สุทธิณี ว่าวสูงเนิน : การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีสำหรับวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส (DESIGN OF THE FUZZY CONTROLLER FOR SHUNT ACTIVE POWER FILTER IN SINGLE-PHASE POWER SYSTEMS)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ. ดร. กองพล อารีรักษ์, 249 หน้า

คำสำคัญ: การกำจัดฮาร์มอนิก/ วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน/ การตรวจจับฮาร์มอนิกวิธีฟูริเยร์เอสดี/ ตัวควบคุมฟัซซี/ ตัวควบคุมพีไอ

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีสำหรับควบคุมกระแสชดเชยของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟส วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานดังกล่าวใช้สำหรับการชดเชยหรือกำจัดกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า การคำนวณกระแสอ้างอิงในการชดเชยได้ใช้การตรวจจับฮาร์มอนิกได้ใช้วิธีฟูริเยร์เอสดี (SDF) และการควบคุมแรงดันบัสไฟตรงได้ใช้ตัวควบคุมพีไอที่ออกแบบด้วยวิธีการประมาณแบบดั้งเดิม การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก โดยส่วนแรกคือการออกแบบโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีที่ประกอบด้วยการทดสอบรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก ค่าเชิงภาษา วิธีการอนุมาน และการออกแบบกฎฟัซซี ส่วนที่สองคือการออกแบบตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกด้วยแนวทางการคำนวณ 2 วิธีการ คือ วิธีการคำนวณโดยอาศัยค่าความชันสูงสุดของกระแสอ้างอิงโดยตรง และวิธีการคำนวณโดยอาศัยวิธีการของ Ingram and Round การทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมฟัซซีที่ออกแบบได้ใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB เพื่อจำลองสถานการณ์การกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสที่พิจารณา ผลการจำลองสถานการณ์พบว่า ตัวควบคุมฟัซซีที่ได้จากการออกแบบทั้งสองวิธีมีสมรรถนะที่ดีในการควบคุมกระแสชดเชยให้เกาะคล้อยตามกระแสอ้างอิงที่ได้จากวิธี SDF ส่งผลให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิกได้อย่างมีประสิทธิผล โดยค่า $\%THD_i$ ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีค่าลดลง และอยู่ในกรอบมาตรฐาน IEEE std. 519-2022 (5%) นอกจากนี้ ได้ทำการทดสอบตัวควบคุมฟัซซีเพิ่มเติมในกรณีการเปลี่ยนแปลงโหลดทั้งหมด 4 กรณี ได้แก่ กรณีโหลดปกติ กรณีเพิ่มขนาดกระแสโหลด กรณีลดขนาดกระแสโหลด และกรณีเปลี่ยนแปลงรูปร่างกระแสโหลด โดยการทดสอบได้ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปที่ใช้โปรแกรม Simulink/MATLAB ร่วมกับบอร์ด DSP รุ่น TMS320C2000™ Experimenter Kit ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ตัวควบคุมฟัซซียังคงสามารถควบคุมกระแสชดเชยในกรณีที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงได้ดี ส่งผลให้ค่า $\%THD_i$ ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยลดลงที่ค่าเท่ากับ 1.87% 2.99% 2.17% และ 5.62% ตามลำดับกรณีโหลด อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าค่า $\%THD_i$ ของกรณีโหลดเปลี่ยนแปลงรูปร่างกระแส (5.62%) มีค่าเกินมาตรฐานกำหนด ดังนั้นงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการพัฒนาเพิ่ม

สมรรถนะของตัวควบคุมฟัซซีให้ดียิ่งขึ้นโดยการออกแบบให้สามารถปรับตัวได้เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับตัวได้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ตัวควบคุมฟัซซีหลัก (ซึ่งออกแบบเหมือนกับตัวควบคุมฟัซซีที่ได้นำเสนอ) และฟัซซีช่วย ที่ออกแบบให้ทำหน้าที่ปรับค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีหลัก โดยผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปพบว่าตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับตัวได้มีสมรรถนะการควบคุมกระแสชดเชยที่ดีกว่าในกรณีที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมฟัซซี จากผลดังกล่าวทำให้วงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานสามารถกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่งเฟสได้อย่างมีประสิทธิผลยิ่งขึ้น โดยค่า $\%THD_i$ ภายหลังการชดเชยมีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 1.87% 2.22% 1.52% และ 4.57% ตามลำดับกรณีโหลด ซึ่งค่า $\%THD_i$ เหล่านี้อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE std. 519-2022

นอกจากนี้ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์ยังได้นำเสนอการกำจัดกระแสฮาร์มอนิกในกรณีแรงดันที่แหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้ากำลังมีความเพี้ยนเนื่องจากฮาร์มอนิก โดยในกรณีที่นำวิธีการตรวจจับแรงดันลำดับเฟสบวกมูลฐาน (PSVD) มาทำงานร่วมกับการตรวจจับฮาร์มอนิกด้วยวิธี SDF เพื่อให้ได้ผลการตรวจจับฮาร์มอนิกที่ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยผลการจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคฮาร์ดแวร์ในลูปพบว่าวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ใช้วิธี SDF ร่วมกับวิธี PSVD สามารถกำจัดกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าที่แรงดันมีความเพี้ยนได้ดี ส่งผลให้ค่า $\%THD_i$ ของกระแสที่แหล่งจ่ายภายหลังการชดเชยมีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 2.40% และเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE std. 519-2022

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2567

ลายมือชื่อนักศึกษา สุทธินี ล่าสุงเนิน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

SUTTHINEE WAOSUNGNERN : DESIGN OF THE FUZZY CONTROLLER FOR SHUNT ACTIVE POWER FILTER IN SINGLE-PHASE POWER SYSTEMS.
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KONGPOL AREERAK, Ph.D. 249 PP.

Keyword: HARMONIC ELIMINATION/ SHUNT ACTIVE POWER FILTER/ SDF DETECTION/ FUZZY CONTROLLER / PI CONTROLLER

This thesis presents the fuzzy controller design for the compensating current control of a shunt active power filter (SAPF) in a single-phase power system. The shunt active power filter is used to compensate or eliminate current harmonic in the power system. Calculating the reference current for compensation uses harmonic detection by synchronous detection with Fourier analysis (SDF) method and the DC bus voltage control uses the PI controller designed by the conventional approximation method. The design of the fuzzy controller is divided into two main parts. The first part is the fuzzy structure design, which consists of testing membership function shapes, linguistic value, Inference, and fuzzy rule design. The second part is the position design of the membership functions by presenting two approaches, the calculating approach depending on the maximum slope of reference current, and the calculating approach using the Ingram and Round method. The performance of the designed fuzzy controller is tested using the Simulink/MATLAB program to simulate the harmonic elimination in the considered single-phase power system. The simulation results show that the fuzzy controller designed using both approaches can provide good performance to control the compensating current tracking the reference current waveform produced by SDF method. As a result, the shunt active power filter can eliminate harmonics effectively. The $\%THD_i$ value of the source current after compensation is reduced and satisfied under the IEEE std. 519-2022 (5%). Moreover, the fuzzy controller's performance is tested in 4 cases changing the load namely the normal load case, increased load current case, decreased load current case, and changed load current shape case. This test applies the Hardware-In-the-Loop (HIL) simulation technique using the Simulink/MATLAB program and the TMS320C2000™ Experimenter Kit DSP board. The testing results show that the fuzzy controller can

still control the compensating current in all cases of load changes. The $\%THD_i$ values of source current after compensation are reduced to 1.87%, 2.99%, 2.17%, and 5.62% according to the mentioned load cases, respectively. However, it can be seen that the $\%THD_i$ value in the case of the changed load current shape (5.62%) is over the limit of the standard. Therefore, the thesis presents a performance improvement of the fuzzy controller with an adaptive design when the load is changed. The design of an adaptive fuzzy controller consists of two parts, the main fuzzy controller (using the same design as the fuzzy controller) and the auxiliary fuzzy, which is designed to adjust the positions of the output membership function in the main fuzzy controller. The HIL simulation results confirm that the adaptive fuzzy controller can provide the best performance to control the compensating current in case of load changes compared with the fuzzy controller. From the result, the shunt active power filter can eliminate harmonics more effectively in the single-phase power system. The $\%THD_i$ values after compensation are reduced to 1.87% 2.22% 1.52% and 4.57% respectively. These $\%THD_i$ values are under the limits of the IEEE std. 519-2022.

Furthermore, this thesis also presents the current harmonic elimination in the case of the source voltage of the power system being distorted by harmonics. In this case, the positive sequence voltage detector (PSVD) technique is applied to improve the accuracy of harmonic detection of the SDF method. The HIL simulation results show that the active power filter using the SDF in cooperation with the PSVD method can eliminate current harmonic in the distorted voltage power system. The $\%THD_i$ value of the source current after compensation is reduced to 2.40% and follows the IEEE std. 519-2022.

School of Electrical Engineering
Academic Year 2024

Student's Signature .....
Advisor's Signature .....
Co-advisor's Signature .....