

# การวิเคราะห์เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อพิจารณาโหลดไดนามิกส์สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังอัจฉริยะ

## POWER SYSTEM STABILITY CONSIDERING DYNAMIC LOAD FOR SMART GRID SYSTEM

นายศราวุธ วิวัฒน์บุตรศิริ

นางสาวศิริรญา แสงดอกไม้

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อ.ดร.คมสันต์ หงษ์สมบัติ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: fengksh@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

เนื่องจากในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่จะเปลี่ยนระบบไฟฟ้าจากแบบเดิมเป็นแบบโครงข่ายอัจฉริยะ และเพื่อรองรับผลที่เกิดขึ้นการจำลองโหลดเพื่อดูพฤติกรรมของระบบจึงมีความจำเป็น เพราะลักษณะการทำงานของโหลดในระบบจำหน่ายจะมีลักษณะเป็นแบบไดนามิกมากขึ้นในโครงข่ายนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับโหลดสถติกและไดนามิก ในลำดับแรกจะทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของ P- $\theta$  และ Q- $\theta$  จากโปรแกรมไดมอล่า(Dymola) แล้วนำกราฟมาวิเคราะห์รวมเป็นกราฟ P-V และ Q-V ในโปรแกรมแมทแล็บ (Matlab) โดยเริ่มต้นจากการจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำก่อนที่มีเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันในประเภทต่างๆ ท้ายสุดจะทำการวิเคราะห์ผลของโหลดเปรียบเทียบกับกรจ่ายกำลังที่มีค่าแตกต่างกัน

คำสำคัญ : จำลองโหลด , โหลดไดนามิก , พฤติกรรมโหลด

### Abstract

This project presents the analysis of power system stability considering various types of load models. Load modeling problems will be more significant for the analysis of power system stability of future power systems as the trend for power system is going to be Smart Grid. When power system is implemented Smart Grid, the behavior of loads in distribution system becomes more dynamic. In this project, static and dynamic load models are studies. First, the system and the load P-V and Q-V curves are constructed using the Matlab program. Then, the dynamic load modeling such as induction machines is constructed in the Dymola program. Finally, the effect of the dynamic load on system stability is investigated by considered the results obtained from steady-state and time-domain simulations.

Keywords: induction motors, load modeling, power system, dynamic stability, power system simulation

### 1. บทนำ

ระบบการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าประเทศไทย ในปัจจุบันนั้นยังเป็นระบบการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่าระบบกริด (Grid) เป็นการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบทิศทางเดียว (One Way Communication) แต่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะจะมีส่วนที่เข้ามาเพิ่มเติมจากระบบเดิมคือจะนำเอาระบบอัตโนมัติเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร แต่เนื่องจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะนั้น ได้เป็นการผสมกันของแหล่งกำเนิดที่หลากหลาย และบางครั้งโหลดก็ได้กลายเป็นแหล่งกำเนิด ดังนั้นความยุ่งยากซับซ้อนจึงได้เกิดขึ้น และมาพร้อมกับการเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง การจำลองสภาพโหลดเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโหลดในสภาพต่างๆจึงมีความจำเป็นต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$\text{จาก } \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial |V|} \\ \frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial |V|} \end{bmatrix} \quad (2)$$

แทนสมการที่ (2) ในสมการที่ (1) ได้

$$\Delta P = \left( \frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} \right) (\Delta \theta) + \left( \frac{\partial \Delta P}{\partial |V|} \right) (\Delta |V|) \quad (3)$$

$$\Delta Q = \left( \frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} \right) (\Delta \theta) + \left( \frac{\partial \Delta Q}{\partial |V|} \right) (\Delta |V|) \quad (4)$$

เมื่อ  $P$  คือกำลังไฟฟ้าจริงที่บัสใด ๆ

$Q$  คือกำลังไฟรีแอกทีฟที่บัสใด ๆ

$V$  คือแรงดันที่บัสที่ใด ๆ

$\theta$  คือมุมทางแรงดันไฟฟ้า

## 2.2 สมการมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สมการสำหรับสร้างแบบจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำแสดงได้ดังต่อไปนี้[2]

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{qs} \quad (5)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} + \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{qs} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{ds} \quad (6)$$

$$v'_{qr} = r'_r i'_{qr} + \left( \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \psi'_{dr} + \frac{p}{\omega_b} \psi'_{qr} \quad (7)$$

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{qs} \quad (8)$$

$$T_e = \left( \frac{3}{2} \right) \times \left( \frac{poles}{2} \right) \times \left( \frac{1}{\omega_b} \right) \times (\psi'_{qr} i'_{qr} - \psi'_{dr} i'_{dr}) \quad (9)$$

$$T_e = 2H \times p \left( \frac{\omega_r}{\omega_b} \right) + T_L \quad (10)$$

$$P = \frac{3}{2} (v_{ds} i_{ds} + v_{qs} i_{qs}) \quad (11)$$

กำหนดให้

P คือ กำลังจริง

Q คือ กำลังเสมือน

$v_{ds}, i_{ds}$  คือ กระแสและแรงดันของสเตเตอร์ในแกน direct

$v_{qs}, i_{qs}$  คือ กระแสและแรงดันของสเตเตอร์ในแกน q

$v'_{dr}, i'_{dr}$  คือ กระแสและแรงดันของโรเตอร์ในแกน direct

$v'_{qr}, i'_{qr}$  คือ กระแสและแรงดันของโรเตอร์ในแกน q

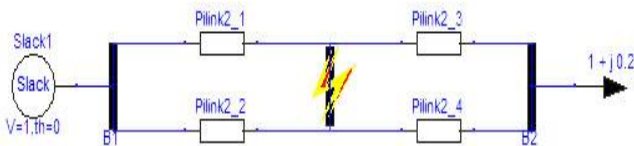
$r_s, r'_r$  คือ ความต้านทานของสเตเตอร์และโรเตอร์ต่อเฟส

$\psi_{qs}, \psi_{ds}$  คือ ฟลักซ์ลัดต่อวินาทีของสเตเตอร์แกน q และแกน d

$\psi'_{rs}, \psi'_{rs}$  คือ ฟลักซ์ลัดต่อวินาทีของโรเตอร์แกน q และแกน d

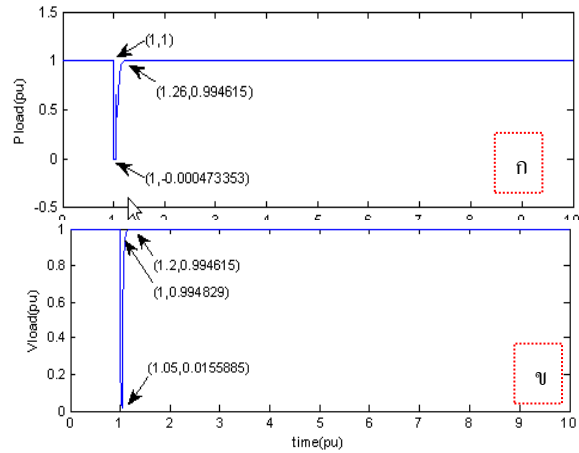
## 3. การจำลองผลของระบบ

ระบบที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งในการทดลองจะถูกปรับค่าให้แตกต่างกัน หน่วยที่ใช้มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (per unit) และกำหนดให้บัสตรงกลางมีฟอลต์(Fault)เกิดขึ้น ต่อกับโหลดผสมระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำกับอิมพีแดนซ์ที่มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ แสดงในรูปที่ 3.1

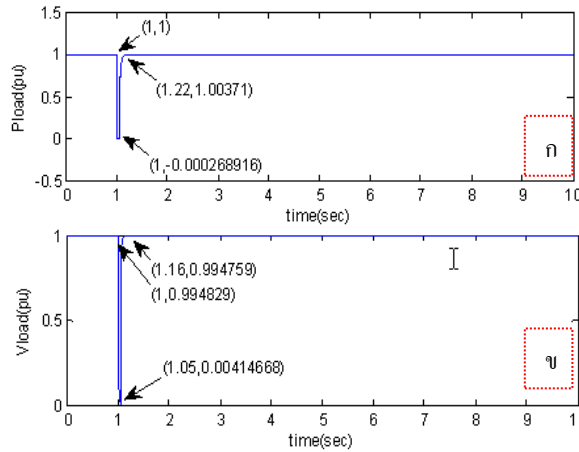


รูปที่ 3.1 แผนผังระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลอง

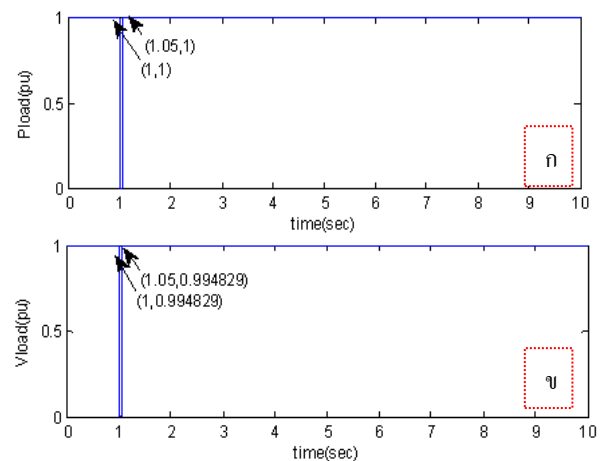
## 3.1 พฤติกรรมของการจ่ายกำลังและแรงดันในโหลดที่มีเปอร์เซ็นต์ของมอเตอร์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.2 (ก) กราฟ P-t และ (ข) กราฟ V-t ของโหลดที่มีมอเตอร์ 100%



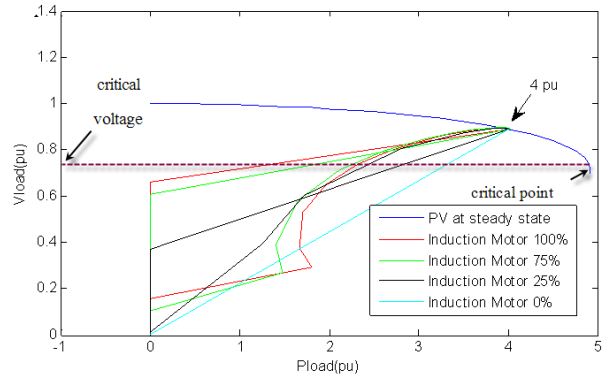
รูปที่ 3.3 (ก) กราฟ P-t และ (ข) กราฟ V-t ของโหลดที่มีมอเตอร์ 50%



รูปที่ 3.4 (ก) กราฟ P-t และ (ข) กราฟ V-t ของโหลดที่มีมอเตอร์ 0%

จากรูปที่ 3.2-3.4 เป็นผลของการจำลองโหลดผสมระหว่างอิมพีแดนซ์และอินดักชันมอเตอร์ในเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันกำหนดให้เกณฑ์เป็นกำลังที่จ่ายและแกนนอนเป็นเวลา ได้ผลการสรุปว่า

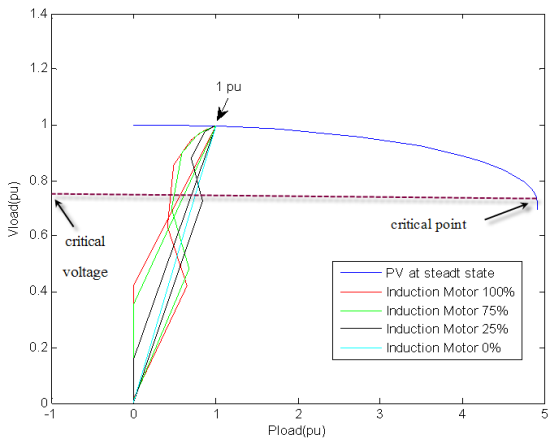
- 1.แรงดันและกำลังงานขณะที่เกิดฟลัด สำหรับ โหลดที่มีความเป็นมอเตอร์น้อยจะมีการตกลงมากกว่าโหลดที่มีความเป็นมอเตอร์สูง
- 2.ระยะเวลาที่ใช้ในการกลับสู่จุดสมดุลของโหลดที่มีความเป็นมอเตอร์น้อยจะใช้น้อยกว่า โหลดที่มีความเป็นมอเตอร์มาก
- 3.กำลังงานหลังจากที่ระบบกลับสู่จุดสมดุล โหลดที่มีความเป็นมอเตอร์มากกำลังงานจะสูงกว่าโหลดที่มีความเป็นมอเตอร์น้อย



รูปที่ 3.7 ผลการเปรียบเทียบโหลดที่การจ่ายกำลัง 4 PU

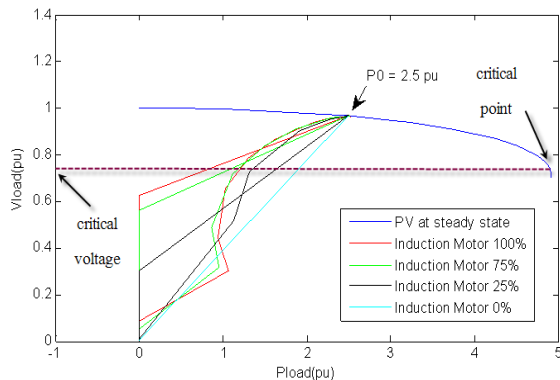
### 3.2 เปรียบเทียบพฤติกรรมโหลดที่มีเปอร์เซ็นต์ของมอเตอร์ต่างกันขณะการจ่ายกำลังที่เท่ากัน

จากรูปที่ 3.5-3.7 ที่มีการเปรียบเทียบของโหลดที่มีอัตราส่วนของมอเตอร์ไม่เท่ากันในการจ่ายกำลังที่เท่ากันนั้น โดยกำหนดให้เกณฑ์เป็นแรงดันที่โหลด และแกนนอนเป็นกำลังที่โหลด ผลสรุปที่ได้คือยิ่งโหลดมีความเป็นมอเตอร์มากขึ้นเท่าไรเมื่อมีการเกิดฟลัด จะทำให้เกิดการแกว่งมากกว่าโหลดที่มีอัตราส่วนมอเตอร์น้อย ยิ่งถ้ามีการจ่ายโหลดมากขึ้นก็จะทำให้การแกว่งนั้นมากขึ้นไปอีก และมีโอกาสที่ระบบจะสูญเสียเสถียรภาพมากขึ้นด้วย

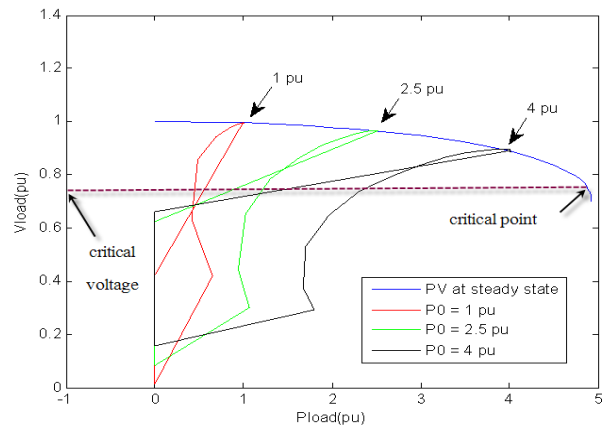


รูปที่ 3.5 ผลการเปรียบเทียบโหลดที่การจ่ายกำลัง 1 PU

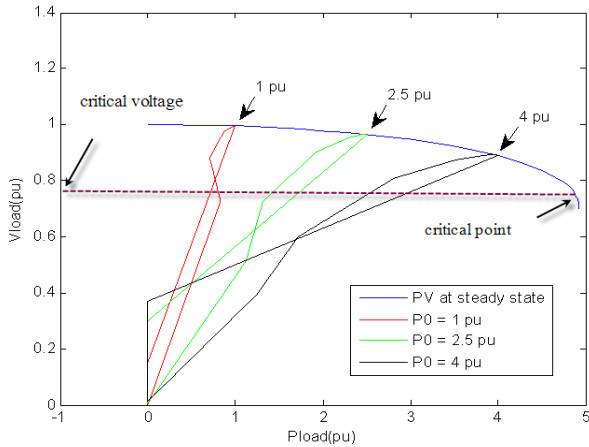
### 3.3 เปรียบเทียบพฤติกรรมโหลดที่มีกำลังจ่ายเท่ากันขณะเปอร์เซ็นต์ของมอเตอร์เท่ากัน



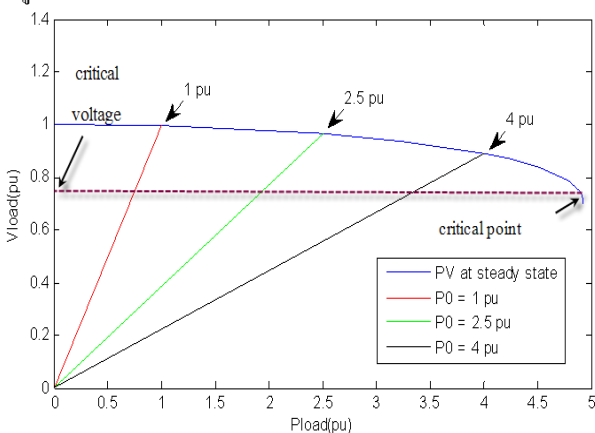
รูปที่ 3.6 ผลการเปรียบเทียบโหลดที่การจ่ายกำลัง 2.5 PU



รูปที่ 3.8 ผลการเปรียบเทียบโหลดขณะที่มีเปอร์เซ็นต์มอเตอร์ 100%



รูปที่ 3.9 ผลการเปรียบเทียบโหลดขณะที่มีเปอร์เซ็นต์มอเตอร์ 25%



รูปที่ 3.10 ผลการเปรียบเทียบโหลดขณะที่มีเปอร์เซ็นต์มอเตอร์ 0%

จากรูปที่ 3.8-3.10 เป็นการเปรียบเทียบพฤติกรรมโหลดที่มีกำลังจ่ายเท่ากันขณะเปอร์เซ็นต์ของมอเตอร์เท่ากัน โดยกำหนดให้แกนตั้งเป็นแรงดันที่โหลด และแกนนอนเป็นกำลังที่โหลด ได้ข้อสรุปว่า โหลดที่มีเปอร์เซ็นต์มอเตอร์ที่แตกต่างกันจะให้ผลที่เหมือนกันคือ เมื่อเพิ่มกำลังงานที่จ่ายให้มากขึ้น ขณะที่เกิดฟลัดการแกว่งจะมากขึ้นและใช้เวลาในการกลับสู่จุดสมดุลอีกครั้งมากขึ้น และเสี่ยงต่อการสูญเสียเสถียรภาพมากกว่าการเกิดฟลัดที่การจ่ายกำลังงานที่ต่ำกว่า

จากผลการทดลองทั้ง 3 กรณีจะเห็นว่า ถึงแม้ตอนที่ให้เกิดฟลัดแรงดันที่มีมอเตอร์น้อยกว่าจะแรงดันตกมากกว่าแต่เมื่อกลับมาสู่สภาวะที่สมดุลกลับใช้เวลาน้อยกว่า จากผลการทดลองที่มีกำลังขนาดที่เท่ากัน ในโหลดที่มีค่าเปอร์เซ็นต์มอเตอร์ที่แตกต่างกัน โหลดที่มีเปอร์เซ็นต์ของมอเตอร์มากกว่าจะมีการแกว่งสูงกว่า ก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุล ในการทดลองที่โหลดมีเปอร์เซ็นต์มอเตอร์ที่เท่ากัน แต่ในสภาวะที่มีการจ่ายกำลังที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าโหลดที่มีการจ่ายกำลังสูงกว่าจะเข้าสู่จุดวิกฤติมากกว่า (Critical point) แสดงให้เห็นว่าจะมีความเสี่ยงที่จะสูญเสียเสถียรภาพมากกว่า

#### 4. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้จำลองโหลดในโปรแกรมไดโมล่า ลักษณะของโหลดที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นได้จำลองโหลดให้เป็นมอเตอร์ แล้วให้มีเปอร์เซ็นต์ของมอเตอร์ที่แตกต่างกันซึ่งผลที่ได้จากการจำลองออกมานั้นจะเห็นได้ว่าโหลดมอเตอร์ที่เป็นเปอร์เซ็นต์มากขึ้น จะตอบสนองต่อการเกิดฟลัดได้ง่ายกว่า ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลวัตโหลดมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำการศึกษาในเชิงลึกต่อไปโดยโมเดลที่ใช้ในการจำลองนั้น อาจจะต้องเพิ่มแหล่งจ่ายให้มากขึ้นกว่าเดิม และโหลดที่ใช้ควรพัฒนาให้มีความซับซ้อนมากขึ้น จนมีความใกล้เคียงกับสภาพจริงของระบบเครือข่ายอัจฉริยะ เพื่อใช้ในการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจริงกับระบบ

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ดร.คมสันต์ หงษ์สมบัติ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาและเอกสารต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานฉบับนี้ ตลอดจนทำการตรวจสอบแก้ไขโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณทางคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้เงินในการสนับสนุนในการทำโครงงานในครั้งนี้ด้วย

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. ชำนาญ ห่อเกียรติ ; การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง 2547, โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลังภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] Wen Zing Adeline Cha ; 2003 ; Power System Load Modelling ; The School of Information Technology and Electrical Engineering The University of Queensland
- [3] [http://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_flow\\_study](http://en.wikipedia.org/wiki/Power_flow_study)

