

เอกสารอ้างอิง

ประเภทหนังสือ

1. ธวัชชัย อัครวิบูลย์กุล, 2527, เครื่องกลไฟฟ้า 2, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, หน้า 1-25
2. พัฒนพงษ์ สินธุ์ไพฑูรย์ และ คณะผู้จัดทำ, 2543, เครื่องกลไฟฟ้า 1, สำนักงานพัฒนาเทคนิคศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 4, 17-21
3. ศุภชัย สุรินทร์วงศ์, 2543, วงจรแม่เหล็กและหม้อแปลงไฟฟ้าทั่วไป, หน้า 1-3, 16-17
4. เฉลิมชัย ธิสาระ, 2550, กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
5. สมยศ สันติมาลัย, การออกแบบตัวเก็บประจุสำหรับบัลลิสต์เรตตรงของอุปกรณ์สร้างแรงดันกลับคืนแบบพลวัต, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6. มนตรี เมาเดช, การชดเชยแรงดันตกชั่วขณะของระบบขับเคลื่อนความเร็วได้โดยใช้บูสคอนเวอร์เตอร์, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
7. สุวัฒน์ คั่น, 2537, เทคนิคการและออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท เอนเทลไทย จำกัด, กรุงเทพฯ, หน้า 133-135.
8. สมบูรณ์ มาลานนท์, สมคิด วิริยะประสิทธิ์ชัย, “แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง”, พิมพ์ครั้งที่ 1, หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ, 51-64.

ประเภทสื่ออิเล็กทรอนิกส์

1. <http://www.are101.org>
2. <http://www.windstreampower.com>
3. <http://www.freepatentsonline.com>
4. <http://www.globalsources.com>
5. <http://www.power-technology.com>
6. <http://tdc.thailis.or.th/tdc/>
7. <http://www.thaigoodview.com/library/>
8. <http://www.cpe.ku.ac.th>

แบบจำลองกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร

Modeling of Wind Turbine Driving Permanent Magnet Synchronous Generator

วสันต์ เพชรพิบูล¹ ฤกษ์ชนม์ ภูมิภักดิพิชญ์¹ วิรัช ไรชนรินทร์¹ ประมุข อุณหเลขกะ² และวราวุธ ศรีสงคราม³

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 0-2549-3571

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 0-2549-3571

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแบบจำลองกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 kW โดยมีการออกแบบวงจรรวมทั้ง 3 ส่วน คือวงจรเรียงกระแสสามเฟส วงจรทบทระดับ และวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสต่อเข้าระบบ การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าเชื่อมโยงคั้งที่ใช้วงจรทบทระดับในการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้คั้งที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อเพิ่มสมรรถนะของวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสให้มีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออก ที่มีเสถียรภาพที่ดี ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB - SIMULINK เพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบฮาร์ดแวร์ต่อไป

คำสำคัญ: กังหันลมผลิตไฟฟ้า, แม่เหล็กถาวร, วงจรเรียงกระแส, วงจรทบทระดับ และวงจรอินเวอร์เตอร์

Abstract

This paper presents modeling of wind turbine driving 1 kW Permanent magnet generator. The system design consists of 3 parts, namely rectifier circuit, boost converter and inverter. To control the DC voltage, boost converter is carried out the constant at the rating DC voltage. Inverter is AC-to-DC converter for generating the line voltage. Synchronous rectifier frame and PI control are used to control the wind turbine system by using MATLAB with Simulink. The results show that the control circuit and control the DC voltage with boost converter and AC voltage with inverter circuit. This development is the first of research. Next step will build up the hardware for observing the performance of the system.

Keywords: Wind turbine, Permanent Magnet, Rectifier circuit, Boost converter, Inverter circuit

1. บทนำ

การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมปัจจุบันนี้จำเป็นต้องพิจารณาความเร็วลมของแต่ละพื้นที่เป็นสำคัญ เพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้อย่างถูกต้อง สำหรับการเพิ่มกำลังด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ลดเสียงรบกวนและองค์ประกอบอื่นๆ

ที่เกิดขึ้นจากกังหันลม แต่การออกแบบที่ซับซ้อนจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมมีราคาแพงซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ บทความนี้จึงทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมที่มีวงจรเรียงกระแสประโยชน์ของการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรและวงจรเรียงกระแสเพราะมีประสิทธิภาพสูงและราคาถูก โครงการวิจัยนี้จะมุ่งไปที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 1 kW, 48 V, 400 rpm ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้สำหรับพื้นที่ๆ มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 5-7 m/s

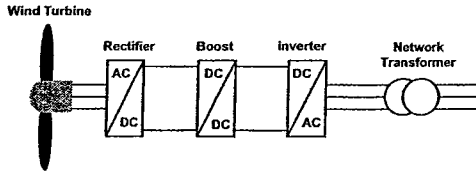
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบที่พิจารณาในโครงการวิจัยนี้โครงสร้างหลักๆ ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า วงจรเรียงกระแส วงจรทบทระดับแรงดัน และวงจรอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 ประโยชน์ของการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรที่ต่อกับวงจรเรียงกระแสคั้งที่กล่าวมาแล้วนั้น เพราะการสูญเสียค่าและราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดอื่น การใช้วงจรเรียงกระแสคั้งทำให้กระแสอาร์เมเจอร์มีค่าตัวประกอบกำลังเข้าใกล้หนึ่ง ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำอาจจะต้องการกระแสสูงเพื่อไปสร้างกระแสสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

องค์ประกอบของบทความนี้ประกอบด้วย ส่วนแรกเราจะได้กล่าวถึงระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรค้อมาส่วนประกอบต่างๆ พร้อมทั้งอธิบายแบบจำลองเชิงสมการแกนหมุน (Rotating reference frame) และแกนนิ่ง (Stationary reference frame) ส่วนที่สามจะกล่าวถึงการออกแบบ ผลการทดสอบ และสุดท้ายจะกล่าวถึงบทสรุป และข้อเสนอแนะ

2. ส่วนประกอบของระบบ (System Components)

การจำลองการทำงานของระบบจะใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink [3] และจากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 ระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีองค์ประกอบหลักๆ ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร วงจรเรียงกระแสสามเฟส วงจรทอร์คและวงจรรีเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 1 ระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่นำเสนอ

เมื่อพิจารณากำลังและแรงบิดเชิงกลที่สร้างจากกังหันลมดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) [1]

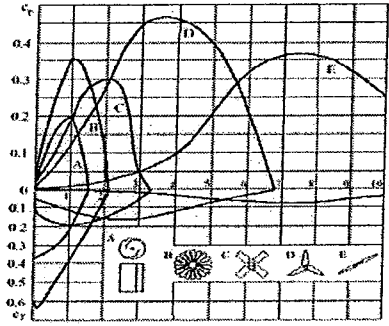
$$P_m = \frac{1}{2} C_p r p R^2 u^3 \quad (1)$$

$$T_m = \frac{1}{2} C_T r p R^3 u^2 \quad (2)$$

เมื่อ P_m , T_m คือ กำลังและแรงบิดเชิงกลที่ถูกสร้างจากกังหันลมตามลำดับ, p คือ ความหนาแน่นของลม (Kg/m^3), R คือ รัศมีของใบพัด (m), u คือ ความเร็วของลม และ C_p , C_T คือ สัมประสิทธิ์ของกำลังและแรงบิดของกังหันลมตามลำดับ เมื่อความเร็วของลมเปลี่ยนความเร็วเชิงมุมของเพลลา ω_m ถูกปรับเพื่อให้ได้ค่า C_p ที่เหมาะสมที่สุดนั้นหมายถึง ω_m และ ความเร็วลมจะหลอมรวมเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรเดียวและสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_p และ ω_m ได้ สำหรับตัวแปรเดียวนี้ถูกเรียกว่าอัตราส่วนของความเร็วจุดปลายสุด $R\omega_m$ คือความเร็วลม u อัตราส่วนความเร็วจุดปลายสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3)

$$\lambda = \frac{R\omega_m}{u} \quad (3)$$

เมื่อ ω_m คือ ความเร็วเชิงมุมของเพลลากังหันลม (rad/sec) ความสัมพันธ์ระหว่าง C_p , C_T และ λ สำหรับแต่ละชนิดของกังหันลมแสดงได้ในรูปที่ 2 [2] จากสมการที่ (3) ค่า C_p และ C_T เป็นฟังก์ชันของ λ โดยมีความสัมพันธ์คือ $C_T = C_p / \lambda$ จากรูปที่ 2 เราจะเลือกชนิดของกังหันที่ให้กำลังออกมาสูงสุด ดังนั้นในการจำลองการทำงานที่ความเร็วต่างกัน ความเร็วเชิงมุมควรจะถูกควบคุมให้ทำงานที่ค่า λ ใกล้เคียง 3.8 (จากกราฟ กังหันลมชนิด D ถูกเลือก) โดยการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนที่จะจ่ายไปที่โหลด การควบคุมอัตราส่วนคาบเวลาของวงจรทอร์คและดัชนีการหมุนของอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้ซึ่งอธิบายในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของระหว่าง C_p , C_T และ λ ของกังหันลมต่างๆ

2.2 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร (PMSG)

สมการทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรที่อ้างอิงกันสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$v_{qs} = -R_s i_{qs} + \omega_m \psi_{ds} + \frac{d\psi_{qs}}{dt} \quad (4)$$

$$v_{ds} = -R_s i_{ds} - \omega_m \psi_{qs} + \frac{d\psi_{ds}}{dt} \quad (5)$$

เมื่อ v คือ แรงดันไฟฟ้าด้านนอก, i คือกระแสไฟฟ้าด้านนอก, ψ คือ เส้นแรงแม่เหล็กคูลอง, R คือความต้านทาน, ω_m คือความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ ตัวอักษร d และ q คือองค์ประกอบอ้างอิงสำหรับแกนนิ่งตามลำดับ [4] และ s คือสเตเตอร์ ค่าทั้งหมดจะแสดงในหน่วยต่อยูนิท (per unit) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าต่อยูนิทสามารถหาได้ใน [5] เส้นแรงแม่เหล็กคูลอง สามารถหาได้จาก

$$\psi_{qs} = (L_{qm} + L_{ss}) i_{qs} \quad (6)$$

$$\psi_{ds} = (L_{dm} + L_{ss}) i_{ds} + \psi_f \quad (7)$$

เมื่อ ψ_f คือ เส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรเพื่อที่จะวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่าย สภาวะชั่วคราวจะเลข [1] ดังนั้นสมการที่ (6) และ (7) สามารถนำไปแทนลงในสมการที่ (4) และ (5) ได้ดังนี้

$$v_{qs} = -R_s i_{qs} + \omega_m (L_{dm} + L_{ss}) i_{ds} + \omega_m \psi_f \quad (8)$$

$$v_{ds} = -R_s i_{ds} - \omega_m (L_{qm} + L_{ss}) i_{qs} \quad (9)$$

เมื่อ L_{qm} , L_{dm} คือค่าความเหนี่ยวนำรวมในแกน q และ d ตามลำดับ และ L_{ss} คือ ความเหนี่ยวนำรั่วไหลในสเตเตอร์ แรงบิดในช่องอากาศ T_{ag} สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$T_{ag} = \psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds} = \psi_f i_{qs} + (L_{dm} - L_{qm}) i_{qs} i_{ds} \quad (10)$$

กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร สามารถแสดงได้ดังนี้

$$P_s = v_{ds} i_{ds} + v_{qs} i_{qs} \quad (11)$$

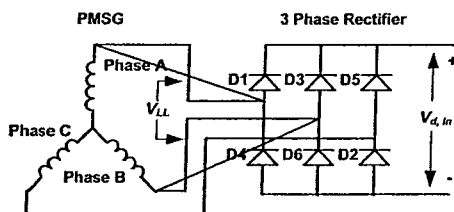
$$Q_s = v_{qs} i_{ds} - v_{ds} i_{qs} \quad (12)$$

2.3 วงจรเรียงกระแสสามเฟส (Three-phase diode rectifier)

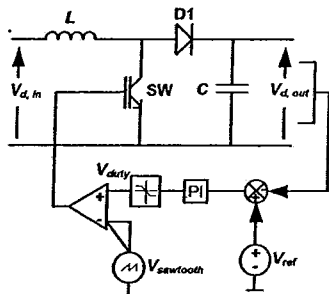
วงจรเรียงกระแสโดยใช้ไดโอดเป็นวงจรง่าย ราคาถูก และใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ข้อเสียของไดโอดไม่สามารถให้กำลังไฟฟ้าโวลต์สองทางได้ แรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแสสามเฟสสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (13) โดยละเลยเงื่อนไขการ overlap กัน

$$V_{d,in} = \frac{3\sqrt{2}V_{LL}}{\pi} \quad (13)$$

เมื่อ $V_{d,in}$ คือ แรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแส หรือ แรงดันด้านเข้าของวงจรระดับ V_{LL} คือ แรงดันสายด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 3 วงจรเรียงกระแสสำหรับระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 4 วงจรทบทระดับ

2.4 วงจรทบทระดับ (Boost Converter)

รูปที่ 4 แสดงวงจรทบทระดับแรงดันและการควบคุม ซึ่งวงจรนี้ แรงดันด้านออกปกติจะมากกว่าแรงดันด้านเข้าเสมอ วงจรทบทระดับจะควบคุมแรงดันด้านออกโดยใช้การควบคุมคาบเวลาการสวิตช์เมื่อแรงดันด้านเข้าเปลี่ยนแปลง ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันด้านเข้าและแรงดันด้านออก และกระแสของวงจรทบทระดับสามารถแสดงได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{V_{d,out}}{V_{d,in}} = \frac{1}{1-D} \quad (14)$$

เมื่อ $V_{d,out}$ คือ แรงดันด้านออกของวงจรทบทระดับ D คือ อัตราส่วนคาบเวลา $I_{d,in} \cdot I_{d,out}$ คือ กระแสด้านเข้าและด้านออกของวงจรทบทระดับตามลำดับ อัตราส่วนคาบเวลาที่ต้องการสำหรับเงื่อนไขการทำงานกระแสต่อเนื่อง (Continuous Mode) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (15)

$$D = 1 - \left(\frac{V_{d,in}}{V_{d,out}} \right) \quad (15)$$

แรงดันด้านออกของวงจรทบทระดับในเทอมของแรงดันด้านเข้าและอัตราส่วนคาบเวลาแสดงได้ในสมการที่ (16)

$$V_{d,out} = \frac{V_{d,in}}{(1-D)} \quad (16)$$

รูปคลื่นในสภาวะคงตัวของแรงดันและกระแสในตัวเหนี่ยวนำในโหนดการทำงานกระแสต่อเนื่อง [$i_L(t) > 0$] ค่าระลอกของแรงดันด้านออก $\Delta V_{d,out}$ ในโหนดกระแสต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta V_{d,out} = \frac{I_{d,out} D}{C f_{sb}} \quad (17)$$

2.5 วงจรอินเวอร์เตอร์

วงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมการสวิตช์แบบปรับความกว้างของพัลส์ถูกค้นพบครั้งแรกตั้งแต่ปี 1964 [7] การควบคุมแบบนี้จะประมวลผลภายใต้เงื่อนไขความถี่การสวิตช์ (f_s) และอัตราส่วนความถี่ของสัญญาณคำสั่ง และอัตราส่วนแรงดันด้านเข้าและด้านออก บางครั้งเรียกว่าดัชนีการมอดูเลชัน (m_f) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (18)

$$m_a = \frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} = \frac{\hat{V}_{LLC}}{V_{d,out}} \quad (18)$$

เมื่อ $\hat{V}_{control}$ คือ ค่ายอดของสัญญาณควบคุม $\hat{V}_{tri}$ คือ ค่ายอดของสัญญาณสามเหลี่ยม อัตราส่วนมอดูเลชันความถี่ m_f แสดงได้ดังนี้

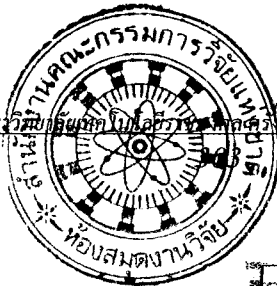
$$m_f = \frac{f_s}{f_i} \quad (19)$$

เมื่อ f_s คือ ความถี่การสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ f_i คือ ความถี่หลักมูล การควบคุมแรงดันด้านออกจะพยายามลดส่วนของแรงดันผิดเพี้ยนจากแรงดันคำสั่ง ค่าความผิดเพี้ยนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า m_f อยู่ในย่าน over-modulation ($m_f > 1$) ในย่านเชิงเส้น ($m_f < 1$) ส่วนประกอบความถี่หลักมูลของแรงดันด้านออกจะเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นตาม m_f ดังแสดงในสมการที่ (18) แรงดันด้านออกที่ความถี่หลักมูลสามารถแสดงได้ดังนี้

$$V_{LLC} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} (m_a V_{d,out}) \quad (20)$$

แทนค่าสมการที่ (16) ลงในสมการที่ (20) จะได้

$$V_{LLC} = m_a \left[\frac{\sqrt{3} V_{d,in}}{2\sqrt{2} (1-D)} \right] \quad (21)$$



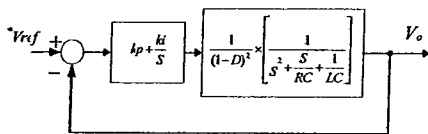
3. การออกแบบ

การออกแบบคอนเวอร์เตอร์สำหรับระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ขนาด กำลังไฟฟ้า 1 kW แรงดัน 48 V ที่ความเร็ว 400 rpm โดยงานวิจัยนี้ กำหนดแรงดันด้านเข้า 48 V แรงดันด้านออก 100 V ที่กระแสแรงดัน 10 % ที่ความถี่สวิตช์ 10 KHz เราสามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ต่าง ของวงจรพรีระดับได้จากสมการที่ (22) และ (23) ตามลำดับ

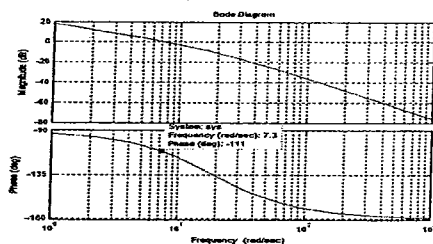
$$L = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (22)$$

$$C = \frac{D}{Rf_s \frac{\Delta v}{v}} \quad (23)$$

แทนค่าลงในสมการที่ (22) และ(23) จะได้ค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบ คือ $L = 60 \mu F$ $C = 5,200 \mu F$ $R = 10 \Omega$ $D = 0.52$ โดยระบบจะ ควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีโอ ดังรูปที่ 5 ในการหาค่า k_p k_i โดยการ ออกแบบตัวควบคุมชนิดพีโอ ด้วย Ziegler-Nichols โดยการกำหนด ค่าพารามิเตอร์จากกราฟผลตอบสนองจะได้ $k_p = 156$ $k_i = 0.5$ และจะ ได้แผนภาพโบลด์ดังรูปที่ 6

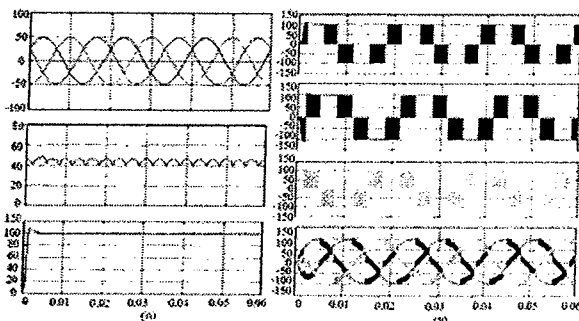


รูปที่ 5 การควบคุมแรงดันของวงจรพรีระดับ

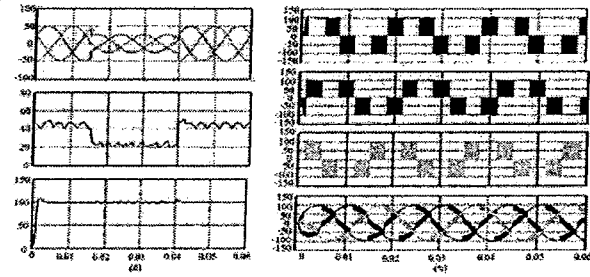


รูปที่ 6 แผนภาพโบลด์ของระบบควบคุมวงรอบเปิดที่ได้ทำกาออกแบบ

4. ผลการจำลอง



รูปที่ 7 สัญญาณต่างๆ ของกรณีที่ 1 (ก) แรงดันด้านเข้าของวงจรเรียง กระแส แรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแส และแรงดันด้านออกของ วงจรพรีระดับ ตามลำดับ (ข) แรงดันด้านออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ สามเฟส



รูปที่ 8 สัญญาณต่างๆ ของกรณีที่ 2 (ก) แรงดันด้านเข้าของวงจรเรียง กระแส แรงดันด้านออกของวงจรเรียงกระแส และแรงดันด้านออกของ วงจรพรีระดับ ตามลำดับ (ข) แรงดันด้านออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ สามเฟส

5. สรุป

แบบจำลองและผลการจำลองการทำงานของระบบกังหันลม ผลิตไฟฟ้าที่วิเคราะห์ในโครงการวิจัยนี้ เป็นระบบที่มีราคาถูก และ ประสิทธิภาพการทำงานสูง น้ำหนักเบา ระบบที่นำเสนอจะได้อำนาจด้าน ออกสูงสุดเมื่อเลือกค่า C_p ที่เหมาะสม การควบคุมจะใช้วงจรควบคุม แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่ และให้วงจรอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนแรงดัน ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าใช้งาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากแรงดันด้านเข้าของวงจร เรียงกระแสมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แต่ยังมีกรรักษาระดับแรงดัน ตามที่ต้องการได้ การทำงานทั้งหมดมีเสถียรภาพสูงที่ความเร็วลม เปลี่ยนแปลง และฮาร์มอนิกต่ำ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์สันติภาพ โคตรทะเล ที่เอื้อเฟื้อ ข้อมูล และให้คำปรึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Johnson, G. L. *Wind Energy Systems*. England Cliffs: Prentice-Hall, 2001.
- [2] Mohan, N.; Undeland, T. and Robbins, W. *Power Electronics Converters, Application and Design*. New York: John Wiley & Sons, 2003.
- [3] Schonung, A. and Stemmler, H. "Static Frequency Changer with Sub-harmonics Control in Conjunction with Reversible Variable Speed ac Drives." *BBC Review*, Aug./Sep. 1964.
- [4] Nacfaire, H. *Grid Connected Wind Turbines*. London and New York: Elsevier Applied Science, 1988.
- [5] Eltamaly, Ali M. "A New Relation between Firing Angle of Three-phase SCR Converter and Best Reinjection Current Angle." *The 9th International Middle East Power Systems Conference, MEPCON'2003*, Shebin El-Kom, Egypt, Dec. 2003, 793- 798.
- [6] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ชารินทร์เศรษฐ์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง" พิมพ์ครั้งที่ 2, วิ.เจ. พรินติ้ง, 2547

