



การวิเคราะห์โหลดไหลของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งประกอบด้วย
ระบบสายส่งกระแสตรงแรงดันสูง

DIGITAL METHOD APPLIED TO AC/DC
POWER SYSTEM LOADFLOW ANALYSIS

ประณต บุญไชยอภิสิทธิ์

PRANOT BOONCHAI-APISIT

อาจารย์ปรึกษา

โกศล เพ็ชรสุวรรณ

ADVISOR

KOSOL PETCHSUWAN Ph.D. (LONDON)



วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2528

เลขหมู่

เลขทะเบียน

7673

วัน, เดือน, ปี ๑๖ ๑ ๒๕๒๙

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง	1
1.2 ความต้องการวิธีวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง ที่มีประสิทธิภาพสูง	2
1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการพัฒนาการคำนวณโหลดไหลสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ทฤษฎีและวิธี Newton Raphson loadflow	5
2.3 ทฤษฎีและวิธี Fast Decouple loadflow	8
2.3.1 สมการของ Fast Decouple loadflow	8
2.3.2 ข้อดีเด่นของวิธี Fast Decouple loadflow	10
2.4 สรุป	12
บทที่ 3 ทฤษฎีและการพัฒนาการวิเคราะห์โหลดไหลสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	13
3.1 บทนำ	13
3.2 ทฤษฎีและการแสดงแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	15
3.2.1 หน่วยเรกติไฟเออร์ (Rectifier Unit)	16
3.2.2 หน่วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter Unit)	20
3.3 การใช้ทฤษฎี Newton Raphson กับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	23
3.4 AC/DC Jacobian matrix equations	25

	หน้า	
3.5	ขั้นตอนหลักในการคำนวณลักษณะโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ของวิธี Fast Decouple AC/DC loadflow	29
3.6	สรุป	31
บทที่ 4	การใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์	32
4.1	บทนำ	32
4.2	การใช้ Linknet Structure เพื่อแสดงโครงสร้างของระบบไฟฟ้า	32
4.3	การใช้ Sparse Technique เพื่อลดการใช้หน่วยความจำ	35
4.3.1	Matrix Triangulation	35
4.3.2	Ordering triangulation to preserve sparsity	38
4.4	สรุป	41
บทที่ 5	ระบบที่ทำการศึกษาและผลการวิเคราะห์	42
5.1	บทนำ	42
5.2	ข้อมูลที่ต้องการ	42
5.2.1	ข้อมูลระบบไฟฟ้ากระแสสลับ	42
5.2.2	ข้อมูลระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	43
5.3	ระบบ 14 บัส	43
5.3.1	การเตรียมข้อมูล	45
5.3.2	ผลการวิเคราะห์	48
5.4	ระบบ 19 บัส	54
5.4.1	การเตรียมข้อมูล	55
5.4.2	ผลการวิเคราะห์	58
5.5	ระบบ 114 บัส	65
5.5.1	การเตรียมข้อมูล	65

5.5.2 ผลการวิเคราะห์	หน้า
67	
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์	79
กิตติกรรมประกาศ	81
เอกสารอ้างอิง	82
ภาคผนวก ก	84
ภาคผนวก ข	86
ภาคผนวก ค	87



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง 2 บั้ส	4
3.1 การคิดค้งระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงค้ันสูง	15
3.2 การเชื่อมต้อระหว้างระบบไฟฟ้ากระแสสลับค้โดยระบบกระแสตรงแรงค้ันสูง	16
3.3ก วงจรของ three-phase full-wave controlled rectifier	17
3.3ข ลั้ณะแรงค้ันของรูปที่ 3.3ก	17
3.4 แรงค้ันของรูปที่ 3.3ก ที่มุมน้้ากระแสค้าต่าง ๆ	18
3.5 ความสัมพันธ์ระหว้าง real และ reactive power ของคอนเว้รเตอร์	20
3.6 แบบจ้าลองของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงค้ันสูง	21
3.7 วงจรเทียบเท้าของรูปที่ 3.6	21
3.8 แผนผ้งของ Fast Decouple AC/DC loadflow	30
4.1 แสดงลั้ณะ node ของ network และ END จากความสัมพันธ์	33
4.2 แสดงการน้บที่ node 2	33
4.3 LINKNET STRUCTURE ที่ใ้เก็บค้า Admittance matrix	34
4.4 ระบบค้ตัวอย่างง่าย ๆ ส้องแบบน้้ามาพ้จรรยาในการค้ศึกษา	36
4.5 แสดงผลของการ Reduction ซึ่งใ้ network equivalent ใหม่	37
4.6 แสดงผลของการ Reduction ซึ่งเพิ่มสายส่งในระบบ	38
4.7 แผนผ้งแสดงการ Elimination	40
5.1 ระบบไฟฟ้าจากเอกสารอ้างอิงที่ 15	44
5.2 ระบบไฟฟ้าที่ถูกค้ดแปลงเพ้อใ้ใช้ในการค้ศึกษา	44
5.3 การเข้าค้าค้ตอบของระบบ 14 บั้ส กรณ้ที่ 1	49
5.4 การเข้าค้าค้ตอบของระบบ 14 บั้ส กรณ้ที่ 2	49

รูปที่

5.5	ระบบไฟฟ้า 19 บัส	54
5.6	การเข้าหาคำตอบของระบบ 19 บัส กรณีที่ 1	59
5.7	การเข้าหาคำตอบของระบบ 19 บัส กรณีที่ 2	59
5.8	การเข้าหาคำตอบของระบบ 114 บัส	69

หน้า



สัญลักษณ์

P	: real or active power vector
Q	: reactive power vector
V	: voltage magnitude vector
θ	: voltage phase angle vector
I	: current vector
E	: voltage vector
Y	: admittance matrix
G	: conductance matrix
B	: susceptance matrix
V _d	: direct voltage
I _d	: direct current
α	: firing angle
K	: ratio of AC and DC per unit voltage and current
a	: transformer turns ratio
F	: residual vector in Newton's method
J _{dc}	: DC Jacobian matrix
X	: DC parameter vector
A	: current (ampere)
KV	: voltage (kilovolt)
MW	: real power (mega watt)
MVAR	: reactive power (megavar)
P.U.	: per unit

sp : specified value

θ_{km} : $\theta_k - \theta_m$

$m \in k$: signifies that bus m is connected to bus k, including the case $m = k$

[] : vector or matrix



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์โหลดโพล์ของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งประกอบด้วยระบบสายส่ง กระแสตรงแรงดันสูง
โดย	ประณต บุญไชยอภิสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล เพ็ชรสุวรรณ
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตทางวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2528

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานถึงการพัฒนาวิธีวิเคราะห์โหลดโพล์ของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งประกอบด้วยระบบสายส่งกระแสตรงแรงดันสูงเชื่อมต่องานระหว่างระบบสายส่งกระแสสลับ โดยการพิจารณาแบบจำลองและสมการทางไฟฟ้าของระบบสายส่งกระแสตรงแรงดันสูง การคำนวณโหลดโพล์สำหรับระบบสายส่งกระแสตรงแรงดันสูงโดยวิธีนิวตันแร็บสัน ถูกพัฒนาเข้ากับการคำนวณโหลดโพล์โดยวิธีฟาสต์คัลเบิลสำหรับระบบสายส่งกระแสสลับ วิธีวิเคราะห์โหลดโพล์ที่ถูกพัฒนาให้คุณสมบัติที่ดีคือ ความเร็วในการคำนวณสูง หน่วยความจำที่ถูกใช้เป็นจำนวนน้อย ผลของการคำนวณโหลดโพล์โดยวิธีจัตตอลคอมพิวเตอรส์แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการควบคุมแรงดัน กำลังงาน มุมนำกระแส ในระบบไฟฟ้ากำลังได้เป็นอย่างดี

Thesis Title : Digital method applied to AC/DC power system loadflow analysis

Name : Pranot Boonchai-Apisit

Thesis Advisor : Associate Professor Dr. Kosol Petchsuwan

Level of Study : Master of Engineering Electrical Engineering

Department : Electrical Engineering

academic year : 1985

Abstract:

This thesis describes the development of loadflow analysis method for large power system which including the High Voltage Direct Current Transmission links (HVDC Links) between subsystems. Considering the HVDC link's model and equations, the Newton-Raphson loadflow for DC system is developed to connect with the Fast Decouple loadflow for AC system. The developed method offers extremely fast loadflow solutions and low used-memory. The ability to control voltage, power and firing angle is showed by the results of loadflow calculation from digital computer.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง

ในอดีตการวิเคราะห์การทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติสม่ำเสมอซึ่งเรียกว่า โหลดโฟลว์ (loadflow) หรือพาวเวอร์โฟลว์ (power flow) ถูกกระทำโดยการใช้เน็ตเวิร์คแอนนาไลเซอร์ (network analyzer) ในปี 1956 จึงมีการเปลี่ยนแปลงมาใช้ดิจิทัลคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องรวดเร็วสามารถแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันเหตุการณ์

เมื่อพิจารณาจากอดีตจนถึงปัจจุบัน จะเห็นว่าวิธีการคำนวณโหลดโฟลว์ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้วิเคราะห์และแก้ปัญหาทางระบบไฟฟ้ากำลังคือ (1)

1.1.1 การวางแผนระบบการผลิตและระบบสายส่ง

การเพิ่มขนาดของการผลิต การวางระบบสายส่งเพิ่มเติม ในอนาคตจะถูกทำการวิเคราะห์โดยการคำนวณโหลดโฟลว์และการคำนวณเสถียรภาพ (stability) เพื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการกระทำข้างต้นที่มีต่อระบบเดิม

1.1.2 การออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบป้องกัน

การใช้ผลการคำนวณโหลดโฟลว์เป็นพื้นฐานในการคำนวณความผิดปกติ (faults) ที่เกิดขึ้นภายในระบบ จะสามารถออกแบบและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน เช่น เบรกเกอร์ รีเลย์ ในระบบป้องกัน

1.1.3 การปฏิบัติการเพื่อให้ได้ผลทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณโหลดโฟลว์ ถูกใช้ในการคำนวณการผลิตและจ่าย ในระบบไฟฟ้ากำลังโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่ผลิตให้ต่ำที่สุด (economics)

จากความสำคัญของการคำนวณโหลดโฟลว์ดังกล่าวข้างต้น การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ที่ถูกกระทำเป็นจำนวนมาก คุณสมบัติของวิธีการวิเคราะห์จะได้กล่าวต่อไป

1.2 ความต้องการวิธีวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมีประสิทธิภาพสูง

จากวิธีการคำนวณโพลดิโพลว์หลายวิธี⁽¹⁾ พบว่าคุณสมบัติของวิธีการวิเคราะห์ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงคือ

1.2.1 ความเร็วสูง

คุณสมบัติข้อนี้มีความจำเป็นในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมีขนาดใหญ่ การวิเคราะห์ในลักษณะที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้ากำลังที่ปฏิบัติการอยู่ (on-line) การวิเคราะห์หลาย ๆ กรณี

1.2.2 การใช้หน่วยความจำน้อย

คุณสมบัติข้อนี้มีความจำเป็นในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมีขนาดใหญ่ ในขณะที่คอมพิวเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์มีขนาดของหน่วยความจำน้อย

1.2.3 ความเชื่อถือได้ของวิธี

วิธีวิเคราะห์จะต้องมีความเชื่อถือสูงในการแก้ปัญหาที่เป็น ill-conditioned

1.2.4 ความสามารถในการดัดแปลง

เพื่อครอบคลุมเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้

1.2.5 กระบวนการวิเคราะห์ไม่ซับซ้อน

คือมีความง่ายในการเขียนโปรแกรม

จากคุณสมบัติข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันมีขนาดใหญ่มาก ในขณะเดียวกันการวิเคราะห์ในลักษณะที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งกำลังปฏิบัติงานอยู่มีความต้องการวิธีซึ่งมีความเร็วสูงเพื่อที่จะทราบผลการคำนวณได้อย่างรวดเร็วและสามารถแก้ไขสถานะการที่เกิดขึ้นได้อย่างทันที่

เมื่อคำนึงถึงการใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีขนาดหน่วยความจำน้อย วิธีการซึ่งมีความเหมาะสมจะต้องประหยัดการใช้หน่วยความจำด้วย

1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ได้แสดงถึงการพัฒนาการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ มีการเชื่อม

คระหว่างระบบไฟฟ้ากำลังขนาดคยอยโดยระบบสายส่งกระแสตรงแรงคั้นสูง (High Voltage Direct Current Transmission Links; HVDC LINKS) การพัฒนาการวิเคราะห์ค้แสดงให้ เห็นถึงวิธีการคำนวณโหลดไฟลว้ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงตามคุณสมบัติในหัวข้อ 1.2 โดยเนื้อหาของวิทยานิพนธ์แบ่งออกเป็น

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีการคำนวณโหลดไฟลว้โดยวิธี Newton Raphson และการคำนวณโหลดไฟลว้โดยวิธี Fast Decoupled

บทที่ 3 กล่าวถึงแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงคั้นสูง และการพัฒนาการคำนวณโหลดไฟลว้สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงคั้นสูง

บทที่ 4 กล่าวถึงเทคนิคทางคอมพิวเตอร์ในการคำนวณโหลดไฟลว้

บทที่ 5 กล่าวถึงระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษาและผลการคำนวณโหลดไฟลว้

บทที่ 6 เป็นข้อสรุปและวิจารณ์ผลของการวิจัยที่ค้ตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2

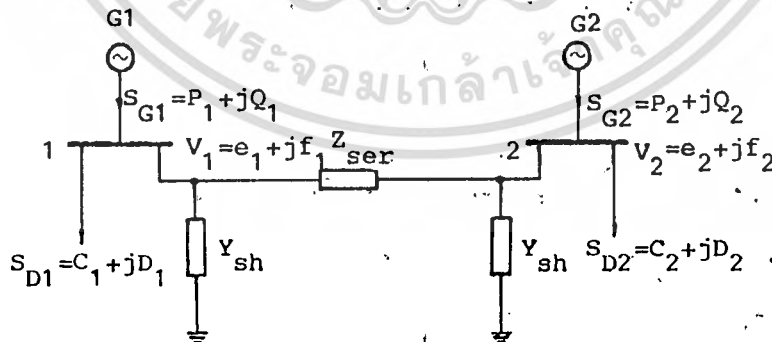
ทฤษฎีและการพัฒนาการคำนวณโหลดโพลีสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1 บทนำ

(1) การคำนวณโหลดโพลีโดยวิธี แอคมิกแทนซ์ แมทริกซ์ ไอเทอเรทีฟ (y-matrix iterative method) ถูกใช้ในระยแรก เนื่องจากมีความเหมาะสมทางด้านการใช้หน่วยความจำน้อย แต่การเข้าหาคำตอบ (converging) ช้า และไม่แน่นอนเสมอไป การคำนวณโหลดโพลีโดยวิธีอิมพีแดนซ์ แมทริกซ์ (z-matrix method) ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีการเข้าหาคำตอบที่แน่นอนรวดเร็ว แต่มีการใช้หน่วยความจำมากจึงไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ระบบซึ่งมีขนาดใหญ่

วิธี Newton-Raphson loadflow ได้ถูกพัฒนา มีคุณสมบัติในการเข้าหาคำตอบที่สูงมาก แต่ในขณะเดียวกันการใช้หน่วยความจำมีมาก ข้อเสียจุดนี้ได้ถูกพัฒนาแก้ไขโดยการใช้นิเทศทางคอมพิวเตอร์⁽²⁾ จนได้รับความนิยมเรื่อยมา

ระบบไฟฟ้ากำลังอย่างง่ายแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1 โดยแต่ละบัส (bus) ประกอบด้วย 4 ตัว คือ



รูปที่ 2.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง 2 บัส

- P_k - real or active power
 Q_k - reactive power
 V_k - ขนาดของแรงดัน (voltage magnitude)
 θ_k - มุมเฟสของแรงดัน (voltage phase angle)

2 ใน 4 ของตัวแปรจะถูกกำหนดค่าก่อนการคำนวณ ในขณะที่ต้องแปรที่เหลืออีก 2 ตัว จะถูกคำนวณออกมา

ในระบบไฟฟ้ากำลังจะประกอบด้วยบัสชนิดต่าง ๆ ซึ่งถูกแบ่งแยกตามลักษณะการควบคุมที่บัสคือ

1. Slack (swing) bus บัสชนิดนี้ขนาดของแรงดันและมุมเฟสของแรงดันจะถูกควบคุม บัสชนิดนี้ได้แก่ สถานีผลิตไฟฟ้า (generator station) มีหน้าที่รักษาความถี่ของระบบไฟฟ้าให้คงที่

2. Voltage controlled bus บัสชนิดนี้ขนาดของแรงดันและ real power จะถูกควบคุม บัสชนิดนี้ได้แก่ สถานีย่อย (substation)

3. Non-voltage controlled bus บัสชนิดนี้ real power และ reactive power จะถูกควบคุม บัสชนิดนี้ได้แก่ ศูนย์กลางโหลด (load center)

จากรูปที่ 2.1 สามารถเขียนสมการของ real และ reactive power ที่บัส k ได้ดังนี้

$$I_k = \sum_{m \in k} Y_{km} E_m \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned}
 S_k = P_k + jQ_k &= E_k^* I_k \\
 &= E_k^* \sum_{m \in k} Y_{km}^* E_m
 \end{aligned} \quad (2.2)$$

2.2 ทฤษฎีและวิธี Newton Raphson loadflow

พิจารณาวิธี Generalized Newton Raphson ในการแก้ปัญหาหาระบบไฟฟ้ากำลังโดย

วิธีไอเทอเรทีฟ (iterative method) โดยกำหนด พังชั้นที่ N ตัวแปร และ N สมการ

$$f_k(x_m) = 0 \quad k = 1 \rightarrow N \quad (2.3)$$

$$m = 1 \rightarrow N$$

พิจารณาที่ p iteration โดยที่ Δx^p คือ ความผิดพลาด (error)

$$f(x^p + \Delta x^p) = 0 \quad (2.4)$$

กระจายสมการ (2.4) โดยทฤษฎีของ Taylor

$$f(x^p + \Delta x^p) = 0$$

$$= f(x^p) + \Delta x^p f'(x^p) + \frac{(\Delta x^p)^2}{2!} f''(x^p) + \dots \quad (2.5)$$

เมื่อใกล้คำตอบจะได้

$$f(x^p) + \Delta x^p f'(x^p) = 0 \quad (2.6)$$

$$\Delta x^p = -\frac{f(x^p)}{f'(x^p)} \quad (2.7)$$

ค่า x ที่ $p+1$ iteration

$$x^{p+1} = x^p + \Delta x^p \quad (2.8)$$

เขียนสมการ (2.6) ใหม่

$$f(x^p) = -J \Delta x^p \quad (2.9)$$

โดยที่

$$J = f'(x^p) \quad (2.10)$$

เรียก J ว่า Jacobian matrix

จากสมการ (2.2) เขียนแยกระหว่าง real และ reactive power ในรูปของ โพลาร์โคออร์ดิเนต (polar co-ordinate)

$$P_k = P(v, \theta)$$

$$Q_k = Q(v, \theta) \quad (2.11)$$

เมื่อให้ P_k^{sp} , Q_k^{sp} เป็น real และ reactive power ที่กำหนดที่บัส k ตามลำดับ จะได้ power mismatch ที่บัส k คือ

$$\Delta P_k = P_k^{sp} - P_k \quad (2.12 ก)$$

$$\Delta Q_k = Q_k^{sp} - Q_k \quad (2.12 ข)$$

จัดให้อยู่ในรูปของสมการ (2.9) คือ

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

สมการ (2.13) คือ Jacobian-matrix equation สมาชิกของ Jacobian matrix (J) ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก⁽³⁾

(1)(2)(3)(4)

การคำนวณโหลดฟลิวโดยวิธี Newton Raphson มีการเข้าหาคำตอบเป็นแบบ quadratic คำคำตอบซึ่งมีความถูกต้องสูงสามารถคำนวณได้ภายใน 3-6 iteration จำนวน iteration จะไม่ขึ้นกับขนาดของระบบ เพราะฉะนั้น จึงมีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ระบบที่มีขนาดใหญ่ การใช้งานในลักษณะ real time (on-line) ซึ่งต้องการผลการคำนวณในเวลาอันสั้น

เมื่อใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์⁽²⁾ ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป จะทำให้ปริมาณหน่วยความจำซึ่งถูกใช้ลดลงอย่างมาก

วิธี Newton Raphson ให้คำตอบซึ่งมีความเชื่อถือได้สูง (reliable) แม้ว่า จะเกิดปัญหา ill-condition ขึ้นก็ตาม⁽²⁾

จากข้อดีเด่นของการคำนวณโหลดฟลิวโดยวิธีการนี้ จึงเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

2.3 ทฤษฎีและวิธี Fast Decoupled loadflow

2.3.1 สมการของ Fast Decoupled loadflow

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของสมการ (2.13) พบว่า การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของขนาดแรงดัน (ΔV) มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของ real power (ΔP) น้อยมาก ในทำนองเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของมุมเฟสของแรงดัน ($\Delta \theta$) มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของ reactive power (ΔQ) น้อยมาก จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นจึงเกิดหลักการ Decoupled (Decoupled Principle) ขึ้นมา จากหลักการอันนี้ทำให้สามารถเขียนสมการการคำนวณโพลาร์โดยให้ 'P- θ ' และ 'Q-V' decoupling ซึ่งกันและกันได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

เมื่อเขียนสมการ (2.14) แยกกันออกมาจะได้

$$[\Delta P] = [H] \cdot [\Delta \theta] \quad (2.15ก)$$

$$[\Delta Q] = [L] \cdot [\Delta V] \quad (2.15ข)$$

โดยที่บัส k มี mismatch

$$\Delta P_k = P_k^{sp} - V_k \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) \quad (2.16ก)$$

$$\Delta Q_k = Q_k^{sp} - V_k \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \quad (2.16ข)$$

เมื่อหารสมการ (2.15 ก, ข) ด้วยขนาดของแรงดัน

$$[\Delta P/V] = [A] \cdot [\Delta \theta] \quad (2.17ก)$$

$$[\Delta Q/V] = [C] \cdot [\Delta V] \quad (2.17ข)$$

สมการ (2.17 ก, ข) คือ Decoupled Newton loadflow ⁽¹⁾ (4)

2. ตัดองค์ประกอบซึ่งมีผลต่อการชดเชยของมุมเฟสของแรงดันออกจาก $[B]$ ในสมการ (2.18ข) ได้แก่ phase shifter"

3. จัดสมการ (2.18ก,ข) ใหม่โดยยกค่า v ที่อยู่ซ้ายไปยังด้าน power mismatch และกำหนดค่า v ซึ่งอยู่ทางขวาเป็น 1.0 p.u.

เพราะฉะนั้น จะได้สมการของ Fast Decoupled loadflow คือ

$$[\Delta P/V] = [B'][\Delta \theta] \quad \text{Order (N-1)} \quad (2.19ก)$$

$$[\Delta Q/V] = [B''][\Delta V] \quad \text{Order (N-M)} \quad (2.19ข)$$

โดยที่

$$B'_{kk} = -\frac{1}{\sum_{m \neq k} \frac{1}{X_{km}}}$$

$$B'_{km} = \frac{1}{X_{km}}$$

$$B''_{km} = -B_{km}, \quad m \neq k$$

$$B''_{kk} = \sum_{m \neq k} B_{km}$$

Fast decoupled loadflow เป็นวิธีคำนวณซึ่งมีประสิทธิภาพสูงมากซึ่งจะได้กล่าวถึงข้อดีเด่นและขั้นตอนหลักในการคำนวณลักษณะโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ต่อไป

2.3.2 ข้อดีเด่นของวิธี Fast Decoupled loadflow

การคำนวณโหลดไฟลว์โดยวิธี Fast Decoupled มีประสิทธิภาพสูง โดยมีคุณสมบัติดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.2 คือ

1. ความเร็วสูง เมื่อพิจารณาสมการ (2.19ก,ข) จะเห็นว่า มีรูปแบบที่ง่าย ขั้นตอนในการคำนวณต่าง ๆ ถูกลดลง ผลลัพธ์ก็คือ ความเร็วในการคำนวณจะสูงมากกล่าวคือ⁽⁵⁾ แต่ละ iteration ของ Fast Decouple loadflow ใช้เวลาเท่ากับ $1\frac{1}{2}$ iteration ของ Gauss-Seidel และใช้เวลาเท่ากับ $\frac{1}{5}$ iteration ของ Newton Raphson loadflow

ค่าคำตอบที่ 0.01 MW/MVAR maximum mismatch สามารถคำนวณได้ภายใน 4-7 iteration ซึ่งเป็นคำตอบที่มีความถูกต้อง (accuracy) สูงมาก ในขณะที่เดียวกันจำนวนของ

iteration ก็ไม่แปรตามขนาดของระบบที่วิเคราะห์ด้วย

เมื่อพิจารณาสมการ (2.19ก,ข) พบว่าลักษณะการเข้าหาคำตอบเป็นแบบลิเนียร์ ในขณะที่ Newton Raphson มีการเข้าหาคำตอบเป็นแบบ quadratic เพราะฉะนั้นเมื่อต้องการคำตอบซึ่งมีความถูกต้องสูงมาก ๆ Fast Decoupled loadflow ต้องใช้จำนวน iteration ที่มากกว่า

การ Triangulate แมทริกซ์เป็นขั้นตอนหนึ่งในการแก้ปัญหาการคำนวณโหลดโฟลว์ซึ่งจะไต่กลาไปถึงในหัวข้อต่อไป จากการพิจารณา $[B']$, $[B'']$ จะเห็นว่า เป็นแมทริกซ์ซึ่งคงที่ (constant matrix) เพราะฉะนั้นการ Triangulate แมทริกซ์จึงกระทำเพียงครั้งเดียวเท่านั้นในการคำนวณโหลดโฟลว์ ผลที่ได้ก็คือ เวลาที่ลดลงอย่างมากภายในแต่ละ iteration

2. การใช้หน่วยความจำน้อย เมื่อพิจารณาสมการ (2.19ก,ข) จะเห็นว่า $[B']$, $[B'']$ ก็คือ $[-B]$ ($[B]$ เป็นแอคสมิคแดนซ์แมทริกซ์) ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ สมาชิกมีค่าคงที่ Symmetrical และ Sparse (มีสมาชิกที่เป็นศูนย์มาก) จากคุณสมบัติดังกล่าว การเก็บค่าสมาชิกสามารถเก็บไว้เฉพาะ upper triangular เพราะฉะนั้น ปริมาณหน่วยความจำที่ถูกใช้จะลดลงอย่างมาก

3. ความเชื่อถือได้ของวิธี ความเชื่อถือได้ของวิธีการนี้มีสูงมากเพราะว่าในลักษณะของ Jacobian แมทริกซ์ซึ่งมีค่าคงที่ การเข้าหาคำตอบจะแน่นอนโดยจะไม่เกิดการเข้าหาคำตอบที่ผิดซ้ำ

4. ความสามารถในการดัดแปลง เนื่องจากวิธีการนี้มีความเร็วสูง ต้องการหน่วยความจำน้อยมีความเชื่อถือสูง จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการดัดแปลง เพื่อทำการคำนวณอื่น ๆ เช่น การควบคุมความปลอดภัย (security control) การคำนวณความผิดปกติ (fault calculation)

5. ความสามารถในการวิเคราะห์ที่ง่าย จากสมการ (2.19ก,ข) จะเห็นว่ามีความง่ายในการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของวิธีการ

2.4 สรุป

ขนาดของระบบไฟฟ้ากำลังที่เพิ่มขึ้น ความซับซ้อนของระบบที่มากขึ้นทำให้เกิดการพัฒนาการคำนวณโหลดโฟลว์ตลอดมา การคำนวณโดยวิธี Fast Decoupled loadflow พบว่ามีคุณสมบัติที่เห็นวิธีการอื่นดังใดกล่าวนมาแล้วข้างต้น วิธีการนี้จึงได้ถูกเลือกใช้โดยผู้เขียนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป



บทที่ 3

ทฤษฎีและการพัฒนาการวิเคราะห์โพลดิโพลวสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

3.1 บทนำ

ในอดีตระบบไฟฟ้ากระแสตรงถูกใช้ในกรณีของโพลดิโพลพิเศษ ได้แก่ ไฟถนน โรงภาพยนตร์ ขณะเดียวกันระบบไฟฟ้ากระแสสลับมีความสำคัญและเหมาะสม เนื่องจากความสามารถในการควบคุมแรงดันและพลังงานในระดับต่าง ๆ กันได้อย่างสะดวกและง่าย โดยอาศัยคุณสมบัติของอุปกรณ์จำพวก หม้อแปลงไฟฟ้า คาปาซิเตอร์ รีแอคเตอร์ และอื่น ๆ นอกจากนี้โพลดิโพลซึ่งใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับสร้างได้ง่าย และสามารถควบคุมให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันความต้องการทางไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้ระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้น มีการพัฒนาจากการผลิตในลักษณะของระบบอิสระย่อย ๆ (sub systems) มาเป็นการผลิตในรูปโครงข่าย (network) ระบบที่ขยายใหญ่ขึ้นมีความซับซ้อนมากขึ้น การเชื่อมกันระหว่างระบบอิสระย่อย ๆ (interconnection of sub systems) มีความสำคัญมากขึ้นในระดับแรงดันสูงมาก (extra high voltage) จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันจึงประกอบด้วย ระบบไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งถูกเชื่อมระหว่างระบบขนาดใหญ่โดยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงซึ่งมีความเหมาะสมในหลาย ๆ ด้าน กล่าวคือ (6), (7)

1. การเชื่อมต่อระหว่างระบบไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีความถี่ต่างกันโดยใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (High Voltage Direct Current Transmission Links; HVDC LINKS) เนื่องจาก HVDC LINKS มีลักษณะเป็น asynchronous link จึงไม่มีปัญหาทางด้านความถี่ และสามารถแก้ไขปัญหาลักษณะเกี่ยวกับการควบคุมการไหลของกำลังงานได้
2. ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสายส่งซึ่งมีความยาวมาก ๆ ผลของ charging current มีมาก แต่ระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงมีผลน้อยจึงสามารถส่งกำลังงานได้ในระยะทางที่ไกลกว่า

3. ผลของความผิดปกติ (faults) ที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงต่ำกว่าระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เพราะความผิดปกติที่เกิดขึ้นไม่สามารถส่งผ่านระบบสายส่งกระแสตรง

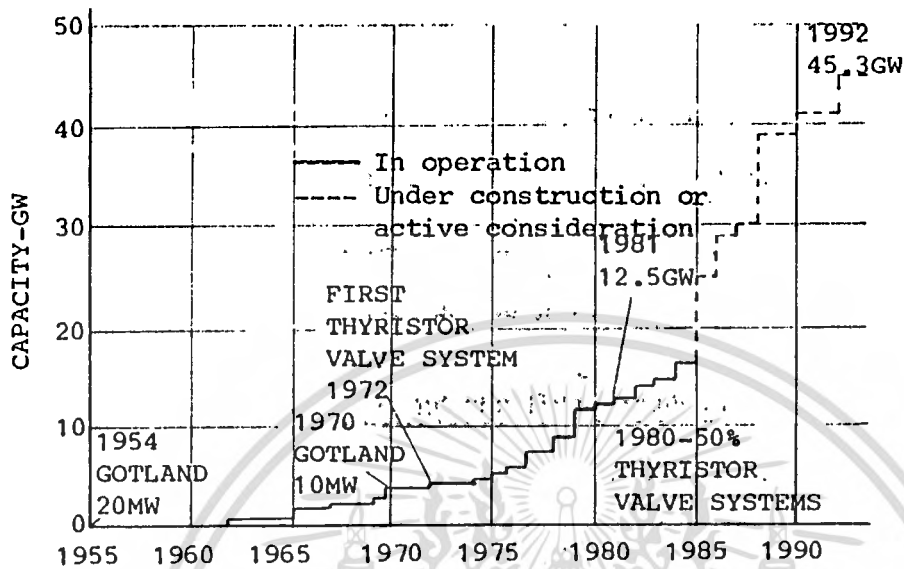
4. ในกรณีของระบบไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดันเดียวกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (the peak value of the equivalence voltage) ผลของ corona loss มีค่าน้อยกว่า ซึ่งผลของ corona จะรบกวนต่อระบบโทรคมนาคม

5. สามารถส่งพลังงานได้มากกว่า
6. โครงสร้างซึ่งใช้ยึดสายส่งราคาถูกลงกว่า
7. สามารถใช้พื้นดินหรือพื้นน้ำเป็นส่วนหนึ่งของระบบได้
8. ไม่มีผลของ skin effect
9. ไม่จำเป็นต้องมี reactive power compensation
10. ไม่ต้องปฏิบัติการในลักษณะ synchronism

ระบบสายส่งกระแสตรงแรงดันสูงมีความไม่เหมาะสมบางประการคือ

1. อุปกรณ์ในการแปลงชนิดของแรงดัน (converters) มีราคาสูง
2. อุปกรณ์ในการแปลงชนิดของแรงดัน (converters) ต้องการ reactive power มาก
3. อุปกรณ์ในการแปลงชนิดของแรงดัน (converters) ทำให้เกิดฮาร์โมนิก จึงมีความจำเป็นต้องใช้ฟิลเตอร์

จากความเหมาะสมดังกล่าวข้างต้น ระบบไฟฟ้าในปัจจุบันจึงมีการติดตั้ง HVDC LINKS ขึ้นเป็นจำนวนมากดังได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.1⁽⁸⁾

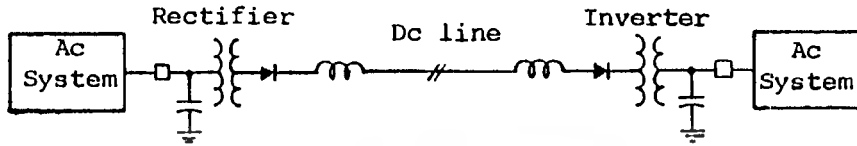


รูปที่ 3.1 การติดตั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

จากลักษณะของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากขึ้น การวิเคราะห์การปฏิบัติการของระบบฯ เป็นสิ่งที่สำคัญมาก ได้มีการค้นคว้าพัฒนาวิธีการคำนวณโหลดโพล์สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงขึ้นหลายวิธี ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนได้เสนอวิธีการคำนวณโหลดโพล์สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาจากการคำนวณโหลดโพล์แบบ Fast Decoupled สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับวิธีการที่พัฒนามีประสิทธิภาพสูงคงจะได้อีกต่อไป

3.2 ทฤษฎีและการแสดงแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

ระบบไฟฟ้ากำลัง รูปที่ 3.2 ประกอบด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 2 ระบบ ถูกเชื่อมต่อกันโดยระบบไฟฟ้ากระแสตรง (HVDC LINKS) ซึ่งประกอบด้วย หน่วยเรกติไฟเออร์ (rectifier unit) สายส่งกระแสตรง (d.c. line) หน่วยอินเวอร์เตอร์ (inverter unit)



รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อระหว่างระบบไฟฟ้ากระแสสลับ
โดยระบบกระแสตรงแรงดันสูง

3.2.1 หน่วยเรกติไฟเออร์ (Rectifier Unit)

หน่วยนี้มีหน้าที่เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงโดยอาศัยการทำงานวงจรบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Bridge Converter Circuit) ลักษณะของ three-phases full-wave controlled rectifier circuit ได้แสดงในรูปที่ 3.3ก รูปที่ 3.3ข. เป็นรูปแบบ (wave form) ของแรงดันโดยที่

$$e_a = E_m \cos(\omega t + 60^\circ) \quad (3.1ก)$$

$$e_b = E_m \cos(\omega t - 60^\circ) \quad (3.1ข)$$

$$e_c = E_m \cos(\omega t - 180^\circ) \quad (3.1ค)$$

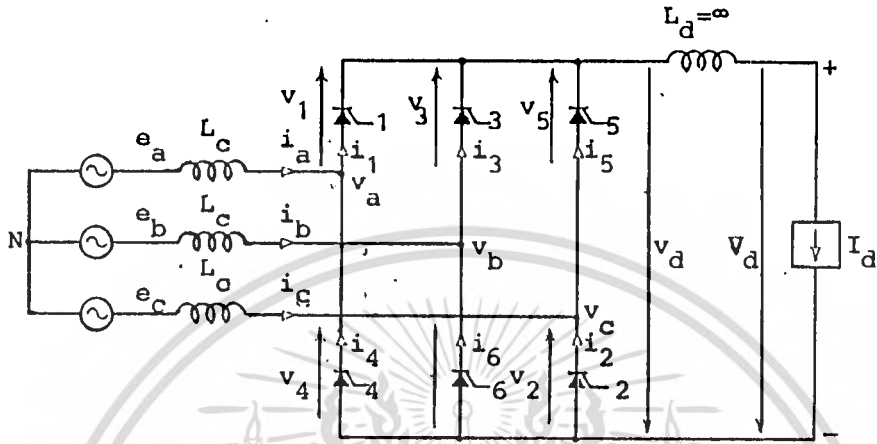
เป็น line-to-neutral voltage

$$e_{ac} = e_a - e_c = \sqrt{3} E_m \cos(\omega t + 30^\circ) \quad (3.2ก)$$

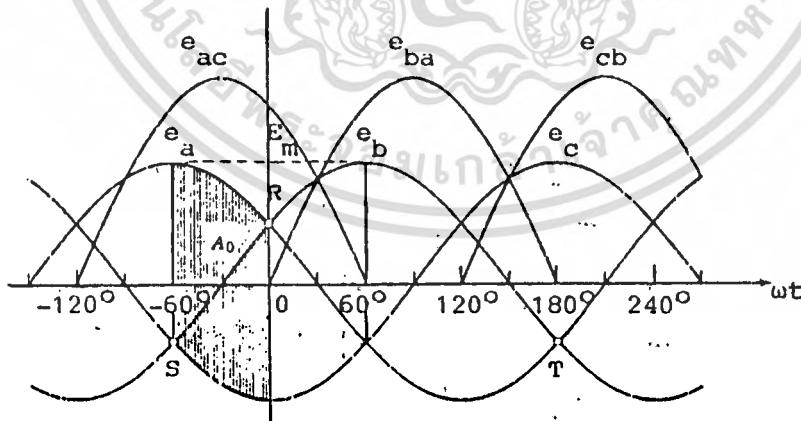
$$e_{ba} = e_b - e_a = \sqrt{3} E_m \cos(\omega t - 90^\circ) \quad (3.2ข)$$

$$e_{cb} = e_c - e_b = \sqrt{3} E_m \cos(\omega t + 150^\circ) \quad (3.2ค)$$

เป็น line-to-line voltage



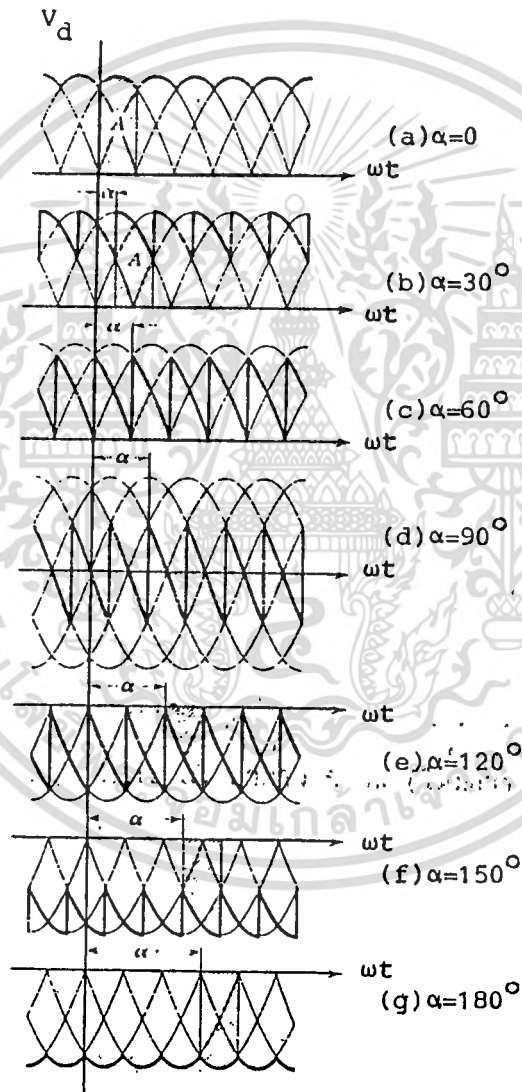
รูปที่ 3.3ก วงจรของ three-phase full-wave controlled rectifier



รูปที่ 3.3ข ลักษณะแรงดันของรูปที่ 3.3ก

7673

วงจรบริจค์คอนเวิรท์เตอร์ รูปที่ 3.3ก จะให้แรงคั่นกระแสตรงออกมาสำหรับมุมนำกระแส (ignition delay angle α) ค่าต่าง ๆ กัน (ไม่มีการโอเวอร์แลป) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แรงคั่นของรูปที่ 3.3ก ที่มีมุมนำกระแสค่าต่าง ๆ

เมื่อทำการวิเคราะห์จะได้

แรงดันกระแสตรงสำหรับมุมนำกระแสเป็นศูนย์ ($\alpha = 0$); v_{d0} เป็น

$$\begin{aligned}
 v_{d0} &= \frac{3}{\pi} A_0 = \frac{3}{\pi} \int_{-\pi/3}^0 e_{ac} d\theta \\
 &= \frac{3}{\pi} \int_{-60^\circ}^0 \sqrt{3} E_m \cos(\theta + 30^\circ) d\theta \\
 &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m \sin(\theta + 30^\circ) \Big|_{-60^\circ}^0 \\
 &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m 2\sin 30^\circ \\
 &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_m \\
 &= \frac{3\sqrt{6}}{\pi} E_{LN} \\
 v_{d0} &= K_1 E_{LN}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

เมื่อให้ $K_1 = \frac{3\sqrt{6}}{\pi}$

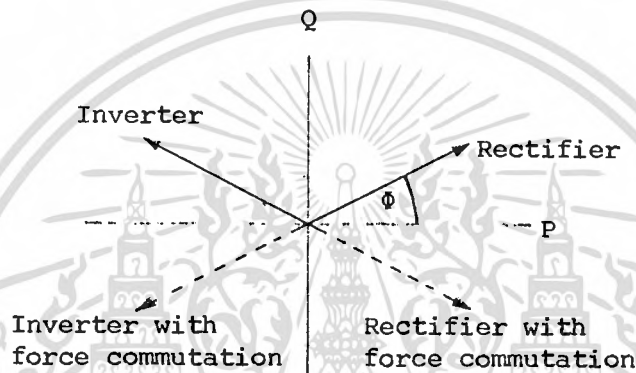
เมื่อกำหนดมุมนำกระแสมีค่าเป็น α เพราะฉะนั้นจะได้ค่า

$$\begin{aligned}
 v_d &= v_{d0} \int_{\alpha-60^\circ}^{\alpha} \cos(\theta + 30^\circ) d\theta \\
 &= v_{d0} (2\sin 30^\circ) \cos \alpha \\
 v_d &= v_{d0} \cos \alpha
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

ในทำนองเดียวกัน $I_{LN} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d$ (3.5)

3.2.2 หน่วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter Unit)

หน่วยนี้มีหน้าที่เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ real และ reactive power ของคอนเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 3.5

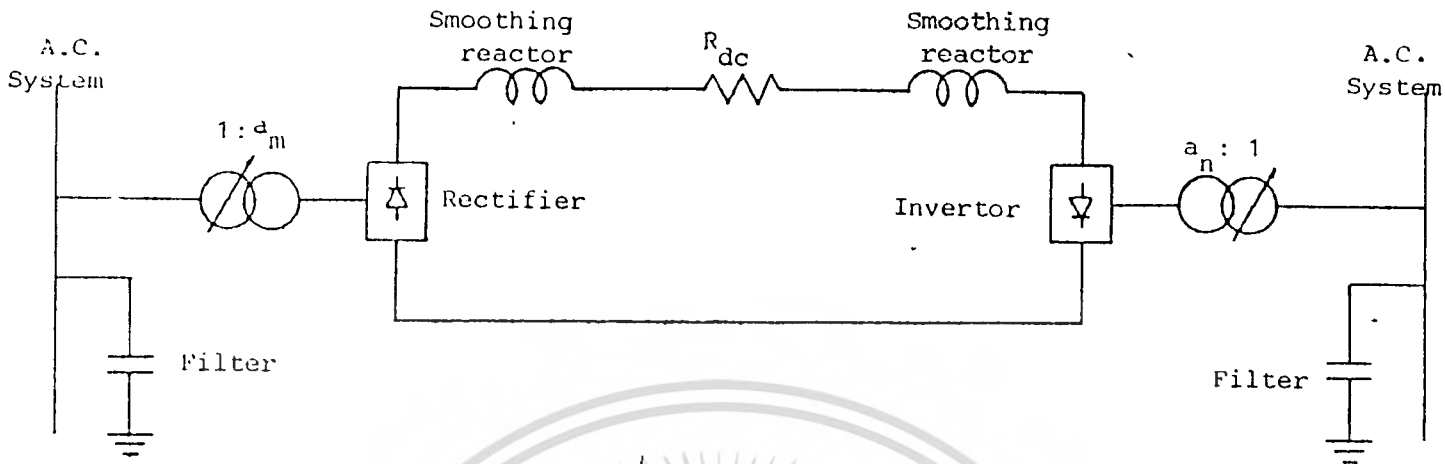


รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง real และ reactive power ของคอนเวอร์เตอร์

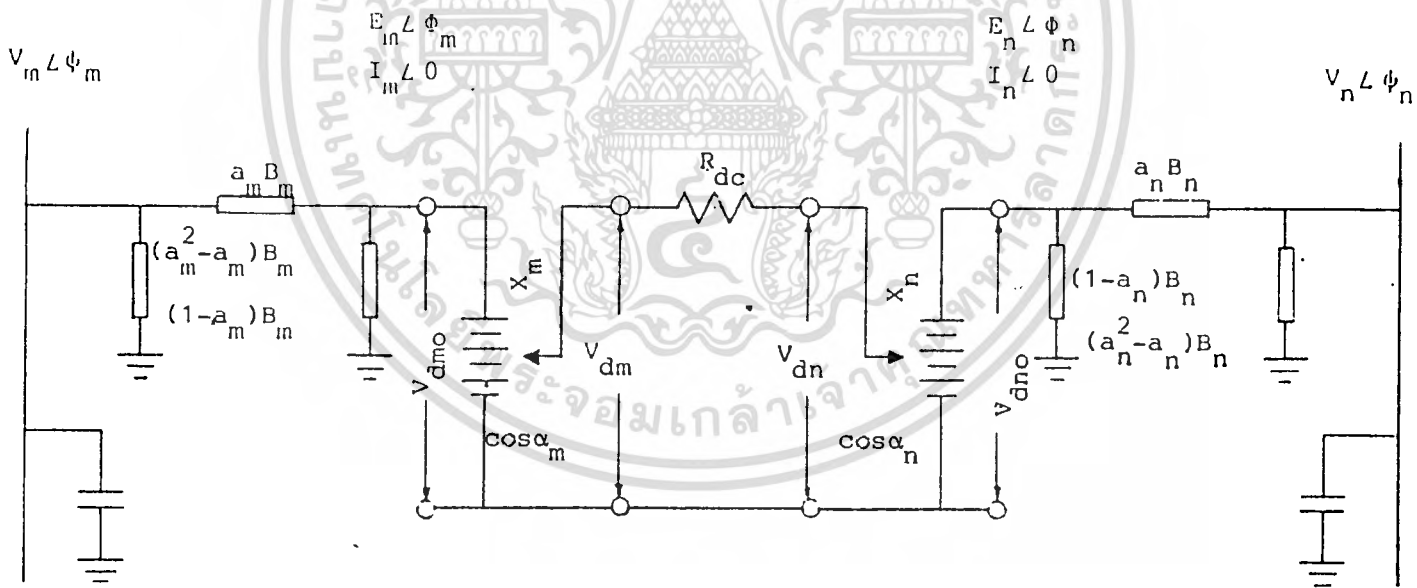
จะเห็นว่า อินเวอร์เตอร์จะทำงานในย่านซึ่งมีค่า real power เป็นลบ ซึ่งลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อแรงดันของคอนเวอร์เตอร์เป็นลบ กล่าวคือ วงจรบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะทำงานที่มุมนำกระแสมีค่ามากกว่า 90° ตามรูปที่ 3.4 ซึ่งจะทำให้สมการ (3.4) มีค่าเป็นลบ

จากทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงระหว่างระบบไฟฟ้ากำลังกระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงโดยวงจรบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ผู้เขียนได้เสนอแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (HVDC LINKS) โดยแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.6 ซึ่งประกอบด้วยหน่วยเรกติไฟเออร์ หน่วยอินเวอร์เตอร์, วงจรกรอง (filter), two winding transformer (on - load tap changing), smoothing reactor และ d.c. transmission line

วงจรเทียบเท่า (equivalence circuit) ของแบบจำลองรูปที่ 3.6 ได้แสดงไว้



รูปที่ 3.6 แบบจำลองของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง



รูปที่ 3.7 วงจรเทียบเท่าของรูปที่ 3.6

ในรูปที่ 3.7 โดย parameter แต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันดังสมการต่อไปนี้

$$V_{dm} = K_1 a_m V_m \cos \phi_m \quad (3.6 \text{ ก})$$

$$V_{dn} = K_1 a_n V_n \cos \phi_n \quad (3.6 \text{ ข})$$

$$V_{dm} = K_1 a_m V_m \cos \alpha_m - K_2 X_m I_d \quad (3.7 \text{ ก})$$

$$V_{dn} = K_1 a_n V_n \cos \alpha_n - K_2 X_n I_d \quad (3.7 \text{ ข})$$

โดยที่ X_m , X_n คือ commutating reactance และ $K_2 = 3/\pi$

$$V_{dm} - V_{dn} = R_{dc} I_d \quad (3.8)$$

เมื่อกำหนดค่า (specified values; sp) จะได้สมการควบคุมคือ

$$V_{dm} = V_{dm}^{sp} \quad (3.9.1)$$

$$V_{dn} = V_{dn}^{sp} \quad (3.9.2)$$

$$\phi_m = \phi_m^{sp} \quad (3.9.3)$$

$$\phi_n = \phi_n^{sp} \quad (3.9.4)$$

$$\alpha_m = \alpha_m^{sp} \quad (3.9.5)$$

$$\alpha_n = \alpha_n^{sp} \quad (3.9.6)$$

$$a_m = a_m^{sp} \quad (3.9.7)$$

$$a_n = a_n^{sp} \quad (3.9.8)$$

$$I_d = I_d^{sp} \quad (3.9.9)$$

$$I_d V_{dm} = p_{dm}^{sp} \quad (3.9.10)$$

$$I_d V_{dn} = p_{dn}^{sp} \quad (3.9.11)$$

สำหรับการพิจารณา per unit system ได้แสดงในภาคผนวก ข.

3.3 การใช้ทฤษฎี Newton Raphson กับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

วิธีคำนวณโหลดไหลสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงได้มีการพัฒนาเป็นเวลานาน การวิเคราะห์โดยอาศัยทฤษฎีวงจรเทียบเท่าของแรงดันและกระแส⁽⁹⁾ (Equivalent-circuit theory of direct voltage and direct current) ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณยุ่งยากใช้เวลาในการคำนวณสูง การวิเคราะห์โดยการพิจารณาให้ HVDC LINKS เป็นแหล่งกำเนิดกระแส (current source) ซึ่งเปลี่ยนแปลงและพุ่งเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ⁽¹⁰⁾

ในขณะที่ Braunagel⁽¹¹⁾ ทำการคำนวณโดยการรวมเอาระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเข้ากับระบบไฟฟ้ากระแสสลับแล้วใช้วิธี Newton Raphson แก้ปัญหา การเข้าหาคำตอบเร็วแต่มีการใช้หน่วยความจำสูงจึงไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร Stott⁽¹²⁾ ได้ทำการวิเคราะห์แยกกันระหว่างระบบทั้ง 2 โดยในการคำนวณโหลดไหลของระบบไฟฟ้ากระแสสลับโดยวิธี Fast Decoupled แล้วจึงคำนวณโหลดไหลของระบบไฟฟ้ากระแสตรง (sequential)

ผู้เขียนได้เสนอวิธีการวิเคราะห์โดยการรวมเอาระบบทั้ง 2 เข้าด้วยกัน แล้วคำนวณโหลดไหลของระบบไฟฟ้ากระแสสลับโดยวิธี Fast Decoupled และโหลดไหลของระบบไฟฟ้ากระแสตรงโดยวิธี Newton Raphson ไปด้วยกัน (simultaneous) ซึ่งข้อดีเด่นของวิธีการจะได้อธิบายต่อไป

จากแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งผู้เขียนได้เสนอในหัวข้อ 3.2 ประกอบด้วยตัวแปรอิสระ (independent variables) 9 ตัว คือ v_{dm} , v_{dn} , ψ_m , ψ_n , α_m , α_n , a_m , a_n , I_d ซึ่งแสดงสถานะของ HVDC LINKS

จากทฤษฎี Newton Raphson ซึ่งได้กล่าวในหัวข้อ 2.2 และสมการของระบบไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งได้กล่าวในหัวข้อ 3.2 จะสามารถเขียน DC Jacobian matrix equations ได้ คือ

$$F = -J_{dc} \cdot \Delta X \quad (3.12)$$

โดยที่ F - the residual vector

J_{dc} - the dc Jacobian matrix

ΔX - the variation of parameter vector

จากสมการ (3.6) - (3.9.11) เมื่อกำหนดค่ามุมนำกระแส แรงดันของ HVDC LINKS และกำลังงานซึ่งส่งผ่าน HVDC LINKS จะเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ (3.12) คือ

$$\begin{aligned}
 F_1 &= V_{dm} - K_1 a_m V_m \cos \phi_m \\
 &= -\Delta V_{dm} - K_1 a_m V_m \sin \phi_m \Delta \phi_m + K_1 V_m \cos \phi_m \Delta a_m \\
 F_2 &= V_{dn} - K_1 a_n V_n \cos \phi_n \\
 &= -\Delta V_{dn} - K_1 a_n V_n \sin \phi_n \Delta \phi_n + K_1 V_n \cos \phi_n \Delta a_n \\
 F_3 &= V_{dm} - K_1 a_m V_m \cos \alpha_m + K_2 X_m I_d \\
 &= -\Delta V_{dm} + K_1 a_m V_m \Delta \cos \alpha_m + K_1 V_m \cos \alpha_m \Delta a_m - K_2 X_m \Delta I_d \\
 F_4 &= V_{dn} - K_1 a_n V_n \cos \alpha_n + K_2 X_n I_d \\
 &= -\Delta V_{dn} + K_1 a_n V_n \Delta \cos \alpha_n + K_1 V_n \cos \alpha_n \Delta a_n - K_2 X_n \Delta I_d \\
 F_5 &= V_{dm} - V_{dn} - R_{dc} I_d \\
 &= -\Delta V_{dm} + \Delta V_{dn} + R_{dc} \Delta I_d \\
 F_6 &= \cos \alpha_m^{sp} - \cos \alpha_m \\
 &= \Delta \cos \alpha_m \\
 F_7 &= \cos \alpha_n^{sp} - \cos \alpha_n \\
 &= \Delta \cos \alpha_n \\
 F_8 &= V_{dn}^{sp} - V_{dn} \\
 &= \Delta V_{dn} \\
 F_9 &= P_{dm}^{sp} - I_d V_{dm} \\
 &= I_d \Delta V_{dm} + V_{dm} \Delta I_d
 \end{aligned}$$

3.4 AC/DC Jacobian matrix equations

จาก AC Jacobian matrix equations ในหัวข้อ 2.2 และ DC Jacobian matrix equations ในหัวข้อ 3.3 สามารถเขียนสมการรวมของระบบทั้งสองคือ AC/DC Jacobian matrix equations

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N & D \\ J & L & E \\ B & C & -J_{dc} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V/V \\ \Delta X \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

เมื่อพิจารณาด้วย Decoupled Principle จะเขียนสมการของ Fast Decoupled AC/DC loadflow ได้ดังนี้

การพัฒนาสมการของ [B']

สมการรวมของ real power mismatch และ dc residual คือ

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ \Delta P_k/V_k \\ \vdots \\ \Delta P_m/V_m \\ \Delta P_n/V_n \\ \vdots \\ F \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & D' \\ & B' & & \\ & & B'_{nm} & \\ & & & B'_{nn} \\ & & & AA' \\ C' & & & -J_{dc} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \vdots \\ \Delta \theta_k \\ \vdots \\ \Delta \theta_m \\ \Delta \theta_n \\ \vdots \\ \Delta X \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

[C'], [D'] มีสมาชิกเป็นศูนย์

เมื่อพิจารณาบัส m ซึ่งมีคอนเวอร์เตอร์ต่ออยู่จะได้

$$P_m = P_m(ac) + P_m(dc)$$

โดยที่

$$P_m(dc) = a_m B_m E_m V_m \sin(\psi_m - \phi_m) \quad (3.15)$$

จะเห็นว่า $P_m(dc)$ ไม่เป็นฟังก์ชันของมุมเฟสของแรงดัน (θ)

$$B_{mm}^* = \frac{\partial P_m/V_m}{\partial \theta} = \frac{\partial P_m(ac)/V_m}{\partial \theta}$$

ในทำนองเดียวกัน บัส n ซึ่งมีคอนเวอร์เตอร์ต่ออยู่จะได้

$$B_{nn}^* = \frac{\partial P_n/V_n}{\partial \theta} = \frac{\partial P_n(ac)/V_n}{\partial \theta}$$

สำหรับ

$$\frac{\partial P_m/V_m}{\partial v_m} = \frac{\partial P_m(ac)/V_m}{\partial v_m} + \frac{\partial P_m(dc)/V_m}{\partial v_m}$$

จากหัวข้อ 2.3

$$\frac{\partial P_m(ac)/V_m}{\partial v_m} = 0$$

$$\frac{\partial P_m(dc)/V_m}{\partial v_m} = a_m B_m E_m \sin(\psi_m - \phi_m)/V_m$$

เนื่องจากผลต่างของมุมเฟสของแรงดัน (phase different) $(\psi_m - \phi_m)$ มีค่าน้อย สามารถตัดทิ้งได้ เพราะฉะนั้น

$$B_{mm}^* = B'_{mm}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$B_{nn}^* = B'_{nn}$$

เพราะฉะนั้น $[B']$ จะไม่เปลี่ยนแปลง สมการ (3.14) เขียนใหม่ได้คือ

เมื่อพิจารณาบัส m ซึ่งมีคอนเวอร์เตอร์ต่ออยู่จะได้

$$Q_m = Q_m(ac) + Q_m(dc)$$

โดยที่

$$Q_m(dc) = a_m^2 B_m V_m^2 - a_m B_m E_m V_m \cos(\phi_m - \phi_m) \quad (3.18)$$

จะเห็นว่า $Q_m(dc)$ เป็นฟังก์ชันของแรงดัน (V) เพราะฉะนั้น

$$B_{mm}''^* = \frac{\partial Q_m / V_m}{\partial V_m} = \frac{\partial Q_m(ac) / V_m}{\partial V_m} + \frac{\partial Q_m(dc) / V_m}{\partial V_m}$$

$$= B_{mm}''(ac) + \frac{\partial Q_m(dc) / V_m}{\partial V_m} \quad (3.19)$$

ในทำนองเดียวกันบัส n ซึ่งมีคอนเวอร์เตอร์ต่ออยู่จะได้

$$B_{nn}''^* = \frac{\partial Q_n / V_n}{\partial V_n} = B_{nn}''(ac) + \frac{\partial Q_n(dc) / V_n}{\partial V_n} \quad (3.20)$$

สำหรับ

$$\frac{\partial Q_m / V_m}{\partial \theta_m} = \frac{\partial Q_m(ac) / V_m}{\partial \theta_m} + \frac{\partial Q_m(dc) / V_m}{\partial \theta_m}$$

$$= 0$$

ทำนองเดียวกัน

$$\frac{\partial Q_n / V_n}{\partial \theta_n} = 0$$

เพราะฉะนั้น จะได้ Fast Decoupled AC/DC loadflow equations คือสมการ

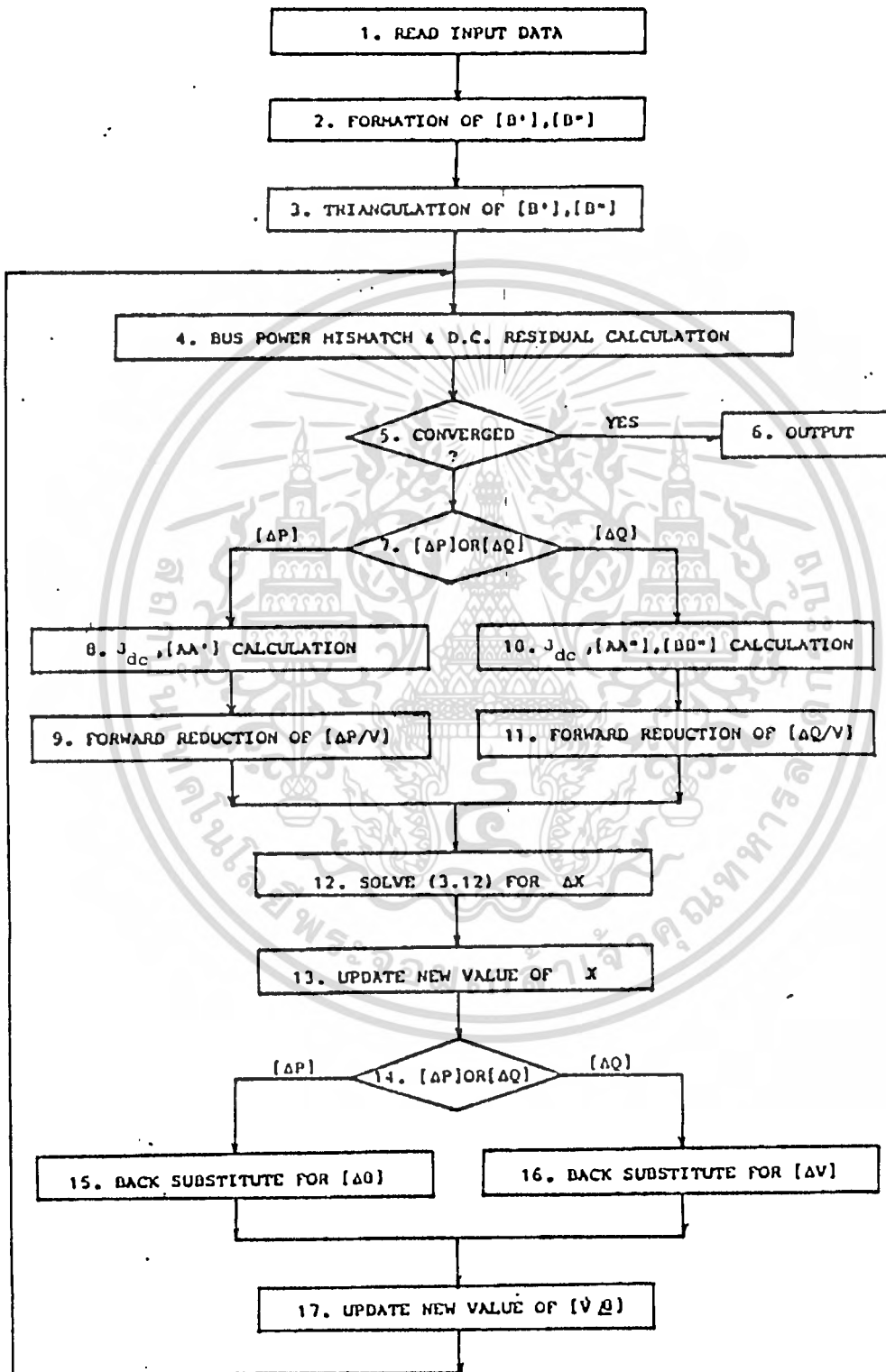
(3.16) และสมการ (3.17) ตามลำดับ

สำหรับ $[AA']$, $[AA'']$, $[BB'']$ แสดงในภาคผนวก ข

3.5 ขั้นตอนหลักในการคำนวณลักษณะโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ของวิธี Fast Decoupled AC/DC loadflow

ขั้นตอนในการคำนวณของโปรแกรมได้แสดงในแผนผังรูปที่ 3.8 มีรายละเอียดของขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การอ่านข้อมูลของระบบที่ทำการคำนวณเข้ามาก่อน
2. การฟอร์ม Jacobian แมทริกซ์ $[B']$, $[B'']$
3. การ Triangulate แมทริกซ์ $[B']$, $[B'']$
4. การคำนวณ real และ reactive power mismatch และการคำนวณ d.c. residual
5. การตรวจสอบค่า mismatch ในข้อ 4
6. การแสดงผล (output solutions) ที่คำนวณได้ เมื่อค่า mismatch และ d.c. residual ที่ได้อยู่ในระดับที่ต้องการ
7. การตรวจสอบค่า mismatch ซึ่งยังไม่อยู่ในระดับที่ต้องการ
8. การคำนวณแมทริกซ์ J_{dc} , $[AA']$
9. การทำ Forward reduction ของ $[\Delta P/V]$
10. การคำนวณแมทริกซ์ J_{dc} , $[AA'']$, $[BB'']$
11. การทำ Forward reduction ของ $[\Delta Q/V]$
12. การแก้สมการ (3.12) เพื่อหาค่า Δx
13. การคำนวณค่าตัวแปร x ที่ถูกเปลี่ยนแปลง
14. การตรวจสอบค่า mismatch ซึ่งยังไม่อยู่ในระดับที่ต้องการ
15. การทำ Back-substitute เพื่อหาค่า $[\Delta \theta]$
16. การทำ Back-substitute เพื่อหาค่า $[\Delta V]$
17. การคำนวณค่าแรงดันที่ถูกเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.8 แผนผังของ Fast Decouple AC/DC loadflow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สรุป

ผู้เขียนได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมการ Jacobian แมทริกซ์ของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง การพัฒนาการคำนวณโพลีโพลีของระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงได้ถูกกระทำจากแบบจำลองฯ และสมการฯ ซึ่งได้เสนอบนวิธีการ Fast Decoupled loadflow

วิธีการซึ่งได้พัฒนามีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีคุณสมบัติของการคำนวณโพลีโพลีโดยวิธี Fast Decoupled สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (หัวข้อ 2.3.2) ทุกประการแล้ว dc Jacobian แมทริกซ์มีลักษณะเป็นสมการซึ่งไม่ลิเนียร์ (non-linear equations) มีการเข้าหาคำตอบเป็นแบบ quadratic จึงส่งผลกระทบต่อกรคำนวณทั้งระบบน้อยมาก ซึ่งจะเห็นได้ชัดในบทซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ (บทที่ 5)

บทที่ 4

การใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ฯ

4.1 บทนำ

เทคนิคทางคอมพิวเตอร์ซึ่งถูกใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการคำนวณโหลดโพล์ โดยวิธี Fast Decoupled ได้ถูกแสดงในบทนี้ โดยการใช้เทคนิคที่เรียกว่า Linknet structure⁽¹³⁾ สร้างตัวแปร (variables) ซึ่งเป็นจำนวนเต็ม (integer) ในการแสดงโครงสร้าง (network) ของระบบไฟฟ้า

การจัดลำดับในการทำ network's triangulation โดยการใช้เทคนิคที่เรียกว่า semi-optimal dynamically ordered triangulation^{(13),(14)} เพื่อรักษาคุณสมบัติของ sparse (มีสมาชิกเป็นศูนย์มาก) แมทริกซ์ ผลลัพธ์ก็คือมีการใช้หน่วยความจำที่น้อย ขั้นตอนในการคำนวณลดลง เวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลง ประสิทธิภาพของวิธีการเพิ่มขึ้น

4.2 การใช้ Linknet structure เพื่อแสดงโครงสร้างของระบบไฟฟ้า

Linknet structure เป็นเทคนิคการบ่งชี้ตำแหน่งโครงสร้างของระบบไฟฟ้า โดยการใช้พื้นที่ตัวแปรจำนวนเต็ม (integer) กำหนดลำดับของสายส่งและบัสในระบบมีการจัด Table of Location แก่ข้อมูล กล่าวคือ

ตัวแปรจำนวนเต็มจะถูกกำหนดไว้สำหรับลำดับของบัส และลำดับของสายส่งที่ต่อระหว่างบัสแต่ละคู่ในระบบ โดยความเกี่ยวเนื่องของตัวเลขจำนวนเต็มที่สอดคล้องกับโครงสร้าง ตัวเลขจะถูกบันทึกเนื่องจากจุดเริ่มต้นของบัสและข้อมูล รวมทั้งลำดับต่อ ๆ ไปจนถึงจุดสุดท้ายซึ่งขึ้นกับจุดปลายของแต่ละสายส่ง จุดปลายของแต่ละสายส่งจะมีคาบงบอกตำแหน่ง (ตัวแปร END) และจะมีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชันคณิตศาสตร์ กับลำดับของสายส่ง (ตัวแปร BRANCH) คือ

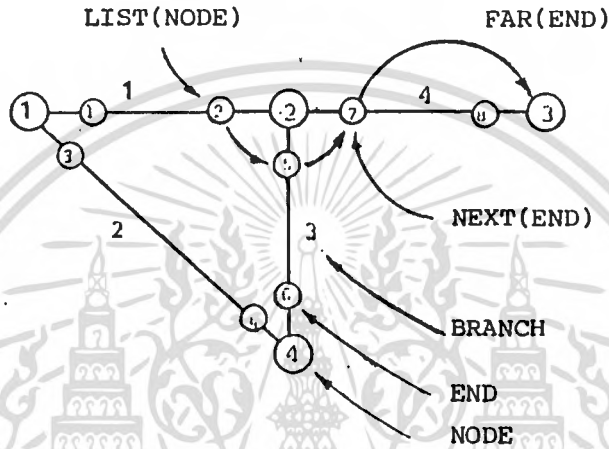
$$\text{END} = f(\text{BRANCH})$$

$$\text{BRANCH} = g(\text{END}) = \frac{\text{END} + 1}{2}$$

$$\text{END} = 2 * \text{BRANCH} - 1 \quad (\text{สำหรับปลายแรกของสาย})$$

$$2 * \text{BRANCH} \quad (\text{สำหรับปลายที่สองของสาย}) \quad (4.1)$$

และตัวแปรสำหรับขยายการนับค่า END จะบันทึกต่อไปในตัวแปร NEXT และสำหรับการบอกบัสตรงข้ามจะใช้ตัวแปร FAR รูปลักษณะ network โดย Linknet structure จะแสดงไว้ในรูปที่ 4.1

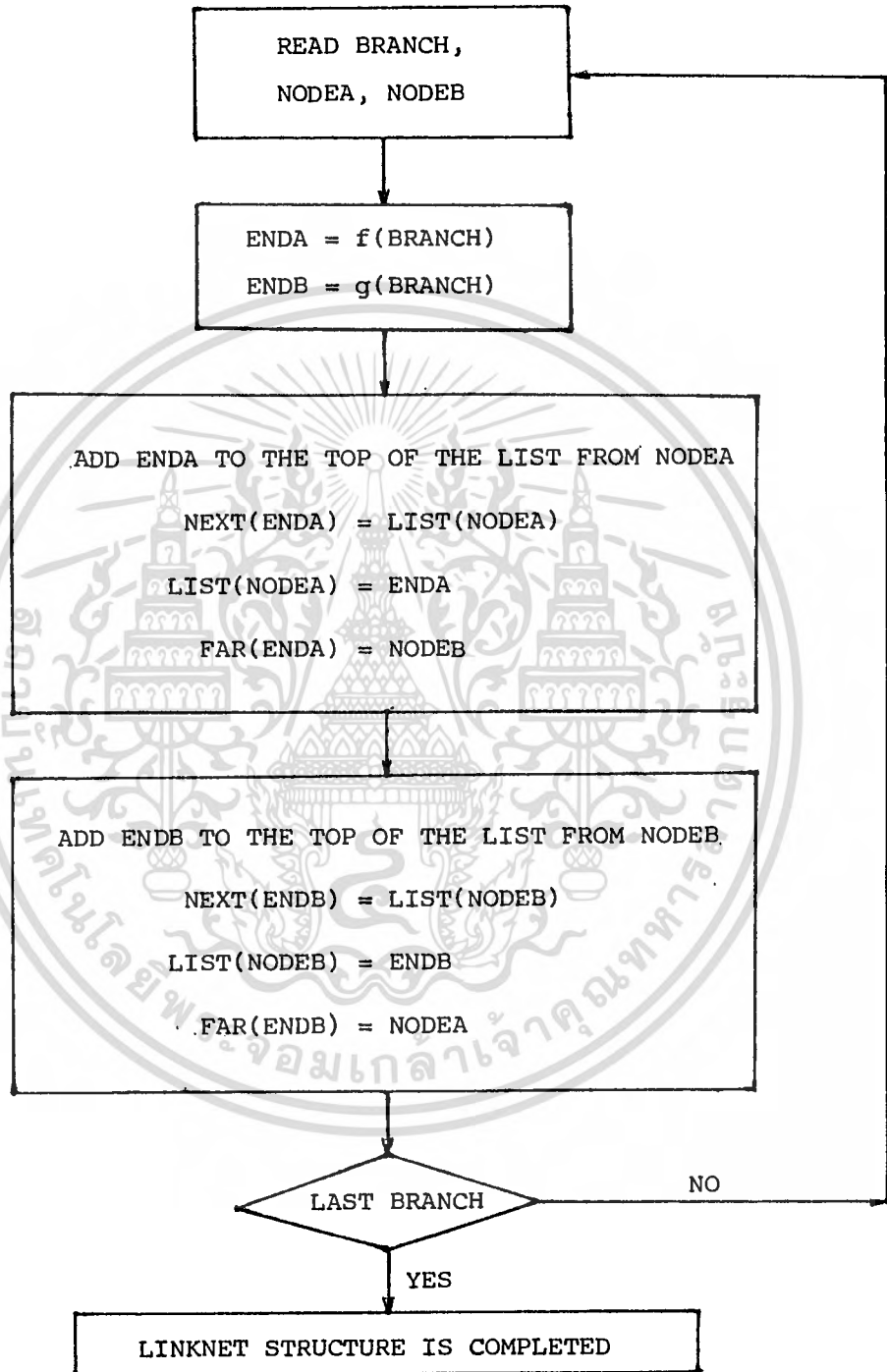


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะ node ของ network และ END จากความสัมพันธ์

รูปที่ 4.2 แสดงการนับที่ NODE 2 และรูปที่ 4.3 แสดงแผนผังการเก็บค่าสมาชิกของแมทริกซ์ โดย Linknet structure

NODE	LIST(NODE)	END	NEXT(END)	FAR(END)
1	1	1	3	2
2	2	2	5	1
3	8	3	0	4
4	4	4	6	1
		5	7	4
		6	0	2
		7	0	3
		8	0	2

รูปที่ 4.2 แสดงการนับที่ node 2



รูปที่ 4.3 LINKNET STRUCTURE ที่ใช้เก็บค่า Admittance matrix

4.3 การใช้ sparse technique เพื่อลดการใช้หน่วยความจำ

4.3.1 Matrix triangulation

ในการแก้สมการของ Fast Decoupled loadflow จากหัวข้อ 2.3.1 คือ

$$[\Delta P/V] = [B'][\Delta \theta]$$

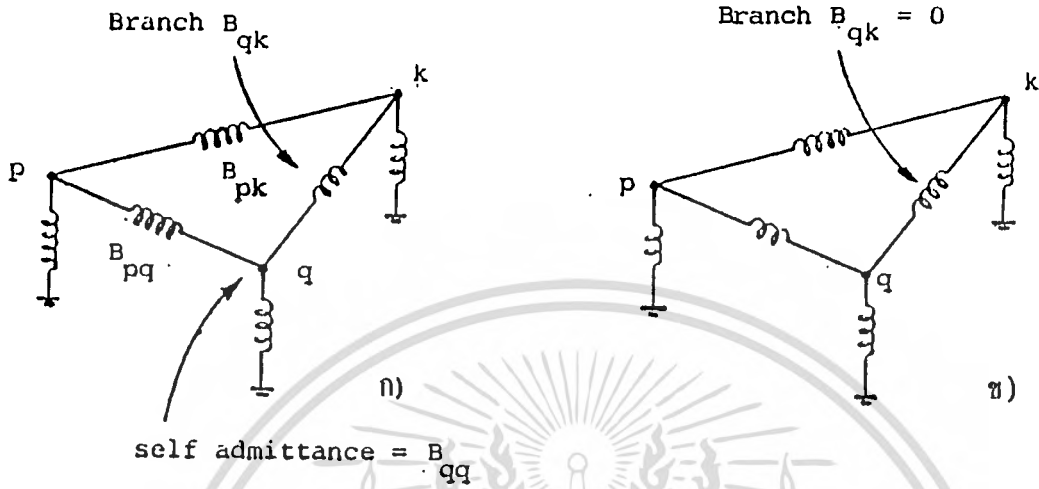
$$[\Delta Q/V] = [B''][\Delta V]$$

โดยการใช้ matrix triangulation กับ $[B']$, $[B'']$ ซึ่งก็คือ $[-B]$ สมาชิกของ $[B]$ เกิดจากสายส่งมีค่าแอดมิตแตนซ์เท่ากับ B_{pq} (สายส่งเชื่อมโยงระหว่างบัส p ไปยังบัส q) จากค่านี้ค่าสแอดมิตแตนซ์ซึ่งเป็น mutual จาก column p -row q (หรือ column q -row p เนื่องจากการ symmetry ของแมทริกซ์) จะมีค่าเท่ากับ $-B_{pq}$ นี้ ส่วนสมาชิกในแนวทแยงมุมที่ตำแหน่ง p และ q ในแมทริกซ์ จะถูกพิจารณาบวกค่าเข้ากับแอดมิตแตนซ์เดิมด้วยค่า B_{pq} ดังนั้นลักษณะของบัสคู่ใด ๆ ที่ไม่มีสายต่อกัน จึงไม่มีสมาชิกระหว่างบัสทั้งสองในแมทริกซ์นั้นด้วย คุณสมบัติอันนี้ทำให้ $[B]$ มีสมาชิกซึ่งมีค่าเป็นศูนย์อยู่เป็นจำนวนมาก สำหรับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่แล้ว อัตราส่วนของจำนวนสายส่งต่อจำนวนบัสจะไม่เกิน 1.5 (15)

พิจารณาตัวอย่างระบบไฟฟ้าที่มีบัสอยู่เป็น 3 บัสคือ p , q และ k แล้วทำการตัดบัส p ออกจากแมทริกซ์ (เพื่อหา equivalent ที่เหลือมองจากบัส q และ k) จะวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นสองลักษณะ ซึ่งรูปแสดงระบบที่จะศึกษาดังกล่าวสองแบบ แสดงในรูปที่ 4.4 ก และ ข และจะอธิบายแยกกันไว้เป็นข้อ ๆ ตามลำดับ

กรณีของระบบที่ต่อกันหมดด้วยสายส่ง

จากรูปที่ 4.4 ก จะแสดงระบบในกรณีแรกนี้ บัส p , q และ k จะมีสายส่งต่อกันเป็นคาสมาชิกของ $[B]$ คือ B_{kq} , B_{kp} , B_{pk} และมีค่า admittance to reference คือ B_{kk} , B_{qq} , B_{pp} เราจะใช้ $[B]$ ดังนี้



รูปที่ 4.4 ระบบตัวอย่างง่าย ๆ สองแบบที่นำมาพิจารณาในการศึกษา

p	$(B_{pp} + B_{pq} + B_{pk})$	$-B_{pq}$	$-B_{pk}$	(4.2)
q	$-B_{qp}$	$(B_{qq} + B_{qp} + B_{qk})$	$-B_{qk}$	
k	$-B_{kp}$	$-B_{kq}$	$(B_{kk} + B_{kp} + B_{kq})$	

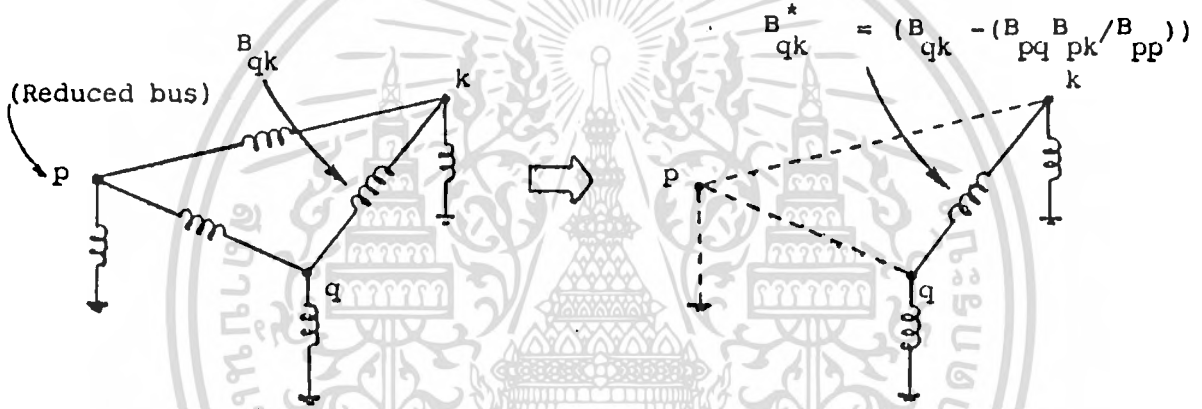
และการ reduction bus-p จะกระทำโดยสมการ (4.2) ได้ $[B^*]$ (เครื่องหมาย * ที่ใช้สำหรับค่าใหม่ที่ได้)

	q	k
$[B^*] =$	q	k
	B_{qq}^*	B_{qk}^*
	k	k
	B_{kq}^*	B_{kk}^*

โดยที่

$$\begin{aligned}
 B_{qq}^* &= (B_{qq} - B_{pq} \cdot B_{qp} / B_{pp}) \\
 B_{kk}^* &= (B_{kk} - B_{pk} \cdot B_{kp} / B_{pp}) \\
 B_{kq}^* &= B_{qk}^* = (B_{kq} - B_{pq} \cdot B_{kp} / B_{pp}) \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

ซึ่งลักษณะการ triangulation-reduction ทำให้บัส p หายไปจากระบบและค่าของ self และ mutual elements ที่บัส q และ k เปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 4.5



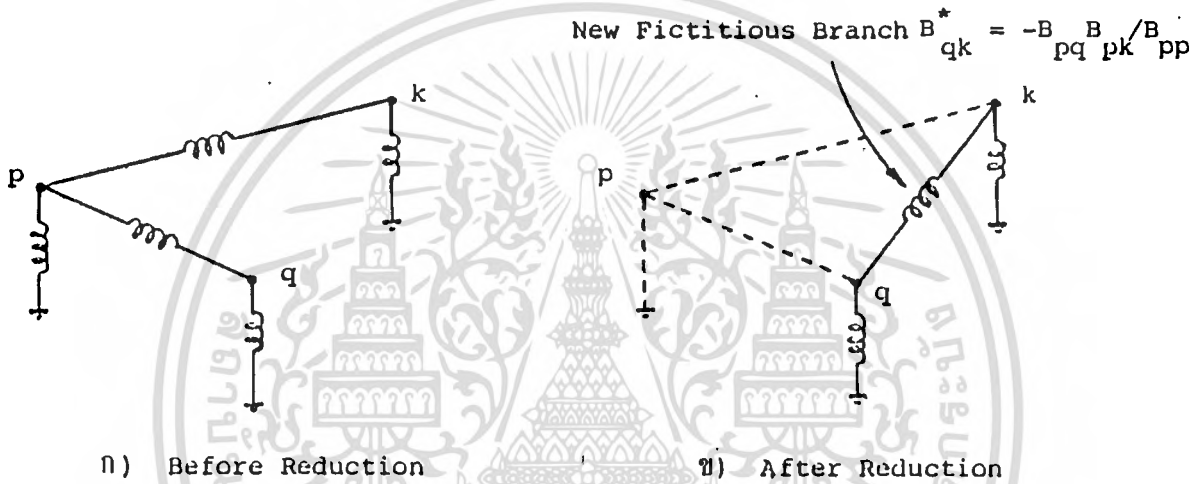
รูปที่ 4.5 แสดงผลของการ Reduction ซึ่งให้ Network equivalent ใหม่

กรณีที่ระบบไม่ได้ต่อกันหมด

ผลของการ reduction จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนขึ้น เพราะการเกิดของ branch (line) ใหม่ระหว่างบัส q และ k ในรูปที่ 4.4 ข ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบที่ทำให้เราเกิดความคิดในการจัดลำดับการ triangulation matrix อย่างเหมาะสมจะเห็นว่าในกรณีแรกนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าของ mutual elements ใน [B] มีค่าคือ

$$\begin{aligned}
 B_{kq}^* &= B_{kq} - (B_{pq} \cdot B_{kp}) / B_{pp} \\
 \Delta B_{kq} &= -B_{pq} \cdot B_{kp} / B_{pp} \quad (4.4)
 \end{aligned}$$

ในกรณีที่ระบบไม่มีสายส่งอยู่ระหว่างบัส q และ k นั้น จะมีค่า $B_{kq} = 0$ และค่าของ B_{kq}^* จะมีค่าเท่ากับ $(-B_{pq} \cdot B_{kp} / B_{pp})$ ซึ่งเมื่อพิจารณา mutual admittance เป็นค่าลบของ ค่า admittance ของสายส่งจริง ๆ จะสามารถแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.6 โดยมีสายส่ง (line) ระหว่าง k และ q เกิดขึ้น



รูปที่ 4.6 แสดงผลของการ Reduction ซึ่งเพิ่มสายส่งในระบบ

4.3.2 Ordering triangulation to preserve sparsity

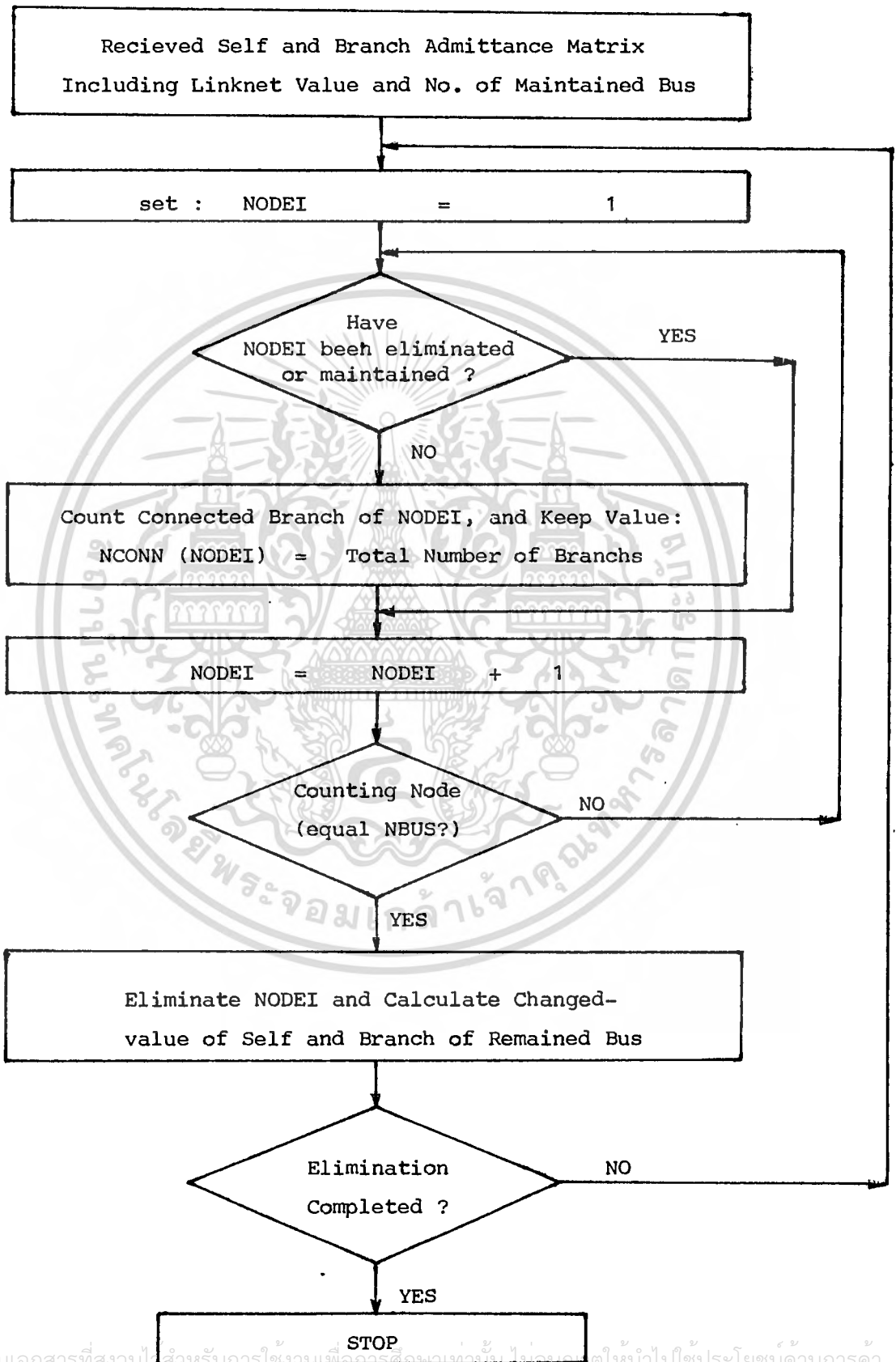
ในการทำ matrix triangulation แต่ละครั้ง การเปลี่ยนแปลงของสายส่ง (line) ในระบบที่เกิดขึ้นใหม่จะถูกวิเคราะห์ วิธีการที่จะคำนวณต่อสมาชิกแต่ละตัวในแมทริกซ์จะต้องหาทางหลักเลี่ยงการคำนวณกับค่าที่เป็นศูนย์ และสามารถทำนายล่วงหน้าของผลที่จะเกิดจากการ triangulation ซึ่งความคิดในการจัดอันดับที่จะคำนวณก่อนหรือหลัง ต้องตัดสินใจว่าจะต้องให้ผลที่ดีที่สุด จำเป็นต้องอาศัยลักษณะ Optimal Ordering Triangulation (OOT) ในการเข้าสมการทางระบบแมทริกซ์

การใช้วิธีวิเคราะห์ผลของ network ก่อนที่จะทำการคำนวณและแยกกรณีที่จะก่อให้เกิดผลคือออกมา การศึกษาที่กระทำได้ทำการหลักเลี่ยงการใช้ (OOT) โดยตรง เนื่องจากความยุ่งยาก

ในการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์เชิง Semi-optimal ordering triangulation จะกระทำจากการใช้ผลประโยชน์ของระบบ Linknet ทำให้เราสามารถเลือกตำแหน่งบัสแรกใน network ที่ควรจะทำ การ reduction ออกจากแมทริกซ์ จากหัวข้อ 4.3.1 จะเห็นว่าบัสใดในแมทริกซ์ที่มีสายต่ออยู่น้อยที่สุด จะมี mutual elements ใน column และ row น้อยที่สุด ซึ่งถ้าเราเลือกบัสนั้นมาคำนวณตัดออกจากแมทริกซ์ จะไม่ทำให้เกิดสายส่ง (line) ใหม่ ๆ ขึ้นมามากในระบบ คุณลักษณะของ linknet structure ทำให้เราสามารถนับจำนวนสายส่งทั้งหมดของแต่ละบัสมาได้ง่าย ๆ เพื่อเปรียบเทียบตามที่กล่าวและแสดงลำดับวิธีไว้ในแผนผังรูปที่ 4.7





4.4 สรุป

จากคอมพิวเตอร์เทคนิคที่กล่าวถึงในบทนี้ โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณโพลกโพลวโดยวิธี Fast Decoupled ได้ถูกเขียนขึ้นมาอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ มีการใช้หน่วยความจำน้อย เพราะมีการรักษาคุณสมบัติของ sparse matrix ไว้ ผลลัพธ์ที่ตามมาคือ ขั้นตอนในการคำนวณที่ลดลงและเวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลง



บทที่ 5

ระบบที่ทำการศึกษาระบบไฟฟ้าและผลการวิเคราะห์

5.1 บทนำ

ในบทนี้ได้แสดงถึงการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรง โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (ภาคผนวก ค) ที่ถูกเขียนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วยการคำนวณโหลดโพลาร์ของระบบไฟฟ้ากำลัง การคำนวณค่าสถานะของระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังให้ทำงานได้ตามความต้องการ

5.2 ข้อมูลที่ต้องการ

ข้อมูลที่ต้องการประกอบด้วยข้อมูลซึ่งแสดงลักษณะ (characteristic) ความสัมพันธ์ (relation) ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรง

5.2.1 ข้อมูลระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

1) ข้อมูลบัส

- ชนิดของบัส
- ระดับแรงดัน (p.u.)
- การผลิตกำลังงาน (MW, MVAR)
- การจ่ายกำลังงานต่อโหนดซึ่งต่ออยู่ (MW, MVAR)

2) ข้อมูลสายส่ง

- จุดต้นและจุดปลายของสายส่ง
- ความต้านทานของสายส่ง (p.u.)

3) ข้อมูลของหม้อแปลง

- จุดต้นและจุดปลายของหม้อแปลง
- ความต้านทานของหม้อแปลง (p.u.)
- อัตราส่วนขลวดหม้อแปลง

5.2.2 ข้อมูลระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

1) ข้อมูลคอนเวอเตอร์

- ขอบเขตของระดับแรงดัน (KV)
- ขอบเขตของระดับกระแส (A)
- ความต้านทานเทียบเท่า commutating (p.u.)
- ความต้านทานของหม้อแปลง (p.u.)
- ขอบเขตของการปรับชดเชยของหม้อแปลง (percent)
- ขอบเขตของมุมนำกระแส (degree)
- ความต้านทานของฟิลาเตอร์ (p.u.)
- จำนวนของวงจรบริดจ์ซึ่งต่ออนุกรม

2) ข้อมูลของสายส่ง

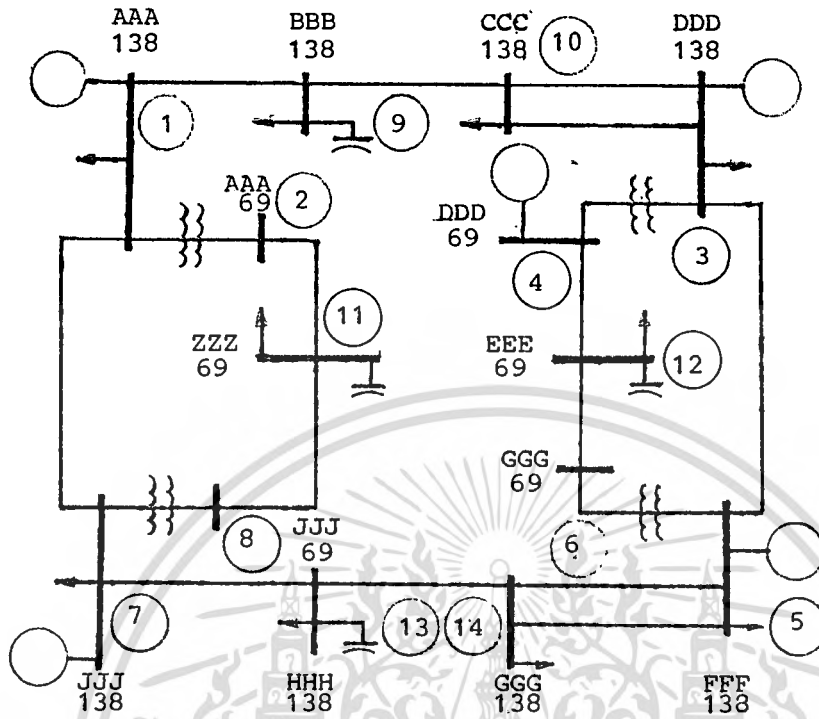
- จุดต้นและจุดปลายของสายส่ง
- ความต้านทานของสายส่ง (p.u.)

3) ข้อมูลของการควบคุม

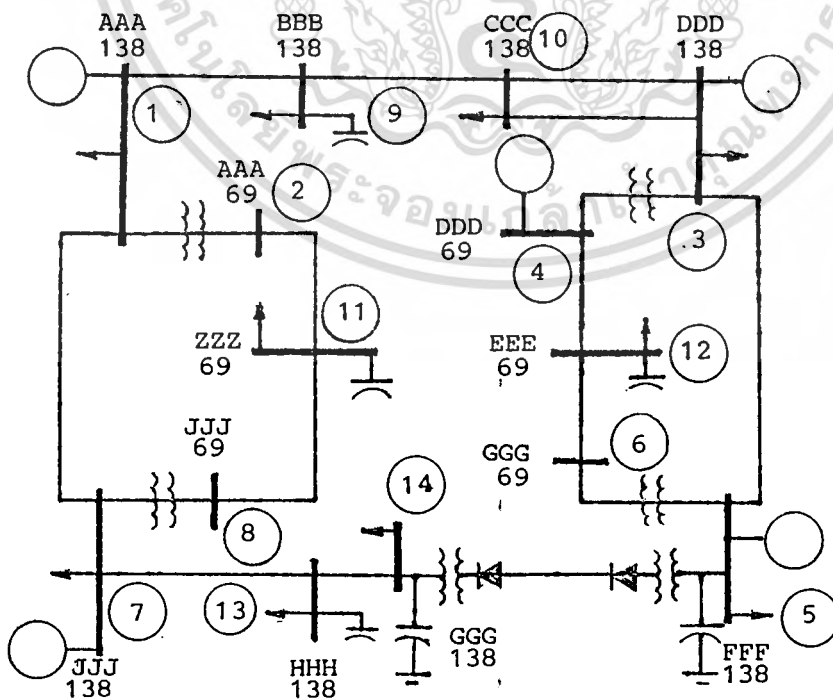
- ระดับแรงดันที่ต้องการควบคุม (KV)
- มุมนำกระแสที่ต้องการควบคุม (degree)
- การปรับชดเชยของหม้อแปลงที่ต้องการควบคุม (percent)
- ขนาดของกำลังงานที่ส่งที่ต้องการควบคุม (MW)

5.3 ระบบ 14 บัส

ระบบนี้ถูกดัดแปลงจากระบบไฟฟ้ากำลังในเอกสารอ้างอิงที่ 15 ซึ่งเดิมเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (รูปที่ 5.1) ผู้เขียนได้ดัดแปลงให้สายส่งระหว่างบัส 5 กับบัส 14 เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (รูปที่ 5.2) และได้แสดงผลการวิเคราะห์ที่เปรียบเทียบทั้ง 2 กรณี



รูปที่ 5.1 ระบบไฟฟ้าจากเอกสารอ้างอิงที่ 15



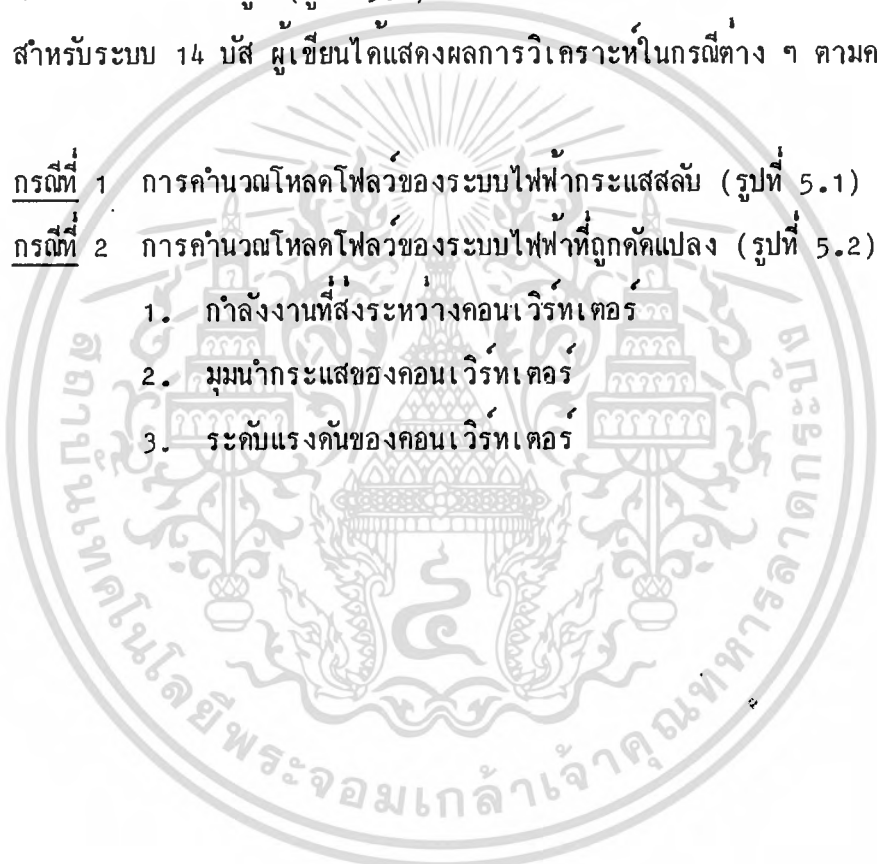
รูปที่ 5.2 ระบบไฟฟ้าที่ดัดแปลงเพื่อใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 การเตรียมข้อมูล

ในกรณีของระบบ 14 บัส ผู้เขียนได้ทำการคำนวณโหลดโพลีของระบบไฟฟ้ากำลังเดิม (รูปที่ 5.1) เพื่อจะหาข้อมูลกำลังงานซึ่งต้องการส่งระหว่างบัส 5 และบัส 14 จากข้อมูลดังกล่าว ใช้เป็นตัวกำหนดการควบคุม (specified control) สำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าการแสสลับ และระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (รูปที่ 5.2)

สำหรับระบบ 14 บัส ผู้เขียนได้แสดงผลการวิเคราะห์ในกรณีต่าง ๆ ตามความเหมาะสม คือ

- 
- กรณีที่ 1 การคำนวณโหลดโพลีของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (รูปที่ 5.1)
- กรณีที่ 2 การคำนวณโหลดโพลีของระบบไฟฟ้าที่ถูกดัดแปลง (รูปที่ 5.2) โดยควบคุม
1. กำลังงานที่ส่งระหว่างคอนเวอเตอร์
 2. มุมนำกระแสของคอนเวอเตอร์
 3. รัศมีแรงดันของคอนเวอเตอร์

R U S - D A T A

BUS	NAME	TYPE	VOLTS	MW	MVAR	GENERATION MW	MINIMUM MVAR	MAXIMUM MVAR	SHUNT SUSCEPTANCE
1	AAA138	1	1.0200	100.000	50.000	200.000	0.000	100.000	0.000
2	AAA638	0	1.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	DDD138	0	1.0000	100.000	50.000	200.000	0.000	0.000	0.000
4	DDD69	1	1.0200	0.000	0.000	0.000	56.200	0.000	0.000
5	FFF138	1	1.0200	100.000	50.000	200.000	0.000	100.000	0.000
6	FFF69	0	1.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	JJJ138	1	1.0000	100.000	50.000	200.000	0.000	100.000	0.000
8	JJJ69	0	1.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	BBB	1	1.0750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	CCC	0	1.0000	50.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	ZZZ	1	0.9310	50.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	HHH	1	0.9280	25.000	12.500	0.000	0.000	0.000	0.000
13	GGG	1	0.9880	50.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	GGG	0	1.0000	50.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000

L I N E - D A T A

BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	SUSCEPTANCE	LINE-RATED
7	JJJ138	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
9	BBB	0.06700	0.20000	0.04200	100.00000
11	ZZZ	0.35000	0.22000	0.00700	100.00000
12	HHH	0.35000	0.22000	0.00700	100.00000
13	GGG	0.35000	0.22000	0.00700	100.00000
14	GGG	0.35000	0.22000	0.00700	100.00000
15	HHH	0.35000	0.22000	0.00700	100.00000
16	ZZZ	0.35000	0.22000	0.00700	100.00000
17	GGG	0.35000	0.22000	0.00700	100.00000
18	HHH	0.35000	0.22000	0.00700	100.00000
19	BBB	0.35000	0.22000	0.00700	100.00000

T R A N S F O R M E R - D A T A

BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	TAP	CODE	LINE-RATED
2	AAA69	0.00000	0.21000	0.990	1	100.00000
3	DDD69	0.00000	0.21000	0.990	1	100.00000
6	FFF69	0.00000	0.12000	1.000	0	100.00000
8	JJJ69	0.00000	0.12000	1.000	0	100.00000

CONVERTER - DATA									
BUS- NAME	VDCS	VMIN	VMAX	AMPMAX	VDC	PDC	FIRMIN	FIRMAX	BUS NAME
5 FFF138	200.000	150.000	250.000	500.000	230.000	97.400	7.000	100.000	14 GGG
14 GGG	200.000	150.000	250.000	500.000	-230.000	-97.400	10.000	100.000	5 FFF138

CONTROL TRANSFORMER - DATA					
BUS NAME	COMMX	TREMX	TAPMIN	TAPMAX	TAPING FILTERX
5 FFF138	0.126	0.126	-15.000	15.000	1.150 2.100
14 GGG	0.072	0.072	-15.000	15.000	1.670 1.590

การควบคุมคอนเวอร์เตอร์ของระบบ 14 บัส กรดที่ 2

CONTROL - SPECIFICATION					
BUS NAME	VOLTS	AMPS	NH	DEGS	TAP
5 FFF138	0.00	0.00	97.40	7.00	0.00
14 GGG	-230.00	0.00	0.00	10.00	0.00



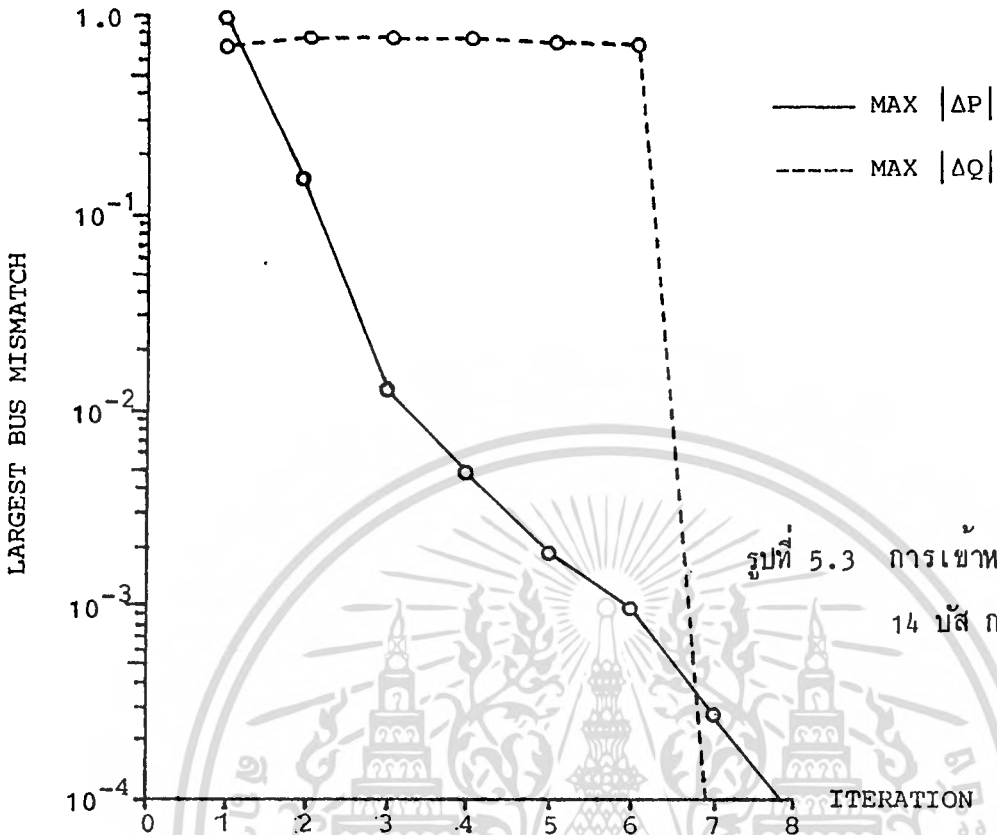
5.3.2 ผลการวิเคราะห์

การเข้าหาค่าตอบ (converging) และผลการคำนวณโหลดโพล์โดยกำหนดให้มีค่าความผิดพลาดสูงสุดของกำลังที่บัส (maximum bus power mismatch) น้อยกว่า 0.01 MW/MVAR ของกรณีทั้ง 2 ได้ถูกแสดงตามลำดับ

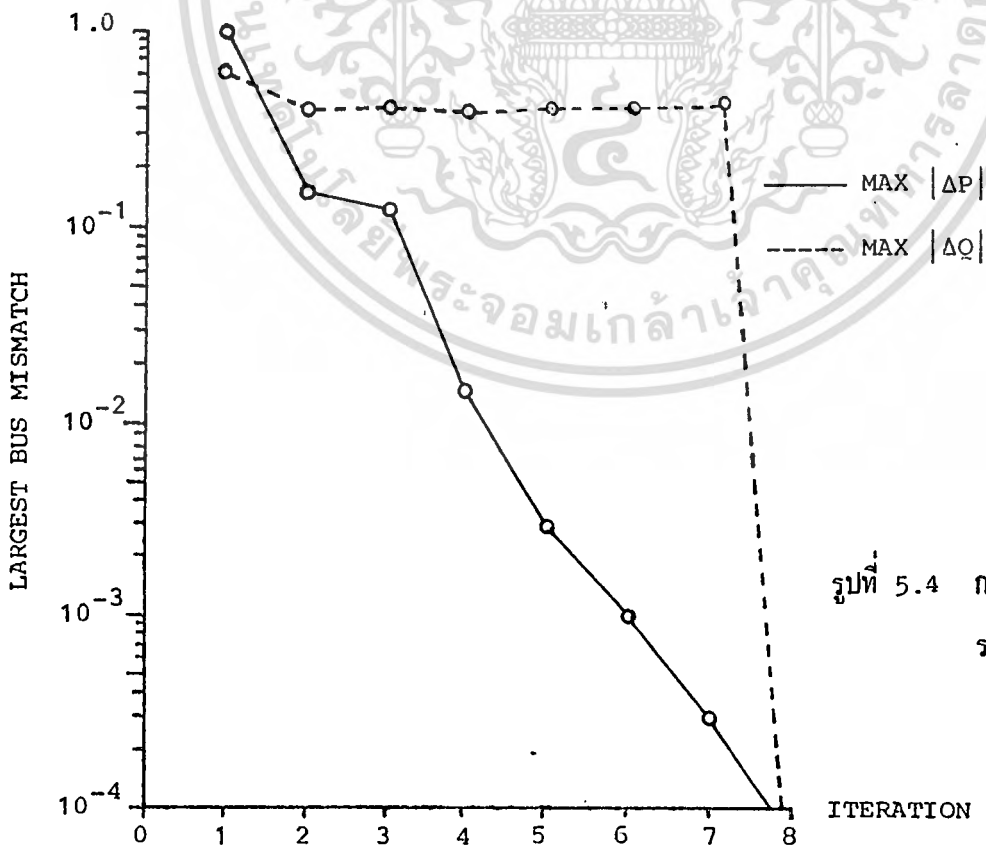
เมื่อพิจารณาการเข้าหาค่าตอบของกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ซึ่งถูกแสดงโดยรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าคำตอบซึ่งมีความถูกต้อง (accuracy) ในระดับที่ต้องการสามารถคำนวณได้ภายใน (80, 7V), (80, 8V) iteration แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพทางด้านความเร็วในการเข้าหาค่าตอบ ลักษณะของการเข้าหาค่าตอบในรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 มีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือในขณะที่ $|\Delta P|_{\max}$ มีค่าลดลงอย่างสม่ำเสมอ $|\Delta Q|_{\max}$ มีค่าค่อนข้างจะคงที่ จนกระทั่ง $|\Delta P|_{\max}$ มีค่าเกือบจะถึงระดับที่ต้องการ (70) $|\Delta Q|_{\max}$ จะมีค่าลดลงสู่ระดับที่ต้องการอย่างรวดเร็ว (7V) ลักษณะดังกล่าวเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าของมุมเฟสของแรงดัน ($\Delta\theta$) ในแต่ละ iteration จะส่งผลกระทบต่อ $|\Delta Q|_{\max}$ อย่างมากเมื่อ $|\Delta P|_{\max}$ ยังมีค่ามากทำให้ $|\Delta Q|_{\max}$ มีค่าค่อนข้างจะคงที่ เมื่อ $|\Delta P|_{\max}$ มีค่าเกือบจะถึงระดับที่ต้องการ ผลกระทบอันนี้ต่อค่า $|\Delta Q|_{\max}$ มีน้อย ผลก็คือ $|\Delta Q|_{\max}$ มีค่าลดลงสู่ระดับที่ต้องการอย่างรวดเร็ว

จากผลการคำนวณโหลดโพล์ในกรณีที่ 1 จะเห็นว่ากำลังงาน (real power) ที่ส่งระหว่างบัส 5 และบัส 14 มีค่า 97.4 MW จะถูกใช้กำหนดกำลังงาน (real power) ซึ่งส่งโดยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ระดับแรงดัน 230 kV จากการคำนวณโหลดโพล์ในกรณีที่ 2 จะเห็นว่าได้ผลตามความต้องการที่ควบคุมทุกประการ

เมื่อเปรียบเทียบระบบไฟฟ้ากำลังในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 จะเห็นว่าความสูญเสีย (loss) ของ real power ในกรณีที่ 1 จะมากกว่ากรณีที่ 2 ในขณะที่ความสูญเสียของ reactive power ในกรณีที่ 2 จะมากกว่ากรณีที่ 1 (เกิดที่คอนเวอเตอร์เป็นส่วนใหญ่) ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อเปรียบเทียบที่ค่อนข้างหนึ่งในการพิจารณาออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 5.3 การเข้าหาคำตอบของระบบ 14 บิต กรณีที่ 1



รูปที่ 5.4 การเข้าหาคำตอบของระบบ 14 บิต กรณีที่ 2

REPORT OF LOAD FLOW CALCULATION BY FAST DECOUPLE METHOD

LINE AND TRANSFORMER DATA

BUS DATA				GENERATION				LOAD				SHUNT				CAP/REAC					
BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	4W	MVAR	MW'	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	MVAR	TAP		
1	AAA138	1.020	6.688	200.000	41.538	100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	7 JJJ138																				
	9 BBB																				
	2 AAA69	1.019	4.466	7.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	11 ZZZ																				
	1 AAA138																				
	10 MISMATCH																				
3	DDD138	1.004	10.079	200.000	56.200	100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	5 FFF138																				
	10 CCC																				
	10 CCC																				
	10 DDD69																				
	10 MISMATCH																				
4	DDD69	1.000	9.107	0.000	-6.244	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	12 EEE																				
	3 DDD138																				
	12 MISMATCH																				
5	FFF138	1.020	8.546	200.000	74.528	100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	3 DDD138																				
	14 GGG																				
	14 GGG																				
	6 FFF69																				
	6 MISMATCH																				
6	FFF69	1.009	7.724	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	12 EEE																				
	3 DDD138																				
	12 MISMATCH																				
7	JJJ138	1.040	0.000	63.583	116.915	100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	1 AAA138																				
	13 HHH																				
	8 JJJ69																				
	8 MISMATCH																				
8	JJJ69	1.022	-0.519	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	11 ZZZ																				
	1 JJJ138																				
	11 MISMATCH																				
9	BBB	0.975	4.124	0.000	0.000	50.000	25.000	0.000	0.000	23.948	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	1 AAA138																				
	10 CCC																				
	10 MISMATCH																				
10	CCC	0.969	5.851	0.000	0.000	50.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	3 DDD138																				
	3 DDD138																				
	9 BBB																				
	10 MISMATCH																				
11	ZZZ	0.931	0.731	0.000	0.000	25.000	20.000	0.000	0.000	1.115	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	2 AAA69																				
	8 JJJ69																				
	8 MISMATCH																				
12	EEE	0.928	6.559	0.000	0.000	25.000	20.000	0.000	0.000	6.635	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	6 DDD69																				
	6 FFF69																				
	6 MISMATCH																				
13	HHH	0.988	0.156	0.000	0.000	50.000	25.000	0.000	0.000	19.959	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	7 JJJ138																				
	14 GGG																				
	14 MISMATCH																				

ผลการวิเคราะห์ระบบ 14 บัส กรณีที่ 1 (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

-----
5 FFF138 -47.17299 -2.42576 0.000
13 FFF138 -47.17299 -2.42576 0.000
13 MMH 44.34044 -20.11647 0.000
MISMATCH 0.000 -0.002
-----

```

```

14 666 0.983 3.159 0.000 0.000 50.000 25.000 0.000 0.000

```

```

THE MAXIMUM MISMATCH IS 0.00986 ON BUS 5
THE SLACK BUS GENERATION IS 63.58308 116.91522

```

***** SUMMARY FOR COMPLETE SYSTEM *****

```

BUS NAME BASKV AREA NAME ZONE MW MVAR MVBASE
7 JJJ138 63.58 116.91

```

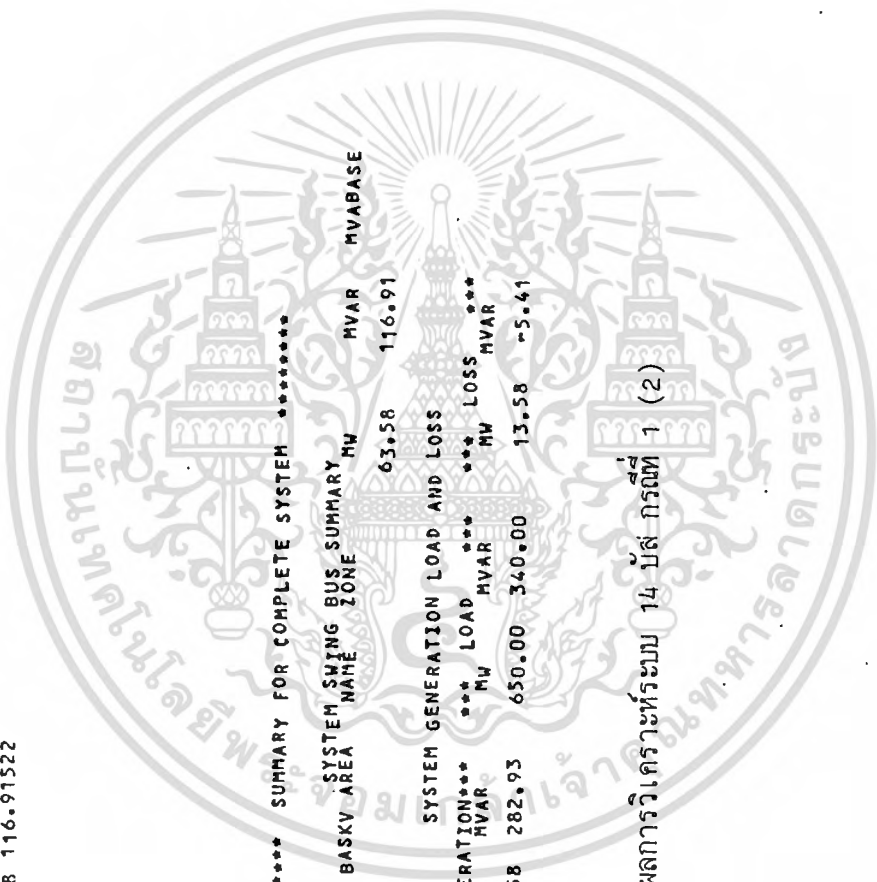
SYSTEM GENERATION LOAD AND LOSS

```

***GENERATION*** ** LOAD ** ** LOSS ***
MW MVAR MW MVAR MW MVAR
663.58 282.93 650.00 340.00 13.58 -5.41

```

ผลการวิเคราะห์ระบบ 14 บัส กรณีที่ 1 (2)



REPORT OF AC/DC POWER SYSTEM LOADFLOW ANALYSIS

LINE AND TRANSFORMER DATA

BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	GENERATION			LOAD			SHUNT										
				MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR									
1	AAA138	1.020	6.691	200.000	41.540100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	7 JJJ138																			
	9 BBB																			
	2 AAA69																			
	MISMATCH																			
2	AAA69	1.019	4.469	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	11 ZZZ																			
	1 AAA138																			
	MISMATCH																			
3	DDD138	1.004	10.092	200.000	56.200100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	5 FFF138																			
	10 CCC																			
	4 DDD69																			
	5 FFF138																			
	10 CCC																			
	4 DDD69																			
	MISMATCH																			
4	DDD69	1.000	9.119	0.000	-6.244	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	12 EEE																			
	3 DDD138																			
	6 FFF69																			
	MISMATCH																			
5	FFF138	1.020	8.561	200.000	62.462100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	3 DDD138																			
	6 FFF69																			
	MISMATCH																			
6	FFF69	1.009	7.739	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	12 EEE																			
	5 FFF138																			
	MISMATCH																			
7	JJJ138	1.060	7.000	62.072	117.434100.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	1 AAA138																			
	13 HHH																			
	18 JJJ69																			
	MISMATCH																			
8	JJJ69	1.022	-0.518	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	11 ZZZ																			
	17 JJJ138																			
	MISMATCH																			
9	BBB	0.975	4.131	0.000	23.948	50.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	10 AAA138																			
	10 CCC																			
	MISMATCH																			
10	CCC	0.969	5.861	0.000	0.000	50.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	3 DDD138																			
	9 BBB																			
	MISMATCH																			
11	ZZZ	0.931	0.733	0.000	1.115	25.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	2 AAA69																			
	8 JJJ69																			
	MISMATCH																			
12	EEE	0.928	6.571	0.000	6.638	25.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	4 DDD69																			
	6 FFF69																			
	MISMATCH																			
13	HHH	0.988	0.340	0.000	-4.504	50.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	7 JJJ138																			
	14 GGG																			
	MISMATCH																			
14	GGG	1.007	2.886	0.000	0.000	50.000	25.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถแก้ไขได้ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

**** REPORT OF CONVERTER TERMINAL ****
X-----X ALF/GA:1 TAP CURRENT PAC QAC VDC FILQ
R: 5 FFF138 200. 7.00 -7.08 0.42 97.40 43.15 234.04 49.54
I: 14 GGG 200. 10.00 -9.85 0.42 -95.72 35.33 -230.00 63.77
    
```

***** SUMMARY FOR COMPLETE SYSTEM *****

```

SYSTEM SWING BUS SUMMARY MW MVAR MVABASE
BUS NAME BASKV AREA NAME ZONE 62.07 117.43
7 JJJ138
    
```

SYSTEM GENERATION LOAD AND LOSS

```

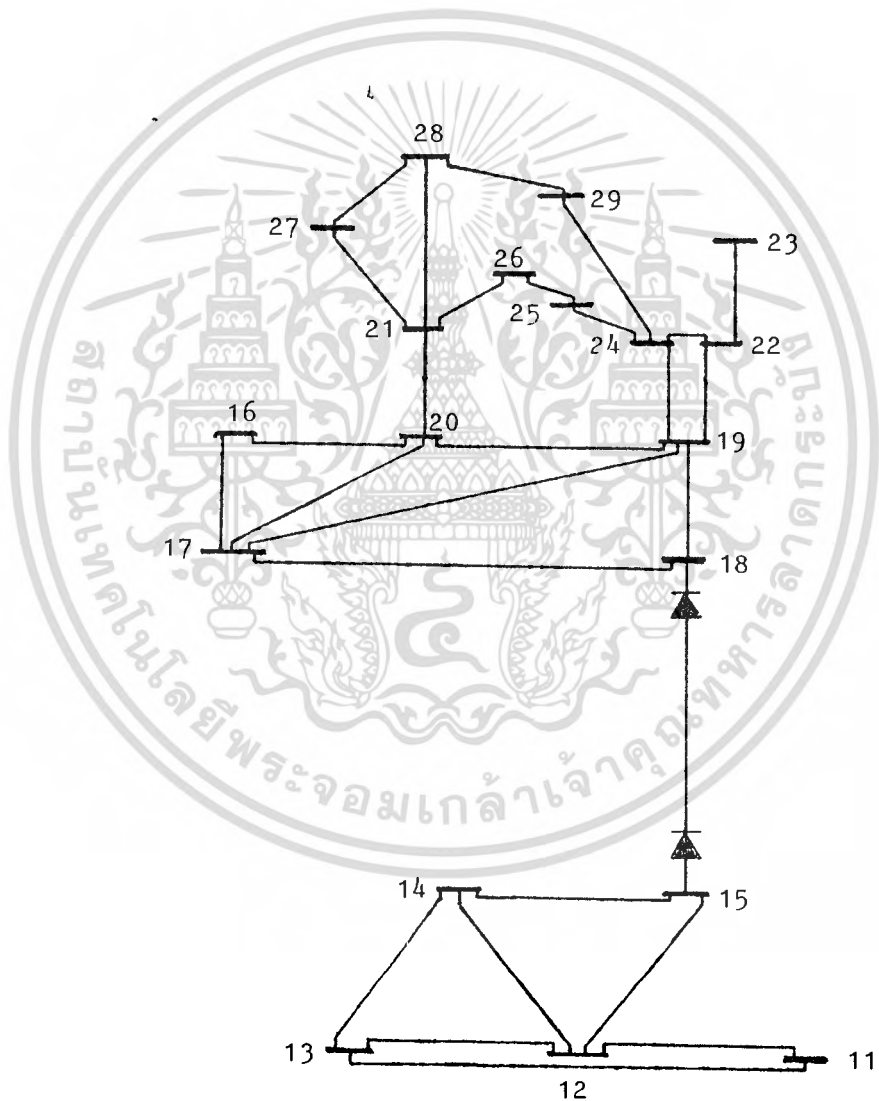
***GENERATION***
MW MVAR *** LOAD *** ** LOSS ***
662.07 298.59 650.00 340.00 12.07 18.44
DC SYSTEM LOSS
MW MVAR *
1.68 25.02
    
```

* ตัว converter transformer

ผลการวิเคราะห์ระบบ 14 บัส กรณีที่ 2 (2)

5.4 ระบบ 19 บัส

ระบบนี้ประกอบด้วยระบบไฟฟ้า 2 ระบบ เชื่อมต่อกันด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (รูปที่ 5.5) ระบบที่ 1 ประกอบด้วย 5 บัส เชื่อมต่อกับระบบที่ 2 ประกอบด้วย 14 บัส โดยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ระหว่างบัส 15 กับบัส 18



รูปที่ 5.5 ระบบไฟฟ้า 19 บัส

5.4.1 การเตรียมข้อมูล

ในกรณีของระบบ 19 บัส ผู้เขียนได้แสดงผลการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากระแสสลับและระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 การคำนวณโหลดโพลีของระบบไฟฟ้าโดยควบคุม

1. กำลังงานที่ส่งระหว่างคอนเวอเตอร์
2. มุมนำกระแสของคอนเวอเตอร์
3. ระดับแรงดันของคอนเวอเตอร์

กรณีที่ 2 การคำนวณโหลดโพลีของระบบไฟฟ้าโดยควบคุม

1. กำลังงานที่ส่งระหว่างคอนเวอเตอร์
2. ระดับแรงดันของคอนเวอเตอร์
3. การปรับขนาดของหม้อแปลง



P U S - D A T A

BUS	NAME	TYPE	VOLTS	LOAD MW	MVAR	GENERATION MW	GENERATION MVAR	MINIMUM MVAR	MAXIMUM MVAR	SHUNT SUSCEPTANCE
11	BUS11	1	1.0670	0.000	0.000	129.570	0.000	-999.900	100.000	0.000
12	BUS12	1	1.0240	23.000	10.000	0.000	0.000	-10.000	100.000	0.000
13	BUS13	1	1.0240	40.000	13.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	BUS14	1	1.0270	10.000	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	BUS15	1	1.0430	21.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18		1	1.0130	150.200	19.000	4.000	0.000	-4.000	50.000	0.000
19		0	0.0000	17.600	-3.110	0.000	0.000	0.000	40.000	0.000
20		0	1.0700	7.500	1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21		0	1.0900	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22		0	1.0000	20.500	16.800	0.000	0.000	-6.000	24.000	0.000
23		0	1.0000	3.500	1.800	0.000	0.000	-6.000	24.000	0.000
24		0	1.0000	13.500	1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25		0	1.0000	14.900	3.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26		0	0.0000		5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

L I N E - D A T A

BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	REACTANCE	PLACTANCE	TAP	CODE	SUSCEPTANCE	LINE-RATED
11	BUS11	12	BUS12	0.02000	0.06000	0.06000	0.000		0.06000	100.00000
12	BUS12	13	BUS13	0.06001	0.17999	0.17999	0.000		0.04000	100.00000
13	BUS13	14	BUS14	0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.04000	100.00000
14	BUS14	15	BUS15	0.08000	0.24000	0.24000	0.000		0.02000	100.00000
16		17		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000
17		18		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000
18		19		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000
19		20		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000
20		21		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000
21		22		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000
22		23		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000
23		24		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000
24		25		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000
25		26		0.04000	0.12000	0.12000	0.000		0.02000	100.00000

T R A N S F O R M E R - D A T A

BUS	NAME	BUS	NAME	RESISTANCE	PLACTANCE	TAP	CODE	LINE-RATED
19		24		0.00000	0.20912	0.970	0	100.00000
19		20		0.00000	0.55618	0.970	0	100.00000
22		23		0.00000	0.28705	1.000	0	100.00000
22		24		0.00000	0.11001	1.000	0	100.00000

CONVERTER - DATA

BUS NAME	VDCS	VMIN	VMAX	AMPMAX	VDC	PDC	FIRMIN	FIRMAX	BUS NAME
15 BUS15	100.000	60.000	150.000	500.000	130.000	58.600	7.000	100.000	18
18	100.000	60.000	150.000	500.000	-130.000	-53.600	10.000	100.000	15 BUS15

CONTROL TRANSFORMER - DATA

BUS NAME	COMX	TRFMX	TAPMIN	TAPMAX	TAPINC	FILTERX
15 BUS15	0.126	0.126	-15.000	15.000	1.150	2.100
18	0.072	0.072	-15.000	15.000	1.670	1.590

การควบคุมคอมพิวเตอร์ของระบบ 19 บัส กรณีที่ 1

CONTROL - SPECIFICATION

BUS NAME	VOLTS	AMPS	HW	DEGS	TAP
15 BUS15	0.00	0.00	58.6U	7.0U	0.00
18	-130.00	0.00	0.00	10.0U	0.00

การควบคุมคอมพิวเตอร์ของระบบ 19 บัส กรณีที่ 2

CONTROL - SPECIFICATION

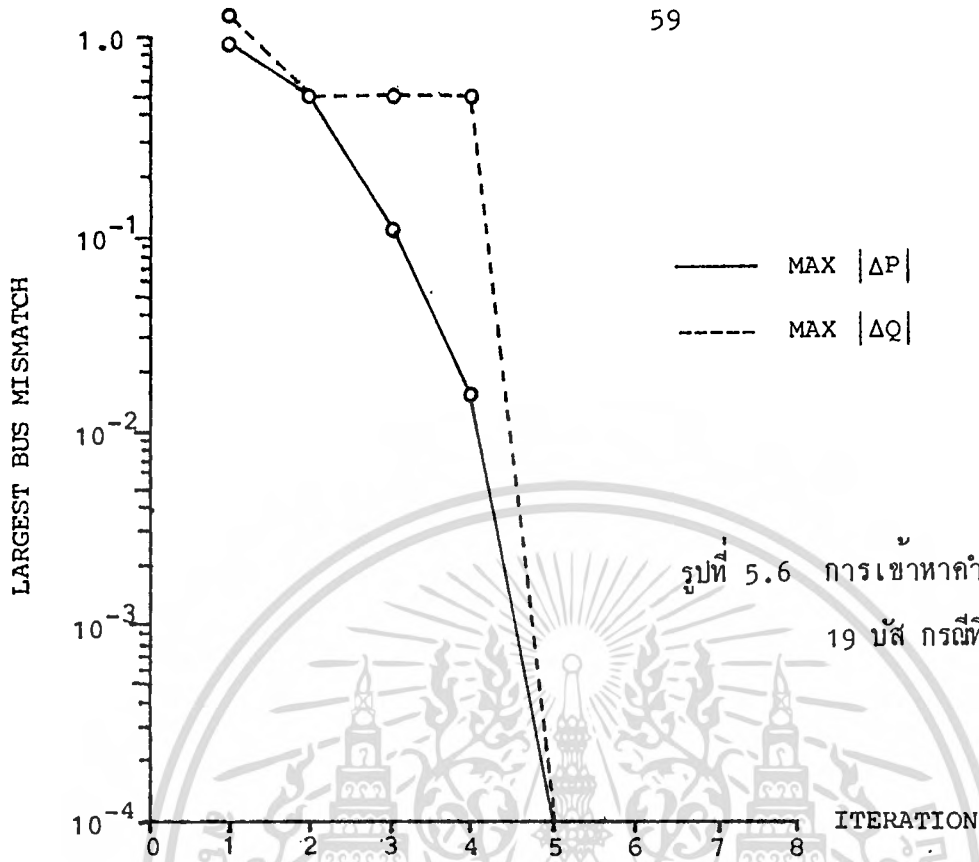
BUS NAME	VOLTS	AMPS	HW	DEGS	TAP
15 BUS15	0.00	0.00	58.6U	0.00	-2.99
18	-130.00	0.00	0.00	0.00	-0.91



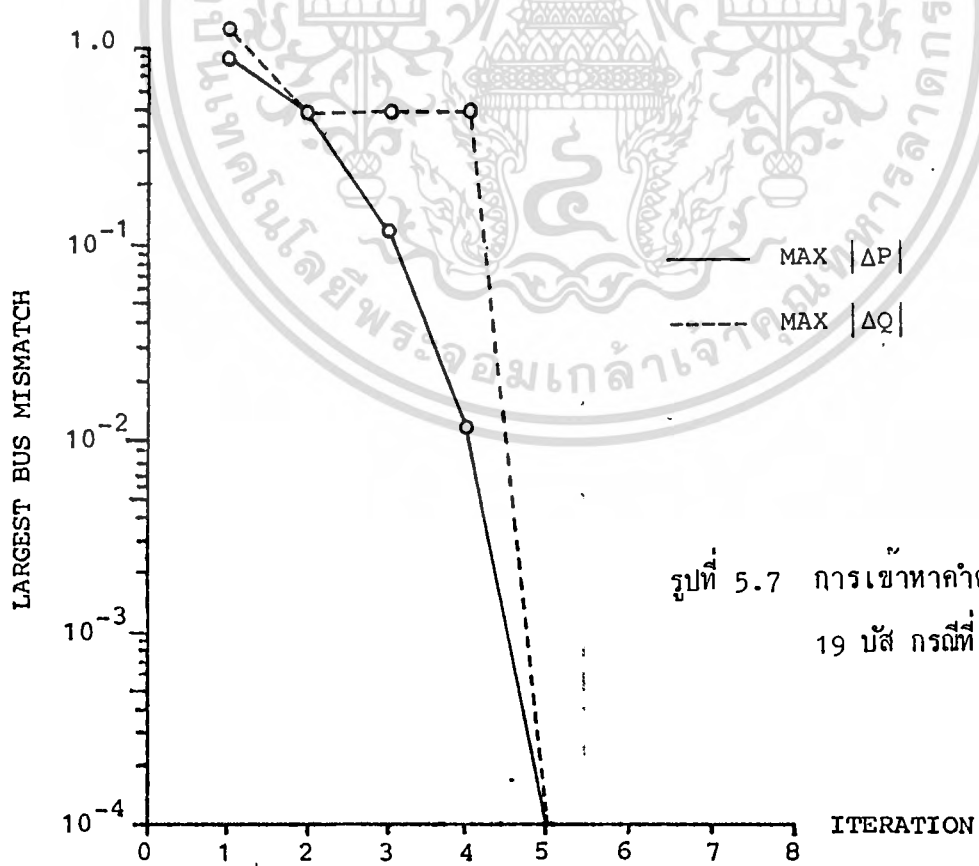
5.4.2 ผลการวิเคราะห์

การเข้าหาคำตอบของกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 แสดงให้เห็นในรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าคำตอบซึ่งมีความถูกต้องในระดับที่ต้องการสามารถคำนวณได้ภายใน (50, 5V), (50, 5V) iteration ลักษณะการเข้าหาคำตอบคล้ายคลึงกับกรณีของระบบ 14 บัส จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ยืนยันว่าจำนวนของบัสไม่มีผลต่อจำนวนของ iteration จึงเป็นข้อได้เปรียบของวิธีการอีกข้อหนึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ ระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว จำนวนบัสจะมีผลต่อเวลาของแต่ละ iteration ซึ่งเกิดขึ้นกับทุกวิธีการ

ผลการคำนวณที่ได้จากกรณีทั้ง 2 แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมต่อระหว่างระบบไฟฟ้ากระแสสลับทั้ง 2 ระบบสามารถกระทำได้เป็นอย่างดี สามารถควบคุมได้ตามความต้องการ ระบบที่เกิดจากการรวมระบบย่อยเข้าด้วยกันมีเสถียรภาพดี



รูปที่ 5.6 การเข้าหาคำตอบของระบบ
19 บัส กรณีที่ 1



รูปที่ 5.7 การเข้าหาคำตอบของระบบ
19 บัส กรณีที่ 2

REPORT OF AC/DC POWER SYSTEM LOADFLOW ANALYSIS

BUS DATA

LINE AND TRANSFORMER DATA

BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	GENERATION		LOAD		SHUNT	MVAR	MVAR	MU	MVAR	TAP
				PW	MVAR	PW	MVAR						
11	BUS11	1.060	0.000	139.250	-11.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	96.21124	-9.85544	0.000
	BUS13										42.73836	-1.47471	0.000
	MISMATCH										0.000	-0.001	0.000
12	BUS12	1.047	-3.062	41.000	2.462	20.000	10.000	0.000	0.000	0.000	-9.55609	8.16147	0.000
	BUS13										28.80458	0.81447	0.000
	BUS14										28.41159	-0.64617	0.000
	BUS15										61.34412	-15.86781	0.000
	MISMATCH										-0.004	0.000	0.000
13	BUS13	1.028	-5.322	7.000	0.000	45.000	15.000	0.000	0.000	0.000	-41.43587	-0.39833	0.000
	BUS12										-24.46281	-4.09714	0.000
	BUS14										20.89879	-10.50335	0.000
	MISMATCH										0.000	-0.001	0.000
14	BUS14	1.029	-5.712	7.000	0.000	40.000	5.000	0.000	0.000	0.000	-27.96838	-2.33532	0.000
	BUS13										-20.84904	8.35368	0.000
	BUS15										8.81581	-11.20006	0.000
	MISMATCH										0.002	0.000	0.000
15	BUS15	1.043	-7.215	7.000	0.000	10.000	10.000	0.000	0.000	0.000	-59.89717	16.93376	0.000
	BUS12										-8.70187	6.17624	0.000
	BUS14										58.599	-33.110	0.000
	POWER TO RECTIFIER												0.000
16	BUS16	1.060	0.000	230.041	-19.962	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	156.54759	-19.85556	0.000
	BUS17										75.49348	-0.10798	0.000
	MISMATCH										0.000	0.001	0.000
17	BUS17	1.065	-4.995	40.000	29.030	21.700	12.700	0.000	0.000	0.000	-130.37860	26.73641	0.000
	BUS18										71.14339	-3.79779	0.000
	BUS19										56.12433	-10.07197	0.000
	BUS20										41.40840	-4.09556	0.000
	MISMATCH										0.002	-0.001	0.000
18	BUS18	1.010	-12.415	7.000	-33.229	150.200	19.000	0.000	0.000	0.000	-68.94931	0.84917	0.000
	BUS19										-22.72142	-5.55716	0.000
	POWER TO INVERTER										-58.529	-47.521	0.000
19	BUS19	1.032	-10.412	7.000	0.000	48.200	38.110	0.000	0.000	0.000	-54.41399	11.23407	0.000
	BUS20										21.07001	2.83914	0.000
	BUS21										-61.32816	28.50421	0.000
	BUS22										28.24931	-5.91777	0.978
	BUS24										16.22232	1.21039	0.969
	MISMATCH										0.000	-0.001	0.000
20	BUS20	1.029	-9.814	7.000	0.000	7.600	1.600	0.000	0.000	0.000	-72.75006	6.50279	0.000
	BUS16										-40.51138	-3.17885	0.000
	BUS17										61.90625	-28.03957	0.000
	BUS21										43.75700	16.75934	0.932
	MISMATCH										-0.002	-0.001	0.000
21	BUS21	1.070	-14.173	7.000	6.351	11.200	7.500	0.000	0.000	0.000	7.19233	2.21528	0.000
	BUS22										7.72572	2.33257	0.000
	BUS24										17.63611	6.52134	0.000
	MISMATCH										-43.93022	-12.21617	0.932
22	BUS22	1.068	-15.423	7.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-28.24933	-7.23610	0.978
	BUS24										0.000	-13.50403	1.000
	MISMATCH										28.24989	6.06952	1.000

ผลการวิเคราะห์ระบบ 19 บัส กรณีที่ 1 (1)

23	1.090	-13,423	7,000	13,578	0.000	0.000	0.000	0.000	
									MISMATCH
									22
									MISMATCH
									22
24	1.062	-14,993	7,000	0.000	29,500	16,600	21,437		
									25
									26
									MISMATCH
									25
									26
									MISMATCH
									24
									26
									MISMATCH
25	1.056	-15,135	7,000	0.000	9,000	5,800	0.000		
									24
									26
									MISMATCH
26	1.060	-14,797	7,000	0.000	3,500	1,800	0.000		
									21
									22
									MISMATCH
27	1.056	-15,037	0.000	0.000	6,100	1,600	0.000		
									21
									28
									MISMATCH
28	1.051	-15,124	7,000	0.000	13,500	5,800	0.000		
									21
									28
									MISMATCH
29	1.040	-16,044	7,000	0.000	14,900	5,000	0.000		
									21
									29
									MISMATCH
									24
									28
									MISMATCH

ผลการวิเคราะห์แบบ 19 บัส กรณีที่ 1 (2)

```

**** REPORT OF CONVERTER TERMINAL ****
X-----X ALF/GAIN TAP CURRENT PAC QAC VDC .FILO
R: 15 BUS15 100. 7.00 -2.99 0.45 58.59 19.65 130.15 51.76
I: 18 100. 10.00 -0.91 0.45 -58.53 14.63 -129.49 64.16
  
```

***** SUMMARY FOR COMPLETE SYSTEM *****

```

BUS NAME BASKV AREA NAME ZONE MW MVAR MVARBASE
11 BUS11 SYSTEM SWING BUS SUMMARY MW 138.95 -11.00
16 SYSTEM SWING BUS SUMMARY MW 237.04 -19.96
  
```

SYSTEM GENERATION LOAD AND LOSS

```

***GENERATION*** MW MVAR *** LOAD MVAR *** LOSS MVAR ***
448.99 -12.77 430.39 79.29 18.52 17.30
  
```

DC SYSTEM LOSS

```

MW MVAR *
0.06 7.32
  
```

* ตัว converter transformer

ผลการวิเคราะห์ระบบ 19 บัส กรณีที่ 1 (3)

REPORT OF AC/DC POWER SYSTEM LOADFLOW ANALYSIS

LINE AND TRANSFORMER DATA

BUS DATA				GENERATION				LOAD				SHUNT			
BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	PW	MVAR	PW	MVAR	PW	MVAR	PW	MVAR	PW	MVAR	TAP	
11	BUS11	1.060	0.000	139.950	-11.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS12	1.047	-3.049	47.000	2.476	20.000	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS13	1.028	-5.329	7.000	0.000	45.000	15.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS14	1.029	-5.719	7.000	0.000	40.000	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS15	1.043	-7.215	7.000	0.000	10.000	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS16	1.060	0.000	239.046	-19.964	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS17	1.045	-4.705	40.000	29.032	21.700	12.700	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS18	1.010	-12.416	7.000	-49.865	150.200	19.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS19	1.032	-10.419	7.000	0.000	48.200	38.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS20	1.029	-8.815	7.000	0.000	7.600	1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS21	1.070	-14.173	7.000	6.353	11.200	7.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	BUS22	1.068	-13.423	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

BUS	NAME	MW	MVAR	TAP
12	BUS12	96.2184	-9.85563	0.000
13	BUS13	42.73816	-1.14772	0.000
	MISMATCH	0.000	0.002	
11	BUS11	-94.55666	8.16172	0.000
13	BUS13	24.80411	0.81408	0.000
14	BUS14	28.41122	-0.64660	0.000
15	BUS15	61.34472	-15.86783	0.000
	MISMATCH	-0.003	0.014	
11	BUS11	-41.43568	-0.39802	0.000
12	BUS12	-24.46236	-4.09679	0.000
14	BUS14	20.89934	-10.50358	0.000
	MISMATCH	-0.001	-0.002	
12	BUS12	-27.96803	-2.33494	0.000
13	BUS13	-20.84939	-6.73597	0.000
15	BUS15	8.81610	-11.76877	0.000
	MISMATCH	0.002	-0.001	
12	BUS12	-59.89716	16.93379	0.000
14	BUS14	-8.70217	6.17595	0.000
	MISMATCH	58.599	-33.110	
17	BUS17	154.55132	-19.85655	0.000
20	BUS20	75.49429	-0.10817	0.000
	MISMATCH	0.000	0.001	
16	BUS16	-150.38213	26.73622	0.000
18	BUS18	71.15710	3.78976	0.000
19	BUS19	56.12442	-10.07447	0.000
20	BUS20	41.40816	-4.09555	0.000
	MISMATCH	0.004	-0.001	
17	BUS17	-68.95073	0.84959	0.000
19	BUS19	-22.72299	-5.55613	0.000
	MISMATCH	-58.526	-64.158	
17	BUS17	-54.43388	11.23353	0.000
18	BUS18	53.07161	2.83821	0.000
20	BUS20	-61.32887	28.50221	0.000
22	BUS22	28.25947	-5.67673	0.978
24	BUS24	16.22221	1.21038	0.969
	MISMATCH	-0.001	0.002	
16	BUS16	-72.75091	6.50322	0.000
17	BUS17	-40.51134	3.17860	0.000
19	BUS19	61.90697	-28.03738	0.000
21	BUS21	43.75706	16.75969	0.932
	MISMATCH	-0.002	-0.004	
26	BUS26	7.19220	2.21338	0.000
27	BUS27	7.72572	2.33258	0.000
28	BUS28	17.63899	6.52142	0.000
20	BUS20	-43.75706	-12.21650	0.932
	MISMATCH	0.000	0.000	
19	BUS19	-28.24947	7.23566	0.978
23	BUS23	0.00008	-13.30458	1.000
24	BUS24	28.24936	6.06863	1.000

ผลการวิเคราะห์ระบบ 19 บัส กรณีที่ 2 (1)

23	1.090	-15.423	1.090	13.577	0.000	0.000	0.000	0.000	MISMATCH	-0.001	-0.002
									22	-0.00024	13.57734
									MISMATCH	0.000	0.000
24	1.062	-14.993	0.000	0.000	29.500	16.600	21.437		25	5.38122	5.55050
									26	9.58941	4.46527
									19	0.22232	0.08690
									22	-28.24989	-5.26438
									MISMATCH	0.002	-0.001
25	1.056	-15.135	1.000	0.000	9.000	5.800	0.000		24	-5.36437	-5.50574
									26	-3.63597	-0.29340
									MISMATCH	0.000	-0.001
26	1.060	-14.790	0.000	0.000	3.500	1.800	0.000		21	-7.14534	-2.11689
									23	3.64576	0.31631
									MISMATCH	0.000	0.001
27	1.056	-15.037	0.000	0.000	6.100	1.600	0.000		21	-7.65580	-2.18705
									28	1.55628	0.58700
									MISMATCH	0.000	0.000
28	1.051	-15.124	0.000	0.000	13.500	5.800	0.000		21	-17.43477	-6.11893
									27	-1.53080	-0.58204
									29	5.48012	0.89984
									MISMATCH	0.001	0.001
29	1.044	-15.044	0.000	0.000	14.900	5.000	0.000		26	-9.46335	-4.19713
									MISMATCH	-5.43635	-0.80259
										0.000	0.000

ผลการวิเคราะห์แบบ 19 บัส กรณีที่ 2 (2)

```

*** REPORT OF CONVERTER TERMINAL ***
X-----X ALF/GAM TAP CURRENT PAC QAC VDC FILQ
R# 15 BUS15 100. 7.00 -2.99 0.45 58.59 18.65 130.15 51.76
I# 16 100. 10.81 -0.91 0.45 -58.53 17.21 -129.99 64.16

***** SUMMARY FOR COMPLETE SYSTEM *****
SYSTEM SWING BUS SUMMARY MVA MVAR MVA BASE
BUS NAME BASKV AREA NAME 138.95 -11.00
16 230.04 -19.96

SYSTEM GENERATION LOAD AND LOSS
*** GENERATION ***
MVA MVAR MVA MVAR
448.99 -27.39 430.39 79.29 18.52 17.30
DC SYSTEM LOSS
MVA MVAR
0.06 7.32

```

* ที่ตัว converter transformer

ผลการวิเคราะห์ระบบ 19 บัส กรณที่ 2 (3)

5.5 ระบบ 114 บัส

ระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ก.ฟ.ผ.) ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ โดยการติดตั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ระบบไฟฟ้าซึ่งเดิมประกอบด้วยระบบไฟฟ้าทางภาคตะวันตก เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าทางภาคใต้โดยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (ระหว่างบัส 7720 ประจวบคีรีขันธ์และบัส 3701 ชุมพร) ระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงได้ถูกออกแบบติดตั้งเพื่อส่งกำลังงานจากระบบไฟฟ้าทางภาคใต้ ไปยังระบบไฟฟ้าทางภาคตะวันตก (ระหว่างบัส 3802 สุราษฎร์ธานีและบัส 7803 ประจวบคีรีขันธ์) ในระดับแรงดัน 320 kV

5.5.1 การเตรียมข้อมูล

จากข้อมูลความต้องการที่จะส่งกำลังงาน (real power) จากระบบไฟฟ้าทางภาคใต้ ไปยังระบบไฟฟ้าทางภาคตะวันตกเป็นจำนวน 214.4 MW ถูกใช้เป็นตัวกำหนดการควบคุมในระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

ผู้เขียนได้แสดงผลการวิเคราะห์ในกรณีซึ่งมีการควบคุม คือ

1. กำลังงานที่ส่งระหว่างคอนเวอเตอร์
2. มุมนำกระแสของคอนเวอเตอร์
3. ระดับแรงดันของคอนเวอเตอร์

CONVERTER - DATA									
BUS NAME	VDCS	VMIN	VMAX	AMPX	VDC	PDC	FIRMIN	FIRMAX	BUS NAME
3802 SRT	325.000	300.000	350.000	800.000	315.000	214.400	7.000	100.000	7803 PXX
7803 PXX	325.000	300.000	350.000	800.000	315.000	214.400	10.000	100.000	3802 SRT

CONTROL TRANSFORMER - DATA TAPPING FILTERX					
BUS NAME	COMX	TRFMX	TAPMIN	TAPMAX	TAPPING
3802 SRT	0.126	0.126	15.000	15.000	1.150 2.100
7803 PXX	0.072	0.072	15.000	15.000	1.670 1.590

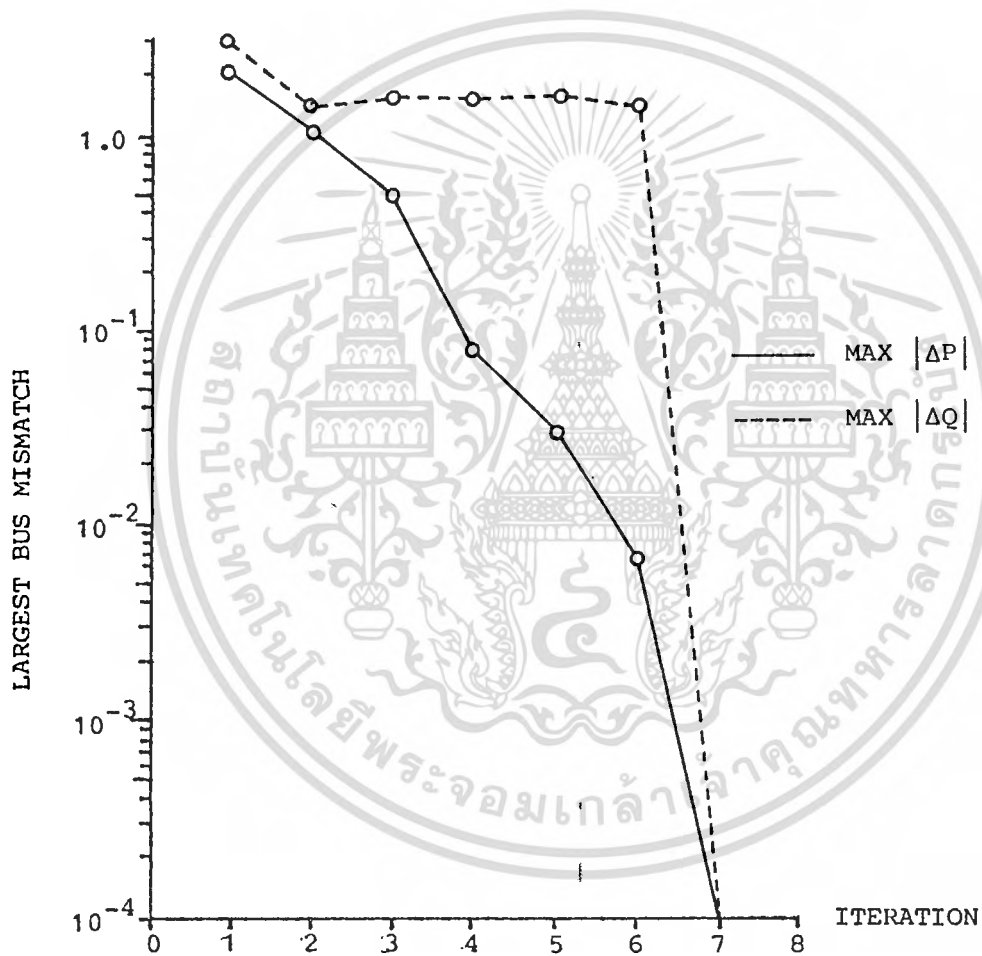
การควบคุมคอนเวอร์เตอร์ของระบบ 114 บัส

CONTROL - SPECIFICATION					
BUS NAME	VOLTS	AMPS	MW	DEGS	TAP
3802 SRT	0.00	0.00	214.40	7.00	0.00
7803 PXX	-315.00	0.00	0.00	10.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 ผลการวิเคราะห์

การเข้าหาคำตอบแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.8 โดยใช้การคำนวณ (70, 7V) iteration การคำนวณหาคำตอบที่ดี สามารถควบคุมระบบไฟฟ้าได้ตามความต้องการ เมื่อพิจารณาความสูญเสีย (loss) โดยเปรียบเทียบกับกรณีการเชื่อมต่อโดยระบบไฟฟ้ากระแสสลับค่าของความสูญเสีย real power และความสูญเสีย reactive power ของสายส่งกระแสตรงมีค่า 3.94 MW และ 170.26 MVAR ตามลำดับ ในขณะที่ในกรณีของสายส่งกระแสสลับมีค่า 7 MW และ 13.2 MVAR ตามลำดับ จะเห็นว่า เมื่อใช้สายส่งกระแสตรงความสูญเสีย real power มีค่าลดลง 3.06 MW ในขณะที่ความสูญเสีย reactive power มีค่ามากซึ่งเกิดจากความต้องการ reactive power ที่ตัวคอนเวอร์เตอร์ ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าความสูญเสีย real power จะน้อยลงในขณะที่ความสูญเสีย reactive power มีค่ามากขึ้น เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของ HVDC Links ซึ่งสามารถควบคุมแรงดัน พลังงาน และมุมนำกระแสได้ตามความต้องการ ประกอบกับข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จะเป็นแนวทางที่ดีในการพิจารณาตัดสินใจ เปลี่ยนแปลง หรือขยายระบบไฟฟ้า



รูปที่ 5.8 การเข้าหาคำตอบของระบบ 114 บัส

REPORT OF AC/DC POWER SYSTEM LOADFLOW ANALYSIS

BUS DATA										
BUS	NAME	VOLTS	ANGLE	MU	MVAR	MW	SMUNT	MVAR	MW	TAP
134	115BN	1.012	-1.645	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
	184	011BN			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	1707	BN			28.35571		34.12845		1.000	0.000
	1900	BKK			-28.35571		-34.13043		-0.000	0.000
		MISMATCH								
135	115BN	1.013	-1.626	0.000	0.000	0.000	0.000			
	185	011BN			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	1707	BN			27.91051		33.62112		1.000	0.000
	1900	BKK			-27.90950		-33.58192		-0.000	0.000
		MISMATCH								
136	115BN	1.012	-1.645	0.000	0.000	0.000	0.000			
	186	011BN			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	1707	BN			28.35571		34.12845		1.000	0.000
	1900	BKK			-28.35571		-34.13043		-0.000	0.000
		MISMATCH								
184	011BN	1.012	-1.645	0.000	0.000	0.000	0.000			
	134	115BN			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
		MISMATCH								
185	011BN	1.013	-1.626	0.000	0.000	0.000	0.000			
	135	115BN			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
		MISMATCH								
186	011BN	1.012	-1.645	0.000	0.000	0.000	0.000			
	136	115BN			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
		MISMATCH								
301	115KN	1.044	36.971	0.000	0.000	0.000	0.000			
	351	033KN			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	3716	KN			66.93586		80.80009		1.000	0.000
	3803	KN			66.93586		80.80009		1.000	0.000
		MISMATCH								
302	115CLN	1.039	25.968	0.000	0.000	0.000	0.000			
	352	033CLN			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	3703	CLN			70.74288		84.71743		1.000	0.000
	3801	CLN			70.74288		84.71743		1.000	0.000
		MISMATCH								
303	115SRT	1.021	25.290	0.000	0.000	0.000	0.000			
	353	033SRT			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	3703	SRT			55.71451		67.4266		1.000	0.000
	3802	SRT			55.71451		67.4266		1.000	0.000
		MISMATCH								
304	115SRT	1.021	25.290	0.000	0.000	0.000	0.000			
	354	033SRT			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	3703	SRT			55.01283		66.8296		1.000	0.000
	3802	SRT			55.01283		66.8296		1.000	0.000
		MISMATCH								
306	115MT	1.012	24.120	0.000	0.000	0.000	0.000			
	356	033MT			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	3716	MT			33.23757		39.23633		1.000	0.000
	3804	MT			33.23757		39.23633		1.000	0.000
		MISMATCH								
307	115PU	1.018	22.404	0.000	0.000	0.000	0.000			
	357	033PU			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	3717	PU			49.72196		59.5886		1.000	0.000
	3803	PU			49.72196		59.5886		1.000	0.000
		MISMATCH								
313	115HY 2	1.032	20.164	0.000	0.000	0.000	0.000			
	359	033HY 2			0.0000		0.0000		0.0000	1.000
	3720	HY 2			103.62369		124.5164		1.000	0.000
	3804	HY 2			103.62369		124.5164		1.000	0.000
		MISMATCH								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่มีการรับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3717	PU	1.020	22.913	0.000	0.000	13.420	8.320	0.000		3712	LR	16.03631	12.58978	0.000
										3713	HY 1	11.26037	-11.87281	0.000
										3072	11SPU	-40.72104	-9.01705	0.000
											MISMATCH		0.000	0.001
3719	HY 1	1.030	20.602	0.000	0.000	27.240	16.880	0.000		3717	PU	9.21567	9.44168	0.000
										3720	HY 2	-14.06133	-14.70905	0.000
										3720	HY 2	-17.67266	-14.17327	0.000
										3722	STU	8.40771	2.56039	0.000
											MISMATCH		0.000	0.000
3720	HY 2	1.037	20.520	0.000	0.000	27.240	16.880	0.000		3717	HY 1	14.11705	15.73991	0.000
										3719	HY 1	10.70924	13.77141	0.000
										3721	SKL	32.55332	19.88652	0.000
										3723	YL	9.27632	1.42290	0.000
										3725	S00	9.27632	4.42099	0.000
										3113	115HY 2	-103.94067	-93.37367	0.000
											MISMATCH		-0.000	0.007
3721	SKL	1.014	19.507	0.000	0.000	32.200	19.760	0.000		3720	HY 2	-32.27013	-19.96010	0.000
											MISMATCH		0.000	0.000
3722	STU	1.017	19.597	0.000	0.000	8.350	5.150	0.000		3717	HY 1	-8.35014	-5.18001	0.000
											MISMATCH		0.000	0.000
3723	YL	1.019	19.793	0.000	0.000	22.010	13.560	0.000		3720	HY 2	-9.22639	-2.90073	0.000
										3724	MV	-23.81697	-1.23776	0.000
										3725	MV	-23.81697	-1.23776	0.000
										3726	BLG	-32.27013	-8.93183	0.000
											MISMATCH		0.000	0.000
3724	MV	0.996	16.505	0.000	0.000	22.440	13.910	0.000		3723	YL	-22.44097	-2.54112	0.000
										3733	SUK	0.00036	0.000	0.000
											MISMATCH		0.000	0.000
3725	PNI	0.985	17.160	0.000	0.000	28.440	17.620	0.000		3723	YL	-28.44025	-17.61981	0.000
											MISMATCH		0.000	0.000
3726	BLG	1.067	23.588	0.000	0.000	5.680	3.520	0.000		3723	YL	32.90204	8.53351	0.000
										3724	YL	-23.70002	-8.53351	0.000
										3725	BLG H1	-23.50002	-6.71223	0.000
										3726	BLG H2	-23.50002	-6.93160	0.000
										3727	BLG H3	-23.50002	-6.93160	0.000
											MISMATCH		0.000	0.000
3728	S00	1.025	19.937	0.000	0.000	9.920	6.150	0.000		3720	HY 2	-9.22016	-6.15013	0.000
											MISMATCH		0.000	0.000
3734	SUK	0.997	16.480	0.000	0.000	0.000	0.900	0.000		3724	MV	0.00002	0.00015	0.000
											MISMATCH		0.000	0.000
3801	CLM	1.031	31.238	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		3802	SRT	84.11634	31.86798	0.000
										3802	SRT	84.11634	31.86798	0.000
										3802	115CLY	70.76701	7.27503	0.988
										3802	CLM H1	-80.00125	-23.33222	0.975
										3723	CLM H2	-80.00125	-23.33222	0.975
											MISMATCH		0.000	0.001
3802	SRL	1.014	29.546	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		3301	CLM	-33.59125	-3.67320	0.000
										3301	CLM	-33.59125	-3.67320	0.000
										3303	KN	-78.52232	-28.69304	0.000
										3033	KN	-78.52232	-28.69304	0.000
										3033	115SRT	55.01401	3.99563	0.953
										3033	115SRT	55.01401	3.99563	0.953

ผลการวิเคราะห์แบบ 114 บัส (5)

7304	SWR 1	-127.01928	7.32291	0.000
7306	KHL	-127.01300	-7.32291	0.000
7806	MISMATCH		0.030	0.003

7305	SWR 2	148.69051	3.03453	0.000
7307	SWT	148.69051	3.03453	0.000
721	115 KHL	1.61864	0.09967	1.000
7011	KHL W1	-24.99997	-1.19232	0.973
7012	KHL W2	-100.00000	-1.19232	0.973
7013	KHL W3	-100.00000	-1.19232	0.973
	MISMATCH		-0.001	0.003

7806 KHL 1.054 22.002 0.000 0.000 0.000 0.000 U.000

```

*** REPORT OF CONVERTER TERMINAL ***
X-----X ALF/GAM TAP CURRENT PAC QAC VDC FILO
R: 3802 SRT 325. 7.00 -8.10 0.67 214.40 169.27 320.90 48.93
I: 7803 PKK 325. 10.00 -11.73 0.67 -210.66 128.57 -315.00 57.10
    
```

***** SUMMARY FOR COMPLETE SYSTEM *****

```

BUS NAME BASKV AREA SYSTEM SWING BUS SUMMARY MW MVAR MVARBASE
1800 BKK 1000.00 1000.00 -735.47 305.15
    
```

SYSTEM GENERATION LOAD AND LOSS

```

***GENERATION***
MW MVAR *** LOAD MVAR *** MU LOSS MVAR ***
1058.53 1001.11 969.90 610.96 88.56 368.29
DC SYSTEM LOSS
MW MVAR
3.94 170.26 *
    
```

* ที่ตัว converter transformer

ผลการวิเคราะห์ระบบ 114 บัส (9)

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์

ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันมีขนาดและความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น ความต้องการระบบไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพดีแม้ว่าระบบจะมีขนาดใหญ่เป็นสิ่งที่ต้องการมาก การใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเชื่อมต่องานระหว่างระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาเสถียรภาพ ผู้เขียนได้เสนอการคำนวณโหลดโพลสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งถูกเชื่อมต่อโดยระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงโดยวิธีการที่เรียกว่า Fast Decoupled AC/DC loadflow ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ โดยมีประสิทธิภาพสูง

ประสิทธิภาพของวิธีการเกิดจาก

1. การใช้ Jacobian แมทริกซ์ซึ่งมีค่าคงที่ทำการเข้าหาคำตอบที่ถูกต้องมีความแน่นอนเชื่อถือได้สูง
2. การใช้ Jacobian แมทริกซ์ซึ่งมีค่าคงที่ทำการลดขั้นตอนในการคำนวณลง ความเร็วในการคำนวณเพิ่มขึ้น
3. การใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์ในบทที่ 4 เพื่อใช้เก็บค่าสมาชิกของแมทริกซ์ส่วนใหญ่ในแบบแอเรย์เดี่ยว (single array) ทำให้การใช้หน่วยความจำลดลงอย่างมาก เนื่องจากการเก็บเฉพาะค่าสมาชิกซึ่งไม่เป็นศูนย์
4. การใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์ในบทที่ 4 เพื่อคงสภาพการมีสมาชิกเป็นศูนย์มากของแมทริกซ์ (sparse matrix) ทำให้การใช้หน่วยความจำไม่เพิ่มขึ้นมากในการคำนวณ
5. ผลจากข้อ 3 และข้อ 4 จะลดขั้นตอนในการคำนวณลง ผลลัพธ์ก็คือความเร็วของวิธีการสูง

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ประสิทธิภาพของวิธีการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในบทที่ 5

การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังประกอบด้วยวิธีการหลาย ๆ อย่าง เช่น การคำนวณ โหลดโพล์ การคำนวณความผิดปกติ การคำนวณเสถียรภาพ และอื่น ๆ สำหรับการคำนวณโหลด โพล์ นั้นเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง และยังเป็นส่วนประกอบในการวิเคราะห์ ระบบไฟฟ้ากำลังแบบอื่น ๆ ผู้เขียนหวังว่าบุคคลที่เกี่ยวข้องและผู้ที่มีสนใจน่าจะศึกษาค้นคว้าต่อไป เพราะว่าการติดตั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงในระบบไฟฟ้ากระแสสลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูง มากในปัจจุบัน



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล เพ็ชรสุวรรณ และอาจารย์สมเกียรติ ฝิโลประการ ที่ท่านได้ให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยแก้ไขปัญหามากมาย มาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้และขอขอบคุณ คุณวาริ นอบนอม ที่ช่วยพิมพ์ต้นฉบับเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ ที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยมาโดยตลอด



เอกสารอ้างอิง

- [1] Stott, B., 'Review of loadflow calculation methods', Proc. IEEE, V.62, No.7, July 1974, pp.916-929
- [2] Tinney, W.F., Hart, C.E., 'Power flow Solution by Newton's method', IEEE, Trans., PAS-86, No.11, Nov. 1967, pp.1449-1460
- [3] Stagg, G.W., El-Abiad, A.H., 'Computer Methods in power system analysis', McGraw-Hill, 1981
- [4] Stott, B., 'Decoupled Newton loadflow', IEEE, Trans., PAS-91, Sept./Oct. 1972, pp.1955-1959
- [5] Stott, B., Alsac, O., 'Fast Decoupled loadflow', IEEE, Trans., PAS-93, No.3, May/June 1974, pp.859-869
- [6] Weedy, B.M., 'Electric power system', 2nd ed., Willy trans., 1972
- [7] Kimbark, E.W., 'Direct current transmission volume I', Willey-Interscience, 1971
- [8] Sigvard Smedsfelt, Bernt Hansson, Jan Nuder, 'HVDC transmission technical and economical aspects', Swedish state power board, March 1984
- [9] Horigome, T., Ito, N., 'Digital computer method for the calculation of power flow in an a.c.-d.c. interconnected power system', Proc. IEE, V.111, No.6, June 1964, pp.1137-1144
- [10] Hingorani, N.G., Mountford, J.D., 'Simulation of h.v.d.c. systems in a.c. load-flow analysis by digital computers', Proc. IEE, V.113, 1966, pp.1541-1546

- [11] Braunagel, D.A., Kraft, L.A., Whysong, J.L., 'Inclusion of d.c. converter and transmission equations directly in a Newton power flow', IEEE, Trans., PAS-95, No.1, Jan./Feb. 1976, pp.76-88
- [12] Reev, J., Fahmy, G., Stott, B., 'Versatile loadflow method for multiterminal h.v.d.c. systems', IEEE, Trans., PAS-96, no.3, May/June 1977, pp.925-933
- [13] Tinney, W.F., Walker, J.W., 'Direct solutions of sparse network equations by optimally ordered triangular factorization', Proc. IEEE, V.55, No.11, Nov. 1967, pp.1801-1809
- [14] สพร่าง วิสฺุทพานิช, ประณต บัญไชยอภิสิทธิ์, ไพโรจน์ ศาสวตฺกณ 'Power system fault analysis', ปรินฎญานินพนธ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง พ.ศ. 2526
- [15] Anderson, P.M., 'Analysis of Faulted Power System', The IOWA State University Press, 1973
- [16] Wu, F.F., 'Theoretical study of the convergence of the Fast Decoupled loadflow', IEEE, Trans., PAS-96, No.1, Jan./Feb. 1977, pp.268-275
- [17] Ong, C.M., Hamzai-nejad, A., 'A general-purpose multiterminal dc load-flow', IEEE, Trans., PAS-100, No.7, July 1981, pp.3166-3174
- [18] Ong, C.M., Fudeh, H., 'A simple and efficient ac-dc load-flow method for multiterminal dc systems', IEEE, Trans., PAS-100, No.11, Nov. 1981, pp.4389-4396
- [19] ประณต บัญไชยอภิสิทธิ์, สมเกียรติ ฝโลประการ, ดร.โกศล เพ็ชรสุวรรณ 'การวิเคราะห์โหลดโพล์ของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วยระบบสายส่งกระแสตรงแรงดันสูง' การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าของ 8 สถาบันอุดมศึกษาครั้งที่ 8 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สมการของ complex power

$$P_k + jQ_k = E_k \sum_{m \in k} Y_{km}^* E_m^* \quad (ก .1)$$

พิจารณาสมการ (ก .1) ในลักษณะ rectangular co-ordinates

$$\begin{aligned} P_k + jQ_k &= (e_k + jf_k) \sum_{m \in k} (G_{km} - jB_{km}) (e_m - jf_m) \\ P_k &= e_k \sum_{m \in k} (G_{km} e_m - B_{km} f_m) + f_k \sum_{m \in k} (G_{km} f_m + B_{km} e_m) \\ Q_k &= f_k \sum_{m \in k} (G_{km} e_m - B_{km} f_m) - e_k \sum_{m \in k} (G_{km} f_m + B_{km} e_m) \end{aligned}$$

พิจารณาสมการ (ก .1) ในลักษณะ polar co-ordinates

$$\begin{aligned} P_k &= \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km}) \\ Q_k &= \sum_{m \in k} V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \\ \theta_{km} &= \theta_k - \theta_m \end{aligned}$$

Jacobian matrix equations ในลักษณะ polar co-ordinates คือ

$$\begin{aligned} \Delta P_k &= \sum_{m \in k} \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} \frac{\partial P_k}{\partial V_m} \Delta V_m \\ &= \sum_{m \in k} H_{km} \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} N_{km} \Delta V_m \\ \Delta Q_k &= \sum_{m \in k} \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} \Delta V_m \\ &= \sum_{m \in k} J_{km} \Delta \theta_m + \sum_{m \in k} L_{km} \Delta V_m \\ H_{km} &= \frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} = V_k V_m (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}) \\ H_{kk} &= \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} = -Q_k - B_{kk} V_k^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_{km} = \frac{\partial P_k}{\partial v_m} = V_k (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$N_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial v_k} = \frac{P_k}{V_k} + G_{kk} V_k$$

$$J_{km} = \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} = -V_k V_m (G_{km} \cos \theta_{km} + B_{km} \sin \theta_{km})$$

$$J_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} = P_k - G_{kk} V_k^2$$

$$L_{km} = \frac{\partial Q_k}{\partial v_m} = V_k (G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km})$$

$$L_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial v_k} = \frac{Q_k}{V_k} - B_{kk} V_k$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

Per unit system

$$(P_{ac})_{base} = P \text{ MW (3 phases power)}$$

$$(V_{ac})_{base} = V \text{ kV (line-to-line)}$$

$$(I_{ac})_{base} = (P/\sqrt{3V}) \times 10^3 \text{ A}$$

$$(Z_{ac})_{base} = (V_{ac})_{base}^2 / (P_{ac})_{base} \text{ Ohms}$$

$$(I_{dc})_{base} = (\pi/\sqrt{6})(I_{ac})_{base} \text{ KA}$$

$$(I_{dc})_{base} = P / ((3\sqrt{2}/\pi)(V_{ac})_{base}) \times 10^3 \text{ A}$$

$$(V_{dc})_{base} = (3\sqrt{2}/\pi)(V_{ac})_{base} \text{ KV}$$

$$(Z_{dc})_{base} = V_{dc} / (I_{dc})_{base}$$

$$= (18/\pi^2)(Z_{ac})_{base}$$

$$\begin{bmatrix} AA'_1 \cdot \Delta X \\ AA'_2 \cdot \Delta X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_m B_m E_m \cos(\phi_m - \phi_m) \Delta\phi_m \\ a_n B_n E_n \cos(\phi_n - \phi_n) \Delta\phi_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} AA''_1 \cdot \Delta X \\ AA''_2 \cdot \Delta X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (2a_m B_m V_m - B_m E_m \cos(\phi_m - \phi_m)) \Delta a_m \\ (2a_n B_n V_n - B_n E_n \cos(\phi_n - \phi_n)) \Delta a_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} BB''_1 \cdot \Delta V \\ BB''_2 \cdot \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 a_m \cos \phi_m \Delta V_m \\ K_1 a_n \cos \phi_n \Delta V_n \end{bmatrix}$$

ภาคผนวก ก

FORTRAN (REV.000)
LISTING

ACOS=4

VER. R7.51 FORTRAN REV. 070

DATE: 86-02-24

TIME: 10:03:25

DIGITAL METHOD APPLIED TO AC/DC POWER SYSTEM LOADFLOW ANALYSIS

THIS IS APPLICATION PROGRAM FOR POWER SYSTEM LOADFLOW ANALYSIS. IN THIS PROGRAM FAST DECOUPLE AND NEWTON-RAPHSON METHODS ARE USED TO FIND SOLUTIONS OF ALTERNATING CURRENT (AC) AND DIRECT CURRENT (DC) SYSTEM RESPECTIVELY.

DEFINE DIMENSION OF INTEGER VARIABLES

```

1 INTEGER LIST(200),LISTP(200),LISTQ(200),NEXT(800),FAR(800),
2 NCON(200),NSTATE(200),BTYPE(200),NORDRP(200),
3 NORDRQ(200),BNUM(400),BNUMR(200),NCON(10),NBIS(10),
  CONB(10),KONTRL(3,10),END

```

DEFINE DIMENSION OF REAL VARIABLES

```

1 REAL BSHUNT(200),DELTA(200),EMAG(200),ANGLE(200),PG(200),
2 QG(200),PL(200),QL(200),BDIAGP(200),BDIAGR(200),
3 BOFDGP(400),BOFDGR(400),QMIN(200),QMAX(200),NAME1(200),
4 NAME2(200),GG(200),BB(200),G(400),B(400),GE(800),
5 BE(800),E(200),F(200),P(200),Q(200),QCR(200),SRATE(400),
  RATE(400)
1 REAL XC(10),XT(10),FAMIN(10),FAMAX(10),TT(10),BT(10),
2 FY(10),NOMV(10),MAXV(10),MINV(10),MAXA(10),
3 TS(10),PDS(10),QDS(10),AS(10),CANG(10),CDCV(10),
4 CV(10),CPF(10),X(70),XSP(70),A(80,80),R(80),ZP(10,10),
  LP(10,10)

```

DEFINE COMMON NAME

```

COMMON/NUMBR/NBUS,NS,NL,NR
COMMON/PRINT/NPRINT(9)
COMMON/MVA/BASE
COMMON/NBUSS/NBUSS(10),ISTART(10)
COMMON/LOSS/PLOSS,QLLOSS

```

GENERAL INFORMATION

```

10 READ(5,10) NN,NBR,NE,MAXCON
  FORMAT(4I5)
  M7=7*MAXCON
  M8=8*MAXCON
555 CONTINUE
1000 READ(5,1000) NCASE,MAXIT,TOL,(NPRINT(I),I=1,9),BASE,INT,NS
  FORMAT(15,5X,I5,F10.5,9I1,F8.4,2I4)
  IF(NCASE.EQ.0) GO TO 291
  TOL=TOL/BASE

```

INPUT SECTION

```

C====>READIN DATA
1 CALL ACDAIP(NR,NBR,NE,LIST,NEXT,FAR,BTYPE,BNUM,BNUMR,NAME1,NAME2,
2 EMAG,ANGLE,PG,QG,PL,QL,QMIN,QMAX,BDIAGP,BOFDGP,BSHUNT,E,F,
  GG,BB,G,B,GE,BE,QCR,SRATE,RATE)
C
1 CALL DCDAIP(NH,M8,EMAG,BNUMR,BB,X,XSP,KONTRL,NCON,NBIS,XC,
2 XT,FAMIN,FAMAX,TT,BT,FY,CONB,NOMV,MAXV,MINV,MAXA,TS,PDS,
  QDS,AS,CANG,CDCV,CV,CPF,LP,ZP,MAXCON,M7,INT,NLOOP)
C

```

```

DO 75 K=1,NBUS
  LISTP(K)=LIST(K)
  LISTQ(K)=LIST(K)
  BDIAGG(K)=BB(K)
75 CONTINUE
DO 76 K=1,NL
  BOFDGG(K)=B(K)
76 CONTINUE
DO 26 I=1,NBUS
  NSTATE(I)=0
  IF(BTYPE(I).EQ.2) NSTATE(I)=-1
26 CONTINUE

```

11 FORTMAIN(REV.000)
LISTING

ACOS=4

VER. R7.51 FORTRAN REV. 070

DATE: 86-02-24

TIME: 10:03:25

```

81 LAST=NL
82 C====> MATRIX ELIMINATION
83 CALL ELIMIN(NN,NBR,NE,LISTP,NEXT,FAR,BDIAGP,BOFDGP,NSTATE,
84 1 NORDRP,NCONN,NELIMP,LAST,NCON,MAXCON,0,INT,NLOOP)
85 C
86 DO 82 K=1,NBUS
87 DO 300 I=1,INT
88 NCONN(NCON(I))=2000
89 CONTINUE
90 NSTATE(K)=0
91 IF(BTYPE(K).NE.0) NSTATE(K)=-1
92 CONTINUE
93 C====> MATRIX ELIMINATION
94 CALL ELIMIN(NN,NBR,NE,LISTQ,NEXT,FAR,BDIAGQ,BOFDGQ,NSTATE,
95 1 NORDRQ,NCONN,NELIMQ,LAST,NCON,MAXCON,1,INT,NLOOP)
96 C
97 DO 61 K=1,NBUS
98 NSTATE(K)=0
99 NCONN(K)=0
100 IF(BTYPE(K).EQ.2) NSTATE(K)=-1
101 IF(BTYPE(K).NE.0) NCONN(K)=-1
102 CONTINUE
103 61 CONTINUE
104 21 CONTINUE
105 LPORQ=0
106 666 CONTINUE
107 ICNTP=0
108 ICNTQ=0
109 KP=1
110 KQ=1
111 81 CONTINUE
112 DO 130 K=1,NBUS
113 Z=0.0
114 Y=0.0
115 END=LIST(K)
116 IF(END.EQ.0) GO TO 130
117 NB=(END+1)/2
118 J=FAR(END)
119 W=G(NB)*E(J)-B(NB)*F(J)
120 Z=Z+W
121 W=B(NB)*E(J)+G(NB)*F(J)
122 Y=Y+W
123 END=NEXT(END)
124 IF(END.EQ.0) GO TO 100
125 GO TO 100
126 100 W=GG(K)*E(K)-BB(K)*F(K)
127 Z=Z+W
128 W=BB(K)*E(K)+GG(K)*F(K)
129 Y=Y+W
130 WE(K)=Z+F(K)*Y
131 PK=PG(K)-PL(K)-W
132 CONTINUE
133 ICNTP=0
134 ICNTQ=0
135 C====> FIND RESIDUAL MATRIX
136 CALL DCRES(NN,M8,MAXCON,M7,EMAG,R,X,XSP,KONTRL,NCON,
137 1 LP,ZP,XC,BT,PDS,QDS,INT,CV,0,NLOOP)
138 C
139 DO 303 I=1,INT
140 P(NCON(I))=P(NCON(I))+R(I)*EMAG(NCON(I))
141 CONTINUE
142 303 CONTINUE
143 155 CONTINUE
144 DO 106 K=1,NBUS
145 IF(BTYPE(K).EQ.2) GO TO 106
146 IF(ABS(P(K)).GT.TOL) GO TO 109
147 CONTINUE
148 INTP1=INT+1
149 INTM8=8*INT
150 DO 107 K=INTP1,INTM8
151 IF(ABS(R(K)).GT.TOL) GO TO 109
152 CONTINUE
153 CONTINUE
154 KP=0
155 IF(KQ.EQ.0) GO TO 444
156 GO TO 109
157 CONTINUE
158 IF(ICNTP.GT.MAXIT) GO TO 290
159 ICNTP=ICNTP+1
160 DO 108 K=1,NBUS
161 DELTA(K)=P(K)/EMAG(K)
162 C====> MATRIX REDUCTION
163 CALL FORRED(NN,NBR,NE,LISTP,NEXT,FAR,BDIAGP,BOFDGP,
164 1 DELTA,NSTATE,NORDRP,NELIMP)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

162 C==>BACK SUBSTITUTION
163 CALL BACSUB(NN,NBR,NE,LISTP,NEXT,FAR,BDIAGP,BOFDGP,
164 1 DELTA,NSTATE,NORDRP,NELIMP)
165
166 C
167 DO 111 K=1,NBUS
168 IF(BTYPE(K).EQ.2) GO TO 111
169 ANGLE(K)=ANGLE(K)+DELTA(K)
170 E(K)=EMAG(K)*COS(ANGLE(K))
171 F(K)=EMAG(K)*SIN(ANGLE(K))
172 111 CONTINUE
173 138 CONTINUE
174 DO 140 K=1,NBUS
175 Z=0.0
176 Y=0.0
177 END=LIST(K)
178 IF(END.EQ.0) GO TO 140
179 NB=END+1/2
180 J=FA(ENB)
181 W=GB(NB)*E(J)-B(NB)*F(J)
182 Z=Z+W
183 W=GB(NB)*E(J)+G(NB)*F(J)
184 Y=Y+W
185 END=NEXT(END)
186 IF(END.EQ.0) GO TO 141
187 GO TO 139
188 141 W=GG(K)*E(K)-BB(K)*F(K)
189 Z=Z+W
190 W=BB(K)*E(K)+GG(K)*F(K)
191 Y=Y+W
192 Z=F(K)*Z+E(K)*Y
193 Q(K)=QG(K)-QL(K)-Z+QCR(K)
194 140 CONTINUE
195 C==>FIND RESIDUAL MATRIX
196 CALL DCRES(NN,MB,MAXCON,M7,EMAG,R,X,XSP,KONTRL,NCON,
197 1 LP,ZP,XC,BT,PDS,QDS,INT,CV,1,NLOOP)
198
199 C
200 DO 311 I=1,INT
201 K=NCON(I)
202 Q(K)=Q(K)+R(I)*EMAG(K)
203 311 CONTINUE
204 138 CONTINUE
205 DO 142 K=1,NBUS
206 IF(BTYPE(K).NE.0) GO TO 142
207 IF(ABS(Q(K)).GT.TOL) GO TO 145
208 142 CONTINUE
209 INTM8=INT+1
210 INTM8=8*INT
211 DO 143 K=INTP1,INTM8
212 IF(ABS(R(K)).GT.TOL) GO TO 145
213 143 CONTINUE
214 159 CONTINUE
215 KQ=0
216 IF(KP.EQ.0) GO TO 444
217 GO TO 81
218 145 CONTINUE
219 IF(ICNTQ.GT.MAXIT) GO TO 290
220 ICNTQ=ICNTQ+1
221 IF(INT.EQ.0) GO TO 160
222 DO 313 I=1,INT
223 K=NCON(I)
224 Q(K)=Q(K)-R(I)*EMAG(K)
225 313 CONTINUE
226 C==>CALCULATE DC JACOBIANT MATRIX
227 CALL DCJAC(NN,NBR,NE,MAXCON,M7,MB,LISTQ,NEXT,FAR,BDIAGQ,
228 1 BOFDGQ,EMAG,KONTRL,A,BTYPE,NCON,BT,XC,LP,ZP,X,NBIS,
229 2 INT,NLOOP)
230
231 C
232 160 CONTINUE
233 DO 146 K=1,NBUS
234 DELTA(K)=Q(K)/EMAG(K)
235 C==>MATRIX REDUCTION
236 CALL FORRED(NN,NBR,NE,LISTQ,NEXT,FAR,BDIAGQ,BOFDGQ,
237 1 DELTA,NCONN,NORDRQ,NELIMQ)
238
239 C
240 DO 307 I=1,INT
241 R(I)=R(I)+DELTA(NCON(I))
242 307 CONTINUE
243 NM=8*INT
244 LPIV=0
245 C==>MATRIX INVERSION

```



```

88881 24 BDIAGP(1)=0.0
88882 NBUST4=NBUS*4
88883 IF(NBUST4.GE.NE) NBUST4=NE
88884 DO 2 J=1,NBUST4
88885 FAR(J)=0
88886 2 NEXT(J)=0
88887 IF(NPRINT(2).EQ.1) GO TO 22
88888 WRITE(6,1070)
1070 FORMAT(1H, T30,'LINE - DATA')
88889 WRITE(6,1080)
1080 FORMAT(1H, T3, 'BUS', T12, 'NAME', T23, 'BUS', T32, 'NAME', T43, 'RESISTANC
1E REACTANCE SUSCEPTANCE LINE=RATED')
88890 22 CONTINUE
88891 NL=0
88892 READ(5,1090) BUSI,BUSJ,RL,XL,BL,NAC,SRAT
1090 FORMAT(2I5,2F10.5,10X,11,F10.5)
88893 IF(BUSI.EQ.0) GO TO 40
88894 IF(NAC.LT.2) GO TO 200
88895 BUSI=BUSI+1$TART(NAC)
88896 BUSJ=BUSJ+1$TART(NAC)
88897 200 CONTINUE
88898 DO 90 III=1,NBUS
88899 IF(BNUMR(III).EQ.BUSI) BUSA=III
88900 IF(BNUMR(III).EQ.BUSJ) BUSB=III
88901 90 CONTINUE
88902 IF(NPRINT(2).EQ.1) GO TO 31
88903 WRITE(6,1100) BUSI,NAME1(BUSA),NAME2(BUSA),BUSJ,NAME1(BUSB),
1100 NAME2(BUSB),RL,XL,BL,SRAT
88904 1100 FORMAT(2X,14,3X,A4,A4,2X,F10.5,1X,F10.5,1X,F10.5,
16X,F10.5)
88905 31 CONTINUE
88906 NL=NL+1
88907 SRATE(NL)=SRAT
88908 BL=BL*0.5
88909 Y=1.0/(RL*RL+XL*XL)
88910 RL=RL*Y
88911 XX=XL*Y
88912 XL=XL*Y
88913 END=2*NL-1
88914 CALL ADDEND(NN,NE,LIST,NEXT,BUSA,END)
88915 FAR(EN)=BUSB
88916 BE(EN)=BL
88917 END=END+1
88918 CALL ADDEND(NN,NE,LIST,NEXT,BUSB,END)
88919 FAR(EN)=BUSA
88920 BE(EN)=BL
88921 G(NL)=RL
88922 B(NL)=XX
88923 BOFOP(NL)=XL
88924 XX=XX+BL
88925 GG(BUSA)=GG(BUSA)+RL
88926 BB(BUSA)=BB(BUSA)+XX
88927 GG(BUSB)=GG(BUSB)+RL
88928 BB(BUSB)=BB(BUSB)+XX
88929 BDIAGP(BUSA)=BDIAGP(BUSA)-XL
88930 BDIAGP(BUSB)=BDIAGP(BUSB)-XL
88931 GO TO 30
88932 40 CONTINUE
88933 NL=NL
88934 IF(NPRINT(3).EQ.1) GO TO 42
88935 WRITE(6,1110)
1110 FORMAT(1H, T30,'TRANSFORMER - DATA')
88936 WRITE(6,1120)
1120 FORMAT(1H, T5, 'BUS', T12, 'NAME', T25, 'BUS', T32, 'NAME', T43,
1E RESISTANCE, T56, 'REACTANCE TAP CODE LINE=RATED')
88937 42 CONTINUE
88938 50 READ(5,1130) BUSI,BUSJ,RL,XL,RATIO,CODE,NAC,SRAT
1130 FORMAT(2I5,2F10.5,F6.4,11,10X,11,F10.5)
88939 IF(BUSI.EQ.0) GO TO 70
88940 IF(NAC.LT.2) GO TO 300
88941 BUSI=BUSI+1$TART(NAC)
88942 BUSJ=BUSJ+1$TART(NAC)
88943 300 CONTINUE
88944 DO 91 III=1,NBUS
88945 IF(BNUMR(III).EQ.BUSI) BUSA=III
88946 IF(BNUMR(III).EQ.BUSJ) BUSB=III
88947 91 CONTINUE
88948 IF(NPRINT(3).EQ.1) GO TO 51
88949 WRITE(6,1140) BUSI,NAME1(BUSA),NAME2(BUSA),BUSJ,NAME1(BUSB),
1140 NAME2(BUSB),RL,XL,RATIO,CODE,SRAT
88950 1140 FORMAT(1H, 2X,14,2X,A4,A4,2X,F10.5,2X,F10.5,4X,

```

```

162 1 F5.3, I4, (3X, F10.5)
163 51 CONTINUE
164 IF (CODE.NE.1) GO TO 60
165 NTEMP=BUSB
166 BUSA=BUSB
167 BUSB=NTEMP
168 60 CONTINUE
169 NL=NL+1
170 SRATE(NL)=SRAT
171 RATE(NL)=RATIO
172 Y=1.0/(RL*RL+XL*XL)
173 RL=RL*Y
174 XX=XL*Y
175 XL=1.0/XL
176 MAB=1.0/RATIO
177 MBB=1.0/MAB
178 MAA=MBB/RATIO
179 END=2-NL=1
180 CALL ADDEND(NN,NE,LIST,NEXT,BUSA,END)
181 FAR(END)=BUSB
182 GE(END)=MAA*RL
183 BE(END)=MAA*XX
184 END=END+1
185 CALL ADDEND(NN,NE,LIST,NEXT,BUSB,END)
186 FAR(END)=BUSA
187 GE(END)=MBB*RL
188 BE(END)=MBB*XX
189 G(NL)=MAB*RL
190 B(NL)=MAB*XX
191 BOFDGP(NL)=XL
192 MAA=MAA+MAB
193 MBB=MBB+MAB
194 GG(BUSA)=GG(BUSA)+MAA*RL
195 BB(BUSA)=BB(BUSA)+MAA*XX
196 GG(BUSB)=GG(BUSB)+MBB*RL
197 BB(BUSB)=BB(BUSB)+MBB*XX
198 BDIAGP(BUSA)=BDIAGP(BUSA)-XL
199 BDIAGP(BUSB)=BDIAGP(BUSB)-XL
200 GO TO 50
201 70 CONTINUE
202 NTRAN=NL-NLINE
203 IF (NPRINT.NE.1) GO TO 71
204 WRITE(115) NBUS, NL, NLINE, NTRAN
205 1150 FORMAT(1H1, 'NUMBER OF BUSES', I25, IS, 1H0, 'NUMBER OF LINES', I25, IS,
206 1H0, 'NO OF TRANSFORMERS', I25, IS, 20(7))
207 71 CONTINUE
208 RETURN
209 END

```

** 1 ERROR 302 : DUMMY ARGUMENT NOT USED : BNUM



AM: ADDEND (REV.000) ACOS-4 VER. R7.51 FORTRAN REV. 070 DATE: 86-02-24 TIME: 10:03:48

```

1 SUBROUTINE ADDEND(NN,NE,LIST,NEXT,BUSA,ENDA)
C   INTEGER LIST(NN),NEXT(NE),END,ENDA,BUSA
C   IF(LIST(BUSA),NE.0) GO TO 21
LIST(BUSA)=ENDA
RETURN
21 END=LIST(BUSA)
22 IF(NEXT(END),EQ.0) GO TO 23
END=NEXT(END)
GO TO 22
23 NEXT(END)=ENDA
RETURN
END

```

C
C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80

```

SUBROUTINE DCDAIP(NN,MB,EMAG,BNUMR,BB,X,XSP,KONTRL,NCON,
1 NBIS,XC,XT,FAMIN,FAMAX,TT,BT,FY,CONB,NOMV,MAXV,
2 MINV,MAXA,TS,PDS,QDS,AS,CANG,CDCV,CV,CPF,LP,ZP,
3 MAXCON,M7,INT,NLOOP)
C
C 1 INTEGER KONTRL(3,MAXCON),NCON(MAXCON),NBIS(MAXCON),BNUMR(NN),
C CONB(MAXCON),CONBI
C
C 1 REAL XC(MAXCON),XT(MAXCON),FAMIN(MAXCON),FAMAX(MAXCON),
C TT(MAXCON),BT(MAXCON),FY(MAXCON),EMAG(NN),BB(NN),
C 2 NOMV(MAXCON),MAXV(MAXCON),MINV(MAXCON),MAXA(MAXCON),
C 3 TS(MAXCON),PDS(MAXCON),QDS(MAXCON),AS(MAXCON),
C 4 CANG(MAXCON),CDCV(MAXCON),CV(MAXCON),CPF(MAXCON),
C 5 ZP(MAXCON),X(M7),XSP(M7),LP(MAXCON,MAXCON)
C REAL NOMVI,MAXVI,MINVI,MAXAI
C
COMMON/NUMBR/NBUS,NS,NL,NR
COMMON/MVA/BASE
COMMON/NBUSS/NBUSS(10),ISTART(10)
PI=3.14159
C1=3.0/SQRT(2.0)/PI
C2=3.0/PI
DO 1000 I=1,INT
1 READ(5,2000) NBISI,XCI,XTI,FAMINI,FAMAXI,TTI,BTI,TII,
C 1 FXI,CONBI,NAC
C 2000 FORMAT(13,8F8.3,18,15)
C IF(NAC,LT,2) GO TO 150
C CONBI=CONBI+ISTART(NAC)
C CONTINUE
C 150 READ(5,3000) NOMVI,MAXVI,MINVI,MAXAI,VDCI,PDCT,KC
C 3000 FORMAT(6F10.4,13)
C DO 100 J=1,NBUS
C IF(BNUMR(J).EQ.CONBI)NCON(I)=J
C CONTINUE
C 100 BB(NCON(I))=BB(NCON(I))+1/FXI
C 4000 READ(5,4000) TSI,PDSI,QDSI,ASI,CANGI,CDCVI,CVI,CPFI
C 4000 FORMAT(8F10.2)
C PDCT=PDCT/BASE
C XTI=XTI/FLOAT(NBISI)
C NOMVI=NOMVI/FLOAT(NBISI)
C XCI=XCI/FLOAT(NBISI)
C VDCI=VDCI/NOHVI
C KP1=K+1
C KP2=K+2
C KP3=K+3
C KP4=K+4
C KP5=K+5
C KP6=K+6
C DO 200 J=KP1,KP6
C X(J)=0.0
C XSP(J)=0.0
C 200 BTI=-1.0)XTI
C J=0
C L=1
C CALL SQTR(X,KONTRL,CPFI,I,J,L,MAXCON,M7,K)
C X(K+L)=ACOS(CPFI)
C CALL SQTR(X,KONTRL,CDCVI,I,J,L,MAXCON,M7,K)
C X(K+L)=X(K+L)/NOHVI
C L=L+1
C CNOMI=BASE/(NOMVI*FLOAT(NBISI))
C CALL SQTR(X,KONTRL,CANGI,I,J,L,MAXCON,M7,K)
C IF(BCTI,LI,0.0)X(K+L)=180.0-X(K+L)
C X(K+L)=COS(X(K+L))*3.14159/180.0)
C CALL SQTR(X,KONTRL,TSI,I,J,L,MAXCON,M7,K)
C X(K+L)=1.0+X(K+L)/100.0
C KP1=K+1
C KP2=K+2
C KP3=K+3
C KP4=K+4
C KP5=K+5
C KP6=K+6
C DO 300 II=KP1,KP6
C 300 XSP(II)=X(II)
C CALL SQTR(X,KONTRL,PDSI,I,J,L,MAXCON,M7,K)
C PDSI=PDSI/BASE
C CALL SQTR(X,KONTRL,QDSI,I,J,L,MAXCON,M7,K)
C QDSI=QDSI/BASE
C CALL SQTR(X,KONTRL,CVI,I,J,L,MAXCON,M7,K)
C CVI=CVI/NOHVI
C IF(CVI.NE.0.0)EMAG(NCON(I))=CVI
C L=6*INT=5*I+6
C L=L-1
C CALL SQTR(X,KONTRL,ASI,I,J,L,MAXCON,M7,K)
C X(K+L/2)=ASI/CNOMI
C XSP(K+L/2)=X(K+L/2)
C CDI=PDCT/VDCI
C IF(ASI.EQ.0.0)X(K+L/2)=CDI

```

```

136
135
134
133
132
131
130
129
128
127
126
125
124
123
122
121
120
119
118
117
116
115
114
113
112
111
110
109
108
107
106
105
104
103
102
101
100
99
98
97
96
95
94
93
92
91
90
89
88
87
86
85
84
83
82
81
80
79
78
77
76
75
74
73
72
71
70
69
68
67
66
65
64
63
62
61
60
59
58
57
56
55
54
53
52
51
50
49
48
47
46
45
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
IF(PDCI.GT.0.0)GO TO 350
XCI=XCI
CONTINUE
350 IF(CANGI.EQ.0.0)GO TO 400
X(K+1)=(VDCI+XCI*CDI*C2)/(C1*X(K+5))
GO TO 500
CONTINUE
400 IF(CPFI.EQ.0.0)CPFI=0.9
X(K+1)=ABS(VDCI/(C1*CPFI))
CONTINUE
500 X(K+2)=ACOS(VDCI/(C1*X(K+1)))
X(K+3)=VDCI
IF(X(K+3).EQ.0.0)X(K+5)=(VDCI+XCI*CDI*C2)/(C1*X(K+1))
X(K+4)=X(K+2)+ASIN(PDCI*XTI/X(K+1))
X(K+6)=EMAGNCON(I)/X(K+1)
NBISI=NBISI
XC(I)=XCI
XT(I)=XTI
FAMIN(I)=FAMINI
FAMAX(I)=FAMAXI
TT(I)=TTI
BT(I)=BTI
FY(I)=FYI
CONB(I)=CONBT
NOMV(I)=NOMVI
MAXV(I)=MAXVI
MINV(I)=MINVI
MAXA(I)=MAXAI
TS(I)=TSI
PDS(I)=PDSI
QDS(I)=QDSI
AS(I)=ASI
CANG(I)=CANGI
CDCV(I)=CDCVI
CV(I)=CVI
CPFI(I)=CPFI
IF(KC.EQ.0) KC=I+1
CONTINUE
1000 READ(2,6000) NLOOP,(LP(K,1),K=1,10)
6000 FORMAT(12,10X,10F3,0)
READ(5,7000) (ZP(K,1),K=1,10)
7000 FORMAT(10F8,4)
I=1
DO 1250 K=1,INT
LP(K,I)=LP(K,I)*NOMV(K)
1250 ZP(K,I)=ZP(K,I)*BASE/NOMV(K)
NLOOP1=NLOOP+1
DO 1300 I=NLOOP1,INT
READ(5,6500) (LP(K,I),K=1,10)
6500 FORMAT(12X,10F3,0)
DO 1300 K=1,INT
LP(K,I)=LP(K,I)*BASE/NOMV(K)
1300 CONTINUE
1400 CONTINUE
RETURN
END

```

** 1 ERROR 302 : DUMMY ARGUMENT NOT USED : MB

MI SQTR
LISTING

(REV.000)

ACOS=4

VER. R7.51 FORTRAN REV. 070

DATE: 86-02-24

TIME: 10:03:59

```

1 SUBROUTINE SQTR(X,KONTRL,A,I,J,L,MAXCON,M7,K)
2   C
3   C DIMENSION KONTRL(3,MAXCON),X(M7)
4   C
5   L=L+1
6   IF(A.EQ.0.)GO TO 10
7   J=J+1
8   IF(L.LT.7) X(K+L)=A
9   KONTRL(J,I)=L
10  CONTINUE
11  RETURN
12  END

```

C
C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MS DCRES
LISTING

(REV.000)

ACOS-4

VER. R7.51 FORTRAN REV. 070

DATE: 86-02-24

TIME: 10:04:00

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80

```

SUBROUTINE DCRES(NN,MB,MAXCON,M7,EMAG,R,X,XSP,KONTRL,NCON,
LP,ZP,XC,BT,PDS,QDS,INT,CV,LPORQ,NLOOP)
  INTEGER KONTRL(3,MAXCON),NCON(MAXCON),NBIS(MAXCON)
  REAL EMAG(NN),R(MB),X(M7),XSP(M7),ZP(MAXCON,MAXCON),
XC(MAXCON),BT(MAXCON),PDS(MAXCON),QDS(MAXCON),
CV(MAXCON),LP(MAXCON,MAXCON)
  PI=3.14159
  C1=3.0*SQRT(2.0)/PI
  C2=3.0/PI
  IF(LPORQ.EQ.1) GO TO 30
  DO 10 I=1,INT
  K=6*I-6
  R(I)=X(K+1)*X(K+6)*BT(I)*SIN(X(K+4)-X(K+2))
  CONTINUE
  RETURN
  CONTINUE
  DO 40 I=1,INT
  K=6*I-6
  R(I)=X(K+6)*X(K+6)*BT(I)*EMAG(NCON(I))
  -X(K+6)*BT(I)*X(K+1)*COS(X(K+4)-X(K+2))
  CONTINUE
  PI=3.14159
  C1=3.0*SQRT(2.0)/PI
  C2=3.0/PI
  DO 1000 I=1,INT
  ISAVE=I
  K=6*I-6
  CTHI=COS(X(K+2))
  CX=COS(X(K+4))
  SX2=SIN(X(K+2))
  S4=SIN(X(K+4))
  KK=INT+K
  R(KK+1)=X(K+3)-C1*EMAG(NCON(I))*X(K+5)*X(K+6)+XC(I)*C2*
  R(KK+2)=X(K+3)-C1*X(K+1)*CTHI
  R(KK+3)=C1*X(6*INT+1)-BT(I)*X(K+1)*S2-
  1X(K+6)*EMAG(NCON(I))*S4
  R(KK+4)=X(K+3)-C1*X(K+6)*EMAG(NCON(I))*C4
  J=4
  L=0
  200 J=J+1
  L=L+1
  IF(L.GT.2) GO TO 900
  NC=KONTRL(L,I)
  IF(NC) 800,900,220
  220 NC6=NC-6
  IF(NC6) 300,300,250
  250 IF(NC.L.10) GO TO 260
  GO TO 300
  260 CONTINUE
  GO TO (400,500,600),NC6
  300 R(KK+J)=XSP(K+NC)-X(K+NC)
  GO TO 200
  400 CONTINUE
  R(KK+J)=X(K+3)*X(6*INT+I)-PDS(I)
  GO TO 200
  500 CONTINUE
  600 R(KK+J)=EMAG(NCON(I))-CV(I)
  GO TO 200
  800 CONTINUE
  900 CONTINUE
  I=ISAVE
  CONTINUE
  I=1
  KK=7*INT+I
  R(KK)=0.
  DO 1500 J=1,INT
  II=3+6*(J-1)
  R(KK)=R(KK)+X(II)*LP(J,I)-X(6*INT+J)*ZP(J,I)
  1500 CONTINUE
  NLOOP1=NLOOP+1
  DO 3000 I=NLOOP1,INT
  KK=7*INT+I
  R(KK)=0.

```

C
C
C
C



DCRES (REV.000) ACOS-4 VER. R7.51 FORTRAN REV. 070 DATE: 86-02-24 TIME: 10:04:00
 LISTING

```

81      DO 3000 J=1,INT
82      R(KK)=R(KK)+X(6*INT+J)*LP(J,I)
83      3000 CONTINUE
84      4000 CONTINUE
85      RETURN
86      END
  
```

```

** 1 ERROR 302 : DUMMY ARGUMENT NOT USED : QDS
** 2 ERROR 301 : ARRAY NOT USED, THEREFORE NOT ALLOCATED : NBIS
  
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DCJAC
LISTING

(REV.000)

ACOS-4

VER. R7.51 FORTRAN REV. 070

DATE: 86-02-24

TIME: 10:04:06

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80

```

1 SUBROUTINE DCJAC(NN,NBR,NE,MAXCON,M7,M8,LISTQ,NEXT,FAR,BDIAGQ,
2 BOFDGQ,EMAG,KONTRL,A,BTYPE,NCON,BT,XC,LP,ZP,X,NBIS,
3 INT,NLOOP)
4
5 C
6 C
7 C
8 C
9 C
10 C
11 C
12 C
13 C
14 C
15 C
16 C
17 C
18 C
19 C
20 C
21 C
22 C
23 C
24 C
25 C
26 C
27 C
28 C
29 C
30 C
31 C
32 C
33 C
34 C
35 C
36 C
37 C
38 C
39 C
40 C
41 C
42 C
43 C
44 C
45 C
46 C
47 C
48 C
49 C
50 C
51 C
52 C
53 C
54 C
55 C
56 C
57 C
58 C
59 C
60 C
61 C
62 C
63 C
64 C
65 C
66 C
67 C
68 C
69 C
70 C
71 C
72 C
73 C
74 C
75 C
76 C
77 C
78 C
79 C
80 C

```

1 INTEGER LISTQ(NN),NEXT(NE),FAR(NE),BTYPE(NN),
2 KONTRL(3,MAXCON),NCON(MAXCON),NBIS(MAXCON)
3
4 INTEGER END,BRANCH
5
6 REAL BDIAGQ(NN),BOFDGQ(NBR),EMAG(NN),LP(MAXCON,MAXCON),
7 A(M8,M8),BT(MAXCON),XC(MAXCON),ZP(MAXCON,MAXCON),X(M7)
8
9 PI=3.14159
10 C1=3.0/SQRT(2.0)/PI
11 C2=3.0/PI
12 NM=30/INT
13 DO 100 J=1,NM
14 DO 100 I=1,NM
15 A(I,J)=0
16 IDI(I)=0
17 DO 1000 I=1,INT
18 K=6
19 IPOS=IDI*IST+I
20 E=X(K+1)
21 THI=X(K+2)
22 VD=X(K+3)
23 SHI=X(K+4)
24 FANG=X(K+5)
25 TAP=X(K+6)
26 BT=BT(I)
27 XC=XC(I)
28 VE=EMAG(NCON(I))
29 CTHI=COS(THI)
30 STHI=SSIN(THI)
31 CSHI=SSIN(SHI)
32 SSHI=SSIN(SHI)
33 IS=AVEINT+K
34 KK=INT+K
35 A(KK+1,I)=C1*FANG*TAP
36 A(KK+3,I)=M1
37 A(KK+5,I)=C1*V*TAP
38 A(KK+7,I)=C1*FANG*V
39 A(KK+9,I)=XC*INT
40 A(KK+11,I)=C1*CTHI
41 A(KK+13,I)=C1*STHI
42 A(KK+15,I)=BT*I*AP*SSHI
43 A(KK+17,I)=BT*I*STHI
44 A(KK+19,I)=BT*I*E*CTHI
45 A(KK+21,I)=BT*I*TAP*V*CSHI
46 A(KK+23,I)=BT*I*V*SSHI
47 A(KK+25,I)=INT*M1
48 A(KK+27,I)=C1*TAP*CSHI
49 A(KK+29,I)=M1
50 A(KK+31,I)=C1*TAP*V*SSHI
51 A(KK+33,I)=C1*V*CSHI
52
53 J=6
54 L=0
55 200 J=J+1
56 L=L+1
57 IF(L.GT.2) GO TO 900
58 NC=KONTRL(L,LI)
59 IF(NC) 700,900,220
60 220 NC=NC-6
61 IF(NC) 200,300,250
62 250 IF(NC) 9) GO TO 260
63 NC=NC-9
64 GO TO 300
65 260 CONTINUE
66 GO TO (400,500,600),NC6
67 A(KK+J,KK+NC)=1.0
68 GO TO 200
69 400 CONTINUE
70 A(KK+J,KK+3)=C1*P
71 A(KK+J,IPOS+INT)=VD
72 GO TO 200
73 500 CONTINUE
74 600 CONTINUE
75 A(KK+J,I)=1.0
76 GO TO 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

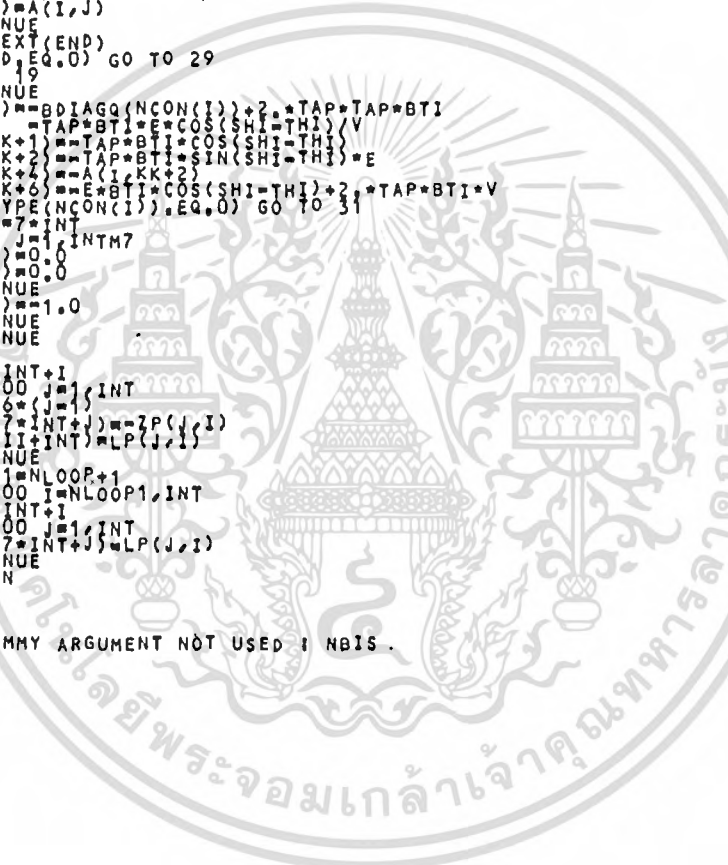
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

801 700 CONTINUE
802 900 CONTINUE
803 I=ISAVE
804 END=LIST*(NCON(I))
805 IF(END.EQ.0) GO TO 29
806 19 NODEN=PAR(END)
807 DO 20 J=1,INT
808 IF(NODEN.NE.NCON(J)) GO TO 20
809 BRANCH=(END+1)/2
810 A(I,J)=BOFDGQ(BRANCH)
811 A(J,I)=A(I,J)
812 20 CONTINUE
813 END=NEXT(END)
814 IF(END.EQ.0) GO TO 29
815 GO TO 19
816 29 CONTINUE
817 A(I,1)=BDIAGQ(NCON(I))+2.*TAP*TAP*BTI
818 1 TAP*BTI=E*COS(SHI-THI)/V
819 A(I, KK+1)=TAP*BTI*COS(SHI-THI)
820 A(I, KK+2)=TAP*BTI*SIN(SHI-THI)*E
821 A(I, KK+3)=A(I, KK+2)
822 A(I, KK+4)=E*BTI*COS(SHI-THI)+2.*TAP*BTI*V
823 IF(BTYPRE(NCON(I)).EQ.0) GO TO 31
824 INTM7=7*INT
825 DO 30 J=1,INTM7
826 A(I, J)=0
827 A(J, I)=0
828 30 CONTINUE
829 A(I, 1)=1.0
830 31 CONTINUE
831 1000 CONTINUE
832 I=1
833 KK=7*INT+1
834 DO 2000 J=1,INT
835 I=3+6*(J-1)
836 A(KK, 7*INT+J)=-ZP(J, I)
837 A(KK, I+INT)=LP(J, I)
838 2000 CONTINUE
839 NLOOP1=NLOOP+1
840 DO 3000 I=NLOOP1,INT
841 KK=7*INT+1
842 DO 3000 J=1,INT
843 A(KK, 7*INT+J)=LP(J, I)
844 3000 CONTINUE
845 RETURN
846 END

```

** 1 ERROR 302 ; DUMMY ARGUMENT NOT USED ; NBIS .



ELIMIN (REV.000) ACOS=4 VER. R7.51 FORTRAN REV. 070 DATE: 86-02-24 TIME: 10:04:13

```

1 SUBROUTINE ELIMIN (NN,NBR,NE,LIST,NEXT,FAR,BDIAG,BOFFDGN,STATE,
1 NORDER,NCONN,NELIM,LAST,NCON,MAXCON,LPORQ,INT,NLOOP)
C
C INTEGER LIST(NN),NEXT(NE),FAR(NE),STATE(NN),NORDER(NN),NTAB(15),
1 NCON(MAXCON),NCON(NN)
C
C INTEGER ENDI,ENDJ,ENDM
C
C REAL BDIAG(NN),BOFFDGN(NBR),YTAB1(15)
C
COMMON/NUMBR/ NBR,NS,NL,NR
NELIM=0
DO 32 K=1,NBR
IF (INT, EQ. 0. OR. LPORQ, EQ. 0) GO TO 53
DO 30 I=1,INT
IF (K, EQ. NCON(I)) GO TO 32
60 CONTINUE
53 NCON(K)=0
IF (STATE(K), NE. 0) GO TO 32
ENDI=LIST(K)
IF (ENDI, EQ. 0) GO TO 32
I=0
31 J=FAR(ENDI)
IF (STATE(J), NE. 0) GO TO 29
IF (J, EQ. 0) GO TO 28
DO 30 KK=1,INT
IF (J, EQ. NTAB(KK)) GO TO 29
30 CONTINUE
28 I=I+1
IF (I, LE. 15) GO TO 36
WRITE(6,2003)
2003 FORMAT('HO, DIMENSIONS OF TABLE EXCEEDED')
STOP
36 NTAB(I)=J
NCON(K)=NCON(K)+1
29 ENDI=NEXT(ENDI)
IF (ENDI, EQ. 0) GO TO 32
GO TO 31
32 CONTINUE
35 CONTINUE
NMAX=1000
NODEM=0
DO 34 K=1,NBR
IF (STATE(K), NE. 0) GO TO 34
IF (LIST(K), EQ. 0) GO TO 34
IF (NCON(K), GT. NMAX) GO TO 34
NMAX=NCON(K)
NODEM=K
34 CONTINUE
39 IF (NODEM, EQ. 0) GO TO 51
NELIM=NELIM+1
NORDER(NELIM)=NODEM
I=0
ENDM=LIST(NODEM)
NODEN=FAR(ENDM)
35 IF (STATE(NODEN), NE. 0) GO TO 37
IF (J, EQ. 0) GO TO 40
DO 40 K=1,INT
IF (NODEN, NE. NTAB(K)) GO TO 20
MUTUAL=(ENDM+1)/2
YTAB1(K)=YTAB1(K)+BOFFDGN(MUTUAL)
GO TO 37
40 CONTINUE
40 I=I+1
IF (I, LE. 15) GO TO 46
WRITE(6,2005)
2005 FORMAT('HO, DIMENSIONS OF TABLE EXCEED')
STOP
46 NTAB(I)=NODEN
MUTUAL=(ENDM+1)/2
YTAB1(I)=BOFFDGN(MUTUAL)
37 ENDM=NEXT(ENDM)
IF (ENDM, EQ. 0) GO TO 38
GO TO 35
38 IF (I, EQ. 0) GO TO 50
NMUT=I
TEMP1=1.0/BDIAG(NODEM)
DO 47 I=1,NMUT
NODEI=NTAB(I)
YDIFF=2*-YTAB1(I)*TEMP1
DO 47 J=I,NMUT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FORREDD (REV.000) ACOS-4 VER. R7.51 FORTRAN REV. 070 DATE: 86-02-24 TIME: 10:04:19

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

```

1 SUBROUTINE FORRED(NN,NBR,NE,LIST,NEXT,FAR,BDIAG,BOFFDG,DELTAJ,
   NSTATE,NORDER,NELIM)
C
C   INTEGER LIST(NN),NEXT(NE),FAR(NE),NSTATE(NN),NORDER(NN),ENDM
C   REAL BDIAG(NN),BOFFDG(NBR),DELTAJ(NN)
C
   DO 65 M=1,NELIM
   NODEM=NORDER(M)
   STEMP=DELTAJ(NODEM)/BDIAG(NODEM)
   ENDM=LIST(NODEM)
62  NODEM=FAR(ENDM)
   IF(NSTATE(NODEM),EQ,-1) GO TO 63
   MUTUAL=(ENDM+1)/2
63  DELTAJ(NODEM)=DELTAJ(NODEM)-BOFFDG(MUTUAL)*STEMP
   ENDM=NEXT(ENDM)
   IF(ENDM,EQ,0) GO TO 64
   GO TO 62
64  NSTATE(NODEM)=-1
65  CONTINUE
   RETURN
   END

```



```

1 SUBROUTINE SNSMES(N,B,LPIV,A,M8)
C REAL A(M8,M8),B(H)
C
TOL=0.0
DO 65 J=1,N
JY=J+1
IF(LPIV.LT.LPIV) GO TO 31
BIGA=0.0
DO 30 I=1,H
IF(ABS(BIGA)-ABS(A(I,J))) 20,30,30
20 BIGA=A(I,J)
IMAX=I
CONTINUE
30 IF(ABS(BIGA)-TOL) 35,35,40
35 NMJ=J
GO TO 70
40 CONTINUE
DO 50 K=J,N
SAVE=A(J,K)
A(J,K)=A(IMAX,K)
50 A(IMAX,K)=SAVE/BIGA
SAVE=B(IMAX)
B(IMAX)=B(J)
B(J)=SAVE/BIGA
GO TO 33
31 BIGA=A(J,J)
DO 34 I=J,N
IF(A(I,I)) 32,34,32
32 A(I,I)=A(J,I)/BIGA
34 CONTINUE
33 B(J)=B(J)/BIGA
IF(J=N) 55,70,55
55 CONTINUE
DO 65 IX=JY,H
IF(A(IX,J).EQ.0.) GO TO 65
DO 60 JX=JY,N
IF(A(JX,J).EQ.0.) GO TO 60
60 A(IX,JX)=A(JX,J)*A(IX,J)+A(IX,JX)
CONTINUE
65 B(IX)=B(J)*A(IX,J)+B(IX)
CONTINUE
70 NY=N-1
DO 80 J=1,NY
IB=N-J
IC=N
DO 80 K=1,J
IF(A(IB,IC).EQ.0.) GO TO 80
80 B(IB)=B(IB)-A(IB,IC)*B(IC)
IC=IC-1
RETURN
END

```



BACSUB (REV.000) ACOS=4 VER. R7.51 FORTRAN REV. 070 DATE: 86-02-24 TIME: 10:04:24

```

1 SUBROUTINE BACSUB (NN,NBR,NE,LIST,NEXT,FAR,BDIAG,BOFFDG,DELTAJ,
C HSTATE,NORDER,NELIM) C
C INTEGER LIST(NN),NEXT(NE),FAR(NE),NSTATE(NN),NORDER(NN),ENDM C
C REAL BDIAG(NN),BOFFDG(NBR),DELTAJ(NN) C
C DO 75 MDUM=1,NELIM C
M=NELIM-MDUM+1
NORDER=NORDER(M)
TEMP1=DELTAJ(NODEM)
ENDM=LIST(NODEM)
72 NODEM=FAR(NODEM)
IF(NSTATE(NODEM).EQ.1) GO TO 73
MUTUAL=(ENDM+1)/2
TEMP1=TEMP1*BOFFDG(MUTUAL)*DELTAJ(NODEM)
73 ENDM=NEXT(ENDM)
IF(ENDM.EQ.0) GO TO 74
GO TO 72
74 CONTINUE
NSTATE(NODEM)=0
DELTAJ(NODEM)=TEMP1/BDIAG(NODEM)
75 CONTINUE
RETURN
END

```



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

```

SUBROUTINE OUTPUT (NN,NBR,NE,LIST,NEXT,FAR,BTYPE,BNUMR,NAME1,
NAME2,PG,QG,PL,QL,BSHUNT,E,F,GG,BB,G,B,GE,BE,
P,Q,Z,M7,EMAG,ANGLE,MAXCON,NCON,FY,QCR,RATE,
INT,NLOOP,XC,BT,NOMV)
C
INTEGER LIST(NN),NEXT(NE),FAR(NE),BTYPE(NN),BNUMR(NN),
NCON(MAXCON),ENDY,SLACK
C
REAL NAME1(NN),NAME2(NN),PG(NN),QG(NN),PL(NN),QL(NN),
BSHUNT(NN),E(NN),F(NN),P(NN),Q(NN),GG(NN),BB(NN),
G(NBR),B(NBR),GE(NBR),BE(NBR),EMAG(NN),ANGLE(NN),
QCR(NN),RATE(NBR),Z(M7),FY(MAXCON),XC(MAXCON)
REAL MISMAT,MISMAX,BT(MAXCON),NOMV(MAXCON)
C
COMMON/NUMBR5/NBUS,NS,NL,NR
COMMON/MVA/BASE
COMMON/PRINT/NPRINT(9)
COMMON/NBOSS/NBUSS(10),I,START(10)
COMMON/LOSSS/PLOSS,QLOSS
PI=3.141592653589793
C1=3.0*SQRT(2.0)/PI
C2=3.0/PI
WRITE(6,9000)
9000 FORMAT(1H1,T32,'REPORT OF AC/DC POWER SYSTEM LOADFLOW ANALYSIS')
WRITE(6,1200)
1200 FORMAT(1H0,T35,'BUS DATA',T87,'LINE AND TRANSFORMER DATA')
WRITE(6,33)
33 FORMAT(1H0,T40,'GENERATION',T58,'LOAD',T69,'SHUNT')
WRITE(6,1210)
1210 FORMAT(1H0,T5,'BUS',T12,'NAME',T22,'VOLTS',T30,'ANGLE',T39,'MW',
T46,'MVAR',T55,'HW',T60,'MVAR',T69,'MVAR',T81,'BUS',
T89,'NAME',T99,'HW',T109,'MVAR',T117,'TAP')
DO 213 K=1,NBUS
SLACK=NBUSS(K)
DO 93 I=1,IIII=1,NBUS
IF(BNUMR(I,IIII).EQ.SLACK) SLACK=IIII
93 CONTINUE
PG(SLACK)=PG(SLACK)-P(SLACK)
213 CONTINUE
MISMAX=0.0
DO 240 K=1,NBUS
IF(LIST(K).EQ.0) GO TO 240
AMOD=EMAG(K)
ARG=ANGLE(K)*180.0/3.14159
QSHUNT=AMOD*BSHUNT(K)
IF(BTYPE(K).EQ.0) GO TO 192
QG(K)=QG(K)-QSHUNT-QCR(K)
192 CONTINUE
PMISS=PG(K)-PL(K)
QMISS=QG(K)+QSHUNT-QL(K)+QCR(K)
IF(NPRINT(5).EQ.1) GO TO 193
PG(K)=PG(K)*BASE
QG(K)=QG(K)*BASE
PL(K)=PL(K)*BASE
QL(K)=QL(K)*BASE
QSHUNT=QSHUNT*BASE
QCR(K)=QCR(K)*BASE
KK=BNUMR(K)
WRITE(6,1220) KK,NAME1(K),NAME2(K),AMOD,ARG,PG(K),QG(K),PL(K),
QL(K),QSHUNT
1220 FORMAT(1H0,T6,3X,A4,A4,2X,F7.3,1X,F7.3,1X,F7.3,2X,F7.3,F7.3,
1F7.3,1X,F7.3,T80,44(1H-))
PG(K)=PG(K)/BASE
QG(K)=QG(K)/BASE
PL(K)=PL(K)/BASE
QL(K)=QL(K)/BASE
193 CONTINUE
END=LIST(K)
210 J=FAR(END)
NB=(END+1)/2
PTEMP=E(K)-E(J)
QTEMP=F(K)-F(J)
X=G(NB)*PTEMP-B(NB)*QTEMP+GE(END)*E(K)-BE(END)*F(K)
Y=B(NB)*PTEMP+G(NB)*QTEMP+BE(END)*E(K)+GE(END)*F(K)
PTEMP=E(K)+X+F(K)*Y
QTEMP=F(K)+X+E(K)*Y
PMISS=PMISS-PTEMP
QMISS=QMISS-QTEMP
PTEMP=PTEMP*BASE
QTEMP=QTEMP*BASE

```

```

0001 JJ=BNUMR(J)
0002 WRITE(6,1230) JJ,NAME1(J),NAME2(J),PTEMP,QTEMP,RATE(NB)
1230 FORMAT(80X,I5,3X,A4,A4,F10.5,F10.5,2X,F5.3)
0004 END=NEXT(END)
0005 IF(END.EQ.0) GO TO 220
0006 GO TO 210
0007 220 CONTINUE
0008 MISMAT=SQRT(PMISS*PMISS+QMISS*QMISS)
0009 IF(MISMAT.LT.MISHAX) GO TO 230
0010 MBUS=K
0011 MISHAX=MISMAT
0012 230 CONTINUE
0013 PMISS=PMISS*BASE
0014 QMISS=QMISS*BASE
0015 DO 120 KX=1,INT
0016 KY=6-KX-6
0017 IF (NCON(KX).NE.K) GO TO 120
0018 IF (Z(KY+3).LE.0.0) GO TO 1040
0019 WRITE(6,7070) PMISS,QMISS
0020 7070 FORMAT(1H0,T74,'POWER TO RECTIFIER',T95,2F10.5)
0021 GO TO 1050
0022 1040 WRITE(6,7080) PMISS,QMISS
0023 7080 FORMAT(1H0,T75,'POWER TO INVERTER',T95,2F10.5)
0024 1050 CONTINUE
0025 GO TO 220
0026 120 CONTINUE
0027 WRITE(6,1240) PMISS,QMISS
0028 1240 FORMAT(1H0,T81,'MISMATCH',T103,2F10.3)
0029 230 CONTINUE
0030 240 CONTINUE
0031 PDLOSS=0
0032 QDLOSS=0
0033 WRITE(6,1100)
0034 1100 FORMAT(1H1,/,T24,'****',2X,'REPORT OF CONVERTER TERMINAL',2X,
0035 1100 '*****')
0036 WRITE(6,7110)
0037 7110 FORMAT(1H0,T14,'X-----BUS -----X',2X,'ALF/GAM',3X,'TAP',2X,
0038 1100 'CURRENT',4X,'FAC',5X,'QAC',5X,'VDC')
0039 DO 300 I=1,INT
0040 K=6-I
0041 ICON=NCON(I)
0042 E1=Z(K+1)
0043 TH1=Z(K+2)
0044 VD=Z(K+3)
0045 SH1=Z(K+4)
0046 FANG=Z(K+5)
0047 TAP=Z(K+6)
0048 CID=Z(6+INT*I)
0049 BT1=BT(I)
0050 XC1=XC(I)
0051 V=EMAG(ICON)
0052 CTH1=COS(TH1)
0053 STH1=SIN(TH1)
0054 CSSH1=COS(SH1)
0055 SSSH1=SIN(SH1)
0056 PDC=VD*CID*BASE
0057 QDC=PDC*ATAN(TH1)
0058 PTERM=V*E1*SSN(SH1-TAP*BT1)*BASE
0059 QTERM=BT1*TAP*V*E1*COS(SH1-TAP*BT1)*BASE
0060 PDLOSS=PDLOSS+PDC
0061 QDLOSS=QDLOSS+QTERM
0062 FIL=V*V*BASE*FY(CID)
0063 U=ACOS(2.0*QD/FIL*(CID*V*TAP)-FANG)-ACOS(FANG)
0064 IF (PDC.EQ.0) U=U
0065 U=U*180.0/PI
0066 CANG=ACOS(FANG)*180.0/PI
0067 IF (PDC.EQ.0) CANG=180.0-CANG
0068 PTAP=(TAP*BT1)*100.0
0069 E11=NONV(I)
0070 VD=VD*NONV(I)
0071 CID=CID*BASE/NOMV(I)
0072 IF (VD.LE.0.0) GO TO 700
0073 WRITE(6,7120) BNUMR(ICON),NAME1(ICON),NAME2(ICON),NOMV(I),
1120 7120 FORMAT(1H0,T12,'R1',I5,1X,A4,A4,F4.0,6F8.2)
0074 GO TO 710
0075 700 CONTINUE
0076 WRITE(6,7130) BNUMR(ICON),NAME1(ICON),NAME2(ICON),NOMV(I),
1130 7130 FORMAT(1H0,T12,'I1',I5,1X,A4,A4,F4.0,6F8.2)
0077 710 CONTINUE

```


OUTPUT (REV.000) ACOS-4 VER. R7.51 FORTRAN REV. 070 DATE: 86-02-24 TIME: 10:04:26
STING

```
243 WRITE(6,7220) PDLOSS,QDLOSS
244 7220 FORMAT(1H0,T36,ZF8.2)
245 RETURN
246 END
```

** 1 ERROR 302 : DUMMY ARGUMENT NOT USED : NLOOP



77673

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้