

บทที่ 5

การยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบจกรยานไฟฟ้า พลังงานไฮโดรเจนด้วยการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูป

5.1 บทนำ

เนื้อหาในบทที่ 4 ที่ผ่านมามีได้นำเสนอการวิเคราะห์เสถียรภาพและการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของระบบจกรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจน โดยอาศัยทฤษฎีบทค่าเจาะจงร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พิสูจน์ขึ้นด้วยวิธีค่าเฉลี่ยปริภูมิ-สถานะทั่วไป ซึ่งได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ดังกล่าวด้วยการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ที่ได้ นำเสนอว่ามีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และวิธีการที่นำเสนอสามารถใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ เนื้อหาในบทที่ 5 นี้จึงเป็นการนำเสนอการยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMDSDOCK28335 ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณการควบคุมของตัวควบคุมพีโอแบบต่อเรียงกัน นอกจากนี้ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปดังกล่าวจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยชุดบล็อกไฟฟ้ากำลังร่วมกับ SIMULINK บนโปรแกรม MATLAB ซึ่งวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้ไม่เพียงแต่ช่วยยืนยันความถูกต้องของผลการวิเคราะห์เสถียรภาพได้เท่านั้น แต่ยังทำให้เชื่อมั่นได้ว่าระบบควบคุมจะไม่เกิดข้อผิดพลาดหากนำตัวควบคุมดังกล่าวไปใช้งานจริง ดังนั้นการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปถือเป็นการทดสอบเสมือนจริงในระดับฮาร์ดแวร์ที่มีความเชื่อถือได้

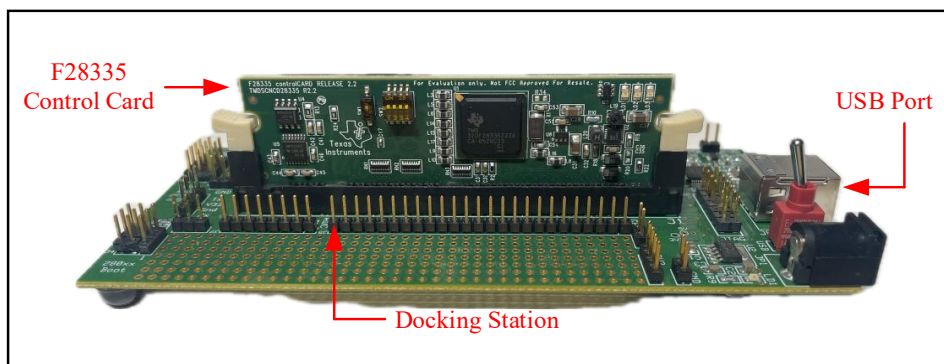
5.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับการทดสอบฮาร์ดแวร์ในลูป

การจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปเป็นเทคนิคสำหรับการทดสอบระบบควบคุมที่อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างฮาร์ดแวร์จริงของตัวควบคุมกับชุดบล็อกไฟฟ้ากำลังบนโปรแกรม MATLAB เทคนิคดังกล่าวทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของตัวควบคุมได้โดยไม่ต้องเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์จริงทั้งระบบ ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงและความเสียหายต่ออุปกรณ์จริงที่อาจเกิดจากการทำงานผิดพลาดของระบบควบคุมได้ ดังนั้นการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ช่วยให้วิศวกรสามารถตรวจสอบ วิเคราะห์ และปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ

ควบคุมก่อนนำไปใช้งานจริงได้ สำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์และหลักการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังหัวข้อที่ 5.2.1 และ 5.2.2 ดังนี้

5.2.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMSDOCK28335

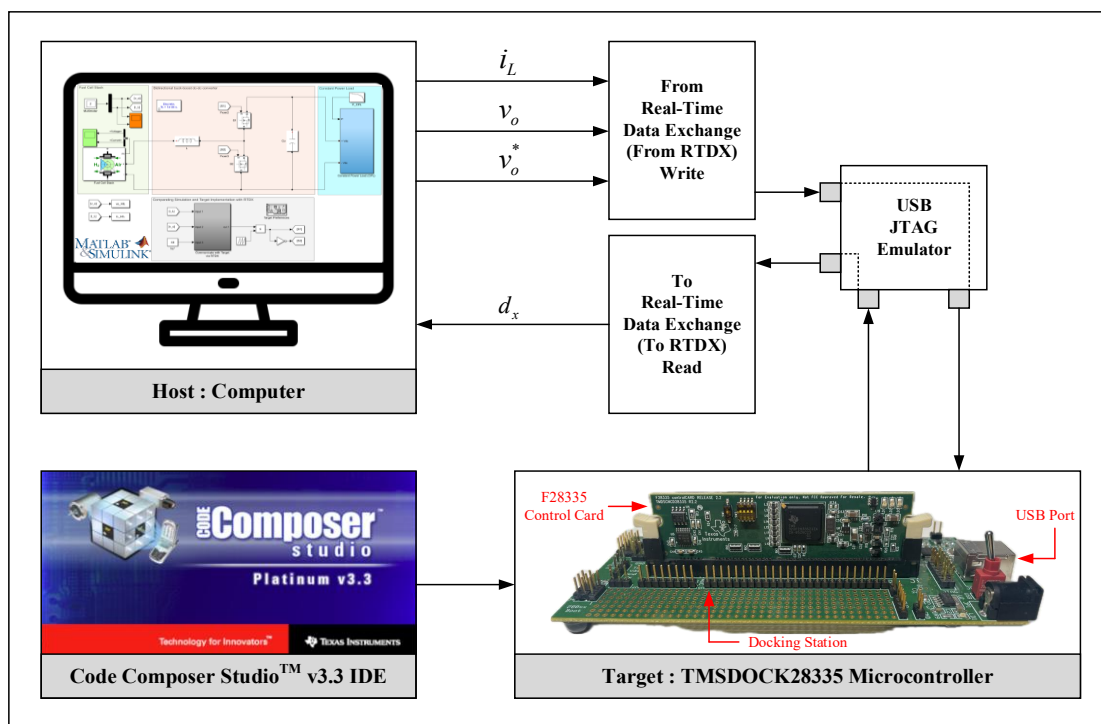
งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMSDOCK28335 ของบริษัท Texas Instruments ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ดังกล่าวมีหน่วยประมวลผลกลาง TMS320C28x ตระกูล C2000™ ขนาด 32 บิต ที่มีความเร็วในการประมวลผลสูงสุด 150 MHz รองรับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (digital) และการจำลองสถานการณ์แบบเวลาจริง (real-time simulation) โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ถูกใช้สำหรับประมวลผลสร้างสัญญาณตัวควบคุมพีไอแบบต่อเรียงกันดังสมการที่ (3-67) ในบทที่ 3 ซึ่งจะถูกเขียนเป็นชุดคำสั่งภาษาซีด้วยโปรแกรม Code Composer Studio เวอร์ชัน 3.3 (CCStudio v3.3 IDE) และโปรแกรมลงบนบอร์ดดังกล่าวเพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณการควบคุมให้กับวงจรแปลงผันกำลังดีซีเป็นดีซีที่พิจารณาในงานวิจัยวิทยานิพนธ์



รูปที่ 5.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMSDOCK28335 ของบริษัท Texas Instruments

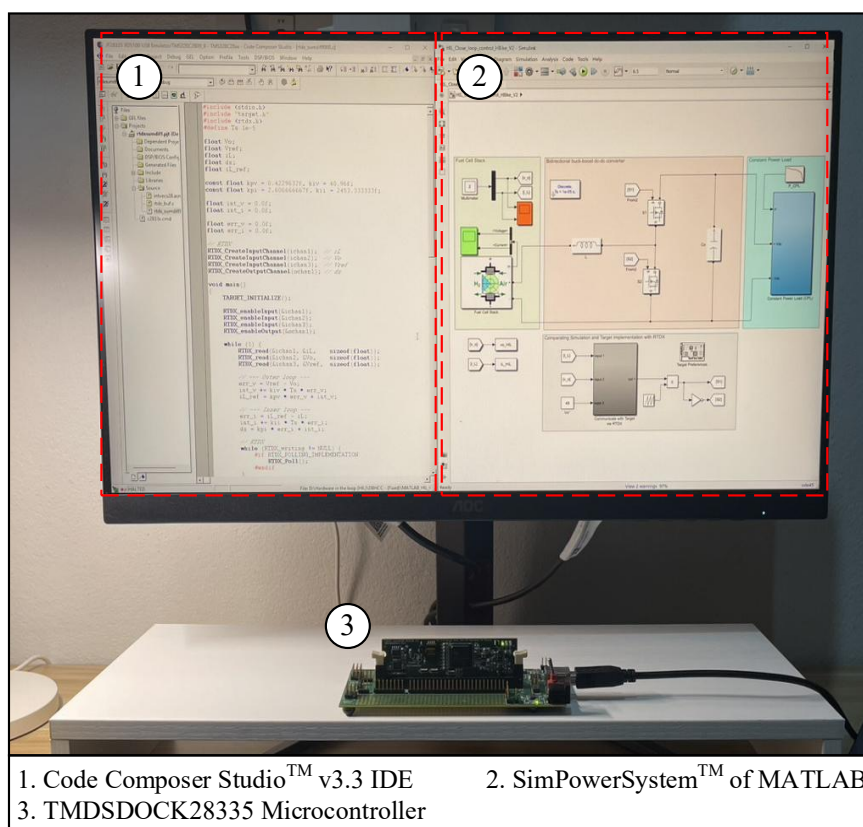
5.2.2 การเชื่อมต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

หลักการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบที่อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างระบบจักรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจนที่พิจารณาบนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMSDOCK28335 ผ่านโปรแกรม CCStudio v3.3 IDE สามารถแสดงเป็นแผนผังการรับ-ส่งข้อมูลสำหรับการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบได้ดังรูปที่ 5.2



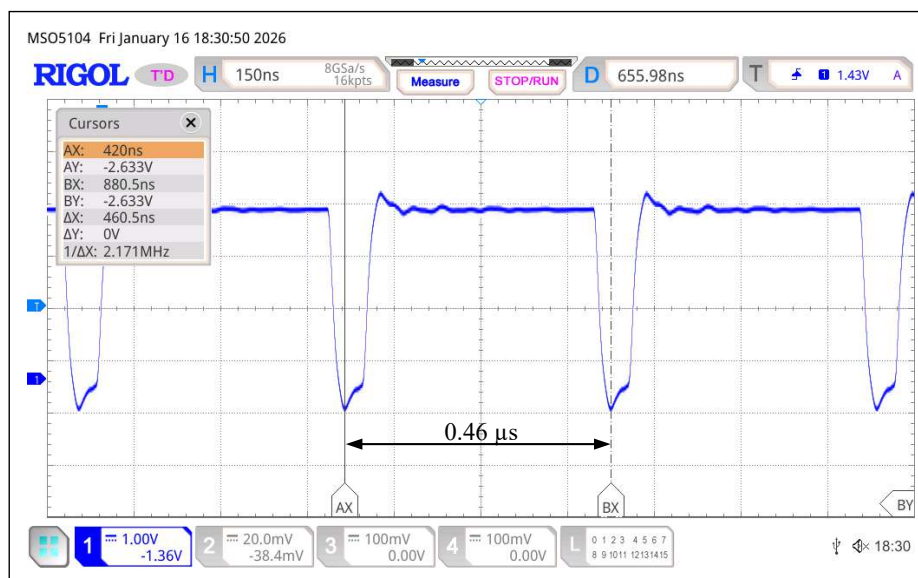
รูปที่ 5.2 แผนผังการรับ-ส่งข้อมูลสำหรับการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูป

จากรูปที่ 5.2 จะสังเกตได้ว่า ระบบจํายานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจนที่พิจารณาจะอยู่บนคอมพิวเตอร์ (Host : Computer) นั่นคือชุดบล็อกไฟฟ้ากำลังบนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดยระบบดังกล่าวจะส่งข้อมูลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i_L) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (v_o) และแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (v_o^*) ผ่านช่องทางการสื่อสารแบบเวลาจริง (real-time data exchange : RTDX) ด้วยการเชื่อมต่อผ่าน USB JTAG Emulator ไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMSDOCK28335 เพื่อส่งข้อมูลดังกล่าวไปประมวลผลตัวควบคุมพีไอแบบต่อเรียงกัน ซึ่งถูกเขียนเป็นชุดคำสั่งภาษาซีบนโปรแกรม CCStudio v3.3 IDE และถูกโปรแกรมลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณการควบคุม (d_x) ของตัวควบคุมพีไอแบบต่อเรียงกันไปยังระบบจํายานไฟฟ้าที่พิจารณาเพื่อนำสัญญาณดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม ซึ่งทำให้ได้สัญญาณพัลส์ (d^*) สำหรับควบคุมการสวิตช์ของวงจรแปลงผันกำลังที่พิจารณา โดยกระบวนการดังกล่าวจะทำงานแบบวนซ้ำจนครบเวลาที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMSDOCK28335 กับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMDSDOCK28335 กับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ดังแสดงในรูปที่ 5.3 เพื่อรับและส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรม MATLAB/SIMULINK กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMDSDOCK28335 ที่มีการโปรแกรมคำสั่งภาษาซีของตัวควบคุมจำเป็นต้องกำหนดช่วงระยะเวลาในการชักตัวอย่าง (sampling time) ที่มีผลต่อความละเอียดของผลตอบสนองของระบบ ดังนั้นเพื่อให้การจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบมีความถูกต้องและแม่นยำ งานวิจัยวิทยานิพนธ์จึงดำเนินการทดสอบระยะเวลาในการประมวลผลชุดคำสั่งของตัวควบคุมพีไอแบบต่อเรียงกัน โดยกำหนดให้ส่งสัญญาณลอจิกสูง (high) ในขณะที่ยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กำลังประมวลผลชุดคำสั่งของตัวควบคุม และส่งสัญญาณลอจิกต่ำ (low) เมื่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลชุดคำสั่งของตัวควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งสัญญาณลอจิกดังกล่าวจะถูกส่งผ่านทางพอร์ตเอาต์พุตดิจิทัลของบอร์ด จากนั้นนำออสซิลโลสโคปมาจับสัญญาณที่พอร์ตดังกล่าวเพื่อหาระยะเวลาในการประมวลผลชุดคำสั่งของตัวควบคุมซึ่งผลการทดสอบที่ได้แสดงได้ดังรูปที่ 5.4

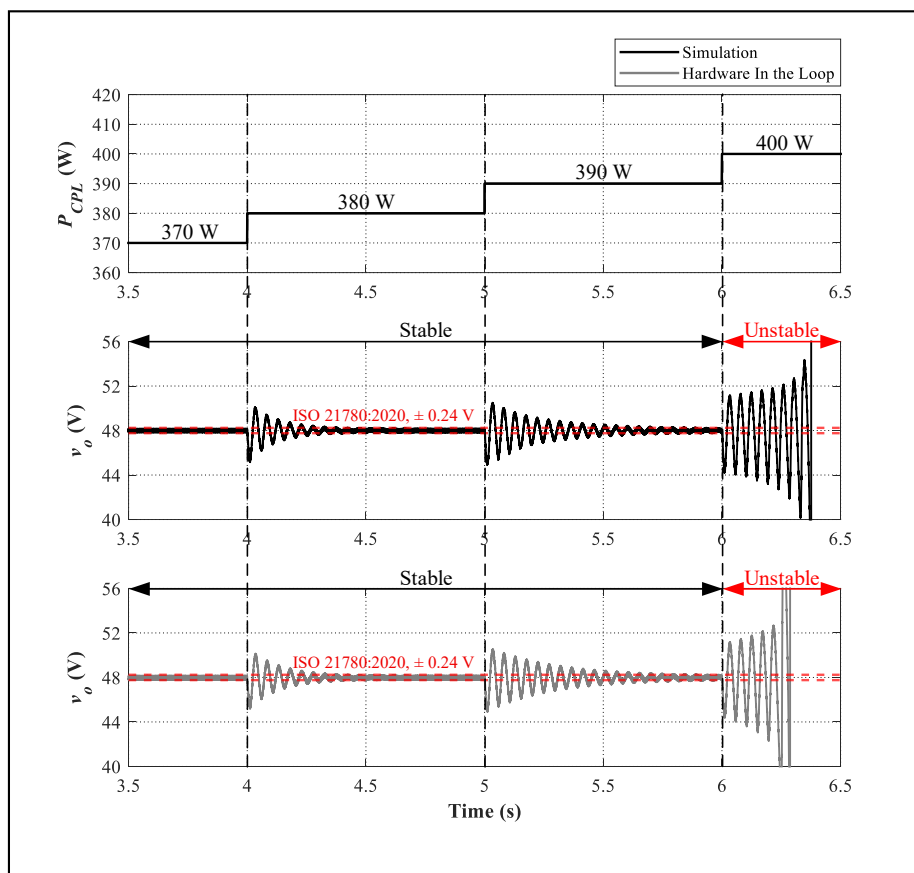


รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบระยะเวลาในการประมวลผลชุดคำสั่งของตัวควบคุมพีไอแบบต่อเรียงกัน

จากรูปที่ 5.4 สังเกตได้ว่า ระยะเวลาในการประมวลผลชุดคำสั่งของตัวควบคุมพีไอแบบต่อเรียงกันในหนึ่งรอบการทำงานจะใช้เวลาเท่ากับ $0.46 \mu s$ นั้นหมายความว่า การกำหนดช่วงเวลาในการชักรตัวอย่างสำหรับการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า $0.46 \mu s$ ดังนั้นงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกช่วงเวลาในการชักรตัวอย่างเท่ากับ $10 \mu s$ เนื่องจากเป็นค่าที่เพียงพอต่อการประมวลผลในหนึ่งรอบการทำงานของโปรแกรม สำหรับรายละเอียดของการยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

5.3 การยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบ

การยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบจะใช้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวของระบบในลักษณะเดียวกันกับการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ที่ได้นำเสนอไว้แล้วในบทที่ 4 ที่ผ่านมา เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องและตรงกันของจุดการขาดเสถียรภาพ ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าที่พิจารณาเป็นดังตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 และการวิเคราะห์ทางทฤษฎีด้วยค่าเจาะจงเด่นของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัวเป็นดังรูปที่ 4.3 ในบทที่ 4 โดยผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5

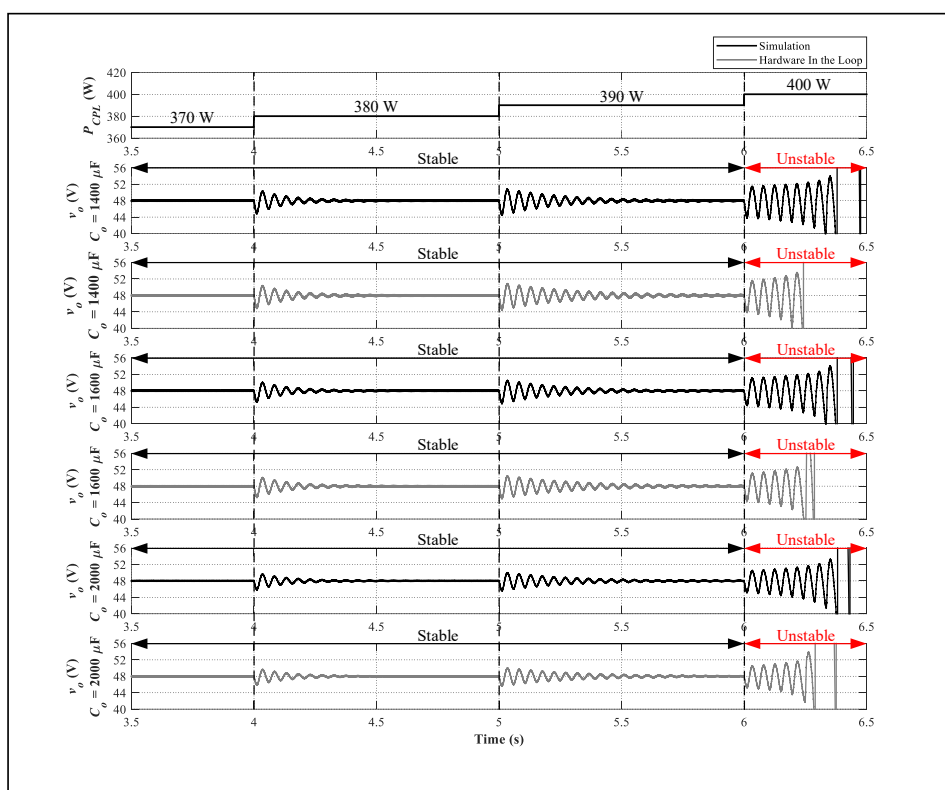


รูปที่ 5.5 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

จากรูปที่ 5.5 จะพบว่า การยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบให้ผลที่สอดคล้องและตรงกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK รวมถึงสอดคล้องและตรงกับผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีดังรูปที่ 4.3 ในบทที่ 4 โดยระบบจะเกิดการขาดเสถียรภาพเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดมีค่าเท่ากับ 400 W ที่เวลา 6 วินาที ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบจ่ายไฟฟ้าที่นำเสนอมีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ ในลำดับถัดไปจะเป็นการยืนยันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ ค่าความถี่ธรรมชาติของลูบควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า และค่าอัตราส่วนการหน่วงของลูบควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยสามารถแสดงรายละเอียดของผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบในแต่ละกรณีได้ดังหัวข้อที่ 5.3.1 ถึงหัวข้อที่ 5.3.6 ดังต่อไปนี้

5.3.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุสามารถพิจารณาได้จากเส้นอเสถียรภาพซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า C_o ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ในบทที่ 4 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปเพื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณี C_o มีการเปลี่ยนแปลงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.6



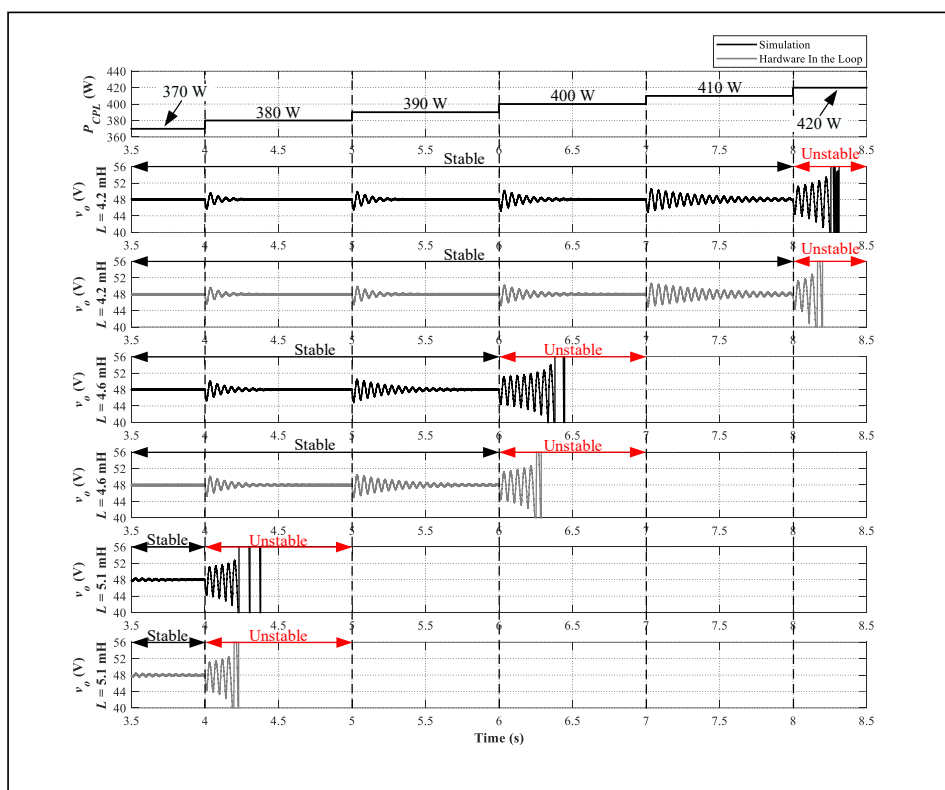
รูปที่ 5.6 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า C_o

จากรูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า C_o จะพบว่า ผลที่ได้ทั้งสองกรณีให้ผลที่สอดคล้องและตรงกัน รวมถึงสอดคล้องและตรงกับผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.5 ในบทที่ 4 โดยระบบจะเกิดการขาดเสถียรภาพ ณ จุดเดียวกันที่ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 400 W เมื่อค่า C_o มีค่าเท่ากับ 1400 μF 1600 μF และ 2000 μF ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์เสถียรภาพที่ได้นำเสนอมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

นอกจากนี้ยังยืนยันได้อีกว่าการเปลี่ยนแปลง C_o ไม่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบจักษยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจนที่พิจารณา

5.3.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำ

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำสามารถพิจารณาได้จากเส้นอเสถียรภาพซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า L ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ในบทที่ 4 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่ L มีการเปลี่ยนแปลงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7



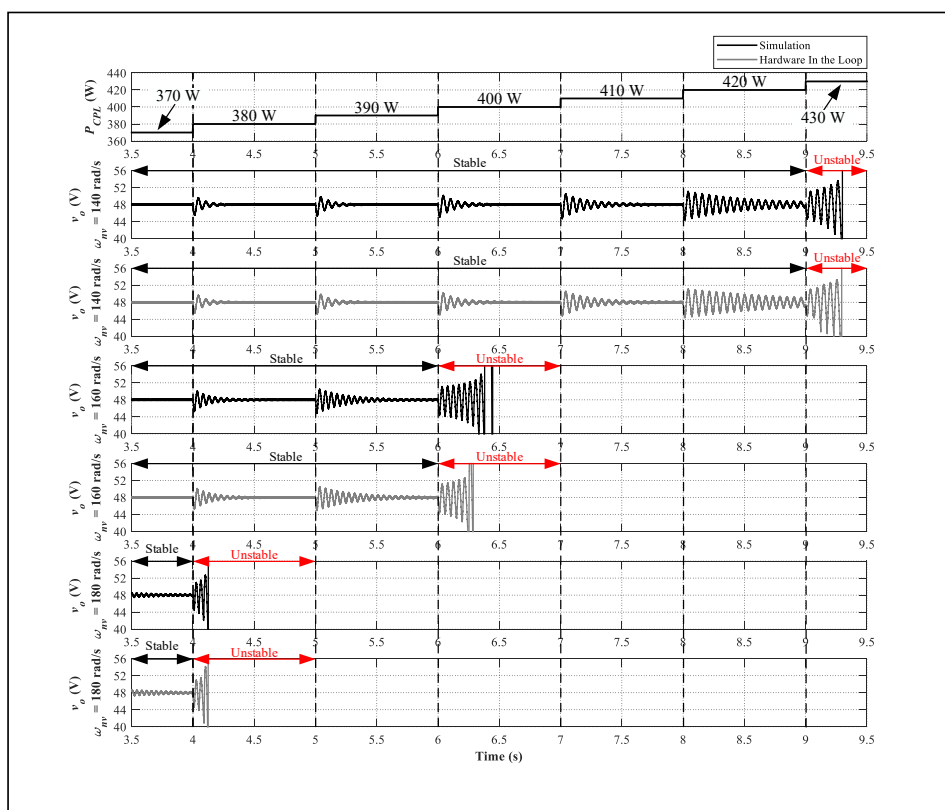
รูปที่ 5.7 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า L

จากรูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า L พบว่า ผลที่ได้ทั้งสองสอดคล้องและตรงกัน รวมถึงสอดคล้องและตรงกับผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.7 ในบทที่ 4 โดยระบบจะเกิดการขาดเสถียรภาพ ณ จุดเดียวกันที่ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 420 W 400 W

และ 380 W เมื่อค่า L มีค่าเท่ากับ 4.2 mH 4.6 mH และ 5.1 mH ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์เสถียรภาพที่ได้นำเสนอมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ยังยืนยันได้อีกว่าการเพิ่มขึ้นของค่า L จะส่งผลทำให้ระบบจํายานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจนที่พิจารณา มีเสถียรภาพลดลง

5.3.3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของลูบควบคุมแรงดันไฟฟ้า

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของลูบควบคุมแรงดันไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากเส้นอเสถียรภาพซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ω_{nv} ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ในบทที่ 4 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.8



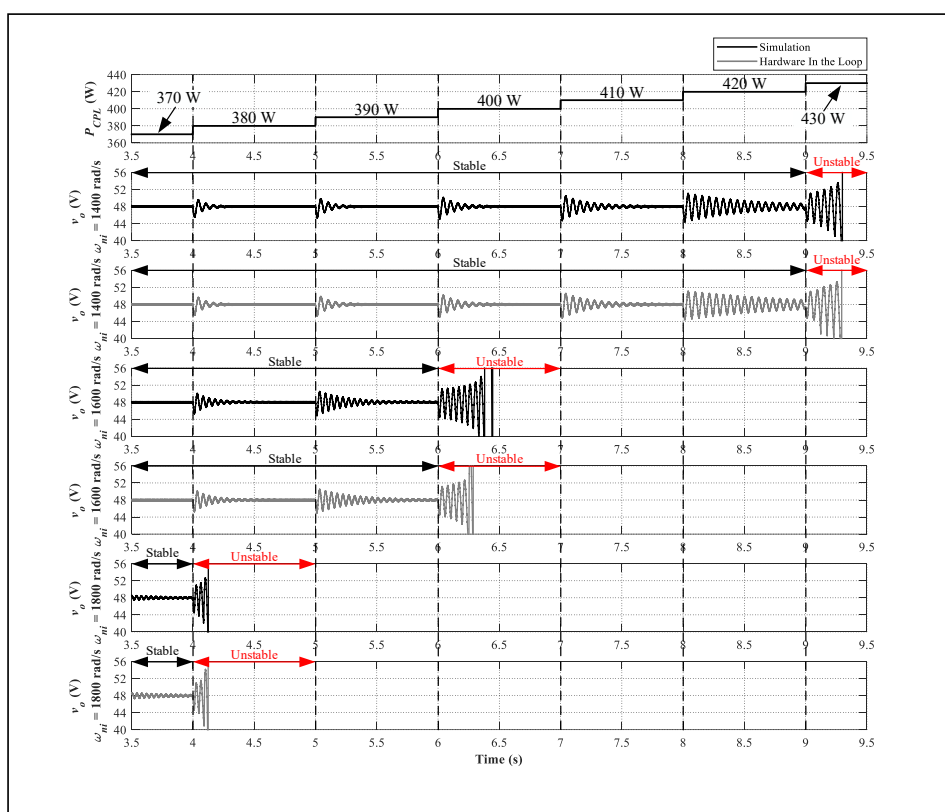
รูปที่ 5.8 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า ω_{nv}

จากรูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูบกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า ω_{nv} พบว่า ผลที่ได้ทั้งสองสอดคล้องและตรงกัน รวมถึงสอดคล้องและตรงกับผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.9

ในบทที่ 4 โดยระบบจะเกิดการขาดเสถียรภาพ ณ จุดเดียวกันที่ค่ากำลังไฟฟ้ามี่ค่าเท่ากับ 430 W 400 W และ 380 W เมื่อค่า ω_{ni} มีค่าเท่ากับ 140 rad/s 160 rad/s และ 180 rad/s ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ก็ยังยืนยันได้อีกว่าการเพิ่มค่า ω_{ni} จะส่งผลทำให้ระบบจักรยานไฟฟ้าที่พิจารณาไม่เสถียรภาพลดลง

5.3.4 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของลู่วควบคุมกระแสไฟฟ้า

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ธรรมชาติของลู่วควบคุมกระแสไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากเส้นอเสถียรภาพซึ่งได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ω_{ni} ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ในบทที่ 4 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลู่วเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่ ω_{ni} มีการเปลี่ยนแปลงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.9



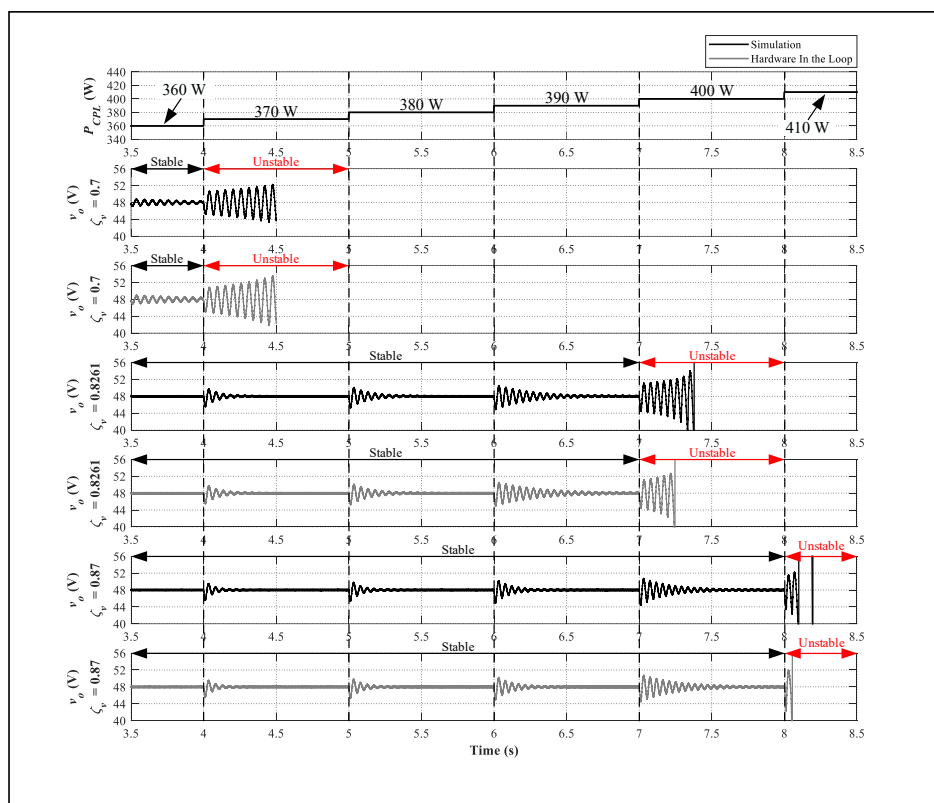
รูปที่ 5.9 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลู่วเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า ω_{ni}

จากรูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลู่วกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า ω_{ni}

จะพบว่า ผลที่ได้ทั้งสองสอดคล้องและตรงกัน รวมถึงสอดคล้องและตรงกับผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.11 ในบทที่ 4 โดยระบบจะเกิดการขาดเสถียรภาพ ณ จุดเดียวกันที่ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า เท่ากับ 430 W 400 W และ 380 W เมื่อค่า ω_{ni} มีค่าเท่ากับ 1400 rad/s 1600 rad/s และ 1800 rad/s ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์เสถียรภาพที่นำเสนอ มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ยังยืนยันได้อีกว่าการเพิ่มขึ้นของค่า ω_{ni} จะส่งผลทำให้ระบบ จักรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจนที่พิจารณา มีเสถียรภาพลดลง

5.3.5 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการหน่วงของลูปควบคุม แรงดันไฟฟ้า

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการหน่วงของลูปควบคุมแรงดันไฟฟ้า สามารถพิจารณาได้จากเส้นเสถียรภาพซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ค่า ζ_v ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ในบทที่ 4 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปเปรียบเทียบกับ ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีนี้สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 5.10

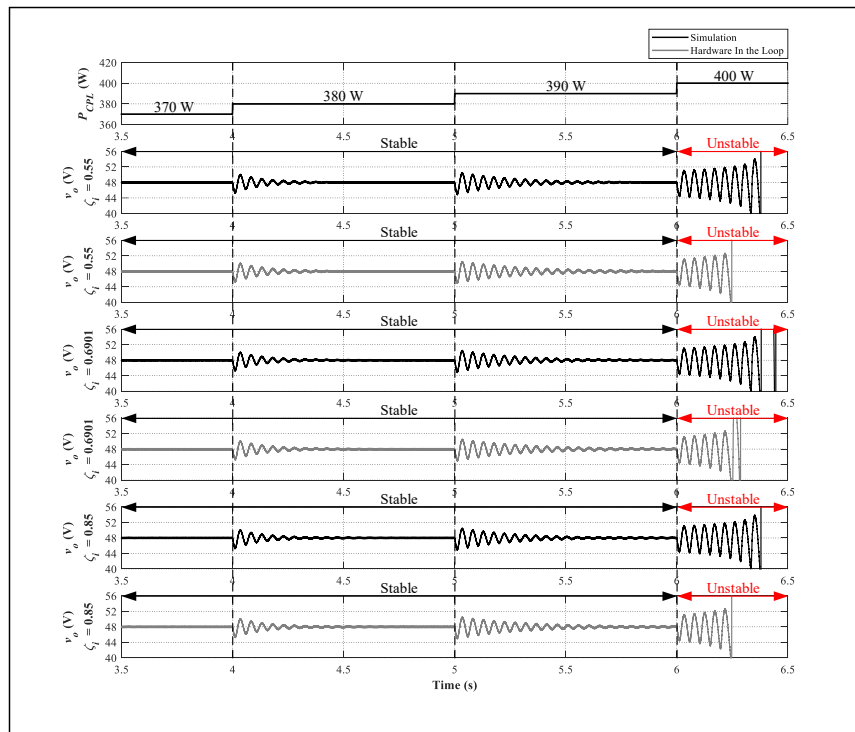


รูปที่ 5.10 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง สถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า ζ_v

จากรูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูป กับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า ζ_i พบว่า ผลที่ได้ทั้งสองสอดคล้องและตรงกัน รวมถึงสอดคล้องและตรงกับผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.13 ในบทที่ 4 โดยระบบจะเกิดการขาดเสถียรภาพ ณ จุดเดียวกันที่ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 370 W 400 W และ 410 W เมื่อค่า ζ_i มีค่าเท่ากับ 0.7 0.8261 และ 0.87 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์เสถียรภาพที่ได้นำเสนอมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ยังยืนยันได้อีกว่าการเพิ่มขึ้นของ ζ_i จะส่งผลให้ระบบจกัรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจนที่พิจารณาไม่เสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น

5.3.6 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนการหน่วงของลูปควบคุมกระแสไฟฟ้า

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการหน่วงของลูปควบคุมกระแสไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากเส้นอเสถียรภาพซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ζ_i ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ในบทที่ 4 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในลูปเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า ζ_i

จากรูปที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูปกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า ζ_i พบว่า ผลที่ได้ทั้งสองที่สอดคล้องและตรงกัน รวมถึงสอดคล้องและตรงกับผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.15 ในบทที่ 4 โดยระบบจะเกิดการขาดเสถียรภาพ ณ จุดเดียวกันที่ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 400 W เมื่อค่า ζ_i มีค่าเท่ากับ 0.55 0.6901 และ 0.85 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าผลการวิเคราะห์เสถียรภาพที่ได้นำเสนอมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ยังยืนยันได้อีกว่าการเปลี่ยนแปลง ζ_i ไม่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบจักรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจนที่พิจารณา

ดังนั้นจากที่ได้นำเสนอรายละเอียดทั้งหมดจะพบว่า ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพที่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พิสูจน์ขึ้น ผลการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ และผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูปมีความสอดคล้องและตรงกัน จึงเป็นการยืนยันได้อย่างดีว่าวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพที่นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์มีความถูกต้องแม่นยำ น่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ

5.4 สรุป

เนื้อหาในบทที่ 5 นี้เป็นการนำเสนอการยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบจักรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจน รวมถึงการยืนยันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพด้วยการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูป โดยเนื้อหาในตอนต้นของบทได้กล่าวถึงหลักการของฮาร์ดแวร์ในรูปที่อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น TMDSDOCK28335 กับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK และเนื้อหาในตอนท้ายเป็นการนำเสนอการยืนยันผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการจำลองสถานการณ์แบบฮาร์ดแวร์ในรูปให้ผลที่สอดคล้องและตรงกับผลการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม MATLAB/SIMULINK รวมถึงสอดคล้องและตรงกับผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่า วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพที่นำเสนอในงานวิจัยวิทยานิพนธ์มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ถือเป็นแนวทางที่สำคัญในการออกแบบและพัฒนาระบบจักรยานไฟฟ้าพลังงานไฮโดรเจน รวมถึงสามารถนำไปต่อยอดสำหรับงานวิจัยในอนาคตได้อีกด้วย