กฤษดา ทองอร่าม : การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบจักรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจนที่ได้รับผลกระทบจากโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว (STABILITY ANALYSIS OF HYDROGEN-POWERED ELECTRIC BICYCLE SYSTEM AFFECTED BY CONSTANT POWER LOAD) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.กองพัน อารีรักษ์, 149 หน้า

คำสำคัญ : จักรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจน, โหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การวิเคราะห์เสถียรภาพ

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบจักรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจนที่ได้รับผลกระทบจากโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว ซึ่งโหลดชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านของระบบจะมีพฤติกรรมเปรียบเสมือนโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวที่ทำให้ระบบเกิดการขาดเสถียรภาพ ด้วยเหตุนี้การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบดังกล่าวจึงมีความจำเป็นและสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานของระบบที่จุดการขาดเสถียรภาพ การศึกษาวิจัยของวิทยานิพนธ์ได้เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองอย่างง่ายของเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่อาศัยการประมาณข้อมูลจากเอกสารของผู้ผลิต จากนั้นดำเนินการพิสูจน์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรแปลงผันกำลังดีซีเป็นดีซีแบบสองทิศทางที่มีตัวควบคุมพีไอแบบต่อเรียงกันสำหรับควบคุมและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์เชื้อเพลิงให้มีค่าคงที่และเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 21780:2020 ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิสถานะทั่วไปซึ่งทำให้ได้แบบจำลองของระบบจักรยานไฟฟ้าที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมต่อการนำไปศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบ ในลำดับต่อมาเป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพที่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พิสูจน์ขึ้นร่วมกับทฤษฎีบทค่าเจาะจงเพื่อคาดการณ์จุดการทำงานที่ทำให้ระบบเกิดการขาดเสถียรภาพ นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบจักรยานไฟฟ้าที่ส่งผลต่อเสถียรภาพ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบให้กับวิศวกร สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและการยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทั้งหมดจะอาศัยการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปที่อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMDSDOCK28335 ร่วมกับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์เสถียรภาพทางทฤษฎี การจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ และการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูป มีความสอดคล้องและตรงกัน ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่า องค์ความรู้ สมมติฐาน และวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์ มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนักศึกษา ฤทธิดา ทองอร่าม

ปีการศึกษา 2568 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

KITSADA THONGARAM : STABILITY ANALYSIS OF HYDROGEN-POWERED ELECTRIC BICYCLE SYSTEM AFFECTED BY CONSTANT POWER LOAD. THESIS ADVISOR : PROF. KONGPAN AREERAK, Ph.D., 149 PP.

Keyword : Hydrogen-powered electric bicycle, Constant power load (CPL), Mathematical model, Stability analysis

The thesis presents stability analysis of hydrogen powered electric bicycle system affected by constant power loads. The brushless DC motor and its drive behave as a constant power load which can cause system instability. Therefore, the study on the stability of such system is necessary and important in order to avoid operating conditions that may lead to instability. The study begins with the derivation of a simplified hydrogen fuel cell model based on data approximation from the manufacturer's documentation. After that, a mathematical model of a bidirectional DC-DC converter with cascaded PI controllers is derived. The controller is designed to regulate and maintain the output voltage of the fuel cell at a constant level in accordance with ISO 21780:2020 standards. The generalized state-space averaging method is used to obtain a time-invariant model of the considered electric bicycle system which is suitable for stability studies. Next, the system stability is analyzed using the derived mathematical model together with eigenvalue theory to predict the system unstable point. In addition, the effects of variations in system parameters on stability are also investigated in order to provide design guidelines for engineers. To verify the theoretical analysis and confirm all stability analysis results, the intensive simulations are carried out using MATLAB/SIMULINK. The hardware-in-the-loop (HIL) is also performed using the TMDSDOCK28335 microcontroller board together with

MATLAB/SIMULINK. The results show that the theoretical stability analysis, simulations, and HIL are consistent. Consequently, the knowledge, assumptions, and methods presented in the thesis are proven to be accurate, reliable, and applicable in practical applications.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Electrical Engineering
Academic Year 2025

Student's Signature กฤษดา ทองอร่าม
Advisor's Signature
Co-Advisor's Signature