บทที่ 1

บทนำ

บทนี้เป็นบทนำซึ่งจะนำเสนอที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตและข้อจำกัดของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ สำหรับส่วนสุดท้ายของบทนี้จะได้นำเสนอเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อยเมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล อีกทั้งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณมาก นอกจากนี้การลงทุนติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลมมีต้นทุนไม่สูงมากและมีแนวโน้มที่ต้นทุนจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมีหลายเทคโนโลยี ซึ่งได้แก่ เทคโนโลยีที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Squirrel-cage Induction Generator) ร่วมกับตัวเก็บประจุ เทคโนโลยีที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบขดลวดพัน (Wound-rotor Induction Generator) ที่ต่อตัวต้านทานภายนอกที่โรเตอร์และใช้ตัวเก็บประจุ เทคโนโลยีที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบป้อนคู่ (Doubly-fed Induction Generator หรือ DFIG) ร่วมกับคอนเวอร์เตอร์ (Converter) และเทคโนโลยีที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Synchronous Generator) ร่วมกับคอนเวอร์เตอร์ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมแต่ละเทคโนโลยีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันดังนี้ [1]

1. เทคโนโลยีที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกร่วมกับตัวเก็บประจุไม่สามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าได้ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีการแกว่งมาก เมื่อผลิตไฟฟ้าโดยเทคโนโลยีนี้ในสัดส่วนมากอาจทำให้เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าแย่ลง แต่เทคโนโลยีนี้ใช้การลงทุนน้อยที่สุด

2. เทคโนโลยีที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบขดลวดพันที่ต่อตัวต้านทานภายนอกแบบปรับค่าได้ที่โรเตอร์และใช้ตัวเก็บประจุสามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าผ่านทางตัวต้านทานได้ แต่การใช้เทคโนโลยีนี้ทำให้เกิดกำลังสูญเสียในตัวต้านทานและสามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าได้ไม่มาก

3. เทคโนโลยีที่ใช้ DFIG ร่วมกับคอนเวอร์เตอร์สามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 2 เทคโนโลยีแรก DFIG เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบขดลวดพันที่มีคอนเวอร์เตอร์ต่อเชื่อมขดลวดโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับกริด ส่วนขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเข้ากับกริดโดยตรง การต่อคอนเวอร์เตอร์ลักษณะนี้ทำให้สามารถใช้คอนเวอร์เตอร์ขนาดเล็กซึ่งมีราคาไม่แพงมาก แต่จะเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ได้ในช่วงแคบ

4. เทคโนโลยีที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสร่วมกับคอนเวอร์เตอร์จะสามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด การต่อคอนเวอร์เตอร์จะต่อเชื่อมระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกริด เทคโนโลยีนี้จะสามารถเปลี่ยนความเร็วโรเตอร์ได้ในช่วงกว้าง แต่ต้องใช้คอนเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งมีราคาแพง

จากข้อดีและข้อเสียของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมแต่ละวิธีที่ได้กล่าวไปแล้ว การใช้เทคโนโลยี DFIG จึงเป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากสามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าได้โดยใช้การลงทุนไม่สูงมากแต่สามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าได้

การควบคุม DFIG สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมทางกลผ่านทางมุมพิชของใบพัดกังหันลม และการควบคุมทางไฟฟ้าผ่านทางคอนเวอร์เตอร์

การปรับมุมพิชของใบพัดกังหันลมทำให้กังหันลมรับพลังงานจากลมน้อยลง ดังนั้นจึงใช้การควบคุมมุมพิชเพื่อป้องกันไม่ให้กังหันลมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับความเสียหายเมื่อลมพัดแรง

การควบคุมในคอนเวอร์เตอร์จะอาศัยการควบคุมแบบเวกเตอร์ (Vector Control) [2–4] ซึ่งทำให้สามารถแยกควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟออกจากกันได้ การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงจะควบคุมให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมค่าหนึ่งๆ (Maximum Power Tracking หรือ MPT) [5] การควบคุมแบบนี้ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีการแกว่งมากซึ่งอาจส่งผลเสียต่อเสถียรภาพเชิงความถี่ของระบบไฟฟ้า

การออกแบบตัวควบคุมโดยกรอบงานซาเกียนซึ่งได้แก่ วิธีอสมการ (Method of Inequalities หรือ MoI) [6–9] และหลักการเข้าคู่ (Principle of Matching หรือ PoM) [8–10] เป็นหลักการออกแบบตัวควบคุมเพื่อให้ระบบเข้าคู่กับสิ่งแวดล้อมที่ระบบทำงานอยู่ โดยมีการกำหนดเงื่อนไขที่จะยอมรับผลตอบสนองในรูปอสมการ การออกแบบตัวควบคุมโดยวิธีนี้เหมาะสมกับปัญหาการออกแบบตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม เนื่องจากรูปแบบของสัญญาณเข้าที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมใกล้เคียงกับสัญญาณเข้าจริง และเงื่อนไขการจำกัดผลกระทบที่มีต่อความถี่ของระบบไฟฟ้าสามารถเขียนให้อยู่ในรูปอสมการได้

ด้วยเหตุนี้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่ใช้เทคโนโลยี DFIG โดยกรอบงานซาเกียนซึ่งได้แก่ วิธีอสมการและหลักการเข้าคู่เพื่อลดผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่มีต่อความถี่ของระบบไฟฟ้าหลัก

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่ใช้เทคโนโลยี DFIG โดยกรอบงานซาเกียน เพื่อลดผลกระทบเชิงลบที่มีต่อเสถียรภาพเชิงความถี่ของระบบไฟฟ้าหลัก

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. จำลองความเร็วลมด้วยค่าความเร็วลมเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าคงที่บวกกับตัวแปรสุ่มปกติที่ถูกกรองโดยวงจรกรองและจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ได้จากการสุ่ม
2. ละเลยพลวัตในระบบเชิงกลของกังหันลม
3. ใช้ DFIG เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม
4. รวมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมทุกเครื่องเข้าด้วยกันโดยถือว่าความเร็วลมที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องมีค่าเท่ากันตลอดเวลา
5. พิจารณาเฉพาะการรบกวนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม
6. ใช้แบบจำลองที่มีการประมาณและถูกทำให้เป็นเชิงเส้นในการออกแบบตัวควบคุม
7. ออกแบบตัวควบคุมโดยกรอบงานซาเกียน
8. ออกแบบตัวควบคุมเพื่อลดความแปรปรวนของกำลังไฟฟ้าจริงที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมจ่ายให้แก่ระบบไฟฟ้าหลัก
9. ทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมที่ออกแบบกับระบบทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองเครื่องและระบบทดสอบสองพื้นที่เชื่อมต่อกัน
10. เปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมที่ออกแบบโดยกรอบงานซาเกียนกับตัวควบคุมที่ออกแบบเพื่อให้ผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมค่าหนึ่งๆ

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาปัญหาและผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่มีต่อเสถียรภาพเชิงความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง
2. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความเร็วลมและระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่ใช้เทคโนโลยี DFIG
3. ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมโดยกรอบงานซาเกียน

4. สร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่จะใช้ในการออกแบบตัวควบคุม
5. ออกแบบตัวควบคุมโดยกรอบงานซาเกียน
6. สร้างแบบจำลองของระบบทดสอบ
7. ทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมที่ออกแบบไว้กับระบบทดสอบที่สร้างขึ้น
8. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดสอบ
9. ปรับปรุงตัวควบคุมที่ออกแบบไว้
10. สรุปผลการวิจัย
11. เรียบเรียงผลการวิจัยและจัดทำเป็นรูปเล่มวิทยานิพนธ์
12. เขียนบทความวิชาการเพื่อเผยแพร่วิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่มีต่อเสถียรภาพเชิงความถี่ของระบบไฟฟ้า
2. สามารถเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็น 6 บท โดยแต่ละบทมีเนื้อหาดังนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 2 อธิบายถึงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยใช้เทคโนโลยี DFIG และวิธีการออกแบบตัวควบคุมโดยกรอบงานซาเกียน

บทที่ 3 อธิบายถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความเร็วลมและระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่ใช้เทคโนโลยี DFIG

บทที่ 4 นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่ใช้เทคโนโลยี DFIG โดยกรอบงานซาเกียน

บทที่ 5 นำเสนอการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมที่ออกแบบไว้

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปของวิทยานิพนธ์และข้อเสนอแนะต่างๆ