หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

โปรแกรมการวิเคราะห์นิวตันราฟสันโหลดโฟลว์โดยวิธีแยกเป็นส่วนย่อย

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของโปรแกรมการวิเคราะห์นิวตันราฟสันโหลดโฟลว์ โดยวิธีแยกเป็นส่วนย่อย พร้อมทั้งแสดงโฟลว์ชาร์ตประกอบ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ฯ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของโฟลว์ชาร์ตตามที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1 โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

4.1 การอ่านและพิมพ์ข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลัง

ข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์ฯ อ่านจากเทอร์มินอล (Terminal) ของเครื่องมินิคอมพิวเตอร์ PDP-11 โดยโปรแกรมย่อย STEP 1 (Subroutine STEP 1) แล้วเก็บข้อมูลเหล่านี้ลงดีสค์ (Disk) เพื่อไว้ใช้ในการคำนวณต่อไป รายละเอียดการอ่านและแก้ไขข้อมูลนี้ได้อธิบายไว้ในบทที่ 5ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับรายละเอียดของข้อมูลที่อ่านเข้ามา มีดังนี้

4.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับระบบ และข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมการแสดงผลของโปรแกรมมีดังนี้

NSUB คือ จำนวนระบบย่อยทั้งหมดในระบบไฟฟ้ากำลัง

NBUS คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบไฟฟ้ากำลัง

NLINE คือ จำนวนสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมดในระบบไฟฟ้ากำลัง

KMAX คือ จำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดไว้ในการทำอิเทอเรตีฟ

BASMVA คือ กำลังไฟฟ้าเบส (Base MVA) ที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง

ALPHA คือ ตัวเร่ง (Accelerating Factor) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์รวดเร็วขึ้น และลดจำนวนรอบของการทำอิเทอเรตีฟ

EPSLON คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Tolerance)

OPTION คือ รหัสควบคุมการแสดงผลของโปรแกรม

4.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับบัส มีดังนี้

BUS คือ หมายเลขประจำบัส (Bus Number) เป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็ม ซึ่งไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับกัน

BUSTYP คือ หมายเลขรหัส ซึ่งจะบอกชนิดของบัสนั้นว่าเป็นบัสชนิดใด โดยที่บัสชนิดที่ 1, 2 และ 3 หมายถึง PQ บัส, PV บัสและสแล็คบัสตามลำดับ

VOLT คือ ค่าขนาดของแรงดันบัสที่กำหนดสำหรับบัสชนิดที่ 3 และชนิดที่ 2 และเป็นค่าแรงดันประมาณครั้งแรกของบัสชนิดที่ 1 มีหน่วยเป็นกิโลโวลท์ (KV) และเปลี่ยนเป็นค่าต่อหน่วย (Per Unit) โดยการหารด้วยค่าแรงดันเบส (Base Voltage) สำหรับบัสที่ไม่ได้ป้อนค่าVOLT ไว้ โปรแกรมจะกำหนดค่าให้เท่ากับ 1.opu

BASEKV คือ ค่าแรงดันเบสของระบบ ซึ่งในระบบที่นำมาวิเคราะห์ ค่าแรงดันเบสของแต่ละบัสอาจจะมีค่าแตกต่างกัน

GEN คือ กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับบัส ซึ่งประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าจริง มีหน่วยเป็นเม็กกะวัตต์ (MW) และกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ มีหน่วยเป็นเม็กกะวาร์ (MVAR) ข้อมูลนี้จะถูกเก็บในรูปเลขเชิงซ้อน (Complex Number)

LOAD คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟของโหลดที่ต่ออยู่ที่บัสหน่วยที่ใช้เป็นเม็กกะวัตต์ และเม็กกะวาร์ตามลำดับ ข้อมูลของ LOAD จะถูกเก็บในรูปเลขเชิงซ้อน

QMAX คือ ขีดจำกัดสูงสุดของกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟที่ใช้ในบัสชนิดที่ 2 มีหน่วยเป็นเม็กกะวาร์

QMIN คือ ขีดจำกัดต่ำสุดของกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟที่ใช้ในบัสชนิดที่ 2 มีหน่วยเป็นเม็กกะวาร์

QSTATC คือ ค่าชั้นท์คาปาซิเตอร์ หรือชั้นท์รีแอคเตอร์ที่ต่ออยู่ที่บัส มีหน่วยเป็นเม็กกะวาร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17969712

4.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้ามีดังนี้

LINE คือ หมายเลขประจำสายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้า (Line Number) เป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็ม ซึ่งไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับกัน

BUSP คือ หมายเลขประจำบัสที่สายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้าต่ออยู่

BUSQ คือ หมายเลขประจำบัสอีกบัสหนึ่งที่สายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้าต่ออยู่

ZS คือ ค่าอิมพิแดนซ์ของสายส่ง หรือหม้อแปลงไฟฟ้า

YLC, คือ ค่าลายน์ชาร์จชิ่ง ของสายส่ง

T คือ ค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้า

4.2 การแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังออกเป็นระบบย่อยโดยอัตโนมัติ

ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังออกเป็นระบบย่อยต่าง ๆ โดยใช้วิธีไดนามิคโปรแกรมมิ่ง (Dynamic Programming) สำหรับหลักการแบ่งจะยึดหลักว่า เมื่อแบ่งระบบออกเป็นระบบย่อยแล้ว จำนวนหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลของบัสแอดมิทแตนซ์เมตริกซ์ (Y_{TT}) ของแต่ละระบบย่อย และเมตริกซ์เชื่อมโยงระบบย่อย (Z_4) ให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งขั้นตอนของวิธีไดนามิคโปรแกรมมิ่ง มีรายละเอียดดังนี้[5]

4.2.1 เริ่มต้นแบ่งระบบออกเป็นระบบย่อยต่าง ๆ โดยกำหนดให้บัสที่ 1 อยู่ในระบบย่อยที่ 1 และในแต่ละระบบย่อยจะมีจำนวนบัสเท่ากัน

4.2.2 คำนวณจำนวนหน่วยความจำที่จะใช้เก็บข้อมูลของ Y_{TT} และ Z_4 จากสมการ

$$C_{11} = n_A^2 + n_B^2 + \ldots\ldots + n_N^2 + n_S^2 \qquad (4.1)$$

โดยที่ C_{11} คือ จำนวนหน่วยความจำที่ต้องใช้เก็บข้อมูลของ Y_{TT} และ Z_4

n_A, n_B คือ จำนวนบัสในระบบย่อย A, B

n_S คือ จำนวนคัทลายน์

ดังนั้น จำนวนหน่วยความจำที่ต้องใช้เก็บข้อมูลจากการแบ่งครั้งแรก คือ

$$C_o = C_{11}$$

4.2.3 ทดลองย้ายบัสแต่ละบัส โดยเริ่มต้นจากบัสที่ 2 ไปอยู่ในระบบย่อยต่าง ๆ แล้วคำนวณจำนวนหน่วยความจำที่ต้องใช้เก็บข้อมูล และบันทึกว่าบัสเหล่านั้นควรอยู่ในระบบย่อยใดจึงจะให้จำนวนหน่วยความจำน้อยที่สุด สำหรับการย้ายบัส p ซึ่งเดิมอยู่ในระบบย่อย i ไปยังระบบย่อย j สมการที่ใช้คำนวณจำนวนหน่วยความจำคือ

$$C_{pj} = (n_{jh}+1)^2-n_{jh}^2 + (n_{ih}-1)^2-n_{ih}^2 +(n_{sh}+k_{pj})^2 -n_{sh}^2 \qquad (4.2)$$

โดยที่

n_{jh} คือ จำนวนบัสในระบบย่อย j หลังจากจัดบัส (p-1) อยู่ในระบบย่อย h

n_{ih} คือ จำนวนบัสในระบบย่อย i หลังจากจัดบัส (p-1) อยู่ในระบบย่อย h

n_{sh} คือ จำนวนดัทลายน์หลังจากจัดบัส (p-1) อยู่ในระบบย่อย h

k_{pj} คือ จำนวนดัทลายน์ที่เพิ่มขึ้นจากการย้ายบัส p จากระบบย่อย i ไปยังระบบย่อย j

4.2.4 หลังจากทดลองย้ายไปครบทุกบัสแล้ว จึงจัดให้บัสสุดท้ายอยู่ในระบบย่อย ซึ่งให้จำนวนหน่วยความจำน้อยที่สุด แล้วจัดบัสรองสุดท้ายถัดมาเรื่อย ๆ จนถึงบัสที่ 2 ลงในระบบย่อยที่ให้จำนวนหน่วยความจำที่น้อยที่สุด ซึ่งข้อมูลนี้ได้จากการทดลองย้ายในขั้นที่ 4.2.3

4.2.5 คำนวณ จำนวนหน่วยความจำที่ต้องใช้ใหม่ แล้วเปรียบเทียบกับจำนวนหน่วยความจำที่ใช้จากการจัดครั้งที่ผ่านมาถ้าน้อยกว่าก็กลับไปทำขั้นที่ 4.2.3 ใหม่ ถ้ามากกว่าก็หยุดจัด ซึ่งแสดงว่า จากการจัดครั้งที่ผ่านมาจะให้จำนวนหน่วยความจำน้อยที่สุด

สำหรับรายละเอียดของขั้นตอนในหัวข้อ 4.2 นี้ ได้แสดงในโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 4.3

4.3 การสร้างบัสแอดมิทแตนซ์เมตริกซ์ และเมตริกซ์เชื่อมโยงระบบย่อย

ในขั้นตอนนี้ โปรแกรมจะทำการสร้างบัสแอดมิทแตนซ์เมตริกซ์ (Bus Admittance Matrix) และเมตริกซ์เชื่อมโยงระบบย่อย (Intersubdivision Matrix) ซึ่งมีขั้นตอนโดยละเอียดดังนี้

4.3.1 จัดแบ่งอิลิเมนท์ในแต่ละระบบย่อย

อิลิเมนท์ทั้งหมดในระบบไฟฟ้ากำลังประกอบด้วย อิมพิแดนซ์ และลายน์ชาร์จซึ่งของสายส่ง อิมพิแดนซ์ของหม้อแปลง และรวมทั้งชั้นท์แอดมิทแตนซ์ สำหรับหม้อแปลงซึ่งมีค่าอัตราส่วนจำนวนรอบผิดจากปกติ (Off Nominal Turn Ratio) ซึ่งในขั้นตอนนี้ โปรแกรมจะจัดแบ่งอิลิเมนท์เหล่านี้ลงในแต่ละระบบย่อย หลังจากนั้นจะทำการเรียงลำดับอิลิเมนท์เหล่านี้ใหม่ โดยจะเริ่มต้นจากอิลิเมนท์ที่ต่ออยู่ระหว่างบัสหมายเลขน้อยกว่า ไปสู่อิลิเมนท์ที่ต่ออยู่ระหว่างบัสหมายเลขมากกว่า ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 4.4

4.3.2 สร้างบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ของแต่ละระบบย่อย

การสร้างบัสอิมพิแดนซ์เมตริกซ์ (Z_1) ของแต่ละระบบย่อยดำเนินการตามอัลกอริทึมของ Stagg และ El-Abiad[9] อิลิเมนท์ที่จะนำมาใช้ในการสร้าง Z_1 ได้จัดลำดับและแบ่งในแต่ละระบบย่อยไว้เรียบร้อยแล้วในขั้นตอนที่ผ่านมา รายละเอียดในขั้นตอนนี้ได้แสดงในโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 4.5

4.3.3 สร้างเมตริกซ์เชื่อมโยงระบบย่อย

การสร้างเมตริกซ์เชื่อมโยงระบบย่อย Z_4 จะเริ่มต้นจากการสร้างเมตริกซ์ Z_2 วิธีการสร้างเมตริกซ์ Z_2 จะไม่ใช้ทรานส์ฟอร์มเมชั่นเมตริกซ์ C_{TC} โดยโปรแกรมจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของกระแสในคัทลายน์ โดยให้กระแสคัทลายน์ไหลเข้าไปในระบบย่อยที่มีลำดับต่ำกว่า วิธีการสร้างเมตริกซ์ Z_2 จะใช้วิธีตามหัวข้อ 2.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 4.6 หลังจากสร้างเมตริกซ์ Z_2 เสร็จแล้วโปรแกรมจะทำการสร้างเมตริกซ์ Z_4 ซึ่งใช้วิธีตามหัวข้อ 2.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 4.7

4.3.4 สร้างบัสแอดมิทแตนซ์เมตริกซ์ของแต่ละระบบย่อยนั้น จะเริ่มต้นจากแปลงค่าอิมพิแดนซ์ของอิลิเมนท์เป็นค่าแอดมิทแตนซ์ แล้วจึงทำการสร้างโดยมีรายละเอียดดังแสดงในโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 4.8

4.4 <u>การวิเคราะห์นิวตันราฟสันโหลดโฟลว์ของแต่ระบบย่อย</u>

ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์นิวตันราฟสันโหลดโฟลว์ของแต่ละระบบย่อย

สำหรับการวิเคราะห์นิวตันราฟสันโหลดโฟลว์ในแต่ละระบบย่อย จะมีขั้นตอนเหมือนกับการวิเคราะห์นิวตันราฟสันโหลดโฟลว์ในระบบไฟฟ้ากำลังทั้งหมด โดยมีลำดับการทำงานของโปรแกรม ดังนี้

4.4.1 สมมุติค่าเริ่มต้นของแรงดันบัส

4.4.2 เริ่มต้นทำการอิเทอเรตีฟ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

4.4.2.1 คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่บัสในแต่ละระบบย่อยซึ่งประกอบด้วยกำลังไฟฟ้า 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเกิดจากกระแสในคัทลายน์ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$P_p^{tie} + jQ_p^{tie} = E_p \left[I_{pq}^{tie} \right]^* \tag{4.3}$$

โดยที่กระแสในคัทลายน์ คำนวณได้จากสมการ

$$I_{pq}^{tie} = \left[E_p - E_q \right] Y_{pq}^{tie} \tag{4.4}$$

กำลังไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งเกิดจากแหล่งจ่ายกระแสในระบบย่อยเท่านั้น ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} P_p &= \sum_{q=1}^{N} \left| E_p E_q y_{pq} \right| \cos(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \\ Q_p &= \sum_{q=1}^{N} \left| E_p E_q y_{pq} \right| \sin(\theta_{pq} + \delta_p - \delta_q) \end{aligned} \tag{4.5}$$

4.4.2.2 คำนวณค่าแตกต่างของกำลังไฟฟ้าที่บัสในระบบย่อย

$$\begin{aligned} \Delta P_p &= P_{p,\,\text{Scheduled}} - P_p - P_p^{tie} \\ \Delta Q_p &= Q_{p,\,\text{Scheduled}} - Q_p - Q_p^{tie} \end{aligned} \tag{4.6}$$

4.4.2.3 เปรียบเทียบค่าแตกต่างของกำลังไฟฟ้าที่บัสซึ่งมากที่สุดกับค่าที่ยอมรับได้ ถ้าน้อยกว่า แสดงว่าระบบย่อยนี้ได้ผลลัพธ์แล้ว ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 4.4.2.7 ถ้ามากกว่า แสดงว่าระบบย่อยนี้ยังไม่ได้ผลลัพธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เฉลิมพระเกียรติ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2.4 สร้างจาโคเบียน เมตริกซ์

4.4.2.5 แก้สมการจาโคเบียน เพื่อหา $\Delta\delta$, $\Delta|E|$

4.4.2.6 คำนวณค่าแรงดันค่าใหม่ จากสมการ

$$\delta_p^{k+1} = \delta_p^k + \Delta\delta_p^k \qquad (4.7)$$

$$|E_p|^{k+1} = |E_p|^k + \Delta|E_p|^k$$

4.4.2.7 คำนวณผลลัพธ์ของระบบย่อย เนื่องจากแรงดันบัสในขั้นตอนที่ 4.4.2.6 ยังไม่ถือว่า เป็นผลลัพธ์ของระบบย่อย ตามวิธีของไดอาคอปติก เพราะได้รวมผลของกระแสในคัทลายน์ไว้ ดังนั้นผลลัพธ์ของระบบย่อยที่ต้องการ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_T^{(0)} = E_T - Z_{TT}\, I_T^{tie} \qquad (4.8)$$

ซึ่งในขั้นตอนนี้คือขั้นตอนที่ 1 ของวิธีไดอาคอปติก หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ให้ครบทุกระบบย่อย

4.4.2.8 คำนวณขั้นตอนที่ 2 ของวิธีไดอาคอปติก คือคำนวณแรงดันที่ครอบคัทลายน์จากสมการ

$$E_{L_{pq}}^{(0)} = E_{T_p}^{(0)} - E_{T_q}^{(0)} \qquad (4.9)$$

4.4.2.9 คำนวณขั้นตอนที่ 3 ของวิธีไดอาคอปติก คือคำนวณกระแสคัทลายน์จากสมการ

$$i_c = Z_4^{-1}\, E_L^{(0)} \qquad (4.10)$$

4.4.2.10 คำนวณขั้นตอนที่ 4 ของวิธีไดอาคอปติก คือ เปลี่ยนกระแสในคัทลายน์ i_c เป็นกระแสที่ไหลเข้าสู่บัส I_T'

4.4.2.11 คำนวณขั้นตอนที่ 5 ของวิธีไดอาคอปติก คือคำนวณแรงดันบัสเนื่องจากกระแสในคัทลายน์จากสมการ

$$E_T^{(1)} = Z_{TT}\, I_T' \qquad (4.11)$$

4.4.2.12 คำนวณขั้นตอนที่ 6 ของวิธีไดอาคอปติก คือรวมผลลัพธ์ของแรงดันของระบบรวมจากสมการ

$$E_T = E_T^{(0)} + E_T^{(1)} \qquad (4.12)$$

4.4.2.13 กลับไปทำขั้นตอนที่ 4.4.2.1 ใหม่จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ของระบบไฟฟ้ากำลังทั้งหมด

4.4.3 คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง และหม้อแปลงไฟฟ้า แล้วคำนวณกำลังผลิตที่สแล็คบัส

รายละเอียดของขั้นตอนนี้ ได้แสดงในโฟลว์ชาร์ตรูปที่ 4.9

4.5 การแสดงผลของการวิเคราะห์โหลดโฟลว์

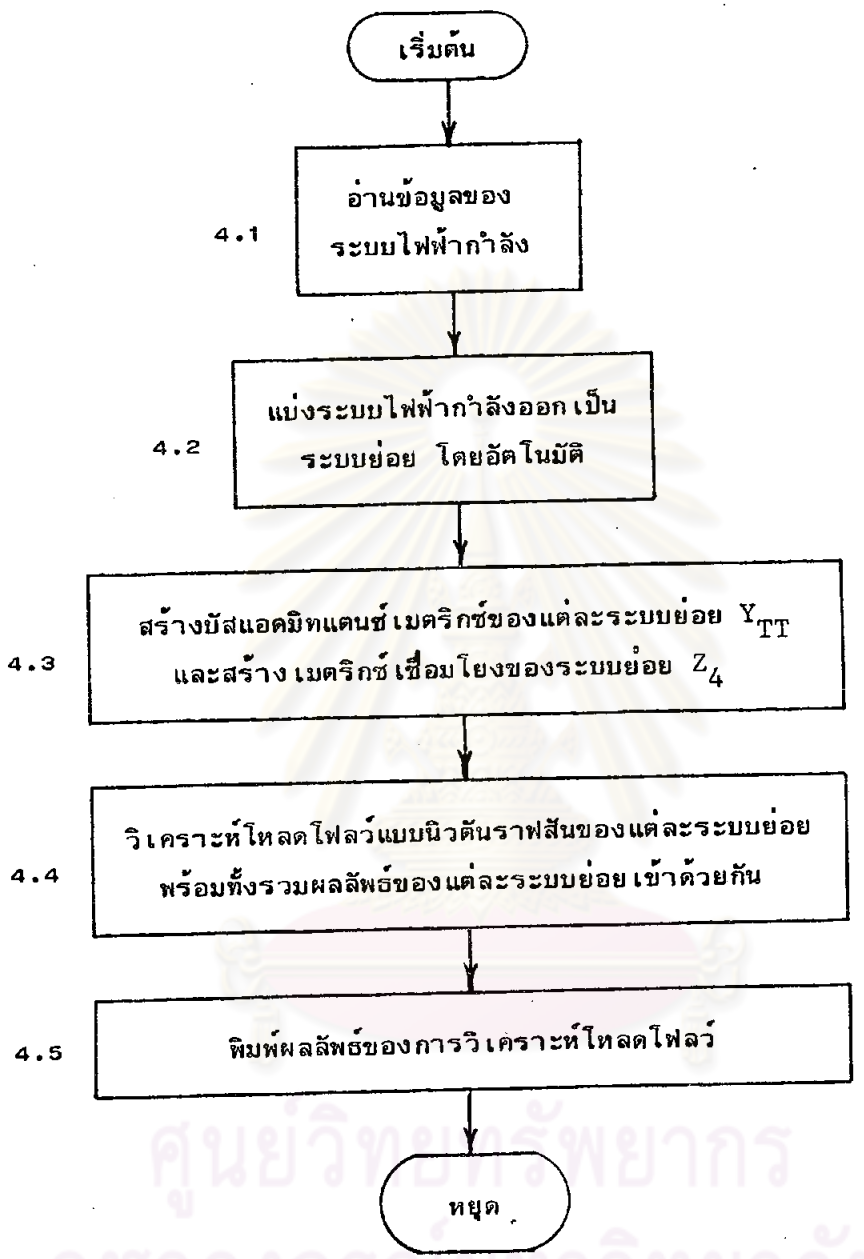
ในขั้นตอนนี้ โปรแกรมจะทำการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ฯ ซึ่งมีดังนี้คือ

4.5.1 แรงดันและกำลังผลิตที่แต่ละบัส

4.5.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้า

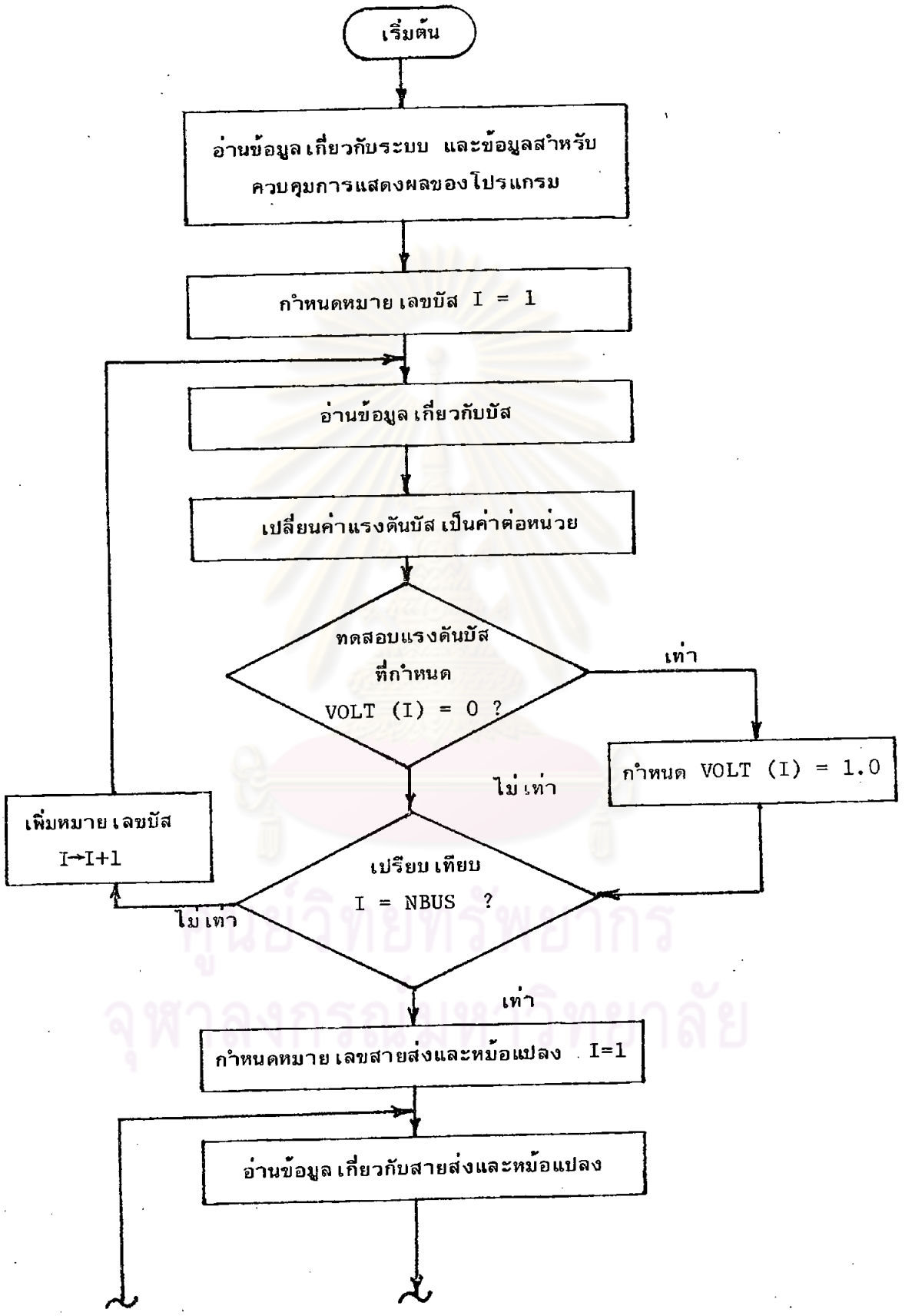
4.5.3 ค่าความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าในระบบทั้งหมด

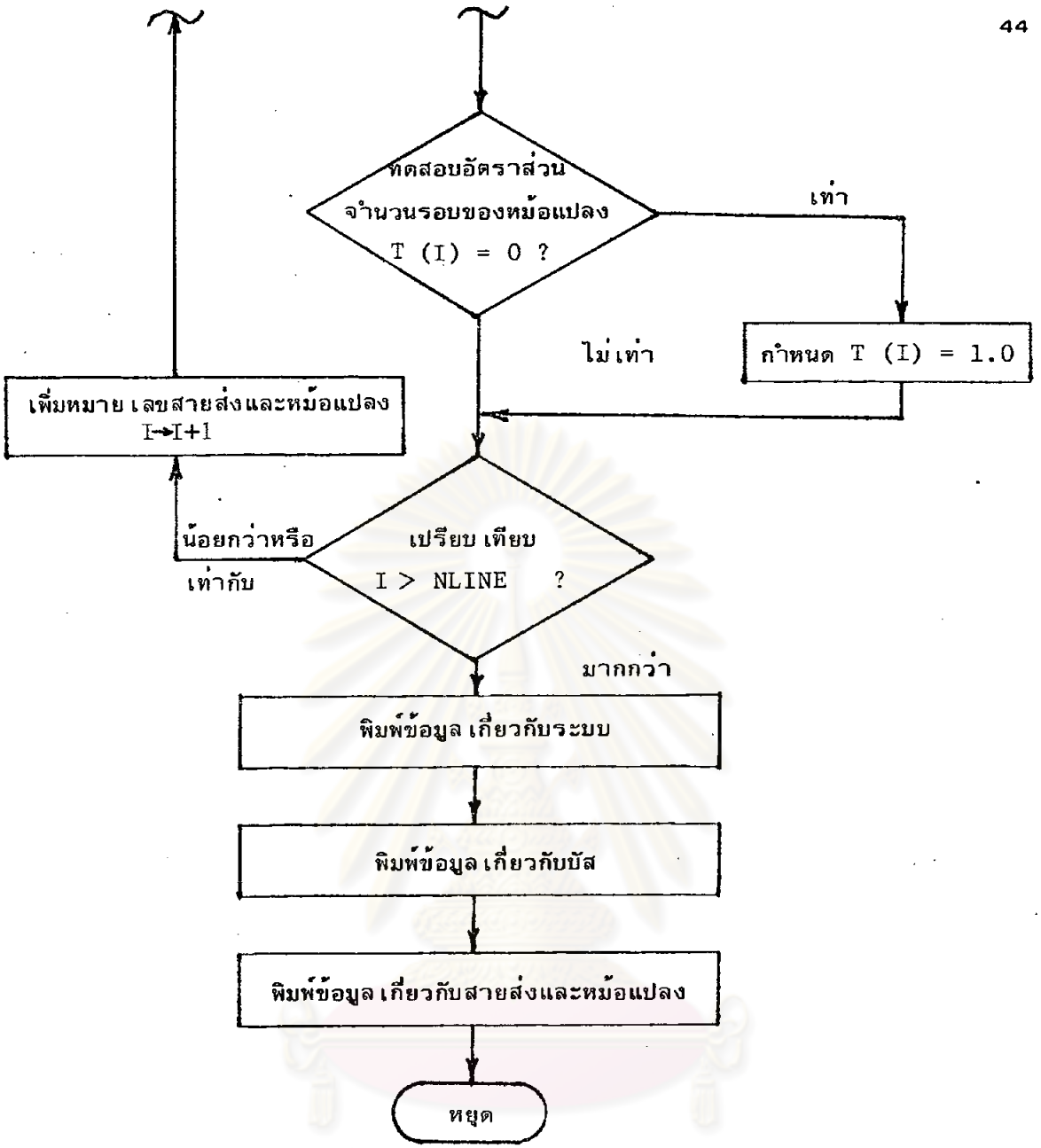
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 โฟลว์ชาร์ตการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบนิวตันราฟสันโดยวิธีแยกเป็นส่วนย่อย

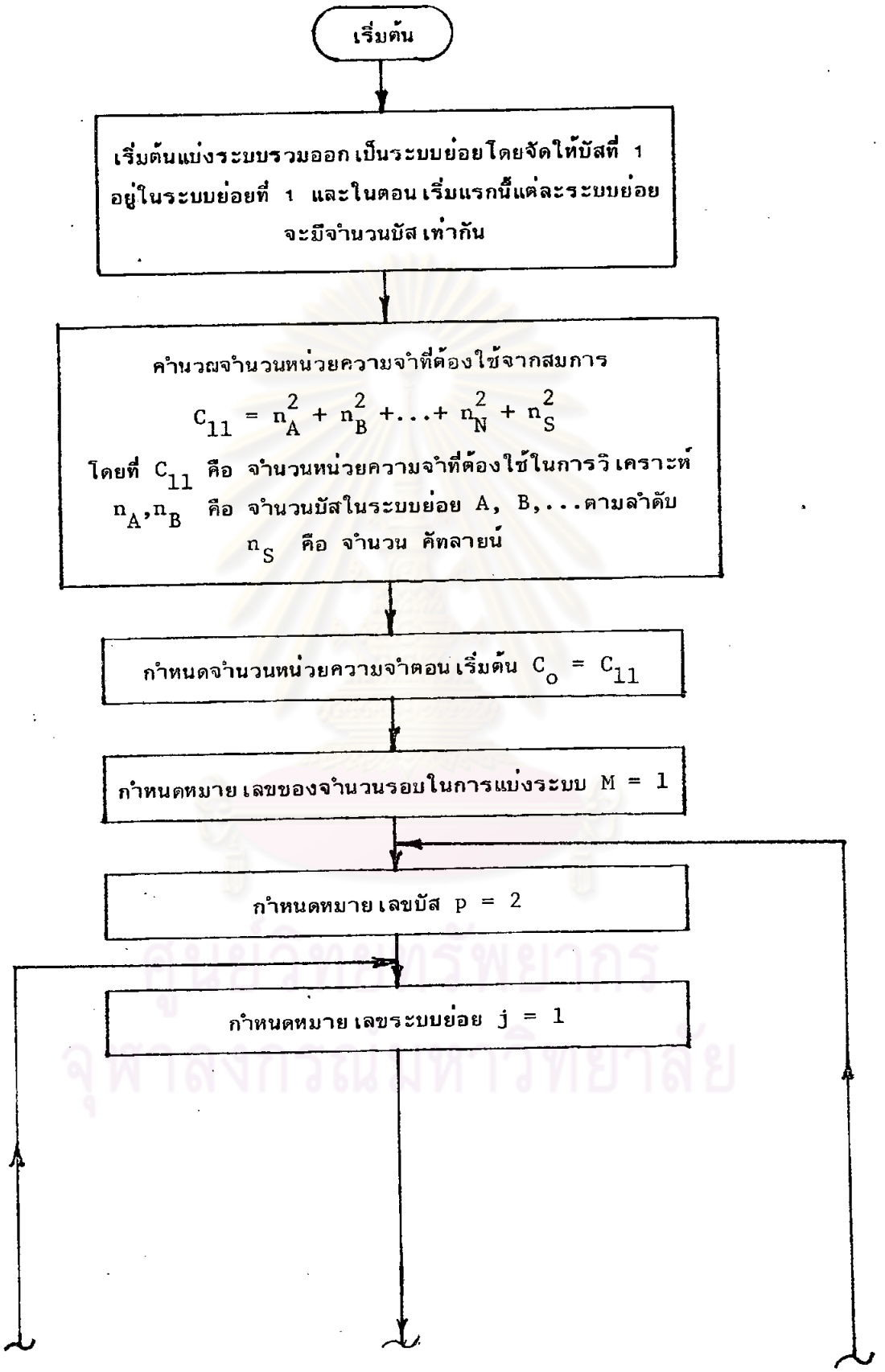
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

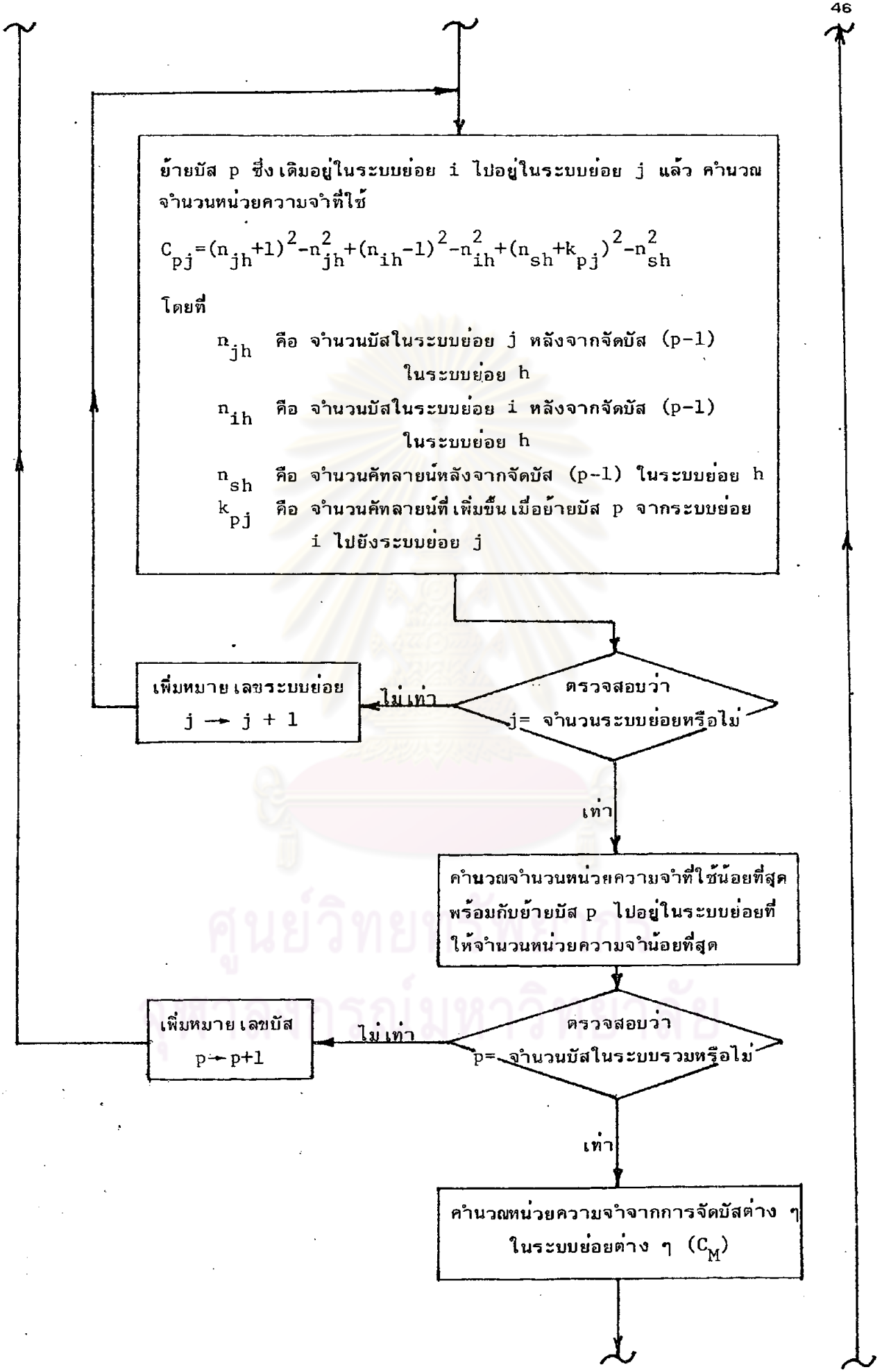

เริ่มต้น
อ่านข้อมูล เกี่ยวกับระบบ และข้อมูลสำหรับ
ควบคุมการแสดงผลของโปรแกรม
กำหนดหมาย เลขบัส I = 1
อ่านข้อมูล เกี่ยวกับบัส
เปลี่ยนค่าแรงดันบัส เป็นค่าต่อหน่วย
ทดสอบแรงดันบัส
ที่กำหนด
VOLT (I) = 0 ?
เท่า
กำหนด VOLT (I) = 1.0
ไม่ เท่า
เพิ่มหมาย เลขบัส
I→I+1
เปรียบ เทียบ
I = NBUS ?
ไม่ เท่า
เท่า
กำหนดหมาย เลขสายส่งและหม้อแปลง I=1
อ่านข้อมูล เกี่ยวกับสายส่งและหม้อแปลง

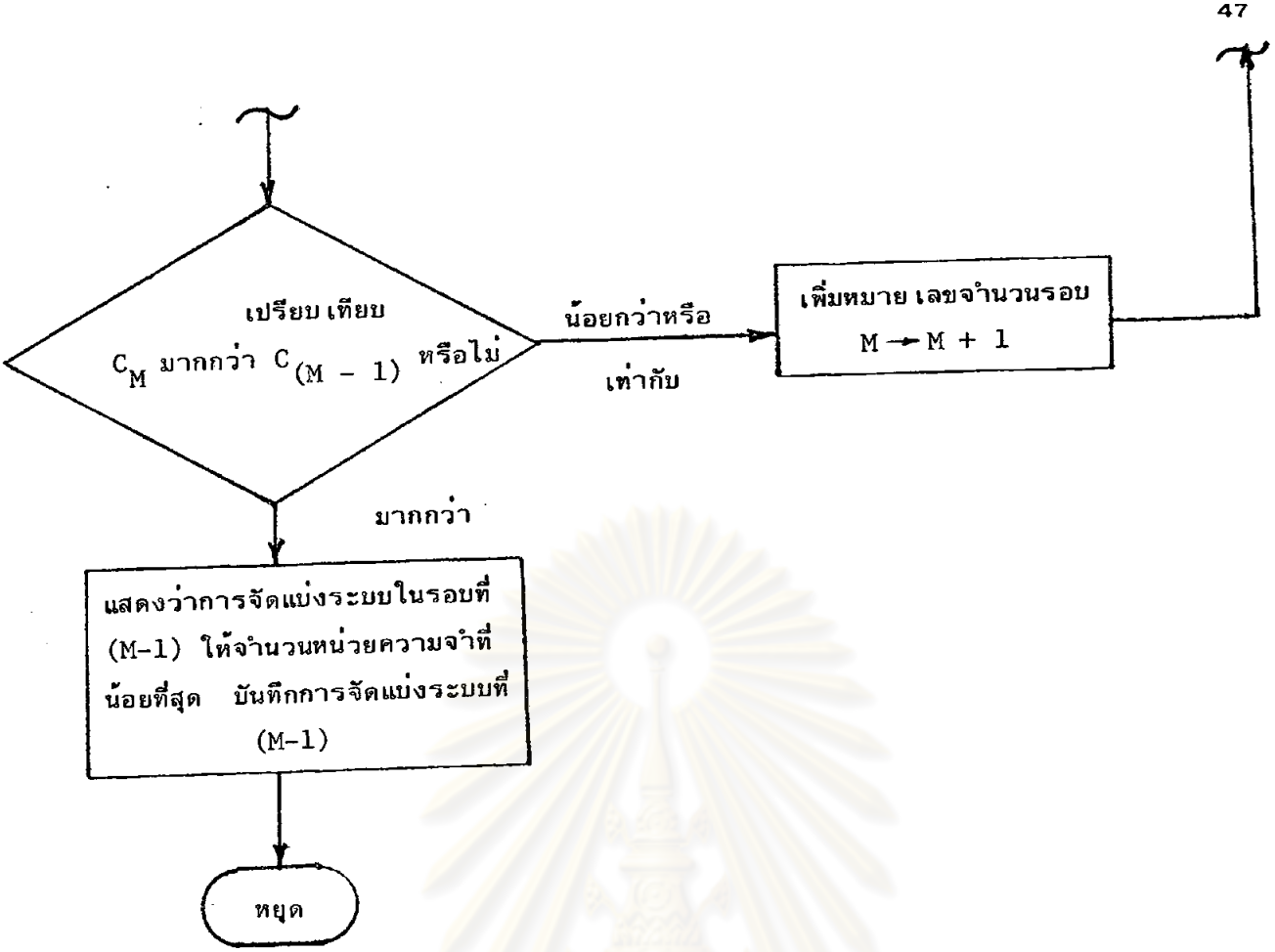


รูปที่ 4.2 โฟลว์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการอ่านและพิมพ์ข้อมูลของระบบไฟฟ้ากำลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

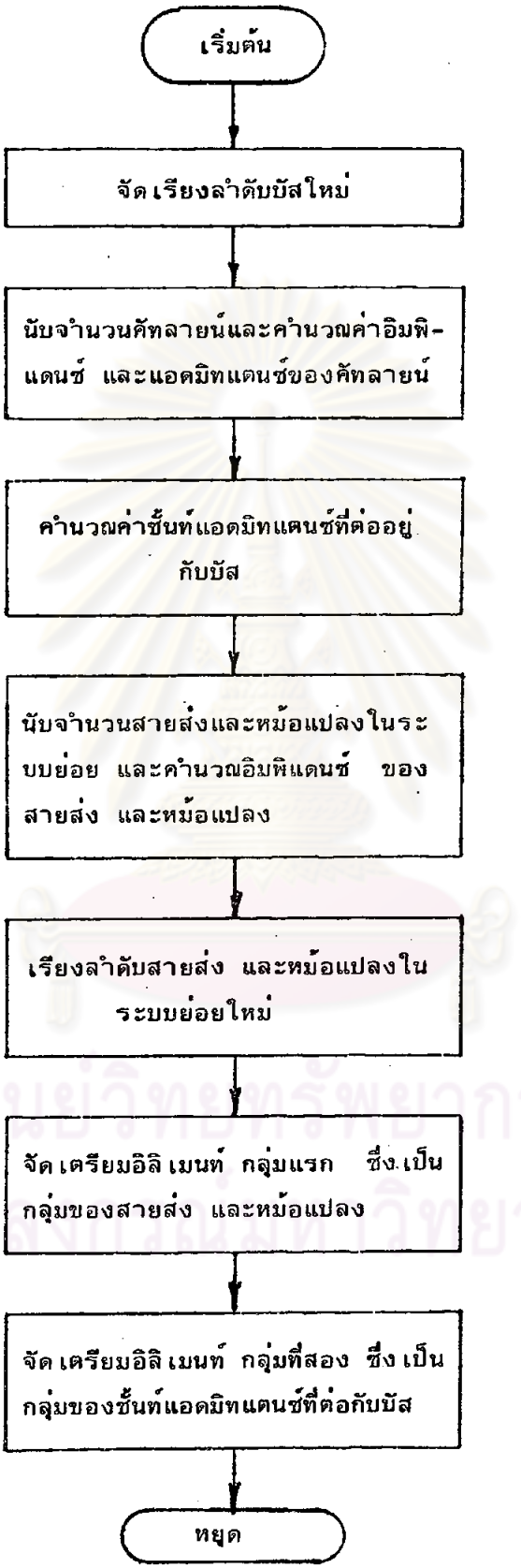

เริ่มต้น
เริ่มต้นแบ่งระบบรวมออก เป็นระบบย่อย โดยจัดให้บัสที่ 1 อยู่ในระบบย่อยที่ 1 และในตอนเริ่มแรกนี้แต่ละระบบย่อย จะมีจำนวนบัส เท่ากัน
คำนวณจำนวนหน่วยความจำที่ต้องใช้จากสมการ
$C_{11} = n_A^2 + n_B^2 + \ldots + n_N^2 + n_S^2$
โดยที่ C_{11} คือ จำนวนหน่วยความจำที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์
n_A, n_B คือ จำนวนบัสในระบบย่อย A, B, ...ตามลำดับ
n_S คือ จำนวน คัทลายน์
กำหนดจำนวนหน่วยความจำตอนเริ่มต้น $C_o = C_{11}$
กำหนดหมายเลขของจำนวนรอบในการแบ่งระบบ M = 1
กำหนดหมายเลขบัส p = 2
กำหนดหมายเลขระบบย่อย j = 1


ย้ายบัส p ซึ่งเดิมอยู่ในระบบย่อย i ไปอยู่ในระบบย่อย j แล้ว คำนวณจำนวนหน่วยความจำที่ใช้
$C_{pj}=(n_{jh}+1)^2-n_{jh}^2+(n_{ih}-1)^2-n_{ih}^2+(n_{sh}+k_{pj})^2-n_{sh}^2$
โดยที่
n_{jh} คือ จำนวนบัสในระบบย่อย j หลังจากจัดบัส (p-1) ในระบบย่อย h
n_{ih} คือ จำนวนบัสในระบบย่อย i หลังจากจัดบัส (p-1) ในระบบย่อย h
n_{sh} คือ จำนวนคัทลายน์หลังจากจัดบัส (p-1) ในระบบย่อย h
k_{pj} คือ จำนวนคัทลายน์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อย้ายบัส p จากระบบย่อย i ไปยังระบบย่อย j
ตรวจสอบว่า j= จำนวนระบบย่อยหรือไม่
ไม่เท่า
เพิ่มหมายเลขระบบย่อย j → j + 1
เท่า
คำนวณจำนวนหน่วยความจำที่ใช้น้อยที่สุด พร้อมกับย้ายบัส p ไปอยู่ในระบบย่อยที่ให้จำนวนหน่วยความจำน้อยที่สุด
ตรวจสอบว่า p= จำนวนบัสในระบบรวมหรือไม่
ไม่เท่า
เพิ่มหมายเลขบัส p → p+1
เท่า
คำนวณหน่วยความจำจากการจัดบัสต่าง ๆ ในระบบย่อยต่าง ๆ (C_M)

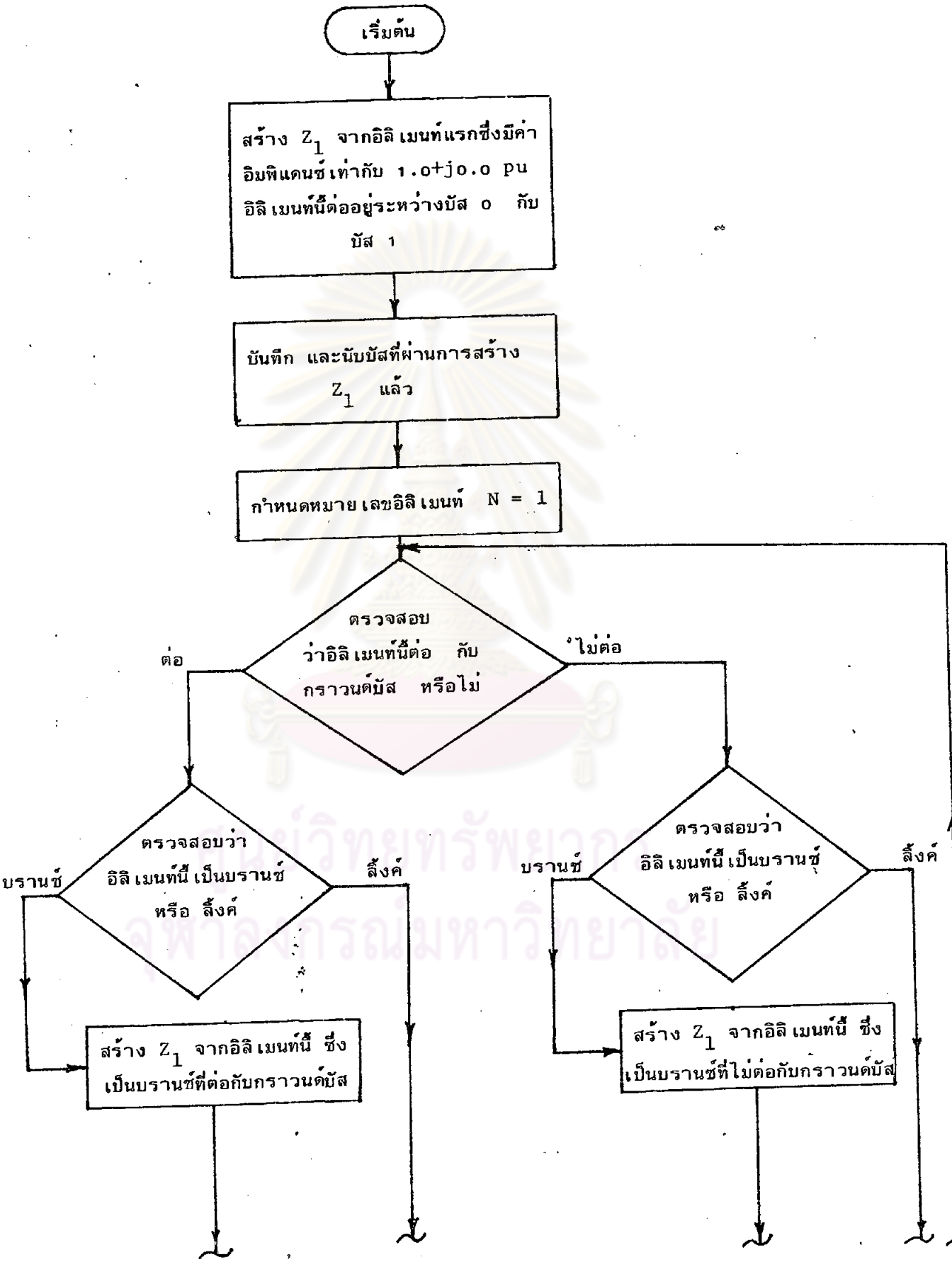


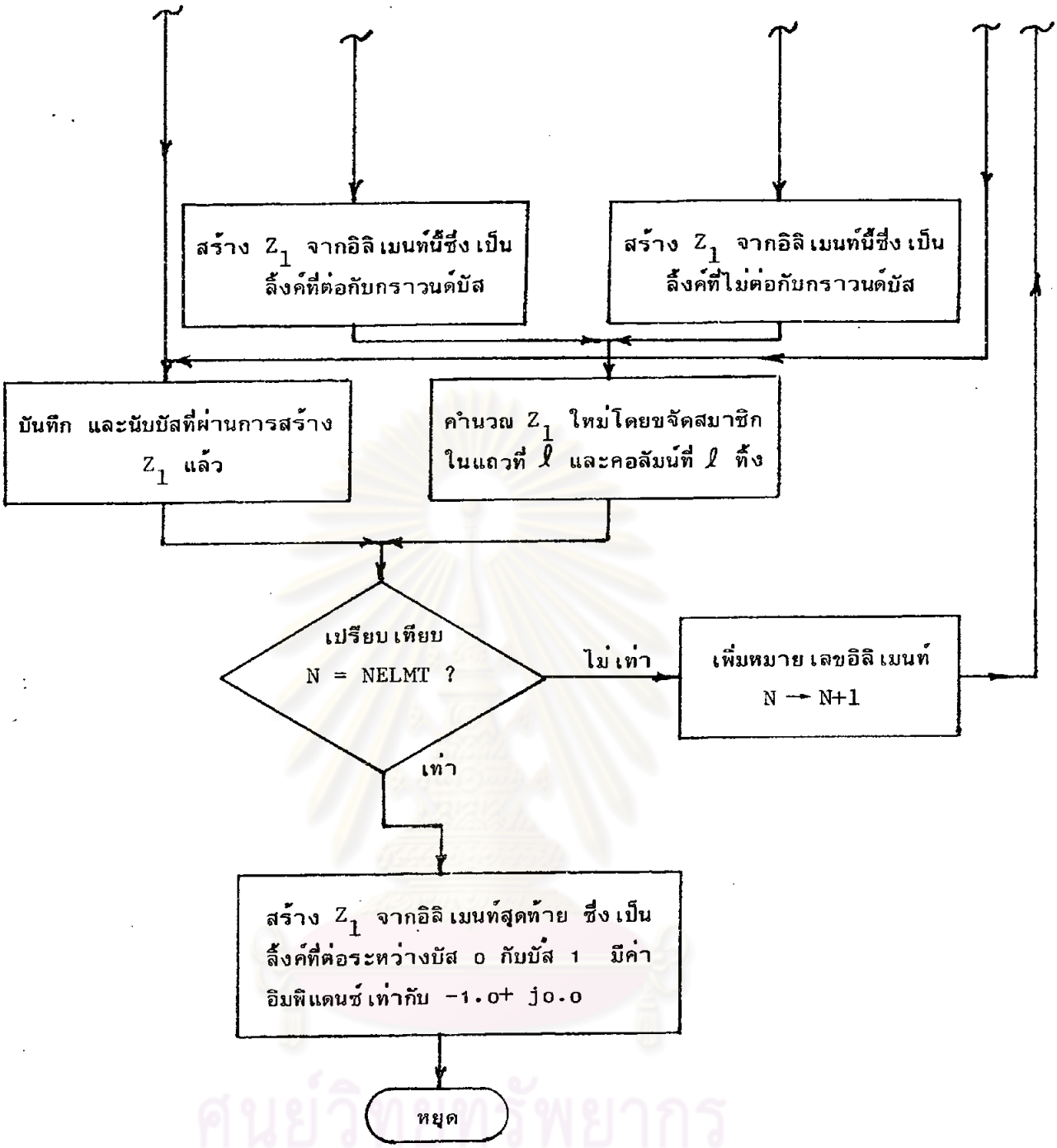
รูปที่ 4.3 แสดงโฟลว์ชาร์ตของการแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังเป็นระบบย่อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



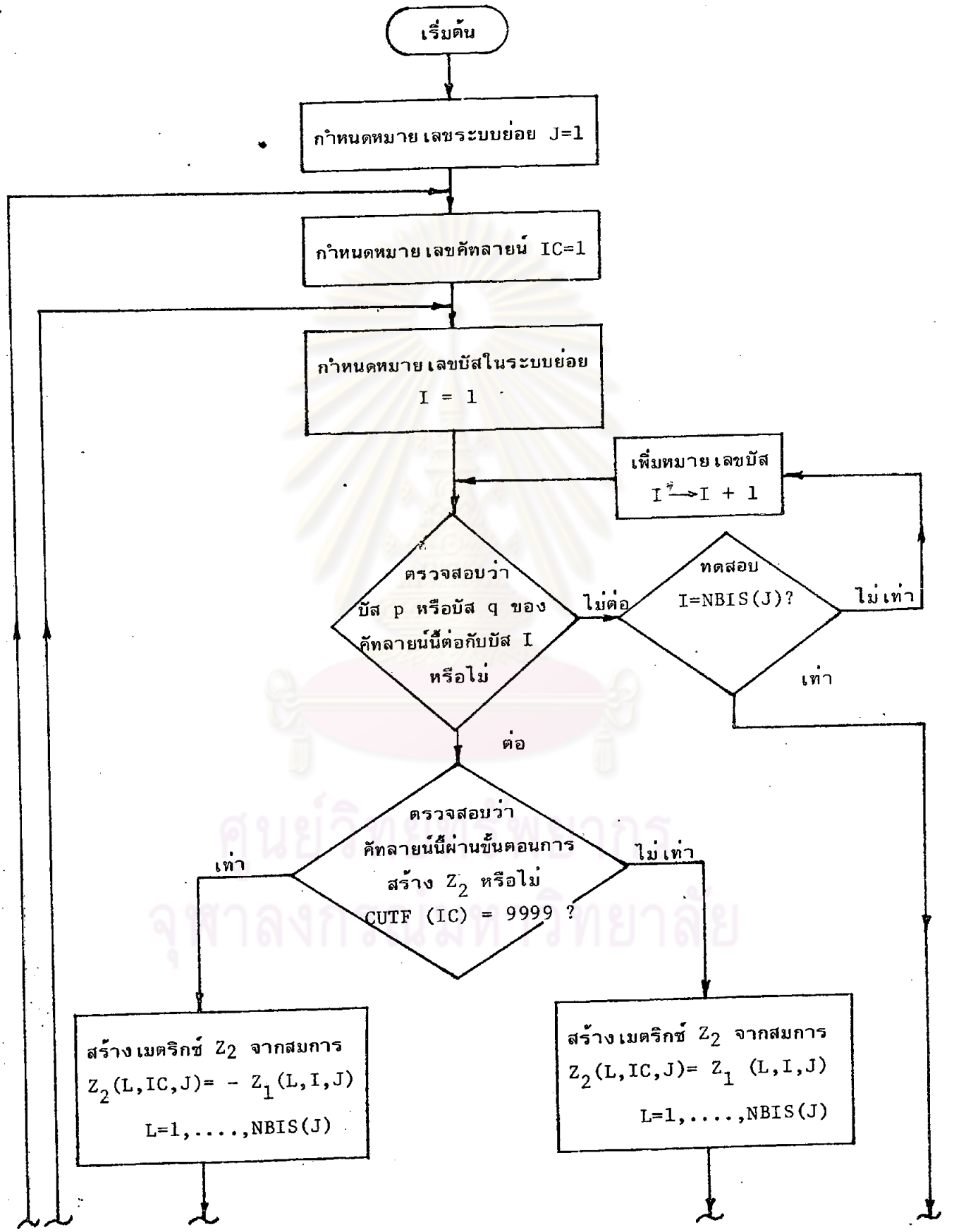
รูปที่ 4.4 โฟลว์ชาร์ตแสดงการจัดเตรียมอิลิเมนท์

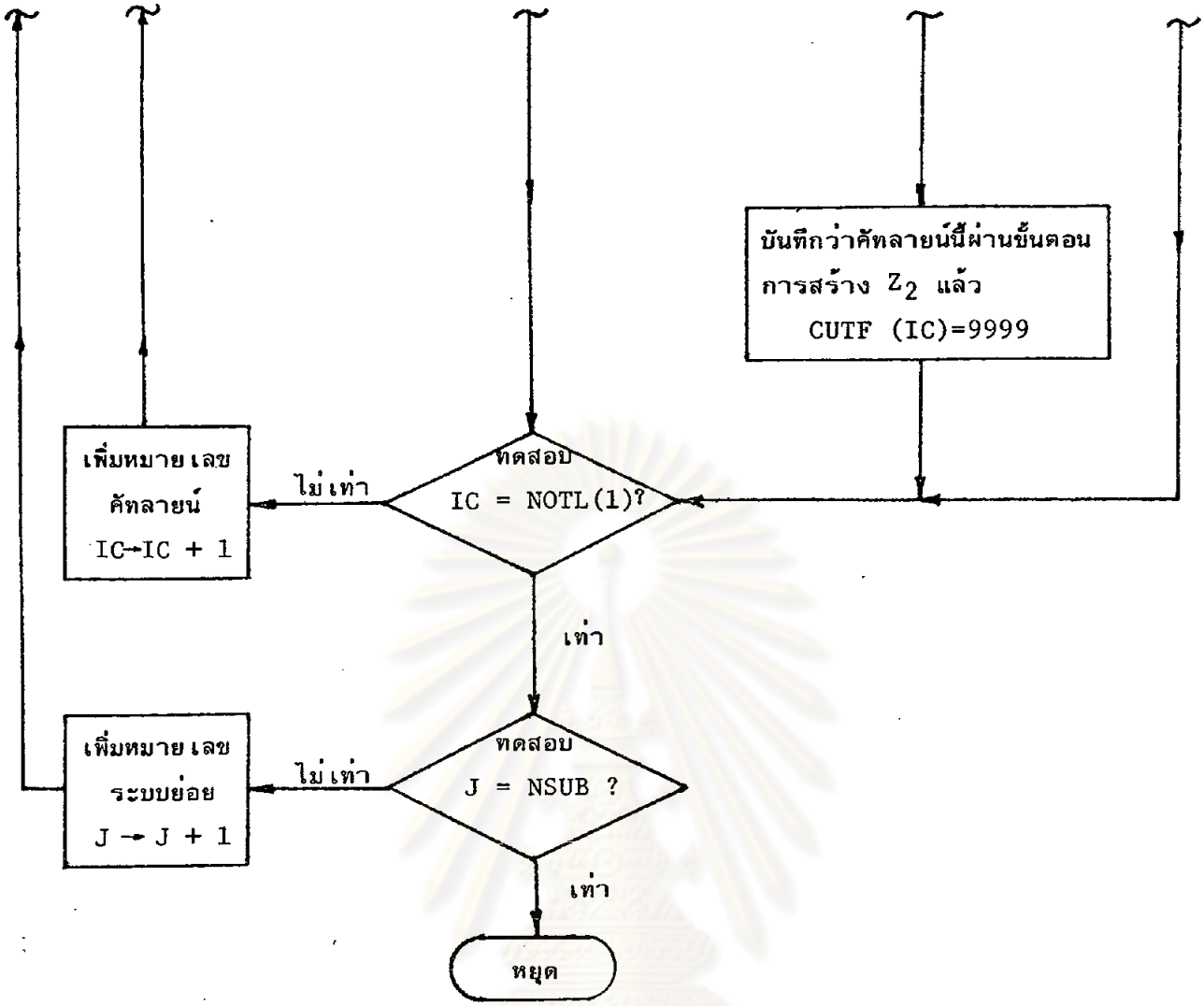

เริ่มต้น
สร้าง Z_1 จากอิลิเมนท์แรกซึ่งมีค่าอิมพิแดนซ์เท่ากับ 1.0+j0.0 pu อิลิเมนท์นี้ต่ออยู่ระหว่างบัส 0 กับบัส 1
บันทึก และนับบัสที่ผ่านการสร้าง Z_1 แล้ว
กำหนดหมายเลขอิลิเมนท์ N = 1
ตรวจสอบว่าอิลิเมนท์นี้ต่อ กับกราวนด์บัส หรือไม่
ต่อ
ไม่ต่อ
ตรวจสอบว่าอิลิเมนท์นี้ เป็นบรานช์ หรือ ลิ้งค์
บรานช์
ลิ้งค์
สร้าง Z_1 จากอิลิเมนท์นี้ ซึ่งเป็นบรานช์ที่ต่อกับกราวนด์บัส
ตรวจสอบว่าอิลิเมนท์นี้ เป็นบรานช์ หรือ ลิ้งค์
บรานช์
ลิ้งค์
สร้าง Z_1 จากอิลิเมนท์นี้ ซึ่งเป็นบรานช์ที่ไม่ต่อกับกราวนด์บัส



รูปที่ 4.5 โฟลว์ชาร์ตแสดงการสร้าง Z_1

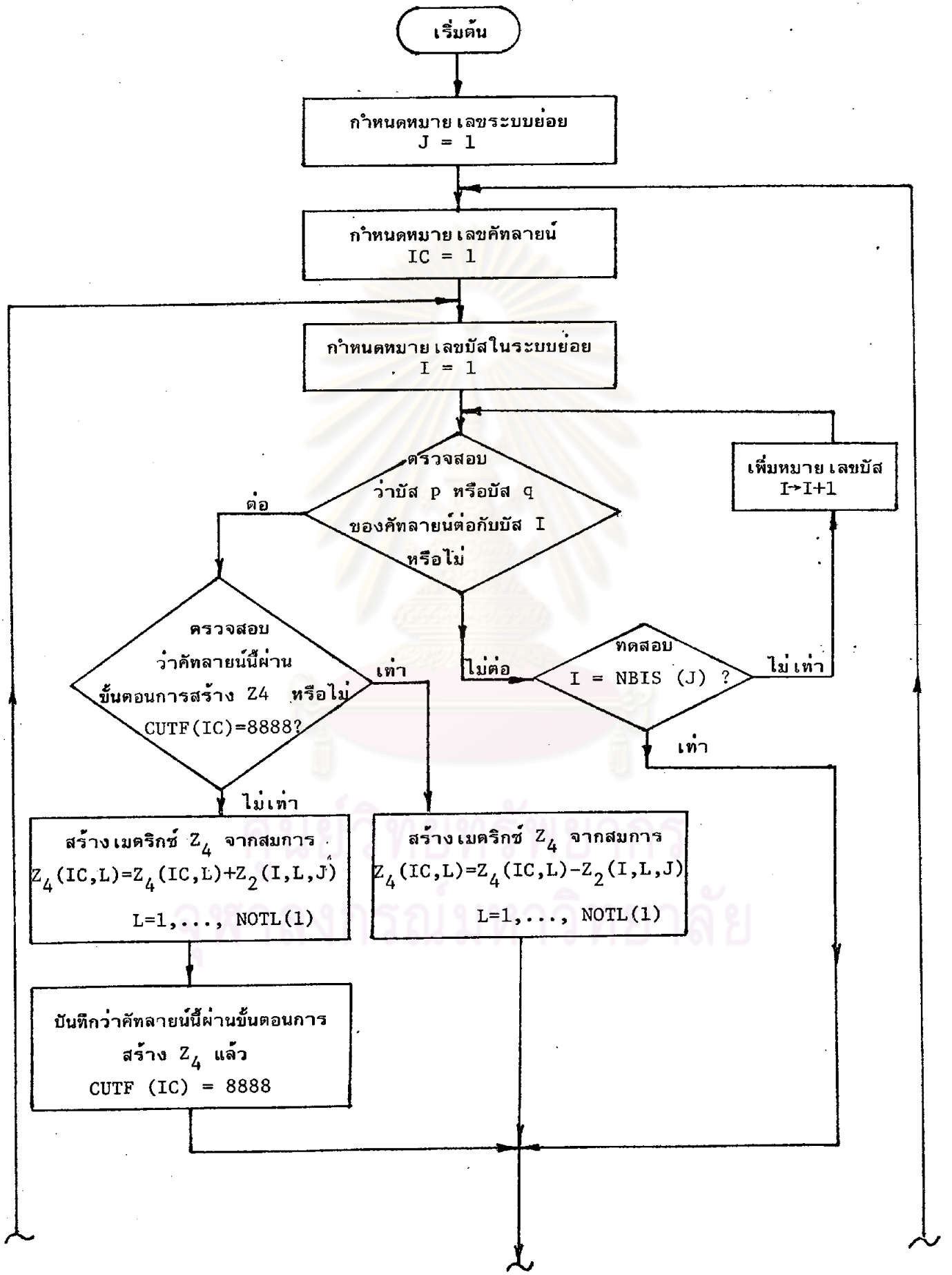
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

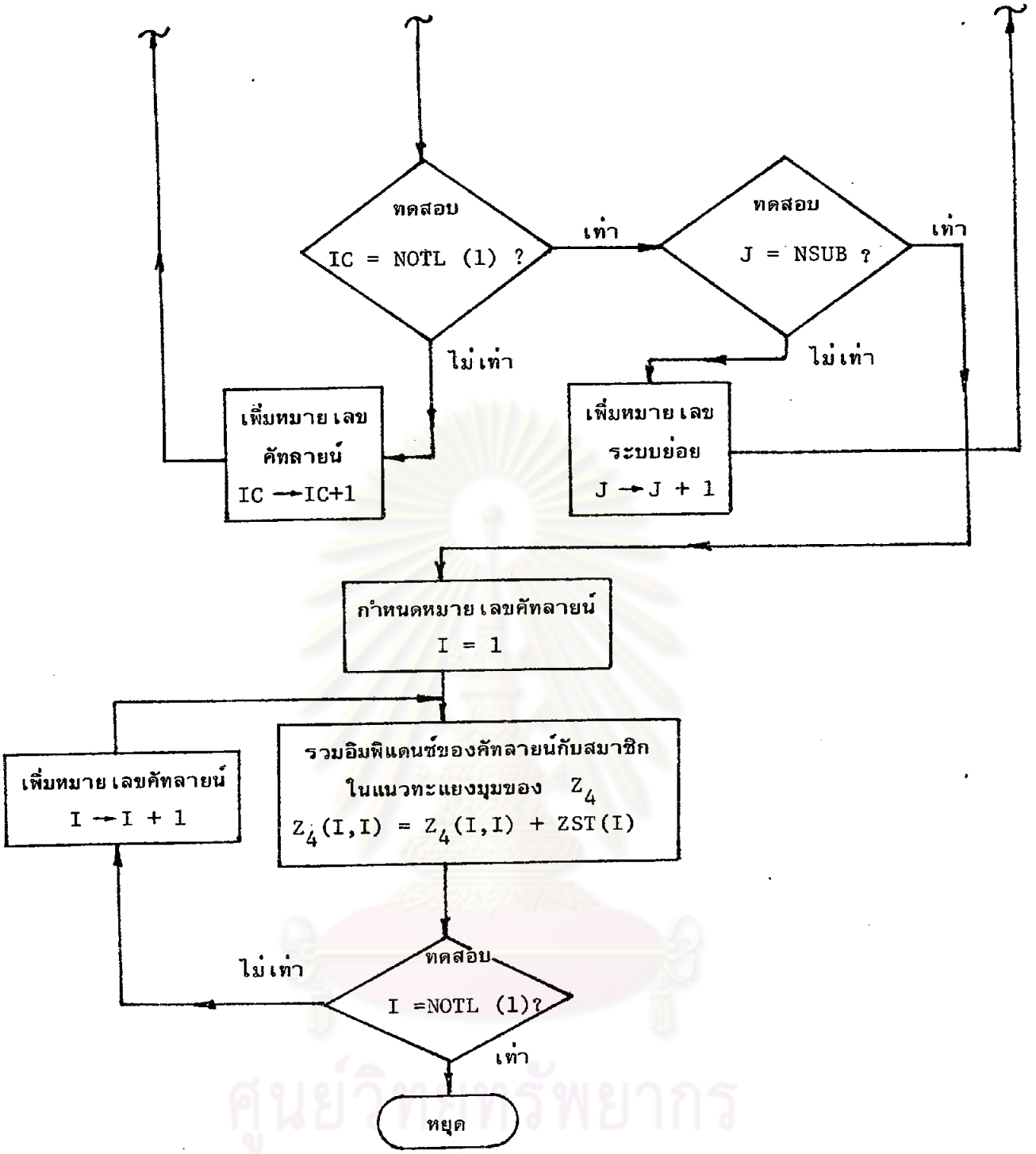

เริ่มต้น
กำหนดหมายเลขระบบย่อย J=1
กำหนดหมายเลขคัทลายน์ IC=1
กำหนดหมายเลขบัสในระบบย่อย
I = 1
เพิ่มหมายเลขบัส
I → I + 1
ตรวจสอบว่า
บัส p หรือบัส q ของ
คัทลายน์นี้ต่อกับบัส I
หรือไม่
ไม่ต่อ
ทดสอบ
I=NBIS(J)?
ไม่เท่า
เท่า
ต่อ
ตรวจสอบว่า
คัทลายน์นี้ผ่านขั้นตอนการ
สร้าง Z_2 หรือไม่
CUTF (IC) = 9999 ?
เท่า
ไม่เท่า
สร้างเมตริกซ์ Z_2 จากสมการ
$Z_2(L,IC,J) = -Z_1(L,I,J)$
L=1,....,NBIS(J)
สร้างเมตริกซ์ Z_2 จากสมการ
$Z_2(L,IC,J) = Z_1(L,I,J)$
L=1,....,NBIS(J)



รูปที่ 4.6 โฟลว์ชาร์ตแสดงการสร้าง Z_2

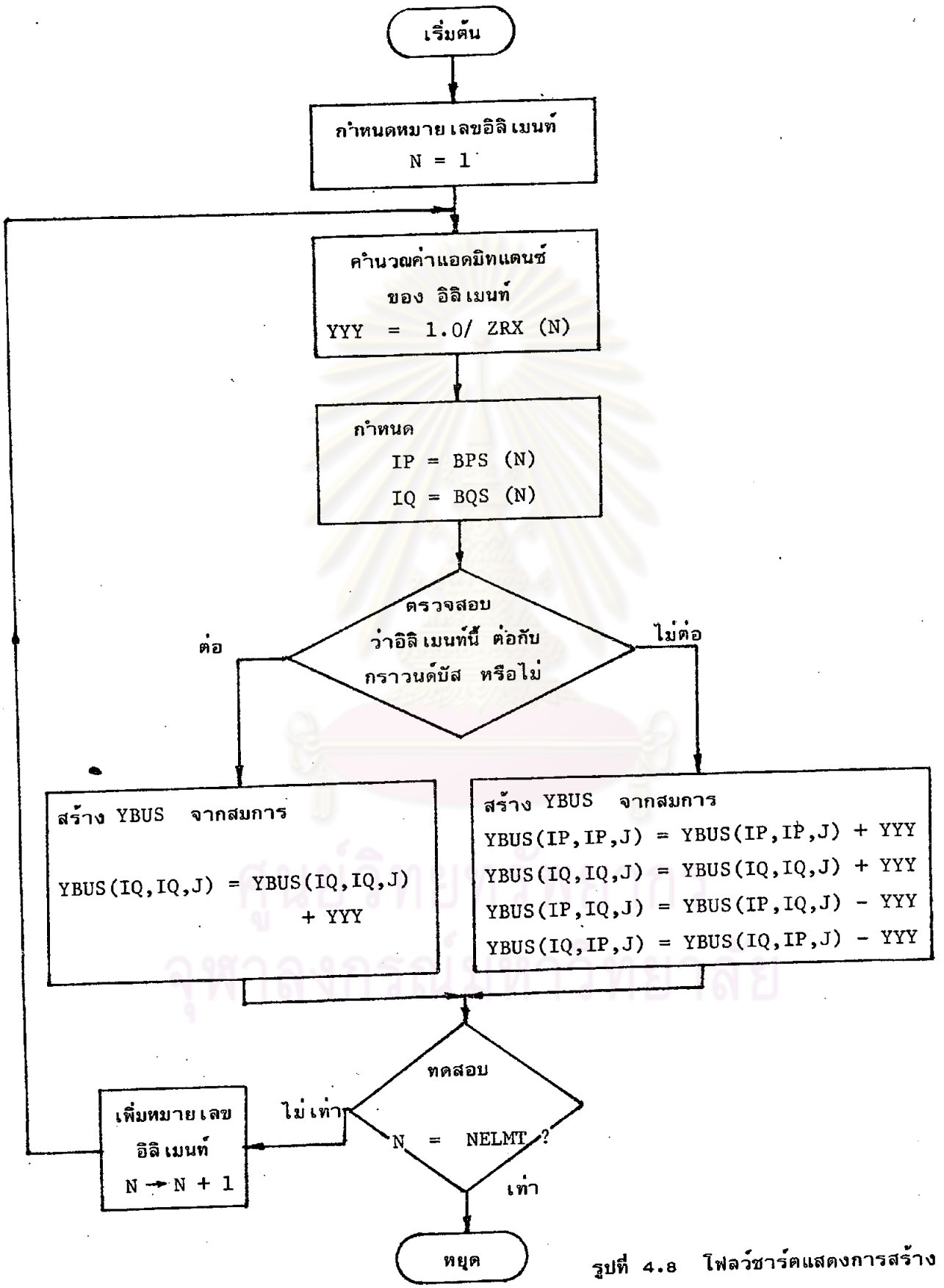
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


เริ่มต้น
กำหนดหมายเลขระบบย่อย
J = 1
กำหนดหมายเลขคัทลายน์
IC = 1
กำหนดหมายเลขบัสในระบบย่อย
I = 1
ตรวจสอบ
ว่าบัส p หรือบัส q
ของคัทลายน์ต่อกับบัส I
หรือไม่
ต่อ
ไม่ต่อ
เพิ่มหมายเลขบัส
I→I+1
ทดสอบ
I = NBIS (J) ?
ไม่เท่า
เท่า
ตรวจสอบ
ว่าคัทลายน์นี้ผ่าน
ขั้นตอนการสร้าง Z4 หรือไม่
CUTF(IC)=8888?
เท่า
ไม่เท่า
สร้างเมตริกซ์ Z_4 จากสมการ
$Z_4(IC,L)=Z_4(IC,L)+Z_2(I,L,J)$
L=1,..., NOTL(1)
สร้างเมตริกซ์ Z_4 จากสมการ
$Z_4(IC,L)=Z_4(IC,L)-Z_2(I,L,J)$
L=1,..., NOTL(1)
บันทึกว่าคัทลายน์นี้ผ่านขั้นตอนการ
สร้าง Z_4 แล้ว
CUTF (IC) = 8888

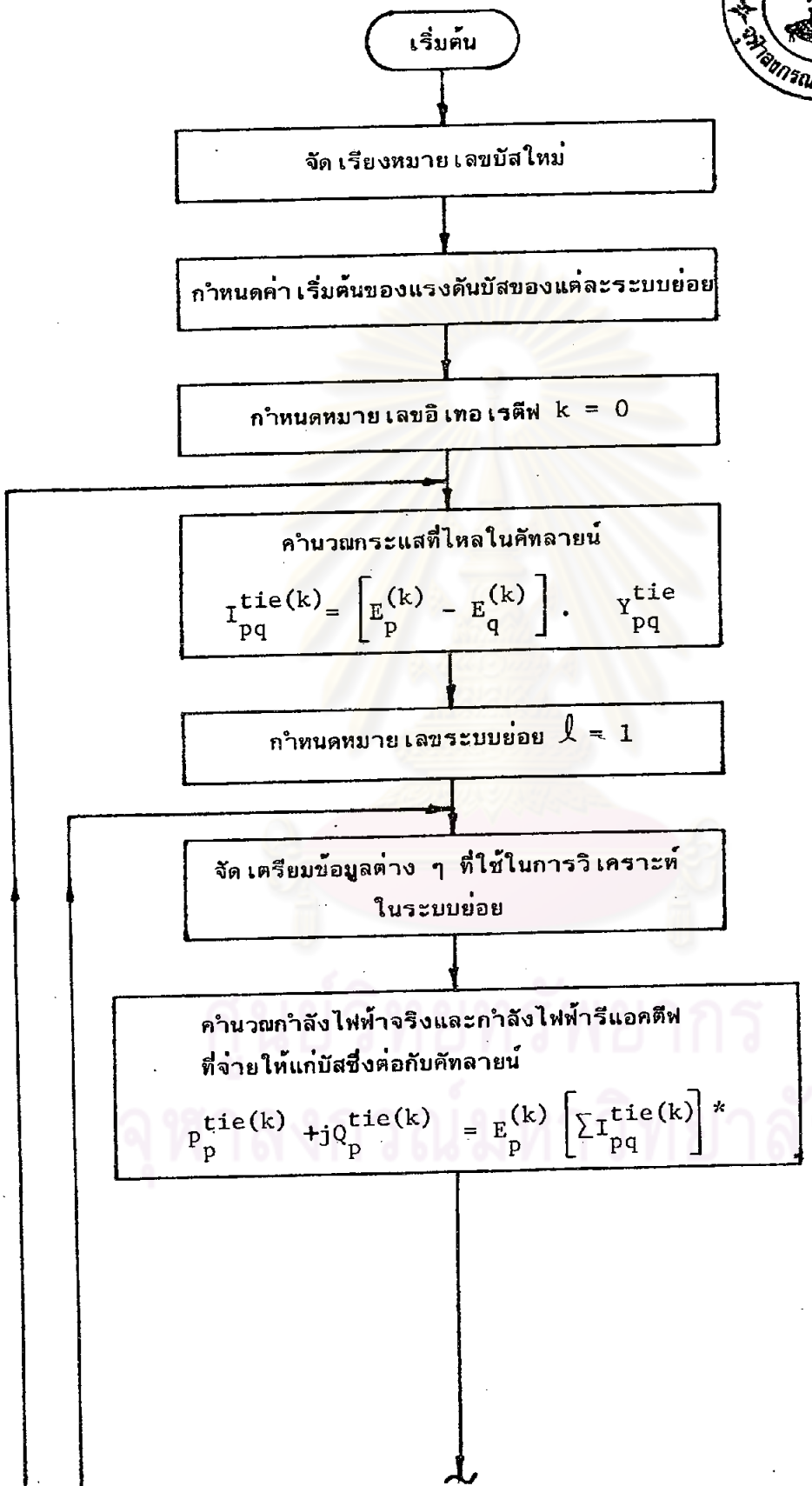


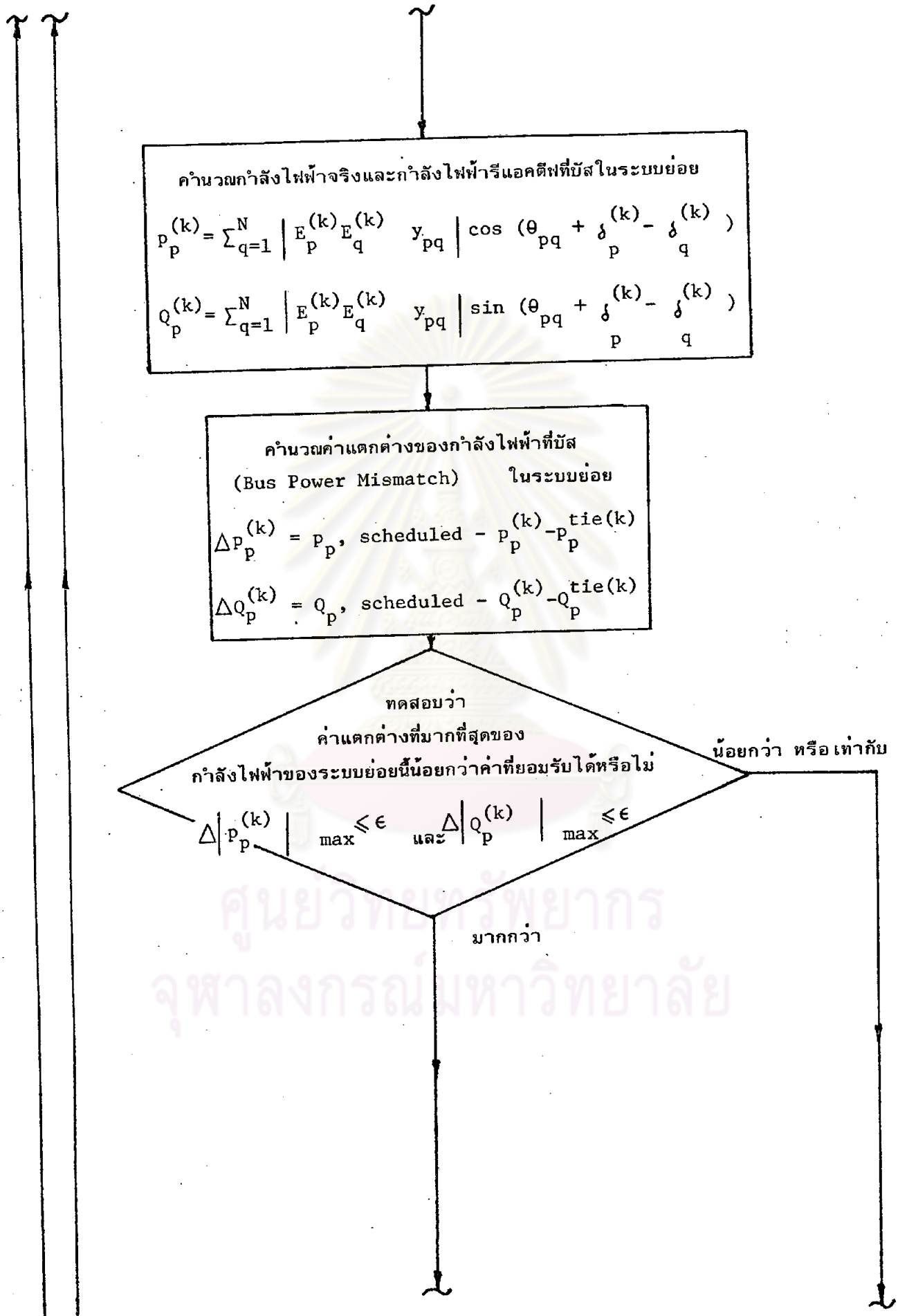
รูปที่ 4.7 โฟลว์ชาร์ตแสดงการสร้าง Z_4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

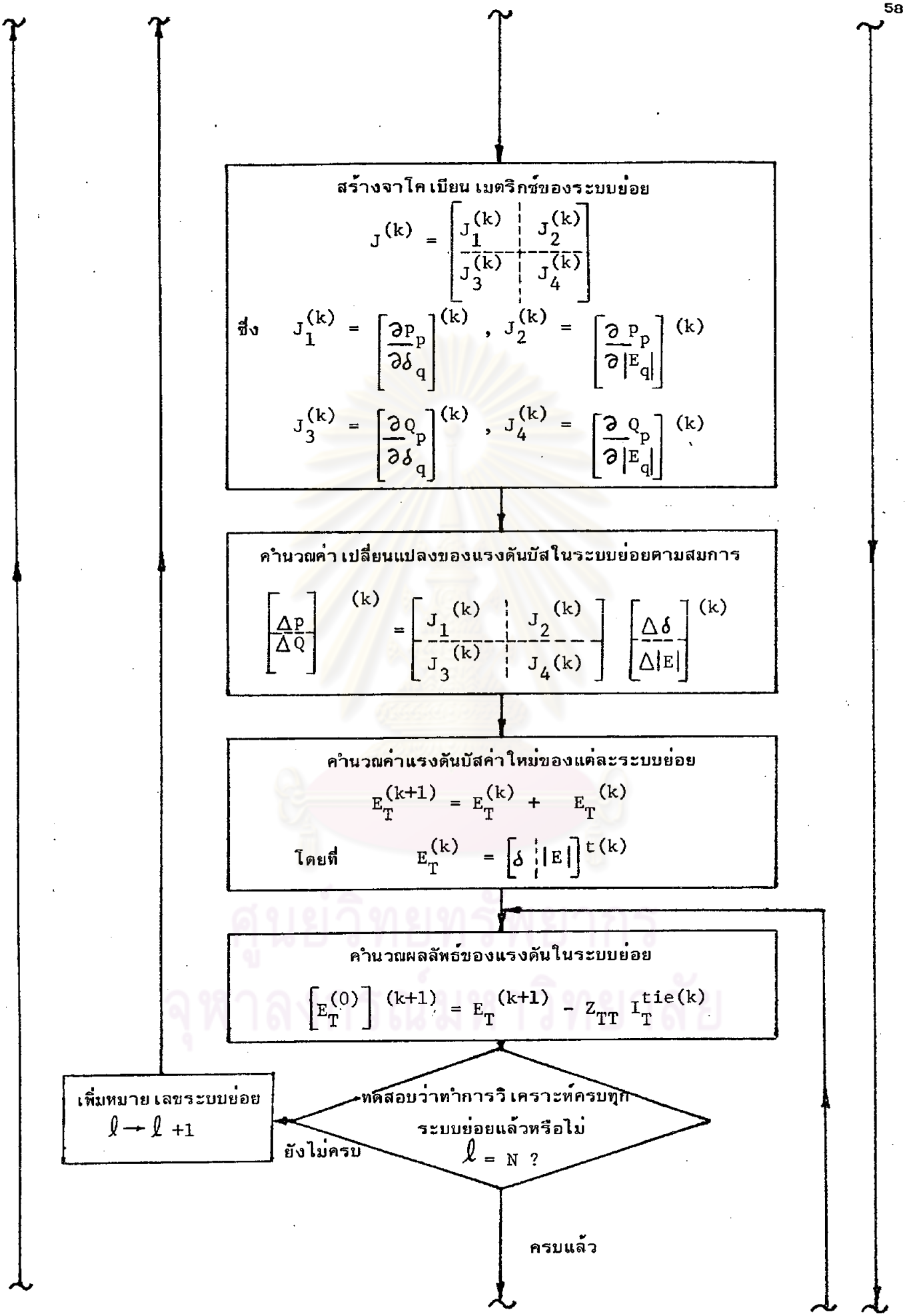


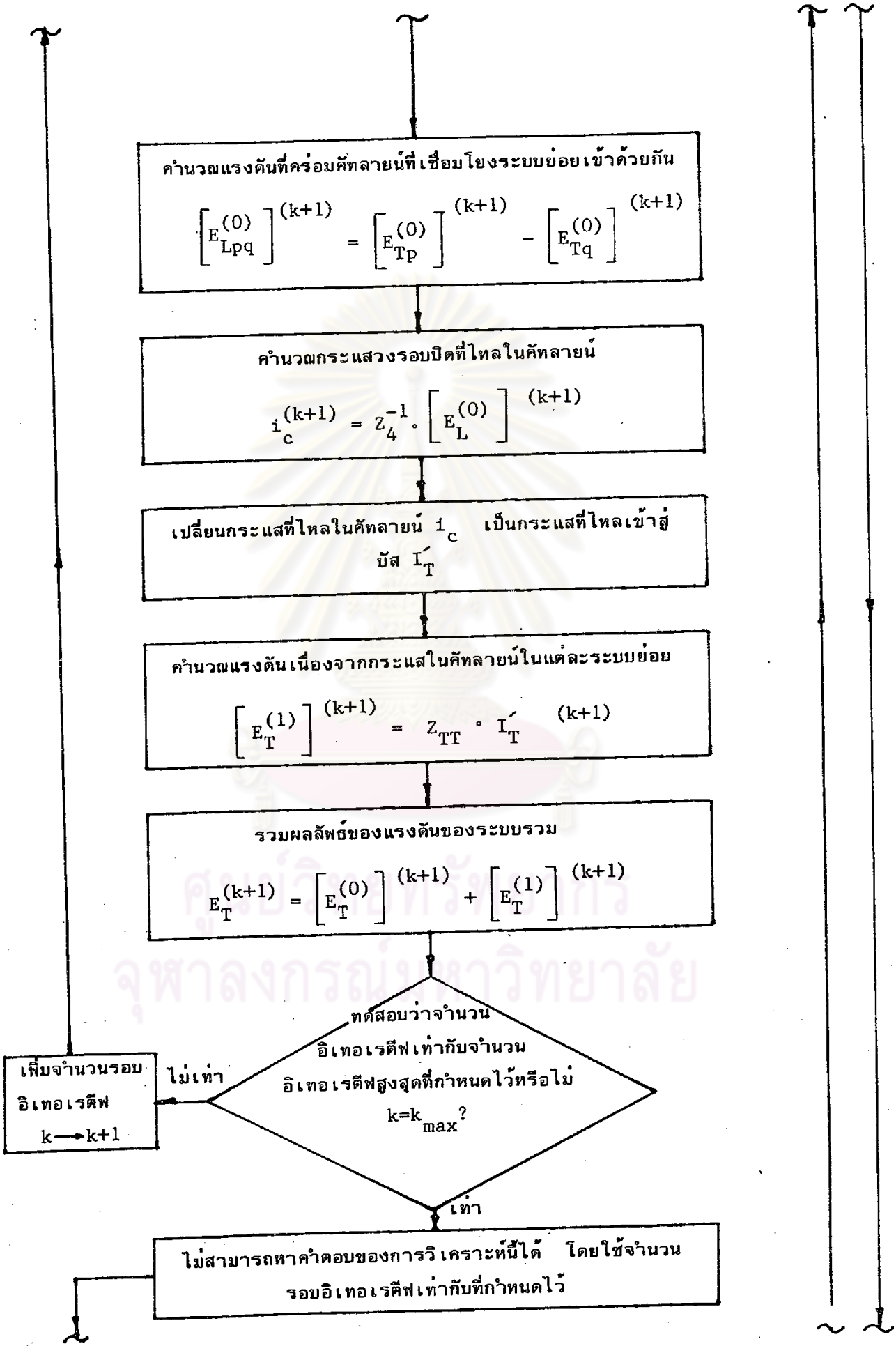
รูปที่ 4.8 โฟลว์ชาร์ตแสดงการสร้าง YBUS

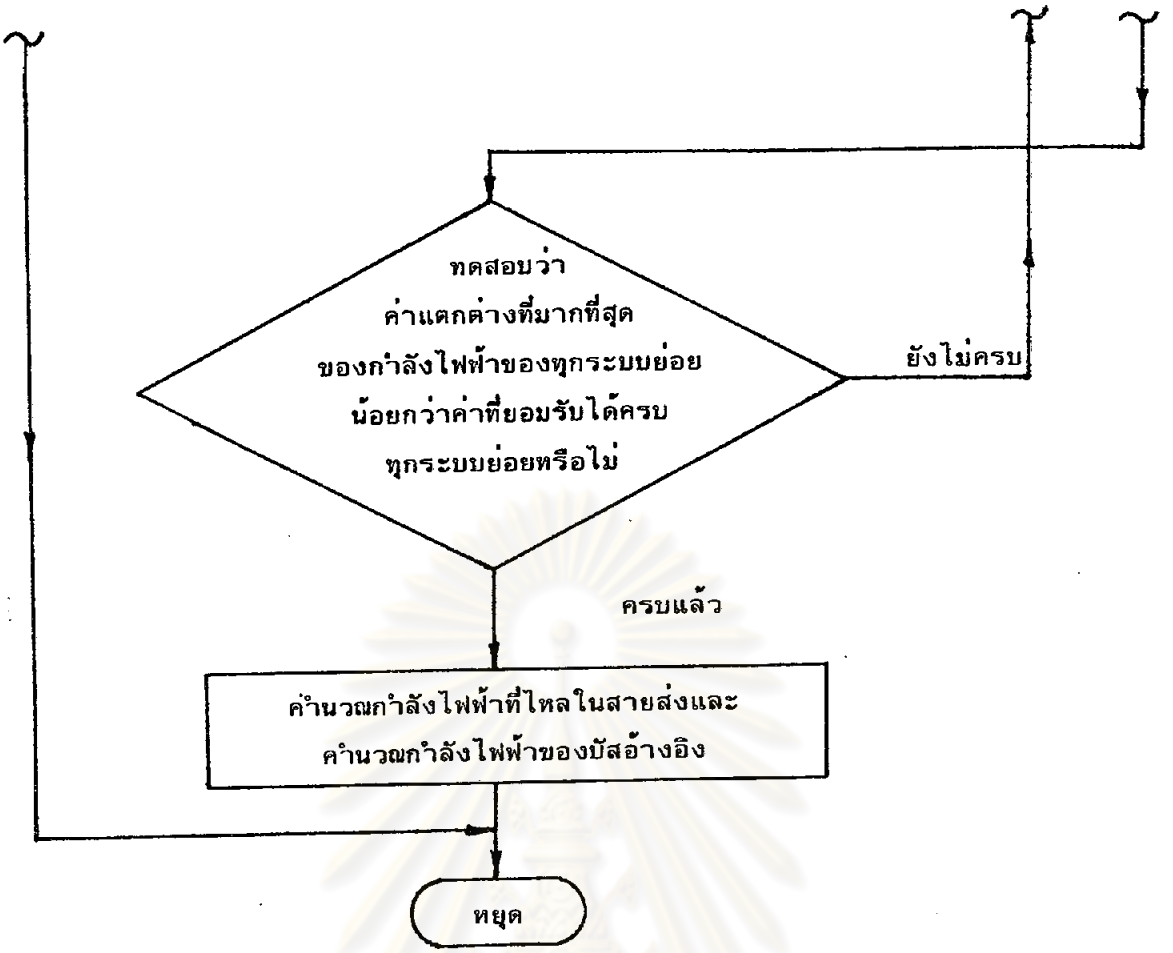

เริ่มต้น
จัดเรียงหมายเลขบัสใหม่
กำหนดค่าเริ่มต้นของแรงดันบัสของแต่ละระบบย่อย
กำหนดหมายเลขอิเทอเรตีฟ k = 0
คำนวณกระแสที่ไหลในคัทลายน์
$I_{pq}^{tie(k)} = \left[E_p^{(k)} - E_q^{(k)}\right] \cdot Y_{pq}^{tie}$
กำหนดหมายเลขระบบย่อย $\ell = 1$
จัดเตรียมข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในระบบย่อย
คำนวณกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟที่จ่ายให้แก่บัสซึ่งต่อกับคัทลายน์
$P_p^{tie(k)} + jQ_p^{tie(k)} = E_p^{(k)} \left[\sum I_{pq}^{tie(k)}\right]^*$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


สร้างจาโคเบียน เมตริกซ์ของระบบย่อย
$J^{(k)} = \begin{bmatrix} J_1^{(k)} & J_2^{(k)} \\ J_3^{(k)} & J_4^{(k)} \end{bmatrix}$
ซึ่ง $J_1^{(k)} = \left[\frac{\partial P_p}{\partial \delta_q}\right]^{(k)}$, $J_2^{(k)} = \left[\frac{\partial P_p}{\partial |E_q|}\right]^{(k)}$
$J_3^{(k)} = \left[\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q}\right]^{(k)}$, $J_4^{(k)} = \left[\frac{\partial Q_p}{\partial |E_q|}\right]^{(k)}$
คำนวณค่าเปลี่ยนแปลงของแรงดันบัสในระบบย่อยตามสมการ
$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}^{(k)} = \begin{bmatrix} J_1^{(k)} & J_2^{(k)} \\ J_3^{(k)} & J_4^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |E| \end{bmatrix}^{(k)}$
คำนวณค่าแรงดันบัสค่าใหม่ของแต่ละระบบย่อย
$E_T^{(k+1)} = E_T^{(k)} + E_T^{(k)}$
โดยที่ $E_T^{(k)} = \left[\delta \vdots |E|\right]^{t(k)}$
คำนวณผลลัพธ์ของแรงดันในระบบย่อย
$\left[E_T^{(0)}\right]^{(k+1)} = E_T^{(k+1)} - Z_{TT}\, I_T^{tie(k)}$
ทดสอบว่าทำการวิเคราะห์ครบทุกระบบย่อยแล้วหรือไม่
$\ell = N$?
ยังไม่ครบ
เพิ่มหมายเลขระบบย่อย
$\ell \rightarrow \ell + 1$
ครบแล้ว


คำนวณแรงดันที่คร่อมคัทลายน์ที่เชื่อมโยงระบบย่อยเข้าด้วยกัน
$\left[E_{Lpq}^{(0)}\right]^{(k+1)} = \left[E_{Tp}^{(0)}\right]^{(k+1)} - \left[E_{Tq}^{(0)}\right]^{(k+1)}$
คำนวณกระแสวงรอบปิดที่ไหลในคัทลายน์
$i_c^{(k+1)} = Z_4^{-1} \circ \left[E_L^{(0)}\right]^{(k+1)}$
เปลี่ยนกระแสที่ไหลในคัทลายน์ i_c เป็นกระแสที่ไหลเข้าสู่บัส I_T'
คำนวณแรงดันเนื่องจากกระแสในคัทลายน์ในแต่ละระบบย่อย
$\left[E_T^{(1)}\right]^{(k+1)} = Z_{TT} \circ I_T'^{(k+1)}$
รวมผลลัพธ์ของแรงดันของระบบรวม
$E_T^{(k+1)} = \left[E_T^{(0)}\right]^{(k+1)} + \left[E_T^{(1)}\right]^{(k+1)}$
ทดสอบว่าจำนวนอิเทอเรตีฟเท่ากับจำนวนอิเทอเรตีฟสูงสุดที่กำหนดไว้หรือไม่
$k=k_{max}$?
ไม่เท่า
เพิ่มจำนวนรอบอิเทอเรตีฟ
$k \rightarrow k+1$
เท่า
ไม่สามารถหาคำตอบของการวิเคราะห์นี้ได้ โดยใช้จำนวนรอบอิเทอเรตีฟเท่ากับที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.9 โฟลว์ชาร์ตการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบนิวตันราฟสันของแต่ละระบบย่อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย