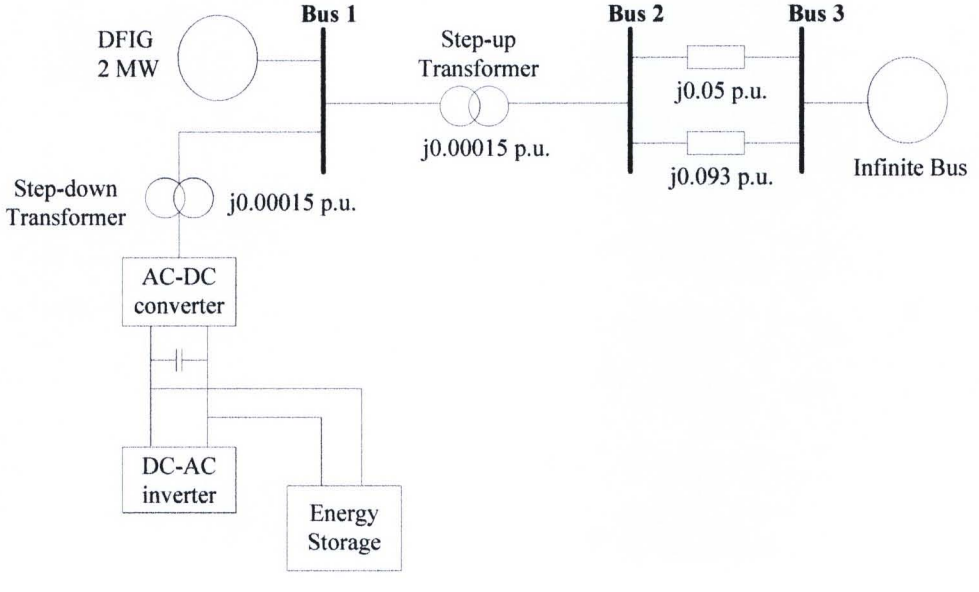
บทที่ 5
การทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะนำเสนอผลการคำนวณเพื่อหาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมด้วยวิธีการที่นำเสนอ โดยจะแบ่งหัวข้อการทดสอบออกเป็น 2 หัวข้อ คือ ระบบทดสอบที่ใช้ และผลการทดสอบ ซึ่งในส่วนของผลการทดสอบจะแบ่งเป็น 5 การทดสอบ ได้แก่ (1) การทดสอบการสุ่มความเร็วลม (2) การทดสอบกำลังไฟฟ้า แรงดัน และความถี่ของระบบ (3) การหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม และสุดท้ายคือ (4) การทดสอบหากำลังไฟฟ้า แรงดัน และความถี่ที่เข้าสู่ระบบเมื่อใช้ขนาดแบตเตอรี่ตามที่คำนวณได้

5.1 ระบบทดสอบ

ในการทดสอบเราจะใช้ระบบทดสอบตามที่กำหนด ดังรูปที่ 5.1 โดยระบบทดสอบนี้จะประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสองทางที่ต่ออยู่กับแบตเตอรี่ในบัสที่ 1 และมีหม้อแปลงแปลงแรงดันขึ้นต่ออยู่ระหว่างบัสที่ 1 และบัสที่ 2 โดยบัสที่ 2 จะเป็นโหลดบัส และมีอิมพีแดนซ์ต่ออยู่ระหว่างบัสที่ 2 และบัสที่ 3 ซึ่งบัสที่ 3 จะเป็นบัสอนันต์



รูปที่ 5.1 แผนภาพของระบบที่ใช้ทดสอบ

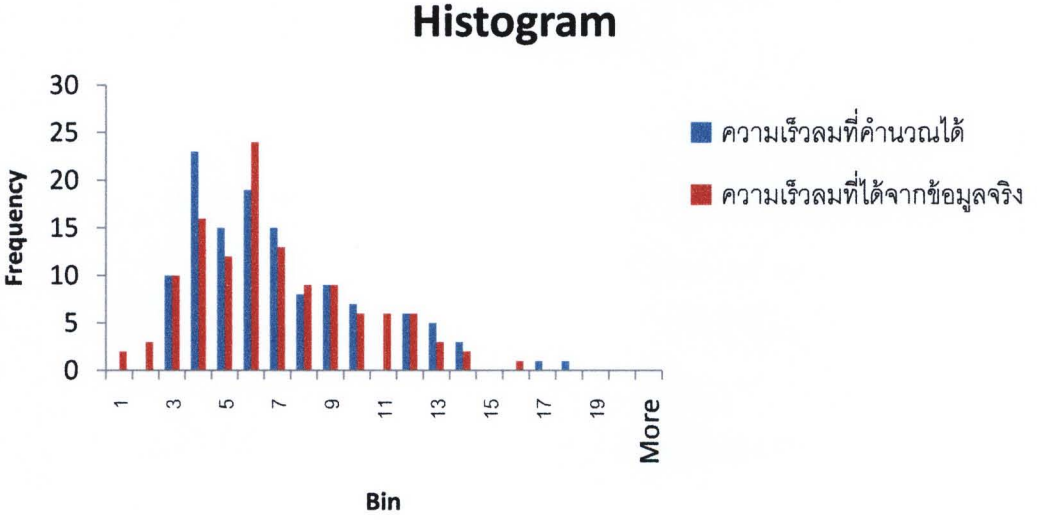
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

5.2 ผลการทดสอบ

5.2.1 ผลการทดสอบการสุ่มความเร็วลม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ได้จากข้อมูลความเร็วลมที่วัดได้ในปี 2005 ดังแสดงในภาคผนวก ก.1 ซึ่งข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงได้แก่ ฤดูร้อน คือช่วงเดือน มีนาคมถึงเดือนมิถุนายน ฤดูฝน คือช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม และฤดูหนาว คือ ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยนี้จะแสดงในภาคผนวก ก.2

เมื่อได้ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงหรือ $v_{trend,t}$ แล้ว ก็จะนำมาสร้างแบบจำลองของความเร็วลมได้ดังแสดงในสมการที่ (2.7) แต่ยังมีตัวแปรที่ไม่รู้ค่า คือค่าความค่าความแปรปรวนของความเร็วลม หรือ σ ซึ่งค่านี้จะสามารถคำนวณได้โดยวิธีความผิดพลาดแบบกำลังสองน้อยสุด (Least square error) กล่าวคือ จะทำการคำนวณความเร็วลมของแต่ละชั่วโมงตามสมการ (2.18) โดยตรึงค่าตัวเลขการสุ่มแบบปกติ Z ไว้หนึ่งชุด และใช้ค่า v_{trend} ของชั่วโมงก่อนหน้า เช่น เมื่อคำนวณความเร็วลมของชั่วโมงที่ 14 จะต้องใช้ค่า v_{trend} ของชั่วโมงที่ 13 จากนั้นจะปรับค่า σ จนกระทั่งข้อมูลความเร็วลมแต่ละชั่วโมงที่ในแต่ละฤดูกาลที่คำนวณได้จากสมการ (2.18) มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงจากข้อมูลจริง โดย ค่า σ จะมีค่าแตกต่างกันไปตามความเร็วลมในแต่ละชั่วโมงและฤดูกาล ตัวอย่างการคำนวณหาค่า σ จะแสดงได้ในรูปที่ 5.2 ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่า σ ในชั่วโมงที่ 6 ในฤดูฝน ซึ่งจะได้ค่า $\sigma = 0.4398$



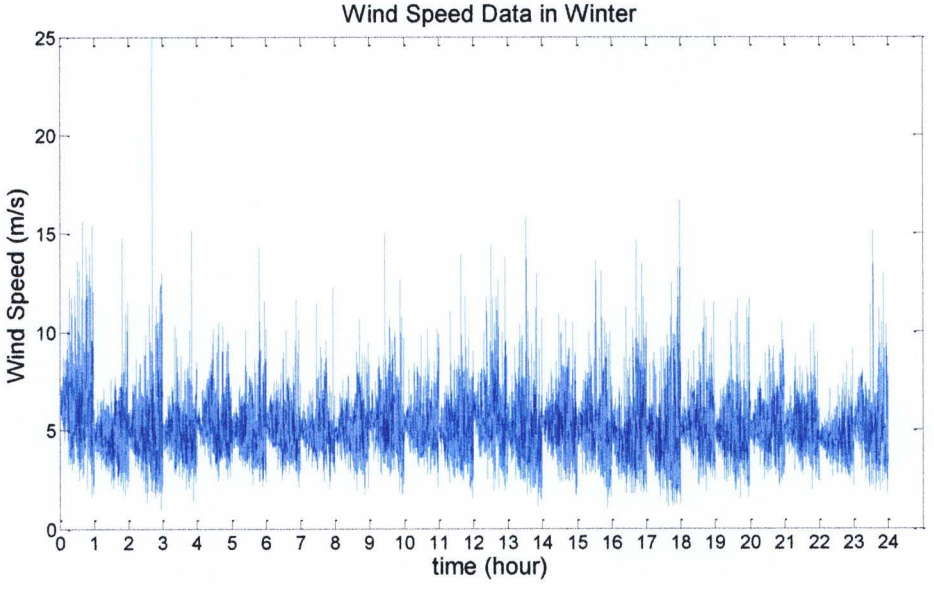
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการหาค่า σ

จากรูปจะพบว่าค่า σ ที่คำนวณได้จะทำให้ข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากการคำนวณและข้อมูลความเร็วลมที่ได้จากความเร็วลมจริงมีค่าใกล้เคียงกัน และค่า σ ที่หาได้ในแต่ละชั่วโมงในแต่ละฤดูกาล โดยวิธีข้างต้น สามารถสรุปเป็นตารางที่ 5.1 ได้ดังนี้

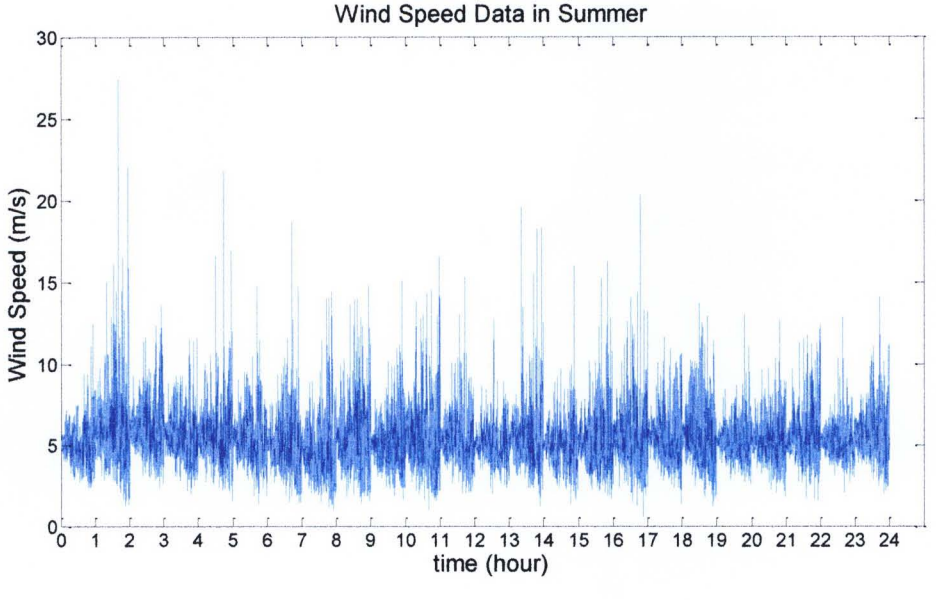
ตารางที่ 5.1 สรุปค่า σ ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการหาค่าความเร็วลม

ชั่วโมง	ค่า σ		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
1	0.4897	0.3848	0.4146
2	0.4383	0.6100	0.3080
3	0.5660	0.4014	0.7183
4	0.3901	0.4270	0.3830
5	0.3637	0.5427	0.4772
6	0.3878	0.4755	0.3912
7	0.3592	0.5085	0.4656
8	0.3467	0.6257	0.6816
9	0.3730	0.6010	0.4750
10	0.4434	0.4117	0.5054
11	0.3493	0.6001	0.4955
12	0.4023	0.4127	0.4614
13	0.4813	0.3702	0.4942
14	0.6104	0.5100	0.4396
15	0.4114	0.4248	0.3482
16	0.4757	0.5020	0.5979
17	0.5290	0.5447	0.4980
18	0.6145	0.3896	0.5367
19	0.4470	0.5317	0.4762
20	0.4488	0.3183	0.4649
21	0.3591	0.4012	0.4854
22	0.3625	0.4062	0.4509
23	0.3127	0.3101	0.4903
24	0.5269	0.4359	0.4398

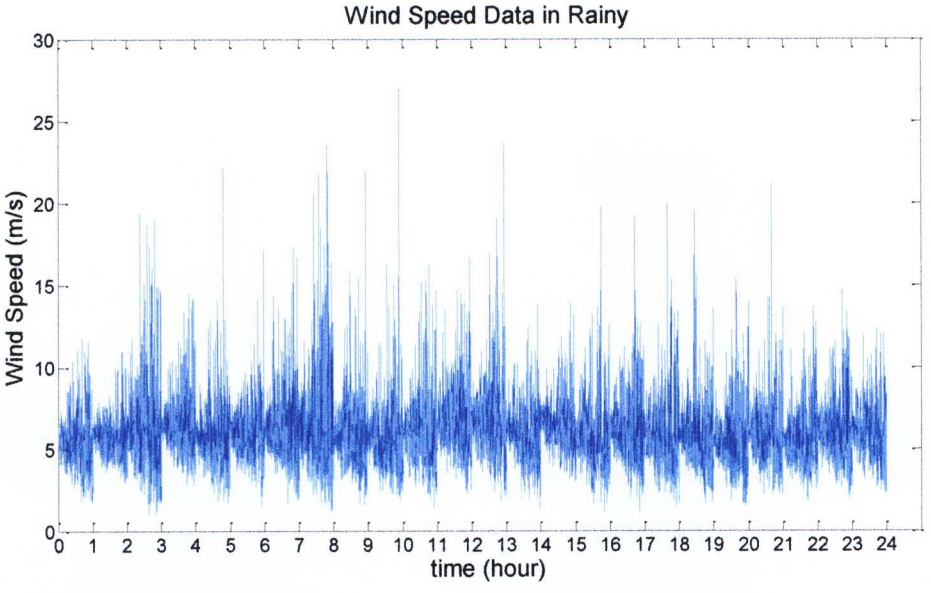
เมื่อทราบค่า σ ในแต่ละชั่วโมงของแต่ละฤดูแล้ว เราจะสามารถคำนวณความเร็วลมตามสมการ (2.18) ได้ โดยกำหนดให้ในหนึ่งชั่วโมงต้องทำการสุ่มความเร็วลม 360 ค่า กล่าวคือความเร็วลมจะมีค่าเปลี่ยนไปทุกๆ 10 วินาทีนั่นเอง ดังนั้นค่าจุดเวลาที่ใช้คือ $t = \frac{1}{360}, \frac{2}{360}, \frac{3}{360}, \ldots, 1$ ดังนั้นใน 1 วัน จะมีความเร็วลมที่เปลี่ยนไปทั้งหมด 8,640 ค่า โดยตัวอย่างของค่าความเร็วลมที่ได้จากการสุ่มในแต่ละฤดูกาลสามารถแสดงได้รูปที่ 5.3-5.5



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการสุ่มความเร็วลมในฤดูหนาว

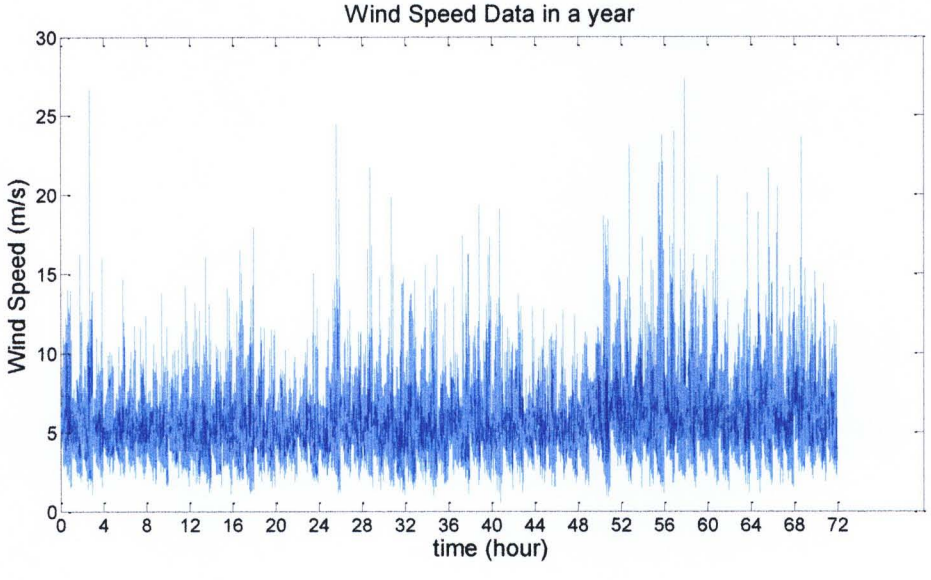


รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการสุ่มความเร็วลมในฤดูร้อน



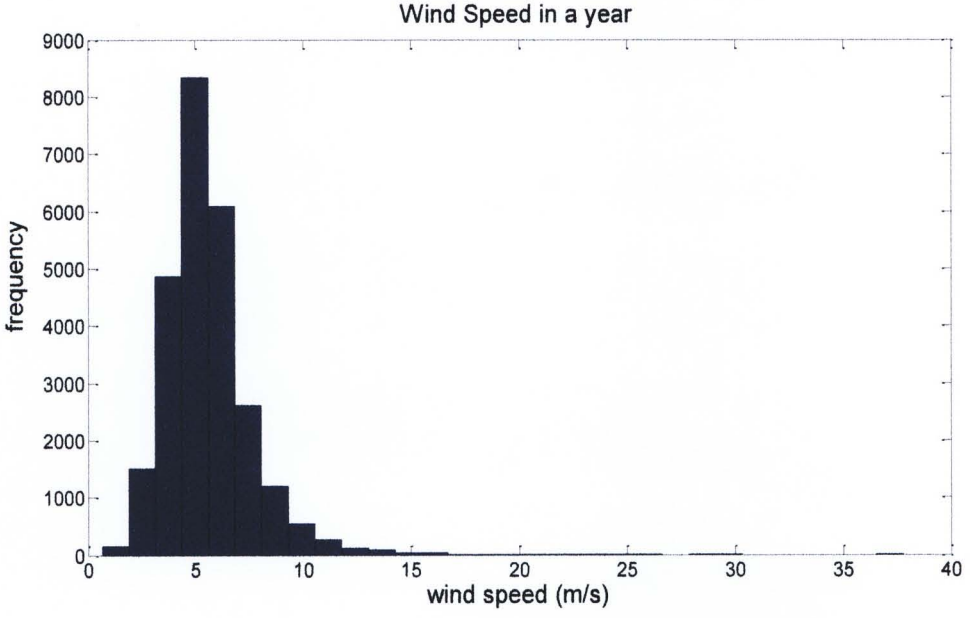
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการสุ่มความเร็วลมในฤดูฝน

จะสามารถใช้ข้อมูลความเร็วลม 1 วัน ของทุกฤดู มาใช้เป็นตัวแทนความเร็วลมทั้งปี เนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยของทุกชั่วโมงในแต่ละฤดูที่นำมาใช้ในแบบจำลองความเร็วลมจะมีค่าเท่ากัน โดยตัวอย่างการสุ่มความเร็วลมทั้งปี จะสามารถแสดงได้ในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างการสุ่มความเร็วลมทั้งปี

จากความเร็วลมทั้งปีที่สุ่มได้จากแบบจำลองความเร็วลมที่กำหนด จะสามารถแสดงกราฟความถี่ของการกระจายของความเร็วลมทั้งปีได้ดังรูปที่ 5.7



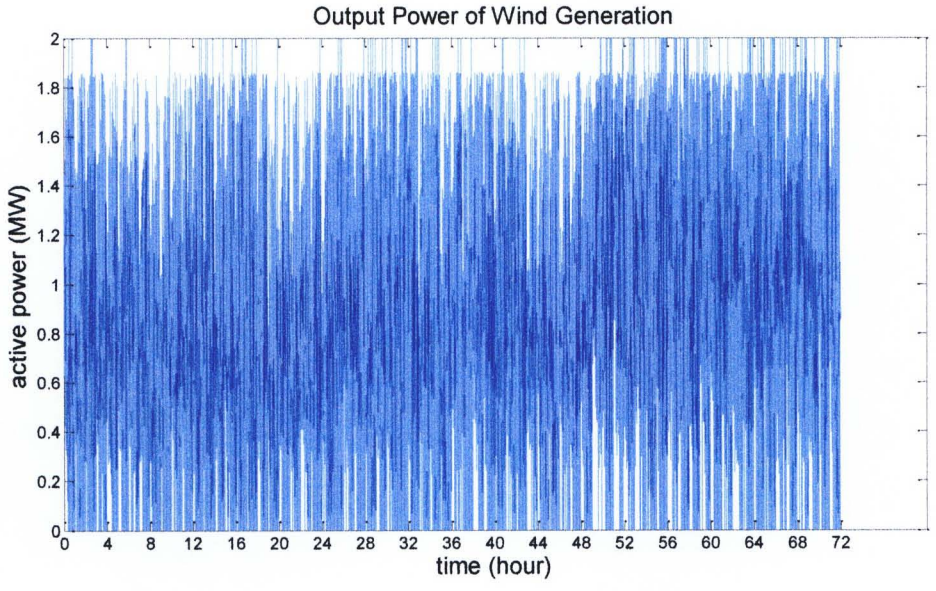
รูปที่ 5.7 กราฟความถี่ของการกระจายของความเร็วลมทั้งปี

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้ความเร็วลมเข้าระบบ (Cut-in speed) มีค่าเท่ากับ 3.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งจากรูปที่ 5.7 จะพบว่าความเร็วลมส่วนใหญ่ที่สุ่มได้จากแบบจำลองจะมีค่ากระจายอยู่รอบๆ ความเร็วลมเข้าระบบ

5.2.2 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้า แรงดัน ความเร็วโรเตอร์ เมื่อผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสองทาง และความถี่ของระบบ

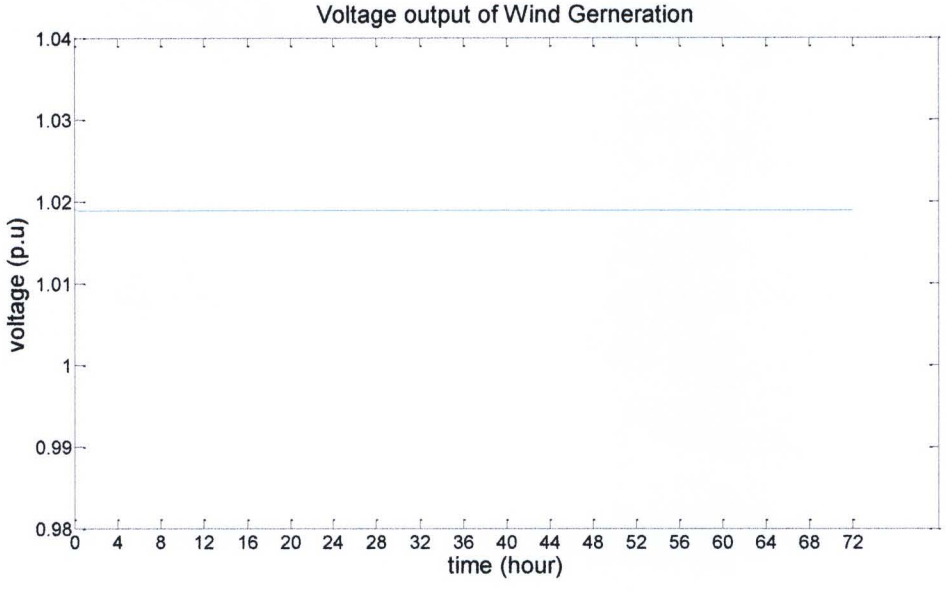
เมื่อทราบค่าความเร็วลมในแต่ละช่วงเวลาแล้ว เราจะสามารถคำนวณกำลังลมเมื่อความเร็วลมผ่านกังหันลมได้จากแบบจำลองของกังหันลม ตามสมการที่ (2.4) – (2.5) และ เมื่อลมผ่านจากกังหันลมแล้วจะเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสองทาง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะแปลงกำลังลมให้เป็นกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะใช้การควบคุมแบบเวกเตอร์ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า แรงดัน ความเร็วโรเตอร์ และความถี่ที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG จะใช้การควบคุมด้วยวิธีที่กล่าวในบทที่ 2 ตามสมการ (2.19) – (2.51) ซึ่งใช้วิธีการควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control) และใช้ตัวควบคุมแบบ PI (Proportional Integral Controller) โดยตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมนั้นจะแสดงในภาคผนวก ข. ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าจริง แรงดัน ความเร็วโรเตอร์จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG และความถี่ของระบบ โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมทั้งปีที่สุ่มได้ สามารถแสดงได้ในรูปที่ 5.8-5.11 ตามลำดับ

ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG



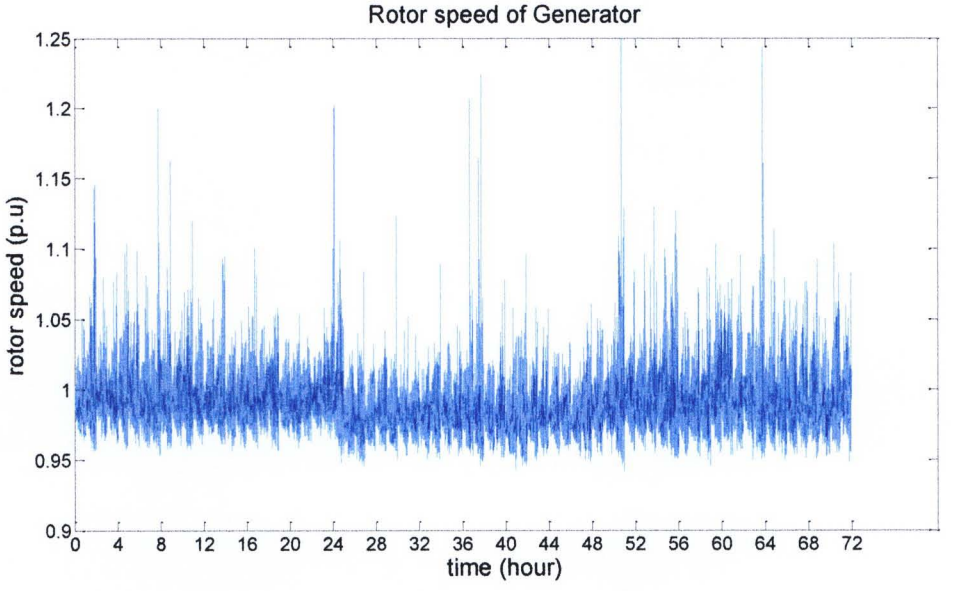
รูปที่ 5.8 ตัวอย่างผลกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG ก่อนการติดตั้งแบตเตอรี่

ผลการทดสอบแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG



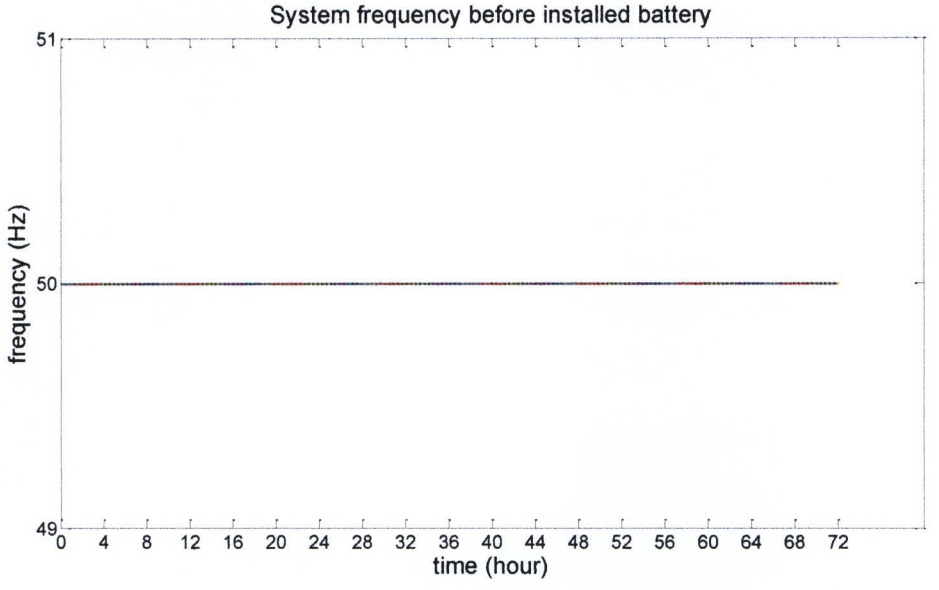
รูปที่ 5.9 ตัวอย่างผลขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG ก่อนการติดตั้งแบตเตอรี่

ผลการทดสอบความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 5.10 ตัวอย่างผลความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ก่อนการติดตั้งแบตเตอรี่

ผลการทดสอบความถี่ไฟฟ้าของระบบ



รูปที่ 5.11 ตัวอย่างผลความถี่ของระบบ ก่อนการติดตั้งแบตเตอรี่

จากผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าจริง จะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้มีค่าไม่คงที่ตามความเร็วลมที่เปลี่ยนไปตามฤดูกาล ส่วนความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วลมที่เข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ในส่วนของแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าคงที่

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ได้ แม้ว่าความเร็วโรเตอร์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงก็ตาม และความถี่ไฟฟ้าของระบบจะมีค่าคงที่ที่ 50 เฮิร์ต ซึ่งเป็นผลจากการที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG ต่ออยู่กับบัสอนันต์ที่มีแรงดันและมุมของแรงดันคงที่ และเนื่องจากในระบบทดสอบที่กำหนดละเลยผลของทรานเซียนส์ทางด้านสเตเตอร์ จึงไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของความถี่ไฟฟ้าต่อระบบ

5.2.3 ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม

เมื่อได้ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสองทาง ตามหัวข้อ 5.2.2 แล้ว จะสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่รับหรือจ่าย โดยคำนึงถึงกำลังสูญเสียในคอนเวอร์เตอร์และอินเวอร์เตอร์ ตามสมการ (4.23) – (4.26)

จากนั้นจะเลือกแบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ ในที่นี้จะเลือกแบตเตอรี่กรดตะกั่วชนิด AGM ของบริษัท Rolls รุ่น S12-290AGM [27] ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ทีมีขนาดความจุที่กำหนดเท่ากับ 290 แอมแปร์-ชั่วโมง และมีแรงดันขนาดที่กำหนด คือ 12 โวลต์ จะเห็นว่าแบตเตอรี่ที่เลือกมานี้เป็นคนละรุ่นและมีขนาดความจุแตกต่างกับแบตเตอรี่ต้นแบบที่กล่าวถึงในบทที่ 4 ซึ่งมีกราฟลักษณะการคายประจุที่แตกต่างไปจากแบตเตอรี่ต้นแบบ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองของแบตเตอรี่ตามสมการ (4.19) – (4.22) ซึ่งการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ใหม่ของตัวแปรในแบบจำลองของแบตเตอรี่จะใช้วิธีความผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุด (Least square error) โดยค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะต้องทำให้แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ที่ได้จากการคำนวณตามสมการ (4.12) – (4.13) มีค่าใกล้เคียงกับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ตามกราฟข้อมูลจริง ซึ่งผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว สามารถแสดงได้ในตารางที่ 5.2 – 5.5

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์
α_e	10.3298
β_e	0.043646

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวต้านทานเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุ

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์
α_{ch}	-0.4241
β_{ch}	-0.62935
γ_{ch}	0.009654

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของตัวต้านทานเมื่อแบตเตอรี่คายประจุ

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์
α_{dch}	1.245598
a	-0.00402
β_{dch}	1.245598
b	-0.00402
γ_{dch}	-5.18296
c	-0.5893

ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณหาแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้

ช่วงเวลา	V_{bt} ของข้อมูลจริง	V_{bt} ที่คำนวณได้	ค่าความผิดพลาดกำลังสอง
อัดประจุ	10.2	10.1830672	0.000287
อัดประจุ	10.5	10.0916449	0.166754
อัดประจุ	10.5	11.1731201	0.453091
อัดประจุ	10.5	10.5220368	0.000486
อัดประจุ	13.6	13.3671286	0.054229
คายประจุ	9.6	9.59891042	1.19E-06
คายประจุ	9.6	9.59543478	2.08E-05
คายประจุ	10.2	10.2355747	0.001266
คายประจุ	10.5	10.4408132	0.003503
คายประจุ	10.5	10.6247829	0.015571
คายประจุ	10.5	10.3594609	0.019751

จากตารางที่ 5.5 จะพบว่าความผิดพลาดกำลังสองของแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ของข้อมูลจริงกับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ใหม่ที่คำนวณได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสมการของตัวแปรต่างๆ ของแบตเตอรี่

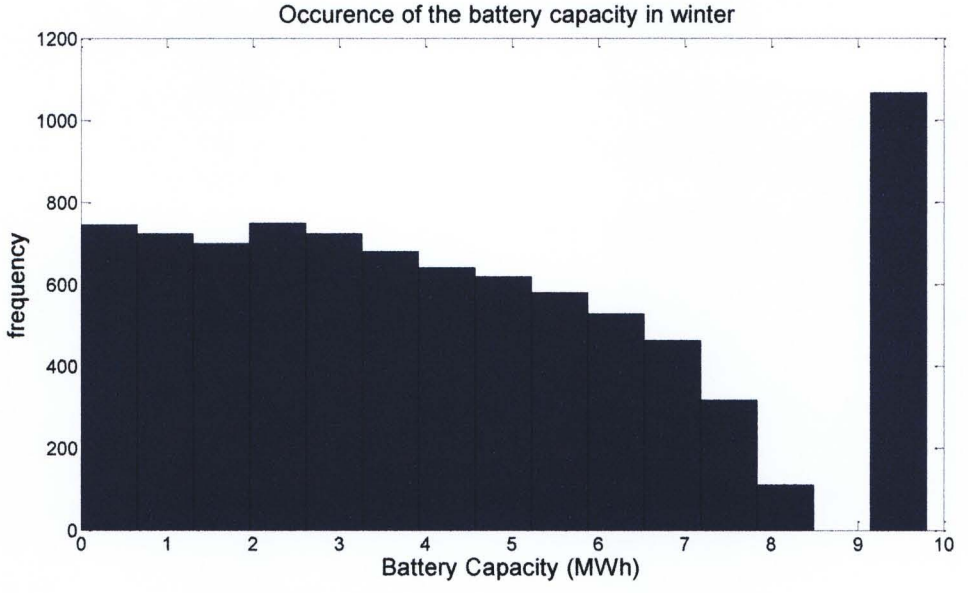
เมื่อเราทราบข้อมูลของกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จะรับหรือจ่ายและได้สมการของตัวแปรต่างๆ ในแบตเตอรี่ที่มีการปรับค่าให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่ที่เลือกมาใช้แล้ว ก็จะสามารถสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมได้ตามสมการที่ (4.27) – (4.32) ค่าเริ่มต้นต่างๆ ในการคำนวณจะแสดงไว้ในภาคผนวก ง.

ตัวแปรอีกหนึ่งตัวที่มีผลต่อการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่คือ ค่าความต้องการทางไฟฟ้า หรือโหลด (P_{set}) ซึ่งถ้าความต้องการทางไฟฟ้ามีค่าแตกต่างจากกำลังไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมผลิตได้มาก ก็จะทำให้ต้องใช้แบตเตอรี่ขนาดใหญ่ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จะต้องชดเชยมีค่าสูง

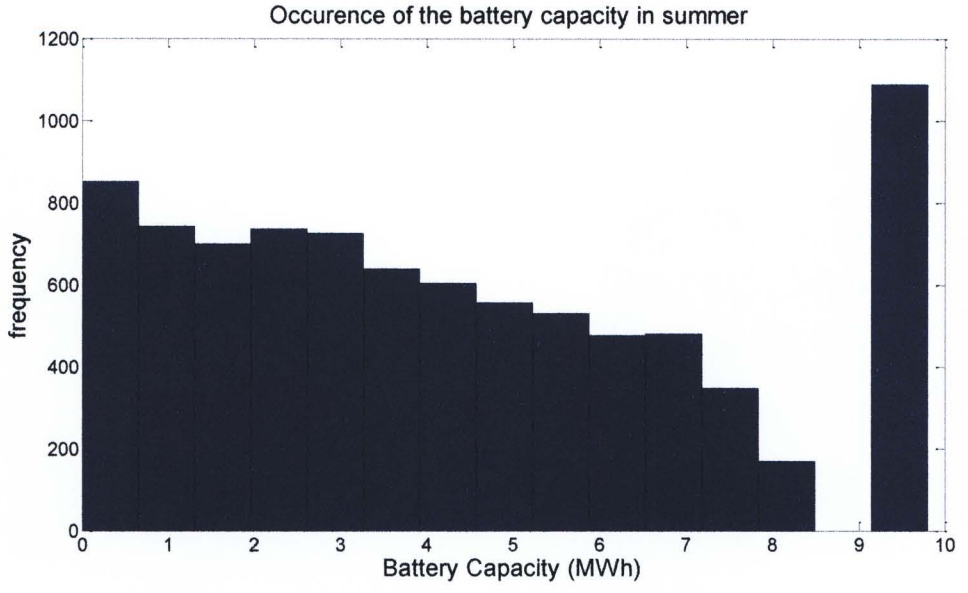
ผลการคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะใช้ข้อมูลของความเร็วลมใน 1 วันของแต่ละฤดูเป็นตัวแทนความเร็วลมทั้งฤดู โดยผลการทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่จะสามารถแสดงได้ในรูปของกราฟแจกแจงความถี่ และจะแบ่งผลการทดสอบออกเป็น 2 กรณี คือ กรณี $P_{set} =$ 1 MW และกรณีที่ $P_{set} = 0.72$ MW

5.2.3.1 กรณีที่ 1 เมื่อความต้องการทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1 MW

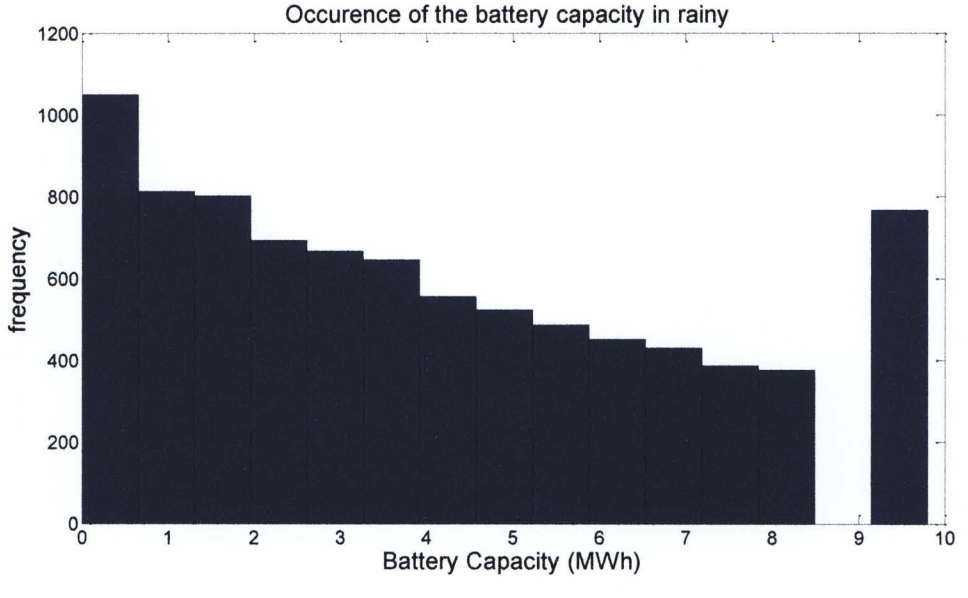
ในกรณีนี้จะกำหนดให้ค่าความต้องการทางไฟฟ้าเท่ากับ 1 MW หรือ $P_{set} = 1$ MW โดยความต้องการทางไฟฟ้านี้จะมีค่าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้ ผลการทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่จากข้อมูลความเร็วลมในแต่ละฤดูสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.12-5.14 ตามลำดับ



รูปที่ 5.12 ตัวอย่างกราฟแจกแจงความถี่ของความจุของแบตเตอรี่ในทุกช่วงเวลาของ 1 ชุดข้อมูลความเร็วลมใน 1 วันของฤดูหนาว ในกรณีที่ 1



รูปที่ 5.13 ตัวอย่างกราฟแจกแจงความถี่ของความจุของแบตเตอรี่ในทุกช่วงเวลา ของ 1 ชุดข้อมูลความเร็วลมใน 1 วันของฤดูร้อน ในกรณีที่ 1

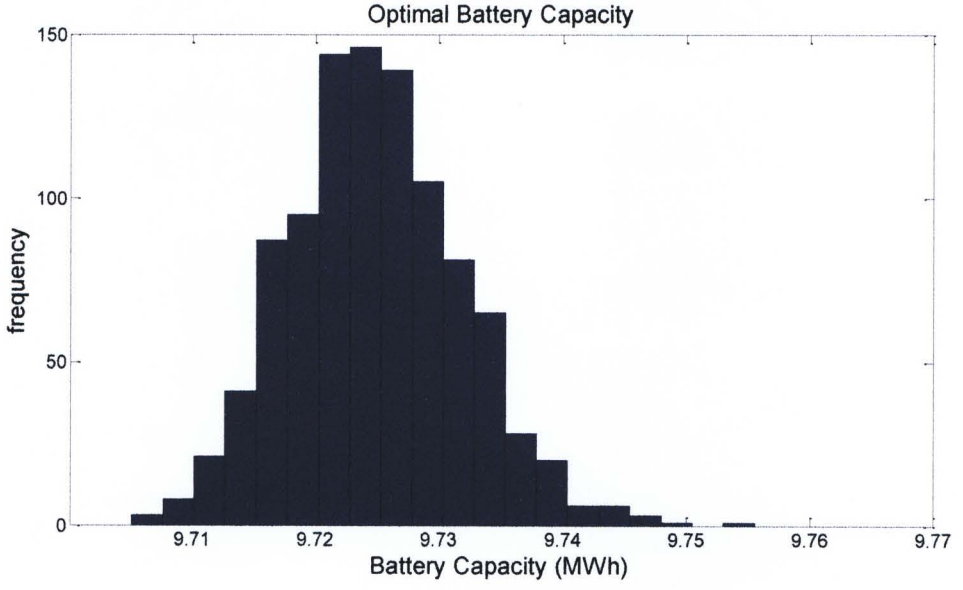


รูปที่ 5.14 ตัวอย่างกราฟแจกแจงความถี่ของความจุของแบตเตอรี่ในทุกช่วงเวลา ของ 1 ชุดข้อมูลความเร็วลมใน 1 วันของฤดูฝน ในกรณีที่ 1

ในการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ เราควรเลือกให้แบตเตอรี่สามารถรับหรือจ่ายกำลังชดเชยได้มากเพียงพอ แต่หากเลือกขนาดที่ใหญ่มากเกินไปก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าสูงเกินความจำเป็น ดังนั้น ควรเลือกขนาดของแบตเตอรี่ให้เพียงพอที่จะสามารถชดเชยกำลังส่วน

ใหญ่ได้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอให้เลือกแบตเตอรี่ให้มีขนาดครอบคลุม 95% ของเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้น ในที่นี้ผลการคำนวณหาค่าขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาข้อมูลความเร็วลมของฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝนที่สุ่มได้ภายใน 1 วัน คือ 9.6861 MWh , 9.6811 MWh และ 9.7356 MWh ตามลำดับ

อย่างไรก็ดี ขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมดังกล่าวเป็นเพียงคำตอบที่สอดคล้องกับข้อมูลความเร็วลมที่สุ่มได้ใน 1 วันเพียง 1 กรณีเท่านั้นซึ่งยังไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้น เราทำการสุ่มความเร็วลม 1 วันของทุกฤดู หรือความเร็วลมทั้งปี เป็นจำนวน 1,000 เหตุการณ์ โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงชุดเดิมรวมกับความเบี่ยงเบนความเร็วลมที่สุ่มได้ในแต่ละเหตุการณ์ไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ต้องรับหรือจ่ายจากแบตเตอรี่ แล้วทำการคำนวณหาค่าขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมด้วยวิธีการเดิม เราจะได้ค่าขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม 1,000 ค่า ซึ่งแต่ละค่าเป็นค่าที่สอดคล้องกับข้อมูลความเร็วลมแต่ละชุด เราสามารถแสดงกราฟแจกแจงความถี่ซึ่งเป็นตัวแทนของฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) ของขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมตามความเร็วลมทั้งปีได้ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 กราฟแจกแจงความถี่ของขนาดของแบตเตอรี่ที่คำนวณได้
จากข้อมูลสุ่มความเร็วลม 1,000 ชุดข้อมูลในหนึ่งปี ในกรณีที่ 1

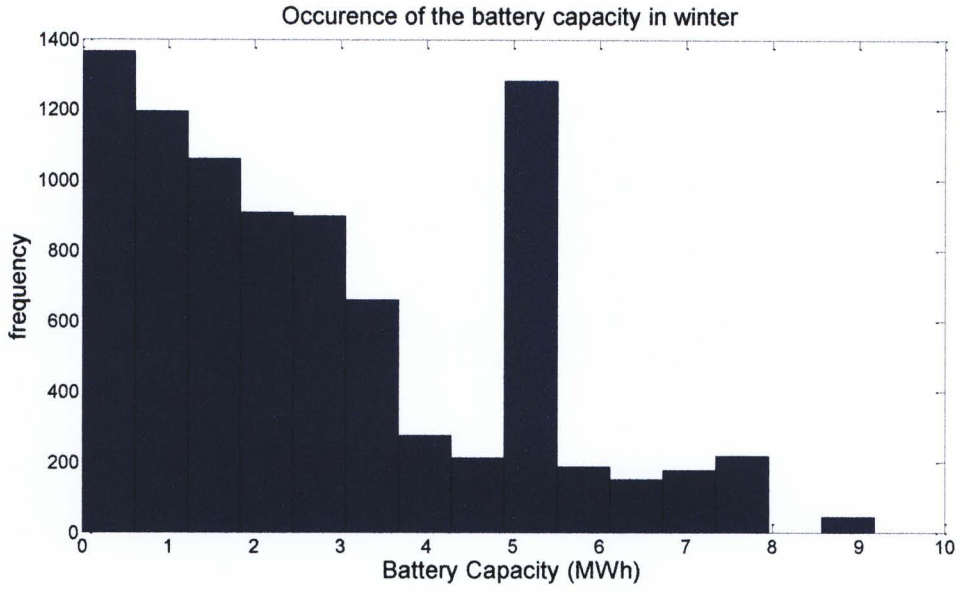
จากฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็นดังกล่าว ด้วยความเชื่อมั่น 95% เราสามารถสรุปได้ว่าขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของข้อมูลความเร็วลมทั้งปีจะอยู่ในช่วง 9,713,417 Wh ถึง 9,746,828 Wh

สิ่งที่จะต้องคำนวณต่อไป คือ จำนวนของแบตเตอรี่ที่จะต้องนำมาต่อขนานและอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันและความจุตามที่ต้องการ ซึ่งค่าแรงดันนี้รู้ได้จากขนาดแรงดันของหม้อแปลงแปลงแรงดันลงฝั่งทุติยภูมิ โดยขนาดหม้อแปลงที่เลือกใช้มีขนาดพิกัด คือ 22 กิโลโวลต์ – 400/230 โวลต์ ถ้าคำนวณตามสมการที่ (4.18) แล้วจะได้ว่า $V_{DC} = 513$ โวลต์ โดยแบตเตอรี่ 1 ตัวมีแรงดันพิกัดที่ขั้วแบตเตอรี่ 12 โวลต์ หรือ ดังนั้นจะได้ว่า $x = 43$ หรือจะต้องใช้แบตเตอรี่ต่ออนุกรมกันแถวละประมาณ 43 ตัว ซึ่งจะได้แรงดันไฟตรงพิกัด 516 โวลต์

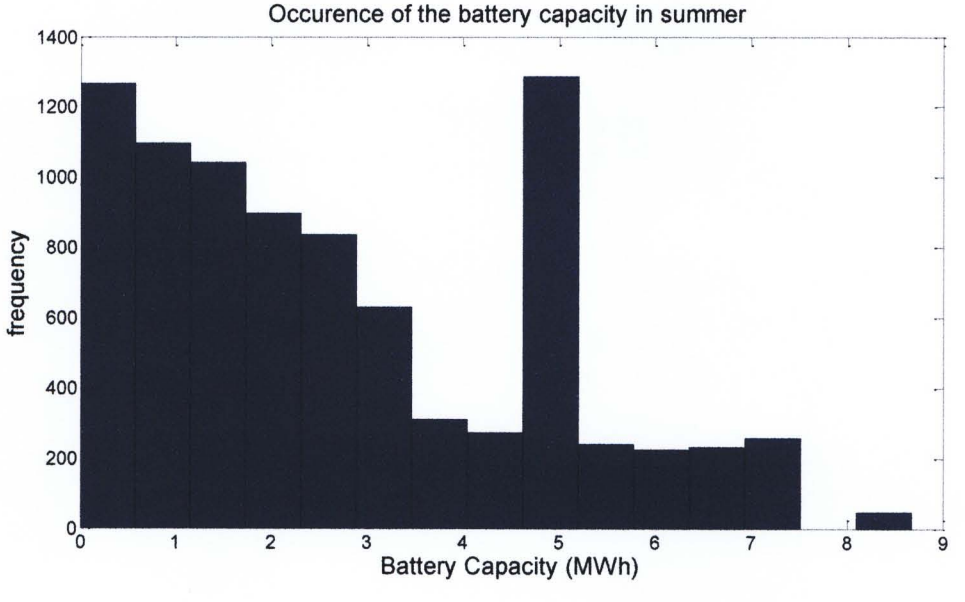
เมื่อทราบจำนวนแถวของแบตเตอรี่แล้ว จะสามารถคำนวณหาจำนวนตัวของแบตเตอรี่ที่จะใช้ต่อขนานได้ โดยคำนวณจากขนาดแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ เพื่อให้จำนวนตัวของแบตเตอรี่เป็นเลขลงตัว ในที่นี้จะเลือกขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม คือ 9,726,600 Wh ซึ่งจะสามารถคำนวณความจุของชุดแบตเตอรี่ได้เท่ากับ 18,850 Ah ซึ่งหมายความว่า จะต้องใช้แบตเตอรี่จำนวน 65 ตัว ต่อขนานกันในแต่ละแถว เพื่อให้ได้ความจุของชุดแบตเตอรี่ตามที่ต้องการ จากการคำนวณดังกล่าวสรุปได้ว่า จะต้องใช้แบตเตอรี่ต่ออนุกรมและขนานเป็น 1 ชุดแบตเตอรี่ทั้งหมด 2,795 ตัว

5.2.3.2 กรณีที่ 2 เมื่อความต้องการทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.72 MW

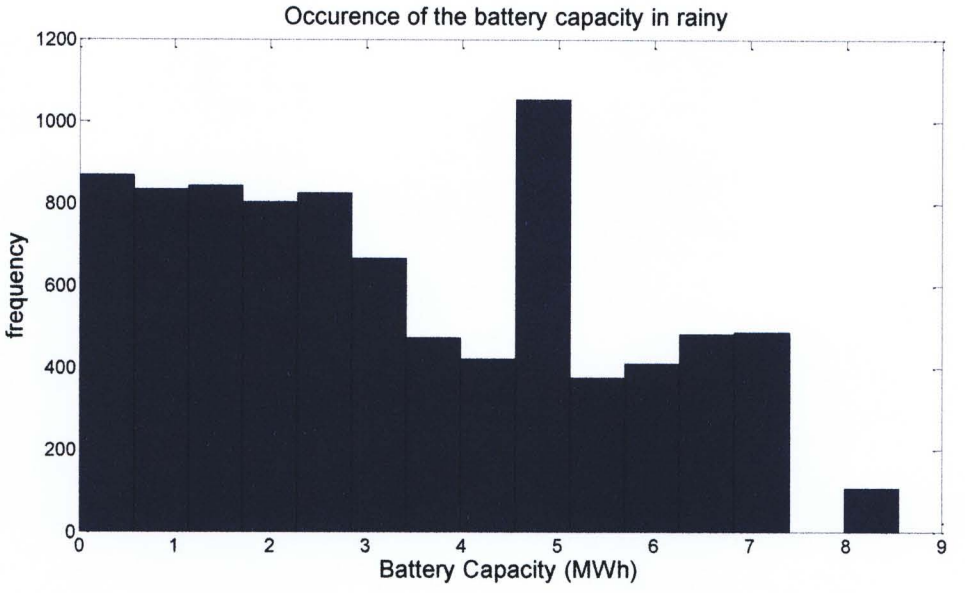
ในกรณีนี้จะกำหนดให้ค่าความต้องการทางไฟฟ้าเท่ากับ 0.72 MW หรือ $P_{set} = 0.72$ MW โดยค่านี้เลือกมาจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่ความเร็วลม 5 m/s ซึ่งเป็นค่าความเร็วลมส่วนใหญ่ที่สุ่มได้ตามกราฟแจกแจงการกระจายของความเร็วลมทั้งปี ดังรูปที่ 5.7 ซึ่งจะเห็นว่าความต้องการทางไฟฟ้าที่กำหนดนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ผลิตได้ ผลการทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่จากข้อมูลความเร็วลมในแต่ละฤดูสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.16-5.18 ตามลำดับ



รูปที่ 5.16 ตัวอย่างกราฟแจกแจงความถี่ของความจุของแบตเตอรี่ในทุกช่วงเวลาของ 1 ชุดข้อมูลความเร็วลมใน 1 วันของฤดูหนาว ในกรณีที่ 2



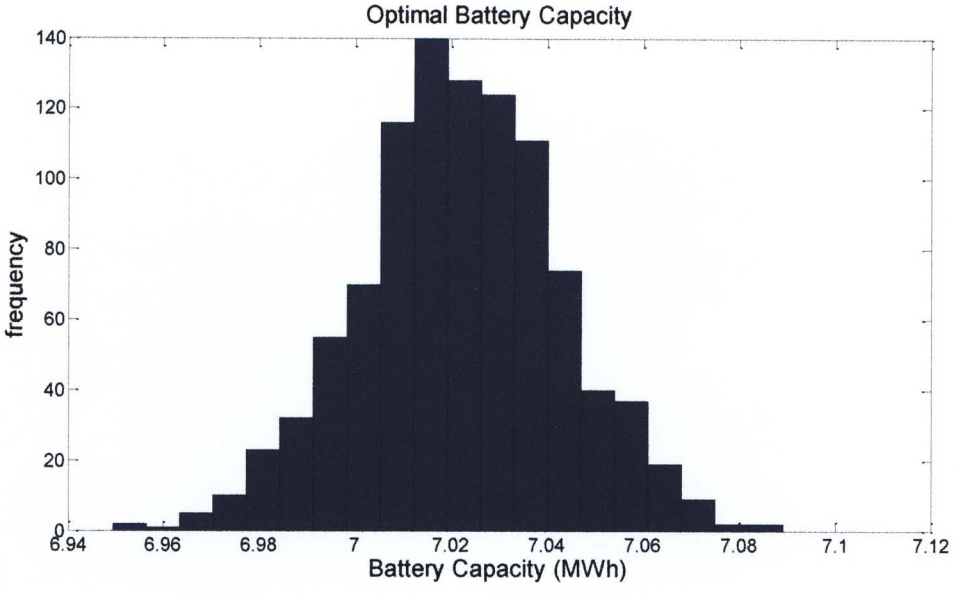
รูปที่ 5.17 ตัวอย่างกราฟแจกแจงความถี่ของความจุของแบตเตอรี่ในทุกช่วงเวลาของ 1 ชุดข้อมูลความเร็วลมใน 1 วันของฤดูร้อน ในกรณีที่ 2



รูปที่ 5.18 ตัวอย่างกราฟแจกแจงความถี่ของความจุของแบตเตอรี่ในทุกช่วงเวลาของ 1 ชุดข้อมูลความเร็วลมใน 1 วันของฤดูฝน ในกรณีที่ 2

การเลือกขนาดแบตเตอรี่จะเลือกให้มีขนาดครอบคลุม 95% ของเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นเช่นเดิม โดยในที่นี้ผลการคำนวณหาค่าขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาข้อมูลความเร็วลมของฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝนที่สุ่มได้ภายใน 1 วัน คือ 6.6486 MWh, 6.7095 MWh และ 7.0139 MWh ตามลำดับ

เมื่อสุ่มความเร็วลมทั้งปี เป็นจำนวน 1,000 เหตุการณ์ แล้วทำการคำนวณหาค่าขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมด้วยวิธีการเดิม เราจะได้ค่าขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม 1,000 ค่า ซึ่งจะสามารถแสดงกราฟแจกแจงความถี่ซึ่งเป็นตัวแทนของฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมตามความเร็วลมทั้งปีได้ดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 กราฟแจกแจงความถี่ของขนาดของแบตเตอรี่ที่คำนวณได้
จากข้อมูลสุ่มความเร็วลม 1,000 ชุดข้อมูลในหนึ่งปี ในกรณีที่ 2

จากฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็นดังกล่าว ด้วยความเชื่อมั่น 95% เราสามารถสรุปได้ว่าขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของข้อมูลความเร็วลมทั้งปีจะอยู่ในช่วง 6,987,243 Wh ถึง 7,048,253 Wh

จากนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนตัวของแบตเตอรี่ที่จะใช้ต่อขนานได้ ในที่นี้จะเลือกขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม คือ 7,033,080 Wh ซึ่งจะสามารถคำนวณความจุของชุดแบตเตอรี่ได้เท่ากับ 13,630 Ah ซึ่งหมายความว่า จะต้องใช้แบตเตอรี่จำนวน 47 ตัว ต่อขนานกันในแต่ละแถวเพื่อให้ได้ความจุของชุดแบตเตอรี่ตามที่ต้องการ จากการคำนวณดังกล่าว สรุปได้ว่า จะต้องใช้แบตเตอรี่ต่ออนุกรมและขนานเป็น 1 ชุดแบตเตอรี่ทั้งหมด 2,021 ตัว

จากผลการทดสอบหาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมทั้งสองกรณี จะพบว่าถ้าความต้องการไฟฟ้าของโหลดมีค่าสูงหรือต่ำกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มาก จะทำให้ต้องใช้ชุดแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ เพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ไม่เพียงพอต่อโหลด

นอกจากนี้ในการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ทั้ง 2 กรณี จะสามารถพิจารณาในส่วนของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพื่อติดตั้งแบตเตอรี่ได้ดังแสดงในตารางที่ 5.6 โดยในที่นี้จะใช้ค่าการลงทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมที่ลำตะคอง อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา ซึ่งใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าจำนวน 2 ต้น แต่ละต้นมีกำลังการผลิต 1.25 เมกะวัตต์ หรือมีกำลังการผลิตรวม 2.5 เมกะวัตต์ เป็นค่าการลงทุนฐาน

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมขนาด 2 เมกะวัตต์

อุปกรณ์	กรณี	จำนวนที่ใช้	ค่าใช้จ่ายต่อยูนิต (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวม (ล้านบาท)
กังหันลมผลิตไฟฟ้า	พิจารณาเหมือนกันทั้ง 2 กรณี	2 ต้น	72.5 ล้าน	145
อินเวอร์เตอร์		1 ตัว	2.3 ล้าน	2.3
คอนเวอร์เตอร์		1 ตัว	2.3 ล้าน	2.3
แบตเตอรี่	กรณีที่ 1	2,795 ตัว	19,134 (630 ดอลล่าร์ สหรัฐ)	53.48
แบตเตอรี่	กรณีที่ 2	2,021 ตัว		38.67

จากตารางที่ 5.6 จะพบว่าค่าใช้จ่ายของแบตเตอรี่ในกรณีที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 36.88 ของค่าใช้จ่ายกังหันลมผลิตไฟฟ้า และในกรณีที่ 2 ค่าใช้จ่ายของแบตเตอรี่จะคิดเป็นร้อยละ 26.67 เมื่อรวมค่าใช้จ่ายของอินเวอร์เตอร์และคอนเวอร์เตอร์เข้าไปด้วย จะได้ว่าค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุนเพิ่มขึ้นในมากรณีที่ 1 คิดเป็นจำนวนเงินประมาณ 58.08 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 40.055 ของค่าใช้จ่ายของกังหันลมผลิตไฟฟ้า และในกรณีที่ 2 คิดเป็นจำนวนเงินประมาณ 43.27 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 29.84 ของค่าใช้จ่ายของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

จากผลการหาค่าใช้จ่ายในการลงทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมเมื่อติดตั้งแบตเตอรี่ จะพบว่า ในกรณีที่ 2 ซึ่งเป็นกรณีที่ความต้องการของโหลดมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งขนาดของแบตเตอรี่ที่เลือกใช้จะมีขนาดเล็กกว่าในกรณีแรก หรือใช้จำนวนแบตเตอรี่ที่น้อยกว่า และส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งแบตเตอรี่มีค่าน้อยกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม นอกจากชนิดของแบตเตอรี่ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบตเตอรี่แล้ว ความต้องการไฟฟ้าของโหลดก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้ขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ซึ่งถ้าความต้องการไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ผลิตได้ นั่นคือในช่วงความเร็วลมส่วนใหญ่ที่เข้าระบบ ก็จะทำให้ขนาดของแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ไม่ใหญ่เกินไป และทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนมีค่าไม่สูงเกินความจำเป็น

5.2.4 ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้า แรงดัน ความเร็วโรเตอร์และความถี่ที่เข้าสู่ระบบเมื่อหลังการติดตั้งแบตเตอรี่

ในการทดสอบนี้จะทำการสุ่มข้อมูลความเร็วลมแต่ละฤดูมาใหม่ 1 ชุด และกำหนดให้ความต้องการของระบบมีค่าใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ผลิตได้ นั่นคือ $P_{set} = 0.72$ MW เพื่อทดสอบว่าขนาดแบตเตอรี่ที่คำนวณได้จะสามารถลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าได้จริง เมื่อ

ทราบข้อมูลความเร็วลมเราก็จะสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทราบกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จะช่วยชดเชยได้ และจะสามารถคำนวณหากำลังไฟฟ้ารวมที่เข้าสู่ระบบได้จากสมการที่ 5.1

$$P_{total} = P_g + P_b \tag{5.1}$$

โดยที่

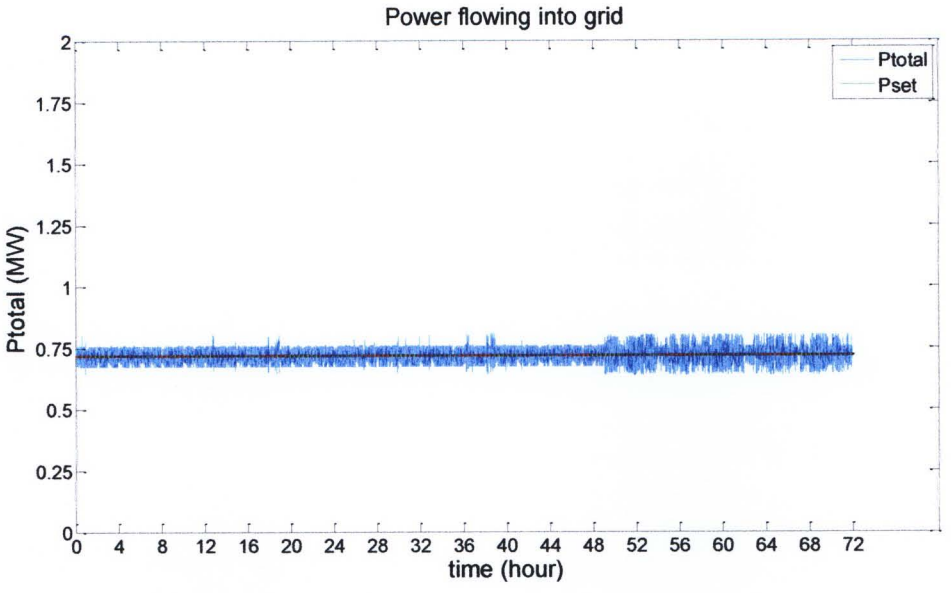
P_g คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสองทาง

P_b คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่แบตเตอรี่รับหรือจ่าย

ผลการทดสอบต่างๆ จะได้จากความเร็วลมที่สุ่มมาทั้งปี โดยผลกำลังไฟฟ้ารวมที่เข้าสู่ระบบ แรงดันที่บัสติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแบตเตอรี่ ความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และความถี่ไฟฟ้าของระบบ สามารถแสดงได้ในรูปที่ 5.20-5.23 ตามลำดับ

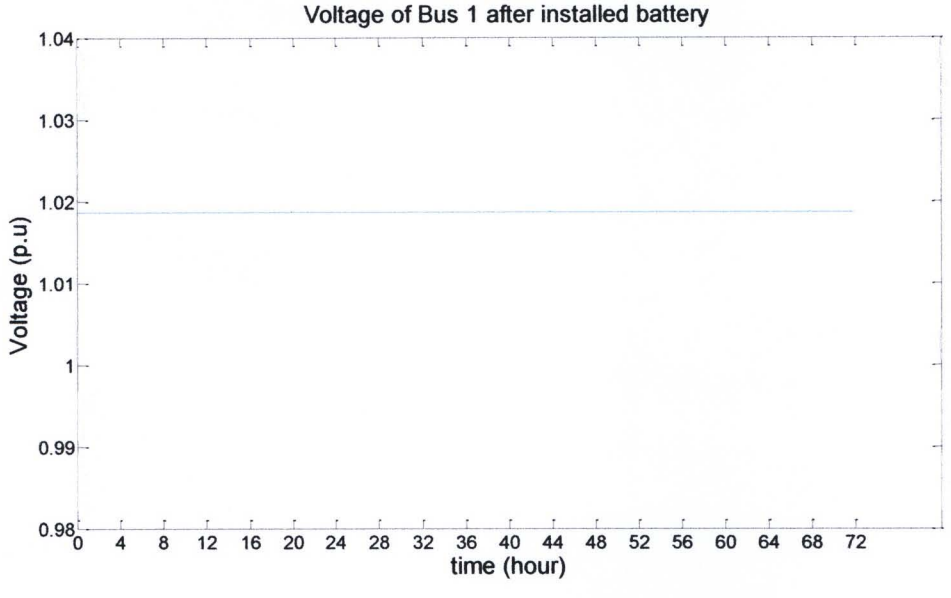
ผลการทดสอบกำลังไฟฟ้ารวมที่เข้าสู่ระบบ หลังการติดตั้งแบตเตอรี่

ในที่นี้จะกำหนดให้แบตเตอรี่สามารถอัดประจุเต็มได้ แต่ไม่สามารถคายประจุออกได้หมด นั่นคือ แบตเตอรี่จะต้องเมื่อคายประจุออกในแต่ละช่วงเวลาจะยังต้องเหลือประจุค้างอยู่ในแบตเตอรี่ส่วนหนึ่ง ดังนั้นกำหนดให้ค่า SOC ของแบตเตอรี่เมื่อคายประจุจะต้องไม่ลดต่ำลงกว่า 30% ของพิกัดแบตเตอรี่



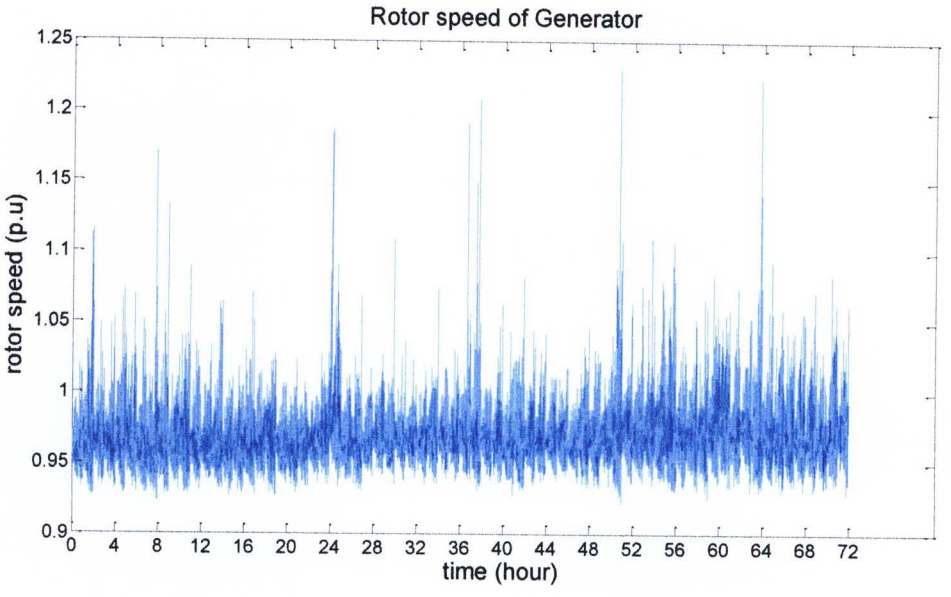
รูปที่ 5.20 ตัวอย่างผลการทดสอบกำลังไฟฟ้ารวมที่เข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลังการติดตั้งแบตเตอรี่

ผลการทดสอบขนาดแรงดันที่บัสติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแบตเตอรี่



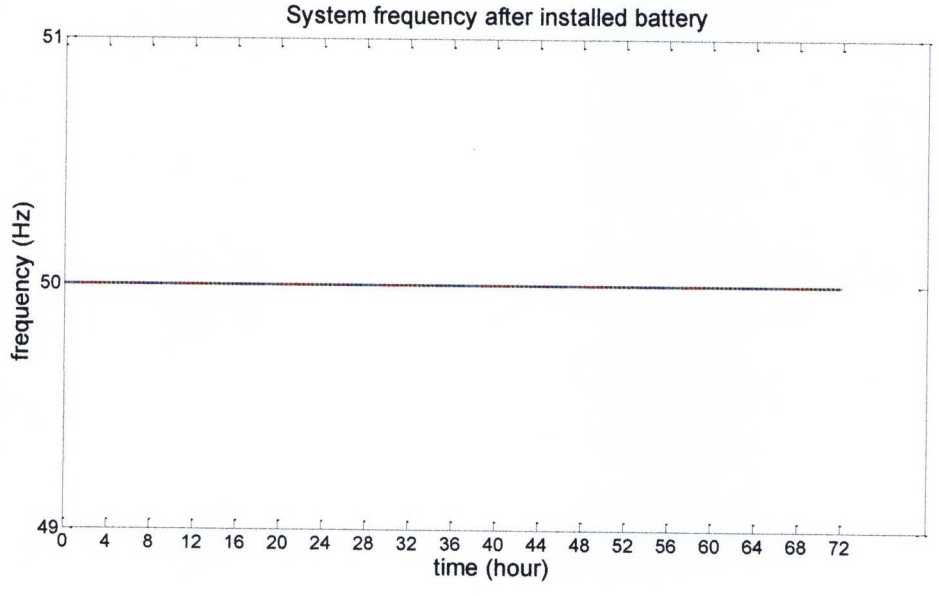
รูปที่ 5.21 ตัวอย่างขนาดแรงดันที่บัสที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแบตเตอรี่

ผลการทดสอบความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลังการติดตั้งแบตเตอรี่



รูปที่ 5.22 ตัวอย่างความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังจากติดตั้งแบตเตอรี่

ผลการทดสอบความถี่ไฟฟ้าของระบบ หลังการติดตั้งแบตเตอรี่



รูปที่ 5.23 ตัวอย่างความถี่ไฟฟ้าที่เข้าสู่ระบบหลังจากติดตั้งแบตเตอรี่

จากผลการทดสอบที่ได้จะพบว่า กำลังไฟฟ้าที่เข้าสู่ระบบส่งกำลังไฟฟ้าจะมีการแกว่งที่น้อยลง ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่ถูกชดเชยด้วยแบตเตอรี่ที่ได้ก็มีค่าเข้าใกล้ค่าความต้องการของระบบมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในส่วนของความเร็วโรเตอร์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่เข้าระบบ ในส่วนของแรงดันจะมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการควบคุมจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG และความถี่ของระบบจะมีค่าคงที่ที่ 50 เฮิร์ต เนื่องจากการละเลยผลของทรานเซียนส์ทางด้านสเตเตอร์ และการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า DFIG กับบัสอนันต์ที่มีแรงดัน มุมเฟส และความถี่คงที่