



## การศึกษาโหลดไหลว้

### 3.1 บทนำ

การศึกษาโหลดไหลว้ เป็นสิ่งทีจําเป็นในการวางแผนงานเพื่อพัฒนาระบบไฟฟ้ากำลังในอนาคต เพื่อให้ได้การทำงานองระบบทีดีทีสุด ก่อนทีจะก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อย ก่อสร้างระบบสายส่ง หรือเพิ่มโหลดในระบบ รวมถึงการเชื่อมโยงระบบคั้งแต่ 2 ระบบย่อยขึ้นไปเข้าด้วยกัน

ในอดีตการศึกษาโหลดไหลว้นั้นใช้แบบจำลององระบบโดยเปลี่ยนสเกลของวงจรไฟฟ้าองระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีแหล่งจ่ายแรงดันค้กับองค์ประกอบ (Element) ค้างๆ เช่น อิมพีแดนซ์ (Impedance) การศึกษาโดยวิธีนี้มีความยุ่งยากค้ด้านการอ่านค่าค้างๆ และเสียเวลามากในการทำแบบจำลอง บัจจุบันดิจิทัล คอมพิวเตอร์ ได้มีบทบาทสำคัญในการศึกษาโหลดไหลว้ซึ่งให้ความละเอียดยสูงและใช้เวลาน้อย

การศึกษาโหลดไหลว้เป็นการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า และกระแสทีจุดค้างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังขณะในสภาวะการทำงานปกติ ผลทีได้จากการศึกษาโหลดไหลว้โดยทั่วไปต้องการขนาดและมุมองแรงดันทีบัสค้างๆ ในระบบ กระแสทีไหลในสายส่งทุกเส้น กำลังไฟฟ้าทีบัสและสายส่ง ทั้งกำลังงานจริง (Real Power) และกำลังงานรีแอกทีฟ (Reactive Power) และเพื่อความสะดวกจึงใช้ระบบค้หน่วย (Per Unit System) เข้าช่วย

ประโยชน์องการศึกษาโหลดไหลว้พอสรุปได้ค้างนี้

1. ศึกษาผลขณะผิดปกติองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่ง โดยพิจารณาาระดับแรงดันทีบัสเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด อยู่ในเกณฑ์ทีหอยอมรับได้หรือไม่
2. ศึกษาผลองการเชื่อมโยงระบบเข้าด้วยกัน การเพิ่มโหลด การเพิ่มแหล่งกำเนิดเพิ่มสายส่งเส้นใหม่ ฯลฯ
3. ศึกษาการกระจายองโหลด และจัดสรรกำลังผลิต
4. ปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงขนาดสายส่งและระดับแรงดัน

### 3.2 ชนิดของบัส (2)

ชนิดของบัสในการศึกษาไหลคไหลวสามารถแบงเป็น 3 ชนิด โดยมีข้อกำหนดด่างๆ ดังนี้

1. สริงบัส, หรือบัสอ้างอิง (Swing Bus, or Reference Bus) บัสนี้กำหนดให้ขนาดและมุมของแรงดันคงที่ กำลังไฟฟ้จริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Reactive Power) ยังไม่ทราบค่า เนื่องจากบัสนี้มักใช้เป็นบัสอ้างอิง ดังนั้นมักกำหนดให้บัสนี้มีมุมของแรงดันมีค่าเป็นศูนย์
2. บัสควบคุมแรงดัน (Voltage Control Bus) หรือ PV บัส บัสนี้กำหนดให้ขนาดแรงดันคงที่ และทราบค่ากำลังไฟฟ้จริงที่ไหลผ่านบัส ส่วนมุมของแรงดันและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟไม่ทราบค่า
3. ไหลคบัส (Load Bus) หรือ PQ บัส บัสนี้เป็นบัสที่ทราบค่ากำลังไฟฟ้จริงและรีแอกทีฟที่ไหลผ่านบัสอย่างแน่นอน ส่วนแรงดันและมุมไม่ทราบค่า

### 3.3 สมการไหลคไหลว (2,8)

กำลังไฟฟ้ที่ไหลเข้าบัส  $P$  สามารถเขียนได้เป็น

$$S_p^* = P_p - jQ_p = E_p^* i_p \quad (3.1)$$

$P_p, Q_p$  แทน กำลังไฟฟ้จริงและรีแอกทีฟที่ไหลเข้าบัส  $P$

$E_p$  แทน แรงดันที่บัส  $p$  เป็นตัวเลขเชิงซ้อน (Complex Number)

$i_p$  แทน กระแสที่ไหลเข้าบัส  $p$  เป็นตัวเลขเชิงซ้อน

จากกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ สามารถเขียนได้ว่า

$$i_p = \sum_{q=1}^N y_{pq} E_q \quad (3.2)$$

$N$  แทน จำนวนบัสของระบบ

$y_{pq}$  แทน แอดมิแตนซ์ระหว่างบัส  $p$  และ  $q$  หรือสมาชิกที่ตำแหน่ง  $pq$  ของบัสแอดมิแตนซ์เมทริกซ์เป็นตัวเลขเชิงซ้อน

จากสมการ (3.1) และ (3.2) สามารถเขียนได้เป็น

$$P_p - jQ_p = E_p^* \sum_{q=1}^N y_{pq} E_q \quad (3.3)$$

สมการไหลคโพล์นั้นโดยทั่วไปสามารถเขียนได้ในรูปของ

$$F(x, u, p) = 0 \quad (3.4)$$

F แทน นอนลิเนียร์ฟังก์ชัน (Non Linear Function)

x แทน State Vector

u แทน Control Vector

p แทน Disturbance Vector

### 3.4 การศึกษาไหลคโพล์โดยวิธีอิตเทรทีฟของนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson Iterative Method) (2-4, 8,9,11,14)

วิธีของนิวตัน-ราฟสัน เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในการศึกษาไหลคโพล์ โดยวิธีนี้จะเปรียบเทียบค่าที่ทราบและค่าที่คำนวณได้ โดยถ้าความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่พอใจ จึงหยุดการคำนวณ

วิธีของนิวตัน-ราฟสัน สามารถเขียนได้ในรูปเมทริกซ์ดังนี้

$$[\Delta S] = [J] [\Delta E] \quad (3.5)$$

โดยที่ [J] คือ จาคอบีเยนส์เมทริกซ์ (Jacobian Matrix) ของระบบ ซึ่งเขียนได้เป็น

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial S_1}{\partial E_1} & \dots & \frac{\partial S_1}{\partial E_n} \\ \frac{\partial S_n}{\partial E_1} & \dots & \frac{\partial S_n}{\partial E_n} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

วิธีนี้คำนวณ  $[\Delta S]$  และ  $[J]$  จากนั้นแก้สมการหา  $[\Delta E]$  และหา  $[E]$  ใหม่โดย

$$[E]_{\text{new}} = [E]_{\text{old}} - [\Delta E] \quad (3.7)$$

ในการศึกษาโหลดไหล่วิธีอิทธิพลเทอเร็ฟของนิวตัน-ราฟสัน สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ วิธีเรกเทงกูล่า โค-ออร์ดิเนต (Rectangular Co-ordinate Method) และวิธีโพล่า โค-ออร์ดิเนต (Polar Co-ordinate Method) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 3.4.1 วิธีเรกเทงกูล่า โค-ออร์ดิเนต (Rectangular Co-ordinate Method)

(4,11,14)

วิธีนี้กำหนดให้

$$E_p = e_p + j f_p \quad (3.8)$$

และ 
$$y_{pq} = G_{pq} - j B_{pq} \quad (3.9)$$

$[\Delta S]$  สามารถแบ่งเป็นเมทริกซ์ย่อยๆ ได้ 3 ส่วน คือ

$$[\Delta S] = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \\ \Delta |E|^2 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$[\Delta P]$  มีมิติเป็น  $(N-1) \times 1$   $[\Delta Q]$  มีมิติเป็น  $NL \times 1$   $[\Delta |E|^2]$  มีมิติเป็น  $NC \times 1$

$N$  แทน จำนวนบัส

$NL$  แทน จำนวนโหลดบัส

$NC$  แทน จำนวนบัสควบคุมแรงดัน

$[\Delta E]$  สามารถแบ่งเป็น เมทริกซ์ย่อยๆ ได้ 2 ส่วน คือ

$$[\Delta E] = \begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta f \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$[\Delta e]$  และ  $[\Delta f]$  มีมิติเป็น  $(N-1) \times 1$

$[J]$  สามารถแบ่งเป็นเมทริกซ์ย่อยๆ ได้ 6 ส่วน คือ

$$[J] = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \\ J_5 & J_6 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$[J_1]$  และ  $[J_2]$  มีมิติ  $(N-1) \times (N-1)$        $[J_3]$  และ  $[J_4]$  มีมิติ  $N \times (N-1)$

$[J_5]$  และ  $[J_6]$  มีมิติ  $N \times (N-1)$

การคำนวณ  $[\Delta S]$  และ  $[J]$  กระทำดังนี้  
จากสมการ (3.3) สามารถเขียนได้เป็นดังนี้

$$P_p - j Q_p = (e_p - j f_p) \sum_{q=1}^N (G_{pq} - j B_{pq}) (e_q + j f_q) \quad (3.13)$$

แยกสมการ (3.13) เป็นส่วนจริงและส่วนจินตภาพจะได้

$$P_p = \sum_{q=1}^N [e_p (e_q G_{pq} + f_q B_{pq}) + f_p (f_q G_{pq} - e_q B_{pq})] \quad (3.14)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^N [f_p (e_q G_{pq} + f_q B_{pq}) - e_p (f_q G_{pq} - e_q B_{pq})] \quad (3.15)$$

ดังนั้นสามารถคำนวณค่า  $P_p$  และ  $Q_p$  ได้จากค่า  $E_p$  ที่สมมุติขึ้น และหาค่า  $[\Delta S]$  ได้โดย

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_p &= P_{PSPEC} - P_p \\ \Delta Q_p &= Q_{PSPEC} - Q_p \\ \Delta |E_p|^2 &= |E_p|_{SPEC}^2 - |E_p|^2 \end{aligned} \right] \quad (3.16)$$

โดย  $|E_p|^2$  คำนวณได้โดย

$$|E_p|^2 = e_p^2 + f_p^2 \tag{3.17}$$

จากสมการ (3.16) จะหา  $[\Delta S]$  ได้

$P_{PSPEC}, Q_{PSPEC}, |E_p|_{SPEC}$  แทน กำลังไฟฟ้าจริงและรีแอกทีฟ, ขนาดแรงดันที่บัส  $P$  ที่กำหนดคือ

$[J]$  จะพิจารณาเป็นส่วนๆ คือ  $[J_1], [J_2], \dots, [J_6]$  ดังนี้  
 กระแสที่ไหลเข้าบัส  $P$  สามารถเขียนได้เป็น

$$i_p = C_p + j d_p = \sum_{q=1}^N (G_{pq} - j B_{pq})(e_q + j f_q) \tag{3.18}$$

สมการ (3.18) แยกส่วนจริงและจินตภาพได้

$$C_p = \sum_{q=1}^N (e_q G_{pq} + f_q B_{pq}) \tag{3.19}$$

$$d_p = \sum_{q=1}^N (f_q G_{pq} - e_q B_{pq}) \tag{3.20}$$

$[J_1]$  สามารถคำนวณได้โดยหา  $\frac{\partial P}{\partial e_q}$  จากสมการ (3.14) จัดรูปและอาศัยสมการ (3.19) จะได้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial e_q} &= e_p G_{pq} - f_p B_{pq} & q \neq p \\ &= e_p G_{pp} - f_p B_{pp} + C_p & q = p \end{aligned} \right\} \tag{3.21}$$

$[J_2]$  สามารถคำนวณได้โดยหา  $\frac{\partial P}{\partial f_q}$  จัดรูปจะได้

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial f_q} &= e_p B_{pq} + f_p G_{pq} & q \neq p \\ &= e_p B_{pp} + f_p G_{pp} + d_p & q = p \end{aligned} \right\} \tag{3.22}$$

ในทำนองเดียวกันสามารถหา  $[J_3]$  และ  $[J_4]$  ได้โดย

$$\begin{aligned}
 [J_3] \frac{\partial Q_p}{\partial e_q} &= \begin{cases} e_p B_{pq} + f_p G_{pq} & q \neq p \\ e_p B_{pp} + f_p G_{pp} - d_p & q = p \end{cases} \quad (3.23)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [J_4] \frac{\partial Q_p}{\partial f_q} &= \begin{cases} -e_p G_{pq} + f_p B_{pq} & q \neq p \\ -e_p G_{pp} + f_p B_{pp} + C_p & q = p \end{cases} \quad (3.24)
 \end{aligned}$$

$[J_5]$  และ  $[J_6]$  สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.17) โดย

$$\begin{aligned}
 [J_5] \frac{\partial |E_p|^2}{\partial e_q} &= \begin{cases} 0 & q \neq p \\ 2 e_p & q = p \end{cases} \quad (3.25)
 \end{aligned}$$

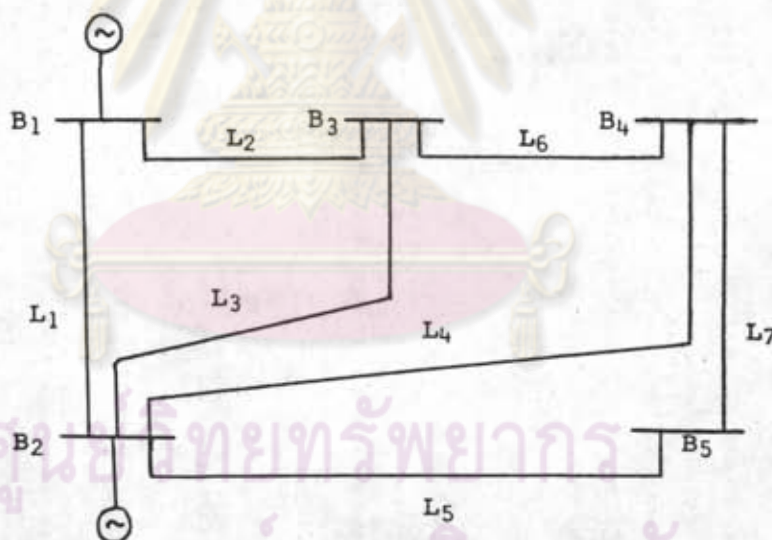
$$\begin{aligned}
 [J_6] \frac{\partial |E_p|^2}{\partial f_q} &= \begin{cases} 0 & q \neq p \\ 2 f_p & q = p \end{cases} \quad (3.26)
 \end{aligned}$$

จากชุดของสมการ (3.21) ถึง (3.26) สามารถคำนวณ  $[J]$  ได้ ดังนั้นจะคำนวณ  $[\Delta E]$  ได้ตามสมการ (3.5) และอาศัยสมการ (3.7) หา  $[E]_{\text{new}}$  ได้ จากนั้นทำการหา  $[\Delta S]$  จนกระทั่งสมาชิกใน  $[\Delta S]$  ทุกตัวมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดจึงหยุดการคำนวณ

### ข้อสังเกต

1.  $[\Delta S]$  และ  $[\Delta E]$  จะมีมิติ  $2(N-1) \times 1$  เสมอ ส่วน  $[J]$  จะมีมิติ  $2(N-1) \times 2(N-1)$  เสมอ
2. ถ้าในระบบมีเฉพาะโหลดบัสแล้ว  $[\Delta S]$  ไม่คำนวณ  $[\Delta |E|^2]$  และ  $[J]$  ไม่คำนวณ  $[J_5]$  และ  $[J_6]$
3. ถ้าในระบบมีเฉพาะบัสควบคุมแรงดันแล้ว  $[\Delta S]$  ไม่คำนวณ  $[\Delta Q]$  และ  $[J]$  ไม่คำนวณ  $[J_3]$  และ  $[J_4]$

ในการวิเคราะห์ไฟฟ้ากำลังตามรูปที่ 3.1 กำหนดข้อมูลของบัสตามตารางที่ 3.1 ข้อมูลของสายส่งตามตาราง 3.2 ต้องการแรงดันที่บัสต่างๆ โดยวิธีอิตเทอเรทีฟของนิวตัน-ราฟสัน ใช้วิธีเรคแทงกูล่า โค-ออร์ดิเนต



รูปที่ 3.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง 5 บัส 7 เส้น

- |            |                     |
|------------|---------------------|
| Bus Type 1 | แทน โหลดบัส         |
| Bus Type 2 | แทน บัสควบคุมแรงดัน |
| Bus Type 3 | แทน สวิตช์บัส       |



BUS	TYPE	GEN		LOAD		VSPEC (FU)	KV
		MW	MVAR	MW	MVAR		
1	3	----	----	00.0	00.0	1.06	100.0
2	1	40.0	30.0	20.0	10.0	1.00	100.0
3	1	00.0	00.0	45.0	15.0	1.00	100.0
4	1	00.0	00.0	40.0	5.0	1.00	100.0
5	1	00.0	00.0	60.0	10.0	1.00	100.0

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่มีสของระบบไฟฟ้ากำลัง

LINE	BUS S-E	IMPEDANCE	LINE CHARGING
1	1-2	0.02 + J 0.06	0.00 + J 0.06
2	1-3	0.08 + J 0.24	0.00 + J 0.05
3	2-3	0.06 + J 0.18	0.00 + J 0.04
4	2-4	0.06 + J 0.18	0.00 + J 0.04
5	2-5	0.04 + J 0.12	0.00 + J 0.03
6	3-4	0.01 + J 0.03	0.00 + J 0.02
7	4-5	0.08 + J 0.24	0.00 + J 0.05

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของสายส่ง

จากข้อมูลตามตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.1 สามารถคำนวณบัสแอดมิแตนซ์ เมตริกซ์  
ได้ความตารางที่ 3.3

1:1	2	3	4	5
6.2500	-5.0000	-1.2500	0.0000	0.0000
-18.6950J	15.0000J	3.7500J	0.0000J	0.0000J
2:1	2	3	4	5
-5.0000	10.8333	-1.6667	-1.6667	-2.5000
15.0000J	-32.4150J	5.0000J	5.0000J	7.5000J
3:1	2	3	4	5
-1.2500	-1.6667	12.9167	-10.0000	0.0000
3.7500J	5.0000J	-38.6950J	30.0000J	0.0000J
4:1	2	3	4	5
0.0000	-1.6667	-10.0000	12.9167	-1.2500
0.0000J	5.0000J	30.0000J	-38.6950J	3.7500J
5:1	2	3	4	5
0.0000	-2.5000	0.0000	-1.2500	3.7500
0.0000J	7.5000J	0.0000J	3.7500J	-11.2100J
6:1	2	3	4	5

## ศูนย์วิทยทรัพยากร

ตารางที่ 3.3 บัสแอดมิแตนซ์ เมตริกซ์ ของระบบไฟฟ้ากำลัง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดการคำนวณแต่ละอิเทอเรนซ์ได้แสดงดังต่อไปนี้

## ITERATION

0

## VOLTAGE AT BUS

1.00000	0.00000
1.00000	0.00000
1.00000	0.00000
1.00000	0.00000
1.06000	0.00000

## REAL POWER CALCULATION

-0.300000	-0.075000	0.000000	0.000000
-----------	-----------	----------	----------

## REAL POWER MISMATCH

0.500000	-0.375000	-0.400000	-0.600000
----------	-----------	-----------	-----------

## REACTIVE POWER CALCULATION

-0.985000	-0.279999	-0.055001	-0.040000
-----------	-----------	-----------	-----------

## REACTIVE POWER MISMATCH

1.185000	0.129999	0.005001	-0.060000
----------	----------	----------	-----------

## JACOBIAN MATRIX

10.533	-1.667	-1.667	-2.500	33.400	-5.000	-5.000	-7.500
-1.667	12.842	-10.000	0.000	-5.000	38.975	-30.000	0.000
-1.667	-10.000	12.917	-1.250	-5.000	-30.000	38.750	-3.750
-2.500	0.000	-1.250	3.750	-7.500	0.000	-3.750	11.250
31.430	-5.000	-5.000	-7.500	-11.133	1.667	1.667	2.500
-5.000	38.415	-30.000	0.000	1.667	-12.992	10.000	0.000
-5.000	-30.000	38.640	-3.750	1.667	10.000	-12.917	1.250
-7.500	0.000	-3.750	11.170	2.500	0.000	1.250	-3.750

## VOLTAGE DIFFERENCE

0.05504	-0.05084
0.03176	-0.09123
0.03136	-0.09747
0.02652	-0.11284

## ITERATION

1

## VOLTAGE AT BUS

1.05504	-0.05084
1.03176	-0.09123
1.03136	-0.09747
1.02652	-0.11284
1.06000	0.00000

## REAL POWER CALCULATION

0.293416	-0.448977	-0.411717	-0.622442
----------	-----------	-----------	-----------

## REAL POWER MISMATCH

-0.093416	-0.001023	0.011717	0.022442
-----------	-----------	----------	----------

## REACTIVE POWER CALCULATION

0.238564	-0.114150	-0.011319	-0.034369
----------	-----------	-----------	-----------

## REACTIVE POWER MISMATCH

-0.038564	-0.035850	-0.038681	-0.065631
-----------	-----------	-----------	-----------

## JACOBIAN MATRIX

13.371	-2.013	-2.013	-3.019	33.410	-5.190	-5.190	-7.786
-2.176	16.408	-13.055	0.000	-5.007	38.860	-30.040	0.000
-2.206	-13.238	16.681	-1.655	-4.994	-29.966	38.661	-3.746
-3.413	0.000	-1.706	4.492	-7.417	0.000	-3.708	11.118
33.887	-5.190	-5.190	-7.786	-12.784	2.013	2.013	3.019
-5.007	38.631	-30.040	0.000	2.176	-17.306	13.055	0.000
-4.994	-29.966	38.638	-3.746	2.206	13.238	-17.505	1.655
-7.417	0.000	-3.708	11.050	3.413	0.000	1.706	-5.737

## VOLTAGE DIFFERENCE

-0.00868	-0.00047
-0.01122	0.00194
-0.01194	0.00231
-0.01408	0.00367

## ITERATION

2

## VOLTAGE AT BUS

1.04637	-0.05132
1.02054	-0.08929
1.01942	-0.09515
1.01244	-0.10917
1.06000	0.00000

## REAL POWER CALCULATION

0.200947	-0.450134	-0.400153	-0.600202
----------	-----------	-----------	-----------

## REAL POWER MISMATCH

-0.000947	0.000134	0.000153	0.000202
-----------	----------	----------	----------

## REACTIVE POWER CALCULATION

0.200380	-0.149172	-0.049066	-0.098075
----------	-----------	-----------	-----------

## REACTIVE POWER MISMATCH

-0.000380	-0.000828	-0.000934	-0.001925
-----------	-----------	-----------	-----------

## JACOBIAN MATRIX

13.200	-2.001	-2.001	-3.001	33.162	-5.146	-5.146	-7.719
-2.147	16.187	-12.884	0.000	-4.954	38.486	-29.723	0.000
-2.175	-13.049	16.449	-1.631	-4.939	-29.631	38.267	-3.704
-3.350	0.000	-1.675	4.420	-7.320	0.000	-3.660	11.038
33.562	-5.146	-5.146	-7.719	-12.798	2.001	2.001	3.001
-4.954	38.187	-29.723	0.000	2.147	-17.087	12.884	0.000
-4.939	-29.631	38.168	-3.704	2.175	13.049	-17.250	1.631
-7.320	0.000	-3.660	10.842	3.350	0.000	1.675	-5.621

## VOLTAGE DIFFERENCE

-0.00018	0.00003
-0.00026	0.00008
-0.00028	0.00009
-0.00036	0.00011

---

 ITERATION

3

## VOLTAGE AT BUS

1.04618	-0.05128
1.02029	-0.08921
1.01914	-0.09507
1.01208	-0.10906
1.06000	0.00000

## REAL POWER CALCULATION

0.200004	-0.450004	-0.400002	-0.600002
----------	-----------	-----------	-----------

## REAL POWER MISMATCH

-0.000004	0.000004	0.000002	0.000002
-----------	----------	----------	----------

## REACTIVE POWER CALCULATION

0.200006	-0.149997	-0.049990	-0.099975
----------	-----------	-----------	-----------

## REACTIVE POWER MISMATCH

-0.000006	-0.000003	-0.000010	-0.000025
-----------	-----------	-----------	-----------

ผลลัพธ์การกระทำอิทธิพลต่อแรงดันที่บัสต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OUTPUT FROM LOAD FLOW

BUS NO.	VOLT		ANGLE (DEGREE)	GENERATION		DEMAND	
	PU.	KV		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.0600	106.00	0.0000	129.59	-7.43	0.00	0.00
2	1.0474	104.74	-2.8064	40.00	30.00	20.00	10.00
3	1.0242	102.42	-4.9970	0.00	0.00	45.00	15.00
4	1.0236	102.36	-5.3292	0.00	0.00	40.00	5.00
5	1.0179	101.79	-6.1503	0.00	0.00	60.00	10.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4.2 วิธีโพล่า โค-ออร์ดิเนต (Polar Co-ordinate Method) (2-4, 8,14)

วิธีนี้จะเลือกให้

$$E_p = |E_p| e^{j\delta_p} \quad (3.27)$$

และ  $Y_{pq} = |Y_{pq}| e^{-j\theta_{pq}} \quad (3.28)$

[ΔS] สามารถแบ่งเป็นเมทริกซ์ย่อยๆ ได้ 2 ส่วน คือ

$$[\Delta S] = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \hline \Delta Q \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

[ΔP] มีมิติ (N-1) × 1 และ [ΔQ] มีมิติ NL × 1

[ΔE] สามารถแบ่งเป็นเมทริกซ์ย่อยๆ ได้ 2 ส่วน คือ

$$[\Delta E] = \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \hline \Delta |E| \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

[J] สามารถแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ได้ 4 ส่วน คือ

$$[J] = \begin{bmatrix} J_1 & \hline & J_2 \\ \hline J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

[J<sub>1</sub>] มีมิติ (N-1) × (N-1)    [J<sub>2</sub>] มีมิติ (N-1) × NL    [J<sub>3</sub>] มีมิติ NL × (N-1)

[J<sub>4</sub>] มีมิติ NL × NL

การคำนวณ [ΔS] และ [J] จะกระทำดังนี้

จากสมการ (3.3) สามารถเขียนได้เป็น

$$P_p = \sum_{q=1}^N |E_p E_q Y_{pq}| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad (3.32)$$



$$Q_p = \sum_{q=1}^N |E_p E_q Y_{pq}| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad (3.33)$$

โดยอาศัยสมการ (3.16), (3.32) และ (3.33) จะคำนวณ  $[\Delta S]$  ได้

[J] คำนวณได้ดังนี้

$$[J_1] \frac{\partial P}{\partial \delta_q}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial \delta_q} &= |E_p E_q Y_{pq}| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q \neq p \\ &= - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N |E_p E_q Y_{pq}| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q = p \end{aligned} \quad (3.34)$$

$$[J_2] \frac{\partial P}{\partial |E_q|}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial |E_q|} &= |E_p Y_{pq}| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q \neq p \\ &= 2 |E_p Y_{pp}| \cos(\theta_{pp}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N |E_p Y_{pq}| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q = p \end{aligned} \quad (3.35)$$

$$[J_3] \frac{\partial Q}{\partial \delta_q}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial \delta_q} &= - |E_p E_q Y_{pq}| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q \neq p \\ &= \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N |E_p E_q Y_{pq}| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q = p \end{aligned} \quad (3.36)$$

$$[J_4] \frac{\partial Q_p}{\partial |E_q|}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_p}{\partial |E_q|} &= |E_p Y_{pq}| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q \neq p \\ &= 2 |E_p Y_{pp}| \sin(\theta_{pp}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N |E_q Y_{pq}| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q = q \end{aligned} \quad (3.37)$$

### ข้อสังเกต

1.  $[\Delta S]$  และ  $[\Delta E]$  จะมีมิติสูงสุดคือ  $2(N-1) \times 1$  ส่วน  $[J]$  จะมีมิติสูงสุดคือ  $2(N-1) \times 2(N-1)$
2. ในกรณีระบบมีเฉพาะบัสควบคุมแรงดันแล้ว  $[\Delta S]$  และ  $[\Delta E]$  จะมีมิติ  $(N-1) \times 1$  และ  $[J]$  จะมีมิติ  $(N-1) \times (N-1)$  โดย  $[J_2], [J_3], [J_4]$  ไม่ต้องคำนวณ  $[\Delta S]$  จะคำนวณเฉพาะ  $[\Delta P]$  เท่านั้น ดังนั้นวิธีนี้จึงลดหน่วยความจำและให้คำตอบที่รวดเร็วกว่าวิธีเรคแทงกูล่า โค-ออร์ดิเนต ถ้าในระบบมีบัสควบคุมแรงดันหลายบัส
3. จากข้อ 1 ถ้าในระบบมีโหลดบัสและบัสควบคุมแรงดันผสมกัน  $[\Delta S]$  และ  $[\Delta E]$  จะมีมิติ  $M \times 1$  และ  $[J]$  จะมีมิติ  $2M \times 2M$  โดยที่

$$M = N - 1 + NL$$

ในกรณีระบบไฟฟ้ากำลังตามรูปที่ 3.1 และกำหนดข้อมูลของบัสตามตาราง 3.1 ข้อมูลของสายส่งตามตาราง 3.2 ใช้วิธีโพล่า โค-ออร์ดิเนต ซึ่งแสดงรายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้

ITERATION 0

VOLTAGE AT BUS	
MAGNITUDE	ANGLE (RAD)
1.000000	0.000000
1.000000	0.000000
1.000000	0.000000
1.000000	0.000000
1.060000	0.000000

REAL POWER CALCULATION

-0.300001	-0.074994	0.000006	0.000000
-----------	-----------	----------	----------

REAL POWER MISMATCH

0.500001	-0.375006	-0.400006	-0.600000
----------	-----------	-----------	-----------

REACTIVE POWER CALCULATION

-0.984992	-0.279992	-0.054993	-0.039999
-----------	-----------	-----------	-----------

REACTIVE POWER MISMATCH

1.184992	0.129992	0.004993	-0.060001
----------	----------	----------	-----------

JACOBIAN MATRIX

33.400	-5.000	-5.000	-7.500	10.833	-1.667	-1.667	-2.500
-5.000	38.975	-30.000	0.000	-1.667	12.917	-10.000	0.000
-5.000	-30.000	38.750	-3.750	-1.667	-10.000	12.917	-1.250
-7.500	0.000	-3.750	11.250	-2.500	0.000	-1.250	3.750
-11.133	1.667	1.667	2.500	32.330	-5.000	-5.000	-7.500
1.667	-12.992	10.000	0.000	-5.000	38.640	-30.000	0.000
1.667	10.000	-12.917	1.250	-5.000	-30.000	38.640	-3.750
2.500	0.000	1.250	-3.750	-7.500	0.000	-3.750	11.170

VOLTAGE DIFFERENCE

MAGNITUDE	ANGLE (RAD)
0.051896	-0.050822
0.028888	-0.091205
0.028420	-0.097438
0.023420	-0.112810

1

VOLTAGE AT BUS		ITERATION
MAGNITUDE		ANGLE (RAD)
1.051896		-0.050822
1.028888		-0.091205
1.028420		-0.097438
1.023420		-0.112810
1.060000		0.000000

REAL POWER CALCULATION  
0.250628 -0.460398 -0.425563 -0.634774

REAL POWER MISMATCH  
-0.050628 0.010398 0.025563 0.034774

REACTIVE POWER CALCULATION  
0.254255 -0.129096 -0.037351 -0.076729

REACTIVE POWER MISMATCH  
-0.054255 -0.020904 -0.012649 -0.023271

### JACOBIAN MATRIX

35.612	-5.480	-5.487	-8.225	11.555	-1.539	-1.506	-2.136
-5.334	41.092	-31.809	0.000	-1.921	12.930	-10.096	0.000
-5.319	-31.677	40.963	-3.967	-1.952	-10.476	12.913	-1.226
-7.892	0.000	-3.926	11.818	-3.029	0.000	-1.338	3.635
-11.736	1.584	1.549	2.186	34.005	-5.326	-5.335	-8.037
2.021	-14.134	10.383	0.000	-5.071	39.899	-30.930	0.000
2.053	10.779	-14.087	1.255	-5.057	-30.788	39.869	-3.876
3.186	0.000	1.376	-4.562	-7.502	0.000	-3.818	11.625

VOLTAGE DIFFERENCE

MAGNITUDE	ANGLE (RAD)
-0.004329	0.001925
-0.004469	0.004081
-0.004599	0.004527
-0.005139	0.005682

2

VOLTAGE AT BUS		ITERATION
MAGNITUDE		ANGLE (RAD)
1.047567		-0.048897
1.024419		-0.087124
1.023821		-0.092912
1.018281		-0.107128
1.060000		0.000000

REAL POWER CALCULATION

0.200173 -0.449612 -0.399996 -0.598145

REAL POWER MISMATCH

-0.000173 -0.000387 -0.000004 -0.001855

REACTIVE POWER CALCULATION

0.198826 -0.148923 -0.049379 -0.098603

REACTIVE POWER MISMATCH

0.001174 -0.001077 -0.000621 -0.001397

JACOBIAN MATRIX

35.373	-5.430	-5.436	-8.142	11.482	-1.544	-1.514	-2.157
-5.293	40.757	-31.525	0.000	-1.902	12.886	-10.066	0.000
-5.279	-31.403	40.610	-3.928	-1.930	-10.416	12.878	-1.225
-7.832	0.000	-3.891	11.722	-2.986	0.000	-1.327	3.607
-11.688	1.582	1.550	2.197	33.869	-5.301	-5.310	-7.996
1.992	-14.005	10.306	0.000	-5.053	39.720	-30.791	0.000
2.022	10.670	-13.939	1.247	-5.039	-30.655	39.682	-3.857
3.128	0.000	1.359	-4.487	-7.476	0.000	-3.800	11.554

VOLTAGE DIFFERENCE

MAGNITUDE	ANGLE (RAD)
-0.000122	-0.000079
-0.000231	-0.000084
-0.000241	-0.000093
-0.000324	-0.000200

---

VOLTAGE AT BUS		ITERATION	3
MAGNITUDE	ANGLE (RAD)		
1.047446	-0.048975		
1.024189	-0.087208		
1.023580	-0.093004		
1.017957	-0.107328		
1.060000	0.000000		

REAL POWER CALCULATION  
0.199992 -0.449975 -0.399990 -0.599876

REAL POWER MISMATCH  
0.000008 -0.000025 -0.000010 -0.000124

REACTIVE POWER CALCULATION  
0.199966 -0.149946 -0.049967 -0.099923

REACTIVE POWER MISMATCH  
0.000034 -0.000054 -0.000033 -0.000077



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BUS NO.	VOLT		ANGLE (DEGREE)	GENERATION		DEMAND	
	PU.	KV		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.0600	106.00	0.0000	129.57	-7.44	0.00	0.00
2	1.0474	104.74	-2.8061	40.00	30.00	20.00	10.00
3	1.0242	102.42	-4.9966	0.00	0.00	45.00	15.00
4	1.0236	102.36	-5.3288	0.00	0.00	40.00	5.00
5	1.0180	101.80	-6.1495	0.00	0.00	60.00	10.00

ตารางที่ 3.5 แสดงสภาวะแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่บัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4.3 การปรับปรุงวิธีหาค่า $[J]$ ของวิธีโหล่า โค-ออร์ดิเนต

เนื่องจาก  $[J]$  ในหัวข้อ 3.4.2 นั้นมี  $|E_p|$  อยู่มากเกินไปทุกๆ สมาชิกใน  $[J]$  ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการคำนวณ  $[J]$  ลง จะหารด้วย  $|E_p|$  ในทุกๆ สมาชิกที่สมนัยกันทั้ง  $[\Delta S]$  และ  $[J]$  ซึ่งจะเขียนได้เป็น

$$[\Delta S] = \begin{bmatrix} \frac{\Delta P}{|E_p|} \\ \frac{\Delta Q}{|E_p|} \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

$$\begin{aligned} [J_1] &= |E_q Y_{pq}| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q \neq p \\ &= - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N |E_q Y_{pq}| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q = p \end{aligned} \quad (3.39)$$

$$\begin{aligned} [J_2] &= |Y_{pq}| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q \neq p \\ &= 2|Y_{pp}| \cos(\theta_{pp}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N \left| \frac{E_q Y_{pq}}{E_p} \right| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q = p \end{aligned} \quad (3.40)$$

$$\begin{aligned} [J_3] &= -|E_q Y_{pq}| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q \neq p \\ &= \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N |E_q Y_{pq}| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q = p \end{aligned} \quad (3.41)$$

$$\begin{aligned} [J_4] &= |Y_{pq}| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q \neq p \\ &= 2|Y_{pp}| \sin(\theta_{pp}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N \left| \frac{E_q Y_{pq}}{E_p} \right| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \quad q = p \end{aligned} \quad (3.42)$$



### 3.5 การศึกษาโทลคโพล์โดยวิธีประมาณของนิวตัน-ราฟสัน (Approximations to Newton-Raphon Method)

เนื่องจากการคำนวณตามวิธีของนิวตัน-ราฟสัน ในแต่ละรอบการคำนวณจะใช้เวลานาน โดยเฉพาะการสร้าง  $[J]$  และการแก้สมการหา  $[\Delta E]$  ดังนั้นจึงใช้วิธีประมาณในการลคณิต  $[J]$  หรือวิธีประมาณ  $[J]$  เพื่อสร้าง  $[J]$  ได้เร็วขึ้น

#### 3.5.1 การประมาณแบบเรคแทงกูลาร์ โค-ออร์ดิเนต (Approximations Rectangular Co-ordinate) (4)

เนื่องจาก  $[J]$  จะมีค่าสมาชิกในแนวทแยง (diagonal) ของ  $[J_1], \dots, [J_6]$  มีขนาดโตกว่าสมาชิกนอกแนวทแยง (off diagonal) ดังนั้นการคำนวณ  $[J]$  จะประมาณให้ค่าสมาชิกนอกแนวทแยงของ  $[J_1], \dots, [J_6]$  มีค่าเป็น 0 และคำนวณเฉพาะสมาชิกในแนวทแยงของ  $[J_1], \dots, [J_6]$  เท่านั้น วิธีนี้จะได้ว่า  $[J_1], \dots, [J_6]$  เป็นเมทริกซ์แบบทแยง (diagonal matrix) แต่  $[J]$  ยังมีมิติคงเดิม คือ  $2(N-1) \times 2(N-1)$

#### 3.5.2 วิธีฟาสติกคอปเปิล (Fast Decouple Method) (2,4,6,7,10)

เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น การเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงไม่มากนัก และการเปลี่ยนแปลงมุมของแรงดันมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟไม่มากนัก ดังนั้น  $[J]$  สามารถประมาณได้ว่า

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P}{|E|} \\ \frac{\Delta Q}{|E|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & | & 0 \\ \hline 0 & | & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |E| \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

จากสมการ (3.43) จะเป็นการประมาณว่า  $[J_2]$  และ  $[J_3]$  เป็นเมทริกซ์ศูนย์ (Null Matrix) ทำให้  $[J]$  อยู่ในรูปของ Block Diagonal Form ซึ่งทำให้การคำนวณหา  $[\Delta \delta]$  และ  $[\Delta |E|]$  แยกออกจากกันโดย

$$\left[ \frac{\Delta P}{|E|} \right] = [J_1] [\Delta \delta] \quad (3.44)$$

$$\left[ \frac{\Delta Q}{|E|} \right] = [J_4] [\Delta |E|] \quad (3.45)$$

จะสังเกตว่า  $[J_1]$  และ  $[J_4]$  มีขนาดเล็กกว่า  $[J]$  มาก ดังนั้นการแก้สมการจึงเร็วกว่าวิธีตรง และเนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาสร้าง  $[J_2]$  และ  $[J_3]$  มีผลให้ลดเวลาในการสร้าง  $[J]$  ลง

### 3.5.3 วิธีปรับปรุงฟาสต์คอปเปิล (Modified Fast Decouple Method) (6,7,10)

เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น จะพยายามควบคุมแรงดันให้มีขนาดประมาณ 1 หน่วย (Per unit) ที่ทุกๆ บัส และมุมของแรงดันมีค่าแตกต่างกันน้อยๆ ดังนั้นจากสมการ (3.39) และ (3.42)  $[J_1]$  และ  $[J_4]$  จะกลายเป็น

$$\left. \begin{aligned} [J_1] &= |y_{pq}| \sin(\theta_{pq}) \quad q \neq p \\ &= \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N |y_{pq}| \sin(\theta_{pq}) \quad q = p \end{aligned} \right\} (3.46)$$

$$\left. \begin{aligned} [J_4] &= |y_{pq}| \sin(\theta_{pq}) \quad q \neq p \\ &= 2|y_{pp}| \sin(\theta_{pp}) + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N |y_{pq}| \sin(\theta_{pq}) \quad q = p \end{aligned} \right\} (3.47)$$

จากสมการ (3.46) และ (3.47) เมื่อพิจารณา ในกรณีที่  $q = p$  โดยพิจารณาจากบัส แอคทีแวนซ์เมทริกซ์จะได้ว่า

$$|y_{pp}| \sin(\theta_{pp}) = - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^N |y_{pq}| \sin(\theta_{pq}) \quad (3.48)$$

ดังนั้นจากสมการ (3.46), (3.47) และ (3.48) จะได้ว่า

$$[J_1] = |y_{pq}| \sin(\theta_{pq}) \quad (3.49)$$

$$[J_4] = |y_{pq}| \sin(\theta_{pq}) \quad (3.50)$$

จากสมการ (3.49) และ (3.50) พบว่า  $[J_1]$  และ  $[J_4]$  มีค่าเท่ากัน และไม่  
ต้องแยกเป็นกรณี  $p = q$  หรือ  $p \neq q$  อีกต่อไป ดังนั้นสมการ (3.49) และ (3.50)  
เขียนใหม่ได้

$$[J_1] = [J_4] = |y_{pq}| \sin(\theta_{pq}) \quad (3.51)$$

เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลังค่าความต้านทานมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่ารีแอกแตนซ์  
จะได้ว่า

$$|G_{pq}| \ll |B_{pq}| \quad (3.52)$$

จากสมการ (3.28) จะได้ว่า

$$|y_{pq}| \sin(\theta_{pq}) \approx -B_{pq} \quad (3.53)$$

นั่นคือ

$$[J_1] = [J_4] = -I_m [Y_{Bus}] \quad (3.54)$$

$[Y_{Bus}]$  แทน บัสแอดมิแตนซ์เมทริกซ์

วิธีนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าไม่ต้องเสียเวลาสร้าง  $[J]$  เลยเนื่องจาก  $[Y_{Bus}]$  ได้หา  
ไว้เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงลดเวลาคำนวณ  $[J]$  ลงมาก

### ข้อสังเกต

วิธีฟาสติคอปเปิน และปรับปรุงฟาสติคอปเปินนั้น อาจทำการคำนวณ  $\left[\frac{\Delta P}{E}\right]$  และ  $\left[\frac{\Delta Q}{E}\right]$  แยกกันโดยเด็ดขาดได้ คือ ในกรณีของความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้าจริงมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดก็ไม่จำเป็นต้องคำนวณหา  $[\Delta \delta]$  อีก และในทำนองเดียวกัน ถ้าความผิดพลาดของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดก็ไม่จำเป็นต้องคำนวณหา  $[\Delta |E|]$  อีก และเสร็จสิ้นการคำนวณก็ต่อเมื่อทั้ง  $[\Delta \delta]$  และ  $[\Delta |E|]$  ไม่ต้องคำนวณทั้งคู่ ดังนั้นจึงแยกการคำนวณหามุมของแรงดันและขนาดของแรงดันได้

จากรูปที่ 3.1 ถ้าใช้วิธีประมาณของนิวตัน-ราฟสัน โดยที่

- ก. ประมาณแบบเวกเตอร์ค่า โค-ออร์ดิเนต
- ข. ฟาสติคอปเปิล
- ค. ปรับปรุงฟาสติคอปเปิล

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPROXIMATIONS RECTANGULAR CO-ORDINATE CONVERGE IN 48 ITERATIONS

BUS NO.	VOLT		ANGLE (DEGREE)	GENERATION		DEMAND	
	PU.	KV		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.0600	106.00	0.0000	129.32	-7.37	0.00	0.00
2	1.0474	104.74	-2.8001	40.00	30.00	20.00	10.00
3	1.0242	102.42	-4.9859	0.00	0.00	45.00	15.00
4	1.0236	102.36	-5.3175	0.00	0.00	40.00	5.00
5	1.0179	101.79	-6.1411	0.00	0.00	60.00	10.00

ก. วิธีประมาณแบบเรคแทงกูลา โค-ออร์ดิเนต

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 แสดงสถานะแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่บัสจากโหลดไหลว โดยใช้ประมาณแบบเรคแทงกูลาโค-ออร์ดิเนต

FAST DECOUPLE CONVERGENCE IN 7 ITERATIONS

BUS NO.	VOLT		ANGLE (DEGREE)	GENERATION		DEMAND	
	PU.	KV		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.0600	106.00	0.0000	129.62	-7.37	0.00	0.00
2	1.0474	104.74	-2.8070	40.00	30.00	20.00	10.00
3	1.0242	102.42	-4.9968	0.00	0.00	45.00	15.00
4	1.0235	102.35	-5.3288	0.00	0.00	40.00	5.00
5	1.0179	101.79	-6.1495	0.00	0.00	60.00	10.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 3.7 แสดงสภาวะแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่มีสจากโหลดไหลว้โดยวิธีฟาสศคอปเปิล

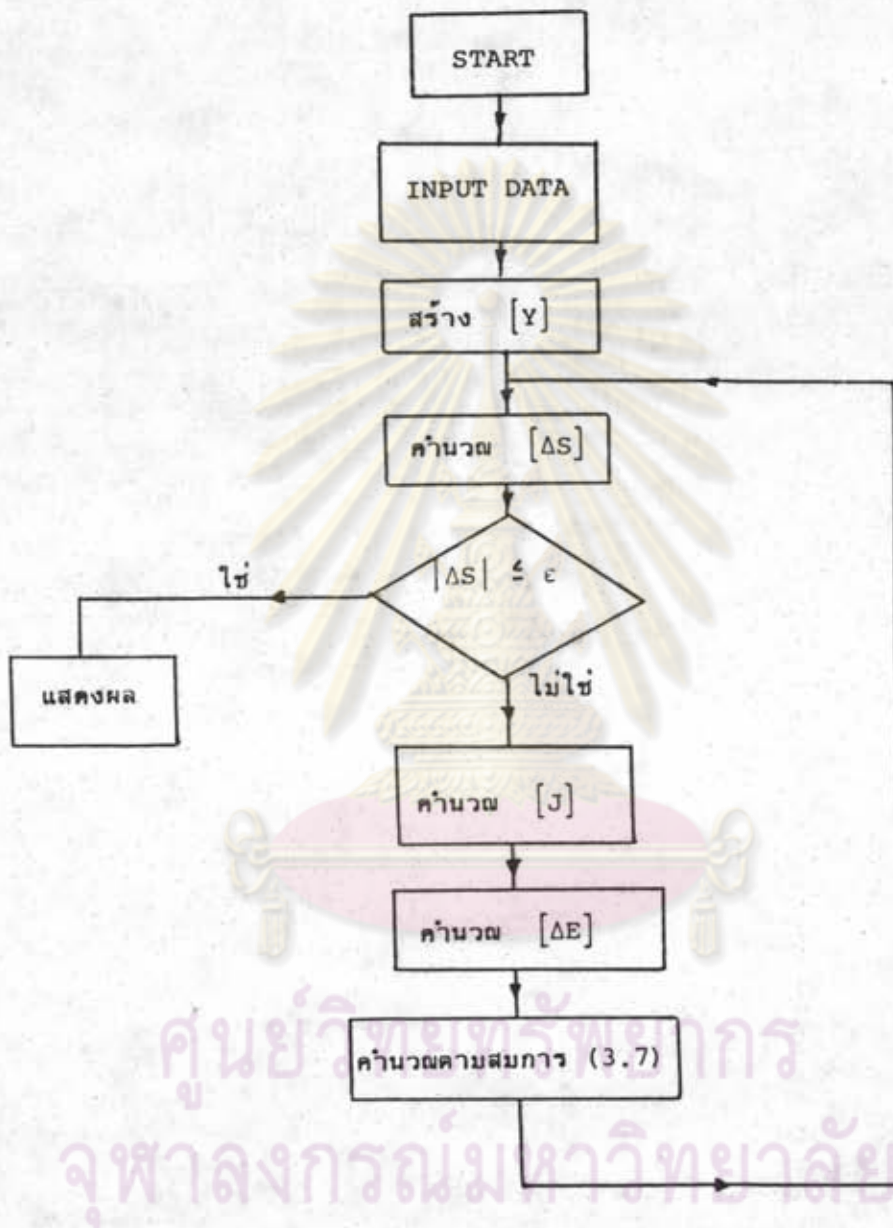
MODIFY FAST DECOUPLE CONVERGENCE IN  
 REACTIVE POWER-VOLTAGE 5 ITERATIONS  
 POWER-ANGLE 6 ITERATIONS

BUS NO.	VOLT		ANGLE (DEGREE)	GENERATION		DEMAND	
	PU.	KV		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.0600	106.00	0.0000	129.58	-7.39	0.00	0.00
2	1.0474	104.74	-2.8060	40.00	30.00	20.00	10.00
3	1.0242	102.42	-4.9970	0.00	0.00	45.00	15.00
4	1.0236	102.36	-5.3292	0.00	0.00	40.00	5.00
5	1.0179	101.79	-6.1504	0.00	0.00	60.00	10.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.8 แสดงสภาวะแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่บัสจากโหลดไหลว้โดยวิธีปรับปรุงฟาสต์คอปเปิล

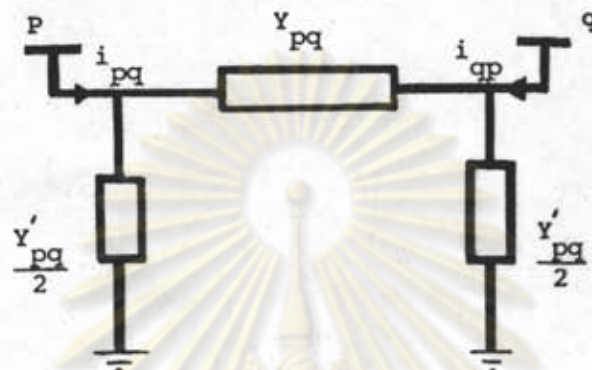
โปรแกรมของการศึกษาโพลีโพลี โดยวิธีอิตเทอเรทีฟของนิวตัน-ราฟสัน





### 3.6 กำลังงานในสายส่ง (Line Flow)

หลังการหาอิทธิพลของแรงดันและมุมของแรงดันเรียบร้อยแล้ว การหากำลังงานในสายส่งโดยพิจารณาสายส่งที่ต่อเชื่อมอยู่ระหว่างบัส P และ Q ตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรสมมูลของสายส่ง

กระแสที่ไหลจากบัส p ไป q ให้เป็น  $i_{pq}$  หาได้โดย

$$i_{pq} = (E_p - E_q) Y_{pq} + E_p \frac{Y'_{pq}}{2} \quad (3.55)$$

$Y_{pq}$  แทน แอดมิแดนซ์ของสายส่ง (Line Admittance)

$Y'_{pq}$  แทน ชาร์จแอดมิแดนซ์ของสายส่ง (Line Charging Admittance)

ดังนั้นจากสมการ (3.55) กำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส p ไป q หาได้โดย

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^* i_{pq}$$

$$\text{หรือ } P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^* (E_p - E_q) Y_{pq} + E_p^* E_p \frac{Y'_{pq}}{2} \quad (3.56)$$

และในทำนองเดียวกันกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส q ไป p ได้เป็น

$$P_{qp} - jQ_{qp} = E_q^* (E_q - E_p) Y_{pq} + E_q^* E_q \frac{Y'_{pq}}{2} \quad (3.57)$$

กำลังไฟฟ้าจริงที่สูญเสียไปในสายส่ง (Power Loss in Line) สามารถหาได้โดย ผลบวกทางพีชคณิตของส่วนจริงของสมการ (3.56) และ (3.57) ดังนั้นเมื่อทำการศึกษาโหลดไหลว์แล้ว จึงควรคำนวณกำลังงานในสายส่งด้วย เพื่อคำนวณหาความสูญเสียของระบบ

จากรูปที่ 3.1 เมื่อคำนวณแรงดันที่มีสต่างๆ ได้ จะแสดงกำลังงานที่ไหลในสายส่ง และผลสรุปของระบบในแต่ละวิธีได้ดังนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


LINE FLOW

1. วิถีเรคทางคู่ค่า โท-ออร์ทีเนต

LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS G	FLOW FROM P		FLOW TO G		LOSS	
			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	88.86	-8.58	-87.45	6.15	1.41	2.43
2	1	3	40.72	1.16	-39.53	-3.01	1.19	1.86
3	2	3	24.69	3.55	-24.34	-6.78	0.35	3.24
4	2	4	27.94	2.96	-27.49	-5.93	0.44	2.97
5	2	5	54.82	7.34	-53.70	-7.17	1.13	0.18
6	3	4	18.87	-5.20	-18.84	3.21	0.04	1.99
7	1	5	6.33	-2.29	-6.30	-2.83	0.03	0.55

ตารางที่ 3.9 แสดงกำลังงานในสายส่ง (LINE FLOW) และความสูญเสีย (LOSS) ในสายส่ง จากวิถีเรคทางคู่ค่า โท-ออร์ทีเนต

SYSTEM TOTAL



	MW	MVAR
GENERATION	169.59	22.57
LOAD	165.00	40.00
LINE CHARGING	0.00	31.18
STATIC CAPACITOR	0.00	0.00
LOSSES	4.59	13.20
MISMATCH	0.00	0.55

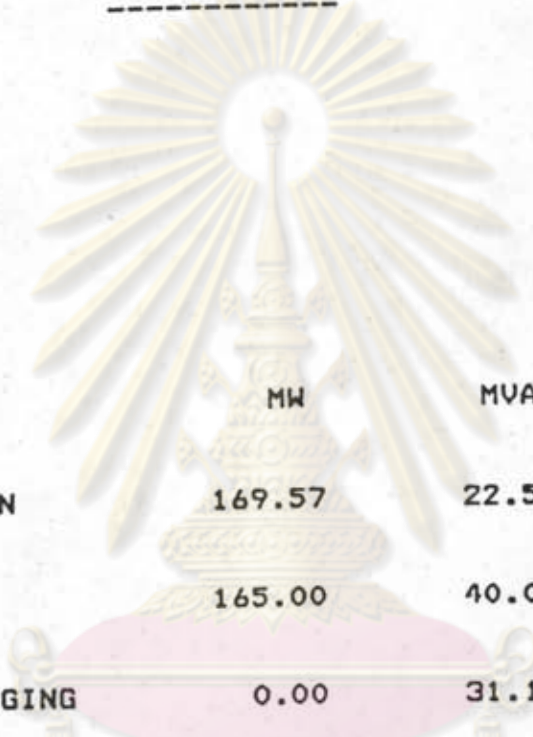
ตารางที่ 3.10 แสดงผลสรุปของระบบจากวิธีเรคแทนทูล่า โค-ออร์ดิเนต

LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS G	FLOW FROM P		FLOW TO G		LOSS	
			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	88.85	-8.59	-87.44	6.16	1.41	2.43
2	1	3	40.72	1.15	-39.53	-3.01	1.19	1.86
3	2	3	24.69	3.54	-24.34	-6.78	0.35	3.24
4	2	4	27.93	2.96	-27.49	-5.92	0.44	2.97
5	2	5	54.81	7.34	-53.69	-7.16	1.12	0.17
6	3	4	18.87	-5.20	-18.84	3.21	0.04	1.99
7	4	5	6.33	-2.29	-6.30	-2.83	0.03	0.55

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.11 แสดงกำลังงานในสายส่งและความสูญเสียจากวิธีโหล่า โท-ออรัคิเนต

SYSTEM TOTAL



	MW	MVAR
GENERATION	169.57	22.56
LOAD	165.00	40.00
LINE CHARGING	0.00	31.18
STATIC CAPACITOR	0.00	0.00
LOSSES	4.59	13.20
MISMATCH	0.01	0.54

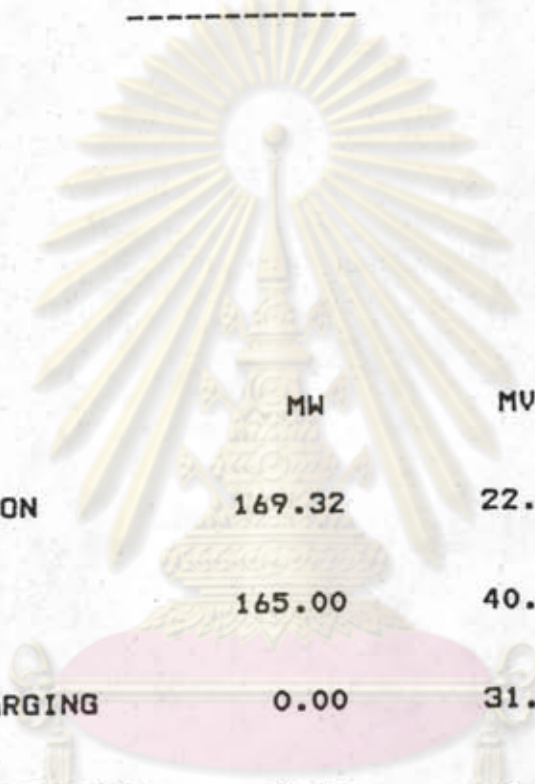
ตารางที่ 3.12 แสดงผลสรุปของระบบจากวิธีโหล่า โค-ออร์ดิเนต

LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS G	FLOW FROM P		FLOW TO G		LOSS	
			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	88.68	-8.54	-87.27	6.09	1.40	2.45
2	1	3	40.64	1.17	-39.45	-3.04	1.19	1.87
3	2	3	24.65	3.56	-24.30	-6.80	0.35	3.24
4	2	4	27.89	2.98	-27.45	-5.95	0.44	2.97
5	2	5	54.78	7.35	-53.66	-7.18	1.12	0.17
6	3	4	18.84	-5.19	-18.81	3.20	0.04	1.99
7	4	5	6.35	-2.29	-6.32	-2.83	0.03	0.54

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.13 แสดงกำลังงานในสายส่งและความสูญเสียจากวิธีประมาณแบบแรงดันตามจุดต่าง ๆ ใน-ออร์คิเน็ต

SYSTEM TOTAL



	MW	MVAR
GENERATION	169.32	22.63
LOAD	165.00	40.00
LINE CHARGING	0.00	31.18
STATIC CAPACITOR	0.00	0.00
LOSSES	4.57	13.23
MISMATCH	0.26	0.59

ตารางที่ 3.14 แสดงผลสรุปของระบบจากวิธีประมาณแบบเรคแทงกูล่า โค-ออร์ติเนค



LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS G	FLOW FROM P		FLOW TO G		LOSS	
			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	58.90	-8.54	-57.49	6.11	1.41	2.43
2	1	3	40.77	1.17	-39.53	-3.02	1.19	1.86
3	2	3	24.68	3.54	-24.33	-6.78	0.35	3.24
4	2	4	27.92	2.96	-27.48	-5.93	0.44	2.57
5	2	5	54.80	7.33	-53.67	-7.16	1.17	0.17
6	3	4	18.66	-5.21	-18.83	3.22	0.04	1.99
7	4	5	6.33	-2.29	-6.30	-2.63	0.03	0.54

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.15 แสดงกำลังงานในสายส่งและความสูญเสียจากวิธีหาคอปเปิล

SYSTEM TOTAL

	MW	MVAR
GENERATION	169.67	77.63
LOAD	165.00	40.00
LINE CHARGING	0.00	31.18
STATIC CAPACITOR	0.00	0.00
LOSSES	4.59	13.19
MISMATCH	0.03	0.62

ตารางที่ 3.16 แสดงผลสรุปของระบบจากวิธีหาคือเปิด

LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS G	FLOW FROM P		FLOW TO G		LOSS	
			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	88.86	-8.55	-87.45	6.12	1.41	2.43
2	1	3	40.72	1.16	-39.53	-3.01	1.19	1.86
3	2	3	24.70	3.54	-24.34	-6.77	0.35	3.24
4	2	4	27.94	2.95	-27.50	-5.92	0.44	2.97
5	2	5	54.82	7.33	-53.70	-7.15	1.13	0.18
6	3	4	18.87	-5.20	-18.84	3.21	0.04	1.99
7	4	5	6.33	-2.29	-6.30	-2.83	0.03	0.55

ศูนย์วิทยทรัพยากร


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.17

แสดงกำลังงานในสายส่งและความสูญเสียจากวิธีรับพลังงานฟอสซิลแบบเปิด



SYSTEM TOTAL



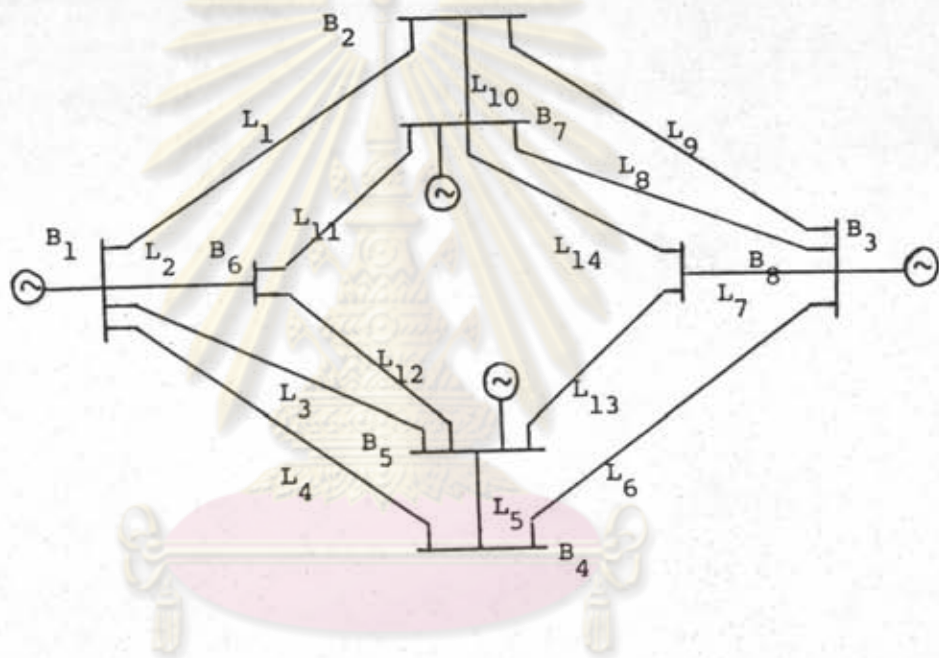
	MW	MVAR
GENERATION	169.58	22.61
LOAD	165.00	40.00
LINE CHARGING	0.00	31.18
STATIC CAPACITOR	0.00	0.00
LOSSES	4.59	13.20
MISMATCH	0.00	0.59

ตารางที่ 3.18 แสดงผลสรุปของระบบจากวิธีปรับปรุงพาสติคอปโบล

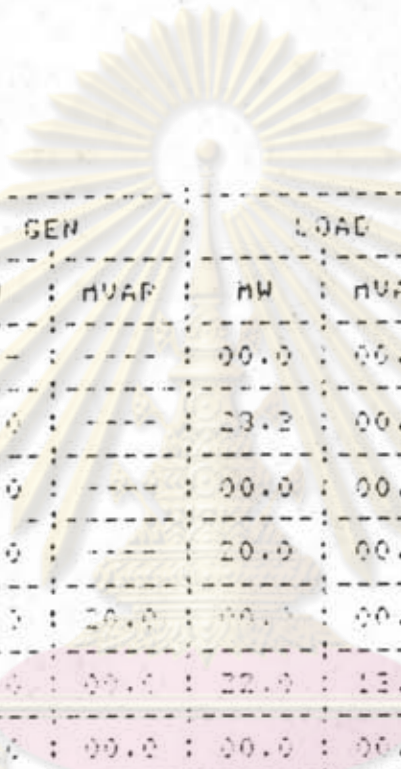
ในกรณีจากระบบไฟฟ้ากำลังตามรูปที่ 3.3 จะหาแรงดันที่แต่ละบัส กำลังงานในสายส่ง ผลสรุปของระบบ โดยวิธี

- ก. โหลด ไค-ออร์ดิเนต
- ข. ฟาสตคอปเปิล
- ค. ปรับปรุงฟาสตคอปเปิล

กำหนดข้อมูลที่บัสต่างๆ ตามตาราง 3.19 และข้อมูลสายส่งตามตาราง 3.20



รูปที่ 3.3 ระบบไฟฟ้ากำลัง 8 บัส 14 โลว์  
 ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



BUS	TYPE	GEN		LOAD		VSPEC (PU)	KV
		MW	MVAR	MW	MVAR		
1	3	----	----	00.0	00.0	1.00	100.0
2	2	00.0	----	23.2	00.0	1.00	100.0
3	2	15.0	----	00.0	00.0	1.00	100.0
4	2	00.0	----	20.0	00.0	1.00	100.0
5	1	15.0	20.0	00.0	00.0	1.00	100.0
6	1	00.0	00.0	22.0	13.0	1.00	100.0
7	1	15.0	00.0	00.0	00.0	1.00	100.0
8	1	00.0	00.0	00.0	10.0	1.00	100.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 ตารางที่ 3.19 ข้อมูลที่บัส  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LINE	BUS S-E	IMPEDANCE	LINE CHARGING
1	1-2	1.00 + j 7.00	0.00 + j 0.05
2	1-6	0.20 + j 1.00	0.00 + j 0.00
3	1-5	0.30 + j 3.00	0.00 + j 0.00
4	1-4	0.80 + j 6.50	0.00 + j 0.03
5	4-5	0.35 + j 3.00	0.00 + j 0.00
6	3-4	0.75 + j 6.30	0.00 + j 0.06
7	3-8	0.10 + j 1.50	0.00 + j 0.00
8	3-7	0.25 + j 2.30	0.00 + j 0.00
9	3-2	1.10 + j 8.10	0.00 + j 0.08
10	2-7	0.30 + j 3.00	0.00 + j 0.00
11	6-7	0.21 + j 1.0	0.00 + j 0.00
12	5-5	0.20 + j 1.30	0.00 + j 0.00
13	5-7	0.14 + j 1.10	0.00 + j 0.00
14	7-5	0.21 + j 1.11	0.00 + j 0.00

ศูนย์วิทยุโทรคมนาคม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.20 ข้อมูลของสายส่ง

1:1	2	3	4	5	6	7	8
: 0.264	: -0.020	: 0.000	: -0.019	: -0.033	: -0.192	: 0.000	: 0.000
: -1.54J	: 0.14J	: 0.00J	: 0.15J	: 0.33J	: 0.96J	: 0.00J	: 0.00J
2:1	2	3	4	5	6	7	8
: -0.020	: 0.072	: -0.016	: 0.000	: 0.000	: 0.000	: -0.035	: 0.000
: 0.14J	: -0.53J	: 0.12J	: 0.00J	: 0.00J	: 0.00J	: 0.33J	: 0.00J
3:1	2	3	4	5	6	7	8
: 0.000	: -0.016	: 0.126	: -0.019	: 0.000	: 0.000	: -0.047	: -0.044
: 0.00J	: 0.12J	: -1.30J	: 0.16J	: 0.00J	: 0.00J	: 0.43J	: 0.66J
4:1	2	3	4	5	6	7	8
: -0.019	: 0.000	: -0.019	: 0.122	: -0.085	: 0.000	: 0.000	: 0.000
: 0.15J	: 0.00J	: 0.16J	: -0.75J	: 0.49J	: 0.00J	: 0.00J	: 0.00J
5:1	2	3	4	5	6	7	8
: -0.033	: 0.000	: 0.000	: -0.085	: 0.270	: -0.116	: 0.000	: -0.036
: 0.33J	: 0.00J	: 0.00J	: 0.49J	: -2.04J	: 0.75J	: 0.00J	: 0.47J
6:1	2	3	4	5	6	7	8
: -0.192	: 0.000	: 0.000	: 0.000	: -0.116	: 0.509	: -0.201	: 0.000
: 0.96J	: 0.00J	: 0.00J	: 0.00J	: 0.75J	: -2.67J	: 0.96J	: 0.00J
7:1	2	3	4	5	6	7	8
: 0.000	: -0.035	: -0.047	: 0.000	: 0.000	: -0.201	: 0.305	: -0.022
: 0.00J	: 0.33J	: 0.43J	: 0.00J	: 0.00J	: 0.96J	: -2.04J	: 0.32J
8:1	2	3	4	5	6	7	8
: 0.000	: 0.000	: -0.044	: 0.000	: -0.036	: 0.000	: -0.022	: 0.102
: 0.00J	: 0.00J	: 0.66J	: 0.00J	: 0.47J	: 0.00J	: 0.32J	: -1.46J
9:1	2	3	4	5	6	7	8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.21 บัสแอดมินแดนซ์เมทริกซ์



CONVERGENCE IN 11 ITERATIONS

BUS NO.	VOLT		ANGLE (DEGREE)	GENERATION		DEMAND	
	PU.	KV		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.0000	100.00	0.0000	3.29	1.76	0.00	0.00
2	1.0000	100.00	-17.8516	0.00	3.37	23.30	0.00
3	1.0000	100.00	10.7864	15.00	-0.01	0.00	0.00
4	1.0000	100.00	-8.0547	0.00	-1.59	20.00	0.00
5	1.0572	105.72	6.3240	25.00	20.00	0.00	0.00
6	0.9275	92.75	0.4035	0.00	0.00	22.00	13.00
7	0.9539	95.39	8.6093	25.00	0.00	0.00	0.00
8	0.9350	93.50	9.1523	0.00	0.00	0.00	10.00

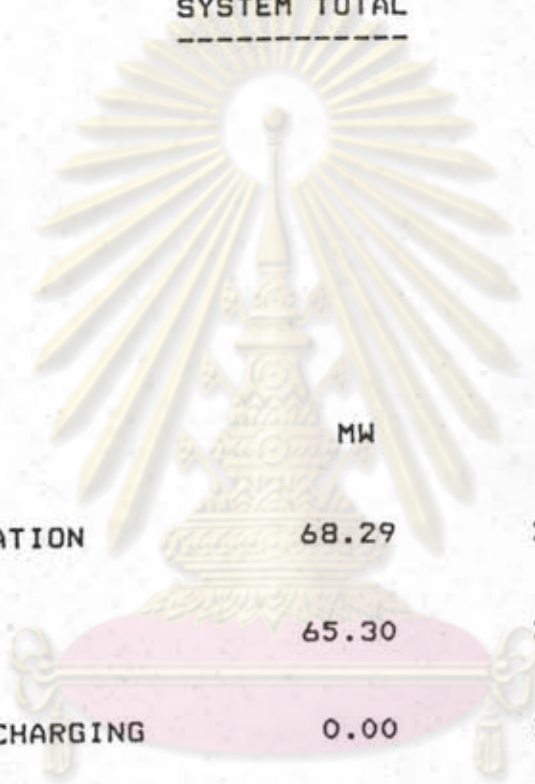
ก. รหัสโหมล่า โท-ออร์คิเนต (วิธีคราง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.22 แสดงสภาวะต่างๆ ที่มีสจากวิธีโหมล่า โท-ออร์คิเนต

LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS G	FLOW FROM P		FLOW TO G		LOSS	
			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	4.39	-2.44	-4.20	-1.21	0.19	1.23
2	1	6	0.77	7.10	-0.66	-6.59	0.10	0.51
3	1	5	-4.01	-1.29	4.06	1.82	0.05	0.53
4	1	4	2.14	-1.61	-2.11	-1.09	0.04	0.52
5	4	5	-12.94	1.06	13.53	2.31	0.59	1.25
6	3	4	5.15	-2.76	-4.95	-1.56	0.20	1.20
7	3	8	2.06	4.22	-2.04	-3.89	0.02	0.33
8	3	7	1.78	1.84	-1.76	-1.69	0.02	0.15
9	3	2	6.01	-3.31	-5.61	-1.73	0.40	1.58
10	2	7	-13.50	6.31	14.21	0.35	0.71	5.95
11	6	7	-12.41	1.06	12.78	0.74	0.38	0.32
12	6	5	-8.93	-7.47	9.24	9.52	0.32	2.05
13	5	8	-1.84	6.35	1.90	-5.53	0.06	0.82
14	7	8	-0.23	0.60	0.23	-0.58	0.00	0.01

SYSTEM TOTAL



	MW	MVAR
GENERATION	68.29	23.53
LOAD	65.30	23.00
LINE CHARGING	0.00	22.00
STATIC CAPACITOR	0.00	0.00
LOSSES	3.08	16.46
MISMATCH	0.10	6.07

FAST DECOUPLE CONVERGENCE IN 6 ITERATIONS

น. วิเศษศักดิ์คอปเปิด

BUS NO.	VOLT		ANGLE (DEGREE)	GENERATION		DEMAND	
	PU.	KV		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.0000	100.00	0.0000	3.38	1.67	0.00	0.00
2	1.0000	100.00	-17.8843	0.00	3.33	23.30	0.00
3	1.0000	100.00	10.6988	15.00	-0.09	0.00	0.00
4	1.0000	100.00	-8.0946	0.00	-1.62	20.00	0.00
5	1.0576	105.76	6.2651	25.00	20.00	0.00	0.00
6	0.9281	92.81	0.3665	0.00	0.00	22.00	13.00
7	0.9546	95.46	8.5284	25.00	0.00	0.00	0.00
8	0.9357	93.57	9.0309	0.00	0.00	0.00	10.00

ตารางที่ 3.25 สภาวะที่นับจากวิธีฟาสด์คอปเปิด

LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS G	FLOW FROM P		FLOW TO G		LOSS	
			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	4.40	-2.44	-4.20	-1.21	0.19	1.23
2	1	6	0.81	7.03	-0.71	-6.53	0.10	0.50
3	1	5	-3.98	-1.31	4.03	1.84	0.05	0.53
4	1	4	2.15	-1.61	-2.12	-1.09	0.04	0.53
5	4	5	-12.93	1.04	13.52	2.33	0.59	1.30
6	3	4	5.14	-2.77	-4.94	-1.57	0.20	1.20
7	3	8	2.09	4.17	-2.07	-3.85	0.02	0.33
8	3	7	1.77	1.81	-1.75	-1.66	0.02	0.15
9	3	2	6.00	-3.31	-5.60	-1.74	0.40	1.58
10	2	7	-13.49	6.27	14.19	0.36	0.71	5.91
11	6	7	-12.36	1.03	12.74	0.76	0.38	0.27
12	6	5	-8.91	-7.48	9.22	9.52	0.31	2.04
13	5	8	-1.79	6.33	1.85	-5.52	0.06	0.81
14	7	8	-0.21	0.60	0.21	-0.58	0.00	0.01

ตารางที่ 3.26 กำลังงานในสายส่งตามวิธีหาค่าคอปเปิล

SYSTEM TOTAL

---

	MW	MVAR
GENERATION	68.38	23.29
LOAD	65.30	23.00
LINE CHARGING	0.00	22.00
STATIC CAPACITOR	0.00	0.00
LOSSES	3.07	16.38
MISMATCH	0.01	5.91

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODIFY FAST DECOUPLE CONVERGENCE IN  
 POWER-ANGLE                      4    ITERATIONS  
 REACTIVE POWER-VOLTAGE        4    ITERATIONS

BUS NO.	VOLT		ANGLE (DEGREE)	GENERATION		DEMAND	
	PU.	KV		MW	MVAR	MW	MVAR
1	1.0000	100.00	0.0000	3.35	1.73	0.00	0.00
2	1.0000	100.00	-17.8575	0.00	3.34	23.30	0.00
3	1.0000	100.00	10.7316	15.00	-0.03	0.00	0.00
4	1.0000	100.00	-8.0870	0.00	-1.59	20.00	0.00
5	1.0573	105.73	6.2930	25.00	20.00	0.00	0.00
6	0.9277	92.77	0.3781	0.00	0.00	22.00	13.00
7	0.9541	95.41	8.5589	25.00	0.00	0.00	0.00
8	0.9351	93.51	9.0638	0.00	0.00	0.00	10.00

น. วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์



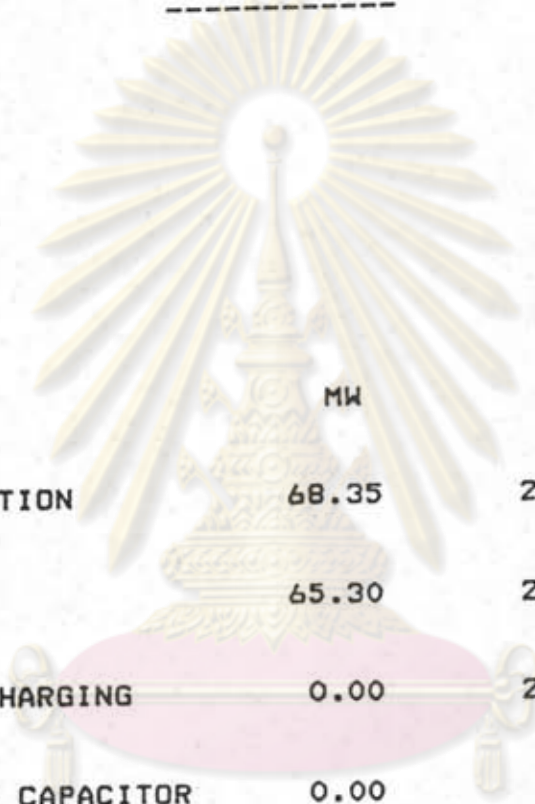
ตารางที่ 3.28 สภาวะที่มีสจากวิธีขั้วบ่งพวงพาสคอปโปล

LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS G	FLOW FROM P		FLOW TO G		LOSS	
			MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	4.39	-2.44	-4.20	-1.21	0.19	1.23
2	1	6	0.80	7.07	-0.70	-6.57	0.10	0.51
3	1	5	-3.99	-1.30	4.05	1.83	0.05	0.53
4	1	4	2.15	-1.61	-2.11	-1.09	0.04	0.52
5	4	5	-12.94	1.06	13.53	2.32	0.59	1.26
6	3	4	5.15	-2.76	-4.95	-1.56	0.20	1.20
7	3	8	2.10	4.21	-2.07	-3.88	0.02	0.33
8	3	7	1.77	1.83	-1.76	-1.68	0.02	0.15
9	3	2	6.00	-3.31	-5.60	-1.73	0.40	1.58
10	2	7	-13.48	6.29	14.19	0.35	0.71	5.94
11	6	7	-12.37	1.05	12.75	0.74	0.38	0.31
12	6	5	-8.93	-7.48	9.24	9.52	0.31	2.05
13	5	8	-1.79	6.34	1.85	-5.53	0.06	0.82
14	7	8	-0.21	0.60	0.21	-0.58	0.00	0.01

ตารางที่ 3.29 กำลังงานในสายส่งตามวิธีปรับปรุงฟาสต์คอปเปิล



SYSTEM TOTAL



	MW	MVAR
GENERATION	68.35	23.45
LOAD	65.30	23.00
LINE CHARGING	0.00	22.00
STATIC CAPACITOR	0.00	0.00
LOSSES	3.08	16.44
MISMATCH	0.03	6.02