บทที่ ๓

โปรแกรม Load Flow Study (LFS)

ตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ ๒ ซึ่งเป็นหลักสำคัญเบื้องต้นเกี่ยวกับการทำ Load Flow Study นั้น โดยทั่ว ๆ ไปในการศึกษาวิเคราะห์และวางแผนและหารายละเอียดอื่น ๆ เกี่ยวกับระบบไฟฟ้า นั้นจำเป็นจะต้องมีการควบคุมค่าบางอย่าง เพื่อให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ ดังนั้น โปรแกรม LFS ที่เขียนขึ้นนี้จะมีส่วนของโปรแกรมที่จำเป็นสำหรับการคำนวณและปรับค่าต่าง ๆ โดยอัตโนมัติ เพื่อโปรแกรม LFS นี้จะใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางและใช้ได้กับทุก ๆ กรณีของแต่ละระบบไฟฟ้า

โปรแกรม LFS นี้ จะประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ ๕ ส่วน ดังนี้

๓.๑ Input Routine

๓.๒ Voltage Solution Routine

๓.๓ Automatic Tap Selection to Control Voltage Routine

๓.๔ Power Interchange between Areas Routine

๓.๕ Output Routine

ดังจะได้แยกกล่าวอย่างละเอียด ดังต่อไปนี้

๓.๑ Input Routine

ส่วนนี้จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำไปเก็บบันทึกไว้ใน core storage สำหรับใช้คำนวณต่อไป โปรแกรมส่วนนี้ได้จัดเตรียมให้เหมาะสมและสามารถอ่านค่าได้หลายแบบ ซึ่งเป็นผลทำให้การจัดเตรียม input data ทำได้สะดวกรวดเร็วและง่ายขึ้น ทำให้ประหยัดเวลาได้มาก

ภายใน Input Routine จะประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่อ่านข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

๓.๑.๑ ส่วนสำหรับ System Identification

๓.๑.๒ ส่วนสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับ bus

๓.๑.๓ ส่วนสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับ transmission line และ transformer

๓.๑.๔ ส่วนสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมถ่ายเทกำลังไฟฟ้าในระบบเชื่อมโยง (Power Interchange between Areas)

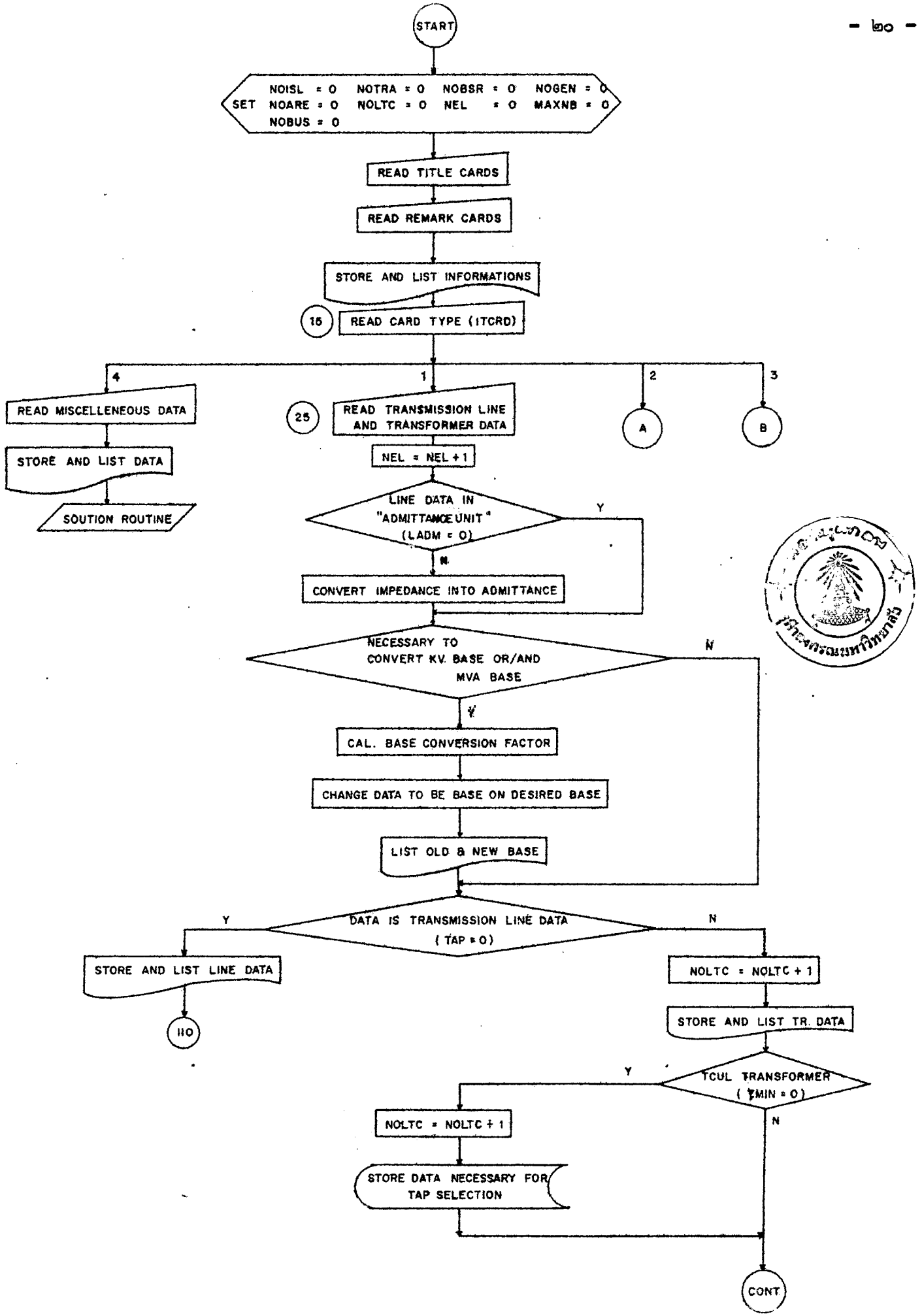
๓.๑.๕ ส่วนสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับ Operation ของโปรแกรม

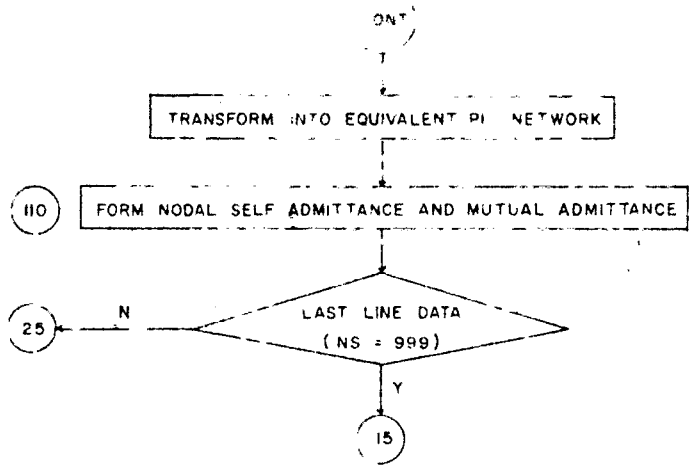
๓.๑.๑ ส่วนสำหรับ System Identification

Input data ส่วนที่เป็นข้อความเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าที่จะทำ Load Flow Study นั้น คือหัวข้อเรื่องและหมายเหตุ จะถูกอ่านนำข้อมูลอื่น ๆ เข้าไปก่อนและเก็บบันทึกไว้ ซึ่งข้อความเหล่านี้จะใช้พิมพ์เป็นหัวข้อเรื่องนำ input data ที่จะต้องพิมพ์ เพื่อป้องกันความสับสนของข้อมูลและผลลัพธ์ของแต่ละกรณี เมื่อมีการทำการศึกษาร่วม ๆ กันไปหลาย ๆ กรณี

๓.๑.๒ ส่วนสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับ transmission line และ transformer

โปรแกรมส่วนนี้จะทำหน้าที่อ่านรายละเอียดเกี่ยวกับ transmission line และ transformer ทั้งหมด พร้อมทั้งเก็บบันทึกไว้เพื่อใช้คำนวณต่อไป วิธีการต่าง ๆ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ ๓.๑


START
SET NOISL = 0 NOTRA = 0 NOBSR = 0 NOGEN = 0
NOARE = 0 NOLTC = 0 NEL = 0 MAXNB = 0
NOBUS = 0
READ TITLE CARDS
READ REMARK CARDS
STORE AND LIST INFORMATIONS
15
READ CARD TYPE (ITCRD)
4
READ MISCELLENEOUS DATA
STORE AND LIST DATA
SOUTION ROUTINE
1
25
READ TRANSMISSION LINE AND TRANSFORMER DATA
NEL = NEL + 1
LINE DATA IN "ADMITTANCE UNIT" (LADM = 0)
Y
N
CONVERT IMPEDANCE INTO ADMITTANCE
2
A
3
B
NECESSARY TO CONVERT KV. BASE OR/AND MVA BASE
N
Y
CAL. BASE CONVERSION FACTOR
CHANGE DATA TO BE BASE ON DESIRED BASE
LIST OLD & NEW BASE
DATA IS TRANSMISSION LINE DATA (TAP = 0)
Y
N
STORE AND LIST LINE DATA
110
NOLTC = NOLTC + 1
STORE AND LIST TR. DATA
TCUL TRANSFORMER (TMIN = 0)
Y
N
NOLTC = NOLTC + 1
STORE DATA NECESSARY FOR TAP SELECTION
CONT



รูปที่ ๓ : FLOW DIAGRAM สำหรับ LINE & TRANSFORMER DATA NO. INPUT ROUTINE

การเก็บบันทึกค่า nodal self admittance และ mutual admittance

การบันทึกค่า nodal self admittance และ mutual admittance ลงใน core storage นั้น ถ้าบันทึกอยู่ใน form ของ matrix ซึ่งเป็นการใช้บันทึกในลักษณะของ two-dimension array แล้ว จะต้องสิ้นเปลือง core storage มาก เพราะจำนวน mutual admittance elements ต่าง ๆ ของ matrix ที่มีค่าเป็นศูนย์มีมาก ไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณเลย แต่ก็ต้องการ core storage เหมือนกัน การเก็บบันทึกค่าเหล่านี้ของโปรแกรม LFS นั้น จะทำการบันทึกในลักษณะของ one-dimension array ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้.-

ข้อมูลของ line 1 line จะประกอบด้วย sending end bus number (NS), recieving end bus number (NR), ค่า admittance ของ line แต่ละ line ที่ป้อนเข้าไปเป็นข้อมูล จะถูกจัดให้มี line number (NEL) ประจำ line นั้น การบันทึกค่า mutual admittance (YGM+jYBM) จะใช้ line number เป็น subscript variable ดังนี้ YGM(NEL)

YBM(NEL)

เพื่อจะให้ทราบได้ว่า line ที่มี number(NEL) นี้เชื่อมโยงอยู่กับ bus อะไร ดังนั้นจึงต้องเก็บบันทึกค่า number ของ Sending end bus (NSE) และ Recieving end bus (NRE) โดยใช้ line number เป็น subscript variable ดังนี้.-

NSE (NEL) = NS

NRE (NEL) = NR

การเก็บบันทึกของ self admittance (YGS+jYBS) ของ bus นี้ จะใช้ค่า NS และ NR ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ NEL อยู่แล้ว เป็นตัว subscript variable ดังนี้.-

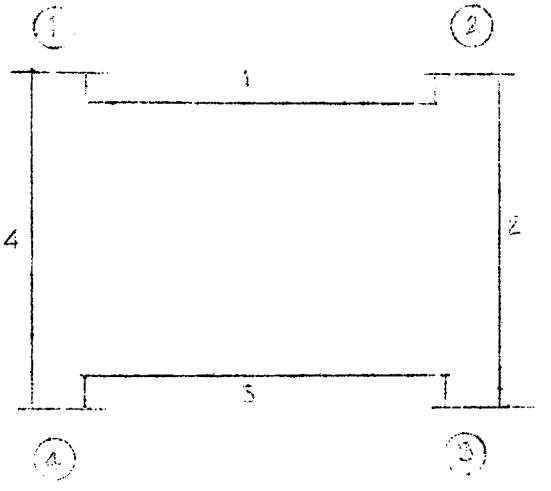
YGS (NS) + jYBS (NS)

YGS (NR) + jYBS (NR)

โดยที่ NS = NSE (NEL)

NR = NRE (NEL)

แสดงว่าทั้ง ๓ Variable Name มีความสัมพันธ์กันหมด แต่ถ้าหาก bus หนึ่ง ๆ ไม่มีการเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน การเก็บบันทึกค่าของ self และ mutual admittance จะไม่มี สมมติว่า network เป็นดังรูปที่ ๓.๒



รูปที่ ๓.๒

bus (1) & (2), NEL = 1, NS = 1, NR = 2

bus (2) & (3), NEL = 2, NS = 2, NR = 3

bus (3) & (4), NEL = 3, NS = 3, NR = 4

bus (4) & (1), NEL = 4, NS = 4, NR = 1

หมายเหตุ ค่า NS & NR สามารถกำหนดให้สับที่กันได้.

ลักษณะการบันทึกของ NSE และ NRE ดังนี้.-

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

1	2	3	4	2	3	4	1

← ค่าใน core storage

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

ลักษณะการบันทึกของ self และ mutual admittance ซึ่งจะต้องใช้จำนวน core storage เท่ากับ ๘ word

YGS(1)	YGS(2)	YGS(3)	YGS(4)	YGM(1)	YGM(2)	YGM(3)	YGM(4)

แต่ถ้าหากเก็บบันทึกตามแบบ matrix จะต้องใช้จำนวน core storage เท่ากับ ๑๖ ดังนี้

Y(1,1)	Y(1,2)	Y(1,3)	Y(1,4)
Y(4,1)	Y(2,2)	Y(2,3)	Y(2,4)
Y(3,1)	Y(3,2)	Y(3,3)	Y(3,4)
Y(4,1)	Y(4,2)	Y(4,3)	Y(4,4)

ซึ่ง Y(1,3), Y(2,4), Y(3,1), Y(4,2) มีค่าเป็นศูนย์ จึงเห็นได้ว่าจะสิ้นเปลือง core storage ไปโดยไม่จำเป็น

ดังนั้นการเก็บบันทึกค่าของโปรแกรม LFS นี้ จะต้องการจำนวน core storage น้อยกว่าการเก็บบันทึกแบบ matrix

การเปลี่ยน base

ในโปรแกรม LFS นี้ สามารถรับ line และ transformer data ต่าง ๆ ซึ่งมี base KV หรือ/และ base MVA ไม่เหมือนกัน ในการคำนวณเกี่ยวกับ Load Flow นั้น ค่า base MVA ของ data แต่ละกรุปจะต้องถูกเปลี่ยนใช้เป็น base เดียวกันหมด ใน LFS นี้ จะใช้ค่า base MVA เท่ากับ 100 ในการคำนวณ สำหรับค่า base KV นั้นไม่จำเป็นจะต้องเหมือนกันก็ได้ แต่ถ้าหากต้องการจะเปลี่ยนให้เหมือนกันหมดก็ย่อมจะทำได้ ถ้าหากค่า admittance ของ line มี KV base เป็น BØLD และ MVA base เป็น BMVA

ต้องการเปลี่ยนให้มี KV base เป็น BNEW และ MVA base เป็น 100 จะต้องใช้แฟคเตอร์ $(\frac{BØLD}{BNEW})^2 \cdot (\frac{100}{BMVA})$ คูณกับค่า admittance ของ line data

รายละเอียดของ transmission line และ transformer input data มีดังนี้

ค่าตัวเลขประจำ bus ๒ bus ซึ่ง line แต่ละ line หรือ transformer เชื่อมอยู่

ค่า impedance หรือ admittance ของ line หรือ transformer

ค่า line charging ทั้งหมดตลอด line

ค่า base MVA และ base KV ของ line

ค่า rating capacity ของ line หรือ transformer

ถ้าหากเป็น data ของ transformer จะมีค่าต่อไปนี้เพิ่มขึ้นอีก

ค่า turn ratio ของ transformer ซึ่งถ้าหากเป็นแบบ Under Load Tap Changing Transformer ค่านี้จะเป็นค่า initial tap setting

ค่า minimum และ maximum tap setting limit ของ TCUL transformer

ค่า turn ratio จะให้อยู่ทางด้านหนึ่งด้านใดของ transformer ก็ได้ตามต้องการ โดยการบอกด้วยค่า LREF ในโปรแกรม ในกรณีที่ข้อมูลของระบบประกอบด้วย TCUL transformer ซึ่งต่ออยู่ระหว่าง bus ๒ bus busที่ถูกกำหนดให้เป็น recieving end จะเป็น bus ที่ต้องปรับให้แรงดัน มี magnitude ตามที่กำหนดไว้ใน bus data

input โดยที่ยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ในช่วงของ allowable limit ซึ่งจะบอกไว้พร้อมกันไปกับข้อมูลของ TCUL transformer แต่ถ้าไม่ได้กำหนดเอาไว้ จะถือว่า allowable limit ของแรงดันที่ bus นั้น มีค่าเป็น ๐.๐๐๕ per unit

การ form self admittance ของ bus ใด ๆ สามารถคำนวณได้จากการนำค่า admittance ของ line ต่าง ๆ ซึ่งมีปลายสายข้างหนึ่งข้างใดต่อรวมกันอยู่ที่ bus เดียวกัน มารวมกัน สำหรับในกรณีที่เป็น transformer โปรแกรมจะทำการเปลี่ยนข้อมูล ซึ่งอยู่ในลักษณะของ transformer ไปเป็น equivalent Pi network (ตามหัวข้อ ๒.๑.๔) เสียก่อน แล้วจึงนำ elements ส่วนที่ต่ออยู่กับ bus นั้นเข้าไปรวม

โดยที่ได้ถือ ground bus เป็น reference bus ดังนั้น ถ้าหากที่ bus ใด ๆ มี shunt elements ต่ออยู่ จะต้องรวมค่า admittance ของ shunt element เหล่านี้เข้าไปด้วยในกรณีของ line charging ของ line ยาว ๆ ย่อมถือได้ว่าเป็น shunt capacitor ซึ่งต่อขนานอยู่ที่ bus ทั้ง ๒ ข้างของ line โดยแต่ละข้างจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ line charging admittance ตลอด line

การ form mutual admittance ระหว่าง bus ๒ bus ที่เชื่อมกันอยู่ด้วย line ก็เช่นเดียวกัน จะสามารถทำได้โดยการรวมค่า admittance ของ line ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อระหว่าง bus คู่เดียวกัน และถ้าหากเป็น transformer ก็จะต้องคิดรวม mutual part ของ equivalent Pi networkเข้าไปด้วย

๓.๑.๓ ส่วนสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับ bus

ในการทำ Load Flow Study ข้อมูลสำหรับ bus ที่จะใช้ประกอบในการคำนวณมีอยู่ ๔ จำนวน คือค่า real และ reactive power, voltage magnitude และ phase angle ค่าของข้อมูลที่ได้กำหนดไว้สำหรับแต่ละ bus จะไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของ bus แต่ละ bus จะมีข้อมูลที่ได้กำหนดไว้เพียง ๒ จำนวนเท่านั้น ในระบบไฟฟ้าทั่ว ๆ ไป สามารถแบ่งชนิดของ bus ได้เป็น ๓ ประเภท คือ

๑. Slack bus หรือ Swing bus ส่วนมากจะเลือกเอา bus ที่มี generation capacity มากที่สุดใน network เพื่อสำหรับจาย real และ reactive power ให้แก load สวนที่เหลือจากการจายของ generator ตัวอื่น ๆ แล้ว และคา power ที่สูญเสียในสายส่ง ซึ่งในตอนแรกจะยังไม่รูคาและจะรูคาแนนอน หลังจากการคำนวณ power flow ในทุก ๆ line แล้ว ขอมูลที่กำหนดไว้สำหรับ bus นี้ คือคา voltage magnitude และ phase angle

๒. Generator bus หรือ Voltage controlled bus หรือ Regulated bus สำหรับ bus นี้จะกำหนดคา voltage magnitude และคา real power ไว้

๓. Load bus สำหรับ bus นี้ จะกำหนดคา real และ reactive power ไว้

โปรแกรมสำหรับอานข้อมูลและคำนวณได้แสดงไว้ใน Flow diagram ตามรูปที่ ๓.๓

<u>รายละเอียดในข้อมูลของ bus data ประกอบด้วย</u>

คา bus number ซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นเลขเรียงลำดับกัน

code number ที่จะบอกถึงประเภทของ bus วาเป็น slack bus หรือเป็น generator bus หรือเป็น load bus

ชื่อของ bus

code number ซึ่งจะบอกถึงตำแหน่งของ bus วาอยู่ใน area อะไร เพื่อประโยชน์ในการควบคุมคากำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบเชื่อมโยงระหวาง area หลาย ๆ area

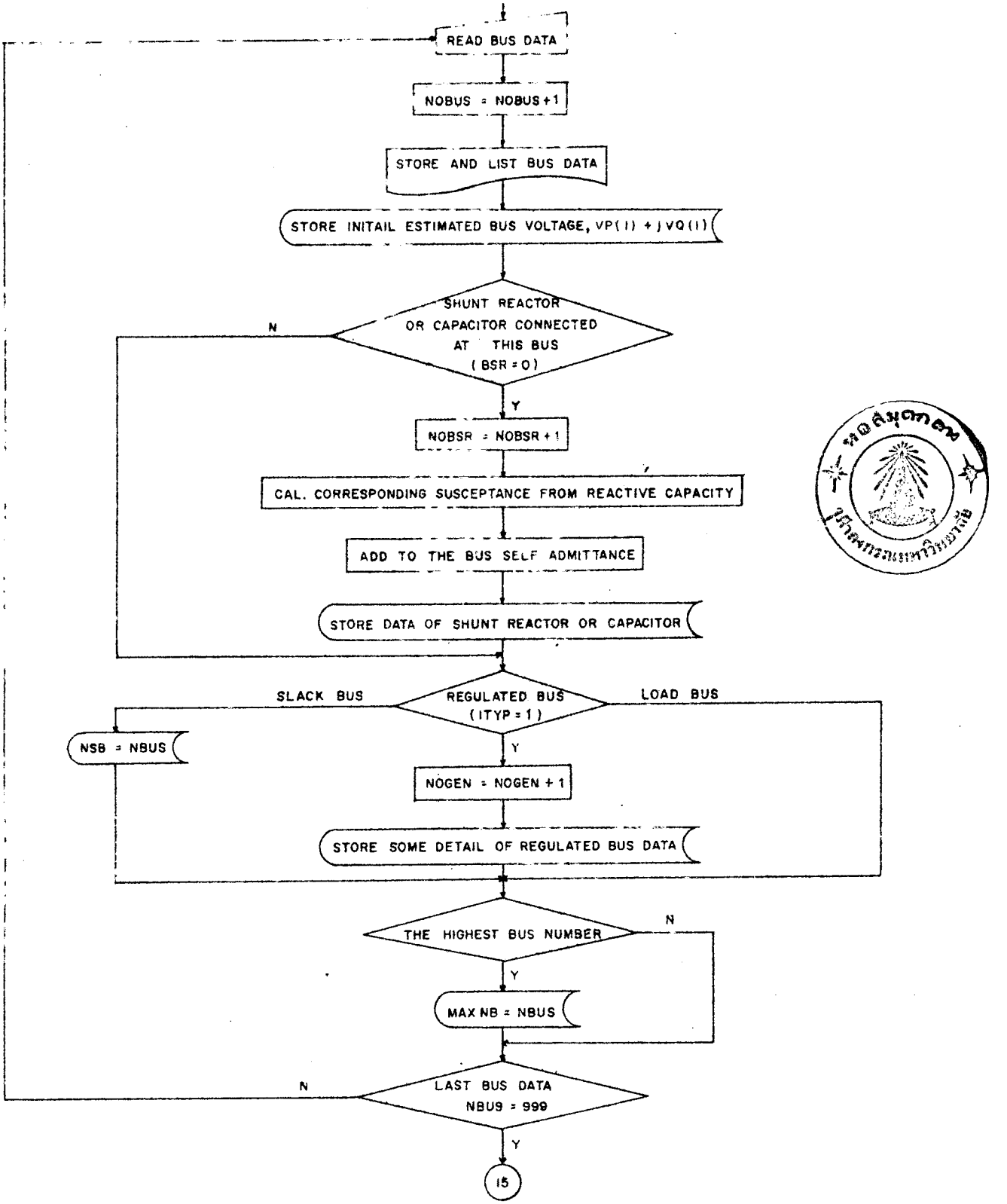
คา initial estimated bus voltage ในเทอมของ magnitude และ phase angle รวมทั้งคา specified voltage ของ slack bus ถ้าหาก เป็น generator bus แล้ว คานี้จะเป็นคา magnitude ของ bus voltage ที่กำหนดไว้ ซึ่งจะต้อง hold ให้คงที่

ค่า real และ reactive power generation ของ bus

ค่า real และ reactive power loading ของ bus

ค่า static condenser หรือค่า shunt reactor ที่ต่ออยู่ที่ bus

ในกรณีที่เป็น generator bus หรือ regulated bus ซึ่งไม่ต้องบอกค่า reactive generation แต่จะต้องบอกค่า minimum และ maximum allowable reactive capacity ของ generator ที่ bus แต่ถ้าหากการคำนวณไม่มี limitation ของ reactive power ค่า minimum และ maximum allowable reactive power จะใช้ค่าเป็นศูนย์



หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 33 FLOW DIAGRAM สำหรับ BUS DATA ของ INPUT ROUTINE

<u>การเก็บบันทึกข้อมูล</u> เพื่อเป็นการประหยัดจำนวน core storage การเก็บบันทึกข้อมูลของ generator bus, ค่า shunt reactor, shunt capacitor, จะไม่ใช้ bus number เป็น subscript variable เหมือนข้อมูลตัวอื่น ๆ เพราะจะไม่มีอยู่ทุก ๆ bus ดังนั้น ข้อมูลเหล่านี้เมื่ออ่านเข้าไปจะถูกจัดให้มี number เฉพาะตัว เช่น generator bus number ที่ ๑, ๒ (ในโปรแกรมใช้ NØGEN) หรือ shunt element number ที่ ๑, ๒ (ในโปรแกรมใช้ NØBSR) แล้วจึงเก็บบันทึกค่าใช้ค่า NØGEN หรือ NØBSR เป็น subscript variable

ปริมาณของ shunt element ที่จะป้อนเข้าไป มีค่าเป็น MVA rating ซึ่งจะต้องนำไปคำนวณหา equivalent admittance ที่ nominal voltage เสียก่อน ที่จะนำไปรวมเข้าเป็น self admittance ของ bus ดังนี้

$$\text{Shunt element Rating} = S = V^2 X \quad \text{VAR}$$

$$X = \frac{S}{V^2} \quad \text{MHO}$$

$$\text{admittance X in per unit} = \frac{S}{V^2} \cdot \frac{(KV)^2}{BMVA}$$

$$= \frac{S \cdot 10^6}{BMVA}$$

$$= \frac{S}{BMVA} \quad \text{per unit}$$

โดยที่ S มีหน่วยเป็น MVAR

ในขณะเดียวกันโปรแกรมจะบันทึกค่า bus number ที่สูงสุดในระบบ จำนวน bus, line, fixed tap transformer, TCUL transformer, generator bus, shunt element ทั้งหมดในระบบ

๓.๑.๔ ส่วนสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าในระบบเชื่อมโยง (Power interchange between Areas)

ในส่วนนี้จะเก็บบันทึก ข้อมูลที่จำเป็นในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าระหว่าง area ต่าง ๆ ในระบบเชื่อมโยง รายละเอียดของข้อมูลประกอบด้วย

bus number ของ generator bus ที่จะเลือกให้เป็น slack bus ของแต่ละ area ต่าง ๆ

code number เกี่ยวกับ area

ชื่อของ area ต่าง ๆ

จำนวนของกำลังไฟฟ้าที่ต้องการจะรับจากระบบข้างเคียง หรือจ่ายไปให้ระบบข้างเคียง

ค่า specified tolerance

Flow diagram ของส่วนนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๔

๓.๑.๕ ส่วนสำหรับข้อมูลเกี่ยวกับ operation ของโปรแกรม

ข้อมูลของส่วนนี้จะประกอบด้วย

ค่า accelerating factor ทั้งทาง real และ imaginary part

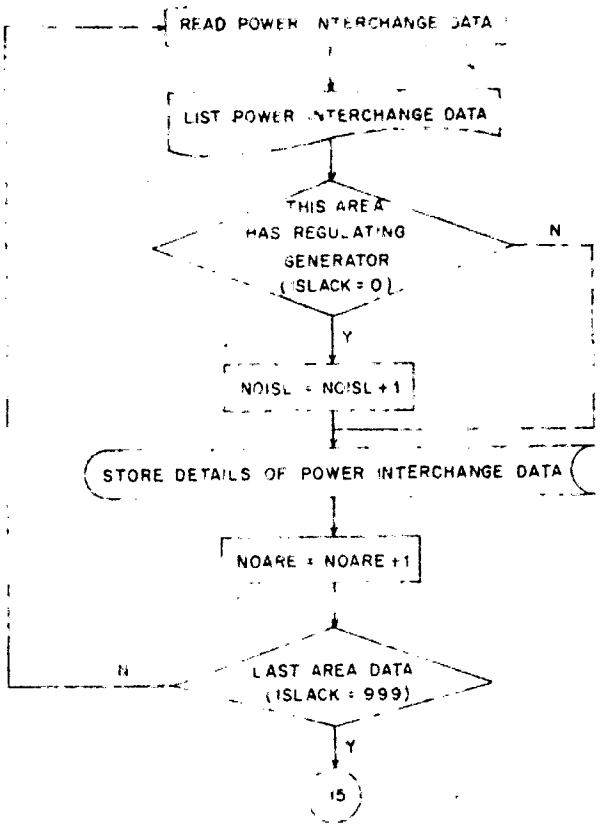
ค่า convergence tolerance

จำนวน iteration ก่อนที่จะเริ่มการทำ automatic tap changing

จำนวน maximum iteration ระหว่างการเปลี่ยน tap แต่ละครั้ง

จำนวน maximum iteration ของการทำ automatic tap changing

จำนวน maximum iteration



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

.0: DIAGRAM [illegible] POWER NTERCHANGE [illegible] NPU[illegible] ROUTINE

๓.๒ Voltage Solution Routine

ต่อจาก input routine ซึ่งจะเก็บบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เอาไว้ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว Voltage Solutine Routine จะประกอบด้วยส่วนของโปรแกรม สำหรับ solve หาแรงดันของทุก ๆ bus ยกเว้น slack bus และเก็บค่าที่คำนวณได้นี้ ไว้เพื่อที่จะไปใช้ในการคำนวณ power flow ใน line ต่อไป ค่าแรงดันที่คำนวณได้ จะอยู่ในรูปของ magnitude และ phase angle

การคำนวณหาค่าแรงดันของ bus ทั้ง ๒ ชนิด เนื่องจาก input data ของ bus แต่ละชนิดไม่เหมือนกัน วิธีการคำนวณสามารถแยกได้เป็น ๒ แบบ คือ

๓.๒.๑ การคำนวณค่าแรงดันของ load bus ซึ่งค่าของแรงดันส่วนมากจะขึ้นอยู่กับค่า load condition ที่ bus

๓.๒.๒ การคำนวณค่าแรงดันของ generator หรือ regulated bus ดังวิธีการต่อไปนี้

๓.๒.๑ การคำนวณหาค่าแรงดันของ load bus

Bus Parameter เนื่องจากการ solve หา voltage solution จากสมการ nonlinear ของ bus ต่าง ๆ ใน network นั้น ต้องใช้เทคนิคการทำแบบ Iterative ดังนั้นการคำนวณบางตอน ซึ่งมีผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงสำหรับทุก ๆ iteration ก็ควรที่จะนำมาคำนวณเป็น bus parameter ก่อนที่เริ่มเข้า iterative loop เพื่อจะเป็นการประหยัด computing time

จากสมการ (๒.๑๖) ที่ bus I ใด ๆ

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{Pi - jQi}{V_i} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} Yij\ Vj \right]$$

$i = 1, 2, \ldots\ldots\ldots\ldots, n$

$i \neq$ slack bus

V_i = แรงดันที่ bus I

= VP+jVQ

โดยที่ Y_{ii} = self admittance ที่ bus I

= YGS + jYBS

Y_{ij} = mutual admittance ของ line แต่ละ line ที่เชื่อม bus I กับ J

= YGM + jYBM

P_i = Net real power ที่ bus I

= PNET

Q_i = Net reactive power ที่ bus I

= QNET

สำหรับเครื่องหมายของ reactive power จะเป็นบวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับชนิดของ load หรือ generator โดยจะถือเครื่องหมายตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ (๒.๒.๒)

$$PNET = \frac{\text{generation - load}}{\text{Base MVA}} = \frac{PPG - PPL}{BMVA} \quad \text{per unit}$$

$$QNET = \frac{\text{reactive generation-reactive load}^{*}}{\text{Base MVA}} = \frac{QQG - QQL}{BMVA} \quad \text{per unit}$$

$$V_i = \left[\frac{P_i}{Y_{ii}} - j \frac{Q_i}{Y_{ii}} \right] \frac{1}{V_i} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n} \frac{Y_{ij}}{Y_{ii}} \cdot V_j \qquad (3.1)$$

* หมายเหตุ : reactive load ที่กล่าวถึงในที่นี้ ไม่ได้รวมถึง shunt reactor และ static capacitor

ดังนั้นจะถือได้ว่า อัตราส่วน $\frac{P_i}{Y_{ii}}$ และ $\frac{Q_i}{Y_{ii}}$ เป็น bus parameter เพราะเป็นค่าคงที่ขึ้นกับค่าที่กำหนดให้ของแต่ละ bus แต่ไม่ขึ้นกับค่าแรงดัน ซึ่งเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ในแต่ละ iteration

ในโปรแกรมที่เขียนขึ้นในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ใช้แทน $\frac{P_i}{Y_{ii}}$ ด้วยตัว AKLP (I)

และแทน $\frac{Q_i}{Y_{ii}}$ ด้วยตัว BKLP (I)

ดังนั้น bus parameter

$$AKLP(I) + jBKLP(I) = \frac{PNET - jQNET}{(YGS(I) + jYBS(I))}$$

$$= \frac{(PNET - jQNET) \cdot (YGS(I) - jYBS(I))}{YGS^2(I) + YBS^2(I)}$$

$$= \frac{PNET.YGS(I) - QNET.YBS(I)}{YGS^2(I) + YBS^2(I)} + j\frac{-PNET.YBS(I) - QNET.YGS(I)}{YGS^2(I) + YBS^2(I)}$$

$$AKLP(I) = \frac{PNET.YGS(I) - QNET.YBS(I)}{YGS^2(I) + YBS^2(I)} \qquad (3.2)$$

$$BKLP(I) = \frac{-PNET.YBS(I) - QNET.YGS(I)}{YGS^2(I) + YBS^2(I)} \qquad (3.3)$$

17396979

สมการ (๔.๑) จะกลายเป็น

$$VP(I) + jVQ(I) = (AKLP(I) + jBKLP(I)) \cdot \frac{1}{(VP(I) - jVQ(I))} - \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{n} \frac{(YGM(K) + jYBM(K))}{(YGS(I) + jYBS(I))} \cdot (VP(J) + VQ(J))$$

โดยที่ K = line number ซึ่งเชื่อม bus I กับ J

$$= \frac{(AKLP(I) + jBKLP(I)) \cdot (VP(I) + jVQ(I))}{(VP(I) - jVQ(I)) \cdot (VP(I) + jVQ(I))} - (AYLE + jBYLE)$$

$$= \frac{AKLP(I).VP(I) - BKLP(I).VQ(I) + jBKLP(I).VP(I) + jAKLP(I).VQ(I)}{VP^2(I) + VQ^2(I)} - (AYLE + jBYLE)$$

$$= \left[\frac{AKLP(I).VP(I) - BKLP(I).VQ(I)}{VP^2(I) + VQ^2(I)}\right] + j\left[\frac{BKLP(I).VP(I) + AKLP(I).VQ(I)}{VP^2(I) + VQ^2(I)}\right] - (AYLE + jBYLE) \qquad (3.4)$$

$$AYLE + jBYLE = \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{n} (YGM(K) + jYBM(K)).(VP(J) + jVQ(J)).\frac{1}{YGS(I) + jYBS(I)}$$

$$= \sum^{n} \frac{(YGM(K).VP(J) - YBM(K).VQ(J)) + j\,(YBM(K).VP(J) + YGM(K).VQ(J))}{YGS(I) + jYBS(I)}$$

$$= \frac{AYE + jBYE}{YGS(I) + jYBS(I)}$$

โดยที่ $$AYE = \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{n} (YGM(K).VP(J) - YBM(K).VQ(J)) \qquad (3.5)$$

$$BYE = \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^{n} (YBM.VP(J) + YGM(K).VQ(J)) \qquad (3.6)$$

$$= \frac{AYE + jBYE}{YGS(I) + jYBS(I)} \cdot \frac{(YGS(I) - jYBS(I)}{(YGS(I) - jYBS(I))}$$

$$= \frac{AYE.YGS(I) + BYE.YBS(I) + j(BYE.YGS(I) - AYE.YBS(I))}{YGS^2(I) + YBS^2(I)}$$

$$AYLE = \frac{AYE.YGS(I) + BYE.YBS(I)}{YGS^2(I) + YBS^2(I)} \qquad (3.7)$$

$$BYLE = \frac{BYE.YGS(I) - AYE.YBS(I)}{YGS^2(I) + YBS^2(I)} \qquad (3.8)$$

$$VP(I) = \frac{AKLP(I).VP(I) - BKLP(I).VQ(I)}{VP^2(I) + VQ^2(I)} - AYLE \qquad (3.9)$$

$$VQ(I) = \frac{BKLP(I).VP(I) + AKLP(I).VQ(I)}{VP^2(I) + VQ^2(I)} - BYLE \qquad (3.10)$$

๓.๒.๒ การคำนวณค่าแรงดันของ regulated bus

magnitude ของแรงดันที่ bus ต่าง ๆ ใน network สามารถควบคุมให้มีค่าตามที่กำหนดให้ได้ด้วยการปรับค่าของ reactive power ของ generator หรือ synchronous condenser หรือ shunt element ที่ต่ออยู่กับ bus นั้น ๆ

ในปัญหาเกี่ยวกับ load flow study นี้ สามารถแยกพิจารณาเรื่องเกี่ยวกับ reactive power ได้เป็น ๓ กรณี คือ

๑. Fixed reactive power ซึ่งเกิดจาก shunt capacitor เพื่อที่จะปรับค่า magnitude ของแรงดันให้สูงขึ้น หรือ shunt reactor เพื่อปรับให้ค่า magnitude ลดลง สำหรับการคำนวณในโปรแกรม LFS นี้ ได้เปลี่ยนจำนวน rating vars ของ shunt element นี้ ไปเป็นค่า shunt admittance ที่ bus เนื่องจากค่า reactive power นี้ไม่สามารถ vary ได้ เพราะฉะนั้นการคำนวณหาแรงดันซึ่งใช้แบบเดียวกับของ load bus

๒. Reactive power generation ที่ไม่ได้ limit ค่า vars capacity ในกรณีนี้จะสามารถควบคุมค่า magnitude ของแรงดันที่ regulated bus ได้ตามต้องการ

๓. Variable reactive power ในทางปฏิบัติ synchronous condensers ซึ่งอาจทำหน้าที่เป็นได้ทั้ง positive และ negative reactive power แต่ก็มี limit ซึ่งขึ้นอยู่กับ maximum และ minimum available capability ของมัน ดังนั้นในการคำนวณค่าแรงดันที่ bus ชนิดนี้บางครั้ง จะได้ค่าไม่เท่าตามต้องการ เพราะมี limitation ของ vars

สำหรับวิธีการคำนวณหาแรงดันของ regulated bus นั้น เนื่องจากข้อมูลที่ได้สำหรับ bus นี้ ก็คือ ค่า magnitude ของแรงดันที่ bus และค่า real power ที่ bus ดังนั้นวิธีการก็คือต้องคำนวณความต้องการ reactive power ที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ค่า magnitude ของแรงดันที่ bus นั้น ได้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้เสียก่อน โดยใช้สมการ (๒.๑๗)

$$Q_p = -\mathrm{Im}\left[V_i \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} Y_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} Y_{ij} V_j \right] V_i^*$$

$$= -\mathrm{Im}\left[V_i \cdot V_i^* \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} Y_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} Y_{ij} \cdot V_j \, V_i^* \right]$$

$$= -\mathrm{Im}\left[|V_i|^2 \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} Y_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} Y_{ij} \cdot V_j \cdot V_i^* \right] \qquad (3.11)$$

$$QNET = -\mathrm{Im}\left[(VP^2(I) + VQ^2(I)) \cdot (YGS(I) + jYBS(I)) - (AYE + jBYE) \cdot (VP(I) - jVQ(I)) \right]$$

$$= -\mathrm{Im}\left[(VP^2(I) + VQ^2(I)) \cdot YGS(I) + j(VP^2(I) + VQ^2(I)) \cdot YBS(I) - AYE \cdot VP(I) + BYE \cdot VQ(I) - jBYE \cdot VP(I) + jAYE \cdot VQ(I) \right]$$

$$QNET = (VP^2(I) + VQ^2(I)) \cdot YBS(I) + BYE \cdot VQ(I) - AYE \cdot VP(I) \qquad (3.12)$$

ตามที่กล่าวมาแล้วว่า magnitude ของแรงดันที่ bus ขึ้นอยู่กับจำนวน net reactive power ที่ bus นั้น ดังนั้น component ทั้งสองของแรงดัน จะต้องเป็นไปตาม relation ต่อไปนี้ reactive power ที่ต้องการ จึงจะสอดคล้องกับ magnitude ที่กำหนดให้

$$VP^2(I) + VQ^2(I) = \left[|V_i| \text{ ที่กำหนดให้} \right]^2$$

เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่าแรงดัน ของแต่ละ iteration ย่อมจะไม่ satisfy relation นี้ ดังนั้นจึงต้อง adjust ค่าที่ได้นี้ เพื่อที่จะไปใช้คำนวณ reactive power requirement ใน iteration ต่อไป การ adjust ค่าทำได้ดังนี้

สมมติว่าค่าที่คำนวณได้ที่ iteration K เป็น $VP_K(I) + jVQ_K(I)$

ค่า magnitude ของแรงดันที่ bus I ซึ่งจะต้องคงที่ ค่าไว้ เป็น $|V_i|$ กำหนดให้

ค่า VP(I) จะ adjust ใหม่ ได้เป็น $= VP(I) \cdot \dfrac{|V_i| \text{ กำหนดให้}}{VP_K^2(I) + VQ_K^2(I)}$ (3.14)

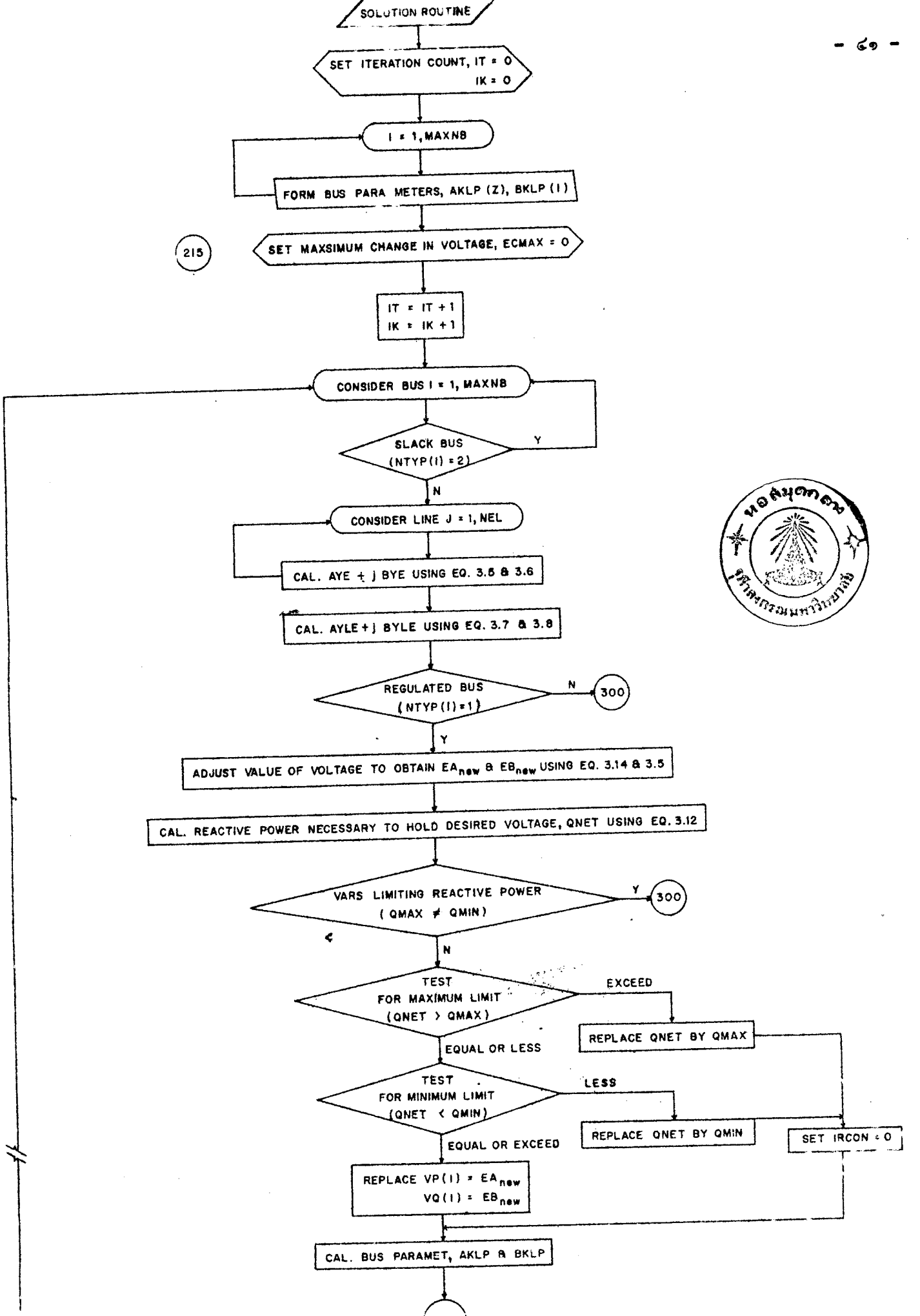
$= VP(I) \cdot \cos \delta_i$

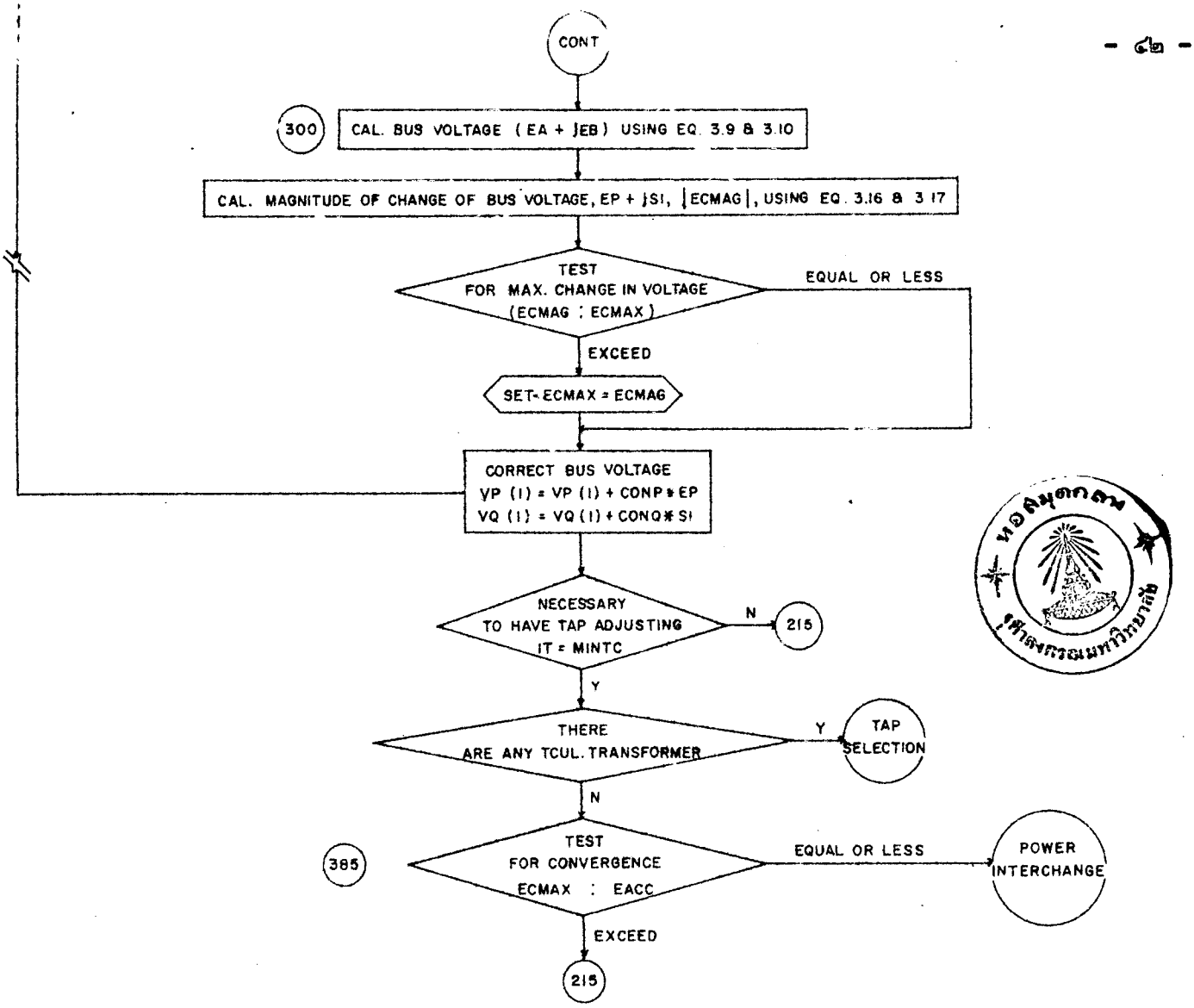
ในทำนองเดียวกัน ค่า VQ(I) จะ adjust ใหม่ได้เป็น $= VQ(I) \cdot \dfrac{|V_i| \text{ กำหนดให้}}{VP_K^2(I) + VQ_K^2(I)}$ (3.15)

ค่าที่ได้ใหม่นี้ นำไปใช้หาค่า reactive power requirement จากสมการ (3.12) หลังจากได้ค่า reactive power requirement แล้ว จึงนำค่านี้ไปใช้คำนวณหาแรงดันที่ bus จากสมการ (3.9) และ (3.10) ต่อไป

ตามที่กล่าวมาแล้วว่า vars capacity ของ synchronous condenser จะมี limit อยู่ในค่าช่วงใดช่วงหนึ่ง ถ้าหากว่าค่า QNET ที่คำนวณได้มีค่าเกินกว่า maximum available (QMAX) capability ของ source แล้ว ค่าของ reactive power ที่จะไปใช้หาค่าแรงดัน นั้นจะต้องใช้ค่า QMAX แทนค่าที่คำนวณได้ ซึ่ง bus นี้ก็จะกลายเป็น load bus โดยที่มี load เป็น fixed reactive ที่มีค่าเป็น QMAX ในทำนองเดียวกัน ถ้าหากว่าค่า QNET ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า minimum available capability (QMIN) ของ source แล้ว ก็จะต้องใช้ค่า QMIN แทนค่า QNET ที่คำนวณได้ ซึ่งทั้งสองกรณีนี้ ก็จะไม่สามารถควบคุมหรือ fixed ค่า magnitude ของแรงดันได้ตามกำหนดไว้ และค่าแรงดันที่ adjust ใหม่ ตามสมการ (3.14) และ (3.15) จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ โดยที่จะใช้ค่าที่ยังไม่ได้ adjust แทน

ขั้นต่าง ๆ ในการคำนวณหาแรงดันที่ bus ต่าง ๆ ได้แสดงไว้ใน Flow diagram ตามรูปที่ ๓.๔


SOLUTION ROUTINE
SET ITERATION COUNT, IT = 0
IK = 0
I = 1, MAXNB
FORM BUS PARA METERS, AKLP (Z), BKLP (I)
215
SET MAXSIMUM CHANGE IN VOLTAGE, ECMAX = 0
IT = IT + 1
IK = IK + 1
CONSIDER BUS I = 1, MAXNB
SLACK BUS
(NTYP(I) = 2)
Y
N
CONSIDER LINE J = 1, NEL
CAL. AYE + J BYE USING EQ. 3.5 & 3.6
CAL. AYLE + J BYLE USING EQ. 3.7 & 3.8
REGULATED BUS
(NTYP(I) = 1)
N
300
Y
ADJUST VALUE OF VOLTAGE TO OBTAIN EA new & EB new USING EQ. 3.14 & 3.5
CAL. REACTIVE POWER NECESSARY TO HOLD DESIRED VOLTAGE, QNET USING EQ. 3.12
VARS LIMITING REACTIVE POWER
(QMAX ≠ QMIN)
Y
300
N
TEST
FOR MAXIMUM LIMIT
(QNET > QMAX)
EXCEED
REPLACE QNET BY QMAX
EQUAL OR LESS
TEST
FOR MINIMUM LIMIT
(QNET < QMIN)
LESS
REPLACE QNET BY QMIN
SET IRCON = 0
EQUAL OR EXCEED
REPLACE VP(I) = EA new
VQ(I) = EB new
CAL. BUS PARAMET, AKLP & BKLP



รูปที่ 3.5 FLOW DIAGRAM สำหรับ ITERATIVE SOLUTION OF BUS VOLTAGE SOLUTION ROUTINE

Accelerating Factor

การทำ Load flow study ของระบบไฟฟ้าบางระบบ ก่อนที่ voltage solution จะ converge จะต้องใช้จำนวน iteration มาก ทำให้ช้าและเสียเวลา ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้ rate of convergence เร็วขึ้น โดยจำนวน iteration จะลดลง จึงต้องนำ acceleration factor เข้าไปช่วยในการทำ voltage correction โดยนำตัว factor นี้ เข้าไปคูณกับจำนวนค่าแรงดันที่คลาดเคลื่อนจากค่าเดิม ก่อนที่จะนำไปบวกกับค่าแรงดันที่คำนวณได้จาก iteration อันก่อน ดังนี้

ให้ acceleration factor เป็น CØNP และ CØNQ

ค่าแรงดันที่คำนวณได้จาก iteration ที่ K มีค่าเป็น $VP_K(I)$

ค่าแรงดันที่คำนวณได้จาก iteration ที่ K+1 มีค่าเป็น $VP_{K+1}(I)$

ดังนั้น ค่า corrected voltage ของ iteration ที่ K+1 จะเป็น

$$\text{corrected } VP(I) = VP_K(I) + CØNP.(VP_{K+1}(I) - VP_K(I)) \quad (3.16)$$

$$\text{corrected } VQ(I) = VQ_K(I) + CØNQ.(VQ_{K+1}(I) - VQ_K(I)) \quad (3.17)$$

สำหรับค่าของ CØNP และ CØNQ ไม่จำเป็นจะต้องเท่ากัน และจะมีค่าเป็นเท่าไรจึงจะทำให้ rate of convergence ดีขึ้นแค่ไหนนั้นไม่แน่นอน ในแต่ละปัญหาของระบบต่าง ๆ มักจะมีค่าหนึ่งค่าใดที่เหมาะสมที่สุด แต่โดยทั่ว ๆ ไปจากการทดลองจากปัญหาของหลาย ๆ ระบบ ปรากฏว่าค่าที่จะทำให้ rate of convergence ดีที่สุด จะอยู่ระหว่าง ๑.๖ ถึง ๑.๗

อย่างไรก็ตาม การที่ solution จะ converge ได้เร็วนั้น ย่อมจะขึ้นอยู่กับค่า initial estimate ของแรงดันทุก ๆ bus ตอนเริ่มทำ iteration เป็นอย่างมากเหมือนกัน

๓.๓ การเปลี่ยน tap ของ transformer เพื่อควบคุมแรงดันที่ bus

ในระบบไฟฟ้าทั่ว ๆ ไป อาจจะประกอบด้วย transmission line ที่มีความยาวมากมี impedance ของ line สูง ดังนั้นในกรณีที่มี load เพิ่มขึ้นมาก ๆ ย่อมจะมี voltage drop ระหว่าง line มาก ทำให้แรงดันทาง primary ของ transformer ซึ่งต่อกับปลายสาย transmission line นี้ มีค่าต่ำกว่าปกติ เป็นผลให้แรงดันทาง secondary ต่ำลงเช่นกัน จึงจำเป็นต้อง adjust tap ของ transformer ให้เหมาะสมเพื่อที่จะควบคุม magnitude ที่ bus ทาง secondary ของ transformer ให้คงที่ตามที่กำหนดไว้ สำหรับในกรณีที่ load น้อย ๆ ค่าแรงดันทาง secondary จะสูงผิดปกติ จะทำให้เกิดการเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้อง adjust tap ให้เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้ค่าแรงดันลดลง

๓.๓.๑ Tap Changing Under Load Transformer (TCUL Transformer)

ในการคำนวณเกี่ยวกับ Load Flow นี้ค่า turn ratio ของ transformer จะเป็นปริมาณ per unit ดังนั้นถ้าหาก turn ratio มีค่าอยู่ทางด้าน high tension

$$\text{ค่า per unit turn ration (n)} = \frac{V_{rh}/V_{rl}}{V_{nh}/V_{nl}} \qquad (3.18)$$

โดยที่

V_{rh} = Rated voltage ของ transformer ทางด้าน high side

V_{rl} = Rated voltage ของ transformer ทางด้าน low side

V_{nh} = System nominal voltage ทางด้าน high side

V_{nl} = System nominal voltage ทางด้าน low side

ในทำนองเดียวกันถ้าหากค่า turn ratio มีค่าอยู่ทางด้าน low tension แล้วค่า per unit turn ratio จะมีค่าเป็นส่วนกลับกับสมการ (๓.๑๘)

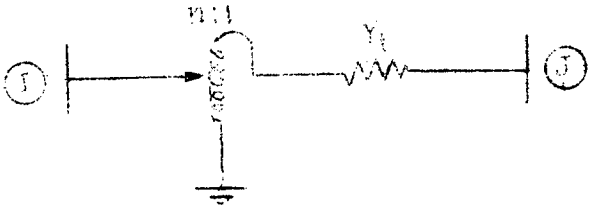
สำหรับ TCUL transformer โดยทั่ว ๆ ไปนั้น มีมาตรฐานการเปลี่ยน tap setting เป็น step ละ $\pm$ 0.00625 per unit ดังนั้นการคำนวณเกี่ยวกับควบคุมค่าแรงดันด้วยการเปลี่ยน tap ของ transformer ในโปรแกรม LFS นี้ จะใช้ค่ามาตรฐานอันนี้

๓.๓.๒ การเลือกtap ที่เหมาะสมเพื่อควบคุมแรงดัน

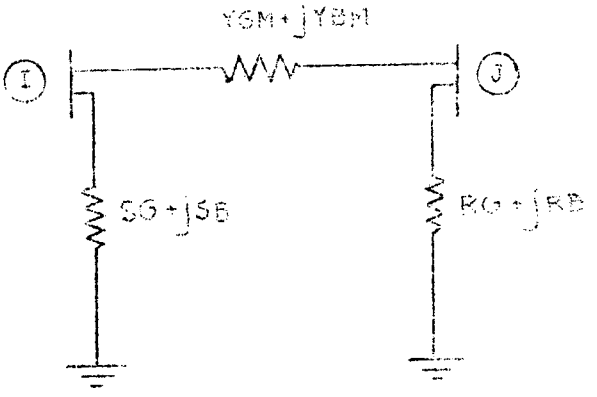
พิจารณา TCUL transformer ซึ่งต่ออยู่ระหว่าง bus I และ bus J มีค่า admittance เท่ากับ Y_t เมื่อ refer กับ bus J และมีค่า turn ratio เป็น n อยู่ทางด้าน bus I

ให้ bus J เป็น bus ที่จะต้องควบคุม magnitudeของแรงดันให้อยู่ใน limitตามที่กำหนดไว้เมื่อค่า magnitudeของแรงดันที่ bus J มีค่าต่างออกไปจากค่าที่กำหนดให้เป็น ϵ

$|V_J| - |V|_{\text{กำหนดให้}} > \epsilon$ โดยที่ค่า ϵ เป็นค่า tolerance



รูปที่ ๓.๖ ก.



รูปที่ ๓.๖ ข.

ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ ๒.๑.๕ ว่าในการคำนวณนั้นจะแทน transformer ได้ด้วย equivalent Pi network ซึ่ง element ของ Pi network นั้นจะมีค่า turn ratio เกี่ยวข้องอยู่ด้วย ในกรณีของ fixed tap transformer ย่อมไม่มีปัญหาอะไร เพราะค่าต่าง ๆ จะเป็นค่าคงที่ แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงค่า turn ratio ของ transformer จากค่าเดิมในบาง iteration ของการคำนวณ ค่า mutual admittance ระหว่าง bus I กับ J ค่า self admittance ของ bus I และ J ตลอดจนค่า bus parameter AKLP และ BKLP ของทั้งสอง bus จะต้องเปลี่ยนไปด้วย เมื่อค่า initial tap setting ของ transformer เท่ากับ n

จากสมการ (๒.๕), (๒.๖) และ (๒.๗) ได้ว่า

shunt element ที่ bus I $SG = (\frac{1}{n}) \cdot (\frac{1}{n}-1)G$

$SB = (\frac{1}{n}) \cdot (\frac{1}{n}-1)B$

shunt element ที่ bus J $RG = (1-\frac{1}{n})\ G$

$RB = (1-\frac{1}{n})B$

mutual element ระหว่าง bus I กับ J $YBM = \frac{1}{n}G$

$YBM = \frac{1}{n}B$

ซึ่งค่า SG,SB และ RG,RB นี้จะต้องนำไปรวมกับค่า admittance อื่น ๆ ที่รวมอยู่ที่ bus I และ J ตามลำดับ เป็น total self admittance และเก็บบันทึกไว้มาก่อน ให้ค่าที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของ turn ratio ต่อหนึ่ง step เป็น Δn

ค่า turn ratio $= n \pm \Delta n = n'$

ค่า shunt element ใหม่ที่ bus I

$SG' = (\frac{1}{n'}) (\frac{1}{n'}-1)G$

$SB' = (\frac{1}{n'}) (\frac{1}{n'}-1)B$

ค่า shunt element ใหม่ที่ bus J

$RG' = (1-\frac{1}{n'})G$

$RB' = (1-\frac{1}{n'})B$

ค่า mutual element ใหม่ระหว่าง bus I กับ J

$YGM' = \frac{1}{n'}G$

$YBM' = \frac{1}{n'}B$

เพราะฉะนั้นค่าต่าง ๆจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จำนวนที่เปลี่ยนทั้งหมดเป็น

$$\Delta SG = SG' - SG$$
$$= \left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{1}{n}-1\right)G - \left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{1}{n}-1\right)G$$
$$= \left[\left(\frac{1}{n}\right)^2 - \left(\frac{1}{n}\right) - \left(\frac{1}{n}\right)^2 + \left(\frac{1}{n}\right)\right] G$$

$$\Delta SB = SB' - SB$$
$$= \left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{1}{n}-1\right)B - \left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{1}{n}-1\right)B$$
$$= \left[\left(\frac{1}{n}\right)^2 - \left(\frac{1}{n}\right) - \left(\frac{1}{n}\right)^2 + \left(\frac{1}{n}\right)\right] B$$

$$\Delta RG = RG' - RG$$
$$= \left(1-\frac{1}{n}\right)G - \left(1-\frac{1}{n}\right)G$$
$$= \left[\left(\frac{1}{n}\right) - \left(\frac{1}{n}\right)\right] G$$

$$\Delta RB = RB' - RB$$
$$= \left(1-\frac{1}{n}\right)B - \left(1-\frac{1}{n}\right)B$$
$$= \left[\left(\frac{1}{n}\right) - \left(\frac{1}{n}\right)\right] B$$

ค่า mutual admittance จะเปลี่ยนจากค่าเดิม YGM+jYBM เป็น $YGM' + jYBM'$ ซึ่งจะหาได้ดังนี้

$$YGM' = \frac{YGM.n}{n'}$$

$$YBM' = \frac{YBM.n}{n'}$$

ค่า self admittance ใหม่ที่ bus I และ J สามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\begin{aligned} YGS'(I) &= YGS(I) - YGM + YGM' + \Delta SG \\ YBS'(I) &= YBS(I) - YBM + YBM' + \Delta SB \\ YGS(J) &= YGS(J) - YGM + YGM' + \Delta RG \\ YBS(J) &= YBS(J) - YBM + YBM' + \Delta RB \end{aligned} \qquad (3.19)$$

ค่า bus parameter ของ bus I และ J ต้องคำนวณใหม่ได้ดังนี้.-

$$AKLP(I) = \left[PNET.YGS'(I) - QNET.YBS'(I)\right] \cdot \frac{1}{YGS'(I)^2 + YBS'(I)^2}$$

$$BKLP(I) = -\left[QNET.YGS'(I) + PNET.YBS'(I)\right] \cdot \frac{1}{YGS'(I)^2 + YBS'(I)^2}$$

$$AKLP(J) = \left[PNET.YGS'(J) - QNET.YBS'(J)\right] \cdot \frac{1}{YGS'(I)^2 + YBS'(I)^2}$$

$$BKLP(J) = -\left[QNET.YGS'(J) + PNET.YBS'(J)\right] \cdot \frac{1}{YGS'(S)^2 + YBS'(J)^2}$$

ขั้นต่าง ๆ ในการทำ automatic tap changing เพื่อควบคุม magnitude ของแรงดันได้แสดงไว้ใน Flow diagram ตามรูปที่ ๓.๙

variable name ใน Flow diagram

IT = จำนวน iteration ทั้งหมดตั้งแต่เริ่มคำนวณ

MAXTC = จำนวน maximum iteration ที่จะมีการทำ automatic tap changing

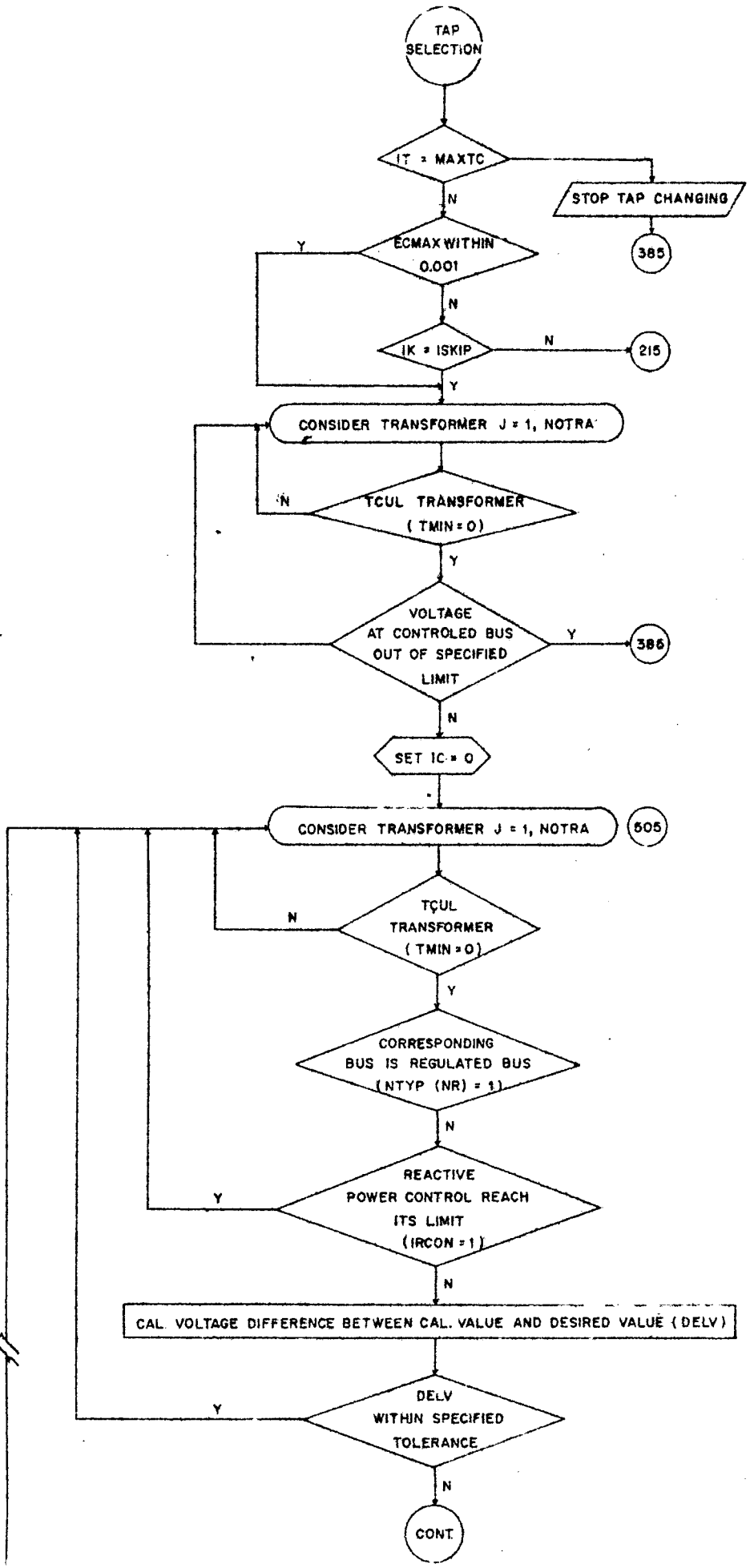
IK = จำนวน iteration ที่เริ่มนับได้หลังจากเริ่มเปลี่ยน tap ใหม่

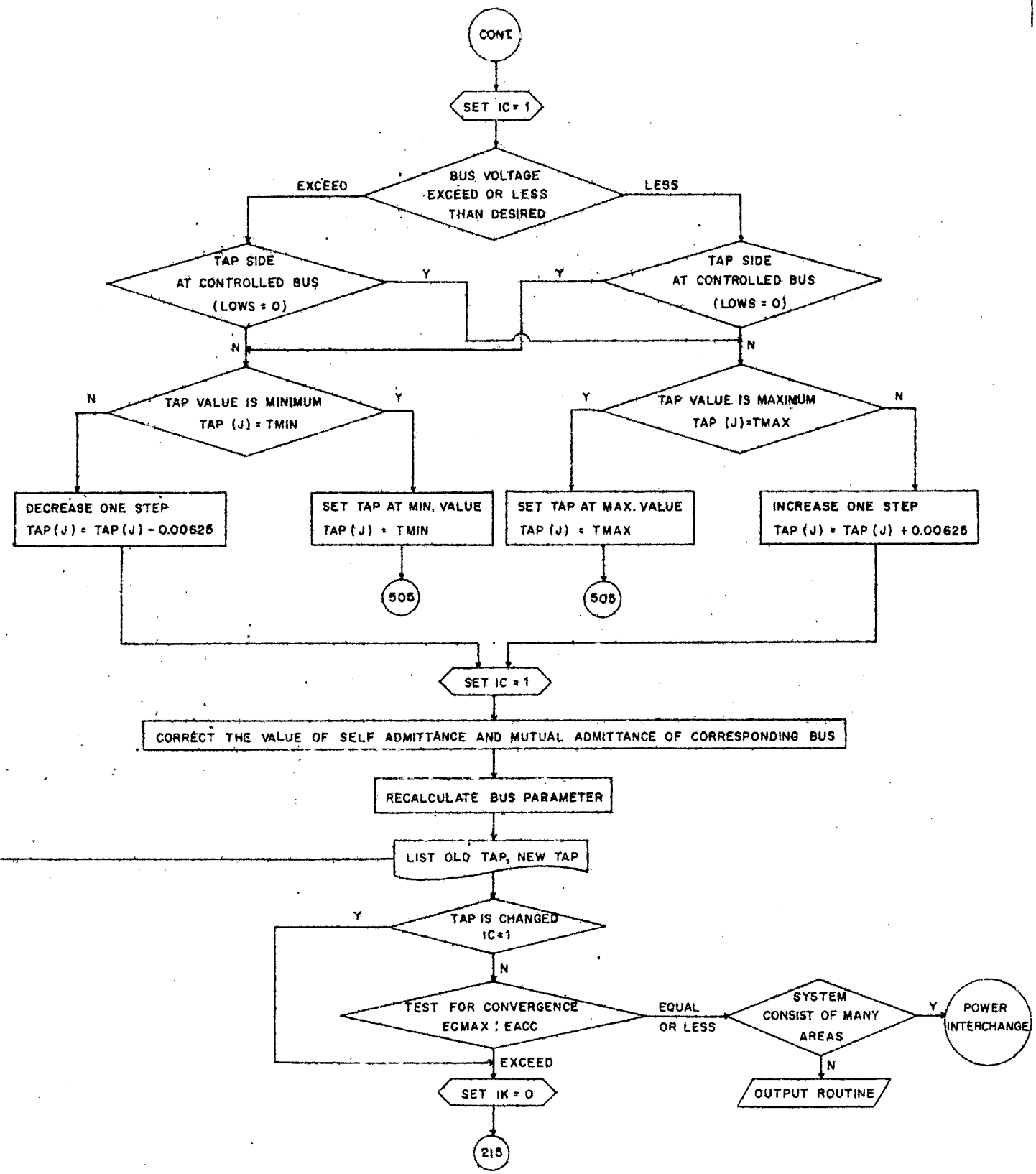
ISKIP = จำนวน iteration ระหว่างการทำ automatic tap changing

IC = เป็นตัวเลขที่ชี้ว่ามีการเปลี่ยน tap หรือไม่

DELV = ผลต่างระหว่าง magnitude ของแรงดันที่คำนวณได้กับค่าที่กำหนดไว้

ECMAX = maximum change in bus voltage


TAP SELECTION
IT = MAXTC
STOP TAP CHANGING
385
Y
N
ECMAX WITHIN 0.001
IK = ISKIP
N
215
Y
CONSIDER TRANSFORMER J = 1, NOTRA
N
TCUL TRANSFORMER (TMIN = 0)
Y
VOLTAGE AT CONTROLED BUS OUT OF SPECIFIED LIMIT
Y
386
N
SET IC = 0
CONSIDER TRANSFORMER J = 1, NOTRA
505
N
TCUL TRANSFORMER (TMIN = 0)
Y
CORRESPONDING BUS IS REGULATED BUS (NTYP (NR) = 1)
N
Y
REACTIVE POWER CONTROL REACH ITS LIMIT (IRCON = 1)
N
CAL. VOLTAGE DIFFERENCE BETWEEN CAL. VALUE AND DESIRED VALUE (DELV)
Y
DELV WITHIN SPECIFIED TOLERANCE
N
CONT.



รูปที่ 3.7 FLOW DIAGRAM FOR TAP SELECTION TO CONTROL VOLTAGE FOR SOLUTION ROUTINE

การคำนวณในโปรแกรมLFS นี้ การทำ automatic tap changing เพื่อปรับค่า magnitude ของแรงดันให้มีค่าตามที่กำหนดไว้นั้น จะเริ่มเมื่อทำiteration ไปจำนวนครั้งพอประมาณ ตามที่จะกำหนดไว้ในค่าของ MINTC โปรแกรมจะเปรียบเทียบค่า magnitude ของแรงดันที่คำนวณได้กับค่าที่กำหนดให้ ซึ่งส่วนมากค่าแตกต่างไม่ควรจะมากกว่า ๐.๐๐๖ โดยการทดสอบ bus ที่จะต้องควบคุมซึ่งจะต่ออยู่กับ TCUL Transformer ข้างใดข้างหนึ่งทุก bus จนหมด ถ้าหากที่ bus หนึ่ง bus ใด ค่า magnitude ของแรงดันมีค่าแตกต่างเกิน tolerance limit ที่กำหนดไว้เฉพาะแต่ละ bus แล้ว tap ของ transformer ถ้าหากยังมีค่าไม่ถึง maximum หรือ minimum แล้ว ก็จะเปลี่ยนไป ๑ step

ทิศทางของการเปลี่ยน tap ของ transformer ว่าจะเพิ่มหรือลดค่า turn ratio นั้นขึ้นอยู่กับค่าที่แตกต่างกันและค่า turn ratio ว่าอยู่ทางด้านเดียวกันกับ bus ที่จะควบคุมหรือตรงข้ามกัน

ในกรณีที่ค่า turn ratio อยู่ทางด้านเดียวกันกับ bus ที่จะต้องควบคุม

เมื่อ magnitude ของแรงดันเกินกว่าค่าที่กำหนดให้ค่า tap setting n จะถูกลดลง

เมื่อ magnitude ของแรงดันต่ำกว่าที่กำหนดให้ ค่า tap setting n จะถูกเพิ่มขึ้น

ในกรณีที่ค่า turn ratio อยู่ทางด้านตรงข้ามกับ bus ที่จะต้องควบคุม

เมื่อ magnitude ของแรงดันเกินกว่าค่าที่กำหนดให้ ค่า tap setting n จะถูกเพิ่มขึ้น

เมื่อ magnitude ของแรงดันต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ค่า tap setting n จะถูกลดลง

การคำนวณค่า self admittance และ mutual impedance ตลอดจน bus parameter จะทำเฉพาะ bus ที่เชื่อมอยู่กับ TCUL Transformer ที่ได้เปลี่ยน tap เท่านั้น

หลังจากการทดสอบและเปลี่ยนค่า tap setting แล้ว และกลับไปเริ่ม iteration ใหม่ ค่า magnitude ของแรงดันของ bus ที่ต้องควบคุมไม่จำเป็นที่จะต้องทดสอบทุก ๆ iteration แต่จะทำไปด้วยจำนวน iteration พอประมาณตามแต่จะกำหนดให้ที่ค่าของ ISKIP หรือจนกว่าจะได้ degree of convergence ประมาณ ๐.๐๐๑ จึงจะไปทดสอบเพื่อปรับค่า tap setting ต่อไป

ถ้าหาก magnitude ของแรงดันของ bus ต่าง ๆ ที่จะต้องปรับอยู่ในช่วง limit ที่กำหนดไว้ทุก ๆ bus แล้ว แต่ degree of convergence ยังไม่ได้ตามที่กำหนดไว้ ก็จะต้องทำ iteration ต่อไปจนกว่าค่า convergence จะถูกต้อง แต่ขณะเดียวกัน magnitude ของแรงดันที่ bus ที่จะควบคุมอาจจะเปลี่ยนไปอีก ดังนั้นจะต้องทดสอบอีกครั้งหนึ่ง เพื่อทำการเปลี่ยนค่า tap setting ใหม่ถ้าหากไม่ได้ค่าตามกำหนดไว้

สำหรับในกรณีที่ bus ใด ๆ จะต้องควบคุมค่าแรงดันด้วย variable reactive power และ TCUL transformer ทั้งสองอย่าง โปรแกรมจะทำการควบคุมด้วย variable reactive power ก่อน จนไม่สามารถที่จะควบคุมให้มีค่าความต้องการได้ กล่าวคืออาจจะ generate ถึงค่า maximum หรือ minimum available vars แล้ว จึงจะทำ automatic tap changing

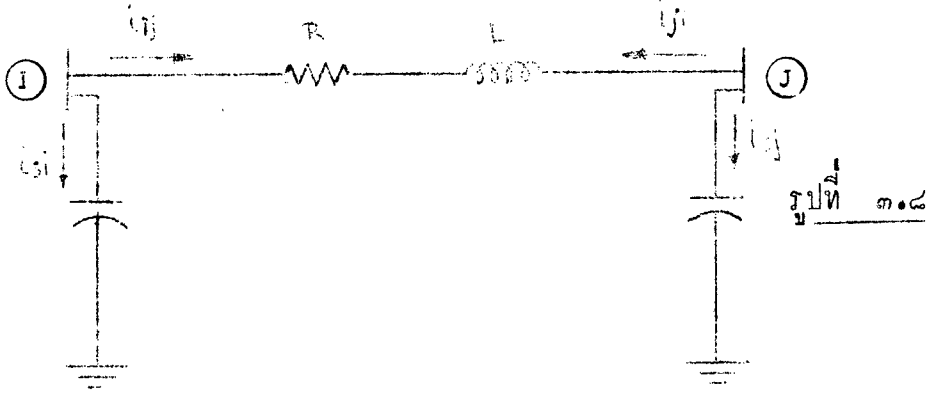
๓.๔ Output Routine

หลังจากได้ค่าแรงดันของทุก ๆ bus แล้ว ก็ทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย ตลอดจนถึงค่าสูญเสียต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

๓.๔.๑ การคำนวณ real และ reactive power

การคำนวณ real และ reactive power ที่ไหลใน line ระหว่าง bus จะแยกพิจารณาได้เป็น ๒ กรณีคือ

ก. real และ reactive power ที่ไหลใน transmission line



รูปที่ ๓.๔

เมื่อพิจารณาถึง transmission line ซึ่งเชื่อมระหว่าง bus I และ bus J มี line admittance เป็น YGM + jYBM มี uniform line charging ไปตลอด line ใน load flow study จะคิดค่า line charging นี้เป็นคล้าย shunt susceptance อยู่ที่ bus ทั้งสอง โดยมีค่าแต่ละข้างเป็นครึ่งหนึ่งของ line charging ทั้งหมด การคำนวณหา power ที่ไหลใน transmission line สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

Power ที่ไหลจาก bus I ไป bus J สามารถคำนวณหาได้จากกระแสรวมของ ๒ ส่วนคือส่วนของกระแสที่ไหลออกจาก bus I ไปตาม mutual admittance ทั้งหมดที่เชื่อมระหว่าง bus ทั้งสองกับกระแสส่วนที่ไหลออกจาก bus I ไปตาม shunt admittance ทั้งหมดของ bus I

กระแสที่ไหลผ่าน mutual admittance(YGM + jYBM) จาก bus I ไป bus J

$$i_{ij} = (V_i - V_j).y_{ij}$$

หรือ ใน digital calculation

$$AYE + jBYE = \left[\{VP(I) + jVQ(I)\} - \{VP(J) + jVQ(J)\}\right].(YGM + jYBM)$$

$$= \left[\{VP(I) - VP(J)\} + j\{VQ(I) - VQ(J)\}\right].(YGM + jYBM)$$

$$= \left[VP(I) - VP(J)\right].YGM - \left[VQ(I) - VQ(J)\right].YBM + j\left[VP(I) - VP(J)\right].YBM + j\left[VQ(I) - VQ(J)\right].YGM$$

$$AYE = \left[VP(I) - VP(J)\right].YGM - \left[VQ(I) - VQ(M)\right].YBM \qquad (3.21)$$

$$BYE = \left[VP(I) - VP(J)\right].YBM + \left[VQ(I) - VQ(M)\right].YGM \qquad (3.22)$$

กระแสที่ไหลผ่าน shunt admittance (SG + jSB) ของ bus I

$$i_{si} = V_i \frac{y_{ij}}{2}$$

โดยที่ y_{ij} คือ line charging admittance ตลอด line

หรือ

$$AS + jBS = \left[VP(I) + jVQ(I)\right].(SG + jSB)$$

$$= VP(I).SG - VQ(I).SB + jVQ(I).SG + jVB(I).SB$$

$$AS = VP(I).SG - VQ(I).SB \qquad (3.23)$$

$$BS = VQ(I).SQ + VP(I).SB \qquad (3.24)$$

ดังนั้นกระแสทั้งหมดที่ไหลจาก bus I ไป bus J

$$I_{ij} = i_{ij} + i_{si}$$

หรือ

$$SIR + jSII = (AYE + jBYE) + (AS + jBS)$$

$$= (AYE + AS) + j(BYE + BS)$$

จากสมการ (3.21),(3.22),(3.23),(3.24)

$$SIR = [VP(I)-VP(J)] \cdot YGM - [VQ(I)-VQ(J)] \cdot YBM + VP(I) \cdot SG - VQ(I) \cdot SB \quad (3.25)$$

$$SII = [VP(I)-VP(J)] \cdot YBM + [VQ(I)-VQ(J)] \cdot YGM + VQ(I) \cdot SG + VP(I) \cdot SB \quad (3.26)$$

กระแสที่ไหลผ่าน mutual admittance จาก bus J ไป bus I

$$i_{ji} = (V_j - V_i)\, Y_{ji}$$

หรือ

$$AYE+jBYE = [\{VP(J)+jVQ(I)\} - \{VP(I)+jVQ(I)\}] \cdot (YGM+jYBM)$$

$$= [\{VP(J)-VP(I)\} + j\{VQ(J)-VQ(I)\}] \cdot (YGM+jYBM)$$

$$= [VP(J)-VP(I)] \cdot YGM - [VQ(J)-VQ(I)] \cdot YBM +$$
$$j[VP(J)-VP(I)] \cdot YBM + j[VQ(J) - VQ(J)] \cdot YGM$$

$$AYE = [VP(J)-VP(I)] \cdot YGM - [VQ(J)-VQ(I)] \cdot YBM \quad (3.27)$$

$$BYE = [VP(J)-VP(I)] \cdot YBM + [VQ(J)-VQ(I)] \cdot YGM \quad (3.28)$$

กระแสที่ไหลผ่าน shunt admittance (SG+jSB) ของ bus J

$$i_{sj} = V_j \frac{y'_{ji}}{2}$$

หรือ

$$AS+jBS = [VP(J) + jVQ(J)] \cdot (SG+jSB)$$

$$= VP(J) \cdot SG - VQ(J) \cdot SB + jVQ(J) \cdot SG + jVP(J) \cdot SB$$

$$AS = VP(J) \cdot SG - VQ(J) \cdot SB \quad (3.29)$$

$$BS = VQ(J) \cdot SG - VP(J) \cdot SB \quad (3.30)$$

ดังนั้นกระแสทั้งหมดที่ไหลจาก bus J ไป bus I

$$I_{ji} = i_{ji} + i_{sj}$$

หรือ

$$RIR+jRII = (AYE+jBYE) \cdot (AS+jBS)$$

$$= (AYE+AS) + j(BYE+BS)$$

จากสมการ (3.27), (3.28), (3.29), (3.30)

$$RIR = [VP(J)-VP(I)] \cdot YGM - [VQ(J)-VQ(I)] \cdot YBM + VP(J) \cdot SG - VQ(J) \cdot SB \quad (3.31)$$

$$RII = [VP(J)-VP(I)] \cdot YBM + [VQ(J)-VQ(I)] \cdot YGM + VQ(J) \cdot SG + VP(J) \cdot SB \quad (3.32)$$

<u>Power ทั้งหมดที่ไหลจาก bus I ไป bus J</u>

$$S_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^*$$

หรือ

$$P_{ij} + jQ_{ij} = [VP(I)+jVQ(I)] \cdot [SIR-jSII]^*$$

$$= VP(I)\ SIR + VQ(I)\ SII - jVP(I)\ SII + jVQ(I)\ SIR$$

ดังนั้น

Real power ที่ไหลจาก bus I ไป bus J

$$P_{ij} = VP(I) \cdot SIR + VQ(I) \cdot SII \quad (3.33)$$

Reactive power ที่ไหลจาก bus I ไป bus J

$$Q_{ij} = -VP(I) \cdot SII + VQ(I) \cdot SIR \quad (3.34)$$

<u>Power ทั้งหมดที่ไหลจาก bus J ไป bus I</u>

$$S_{ji} = V_j \cdot I_{ji}^*$$

หรือ

$$P_{ji} + jQ_{ji} = [VP(J)+jVQ(J)] \cdot [RIR-jRII]$$

$$= VP(J) \cdot RIR + VQ(J) \cdot RII - jVP(J) \cdot SII + jVQ(J) \cdot SIR$$

ดังนั้น

real power ที่ไหลจาก bus J ไป bus I

$$P_{ji} = VP(J) \cdot RIR + VQ(J) \cdot RII \quad (3.35)$$

reactive power ที่ไหลจากbus J ไป bus I

$$Q_{ji} = -VP(J) \cdot RII + VQ(J) \cdot RIR \quad (3.36)$$

ข. Real และ reactive power ที่ไหลใน transformer

ในกรณีที่ค่า turn ratio มีค่าเป็น nominal transformer ก็จะเป็นเหมือนกับ line ธรรมดา line หนึ่งที่มีค่า line admittance เท่ากับ Y_{ij} ซึ่งเป็นค่า equivalent admittance ของ transformer แต่ถ้าหากค่า turn ratio มีค่าเป็น off-nominal แล้ว ก่อนจะคำนวณค่า power ที่ไหลจาก bus I ไป J หรือจาก bus J ไป I นั้น จะต้องทำการเปลี่ยนให้อยู่ใน form ของ equivalent Pi network เสียก่อน ต่อจากนั้นการคำนวณก็เป็นไปแบบเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในข้อ ก

๓.๔.๒ การคำนวณค่า loss

การคำนวณค่า power loss ใน transmission line หรือใน transformer ซึ่งเชื่อมระหว่าง bus I และ J สามารถหาได้จากผลบวกของ power ที่ไหลใน line จาก bus I ไป J กับ power ที่ไหลจาก bus J ไป I

real power loss $P_{loss} = P_{ij} + P_{ji}$ (3.37)

reactive power loss $Q_{loss} = Q_{ij} + Q_{ji}$ (3.38)

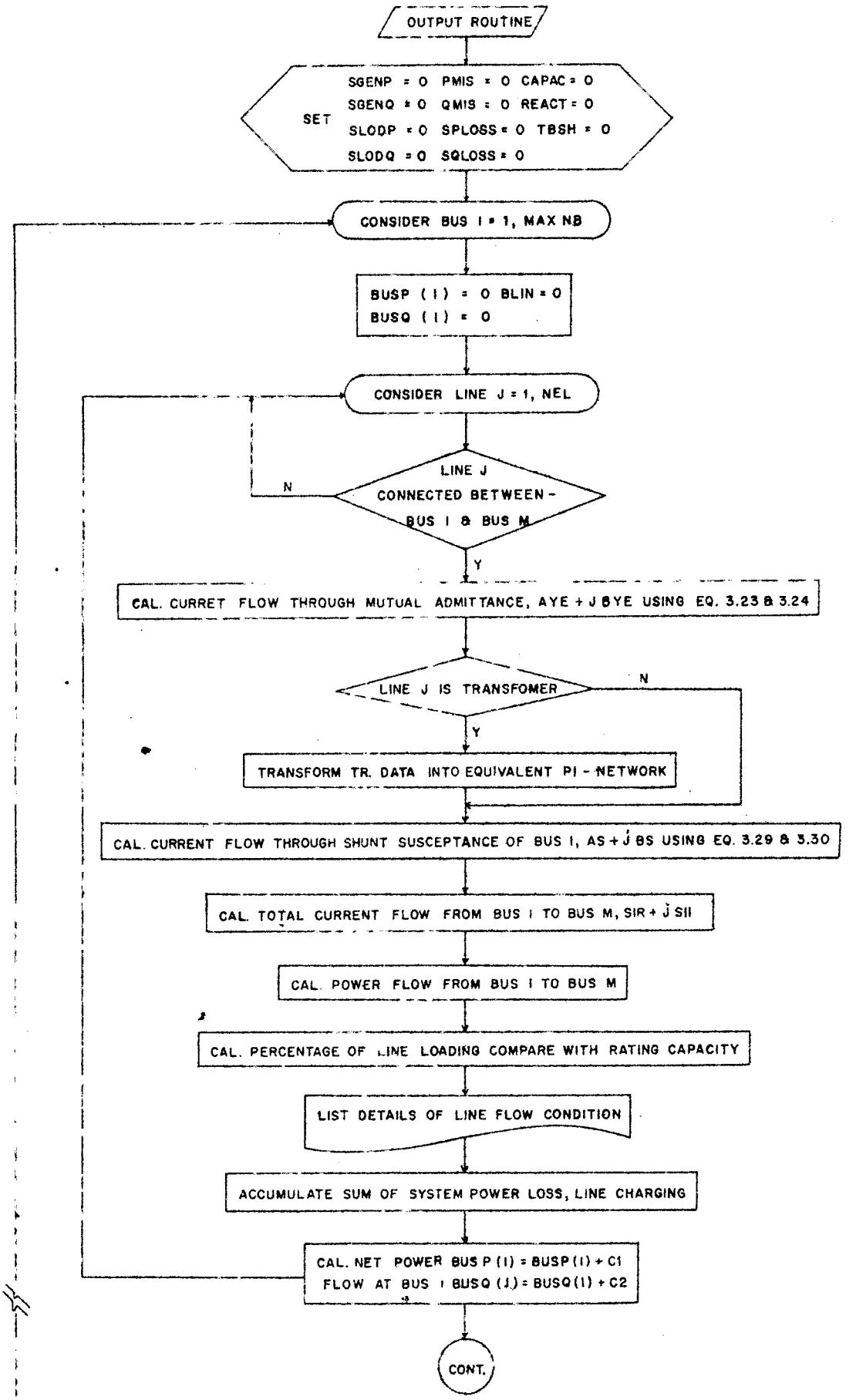
สำหรับ power loss ทั้งหมดของระบบก็คือผลบวกทางพีชคณิตของ power consumption ของทุก ๆ bus ในระบบ หรือผลต่างระหว่าง generation ของระบบทั้งหมดกับจำนวน load ทั้งหมดของระบบ

ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าเป็นระบบที่เชื่อมโยงกันหลาย ๆ area ในโปรแกรมนี้จะแยกคำนวณ loss ของแต่ละ area ไว้ด้วย

๓.๔.๓ System Summary

ในโปรแกรมนี้จะสรุปผลเกี่ยวกับข้อมูลของระบบไฟฟ้าว่าเป็นอย่างไร ดังรายละเอียดที่ปรากฏอยู่ในตัวอย่างการคำนวณในบทที่ ๔ นอกจากนี้ยังได้คำนวณเกี่ยวกับค่า mismatch ของแต่ละ bus และรวมทุก ๆ bus ซึ่งค่า mismatch นี้ จะเป็นค่าที่จะชี้ให้เห็นถึง accuracy ของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

ขั้นต่าง ๆ ในส่วนของ Output Routine นี้ได้แสดงไว้ใน Flow diagram ตามรูปที่ ๓.๙


OUTPUT ROUTINE
SET
SGENP = 0 PMIS = 0 CAPAC = 0
SGENQ = 0 QMIS = 0 REACT = 0
SLODP = 0 SPLOSS = 0 TBSH = 0
SLODQ = 0 SQLOSS = 0
CONSIDER BUS I = 1, MAX NB
BUSP (I) = 0 BLIN = 0
BUSQ (I) = 0
CONSIDER LINE J = 1, NEL
LINE J CONNECTED BETWEEN - BUS I & BUS M
N
Y
CAL. CURRET FLOW THROUGH MUTUAL ADMITTANCE, AYE + J BYE USING EQ. 3.23 & 3.24
LINE J IS TRANSFOMER
N
Y
TRANSFORM TR. DATA INTO EQUIVALENT PI - NETWORK
CAL. CURRENT FLOW THROUGH SHUNT SUSCEPTANCE OF BUS I, AS + J BS USING EQ. 3.29 & 3.30
CAL. TOTAL CURRENT FLOW FROM BUS I TO BUS M, SIR + J SII
CAL. POWER FLOW FROM BUS I TO BUS M
CAL. PERCENTAGE OF LINE LOADING COMPARE WITH RATING CAPACITY
LIST DETAILS OF LINE FLOW CONDITION
ACCUMULATE SUM OF SYSTEM POWER LOSS, LINE CHARGING
CAL. NET POWER BUS P (I) = BUSP (I) + C1
FLOW AT BUS I BUSQ (J) = BUSQ (I) + C2
CONT.

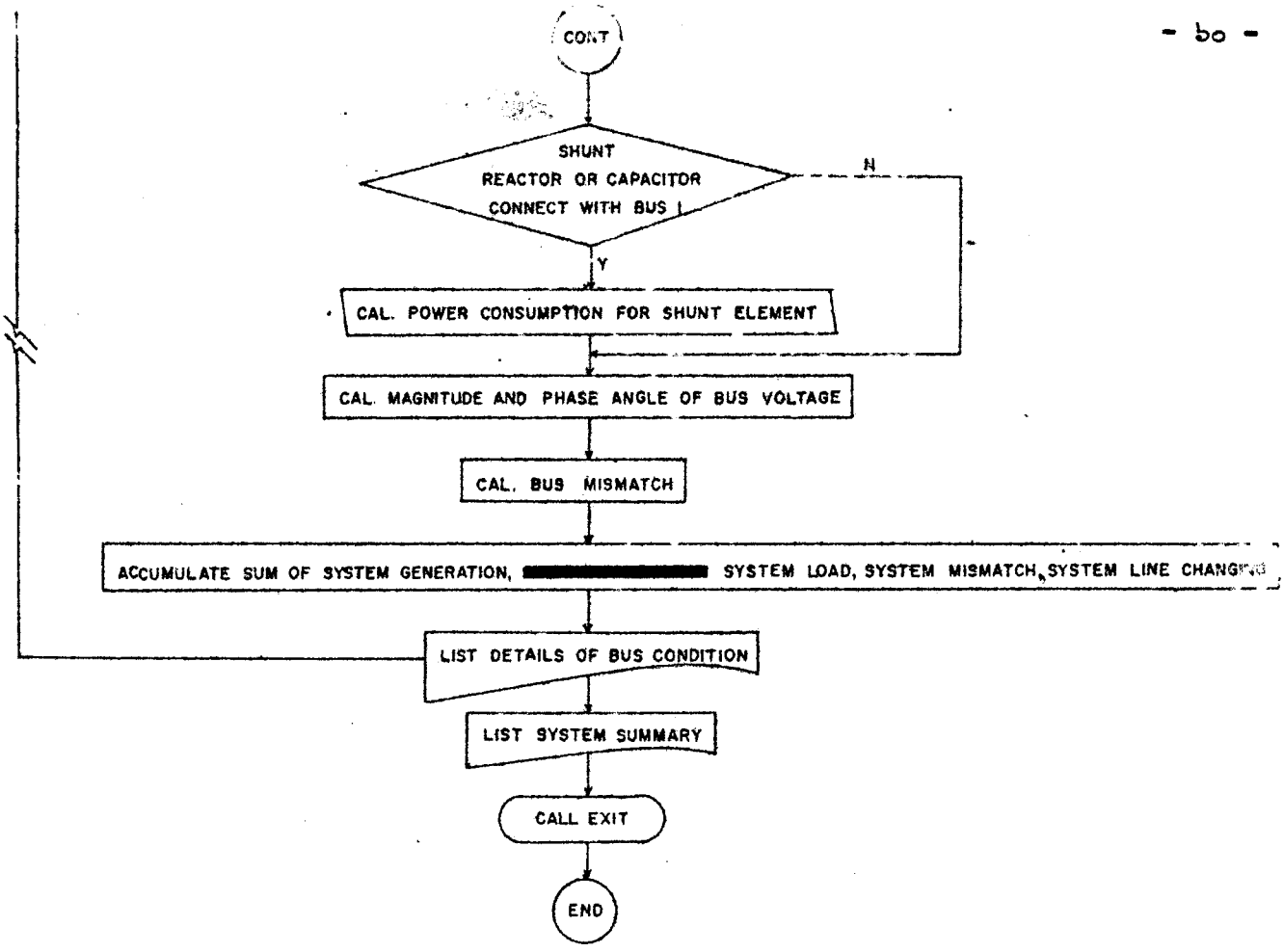


FIG. 3.9 FLOW DIAGRAM FOR OUTPUT ROUTINE

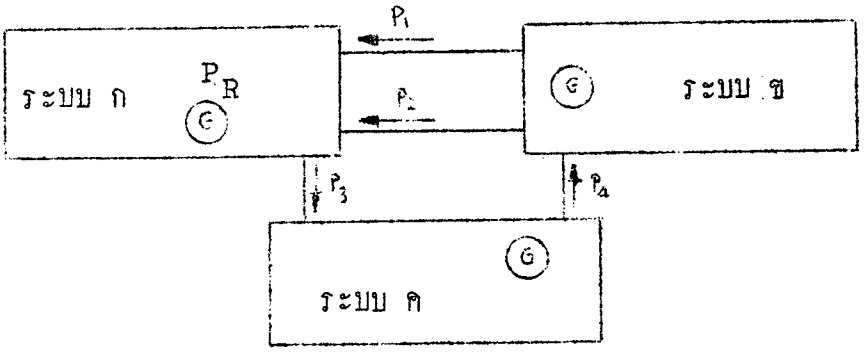
๓.๕ การควบคุมการถ่ายเหรือแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าในระบบเชื่อมโยง

โดยทั่ว ๆ ไประบบไฟฟ้าใน area หนึ่ง ๆ จะเชื่อมโยงด้วย tie-line ซึ่งกันและกัน เป็นระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อที่จะแลกเปลี่ยนการจ่าย power ให้แก่ load ใน area ข้างเคียงกันทาง tie-line เพราะบาง area มีความต้องการกำลังไฟฟ้าเกินกว่าที่ generation ใน area นั้น จะจ่ายได้ load บางแห่งอยู่ไกลจาก power source ของ area นั้นมาก ถ้าหากจ่ายไปก็จะต้องมี power loss มาก ดังนั้นการรับ power จาก area ข้างเคียงหรือจ่ายให้ area ข้างเคียง ย่อมทำให้ power loss ของระบบน้อยลง ในบางกรณีที่ทางอีกระบบเกิด fault ก็ยังสามารถที่จะจ่าย power มาช่วยทดแทนได้ ย่อมทำให้ระบบไฟฟ้ามีความมั่นคงดีขึ้น

การควบคุมการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้าไปให้ area อื่น หรือรับเข้ามาจาก area อื่น ทาง tie-line ซึ่งอาจจะเป็น line เดียว หรือหลาย ๆ line นั้นสามารถทำได้ดังนี้

หลังจากที่ทำการคำนวณหาแรงดันของ bus ต่าง ๆ ทั้งหมดในระบบเชื่อมโยงได้เรียบร้อยแล้ว ก็คำนวณหาจำนวนกำลังไฟฟ้าที่ไหลใน tie-line ต่าง ๆ แล้วนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่างค่าที่คำนวณได้ กับค่าที่กำหนดไว้ เพื่อจะต้องนำค่านี้ไปใช้ในการปรับค่า power ต่อไป

การปรับค่าจำนวน power ของ area หนึ่ง ที่จะได้รับจาก area อื่น หรือจ่ายให้ area อื่น ให้ได้ค่าตามที่กำหนดไว้ นั้น สามารถทำได้โดยการปรับค่า power generation ของ generator ของ area นั้น ดังนั้นสำหรับ area ทุก ๆ area ที่จะมีการควบคุมการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้า จะต้องกำหนดให้ generator ตัวหนึ่งเป็น regulating generator ประจำแต่ละ area เพื่อสำหรับปรับค่า generation ได้



รูปที่ ๓.๑๐ แสดงถึงระบบไฟฟ้า ๓ ระบบเชื่อมโยงกัน

สมมติว่า จะต้องการควบคุมจำนวน power ของระบบ ก. ว่าต้องการรับจากระบบข. และ ค. รวมทั้งหมด P_{TS}

P_R เป็นจำนวน power generation ของ regulating generator ของ ระบบ ก. เดิม

P_1, P_2 และ P_3 เป็นจำนวน power ที่คำนวณได้

TL เป็นค่า power ที่สูญเสียไปทั้งหมดใน tie-line ทั้ง ๓ line

จำนวน power ทั้งหมดที่ระบบก. ได้รับจากระบบ ข. และ ค.

$$= P_T = P_1 + P_2 - P_3$$

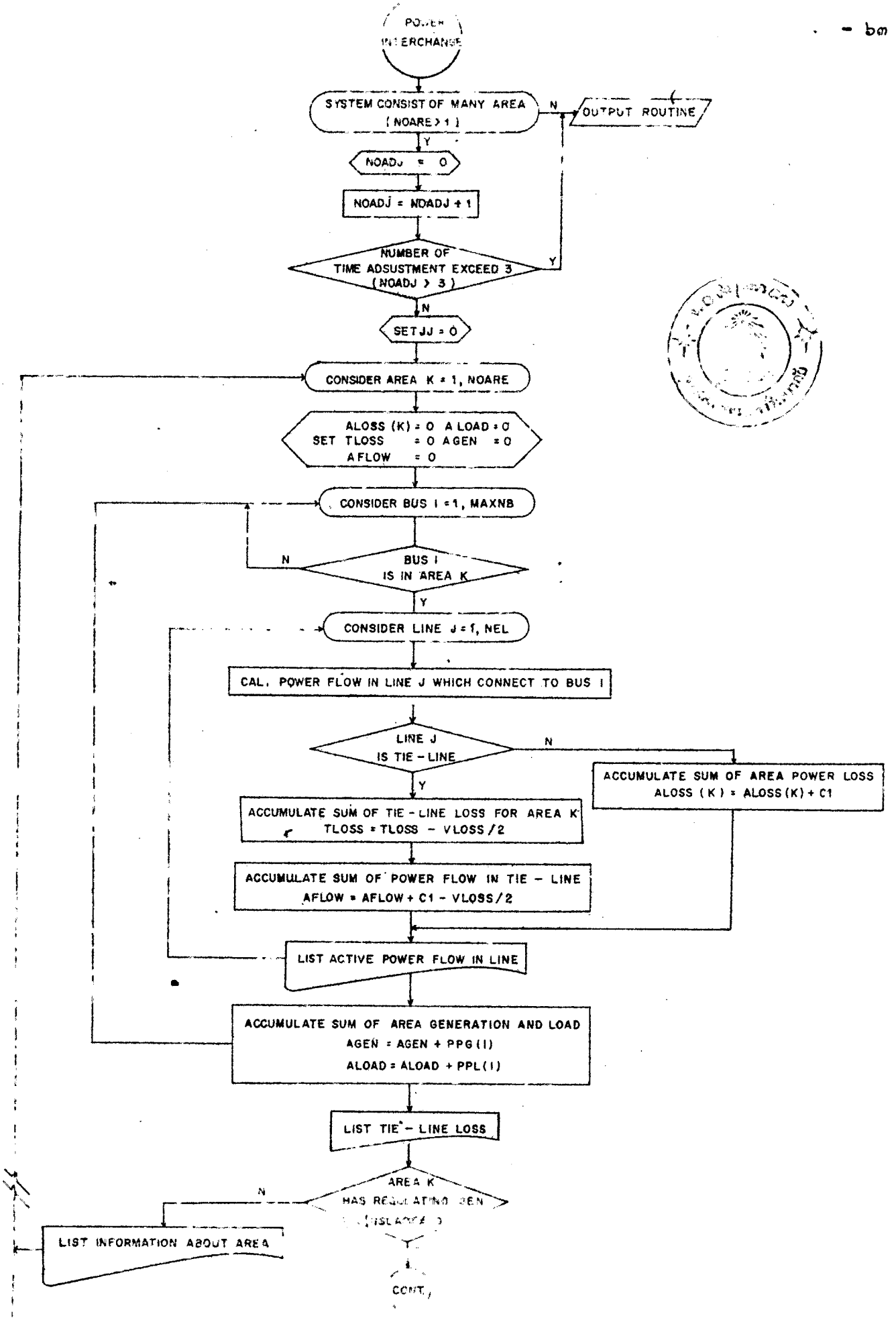
ความแตกต่างระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่กำหนดให้ เป็น

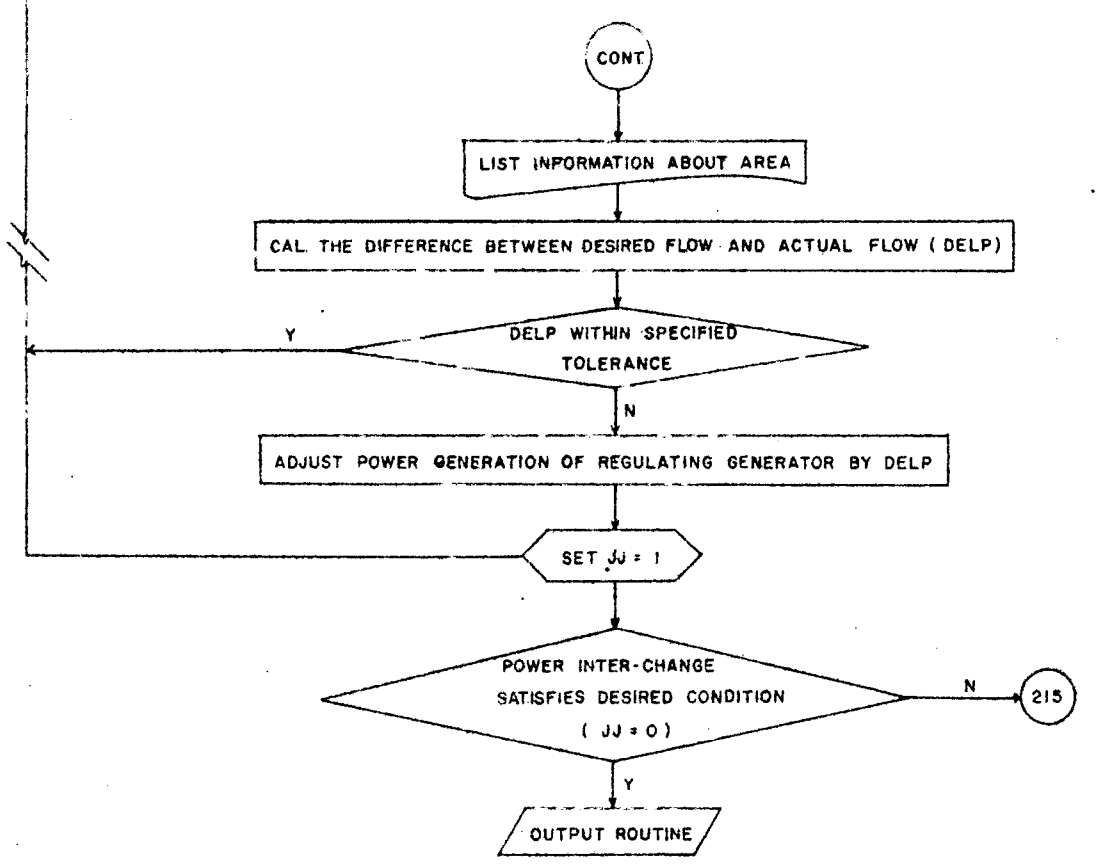
$$\Delta P_T = P_{TS} - (P_T + \frac{TL}{2})$$

ครึ่งหนึ่งของ power ที่สูญเสียใน tie-line ทั้งหมด จะจำแนกออกมารวมกับ area แต่ละ area ซึ่ง tie-line นั้นเชื่อมอยู่ ค่า power generation ของ regulated generator ของระบบ ก. จะต้องปรับเป็น

$$P_{R_{ใหม่}} = P_R + \Delta P_T$$

ขั้นต่าง ๆ ในการทำ automatic control of Power Interchange between Areas ได้แสดงไว้ใน Flow diagram ตามรูปที่ ๓.๑๑


POWER INTERCHANGE
SYSTEM CONSIST OF MANY AREA (NOARE > 1)
N
OUTPUT ROUTINE
Y
NOADJ = 0
NOADJ = NOADJ + 1
NUMBER OF TIME ADSUSTMENT EXCEED 3 (NOADJ > 3)
Y
N
SETJJ = 0
CONSIDER AREA K = 1, NOARE
ALOSS (K) = 0 A LOAD = 0
SET TLOSS = 0 AGEN = 0
AFLOW = 0
CONSIDER BUS I = 1, MAXNB
N
BUS I IS IN AREA K
Y
CONSIDER LINE J = 1, NEL
CAL. POWER FLOW IN LINE J WHICH CONNECT TO BUS I
LINE J IS TIE - LINE
N
ACCUMULATE SUM OF AREA POWER LOSS
ALOSS (K) = ALOSS(K) + C1
Y
ACCUMULATE SUM OF TIE - LINE LOSS FOR AREA K
TLOSS = TLOSS - VLOSS/2
ACCUMULATE SUM OF POWER FLOW IN TIE - LINE
AFLOW = AFLOW + C1 - VLOSS/2
LIST ACTIVE POWER FLOW IN LINE
ACCUMULATE SUM OF AREA GENERATION AND LOAD
AGEN = AGEN + PPG(I)
ALOAD = ALOAD + PPL(I)
LIST TIE - LINE LOSS
AREA K
HAS REGULATING GEN
N
LIST INFORMATION ABOUT AREA
Y
CONT.



รูปที่ 3.11 FLOW DIAGRAM สำหรับ POWER INTERCHANGE BETWEEN AREA ของ SOLUTION ROUTINE

การทำ Automatic control of power interchange between areas ในโปรแกรมนี้ จะเริ่มหลังจากได้คำนวณค่าแรงดันของ bus ในระบบทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมส่วนนี้จะทำการคำนวณค่า power ที่ไหลใน tie-line ต่าง ๆ ที่เชื่อมโยง area แต่ละ area ซึ่งผลรวมของ power ที่ไหลใน tie-line ของ area หนึ่ง ๆ จะเป็นจำนวน actual power flow ที่ไหลเข้าหรือออกของ area นั้น ๆ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้กำหนดเอาไว้สำหรับ area หนึ่ง ๆ ซึ่งถ้าหากมีค่าแตกต่างกันมากเกินจำนวน allowable tolerance แล้ว ก็จะต้องไปลดหรือเพิ่มจำนวน power generation ของ generator ที่ได้เลือกไว้เป็น slack generator ประจำ area หลังจากตรวจสอบจำนวน power ที่ต้องการจำกัดให้ไหล สำหรับ area ต่าง ๆ ที่มี slack generator แล้วกลับเริ่มทำ iteration ใหม่ต่อไป เพื่อคำนวณค่าแรงดันและ power ไหลใน tie-line ใหม่ สำหรับในโปรแกรมนี้จะทำการปรับค่า generation ของ area ในลักษณะดังกล่าวมาแล้วไม่เกิน ๓ ครั้ง ถ้าหากค่าที่ได้ยังไม่ถูกต้อง ก็จะหยุดการคำนวณของโปรแกรมส่วนนี้

เครื่องหมายเกี่ยวกับการทิศทางการไหลของ power คิดได้ดังนี้

ถ้าหาก power ไหลออกจาก area จะเป็นเครื่องหมายบวก

ถ้าหาก power ไหลเข้า area จะเป็นเครื่องหมายลบ

ขณะที่คำนวณจะทำการพิมพ์รายละเอียดต่าง ๆ เช่น ค่า power ที่ไหลใน tie-line ทุก ๆ line ของ แต่ละ area ค่า tie-line loss จำนวน generation, load และ loss ของแต่ละ area ดังตัวอย่างในบทที่ ๔

สำหรับกรณีที่ในระบบเชื่อมโยงซึ่งประกอบด้วยหลาย ๆ area แต่ไม่มีการควบคุมการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้า โปรแกรมนี้ก็จะคำนวณค่าต่าง ๆ ดังกล่าวเหมือนกัน และได้พิมพ์แยกค่าต่าง ๆ ของ area แต่ละแห่งเหมือนกับระบบที่มีการควบคุม ทั้งนี้เพื่อจะได้มีตัวเลขสำหรับใช้ประโยชน์ในการศึกษาเรื่อง loss ประจำ area ต่าง ๆ ได้สะดวกขึ้น