

การประยุกต์อัลกอริธึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวหลายวิถีในงานออกแบบ  
ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบสวิตซ์สี่แฉก

The Application of Multi-path Adaptive TABU Search Algorithm in Fuzzy  
Logic Controller Design Applied for Four-Leg Active Power Filter

จักรกฤษณ์ เคลือบวัง<sup>1</sup> ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์<sup>1</sup> ชนะเลิศ เทศกุล<sup>2</sup> อัครพล เนียมวรรณ<sup>2</sup>  
และ ทศนะ ถมทอง<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์ <sup>2</sup>นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก 63000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้อัลกอริธึมการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวหลายวิถี(Multi-Path Adaptive TABU Search : MATS) ค้นหาฟังก์ชันสมาชิก(Membership functions) ที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกและค้นหาช่วงของแอมพลิจูดของกระแสชดเชยอ้างอิงที่เหมาะสม เพื่อนำไปสร้างเป็นรูปคลื่นกระแสชดเชยอ้างอิงสามเฟสและนำไปเปรียบเทียบกับกระแสชดเชยจริงที่ตัวควบคุมกระแสแบบฮิสเทอรีซิส(Hysteresis Band Current Control : HBCC) เอาต์พุตที่ได้จากตัวควบคุมกระแสแบบฮิสเทอรีซิส นำไปควบคุมการสวิตซ์ของวงจรกรองกำลังชนิดสามเฟสสี่สายแบบสวิตซ์สี่แฉก(Four-Leg Active Power Filter : FL-APF) โดยวงจรกรองกำลังแอกทีฟดังกล่าวทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและจ่ายกระแสชดเชยเข้าที่จุดต่อร่วมเพื่อลดองค์ประกอบฮาร์โมนิกของกระแสแหล่งจ่ายให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จากผลการจำลองระบบควบคุมวงจรกรองกำลังชนิดสามเฟสสี่สายแบบสวิตซ์สี่แฉก พบว่ากลไกการค้นหาของอัลกอริธึม MATS สามารถค้นหาฟังก์ชันสมาชิกที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกได้และค้นหาช่วงแอมพลิจูดกระแสชดเชยอ้างอิงที่เหมาะสมได้ และเมื่อนำพารามิเตอร์ที่หาได้ไปกำหนดให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกควบคุมการทำงานของ FL-APF พบว่าสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและจำกัดค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายให้อยู่ในขอบเขต 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 วงจรกรองกำลังแอกทีฟ ตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิก

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

\*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ [tatsana@rmutl.ac.th](mailto:tatsana@rmutl.ac.th) โทร. 0 5551 1962

### 1. บทนำ

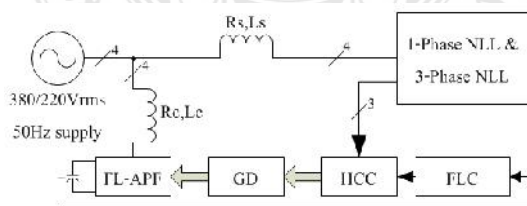
ปัญหาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าเป็นปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าประเภทหนึ่งที่มีสาเหตุจากการใช้งานโหลดไม่เชิงเส้นที่มีองค์ประกอบเป็นวงจรแปลงผันหรือมีสวิตซ์สารกึ่งตัวนำ เช่นอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ แหล่งจ่ายแบบสวิตซ์ชิ่งในคอมพิวเตอร์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องป้องกันไฟฟ้าขาดช่วง วงจรซาร์จประจุแบตเตอรี่ โทรทัศน์ เป็นต้น โหลดไม่เชิงเส้นดังกล่าวส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าโดยรวมทำให้เกิดรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าด้านเข้าผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ความผิดเพี้ยนดังกล่าวทำให้มีปริมาณความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าต่ำกว่ากรณีโหลดเป็นเชิงเส้น Cividino, (1992) และ Ellis, (1996) เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยและอาคารสำนักงานปัจจุบันมีองค์ประกอบเป็นวงจรแปลงผันมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณกระแสฮาร์มอนิกโดยรวมสูงขึ้นและส่งผลกระทบต่อเวลาที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นถูกใช้งาน และทำให้เกิดผลเสียต่าง ๆ เช่น ทำให้อายุการใช้งานของสายไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้ามีอายุการใช้งานสั้นลง รีเลย์ป้องกันทำงานผิดพลาดจากค่าพิกัดที่ตั้งไว้ หม้อแปลงไฟฟ้ามีความร้อนสูงขึ้นหรือใช้งานได้น้อยกว่าพิกัดกำลังจริง Sadati *et al.*, (2008) และ Singh *et al.*; (1999) เป็นต้น

หลังจากมีการนำเสนอบทความวิจัยโดย Akagi, H. *et al.*, (1984,1994) นักวิจัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้าได้ประยุกต์หลักทฤษฎี “กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ณ เวลาใด ๆ (Instantaneous reactive power)” ในการพัฒนาวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบสวิตซ์สี่แฉก เช่น แก้ปัญหากรณีแรงดันแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่สมดุล Ozdemir and Ucar, (2008) โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเพื่อช่วยปรับการเก็บและจ่ายกำลังไฟฟ้าจากตัวเก็บประจุ Belaidi *et al.*, (2012) โดยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีกฎจำนวน 49 กฎ สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นลดจำนวนกฎของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกในงานวิจัยเดิมซึ่งมีจำนวน 49 กฎเช่นกัน ทศนะและคณะ,(2546) และประยุกต์ใช้ความสามารถของอัลกอริธึม MATS ในการค้นหารูปร่างกฎที่เหมาะสมเพื่อรับค่าแรงดันดีซีบัสและอัตราการเปลี่ยนแปลงมาดำเนินการตัดสินใจด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกที่มีจำนวนกฎน้อยลง

### 2. วิธีการศึกษา

#### 2.1 ระบบควบคุมวงปิดสำหรับวงจรรองกำลังแอกทีฟ

รูปที่ 1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมวงปิดสำหรับวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบวงปิด ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าอินพุต โหลดไม่เชิงเส้น(NLL) วงจรรองกำลังแอกทีฟ(FL-APF) และวงจรควบคุมประกอบด้วย ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก(FLC) ตัวควบคุมกระแสฮีสเตอร์ซิส (HCC) และส่วนจุดชววนเกด(GD)



รูปที่ 1 ระบบควบคุมวงปิดสำหรับวงจรรองกำลังแอกทีฟ

#### 2.2 วงจรเทียบเคียงของโหลดไม่เชิงเส้น

วงจรโหลดไม่เชิงเส้นในที่นี้เป็นวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นควบคุมไม่ได้ชนิดสามเฟสและหนึ่งเฟส ทั้งสองวงจรมีโหลดด้านออก เป็นตัวต้านทานขนานกับตัวเก็บประจุ สามารถเขียนวงจรเทียบเคียงได้ดังรูปที่ 2 และโดยอาศัยกฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์(KVL) พิจารณาวงจรเรียงกระแสจะสามารถเขียนสมการสเตปได้ดังสมการที่ (1)-(4) ทศนะ และคณะ (2546)

2.2.1 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นต่อแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

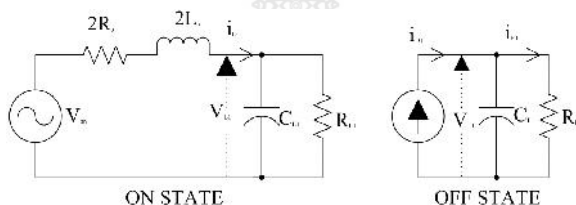
1) กรณีไดโอดนำกระแส

$$\frac{di_{L_{an}}}{dt} = \frac{V_{an} - V_{L1}}{2L_s} - \frac{R_s}{L_s} i_{L_{an}} \tag{1}$$

2) กรณีไดโอดหยุดนำกระแส

$$\frac{dV_{L1}}{dt} = \frac{i_{D1}}{C_{L1}} - \frac{V_{L1}}{R_{L1}C_{L1}} \tag{2}$$

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



รูปที่ 2 วงจรเทียบเคียงของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นหนึ่งเฟส ด้านเอาต์พุตโหลดเป็น R/C

2.2.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟส

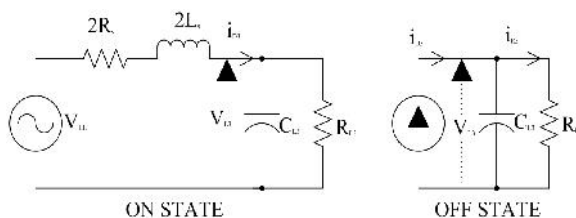
1) กรณีไดโอดนำกระแส

$$\frac{di_{L_x}}{dt} = \frac{V_{LL} - V_{L3}}{2L_s} - \frac{R_s}{L_s} i_{L_x} \tag{3}$$

2) กรณีไดโอดหยุดนำกระแส

$$\frac{dV_{L3}}{dt} = \frac{i_{D3}}{C_{L3}} - \frac{V_{L3}}{R_{L3}C_{L3}} \tag{4}$$

โดยที่  $i_{D3} = |i_{L_x}|$  เป็นกระแสที่ซีด้านออกที่ไหลผ่านวงจรเรียงกระแสสามเฟสต่อแบบบริดจ์ สามารถไหลได้เพียงทิศทางเดียว

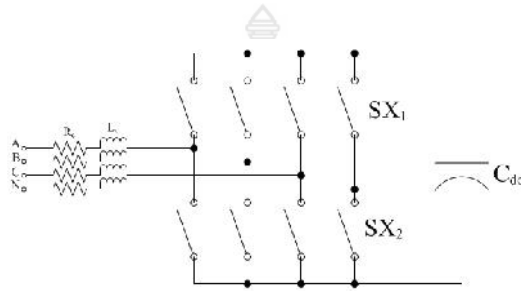


รูปที่ 3 วงจรเทียบเคียงของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นสามเฟส ด้านเอาต์พุตโหลดเป็น R/C

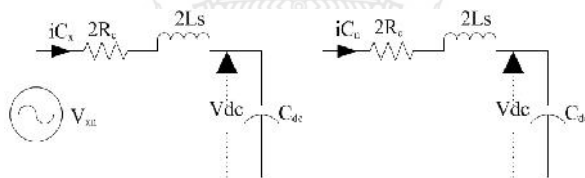
### 2.3 วงจรเทียบเคียงของวงจรรอกำลังแอกทีฟ

วงจรรอกำลังแอกทีฟในบทความนี้เป็นแบบสวิตช์สี่แฉก (FL-APF) ต่อขนานระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับโหลดไม่เชิงเส้นดังรูปที่ 1 ลักษณะของวงจรรอกำลังแอกทีฟดังรูปที่ 4 มีตัวเก็บประจุทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

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



รูปที่ 4 วงจรรอกำลังแอกทีฟแบบสวิตช์สี่แฉก



รูปที่ 5 วงจรเทียบเคียงของวงจรรอกำลังแอกทีฟแบบสวิตช์สี่แฉก

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

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

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

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

$$\frac{dV_{dc}}{dt} = [(SA * iC_a) + (SB * iC_b) + \dots \quad \dots(9)$$

$$\dots + (SC * iC_c) + (iC_n * SN)] / C_{dc}$$

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

$$SX = SX1 - SX2 \quad \dots(10)$$

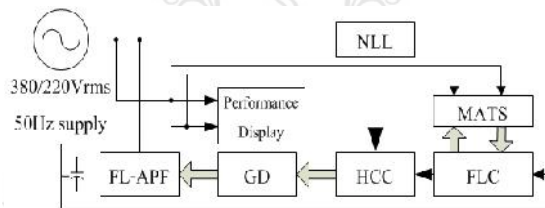
$$\text{เมื่อ } X = \{A, B, C, N\}$$

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

## 2.4 ตัวควบคุมการทำงานของวงจรรองกำลังแอกทีฟ

### 2.4.1 อัลกอริธึมการค้นหาแบบตาปูเชิงปรับตัวหลายวิถี

งานวิจัยนี้ใช้อัลกอริธึม MATS เพื่อค้นหาพารามิเตอร์ของฟังก์ชันเชิงสมาชิกที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก กระบวนการสร้างวิวัฒนาการของอัลกอริธึมการค้นหาแบบตาปูเชิงปรับตัวหลายวิถีมีกระบวนการดังรูปที่ 6 โดยบล็อก MATS จะมีตัวแปรอินพุตเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างกฎด้านขวาของค่าความผิดพลาดของแรงดันดีซีบีบัส:  $xR_{Err}$  และของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดดังกล่าว:  $xR_{dErr}$  และ ของค่าแอมพลิจูดกระแสอ้างอิง:  $xR_{Ism}$  สำหรับจุดเชื่อมต่อกฎด้านซ้ายมีระยะห่างจากจุดศูนย์เท่ากับด้านขวาทั้งสามกฎ และมีตัวแปรอินพุตอีกสองตัวคือขอบเขตบนและล่างของย่านจำกัดแอมพลิจูดของกระแสตรงคือ :  $Up_{lim}$  และ  $Low_{lim}$  รวม MATS มีตัวแปรอินพุต 5 ตัวที่จะทำการค้นหา ส่วนเกณฑ์การยุติดูจากเงื่อนไขของฟังก์ชันเป้าหมายสองข้อ คือ ค่าที่เอชดีกระแสแหล่งจ่ายทุกเฟสต่ำกว่า 5% เป็นจริง และแรงดันดีซีบีบัสของ FL-APF ขณะเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้วมีค่าไม่เกิน  $550 \pm 5V$  เป็นจริง และหากค้นหาไม่เจอใน 1,000 รอบก็จะยุติการค้นหาเช่นกัน หากการค้นหายุติจะแสดงผลการทำงานของควบคุมโดยแสดงระดับที่เอชดีของกระแสแหล่งจ่ายทุกเฟสและแสดงค่าเฉลี่ยแรงดันดีซีบีบัสของวงจรรองกำลังแอกทีฟในสภาวะคงตัว



รูปที่ 6 กระบวนการค้นหาพารามิเตอร์ควบคุมที่เหมาะสมของ MATS

### 2.4.2 ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

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

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

$$\sim_C(u, v, w) = \min\{\sim_A(u), \sim_B(v)\} \quad \dots(11)$$

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

- 3) แจกเหตุผลด้วยตัวดำเนินการเลือกค่าสูงสุด (Max Aggregation) ด้วยสมการที่ (12) จะได้ค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละกฎในเอกภพสัมพัทธ์  $w$

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

เมื่อ  $R_i = (A \text{ and } B) \rightarrow C_i$

o คือ ตัวดำเนินการ SUP-MIN

4) แปลงค่าฟัซซีกลับ(Defuzzification) ด้วยวิธีพิจารณาความสูง(Height Method) ตามสมการที่ (13)

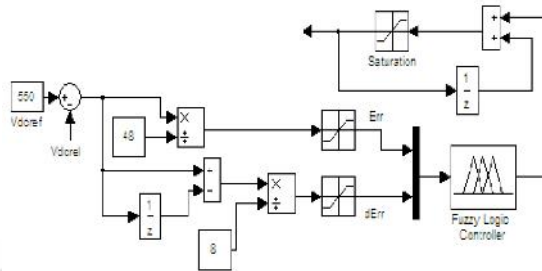
$$X^* = \frac{\sum_{i=1}^3 \} C_i}{\sum_{i=1}^3 \} } \tag{13}$$

เมื่อ  $\} _i$  = ค่าความเป็นสมาชิกของกฎที่  $i$  ในเอกภพสัมพัทธ์  $w$  ของตัวแปรเอาต์พุต

$C_i$  = ค่าคริปส์เอาต์พุตตามแกน  $x$  ที่อยู่ในพื้นที่ของกฎที่  $i$  ในเอกภพสัมพัทธ์  $w$

5) นำค่าคริปส์เอาต์พุตที่ได้เข้ากระบวนการควบคุมตามสมการ (14)

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



รูปที่ 7 ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสำหรับวงจรรอกกำลังแอกทีฟ

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

$$I_{sxref}(x) = I_{smxref}(x) * U_{sx} \tag{15}$$

เมื่อ  $x = \{a, b, c\}$

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

$$I_{cxref}(k) = I_{sxref}(x) - i_L(x) \tag{17}$$

เมื่อ  $x = \{a, b, c, n\}$

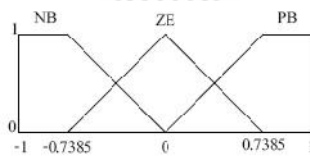
$iL_x(k)$  = ค่ากระแสไหลตไม่เชิงเส้นแต่ละเฟส

ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกในบทความนี้ได้ออกแบบให้มีจำนวนกฎ 9 กฎ ตารางกฎดังรูปที่ 8

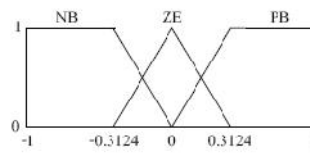
$dErr$	PB	ZL	NB
$Err$	PB	ZL	NB
PB	PB	PB	ZF
ZL	PB	ZL	NB
NB	ZF	NB	NB

รูปที่ 8 ตารางกฎสำหรับตัวควบคุมฟuzzyลอจิก

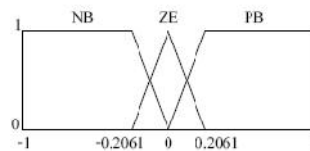
หลังจากใช้อัลกอริทึม MATS ในกระบวนการทำวิวัฒนาการของโปรแกรมเพื่อค้นหารูปร่างฟังก์ชันเชิงสมาชิกรูปสามเหลี่ยมที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกโดยกำหนดเงื่อนไขการยุติของฟังก์ชันเป้าหมายคือ ค่าแรงดันตกคร่อม  $Cdc$  อยู่ในขอบเขตที่กำหนด  $550 \pm 5V$  และค่า  $THDi_x$  ของรูปคลื่นกระแสต้านแหล่งจ่ายไม่เกิน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



(ก) Inputs membership functions for Err



(ข) Input membership functions for dErr



(ค) Outputs membership functions

รูปที่ 9 รูปร่างของฟังก์ชันเชิงสมาชิกที่ทำให้กระบวนการค้นหายุติ

2.4.3 ตัวควบคุมกระแสฮีสเตอร์ซิส (HCC)

เอาต์พุตจากตัวควบคุมแบบพีไอหรือตัวควบคุมแบบฟuzzyลอจิกจะถูกส่งมาที่ตัวควบคุมกระแสฮีสเตอร์ซิสเพื่อทำหน้าที่เปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรกรองกำลังค่าอ้างอิงกับค่าจริงแล้วตัดสินใจสั่งให้เกิดการสวิตช์ที่วงจรกรองกำลัง โดยมีเงื่อนไขการตัดสินใจดังสมการที่ (18)-(21)

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

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

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

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

เมื่อ SX1 และ SX2 เป็น สถานะการสวิตซ์ของสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังตัวบนและตัวล่างในวงจรกรองกำลังแอกทีฟในแถวที่ต่อกับเฟส X

สถานะดังกล่าวใช้เป็นสัญญาณกระตุ้นขาเกิดให้กับสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ส่วน HB เป็นความกว้างของแถบฮีสเตอร์ซิส

### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

รูปที่ 10 คือแบบจำลองระบบควบคุมวงปิดของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบสวิตซ์สี่แฉกควบคุมด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิกโดยกำหนดพารามิเตอร์หลักของระบบดังนี้

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

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

$$Vdc_{ref} = 550V; Cdc = 4500 \sim F$$

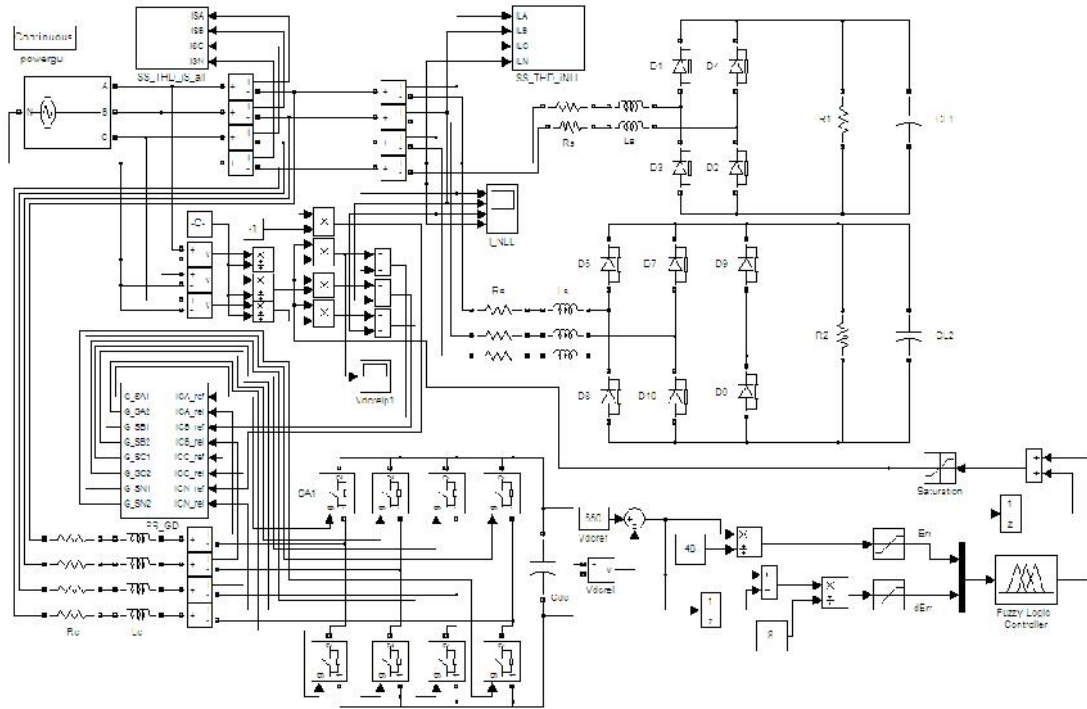
$$R_c = 0.1\Omega; L_c = 3.0mH; f = 25kHz$$

และทำการทดสอบที่สภาวะโหลดไม่เชิงเส้นเริ่มต้นมีค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่ายในระดับปานกลางและระดับสูงโดยกำหนดพารามิเตอร์ของโหลดไม่เชิงเส้นตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดในส่วนวงจรโหลดไม่เชิงเส้น

วงจรที่	พารามิเตอร์ของโหลดไม่เชิงเส้น				THDi_A [%]	THDi_B [%]	THDi_C [%]	ระดับของ THDi
	$R_s : [\Omega]$	$L_s : [mH]$	$C_L : [\sim F]$	$R_L : [\Omega]$				
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





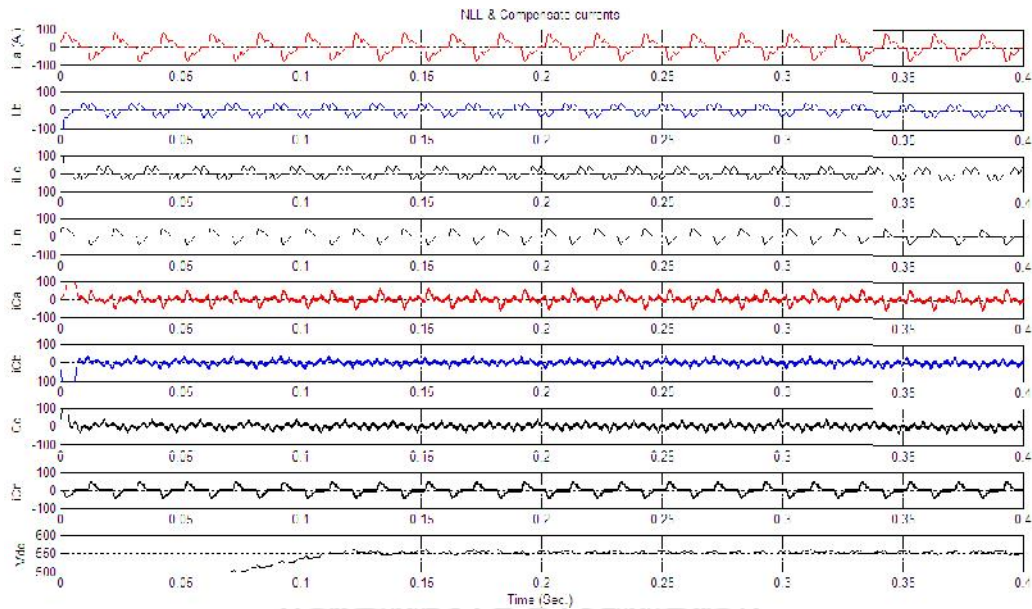
รูปที่ 10 แบบจำลองวงจรรองกำลังแอกทีฟแบบสวิตซ์สี่แฉกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก  
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่อัลกอริทึม MATS ค้นพบ

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

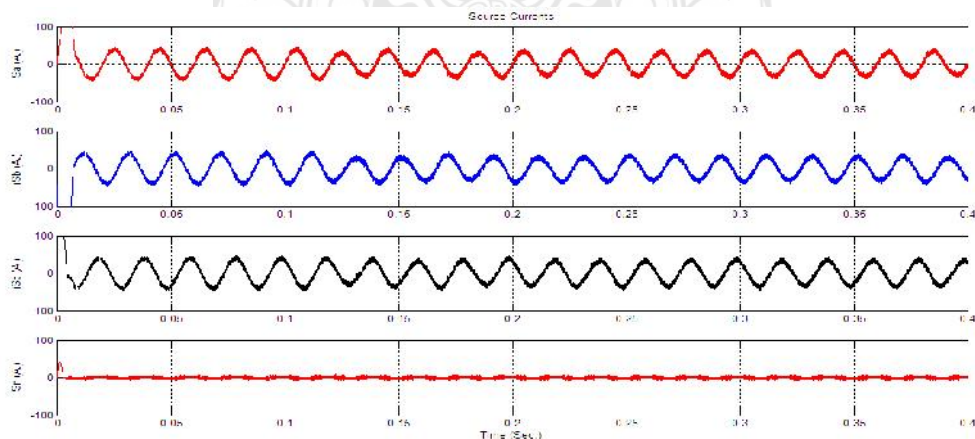
### 3.2 ผลการจำลองการทำงาน

ข้อมูลในตารางที่ 2 เป็นรูปร่างของฟังก์ชันเชิงสมาชิกของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและขอบเขตย่านนิมตัวของ  $I_{smax}$  ซึ่งเป็นตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกใช้เป็นแอมพลิจูดของกระแสขาเข้า ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดทำให้ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นจริงและทำให้อัลกอริทึม MATS ยุติการค้นหา

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

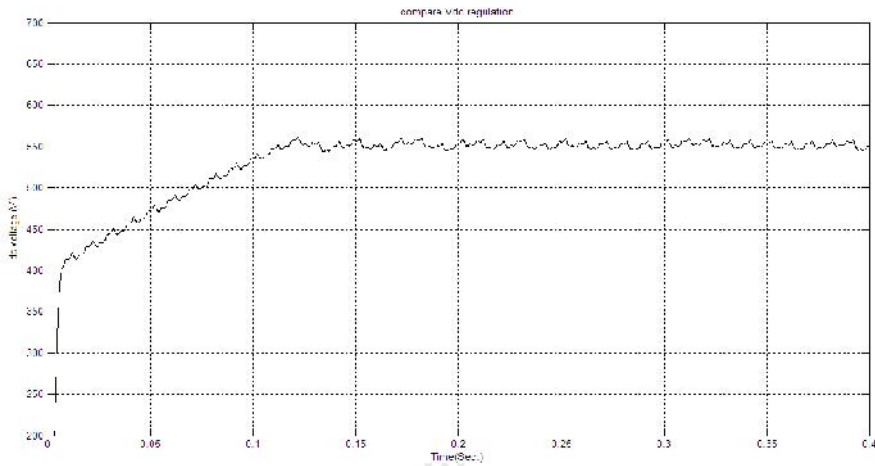


รูปที่ 11 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายอินพุต และกระแสไฟฟ้าชดเชยจากวงจรรอกกำลังแอกทีฟ ที่ทดสอบกับโหลดไม่เชิงเส้นแบบมีความเพี้ยนฮาร์มอนิกสูง

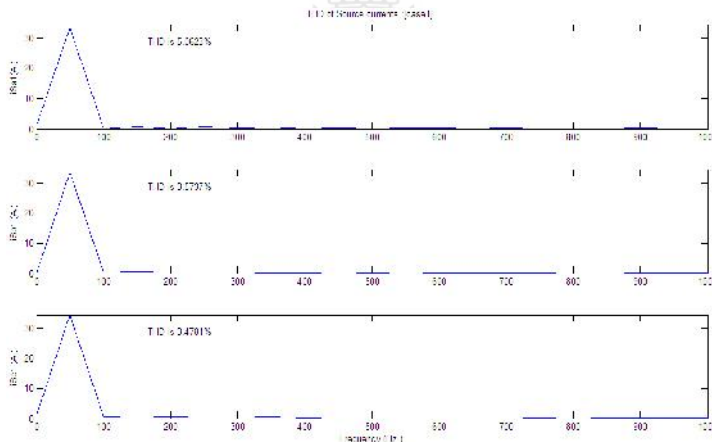


รูปที่ 12 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายหลังได้รับการชดเชยด้วยกระแส  $i_{Cx}$

วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ  
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5



รูปที่ 13 แรงดันดีซีบัสวงจรกรองกำลังแอกทีฟในสภาวะเริ่มต้น



รูปที่ 14 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายหลังต่อวงจรกรองกำลังแอกทีฟ

### 4. สรุป

อัลกอริทึม MATS สามารถค้นหารูปร่างของฟังก์ชันเชิงสมาชิกและย่านของแอมพลิจูดกระแสชดเชยให้กับตัวควบคุมฟuzzyลอจิกได้แม้ว่าฐานกฎของตัวควบคุมนี้มีเพียง 9 กฎ ซึ่งลดจำนวนกฎที่ใช้ในการตัดสินใจลงจากงานวิจัยเดิมที่ศนะ และคณะ (2546). จำนวน 40 กฎ แต่ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกในงานวิจัยนี้สามารถควบคุมการทำงานของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบสวิตซ์สี่แฉกให้ทำการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและจ่ายกระแสชดเชยทำให้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกไม่เกิน 5% ตามเกณฑ์มาตรฐาน IEEE std-519 ได้ แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เชิงเส้นทั้งกรณีทีโอเซตีปานกลางและสูง (ตามตารางที่ 1)

### 5. กิตติกรรมประกาศ

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

## 6. เอกสารอ้างอิง

- ทัศนะ ถมทอง จักรเพชร มัทราช และ สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ. 2546. การออกแบบตัวควบคุมฟิวซ์ซีลจิกปรับตัวได้โดยใช้หลักทฤษฎีฟิวซ์ซีลจิกและจูนติกอัลกอริทึม. 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 14<sup>th</sup> 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 2<sup>nd</sup> 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.