สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบเชิงหลักการ ข้อเสนอแนะการควบคุมการทำงาน และคุณภาพไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

LARGE SCALE WIND POWER GENERATION : DESIGN , OPERATION AND POWER QUALITY RECOMMENDATION

T104266

นายนัฐวุฒิ สิทธิชัยทวีกุล
นางสาวมิ่งขวัญ จงประสานวงศ์
นางสาวศุภลักษณ์ ศรีเพ็ชร์
นางสาวสิริวลี เรืองมาศ

วพ.
ท3912ก
2551

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104266
วัน,เดือน,ปี 30 ก.ค. 2552

b 12101025
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2551

การออกแบบเชิงหลักการ ข้อเสนอแนะการควบคุมการทำงาน และคุณภาพไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

LARGE SCALE WIND POWER GENERATION : DESIGN , OPERATION AND POWER QUALITY RECOMMENDATION

โดย

นายนัฐวุฒิ สิทธิชัยทวีกุล

นางสาวมิ่งขวัญ จงประสานวงศ์

นางสาวศุภลักษณ์ ศรีเพ็ชร์

นางสาวสิริวลี เรืองมาศ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบเชิงหลักการ ข้อเสนอแนะการควบคุมการทำงาน
และคุณภาพไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

ผู้จัดทำ

1. นายนัฐวุฒิ สิทธิชัยทวีกุล
2. นางสาวมิ่งขวัญ จงประสานวงศ์
3. นางสาวศุภลักษณ์ ศรีเพ็ชร์
4. นางสาวสิริวลี เรืองมาศ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเชิงหลักการ ข้อเสนอแนะการควบคุมการทำงาน และคุณภาพไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

นายนัฐวุฒิ สิทธิชัยทวีกุล
นางสาวมิ่งขวัญ จงประสานวงศ์
นางสาวศุภลักษณ์ ศรีเพ็ชร์
นางสาวสิริวลี เรืองมาศ
รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นการศึกษาระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม โดยศึกษาหลักการทำงาน ประเภทและส่วนประกอบของกังหันลม ในปัจจุบันกังหันลมที่มีการประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่เป็นกังหันลมความเร็วปรับเปลี่ยนได้ ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดับบลิเฟด (Doubly Fed Induction Generator, DFIG) และการควบคุมกำลังเป็นแบบพิทช์ (Pitch Control) เมื่อความต้องการด้านพลังงานเพิ่มขึ้นจึงมีการติดตั้งเป็นทุ่งกังหันลม ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอการออกแบบเชิงหลักการที่เป็นรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ให้เหมาะสมกับประเทศไทย โดยแบ่งตามลักษณะการเชื่อมต่อเป็น 2 รูปแบบ คือ การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบของการไฟฟ้า (Grid Connect) และการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่แบบแยกตัวอิสระ (Islanding) ซึ่งเป็นการแบ่งตามความเหมาะสมของลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังได้ศึกษามาตรฐานเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพไฟฟ้า ขีดจำกัดการกระจายของฟลิคเกอร์ ขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิก และเปรียบเทียบข้อกำหนดการเชื่อมต่อที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับข้อเสนอแนะ เพื่อการเชื่อมต่อกังหันลมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการเชื่อมต่อที่มีการประยุกต์ใช้งานอยู่ในปัจจุบันของประเทศไทย และมาตรฐานสากล IEC 61400-21 (2001), 61000-3-6 (2008) และ 61000-3-7 (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LARGE SCALE WIND POWER GENERATIO: DESIGN , OPERATION AND POWER QUALITY RECOMMENDATION

Nattawood Sitichaitaweekul
Mingkwan Jongprasanwong
Supaluk Sripetch
Siriwalee Ruangmat
Assoc.Prof.Monthon Leelachindakaileak Advisor
Asst.Prof. Dr.Chai Chompoo-inwai Advisor
2008

Abstract

This thesis presents a study of a wind generation system. The study is separated into three parts which are the study of system operation, types and components of the wind turbines. Nowadays, the most commonly used wind turbines technology are the variable speed and the pitch control turbines type, as the energy demand is increasing daily, therefore many wind farms have been constructed so as to support the demand. The thesis proposes the principle designs of the interconnection pattern of large wind generator by focusing on the use in Thailand. The designs are separated into two parts which are grid and islanding connections. Moreover, the authors have also studied and suggested about the additional concerns on the standard of power quality control, the flicker emission limit, and the limit of total harmonic distortion. Comparisons between the interconnection regulations and the author's suggestions also have been made in this thesis in order to integrating wind generators to Thai's distribution system properly by citing the domestic and international standards.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว และ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ คณะผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณท่านคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา ซึ่งคณะผู้วิจัยได้นำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่านมาประกอบในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆในห้องแล็บ ESIRC ทุกคน ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ และขอบคุณเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้กำลังใจในการทำงานจนประสบผลสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้วิจัยทุกท่าน ที่มอบชีวิตการศึกษา เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน จนทำให้สามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญรูปภาพ..... VIII
สารบัญตาราง..... X
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน..... 1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน..... 2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 4
2.1 ทฤษฎีลม..... 4
2.2 กังหันลม (Wind Turbine)..... 5
2.2.1 ประเภทของกังหันลม..... 5
2.2.2 ส่วนประกอบของกังหันลม..... 12
2.3 ทุ่งกังหันลม (Wind farm)..... 15

บทที่ 3 ระบบไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าพลังงานลมและการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า..... 19
3.1 การออกแบบระบบรวบรวม..... 19
3.1.1 ระดับแรงดัน..... 19
3.1.2 ตัวนำ..... 19
3.2 การไหลของกำลังไฟฟ้าและการรับโหลดของอุปกรณ์..... 21
3.2.1 การไหลของกำลัง..... 21
3.2.2 การพิจารณาการรับโหลดของอุปกรณ์..... 21
3.3 ระบบป้องกัน..... 21
3.3.1 การไหลของกระแสฟอลต์..... 22
3.3.2 การตัดกระแสฟอลต์และพิกัดชั่วขณะ..... 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

3.3.3 การร่วมกันป้องกันอุปกรณ์.....22
3.3.4 ลำดับเฟสและการหายของเฟส.....22
3.3.5 การหยุดทำงาน.....22
3.3.6 การปิดซ้ำและแรงบิดชั่วขณะ.....23
3.4 การฉนวน, การต่อลงดิน และการป้องกันเสิร์จ.....23
3.4.1 พิกัดการฉนวน.....23
3.4.2 การต่อลงดิน.....23
3.4.3 การป้องกันเสิร์จ.....23
3.5 การควบคุมแรงดันและแหล่งจ่ายกำลังรีแอคทีฟ.....24
3.5.1 การพิจารณาแรงดัน.....24
3.5.2 แหล่งจ่ายกำลังรีแอคทีฟ.....25
3.5.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งแก้ตัวประกอบกำลัง.....25
3.5.4 การประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....25
3.5.5 คุณลักษณะของตัวเก็บประจุ.....26
3.5.6 การคายประจุของตัวเก็บประจุ.....26
3.5.7 การป้องกันของซันต์คาปาซิเตอร์แบงก์.....26
3.5.8 การพิจารณาระบบ.....27
3.6 การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าในต่างประเทศ.....28
3.6.1 การพิจารณาการเชื่อมต่อของระบบ.....28
3.6.2 รูปแบบของสถานีย่อย.....30
3.6.3 การออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยให้เหมาะสม.....31

บทที่ 4 การออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
พลังงานลมขนาดใหญ่.....36
4.1 กระบวนการออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ให้เหมาะสมกับประเทศไทย.....36
4.2 การออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
พลังงานลมขนาดใหญ่.....37
4.2.1 การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่
เข้ากับการไฟฟ้า.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

4.2.2 การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่
แบบแยกตัวอิสระ..... 42
4.3 ข้อพิจารณาการออกแบบแผนผังของทุ่งกังหันลม..... 47

บทที่ 5 ข้อเสนอแนะสำหรับการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้า.....50
5.1 สาเหตุของการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้า.....50
5.2 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่ายของ
การไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน..... 54
5.2.1 การควบคุมระดับแรงดัน.....54
5.2.2 การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....55
5.2.3 ฟลิคเกอร์.....55
5.2.4 การควบคุมฮาร์มอนิก.....60
5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อพิจารณาการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้า
ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ที่ใช้ในต่างประเทศ..... 63
5.3.1 การควบคุมระดับแรงดัน.....63
5.3.2 การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....63
5.3.3 ฟลิคเกอร์.....63
5.3.4 ฮาร์มอนิกส์.....69
5.4 ข้อเสนอแนะการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับ
ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าในประเทศไทย..... 75
5.4.1 การควบคุมระดับแรงดัน.....75
5.4.2 การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....75
5.4.3 ฟลิคเกอร์.....75
5.4.4 ฮาร์มอนิก..... 77

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์.....80
6.1 สรุปการคัดเลือกประเภทของกังหันลม.....80
6.2 ระบบไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าพลังงานลมและการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า..... 81
6.3 การออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อ
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่..... 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

6.4 ข้อเสนอแนะการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้าเพื่อการติดตั้งกังหันลม.....84

บรรณานุกรม..... 85

ประวัติผู้เขียน..... 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆ	4
2.2	ลักษณะการทำงานของกังหันลม	5
2.3	กังหันลมแบบแกนตั้ง	6
2.4	กังหันลมแบบแกนนอน	6
2.5	แสดงประเภทของกังหันลม	11
2.6	ส่วนประกอบของระบบกังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้า	13
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกับกำลังของกังหันลม	13
2.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกังหันลมกับพลังงานลมที่เพิ่มขึ้น	16
2.9	แสดงตัวอย่าง layout ของทุ่งกังหันลม	17
3.1	แสดงตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่างทุ่งกังหันลมกับระบบรวบรวม	20
3.2	แสดงการจัดการต่อลงดินของทุ่งกังหันลม	24
3.3	แสดง Radial Service	29
3.4	แสดง Loop Service	29
4.1	กระบวนการออกแบบรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่	36
4.2	รูปแบบ 1 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำของการไฟฟ้า	38
4.3	รูปแบบ 2 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า	39
4.4	รูปแบบ 3 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า	40
4.5	รูปแบบ 4 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 115 kV ของการไฟฟ้า	41
4.6	รูปแบบ 5 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำแบบแยกตัวอิสระ	42
4.7	รูปแบบ 6 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ	43
4.8	รูปแบบ 7 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ	44
4.9	รูปแบบ 8 การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มกังหันลม)	45
4.10	รูปแบบ 9 การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม)	46
4.11	การจัดตำแหน่งของทุ่งกังหันลม	47
5.1	แรงดันดกชั่วขณะ	50
5.2	Voltage Transient	51
5.3	Voltage Swell	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
5.4	สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า	52
5.5	เปรียบเทียบระหว่างแรงดันปกติและแรงดันกระเพื่อม	52
5.6	ฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆ	53
5.7	ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 5 และ 7 ที่มุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซด์มีรูปร่างผิดเพี้ยน	53
5.8	รูปกราฟขีดจำกัดขนาดและอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลง	57
5.9	แผนผังลำดับขั้นตอนการตรวจสอบโหลดที่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อม	59
5.10	แผนผังลำดับขั้นตอนการตรวจสอบฟลิคเกอร์	69
5.11	แสดงขั้นตอนการพิจารณาขีดจำกัดการกระจายของฮาร์มอนิกเพื่อเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ของกังหันลมแนวตั้งและกังหันลมแนวนอน..... 7

2.2 ประเภทของกังหันลม..... 8

2.3 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าที่โรเตอร์และสเตเตอร์ของกังหันลมชนิด C..... 10

4.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่.....48

5.1 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของ กฟภ. อยู่ในช่วงดังต่อไปนี้..... 54

5.2 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของ กฟน. อยู่ในช่วงดังต่อไปนี้..... 54

5.3 ค่าความรุนแรงของไฟกะพริบระยะสั้น (P_{st}) และค่าความรุนแรงของไฟกะพริบ ระยะยาว(P_{lt}) เมื่อรวมแหล่งกำเนิดแรงดันกระเพื่อมทั้งหมดที่มีผลต่อระบบไฟฟ้า ณ จุดใดๆ.....55

5.4 ขนาดสูงสุดของอุปกรณ์ประเภทคอนเวอเตอร์และเอ.ซี.เรกูเรเตอร์แต่ละตัว..... 60

5.5 ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟรายใดๆที่จุดต่อร่วม.....61

5.6 ขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆที่จุดต่อร่วม รวมทั้งระดับความเพี้ยนที่มีอยู่เดิม).....61

5.7 ค่าตัวประกอบการคูณสำหรับใช้หาผลรวมของกระแสฮาร์มอนิก.....62

5.8 ค่าของฟลิคเกอร์ในระดับแรงดันปานกลาง ระดับแรงดันสูงและแรงดันสูงพิเศษ.....64

5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงกำลังกับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อนาที.....64

5.10 ค่าสัมประสิทธิ W_j 70

5.11 ระดับในการวางแผนของฮาร์มอนิกลำดับที่ h ในระบบMV (L_{hMV})..... 71

5.12 แสดงค่า α สำหรับลำดับฮารฺมอนิกต่างๆ.....72

5.13 ระดับในการวางแผนของฮาร์มอนิกลำดับที่ h ในระบบแรงดันสูง (HV) และ แรงดันสูงพิเศษ (EHV) ($L_{hHV-EHV}$)..... 72

5.14 ข้อเสนอแนะการควบคุมแรงดันสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลมในประเทศไทย.....75

5.15 ข้อเสนอแนะการตัวประกอบกำลังสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลมในประเทศไทย.....75

5.16 ข้อเสนอแนะค่า P_{st} และ P_{lt} สำหรับการเชื่อมต่อกังหันลมในประเทศไทย..... 76

5.17 ข้อเสนอแนะอัตราส่วนเควีเอที่เปลี่ยนแปลงต่อพิกัดเควีเอลัดวงจร สำหรับการ เชื่อมต่อกังหันลมในประเทศไทย..... 77

5.18 ข้อเสนอแนะค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันฮาร์มอนิกอันดับคู่ ที่ระดับแรงดัน 11kV 12 kV 22 kV 24 kV และ 33kV.....77

5.19 ข้อเสนอแนะค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันฮาร์มอนิกอันดับคี่ ที่ระดับแรงดัน 11kV 12 kV 22 kV 24 kV และ 33kV 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.20 ข้อเสนอแนะค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันฮาร์มอนิกอันดับคู่
ที่ระดับแรงดัน 69 kV และ 115 kV ขึ้นไป..... 78
5.21 ข้อเสนอแนะค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันที่ฮาร์มอนิกอันดับคี่
ที่ระดับแรงดัน 69 kV และ 115 kV ขึ้นไป.....79
6.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่.....82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันโลกกำลังประสบกับปัญหาการขาดแคลนพลังงาน เนื่องจากพลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไปหรือแหล่งทรัพยากรมีจำกัด เช่น พลังงานที่ได้จากถ่านหิน น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งพลังงานเหล่านี้กำลังหมดไป ส่งผลต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นอย่างมาก เพราะพลังงานเหล่านี้เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เราจึงจำเป็นต้องหาพลังงานรูปแบบอื่นมาทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำ พลังงานชีวมวล รวมถึงพลังงานขั้นที่สองที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนตามที่กล่าวมา เช่น เชื้อเพลิงจากพืช (Biofuel) เซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น เพื่อแปลงรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และเมื่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีมากขึ้นทุกวัน อันเนื่องมากจากการเพิ่มขึ้นของประชากร หรือการขยายตัวทางเศรษฐกิจที่เพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้า

พลังงานลมเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นตลอดเวลาและมีอยู่ทุกหนทุกแห่ง การประยุกต์ใช้กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยติดตั้งกังหันลมขนาดเล็ก ซึ่งมีกำลังการผลิตไม่มากนัก สามารถใช้กันได้เพียงในครัวเรือน หรือติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่หรือทุ่งกังหันลม ซึ่งมีกำลังการผลิตมากขึ้นแล้วเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้า ดังนั้นจึงเป็นที่มาของโครงงานการออกแบบเชิงหลักการ ข้อเสนอแนะการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับประเทศไทย

ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีการออกแบบ หรือข้อกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ ดังนั้นทางผู้จัดทำโครงงานจึงนำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ และข้อเสนอแนะสำหรับการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ และสามารถเลือกชนิดของกังหันลม
2. เพื่อศึกษาระบบไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าพลังงานลม และการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า
3. เพื่อนำเสนอรูปแบบระบบที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ ทั้งการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า (Grid Connect) และการจ่ายไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ (Islanding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อศึกษาโหมดการควบคุมระบบ และเสนอแนะการควบคุมคุณภาพไฟฟ้า เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมหรือทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

สามารถเลือกชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ที่มีความเหมาะสมกับประเทศไทยได้

นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับการไฟฟ้า มี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า (Grid Connect) แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ เชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับการไฟฟ้า และเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับการไฟฟ้า รูปแบบการจ่ายไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ (Islanding) แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ เชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวแบบแยกตัวอิสระ เชื่อมต่อทุ่งกังหันลมแยกตัวอิสระ และเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดอื่น

สามารถเลือกโหมดการควบคุมระบบการทำงาน และสามารถพิจารณาเรื่องคุณภาพไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ได้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

การทำโครงงานนี้เป็นการศึกษาทฤษฎีและข้อมูลพื้นฐานต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับพลังงานลม
2. ศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมว่ามีชนิดใดบ้าง มีส่วนประกอบและหน้าที่ของแต่ละส่วนเป็นอย่างไร
3. ศึกษาระบบไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าพลังงานลม และการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า
4. นำเสนอรูปแบบของการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับระบบไฟฟ้าของประเทศไทย (Grid Connect) โดยแบ่งออกเป็น
    - การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับการไฟฟ้า
    - การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับการไฟฟ้า
5. นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่แบบแยกตัวอิสระ (Islanding) โดยแบ่งออกเป็น
    - การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวแบบแยกตัวอิสระ
    - การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมแยกตัวอิสระ
    - การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดอื่น
6. ศึกษาโหมดการควบคุมระบบการทำงาน และศึกษาข้อกำหนดการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าจากข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เสนอแนะการควบคุมระบบการทำงาน และการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าประเทศไทย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพลังงานทดแทนในรูปแบบของพลังงานลม ซึ่งในอนาคตประเทศไทยมีโอกาสที่จะนำพลังงานลมมาใช้จริง

2. สามารถนำความรู้จากการศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ไปวิเคราะห์และเลือกใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าให้เหมาะสมได้

3. สามารถออกแบบรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าได้

4. สามารถนำความรู้จากการศึกษาข้อกำหนดการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าไปวิเคราะห์และเลือกรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบไฟฟ้าที่ออกแบบไว้ทั้งแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า (Grid Connect) และแบบแยกตัวอิสระ(Islanding) ได้อย่างเหมาะสม

5. สามารถเสนอแนะการควบคุมระบบและการควบคุมคุณภาพไฟฟ้า เมื่อทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ โดยคุณภาพทางไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ที่มีมาตรฐานและไม่ส่งผลกระทบต่อระบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีลม

ลมเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกันจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า บริเวณที่อุณหภูมิสูงกว่าจะลอยตัวสูงขึ้น ความกดอากาศต่ำ ทำให้ความหนาแน่นลดลง อากาศบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และความกดอากาศสูง จะไหลเข้าไปชดเชยให้ความหนาแน่นเท่ากัน จึงทำให้มีลมเกิดขึ้นตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมขึ้นอยู่กับระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกันกับทิศทางของลม

รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมขึ้นอยู่กับระดับความสูง ที่ระดับความสูงต่ำความเร็วลมต่ำ และที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้นความเร็วลมก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากความหนาแน่นของบรรยากาศลดลง ซึ่งมีสมการคำนวณความเร็วลม ณ ระดับความสูงต่างๆดังนี้

$$V_x = V_f \left(\frac{h}{30}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (2.1)$$

เมื่อ V_x : ความเร็วลมที่ระดับความสูง ณ ระดับที่ต้องการทราบ

V_f : ความเร็วลมที่ระดับอ้างอิง

h : ความสูงเหนือพื้นดิน

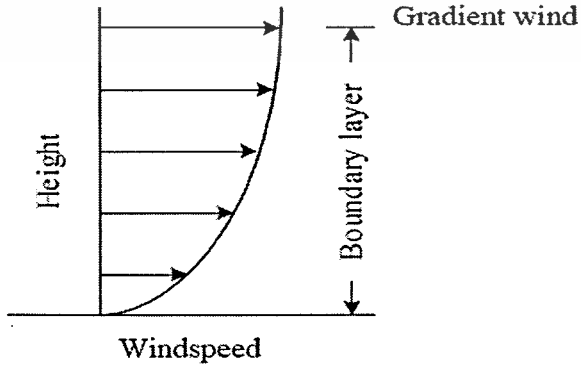
$\frac{1}{n}$: เป็นค่าประมาณของการเพิ่มกำลัง

ค่า n ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ

n = 7 ในกรณีที่พื้นที่เป็นที่โล่งแจ้งในชนบทในทุ่งนาหรือที่ภูมิประเทศเป็นคลื่นเล็กน้อย

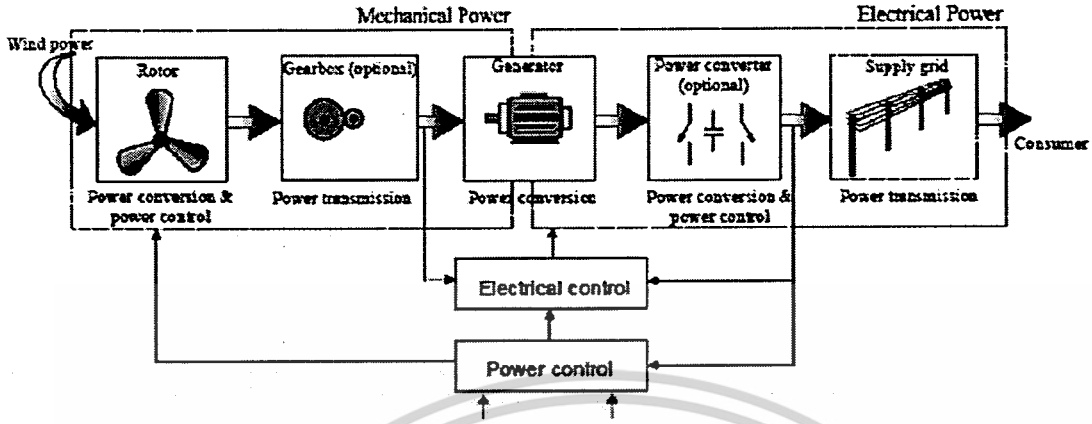
n = 5 ในกรณีที่พื้นที่เป็นคลื่นอย่างมากและมีสิ่งกีดขวาง

n = 3 ในกรณีที่พื้นที่รอบเมืองและใกล้รอบเมือง และพื้นที่เต็มไปด้วยสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 2.1 ความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะการทำงานของกังหันลม [4]

การนำพลังงานลมไปประยุกต์ใช้งาน เช่น กังหันลมจะเปลี่ยนพลังงานลมที่พัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลมซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกลโดยการหมุนของใบพัด แรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านแกนหมุนทำให้เฟืองเกียร์ที่ติดอยู่กับแกนหมุนเกิดการหมุนตามไปด้วย เมื่อเฟืองเกียร์ของกังหันลมเกิดการหมุนจะไปขับเคลื่อนให้แกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้หมุนตามไปด้วย ซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ด้วยหลักการนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ กังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับความเร็วลมและทิศทางของลม

2.2 กังหันลม (Wind Turbine)

ในทางทฤษฎีพลังงานที่ได้จากลมโดยผ่านทางกังหันลมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเพียง 59.3 เปอร์เซ็นต์ โดยกังหันลมแบบต่างๆนั้นจะให้กำลังงานออกมามากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ ขนาดและการออกแบบกังหันลม

2.2.1 ประเภทของกังหันลม (Type of Wind Turbine)

แบ่งออกตามลักษณะการจัดวางแกนของใบพัดได้ 2 รูปแบบ คือ

1. กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine (VAWT))

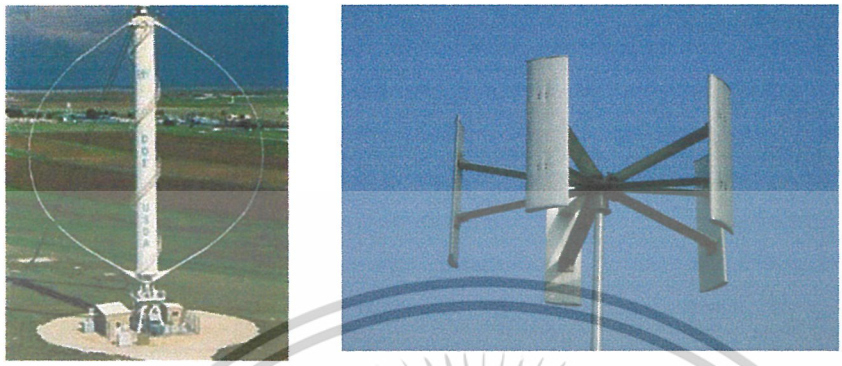
มี 2 แบบ คือ กังหันลมแดร์เรียส (Darrieus) และกังหันลมซาโวเนีย (Savonius) กังหันลมแนวตั้งมีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่ที่มีลมแรงมากๆ

2. กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT))

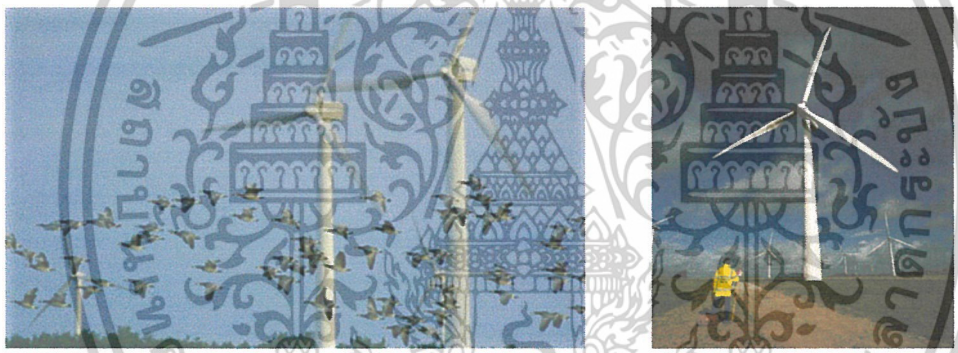
เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม กังหันลมแบบนี้ให้กำลังงานมากกว่าแบบแรกเมื่อเทียบขนาดเท่าๆกัน เพราะว่าแบบแนวแกนนอนมีพื้นที่หน้าตัดของส่วนรับลมมากกว่ากังหันลมแบบหมุนในแนวแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กังหันแบบนี้มีความซับซ้อนมาก ติดตั้งลำบากต้องหันตัวกังหันลมเข้าสู่ทิศทางที่ลมผ่าน ใบพัดมีลักษณะอยู่ในแนวตั้งยึดติดกับเดือยของแกนหมุนในแนวนอนจำนวนใบพัดมีตั้งแต่ 2 ใบขึ้นไป



รูปที่ 2.3 กังหันลมแบบแกนตั้ง [40]



รูปที่ 2.4 กังหันลมแบบแกนนอน [40]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ของกังหันลมแนวตั้งและกังหันลมแนวนอน

กังหันลมแนวตั้ง	กังหันลมแนวนอน
ข้อดี 1. รับลมได้ทุกทิศทาง ไม่จำเป็นต้องใช้หางเสือในการปรับทิศทาง 2. น้ำหนักที่ลงที่ฐานมีความสมดุลมากกว่า 3. เริ่มหมุนเองได้เมื่อความเร็วลมต่ำ 4. ระบบส่งกำลังทำได้ง่าย 5. ราคาถูก 6. เพิ่มแขนการหมุนได้ไม่จำกัด	ข้อดี 1. มีพื้นที่รับลมมากกว่าเมื่อมีน้ำหนักเท่ากัน 2. ประสิทธิภาพสูงกว่ากังหันลมแนวตั้ง 3. แรงบิดรอบแกนสูง 4. ความเร็วรอบมากกว่าเมื่อความเร็วลมเท่ากัน 5. ความเร็วรอบคงที่กว่า
ข้อเสีย 1. มีแรงต้านจากใบพัดที่ไม่ได้รับลม 2. ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ 3. ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำ	ข้อเสีย 1. ต้องปรับทิศทางของใบพัดให้เข้าหาทิศทางลม 2. การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับแกนหมุนทำได้ยาก

แบ่งตามการควบคุมความเร็ว (Speed control) ที่สามารถทำให้โรเตอร์ทำงานได้ 2 แบบ คือ

1. แบบความเร็วคงที่ (Fixed speed)

เป็นกังหันลมที่มีการกำหนดหรือจำกัดความเร็วของกังหันลมที่โรเตอร์ไว้ โดยความเร็วที่ถูกจำกัดนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่จากกริดที่มีการเชื่อมต่อกับกังหันลม และการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในกังหันลม ซึ่งจะถูกต่อโดยตรงเข้าสู่กริดผ่านซอฟท์สตาร์ทเตอร์ (Soft-starter) และ คาปาซิเตอร์แบงก์ (Capacitor bank) เพื่อลดกระแสพุ่งเข้า (Inrush current) จากการเริ่มทำงานของกังหันลม และชดเชยกำลังรีแอคทีฟ (Reactive power) โดยออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วโรเตอร์ค่าๆหนึ่งเท่านั้น ส่วนการเพิ่มกำลังการผลิตโดยการทำงานที่ความเร็วลมหลายค่านั้น สามารถทำได้โดยการพันขดลวด 2 ชุด คือ เมื่อความเร็วลมมีค่าต่ำจะใช้ขั้วแม่เหล็กประมาณ 8 ขั้ว และความเร็วลมที่มีค่าสูงจะใช้ขั้วแม่เหล็กประมาณ 4-6 ขั้ว

ข้อดี : สร้างง่าย มีความแข็งแรง มีความน่าเชื่อถือ และมีราคาถูก

ข้อเสีย : มีการดึงกำลังรีแอคทีฟ เกิดความเครียดทางกลและคุณภาพกำลังไม่ค่อยดี

2. แบบความเร็วไม่คงที่ (Variable speed)

เป็นกังหันลมที่มีการออกแบบทางพลศาสตร์ให้ทำงานที่ความเร็วลมหลายระดับอย่างต่อเนื่อง โดยการปรับค่าความเร็วของโรเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกังหันลมแบบความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงที่กับกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่มีความอิสระในการทำงานมากกว่าและมีกำลังผลิตมากกว่าที่ความเร็วลมเท่ากัน ทางด้านระบบไฟฟ้าจะมีความซับซ้อนมากกว่าเพราะมีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเข้ามาเป็นส่วนประกอบ

ข้อดี : เพิ่มกำลังที่ผลิตได้ มีคุณภาพของกำลังดีขึ้น และลดความเครียดทางกลบน กังหันลม

ข้อเสีย : ส่วนประกอบมากขึ้น ทำให้ราคาสูงขึ้น มีการสูญเสียที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

แบ่งย่อยตามการควบคุมกำลัง (Power control) ได้เป็น

1. การควบคุมแบบสทอล (Stall control หรือ Passive control)

การควบคุมแบบนี้ทำได้ง่ายและราคาถูก ใบพัดของกังหันลมจะยึดไว้ด้วยเกลียวลงบนดุมโรเตอร์ (Hub) ใบพัดไม่สามารถหมุนปรับองศาได้ ที่ความเร็วลมต่ำจะมีประสิทธิภาพต่ำ และไม่สามารถการเพิ่มแรงบิดเพื่อเริ่มหมุนช่วงที่เริ่มต้นทำงานได้

2. การควบคุมแบบพิทช์ (Pitch control หรือ Active control)

การควบคุมแบบนี้ใบพัดสามารถหมุนหรือปรับองศาได้ เพื่อให้ได้กำลังที่ออกมาเหมาะสมที่ความเร็วลมต่างกัน มีประสิทธิภาพในการควบคุมกำลังที่ดี เพิ่มแรงบิดทั้งในช่วงเริ่มต้นการทำงานและในกรณีหยุดฉุกเฉินได้สูง มีความซับซ้อนในการสร้างมากขึ้น

3. การควบคุมแบบแอคทีฟสทอล (Active stall control)

การควบคุมแบบนี้เมื่อมีความเร็วลมต่ำจะใช้การควบคุมแบบพิทช์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และเมื่อความเร็วลมสูงจะเปลี่ยนมาใช้การควบคุมแบบสทอลแทน ซึ่งทำให้การควบคุมแบบแอคทีฟสทอลนั้นให้กำลังที่สม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อเสียคือโครงสร้างซับซ้อนและมีราคาแพง

ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของชนิดของกังหันลม เมื่อใช้ทั้งการควบคุมความเร็วและการควบคุมกำลังเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา จากตารางสามารถอธิบายได้ว่า

ตารางที่ 2.2 ประเภทของกังหันลม [5]

Speed control		Power control		
		Stall	Pitch	Active stall
Fixed speed	Type A	Type A0	Type A1	Type A2
Variable speed	Type B	Type B0	Type B1	Type B2
	Type C	Type C0	Type C1	Type C2
	Type D	Type D0	Type D1	Type D2

หมายเหตุ : ช่องที่แรเงา หมายถึง ยังไม่มีการผลิตหรือนำมาใช้ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด A ความเร็วคงที่

เป็นกังหันลมที่มีความเร็วคงที่ ซึ่งใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Asynchronous squirrel cage induction generator (SCIG)) เชื่อมต่อโดยตรงเข้ากับกริดผ่านทางหม้อแปลง รูปที่ 2.5 แต่เนื่องจาก SCIG จะดึงกำลังรีแอคทีฟจากกริด ดังนั้นจึงต้องติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงก์เพื่อชดเชยกำลังรีแอคทีฟที่ถูกดึง และมีการใช้ซอฟท์สตาร์ท (soft-starter) เพื่อลดกระแสไม่พึงประสงค์ ช่วยให้การเชื่อม ต่อกับกริดราบเรียบขึ้น ข้อเสียของกังหันลมชนิดนี้คือ ไม่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงความเร็วได้ คือมีช่วงการทำงานที่ความเร็วลมระดับต่างๆแคบ ต้องการระบบที่มีเสถียรภาพ และโครงสร้างของกังหันลมต้องสามารถทนต่อความเครียดทางกลสูงๆได้

ชนิด B ความเร็วไม่คงที่แบบออปติสลิป

ชนิดนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์ (wound rotor induction generator (WRIG)) ซึ่งที่โรเตอร์จะมีความต้านทานปรับค่าได้หรือที่เรียกกันว่าออปติสลิป (Optislip) เครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้เชื่อมต่อเข้าโดยตรงกับกริด จะมีคาปาซิเตอร์แบงก์เพื่อชดเชยกำลังรีแอคทีฟ และมีการใช้ซอฟท์สตาร์ท ลักษณะเฉพาะของชนิดนี้คือ สามารถควบคุมความต้านทานของโรเตอร์ได้โดยการปรับค่าความต้านทานโรเตอร์จากภายนอกที่ต่อกับขดโรเตอร์ โดยเมื่อค่าความต้านทานของโรเตอร์เปลี่ยนแปลงจะสามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ได้ ซึ่งช่วงของการควบคุมความเร็วขึ้นอยู่กับขนาดของความต้านทานที่เปลี่ยนค่าได้ของโรเตอร์ ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายของสลิปริง ที่ต้องมีแปรงถ่านและค่าบำรุงรักษา และเป็นการควบคุมค่าสลิป แต่การปรับค่าสลิปทำได้เพียงเล็กน้อย นั่นคือจะสามารถควบคุมกำลังได้ แต่จะมีการสูญเสียจากความร้อนที่เกิดขึ้นที่ออปติสลิป

ชนิด C ความเร็วไม่คงที่แบบดับบลิเฟด

ชนิดนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบดับบลิเฟด (doubly-fed Induction generator (DFIG)) จะมีลักษณะเหมือนกับกังหันลมชนิดความเร็วไม่คงที่แบบออปติสลิปซึ่งจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์และมีการใช้คอนเวอร์เตอร์ (partial scale frequency converter) ที่มีขนาดประมาณ 30% ของพิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ชดเชยกำลังรีแอคทีฟและทำให้การเชื่อมต่อกับกับกริดราบเรียบขึ้น และมีช่วงของการควบคุมความเร็วที่กว้างกว่าออปติสลิป ชนิดนี้มีข้อเสียคือ ต้องมีการใช้สลิปริง และต้องมีการป้องกันในกรณีที่กริดเกิดฟอลต์

นอกจากนั้นยังสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าได้โดยควบคุมกระแสที่ไหลเข้าโรเตอร์ กระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์สามารถไหลได้สองทิศทางคือ ไหลจากระบบไฟฟ้าไปยังโรเตอร์หรือไหลจากโรเตอร์ไปยังระบบไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความเร็วของโรเตอร์ ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าที่โรเตอร์และสเตเตอร์ของกังหันลมชนิด C [46]

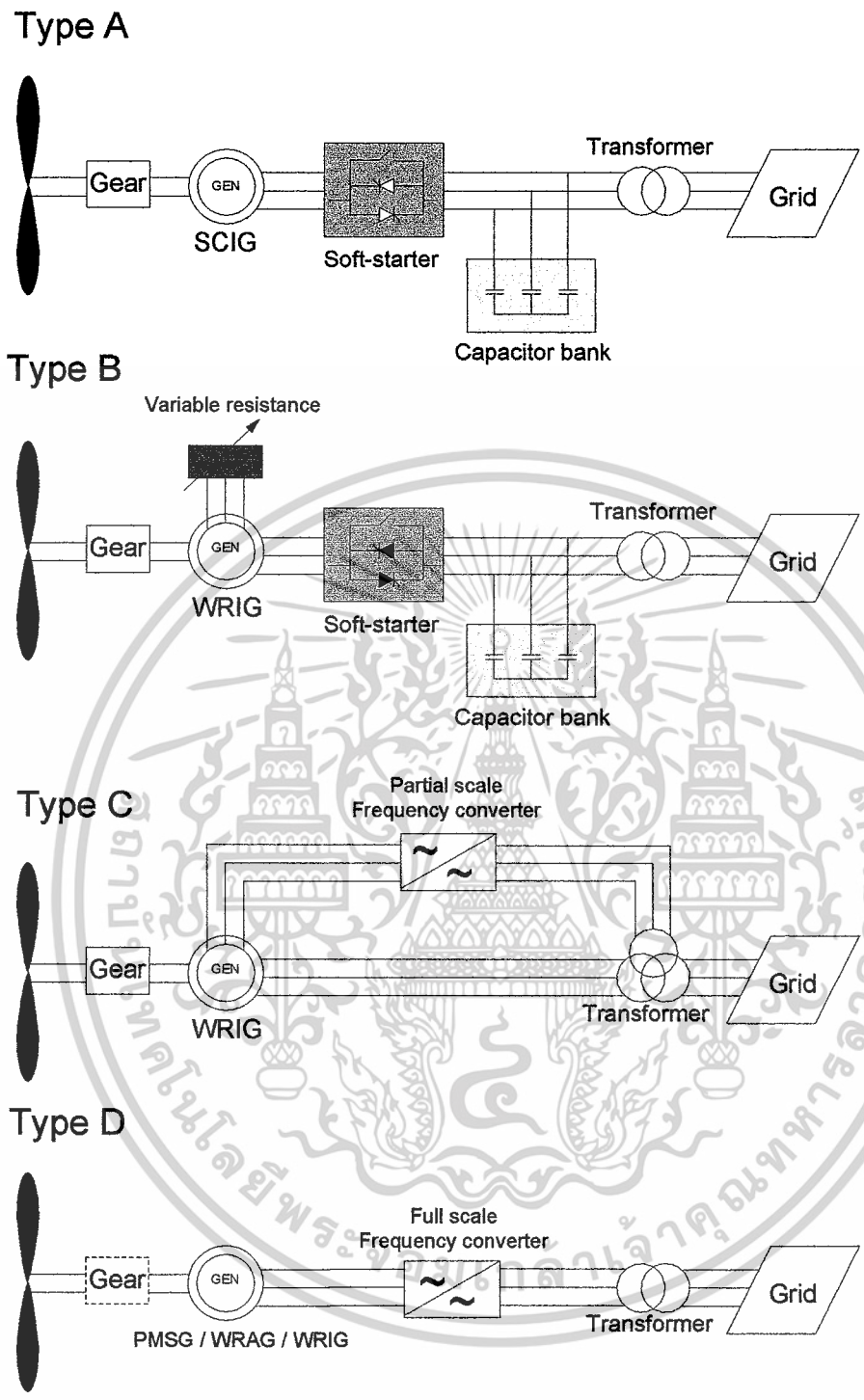
		Motor Operation (supplies mechanical torque)	Generator Operation (receives mechanical torque)
Subsynchonous $n<n_s$; $s>0$	P_S P_R	Rotor ⟶ grid(or dissipation) Grid ⟶ stator	Stator ⟶ grid Grid ⟶ rotor
supersubsynchonous $n>n_s$; $s<0$	P_S P_R	Grid ⟶ stator Grid ⟶ rotor	Stator ⟶ grid Rotor⟶ grid(or dissipation)

ชนิด D ความเร็วไม่คงที่แบบกำลังไฟฟ้าทั้งหมดผ่านคอนเวอร์เตอร์

ชนิดนี้จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ากับกริดผ่านคอนเวอเตอร์แบบเต็มพิกัด (full-scale frequency converter) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบวาวด์โรเตอร์ (wound rotor synchronous generator (WRSG)), เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์ (WRIG) หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร (permanent magnet synchronous generator (PMSG))

ในบางระบบของการควบคุมกังหันลมชนิดนี้ ไม่จำเป็นต้องมีชุดเกียร์ (แสดงดังรูป 2.5 โดยใช้เส้นประ) ในกรณีนี้ จะต้องใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีหลายขั้วซึ่งจะทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงประเภทของ **wind turbine [5]**

หมายเหตุ : **SCIG = squirrel cage induction generator, WRIG = wound rotor induction generator, PMSG = permanent magnet synchronous generator, WRSG = wound rotor synchronous generator เส้นประที่ gearbox ของ Type D คือ อาจจะมีหรือไม่มี gearbox ก็ได้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ส่วนประกอบของกังหันลม

1. ใบพัด (Blades)

เป็นตัวรับพลังลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล ซึ่งยึดติดกับชุดแกนหมุนและส่งแรงจากแกนหมุนไปยังเพลาแกนหมุน ในการผลิตไฟฟ้าเป็นงานที่ต้องการความเร็วรอบสูง กังหันลมต้องมีจำนวนใบพัดน้อยๆ ปกติกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะมี 2-3 ใบ กังหันลมแบบสองใบจะมีการหมุนที่ไม่ราบรื่นนัก กังหันแบบสามใบมีข้อดีมากกว่าแบบสองใบพัด คือ สมดุลกว่า ให้การหมุนของแกนกังหันที่ราบรื่นทำให้ได้กำลังออกมาคงที่กว่า ให้ความสวยงามมากกว่าในด้านของรูปลักษณ์ มีเสียงดังรบกวนน้อยกว่า แต่มีข้อเสียคือ มีน้ำหนักมาก ทำให้ต้องการโครงสร้างรองรับที่แข็งแรง ซึ่งส่งผลถึงงบประมาณการลงทุน

กำลังที่ได้ออกมาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่รับลม (swept area of blades) นั่นคือขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด (rotor diameter) และขึ้นอยู่กับสภาพของลมด้วย รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกับกำลังของกังหันลม จะเห็นว่าถ้าต้องการกำลังมากขึ้น ใบพัดก็ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย

2. โรเตอร์ (Rotor)

คือส่วนที่หมุนได้ทั้งหมดของกังหันลมประกอบด้วย ใบพัด ชุดเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. ตัวปรับใบพัด (Pitch)

คือส่วนของตัวปรับใบพัดให้มีมุมที่เหมาะสมกับความเร็วลม และรักษาความเร็วในการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมเมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลง

4. เบรก (Brakes)

เป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมการหยุดหมุนของโรเตอร์ เมื่อเกิดสภาวะฉุกเฉิน เช่น ได้รับความเร็วลมเกินพิกัด และในระหว่างการซ่อมแซม หรือ บำรุงรักษากังหันลม

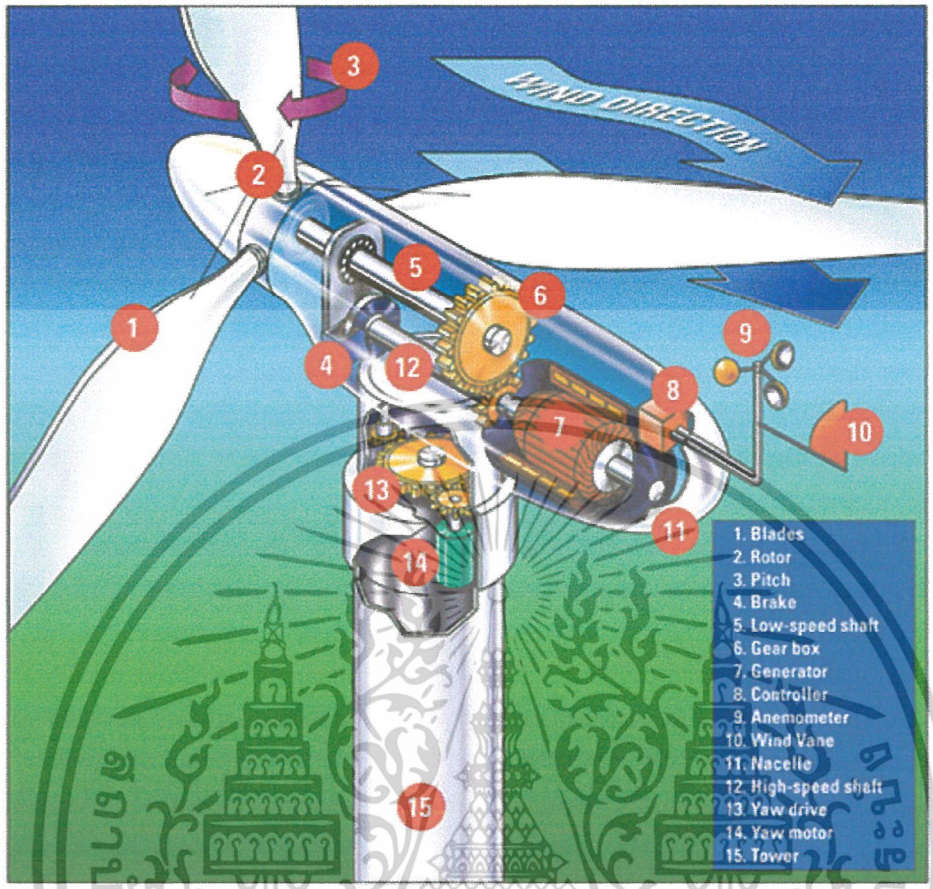
5. เพลาแกนหมุน (Shaft)

เป็นส่วนรับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านระบบกำลัง เพื่อหมุนและปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

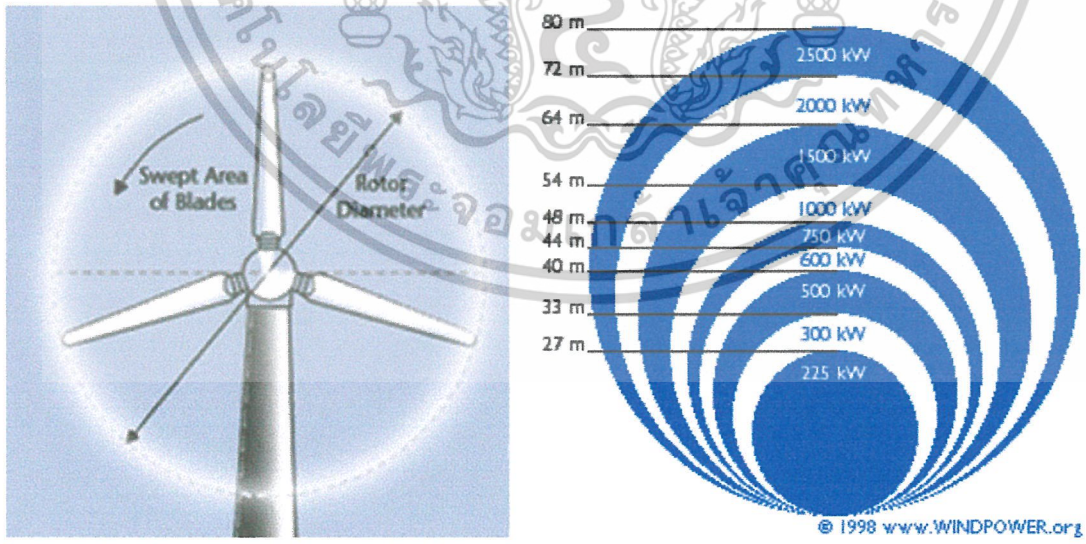
เพลาแกนหมุนความเร็วต่ำ (Low-speed shaft) เป็นเพลาซึ่งรับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านระบบกำลังเพื่อหมุนและปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยความเร็วของเพลาจะเป็นความเร็วรอบต่ำ ซึ่งแกนของเพลาจะต่อเข้ากับชุดเกียร์ เพื่อปรับให้ความเร็วรอบของเพลาที่ต่อไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีความเร็วรอบที่สูงขึ้น

เพลาแกนความเร็วสูง (High-speed shaft) เป็นเพลาที่ต่อไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะต่อจากชุดเกียร์ซึ่งเพลานี้จะมีความเร็วเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้า [42]



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกับกำลังของกังหันลม [41]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ชุดเกียร์ (Gear box)

ชุดเกียร์จะเชื่อมต่อระหว่างเพลาแกนหมุนความเร็วต่ำและเพลาแกนหมุนความเร็วสูง ทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบของเพลาแกนหมุนช้าให้มีความเร็วสูงขึ้น เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานได้ตามความถี่ที่พิกัดปกติ แต่ชุดเกียร์ เป็นส่วนที่มีราคาแพงและเป็นส่วนที่มีน้ำหนักมาก ดังนั้นจึงมีความพยายามในการออกแบบกังหันลมให้ไม่มีชุดเกียร์นี้

7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต่อกับเพลาของกันหันลม เมื่อกังหันลมหมุนจะทำให้โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนด้วย และจะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา ซึ่งจะสามารถผลิตได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของลมในแต่ละจุดที่ติดตั้ง

ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในกังหันลม

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ(Induction generator) แบ่งเป็น
   - Squrirrel cage induction generator (SCIG)
   - Wound rotor induction generator (WRIG) ซึ่งมี 2 แบบ คือ OptiSlip induction generator (OSIG) และ Doubly-fed induction generator (DFIG)
2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส(Synchronous generator) แบ่งเป็น
   - Wound rotor Synchronous generator (WRSG)
   - Permanent magnet Synchronous generator (PMSG)
3) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดอื่นๆ เช่น High-voltage generator (HVG), Switch reluctance generator (SRG), Transverse flux generator (TFG)

8. ตัวควบคุม (Controller)

ตัวควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกังหันลมจะควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้าหาทิศทางลมตลอดเวลา ควบคุมให้เริ่มทำงานอัตโนมัติและหยุดทำงานอัตโนมัติที่ความเร็วลมสูงเกินเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย

9. ตัววัดความเร็วลม (Anemometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลม และส่งข้อมูล ไปที่ตัวควบคุมเพื่อประมวลผลและปรับการทำงานของกันหันลมให้สัมพันธ์กับความเร็วลม

10. อุปกรณ์วัดทิศทางลม (Wind Vane)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดหาทิศทางลม และส่งข้อมูลไปที่ตัวควบคุมเพื่อประมวลผลและสั่งให้อุปกรณ์ขับตัวกังหันลมกำหนดทิศทางของใบกังหันให้เคลื่อนที่สัมพันธ์กับทิศทางลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ห้องเครื่อง (Nacelle)

เป็นส่วนของฝาครอบอุปกรณ์ต่างๆของกังหันลม เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชุดเกียร์ เพลาแกนหมุน เป็นต้น เพื่อป้องกันอุปกรณ์เหล่านี้ไม่ให้เกิดความเสียหายที่เกิดจากสภาพแวดล้อมรอบตัวกังหันลม และภายนอกเป็นที่ติดตัววัดความเร็วลมและอุปกรณ์วัดทิศทางลม กังหันลมขนาดใหญ่ภายในห้องเครื่องช่างเทคนิคและวิศวกรสามารถเข้าไปทำงานได้

12. แกนคอหมุนรับทิศทางลม (Yaw drive)

เป็นอุปกรณ์ขับตัวกังหันลม ควบคุมการหมุนของห้องเครื่อง ให้หันหน้าเข้าหาทิศทางลมที่ถูกต้อง เมื่อทิศทางลมเปลี่ยนไป แกนคอหมุนจะหมุนตามทิศทางลมที่เปลี่ยนไป

13. มอเตอร์ขับ (Yaw motor)

เป็นมอเตอร์ที่ไว้ขับแกนคอหมุน (Yaw drive)

14. เสา (Tower)

เป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องที่อยู่ข้างบน เสาของกังหันลมขนาดใหญ่อาจจะเป็นแบบท่อเหล็กตรง (Tubular Steel Towers), แบบโครงเหล็กถัก (Lattice Towers) หรือแบบเสาคอนกรีตก็ได้ สำหรับกังหันลมขนาดขนาดใหญ่นั้นโดยปกติเสาจะมีความยาวประมาณ 1-1.4 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด

2.3 ทุ่งกังหันลม (Wind farm)

กังหันลมเพียงตัวเดียว จะสามารถผลิตพลังงานได้ปริมาณหนึ่ง แต่เมื่อมีความต้องการทางด้านพลังงานเพิ่มขึ้นจึงได้มีการนำกังหันลมหลายๆตัวมาติดตั้งร่วมกันกลายเป็นทุ่งกังหันลมเพื่อร่วมกันผลิตพลังงานให้ได้สูงขึ้น เมื่อมีกังหันลมหลายตัวก็สามารถที่จะต่อกังหันลมเข้ากับระบบส่งจ่ายแบบไฟฟ้าแรงสูงได้ แต่การทำแบบนี้ต้องคำนึงถึงกำลังการผลิตโดยรวมของระบบว่าต้องการพลังงานมากขนาดไหนรวมทั้งต้องศึกษาผลกระทบต่างๆที่จะเกิดขึ้นด้วย
ขั้นตอนการเตรียมการในการสร้างทุ่งกังหันลมนั้นได้มีข้อกำหนดคือ

1. ขั้นตอนเบื้องต้น คือ การหาทำเลที่ตั้ง
2. การหาวิธีหรือเทคนิคที่มีความประหยัด
3. ต้องสอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม สังคม และถูกต้องตามกฎหมาย
4. การกำหนดสถานที่ก่อสร้าง และทำการก่อสร้าง

ขั้นแรกในการพัฒนาทุ่งกังหันลมคือ การหาพื้นที่ติดตั้งที่มีความเหมาะสมคือมีความเร็วลมสูงเหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้า บริเวณที่มีความเหมาะสมในการสร้างทุ่งกังหันลมคือต้องเป็นพื้นที่ที่มีความกว้างขวาง ส่วนของข้อมูลของความเร็วลม สามารถหาได้จากสถานีตรวจอากาศของท้องถิ่น หรือจากกรมอุตุนิยมวิทยา ความเร็วลมของสถานที่สร้างทุ่งกังหันลมต้องมีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 3 m/s

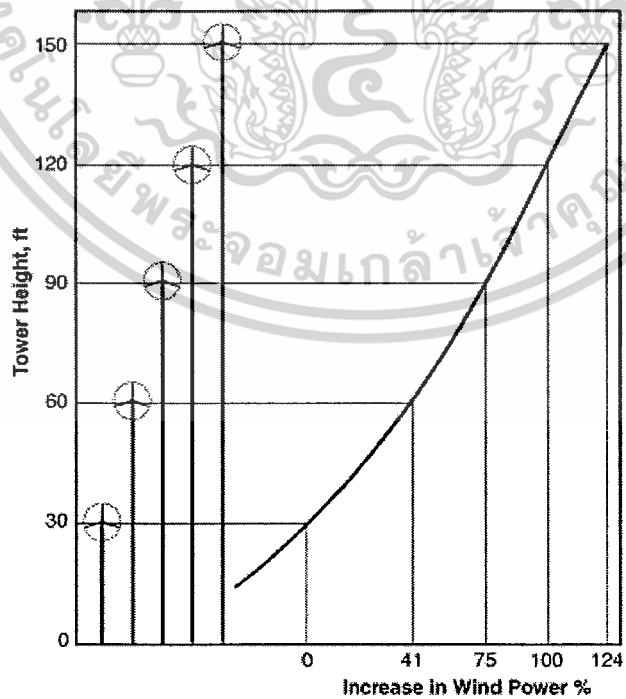
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันสถานที่ตั้งของทุ่งกังหันลมมีอยู่ 3 แบบ

1. บนชายฝั่ง โดยทุ่งกังหันลมจะตั้งอยู่บนเนินเขา หรือสันเขาที่ห่างจากแนวชายฝั่ง 3 กิโลเมตร หรือมากกว่านั้น
2. ใกล้ชายฝั่ง โดยทุ่งกังหันลมจะติดตั้งอยู่ในระยะ 3 กิโลเมตรจากแนวชายฝั่ง หรือติดตั้งในทะเลที่ระยะไม่เกิน 10 กิโลเมตรจากฝั่ง
3. นอกชายฝั่ง จะติดตั้งทุ่งกังหันลมให้ไกลจากชายฝั่งออกไป 10 กิโลเมตร หรือมากกว่านั้น ทุ่งกังหันลมขนาดใหญ่มักจะติดตั้งที่บริเวณนี้

โดยต้องอาศัยข้อมูลที่มีอยู่เพื่อประเมินศักยภาพของสถานที่ที่ติดตั้ง ทำการวิเคราะห์ที่ถูกต้องตามที่ต้องการ จะต้องมีการวิเคราะห์เก็บข้อมูลธรรมชาติของลม ณ สถานที่ที่เราต้องการ โดยการวัดปริมาณลม จะต้องทำการวัดในบริเวณจุดศูนย์กลางของใบพัดบนกังหันลม โดยการติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลมหลายๆเครื่องในระดับความสูงที่แตกต่างกัน เพื่อจะได้ข้อมูลไปวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง การเก็บข้อมูลของความเร็วลมในสถานที่ติดตั้งจะติดตามอย่างน้อย 6 เดือน อาจจะใช้เวลาเก็บข้อมูลเพิ่มเป็น 1 ปี หรือมากกว่านั้น

นอกจากปริมาณลมที่สถานที่ติดตั้งแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่ต้องพิจารณา เช่น ทางต่อเข้ากริด โครงสร้างของสายส่ง ระบบจำหน่าย และการต่อลงดิน ที่มีอยู่ในพื้นที่นั้นๆ เป็นต้น ถ้าเป็นพื้นที่มีตึกสูง สิ่งที่ปลูกสร้างหรือสิ่งกีดขวางอย่างอื่น จะทำให้มีความเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมต่อความสูงเหนือระดับพื้นดิน จะมีค่ามากกว่าในกรณีที่เป็นที่ราบ หรือ ถ้าลมพัดผ่านเนินหรือหุบเขาแคบๆ จะทำให้กระแสลมที่มีความเร่งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกังหันลมกับพลังงานลมที่เพิ่มขึ้น[44]

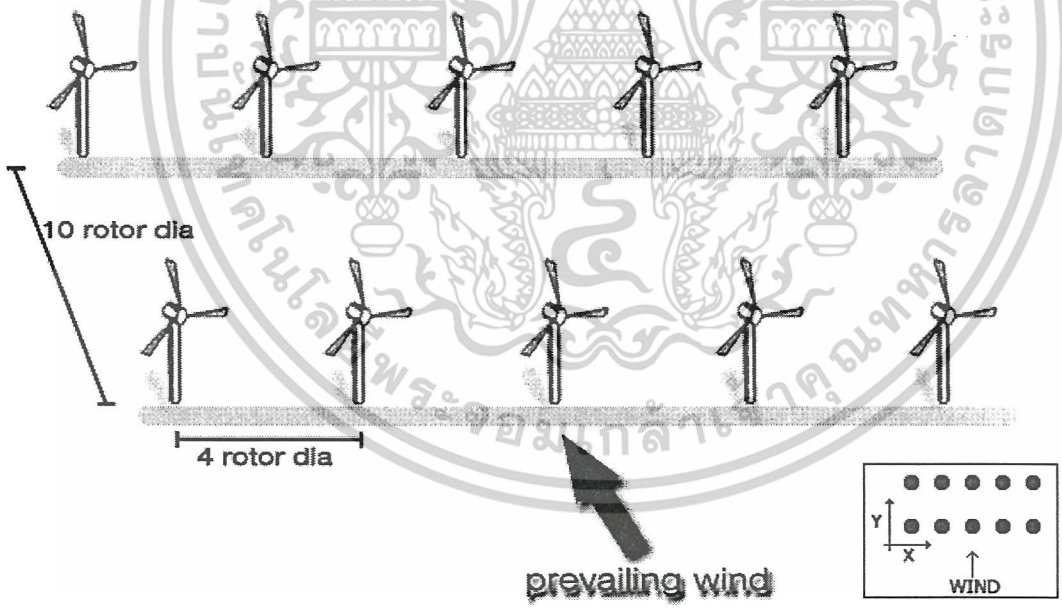
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ ถนน เพราะต้องขนย้ายกังหันลมและส่วนประกอบที่มีขนาดใหญ่ เข้าไปยังพื้นที่ติดตั้ง และต้องมีการคิดด้านเศรษฐศาสตร์ของการเกิดพลังงานลม ณ พื้นที่ที่ที่ตั้งเพิ่มเติมด้วย

นอกจากนี้ ควรจะมีการพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมและผลกระทบที่เกี่ยวข้อง เช่น ปัญหาเกี่ยวกับนก ระดับเสียงของกังหันลมขณะทำงานและปัจจัยด้านระบบนิเวศ เป็นต้น

เมื่อติดตั้งกังหันหลายๆตัวอยู่ด้วยกัน การเปลี่ยนแปลงของลมเนื่องจากการหมุนของใบพัดของกังหันลมตัวหนึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อกังหันลมที่ติดตั้งอยู่ใกล้เคียง ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบของโรเตอร์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลมเมื่อผ่านมาจากกังหันลมที่อยู่ข้างหน้า ควรมีการจัดตำแหน่งของกังหันลม คือ ที่ติดตั้งในแถวเดียวกันระยะห่างจากกังหันเป็น 3-4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของลมที่พัด และระยะห่างระหว่างแถวเป็น 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์ เพื่อว่ากำลังของลมที่ผ่านกังหันลมตัวหนึ่งฟื้นฟูก่อนที่จะมีผลกระทบกับกังหันลมตัวถัดไป พื้นที่ในการติดตั้งนี้อาจจะเพิ่มขึ้นได้เพื่อการทำงานที่ดีขึ้น แต่อาจจะมีราคาแพงขึ้นเนื่องจากต้องใช้พื้นที่ติดตั้งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่าง layout ของทุ่งกังหันลม [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104266

ระยะห่าง (clearance) ออกจากถนน (ทั้งเรื่องของความสูงของกังหันลมและเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์) และระยะห่างที่ปลอดภัยจากกังหันลมที่ตั้งอยู่ทั้ง 2 ด้าน สามารถคำนวณความกว้างของแถวในสถานที่ติดตั้งได้

จำนวนของกังหันลมใน 1 แถว

$$N_{TR} = \frac{L_R}{S_R} + 1 \qquad (2.2)$$

เมื่อ N_{TR} คือ จำนวนของกังหันลมต่อ1 แถว

L_R คือ ความยาวของแถว

S_R คือ ระยะระหว่างแถว

ถ้ากำหนดให้ P_F คือ ปริมาณกำลังทั้งหมดของทุ่งกังหันลม และ P_T คือพิกัดกำลังของกังหันลม 1 ตัว ดังนั้นสามารถหาจำนวนของกังหันลมที่จะใช้ติดตั้งทั้งหมดได้จาก

$$N_T = \frac{P_F}{P_T} \qquad (2.3)$$

เมื่อ N_T คือ จำนวนของกังหันลมที่ใช้ในการติดตั้งทั้งหมดในทุ่งกังหันลม

เพราะฉะนั้น จำนวนของแถวทั้งหมดคือ

$$N_R = \frac{N_T}{N_{TR}} \qquad (2.4)$$

เมื่อ N_R คือ จำนวนของแถวทั้งหมดที่ใช้ในการติดตั้งกังหันลมในทุ่งกังหันลม

ถึงแม้ว่าการคำนวณด้านบนนั้นจะสามารถบอกถึงการวางตำแหน่งของกังหันลมในทุ่งกังหันลมได้ แต่ในทางปฏิบัติ การวางตำแหน่งขั้นสุดท้ายของกังหันลมแต่ละตัวในสถานที่ติดตั้งก็ขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย เช่น ลักษณะและขนาดของพื้นที่ โครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่ และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าพลังงานลมและการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า

3.1 การออกแบบระบบรวบรวม (Collection System Design)

ในระบบไฟฟ้าจะต้องจัดเตรียมการเก็บเอาท์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและส่งผลรวมที่ได้ไปยังจุดเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้า (Electric utility interconnection point) บรรยายใน 3.6.1 ระบบรวบรวม (Collection System Design) ยังรวมถึงแหล่งกำเนิดของการเริ่มดำเนินการ (start-up) และกำลังสำรองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว หรือที่ตั้งของภาระทางไฟฟ้าอีกด้วย รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่างทุ่งกังหันลมกับระบบรวบรวม

การตัดการเชื่อมต่อควรจะมีการจัดเตรียมไว้สำหรับระบบรวบรวมส่วนอื่นๆที่มีการกล่าวถึงใน ANSI/NFPA 70-1990[16] ในส่วนของโหลดเกินและระบบป้องกันการลัดวงจรควรจะเตรียมไว้เพื่อป้องกันตัวนำและอุปกรณ์ โดยการลดความรุนแรงจากฟอลต์ต่อส่วนที่สำคัญกับระบบไฟฟ้าและให้ระบบยังคงอยู่ได้เมื่อเกิดฟอลต์

3.1.1 ระดับแรงดัน (Voltage Level)

โดยปกติระบบรวบรวมจะแยกระหว่างระบบแรงดันต่ำกับระบบแรงดันปานกลางอย่างชัดเจน ระบบแรงดันต่ำจะเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเพียงตัวเดียวหรือมากกว่านั้นกับหม้อแปลง ซึ่งหม้อแปลงจะทำหน้าที่แปลงแรงดันต่ำเป็นแรงดันระดับปานกลาง จากระดับแรงดันปานกลางนี้เชื่อมต่อกับสายส่ง โดยผ่านหม้อแปลงเพื่อเพิ่มแรงดันจากแรงดันระดับปานกลางเป็นแรงดันสูง ณ สถานีไฟฟ้า

ระดับแรงดันของระบบรวบรวมควรจะเลือกโดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อที่จะทำให้ราคาของอุปกรณ์ต่ำที่สุด โดยปกติระดับแรงดันควรจะเลือกจาก ANSIC84.1-2006[15]

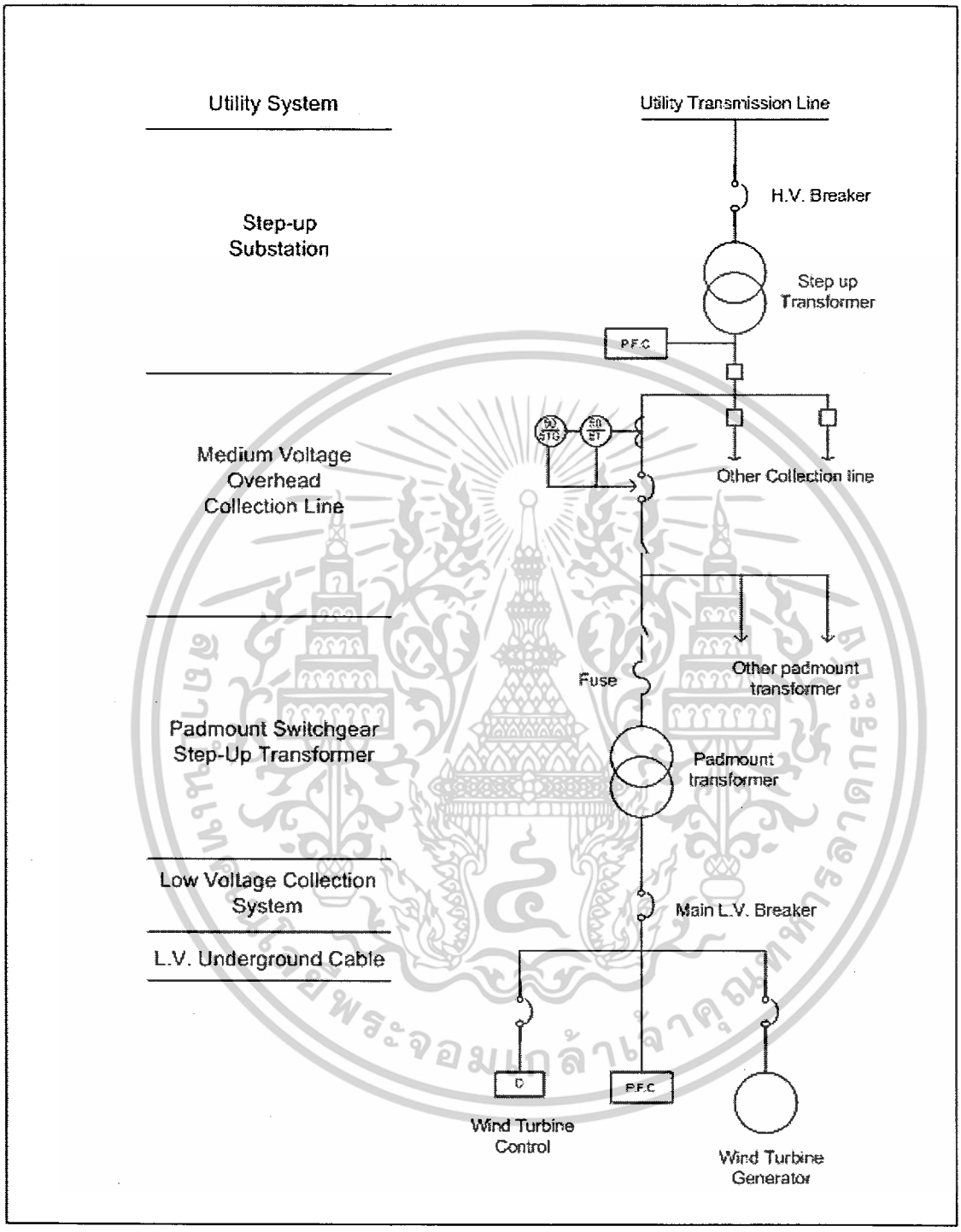
เมื่อมีการถ่ายเทพลังงานระดับแรงดันจริง (Actual voltage) ของระบบรวบรวมจะเปลี่ยนแปลงไปจากระดับแรงดันปกติ การเปลี่ยนของแรงดันนี้อาจส่งผลกับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

3.1.2 ตัวนำ (Conductors)

การใช้สายเคเบิลใต้ดินเป็นแบบอย่างของระบบรวบรวมแรงดันต่ำ ระบบแรงดันปานกลางเป็นการรวมระหว่างตัวนำใต้ดินและตัวนำเหนือศีรษะ เมื่อเดินสายขึงอากาศต้องพิจารณาระยะห่างระหว่างสาย และอุปกรณ์ต่างๆด้วย เพื่อป้องกันการเบรกดาวน์

ระบบสายเคเบิลใต้ดินสามารถฝังลงไปโดยตรง ติดตั้งในท่อ (Conduit) หรือติดตั้งในท่อร้อยสายดินหุ้มคอนกรีต (concrete-encased duct bank) สายตัวนำนิวทรัลควรติดตั้งในแต่ละระบบรวบรวม สายนิวทรัลนี้เป็นทางเดินกลับของกระแสฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่างทุ่งกังหันลมกับระบบรวบรวม [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การไหลของกำลังไฟฟ้าและการรับโหลดของอุปกรณ์ (Power flow and Equipment Loading)

3.2.1 การไหลของกำลัง (Power Flow)

เมื่อกังหันลมสามารถใช้งานได้ กำลังจริงจะไหลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังการไฟฟ้าเมื่อเอาท์พุทจากกังหันลมมากพอและพร้อมจ่ายโหลด เมื่อกังหันลมไม่ทำงานหรืออยู่ในโหมดการเริ่มดำเนินการ (start-up) กำลังจากระบบจะถูกใช้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มอเตอร์ กำลังสูญเสียของหม้อแปลง และสนับสนุนทุ่งกังหันลม กล่าวคือกังหันลมบางชนิดจะดึงกำลังจากระบบรวบรวมเพื่อที่จะเพิ่มความเร็วให้กังหันลมถึงความเร็วในช่วงการทำงาน นี่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการไหลเข้าของกำลังจากระบบหรือจากกังหันลมตัวอื่น การไหลของกำลังรีแอคทีฟ (reactive power) พิจารณาได้จากชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ซิงโครนัสหรืออินดักชั่น) ตัวเก็บประจุในระบบและระดับการกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส โดยทั่วไปกังหันลมส่วนใหญ่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่นซึ่งมีตัวเก็บประจุต่ออยู่ด้วย ความต้องการกำลังรีแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับกำลังเอาท์พุทของตัวมันเอง ในขณะที่การจ่ายกำลังรีแอคทีฟของตัวเก็บประจุคงที่ โดยสมมติให้แรงดันคงที่ การรวมกันของสิ่งเหล่านี้อาจทำให้เกิดผลกับกำลังรีแอคทีฟที่ไหลจากระบบเข้าสู่ทุ่งกังหันลมหรือไหลจากทุ่งกังหันลมเข้าสู่ระบบ

3.2.2 การพิจารณาการรับโหลดของอุปกรณ์ (Equipment Loading Considerations)

ส่วนประกอบสำคัญหลายอย่างควรนำมาพิจารณาในเรื่องข้อจำกัดความสามารถของอุปกรณ์โหลด ขั้นแรกค่ามากที่สุดของเอาท์พุทของกังหันลมควรจะประมาณจากพิกัดของกังหันลม (หรือกำลังจริง) เพื่อให้เป็นพื้นฐานสำหรับการหาค่าการรับภาระของอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอื่นๆ ขั้นที่สองอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมและการพัดของลมควรจะถูกนำมาพิจารณาสำหรับการรับภาระและการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ หรืออาจจะอนุญาตให้เพิ่มการรับภาระได้เนื่องจากการระบายความร้อนของหม้อแปลง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสายขึงอากาศเช่นเดียวกับต้องลดพิกัดรับภาระลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หม้อแปลงควรจะจัดไว้ในตำแหน่งที่ลมพัดผ่านสะดวก พัดลมระบายความร้อนควรตั้งในทิศทางที่ไม่ต้านทิศทางลม ในทางเศรษฐศาสตร์ควรจะพิจารณาการรับภาระและการเลือกอุปกรณ์

3.3 ระบบป้องกัน (System Protections)

การป้องกันภายในระบบรวมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่เชื่อมต่ออยู่นั้นคล้ายกับหลักการป้องกันระบบและระบบอุตสาหกรรมที่ระดับแรงดันเดียวกัน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การไหลของกระแสฟอลต์ (Fault Current Flow)

แหล่งกำเนิดของกระแสฟอลต์ประกอบด้วยระบบและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม ในกรณีที่เกิดขึ้นบ่อยระบบเครือข่ายจะสนับสนุนกระแสฟอลต์เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่น เมื่อถูกติดตั้งกับตัวเก็บประจุแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power-factor Correction) การสนับสนุนกระแสฟอลต์จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีขนาดไม่รุนแรงและช่วงเวลาสั้นลง โดยส่วนใหญ่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่นไม่ได้ต่อสายดินซึ่งจะทำให้ไม่มีกระแสลำดับศูนย์ (Zero-sequence) ในกระแสฟอลต์

โดยปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจะต่อแบบสตาร์ (wye connect) และถ้าต่อสายดินจะสามารถสนับสนุนกระแสลำดับบวก(positive sequence), กระแสลำดับลบ (negative sequence) และกระแสลำดับศูนย์(zero sequence) เหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสทั่วไป แนะนำเทคนิคสำหรับการวิเคราะห์กระแสฟอลต์ IEEE Std 399-1997 [35]

3.3.2 การตัดกระแสฟอลต์และพิกัดชั่วขณะ (Fault Interruption and Momentary Ratings)

การศึกษาฟอลต์ของระบบควรจะดำเนินการตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในระบบทั้งหมดควรจะมีพิกัดที่ทนทาน ถ้าต้องการคำนวณกระแสฟอลต์ที่เกิดในระบบ IEEE C37.010-1979 (Reaff.1997) [36], IEEE Std 141-1986 [37] และ IEEE Std 242-2001[38]

3.3.3 การร่วมกันป้องกันอุปกรณ์ (Protective Device Coordination)

การศึกษาการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันควรจะศึกษาทั้งหมดภายในระบบไฟฟ้า รวมถึงการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า การตั้งค่ารีเลย์ควรตั้งค่าให้เหมาะสมกับการทำงานของระบบ การตั้งค่าต้องมีการคำนวณและเลือกค่าที่เหมาะสม รีเลย์ควรจะมีการทดสอบซ้ำและควรจะมีการปรับตั้งค่าให้ถูกต้องตามมาตรฐาน IEC 61400-1 [19]

3.3.4 ลำดับเฟสและการหายของเฟส (Phase Sequence and Single Phasing)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมต่อและการตรวจสอบลำดับเฟส (phase sequence) ของกังหันลมแต่ละตัว กังหันลมอาจเกิดความเสียหายถ้าลำดับเฟสไม่ถูกต้อง สำหรับการป้องอาจมีการใช้รีเลย์ลำดับเฟส

การหายของเฟส อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ 3 เฟส กังหันลมแต่ละตัวควรมีอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถตรวจสอบการหายไปของเฟสใดเฟสหนึ่งได้

3.3.5 การหยุดทำงาน (Wind Turbine Shutdown)

กังหันลมควรจะหยุดอย่างปลอดภัยสำหรับการซ่อมบำรุง หรือเมื่อเกิดความเร็วเกินความผิดปกติทางเครื่องกลและทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การปิดซ้ำและแรงบิดชั่วขณะ (Reclosing and Torque Transients)

ผลของระบบล้มเป็นช่วงเวลาสั้นมากๆ แรงบิดทางกลในช่วงทรานเซียนส์สูง ดูได้จากอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการหมุน เมื่อเกิดระบบล้มขึ้นและการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าเปิดวงจรออก อุปกรณ์ที่มีการหมุนจะมีความเร่งจนทำให้เฟสไม่ตรงกับเฟสของระบบ ช่วงทรานเซียนส์นี้เป็นสาเหตุให้สายในระบบรวบรวมเกิดการปิดซ้ำ (reclosing) หรือการปิดอย่างรวดเร็วบนระบบ

3.4 การฉนวน, การต่อลงดิน และการป้องกันเสิร์จ (Insulation, Grounding, and Surge Protection)

3.4.1 พิกัดการฉนวน (Insulation Ratings)

แนวทางในการฉนวนตามมาตรฐานอาจจะถูกประยุกต์ได้ในหลายๆกรณี ในทางปฏิบัติระบบอาจใช้มาตรฐานตามแนวทางของระบบในท้องถิ่นนั้นๆ ในกรณีพิเศษอาจจำเป็นต้องมีสายชีงอากาศ สถานีไฟฟ้าภายนอก สวิตช์เกียร์ และอื่นๆในพื้นที่ทุ่งกังหันลม

3.4.2 การต่อลงดิน (Grounding)

โดยทั่วไปการต่อลงดินของระบบรวบรวมถูกเสนอเพื่อใช้ในการป้องกันสภาวะแรงดันเกินและปัญหาความผิดปกติชั่วขณะ ระบบต่อลงดินนิยมต่อแบบสตาร์ (wye-connect) ทางด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลง ส่วนด้านแรงดันสูงจะต่อแบบสตาร์หรือเดลต้าขึ้นอยู่กับระดับแรงดันและความต้องการของการไฟฟ้า การเชื่อมต่อหม้อแปลงแบบสตาร์-สตาร์ อาจต้องการการพันขดลวดแบบเดลต้าเพื่อให้เป็นเส้นทางเดินสำหรับกระแสลำดับศูนย์ และกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่สามหารลงตัว IEC 61400-1 [19]

ถ้าระบบรวบรวมถูกเชื่อมต่อโดยตรงกับสายส่งโดยปราศจากการติดตั้งหม้อแปลง การต่อลงดินของระบบรวบรวมต้องทำงานร่วมกับการไฟฟ้า การไฟฟ้าควรตรวจชนิดของหม้อแปลงที่ได้รับการอนุญาตให้เชื่อมต่อ

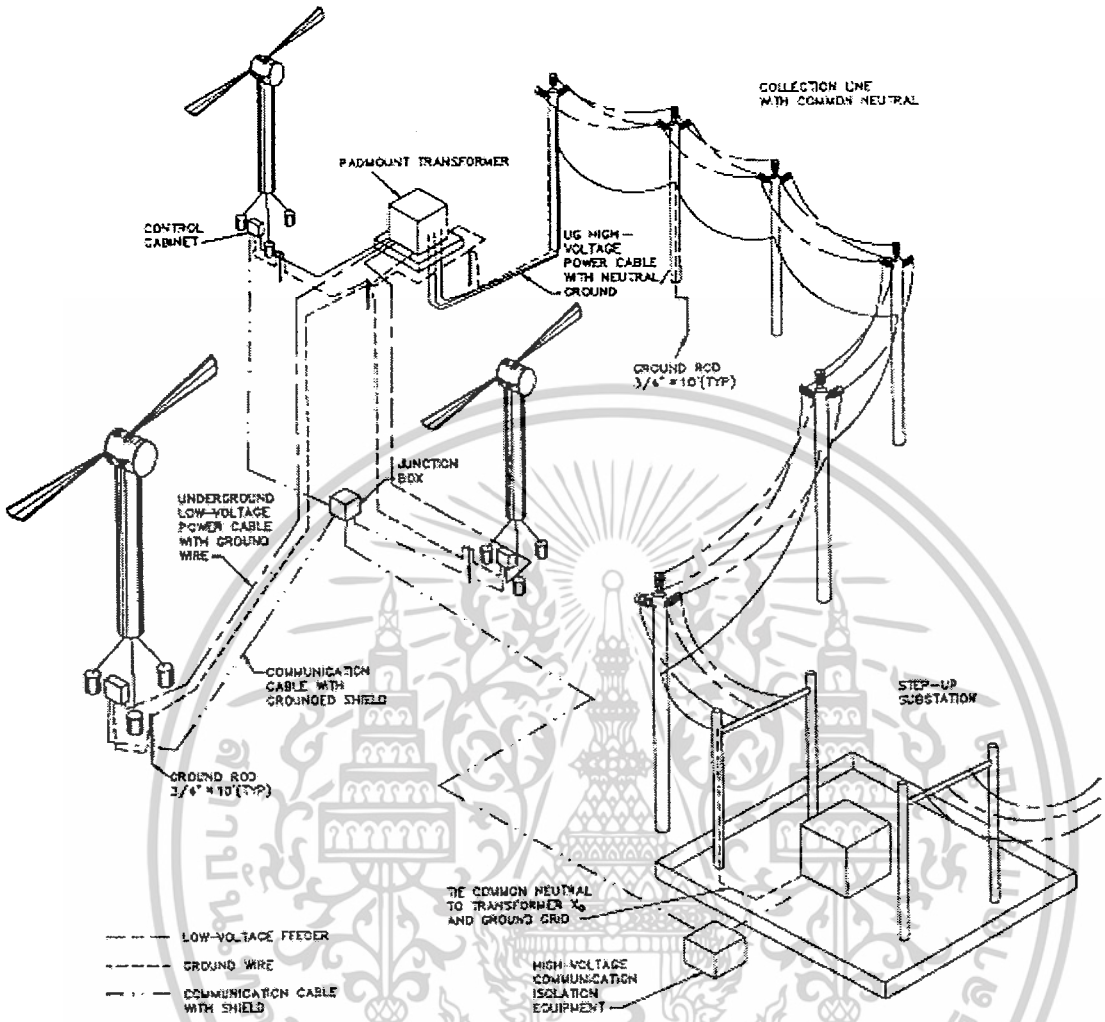
รูปที่ 3.2 แสดงการจัดการต่อลงดินของทุ่งกังหันลม การต่อลงดินนี้เป็นการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้า หม้อแปลง เสากังหันลม กังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบการต่อลงดินนี้ประกอบไปด้วยตัวนำลงดิน แท่งตัวนำ และจุดเชื่อมต่อลงดิน ระบบนี้ทำขึ้นเพื่อ

- ป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นต่อบุคคล
- เพื่อเป็นเส้นทางเดินให้กระแสไหลกลับซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบไฟฟ้า
- ปรับปรุงระบบการป้องกันฟ้าผ่า

3.4.3 การป้องกันเสิร์จ (Surge Protection)

การป้องกันเสิร์จสำหรับการเกิดฟ้าผ่า และเสิร์จจากการสวิตชิงควรแบ่งระบบเป็นส่วนๆ IEC 61400-24[20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการจัดการต่อลงดินของทุ่งกังหันลม [34]

3.5 การควบคุมแรงดันและแหล่งจ่ายกำลังรีแอคทีฟ (Voltage Control and Reactive Power Supply)

3.5.1 การพิจารณาแรงดัน (Voltage Considerations)

การจัดการของระบบแรงดันเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับหลายๆเหตุผล

- การเปลี่ยนแปลงแรงดันมีผลต่อสลิป แรงบิด และลักษณะกำลังเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่น
- การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่นอาจมีแรงดันไลน์ลดลงเมื่อมีการต่อโหลด เพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่นต้องการกำลังรีแอคทีฟ
- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในทุ่งกังหันลมมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน
- ตัวแก้ตัวประกอบกำลัง มีแนวโน้มที่จะทำให้แรงดันสูงขึ้น
- แรงดันต่ำอาจทำให้การรับภาระโหลดและการสูญเสียเพิ่มขึ้น เพราะมีกระแสสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 แหล่งจ่ายกำลังรีแอคทีฟ (Reactive Power Supply)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่นก็เหมือนกับอินดักชั่นมอเตอร์ที่ต้องการกำลังรีแอคทีฟ (var) ในการทำงาน ถ้าแหล่งจ่ายกำลังรีแอคทีฟของทุ่งกังหันลมจ่ายให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่เพียงพอ กำลังรีแอคทีฟจะไหลจากระบบเข้าสู่ทุ่งกังหันลม ดังนั้นผู้ควบคุมระบบและผู้ควบคุมทุ่งกังหันลมจะต้องพิจารณาว่าใครควรจะเป็นผู้จ่ายกำลังรีแอคทีฟให้กับทุ่งกังหันลม สิ่งที่ควรจะพิจารณาหลังจากการพิจารณาเรื่องกำลังรีแอคทีฟแล้วคือ ปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์และปัจจัยทางด้านเทคนิคด้วย อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ต่างๆเช่น หม้อแปลง หรือ สายส่งของระบบรวบรวมก็ต้องการกำลังรีแอคทีฟในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ได้จากทุ่งกังหันลมเช่นกัน

โดยปกติวิธีการที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในการจ่ายกำลังรีแอคทีฟคือการต่อขนานตัวเก็บประจุ หรือไม่ก็ต่อคาปาซิเตอร์แบงก์ ตัวเก็บประจุสามารถจ่ายกำลังรีแอคทีฟได้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อชดเชยกระแสไฟฟ้าที่ถูกดึงจากมอเตอร์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่น การชดเชยกำลังรีแอคทีฟให้กับทุ่งกังหันลมนั้นก่อให้เกิดประโยชน์หลายอย่างเช่น

- เพิ่มระดับแรงดัน
- แก้ปัญหาแรงดันตกโดยการใส่ตัวเก็บประจุ
- ช่วยลดค่าความสูญเสียในระบบรวบรวม เนื่องจากการลดของกระแสที่จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่น
- ช่วยลดภาระที่เกิดขึ้นกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและวงจร
- ต้นทุนในการจ่ายภาระให้กับทุ่งกังหันลมต่อกิโลวัตต์ลดลง

3.5.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตัวแก้ตัวประกอบกำลัง (Power-Factor Correction Economics)

การติดตั้งตัวแก้ตัวประกอบกำลัง (power factor) สำหรับทุ่งกังหันลมจะช่วยทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้ การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้นควรจะพิจารณาถึงจำนวนที่เหมาะสมที่สุดของตัวชดเชยกำลังรีแอคทีฟ หรือ ตัวชดเชยวาร์ จุดที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมต่อตัวเก็บประจุเข้ากับระบบรวบรวมของทุ่งกังหันลมจะพิจารณาได้จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์และคำนึงถึงทางด้านเทคนิคด้วย ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเล็กสามารถเชื่อมต่อกับกังหันลมอิสระได้ หรือรวมตัวเก็บประจุทั้งหมดเป็นกลุ่มเดียวกันเชื่อมต่อที่จุดใดจุดหนึ่งหรือหลายๆจุดทั่วทั้งทุ่งกังหันลมก็ได้ ที่แต่ละทุ่งกังหันลมต้องมีการประเมินถึงต้นทุนเปรียบเทียบกับประโยชน์ที่ได้รับจากการติดตั้งตัวแก้ตัวประกอบกำลังด้วย

3.5.4 การประยุกต์ใช้ตัวเก็บประจุในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Capacitor Applied to Induction Generator)

ในการประยุกต์ใช้ในทุ่งกังหันลมรวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น ควรพิจารณาถึงความจุไฟฟ้ารวมที่ต่ออยู่ว่าจะต้องไม่ทำให้เกิดแรงดันที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากจนเกินไปอันเนื่องมาจากการกระตุ้นแยก(self-excite) เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและตัวเก็บประจุไม่ได้ต่ออยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายจากระบบ ค่าความจุไฟฟ้าที่มากเกินไปนี้จะต้องถูกสวิตซ์โดยขั้นตอนการควบคุมที่เหมาะสม การป้องกันความผิดพลาดนี้เพื่อที่จะไม่ให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์

โดยทั่วไปการต่อขนานตัวเก็บประจุ จะต่อขนานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่นโดยตรง ซึ่งหมายความว่าการต่อขนานตัวเก็บประจุ นั้นเป็นอุปกรณ์สวิตชิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั่นเอง

การเกิดแรงดันเกินอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการกระตุ้นแยกเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและตัวเก็บประจุที่ต่อรวมกันแยกเป็นอิสระออกจากระบบหรือไม่ได้ต่ออยู่กับระบบ แต่ยังคงมีลมและแรงเฉื่อยของกังหันลมที่ยังคงทำให้กังหันหมุนและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังคงทำงานอยู่ ควรจะพิจารณาถึงค่าแรงบิดทางกลในช่วงทรานเซียนส์สูงว่าอาจเกิดขึ้นได้เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของพลังงานอย่างรวดเร็ว ตัวเก็บประจุที่เป็นอุปกรณ์สวิตชิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะช่วยยืดเวลาช่วงที่ยังคงมีแรงดันหลงเหลืออยู่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อที่จะให้อยู่ในสถานะหยุดพักหลังจากมีการหยุดทำงาน

3.5.5 คุณลักษณะของตัวเก็บประจุ (Capacitor Characteristics)

ตัวเก็บประจุควรจะมีการตรวจสอบคุณลักษณะในเรื่องของพิกัดแรงดันและอุณหภูมิ ในการลดทอนกระแส อาจจะต้องมีการจัดกลุ่มสวิตซ์ของตัวเก็บประจุ เพื่อทำให้เกิดทรานเซียนส์น้อยที่สุดระหว่างการสวิตชิง ตัวเก็บประจุที่ผลิตส่วนใหญ่จะมีช่วงผ่อนผัน -0% - +15% ของพิกัดความจุไฟฟ้า และโดยทั่วไปอาจมากกว่าพิกัด 5 – 10% กล่าวใน IEEE std 18-2002 [24]

3.5.6 การคายประจุของตัวเก็บประจุ (Drainage of Stored Charge)

เมื่อตัดตัวเก็บประจุออกจากระบบรวบรวมของทุ่งกังหันลมแล้ว ตัวเก็บประจุจะอยู่ในสภาวะอัดประจุ ดังนั้นควรคำนึงถึงพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเก็บประจุและแรงดันที่เกิดขึ้นมา ถ้าตัวเก็บประจุออกจากสภาวะอัดประจุผู้ที่เข้าไปทำงานตรงอุปกรณ์นั้นอาจได้รับอันตรายหรืออุปกรณ์อาจเกิดวามเสียหายจากการเกิดการลัดวงจรได้ ดังนั้นตัวเก็บประจุควรจะมีการคายประจุที่สะสมไว้ โดยทั่วไปวิธีการคายประจุเป็นการเตรียมการโดยผู้ผลิตตัวเก็บประจุ แม้ว่าเทคนิคการช็อตและการต่อลงดินจะทำได้ก็ตาม

3.5.7 การป้องกันชันต์คาปาซิเตอร์แบงก์(Protection of Shunt Capacitor Banks)

การออกแบบขนาดของคาปาซิเตอร์แบงก์ (ตัวชดเชย Power factor) อย่างน้อยที่สุดต้องขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันของระบบ ในระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้นการลงทุนกับคาปาซิเตอร์แบงก์ (capacitor bank) ก็ต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเพื่อลดอัตราเสี่ยงในการเกิดความเสียหายที่เพิ่มขึ้น ขนาดของตัวเก็บประจุที่ติดเข้าไปในระบบ อาจใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ตัวเดียวก็ได้แต่จะมีค่าใช้จ่ายมาก หรืออาจใช้วิธีการนำตัวเก็บประจุหลายๆตัวมารวมกันก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ป้องกันคาปาซิเตอร์แบงก์ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องป้องกันตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. การป้องกันกระแสเกินที่เหมาะสมกับขนาดกระแสลัดวงจรของคาปาซิเตอร์แบงก์ทั้งหมด
2. ระบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
3. การป้องกันกระแสเกินที่เหมาะสมกับขนาดกระแสลัดวงจรของคาปาซิเตอร์แต่ล่ะตัว
4. แรงดันไฟฟ้าเกินแบบต่อเนื่องของตัวเก็บประจุ
5. การคายกระแสของตัวเก็บประจุ
6. การไหลของกระแสที่เหมาะสมกับการสวิตชิง (switching)

ในทุกความเกี่ยวข้องผู้ออกแบบทุ่งกังหันลม ต้องทำตามข้อกำหนด 460 ของ ANSI/NFPA 70-1990 [16] สำหรับการแนะนำขนาดของตัวป้องกันและอุปกรณ์เชื่อมต่อกับตัวเก็บประจุ สำหรับการป้องกันของคาปาซิเตอร์แบงก์สามารถดูได้จาก IEEE c37.99-2000 [26] "เพิ่มเติม ผู้ผลิตและการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า จะเป็นผู้ให้ข้อเสนอแนะในเรื่องการป้องกันตัวเก็บประจุ"

3.5.8 การพิจารณาระบบ (System Considerations)

ตัวเก็บประจุอาจก่อให้เกิดวงจรเรโซแนนซ์กับระบบที่มีส่วนประกอบของตัวเหนี่ยวนำ ความถี่เรโซแนนซ์อาจเกิดขึ้นระหว่างการสวิตชิงของตัวเก็บประจุที่อยู่ในระยะไกล ซึ่งอาจทำให้เกิดแรงดันและกระแสเกินและอาจทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ตัวเก็บประจุตัวอื่น กับดักฟ้าผ่า และฟิวส์ ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นนี้มีความเหมาะสมที่จะเกิดขึ้นได้ถ้าการสวิตชิงคาปาซิเตอร์แบงก์ มีระยะเวลาในการอาร์กที่นานขึ้น อุปกรณ์ในการสวิตชิงควรเลือกจากพิกัดสำหรับการสวิตชิงคาปาซิเตอร์

การรวมกันของคาปาซิเตอร์แบงก์กับระบบที่มีตัวเหนี่ยวนำก่อให้เกิดการเรโซแนนซ์กับฮาร์มอนิกที่เกิดจากส่วนอื่นๆ เช่นโหลดที่อยู่ไกล ซึ่งการใช้ไทริสเตอร์เพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมที่มาจากความเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งการควบคุมไทริสเตอร์ด้วยการควบคุมเฟส จะสร้างฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 5 7 และ 11

ปัญหาที่เกิดจากการเรโซแนนซ์เหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยการเลือกใช้อุปกรณ์สวิตชิงอย่างเหมาะสมหรือต่อรีแอกเตอร์พิกัดที่เหมาะสมอนุกรมกับสวิตซ์คาปาซิเตอร์แบงก์ หรือเปลี่ยนขนาดของสวิตซ์คาปาซิเตอร์แบงก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าในต่างประเทศ

บทนี้จะบรรยายเรื่องสถานีไฟฟ้าย่อยทั่วไป (Substation) ระบบส่งจ่าย (transmission) ระบบจำหน่าย (distribution) และความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสมกับขนาดกำลังผลิตของทุ่งกังหันลมกับการไฟฟ้า

3.6.1 การพิจารณาการเชื่อมต่อของระบบ(System Interconnection Considerations)

ถือได้ว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุด ต้องมีความเข้าใจในหลักการออกแบบการเชื่อมต่อ ควรจะเอาใจใส่เพื่อให้แน่ใจว่าแต่ละกลุ่มของการเชื่อมต่อมีการใช้พิกัดเดียวกันในการคำนวณ และธรรมชาติของโหลดแบบเดียวกันเพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานมากเกินไปหรืออันตรายจากการเกิดโหลดเกิน ปัจจัยการออกแบบควรพิจารณาการเชื่อมต่อกับระดับแรงดันสูง

- แรงดัน ช่วงแรงดันและความถี่ (Voltage, Voltage Range, and Frequency)

การเชื่อมต่อได้ง่ายนั้นจะต้องมีขนาดแรงดัน ความถี่และเฟสที่เท่ากันในการออกแบบ

- การหมุนเฟสและตำแหน่งเฟส (Phase Rotation and Phase Position)

การระบุเฟสควรจะระบุให้เฟสมีชื่อเหมือนกัน ต้องรู้ตำแหน่งของเฟส เมื่อมีการเชื่อมต่อไปยังโหลดที่มีระดับแรงดันต่างกันหรือโหลดที่มีความต่างกันทางด้านภูมิประเทศหรือระบบโครงสร้างของหม้อแปลง

การจัดตำแหน่งของเฟสที่แตกต่างกันภายในระบบของทุ่งกังหันลมปกติแล้วจะสมบูรณ์ได้นั้นทำได้โดยการต่อกับหม้อแปลงที่เหมาะสม

- การตัดกระแสฟอลท์และพิกัดชั่วขณะ(Fault Interrupting and Momentary Ratings)

จะเป็นหัวข้อในการหาระดับกระแสลัดวงจร สถานีไฟฟ้าและการเชื่อมต่อที่ดีควรมีตัวยับยั้งกระแสลัดวงจรเพียงพอและต้องทนต่อกระแสลัดวงจรสูงสุดได้ชั่วขณะ และต้องมีการกำหนดขอบเขตที่เหมาะสมเมื่อระบบมีการเติบโตขึ้น

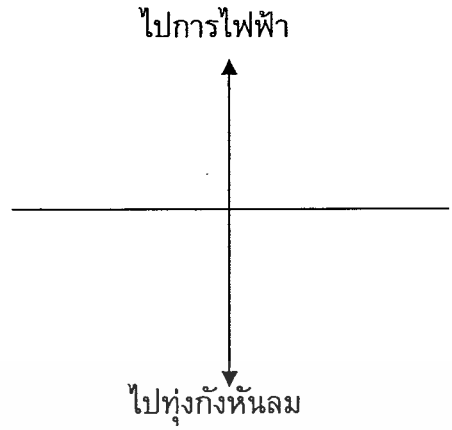
- พิกัดกระแสต่อเนื่อง (Continuous Ratings)

ระดับกระแสต่อเนื่องของเครื่องมือของระบบกำลังที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อต้องมีการหาค่ากำลังการผลิตสูงสุดของสถานีหรือโหลด จะเป็นการสนับสนุนที่ได้จากระบบที่แลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเช่น กำลังไฟฟ้าที่จ่ายผ่านไปยังสถานี

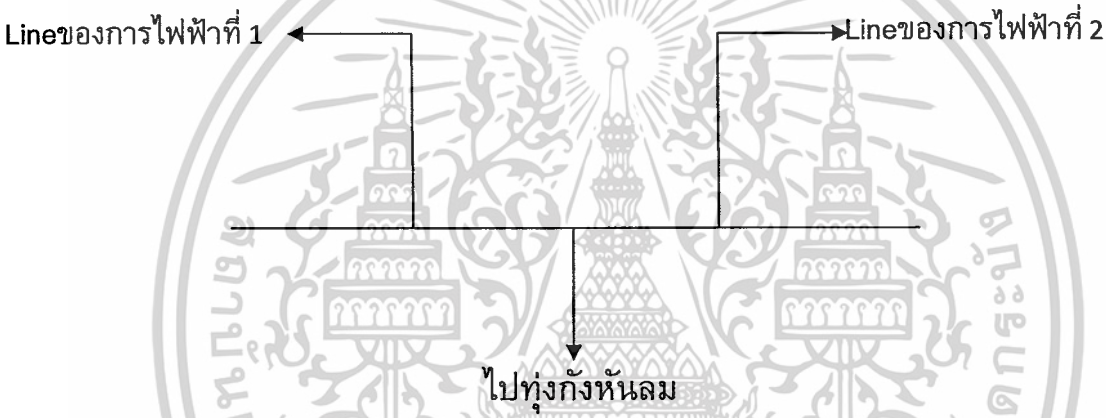
- ชนิดการเชื่อมต่อ (Type of service)

กล่าวโดยสรุปว่าการเชื่อมต่อของสถานีกับการไฟฟ้าโดยทั่วไปแบ่งออกเป็นแบบเรเดียล (radial) และแบบลูป (loop) การทำงานส่วนใหญ่ของทุ่งกังหันลมจะเป็นแบบเรเดียล และการทำงานแบบเรเดียลจะเป็นการเชื่อมต่อของทุ่งกังหันลมกับไลน์ (line) ของการไฟฟ้าเพียง 1 ไลน์ จะเป็นการเชื่อมต่อแบบโดยตรง ส่วนการทำงานแบบลูปจะเป็นการเชื่อมต่อของทุ่งกังหันลมกับไลน์ของการไฟฟ้า 2 ไลน์ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดง Radial Service [34]



รูปที่ 3.4 แสดง Loop Service [34]

- โหลดและการพิจารณาตัวประกอบกำลัง (Load / Power-Factor Considerations)

ปริมาณไฟฟ้า ความน่าเชื่อถือ ช่วงเวลา (load factor) และเวลาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน จะเป็นตัวบ่งชี้เพื่อนำไปคิดเรื่องกำลังการผลิตของสถานีหรือจ่ายโหลด เรื่องที่สำคัญคือกำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมด (kw) และกำลังรีแอคทีฟ (kvar) จะมีผลกระทบต่อพิกัดของระบบ

- ข้อมูลเพิ่มเติม (Additional information)

สิ่งอื่นๆที่ควรต้องพิจารณาเพื่อให้การเชื่อมต่อของการไฟฟ้ากับทุ่งกังหันลมเป็นอย่างสะดวกและปลอดภัยประกอบด้วย

1. แบบแสดงรายละเอียดและข้อมูล (Drawings and Data) : ควรมีการกำหนดแผนงานล่วงหน้าเพื่อพิจารณาและตรวจสอบแบบแสดงรายละเอียดและข้อมูลให้เหมาะสม
2. มาตรฐานสี (Color Codes) : เพื่อใช้สำหรับกำหนดสีของ cable ,wiring, raceway ,signs ,และอื่นๆ
3. ป้ายแสดงข้อมูล (Nameplates) : สำหรับอุปกรณ์ที่สำคัญๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หมายเลขของอุปกรณ์ (Equipment Numbers) : สำหรับกำหนดการทำงานและการซ่อมบำรุง
5. ป้ายหรือเครื่องหมาย (Signs) : เพื่อแสดงขอบเขตความเป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์และความปลอดภัย
6. การเข้าไปภายใน (Accessibility) : ผู้ปฏิบัติงานในสถานีย่อยสามารถเข้าไปทำงานได้

3.6.2 รูปแบบของสถานีย่อย (Substation Configuration)

โดยปกติสถานีไฟฟ้าย่อยจะมีจุดต่อแรงดันสูงของสายการเชื่อมต่อของการไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าย่อยต้องมีอุปกรณ์ตัดตอนและอุปกรณ์ป้องกันที่จำเป็น เพื่อป้องกันและลดผลกระทบที่เกิดจากกระแสลัดวงจรและเพื่อที่การซ่อมบำรุงจะเป็นไปตามปกติ สถานีไฟฟ้าย่อยโดยส่วนใหญ่ต้องการพื้นที่สำหรับติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

การจะตัดการเชื่อมต่อระหว่างทุ่งกังหันลมและการไฟฟ้ามีวิธีคือ ทำโดยใช้อุปกรณ์ในการเปิดระบบเพื่อความปลอดภัย

- การจัดวางเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker Arrangement)

เซอร์กิตเบรกเกอร์กำลังและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการส่งผ่านหรือตัดตอน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสถานีไฟฟ้าย่อย เซอร์กิตเบรกเกอร์ยอมให้วงจรกำลังทำการซิงโครไนซ์และจะทำการเปิดวงจรถ้าเกิดกระแสลัดวงจร

การจัดวางเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ง่ายที่สุดคือ การใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวเดียวจัดวางแบบ Simple radial อย่างไรก็ตามโครงสร้างย่อยต้องการการเชื่อมต่อมากกว่า 1 เส้นทางระหว่างการไฟฟ้าและลูกค้า ทำให้จำเป็นต้องมีการจัดวางเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยมีหลายทางเลือกเช่น ดัดแปลง Simple radial, H-tie, ring bus, main and transfer bus, breaker and one-half bus, break and double-bus

สุดท้ายการจัดวางเซอร์กิตเบรกเกอร์ขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากวิศวกร และต้องเป็นที่ยอมรับของผู้ปฏิบัติงานในทุ่งกังหันลมไปจนถึงการไฟฟ้า

- การต่อหม้อแปลง (Transformer Connection)

ทุ่งกังหันลมและการไฟฟ้า ควรจะตกลงกันในเรื่องของรูปแบบกำลัง ระบบการวัด หม้อแปลง (วาย-เดลต้า, เดลต้า-วาย, วาย-วาย, ซิก-แซก, หม้อแปลงออโต้ และอื่นๆ) สิ่งเหล่านี้ความสำคัญ เพราะมีผลกับความน่าเชื่อถือ การเลือกใช้รีเลย์ ระดับกระแสลัดวงจร เงื่อนไขแรงดันเกิน ราคาของอุปกรณ์ และปัจจัยด้านเทคนิคอื่นๆ

ถ้ามีการเชื่อมต่อหลายการเชื่อมต่อจากทุ่งกังหันลมไปยังการไฟฟ้า เมื่อเลือกการต่อหม้อแปลงแล้ว ควรพิจารณาเรื่องการเลื่อนเฟส (phase shift) ด้วยเพื่อให้เฟสสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โครงสร้างและโครงสร้างบัส (Structure/ Bus construction)

โดยปกติสถานีย่อยจะใช้อากาศเป็นฉนวน สถานีไฟฟ้าย่อยกลางแจ้งที่มีอากาศเป็นฉนวน จะใช้สายตัวนำเป็นอลูมิเนียมเคเบิลหรือท่ออลูมิเนียมก็ได้ เพราะว่ามีข้อดีด้านราคา ส่วนทองแดงนั้นอาจพบได้ในสถานีไฟฟ้าย่อยเก่าๆหรือที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่จะใช้อลูมิเนียมไม่ได้ ส่วนที่มีพลังงานไฟฟ้าต้องวางบนฉนวน จำพวกกระเบื้อง (porcelain) แก้ว หรือ เรซิน (epoxy) และการบำรุงรักษาต้องให้มีระยะห่างที่ปลอดภัย (Clearances) ที่ควบคุมโดยผู้ผลิตหรือมาตรฐานของการไฟฟ้า หรือมาตรฐานอื่นๆ

- ตำแหน่งที่ตั้งและการกำหนดตำแหน่งของสายเชื่อมต่อ

(Interconnecting Line Location and orientation)

ตำแหน่งที่ตั้งและการกำหนดตำแหน่งของสถานีไฟฟ้าย่อยต้องพิจารณาทิศทางและจุดสุดท้ายของสายส่งที่เชื่อมต่อกับการไฟฟ้าหรือสถานีอื่นๆ การเตรียมการควรทำให้เหมาะสมกับเส้นทางและหลีกเลี่ยงสิ่งก่อสร้างหรือสถานที่อื่นที่มีอยู่ การใช้สายเคเบิลใต้ดินเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมกว่าสายอากาศแต่ก็จะมีราคาที่สูงกว่าโดยเฉพาะสายส่งแรงสูง

- การพิจาณาการขยายของสถานีไฟฟ้าในอนาคต

(Future Expansion Consideration)

การเตรียมการควรจะครอบคลุมถึงการขยายตัวของสถานีไฟฟ้าในอนาคต เพื่อให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อระบบ หรือการเชื่อมต่อระหว่างสถานีที่เพิ่มขึ้น และการพัฒนาทุ่งกังหันลมด้วย

3.6.3 การออกแบบสถานีไฟฟ้าย่อยให้เหมาะสม (Substation facilities design)

การออกแบบสถานีเชื่อมต่อให้เหมาะสม ต้องประกอบด้วยพื้นที่ที่มีผลต่อการใช้เป็นเงื่อนไขพิจารณาเพื่อทำการออกแบบ

- การต่อลงดิน (Grounding)

การต่อระบบลงดินต้องใช้แท่งตัวนำเปลือยหรือแท่งหลักดิน (Ground rod) มีความจำเป็นเพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่และทำเพื่อให้การต่อระบบลงดินของหม้อแปลงและอุปกรณ์เชื่อมต่ออื่นๆมีประสิทธิภาพดี การออกแบบต้องพิจารณาสภาพของดินเฉพาะที่นั้นๆให้มีความเหมาะสม การออกแบบการต่อระบบลงดินต้องเป็นการทำงานประสานกันของการไฟฟ้า การไฟฟ้าของโรงจักร, หรือสถานที่อื่นๆ เพื่อให้มั่นใจว่าการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจะไม่เกิดอันตรายต่อตัวบุคคลหรือเกิดความเสียหายต่อระบบป้องกัน ระบบควบคุม หรือวงจรการสื่อสาร การไฟฟ้าควรจะพิจารณาถึงเรื่องการเชื่อมต่อของระบบกราวด์ของสถานีว่าจะใช้การทำกราวด์แบบตาราง (ground grid) หรือใช้สายนิวตรอนของการไฟฟ้า แนวทางการออกแบบระบบกราวด์ของสถานีไฟฟ้าย่อย จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขของ IEEE Std 80-1986[28], IEEE Std 81-1983[28] และ IEEE 367 – 1996[29] เป็นข้อมูลของระบบกราวด์ในทุ่งกังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระดับของฉนวน (Insulation Levels)

ในการเชื่อมต่อกำลังทางไฟฟ้า การทดสอบความคงทนอยู่ได้ ของความเป็นฉนวนเมื่อได้รับแรงดันเกินจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า (Basic Impulse Insulation Level (BIL)) ต้องเป็นระดับเดียวกันกับกำลังของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบส่งจ่ายและสายส่ง ข้อกำหนดอุตสาหกรรมหรือข้อกำหนดของการไฟฟ้าเป็นแหล่งข้อมูลในการกำหนดการใช้ฉนวน ซึ่งแต่ละส่วนจะใช้ความถี่ที่ต่างกันสำหรับสายอากาศ เคเบิล และระบบฉนวนของหม้อแปลงที่ระดับแรงดันเดียวกัน

- ระยะห่างและพื้นที่เข้าทำงาน (Clearance and Access)

ระยะห่างทางไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ ทางเดินเท้า ถนน หรือทางรถไฟ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ ถูกระบุอยู่ใน ANSI/NFPA 70-1990[23], ANSI C2-2007[17] และมาตรฐานอื่นๆ สายขึงอากาศแรงสูง และระยะห่างของตัวนำของสายขึงอากาศ จะมีความสำคัญในการลดความต่างศักย์ระหว่างพื้นที่ที่อยู่ใต้ตัวนำ

- การป้องกันเสิร์จ (ฟ้าผ่า) (Surge (lightning) Protection)

การป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสถานีไฟฟ้าย่อยแบบกลางแจ้ง ควรอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่แสดงโดย Isokeraunic level (จำนวนเฉลี่ยรายปีของวันที่มีพายุฝนฟ้าคะนอง) ของที่ตั้ง การไฟฟ้าในท้องที่เป็นแหล่งข้อมูลซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าในพื้นที่ บันทึกการเกิดไฟฟ้าดับ และการใช้วิธีป้องกันฟ้าผ่าของระบบในพื้นที่นั้น ขั้นตอนการเลือกและการใช้ silicon-carbide สำหรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

กับดักฟ้าผ่า (Arresters) ถูกระบุในมาตรฐาน IEEE C62.2-1987[30] ส่วนข้อมูลเกี่ยวกับวิธีใช้และการเลือกใช้ metal-oxide arresters มีอยู่ในข้อมูลจากผู้ผลิต

- การต่อปลายสายของสายส่ง (Transmission (or Distribution) Line Termination)

ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงหรือสายส่งของระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง เป็นสายขึงอากาศหรือไม่ก็เป็นสายเคเบิลใต้ดิน เป็นส่วนสำคัญเพราะเป็นส่วนเชื่อมโยงกันระหว่างระบบการเชื่อมต่อของสถานีฟ้าย่อยกับการไฟฟ้า สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษคือระยะห่างระหว่างเสาต้นสุดท้ายของการไฟฟ้ากับส่วนของจุดเชื่อมต่อสุดท้ายของสถานีไฟฟ้าย่อย

สำหรับการเดินสายเคเบิลใต้ดินในสถานีไฟฟ้าย่อยอาจจะมีผลต่อตำแหน่งที่ตั้งของเคเบิลใต้ดิน สำหรับตำแหน่งของสายขึงอากาศและสายเคเบิลใต้ดินในสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีความสัมพันธ์กับการไฟฟ้าและการเดินสายของทุ่งกังหันลม ควรจัดให้มุมของสาย จุดเลี้ยว จุดตัด และอื่นๆ มีน้อยที่สุด เพราะจะมีผลต่อความซับซ้อนและค่าใช้จ่ายของสายส่งในสถานี

- อุปกรณ์สวิตชิง (Switching Equipment)

สิ่งสุดท้ายในการเลือกและการจัดการ คือชนิดของอุปกรณ์ตัดตอนของสถานีไฟฟ้าย่อยให้มีความสัมพันธ์กับการจัดวางเซอร์กิตเบรกเกอร์ เซอร์กิตเบรกเกอร์กำลังต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงของกระแสที่สวิตชิงที่กว้างและการขัดขวางกระแสลัดวงจร (ดู IEEE C37.010-1979 (Reaff. 1999)[31] และ IEEE C37.012-1979(Reaff. 1988)[32])

อุปกรณ์เปิดปิดวงจรต้องสามารถตัดต่อโหลด และขัดขวางกระแสลัดวงจรที่ระดับต่ำๆได้ และอาจจะเหมาะสมกับกระแสอัดประจุสาย (line-charging current) และตัวเก็บประจุสวิตชิง สวิตช์ตัดตอน (Disconnecting switches) จะเหมาะสำหรับการขัดขวางกระแสอัดประจุสาย (line-charging current) แม้ว่าจะมีระดับน้อย และสำหรับสวิตชิงกระแสที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กของหม้อแปลง (magnetizing current) เมื่ออุปกรณ์เปิดปิดทำงานอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม โดยปกติจะใช้เพื่อแยก (isolate) หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ระบบเปิดปิด สายส่ง และบัส แต่จะไม่ใช้เป็นอุปกรณ์ตัดตอนตามปกติ

- หม้อแปลงสำหรับเครื่องมือวัด (Instrument Transformers)

หม้อแปลงสำหรับเครื่องมือวัด เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสอ้างอิง เพื่อให้ตรงตามความต้องการของรีเลย์ป้องกัน เครื่องมือวัด ระบบควบคุม และฟังก์ชั่นการทำงานของสัญญาณต่างๆ (ดู IEEE C57.13-1987{Reaff 1993} [33])

แหล่งจ่ายแรงดันสามารถเป็นหม้อแปลงแรงดัน (ทั้งชนิดบรรจุน้ำมัน (oil filled) หรือเป็นหม้อแปลงชนิดแห้ง (dry type) มีฉนวนเป็นเรซิน หรือยาง) coupling capacitor voltage transformers (CCVTs) หรือ bushing potential devices หม้อแปลงแรงดันเป็นอุปกรณ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำและใช้กับชุดเครื่องมือวัด (revenue meter) ส่วน bushing potential devices ก็เหมาะสำหรับการแสดงว่ามีแรงดันอยู่ แต่ไม่เพียงพอสำหรับรีเลย์ส่วนใหญ่หรือฟังก์ชั่นของมิเตอร์

แหล่งจ่ายกระแสสามารถติดตั้งแยกอย่างอิสระ หม้อแปลงกระแสเป็นได้ทั้งชนิดบรรจุน้ำมัน (oil filled) หรือเป็นหม้อแปลงชนิดแห้ง (dry type) (มีฉนวนเป็นเรซิน หรือยาง)หรือเป็นชนิด bushing current transformers (BCTs) หม้อแปลงกระแสที่ติดตั้งแยกเป็นชนิดที่มีความถูกต้องแม่นยำและใช้กับชุดเครื่องมือวัด (revenue meter) BCTs จะติดตั้งอยู่ใน circuit breakers และหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง และเหมาะสมกับอุปกรณ์ของรีเลย์ ระบบควบคุมและฟังก์ชั่นของสัญญาณ

ระบบป้องกัน ระบบวัดคุม และวงจรควบคุมควรจะออกแบบให้ลดโอกาสที่เกิดการเปิดวงจรด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส ที่อาจทำให้เกิดอันตราย ซึ่งส่งผลให้อุปกรณ์เสียหายและอาจเกิดไฟไหม้ได้

- รีเลย์ป้องกัน (Protective Relaying)

รีเลย์ป้องกันเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อตรวจการรบกวนของระบบและควบคุมอุปกรณ์การตัดต่อ การประยุกต์ใช้รีเลย์ป้องกันเหมาะกับการออกแบบระบบที่มีความซับซ้อน ในการทำงานของทุ่งกังหันลมต้องมีการทำงานร่วมกันของรีเลย์ป้องกันของการไฟฟ้าและทุ่งกังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การป้องกันสาย (Line Protection)

รีเลย์ป้องกันสายจะแสดงสภาวะของสายส่ง ถ้าตรวจพบฟอลต์หรือการรบกวนอื่นๆ สิ่งรบกวนของสายส่งและสายระบบจำหน่ายคือ ฟ้าผ่า ต้นไม้ สัตว์ต่างๆ เกิดจากอุบัติเหตุต่างๆ เป็นต้น

- การป้องกันหม้อแปลง (Transformer Protection)

รีเลย์ป้องกันหม้อแปลงแสดงสภาวะภายในของหม้อแปลงกำลังและสภาวะผิดปกติเมื่อถูกตรวจพบ รีเลย์ป้องกันนี้สามารถวัดการเกิดโหลดเกินหรือฟอลต์ภายในได้

- การป้องกันบัส (Bus Protection)

รีเลย์ป้องกันบัสแสดงสภาวะของบัสกำลัง การตรวจพบของบัสฟอลต์จะแยกบัสนั้นออก

- ซิงโครไนซ์หรือซิงโครเชค (Synchronizing/Synchro Check)

รีเลย์ซิงโครไนซ์หรือซิงโครเชคจำเป็นต้องตรวจสอบเฟสของระบบหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสก่อนการอนุญาตให้เชื่อมต่อกับระบบ

- การปิดซ้ำ (Reclosing)

รีเลย์ชนิดปิดซ้ำจะกระตุ้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้เชื่อมต่อกับสายส่งหลังจากการเกิดฟอลต์ การปิดซ้ำในบางครั้งเพื่อสนับสนุนความต่อเนื่องของการรักษาเสถียรภาพของระบบพื้นฐานของการปิดซ้ำอยู่บนช่วงทรานเซียนส์ของสายที่เกิดฟอลต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องระมัดระวังในการประยุกต์ใช้การปิดซ้ำเพื่อเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- การจ่ายโหลดโดยตรง (Islanding)

การจ่ายโหลดโดยตรงของสถานีไฟฟ้ากังหันลมต้องพิจารณาสิ่งที่ไม่ต้องการหรือสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง ความถี่หรือแรงดันในระบบแยกตัวอิสระอาจไม่เหมือนทั่วไป ในบางกรณีระดับแรงดันและความถี่ที่เพิ่มขึ้นสามารถเป็นสาเหตุให้เป็นอันตรายกับทุ่งกังหันลมหรืออุปกรณ์ของผู้บริโภค

เพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งที่ทำให้เกิดอันตราย จึงแนะนำการวัดค่าแรงดันและความถี่ด้วยรีเลย์ป้องกัน เพื่อกำหนดขอบเขตของแรงดันและความถี่ให้เป็นค่าที่ยอมรับได้ การเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ เมื่ออยู่นอกขอบเขตที่กำหนดส่งผลให้ไม่มีการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมกับระบบ หรือหยุดการทำงานของกังหันลม

- ระบบวัด (Metering)
  - การเชื่อมต่อมิเตอร์วัดพารามิเตอร์ (Interconnection Revenue Metering)

ระบบเครื่องวัดควรติดตั้งที่จุดเชื่อมต่อกับระบบตามความสะดวก โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยการติดตั้งเครื่องวัดหนึ่งตัวสำหรับแต่ละจุดเชื่อมต่อ ตัวแปรต่างๆที่จะทำการวัดขึ้นอยู่กับการตกลงกันและสามารถรวมไปถึงกิโลวัตต์ฮาว (kWh) กิโลวาร์ฮาว (kvarh) กิโลวัตต์ (kW) กิโลวาร์ (kvar) กิโลโวลต์แอมป์ (kVA) เพาเวอร์แฟกเตอร์ ในเกือบทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อ เนื่องจากการไหลของกำลังสามารถเป็นไปได้ทั้งสองทิศทาง จึงต้องแยกเครื่องวัดเพื่อแสดงค่าการไหลของกำลังออกเป็นแต่ละทิศทางตามความต้องการ ด้วยเหตุนี้เครื่องวัดจึงทำการบันทึกเป็นฟังก์ชั่นของเวลาเครื่องมือวัดต้องการความแม่นยำในการวัด รวมไปถึงพิกัดหม้อแปลงกระแสและแรงดันเพื่อช่วยในการวัด

ระบบส่วนใหญ่กำหนดความต้องการสำหรับองค์ประกอบ ชนิด และตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์การวัด เครื่องมือวัดโดยทั่วไปถูกติดตั้งในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ง่ายทั้งส่วนของเจ้าของทุ่งกังหันและส่วนของการไฟฟ้า

- การแสดงผลพารามิเตอร์ พลังงานและสถานะ

(Monitoring of Parameters, Energy and Status)

การแสดงผลของการวัดขนาดของพารามิเตอร์บนสาย บัส และอุปกรณ์พารามิเตอร์ต่างๆที่ทำการวัดคือ แรงดัน กระแส กิโลวัตต์ กิโลวา กิโลโวลต์แอมป์ และเพาเวอร์แฟกเตอร์ การวัดค่าพลังงานควรรวมไปถึงกิโลวัตต์-ฮาว กิโลวา-ฮาว หรือกิโลโวลต์แอมป์ การแสดงสถานะมีการแสดงสถานะเปิด-ปิดของอุปกรณ์ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ โหลดเบรกสวิตช์ และสวิตช์ดัดตอน

- การส่งข้อมูลระยะไกล (Telemetering)

พารามิเตอร์ของสายส่งต่างๆ การวัดค่าพลังงาน หรือการแสดงสถานะเพื่อให้อุปกรณ์ควบคุมระยะไกลได้เรียกว่า telemetering

อุปกรณ์ควบคุมระยะไกลเหมือนเป็นจุดรวมของข้อมูลจากระบบหรือการควบคุมและแสดงผลจากระยะไกลของทุ่งกังหันลม การส่งผ่านของข้อมูลทำได้โดยส่งผ่านสายสื่อสาร คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ หรือผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสง

- มิเตอร์วัดการผลิต (Production Metering)

การวัดจำเป็นต้องรู้ถึงพลังงานที่กังหันลมแต่ละตัวผลิตได้ ทำได้โดยติดกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ที่กังหันลมทุกๆตัว แล้วส่งค่าไปยังจุดรวมข้อมูล

- ระบบควบคุมและระบบสื่อสาร (Control and Communications)

การควบคุมมีความจำเป็นมากเพื่อให้มนุษย์สั่งการทำงานของทุ่งกังหันลมได้ ระบบต้องการเครื่องวัด การแสดงผล และควบคุมจากระยะไกลได้ เพื่อให้ระบบมีการทำงานอย่างปลอดภัย

- การควบคุมเฉพาะที่ (Local Control)

เป็นการควบคุมเฉพาะที่โดยทำการควบคุมทางไฟฟ้า ทางเครื่องกล หรืออุปกรณ์ไฮดรอลิก และอื่นๆเป็นจุดๆ ส่วน remote control เป็นการควบคุมจากระยะไกลได้

- การควบคุมระยะไกล (Supervisory Control)

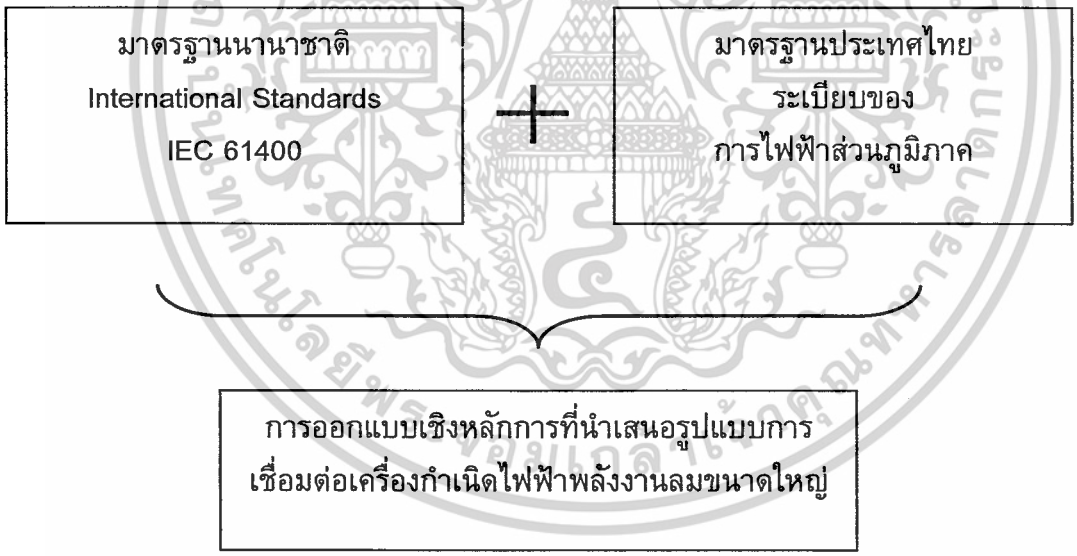
SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) คือสามารถควบคุมได้จากระยะไกลและเป็นวิธีการส่งข้อมูลได้ในระยะไกลกว่าการควบคุมแบบเฉพาะที่หรือการควบคุมแบบรีโมท การเชื่อมต่อระบบนั้นต้องการ Supervisory Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

4.1 กระบวนการออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ให้เหมาะสมกับประเทศไทย

เนื่องจากข้อกำหนดของประเทศไทยมีเฉพาะการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไป ยังไม่มีข้อกำหนดการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ ดังนั้นทางผู้จัดทำโครงงานจึงนำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบของการไฟฟ้า โดยศึกษาจากข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าในประเทศไทยและศึกษาการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับระบบของต่างประเทศ เพื่อนำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ให้เหมาะสมกับประเทศไทย ซึ่งมีกระบวนการออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบของการไฟฟ้าดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กระบวนการออกแบบรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ให้เหมาะสมกับประเทศไทยนี้ แบ่งตามลักษณะการเชื่อมต่อได้ 2 ลักษณะ

1. การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับการไฟฟ้า (Grid Connect)
   - 1.1 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับการไฟฟ้า
     - การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำ
     - การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV
   - 1.2 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับการไฟฟ้า
     - การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV
     - การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 115 kV
2. การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่แบบแยกตัวอิสระ (Islanding)
   - 2.1 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวแบบแยกตัวอิสระ
     - การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำ
     - การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV
   - 2.2 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมแยกตัวอิสระ
     - การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV
   - 2.3 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดอื่น
     - การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลม (เพิ่มกังหันลม)
     - การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลม (เพิ่มโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม)

การแบ่งลักษณะการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ดังกล่าว เป็นการแบ่งตามความเหมาะสมของลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภค เช่น การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำของการไฟฟ้า เพื่อจ่ายให้แก่โหลดที่อยู่ไม่ห่างไกลจากกังหันลมและโหลดนั้นอยู่ในเขตพื้นที่การไฟฟ้าเข้าถึง แต่ถ้าเป็นการเชื่อมต่อกังกันลมหนึ่งตัวแบบแยกตัวอิสระในระบบแรงดันต่ำเหมาะสมกับโหลดที่อยู่ไม่ห่างไกลจากกังหันลม แต่โหลดอยู่ห่างไกลจากเขตพื้นที่การไฟฟ้า ความเหมาะสมของแต่ละลักษณะการเชื่อมต่อจะอธิบายในหัวข้อ 4.2

4.2 การออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

4.2.1 การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับการไฟฟ้า (Grid Connect)

การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบของการไฟฟ้า เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าระบบ ให้มีกำลังไฟฟ้าเพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค

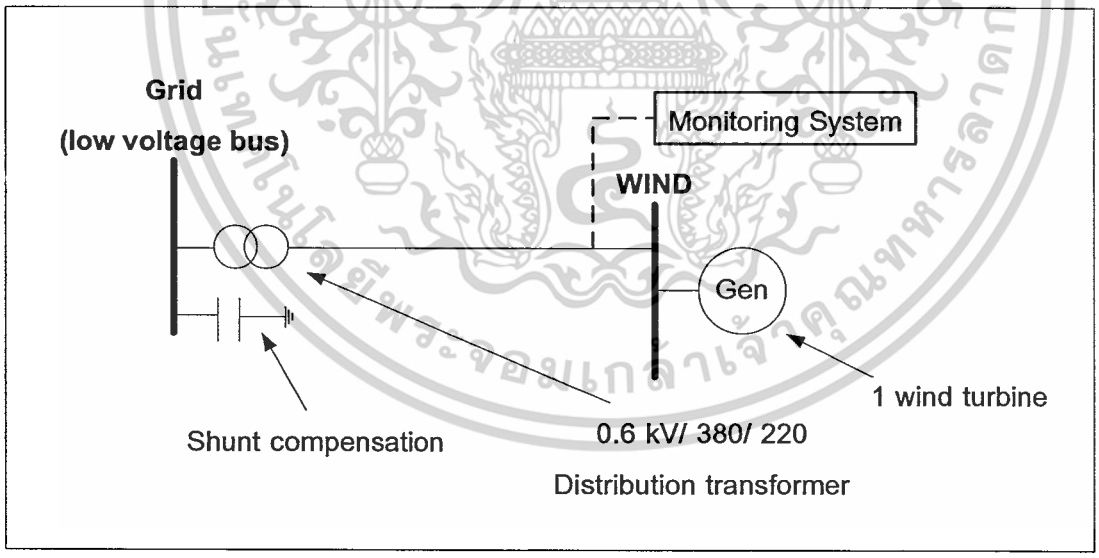
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รูปแบบการเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำของการไฟฟ้า
(Single turbine direct connect to LV system)

เป็นการเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำของการไฟฟ้า เหมาะสำหรับโหลดที่อยู่ไม่ห่างไกลจากกังหันลมและโหลดนั้นอยู่ในเขตพื้นที่การไฟฟ้าเข้าถึง โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกังหันลมแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 0.69 kV แล้วส่งกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ โดยผ่านหม้อแปลงจำหน่ายซึ่งทำหน้าที่แปลงระดับแรงดัน 0.69 kV เป็นระดับแรงดันต่ำ (380/220 V) เพื่อจ่ายเข้าระบบไฟฟ้า ที่บัสแรงดันต่ำจะมีการต่อชันต์คาปาซิเตอร์เพื่อชดเชยค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) และมีระบบมอนิเตอร์ริ่งเพื่อควบคุมการทำงานของกังหันลม

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

- การติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายจะทำการติดตั้งใกล้กับศูนย์กลางโหลด เพื่อง่ายต่อการจ่ายโหลด
- ระยะห่างระหว่างกังหันลมกับหม้อแปลงจำหน่ายต้องมีระยะไม่ไกล เพื่อป้องกันการเกิดแรงดันตกในสายตัวนำ
- พิจารณาสถานที่ติดตั้งกังหันลมให้อยู่ห่างจากชุมชนตามความเหมาะสม เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากกังหันลม



รูปที่ 4.2 รูปแบบ 1 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำของการไฟฟ้า

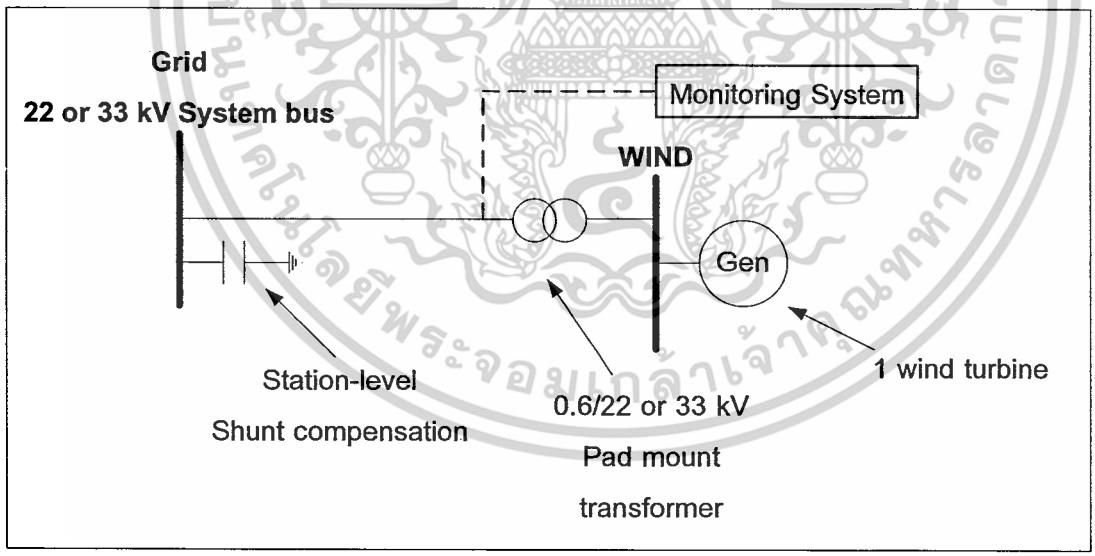
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รูปแบบการเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า (Single turbine connect to 22-33 kV system)

เป็นการเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า เหมาะสำหรับการติดตั้งกังหันลมอยู่ห่างไกลจากโหลด จึงทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV เพื่อให้สามารถส่งกำลังไฟฟ้าไปได้ไกล แต่โหลดยังอยู่ในพื้นที่ของการไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกังหันลมแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 0.69 kV และมีหม้อแปลงแบบตั้งแท่น (pad mount transformer) แปลงระดับแรงดัน 0.69 kV เป็น 22-33 kV แล้วจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าระบบของการไฟฟ้า การแปลงระดับแรงดันเป็น 22-33 kV นี้เพื่อให้สามารถส่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จ่ายโหลดที่อยู่ไกลออกไป โดยมีชันต์คาปาซิเตอร์ชดเชยค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) และมีระบบมอนิเตอร์ริ่งเพื่อควบคุมการทำงานของกังหันลม

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

- การติดตั้งหม้อแปลงแบบตั้งแท่น จะทำการติดตั้งใกล้กับกังหันลม เพื่อลดขนาดของสายส่ง
- ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงแบบตั้งแท่นและบัสของระบบ 22 หรือ 33 kV ไม่ควรเกิน 10 km



รูปที่ 4.3 รูปแบบ 2 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า

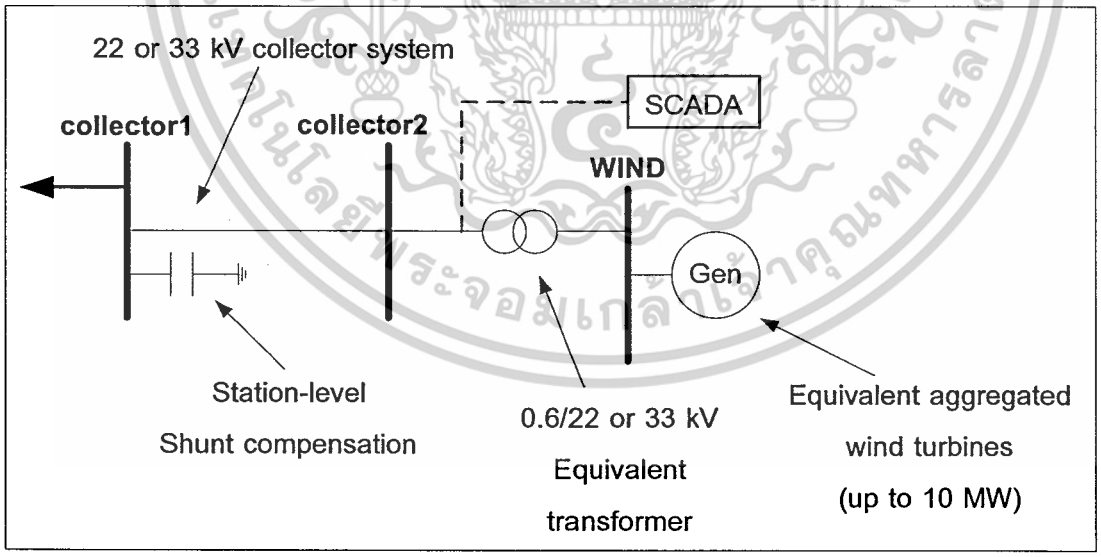
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รูปแบบการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า (Windfarm connect to 22-33 kV system)

เป็นการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้าระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า ซึ่งเป็นการรวมกังหันลมหลายๆตัวเข้าด้วยกันเพื่อให้มีกำลังการผลิตมากขึ้น เหมาะสมกับความต้องการกำลังไฟฟ้าที่มาก แต่ไม่เกิน 10 MW มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกังหันลมแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 0.69 kV โดยมีหม้อแปลงแปลงระดับแรงดัน 0.69 kV เป็น 22-33 kV แล้วรวมกำลังไฟฟ้าของทุ่งกังหันลมที่ผลิตได้ ณ จุดรวบรวม (collector 2) และมีระบบการควบคุมระยะไกล (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) เพื่อควบคุมการทำงานของทุ่งกังหันลม จากนั้นส่งกำลังไฟฟ้าไปยังจุดรวบรวม (collector 1) ซึ่งจะมีชันต์คาปาซิเตอร์ต่ออยู่ด้วย

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

- การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบจำหน่าย 22 kV ต้องไม่เกิน 8 MW
- การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบจำหน่าย 33 kV ต้องไม่เกิน 10 MW
- สถานที่ติดตั้งทุ่งกังหันลม ต้องมีพื้นที่กว้างพอและพิจารณาระยะห่างระหว่างกังหันลมแต่ละตัว



รูปที่ 4.4 รูปแบบ 3 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า

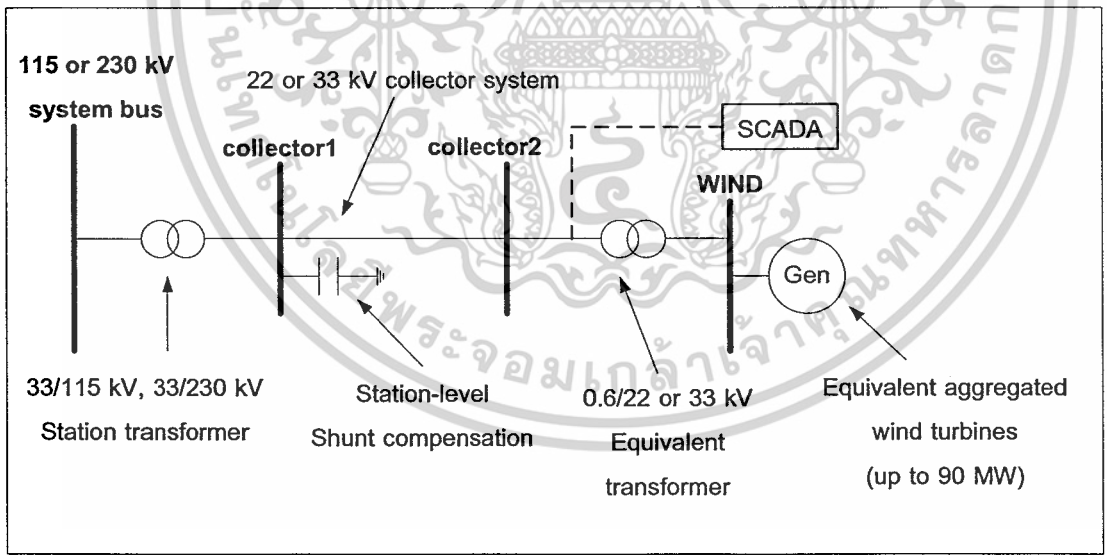
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รูปแบบการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 115 kV ของการไฟฟ้า (Windfarm connect to 115 kV system)

เป็นการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้าระบบแรงดัน 115 kV ของการไฟฟ้า ซึ่งเป็นการรวมกังหันลมหลายๆตัวเข้าด้วยกันเพื่อให้มีกำลังการผลิตมากขึ้น โดยกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าการไฟฟ้ามากกว่า 10 MW และสามารถส่งกำลังไฟฟ้าจ่ายให้โหลดที่อยู่ไกลออกไป มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกังหันลมแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 0.69 kV โดยมีหม้อแปลงแปลงระดับแรงดัน 0.69 kV เป็น 22-33 kV รวมกำลังไฟฟ้าของทุ่งกังหันลมที่ผลิตได้ ณ จุดรวบรวม (collector 2) และมีระบบการควบคุมระยะไกล (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) เพื่อควบคุมการทำงานของทุ่งกังหันลม จากนั้นส่งกำลังไฟฟ้าไปยังจุดรวบรวม (collector 1) ซึ่งจะมีซันด์คาปาซิเตอร์ต่ออยู่ด้วย และจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 หรือ 230 kV โดยผ่านหม้อแปลงเพื่อแปลงระดับแรงดันจาก 22 หรือ 33 kV เป็นระดับแรงดัน 115 หรือ 230 kV

ข้อพิจารณาการออกแบบ

- การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบ 115 หรือ 230 kV ไม่เกิน 90 MW
- ระยะห่างระหว่างจุดรวบรวมที่ 1 และ 2 ไม่ควรเกิน 10 km.



รูปที่ 4.5 รูปแบบ 4 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 115 kV ของการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่แบบแยกตัวอิสระ (Islanding)

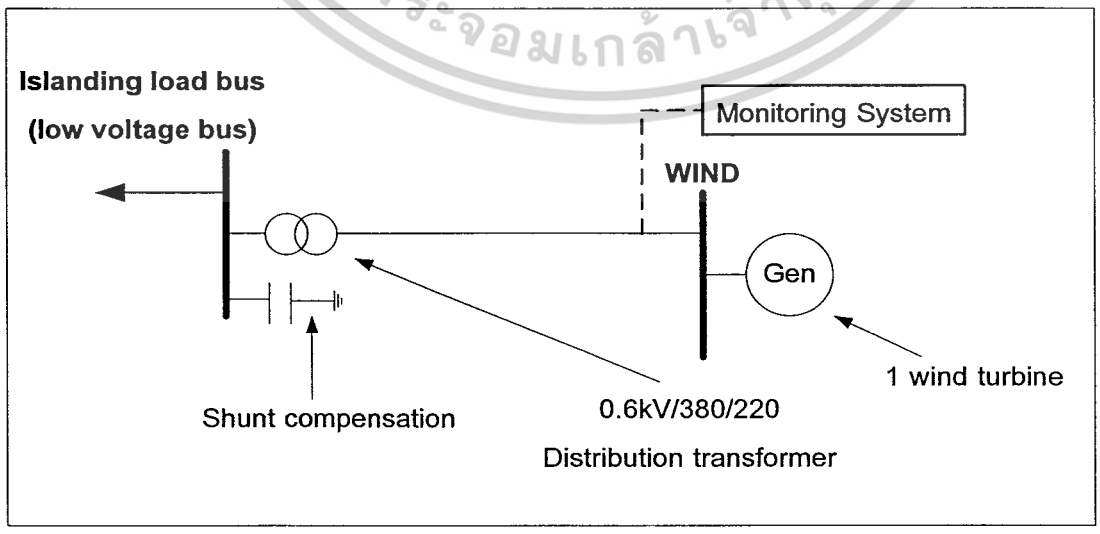
การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่แบบแยกตัวอิสระคือ การเชื่อมต่อกังหันลมหรือทุ่งกังหันลมเข้ากับโหลดโดยตรง ไม่ผ่านการไฟฟ้า การเชื่อมต่อแบบแยกอิสระนี้เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับพื้นที่อยู่ห่างไกลจากการไฟฟ้าหรือการไฟฟ้าเข้าไม่ถึง เช่น เกาะ เขตพื้นที่ชายแดน เป็นต้น

1. รูปแบบการเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำแบบแยกตัวอิสระ (Single turbine direct connect to LV system)

เป็นการเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำแบบแยกตัวอิสระ เหมาะสำหรับพื้นที่อยู่ห่างไกลจากเขตของการไฟฟ้าและมีความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่สูงนัก โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกังหันลมแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 0.69 kV แล้วส่งกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในระดับแรงดันต่ำ โดยผ่านหม้อแปลงจำหน่ายซึ่งทำหน้าที่แปลงระดับแรงดัน 0.69 kV เป็นระดับแรงดันต่ำ (380/220 V) เพื่อจ่ายให้กับโหลดโดยตรง ที่บัสแรงดันต่ำจะมีการต่อชันต์คาปาซิเตอร์เพื่อชดเชยค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) และมีระบบมอนิเตอร์ริ่งเพื่อควบคุมการทำงานของกังหันลม

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

- การติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายจะทำการติดตั้งใกล้กับศูนย์กลางโหลด เพื่อง่ายต่อการจ่ายโหลด
- พิจารณาการติดตั้งแหล่งเก็บพลังงานที่ได้จากการผลิตกำลังไฟฟ้าจากกังหันลม เพื่อให้มีความต่อเนื่องในการจ่ายโหลด ในกรณีที่ความเร็วของลมไม่สม่ำเสมอ
- พิจารณาสถานที่ติดตั้งกังหันลมให้อยู่ห่างจากชุมชน เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากกังหันลม



รูปที่ 4.6 รูปแบบ 5 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำแบบแยกตัวอิสระ

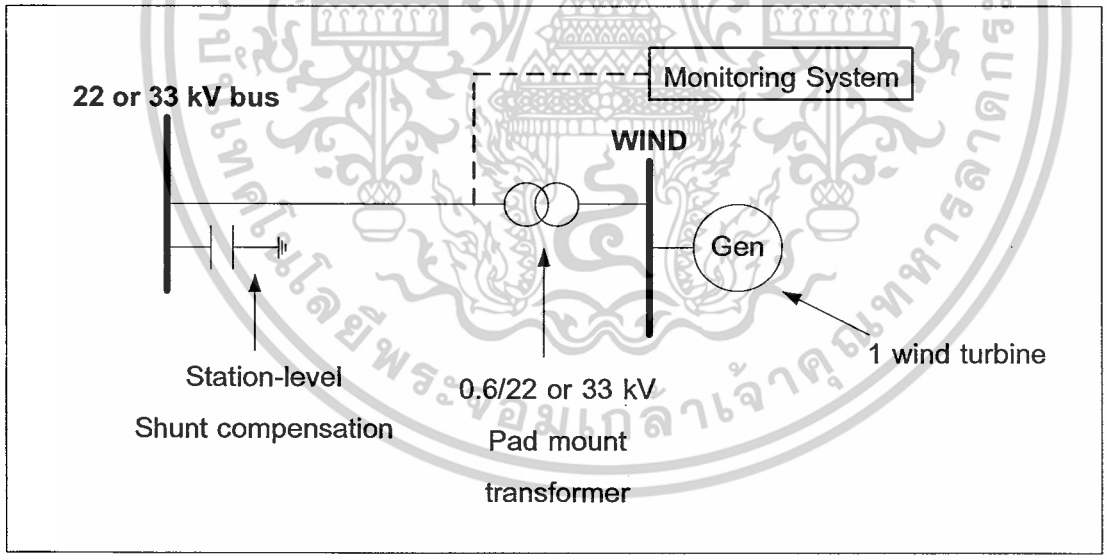
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รูปแบบการเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ (Single turbine connect to 22-33 kV system)

เป็นการเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ เหมาะสำหรับโหลดที่อยู่ไกลจากกังหันลมและอยู่นอกเขตพื้นที่การไฟฟ้า แต่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่มาก มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกังหันลมแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 0.69 kV และมีหม้อแปลงแบบตั้งแท่น (pad mount transformer) แปลงระดับแรงดัน 0.69 kV เป็น 22-33 kV เพื่อจ่ายให้โหลด โดยมีชันต์คาปาซิเตอร์ชดเชยค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) และมีระบบมอนิเตอร์ริ่ง

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

- พิจารณาการติดตั้งแหล่งเก็บพลังงานที่ได้จากการผลิตกำลังไฟฟ้าจากกังหันลม เพื่อให้มีความต่อเนื่องในการจ่ายโหลด ในกรณีที่ความเร็วของลมไม่สม่ำเสมอ
- ระยะห่างระหว่างหม้อแปลงแบบตั้งแท่นกับบัสของระบบ 22-33 kV ไม่ควรเกิน 10 km.
- พิจารณาสถานที่ติดตั้งกังหันลมให้อยู่ห่างจากชุมชน เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากกังหันลม



รูปที่ 4.7 รูปแบบ 6 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ

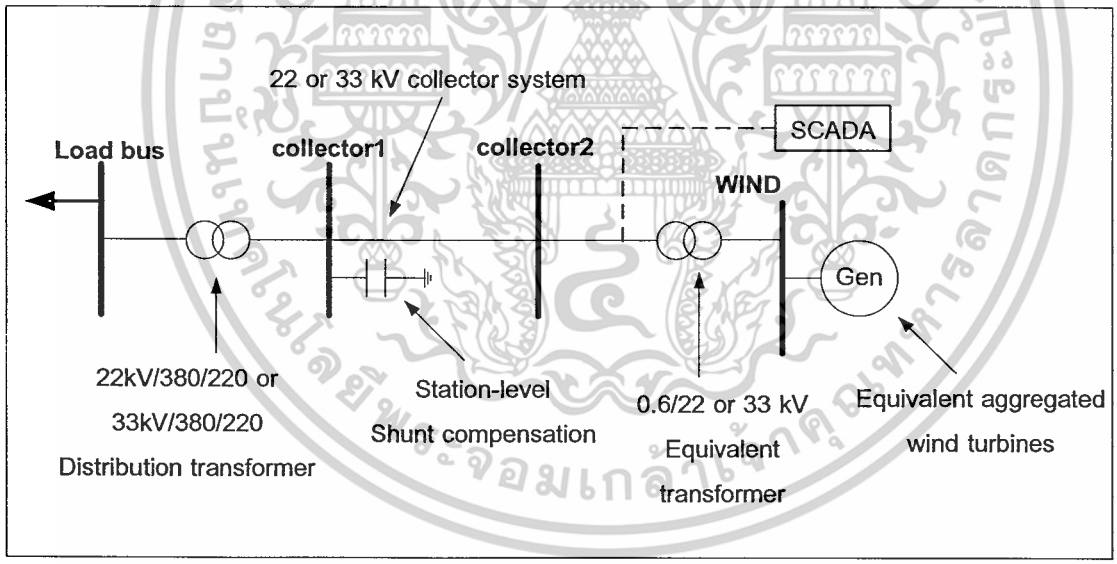
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รูปแบบการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ (Windfarm connect to 22-33 kV system)

เป็นการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับโหลดโดยตรงในระดับแรงดัน 22-33 kV ซึ่งเป็นการรวมกังหันลมหลายๆตัวเข้าด้วยกันเพื่อให้มีกำลังการผลิตมากขึ้นตามความต้องการ มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกังหันลมแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 0.69 kV โดยมีหม้อแปลงแปลงระดับแรงดัน 0.69 kV เป็น 22-33 kV รวมกำลังไฟฟ้าของทุ่งกังหันลมที่ผลิตได้ ณ จุดรวบรวม (collector 2) และมีระบบการควบคุมระยะไกล (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA) เพื่อควบคุมการทำงานของทุ่งกังหันลม จากนั้นส่งกำลังไฟฟ้าไปยังจุดรวบรวม (collector 1) ซึ่งจะมีซันต์คาปาซิเตอร์ต่ออยู่ด้วย เมื่อต้องการนำกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปจ่ายโหลด โดยต่อหม้อแปลงจำหน่ายแปลงระดับแรงดัน 22 หรือ 33 kV เป็น 380/220 V เพื่อจ่ายให้โหลดโดยตรง

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

- พิจารณาการติดตั้งแหล่งเก็บพลังงานที่ได้จากการผลิตกำลังไฟฟ้าจากกังหันลม เพื่อให้มีความต่อเนื่องในการจ่ายโหลด



รูปที่ 4.8 รูปแบบ 7 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ

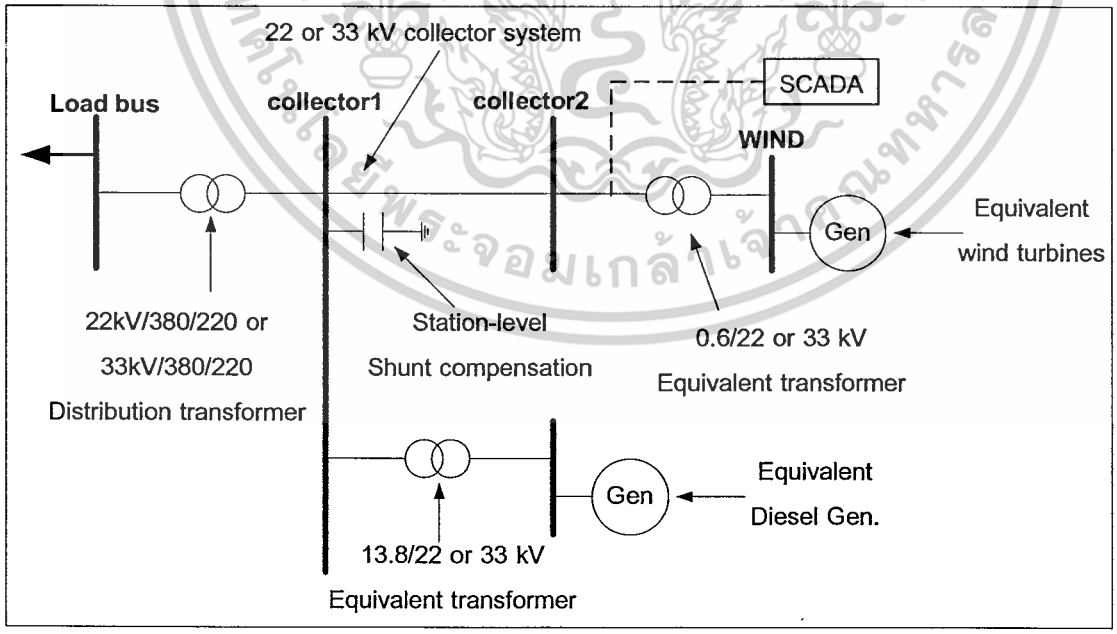
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. รูปแบบการเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มกังหันลม) (In plant, Diesel-Wind hybrid connect to system (add new wind))

เป็นการเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบที่มีโรงจักรไฟฟ้าดีเซลผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายโหลดอยู่เดิม มีหลักการทำงานดังนี้ เดิมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโหลดได้จากโรงจักรไฟฟ้าดีเซล หลังจากนั้นทำการติดตั้งทุ่งกังหันลมเพิ่มเข้าไปช่วยกันจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลด ทั้งสองโรงจักรนี้เชื่อมต่อกันที่จุดรวบรวม 1 (collector 1) ซึ่งมีระดับแรงดัน 22 หรือ 33 kV ในส่วนของโรงจักรไฟฟ้าดีเซล จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดัน 13.8 kV และต่อกับหม้อแปลงเพื่อแปลงระดับแรงดันเป็น 22 หรือ 33 kV และส่วนของทุ่งกังหันลม เมื่อกังหันลมแต่ละตัวผลิตกำลังไฟฟ้าและมีหม้อแปลงทำการแปลงระดับแรงดันเป็น 22 หรือ 33 kV เรียบร้อยแล้ว นำกังหันลมแต่ละตัวรวมกันที่จุดรวบรวม 2 (collector 2) และส่งกำลังไฟฟ้าไปยังจุดรวบรวม 1 ซึ่งมีการติดตั้งซันต์คาปาซิเตอร์เพื่อชดเชยค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) เมื่อต้องการนำกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปจ่ายโหลด โดยต่อหม้อแปลงจำหน่ายแปลงระดับแรงดัน 22 หรือ 33 kV เป็น 380/220 V เพื่อจ่ายให้โหลดโดยตรง

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

- การพิจารณาขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมควรมีความสอดคล้องกับพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลผลิตได้สูงสุดเนื่องจากพลังงานลมมีความไม่แน่นอนจึงทำให้โรงจักรไฟฟ้าดีเซลต้องผลิตกำลังไฟฟ้าให้พอกับความต้องการ



รูปที่ 4.9 รูปแบบ 8 การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มกังหันลม)

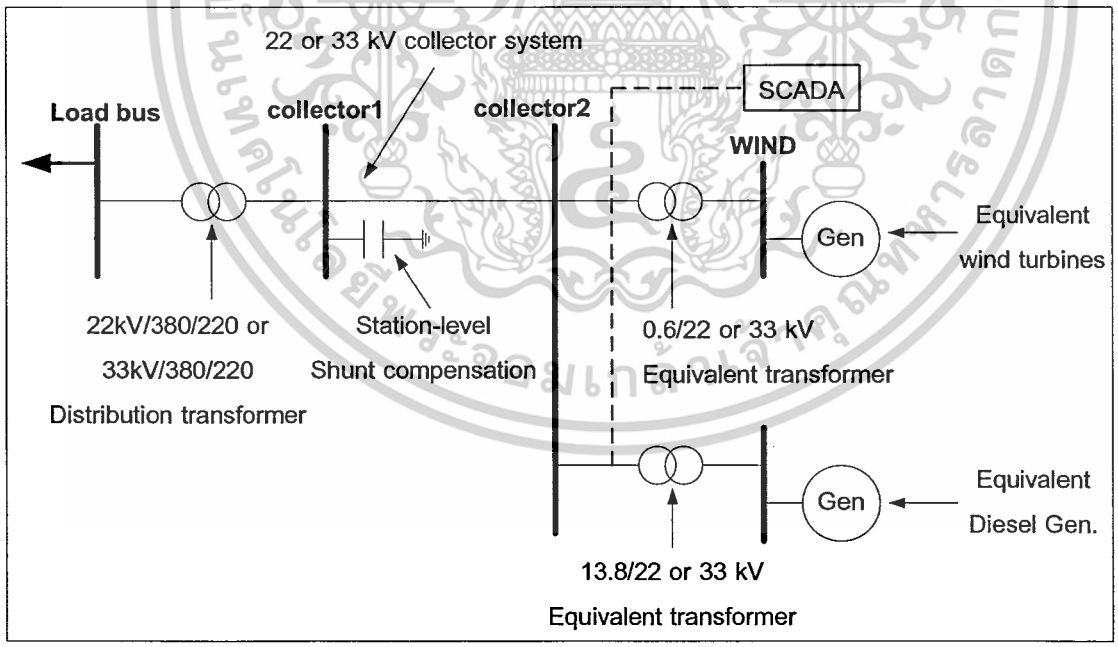
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. รูปแบบการเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม) (Hybrid Diesel-Wind connect to 22-33 kV system (add new hybrid))

เป็นการเชื่อมต่อโรงจักรไฟฟ้าร่วมกันระหว่างโรงจักรไฟฟ้าดีเซลและทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบ 22-33 kV มีหลักการทำงานดังนี้ ณ จุดรวบรวม 2 (collector 2) เป็นจุดเชื่อมต่อกันของโรงจักรไฟฟ้าดีเซลและทุ่งกังหันลม และส่งกำลังไฟฟ้าไปยังจุดรวบรวม 1 ที่ระดับแรงดัน 22 หรือ 33 kV ซึ่งมีซันต์คาปาซิเตอร์ชดเชยค่าตัวประกอบกำลังต่ออยู่ด้วย หลังจากนั้นจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลด โดยผ่านหม้อแปลงจำหน่ายเพื่อแปลงระดับแรงดันจาก 22 หรือ 33 kV เป็น 380/220 V ในส่วนของโรงจักรไฟฟ้าดีเซล จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดัน 13.8 kV และต่อกับหม้อแปลงเพื่อแปลงระดับแรงดันเป็น 22 หรือ 33 kV และส่วนของทุ่งกังหันลม เมื่อกังหันลมแต่ละตัวผลิตกำลังไฟฟ้าและมีหม้อแปลงทำการแปลงระดับแรงดันเป็น 22 หรือ 33 kV เรียบร้อยแล้ว นำกังหันลมแต่ละตัวรวมกันที่จุดรวบรวม 2 (collector 2) และเชื่อมต่อกับโรงจักรไฟฟ้าดีเซลด้วย

ข้อพิจารณาในการออกแบบ

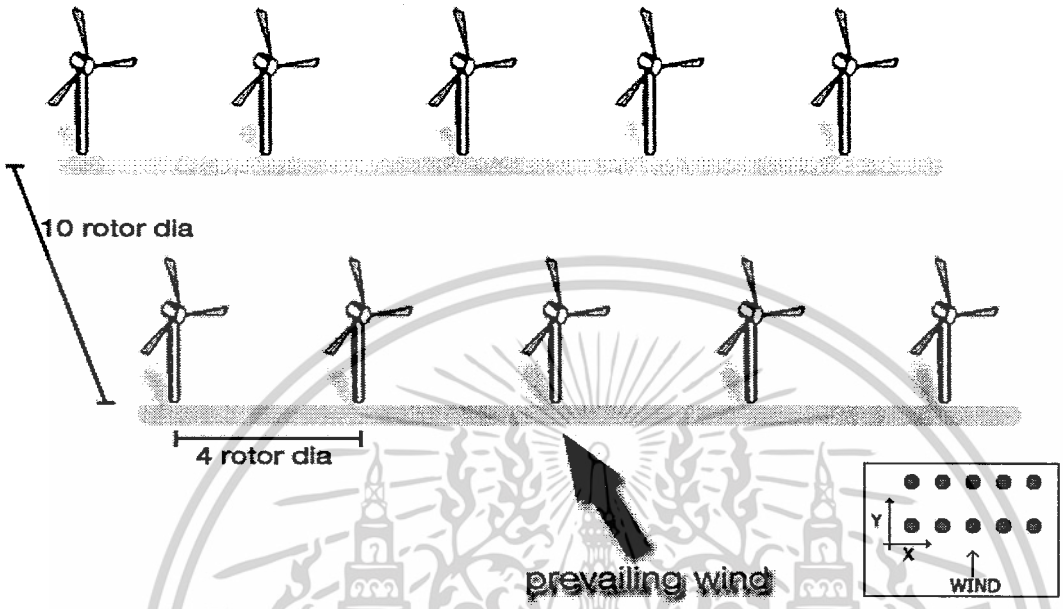
- ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมควรมีความสอดคล้องกับพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพื่อให้เกิดเสถียรภาพในการจ่ายโหลด



รูปที่ 4.10 รูปแบบ 9 การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ข้อพิจารณาการออกแบบแผนผังของทุ่งกังหันลม



รูปที่ 4.11 การจัดตำแหน่งของทุ่งกังหันลม

การจัดตำแหน่งของทุ่งกังหันลม

1. ที่ติดตั้งในแถวเดียวกัน มีระยะห่างระหว่างกังหันลมเป็น 3-4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของลมที่พัด
2. ระยะห่างระหว่างแถวเป็น 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์ ในทิศทางขนานกับทิศทางของลมที่พัด

เพิ่มเติม

1. การกำหนดระยะห่างระหว่างกังหันลม เพื่อลดผลกระทบของโรเตอร์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลมเมื่อผ่านมาจากกังหันลมที่อยู่ด้านหน้า ให้กำลังของลมที่ผ่านกังหันลมฟื้นฟูก่อนที่จะมีผลกระทบกับกังหันลมที่อยู่ด้านหลัง

2. การติดตั้งทุ่งกังหันลม ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของสถานที่ติดตั้ง ทั้งในเรื่องของสภาพพื้นที่ และการอยู่ร่วมกันกับชุมชนและสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

รูปแบบการเชื่อมต่อ / ความเหมาะสม	1	2	3	4	5	6	7	8	9
โหลดอยู่ในพื้นที่การไฟฟ้า	✓	✓	✓	✓					
โหลดไม่อยู่ในพื้นที่การไฟฟ้า					✓	✓	✓	✓	✓
ศูนย์กลางโหลดอยู่ใกล้สถานที่ติดตั้งกังหันลม	✓				✓				
ศูนย์กลางโหลดอยู่ไกลสถานที่ติดตั้งกังหันลม		✓	✓	✓		✓	✓		
ความต้องการกำลังไฟฟ้า 1-3 MW	✓	✓			✓	✓			
ความต้องการกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า 10 MW			✓				✓		
ความต้องการกำลังไฟฟ้ามากกว่า 10 MW				✓					
เพิ่มกังหันลมเข้าไปทำงานร่วมกับโรงไฟฟ้าดีเซล								✓	
เพิ่มโรงไฟฟ้าพลังงานร่วมดีเซล-กังหันลม									✓

หมายเหตุ : 1 = การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำของการไฟฟ้า

2 = การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า

3 = การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า

4 = การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 115 kV ของการไฟฟ้า

5 = การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำแบบแยกตัวอิสระ

6 = การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ

7 = การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ

8 = การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มกังหันลม)

9 = การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 5
ข้อเสนอแนะสำหรับการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้า

5.1 สาเหตุของการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้า

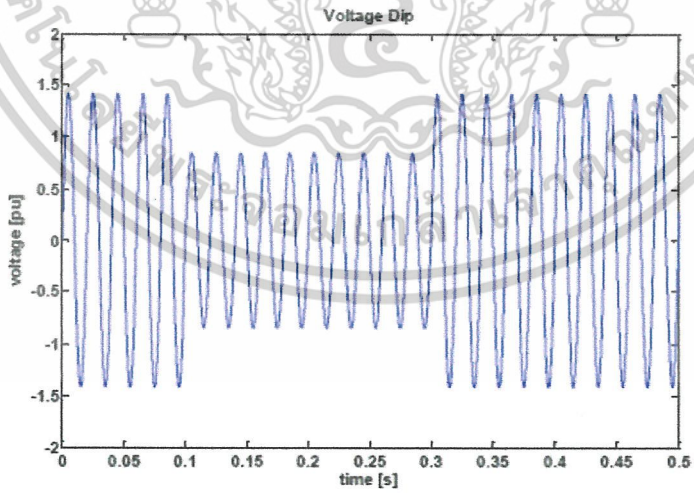
สาเหตุของการควบคุมแรงดัน คือ เนื่องจากถ้าระดับแรงดันมีความเปลี่ยนแปลงไม่คงที่จะทำให้ระบบโดยรวมเกิดผลกระทบขึ้น ดังนั้นในการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้าต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า ตัวอย่างชนิดของแรงดันไม่คงที่มีดังนี้

1. แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag or Voltage Dip) เป็นการลดลงของแรงดัน rms ตั้งแต่ร้อยละ 10 ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ครึ่งไซเคิลจนถึงไม่กี่วินาที มีสาเหตุมาจากการลัดวงจร โหลดเกิน และการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่

2. แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation) คือ ชุดของแรงดันเปลี่ยนแปลง (Voltage Change) หรือการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของค่าแรงดัน rms

3. แรงดันเปลี่ยนแปลง (Voltage Change) คือ การเปลี่ยนแปลงของค่า RMS (หรือค่า Peak) ของแรงดันระหว่างค่าระดับแรงดัน 2 ระดับใกล้กัน ซึ่งแต่ละระดับมีค่าคงที่ในระยะเวลาที่แน่นอนแต่ไม่กำหนดช่วงระยะเวลา

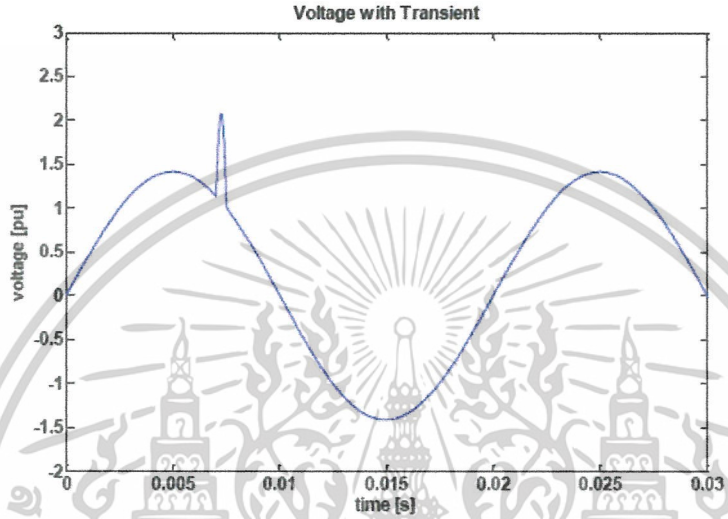
4. แรงดันทรานเซียนท์ (Voltage Transient) คือ ทรานเซียนท์จะเกิดในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากแรงดันปกติหรือระดับกระแส โดยทั่วไปจะเกิดในคาบเวลาที่สั้นประมาณ μs หรือ ms สาเหตุทำให้เกิดแรงดันทรานเซียนท์ คือ การคลายประจุของตัวเก็บประจุและการสวิตชิ่งของโหลด



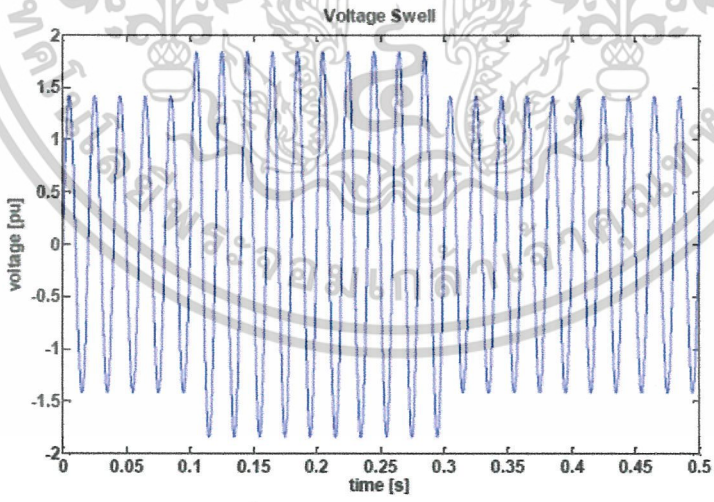
รูปที่ 5.1 แรงดันตกชั่วขณะ[39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell) เป็นการเพิ่มค่าของแรงดันในช่วงสั้นๆ โดยแรงดันที่เพิ่มขึ้นจะมีระยะเวลาเกิดนานกว่าแรงดันในแบบอื่นๆ เช่น 2 นาที ซึ่งจัดอยู่ในรูปของแรงดันเกิน การสวิตชิงของสายส่งและการเปลี่ยนแปลงโหลดที่เพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุทำให้ แรงดันเกินชั่วขณะและแรงดันเกิน



รูปที่ 5.2 Voltage Transient[39]



รูปที่ 5.3 Voltage Swell[39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

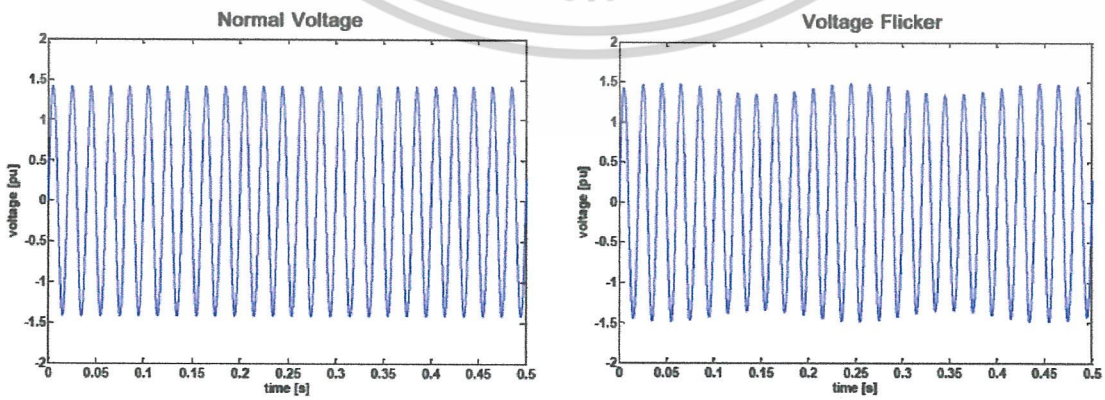
สาเหตุของการควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) เป็นการควบคุมกำลังไฟฟ้าและกำลังรีแอคทีฟที่จ่ายให้การไฟฟ้า ณ บัสเชื่อมต่อกับการไฟฟ้านั้นกำหนดให้กำลังไฟฟ้าคงที่

รูปที่ 5.4 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

จากสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าให้กำลังไฟฟ้าคงที่ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ($\cos\theta$) เปลี่ยนทำให้ค่ากำลังรีแอคทีฟเปลี่ยนด้วย ซึ่งค่ากำลังรีแอคทีฟเปลี่ยนมีผลต่อแรงดันที่บัสเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า ($Q \propto V^2$) เช่น ถ้าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าลดลง กำลังรีแอคทีฟจะเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันที่บัสเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อทำการควบคุมค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต้องพิจารณาระดับแรงดันที่บัสเชื่อมต่อให้อยู่ในข้อกำหนดของการไฟฟ้า

สาเหตุของการควบคุมฟลิคเกอร์ ฟลิคเกอร์ประกอบด้วยแรงดันเปลี่ยนแปลงเป็นคาบเวลาสั้นๆ มีสาเหตุจากแรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation) ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า อันเกิดจากโหลดที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น เตาหลอมแบบอาร์ก (Arc Furnace) เครื่องเชื่อมไฟฟ้า (Electric Welding) และการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่บ่อยๆ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น กังหันลม

ฟลิคเกอร์ ไม่ค่อยส่งผลต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่จะทำให้เกิดการรบกวนมากกว่าการรบกวนที่เห็นได้ชัด การรบกวนทางสายตา ความรู้สึกในการมองเห็นที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง เนื่องจากการกระตุ้นจากระดับของแสงสว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามเวลา

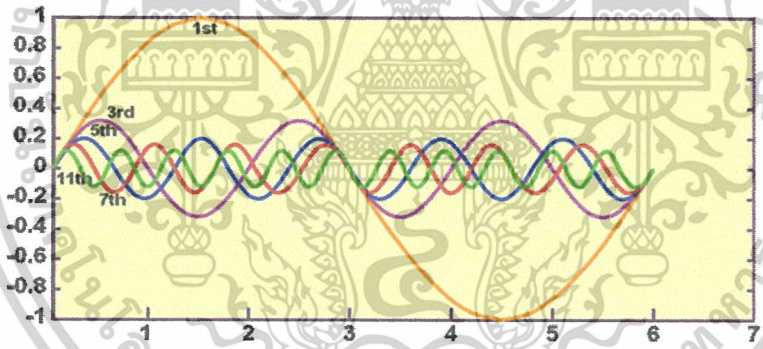


รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบระหว่างแรงดันปกติและแรงดันกระเพื่อม[39]

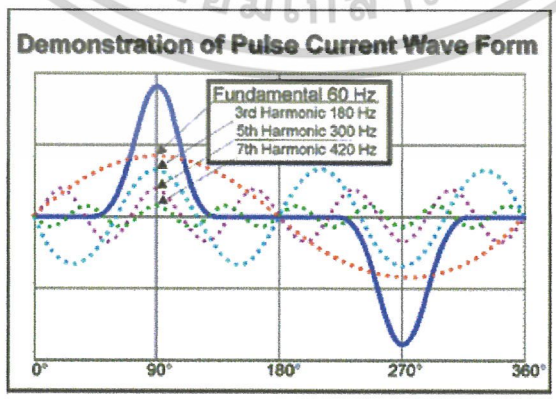
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมฮาร์มอนิกมีสาเหตุหลักมาจากกระแสและแรงดันในระบบไฟฟ้ามีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากปกติ นั่นคือมีฮาร์มอนิกอยู่ในระบบไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่เกิดจากอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-liner load) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก เช่น คอนเวอร์เตอร์ (Convertor) ตัวเรียงกระแสกำลัง (Power Rectifier) และชุดขับเคลื่อนปรับความเร็ว (Adjustable-Speed Drive) เป็นต้น ด้วยผลของการใช้อุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบไม่เป็นเชิงเส้น อุปกรณ์ดังกล่าวจะจ่ายกระแสฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบไฟฟ้า หรือถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีพิกัดขนาดใหญ่ กระแสฮาร์มอนิกนั้นอาจไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าอื่นในบริเวณข้างเคียง จากผลกระทบของฮาร์มอนิกทำให้กระแสและแรงดันในระบบมีขนาดและรูปร่างเพี้ยน (Distortion) ไปจากสภาพการจ่ายไฟปกติ ซึ่งเป็นผลทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายได้

ฮาร์มอนิก (Harmonic) คือส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency ในระบบไฟฟ้าของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 50 Hz) เช่นฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150Hz แสดงรูปที่ 5.6 และผลของฮาร์มอนิกเมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูลด้วยทางขนาด(Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปสัญญาณเพี้ยนไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 ฮาร์มอนิกที่ลำดับต่างๆ[45]



รูปที่ 5.7 ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 5 และ 7 ที่มุมต่างๆ ทำให้สัญญาณไซด์มีรูปร่างผิดเพี้ยน[45]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้น เป็นการกำหนดคุณภาพไฟฟ้าของการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่างๆเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ซึ่งฟลิคเกอร์อ้างอิงมาจากมาตรฐาน Australian (1991)[18] และ The United Kingdom (1989)[10] ส่วนฮาร์มอนิกอ้างอิงมาจากมาตรฐาน The United Kingdom (1976)[11] , Australia (SECWA) [12]

5.2.1 การควบคุมระดับแรงดัน

การควบคุมระดับแรงดันคือ การควบคุมการส่งผ่านแรงดันโดยการปรับในส่วนของกำลังรีแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การปรับแท็ปของหม้อแปลงและการสับเปลี่ยนตัวเก็บประจุหรือตัวเหนี่ยวนำบนสายส่งและระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติการทำงานโหมดควบคุมแรงดัน จะควบคุมระดับแรงดันที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีระดับแรงดันตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า โดยจะต้องมีระดับแรงดันคงที่หรือเปลี่ยนแปลงจากปกติ ±5% ในสภาวะปกติถึง ±10% ในสภาวะฉุกเฉิน ซึ่งจะมีค่าดังตารางคือ

ตารางที่ 5.1 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของ กฟภ. อยู่ในช่วงดังต่อไปนี้[3]

ระดับแรงดัน	Normal Circumstances		Exceptional Circumstances	
	Min.	Max.	Min.	Max.
115 kV	109.2	120.7	103.5	126.5
69 kV	65.5	72.4	62.1	75.9
33 kV	31.3	34.7	29.7	36.3
22 kV	20.9	23.1	19.8	24.2
220 V	200	240	200	240
380 v	342	418	342	418

ตารางที่ 5.2 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของ กฟน. อยู่ในช่วงดังต่อไปนี้[3]

ระดับแรงดัน	Normal Circumstances		Exceptional Circumstances	
	Min.	Max.	Min.	Max.
115 kV	106.4	117.6	96	123
69 kV	63.6	70.4	57.3	72.5
24 kV	21.8	23.6	21.6	24
12 kV	10.9	11.8	10.8	12
230 V	214	237	209	240
400 v	371	410	362	416

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นการควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้ได้ค่าตามต้องการซึ่งมีความสัมพันธ์กับระดับแรงดัน หมายความว่าการควบคุมตัวประกอบกำลังนี้คือการควบคุมกำลังรีแอคทีฟที่จ่ายให้กับระบบ โดยที่กำลังไฟฟ้าคงที่ จากข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดให้ผู้เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบโครงข่ายต้องควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เพื่อใช้ในการรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังนี้

1. สำหรับระบบที่มีอินเวอร์เตอร์ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.9 นำหน้าถึง 0.9 ตามหลัง เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาเกินกว่าร้อยละ 10 ของขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของอินเวอร์เตอร์

2. สำหรับระบบที่ไม่มีอินเวอร์เตอร์ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.9 นำหน้าถึง 0.9 ตามหลัง

ทั้งนี้ผู้เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟให้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าตามความต้องการของโหลด โดยมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 0.9 ตามหลัง ที่สามารถจ่ายกำลังรีแอคทีฟให้แก่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้

5.2.3 ฟลิคเกอร์ (Flicker)

ฟลิคเกอร์ อธิบายได้ว่าเป็นผลจากแรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation) โดยทั่วไปมักจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดหรือการเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบ จากข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผู้เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องออกแบบ ติดตั้งและควบคุมอุปกรณ์ ไม่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อมที่จุดต่อร่วมเกินข้อกำหนดเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ

ดรรชนีไฟกระพริบระยะสั้น(Short-Term Severity Values, P_{st}) คือ ค่าที่ใช้ประเมินความรุนแรงของไฟกะพริบในช่วงเวลาสั้นๆ (คาบเวลา 10 นาที) และดรรชนีไฟกะพริบระยะยาว (Long-Term Severity Values , P_{lt}) คือ ค่าที่ใช้ประเมินความรุนแรงของไฟกะพริบในระยะยาว (คาบเวลา 2-3 ชั่วโมง) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า P_{lt} ได้ตามสมการ

ตารางที่ 5.3 ค่าความรุนแรงของไฟกะพริบระยะสั้น (P_{st}) และค่าความรุนแรงของไฟกะพริบระยะยาว(P_{lt}) เมื่อรวมแหล่งกำเนิดแรงดันกระเพื่อมทั้งหมดที่มีผลต่อระบบไฟฟ้า ณ จุดใดๆ

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม	P_{st}	P_{lt}
115 kV หรือต่ำกว่า	1.0	0.8
มากกว่า 115 kV	0.8	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการประเมินแรงดันกระเพื่อม

ขั้นตอนที่ 1

ถ้าส่วนที่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อม คิดเป็นเควีเอ. ต่อ พิกัดเควีเอ.ลัดวงจรที่จุดต่อร่วม มีค่าน้อยกว่า 0.2% จะยินยอมให้ต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าได้เลย โดยไม่ต้องผ่านการตรวจสอบค่าแรงดันกระเพื่อม

ขั้นตอนที่ 2

ถ้าส่วนที่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อม คิดเป็นเควีเอ. ต่อ พิกัดเควีเอ.ลัดวงจรที่จุดต่อร่วม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-3% จะยินยอมให้ต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าได้โดยมีข้อจำกัดดังนี้

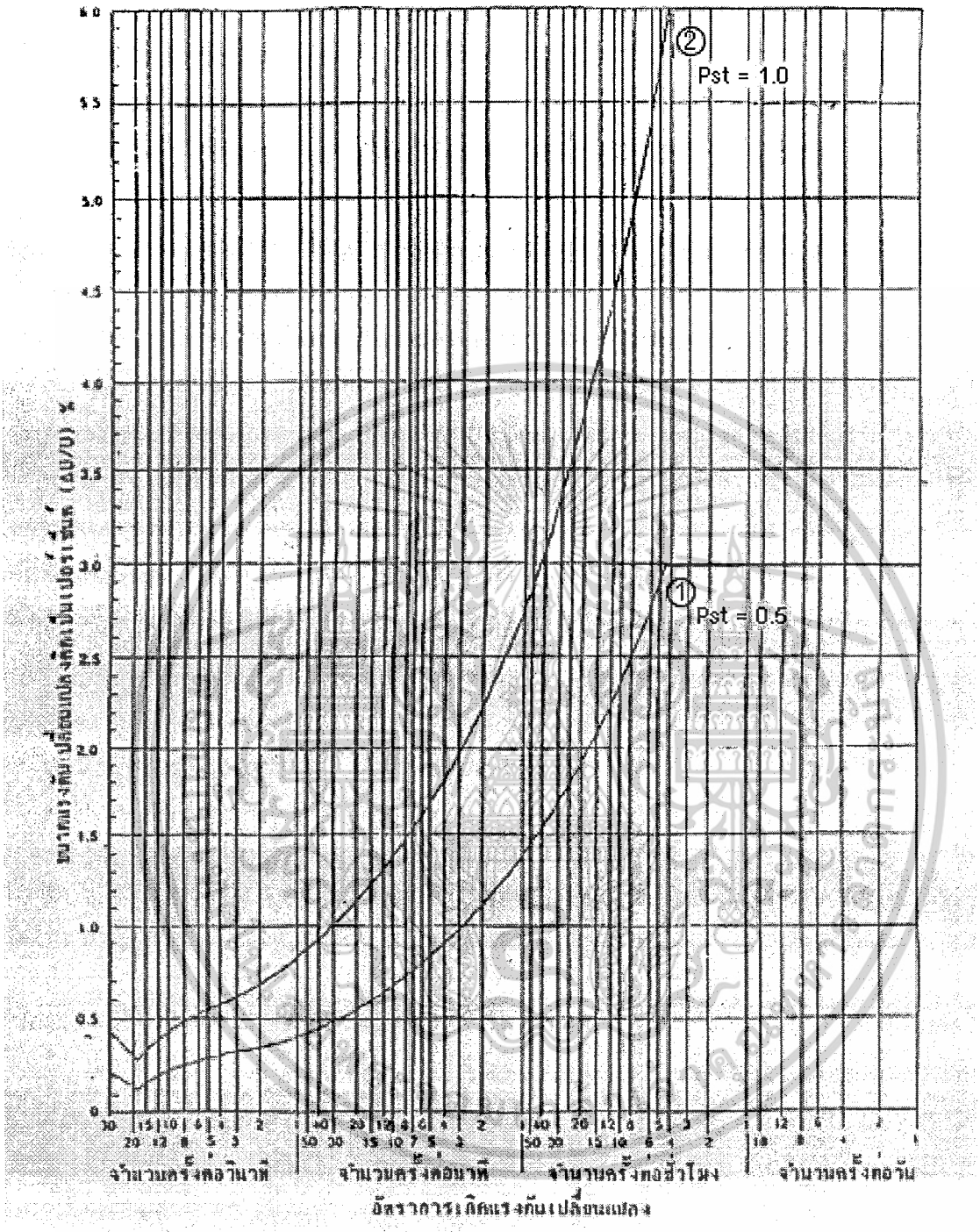
ขนาดและอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลง (Magnitude and Rate of Occurrence of Voltage Change) ของอุปกรณ์แต่ละตัว (Individual Load) จะต้องไม่เกินเส้นกราฟขีดจำกัดหมายเลข 1ในรูปที่ 5.8

ถ้าอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน มีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ค่า P_{st} ของอุปกรณ์จะต้องไม่เกิน 0.5

ขั้นตอนที่ 3

ถ้าโหลดของอุปกรณ์ไพ่ฟ้า ในส่วนที่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อมมีค่าเกินขีดจำกัดในขั้นตอนที่ 2 จะต้องมาดำเนินการตรวจสอบในขั้นตอนที่ 3 โดยการตรวจสอบระบบเดิม ว่ามีขนาดและอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด ถ้าเป็นแบบไม่แน่นอนก็ให้ใช้วิธีตรวจวัดค่า P_{st} แล้วนำผลการตรวจสอบมารวมกับขนาดและอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลง หรือค่า P_{st} ของอุปกรณ์ที่จะนำมาต่อเข้ากับระบบผลลัพธ์ที่ได้ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในการรวมระดับแรงดันกระเพื่อมที่เกิดมาจากหลายๆ แหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 รูปกราฟขีดจำกัดขนาดและอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลง[22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดในการรวมระดับแรงดันกระเพื่อมที่เกิดมาจากหลายๆ แหล่งกำเนิด

กรณีที่สามารถรู้ขนาดและอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน

ถ้าขนาดของแรงดันเปลี่ยนแปลงของระบบเดิม และของอุปกรณ์ตัวใหม่ที่จะนำมาต่อเข้ากับระบบอันใดอันหนึ่ง มีขนาดน้อยมากให้ตัดทิ้งได้ไม่ต้องนำมาคิด หรือถ้ามีขนาดเท่ากันแต่เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ค่าอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงรวม จะเท่ากับผลรวมของอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงของระบบเดิมและของอุปกรณ์ตัวใหม่ แต่ถ้าแรงดันเปลี่ยนแปลงของระบบเดิม และของอุปกรณ์ตัวใหม่ที่จะนำมาต่อเข้ากับระบบเกิดขึ้นพร้อมกัน ขนาดของแรงดันเปลี่ยนแปลงรวมจะเท่ากับผลรวมของขนาดแรงดันเปลี่ยนแปลงของระบบเดิมและของอุปกรณ์ตัวใหม่

ขนาดและอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงที่หามาได้ใหม่ เมื่อนำมาพิจารณากับรูปกราฟ จะต้องไม่เกินเส้นกราฟขีดจำกัดหมายเลข 2 ในรูปที่ 5.8 จึงจะยอมให้ต่ออุปกรณ์ตัวใหม่เข้าระบบของการไฟฟ้าได้ แต่ถ้าไม่สามารถรวมกันได้ให้ใช้วิธีการประเมินตามสมการที่ 5.1 จึงจะยอมให้ต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าได้ โดย

$$\sqrt[m]{R_1^{\,m} + R_2^{\,m} + \ldots + R_N^{\,m}} < 1 \qquad (5.1)$$

เมื่อ R_i คือ อัตราส่วนของขนาดแรงดันเปลี่ยนแปลงแต่ละค่าที่เกิดจากแหล่งกำเนิด(i) ต่อขนาดของค่าแรงดันเปลี่ยนแปลงสูงสุด ตามเส้นกราฟหมายเลข 2 ในรูปที่ 5.8 ที่อัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงเดียวกัน และค่า m=2

กรณีที่ไม่สามารถรู้ค่าขนาดและอัตราการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน

ให้ตรวจวัดค่าแรงดันกระเพื่อมของระบบเดิม และของอุปกรณ์ตัวใหม่ที่จะนำมาต่อเข้ากับระบบ โดยใช้ Flickermeter ตรวจวัดค่า P_{st} แล้วหาค่า P_{st} รวม

$$Pst_t = \sqrt[m]{(Pst_1)^m + (Pst_2)^m + \ldots + (Pst_n)^m} \qquad (5.2)$$

เมื่อ Pst_t คือ ผลรวมของค่า P_{st}

m ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแรงดันกระเพื่อม (พิจารณาเพิ่มเติมจากข้อแนะนำในการพิจารณาค่า α)

โดยค่า P_{st} รวมที่คำนวณได้ต้องไม่เกินตารางที่ 5.3 แล้วนำค่า P_{st} ที่ได้ มาคำนวณหาค่า P_{lt}

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{n}\Sigma_{j=1}^{j=n}\left(Pst_j\right)^3} \qquad (5.3)$$

เมื่อ n = จำนวนของค่า P_{st} ในช่วงระยะเวลาที่หาค่า P_{lt}

ช่วงระยะเวลาที่แนะนำคือ 2 ชั่วโมง นั่นคือ ถ้าคำนวณหา P_{lt} จะให้ n=12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.9 แผนผังลำดับขั้นตอนการตรวจสอบโหลดที่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อม[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 การควบคุมฮาร์มอนิก

จากข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผู้เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องออกแบบ ติดตั้ง และควบคุมอุปกรณ์ ไม่ทำให้เกิดฮาร์มอนิกที่จุดต่อร่วมเกินข้อกำหนดเกณฑ์ของฮาร์มอนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยอมรับ วิธีการประเมินขีดจำกัดความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบ่งการพิจารณาเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1

พิจารณาอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 เฟส อุปกรณ์ประเภทคอนเวอเตอร์หรือเอ.ซี.เรกูเรเตอร์ไม่เกิน 1 ตัวที่จะนำเข้าระบบแรงดัน 0.400, 11, 12 kV หากมีขนาดไม่เกินตารางที่ 5.4 สามารถนำเข้าระบบได้โดยไม่ต้องพิจารณาในส่วนฮาร์มอนิก แต่ถ้ามีอุปกรณ์หลายตัวให้พิจารณาในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2

อุปกรณ์ที่มีขนาด (Size) เกินขอบเขตจำกัดในขั้นตอนที่ 1 สามารถนำเข้าระบบได้ก็ต่อเมื่อ

1. ระบบของผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องไม่สร้างกระแสฮาร์มอนิก (Harmonic Current) ที่จุดต่อร่วมเกินค่าขีดจำกัดในตารางที่ 5.5

2. ค่าแรงดันฮาร์มอนิกที่จุดต่อร่วมก่อนที่จะต่อเชื่อมโหลดใหม่จะต้องมีค่าไม่เกิน 75% ของค่าขีดจำกัดในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.4 ขนาดสูงสุดของอุปกรณ์ประเภทคอนเวอเตอร์และเอ.ซี.เรกูเรเตอร์แต่ละตัว[3]

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	คอนเวอเตอร์ ชนิด 3 เฟส			เอ.ซี.เรกูเรเตอร์ ชนิด 3 เฟส	
	3 พัลส์ (kVA)	6 พัลส์ (kVA)	12 พัลส์ (kVA)	6 ไทริสเตอร์ (kVA)	3 ไทริสเตอร์ 3 ไดโอด (kVA)
0.400	8	12	-	14	10
11 และ 12	8.5	130	250	150	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิกสำหรับผู้ใช้ไฟรายใดๆที่จุดต่อร่วม[3]

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	อันดับฮาร์มอนิกและขีดจำกัดของกระแส (A rms)																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.400	48	34	22	56	11	40	9	8	7	19	6	16	5	5	5	6	4	6
11 และ 12	13	8	6	10	4	8	3	3	3	7	2	6	2	2	2	2	1	1
22,24 และ 33	11	7	5	9	4	6	3	2	2	6	2	5	2	1	1	2	1	1
69	8.8	5.9	4.3	7.3	3.3	4.9	2.3	1.6	1.6	4.9	1.6	4.3	1.6	1	1	1.6	1	1
115 ขึ้นไป	5	4	3	4	2	3	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 5.6 ขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆที่จุดต่อร่วม (รวมทั้งระดับความเพี้ยนที่มีอยู่เดิม)[3]

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน (%)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)	
		อันดับคี่	อันดับคู่
0.4	5	4	2
11,12,22 และ 24	4	3	1.75
33	3	2	1
69	2.45	1.63	0.82
115 ขึ้นไป	1.5	1	0.5

ขั้นตอนที่ 3

อุปกรณ์ประเภทไม่เป็นเชิงเส้นที่ไม่ผ่านการพิจารณาตาม ขั้นตอนที่ 2 หรือที่จุดต่อร่วมของระบบมีค่าแรงดันฮาร์มอนิก (Harmonic Voltage) เกิน 75% ของค่าในตารางที่ 5.6 ให้พิจารณาค่าฮาร์มอนิกที่สามารถยอมรับอุปกรณ์เหล่านั้นเข้าระบบได้ก็ต่อเมื่อมีการประเมินค่าแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลกระทบจากโหลดที่เพิ่มเข้ามาในระบบนั้น โดยใช้ข้อมูลที่ดีที่สุดเท่าที่หาได้ และวิเคราะห์โดยพิจารณาคุณลักษณะที่แท้จริงของระบบ อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ยากที่จะมีข้อมูลอย่างเพียงพอให้คำนวณได้อย่างจริงจัง จึงมีข้อแนะนำวิธีการประมาณสำหรับแต่ละฮาร์มอนิกให้ ดังนี้

$$V_a = \frac{V_p}{k2} - V_m \qquad (5.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ kV คือแรงดันของระบบที่จุดต่อร่วม (PCC) หน่วย kV (เฟสต่อเฟส)

n คือ อันดับของฮาร์มอนิก

V_p คือ ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันที่ยอมรับได้ ตามตารางที่ 5.6

V_m คือ ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันที่วัดได้

V_a คือ ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันซึ่งควรจะเป็น ที่ยอมภายใต้ขั้นตอนที่ 3 เนื่องจากโหลดที่ต่อเข้าไปใหม่

k2 คือ ตัวประกอบการคูณจากตารางที่ 5.7 โดยพิจารณาทั้งโหลดใหม่ และโหลดที่มีอยู่แล้วที่จุดต่อร่วม PCC

F คือ ระดับของการลัดวงจรของระบบที่จุดต่อ (System Short-Circuit Level) หน่วย MVA

ตารางที่ 5.7 ค่าตัวประกอบการคูณสำหรับใช้หาผลรวมของกระแสฮาร์มอนิก[3]

กลุ่มที่	ชนิดและรูปแบบการใช้งานคอนเวอเตอร์	ตัวประกอบการคูณ
1	คอนเวอเตอร์ชนิดที่ทำงานแบบไม่มีการควบคุม (มีค่าสูงเพราะโอกาสที่จะเกิดฮาร์มอนิกสูงสุดมีมาก)	0.9
2	คอนเวอเตอร์ชนิดที่ทำงานโดยวิธีควบคุมมุมจุดชนวน ซึ่งมีการใช้งานเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน และทำให้เกิดค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงหลายครั้งในแต่ละวัน (มีโอกาสพอสมควรในการเกิดฮาร์มอนิก สูงสุด จากอุปกรณ์หลาย ๆ ตัว)	0.75
3	คอนเวอเตอร์ชนิดที่ทำงานโดยวิธีควบคุมมุมจุดชนวนมีการใช้เป็นอิสระใช้งานเป็นพัก ๆ ตลอดวัน หรือเพียงสร้างกระแสฮาร์มอนิกในช่วงเวลาเริ่มเดินเครื่อง (มีค่าที่ต่ำเหมาะสำ าหรับใช้พิจารณาค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงสุด ที่เป็นช่วงเวลาอื่นๆ)	- 0.6 เมื่อมีการใช้งานคอนเวอเตอร์ไม่เกิน 3 ตัว - 0.5 เมื่อมีการใช้งานคอนเวอเตอร์ ตั้งแต่ 4 ตัวขึ้นไป

หมายเหตุ : ค่าตัวคูณดังกล่าวจะใช้ก็ต่อเมื่อไม่มีคอนเวอเตอร์ตัวใดสร้างกระแสฮาร์มอนิกเกินร้อยละ 60 ของค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นทั้งหมด แต่หากพบว่าคอนเวอเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งสร้างกระแสฮาร์มอนิกเกินร้อยละ 60 จะใช้ตัวคูณเท่ากับ 1 ตัวคูณในตารางที่ 5.7 สามารถใช้สำหรับพิจารณาผลรวมของกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์จำนวนมาก ๆ ได้ โดยใช้ประกอบการพิจารณาร่วมกับค่าในตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อพิจารณาการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ที่ใช้ในต่างประเทศ

เนื่องจากประเทศไทยไม่มีข้อกำหนดการเชื่อมต่อกังหันลมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ดังนั้นจึงนำเสนอข้อพิจารณาการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้า โดยอ้างอิงจาก IEC 61400-21(2001)[21], IEC 61000-3-6(2008)[23], IEC 61000-3-7(2008)[22]

5.3.1 การควบคุมระดับแรงดัน

จากมาตรฐาน IEC 61400-21[21] การควบคุมระดับแรงดันของกังหันลมที่สภาวะปกติมีระดับแรงดันคงที่หรือเปลี่ยนแปลงจากปกติ ±5% แต่ในสภาวะฉุกเฉินจะมีระดับแรงดันมากกว่าปกติ 8% ถึง 16%

5.3.2 การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

จากมาตรฐานของต่างประเทศการควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลมให้ควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ± 0.95

5.3.3 ฟลิคเกอร์

ฟลิคเกอร์อาจเกิดขึ้นได้ทั้งจากกังหันลมเองหรือจากโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะทางคุณภาพไฟฟ้าของกังหันลมตามมาตรฐานของ IEC 61400-21 มีการกำหนดคุณภาพไฟฟ้าเรื่องแรงดันกระเพื่อมที่เกิดจากกังหันลม โดยมีเงื่อนไขว่า การกระจายของฟลิค-เกอร์จากกังหันลมต้องอยู่ภายใต้ขีดจำกัดการกระจายที่กำหนด

$$P_{st} \le E_{Psti}$$
$$P_{lt} \le E_{Plti} \qquad (5.5)$$

เมื่อ P_{st} และ P_{lt} คือ การกระจายของฟลิคเกอร์ระยะสั้นและระยะยาวจากกังหันลมที่ติดตั้ง

E_{Psti} และ E_{Plti} คือ ขีดจำกัดการกระจายของของฟลิคเกอร์ระยะสั้นและระยะยาวที่จุดต่อร่วม

นอกจากนั้น ค่าแรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ (Relative Voltage Change, d) เนื่องมาจากกังหันลมที่ติดตั้งจะต้องอยู่ในขีดจำกัดที่กำหนด

$$d \le \frac{\Delta U_{dyn}}{U_n} \qquad (5.6)$$

เมื่อ d คือ แรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์เนื่องจากการสวิตชิงการทำงานของกังหันลม

$\frac{\Delta U_{dyn}}{U_n}$ คือ แรงดันเปลี่ยนแปลงมากสุดที่ยอมให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ค่าของฟลิคเกอร์ในระดับแรงดันปานกลาง ระดับแรงดันสูงและแรงดันสูงพิเศษ[22]

	Planning levels	
	MV	HV-EHV
P_{st}	0.9	0.8
P_{lt}	0.7	0.6

IEC 61400-21 ได้อ้างอิงแนวทางการคำนวณหาขีดจำกัดการกระจายของฟลิคเกอร์และระดับการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่มากที่สุดที่ยอมรับได้สำหรับกังหันลมที่ติดตั้งที่ระดับแรงดันปานกลางและระดับแรงดันสูงตามมาตรฐาน IEC 61000-3-7

จากมาตรฐาน IEC 61000-3-7 มีขั้นตอนการพิจารณาการกระจายของฟลิคเกอร์ของกังหันลมเพื่อจะเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

พิจารณาจากอัตราส่วนเควีเอ.ที่เปลี่ยนแปลงต่อพิกัดเควีเอ.ลัดวงจรที่จุดต่อร่วม โดยที่

$$\frac{\Delta S_i}{S_{sc}} \leq K\%, \tag{5.7}$$

เมื่อ ΔS_i คือ กำลังไฟฟ้าที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

S_{sc} คือ กำลังไฟฟ้าลัดวงจรที่จุดต่อร่วม

ซึ่งค่า K จะขึ้นอยู่กับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อนาที (r) ถ้าค่า K ไม่เกินอัตราส่วนเควีเอ.ที่เปลี่ยนแปลงต่อ เควีเอ. ลัดวงจรที่จุดต่อร่วม จะยินยอมให้ต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าได้เลย แต่ถ้าเกิน ให้พิจารณาต่อไปที่ขั้นตอนที่ 2

ตารางที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงกำลังกับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่อนาที[22]

r min^{-1}	$K=(\Delta S / S_{sc})_{max}$ %
r > 200	0.1
10 ≤ r ≤ 200	0.2
r < 10	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินระดับการกระจายของฟลิคเกอร์ของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i) โดยต้องรู้ขีดจำกัดการกระจายของฟลิคเกอร์ของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง (i) ใดๆก่อน เริ่มจากการคำนวณหาระดับในการวางแผน (Planning Level) จาก

$$L_{PstMV} = \sqrt[\alpha]{G_{PstMV}^{\alpha} + T_{PstUM}^{\alpha} \cdot L_{PstUS}^{\alpha}} \qquad (5.8)$$

คำนวณหาค่า global contribution สูงสุดที่ยอมรับได้ของระบบที่พิจารณา

$$G_{PstMV} = \sqrt[\alpha]{L_{PstMV}^{\alpha} - T_{PstUM}^{\alpha} \cdot L_{PstUS}^{\alpha}} \qquad (5.9)$$

เมื่อ G_{PstMV} คือ ค่า global contribution สูงสุดที่มาจากระดับการกระจายฟลิคเกอร์ของแรงดันเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่ติดตั้ง ซึ่งจะสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบที่พิจารณา

L_{PstMV} คือ ระดับในการวางแผนของฟลิคเกอร์ในระบบแรงดันปานกลาง (พิจารณาตารางที่ 5.8)

L_{PstUS} คือ ระดับในการวางแผนของฟลิคเกอร์ในระบบแรงดันสูง (พิจารณาตารางที่ 5.8)

T_{PstUM} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนของฟลิคเกอร์ จากระบบแรงดันสูงไปยังระบบแรงดันปานกลาง สามารถกำหนดให้เท่ากับ 0.8 [13]

α ขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งกำเนิดแรงดันเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปจะให้ α = 3 (พิจารณาเพิ่มเติมจากหัวข้อแนะนำในการพิจารณาค่า α)

นำไปหาค่าขีดจำกัดการกระจายของฟลิคเกอร์ของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i)

- กรณีระดับแรงดันปานกลาง(MV)

$$E_{Psti} = G_{PstMV} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{(S_t - S_{LV})}} \qquad (5.10)$$

$$E_{Plti} = G_{PltMV} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{(S_t - S_{LV})}} \qquad (5.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ E_{Psti} , E_{Plti} คือ ขีดจำกัดการกระจายฟลิคเกอร์สำหรับกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i)

G_{PstMV} , G_{PltMV} คือ ค่า global contribution สูงสุดที่ระดับการกระจายฟลิคเกอร์ของแรงดันเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่ติดตั้ง ที่ซึ่งจะสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบที่พิจารณา (แสดงในรูปของ P_{st} หรือ P_{lt})

$S_i = (P_i / \cos \phi_i)$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ยอมรับของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i) หรือพิกัด MVA ของอุปกรณ์ส่วนที่ทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลง

S_t คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทั้งหมดของระบบที่พิจารณา

S_{LV} คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ ที่ได้รับการจ่ายโดยตรงจากแหล่งจ่ายทั้งหมดของระบบ

- กรณีระดับแรงดันสูง(HV) และแรงดันสูงพิเศษ (EHV)

$$E_{Psti} = G_{PstHV} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_{tHV}}} \quad \text{หรือ} \quad E_{Psti} = G_{PstEHV} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_{tEHV}}} \tag{5.12}$$

$$E_{Plti} = G_{PltHV} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_{tHV}}} \quad \text{หรือ} \quad E_{Plti} = G_{PltEHV} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_{tEHV}}} \tag{5.13}$$

เมื่อ $G_{PstHV(EHV)}$ หรือ $G_{PltHV(EHV)}$ คือ ค่า global contribution สูงสุดที่ระดับการกระจายฟลิคเกอร์ของแรงดันเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่ติดตั้งซึ่งจะสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบที่พิจารณา (แสดงในรูปของ P_{st} หรือ P_{lt})

S_{tHV} หรือ S_{tEHV} คือ ขนาดกำลังแหล่งจ่ายทั้งหมดของระบบระดับแรงดันสูงหรือสูงกว่า

ในการประเมินระดับการกระจายของฟลิคเกอร์ของกังหันลมที่ติดตั้ง(P_{sti}, P_{lti}) มีเงื่อนไขว่าค่าที่ประเมินได้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดจำกัดการกระจายของฟลิคเกอร์ จึงจะยอมให้เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าได้ แต่ในกรณีที่ค่าที่ประเมินได้มีค่ามากกว่าค่าขีดจำกัดการกระจายของฟลิคเกอร์ ต้องทำการตรวจวัดเพิ่มเติมเพื่อหาทางลดระดับการกระจายของฟลิคเกอร์ให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ถ้าไม่สามารถทำได้ให้พิจารณาต่อไปที่ขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3

ในกรณีที่ไม่สามารถผ่านการประเมินระดับการกระจายของฟลิคเกอร์ในขั้นตอนที่ 2 จึงจะพิจารณาต่อมาในขั้นตอนที่ 3 เมื่อรู้ระดับในการวางแผนและค่า global contribution สูงสุดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยอมรับได้ของระบบ (จากขั้นตอนที่ 2) จึงนำมาจัดการศึกษารายละเอียดของระบบใหม่อีกครั้ง หาขีดจำกัดและเงื่อนไขของขั้นตอนที่ 3 เพื่อดำเนินการปรับปรุงแก้ไข หาวิธีการลดระดับการกระจายของฟลิคเกอร์

ถ้าพบว่ายังมีผลกระทบต่อระบบอื่นอยู่ ก็จะต้องปรับปรุงแก้ไขไม่ให้เกินข้อกำหนด จนกว่าการไฟฟ้าจะยอมรับได้ แล้วจึงเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าตามเงื่อนไขของการไฟฟ้า

ข้อแนะนำในการพิจารณาค่า α

ในการประเมินค่า P_{st} และ P_{lt} สัมประสิทธิ์ α จะขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งกำเนิดแรงดันเปลี่ยนแปลง โดยมีข้อแนะนำดังนี้

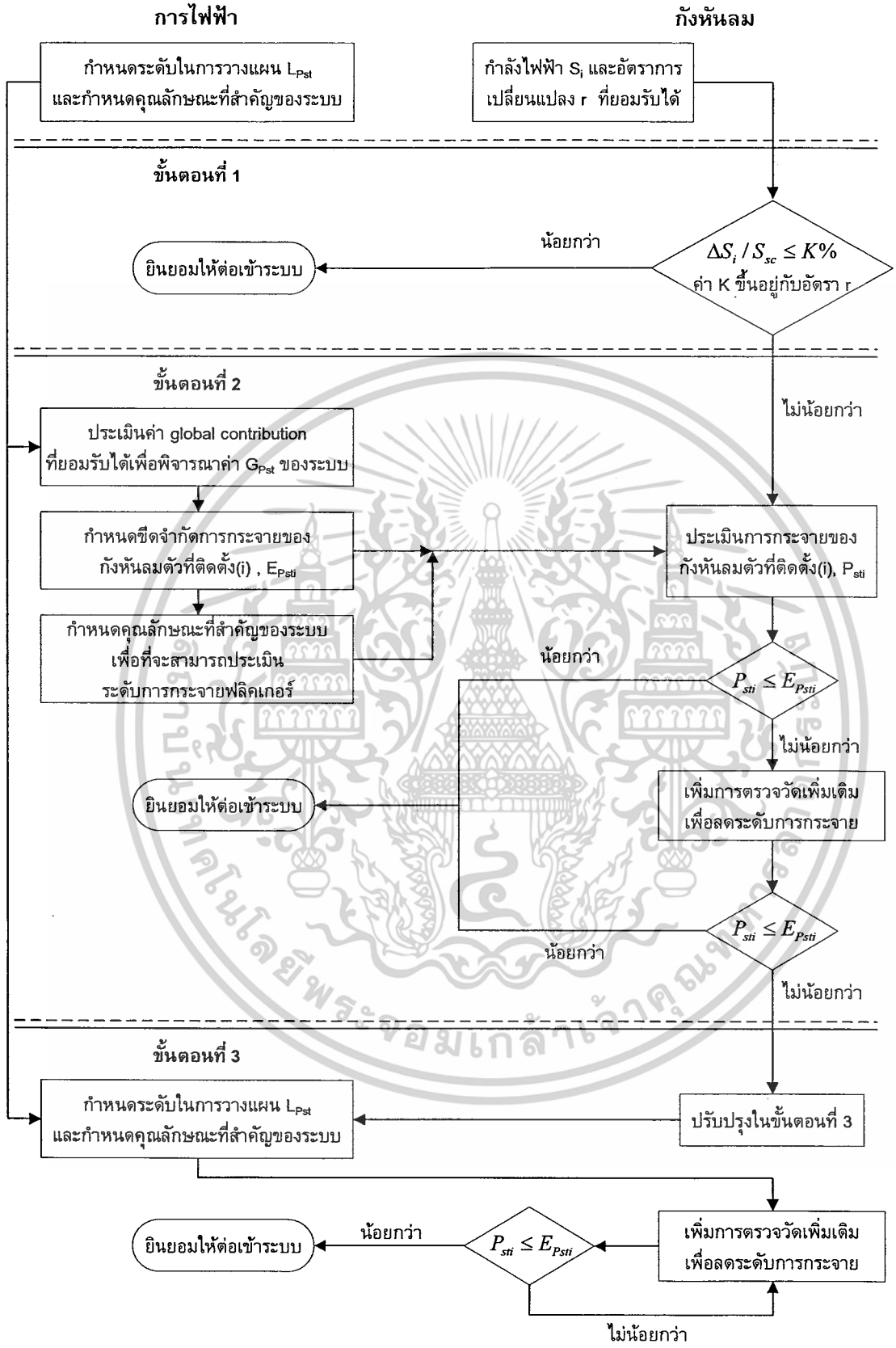
$\alpha = 4$ ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งก่อให้เกิดฟลิคเกอร์ที่ทำงานไม่พร้อมกัน

$\alpha = 3$ ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งก่อให้เกิดฟลิคเกอร์เกือบทุกประเภท โดยคาดว่าโอกาสที่จะทำงานพร้อมกันมีน้อย หากไม่แน่ใจว่าโอกาสที่จะทำงานพร้อมกันมีมากน้อยเพียงใดก็ให้ใช้ค่านี้

$\alpha = 2$ ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งก่อให้เกิดฟลิคเกอร์ ที่มีโอกาสจะเกิดการทำงานพร้อมกันบ่อยครั้ง

$\alpha = 1$ ใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งก่อให้เกิดฟลิคเกอร์ ที่มีการทำงานพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แผนผังลำดับขั้นตอนการตรวจสอบฟลิคเกอร์[22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.4 ฮาร์มอนิกส์

จากลักษณะเฉพาะทางคุณภาพไฟฟ้าของกังหันลมตามมาตรฐานของ IEC 61400-21 มีการกำหนดคุณภาพไฟฟ้าเรื่องฮาร์มอนิกที่เกิดจากกังหันลม ได้อ้างอิงแนวทางการคำนวนหาขีดจำกัดความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกเพื่อจะเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลางและระดับแรงดันสูงตามมาตรฐาน IEC 61000-3-6 ซึ่งมีขั้นตอนการประเมินขีดจำกัดความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกของกังหันลม ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

พิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าที่ยอมรับได้ (Agreed power)

$$\frac{S_i}{S_{sc}} \leq 0.2\% \tag{5.14}$$

เมื่อ S_i คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ยอมรับได้ของกังหันลมที่ติดตั้ง (i) ใดๆ

S_{sc} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าลัดวงจรที่จุดต่อร่วม

คำนวณหาค่า Weighted distorting power S_{Dwi}

$$S_{Dwi} = \sum_j S_{Dj} \cdot W_j \tag{5.15}$$

เมื่อ S_{Dj} คือ กำลังไฟฟ้าที่ถูกลดทอนเนื่องจากอุปกรณ์ j ของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i) ใดๆ และสัมประสิทธิ์ W_j สามารถดูได้จากตารางที่ 5.10

ถ้าไม่ทราบชนิดของอุปกรณ์ที่ต่อกับระบบให้ใช้ค่า Weighting Factor (W_j) เท่ากับ 2.5

ในขั้นตอนที่ 1 นี้ เมื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ยอมรับได้และ Weighted distorting power ได้แล้วให้นำมาพิจารณาว่าอัตราส่วน $\frac{S_i}{S_{sc}}$ หรือ $\frac{S_{Dwi}}{S_{sc}}$ ว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือไม่ หากเป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าว จะยินยอมให้ต่อเข้ากับระบบการไฟฟ้าได้ แต่ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าว ให้พิจารณาต่อไปที่ขั้นตอนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ค่าสัมประสิทธิ์ W_j [23]

ชนิดของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับ LV,MV or HV	Typical current THD	Weighting Factor(W_j)
Single phase power supply (rectifier and smoothing capacitor)	80% (high 3rd)	2.5
Semi-converter	High 2nd ,3rd,4th at partial loads	2.5
6-pulse converter, capacitive smoothing, no series inductance	80%	2.0
6-pulse converter, capacitive smoothing, with series inductance > 3%	40%	1.0
6-pulse converter with large inductor for current smoothing	28%	0.8
AC voltage regulator	Varies with firing angle	0.7
12-pulse converter	15%	0.5

ขั้นตอนที่ 2 ขีดจำกัดการกระจายที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของระบบจริง

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินขีดจำกัดความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง (i) โดยต้องทราบขีดจำกัดการกระจายของฮาร์มอนิกของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง (i) ใดๆก่อน

- กรณีระดับแรงดันป่านกลาง (MV)

คำนวณหาค่าระดับในการวางแผนของระบบจาก

$$L_{hMV} = \sqrt[\alpha]{G_{hMV}^{\alpha} + (T_{hUM} \cdot L_{hUS})^{\alpha}} \qquad (5.16)$$

คำนวณหาค่า global harmonic voltage contribution ที่ยอมรับได้ของระบบ

$$G_{hMV+LV} = \sqrt[\alpha]{L_{hMV}^{\alpha} - (T_{hUM} \cdot L_{hUS})^{\alpha}} \qquad (5.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ G_{hMV+LV} คือ ค่าสูงสุดของ global contribution ที่มาจากผลรวมของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h ในระบบแรงดันปานกลาง

L_{hMV} คือ ระดับในการวางแผนของฮาร์มอนิกลำดับที่ h ในระบบซึ่งดูได้จากตารางที่ 5.11

L_{hUS} คือ ระดับในการวางแผนของฮาร์มอนิกลำดับที่ h ในระบบแรงดันสูง

T_{hUM} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนระดับความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกจากระบบแรงดันสูงไปยังระบบแรงดันปานกลาง โดยพิจารณาที่ฮาร์มอนิกลำดับที่ h สามารถกำหนดให้เท่ากับ 1

เมื่อคำนวณหาค่าทั้งสองแล้ว จึงนำไปประเมินขีดจำกัดความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i) ได้ดังนี้

$$E_{Uhi} = G_{hMV+LV} \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_t}} \tag{5.18}$$

$$E_{Ihi} = \frac{E_{Uhi}}{Z_{hi}} \tag{5.19}$$

เมื่อ E_{Uhi} คือ ขีดจำกัดการกระจายของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกลำดับที่ h ของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง (i)

E_{Ihi} คือ ขีดจำกัดการกระจายของกระแสที่เกิดจากฮาร์มอนิกลำดับที่ h ของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง (i)

Z_{hi} คือ ฮาร์มอนิกอิมพิแดนซ์ของระบบ ณ จุดที่พิจารณาของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i)

$S_i = (P_i / \cos \varphi_i)$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ยอมรับของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง (i) หรือพิกัด MVA ของอุปกรณ์ส่วนที่ทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลง

S_t คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทั้งหมดของระบบที่พิจารณา

ตารางที่ 5.11 ระดับในการวางแผนของฮาร์มอนิกลำดับที่ h ในระบบ MV (L_{hMV})[23]

ฮาร์มอนิกเลขคี่ที่ไม่คูณด้วยเลข 3		ฮาร์มอนิกเลขคี่ที่คูณด้วยเลข 3		ฮาร์มอนิกเลขคู่	
ฮาร์มอนิกลำดับที่ h	แรงดันฮาร์มอนิก %	ฮาร์มอนิกลำดับที่ h	แรงดันฮาร์มอนิก %	ฮาร์มอนิกลำดับที่ h	แรงดันฮาร์มอนิก %
5	5	3	4	2	1.8
7	4	9	1.2	4	1
11	3	15	0.3	6	0.5
13	2.5	21	0.2	8	0.5
$17 \le h \le 49$	$1.9\frac{17}{h} - 0.2$	$21 < h \le 45$	0.2	$10 \le h \le 50$	$0.25\frac{10}{h} + 0.22$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่า α สามารถดูได้จากตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 แสดงค่า α สำหรับลำดับฮาร์มอนิกต่างๆ[23]

ลำดับฮาร์มอนิก	α
h < 5	1
5 ≤ h ≤ 10	1.4
h > 10	2

- กรณีระดับแรงดันสูง(HV) และแรงดันสูงพิเศษ(EHV)

คำนวณหาค่าระดับในการวางแผนของระบบจาก

$$L_{hHV-EHV} = \sqrt[\alpha]{G^{\alpha}_{hHV-EHV} + \left(T_{hUM} \cdot L_{hUS}\right)^{\alpha}} \qquad (5.20)$$

คำนวณหาค่า global harmonic voltage contribution ที่ยอมรับได้ของระบบ

$$G_{hHV-EHV} = \sqrt[\alpha]{L^{\alpha}_{hHV-EHV} - \left(T_{hUM} \cdot L_{hUS}\right)^{\alpha}} \qquad (5.21)$$

เมื่อ $G_{hHV-EHV}$ คือ ค่าสูงสุดของ global contribution ที่มาจากผลรวมของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h ในระบบแรงดันสูงและแรงดันสูงพิเศษ

$L_{hHV-EHV}$ คือ ระดับในการวางแผนของฮาร์มอนิกลำดับที่ h ในระบบ ดูได้จากตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ระดับในการวางแผนของฮาร์มอนิกลำดับที่ h ในระบบแรงดันสูง (HV) และแรงดันสูงพิเศษ (EHV) ($L_{hHV-EHV}$)[23]

ฮาร์มอนิกเลขคี่ ที่ไม่คูณด้วยเลข 3		ฮาร์มอนิกเลขคี่ ที่คูณด้วยเลข 3		ฮาร์มอนิกเลขคู่	
ฮาร์มอนิก ลำดับที่ h	แรงดัน ฮาร์มอนิก %	ฮาร์มอนิก ลำดับที่ h	แรงดัน ฮาร์มอนิก %	ฮาร์มอนิก ลำดับที่ h	แรงดัน ฮาร์มอนิก %
5	2	3	2	2	1.4
7	2	9	1	4	0.8
11	1.5	15	0.3	6	0.4
13	1.5	21	0.2	8	0.4
$17 \le h \le 49$	$1.2\frac{17}{h}$	$21 < h \le 45$	0.2	$10 \le h \le 50$	$0.19\frac{10}{h} + 0.16$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณหาค่าทั้งสองแล้ว จึงนำไปประเมินขีดจำกัดความเพี้ยนของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i) ได้ดังนี้

$$E_{Uhi} = G_{hHV-EHV} \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_{tHV-EHV}}} \tag{5.22}$$

$$E_{Ihi} = \frac{E_{Uhi}}{Z_{hi}} \tag{5.23}$$

เมื่อ E_{Uhi} คือ ขีดจำกัดการกระจายของแรงดันที่เกิดจากฮาร์มอนิกลำดับที่ h ของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i)

E_{Ihi} คือ ขีดจำกัดการกระจายของกระแสที่เกิดจากฮาร์มอนิกลำดับที่ h ของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i)

Z_{hi} คือ ฮาร์มอนิกอิมพิแดนซ์ของระบบ ณ จุดที่พิจารณาของกังหันลมตัวที่ติดตั้ง(i)

S_i คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทั้งหมดของระบบที่พิจารณา

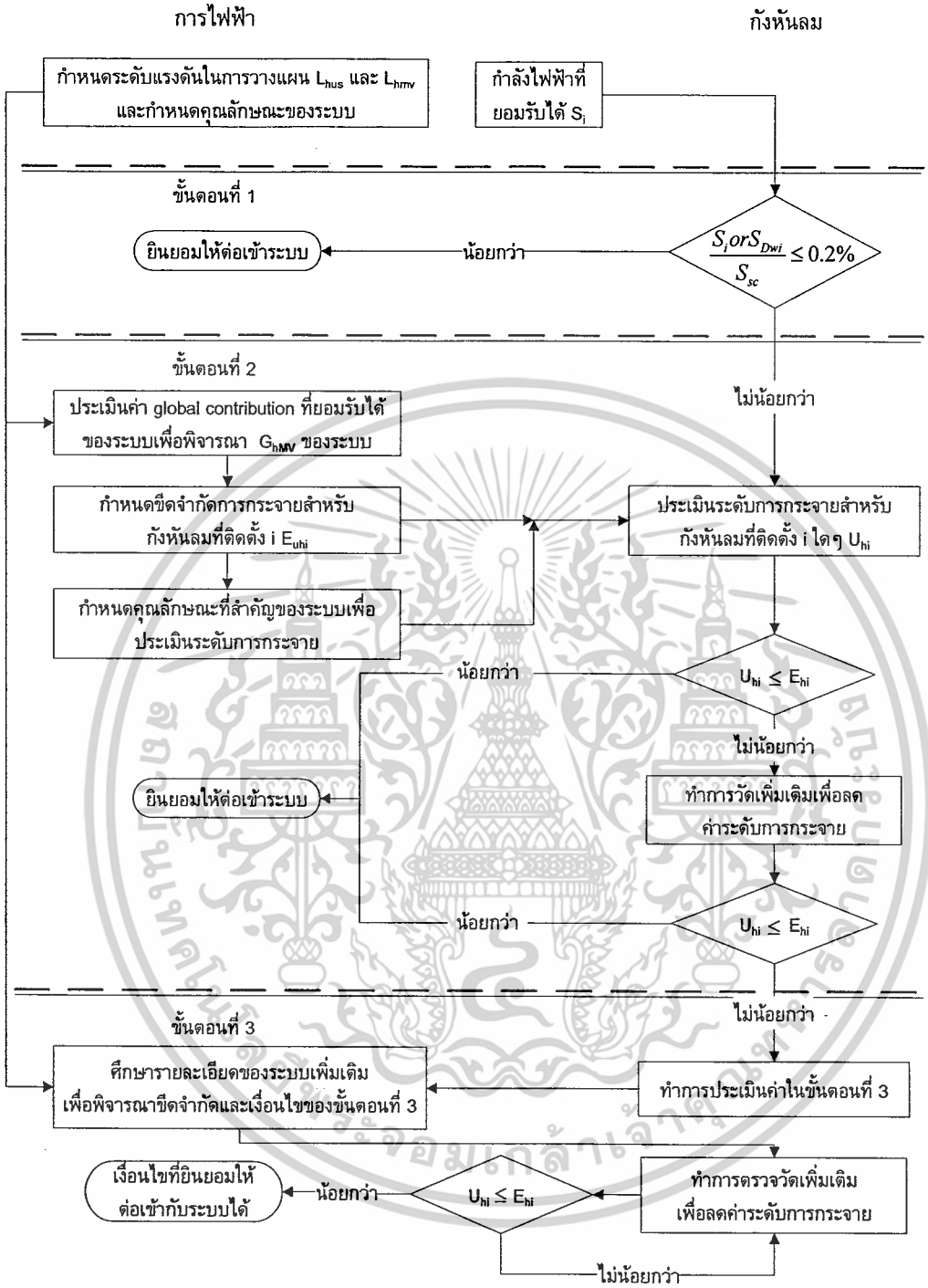
$S_{tHV-EHV}$ คือ ขนาดกำลังแหล่งจ่ายทั้งหมดของระบบระดับแรงดันสูงหรือแรงดันสูงพิเศษที่พิจารณา

ในการประเมินขีดจำกัดการกระจายของฮาร์มอนิก มีเงื่อนไขว่าค่าที่ประเมินได้ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดจำกัดการกระจายของฮาร์มอนิก จึงจะยินยอมให้เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าได้ แต่ในกรณีที่ค่าที่ประเมินได้มีค่ามากกว่าขีดจำกัดการกระจายของฮาร์มอนิก ต้องทำการตรวจวัดเพิ่มเติมเพื่อหาทางลดระดับการกระจายของฮาร์มอนิก ให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ถ้าไม่สามารถทำได้ให้พิจารณาต่อไปที่ขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3

เมื่อทราบระดับในการวางแผนและค่าสูงสุดของ global contribution ที่ยอมรับได้ของระบบ (จากขั้นตอนที่ 2) จึงนำมาจัดการศึกษารายละเอียดของระบบใหม่อีกครั้ง หาขีดจำกัดและเงื่อนไขของขั้นตอนที่ 3 เพื่อประเมินระดับการกระจายและหาวิธีการลดระดับการกระจายให้ได้ตามที่การไฟฟ้ายอมรับ แล้วจึงเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าตามเงื่อนไขของการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงขั้นตอนการพิจารณาขีดจำกัดการกระจายของฮาร์มอนิกเพื่อเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า[23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ข้อเสนอแนะการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าในประเทศไทย

เนื่องจากข้อกำหนดการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นไม่มีข้อกำหนดการติดตั้งกังหันลม จึงนำเสนอข้อพิจารณาการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ (ในหัวข้อ 5.3) ในหัวข้อนี้จึงเป็นข้อเสนอแนะการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าในประเทศไทย

5.4.1 การควบคุมระดับแรงดัน

จากการศึกษาพบว่าระดับแรงดันที่สภาวะปกติของกังหันลมจะมีมาตราฐานเดียวกับมาตราฐานของการไฟฟ้า คือ จะมีแรงดันคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ±5% แต่ในส่วนของสภาวะฉุกเฉินของกังหันลมตามมาตราฐาน IEC61400-21[21] จะมีแรงดันมากกว่าระดับปกติ คือ 8% ถึง 16% ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตราฐานของการไฟฟ้า ซึ่งจะมีแรงดันมากกว่าระดับปกติ ±10% เพราะฉะนั้นในการควบคุมแรงดันในสภาวะฉุกเฉินจะพิจารณาโดยยึดถือตามมาตรฐานที่การไฟฟ้ากำหนดนั่นคือเปลี่ยนแปลงจากระดับแรงดันปกติ ±10%

5.4.2 การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าให้ควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ± 0.95 ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้อยู่ในช่วง ± 0.90 ตามที่การไฟฟ้ากำหนด ในกรณีที่ควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ± 0.90 ตามที่การไฟฟ้ากำหนดนั้น จะทำให้ระดับแรงดันที่บัสเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะต้องพิจารณาระดับแรงดันคงที่หรือเปลี่ยนแปลงจากปกติตามหัวข้อ 5.4.1

ตารางที่ 5.14 ข้อเสนอแนะการควบคุมแรงดันสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลมในประเทศไทย

สภาวะ	ข้อกำหนดการไฟฟ้า	มาตรฐานนานาชาติ	ข้อเสนอแนะสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลม
สภาวะปกติ	±5%	±5%	±5%
สภาวะฉุกเฉิน	±10%	+8% ถึง+16%	±10%

ตารางที่ 5.15 ข้อเสนอแนะการควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลมในประเทศไทย

ข้อกำหนดการไฟฟ้า	มาตรฐานนานาชาติ	ข้อเสนอแนะสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลม
± 0.90	±.095	±.095

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 ฟลิคเกอร์

จากการศึกษาข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และ IEC 61000-3-7 ทำให้เราสามารถวิเคราะห์ได้ ดังต่อไปนี้

1. ข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีการกำหนดค่า P_{st} และ P_{lt} ตามการแบ่งระดับแรงดัน 2 ช่วงคือระดับแรงดัน 115kV หรือต่ำกว่าและระดับแรงดันมากกว่า 115kV ขึ้นไป

IEC 61000-3-7 จะกำหนดค่า P_{st} และ P_{lt} แบ่งตามระดับแรงดัน 2 ช่วงเช่นกัน คือ ที่ระดับปานกลาง (1kV ≤ Un ≤ 35kV) ระดับแรงดันสูงและมากกว่า (35 kV ขึ้นไป)

จึงเสนอแนะว่า ถ้าจะทำการเชื่อมต่อกังหันลมเข้ากับระบบของประเทศไทยในช่วงระดับแรงดัน 33 kV หรือต่ำกว่า จะกำหนดค่า Pst = 0.9 และค่า Plt = 0.8 ในช่วงระดับแรงดันมากกว่า 33 kV ขึ้นไป จะกำหนดค่า Pst = 0.7 และค่า Plt = 0.6 ดังตารางที่ 5.16

2. จากข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะพิจารณาจาก อัตราส่วนเควีเอ. ที่เปลี่ยนแปลง ต่อพิกัดเควีเอ.ลัดวงจรที่จุดต่อร่วม โดยกำหนดว่าถ้าไม่เกิน 0.2 เปอเซ็นต์ จะสามารถต่อเข้ากับการไฟฟ้าได้เลย

IEC 61000-3-7 จะมีวิธีการพิจารณาที่เหมือนกับข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยค่าอัตราส่วนที่ได้ (K) จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อนาที (r)

จึงเสนอแนะว่า ในการพิจารณาอัตราส่วนเควีเอที่เปลี่ยนแปลงต่อพิกัดเควีเอลัดวงจร สำหรับการเชื่อมต่อกังหันลมในประเทศไทย ควรจะพิจารณาตาม IEC 61000-3-7 ดังตารางที่ 5.17

กล่าวโดยสรุป คือ ในการพิจารณาการกระจายของฟลิคเกอร์ สำหรับการเชื่อมต่อกังหันลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบในประเทศไทย เสนอแนะให้พิจารณาจากมาตรฐาน IEC 61000-3-7 จะมีความเหมาะสมกับกังหันลมขนาดใหญ่มากกว่าข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีอยู่และไม่ส่งผลกระทบต่อระบบอื่น

ตารางที่ 5.16 ข้อเสนอแนะค่า P_{st} และ P_{lt} สำหรับการเชื่อมต่อกังหันลมในประเทศไทย

	ข้อกำหนดของ กฟภ.		IEC 61000-3-7		ข้อเสนอแนะสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลม	
	115 kV หรือต่ำกว่า	มากกว่า 115 kV	35kV หรือต่ำกว่า (MV)	มากกว่า 35 kV (HV-EHV)	33 kV หรือต่ำกว่า	มากกว่า 33 kV
P_{st}	1.0	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8
P_{lt}	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 ข้อเสนอแนะอัตราส่วนเควีเอที่เปลี่ยนแปลงต่อพิกัดเควีเอลัดวงจร สำหรับการเชื่อมต่อกังหันลมในประเทศไทย

	ข้อกำหนดของ กฟภ.	IEC 61000-3-7	ข้อเสนอแนะสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลม
$\Delta S/S_{SC}$ (%)	≤ 0.2	0.1 (r > 200)	0.1 (r > 200)
		0.2 (10 ≤ r ≤ 200)	0.2 (10 ≤ r ≤ 200)
		0.4 (r < 10)	0.4 (r < 10)

5.4.4 ฮาร์มอนิก

จากการศึกษาข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และลักษณะเฉพาะทางคุณภาพไฟฟ้าเกี่ยวกับเรื่องฮาร์มอนิกของกังหันลมจาก IEC 61400-21 และ IEC 61000-3-6 พบว่าขอบเขตในการกำหนดแรงดันแตกต่างกัน โดยที่ของประเทศไทยมีการแบ่งระดับแรงดันเป็น 0.4 kV, 11kV, 12 kV, 22 kV, 24 kV, 33kV, 69 kV, 115 kV ขึ้นไป และในส่วนของ IEC 61400-21 แบ่งระดับแรงดันเป็น 4 ระดับ คือ แรงดันต่ำเป็นแรงดันน้อยกว่า 1 kV แรงดันปานกลางเป็นแรงดันระหว่าง 1 kV ถึง 35 kV แรงดันสูงเป็นแรงดันระหว่าง 35 kV ถึง 230 kV และระดับแรงดันสูงพิเศษเป็นแรงดันที่ 230 kV ขึ้นไป ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบระดับแรงดันได้ได้ดังต่อไปนี้

1. ที่ระดับแรงดัน 11kV 12 kV 22 kV 24 kV และ 33kV ของประเทศไทยเปรียบเทียบกับระดับแรงดันปานกลางของ IEC 61400-21
2. ที่ระดับแรงดัน 69 kV และ115 kV ขึ้นไป ของประเทศไทยเปรียบเทียบกับระดับแรงดันสูงของ IEC 61400-21

ตารางที่ 5.18 ข้อเสนอแนะค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันฮาร์มอนิกอันดับคู่ ที่ระดับแรงดัน 11kV 12 kV 22 kV 24 kV และ 33kV

มาตรฐาน IEC 61000-3-6 ที่ระดับแรงดันปานกลาง (1kV<U<35kV)		ข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		ข้อเสนอแนะสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลม
ฮาร์มอนิก ลำดับที่ h	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)
2	1.8	11,12,22 และ 24	1.75	1.75
4	1			
6	0.5	33	1	1
8	0.5			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 ข้อเสนอแนะค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันฮาร์มอนิกอันดับคี่ ที่ระดับแรงดัน 11kV 12 kV 22 kV 24 kV และ 33kV

มาตรฐาน IEC 61000-3-6 ที่ระดับแรงดันปานกลาง (1kV<U<35kV)		ข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		ข้อเสนอแนะสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลม
ฮาร์มอนิกลำดับที่ h	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)
3	4	11,12,22 และ 24	3	3
5	5			
7	4			
9	1.2			
11	3	33	2	2
13	2.5			
15	0.3			
21	0.2			

ตารางที่ 5.20 ข้อเสนอแนะค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันฮาร์มอนิกอันดับคู่ ที่ระดับแรงดัน 69 kV และ 115 kV ขึ้นไป

มาตรฐาน IEC 61000-3-6 ที่ระดับแรงดันสูง (35kV<U<230kV)		ข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		ข้อเสนอแนะสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลม
ฮาร์มอนิกลำดับที่ h	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)
2	1.4	69	0.82	0.82
4	0.8			
6	0.4	115 ขึ้นไป	0.5	0.5
8	0.4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.21 ข้อเสนอแนะค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันที่ฮาร์มอนิกอันดับคี่ ที่ระดับแรงดัน 69 kV และ 115 kV ขึ้นไป

มาตรฐาน IEC 61000-3-6 ที่ระดับแรงดันสูง (35kV<U<230kV)		ข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค		ข้อเสนอแนะสำหรับการเชื่อมต่อกังหันลม
ฮาร์มอนิกลำดับที่ h	แรงดันฮาร์มอนิก (%)	ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ (%)
3	2	69	1.63	1.63
5	2			
7	2			
9	1			
11	1.5	115 ขึ้นไป	1	1
13	1.5			
15	0.3			
21	0.2			

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกจากตารางทั้ง 4 ตารางแล้ว พบว่าค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีค่าน้อยกว่าของ IEC 61000-3-6 ในอันดับที่ 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11 และ13 แต่ในฮาร์มอนิกอันดับอื่นๆ นั้นค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกของ IEC 61000-3-6 มีค่าต่ำกว่าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงเสนอแนะให้ใช้ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งทำให้ได้คุณภาพไฟฟ้าที่ดีกว่าและเนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพิจารณาให้ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับมีค่าเท่ากัน จึงเสนอแนะว่าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคควรมีการพิจารณาค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับ ซึ่งมีความละเอียดและมีความเหมาะสมมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปและวิจารณ์

6.1 สรุปการคัดเลือกประเภทของกังหันลม

จากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานทำให้ทราบว่าการที่จะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์นั้น ต้องมีตัวแปลงพลังงานลมให้เป็นพลังงานรูปอื่น กังหันลมเป็นอีกหนึ่งเครื่องจักรที่สามารถแปลงพลังงานลมมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ในทางทฤษฎีประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันลมเพียง 59.3 เปอร์เซนต์เท่านั้น ดังนั้นในบทที่ 2 จึงเป็นการศึกษาประเภทและส่วนประกอบของกังหันลม รวมไปถึงการติดตั้งทุ่งกังหันลม ซึ่งประเภทของกังหันลมนั้นสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท ตามลักษณะการจัดวางแกนของใบพัด การควบคุมความเร็วหรือการควบคุมกำลัง โดยการผลิตกังหันลมในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นกังหันลมชนิด C1 คือความเร็วไม่คงที่แบบดับบลิเฟด ชนิดนี้มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขดลวดพันแบบดับบลิเฟด (doubly-fed Induction generator (DFIG)) โดยการควบคุมความเร็วเป็นแบบความเร็วไม่คงที่และการควบคุมกำลังเป็นแบบพิทช์ นั่นหมายถึงใบพัดของกังหันลมสามารถหมุนหรือปรับองศาได้ เพื่อให้ได้กำลังที่ออกมาเหมาะสมที่ความเร็วลมต่างกัน ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ชุดเกียร์และ partial scale frequency converter เป็นต้น โดยกังหันลมชนิดนี้สามารถทำงานที่ความเร็วลมระดับต่างๆในช่วงที่กว้างกว่ากังหันลมบางชนิดที่ผลิตได้ในปัจจุบัน มีการสูญเสียกำลังจากอุปกรณ์ภายในต่ำและยอมรับได้ และมี partial scale frequency converter ทำหน้าที่ชดเชยความแตกต่างของความถี่ทางไฟฟ้ากับความถี่ทางกล ซึ่งทำให้มีความสามารถที่จะควบคุมกำลังจริงและกำลังรีแอคทีฟในระหว่างการทำงานได้เป็นอย่างดี

เพาเวอร์คอนเวอเตอร์ที่ใช้ภายในกังหันลมชนิดนี้จะประกอบด้วยคอนเวอเตอร์ 2 ตัวคือ คอนเวอเตอร์ทางด้านโรเตอร์ และคอนเวอเตอร์ทางด้านกริด ซึ่งจะมีการทำงานเป็นอิสระจากกันโดยคอนเวอเตอร์ทางด้านโรเตอร์ จะเป็นตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟโดยอาศัยการควบคุมจากส่วนประกอบของกระแสโรเตอร์ (Rotor current components) ส่วนคอนเวอเตอร์ทางด้านกริด จะเป็นตัวควบคุมแรงดันเพื่อให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่เหมาะสม

ข้อดีของกังหันลมชนิดนี้ก็คือมีความสามารถในการควบคุมกำลังรีแอคทีฟ อีกทั้งยังไม่ต้องการการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กจากกริดอีกด้วย เพราะสามารถกระตุ้นได้ด้วยตัวมันเอง ส่วนข้อเสียของกังหันลมชนิดนี้ก็คือยังมีความจำเป็นที่จะต้องใช้สลิปริง

เมื่อมีความต้องการทางด้านพลังงานเพิ่มขึ้นจึงได้มีการนำกังหันลมหลายๆตัวมาติดตั้งร่วมกันกลายเป็นทุ่งกังหันลม เพื่อร่วมกันผลิตพลังงานให้ได้สูงขึ้น การติดตั้งกังหันลมเพียงตัวเดียวไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงทำเลที่ตั้งมากนัก เพราะใช้พื้นที่ในการติดตั้งไม่มาก แต่ถ้าเป็นการติดตั้งทุ่งกังหันลมจำเป็นต้องพิจารณาถึงทำเลที่ตั้ง ต้องสอดคล้องกับสิ่งแวดล้อม สังคมและถูกต้องตามกฎหมาย การกำหนดสถานที่ก่อสร้าง การก่อสร้าง รวมไปถึงการกำหนดระยะห่างระหว่างกังหันลมด้วย

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ระบบไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าพลังงานลมและการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบรวบรวมจะต้องพิจารณาแต่ละส่วนของระบบเนื่องจากในแต่ส่วนนั้นมีการแบ่งระดับแรงดันแตกต่างกัน เพื่อที่จะนำไปพิจารณาตัวนำของระดับแรงดันนั้นๆ เช่น ในระบบแรงดันต่ำจะใช้สายเคเบิลใต้ดินซึ่งเดินระหว่างกังหันลมไปยังหม้อแปลง เป็นต้น และนอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงการไหลของกำลังไฟฟ้า การรับโหลดของอุปกรณ์และระบบป้องกัน ซึ่งในรายละเอียดของระบบป้องกันนั้นควรพิจารณาถึงการไหลของกระแสฟอล์ต การหยุดทำงานและการร่วมกันป้องกันอุปกรณ์ด้วย ในส่วนของการควบคุมแรงดันมีความสำคัญต่อระบบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันมีผลต่อสลิป แรงบิด กำลังเอาต์พุต ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมแรงดันที่ดีเพื่อที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบอื่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบอินดักชั่นก็เหมือนกับอินดักชั่นมอเตอร์ที่ต้องการกำลังรีแอคทีฟในการทำงาน ถ้าแหล่งจ่ายกำลังรีแอคทีฟของทุ่งกังหันลมจ่ายให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่เพียงพอ กำลังรีแอคทีฟจะไหลจากระบบเข้าสู่ทุ่งกังหันลม ดังนั้นจะต้องพิจารณาว่าแหล่งจ่ายกำลังรีแอคทีฟให้กับทุ่งกังหันลม

6.3 การออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

เนื่องจากข้อกำหนดของประเทศไทยมีเฉพาะการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไป ยังไม่มีข้อกำหนดการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ ดังนั้นทางผู้จัดทำโครงงานจึงนำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบของการไฟฟ้า การออกแบบเชิงหลักการที่นำเสนอรูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ให้เหมาะสมกับประเทศไทยนี้ แบ่งตามลักษณะการเชื่อมต่อได้ 2 ลักษณะ

1. การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่เข้ากับการไฟฟ้า (Grid Connect)
   - 1.1 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับการไฟฟ้า
   - 1.2 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับการไฟฟ้า
2. การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่แบบแยกตัวอิสระ (Islanding)
   - 2.1 การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งแบบแยกตัวอิสระ
   - 2.2 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมแยกตัวอิสระ
   - 2.3 การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดอื่น

การแบ่งลักษณะการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ดังกล่าว เป็นการแบ่งตามความเหมาะสมของลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภค เช่น การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำของการไฟฟ้า เพื่อจ่ายให้แก่โหลดที่อยู่ไม่ห่างไกลจากกังหันลมและโหลดนั้นอยู่ในเขตพื้นที่การไฟฟ้าเข้าถึง แต่ถ้าเป็นการเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวแบบแยกตัวอิสระในระบบแรงดันต่ำเหมาะสมกับโหลดที่อยู่ไม่ห่างไกลจากกังหันลม แต่โหลดอยู่ห่างไกลจากเขตพื้นที่การไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่

รูปแบบการเชื่อมต่อ / ความเหมาะสม	1	2	3	4	5	6	7	8	9
โหลดอยู่ในพื้นที่การไฟฟ้า	✓	✓	✓	✓					
โหลดไม่อยู่ในพื้นที่การไฟฟ้า					✓	✓	✓	✓	✓
ศูนย์กลางโหลดอยู่ใกล้สถานที่ติดตั้งกังหันลม	✓				✓				
ศูนย์กลางโหลดอยู่ไกลสถานที่ติดตั้งกังหันลม		✓	✓	✓		✓	✓		
ความต้องการกำลังไฟฟ้า 1-3 MW	✓	✓			✓	✓			
ความต้องการกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า 10 MW			✓				✓		
ความต้องการกำลังไฟฟ้ามากกว่า 10 MW				✓					
เพิ่มกังหันลมเข้าไปทำงานร่วมกับโรงไฟฟ้าดีเซล								✓	
เพิ่มโรงไฟฟ้าพลังงานร่วมดีเซล-กังหันลม									✓

หมายเหตุ : 1 = การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำของการไฟฟ้า

2 = การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า

3 = การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV ของการไฟฟ้า

4 = การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 115 kV ของการไฟฟ้า

5 = การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดันต่ำแบบแยกตัวอิสระ

6 = การเชื่อมต่อกังหันลมหนึ่งตัวเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ

7 = การเชื่อมต่อทุ่งกังหันลมเข้ากับระบบแรงดัน 22-33 kV แบบแยกตัวอิสระ

8 = การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มกังหันลม)

9 = การเชื่อมต่อไฮบริดระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล-พลังงานลมเข้ากับระบบแบบแยกตัวอิสระ (เพิ่มโรงไฟฟ้าพลังงานร่วม)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6.4 ข้อเสนอแนะการควบคุมการทำงานและคุณภาพไฟฟ้าเพื่อการติดตั้งกังหันลม

การติดตั้งกังหันลมต้องมีการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันที่จุดเชื่อมต่อหรือส่งผลกระทบต่อโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่น ดังนั้นผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากกังหันลมจะต้องมีขีดจำกัดที่อยู่ในขอบเขตตามมาตรฐานที่เหมาะสม สามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

การควบคุมระดับแรงดัน

การควบคุมระดับแรงดันที่สภาวะปกติของกังหันลมให้สอดคล้องกับข้อกำหนดการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า คือ จะมีแรงดันคงที่ หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ±5% แต่ในส่วนของสภาวะฉุกเฉินควบคุมแรงดันเปลี่ยนแปลงจากระดับแรงดันปกติ ±10%

การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลมเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าให้ควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ±0.95 ซึ่งค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้อยู่ในช่วง ±0.90 ตามที่การไฟฟ้ากำหนด ในกรณีที่ควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ±0.90 ตามที่การไฟฟ้ากำหนดนั้น จะทำให้ระดับแรงดันที่บัสเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะต้องพิจารณาระดับแรงดันในสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉินด้วย

ฟลิคเกอร์และฮาร์มอนิก

จากข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะเป็นการพิจารณาเรื่องฟลิคเกอร์และฮาร์มอนิกสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทั่วไป ซึ่งไม่ครอบคลุมถึงกังหันลมขนาดใหญ่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอแนะว่าในการพิจารณาเรื่องฟลิคเกอร์เพื่อการเชื่อมต่อกังหันลมขนาดใหญ่เข้ากับระบบของประเทศไทยให้อ้างอิงตาม IEC 61400-21(2001) ซึ่งอ้างอิงแนวทางการประเมินการกระจายของฟลิคเกอร์จาก IEC 61000-3-7(2008) จะเหมาะสมกว่าข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีอยู่ แต่ในส่วนของฮาร์มอนิกเสนอแนะว่าข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีคุณภาพไฟฟ้าในส่วนของฮาร์มอนิกที่ดี แต่ควรมีการพิจารณาค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกที่แต่ละอันดับ ซึ่งมีความละเอียดและความเหมาะสมมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] วรพล พัวรัตนอรุณกร, วัชรพล จันทร์เจริญพร และ สรวิศ เจียรพิสิฐพงศ์, "ข้อกำหนดสำหรับการขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า" ,**ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**,สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[2] คณะกรรมการปรับปรุงศัพท์เทคนิคทางวิศวกรรมไฟฟ้า, **ศัพท์เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง**, กรุงเทพฯ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2547.

[3] กองวิจัย ฝ่ายพัฒนาระบบไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า 2551

[4] นิพนธ์ เกตุจ้อย,* และ อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์, เทคโนโลยีพลังงานลม, **ปริญญานิพนธ์,** วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

[5] Thomas Ackermann,**Wind Power in Power System**, Chichester,John Wiley & sons, Ltd.,2005.

[6] Mukund R. Patel,**Wind and Solar Power Systems**, second edition, Taylor & Francis,2006

[7] Sathyajith Mathew,**Wind Energy Fundamentals Resource Analysis and Economic**,Springer,2006

[8] Tony Burton, David Sharpe and Nick Jenkins, **WIND ENERGY HANDBOOK**, John Wiley & Sons, Ltd,2001

[9] **Interaction between Electrical Grid Phenomena and the Wind Turbine's Behaviour**, Available URL: www.kuleuven.be/ei/Public/publications/EIWP04-08.pdf

[10] Engineering Recommendation P.28, 1989 **"Planning Limits for Voltage Fluctuations caused by Industrial** , Commercial and Domestic Equipment in The United Kingdom"

[11] Engineering Recommendation G.5/3 September 1976 The Electricity Council Chief Engineer' Conference "Limits for Harmonics in The United Kingdom Electricity Supply System"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] The State Energy Commission of Western Australia (SECWA), Part 2: Technical Requirement

[13] Z.Lubosny, **Wind Turbine Operation in Electric Power Systems**, pp.45

[14] ANSVNFPA 70-1993, National Electrical Code.

[15] ANSI C84.1-2006, American National Standard Electric Power Systems and Equipment Voltage Ratings (60 Hz).

[16] ANSI/NFPA 70-1990, National Electrical Code.5

[17] ANSI C2-2007, National Electrical Safety Code.3

[18] A.S 2279.4-1991 Australian Standard

[19] IEC 61400-1, Wind turbines Part 1: Design requirements.

[20] IEC 61400-24, Wind turbine generator systems Part 24: Lightning protection.

[21] IEC 61400-21, Wind turbines Part 21:Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines

[22] IEC 61000-3-7, Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3-7:Limits-Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV,HV and EHV power systems

[23]IEC 61000-3-6, Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 3-6: Limits-Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV,HV and EHV power systems

[24] IEEE Std 18-2002, IEEE Standard for Shunt Power Capacitors (ANSI).

[25] ANSIVNFPA 70-1990, National Electrical Code.

[26] IEEE C37.99-2000, IEEE Guide for Protection of Shunt Capacitor Banks.

[27] IEEE Std 80-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding (ANSI).

[28] IEEE Std 81-1983, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity , Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System.

[29] IEEE Std 367-1996, IEEE Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage from a Power Fault (ANSI).

[30] IEEE C62.2-1987, IEEE Guide for the Application of Gapped Silicon-Carbide Surge Arresters for Alternating Current Systems (ANSI).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[31] IEEE C37.010-1999, IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis (ANSI).

[32] IEEE C37.012-1979 (Red. 1988), IEEE Application Guide for Capacitance Current Switching for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis (ANSI).

[33] IEEE C57.13-1993, IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers (ANSI).

[34] IEEE std 1094-1991,IEEE Recommended Practice For The Electrical Design

[35] IEEE Std 399-1997 (Brown Book), IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power System Analysis (ANSI).

[36] IEEE C37.010-1997 (Reaff. 1988), IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis (ANSI).

[37] IEEE Std 141-1993(R1999) (Red Book), IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants (ANSI).

[38] IEEE Std 242-2001 (Buff Book), IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (ANSI).

[39] J. Soens, J. Driesen and R. Belmans, Interaction between Electrical Grid Phenomena and the Wind Turbine's Behaviour,2004

[40] Available URL: http://www.leica-geosystems.com/news/images/windmill.jpg(2008)

[41] Available URL: http://www.greenmasterinc.com/index/mc/1k.JPG(2008)

[42] Available URL: http://ec.europa.eu/research/energy(2008)

[43] Available URL: http://www.prapai.co.th(2008)

[44] Available URL: http://www.solar-systems.ca(2008)

[45] Available URL: http://www.9engineer.com/ee_main/Article/Harmonic.htm (2008)

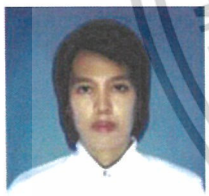
[46] อนุรักษ์ ขำดี, การศึกษาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันลมเข้ากับระบบไฟฟ้าในประเทศไทย, **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,** สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายนัฐวุฒิ สิทธิชัยทวีกุล (แป๊ะ)
วันเกิด 15 กุมภาพันธ์ 2530
ที่อยู่ 1/1 หมู่ 5 ต.ทับมา อ.เมือง จ.ระยอง 21000
จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจาก โรงเรียนระยองวิทยาคม
E-mail Nattawood439@gmail.com

นางสาวมิ่งขวัญ จงประสานวงศ์ (ทราย)
วันเกิด 2 เมษายน 2529
ที่อยู่ 1/20 หมู่ 12 แขวงหนองแขม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160
จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมารีย์อุปถัมภ์
จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมัธยมวัดหนองแขม
E-mail mink_jung@hotmail.com



นางสาวศุภลักษณ์ ศรีเพ็ชร์ (แป้ง)
วันเกิด 8 ตุลาคม 2529
ที่อยู่ 33-35 ซอย 7 ถ.พิชัย 9 ต.ปากเพรียว อ.เมือง จ.สระบุรี 18000
จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย โรงเรียนสระบุรีวิทยาคม
E-mail pang_SUPALUK@hotmail.com

นางสาวสิริวลี เรืองมาศ (เกรซ)
วันเกิด 15 กุมภาพันธ์ 2530
ที่อยู่ 46/13 หมู่ 8 ต.ราชาเทวะ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540
จบชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย โรงเรียนวชิรธรรมสาธิต
E-mail princess_grace15@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้