# การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์อุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีฟฟิลเตอร์ชนิดดีจูน

# The Development of Software Package for the Analysis of Passive Harmonics Filter Using De-Tune Type

*ณัฐพล ปันมาละ*[*] *พิเชษฐ์ ศรียรรยงค์*[*,**]

*ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม*[*]

*ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, วิทยาลัยนานาชาติ*[*,**]

*มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระเหนือ*

*natthpron2538@gmail.com, pichet.s@fte.kmutnb.ac.th*

## บทคัดย่อ

*บทความนี้นำเสนอโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์การใช้งานอุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีฟฟิลเตอร์ชนิดดีจูน โดยการคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ของสายส่ง, หม้อแปลงไฟฟ้า, โหลดที่ต่อใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยในโปรแกรมแยกวิธีการการคำนวณออกเป็น 2 รูปแบบ (1) การคำนวณค่าสำหรับการวิเคราะห์การใช้งานอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าด้วยคาปาซิเตอร์แบงค์ (2) การคำนวณค่าสำหรับการวิเคราะห์การใช้งานอุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีฟฟิลเตอร์ชนิดดีจูน นำเสนอในรูปแบบของส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้งานทางกราฟฟิกที่สร้างจากโปรแกรมแม็ทแล็บ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการประกอบการเรียนการสอนวิชาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง*

**คำสำคัญ:** การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก พาสซีฟฟิลเตอร์ชนิดดีจูน คาปาซิเตอร์แบงค์

## Abstract

*This paper presents a simulation program for the analysis of Passive Harmonics Filter using De-Tune Type. According to the calculation that is calculated from the parameter of Transmission line, Transformer and Load using in power system. The simulation program can be divided the calculations into 2 past (1) Calculation for the analysis of power factor collection by using capacitor Bank (2) Calculation to analysis in operating of Passive Harmonics Filter using De-Tune Type. The simulation program was carried out using MATLAB with user-friendly graphical user interface (GUI). In addition, the simulation program can be used as teaching aids for Power System Harmonics.*

**Keywords**: Harmonics Analysis, Passive filter using De-tune type, Capacitor Bank.

## 1. บทนำ

เนื่องด้วยการเจริญเติบโตด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยีของประเทศ ทำให้อุตสาหกรรมนั้นมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยได้นำเทคโนโลยีของต่างประเทศเข้ามาใช้งานเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตให้ทันสมัย โดยเทคโนโลยีที่สำคัญนั่นคือ เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์ สวิตช์สารกึ่งตัวนำ ฯลฯ โดยโหลดเหล่านี้จัดว่าเป็นโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load) ซึ่งมีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์การใช้งานที่หลากหลายต่างกัน เช่น การทำงานที่ต่อเนื่องความแม่นยำรวดเร็วในการผลิต แต่แน่นอนว่าเทคโนโลยีนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย การพัฒนาของเทคโนโลยีเหล่านี้ทำให้อุตสาหกรรมพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว แต่ก็มีผลเสียตามมาจากการใช้เทคโนโลยี โดยส่งผลทำให้คุณภาพของระบบไฟฟ้าลดลง สาเหตุหลักนั้นเกิดจากฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังจากโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load)

ฮาร์มอนิก สำหรับงานคุณภาพระบบไฟฟ้ากำลังสามารถอธิบายได้อย่างง่ายคือค่าความถี่ที่ไม่ต้องการให้มีหรือเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าทั้งส่วนของแรงดันและกระแสไฟฟ้า คุณภาพของระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องจักรอุตสาหกรรมต้องการได้รับแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดความถี่คงที่เพียงความถี่เดียว เพื่อการทำงานที่ไม่ผิดพลาดกำลังงานสูญเสียต่ำและหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะมีอิมพีแดนซ์ (Impedance) ปรากฏอยู่โดยเกิดจากการต่อใช้งานของโหลด ซึ่งระบบไฟฟ้าจะมีโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load) ต่อใช้งานเป็นจำนวนมากจึงเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาคุณภาพระบบไฟฟ้ากำลังตามมา ผลกระทบจากปัญหาคุณภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อผู้เกี่ยวข้องทุกส่วน ตั้งแต่การผลิตไฟฟ้า ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ารวมถึงผู้ใช้งาน ปัญหาคุณภาพระบบไฟฟ้ากำลังที่เกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลา คือ ปัญหารูปคลื่นผิดเพี้ยน (Waveform distortion) ซึ่งเกิดจากฮาร์มอนิก (Harmonic) โดยจะทำให้เกิดการขยายตัวของกระแสของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ อุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ฮาร์มอนิกจะส่งผลทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้เนื่องจากการใช้งานกระแสเกินพิกัด

โดยในภาคอุตสาหกรรมได้มีวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากฮาร์มอนิกในการใช้งานอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถดำเนินการได้ 2 แนวทาง คือ 1) วงจรกรองความถี่ฮาร์มอนิกแบบ Passive filter 2) วงจรกรองความถี่ฮาร์มอนิกแบบ Active filter โดยเมื่อทำการพิจารณาถึงความสมเหตุสมผลในการใช้งานและค่าใช้จ่าย ในภาคอุตสาหกรรมระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ฮาร์มอนิกแบบ Passive filter ชนิด Detune filter เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่น ๆ การติดตั้งนั้นทำได้ง่ายและยังสามารถที่จะแก้ปัญหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ไปพร้อม ๆ กับการแก้ปัญหาฮาร์มอนิก แต่ทั้งนี้การออกแบบและการคำนวณค่าต่าง ๆ ต้องทำซ้ำและตรวจสอบพิกัดต่าง ๆ ตลอดถ้าไม่ได้ตามมาตรฐานหรือไม่ได้ตามพิกัดที่กำหนดก็จำเป็นต้องคำนวณใหม่จนกว่าจะได้ปริมาณที่ต้องการ ซึ่งเป็นการคำนวณที่ใช้เวลาพอสมควร การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเข้ามาช่วยในการคำนวณจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ดังนั้นบทความนี้จึงมีเป้าหมายในการที่จะพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถใช้ในการคำนวณค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ต่อเข้าไปในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การต่อใช้งานคาปาซิเตอร์แบงค์และการต่อใช้งานชุดดีจูนฟิลเตอร์ โดยคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ประกอบด้วย ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า, ค่าแรงดันที่ผิดเพี้ยนที่จุดร่วมใช้งาน, ค่ากระแสใช้งานของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและค่าจุดที่เกิดภาวะเรโซแนนซ์แบบขนานในระบบ โดยค่าคุณสมบัติเหล่านี้มีความจำเป็นอย่างมากในการออกแบบใช้งานอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและการวิเคราะห์การใช้งาน ในการสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปจะใช้โปรแกรม MATLAB ในการเขียนโปรแกรมคำนวณค่าจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบประกอบด้วย ค่าพารามิเตอร์ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า, โหลดที่ต่อใช้งานอยู่ในระบบ, พารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าและพารามิเตอร์ของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยจัดทำหน้าต่างเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก

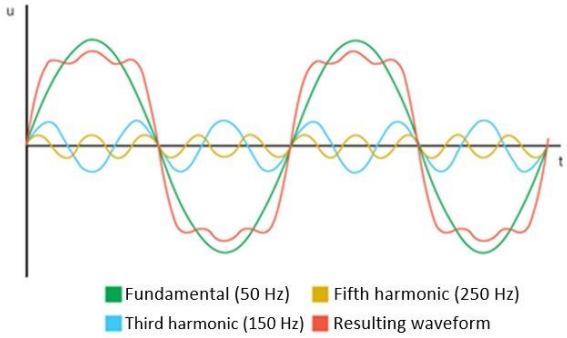
 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.044

(Graphic User Interface: GUI) มีลักษณะเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป โดยการจะแสดงผลของคำตอบเป็นตัวอักษรและกราฟิกต่าง ๆ บนจอภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้งานสะดวกในการใช้งาน อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ในเป็นสื่อประกอบการสอนวิชาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง

## 2. การวิเคราะห์ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง

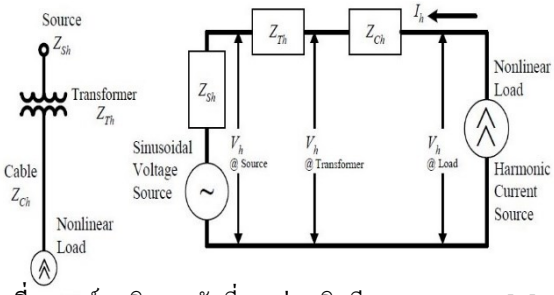
### 2.1 ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง

ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถอธิบายได้อย่างง่าย คือ ความถี่ที่มีค่ามากกว่าค่าความถี่มูลฐานซึ่งในระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปจะมีความถี่มูลฐานที่ 50 Hz และ 60 Hz โดยเมื่อในระบบนั้นมีความถี่ฮาร์มอนิกที่เกิดจากโหลดไม่เป็นเชิงเส้นจะทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของกระแสซึ่งเมื่อกระแสมีฮาร์มอนิกมากจะทำให้การผิดเพี้ยนของแรงดันมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยในภาพที่ 1 แสดงรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนเนื่องจากฮาร์มอนิก




**ภาพที่ 1 :** รูปคลื่นฮาร์มอนิกและผลรวมของรูปคลื่นฮาร์มอนิกกับรูปคลื่นที่มูลฐาน[1]

ในการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกโดยทั่วไปจะทำที่สถานะคงตัว (Steady state) ลักษณะของการใช้เทคนิคการวิเคราะห์วงจรโดยแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกเป็นโหลดทางไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น จะถูกพิจารณาให้เป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกเข้าไปในระบบ โดยกระแสฮาร์มอนิกจะมีผลทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของแรงดัน ณ จุดต่อร่วมใช้งาน[1]




**ภาพที่ 2 :** ฮาร์มอนิกแรงดันที่ตกคร่อมอิมพีแดนของระบบ ]2[

โดยในการวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกจะทำการแปลงวงจรให้อยู่ในรูปของวงจรสมมูลโดยภาพของวงจรแสดงในภาพที่ 2 โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้[2]

$$V_h = I_h \times Z_h \quad (Ohm's\ Law) \tag{1}$$

$$V_{Lh} = I_h \times \left(Z_{ch} + Z_{th} + Z_{sh}\right) \tag{2}$$

$$V_{th} = I_h \times \left(Z_{th} + Z_{sh}\right) \tag{3}$$

$$V_{sh} = I_h \times \left(Z_{sh}\right) \tag{4}$$

โดยที่

$Z_h$ คือ อิมพีแดนซ์ที่ลำดับฮาร์มอนิก

$V_h$ คือ แรงดันที่ลำดับฮาร์มอนิก

$I_h$ คือ กระแสที่ลำดับฮาร์มอนิก

$V_{Lh}$ คือ แรงดันที่ตกคร่อมในระบบไฟฟ้ากำลัง

$Z_{ch}$ คือ อิมพีแดนซ์ของเคเบิล

$Z_{th}$ คือ อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

$Z_{sh}$ คือ อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย

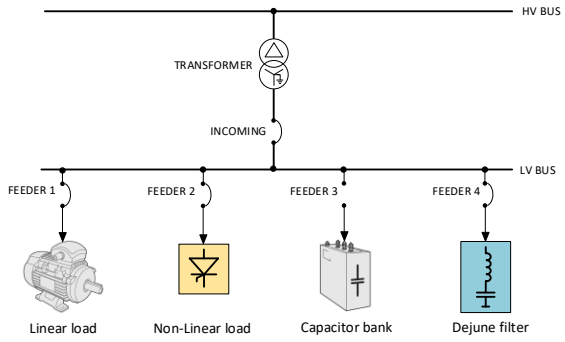
$V_{th}$ คือ แรงดันที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าและของแหล่งจ่าย

$V_{sh}$ คือ แรงดันที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย

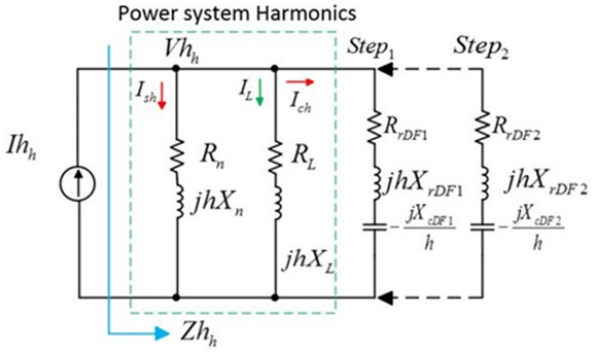
### 2.2 การวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิก

ในการทำโมเดลเพื่อวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับการคำนวณหาค่าการไหลของกระแสฮาร์มอนิก ซึ่งในการสร้างโมเดลจะพิจารณาถึงองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ลักษณะระบบสายส่ง โหลดที่ต่ออยู่กับบัสบาร์ คุณลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยในการคำนวณของระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ที่ภาวะสมดุล สามารถถูกแสดงได้ในรูปของโมเดลที่เป็นหนึ่งเฟสและวงจรเทียบเคียง เพื่อแสดงค่าอิมพีแดนซ์ในระบบ

เช่น ระหว่างบัสบาร์ ระหว่างบัสบาร์ถึงกราวด์ เป็นต้น ซึ่งในการวิเคราะห์วงจรแสดงในภาพที่ 3 จะใช้โมเดลดังกล่าวในการพิจารณาหาค่ากระแสฮาร์มอนิกที่ไหลในระบบที่มีการใช้งานของโหลดที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น [3]




**ภาพที่ 3 :** ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการใช้งานของโหลดไม่เป็นเชิงเส้นร่วมกับอุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีฟฟิลเตอร์ชนิดดีจูน




**ภาพที่ 4 :** วงจรเทียบเคียงอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่มีโหลดฮาร์มอนิก จากระบบไฟฟ้ากำลังในภาพที่ 3

ในการวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกจะทำการแปลงวงจรให้อยู่ในรูปของวงจรเทียบเคียงโดยภาพของวงจรแสดงในภาพที่ 4 โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้[4]

$$Vh_h = Zh_h \times Ih_h \tag{5}$$

$$V_h = \sqrt{Vh^2_5 + Vh^2_7 + Vh^2_{11} + Vh^2_{13} + ... + Vh^2_{35}} \tag{6}$$

$$\%THD_v = \frac{V_h \times \sqrt{3} \times 100}{V_{pcc}} \tag{7}$$

$$Icr_h = \frac{Vh_h \times h}{X_c} \tag{8}$$

$$Icr_{rms} = \sqrt{Icr^2_1 + Icr^2_5 + Icr^2_7 + Icr^2_{11} + Icr^2_{13} + ... + Icr^2_{35}} \tag{9}$$

$$\frac{Icr_{rms}}{Icr_{rated}} \tag{10}$$

$$P.F. = \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{Q_{Load} - (Q_{cr} \times Step)}{P_{Load}}\right)\right) \tag{11}$$

โดยที่

$Vh_h$ คือ แรงดันที่ลำดับฮาร์มอนิก $h$

$Zh_h$ คือ อิมพีแดนซ์ที่ลำดับฮาร์มอนิก $h$

$Ih_h$ คือ กระแสลำดับฮาร์มอนิก $h$

$V_h$ คือ แรงดัน

$\%THD_v$ คือ อัตราส่วนของแรงดันที่ผิดเพี้ยนในระบบไฟฟ้ากำลัง

$V_{pcc}$ คือ แรงดันที่จุดร่วมใช้งาน

$Icr_h$ คือ กระแสใช้งานของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ลำดับฮาร์มอนิก $h$

$X_c$ คือ คาปาซิตีฟรีแอคแตนซ์ของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$Icr_{rms}$ คือ กระแสใช้งานของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$P.F.$ คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$Q_{Load}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าแฝงของโหลด

$P_{Load}$ คือ ค่ากำลังจริงของโหลด

$Q_{cr}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าแฝงของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$Step$ คือ จำนวนชุดในการต่อใช้งานของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

## 3. ตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์การใช้งานของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

การต่อใช้งานของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบไฟฟ้ากำลังจะต้องทำการพิจารณาค่าพิกัดต่าง ๆ ในการออกแบบใช้งานอุปกรณ์ ในระบบที่มีการต่อใช้งานของคาปาซิเตอร์จะต้องทำการคำนวณค่าของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า,

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.044

ค่ากระแสใช้งานต่อค่ากระแสพิกัดของอุปกรณ์และค่าแรงดันที่ผิดเพี้ยนที่จุดร่วมใช้งาน เมื่อการคำนวณค่าพิกัดต่าง ๆ เสร็จสิ้นแล้ว วิศวกรผู้ออกแบบใช้งานอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะนำค่าที่คำนวณได้มาทำการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับมาตราฐานต่าง ๆ เช่น IEEE 519-2014, IEEE 18-2012 ซึ่งเป็นมาตราฐานการใช้งานอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและมาตราฐานเกี่ยวกับฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง รายละเอียดของมาตราฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์การใช้งานอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแสดงดังต่อไปนี้

ก) มาตราฐาน IEEE 519-2014 (IEEE Std. 519,2014)[5]

ในส่วนของข้อกำหนด IEEE 519 – 2014 ที่กำหนดสำหรับผู้ผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น จะเป็นแฟกเตอร์ที่ใช้ระบุถึงคุณภาพของระบบไฟฟ้ารวมถึงความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก ซึ่งในส่วนนี้จะระบุถึงระดับความผิดเพี้ยนสูงสุด ณ จุดต่อร่วมใช้ไฟฟ้า (Point of Common Coupling : PCC) ที่ลูกค้าหรือผู้ใช้แต่ละรายดังแสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1 :** ข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงดันที่ผิดเพี้ยนในระบบไฟฟ้ากำลัง

| Bus voltage $V$ at PCC | Individual harmonic (%) | Total harmonic distortion THD (%) |
|---|---|---|
| $V \leq 1.0$ kV | 5.0 | 8.0 |
| 1 kV < $V \leq 69$ kV | 3.0 | 5.0 |
| 69 kV < $V \leq 161$ kV | 1.5 | 2.5 |
| 161 kV < $V$ | 1.0 | 1.5[a] |

ข) มาตราฐาน IEEE 18-2012 (IEEE Std. 18,2012)[6]

ในส่วนของข้อกำหนด IEEE 18-2012 ที่กำหนดมาตาฐานสำหรับอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) แบบต่อขนานเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการออกแบบนั้นจะมีมาตราฐานที่แตกต่างกันตาม ตามที่ผู้ผลิตกำหนด เช่น มาตราฐาน IEC 60831-1 ซึ่งจะเกี่ยวกับการใช้งานชุดตัวเก็บประจุในงานระบบไฟฟ้ากำลัง การติดตั้งและการทดสอบต่าง ๆ ในมาตราฐาน IEEE 18-2012 จะกำหนดการออกแบบใช้งานตัวเก็บประจุโดยจะเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1) สามารถทนแรงดันได้ 110 % ของแรงดันใช้งาน

2) สามารถทนแรงดันสูงสุดเมื่อมีฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังได้ที่ 120 % ของแรงดันสูงสุด $\left(1.2 \times \sqrt{2} \times V_{rms}\right)$

3) สามารถทนกระแสสูงสุดได้ไม่เกิน 135 % ของกระแสใช้งานของตัวเก็บประจุ $\left(Ic_{rms} / Ic_{rated}\right)$

4) ค่าความจุมีค่าไม่เกิน 135 % ของค่าความจุใช้งาน

## 4. โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์อุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีฟฟิลเตอร์ชนิดดีจูน (The Software package for the Analysis of Passive Harmonics Filter using De-Tune Type : APHD)

การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์การใช้งานอุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกชนิดดีจูนฟิลเตอร์ ได้ทำการพัฒนามาจากโปรแกรมการคำนวณการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกสำหรับดีจูนฟิลเตอร์ด้วยโปรแกรม Excel ในโครงการฝึกอบรมทางวิชาการเชิงปฏิบัติการ Harmonic Solution with Harmonic Detuned Filters : HSHDF [4] อบรมวันที่ 19-20 มิถุนายน 2557 โดย รองศาสตราจารย์ไชยะ แช่มช้อย ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับใช้ในการประกอบการเรียนการสอนวิชาที่มีความเกี่ยวข้องกับฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง[3]

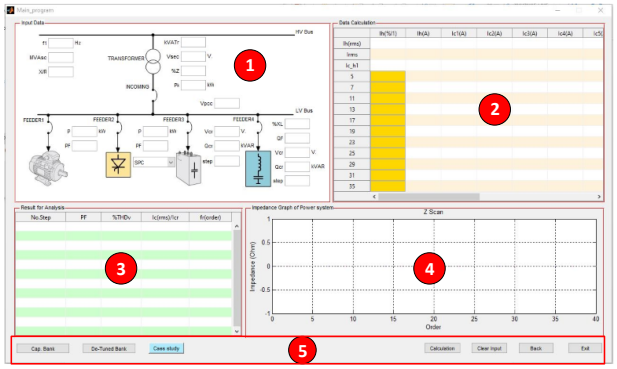
โปรแกรมถูกจัดทำให้อยู่ในรูปแบบโปรแกรมสำเร็จรูปโดยการเขียนโปรแกรมให้ติดต่อกับผู้ใช้งานซึ่งสามารถที่จะป้อนข้อมูลตลอดจนการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ พร้องทั้งการแสดงผลอย่างชัดเจนทั้งในรูปแบบของ ตัวเลข และกราฟ

**ภาพที่ 5 :** หน้าต่าง Manu program

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.044

จากภาพที่ 5 แสดงหน้าต่างเชื่อมต่อผู้ใช้งานเมนูของโปรแกรม APHD ซึ่งเป็นหน้าต่างแรกที่ผู้ใช้งานเข้าถึงเมื่อเปิดโปรแกรมใช้งาน โดยในหน้าต่างนี้จะมีปุ่มสำหรับใช้งาน เช่น ปุ่ม Next เมื่อกดจะปรากฏหน้าต่าง Main Program ขึ้นมาดังภาพที่ 6

หน้าต่าง Main program จะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (1) หน้าต่างกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลัง (2) หน้าต่างแสดงข้อมูลการคำนวณค่ากระแสในส่วนต่าง ๆ ของระบบ (3) หน้าต่างแสดงค่าสำหรับการวิเคราะห์การใช้งานของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

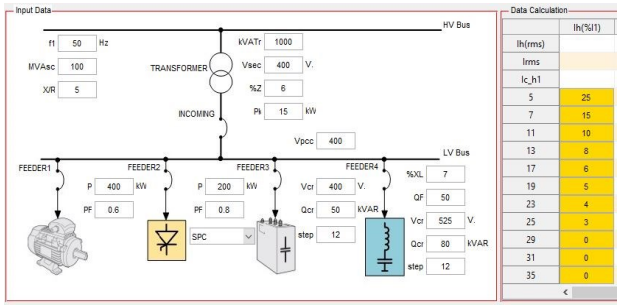



**ภาพที่ 6 :** หน้าต่าง Main program

(4) หน้าต่างสำหรับแสดงกราฟอิมพีแดนซ์เมื่อลำดับของฮาร์มอนิกเพิ่มขึ้น (5) ปุ่มคำสั่งการทำงานของโปรแกรม เช่น ตัวอย่างพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณที่กำหนดโดยโปรแกรม ปุ่มสำหรับเลือกใช้งานโหมดการคำนวณ โปรแกรม APHD สามารถแบ่งโหมดการทำงานได้ 2 รูปแบบ คือ การคำนวณการต่อใช้งานอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นชุดตัวเก็บประจุและชุดดีจูนฟิลเตอร์ แสดงในภาพที่ 6

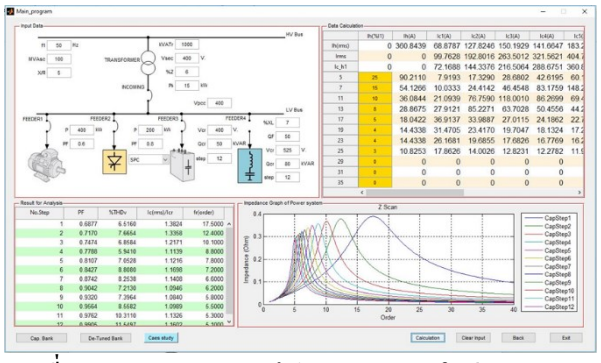
## 5.ผลการทดสอบ

กรณีที่ 1 ทดสอบโปรแกรมโดยการใช้การกำหนดพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโปรแกรม APHD โดยพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 7



**ภาพที่ 7 :** พารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังสำหรับการคำนวณสำหรับกรณีที่ 1

ทำการทดสอบโปรแกรมในรูปแบบการคำนวณของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยชุดคาปาซิเตอร์แบงค์ แสดงในภาพที่ 8 โดยนำผลที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับโปรแกรม HSHDF [4] แสดงในตารางที่ 2



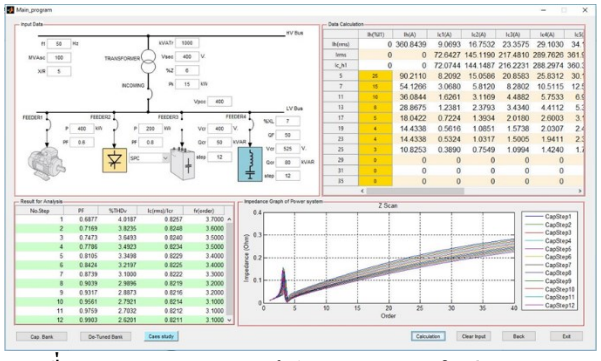
**ภาพที่ 8 :** ผลการคำนวณของโปรแกรม APHD ในส่วนของการคำนวณของชุดคาปาซิเตอร์แบงค์

**ตารางที่ 2 :** ผลการคำนวณที่ใช้ในการวิเคราะห์การใช้งานของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับโปรแกรม HSHDF [4] ในส่วนของชุดคาปาซิเตอร์แบงค์

| Step | P.F | | %THDv | | Ic(rms)/Icr | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | HSHDF | APHD | HSHDF | APHD | HSHDF | APHD |
| 1 | 0.68 | 0.68 | 7.02 | 7.02 | 1.46 | 1.46 |
| 2 | 0.71 | 0.71 | 7.74 | 7.74 | 1.35 | 1.35 |
| 3 | 0.74 | 0.74 | 6.88 | 6.88 | 1.22 | 1.22 |
| 4 | 0.77 | 0.77 | 5.95 | 5.95 | 1.11 | 1.11 |
| 5 | 0.81 | 0.81 | 7.05 | 7.05 | 1.12 | 1.12 |
| 6 | 0.84 | 0.84 | 8.81 | 8.81 | 1.17 | 1.17 |

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.044

กรณีที่ 2 ทดสอบโปรแกรมโดยการใช้การกำหนดพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยโปรแกรม APHD โดยพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 7 และทำการทดสอบโปรแกรมในรูปแบบการคำนวณของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยชุดดีจูนฟิลเตอร์ โดยแสดงในภาพที่ 9 โดยนำผลที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับโปรแกรม HSHDF[4] แสดงในตารางที่ 3



**ภาพที่ 9 :** ผลการคำนวณของโปรแกรม APHD ในส่วนของการคำนวณของชุดดีจูนฟิลเตอร์

**ตารางที่ 3 :** ผลการคำนวณที่ใช้ในการวิเคราะห์การใช้งานของอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับโปรแกรม HSHDF[4] ในส่วนของชุดดีจูนฟิลเตอร์

| Step | P.F | | %THDv | | Ic(rms)/Icr | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | HSHDF | APHD | HSHDF | APHD | HSHDF | APHD |
| 1 | 0.68 | 0.68 | 4.17 | 4.17 | 0.82 | 0.82 |
| 2 | 0.71 | 0.71 | 3.97 | 3.97 | 0.82 | 0.82 |
| 3 | 0.74 | 0.74 | 3.80 | 3.80 | 0.82 | 0.82 |
| 4 | 0.77 | 0.77 | 3.64 | 3.64 | 0.82 | 0.82 |
| 5 | 0.81 | 0.81 | 3.49 | 3.49 | 0.82 | 0.82 |
| 6 | 0.84 | 0.84 | 3.36 | 3.36 | 0.82 | 0.82 |

จากผลการคำนวณในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าโปรแกรม APHD สามารถคำนวณค่าได้เท่ากับเอกสารอ้างอิง HSHDF [4] ที่ทศนิยม 2 ตำแหน่ง นอกจากนั้นโปรแกรม APHD ยังสามารถแสดงค่ากราฟและค่าลำดับของการเกิดภาวะเรโซแนนซ์แบบขนานได้อีกด้วยซึ่งแสดงหน้าต่างแสดงผลในภาพที่ 8 และ 9

## 6.สรุป

จากปัญหาความยุ่งยากในการคำนวณค่าสำหรับการวิเคราะห์การใช้งานอุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกชนิดดีจูน ซึ่งใช้เวลาในมากในการคำนวณด้วยมือ การนำคอมพิวเตอร์โปรแกรมมาช่วยในการคำนวณจึงมีประโยชน์อย่างมาก วิชาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง ในส่วนของเนื้อหาการแก้ปัญหาฮาร์มอนิกจะต้องทำการวิเคราะห์การไหลของกระแสฮาร์มอนิกในอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบใช้งานอุปกรณ์แก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีฮาร์มอนิก โดยบทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์การใช้งานอุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกชนิดดีจูนฟิลเตอร์ เพื่อเป็นเครื่องมือในการลดความยุ่งยากดังกล่าวซึ่งสามารถทำการคำนวณและสรุปค่าสำหรับการวิเคราะห์การใช้งานตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว มีความถูกต้อง แม่นยำ สามารถเข้าถึงและใช้งานได้ง่ายด้วยส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ทางกราฟฟิก อีกทั้งยังสามารถทำการคำนวณและใช้สำหรับวิเคราะห์ระบบเมื่อทำการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงค์เพื่อใช้งานใช้อย่างครอบคลุม และสามารถนำไปใช้ในการประกอบการเรียนการสอนวิชาที่เกี่ยวข้องกับฮาร์มอนิก

## 7.เอกสารอ้างอิง


[ 1 ] SIEMENS White paper ,Harmonics in power systems, 2013

[ 2 ] ABS, American Bureau of Shipping,Control Of Harmonics In Electrical Power Systems, May 2006

[ 3 ] รศ.วิบูลย์ ชื่นแขก, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลัง ,(พิมพ์ครั้งที่ 2 : มิถุนายน 2549)

[ 4 ] รศ.ดร.ไชยะ แช่มช้อย, ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, เอกสารและโปรแกรม Excel ประกอบการฝึกอบรม “Harmonic Solution with Harmonics Detuned Filter”, พ.ศ. 2557

[ 5 ] IEEE Std. 519-2014, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonics, 2014

[ 6 ] IEEE Std. 18-2012, IEEE Standard for Shunt Power Capacitors, 2012


 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.044