

การประยุกต์อัลกอริธึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวหลายวิถีในงานออกแบบ
ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกของวงจรร่งกำลังแอกทีฟแบบสวิตซ์สี่แถว
The Application of Multi-path Adaptive TABU Search Algorithm in Fuzzy
Logic Controller Design Applied for Four-Leg Active Power Filter
จักรกรฤษณ์ เกลือบว้ง¹ ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์¹ ชนะเลิศ เทศกุล² อัครพล เนียมวรรณ²
และ ทศนะ ถมทอง^{1*}

¹อาจารย์ ²นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ้งหวัดตาก 63000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้อัลกอริธึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวหลายวิถี(Multi-Path Adaptive TABU Search : MATS) ค้นหาปร่งกฏ(Membership functions) ที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกและค้นหาย่านของแอมพลิจูดของกระแสชดเชยอ้างอิงที่เหมาะสม เพื่อนำไปสร้างเป็นรูปคลื่นกระแสชดเชยอ้างอิงสามเฟสและนำไปเปรียบเทียบกับกระแสชดเชยจริงที่ตัวควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์ซิส(Hysteresis Band Current Control : HBCC) เอาต์พุตที่ได้จากตัวควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์ซิส นำไปควบคุมการสวิตซ์ของวงจรร่งกำลังชนิดสามเฟสสี่สายแบบสวิตซ์สี่แถว(Four-Leg Active Power Filter : FL-APF) โดยวงจรร่งกำลังแอกทีฟดังกล่าวทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและจ่ายกระแสชดเชยเข้าที่จุดต่อร่วมเพื่อลดองค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสแหล่งจ่ายให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จากผลการจำลองระบบควบคุมวงจรร่งกำลังชนิดสามเฟสสี่สายแบบสวิตซ์สี่แถว พบว่ากลไกการค้นหาของอัลกอริธึม MATS สามารถค้นหาปร่งกฏที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกได้และค้นหาย่านแอมพลิจูดกระแสชดเชยอ้างอิงที่เหมาะสมได้ และเมื่อนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปกำหนดให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกควบคุมการทำงานของ FL-APF พบว่าสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและจำกัดค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกกรรมของกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายให้อยู่ในขอบเขต 5% ตามเกณฑ์มาตรฐาน IEEE-519 ได้

Abstract

This paper presents the application of MATS Algorithm that used to find optimum membership function shapes for a fuzzy logic controller and used to find optimum limit range of a compensate reference current amplitude. This amplitude used to create three-phase compensate reference current signals that compare with three-phase compensate real current signals at hysteresis band current controller (HBCC) to generate gate drive signals of a FL-APF. The FL-APF delivers reactive power to point of common coupling and reduce harmonics components of all supply currents.

The MATS evolution mechanisms were found optimum membership functions for fuzzy logic controller. The simulation results, after setting optimum parameters, were found that the fuzzy logic controller control active power filter to compensate reactive power at the point of common coupling and limit source currents THD to 5% in range and complied with IEEE 519 standard

คำสำคัญ : อัลกอริธึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวหลายวิถี วงจรร่งกำลังแอกทีฟ ตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิก

Keywords : Multi-Path Adaptive TABU Search, Active Power Filter, Fuzzy-Logic Controller

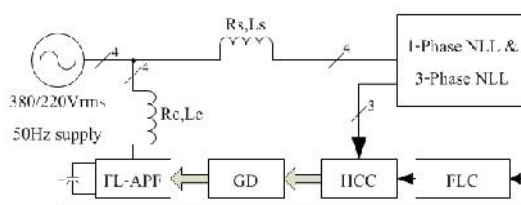
*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ tatsana@rmutl.ac.th โทร. 0 5551 1962

ปัญหาอาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าเป็นปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่มีสาเหตุจากการใช้งานโหลดไม่เชิงเส้นที่มียอดประกอบเป็นวงจรแปลงผันหรือมีสวิตซ์สารกึ่งตัวนำ เช่นอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ แหล่งจ่ายแบบสวิตชิงในคอมพิวเตอร์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องป้องกันไฟฟ้าขาดช่วง วงจรซาร์จประจุแบตเตอรี่ โทรศัพท์ เป็นต้น โหลดไม่เชิงเส้นดังกล่าวส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าโดยรวมทำให้เกิดรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าด้านเข้าผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ความผิดเพี้ยนดังกล่าวทำให้มีปริมาณความเพี้ยนฮาร์โมนิกกรวมของกระแสแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าต่ำกว่ากรณีโหลดเป็นเชิงเส้น Cividino, (1992) และ Ellis, (1996) เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยและอาคารสำนักงานปัจจุบันมียอดประกอบเป็นวงจรแปลงผันมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณกระแสฮาร์โมนิกโดยรวมสูงขึ้นตามและส่งผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นถูกใช้งาน และทำให้เกิดผลเสียต่าง ๆ เช่น ทำให้อายุการใช้งานของสายไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้ามีอายุการใช้งานสั้นลง รีเลย์ป้องกันทำงานผิดพลาดจากค่าพิกัดที่ตั้งไว้ หม้อแปลงไฟฟ้ามีความร้อนสูงขึ้นหรือใช้งานได้น้อยกว่าพิกัดกำลังจริง Sadati *et al.*, (2008) และ Singh *et al.*; (1999) เป็นต้น

2. วิธีการศึกษา

2.1 ระบบควบคุมวงปิดสำหรับวงจรรอกำลังแอกทีฟ

รูปที่ 1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบวงปิด ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าอินพุต โหลดไม่เชิงเส้น(NLL) วงจรรอกำลังแอกทีฟ(FL-APF) และวงจรควบคุมประกอบด้วย ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก(FLC) ตัวควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส (HCC) และส่วนจดขนวนเกด(GD)



รูปที่ 1 ระบบควบคุมวงปิดสำหรับวงจรรอกำลังแอกทีฟ

2.2 วงจรเทียบเคียงของโหลดไม่เชิงเส้น

วงจรโหลดไม่เชิงเส้นในที่นี้เป็นวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นควบคุมไม่ได้ชนิดสามเฟสและหนึ่งเฟส ทั้งสองวงจรมีโหลดด้านนอก เป็นตัวต้านทานขนานกับตัวเก็บประจุ สามารถเขียนวงจรเทียบเคียงได้ดังรูปที่ 2 และโดยอาศัยกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์(KVL) พิจารณาวงจรเรียงกระแสจะสามารถเขียนสมการสเตตได้ดังสมการที่ (1)-(4) ทัศนะ และคณะ (2546)

2.2.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นต่อแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

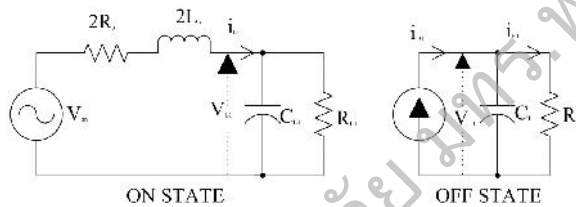
1) กรณีไดโอดนำกระแส

$$\frac{di_{L_{an}}}{dt} = \frac{V_{an} - V_{L1}}{2L_s} - \frac{R_s}{L_s} i_{L_{an}} \quad \text{.....(1)}$$

2) กรณีไดโอดหยุดนำกระแส

$$\frac{dV_{L1}}{dt} = \frac{i_{D1}}{C_{L1}} - \frac{V_{L1}}{R_{L1}C_{L1}} \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ $i_{D1} = |i_{L1}|$ เป็นกระแสที่ชี้ออกที่ไหลผ่านวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสต่อแบบบริดจ์ สามารถไหลได้เพียงทิศทางเดียว



รูปที่ 2 วงจรเทียบเคียงของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นหนึ่งเฟส ด้านเอาต์พุตโหลดเป็น R/C

2.2.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟส

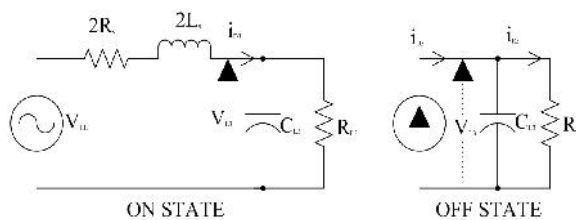
1) กรณีไดโอดนำกระแส

$$\frac{di_{Lx}}{dt} = \frac{V_{LL} - V_{L3}}{2L_s} - \frac{R_s}{L_s} i_{Lx} \quad \text{.....(3)}$$

2) กรณีไดโอดหยุดนำกระแส

$$\frac{dV_{L3}}{dt} = \frac{i_{D3}}{C_{L3}} - \frac{V_{L3}}{R_{L3}C_{L3}} \quad \text{.....(4)}$$

โดยที่ $i_{D3} = |i_{Lx}|$ เป็นกระแสที่ชี้ออกที่ไหลผ่านวงจรเรียงกระแสสามเฟสต่อแบบบริดจ์ สามารถไหลได้เพียงทิศทางเดียว

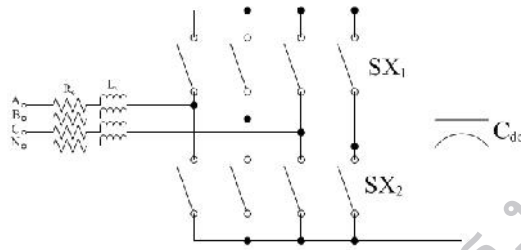


รูปที่ 3 วงจรเทียบเคียงของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นสามเฟส ด้านเอาต์พุตโหลดเป็น R/C

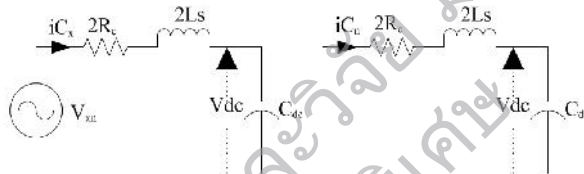
2.3 วงจรเทียบเคียงของวงจรรอกำลังแอกทีฟ

วงจรรอกำลังแอกทีฟในบทความนี้เป็นแบบสวิตช์สี่แถว (FL-APF) ต่อขนานระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับโหลดไม่เชิงเส้นดังรูปที่ 1 ลักษณะของวงจรรอกำลังแอกทีฟดังรูปที่ 4 มีตัวเก็บประจุทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟาริแอกทีฟ

จากวงจรรูปที่ 4 สามารถเขียนเป็นวงจรเทียบเคียงได้ ดังรูปที่ 5 และเขียนเป็นสมการสเตตได้ดังสมการที่ (5)-(9) Singh B. *et al.* (1998).



รูปที่ 4 วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบสวิตช์สี่แถว



รูปที่ 5 วงจรเทียบเคียงของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบสวิตช์สี่แถว

$$\frac{diC_a}{dt} = \frac{-R_c}{L_c} iC_a - \frac{SA * V_{dc}}{2L_c} + \frac{V_{an}}{2L_c} \quad \text{.....(5)}$$

$$\frac{diC_b}{dt} = \frac{-R_c}{L_c} iC_b - \frac{SB * V_{dc}}{2L_c} + \frac{V_{bn}}{2L_c} \quad \text{.....(6)}$$

$$\frac{diC_c}{dt} = \frac{-R_c}{L_c} iC_c - \frac{SC * V_{dc}}{2L_c} + \frac{V_{cn}}{2L_c} \quad \text{.....(7)}$$

$$\frac{diC_n}{dt} = \frac{-R_c}{L_c} iC_n - \frac{SN * V_{dc}}{2L_c} \quad \text{.....(8)}$$

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = [(SA * iC_a) + (SB * iC_b) + \dots \dots \dots (SC * iC_c) + (iC_n * SN)] / C_{dc} \quad \text{.....(9)}$$

เมื่อ SX แทนสถานะการสวิตช์ (Switching function) ของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละแถวของวงจรรอกำลังแอกทีฟ ซึ่งได้จากวงจรควบคุมกระแสฮีสเตอร์ซิส (HCC) ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4.3 โดยที่

$$SX = SX1 - SX2 \quad \text{.....(10)}$$

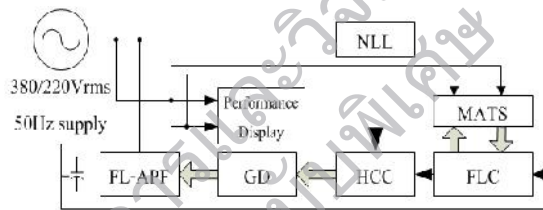
$$\text{เมื่อ } X = \{A, B, C, N\}$$

สมการที่(1)-(10) จะนำไปใช้สำหรับเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบควบคุมปิดทั้งหมดด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink®

2.4 ตัวควบคุมการทำงานของวงจรรอกำลังแอกทีฟ

2.4.1 อัลกอริธึมการค้นหาค่าปรับค่าหลายวิธี

งานวิจัยนี้ใช้อัลกอริธึม MATS เพื่อค้นหารูปทรงของฟังก์ชันเชิงสมาชิกที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก กระบวนการสร้างวิวัฒนาการของอัลกอริธึมการค้นหาค่าปรับค่าหลายวิธีมีกระบวนการดังรูปที่ 6 โดยบล็อก MATS จะมีตัวแปรอินพุตเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างกฎด้านขวาของค่าความผิดพลาดของแรงดันดีซีบัส: xR_{Err} และของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดดังกล่าว: xR_{dErr} และของค่าแอมพลิจูดกระแสอ้างอิง: xR_{Ism} สำหรับจุดเชื่อมต่อกฎด้านซ้ายมีระยะห่างจากจุดศูนย์เท่ากับด้านขวาทั้งสามกฎ และมีตัวแปรอินพุตอีกสองตัวคือขอบเขตบนและล่างของย่านจำกัดแอมพลิจูดของกระแสคือ Up_{lim} และ Low_{lim} รวม MATS มีตัวแปรอินพุต 5 ตัวที่จะทำการค้นหา ส่วนเกณฑ์การยุติดูจากเงื่อนไขของฟังก์ชันเป้าหมายสองข้อ คือ ค่าที่เอชดีกระแสแหล่งจ่ายทุกเฟสต่ำกว่า 5% เป็นจริง และแรงดันดีซีบัสของ FL-APF ขณะเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้วมีค่าไม่เกิน $550 \pm 5V$ เป็นจริง และหากค้นหาไม่เจอใน 1,000 รอบก็จะยุติการค้นหาเช่นกัน หากการค้นหายุติจะแสดงผลการทำงานของควบคุมโดยแสดงระดับที่เอชดีของกระแสแหล่งจ่ายทุกเฟสและแสดงค่าเฉลี่ยแรงดันดีซีบัสของวงจรรอกำลังแอกทีฟในสภาวะคงตัว



รูปที่ 6 กระบวนการค้นหาพารามิเตอร์ควบคุมที่เหมาะสมของ MATS

2.4.2 ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

ตัวแปรอินพุตสำหรับตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกใช้ตัวแปรอินพุตเป็นค่าความผิดพลาดและอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดของแรงดันดีซีบัสของวงจรรอกำลัง ลำดับขั้นตอนการดำเนินการของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก เป็นดังนี้ Driankov, et al.(1993) และ Lee (1990).

- 1) แปลงค่าคริปส์อินพุตให้อยู่ในย่านเอกภพสัมพัทธ์ $[-1,1]$ ได้ค่าฟัซซีอินพุต
- 2) อนุมานค่าฟัซซีอินพุตโดยใช้ตัวดำเนินการเลือกค่าต่ำสุด(Min Implication) วิธีกรรมตามสมการที่ (11)

$$m_C(u, v, w) = \min\{m_A(u), m_B(v)\} \quad \dots(11)$$

เมื่อ A, B, C คือ กฎที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ u และ v ของตัวแปรอินพุต และเอกภพสัมพัทธ์ w ของตัวแปรเอาต์พุต

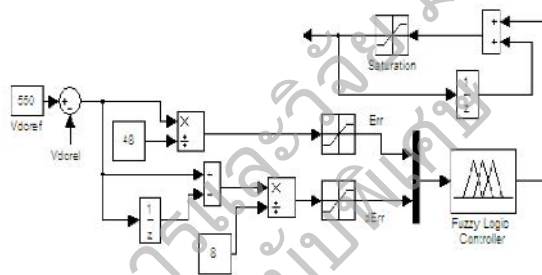
- 3) แฉงเหตุส่ผลด้วยตัวดำเนินการเลือกค่าสูงสุด (Max Aggregation) ด้วยสมการที่ (12) จะได้ค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละกฎในเอกภพสัมพัทธ์ w

$$\bigcup_{i=1}^3 m_{C_{R_i}}(w) = \max[m_C(u, v, w) \circ m_{R_i}(u, v, w)] \quad \dots(12)$$

- คือ ตัวดำเนินการ SUP-MIN

$$X^* = \frac{\sum_{i=1}^3 I_i C_i}{\sum_{i=1}^3 I_i} \quad \text{.....(13)}$$

C_i = ค่าคริปส์เอด์พตตามแกน x ที่อยู่ในพื้นที่ของกฎที่ i ในเอกภพสัมพัทธ์ w

$$I_{smxref}(k) = I_{smxref}(k-1) + X^* \quad \text{.....(14)}$$


รูปที่ 7 ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกสำหรับวงจรรอกำลังแอกทีฟ

ค่ากระแสไฟฟ้าอ้างอิงจากแหล่งจ่ายที่คำนวณได้จากสมการ ที่ (15) นำไปคูณกับค่าแรงดันไฟฟ้าต่อหน่วยของแต่ละเฟส (U_{sx}) จะได้สัญญาณกระแสไฟฟ้าอ้างอิงของแหล่งจ่าย ดังสมการที่ (15)-(16) และนำไปคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรกรองกำลังอ้างอิงได้จากสมการที่ (17) Singh B. *et al.* (1998).

$$I_{sxref}(x) = I_{smxref}(x) * U_{sx} \quad \text{.....(15)}$$

မို့ $X = \{a, b, c\}$

$$I_{snref}(x) = -[iL_a(k) + iL_b(x) + iL_c(x)] \quad \text{.....(16)}$$

$$I_{cxref}(k) = I_{sxref}(x) - i_L(x) \quad \text{.....(17)}$$

เมื่อ $X = \{a, b, c, n\}$

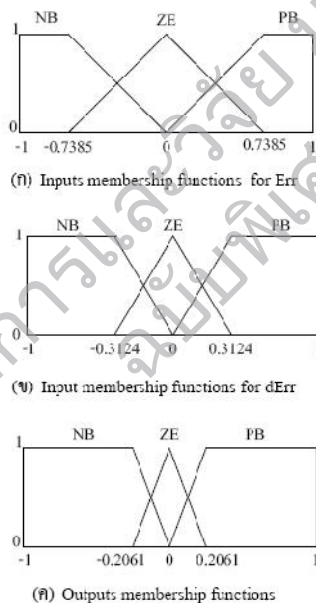
$iL_v(k)$ = ค่ากระแสไหลดไม่เชิงเส้นแต่ละเฟส

ตัวควบคุมพืชชีวลจกในบทความนี้ได้ออกแบบให้มีจำนวนกฎ 9 กฎ ตารางกฎดังรูปที่ 8

$\begin{matrix} dErr \\ Err \end{matrix}$	PB	ZE	NB
PB	PB	PB	ZE
ZE	PB	ZE	NB
NB	ZE	NB	NB

รูปที่ 8 ตารางกฎสำหรับตัวควบคุมฟuzzyลอจิก

หลังจากใช้อัลกอริทึม MATS ในกระบวนการทำวิวัฒนาการของโปรแกรมเพื่อค้นหารูปร่างฟังก์ชันเชิงสมาชิกรูปสามเหลี่ยมที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกโดยกำหนดเงื่อนไขการยุติของฟังก์ชันเป้าหมายคือ ค่าแรงดันตกคร่อม Cdc อยู่ในขอบเขตที่กำหนด $550 \pm 5V$ และค่า $THDi_x$ ของรูปคลื่นกระแสต้านแหล่งจ่ายไม่เกิน 5% ในทุกเฟส ในรูปที่ 9 เป็นรูปร่างของฟังก์ชันเชิงสมาชิกที่ค้นหาได้กรณีโหลดไม่เชิงเส้นมีค่า THD_{ix} เริ่มต้นอยู่ในระดับสูง



รูปที่ 9 รูปร่างของฟังก์ชันเชิงสมาชิกที่ทำให้กระบวนการค้นหายุติ

2.4.3 ตัวควบคุมกระแสฮิสเตอร์ซิส (HCC)

เอาต์พุตจากตัวควบคุมแบบพีไอหรือตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิกจะถูกส่งมาที่ตัวควบคุมกระแสฮิสเตอร์ซิสเพื่อทำหน้าที่เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรกรองกำลังค่าอ้างอิงกับค่าจริงแล้วตัดสินใจสั่งให้เกิดการสวิตช์ที่วงจรกรองกำลัง โดยมีเงื่อนไขการตัดสินใจดังสมการที่ (18)-(21)

$$I_{cxhb,min} = I_{cxref} - HB \quad \text{.....(18)}$$

$$I_{cxhb,max} = I_{cxref} + HB \quad \text{.....(19)}$$

$$\text{if } I_{cxreal} < I_{cxhb,min} \text{ then } SX1 = 0, SX2 = 1 \quad \text{.....(20)}$$

$$\text{if } I_{cxreal} > I_{cxhb,max} \text{ then } SX1 = 1, SX2 = 0 \quad \text{.....(21)}$$

เมื่อ $SX1$ และ $SX2$ เป็น สถานะการสวิตช์ของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังตัวบนและตัวล่างในวงจรกรองกำลังแอกทีฟในแถวที่ต่อกับเฟส X

สถานะดังกล่าวใช้เป็นสัญญาณกระตุ้นขาเกตให้กับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ส่วน HB เป็นความกว้างของแถบฮีสเตอร์ซิส

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

รูปที่ 10 คือแบบจำลองระบบควบคุมวงปิดของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบสวิตช์สี่แฉกควบคุมด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิกโดยกำหนดพารามิเตอร์หลักของระบบดังนี้

$$V_{xn} = 220V_{rms}, 50Hz ; x = \{a, b, c\}$$

$$V_{LL} = 380V_{rms}, 50Hz ; LL = \{ab, bc, ca\}$$

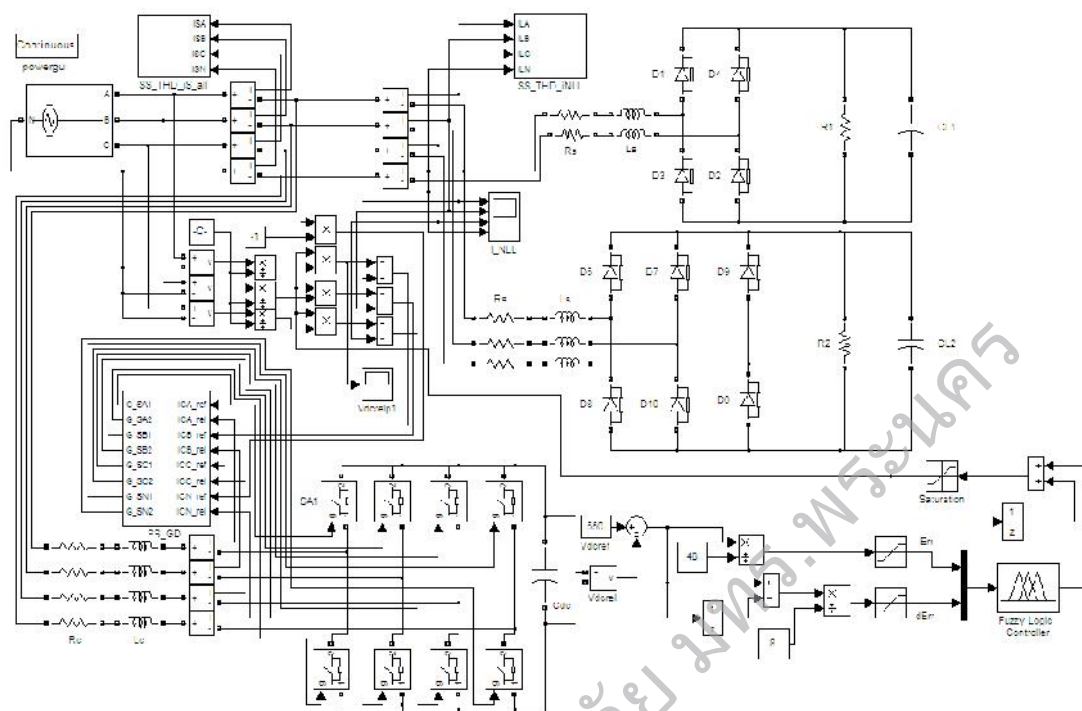
$$Vdc_{ref} = 550V; Cdc = 4500mF$$

$$R_c = 0.1\Omega; L_c = 3.0mH; f = 25kHz$$

และทำการทดสอบที่สภาวะโหลดไม่เชิงเส้นเริ่มต้นมีค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่ายในระดับปานกลางและระดับสูงโดยกำหนดพารามิเตอร์ของโหลดไม่เชิงเส้นตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดในส่วนวงจรโหลดไม่เชิงเส้น

วงจรที่	พารามิเตอร์ของโหลดไม่เชิงเส้น				THDi_A [%]	THDi_B [%]	THDi_C [%]	ระดับของ THDi
	$R_s : [\Omega]$	$L_s : [mH]$	$C_L : [mF]$	$R_L : [\Omega]$				
1	1	0.25	470	20	49.81	51.3024	51.045	สูง
2	3	0.25	470	20	32.735	33.755	33.396	ปานกลาง



รูปที่ 10 แบบจำลองวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบสวิตช์สแตวควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

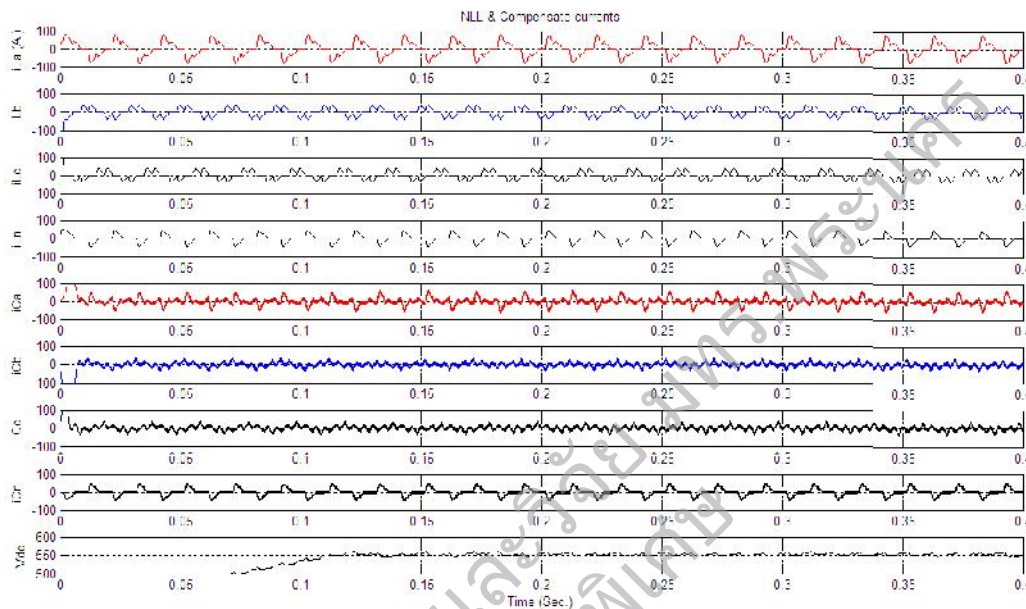
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่อัลกอริธึม MATS ค้นพบ

พารามิเตอร์	THDi ปานกลาง (10%-40%)	THDi สูง (40%ขึ้นไป)
xRErr	0.8335	0.7385
xRdErr	0.9188	0.3124
xRlsm	0.2172	0.2061
UpLim	35.5913	35.6073
LowLim	-25.2930	-25.5485
THDi_A	4.4725%	5.0454%
THDi_B	4.8321%	4.2538%
THDi_C	4.9252%	3.6689%
Vdcbus	555.4831	555.6702
Count	236	351
Time (sec.)	2.1236e+004	3.189e+004

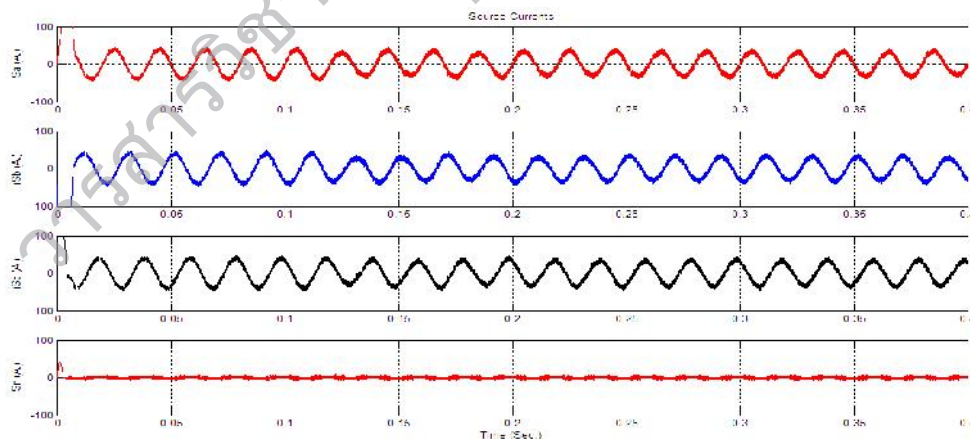
3.2 ผลการจำลองการทำงาน

ข้อมูลในตารางที่ 2 เป็นรูปร่างของฟังก์ชันเชิงสมาชิกของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและขอบเขตย่านอิมตัวของ I_{smnx} ซึ่งเป็นตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกใช้เป็นแอมพลิจูดของกระแสขาเข้า ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดทำให้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นจริงและทำให้อัลกอริธึม MATS ยุติการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ผลตอบสนองของการควบคุมรูปที่ 11 ประกอบด้วยรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่ายก่อนชดเชย : i_{Lx} รูปคลื่นกระแสชดเชย : i_{Cx} และแรงดันดีซีบัสของแอคทิฟไฟลเตอร์ : V_{dcbus} รูปที่ 12 เป็นรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่ายหลังได้รับการชดเชย รูปที่ 13 เป็นรูปคลื่นแรงดันดีซีบัสในช่วงเริ่มต้นจะสังเกตได้ว่าไม่มีการออสซิลเลตในช่วงภาวะทรานเซียนท์ และใช้เวลาเข้าสู่ภาวะคงตัว 0.12 วินาที รูปที่ 14 แสดงค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม : $THDi_x$ ของรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่ายหลังได้รับการชดเชยซึ่งมีค่าไม่เกิน 5% ตามเกณฑ์มาตรฐาน IEEE std-519

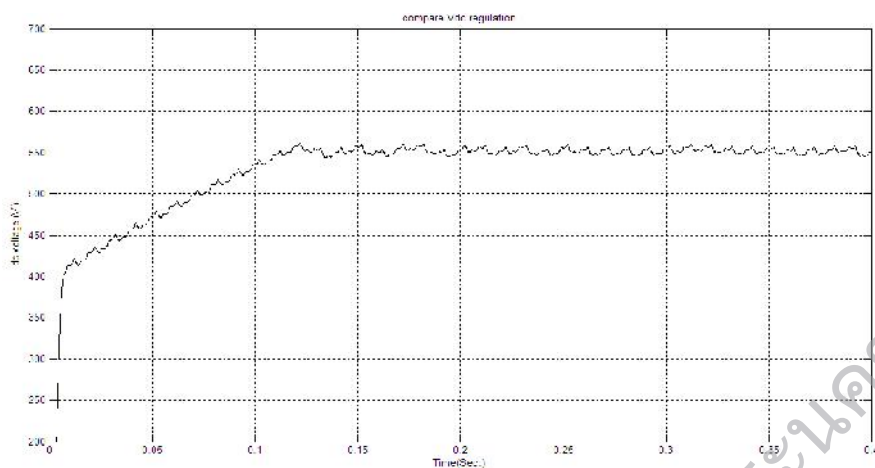


รูปที่ 11 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายอินพุต และกระแสไฟฟ้าชดเชยจากวงจรกรองกำลังแอคทิฟ ที่ทดสอบกับโหลดไม่เชิงเส้นแบบมีความเพี้ยนฮาร์โมนิกสูง

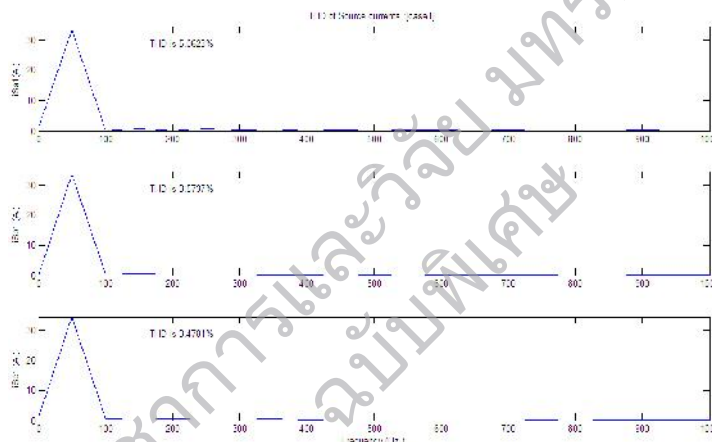


รูปที่ 12 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายหลังได้รับการชดเชยด้วยกระแส i_{Cx}

วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5



รูปที่ 13 แรงดันดีซีบัสวงจรรอกกำลังแอกทีฟในสภาวะเริ่มต้น



รูปที่ 14 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายหลังต่อวงจรรอกกำลังแอกทีฟ

4. สรุป

อัลกอริทึม MATS สามารถค้นหารูปร่างของฟังก์ชันเชิงสมาชิกและย่านของแอมพลิจูดกระแสชดเชยให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกได้แม้ว่าฐานกฎของตัวควบคุมนี้มีเพียง 9 กฎ ซึ่งลดจำนวนกฎที่ใช้ในการตัดสินใจจากงานวิจัยเดิมที่ศณะ และคณะ (2546). จำนวน 40 กฎ แต่ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกในงานวิจัยนี้สามารถควบคุมการทำงานของวงจรรอกกำลังแอกทีฟแบบสวิตซ์ซีแวลให้ทำการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและจ่ายกระแสชดเชยทำให้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกไม่เกิน 5% ตามเกณฑ์มาตรฐาน IEEE std-519 ได้ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เชิงเส้นทั้งกรณีทีโอเอสที่ปานกลางและสูง (ตามตารางที่ 1)

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดีโดยการสนับสนุนของโครงการการวิจัยภาคปฏิบัติและการพัฒนา (Project of Hands-on Research and Development) ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ทั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะที่ปรึกษาทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำในการทำวิจัยอย่างต่อเนื่อง

6. เอกสารอ้างอิง

- ทัศนะ ถมทอง จักรเพชร มัทราษ และ สุทธิชัย เปรมฤติปริชาชาญ. 2546. การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกปรับตัวได้โดยใช้หลักทฤษฎีฟัซซีลอจิกและจินตริกอัลกอริทึม. วารสารวิจัยและฝึกอบรม ปีที่ 7 ฉบับที่ 1, : 11-23.
- จักรกฤษณ์ เคลือบวัง. 2553. การพัฒนาอัลกอริทึมการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัวหลายวิถี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Akagi, H.; Kanazawa, Y.; and Nabae, A. 1984. Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage elements, in IEEE Trans. Industry Application, 1A-20, :625-630.
- Akagi, H. 1994. Trends in active power line conditioners, in IEEE Trans. Power Electronics, : 263-268.
- Belaidi, R.; Haddouche, A.; and Guendouz, H. 2012. Fuzzy logic controller based three-phase shunt active power filter for compensating harmonics and reactive power under unbalanced main voltages, in Jour. of Energy Procedia, Vol.18, : 560-570.
- Cividino, L. 1992. Power factor, harmonic distortion, causes, effects and considerations, in 14th International telecommunications Energy Conference, : 506 – 513.
- Driankov, D.; Hellendoorn H.; and Reinfrank, M. 1993. An Introduction to Fuzzy Control, Berlin Heidelberg New York :Springer-Verlag.
- Ellis R. G. 1996. Harmonic analysis of industrial power systems, in IEEE Trans. Industry Application, Vol. 32 No. 2, : 417-421.
- IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power systems, IEEE Std 519-1992, Apr. 1993.
- Lee, C. C. 1990. Fuzzy logic in control systems : Fuzzy logic controller-Part I-II, in IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol. 20 No. 2, : 404-435.
- Ozdemir, E.; and Ucar, M. 2008. Control of a 3-phase 4-leg active power filter under non-ideal mains voltage condition, in Jour. of Electric Power Systems Research, vol. 78, : 58-73.
- Sadati, S. B.; Tahani, A.; Darvishi, B.; Dargahi, M.; and Yousefi, H. 2008. Comparison of distribution transformer losses and capacity under linear and harmonic loads, in IEEE 2nd International Power and Energy Conference, : 1265 – 1269.
- Singh, B.; Al-Haddad, K.; and Chandra, A. 1998. Harmonic elimination reactive power compensation and load balancing in three-phase electric distribution systems supplying non-linear loads, in Jour. of Electric Power Systems Research, vol. 44, : 93-100.
- Singh, B. ; Al-Haddad K.; and Chandra A. 1999. A Review of Active Filters for Power Quality Improvement, in IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 46 No. 5, : 960-971.