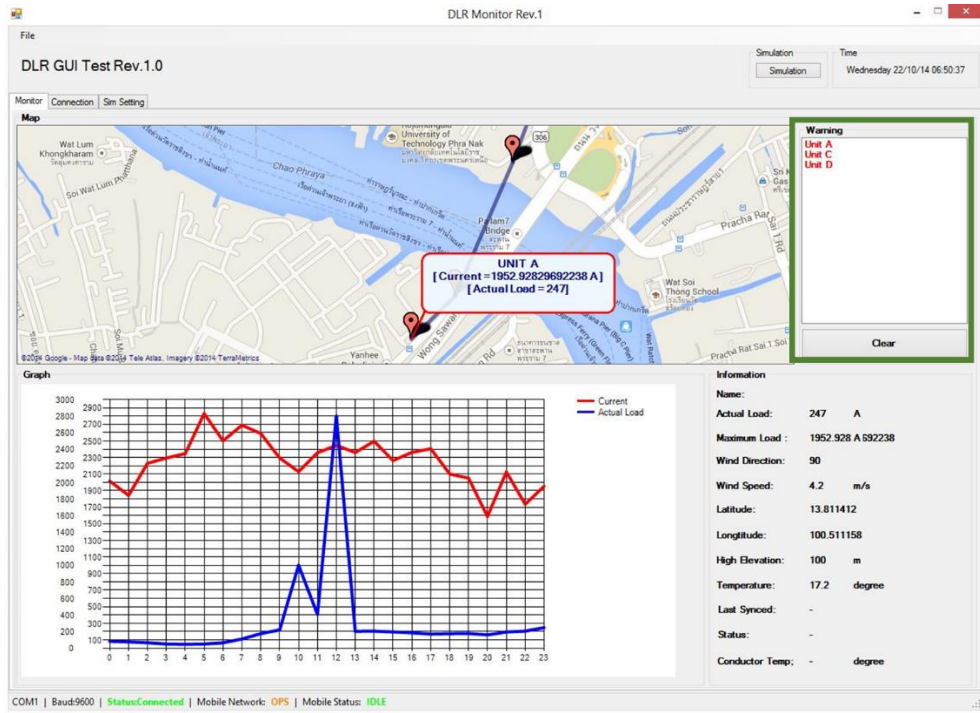
3. เมื่อเปิดโปรแกรมจะเชื่อมต่อกับ GSM Module อัตโนมัติ หรือกรณีมีคอมพิวเตอร์หลายพอร์ตสามารถเลือกช่องได้ในหน้าต่าง Connection และระบุเบอร์โทรของชุดตรวจวัด เลือกความถี่ในการเรียกเก็บข้อมูลจากชุดตรวจวัด



4. โปรแกรมจะเรียกเก็บข้อมูลตามความถี่ที่ตั้งไว้ หลังจากนั้นจะคำนวณหากระแส DLR และแสดงผลเทียบกับกระแสโหลด (กรณีไม่มีกระแสโหลด เส้นสีน้ำเงินจะไม่แสดงผล) ข้อมูลจากการตรวจวัดครั้งล่าสุดจะแสดงผลในรอบด้านขวาของกราฟ



5. ถ้ามีการแจ้งเตือนในกรณีกระแสไหลตดเข้าใกล้กระแสDLR จะมีการแจ้งเตือนในกล่องด้านขวาบน เมื่อทำการคลิกบนรายชื่อในรอบ แผนที่ฉายไปยังจุดที่แจ้งเตือนทันที



การบันทึกผลการคำนวณและจากการตรวจวัด

- ข้อมูลต่างๆที่ได้จากการคำนวณและจากหน่วยวัดจะถูกเก็บบันทึกในไฟล์Notepad
 - ผลการคำนวณไฟล์ชื่อ Result_Measuring.txt

```

File Edit Format View Help
12,12,2014,4,23,28,13.736172,100.532166,728.54438478075,
12,12,2014,4,25,4,13.736172,100.532166,728.261340518368,
12,12,2014,4,30,3,13.736172,100.532166,706.084273694789,
12,12,2014,7,7,21,13.736234,100.532227,734.291962601112,
12,12,2014,7,13,16,13.736234,100.532227,734.055914630534,
12,12,2014,7,20,9,13.736234,100.532227,733.409117404467,
12,12,2014,7,25,8,13.736234,100.532227,733.059902035986,
12,12,2014,7,30,14,13.736234,100.532227,722.595034374274,
12,12,2014,7,35,34,13.736234,100.532227,727.525386782617,
12,12,2014,7,40,19,13.736234,100.532227,731.217531730214,
  
```

- พารามิเตอร์จากหน่วยวัด Parameter_Measuring.txt


```

parameter_Measuring.txt - Notepad
File Edit Format View Help
,12,12,2014,3,17,4,13.736327,100.532227,NE,0,-26.045,27.125,0,
,12,12,2014,3,20,53,13.736327,100.532227,NE,0,-25.233,27.0625,0,
,12,12,2014,3,25,39,13.736327,100.532227,ERR,0,-22.642,26.9375,0,
,12,12,2014,3,30,32,13.736327,100.532227,N,0,-21.548,26.6875,0,
,12,12,2014,3,47,45,13.736136,100.532166,N,0,11.937,26.0625,1,
,12,12,2014,3,55,8,13.736219,100.532112,N,0,-12.452,25.875,1,
,12,12,2014,4,5,22,13.736067,100.532166,N,0,-3.03,25.5625,1,
,12,12,2014,4,23,28,13.736172,100.532166,N,0,-6.874,26.5,1,
,12,12,2014,4,25,4,13.736172,100.532166,N,0,-2.411,26.5625,1,
,12,12,2014,4,30,3,13.736172,100.532166,N,0,2.303,26.8125,0,
,12,12,2014,7,7,21,13.736234,100.532227,N,0,26.582,27.3125,1,

```

2. ไฟล์บันทึกจากข้อ 6 สามารถนำมาแปลงลงในตาราง Microsoft Excel ได้ทันที

parameter_Measuring.txt - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
513	12	12	2014	4	5	22	13.73607	100.5322	N	0	-3.03	25.5625	1								
514	12	12	2014	4	23	28	13.73617	100.5322	N	0	-6.874	26.5	1								
515	12	12	2014	4	25	4	13.73617	100.5322	N	0	-2.411	26.5625	1								
516	12	12	2014	4	30	3	13.73617	100.5322	N	0	2.303	26.8125	0								
517	12	12	2014	7	7	21	13.73623	100.5322	N	0	26.582	27.3125	1								
518	12	12	2014	7	13	16	13.73623	100.5322	N	0	15.39	27.25	1								
519	12	12	2014	7	20	9	13.73623	100.5322	N	0	12.21	27.1875	1								
520	12	12	2014	7	25	8	13.73623	100.5322	N	0	11.576	27.125	1								
521	12	12	2014	7	30	14	13.73623	100.5322	N	0	10.036	26.25	0								

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอภินันท์ เจริญทรัพย์านันท์ เกิดเมื่อวันที่ 7 มกราคม พ.ศ.2532 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2553 และได้เข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2554

