

เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง

A Doubly-Fed Induction Machine

วรชาติ แซ่ก๊ก

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานมากตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ซึ่งคนทั่วไปจะทราบเพียงว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้าประเภทนี้มีชนิดที่มีโรเตอร์ชนิดกรงกระรอกเท่านั้น หากแต่แล้วยังมีอีกประเภทหนึ่งซึ่งได้รับการประยุกต์ใช้งานมากเช่นกันในอดีต และปัจจุบันก็มีการใช้งานมากขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ซึ่งผู้ที่ศึกษาทางด้านเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นจะรู้จักการใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้าประเภทนี้โดยการเชื่อมต่อตัวต้านทานเข้าที่วงจรรอโรเตอร์เท่านั้น และไม่ได้ทราบถึงคุณสมบัติอื่นๆ ซึ่งมีอะไรมากกว่าที่ได้ศึกษามาแล้วในหนังสือเรียน ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง รวมไปถึงการขับเคลื่อนและการควบคุมเพื่อให้ผู้อ่านได้รู้จักเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากขึ้น

คำสำคัญ : เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง

Abstract

Induction machines have been widely used for a long time. They have been known only in the squirrel cage rotor type. However, there is another type of this machine that was widely used in the past and is being applied in the electricity generation from the wind. This type is called a doubly-fed induction machine which is made from the wound rotor type induction machine. Most electrical machine textbooks do not focus on the operation of this type. Therefore, this paper introduces the fundamental principle of a doubly-fed induction machine as well as its operating topology and control.

Keywords : Doubly-fed induction machine, Doubly-fed induction generator

1. บทนำ

นับเป็นเวลานานหลายทศวรรษที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม โดยถูกใช้เป็นตัวกำเนิดกำลังในการขับเคลื่อนให้อุตสาหกรรมขับเคลื่อนไปอย่างมาก นอกจากนี้ยังถูกประยุกต์ใช้งานประเภทคริวเรือหลายประเภท เช่น เครื่องซักผ้า พัดลม เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น นอกจากการนำมาประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนสิ่งต่างๆแล้วในปัจจุบันเมื่อเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้ถูกพัฒนาไปมากส่งผลให้ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไฟฟ้าโดยแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทน

เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทตามโครงสร้างของโรเตอร์ได้แก่

เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์ขดลวด และเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์กรงกระรอก โดยประเภทหลังนั้นจะเป็นประเภทที่พบได้บ่อยในอุตสาหกรรมและครัวเรือนอันเนื่องมาจากความง่ายในการผลิต ราคาที่ต่ำกว่าและความทนทาน อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นไม่จำเป็นต้องมีการลัดวงจรที่โรเตอร์หรือมีโรเตอร์ชนิดกรงกระรอกเสมอไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอกนั้นเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดพิเศษ คือมีการลัดวงจรที่ขดลวดโรเตอร์นั่นเอง ดังนั้นเพื่อทำความเข้าใจในเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากขึ้น ผู้เขียนจึงนำเสนอเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำอีกประเภทหนึ่งคือเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์ขดลวด ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้า

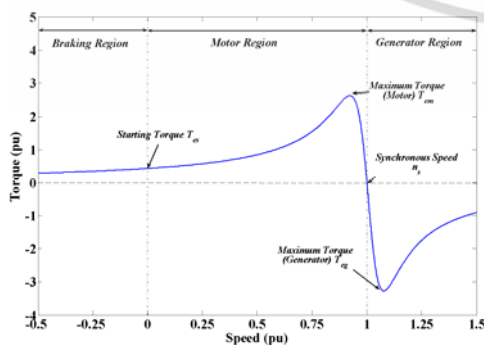
ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนี่ยวนำชนิดทั่วไปที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ถูกสังเคราะห์ที่โรเตอร์ก็ได้ หรือทำการป้อนแหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสเข้าที่ขดลวดโรเตอร์เพื่อให้เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางได้เช่นกัน ในบทความนี้จะมุ่งประเด็นไปที่หลักการพื้นฐานและการประยุกต์ใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์ในกรณีที่ทำางานเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง

2. หลักการของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง

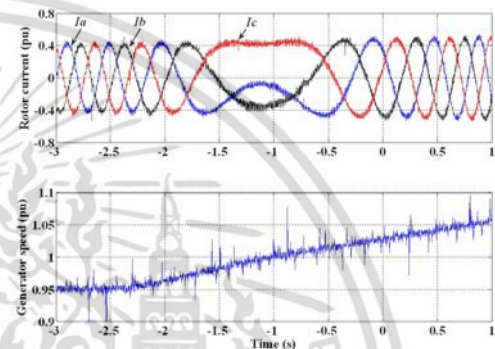
เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองคือเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีการป้อนแหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสเข้าที่ขดลวดสเตเตอร์และโรเตอร์เพื่อการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าดังกล่าวให้ทำงานเป็นมอเตอร์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของผู้ใช้งาน ในบทความนี้จะเน้นไปที่การประยุกต์ใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม อันเนื่องมาจากข้อดีหลายด้าน ได้แก่ การประหยัดขนาดของคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้มากขึ้นในกรณีที่ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็วสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส

โดยปกติแล้วเป็นที่ทราบกันดีว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่หลายๆท่านได้เรียนได้ศึกษากันมานั้นจะถูกนำมาใช้งานเป็นมอเตอร์ที่ความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสและเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าวนี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะเมื่อมีการสังเคราะห์ขดลวดโรเตอร์หรือเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดโรเตอร์กรงกระรอกโดยเส้นกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบดังกล่าวข้างต้นนั้นได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เส้นกราฟคุณลักษณะของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีการสังเคราะห์ขดลวดโรเตอร์

ในกรณีนี้การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดนี้จะสามารถทำการควบคุมผ่านวงจรถะเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ในส่วนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางนั้น การควบคุมจะเน้นไปที่การควบคุมวงจรรอโรเตอร์ ซึ่งให้ผลคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบที่ต่างออกไป กล่าวคือ สามารถทำงานเป็นมอเตอร์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบใดๆ ไม่จำกัดอยู่ที่ความเร็วรอบต่ำกว่าหรือสูงกว่าความเร็วซิงโครนัสดังแสดงในผลผลการทดสอบในรูปที่ 2



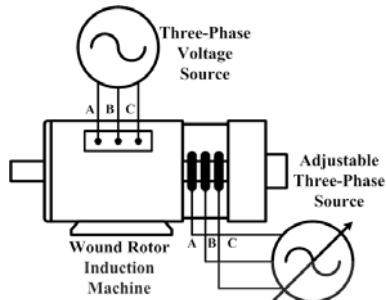
รูปที่ 2 รูปคลื่นกระแส (บน) และ ความเร็วรอบ (ล่าง) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใต้การเปลี่ยนความเร็วรอบจากความเร็วต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสไปสู่ความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส

แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถกลับทางหมุนได้ เนื่องจาก การกลับทางหมุนนั้นสามารถกระทำได้โดยการกลับทิศของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์เท่านั้น

แต่เนื่องด้วยคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดนี้คือ การเข้าถึงได้ของวงจรรอโรเตอร์ทำให้การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดนี้ไม่ถูกจำกัดอยู่เพียงการควบคุมผ่านสเตเตอร์เท่านั้น หากแต่ยังสามารถทำการควบคุมผ่านวงจรรอโรเตอร์ได้เช่นกัน ซึ่งส่งผลให้ยานการทำงานและคุณลักษณะของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดโรเตอร์แบบขดลวดแตกต่างออกไปจากเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดโรเตอร์แบบกรงกระรอก

โดยปกติแล้วในการเดินเครื่องใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางนั้นจะทำการเชื่อมต่อขั้วของสเตเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันที่มีขนาดแรงดันและความถี่คงที่ ซึ่งก็คือกริดของการไฟฟ้านั้นเอง ในส่วนของโรเตอร์นั้นจะทำการเชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสที่สามารถควบคุมขนาดและความถี่โดยวัตถุประสงค์ก็เพื่อที่จะทำการควบคุมแรงบิด ความเร็วรอบ กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้า

เสมือนผ่านวงจรโรเตอร์นั้นเองดังแสดงในไดอะแกรมอย่างง่ายในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ไดอะแกรมอย่างง่ายของการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟให้แก่เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง

ในทางปฏิบัติแล้วแหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสที่เชื่อมต่ออยู่กับวงจรโรเตอร์นั้นจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือคอนเวอร์เตอร์กำลังซึ่งมีคุณสมบัติในการที่สามารถควบคุมระดับแรงดัน มุมเฟส และค่าที่ได้ตามต้องการ

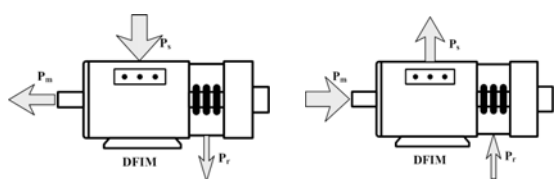
2.1 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง

เพื่อความเข้าใจในการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจกับทิศทางการไหลของกำลังงานในเครื่องจักรกลไฟฟ้าดังกล่าวซึ่งสมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางเป็นไปดังแสดงในสมการที่ 1

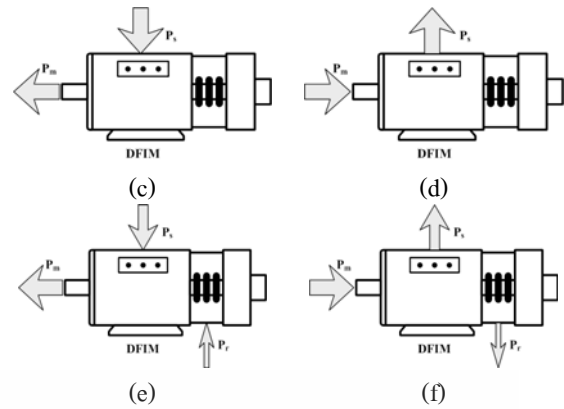
$$P_r = -sP_s \quad (1)$$

โดยที่ P_r แทนกำลังไฟฟ้าจริงที่โรเตอร์, P_s แทนกำลังไฟฟ้าจริงที่สเตเตอร์ และ s แทนค่าสลิปของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1 เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางนั้นสามารถทำงานเป็นมอเตอร์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็ได้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน ดังนั้นเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในสมการที่ 1 จะได้ว่าไดอะแกรมการไหลของกำลังงานดังแสดงในรูปที่ 4



เอกสารนี้เป็น (a)เอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (b)ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



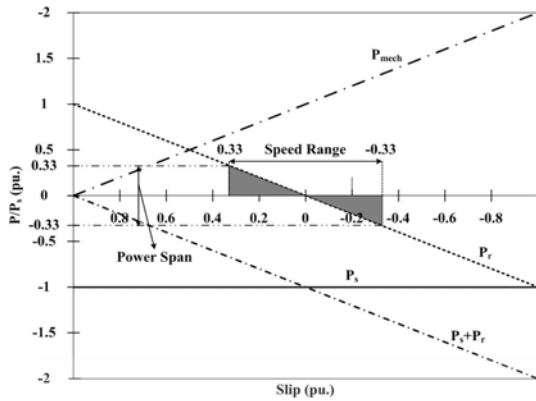
รูปที่ 4 ไดอะแกรมการไหลของกำลังงานในเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์ (a), (c) และ (e) และเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (b), (d) และ (f) ภายใต้การทำงานที่ความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส (a),(d), เท่ากับความเร็วซิงโครนัส (b),(e) และ ความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส (c),(f)

จากรูปที่ 4 จะพบว่าในโหมดมอเตอร์นั้นจะพบว่าที่ความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส กำลังไฟฟ้าไหลออกจากโรเตอร์ ในขณะที่ความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส กำลังไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่โรเตอร์

ในทางกลับกัน ในโหมดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส กำลังไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่โรเตอร์ ในขณะที่ความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วซิงโครนัส กำลังไฟฟ้าจะไหลออกจากโรเตอร์ ที่ความเร็วซิงโครนัสกำลังไฟฟ้าผ่านโรเตอร์จะเท่ากับ 0 ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 1 ดังนั้นเพื่อให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางสามารถทำงานได้ทั้ง 6 ย่านการทำงานนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่แหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสทางด้านโรเตอร์นั้นควรมีคุณสมบัติในการที่จะให้กำลังไฟฟ้าสามารถไหลได้ 2 ทิศทางนั่นเอง

2.2 คุณสมบัติและย่านการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง

ในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางนั้น เพื่อให้การควบคุมง่ายขึ้นจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเส้นกราฟคุณสมบัติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดนี้ในกรณีทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เส้นกราฟคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางเมื่อมีการควบคุมผ่านวงจรรีโเตอร์

จากรูปจะพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่รีโเตอร์จะแปรผันกับค่าลบของค่าสลลิปดังแสดงไว้ในสมการที่ 1 นั้นเอง

ถ้ากำหนดให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าไม่มีความสูญเสียทางกลและความสูญเสียทางไฟฟ้า เมื่อพิจารณากราฟคุณลักษณะในรูปที่ 5 ร่วมกับไดอะแกรมการไหลของกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในรูปที่ 4b, 4d และ 4f ตามลำดับ ซึ่งพลังงานกลจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยสามารถคำนวณได้จาก

$$P_m = P_s + P_r \quad (2)$$

จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ที่ความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส ค่าสลลิปจะมีค่าเป็นบวก ดังนั้นสมการกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในย่านความเร็วนี้จะอยู่เป็นดังสมการที่ 3

$$P_m = P_s - |s|P_r \quad (3)$$

จะพบว่าที่ความเร็วรอบต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส เครื่องจักรกลไฟฟ้าจะทำการดึงกำลังไฟฟ้าจริงผ่านวงจรรีโเตอร์

ที่ความเร็วรอบเท่ากับความเร็วซิงโครนัส ค่าสลลิปเป็น 0 ดังนั้นสมการกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำคือ

$$P_m = P_s \quad (4)$$

ซึ่งในสถานะดังกล่าวไม่มีกำลังไฟฟ้าไหลเข้าหรือออกจากรีโเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในขณะที่ความเร็วรอบของรีโเตอร์สูงกว่าความเร็วซิงโครนัส กำลังไฟฟ้าจริงจะไหลออกจากสเตเตอร์และ

รีโเตอร์ ดังนั้นสมการกำลังงานในสถานะการทำงานที่ ย่านความเร็วนี้จะอยู่ในรูปของ

$$P_m = P_s + |s|P_r \quad (5)$$

จากสมการที่ 5 จะพบว่าเมื่อนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำประเภทนี้มาประยุกต์ใช้กับพลังงานลมโดยการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สูงกว่าความเร็วซิงโครนัสที่ความเร็วลมสูงๆ นั้นจะได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มมาจากวงจรรีโเตอร์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอกนั้น กำลังไฟฟ้าที่รีโเตอร์จะอยู่ในรูปของกำลังสูญเสียในแท่งตัวนำรีโเตอร์ทั้งหมด

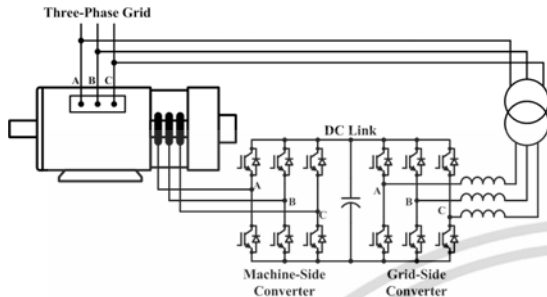
ในการประยุกต์ใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางกับพลังงานลม โดยปกติแล้วจะใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในย่านความเร็วรอบไม่เกิน $\pm 33\%$ ของความเร็วซิงโครนัส [1] ซึ่งจากผลดังกล่าวเมื่อพิจารณาจากสมการที่ 1 และรูปที่ 5 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าที่รีโเตอร์มีค่าเพียง 33% กำลังไฟฟ้าที่สเตเตอร์เท่านั้น ด้วยเหตุนี้พิกัดกำลังของแหล่งจ่ายที่จำเป็นสำหรับการควบคุมรีโเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้มีค่าต่ำกว่าพิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายของคอนเวอร์เตอร์ลงได้

3. รูปแบบการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้ถูกพัฒนาไปอย่างมากส่งผลให้วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังนั้นมีราคาถูกลงและถูกนำมาประยุกต์ใช้งานมากขึ้น ดังได้กล่าวมาข้างต้นว่าในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำประเภทนี้จะอาศัยการควบคุมผ่านวงจรรีโเตอร์โดยการควบคุมผ่านแหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสที่ปรับค่าได้ที่เชื่อมต่ออยู่กับขั้วรีโเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3 และดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 จะพบว่าแหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแสที่เชื่อมต่ออยู่กับรีโเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นควรจะมีคุณสมบัติที่ให้กำลังไฟฟ้าไหลออกจากรีโเตอร์นั้นเพื่อไม่ให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลออกนั้นสูญเสียเปล่าจึงได้มีการป้อนกำลังไฟฟ้าง่ายกลับเข้าสู่ระบบดังแสดงไว้ในไดอะแกรมการเชื่อมต่อวงจรขับเคลื่อนในรูปที่ 6

คอนเวอร์เตอร์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางได้แก่

คอนเวอร์เตอร์แบบเมทริกซ์ [2-4] คอนเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส [5, 6] ไซโคลคอนเวอร์เตอร์ [5, 6] หรือคอนเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันซึ่งในบทความนี้จะเน้นไปที่คอนเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันเท่านั้น

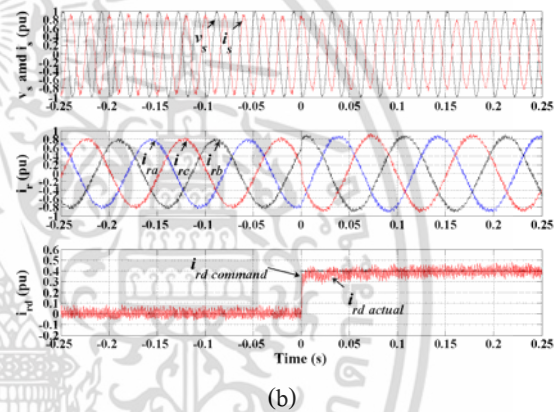
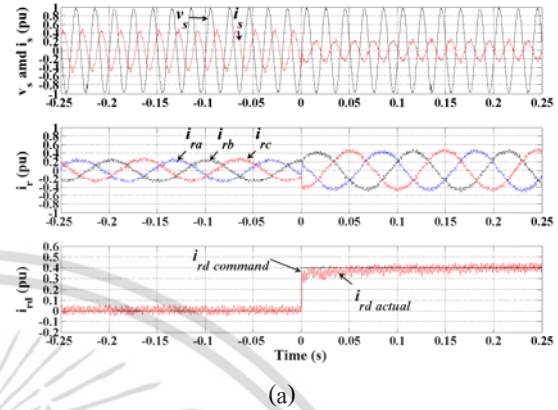


รูปที่ 6 รูปแบบการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยการป้อนแรงดันสองทาง

จากรูปที่ 6 เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางที่มีการเชื่อมต่อสเตเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันที่มีขนาดแรงดันและความถี่ถึงที่ ในขณะที่ทางด้านโรเตอร์ได้มีการเชื่อมต่อเข้ากับคอนเวอร์เตอร์กำลังชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Converter) โดยคอนเวอร์เตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์สามเฟส 2 ชุดเชื่อมต่อกับแบบ back-to-back คือเชื่อมต่อกันโดยอาศัยวงจรเชื่อมโยงไฟตรง (DC-link) คอนเวอร์เตอร์ชุดแรกจะเชื่อมต่ออยู่กับขั้วของโรเตอร์ เรียกว่าคอนเวอร์เตอร์ฝั่งเครื่องจักรกลไฟฟ้า (machine-side converter, (MSC)) เพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำผ่านการควบคุมตัวแปรต่างๆของโรเตอร์รวมถึงการควบคุมค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำดังแสดงผลการทำงานในรูปที่ 7

ในขณะที่คอนเวอร์เตอร์ชุดที่ 2 จะเชื่อมต่ออยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันผ่านตัวกรองความถี่ต่ำผ่านและหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 7 โดยคอนเวอร์เตอร์ประเภทนี้มีชื่อเรียกว่าคอนเวอร์เตอร์ฝั่งกริด (grid-side converter (GSC)) โดยมีหน้าที่ในการรักษาระดับแรงดันไฟตรงและควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนทางด้านระบบไฟฟ้าของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะมีหน้าที่ในการลดระดับแรงดันหรือเพิ่มระดับแรงดันที่เข้าสู่คอนเวอร์เตอร์โดยจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนรอบของเครื่องจักรกลไฟฟ้าว่ามีอัตราส่วนรอบระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์มากกว่าน้อยกว่าหรือ เท่ากับ 1 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าหม้อแปลงดังกล่าวมีหน้าที่ในการปรับระดับแรงดันให้มีค่า

เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของโรเตอร์นั่นเอง นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ในการจำกัดย่านความเร็วรอบในการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำและลดพิกัดกำลังของคอนเวอร์เตอร์ด้วย



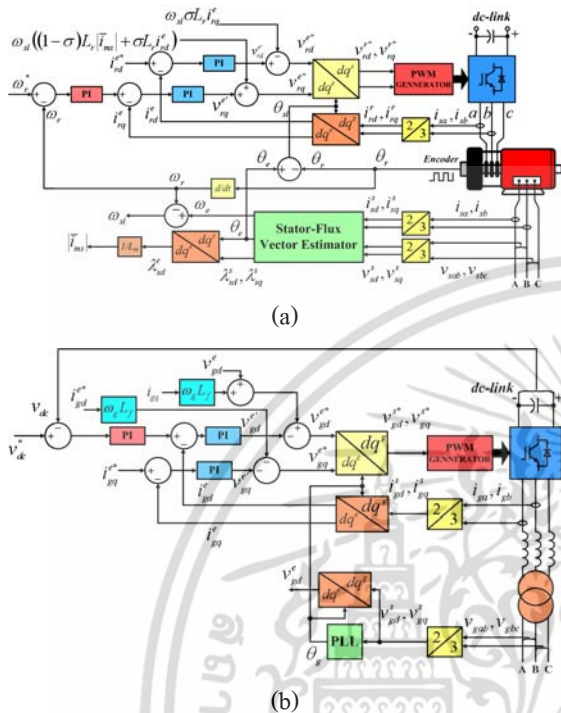
รูปที่ 7 รูปคลื่นแรงดันและกระแสสเตเตอร์ (บน) กระแสโรเตอร์ (กลาง) และ กระแสในแนวแกนตรง (ล่าง) ภายใต้การควบคุมค่าตัวประกอบกำลังของสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ความเร็วรอบ (a) ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส (b) สูงกว่าความเร็วซิงโครนัส

ดังนั้นจะพบว่าคอนเวอร์เตอร์ประเภทนี้จะมีขั้วไฟฟ้าเข้าและออกเป็นไฟฟ้ากระแสสลับทั้ง 2 ทาง ซึ่งคอนเวอร์เตอร์ประเภทนี้สามารถให้กำลังไฟฟ้าจริงไหลได้ทั้ง 2 ทิศทางจึงเหมาะสมกับการนำมาขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำประเภทนี้นั่นเอง

4. การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทาง

ในปัจจุบันเนื่องจากเทคโนโลยีการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้รับการพัฒนาไปอย่างมากส่งผลให้วิธีการควบคุมที่เรียกว่า การควบคุมเวกเตอร์ (vector control) ได้รับการพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งวิธีการในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด

นี่เป็นการควบคุมกระแสโรเตอร์โดยอาศัยการแจกแจงกระแสตามเวกเตอร์ของฟลักซ์แม่เหล็กเกี่ยวกับคล่องที่สเตเตอร์ สำหรับการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดนี้ซึ่งมีไดอะแกรมการควบคุมดังแสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตัวอย่างไดอะแกรมการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางด้วยวิธีการควบคุมเวกเตอร์ (a) ไดอะแกรมการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ฟิ่งเครื่องจักรกลไฟฟ้า (b) ไดอะแกรมการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ฟิ่งกริด

ในการควบคุมนั้นจะทำการวัดค่ากระแสที่สเตเตอร์เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการควบคุมในรูปที่ 8 นั้นเป็นการควบคุมโดยอาศัยฟลักซ์แม่เหล็กเกี่ยวกับคล่องที่สเตเตอร์เป็นกรอบอ้างอิงในการควบคุม ในการสร้างกรอบอ้างอิงนั้นกระทำโดยการวัดค่าแรงดันที่สเตเตอร์และกระแสที่สเตเตอร์เพื่อการประมาณขนาด, ตำแหน่ง และความเร็วเชิงมุมของเวกเตอร์ของฟลักซ์แม่เหล็กเกี่ยวกับคล่องที่สเตเตอร์เพื่อสร้างกรอบอ้างอิงที่เรียกว่ากรอบอ้างอิงฟลักซ์แม่เหล็กเกี่ยวกับคล่องที่สเตเตอร์ (Stator flux linkage reference frame) กรอบอ้างอิงที่ได้ประกอบด้วยแกน 2 แกนได้แก่แกนตรง (d-axis) และแกนตั้งฉาก (q-axis) [5, 6]

ในการควบคุมนั้นกระแสโรเตอร์ที่วัดได้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 องค์ประกอบได้แก่องค์ประกอบในแนวแกนตรง และองค์ประกอบในแนวแกนตั้งฉาก โดย

องค์ประกอบในแนวแกนตรงจะถูกใช้ในการควบคุมฟลักซ์แม่เหล็ก หรือในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น จะถูกใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนที่โรเตอร์ ในส่วนองค์ประกอบในแนวแกนตั้งฉากนั้นจะถูกใช้ในการควบคุมแรงบิด, ความเร็วรอบ หรือกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยจุดประสงค์หลักของการประยุกต์ใช้งานกับพลังงานลมนั้นก็เพื่อทำการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงานที่ความเร็วรอบที่สามารถดึงกำลังงานจากลมให้ได้สูงที่สุด

5. บทสรุป

บทความวิชาการนี้นำเสนอถึงเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดขดลวดโรเตอร์ซึ่งเคยได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในอดีตและปัจจุบันได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ซึ่งบทความนี้นำเสนอถึงหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำประเภทนี้เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาให้ลึกซึ้งต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Müller, M. Deicke, and Rik W. DE Doncker, "Doubly-Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines A Viable Alternative to Adjust Speed Over a Wide Range at Minimal Cost," IEEE Industry Application Magazine, May/June 2002, pp. 26-33.
- [2] L. Zhang, C. Watthanasarn, and W. Shepherd, "Application of a Matrix Converter for the Power Control of a Variable-Speed Wind-Turbine Driving a Doubly-Fed Induction Generator," Proceeding of 23rd IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1997, pp. 906-911.
- [3] K. Ghdamsi, D. Aouzellag, and E. M. Berkouk, "Application of Matrix Converter for Variable Speed Wind Turbine Driving a Doubly Fed Induction Generator," Proceeding of IEEE International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006, pp. S3-38 – S3-46.
- [4] A. K. Dalal, P. Syam, and A. K. Chattopadhyay, "Use of Matrix Converter as Slip Power Regulator in Doubly-Fed Induction Motor Drive for Improvement of Power Quality," Proceeding of IEEE Power India Conference, 2006.
- [5] W. Leonhard, "Control of Electrical Drives," Springer Verlag, 2001.
- [6] P. Vas, "Vector Control of AC Machines," Oxford University Press, 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้