หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 5

## การใช้โปรแกรมและตัวอย่างการวิเคราะห์

### 5.1 การป้อนข้อมูล

โปรแกรมการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังในภาวะทรานเซียนต์ โดยวิธีไดอาคอปติกนี้ ได้เขียนในภาษาฟอร์แทรน 4 (FORTRAN 4) สำหรับใช้กับเครื่องมินิ-คอมพิวเตอร์ PDP-11 ซึ่งติดตั้งที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย มีขนาดหน่วยความจำ 64 กิโลไบท์ รับคำสั่งโดยเทอร์มินอล (Terminal) และอาจแสดงผลทางเทอร์มินอล หรือเครื่องพิมพ์ (Line Printer) และใช้ RT-11 (Real-Time 11) เป็นโปรแกรมจัดระบบงาน (Operating System)

โปรแกรมทั้งหมดได้บันทึกลงในดิสก์ซึ่งจัดเป็นไฟล์ (File) ต่าง ๆ โดยที่โปรแกรมหลัก (Main Program) บันทึกไว้ในไฟล์ชื่อ DIAK ดังนั้นการใช้โปรแกรมเพื่อให้วิเคราะห์ฯ อาจทำได้โดยใช้คำสั่ง

.RUN DY1 : DIAK (RET)

ซึ่งโปรแกรมเริ่มทำงานโดยเรียกโปรแกรมย่อย INPUT ทำหน้าที่รับข้อมูลทั้งหมดจากเทอร์-มินอลแล้วบันทึกลงดิสก์

ข้อมูลทั้งหมดแบ่งเป็น 7 ชุด ประกอบด้วยข้อมูลของ บัส (Bus Data) สายส่ง (Line Data) การแสดงผลของการคำนวณโหลดโฟลว์ (Control Data) เครื่องกำเนิด-ไฟฟ้า (Generator Data) โหลดอินิด นอน-อิมพีแดนซ์ (Non-Impedance Type Lood) การตัดต่อ (Switching) และข้อมูลอื่น (Other Data) ซึ่งแสดงเป็นรายการต่าง ๆ ทางเทอร์มินอลดังนี้

: TRANSIENT STABILITY PROGRAM BY DIAKOPTICAL METHOD :

TYPE THE LINE NUMBER OF THE FOLLOWING LIST TO ENTER DATA

TYPE "0" IF NONE OF DATA BE ENTERED

1, BUS DATA

2, LINE DATA

3, CONTROL DATA

4, GENERATOR DATA

5, NON-IMPEDANCE TYPE LOAD DATA

9! SEQUENCE OF SWITCHING OPERATION

7, OTHER DATA

WHICH DATA TO BE ENTERED ? □

การเลือกป้อนข้อมูลแต่ละชุดทำได้โดยพิมพ์หมายเลขของข้อมูลชุดนั้น และทุกครั้งเครื่องจะถามเพื่อความแน่ใจ เช่น ต้องการป้อนข้อมูลเกี่ยวบัส (Bus Data) หลังจากพิมพ์หมายเลข 1 แล้ว เครื่องจะถามดังนี้

: ENTER BUS DATA : Are you sure ? ( Y or N ) □

ถ้าไม่ต้องการป้อนข้อมูลชุดนี้ให้พิมพ์อักษร N ถ้าต้องการป้อนข้อมูลให้พิมพ์อักษร Y แล้วป้อนข้อมูลตามลำดับจนครบ เสร็จแล้วข้อมูลชุดนี้ถูกบันทึกลงดิสค์ จากนั้นโปรแกรมแสดงรายการเพื่อให้เลือกป้อนข้อมูลชุดอื่น ถ้าไม่ต้องการป้อนข้อมูลชุดใดอีก ให้พิมพ์เลข 0 เพื่อให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์ฯ ต่อไป

ในการป้อนข้อมูลแต่ละชุด เมื่อโปรแกรมแสดงข้อความทางเทอร์มินอลแล้วให้ป้อนข้อมูลหลังข้อความนั้น ซึ่งความหมายของข้อความและการป้อนข้อมูลมีรายละเอียดโดยลำดับดังนี้

5_1_1 ข้อมูลเกี่ยวกับบัส (BUS DATA)

: ENTER THE NUMBER OF BUSES ☐

จำนวนบัส (NOBUS) ทั้งหมดในระบบ ในโปรแกรมนี้เตรียมไว้สูงสุด 40 บัส

: ENTER THE NUMBER OF ZONES ☐

จำนวนโซนที่แบ่ง (NOZONE) ในโปรแกรมนี้เตรียมไว้สูงสุด 4 โซน

: BUS NAME ☐

ชื่อเรียกบัส (BUSNAM) ใช้ได้ทั้งตัวอักษรหรือตัวเลข เขียนได้ยาว 8 หลัก

: BUS NO. ☐

รหัสตัวเลขจำนวนเต็มใช้เป็นเลขประจำบัส (BUS) ซึ่งเป็นเลขอะไรก็ได้ ไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับ

ZONE ☐

รหัสตัวเลขจำนวนเต็ม แสดงโซนของบัส

BUS TYPE ☐

รหัสตัวเลขจำนวนเต็ม 1,2 หรือ 3 แสดงชนิด (TYPE) ของบัส โดยที่บัสชนิดที่ 1,2 และ 3 หมายถึง โหลดบัส (Load Bus) บัสที่ควบคุมแรงดัน (Voltage Control Bus) และบัสอ้างอิง (Reference or Swing Bus) ตามลำดับ

BASE VOLTAGE (KV) ☐

แรงดันฐาน (VOLT) ของบัสนั้น หน่วยที่ใช้เป็นกิโลโวลท์

SPECIFIED VOLTAGE (KV) ☐

แรงดัน (VOLT) ประมาณของบัสชนิดที่ 1 และเป็นแรงดันที่กำหนดของบัสชนิดที่ 2 และ 3 หน่วยที่ใช้เป็นกิโลโวลต์ ถ้าเป็นบัสชนิดที่ 1 ไม่จำเป็นต้องใส่ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้

GENERATED POWER (MW + jMVAR) ☐

กำลังงานไฟฟ้า (GEN) ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้บัส ให้ป้อนเป็นปริมาณเชิงซ้อน (Complex Number) โดยที่กำลังงานจริงเก็บไว้ในส่วนค่าจริง (Real Part) และค่ากำลังงานรีแอคทีฟเก็บไว้ในส่วนจินตภาพ (Imaginary Part) โดยหน่วยที่ใช้เป็นเม็กกะวัตต์ และเม็กกะวาร์ ตามลำดับ

LOAD (MW + jMVAR) ☐

ขนาดของโหลด (LOAD) ที่ต่อกับบัส ให้ป้อนเป็นปริมาณเชิงซ้อนและใช้หน่วยเป็นเม็กกะวัตต์ และเม็กกะวาร์ เช่นเดียวกัน

MAXIMUM VAR (MVAR) ☐

ขีดจำกัดสูงสุดของกำลังงานรีแอคทีฟสำหรับบัสชนิดที่ 2 (VARMAX) หน่วยที่ใช้เป็นเม็กกะวาร์

MINIMUM VAR (MVAR) ☐

ขีดจำกัดต่ำสุดของกำลังงานรีแอคทีฟสำหรับบัสชนิดที่ 2 (VARMIN) หน่วยที่ใช้เป็นเม็กกะวาร์ สำหรับบัสชนิดอื่นไม่จำเป็นต้องป้อนข้อมูลของขีดจำกัดทั้งสองนี้

STATIC VAR (MVAR) ☐

ค่าคาปาซิเตอร์ (Capacitor) หรือรีแอคเตอร์ (Reactor) ซึ่งต่อขนานอยู่ที่บัสและจ่ายกำลังงานเข้าบัส มีหน่วยเป็นเม็กกะวาร์ โดยที่ค่าเมกกะวาร์ของคาปาซิเตอร์ให้มีค่าเป็นบวกและของรีแอคเตอร์ให้มีค่าเป็นลบ

5.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับสายส่ง (Line Data)

: ENTER THE NUMBER OF LINES ☐

จำนวนสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้า โปรแกรมนี้เตรียมไว้สูงสุด 60 เส้น

LINE NO. ☐

รหัสประจำสายส่ง เป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็ม และไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับ

FROM BUS NO, ☐

ตัวเลขประจำบัสที่สายต่ออยู่ ด้านนี้ถือเป็นปลายส่ง (NP)

TO BUS NO, ☐

ตัวเลขประจำบัสที่สายอีกด้านหนึ่งต่ออยู่ซึ่งเป็นปลายรับ (NQ)

IMPEDANCE IN PU, (R + jX) ☐

ค่าอิมพีแดนซ์ของสาย (ZPRI) ป้อนค่าเป็นปริมาณเชิงซ้อน และใช้หน่วยเป็นค่าต่อหน่วย (Per Unit)

Y SHUNT IN PU, ☐

ค่าซัสเซพแทนซ์ (Susceptance) เนื่องจากสายน้ำประจุจริง (Line Charging) ตลอดสายส่ง (BC) เป็นค่าต่อหน่วย

TRANSFORMER RATIO ☐

อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้า (T) เป็นค่าต่อหน่วย สำหรับข้อมูลที่เป็นสายส่ง ไม่ต้องใส่ค่านี้

5.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับการแสดงผลของการคำนวณโหลดโฟลว์และข้อมูลอื่น ๆ

ACCELERATION FACTOR ☐

ตัวเร่ง (ACC) ในการคำนวณโหลดโฟลว์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เร็วขึ้น โดยทั่วไปมีค่ามากกว่า 1 และจากการทดลองสำหรับโปรแกรมนี้ค่า 1.0 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

MAXIMUM ITERATION ☐

ยึดจำกัดจำนวนรอบสูงสุดที่ทำอิเทอเรชัน (MAXITE) ถ้าเกินค่านี้แล้วให้โปรแกรมหยุดทำงาน

BASE MVA ☐

ค่าเอ็มวีเอฐาน (BASMVA) ที่ใช้ในการคำนวณในระบบไฟฟ้ากำลัง

TOLERANCES ☐

ค่าที่ใช้เปรียบเทียบกับกระแสล่วงบัสที่เปลี่ยนไปในหนึ่งรอบของการทำอิเทอเรชัน (TOR) ค่านี้ยิ่งเล็กจะทำให้ผลลัพธ์มีความเที่ยงตรงยิ่งขึ้น แต่จำนวนการทำอิเทอเรชันมากขึ้น ค่าที่เหมาะสมสำหรับโปรแกรมนี้อยู่ระหว่าง 0.0001 ถึง 0.001

OPTION (1) ☐

ระหัสควบคุมเป็นเลขจำนวนเต็ม 1 หลัก ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะสั่งพิมพ์ข้อมูลเกี่ยวกับบัส

OPTION (2) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะสั่งพิมพ์ข้อมูลเกี่ยวกับสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้า

OPTION (3) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ข้อมูลของคัทสายน์

OPTION (4) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ค่าสายและสายส่วนมูลย์ หลังจากแปลงโอห์มแล้ว

OPTION (5) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ค่า $Z_1$

OPTION (6) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ค่า $Z_2$

OPTION (7) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ค่า $Z_4$

OPTION (8) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ค่า $Y_4$

OPTION (9) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ค่าผลลัพธ์ซึ่งบอกจำนวนโซน จำนวนบัส และลายในแต่ละโซน จำนวนศักลายน์ และกระแสที่เปลี่ยนแปลงในสวิงบัสแต่ละรอบของการทำอิเทอเรชัน

OPTION (10) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ผลลัพธ์เกี่ยวกับบัส

OPTION (11) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ผลลัพธ์เกี่ยวกับพลังไฟฟ้าไหลในสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้า ค่าลายน์ยาร์จริง และพลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งและในหม้อแปลงไฟฟ้า

OPTION (12) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ผลสรุปของการคำนวณโหลดโฟลว์

OPTION (13) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ผลลัพธ์แบบเว้นบรรทัด

OPTION (14) ☐

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โปรแกรมจะพิมพ์ค่า $E_T$, $E_T^{(0)}$, $I_T$, $I_T'$, $e_c$, $i_c$ ไว้ทุกขั้นตอนในระหว่างทำอิเทอเรชัน

PRINT RESULT ON LINE PRINTER (Y or N) ☐

ถ้าต้องการพิมพ์ผลทางเครื่องพิมพ์ให้พิมพ์อักษร Y

5.1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

: ENTER THE NUMBER OF GENERATORS ☐

จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด (NGEN) โปรแกรมนี้เตรียมไว้สูงสุด 20 เครื่อง

GENERATOR NUMBER ☐

หมายเลขประจำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (IMGN) เป็นเลขจำนวนเต็ม และไม่จำเป็นต้องเรียงลำดับ

CONNECTED AT BUS ☐

ป้อนหมายเลขบัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนั้นต่ออยู่ (BGEN)

DIRECT-AXIS SYNCHRONOUS REACTANCE (XD) ☐

ค่า $X_d$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (XDI) เป็นค่าต่อหน่วย

QUADRATURE - AXIS REACTANCE (XQ) ☐

ค่า $X_q$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (XQI) เป็นค่าต่อหน่วย

TRANSIENT REACTANCE (XDP) ☐

ค่า $X'_d$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (XDPI) เป็นค่าต่อหน่วย

ถ้าไม่คิดผลของ Saliency ให้ป้อน $X'_d = X_q$

H CONSTANT ☐

ค่าคงที่ความเฉื่อยของเครื่องจักร (HI)

OPEN-CIRCUIT FIELD TIME CONSTANT (TO) ☐

ค่าคงตัวเวลาของวงจรสนามแม่เหล็กเมื่อวงจรอาร์เมเจอร์เปิดวงจร (TOI) ที่หน่วยเป็นวินาที

EXCITATION SYSTEM TIME CONSTANT (TE) ☐

ค่าคงตัวเวลาของระบบเอกไซเตชัน (TEI) มีหน่วยเป็นวินาที

GAIN OF REGULATOR-EXCITATION (MU) ☐

อัตราขยายของระบบเอกไซเตชันทั้งหมด (MUI)

CONTROL SYSTEM TIME CONSTANT (TC) ☐

ค่าคงตัวเวลาของระบบควบคุมโกวเวอร์เนอร์ (TCI) มีหน่วยเป็นวินาที

STEAM SYSTEM TIME CONSTANT (TS) ☐

ค่าคงตัวเวลาของระบบไอน้ำ (TSI) มีหน่วยเป็นวินาที

SPEED REGULATION (R) ☐

ค่า Speed Regulation ของโกวเวอร์เนอร์ (RI) ซึ่งเป็นค่าต่อหน่วย และมีค่าเป็นลบ ถ้าไม่คิดผลของโกวเวอร์เนอร์ ให้ป้อนค่า 0

MAXIMUM MECHANICAL POWER ☐

ค่ากำลังงานกลของสูงสุดที่กำหนด (PMAXI) เป็นค่าต่อหน่วย

CEILING EXCITATION VOLTAGE (EFMAX) ☐

ค่าแรงดันสูงสุดของระบบเอกไซเตชัน (EFMAXI) เป็นค่าต่อหน่วย

MINIMUM EXCITATION VOLTAGE (EFMIN) ☐

ค่าแรงดันต่ำสุดของระบบเอกไซเตชัน (EFMINI) เป็นค่าต่อหน่วย

5.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับโหลดบัส นอน-อิมพีแดนซ์

: ENTER THE NUMBER OF NON-IMPEDANCE TYPE LOADS ☐

จำนวนโหลดบัส นอน-อิมพีแดนซ์ (NLBUS)

BUS NO. ☐

หมายเลขบัสที่มีโหลดบัส นอน-อิมพีแดนซ์ต่ออยู่ (LBUS)

CONSTANT IMPEDANCE LOAD (PZ + jQZ) ☐

ค่าของโหลดบัสอิมพีแดนซ์คงที่ (ROD1) ที่ต่ออยู่ที่บัสนั้น เป็นปริมาณเชิงซ้อน

CONSTANT CURRENT LOAD (PI + jQI) ☐

ค่าของโหลดบัสกระแสคงที่ (ROD2) ที่ต่ออยู่ที่บัสนั้น เป็นปริมาณเชิงซ้อน

CONSTANT MVA LOAD (PKVA+jQKVA) ☐

ค่าของโหลดบัสกำลังงานคงที่ (ROD3) ที่ต่ออยู่ที่บัสนั้น เป็นปริมาณเชิงซ้อน

5.1.6 ข้อมูลเกี่ยวกับการตัดต่อ (Switching) และการแสดงกราฟ

ENTER THE NUMBER OF SWITCHING OPERATIONS ☐

ป้อนจำนวนครั้งของการตัดต่อ (NST) ซึ่งไม่เกิน 3 ครั้ง

AT TIME T = ☐

ป้อนเวลาที่เกิดการตัดต่อ (รวมทั้งการลัดวงจรที่เวลา T=0 ด้วย)

LINE OPENED, LINE NO. ☐

หมายเลขของสายส่งที่ถูกตัดออกจากระบบ ที่เวลาดังกล่าว

LINE CLOSED, LINE NO. ☐

หมายเลขของสายส่งที่ถูกต่อกลับเข้าระบบ ที่เวลาดังกล่าว

ENTER THE NUMBER OF BUSES CONNECTED BY SWITCHING LINE ☐

ป้อนจำนวนบัสที่ต่อกับสายที่เกิดการตัดต่อ (NOMT)

BUS NO. ☐

หมายเลขบัสที่ต่อกับสายที่เกิดการตัดต่อ (IMET)

ENTER THE NUMBER OF CURVE TO BE PLOTED ☐

จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องการให้แสดงกราฟ ครั้งละไม่เกิน 5 เครื่อง

GENERATOR TO BE PLOTED, GEN NO. ☐

หมายเลขของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องการให้แสดงกราฟ

TIME SCALE ( 1.0 or 2.0 or 3.0 ) ☐

เลือกสเกลของเวลา ซึ่งมีค่า 1.0, 2.0 หรือ 3.0 ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ต้องการวิเคราะห์

VERTICAL SCALE ( 1.0 or 2.0 ) ☐

เลือกสเกลทางแกนตั้งซึ่งแสดงตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์ ( $\delta$ ) ถ้าเลือกค่า 1.0 จะแสดงค่ามุมช่วงละ 20 องศา ถ้าเลือกค่า 2.0 จะแสดงค่ามุมช่วงละ 40 องศา

5.1.7 ข้อมูลอื่น ๆ

SYSTEM FREQUENCY ($H_Z$) ☐

ความถี่ของระบบ (F)

TIME STEP (SEC) ☐

ขนาดของช่วงเวลาในแต่ละขั้นของการวิเคราะห์ (DT)

FAULT CLEARED AT TIME ☐

เวลาที่ความผิดปกติได้แก้ไขเรียบร้อยแล้ว (TCF)

END OF CASE AT TIME ☐

ระยะเวลาของการวิเคราะห์ (TSTOP)

TOLERANCES OF LOOP 1 ☐

ค่าความผิดพลาดในการตรวจสอบการเข้าหาคำตอบของวงรอบที่ 1 (NETA)

TOLERANCES OF LOOP 2 ☐

ค่าความผิดพลาดในการตรวจสอบการเข้าหาคำตอบของวงรอบที่ 2 (EPLON)

TOLERANCES OF LOOP 3 ☐

ค่าความผิดพลาดในการตรวจสอบการเข้าหาคำตอบของวงรอบที่ 3 (OMGA)

FAULT AT BUS ☐

หมายเลขบัสที่เกิดลัดวงจร

MONITOR

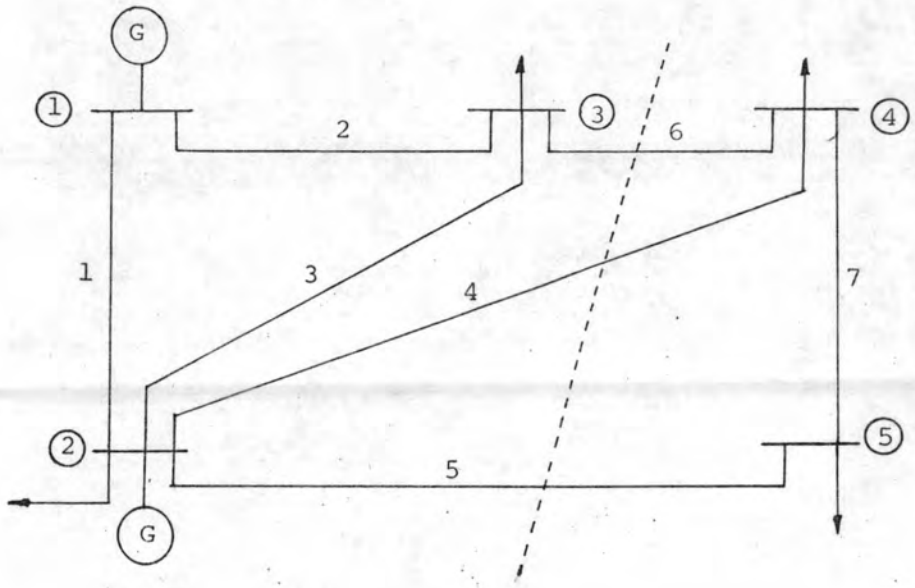
ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ จะแสดงผลการคำนวณในแต่ละวงรอบ

MONITOR 1

ถ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ จะแสดงผลการคำนวณในแต่ละช่วงเวลา

## 5.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์

ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เสถียรภาพนี้ ได้นำมาจากหนังสือ Computer Methods in Power System Analysis ซึ่งเขียนโดย Stagg และ El-Abiad[10] เป็นตัวอย่างของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็ก ซึ่งมี 5 บัส และสายส่ง 7 เส้น ดังแสดงในรูปที่ 5.1 บัสที่ 1 และ 2 เป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ และเลือกบัส 1 เป็นสวิงบัส บัสที่ 2,3,4 และ 5 เป็นบัสของโหลด การวิเคราะห์นี้ได้แบ่งระบบออกเป็น 2 โซน ให้บัสที่ 1,2 และ 3 อยู่ในโซนที่ 1 และบัสที่ 4 และ 5 อยู่ในโซนที่ 2 โดยมีสายส่งเส้นที่ 4,5 และ 6 เป็นคัทลายน์ การเลือกตัวอย่างนี้มาวิเคราะห์ก็เพื่อให้ง่ายต่อการติดตามการคำนวณของโปรแกรม และสามารถตรวจสอบผลลัพธ์ได้




รูปที่ 5.1 ตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลังที่นำมาวิเคราะห์เสถียรภาพ

การวิเคราะห์ในที่นี้แบ่งเป็น 2 กรณี ในกรณี (ก) ได้คิดผลของ Saliency โวลเตจเรกูเลเตอร์ และโกเวเวอร์เนอร์ โดยที่โหลดที่บัส 3 และบัส 5 มีโหลดชนิด นอน-อิมพีแดนซ์ต่ออยู่ และในในกรณี (ข) ซึ่งไม่คิดผลดังกล่าวและแทนโหลดทั้งหมดเป็นชนิดอิมพีแดนซ์คงที่

การวิเคราะห์ทั้ง 2 กรณีเพื่อต้องการศึกษาเสถียรภาพในภาวะทรานเซียนต์เมื่อเกิดสัตวงจรที่บัส 2 เป็นเวลา 0.1 วินาที และไม่มีการตัดต่อของสายส่งเส้นใด การวิเคราะห์นี้ใช้ค่าความผิดพลาด (Tolerance) ในการคำนวณโหลดโฟลว์เท่ากับ 0,0001 และค่าตัวเร่งเท่ากับ 1.0 ส่วนการคำนวณเสถียรภาพนั้นใช้ค่าความผิดพลาดในวงรอบที่ 1,2 และ 3 เท่ากับ 0.001 ใช้ช่วงระยะเวลา (Time Step) เท่ากับ 0.02 วินาที และช่วงเวลาการวิเคราะห์ 1 วินาที ความถี่ของระบบ 60 $H_z$

การทำงานของโปรแกรมและการแสดงผลอาจแบ่งเป็นขั้นตอนตามลำดับดังนี้

1. โปรแกรมอ่านข้อมูลที่ใช้คำนวณโหลดโฟลว์ แล้วแสดงข้อมูลของบัส สายส่ง และคัทสายน์ ตามที่แสดงในตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 ตามลำดับ
2. โปรแกรมคำนวณเมตริกซ์ $Z_1$, $Z_2$, $Z_4$ และ $Y_4$ ตามที่แสดงในตารางที่ 5.3 ตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.5 ตามลำดับ
3. คำนวณแรงดันที่บัสต่าง ๆ ก่อนเกิดความผิดปกติในระบบ ตามที่แสดงในตารางที่ 5.6
4. อ่านข้อมูลที่ใช้คำนวณเสถียรภาพของระบบ แล้วแสดงข้อมูลของการตัดต่อและการแสดงกราฟ ตามที่แสดงในตารางที่ 5.7 ถ้าแทนโหลดของระบบเป็นอินฟินิต นอน-อิมพีแดนซ์ เช่นในกรณี ก. โปรแกรมจะแสดงข้อมูลของโหลดดังกล่าว ตามที่แสดงในตารางที่ 5.8 และแสดงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังที่แสดงในตารางที่ 5.9 และตารางที่ 5.10 สำหรับกรณี (ก) และกรณี (ข) ตามลำดับ
5. ปรับปรุงเมตริกซ์ $Z_1$ ที่เวลา t = 0.0 วินาที แล้วคำนวณ $Z_2$, $Z_4$ และ $Y_4$ ใหม่ ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 5.11 ตารางที่ 5.12 และ ตารางที่ 5.13 ตามลำดับสำหรับในกรณี (ก) และตารางที่ 5.14 ตารางที่ 5.15 และตารางที่ 5.16 ตามลำดับ สำหรับในกรณี (ข) จากนั้นคำนวณเสถียรภาพของระบบถึงเวลา 0.1 วินาที ซึ่งแก้ไขความผิดปกติเรียบร้อยแล้ว (Fault cleared) และโปรแกรมทำการตรวจสอบ แต่ในการวิเคราะห์ทั้งสองกรณีนี้ไม่มีสายส่งถูกตัดออกจากระบบ ดังนั้นเมตริกซ์

$Z_1$, $Z_2$, $Z_4$ และ $Y_4$ ที่เวลาดังกล่าวจึงมีค่าคงเดิม ดังที่แสดงในตารางที่ 5.17 ตารางที่ 5.18 และตารางที่ 5.19 สำหรับกรณี (ก) และตารางที่ 5.20 ตารางที่ 5.21 และตารางที่ 5.22 สำหรับในกรณี (ข) แล้วคำนวณต่อไปจนถึงที่เวลา 1 วินาทีซึ่งสิ้นสุดการวิเคราะห์ เสร็จแล้วแสดงกราฟของตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์และความเร็วเชิงมุม ดังที่แสดงในรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 สำหรับกรณี (ก) และรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 สำหรับกรณี (ข)

จากผลการวิเคราะห์ในกรณี (ข) นั้น ระบบมีเสถียรภาพในภาวะทรานเซียนต์ (System Stable) ซึ่งได้ผลตรงตามตัวอย่างในเอกสารอ้างอิง[10] และในกรณี (ก) จะเห็นว่าผลของโวลเตจเรกูเลเตอร์ จะทำให้ลดการแกว่งช่วงแรก (First Swing) และระบบถูกดึงกลับเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยเร็ว[1] นอกจากนี้โหลดยนิตกำลังงานคงที่ยังทำหน้าที่หน่วง (Damping) ให้ระบบอีกด้วย[9] นั่นคือในกรณี (ก) จึงมีเสถียรภาพในภาวะทรานเซียนต์ดีกว่ากรณี (ข)

BUS INPUT DATA

| BUS NO. | ZONE | TYPE | VOLT | GENERATION | | MVAR LIMIT | | LOAD | | SHUNT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | MW | MVAR | MAX | MIN | MW | MVAR | CAPACITOR |
| 1 | 1 | 3 | 1.060 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 1 | 1 | 1.000 | 40.00 | 30.00 | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 10.00 | 0.00 |
| 3 | 1 | 1 | 1.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 45.00 | 15.00 | 0.00 |
| 4 | 2 | 1 | 1.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 40.00 | 5.00 | 0.00 |
| 5 | 2 | 1 | 1.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 60.00 | 10.00 | 0.00 |

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลของบัส

LINE LIST

| LINE NO. | BUS P | BUS Q | IMPEDANCE R | IMPEDANCE X | Y SHUNT | TRANFS. RATIO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 2 | 0.0200 | 0.0600 | 0.0600 | 1.000 |
| 2 | 1 | 3 | 0.0800 | 0.2400 | 0.0500 | 1.000 |
| 3 | 2 | 3 | 0.0600 | 0.1800 | 0.0400 | 1.000 |
| 4 | 2 | 4 | 0.0600 | 0.1800 | 0.0400 | 1.000 |
| 5 | 2 | 5 | 0.0400 | 0.1200 | 0.0300 | 1.000 |
| 6 | 3 | 4 | 0.0100 | 0.0300 | 0.0200 | 1.000 |
| 7 | 4 | 5 | 0.0800 | 0.2400 | 0.0500 | 1.000 |

CUT LINE

| BETWEEN BUS NO. | BETWEEN BUS NO. | IMPEDANCE R | IMPEDANCE X |
|---|---|---|---|
| 2 | 4 | 0.0600 | 0.1800 |
| 2 | 5 | 0.0400 | 0.1200 |
| 3 | 4 | 0.0100 | 0.0300 |

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลของสายส่ง และคัทสายน์

Z1 MATRIX FOR ZONE 1

| | BUS 1 | BUS 2 | BUS 3 |
|---|---|---|---|
| BUS 1 | 1.569298 0.199412J | 1.554457 0.162827J | 1.527070 0.110026J |
| BUS 2 | 1.554457 0.162827J | 1.557226 0.178752J | 1.522148 0.103815J |
| BUS 3 | 1.527070 0.110026J | 1.522148 0.103815J | 1.526115 0.140136J |

Z1 MATRIX FOR ZONE 2

| | BUS 4 | BUS 5 |
|---|---|---|
| BUS 4 | 1.037363 0.134898J | 0.976310 -0.000946J |
| BUS 5 | 0.976310 -0.000946J | 1.006471 0.093142J |

ตารางที่ 5.3 เมตริกซ์ $Z_1$ ของการคำนวณโหลดโฟลว์

Z2 MATRIX FOR ZONE 1

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 1 | 1.554457 | 0.162827J | 1.554457 | 0.162827J | 1.527070 | 0.110026J |
| BUS 2 | 1.557226 | 0.178752J | 1.557226 | 0.178752J | 1.522148 | 0.103815J |
| BUS 3 | 1.522148 | 0.103815J | 1.522148 | 0.103815J | 1.526115 | 0.140136J |

Z2 MATRIX FOR ZONE 2

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 4 | -1.037363 | -0.134898J | -0.976310 | 0.000946J | -1.037363 | -0.134898J |
| BUS 5 | -0.976310 | 0.000946J | -1.006471 | -0.093142J | -0.976310 | 0.000946J |

ตารางที่ 5.4 เมตริกซ์ $Z_2$ ของการคำนวณโหลดโฟลว์

Z4 MATRIX
=========

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 2.654589 | 0.493650J | 2.533535 | 0.177807J | 2.559511 | 0.238713J |
| 2- 5 | 2.533535 | 0.177807J | 2.603697 | 0.391894J | 2.498458 | 0.102870J |
| 3- 4 | 2.559511 | 0.238713J | 2.498458 | 0.102870J | 2.573478 | 0.305034J |

Y4 MATRIX
=========

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 1.088652 | -3.191289J | -0.323582 | 0.910896J | -0.756620 | 2.291262J |
| 2- 5 | -0.323582 | 0.910896J | 0.820763 | -2.060452J | -0.338728 | 1.131790J |
| 3- 4 | -0.756620 | 2.291262J | -0.338728 | 1.131790J | 1.318770 | -3.450214J |

ตารางที่ 5.5 เมตริกซ์ $Z_4$ และ $Y_4$ ของการคำนวณโหลดโฟลว์

OUTPUT BUS VOLTAGE AND GENERATION

| BUS IDENTIFICATION | | | | BUS VOLTAGE | | | GENERATION | | LOAD | | STATICS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NAME | NO. | ZONE | TYPE | PU | KV | DEG | MW | MVAR | MW | MVAR | MVAR |
| ONE | 1 | 1 | 3 | 1.0600 | 106.00 | 0.00 | 129.59 | -7.42 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TWO | 2 | 1 | 1 | 1.0474 | 104.74 | -2.81 | 40.00 | 30.00 | 20.00 | 10.00 | 0.00 |
| THREE | 3 | 1 | 1 | 1.0242 | 102.42 | -5.00 | 0.00 | 0.00 | 45.00 | 15.00 | 0.00 |
| FOUR | 4 | 2 | 1 | 1.0236 | 102.36 | -5.33 | 0.00 | 0.00 | 40.00 | 5.00 | 0.00 |
| FIVE | 5 | 2 | 1 | 1.0179 | 101.79 | -6.15 | 0.00 | 0.00 | 60.00 | 10.00 | 0.00 |

ตารางที่ 5.6 แรงดันที่บัสต่าง ๆ ก่อนเกิดความผิดปกติ

```
:SEQUENCE OF SYSTEM OPERATION:
 ----------------------------

 TIME(SEC)        OPERATION

0.0000           FAULT ON        BUS 2
0.1000           FAULT CLEARED   BUS 2


:SWING CURVE:
 -----------

 CURVE NO. 1 ---:--- GENERATOR NO. 1
 CURVE NO. 2 ---:--- GENERATOR NO. 2
```

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลของการตัดต่อและการแสดงกราฟ

:DATA OF NON-IMPEDANCE TYPE LOAD:

| | | | |
|---|---|---|---|
| :BUS NO. 3 : | MW | : MVAR | : |
| : | 2.0000 | : 1.0000 | : CONSTANT IMEPDANCE LOAD |
| : | 3.0000 | : 2.0000 | : CONSTANT CURRENT LOAD |
| : | 40.0000 | : 12.0000 | : CONSTANT KVA LOAD |
| :BUS NO. 5 : | MW | : MVAR | : |
| : | 3.0000 | : 1.0000 | : CONSTANT IMEPDANCE LOAD |
| : | 2.0000 | : 1.0000 | : CONSTANT CURRENT LOAD |
| : | 55.0000 | : 8.0000 | : CONSTANT KVA LOAD |

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลของโหลดชนิด นอน-อิมพีแดนซ์ ในกรณี (ก)

```
                :DATA OF GENERATORS:

                :GENERATOR NUMBER 1:
                 ------------------

:DIRECT-AXIS SYNCHRONOUS REACTANCE(XD)= 0.50000
:QUADRATURE-AXIS REACTANCE(XQ)= 0.25000
:TRANSIENT REACTANCE(XDP)= 0.10000
:INERTIA CONSTANT(H)=   50.0000
:OPEN-CIRCUIT FIELD TIME CONSTANT(TO)= 2.00000
:EXCITATION SYSTEM TIME CONSTANT(TE)= 0.10000
:GAIN OF REGULATOR-EXCITATION  (MU)=  30.00000
:SPEED REGULATION  TIME CONSTANT(TC)= 0.35000
:STEAM SYSTEM TIME CONSTANT (TS)= 0.30000
:SPEED REGULATION (R)=  -0.05000
:MAXIMUM MECHANICAL POWER (PMAX)= 5.00000
:CEILING EXCITATION VOLTAGE (EFMAX)=   2.80000
:MINIMUM EXCITATION VOLTAGE (EFMIN)=   0.00000

                :GENERATOR NUMBER 2:
                 ------------------

:DIRECT-AXIS SYNCHRONOUS REACTANCE(XD)= 1.00000
:QUADRATURE-AXIS REACTANCE(XQ)= 1.50000
:TRANSIENT REACTANCE(XDP)= 0.20000
:INERTIA CONSTANT(H)=    1.0000
:OPEN-CIRCUIT FIELD TIME CONSTANT(TO)= 2.00000
:EXCITATION SYSTEM TIME CONSTANT(TE)= 0.20000
:GAIN OF REGULATOR-EXCITATION  (MU)=  20.00000
:SPEED REGULATION  TIME CONSTANT(TC)= 0.35000
:STEAM SYSTEM TIME CONSTANT (TS)= 0.30000
:SPEED REGULATION (R)=  -0.05000
:MAXIMUM MECHANICAL POWER (PMAX)= 5.00000
:CEILING EXCITATION VOLTAGE (EFMAX)=   2.80000
:MINIMUM EXCITATION VOLTAGE (EFMIN)=   0.00000
```

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณี (ก)

```
:DATA OF GENERATORS:

:GENERATOR NUMBER 1:
 ------------------

:DIRECT-AXIS SYNCHRONOUS REACTANCE(XD)= 0.50000
:QUADRATURE-AXIS REACTANCE(XQ)= 0.25000
:TRANSIENT REACTANCE(XDP)= 0.25000
:INERTIA CONSTANT(H)=   50.0000
:OPEN-CIRCUIT FIELD TIME CONSTANT(TD)= 2.00000
:EXCITATION SYSTEM TIME CONSTANT(TE)= 0.10000
:GAIN OF REGULATOR-EXCITATION  (MU)=  30.00000
:SPEED REGULATION  TIME CONSTANT(TC)= 0.35000
:STEAM SYSTEM TIME CONSTANT (TS)= 0.30000
:SPEED REGULATION (R)=   0.00000
:MAXIMUM MECHANICAL POWER (PMAX)= 5.00000
:CEILING EXCITATION VOLTAGE (EFMAX)=   2.80000
:MINIMUM EXCITATION VOLTAGE (EFMIN)=   0.00000

:GENERATOR NUMBER 2:
 ------------------

:DIRECT-AXIS SYNCHRONOUS REACTANCE(XD)= 1.00000
:QUADRATURE-AXIS REACTANCE(XQ)= 1.50000
:TRANSIENT REACTANCE(XDP)= 1.50000
:INERTIA CONSTANT(H)=    1.0000
:OPEN-CIRCUIT FIELD TIME CONSTANT(TD)= 2.00000
:EXCITATION SYSTEM TIME CONSTANT(TE)= 0.20000
:GAIN OF REGULATOR-EXCITATION  (MU)=  20.00000
:SPEED REGULATION  TIME CONSTANT(TC)= 0.35000
:STEAM SYSTEM TIME CONSTANT (TS)= 0.30000
:SPEED REGULATION (R)=   0.00000
:MAXIMUM MECHANICAL POWER (PMAX)= 5.00000
:CEILING EXCITATION VOLTAGE (EFMAX)=   2.80000
:MINIMUM EXCITATION VOLTAGE (EFMIN)=   0.00000
```

ตารางที่ 5.10 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณี (ข)

MODIFIED Z1 FOR ZONE 1 AT TIME 0.000 SECOND

| | BUS 1 | | BUS 2 | | BUS 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 1 | 0.009423 | 0.219436J | 0.008849 | 0.211551J | 0.009895 | 0.215763J |
| BUS 2 | 0.008849 | 0.211551J | 0.025088 | 0.254561J | 0.019039 | 0.237014J |
| BUS 3 | 0.009895 | 0.215763J | 0.019040 | 0.237014J | 0.050779 | 0.331920J |

MODIFIED Z1 FOR ZONE 2 AT TIME 0.000 SECOND

| | BUS 4 | | BUS 5 | |
|---|---|---|---|---|
| BUS 4 | 2.411991 | -0.219977J | 2.421735 | -0.243896J |
| BUS 5 | 2.421735 | -0.243896J | 2.513964 | -0.027605J |

ตารางที่ 5.11 เมตริกซ์ $Z_1$ ที่ปรับปรุงที่เวลา 0.0 วินาที สำหรับกรณี (ก)

MODIFIED Z2 MATRIX FOR ZONE 1 AT TIME 0.000 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 1 | 0.008849 | 0.211551J | 0.008849 | 0.211551J | 0.009895 | 0.215763J |
| BUS 2 | 0.025088 | 0.254561J | 0.025088 | 0.254561J | 0.019039 | 0.237014J |
| BUS 3 | 0.019040 | 0.237014J | 0.019040 | 0.237014J | 0.050779 | 0.331920J |

MODIFIED Z2 MATRIX FOR ZONE 2 AT TIME 0.000 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 4 | -2.411991 | 0.219977J | -2.421735 | 0.243896J | -2.411991 | 0.219977J |
| BUS 5 | -2.421735 | 0.243896J | -2.513964 | 0.027605J | -2.421735 | 0.243896J |

ตารางที่ 5.12 เมตริกซ์ $Z_2$ ที่เวลา 0.0 วินาที สำหรับกรณี (ก)

NEW Z4 MATRIX AT TIME 0.000 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 2.497079 | 0.214584J | 2.446823 | 0.010665J | 2.431031 | 0.017037J |
| 2- 5 | 2.446823 | 0.010665J | 2.579052 | 0.346956J | 2.440774 | -0.006882J |
| 3- 4 | 2.431031 | 0.017037J | 2.440774 | -0.006882J | 2.472770 | 0.141943J |

NEW Y4 MATRIX AT TIME 0.000 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 1.102745 | -3.193238J | -0.279972 | 0.904181J | -0.701494 | 2.278747J |
| 2- 5 | -0.279972 | 0.904181J | 0.707469 | -2.034073J | -0.345592 | 1.142570J |
| 3- 4 | -0.701494 | 2.278747J | -0.345592 | 1.142570J | 1.250464 | -3.435977J |

ตาราง 5.13 เมตริกซ์ $Z_4$ และ $Y_4$ ที่เวลา 0.0 วินาที สำหรับกรณี (ก)

MODIFIED Z1 FOR ZONE 1 AT TIME 0.000 SECOND

| | BUS 1 | | BUS 2 | | BUS 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 1 | 0.025623 | 0.210004J | 0.026317 | 0.200562J | 0.033387 | 0.198519J |
| BUS 2 | 0.026317 | 0.200562J | 0.043890 | 0.241811J | 0.044235 | 0.217155J |
| BUS 3 | 0.033387 | 0.198519J | 0.044235 | 0.217155J | 0.084260 | 0.301400J |

MODIFIED Z1 FOR ZONE 2 AT TIME 0.000 SECOND

| | BUS 4 | | BUS 5 | |
|---|---|---|---|---|
| BUS 4 | 1.078866 | 0.134029J | 1.017576 | -0.002627J |
| BUS 5 | 1.017576 | -0.002627J | 1.047121 | 0.091131J |

ตารางที่ 5.14 เมตริกซ์ $Z_1$ ที่ปรับปรุงที่เวลา 0.0 วินาที สำหรับกรณี (ข)

MODIFIED Z2 MATRIX FOR ZONE 1 AT TIME 0.000 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 1 | 0.026317 | 0.200562J | 0.026317 | 0.200562J | 0.033387 | 0.198519J |
| BUS 2 | 0.043890 | 0.241811J | 0.043890 | 0.241811J | 0.044235 | 0.217155J |
| BUS 3 | 0.044235 | 0.217155J | 0.044235 | 0.217155J | 0.084260 | 0.301400J |

MODIFIED Z2 MATRIX FOR ZONE 2 AT TIME 0.000 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 4 | -1.078866 | -0.134029J | -1.017576 | 0.002627J | -1.078866 | -0.134029J |
| BUS 5 | -1.017576 | 0.002627J | -1.047121 | -0.091131J | -1.017576 | 0.002627J |

ตารางที่ 5.15 เมตริกซ์ $Z_2$ ที่เวลา 0.0 วินาที สำหรับกรณี (ข)

NEW Z4 MATRIX AT TIME 0.000 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 1.182757 | 0.555840J | 1.061466 | 0.239184J | 1.123101 | 0.351184J |
| 2- 5 | 1.061466 | 0.239184J | 1.131012 | 0.452942J | 1.061811 | 0.214528J |
| 3- 4 | 1.123101 | 0.351184J | 1.061811 | 0.214528J | 1.173126 | 0.465429J |

NEW Y4 MATRIX AT TIME 0.000 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 1.119187 | -3.210380J | -0.259845 | 0.873439J | -0.730892 | 2.285379J |
| 2- 5 | -0.259845 | 0.873439J | 0.940621 | -2.134537J | -0.288667 | 1.116105J |
| 3- 4 | -0.730892 | 2.285379J | -0.288667 | 1.116105J | 1.331071 | -3.454631J |

ตารางที่ 5.16 เมตริกซ์ $Z_4$ และ $Y_4$ ที่เวลา 0.0 วินาที สำหรับกรณี (ข)

MODIFIED Z1 FOR ZONE 1 AT TIME 0.100 SECOND

| | BUS 1 | | BUS 2 | | BUS 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 1 | 0.009423 | 0.219436J | 0.008849 | 0.211551J | 0.009895 | 0.215763J |
| BUS 2 | 0.008849 | 0.211551J | 0.025088 | 0.254561J | 0.019039 | 0.237014J |
| BUS 3 | 0.009895 | 0.215763J | 0.019040 | 0.237014J | 0.050779 | 0.331920J |

MODIFIED Z1 FOR ZONE 2 AT TIME 0.100 SECOND

| | BUS 4 | | BUS 5 | |
|---|---|---|---|---|
| BUS 4 | 2.411991 | -0.219977J | 2.421735 | -0.243896J |
| BUS 5 | 2.421735 | -0.243896J | 2.513964 | -0.027605J |

ตารางที่ 5.17 เมตริกซ์ $Z_1$ ที่ปรับปรุงที่เวลา 0.1 วินาที สำหรับกรณี (ก)

MODIFIED Z2 MATRIX FOR ZONE 1 AT TIME 0.100 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 1 | 0.008849 | 0.211551J | 0.008849 | 0.211551J | 0.009895 | 0.215763J |
| BUS 2 | 0.025088 | 0.254561J | 0.025088 | 0.254561J | 0.019039 | 0.237014J |
| BUS 3 | 0.019040 | 0.237014J | 0.019040 | 0.237014J | 0.050779 | 0.331920J |

MODIFIED Z2 MATRIX FOR ZONE 2 AT TIME 0.100 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 4 | -2.411991 | 0.219977J | -2.421735 | 0.243896J | -2.411991 | 0.219977J |
| BUS 5 | -2.421735 | 0.243896J | -2.513964 | 0.027605J | -2.421735 | 0.243896J |

ตารางที่ 5.18 เมตริกซ์ $Z_2$ ที่เวลา 0.1 วินาที สำหรับกรณี (ก)

NEW Z4 MATRIX AT TIME 0.100 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 2.497079 | 0.214584J | 2.446823 | 0.010665J | 2.431031 | 0.017037J |
| 2- 5 | 2.446823 | 0.010665J | 2.579052 | 0.346956J | 2.440774 | -0.006882J |
| 3- 4 | 2.431031 | 0.017037J | 2.440774 | -0.006882J | 2.472770 | 0.141943J |

NEW Y4 MATRIX AT TIME 0.100 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 1.102745 | -3.193238J | -0.279972 | 0.904181J | -0.701494 | 2.278747J |
| 2- 5 | -0.279972 | 0.904181J | 0.707469 | -2.034073J | -0.345592 | 1.142570J |
| 3- 4 | -0.701494 | 2.278747J | -0.345592 | 1.142570J | 1.250464 | -3.435977J |

ตารางที่ 5.19 เมตริกซ์ $Z_4$ และ $Y_4$ ที่เวลา 0.1 วินาที สำหรับกรณี (ก)

MODIFIED Z1 FOR ZONE 1 AT TIME 0.100 SECOND

| | BUS 1 | | BUS 2 | | BUS 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 1 | 0.025623 | 0.210004J | 0.026317 | 0.200562J | 0.033387 | 0.198519J |
| BUS 2 | 0.026317 | 0.200562J | 0.043890 | 0.241811J | 0.044235 | 0.217155J |
| BUS 3 | 0.033387 | 0.198519J | 0.044235 | 0.217155J | 0.084260 | 0.301400J |

MODIFIED Z1 FOR ZONE 2 AT TIME 0.100 SECOND

| | BUS 4 | | BUS 5 | |
|---|---|---|---|---|
| BUS 4 | 1.078866 | 0.134029J | 1.017576 | -0.002627J |
| BUS 5 | 1.017576 | -0.002627J | 1.047121 | 0.091131J |

ตารางที่ 5.20 เมตริกซ์ $Z_1$ ที่ปรับปรุงที่เวลา 0.1 วินาที สำหรับกรณี (ข)

MODIFIED Z2 MATRIX FOR ZONE 1 AT TIME 0.100 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 1 | 0.026317 | 0.200562J | 0.026317 | 0.200562J | 0.033387 | 0.198519J |
| BUS 2 | 0.043890 | 0.241811J | 0.043890 | 0.241811J | 0.044235 | 0.217155J |
| BUS 3 | 0.044235 | 0.217155J | 0.044235 | 0.217155J | 0.084260 | 0.301400J |

MODIFIED Z2 MATRIX FOR ZONE 2 AT TIME 0.100 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BUS 4 | -1.078866 | -0.134029J | -1.017576 | 0.002627J | -1.078866 | -0.134029J |
| BUS 5 | -1.017576 | 0.002627J | -1.047121 | -0.091131J | -1.017576 | 0.002627J |

ตารางที่ 5.21 เมตริกซ์ $Z_2$ ที่เวลา 0.1 วินาที สำหรับกรณี (ข)

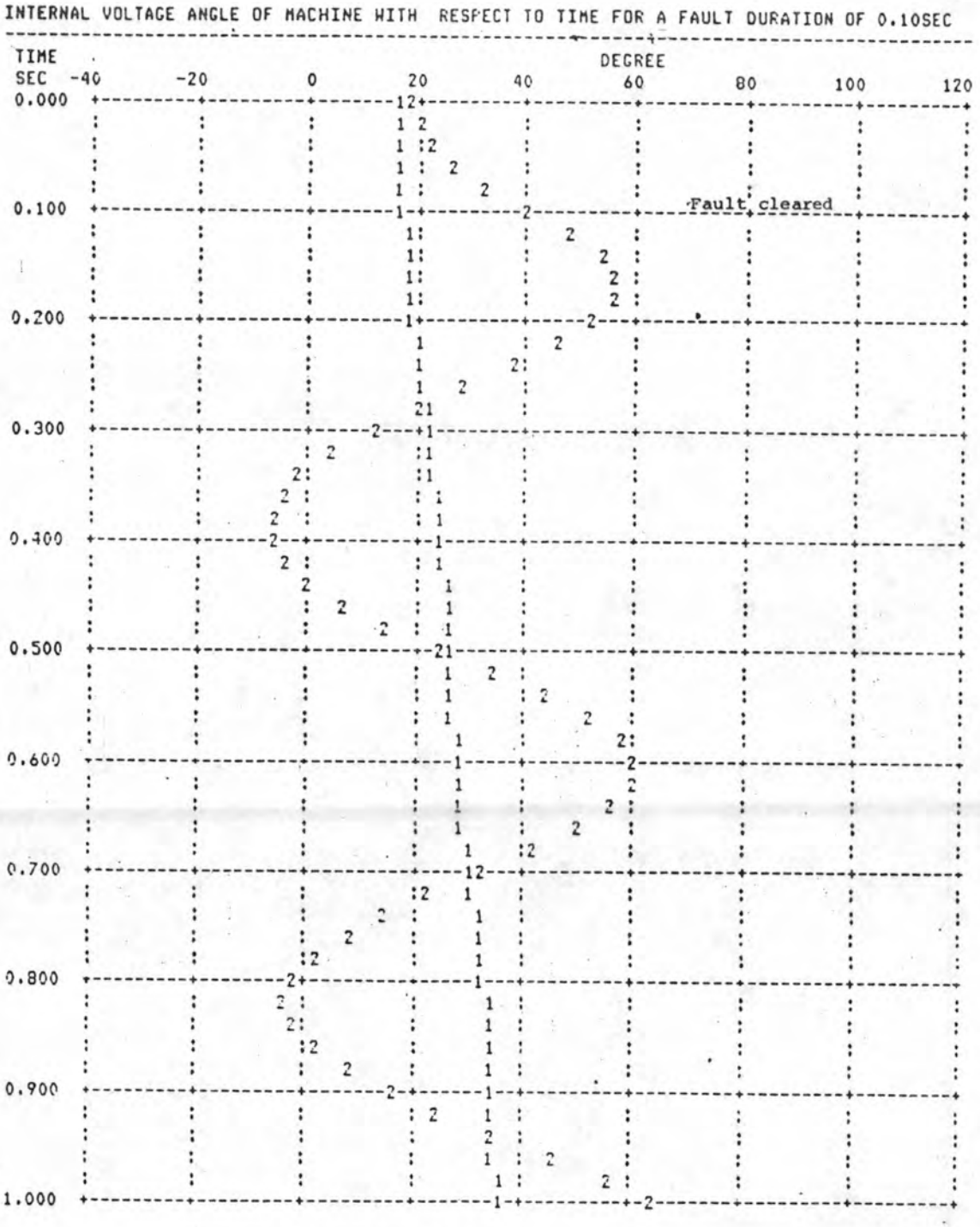
NEW Z4 MATRIX AT TIME 0.100 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 1.182757 | 0.555840J | 1.061466 | 0.239184J | 1.123101 | 0.351184J |
| 2- 5 | 1.061466 | 0.239184J | 1.131012 | 0.452942J | 1.061811 | 0.214528J |
| 3- 4 | 1.123101 | 0.351184J | 1.061811 | 0.214528J | 1.173126 | 0.465429J |

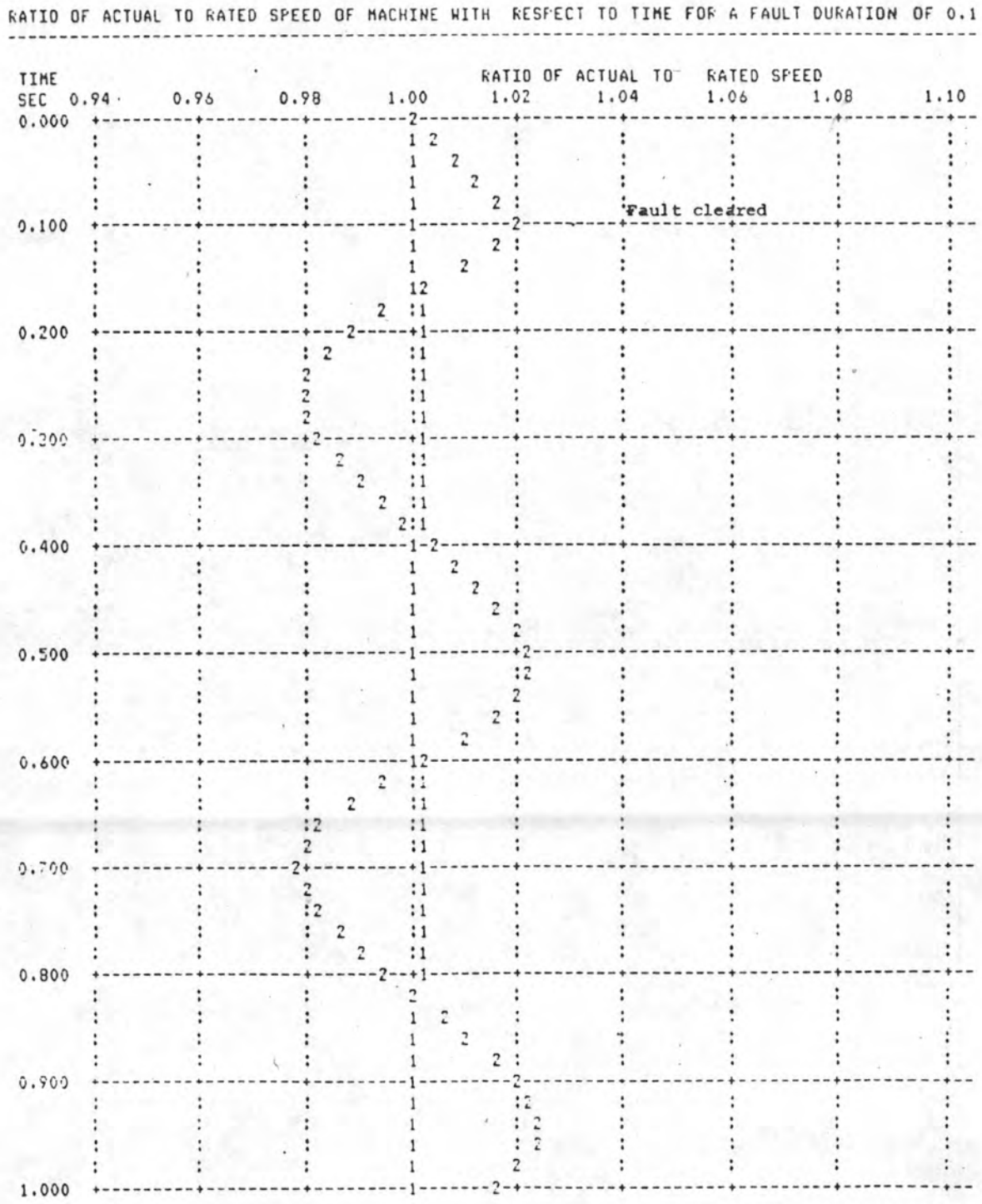
NEW Y4 MATRIX AT TIME 0.100 SECOND

| CUT BUS LINE | 2- 4 | | 2- 5 | | 3- 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2- 4 | 1.119187 | -3.210380J | -0.259845 | 0.873439J | -0.730892 | 2.285379J |
| 2- 5 | -0.259845 | 0.873439J | 0.940621 | -2.134537J | -0.288667 | 1.116105J |
| 3- 4 | -0.730892 | 2.285379J | -0.288667 | 1.116105J | 1.331071 | -3.454631J |

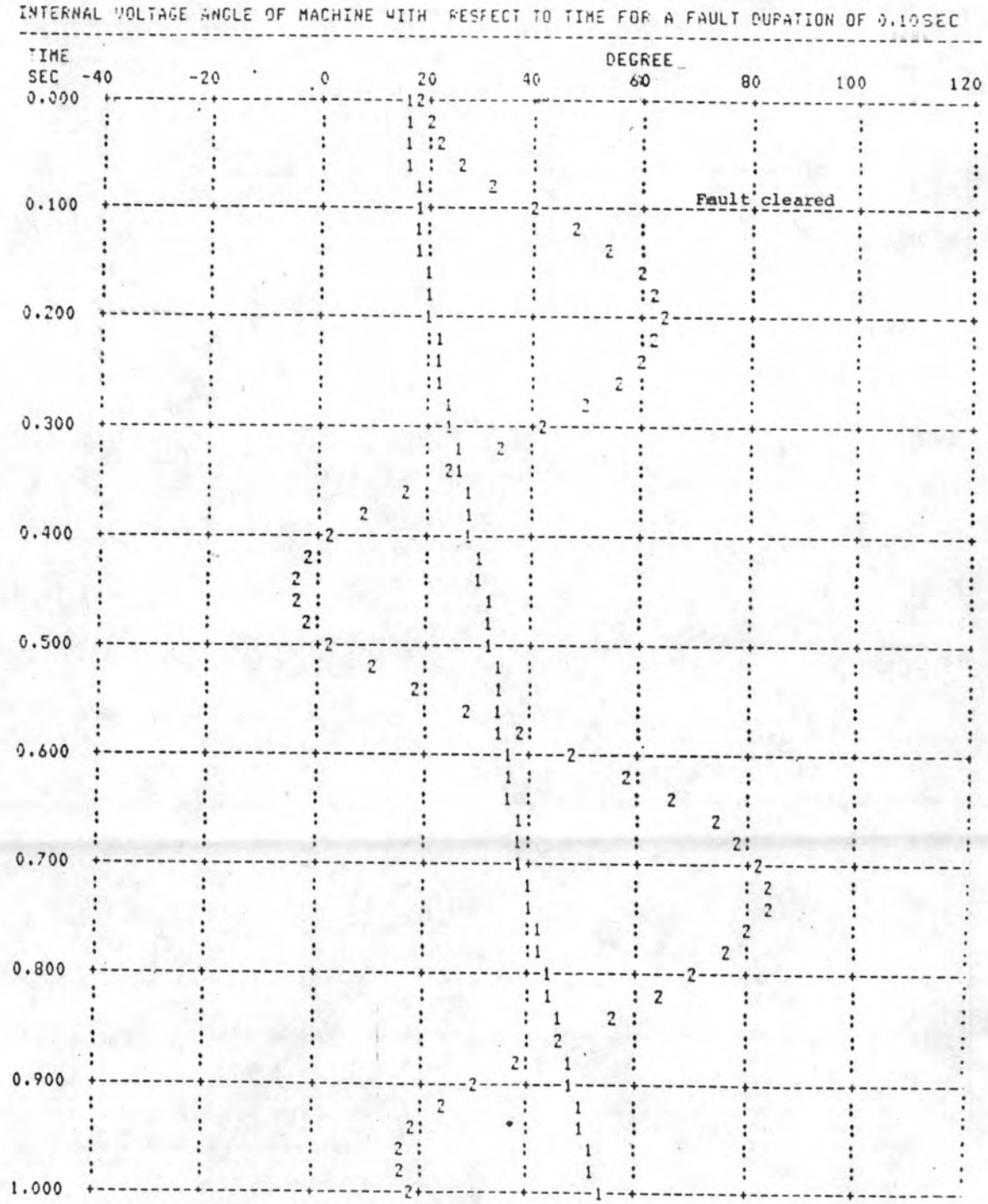
ตารางที่ 5.22 เมตริกซ์ $Z_4$ และ $Y_4$ ที่เวลา 0.1 วินาที สำหรับกรณี (ข)



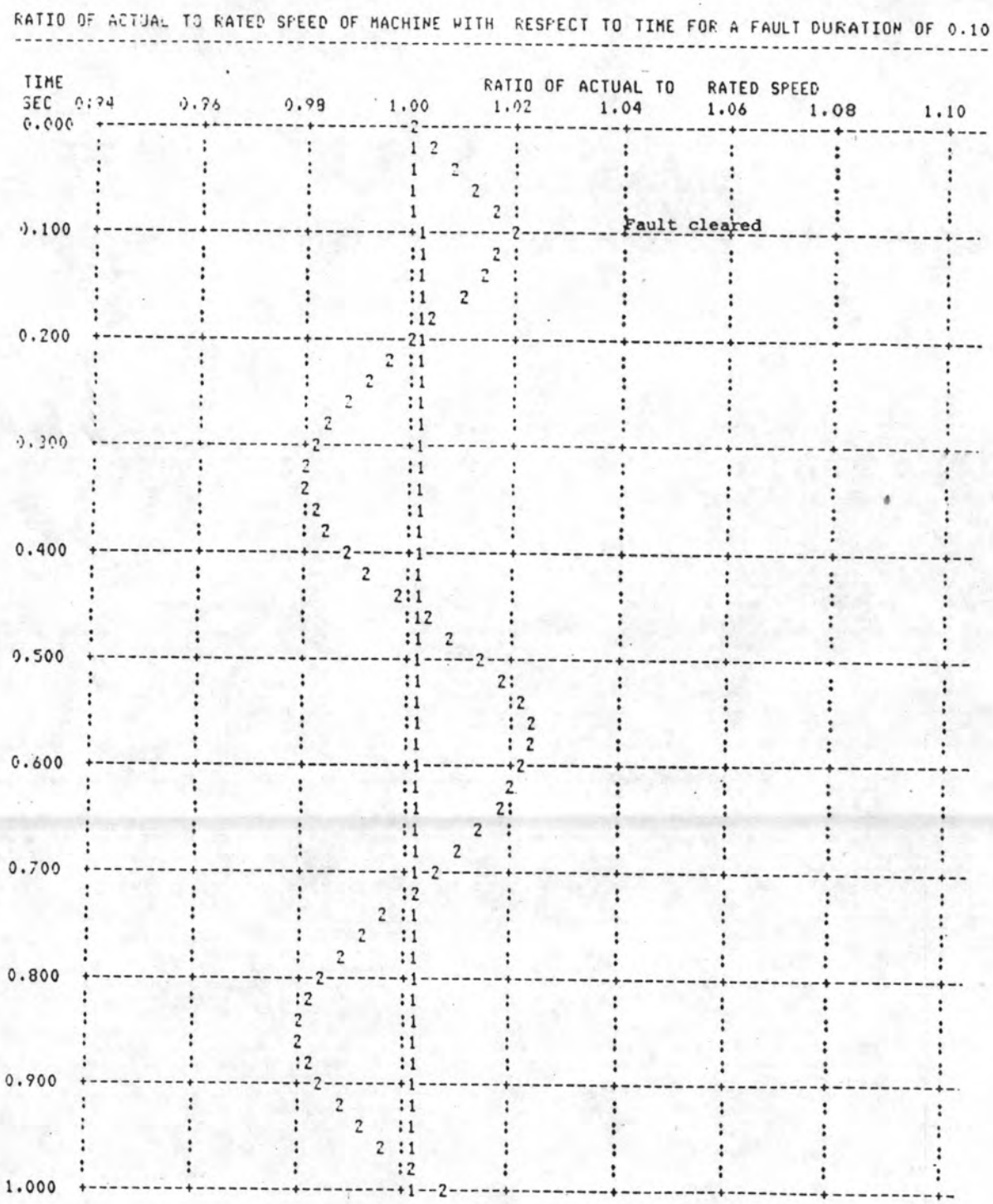

รูปที่ 5.2 ตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์ ในกรณี (ก)




รูปที่ 5.3 ความเร็วเชิงมุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณี (ก)




รูปที่ 5.4 ตำแหน่งเชิงมุมของโรเตอร์ ในกรณี (ข)




รูปที่ 5.5 ความเร็วเชิงมุมของกำเนิดไฟฟ้า ในกรณี (ข)