ธวิน อุดมกิจปัญญา : การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม (DESIGN OF FUZZY LOGIC CONTROLLER FOR SHUNT ACTIVE POWER FILTER IN AC CO-PHASE RAILWAY SYSTEMS)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพร ณรงค์ฤทธิ์, 278 หน้า

คำสำคัญ : วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน/ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก/ระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม/การตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธีทฤษฎีกำลังแอกทีฟขณะหนึ่ง/ตัวควบคุมพีไอ

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับใช้ควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (Shunt Active Power Filter: SAPF) เพื่อกำจัดกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วม การตรวจจับฮาร์มอนิกสำหรับใช้เป็นกระแสอ้างอิงให้กับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเลือกใช้วิธีพีคิวเอฟ (PQF) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้วิธีทฤษฎีกำลังรีแอกทีฟขณะหนึ่ง (instantaneous reactive power theory : PQ) ร่วมกับเทคนิคการกรองปริมาณฮาร์มอนิกด้วยวิธีฟูริเยร์แบบวินโดว์เลื่อน (Sliding Window Fourier Analysis : SWFA) การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานใช้วิธีการคำนวณแบบดั้งเดิม ส่วนการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงเลือกใช้ตัวควบคุมพีไอที่ออกแบบด้วยวิธีการประมาณค่าด้วยการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์กับพจน์พหุนามลักษณะเฉพาะของฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับสองมาตราฐาน และการควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานจะนำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นใหม่ โดยอาศัยการคำนวณที่เรียบง่ายและไม่ซับซ้อน สำหรับการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการออกแบบโครงสร้างของฟัซซีลอจิก ได้แก่ รูปร่างฟังก์ชันสมาชิก จำนวนค่าเชิงภาษา วิธีการอนุมานฟัซซี กฎฟัซซี ตัวแปรภาษา และค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ในส่วนที่สองเป็นการออกแบบอินพุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ซึ่งแบ่งเป็น 3 กรณี คือ กรณีใช้เฉพาะอินพุต error กรณีใช้ทั้งอินพุต error และ error rate และกรณีใช้ทั้งอินพุต error และ sum error ในส่วนสุดท้ายจะนำเสนอการออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกด้วยวิธีการคำนวณที่ พัฒนาขึ้นใหม่ โดยผลการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิก ในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink พบว่า กรณีที่ใช้ทั้งอินพุต error และ sum error ให้สมรรถนะในการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีที่สุด โดยค่า %THD เฉลี่ยของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสและที่ระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสมีค่าเท่ากันเท่ากับ 1.40% ในขณะที่ก่อนการชดเชยมีค่าเท่ากับ 22.16% และ 22.14% ตามลำดับ จากนั้นเพื่อยืนยันสมรรถนะในการควบคุมกระแสชดเชยของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการที่นำเสนอ จึงนำเสนอการจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสร่วมด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป (Hardware In the Loop : HIL) ที่ใช้โปรแกรม Matlab/Simulink ร่วมกับบอร์ด DSP รุ่น TMS320C2000™ Experimenter Kit โดยการจำลองสถานการณ์ดังกล่าวได้กำหนดการทดสอบเปลี่ยนแปลงโหลดของระบบรางไฟฟ้าทั้งหมด 4 กรณีโหลด ประกอบด้วย โหลดปกติ โหลด

เปลี่ยนแปลงลดขนาด โหลดเปลี่ยนแปลงเพิ่มขนาด และโหลดเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งผลจากการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูป พบว่า ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบด้วยวิธีการที่นำเสนอมีสมรรถนะการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีแม้โหลดของระบบรางไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ค่า %THD เฉลี่ยของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสมีค่าลดลงเหลือ 1.47% 2.64% 2.82% และ 2.35% และที่ระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสมีค่าลดลงเหลือ 1.46% 2.65% 2.83% และ 2.35% ตามลำดับกรณีโหลด

นอกจากนี้ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์ยังได้นำเสนอการกำจัดฮาร์มอนิกในทางปฏิบัติ โดยใช้ระบบฮาร์ดแวร์สำหรับทดลองกำจัดฮาร์มอนิกในระบบรางไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการ โดยผลการทดลอง พบว่า ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบด้วยวิธีการที่นำเสนอมีสมรรถนะการควบคุมกระแสชดเชยที่ดี และวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิผล โดยค่า %THD เฉลี่ยของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยที่ระบบไฟฟ้ากำลังสองเฟสมีค่าลดลงจาก 23.50% เหลือ 4.85% และที่ระบบไฟฟ้ากำลังสามเฟสมีค่าลดลงจาก 19.47% เหลือ 4.47% ซึ่งอยู่ภายใต้มาตราฐาน IEEE Std. 519-2022

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนักศึกษา ฉวิน อุดมกิจปัญญา

ปีการศึกษา 2567 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

TWIN UDOMKITPANYA : DESIGN OF FUZZY LOGIC CONTROLLER FOR SHUNT ACTIVE POWER FILTER IN AC CO-PHASE RAILWAY SYSTEMS
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TOSAPORN NARONGRIT, 278 PP.

Keywords : SHUNT ACTIVE POWER FILTER/ FUZZY LOGIC CONTROLLER/ CO-PHASE AC RAILWAY SYSTEMS/ INSTANTANEOUS REACTIVE POWER THEORY HARMONIC DETECTION/ PI CONTROLLER

This thesis presents the design of a fuzzy logic controller for the compensating current control of the Shunt Active Power Filter (SAPF) to eliminate harmonic currents in the AC co-phase railway system. The harmonic detection to calculate the reference current for the shunt active power filter uses the PQF method, which applies the instantaneous reactive power theory (PQ) combined with the harmonic filtering technique using Sliding Window Fourier Analysis (SWFA). The design of the shunt active power filter parameters uses the conventional method. At the same time, the DC bus voltage control employs a PI controller designed using an approximation method by comparing the coefficients with the characteristic polynomial terms of a standard second-order transfer function, and the compensating current control of the shunt active power filter will present the application of a fuzzy logic controller designed using a newly developed method based on simple calculations. The design of the fuzzy logic controller is divided into three parts. The first part involves designing the structure of the fuzzy logic, which includes the shape of the membership functions, the number of linguistic values, the fuzzy inference method, fuzzy rules, linguistic variables, and the linguistic values of the fuzzy logic controller. The second part focuses on designing the inputs of the fuzzy logic controller, which are divided into three cases: the case using only the error input, the case using both error and error rate inputs, and the case using both error and sum error inputs. The final part presents the design of the membership function positions for the fuzzy logic controller using the newly developed calculation method. The simulation results of the harmonic elimination in the AC co-phase railway system using MATLAB/Simulink program show that the case using both error and sum error inputs provides the best performance in compensating current control. The average %THD of the source current after compensation is 1.40% for both the two-phase and three-phase power systems, whereas before compensation, the %THD values were 22.16% and 22.14%, respectively. To validate the performance of the compensating current control of the fuzzy logic controller designed using the proposed method, the harmonic elimination simulation in the AC co-phase railway system was conducted using Hardware In the Loop (HIL) techniques by MATLAB/Simulink in combination with the TMS320C2000TM Experimenter Kit DSP board. This simulation involved testing with four different load cases for the railway

system, including normal load, reduced amplitude load, increased amplitude load, and load with shape variation. The HIL simulation results showed that the fuzzy logic controller designed using the proposed method demonstrated good performance in compensating current control, even when the load of the railway system changed. As a result, the average %THD of the source current after compensation decreased to 1.47%, 2.64%, 2.82%, and 2.35% for the two-phase power system, and 1.46%, 2.65%, 2.83%, and 2.35% for the three-phase power system, corresponding to the four load cases, respectively.

In addition, the thesis also presents practical harmonic elimination using the hardware system to test harmonic elimination for the railway system in the laboratory. The experimental results show that the fuzzy logic controller designed with the proposed method performs well in compensating current control, and the shunt active power filter can effectively eliminate harmonics. The average %THD of the source current after compensation decreased from 23.50% to 4.85% for the two-phase power system and from 19.47% to 4.47% for the three-phase power system, which is under the standard of IEEE Std. 519-2022.

School of Electrical Engineering

Academic year 2024

Student's Signature .....ถิ่น อุดมกิจปัญญา.....

Advisor's Signature .....