

ผลกระทบของแบบจำลองโหลดพลวัตที่มีต่อเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า

นาย ประวิทย์ ปาระวนิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-636-959-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17530246

IMPACT OF DYNAMIC LOAD MODELS ON VOLTAGE STABILITY

Mr. Prawit Paravanich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

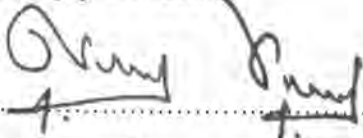
Academic Year 1997

ISBN 974-636-959-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของแบบจำลองโหลดพลวัตที่มีต่อเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า  
โดย นาย ประวิทย์ ปาระวนิชย์  
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ทรงศักดิ์ ชุชนพิพัฒน์


---

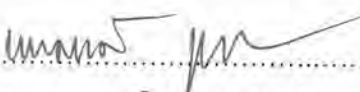
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
( ดร. ทรงศักดิ์ ชุชนพิพัฒน์ )

  
..... กรรมการ  
( นาย วุฒิชัย พึ่งประเสริฐ )

  
..... กรรมการ  
( อาจารย์ ไชยะ แซ่มช้อย )

## พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ประวิทย์ ปาระวนิชย์ : ผลกระทบของแบบจำลองโหลดพลวัตที่มีต่อเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า ( IMPACT OF DYNAMIC LOAD MODELS ON VOLTAGE STABILITY )

อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. ทรงศักดิ์ ชุชนพิพัฒน์ , 144 หน้า , ISBN 974-636-959-8

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของแบบจำลองโหลดที่มีต่อเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองโหลดลักษณะต่างๆ แบบจำลองโหลดที่ใช้นี้ได้พัฒนาขึ้นเพื่อแทนคุณสมบัติของโหลดได้ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น ทั้งในสภาวะอยู่ตัวและสภาวะพลวัต โดยพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงถึงลักษณะคุณสมบัติของแบบจำลองโหลดต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าและความถี่ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ในสภาวะพลวัตมีลักษณะที่แตกต่างกันเมื่อใช้แบบจำลองโหลดต่างๆ ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงแบบจำลองโหลดที่เหมาะสมทำให้การศึกษาระบบไฟฟ้าในสภาวะพลวัตมีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....  
สาขาวิชา.....ไฟฟ้ากำลัง.....  
ปีการศึกษา.....2540.....

ลายมือชื่อนิติศ.....ประวิทย์ ปาระวนิชย์.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....สุเมธ ภูมิวุฒิสาร.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....อนุทนต์.....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

## C815613 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING  
KEY WORD: VOLTAGE STABILITY / LOAD MODELS

PRAWIT PARAVANICH ; IMPACT OF DYNAMIC LOAD MODELS  
ON VOLTAGE STABILITY. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF.  
SUKUMVIT PHOOMVUTHISARN, Ph.D. THESIS COADVISOR :  
SONGSAK CHUSANAPIPUTT, Ph.D. 144 pp.  
ISBN 974-636-959-8

This thesis is focus on the studies of the impact of load models on voltage stability for various load models. These load models are developed and represented for more realistic characteristic of them, both in static and dynamic conditions. A computer program is developed to demonstrate the characteristic of load models due to impact on the change of voltage and frequency. The results show that the voltage and frequency, in dynamic conditions, give the different characteristics, when the different load models are used. Then, if the appropriate load models are certainly used in the study of dynamic condition, the more accurate results will be obtained.

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา..... ไฟฟ้ากำลัง.....

ปีการศึกษา..... 2540.....

ลายมือชื่อนิสิต..... ประวิทย์ ประวิษฐ์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... สุกุมวิท พุ่มวุฒิสารณ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... สอนศักดิ์.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. ทรงศักดิ์ ชุณหวิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีมาตลอด และได้ช่วยตรวจสอบและแก้ไขรูปแบบของวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านซึ่งประกอบด้วย ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย และคุณวุฒิชัย พิงประเสริฐ จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นกรรมการคุมสอบมา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้เขียนขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ซึ่งได้ให้ทุนการศึกษาในการทำวิทยานิพนธ์มา ณ ที่นี้ด้วย ท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาซึ่งคอยให้กำลังใจและอำนวยความสะดวกทุกอย่างแก่ผู้เขียนเสมอมาจนจบการศึกษา

ประวิทย์ ปาระวนิชย์

พฤษภาคม 2540

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 แนวคิด และทฤษฎี .....	2
1.2 วัตถุประสงค์ .....	3
1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน .....	3
1.4 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์ .....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการทำวิทยานิพนธ์ .....	4
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ .....	4
2. เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง .....	6
2.1 เสถียรภาพการแกว่งของโรเตอร์ (Rotor Angle Stability) .....	7
2.1.1 การรบกวนขนาดเล็ก (Small-signal Stability) .....	7
2.1.2 การรบกวนขนาดใหญ่ (Transient Stability) .....	8
2.2 เสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Stability) .....	9
2.2.1 สภาวะพลวัต (Transient Voltage Stability) .....	12
2.2.2 สภาวะอยู่ตัว (Longer-term Voltage Stability) .....	12
2.3 วิธีการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า .....	13
2.3.1 การวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัว (Static Voltage Stability Analysis) .....	13

	หน้า
2.3.2 การวิเคราะห์ในสภาวะพลวัต (Dynamic Voltage Stability Analysis) .....	14
3. การตรวจสอบเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า โดยวิเคราะห์เทียบกับเวลา .....	16
3.1 การสร้างบัลแอตมิตแดนซ์เมตริกซ์ โดยใช้วิธีอิลิเมนต์สแตมป์ (Element Stamp Method) .....	20
3.1.1 สายส่งไฟฟ้า (Transmission Line) .....	21
3.1.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) .....	21
3.1.3 ตัวคาปาซิเตอร์และตัวรีแอคเตอร์ (Capacitor and Reactor) .....	22
3.2 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตัน - ราฟสัน .....	22
3.3 การแก้สมการดิฟเฟอเรนเชียลด้วยวิธีทางเชิงเลข .....	29
3.4 การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหล และกำลังสูญเสียในสายส่งและหม้อแปลง .....	35
3.4.1 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง (Power Flow in Lines) .....	35
3.4.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในหม้อแปลง (Power Flow in Transformers) .....	37
4. การพัฒนาแบบจำลองโหลด .....	38
4.1 วิธีการหาแบบจำลองโหลด .....	39
4.1.1 วิธีการวัดโดยตรง (Measurement Based Data) .....	39
4.1.2 วิธีการนับประเภทอุปกรณ์ (Component Based Data) .....	39
4.2 แบบจำลองโหลดในสภาวะอยู่ตัว (Static Load Models) .....	41
4.2.1 แบบกำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant Power) .....	43
4.2.2 แบบกระแสคงที่ (Constant Current) .....	43
4.2.3 แบบอิมพีแดนซ์คงที่ (Constant Impedance) .....	43
4.2.4 แบบโหลดผสม (Composite Load) .....	44



	หน้า
4.3 แบบจำลองโหลดในสภาวะพลวัต (Dynamic Load Models) .....	47
4.3.1 โหลดที่มีการควบคุมอุณหภูมิ (Thermostatically Controlled Loads) .....	47
4.3.2 หลอดไฟประเภทดิสชาร์จ (Discharge lighting loads) .....	48
4.3.3 หม้อแปลงที่เปลี่ยนแทปภายใต้โหลดได้ (Under Load Tap Changing Transformer , ULTC) .....	49
4.3.4 มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) .....	49
5. ผลการคำนวณ .....	54
5.1 ระบบทดสอบขนาด 3 บัส .....	56
5.2 ระบบทดสอบขนาด 5 บัส .....	70
5.3 ระบบทดสอบขนาด 9 บัส .....	85
6. บทสรุป .....	106
รายการอ้างอิง .....	108
ภาคผนวก	
ก. ผลของแบบจำลองโหลดที่มีต่อระบบทดสอบ 3 บัส .....	111
ข. คู่มือการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ .....	114
ค. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ .....	121
ประวัติผู้เขียน .....	144

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางแสดงพารามิเตอร์ของโหลดแต่ละชนิด .....	44
4.2 ตารางแสดงพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ .....	45
4.3 ตารางแสดงพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด .....	46
4.4 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่มีขนาดกำลังไฟฟ้า ตั้งแต่ 0.25 - 400 kW .....	53
5.1 ตารางแสดงข้อมูลของสายส่งของระบบทดสอบ .....	56
5.2 ตารางแสดงแรงดันและกำลังไฟฟ้าของแต่ละบัส .....	57
5.3 ตารางแสดงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	57
5.4 ตารางแสดงข้อมูลของสายส่งของระบบทดสอบ .....	70
5.5 ตารางแสดงแรงดันและกำลังไฟฟ้าของแต่ละบัส .....	71
5.6 ตารางแสดงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	71
5.7 ตารางแสดงข้อมูลของสายส่งของระบบทดสอบ .....	85
5.8 ตารางแสดงข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบทดสอบ .....	85
5.9 ตารางแสดงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	85
5.10 ตารางแสดงแรงดันและกำลังไฟฟ้าของแต่ละบัส .....	86
ก.1 ตารางแสดงข้อมูลของสายส่งของระบบทดสอบ .....	111
ก.2 ตารางแสดงแรงดันและกำลังไฟฟ้าของแต่ละบัส .....	112
ก.3 ตารางแสดงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	112
ข.1 แสดงตัวอย่างของแบบจำลองโหลด .....	119

## สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงมุมของโรเตอร์เมื่อเทียบกับเวลา กรณีที 1 ระบบยังคงรักษาเสถียรภาพไว้ได้ กรณีที 2,3 ระบบสูญเสียเสถียรภาพ .....	8
2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า-แรงดัน .....	11
2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดัน-กำลังเสมือน .....	12
3.1 วงจรสมมูลแบบพายนี่ใช้แทนสายส่ง .....	18
3.2 แบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า .....	19
3.3 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า .....	19
3.4 แผนผังการคำนวณของวิธีนี้ วตัน-กราฟสัน .....	28
3.4 แผนผังการคำนวณของวิธีนิวตัน-กราฟสัน (ต่อ) .....	29
3.5 แผนผังการคำนวณโดยใช้วิธีของออยเลอร์ที่มีการปรับค่าความชัน .....	34
3.5 แผนผังการคำนวณโดยใช้วิธีของออยเลอร์ที่มีการปรับค่าความชัน (ต่อ) .....	35
3.6 วงจรสมมูลของสายส่งเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง .....	35
4.1 แสดงความหมายของโหลดในระบบไฟฟ้า .....	39
4.2 แสดงการแบ่งประเภทของโหลด .....	40
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กับแรงดันไฟฟ้าของโหลด Discharge .....	48
4.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ .....	49
4.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะทรานเซียนส์ .....	51
5.1 ระบบทดสอบขนาด 3 บัต์ .....	56
5.2 แรงดันไฟฟ้าของแบบจำลองโหลดต่างๆ ของเหตุการณ์ที่ 1 ของระบบ 3 บัต์ ....	59
5.3 มุมของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 3 บัต์ .....	60
5.4 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 1 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 3 บัต์ .....	61

รูปที่	หน้า
5.5 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 2 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 3 บัส .....	62
5.6 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 4.2 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 3 บัส .....	63
5.7 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 4.4 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 3 บัส .....	64
5.8 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 5.1 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 3 บัส .....	65
5.9 แรงดันไฟฟ้าของแบบจำลองโหลดต่างๆ ของเหตุการณ์ที่ 2 ของระบบ 3 บัส ...	66
5.10 มุมของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 3 บัส .....	67
5.11 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 4.4 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 3 บัส .....	68
5.12 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 5.1 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 3 บัส .....	69
5.13 ระบบทดสอบขนาด 5 บัส .....	70
5.14 แรงดันไฟฟ้าของแบบจำลองโหลดต่างๆ ของเหตุการณ์ที่ 1 ของระบบ 5 บัส ...	73
5.15 มุมของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 5 บัส .....	74
5.16 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 1 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 5 บัส .....	75
5.17 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 3.1 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 5 บัส .....	76
5.18 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 3.2 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 5 บัส .....	77
5.19 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 5.2 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 5 บัส .....	78
5.20 แรงดันไฟฟ้าของแบบจำลองโหลดต่างๆ ของเหตุการณ์ที่ 2 ของระบบ 5 บัส ...	79
5.21 มุมของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 5 บัส .....	80
5.22 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 1 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 5 บัส .....	81
5.23 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 3.1 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 5 บัส .....	82
5.24 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 3.2 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 5 บัส .....	83
5.25 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 5.2 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 5 บัส .....	84
5.26 ระบบทดสอบขนาด 9 บัส .....	86
5.27 แรงดันไฟฟ้าของแบบจำลองโหลดต่างๆ ของเหตุการณ์ที่ 1 ของระบบ 9 บัส ...	88
5.28 มุมของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 9 บัส .....	89
5.29 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 1 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 9 บัส .....	90
5.30 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 2 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 9 บัส .....	91

รูปที่	หน้า
5.31 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 4.2 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 9 บัส .....	92
5.32 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 4.3 เหตุการณ์ที่ 1 ระบบ 9 บัส .....	93
5.33 แรงดันไฟฟ้าของแบบจำลองโหลดต่างๆ ของเหตุการณ์ที่ 2 ของระบบ 9 บัส ...	94
5.34 มุมของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 9 บัส .....	95
5.35 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 1 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 9 บัส .....	96
5.36 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 2 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 9 บัส .....	97
5.37 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 4.2 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 9 บัส .....	98
5.38 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 4.3 เหตุการณ์ที่ 2 ระบบ 9 บัส .....	99
5.39 แรงดันไฟฟ้าของแบบจำลองโหลดต่างๆ ของเหตุการณ์ที่ 3 ของระบบ 9 บัส ...	101
5.40 มุมของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหตุการณ์ที่ 3 ระบบ 9 บัส .....	102
5.41 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 1 เหตุการณ์ที่ 3 ระบบ 9 บัส .....	103
5.42 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 4.2 เหตุการณ์ที่ 3 ระบบ 9 บัส .....	104
5.43 ผลการคำนวณของแบบจำลองโหลดที่ 4.3 เหตุการณ์ที่ 3 ระบบ 9 บัส .....	105
ก.1 ระบบทดสอบขนาด 3 บัส .....	111
ข.1 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลของระบบ 9 บัส .....	117