บทที่ 5

การวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิตและระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า

ในบทนี้จะแสดงผลการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบผลการคำนวณวิธีการเดิมและวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ตามขั้นตอน วิธีการ และสมมุติฐานที่ได้นำเสนอมาแล้วในบทต่าง ๆ ข้างต้น สำหรับระบบทดสอบที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์เป็นระบบทดสอบที่ใช้ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยเฉพาะ ประกอบด้วย

1) ระบบทดสอบ Roy Billinton Test System (RBTS)[14,15] ขนาด 6 บัส 9 สายส่ง และ 11 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบดังกล่าวเป็นระบบทดสอบขนาดเล็กใช้สำหรับทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่เขียนขึ้น เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2) ระบบทดสอบ Reliability Test System (IEEE-RTS)[10] ขนาด 24 บัส 33 สายส่ง, 5 หม้อแปลงไฟฟ้า และ 32 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบนี้จะเป็นระบบทดสอบหลักใช้สำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบในรายละเอียด

เนื้อหาของบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบ โครงสร้างขั้นตอนวิธีการคำนวณในโปรแกรม การเปรียบเทียบผลของการคำนวณโดยโปรแกรมกับระบบทดสอบมาตรฐาน และเปรียบเทียบผลการคำนวณโดยวิธีการเดิมและวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

5.1 ข้อมูลสำหรับใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

5.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวแปรสำหรับเก็บข้อมูลประกอบด้วย

TN_GEN คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ

GENNO คือ หมายเลขประจำกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ Identical กัน และอยู่บนบัสเดียวกัน

GENCAP คือ ขนาดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MW)

GENB คือ หมายเลขประจำบัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่

GIDEN คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ Identical กัน

FRG คือ อัตราการเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ครั้ง/ปี)

RRG คือ อัตราการซ่อมแซมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ครั้ง/ปี)

5.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับสายส่ง และหม้อแปลงไฟฟ้า (สำหรับการคำนวณโดยทั่วไปกำหนดให้การทำงานในสถานะ หรือค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นไปในทำนองเดียวกับสายส่ง เพื่อให้เกิดความสะดวกในการคำนวณ) ตัวแปรสำหรับเก็บข้อมูลประกอบด้วย

TN_LINE คือ จำนวนของสายส่งในระบบ

LINENO คือ หมายเลขประจำของสายส่ง

LINECAP คือ ขนาดของสายส่ง (MW)

SB คือ หมายเลขประจำบัสที่สายส่งต่ออยู่

EB คือ หมายเลขประจำบัสอีกบัสหนึ่งที่สายส่งต่ออยู่

FRL คือ อัตราการเสียของสายส่ง (ครั้ง/ปี)

RRL คือ อัตราการซ่อมแซมของสายส่ง (ครั้ง/ปี)

5.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับค่าโหลดของแต่ละโหลดบัสในระบบ

TN_LOAD คือ จำนวนโหลดบัสภายในระบบ

LOADNO คือ หมายเลขประจำของโหลด

LOADCAP คือ ค่าโหลดสูงสุดของบัส (MW)

LOADB คือ หมายเลขประจำบัสที่โหลดต่ออยู่

แบบจำลองสำหรับใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นแบบจำลองโหลดระดับเดียว โดยใช้ค่าโหลดสูงสุดประจำปี (Annual peak load) ของระบบ และค่าโหลดสูงสุดของแต่ละโหลดบัสเท่านั้น ไม่รวมผลของความไม่แน่นอนของโหลดสูงสุด

5.1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับการปรับค่าพารามิเตอร์ของระบบสำหรับขั้นตอนการคำนวณ

ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะมีผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ณ. จุดโหลด เวลาที่ใช้ในการคำนวณ และความถูกต้องของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ได้รับ ดังนั้นโปรแกรมที่เขียนขึ้นจะกำหนดให้การป้อนข้อมูลค่าพารามิเตอร์สำคัญบางตัวในลักษณะอินเทอร์แอคทีฟ เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ผล ประกอบด้วย

1) CURT คือ ค่าร้อยละ (10,15,20,...%)ของโหลดที่บัสต่าง ๆในระบบที่สามารถจะถูกตัดลดลง (Curtailable load) ก่อนค่าโหลดหลัก (Firm load) ในกรณีเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบ

2) RD คือ ช่วงระดับ (1,5,10,...) ของการประมาณค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแต่ละบัสเชื่อมโยงในโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

3) COMADQ คือ การกำหนดค่าความน่าจะเป็นของสถานะในโมเดลแอดดิเควชี่อิควิวาเล็นตส์ ที่ได้รับการพิจารณาสำหรับใช้ในการคำนวณร่วมกับระบบไฟฟ้าส่วนย่อยต่อไป สถานะในโมเดลที่มีค่าความน่าจะเป็นต่ำกว่าที่กำหนด (10^{-5},10^{-6},..)จะถูกตัดออกจากการคำนวณ

5.2 โครงสร้าง ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม

โปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมีจุดมุ่งหมายให้สามารถคำนวณได้ทั้ง วิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์และวิธีการเดิม ดังนั้นโปรแกรมจะประกอบด้วย Procedure ย่อยอิสระที่ช่วยให้การเรียกใช้เป็นไปได้อย่างคล่องตัว โดย Procedure หลักที่เป็นส่วนประกอบของโปรแกรมมีดังต่อไปนี้

1).Procedure DATAENTRY ใช้สำหรับป้อนข้อมูล แก้ไข เพิ่มเติมข้อมูลองค์ประกอบย่อยในระบบที่กำลังต้องการศึกษา โดยติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

2).Procedure READDATA ใช้สำหรับการอ่านข้อมูลจากหน่วยเก็บข้อมูลภายนอกลงสู่หน่วยความจำภายใน เพื่อการคำนวณต่อไป

3).Procedure MODFAREA สำหรับการจัดแบ่งข้อมูลระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ออกเป็นพื้นที่ต้องการศึกษาโดยวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ มีการกำหนดหมายเลขประจำบัสและหมายเลขของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องใหม่ ในขั้นตอนนี้มีการสร้างเมตริกส์ SSMAT และMSMAT เพื่อบรรจุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกำลังการผลิต ค่าโหลดสูงสุดที่แต่ละบัส และขนาดของสายส่งที่

เชื่อมโยงระหว่างบัส ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (Sub-system)และระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่(Main system) ตามลำดับ

ในกรณีการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยวิธีการเดิมของระบบที่มีขนาด n บัส หรือส่วนของระบบไฟฟ้าส่วนย่อยขนาด n บัส เมตริกส์ SSMAT จะมีขนาด (n+2)x(n+2) และในระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ขนาด n บัส จะแทนด้วยเมตริกส์ MSMAT ขนาด (n+2)x(n+3) โดยในแต่ละสถานการณ์ขัดข้อง ข้อมูลในแต่ละเซลล์ของเมตริกส์มีความหมายดังนี้

ข้อมูลก่อนการคำนวณหาโหลดโฟลว์ของระบบไฟฟ้า

-แถวแรกของเมตริกส์ ตั้งแต่ MATRIX[1,2] ถึง MATRIX[1,n+1] บรรจุข้อมูลขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่บัส 1 ถึง n

-คอลัมน์ n+2 ของเมตริกส์ ตั้งแต่ MATRIX[2,n+2] ถึง MATRIX[n+1,n+2] บรรจุข้อมูลค่าโหลดสูงสุดที่บัส 1 ถึง n

-ข้อมูลใน MATRIX[1+i,1+j] เป็นค่าขนาดของสายส่ง (MW.)เมื่อ i>j, i และ j เป็นหมายเลขบัสในระบบที่มีสายส่งหรือหม้อแปลงไฟฟ้าเชื่อมโยงอยู่

-คอลัมน์ n+3 ใน MSMAT ตั้งแต่ MSMAT[2,n+3] ถึง MSMAT[n+1,n+3] บรรจุค่าของขนาดสายส่งเชื่อมโยง (Connected lines) ที่เชื่อมโยงติดกับบัส 1 ถึง n

ข้อมูลหลังการคำนวณหาโหลดโฟลว์ของระบบไฟฟ้า

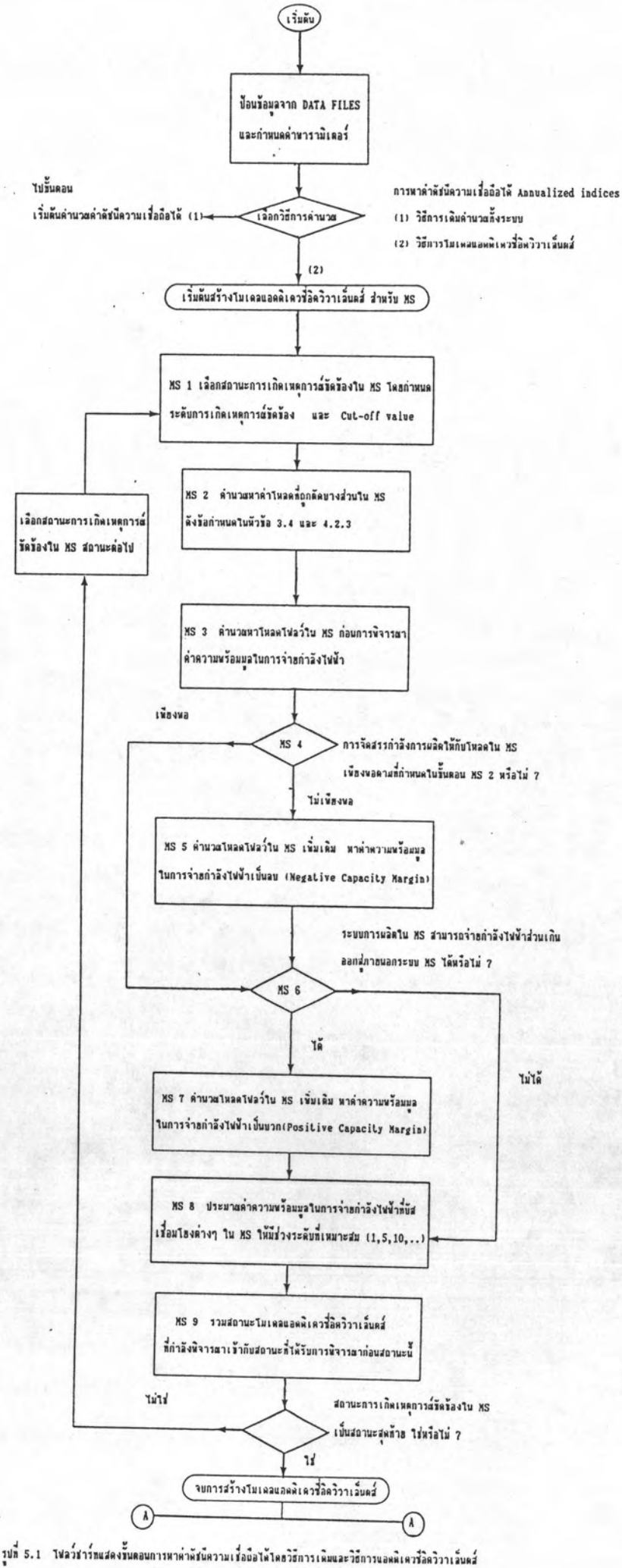
-คอลัมน์แรกของเมตริกส์ ตั้งแต่ MATRIX[2,1] ถึง MATRIX[n+1,1]บรรจุข้อมูลกำลังการผลิตรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่บัส 1 ถึง n ที่จ่ายให้กับโหลดในระบบ

-แถว n+2 ของเมตริกส์ ตั้งแต่ MATRIX[n+2,2] ถึง MATRIX[n+2,n+1] บรรจุค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรให้แก่โหลดแต่ละบัสตั้งแต่บัส 1 ถึง n

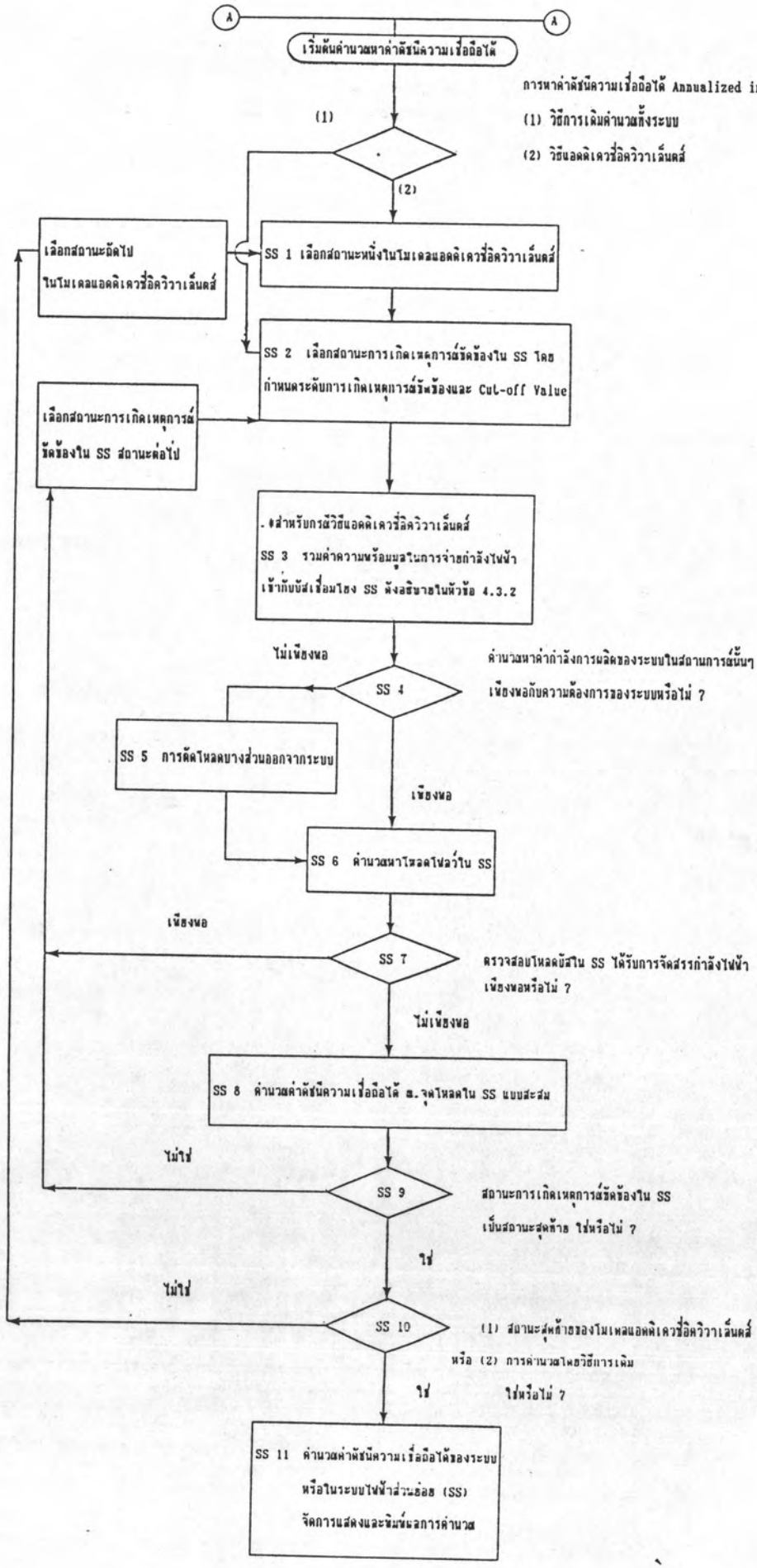
-ข้อมูลใน MATRIX[1+i,1+j] เมื่อ i<j, i และ j เป็นหมายเลขของบัสในระบบที่มีสายส่งหรือหม้อแปลงไฟฟ้าเชื่อมโยงอยู่ จะเป็นค่าของกำลังไฟฟ้า(MW.)ที่ไหลผ่านสายส่งและมีการกำหนดทิศทางการไหลจาก i ไป j เมื่อค่าในเซลล์ดังกล่าวเป็นค่าบวก

4).Procedure CONTING ใช้สำหรับการกำหนดสถานะและเลือกองค์ประกอบย่อยในแต่ละประเภทที่เกิดเหตุขัดข้อง ภายใต้ข้อกำหนดของระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง (Contingency level) 0-4

5).Procedure CTG และ CTL ใช้สำหรับเลือกโหลดบัสที่มีความจำเป็นต้องถูกตัดโหลดออกบางส่วน (Load curtailment) อันเนื่องจากการเกิดเหตุขัดข้องในเครื่องกำเนิด



รูปที่ 5.1 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยวิธีการเดินและวิธีการมอนติเคร์ซีอิดวิวาเล้นส์



รูปที่ 5.1(ต่อ) โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยวิธีการเดิมและวิธีการแอดดิเดวชื่อดิวิวาเล็นดส์

ไฟฟ้าและการเกิดเหตุขัดข้องในสายส่งตามลำดับ ตามวิธีการตัดโหลด (Load Curtailment philosophy) ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.4

6).Procedure MAXFLOW ใช้ในการหาโหลดโฟลว์ กำลังการไหลสูงสุด (Maximum flow) ของระบบภายใต้เงื่อนไขข้อกำหนดของระบบไฟฟ้าในแต่ละสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง การส่งข้อมูลสำหรับใช้ในการหาโหลดโฟลว์จะอยู่ในรูปของเมตริกซ์ MSMAT และ SSMAT ซึ่งได้รับการแก้ไขข้อมูลบางส่วนเนื่องจากแต่ละสถานะการขัดข้อง

7).Procedure MSMODEL เป็น Procedure สำหรับใช้สร้างโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นต์ โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 5.1 ประกอบด้วยขั้นตอน MS1- MS9 มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ (MS) โดยกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง และเลือกสถานะที่มีความน่าจะเป็น และความถี่ของโอกาสที่จะเกิดสูงกว่าค่า Cut-off value ที่กำหนด

ขั้นที่ 2 ความไม่สมดุลย์ระหว่างระบบการผลิตและความต้องการโหลด ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยและระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ จำเป็นต้องคำนวณหาค่าโหลดที่ถูกตัดบางส่วนใน MS

ขั้นที่ 3 คำนวณหาโหลดโฟลว์ใน MS เพื่อดูสถานภาพของระบบก่อนพิจารณาค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้า

ขั้นที่ 4 การจัดสรรกำลังการผลิตให้กับโหลดใน MS เพียงพอ หลังจากพิจารณาข้อกำหนดในขั้นที่ 2 แล้วหรือไม่ ถ้าเพียงพอข้ามไปขั้นที่ 6

ขั้นที่ 5 รวมขนาดของสายส่งเชื่อมโยงเข้ากับค่าโหลดที่จุดบัสเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องใน MS เพื่อหาค่าความพร้อมมูลสำหรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ MS ซึ่งมีค่าเป็นลบ (Negative capacity margin)

ขั้นที่ 6 ตรวจสอบระบบการผลิตใน MS สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนเกินออกสู่ภายนอกระบบ (SS) ได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ข้ามไปขั้นที่ 8

ขั้นที่ 7 รวมขนาดของสายส่งเชื่อมโยงที่ยังไม่ถูกใช้งานในขั้นที่ 5 เข้ากับระบบการผลิตที่จุดบัสเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาค่าความพร้อมมูลสำหรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ SS ซึ่งมีค่าเป็นบวก (Positive capacity margin)

ขั้นที่ 8 ประมาณค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่บัสเชื่อมโยงต่าง ๆ ใน MS ให้มีช่วงระดับที่เหมาะสม (1,5,10,...) ปกติประมาณค่าดังกล่าวเป็นจำนวนเต็ม (1)

ขั้นที่ 9 รวมสถานะโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ที่กำลังพิจารณาเข้ากับสถานะที่ได้รับการพิจารณาก่อนหน้านี้

ใน Procedure MSMODEL จะเป็นการคำนวณซ้ำขั้นตอนที่ 1-9 และสิ้นสุดการคำนวณที่สถานะสุดท้ายของการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องใน MS นอกจากนี้ ภายใน Procedure ยังประกอบด้วย Procedure ย่อย MSSTATE สำหรับการคำนวณในขั้นที่ 2-8 และ MSCAL สำหรับขั้นตอนที่ 1 และ 9

8). Procedure SSMODEL เป็น Procedure หลักสำหรับใช้ในการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งใช้ได้ทั้งวิธีการเดิมและวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ประกอบด้วยขั้นตอน SS1-SS11 มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกสถานะหนึ่งในโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดสูงกว่าค่าตัวแปร COMADQ ที่กำหนดใน 5.1.4

ขั้นที่ 2 เลือกสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS) โดยกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS) และเลือกสถานะที่มีความน่าจะเป็นและความถี่ของโอกาสที่จะเกิดขึ้นสูงกว่าค่า Cut-off value ที่กำหนด ปกติจะกำหนดให้มีค่า 10^{-8} สำหรับความน่าจะเป็น และ 10^{-6} สำหรับความถี่ของโอกาสที่จะเกิด (การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยวิธีการเดิมให้ข้ามทำขั้นที่ 4)

ขั้นที่ 3 รวมผลค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของบัสเชื่อมโยงใน MS เข้ากับ SS ดังอธิบายในหัวข้อ 4.3.2

ขั้นที่ 4 คำนวณหาค่ากำลังการผลิตของระบบในสถานการณ์นั้น ๆ เพียงพอกับความต้องการโหลดของระบบหรือไม่ ถ้าเพียงพอข้ามไปทำขั้นที่ 6

ขั้นที่ 5 พิจารณาการตัดโหลดบางส่วนออกจากระบบ

ขั้นที่ 6 คำนวณหาโหลดโฟลว์ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS)

ขั้นที่ 7 ตรวจสอบโหลดบัสใน SS ได้รับการจัดสรรโหลดเพียงพอหรือไม่ ถ้าเพียงพอข้ามไปทำขั้นตอนที่ 2 สถานะถัดไป

ขั้นที่ 8 คำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดใน SS หรือพื้นที่ที่สนใจตามสมการกำหนดในหัวข้อ 4.3.3 แบบสะสม

ขั้นที่ 9 ตรวจสอบสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องใน SS เป็นสถานการณ์สุดท้ายใช่หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 2 สถานะถัดไป

ขั้นที่ 10 ตรวจสอบว่าเป็นสถานะสุดท้ายของโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์หรือการคำนวณโดยวิธีการเดิมใช่หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ข้ามไปทำขั้นที่ 1 เลือกสถานะถัดไปในโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

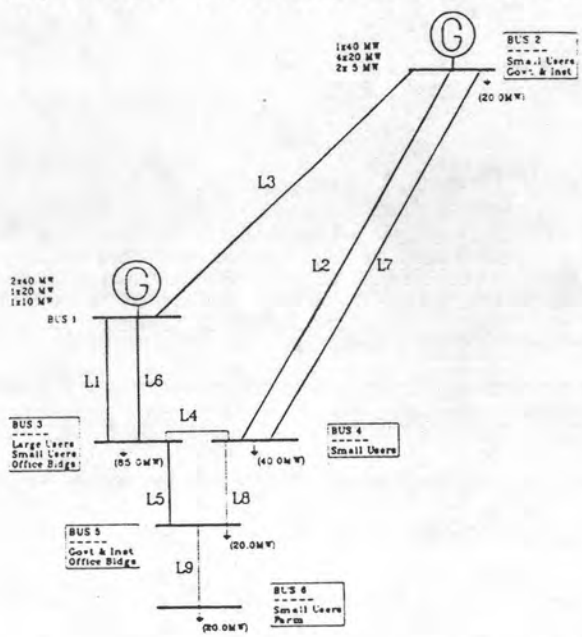
ขั้นที่ 11 รวบรวมผลค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดในขั้นที่ 8 เพื่อหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ (Overall system indices) ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย หรือในพื้นที่บางส่วนของระบบที่สนใจ (Sub-system area indices) โดยผลการคำนวณจะอยู่ในรูปเท็กซ์ไฟล์ (OUTP.DAT)

9). Program HL2INDEX เป็นโปรแกรมหลักที่ใช้เรียกคำนวณ และรวบรวม Procedure ต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกัน โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณของทั้งโปรแกรมแสดงในรูปที่ 5.1

5.3 การตรวจสอบโปรแกรมกับระบบทดสอบมาตรฐาน

ในการตรวจสอบโปรแกรมกับระบบทดสอบมาตรฐาน จะใช้การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยวิธีการเดิม กับระบบมาตรฐานทั้ง 2 ระบบ

5.3.1 การตรวจสอบโปรแกรมโดยระบบทดสอบ RBTS ขนาด 6 บัส ซึ่งมีโครงสร้างของระบบดังแสดงในรูปที่ 5.2 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่ง และค่าโหลดสูงสุดที่บัสต่างๆ ในระบบ แสดงในตารางที่ 5.1 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ



รูปที่ 5.2 ระบบทดสอบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ RBTS ขนาด 6 บัส

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ RBTS ขนาด 6 บัส

GENERATOR DATA 6 ITEMS 11 UNITS

	GEN NO.	GEN IDN	GEN CAP (MW)	GEN BUS	FAILURE RATE	REPAIR RATE
1	1	2	40.000	1	6.000	194.000
2	3	1	20.000	1	5.000	195.000
3	4	1	10.000	1	4.000	196.000
4	5	1	40.000	2	3.000	147.000
5	6	4	20.000	2	2.400	157.600
6	10	2	5.000	2	2.000	198.000

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลสายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ RBTS ขนาด 6 บัส

LINE DATA 9 UNITS

	LINE NO.	LINE CAP(MW)	SD_BUS	ED_BUS	FAILURE_RATE	REPAIR_RATE
1	9	71.000	5	6	1.000	876.000
2	8	71.000	4	5	1.000	876.000
3	7	71.000	2	4	5.000	876.000
4	6	85.000	1	3	1.500	876.000
5	5	71.000	3	5	1.000	876.000
6	4	71.000	3	4	1.000	876.000
7	1	85.000	1	3	1.500	876.000
8	2	71.000	2	4	5.000	876.000
9	3	71.000	1	2	4.000	876.000

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลค่าโหลดสูงสุดที่โหลดบัส ของระบบทดสอบ RBTS ขนาด 6 บัส

LOAD DATA 5 BUSES

	LOAD NO.	LOAD DEMAND(MW)	LOAD BUS
1	5	20.000	6
2	4	20.000	5
3	3	40.000	4
4	2	85.000	3
5	1	20.000	2

ในการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิตและระบบสายส่งไฟฟ้า(HL2)สำหรับระบบทดสอบมาตรฐาน RBTS แสดงในเอกสารอ้างอิง[14] กำหนดให้

1).ระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องสูงสุด สำหรับเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 4 , เฉพาะสายส่งมีค่าเท่ากับ 3 และกรณีเกิดการขัดข้องในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสายส่งพร้อมกันมีค่าเท่ากับ 3

กระทบในการถูกตัดโหลดบางส่วนออกในสัดส่วนที่เท่ากันตามขนาดค่าโหลดสูงสุดแต่ละบัส

ตารางที่ 5.4 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดและระบบ ระบบทดสอบ RBTS

โดยโปรแกรมที่สร้างขึ้น ตามเงื่อนไขของการทดสอบระบบมาตรฐาน

PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99999341
FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION = 115.4012 occ/year
TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION = 935 states
PROBABILITY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 0.00951635
FREQUENCY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 4.8746 occ/year

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.000000000	0.00000000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.008328371	3.65792099	4.7042	88.7376	72.9565
3	0.008376692	3.74726879	20.4589	379.3144	73.3798
4	0.008378056	3.74903308	9.6331	178.5365	73.3918
5	0.008379307	3.75133336	4.8679	89.5236	73.4027
6	0.009516349	4.87461352	27.4985	289.6146	83.3632

ANNUALIZED OVERALL SYSTEM INDICES

Bulk Power Interruption Index = 0.3630 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index = 13.7780 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index = 5.5445 MWh/MW-year

ตารางที่ 5.5 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดและระบบ ระบบทดสอบ RBTS

โดยวิธีเนทเวอร์คโฟลว์ จากเอกสารอ้างอิง[15]

Annualized Bus Indices Using the Network Flow Method

Bus	Failure Probability	Failure Frequency	Number of Load Curtailments Total	Number of Load Curtailments Isolated	Load Curtailed (MW) Total	Load Curtailed (MW) Isolated
2	0.0083367	3.6419752	3.64	0.00	4.66	0.00
3	0.0083833	3.7288585	3.73	0.00	19.55	0.00
4	0.0083833	3.7290108	3.73	0.00	9.20	0.00
5	0.0083846	3.7314045	3.73	0.00	4.65	0.00
6	0.0095198	4.8542213	4.85	1.13	27.34	22.51

Bus	Energy Curtailed (MWh) Total	Energy Curtailed (MWh) Isolated	Duration of Load Curtailment(Hrs) Total	Duration of Load Curtailment(Hrs) Isolated
2	89.00	0.00	73.03	0.00
3	371.48	0.00	73.44	0.00
4	174.82	0.00	73.44	0.00
5	87.61	0.00	73.44	0.00
6	289.01	199.24	83.39	9.96

Annualized System Indices Using the Network Flow Method

Probability of all components in service = 0.793555
Sum of the probabilities of all contingencies = 0.206418
Bulk Power Supply Disturbances = 5.38842

Basic Indices

Bulk Power Interruption Index = 0.35354 MW/MW-Yr
Bulk Power Energy Curtailment Index = 5.46985 MWh/MW-Yr
Bulk Power Supply Average MW Curtailment Index = 12.13801 MW/Dist.
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index = 0.00062441
Severity Index = 328.191 System-Min.

Average Indices

Number of Load Curtailments/Load Point/Year = 3.93709
Number of Voltage Violations/Load Point/Year:
before compensation = 0.00000
after compensation = 0.00000
Load Curtailed/Load Point/Year = 13.08093 MW
Energy Curtailed/Load Point/Year = 202.38437 MWh
Hrs of Load Curtailment/Load Point/Year = 75.34923 Hrs

ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมและข้อกำหนดดังกล่าวเบื้องต้น ให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดและระบบดังแสดงในตารางที่ 5.4 เมื่อเปรียบเทียบกับผลของระบบทดสอบมาตรฐานซึ่งคำนวณโดยวิธีเนทเวอร์คโฟลว์เหมือนกัน[15] ดังแสดงในตารางที่ 5.5 ให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกันมาก ส่วนที่แตกต่างเพียงเล็กน้อย อาจเป็นผลเนื่องมาจากการกำหนด Cut-off value สำหรับเลือกสถานะที่มีโอกาสเกิดต่ำไม่เท่ากัน

การคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบทดสอบ RBTS ภายใต้ข้อกำหนดวิธีการตัดโหลดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และ Curtailable load =20% ให้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5.6 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 5.4 จะเห็นความแตกต่างในส่วนของค่าดัชนีความเชื่อได้ของจุดโหลด แต่ผลรวมค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบรวมมีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 5.6 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดและระบบ ระบบทดสอบ RBTS โดยโปรแกรมที่สร้างขึ้น ตามเงื่อนไขสำหรับใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

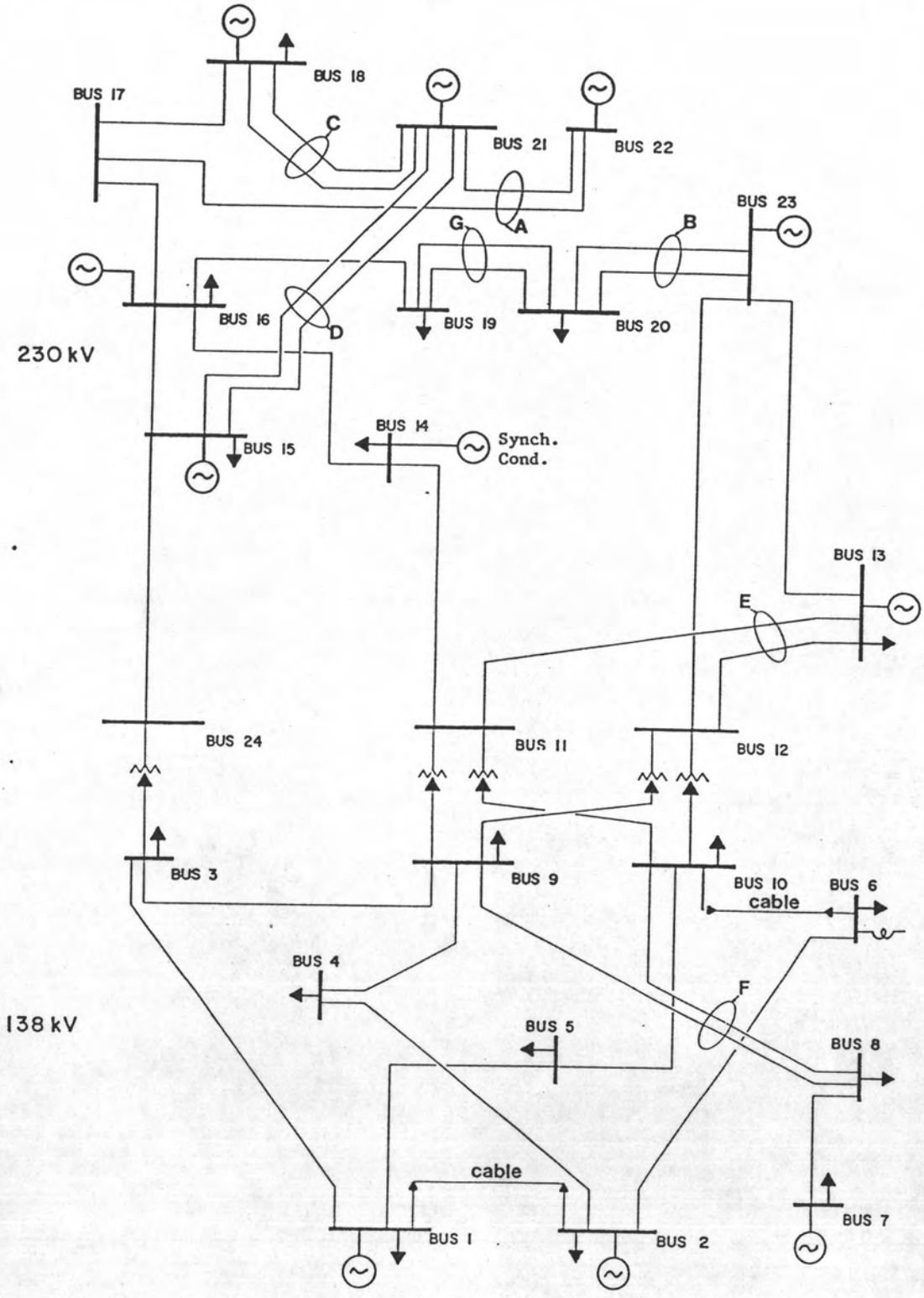
```
TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES       =    20     Sec
PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99999341
FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   115.4012 occ/year
TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        =   935      states
PROBABILITY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 0.00951635
FREQUENCY  OF  FAILURE IN OVERALL SYSTEM =     4.8746 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.000000000	0.00000000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.008328353	3.65789528	6.3711	124.1906	72.9564
3	0.007343509	3.35654666	25.3006	472.4259	64.3291
4	0.007092748	3.18217890	10.1842	191.5937	62.1325
5	0.001246363	0.78733989	1.4951	19.6744	10.9181
6	0.002256802	1.74743826	23.8116	217.8421	19.7696

ANNUALIZED OVERALL SYSTEM INDICES

```
Bulk Power Interruption Index                =     0.3630 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =   13.7780 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index          =     5.5445 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index =     0.00063293
Severity Index                               =   332.6681 System-Min
```



รูปที่ 5.3 ระบบทดสอบค่าดัชนีความเชื่อถือได้มาตรฐาน IEEE-RTS ขนาด 24 บัส

5.3.2 การตรวจสอบโปรแกรมโดยระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS

ระบบดังกล่าวเป็นระบบที่ถูกสร้างมาใช้สำหรับการศึกษาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระดับ HL1 และ HL2 โดยเฉพาะ เป็นระบบขนาด 24 บัส ประกอบด้วย 33 สายส่ง, 5 หม้อแปลงไฟฟ้า , 32 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังการผลิตรวมสูงสุด 3405 KW. และความต้องการโหลดสูงสุดรวม 2850 MW. ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณแสดงในตารางที่ 5.7-5.9

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE-RTS ขนาด 24 บัส

GENERATOR DATA 14 ITEMS 32 UNITS

	GEN NO.	GEN IDN	GEN CAP (MW)	GEN BUS	FAILURE RATE	REPAIR RATE
1	1	2	20.000	1	19.467	175.200
2	3	2	76.000	1	4.469	219.000
3	5	2	20.000	2	19.467	175.200
4	7	2	76.000	2	4.469	219.000
5	9	3	100.000	7	7.300	175.200
6	12	3	197.000	13	9.221	175.200
7	15	5	12.000	15	2.980	146.000
8	20	1	155.000	15	9.125	219.000
9	21	1	155.000	16	9.125	219.000
10	22	1	400.000	18	7.964	58.400
11	23	1	400.000	21	7.964	58.400
12	24	6	50.000	22	4.424	438.000
13	30	2	155.000	23	9.125	219.000
14	32	1	350.000	23	7.617	87.600

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลสายส่งกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE-RTS ขนาด 24 บัส

LINE DATA 38 UNITS

	LINE NO.	LINE CAP(MW)	SD_BUS	ED_BUS	FAILURE_RATE	REPAIR_RATE
1	1	175.000	1	2	0.240	547.500
2	2	175.000	1	3	0.510	876.000
3	3	175.000	1	5	0.330	876.000
4	4	175.000	2	4	0.390	876.000
5	5	175.000	2	6	0.480	876.000
6	6	175.000	3	9	0.380	876.000
7	7	400.000	3	24	0.020	11.406
8	8	175.000	4	9	0.360	876.000
9	9	175.000	5	10	0.340	876.000
10	10	175.000	6	10	0.330	250.286
11	11	175.000	7	8	0.300	876.000
12	12	175.000	8	9	0.440	876.000
13	13	175.000	8	10	0.440	876.000
14	14	400.000	9	11	0.020	11.406
15	15	400.000	9	12	0.020	11.406
16	16	400.000	10	11	0.020	11.406
17	17	400.000	10	12	0.020	11.406
18	18	500.000	11	13	0.400	796.364
19	19	500.000	11	14	0.390	796.364
20	20	500.000	12	13	0.400	796.364
21	21	500.000	12	23	0.520	796.364
22	22	500.000	13	23	0.490	796.364
23	23	500.000	14	16	0.380	796.364
24	24	500.000	15	16	0.330	796.364
25	25	500.000	15	21	0.410	796.364
26	26	500.000	15	21	0.410	796.364
27	27	500.000	15	24	0.410	796.364
28	28	500.000	16	17	0.350	796.364
29	29	500.000	16	19	0.340	796.364
30	30	500.000	17	18	0.320	796.364
31	31	500.000	17	22	0.540	796.364
32	32	500.000	18	21	0.350	796.364
33	33	500.000	18	21	0.350	796.364
34	34	500.000	19	20	0.380	796.364
35	35	500.000	19	20	0.380	796.364
36	36	500.000	20	23	0.340	796.364
37	37	500.000	20	23	0.340	796.364
38	38	500.000	21	22	0.450	796.364

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลค่าโหลดสูงสุดที่โหลดบัสของระบบทดสอบ IEEE-RTS

LOAD DATA 17 BUSES

	LOAD NO.	LOAD DEMAND(MW)	LOAD BUS
1	17	128.000	20
2	16	181.000	19
3	1	108.000	1
4	15	333.000	18
5	13	317.000	15
6	14	100.000	16
7	12	194.000	14
8	11	265.000	13
9	10	195.000	10
10	9	175.000	9
11	8	171.000	8
12	7	125.000	7
13	6	136.000	6
14	5	71.000	5
15	4	74.000	4
16	3	180.000	3
17	2	97.000	2

ตารางที่ 5.10 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS โดยวิธีการเดิม เมื่อกำหนด CURTAILABLE LOAD=20% ของค่าโหลดสูงสุดในแต่ละบัส

IEEE-RTS ; CURT=20% ; by CONVENTIONAL METHOD
Cut-off value in index calculation : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES = 3550 Sec
PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.98836445
FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION = 476.2636 occ/year
TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION = 27963 states
PROBABILITY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 0.07619417
FREQUENCY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 49.1437 occ/year
PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM = 0.05663317
FREQUENCY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM = 38.1157 occ/year

BASIC BUS INDICES IN SYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.051516684	34.31573697	324.2646	4178.7323	451.2861
2	0.040640877	26.30755596	186.5094	2464.5269	356.0141
3	0.026373171	15.67523711	153.5809	2192.2256	231.0290
4	0.040655040	26.32810675	145.2306	1910.6934	356.1382
5	0.026257841	15.57756336	59.8919	857.1189	230.0187
6	0.040687646	26.34645605	267.2461	3516.8981	356.4238
7	0.011071359	8.27344594	122.5272	1479.0817	96.9851
8	0.034417007	21.92125985	293.5480	3840.9862	301.4930
9	0.026975911	16.22349284	158.1088	2219.2829	236.3090
10	0.026928834	16.18811633	175.9468	2468.7909	235.8966
13	0.068068654	42.82563677	1267.9355	17353.9181	596.2814
14	0.026480240	15.73479647	166.0441	2374.6085	231.9669
15	0.058529352	37.33138804	1650.3555	23900.3704	512.7171
16	0.031528416	19.76922818	127.4653	1681.7364	276.1889
18	0.070205859	44.35913597	1775.8592	25561.3448	615.0033
19	0.031515210	19.75194144	231.5676	3049.0385	276.0732
20	0.045744536	29.16632955	513.9228	7201.9919	400.7221

ANNUALIZED OVERALL SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index = 2.6737 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index = 155.0556 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index = 37.2812 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index = 0.00425584
Severity Index = 2236.8704 System-Min

ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES (BUS No.1-10)
Bulk Power Interruption Index = 1.4166 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index = 49.5033 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index = 18.8651 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index = 0.00215355
Severity Index = 1131.9071 System-Min

การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อได้โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้น ตามข้อกำหนดในบทที่ 3 Curtailble load = 20% และใช้การคำนวณวิธีการเดิม ให้ผลรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5.10

ในการศึกษาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิตและระบบสายส่งที่ผ่านมา ไม่มีข้อกำหนดสำหรับตรวจสอบผลกับระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS อย่างแน่นอน การเลือกใช้วิธีการหาโหลดโฟลว์ที่แตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา และการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งส่งผลให้ค่าดัชนีความเชื่อได้ของระบบรวมแตกต่างกัน เช่น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความจำเป็นต้องใช้วิธีเนทเวอร์คโฟลว์ เนื่องจากข้อจำกัดของวิธีการคำนวณแบบแยกส่วน ทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพแรงดันไม่ได้รับการพิจารณา ค่าที่คำนวณได้โดยใช้วิธีนี้หรือการใช้ D.C.load flow จะต่ำกว่าวิธีการใช้ A.C.load flow อีกประการหนึ่งการกำหนดวิธีการแก้ปัญหากรณีระบบเกิดการขัดข้อง(Remedial action) หรือวิธีการตัดโหลดที่แตกต่างกันจะส่งผลให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดแตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิงที่ค้นคว้าได้สำหรับการคำนวณกับระบบ IEEE-RTS ส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันบ้างในเงื่อนไขการคำนวณ (หรือไม่ระบุในเอกสารให้ชัดเจน) แต่ที่คัดเลือกนำมาเปรียบเทียบในที่นี้คือ จากเอกสารอ้างอิง [16] การหาโหลดโฟลว์ใช้ D.C. load flow พิจารณาเฉพาะการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงเท่านั้น ซึ่งจะให้ผลค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบเหมือนการใช้วิธีเนทเวอร์คโฟลว์ และจากเอกสารอ้างอิง[17] คำนวณโดยใช้ A.C. load flow ภายใต้ข้อกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องเหมือนกัน

จากผลในตารางที่ 5.11 ถ้ายอมรับเงื่อนไขของการใช้วิธีเนทเวอร์คแล้ว เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ D.C.load flow ผลการคำนวณใกล้เคียงกันมาก และการคำนวณโดยใช้ A.C. load flow จะให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบรวมสูงกว่าประมาณ 20-30% อย่างไรก็ตามผลของความแตกต่างดังกล่าวไม่ใช่ค่าคงที่เสมอไป และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดจะไม่เปลี่ยนแปลงในสัดส่วนที่เท่ากันด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ Network topology และ Remedial action เป็นสำคัญ จากตารางที่ 5.10 และ 5.12 แสดงให้เห็นโหลดบัสสำคัญที่ถูกตัดโหลดออกจากระบบในปริมาณที่ค่อนข้างมากและความน่าจะเป็นที่ถูกตัดโหลดบางส่วนมีค่าสูงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนที่บัส 18 , 15, 13 และ 20 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ ระบบทดสอบ IEEE-RTS

	จากตารางที่ 5.10 ผลจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้	จากตารางที่ 1 เอกสารอ้างอิง[16]	จากตารางที่ 6 เอกสารอ้างอิง[17]
Probability of failure	0.07619	0.07530	Na
Frequency of failure	49.1437	47.96653	Na
BPII	2.6737	2.61351	3.69
BPACI	155.0556	155.28572	167.67
BPAEI	37.2812	36.76426	51.16
MBECI	0.000426	0.00421	0.005841
SI	2236.8704	2205.85522	3070.1
CPU Time (second)	3550	1098	Na
Load flow technique	Network flow	D.C.load flow	A.C.load flow

ตารางที่ 5.12 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลด ระบบทดสอบ IEEE-RTS

โดยใช้ A.C.load flow จากเอกสารอ้างอิง[17]

Annualized Bus Indices for the IEEE RTS

System load = 2850 MW

Bus No.	Failure Probability	Failure Frequency occ/yr	Load Curtailed MW	Energy Curtailed MW-hr
1	0.022446	16.59	171.5	2,086
2	0.040999	30.01	314.6	3,827
3	0.022640	16.73	369.2	4,560
4	0.022394	16.54	172.4	2,133
5	0.022446	16.54	145.2	1,794
6	0.022395	16.54	317.0	3,920
7	0.015922	11.93	160.4	1,905
8	0.015950	12.01	326.3	3,972
9	0.003171	1.93	32.4	425
10	0.003171	1.93	36.6	474
13	0.071273	45.83	1,769.2	23,662
14	0.009556	6.70	150.4	1,793
15	0.056509	35.38	1,961.7	28,069
16	0.026011	18.35	204.9	2,478
18	0.083433	51.51	3,377.9	50,912
19	0.011667	8.05	166.4	2,017
20	0.045213	29.97	853.4	11,792
				145,819

5.4 การวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

การวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ในส่วนแรกจะใช้คำนวณกับระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS เปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้และเวลาที่ใช้กับการคำนวณวิธีการเดิม และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สำคัญต่างๆ ดังแสดงในหัวข้อ 5.4.1-5.4.6 และส่วนที่สองเป็นการคำนวณระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยนำระบบทดสอบ IEEE-RTS ต่อเชื่อมกับระบบ RBTS ในหัวข้อ 5.4.7

ตัวอย่างการหาค่าดัชนีความเชื่อได้ระบบไฟฟ้าส่วนย่อยในระบบ IEEE-RTS จัดแบ่งโดยพิจารณาส่วนระบบไฟฟ้าด้านแรงดันต่ำ 138 kV. ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่บัส 1-10 จำนวน 10 บัส เป็นระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS) การจัดแบ่งดังกล่าวเป็นกลุ่มของระบบที่ชัดเจน ดังนั้นในการวิเคราะห์โดยวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ส่วนนี้ จะใช้ระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส ดังกล่าวเป็นกรณีศึกษาพื้นฐาน และกำหนดให้ค่า Curtailable load = 20 % ของค่าโหลดสูงสุดในแต่ละบัส

ระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่(MS)จำนวน 14 บัส ที่เหลือ ประกอบด้วยส่วนการผลิตของระบบ IEEE-RTS เป็นส่วนใหญ่ ถูกจำลองด้วยโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์จำนวน 370 สถานะ เมื่อไม่มีการปัดเศษเป็นจำนวนเต็มของค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมที่บัส 11, 12 และ 24 ดังแสดงในภาคผนวก ก. และในกรณีมีการประมาณค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเต็ม (RD=1) แบบจำลองจะลดลงเหลือ 309 สถานะ ดังแสดงในภาคผนวก ข. ซึ่งทั้ง 2 กรณีข้างต้นได้กำหนด Cut-off value สำหรับพิจารณาสถานะในขั้นตอนการสร้างโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ไว้ดังนี้ ค่าความน่าจะเป็นของโอกาสที่จะเกิดสถานะสูงกว่า 10^{-6} และความถี่ของโอกาสที่จะเกิดสถานะสูงกว่า 10^{-5}

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าค่าความพร้อมมูลในทุกสถานะของโมเดลเป็นค่าบวกทั้งหมด (Positive capacity margin) เนื่องจากระบบการผลิตใน MS มีค่ามากกว่าความต้องการโหลดใน MS ถึงแม้จะเกิดเหตุการณ์ขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือสายส่งพร้อมกันหลายองค์ประกอบตามข้อกำหนดในตารางที่ 3.1 ระบบในส่วน MS ยังคงสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ SS ได้ และในบางสถานะที่บางบัสจะมีค่าความพร้อมมูลเป็นศูนย์ (Zero capacity margin)เช่นในสถานะที่ 214-242 ของภาคผนวก ข. ค่าความพร้อมมูลที่บัส 24 มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเป็นสถานะที่เกิดเหตุขัดข้องในสายส่งเชื่อมโยง(Connected line)7 ไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้า

จากบัส 24 สู่ SS ได้ หรือในสถานะ 181-202 เกิดขัดข้องในสายส่ง 27 (ดูรูปที่ 5.3) ไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าไปสู่บัสที่ 24 ได้ ค่าความพร้อมมูลที่บัส 24 จึงมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน

5.4.1 กรณีการกำหนด Cut-off value สำหรับพิจารณาสถานะในขั้นตอนการสร้างโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

ค่า Cut-off value สำหรับใช้พิจารณาเลือกสถานะดังกำหนดในหัวข้อ 3.2 คือ 10^{-8} และ 10^{-6} สำหรับค่าความน่าจะเป็น และความถี่ของโอกาสที่จะเกิดสถานการณ์ขัดข้องต่ำสุดที่ได้รับการพิจารณา ค่าดังกล่าวอาจต่ำเกินไปเมื่อนำมาใช้ในขั้นตอนการสร้างโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ทำให้จำนวนสถานะในโมเดลมากเกินความจำเป็นและเสียเวลาในการคำนวณมากขึ้น ขณะที่ผลค่าดัชนีความเชื่อถือได้ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อกำหนดค่า Cut-off value มีค่าสูงขึ้น

ในกรณีนี้ได้กำหนดค่า Cut-off value สำหรับเปรียบเทียบ 2 กรณี คือ

1).กรณีที่ 1 (Case A.) กำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นและความถี่ของโอกาสการเกิดสถานะต่ำสุด ที่ได้รับการพิจารณา เท่ากับ 10^{-8} และ 10^{-5} ตามลำดับ

2).กรณีที่ 2 (Case B.) กำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นและความถี่ของโอกาสการเกิดสถานะต่ำสุด ที่ได้รับการพิจารณา เท่ากับ 10^{-8} และ 10^{-6} ตามลำดับ

สำหรับเงื่อนไขอื่นนอกเหนือจากนี้ที่ใช้ในการคำนวณทั้ง 2 กรณี เหมือนกันทุกประการ ตารางที่ 5.13 แสดงผลการคำนวณใน Case A. และ ตารางที่ 5.14 สำหรับ Case B. เมื่อเปรียบเทียบกรณีทั้งสองกับการคำนวณโดยใช้วิธีการเดิม แสดงผลในรูปที่ 5.4 ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลว ณ จุดโหลด เกือบทุกบัสมีค่าต่ำกว่าผลการคำนวณโดยวิธีการเดิมในปริมาณที่ไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณโดยวิธีการเดิมทั้งระบบใหญ่ เมื่อมีการเกิดเหตุขัดข้องทำให้การผลิตไม่เพียงพอกับความต้องการโหลด ด้วยวิธีการตัดโหลดดังกำหนดในหัวข้อที่ 3.4 ทำให้มีการตัดโหลดบางส่วนที่โหลดบัสในพื้นที่วงกว้าง เฉลี่ยปริมาณโหลดที่ถูกตัดลดลงแต่ละบัสมีปริมาณไม่มากนัก จะเห็นได้ว่าค่า ELC และ EENS ที่ได้จะมีค่าต่ำเมื่อคำนวณด้วยวิธีการเดิม ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะถูกตัดโหลดมีค่าสูงกว่าวิธีการแยกระบบคำนวณ ขณะที่การคำนวณโดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์จะให้ค่า ELC และ EENS สูง เนื่องจากเมื่อเกิดเหตุขัดข้องใน SS ทำให้กำลังการผลิตไม่เพียงพอ เฉพาะโหลดบัสใน SS เท่านั้นที่ต้องรับผลกระทบจากการตัดโหลดในสถานการณ์นั้น ๆ และอีกประการหนึ่ง ความน่าจะเป็นรวมของสถานะที่ได้รับการพิจารณามีค่า

ตารางที่ 5.13 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส โดยวิธีแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์ เมื่อกำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็นและความถี่ต่ำสุดของสถานะที่ได้รับการพิจารณาในขั้นตอนการสร้างโมเดลแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์เท่ากับ 1.0E-6,1.0E-5

```
IEEE-RTS : CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MAQDE      : PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99829346
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   261.3188
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   309
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    251      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  5908      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99791132
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   486.7649 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 19541      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.05275626
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    40.1900 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.051705422	39.33171220	530.2385	5964.7824	452.9395
2	0.040763512	31.51644933	269.9640	2953.5512	357.0884
3	0.022095187	17.05878442	218.9315	2475.4398	193.5538
4	0.040771963	31.52992881	218.0290	2361.4072	357.1624
5	0.022080409	17.03518962	86.2097	975.6103	193.4244
6	0.040799472	31.55511347	483.9351	5324.2749	357.4034
7	0.014213465	11.66165471	249.3518	2695.5739	124.5100
8	0.027024334	21.43240510	475.6105	5240.3745	236.7332
9	0.022260009	17.30848999	216.8539	2429.9896	194.9977
10	0.022290695	17.32354255	248.7308	2804.0786	195.2665

```
       ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     2.2506 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    74.5921 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    24.9438 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00284746
Severity Index                                =  1496.6253 System-Min
```

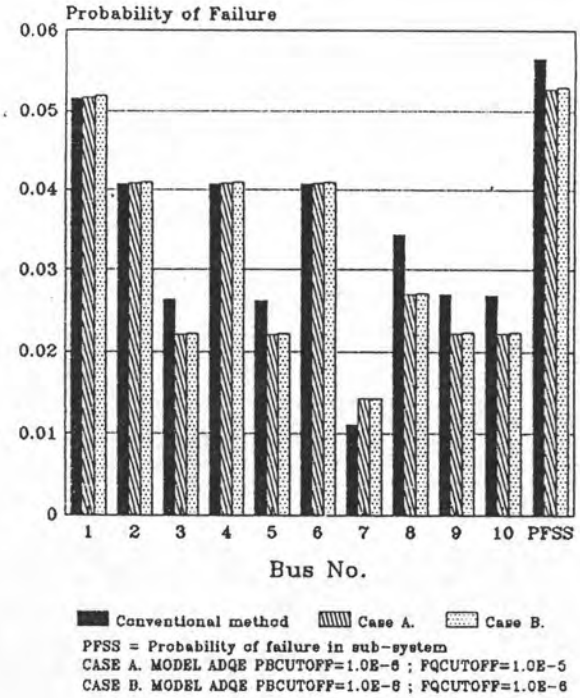
ตารางที่ 5.14 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส โดยวิธีแอดดิเควซีอิควิวาเล็นตส์ เมื่อกำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็นและความถี่ต่ำสุดของสถานะที่ได้รับการพิจารณาในขั้นตอนการสร้างโมเดลแอดดิเควซีอิควิวาเล็นตส์เท่ากับ 1.0E-8,1.0E-6

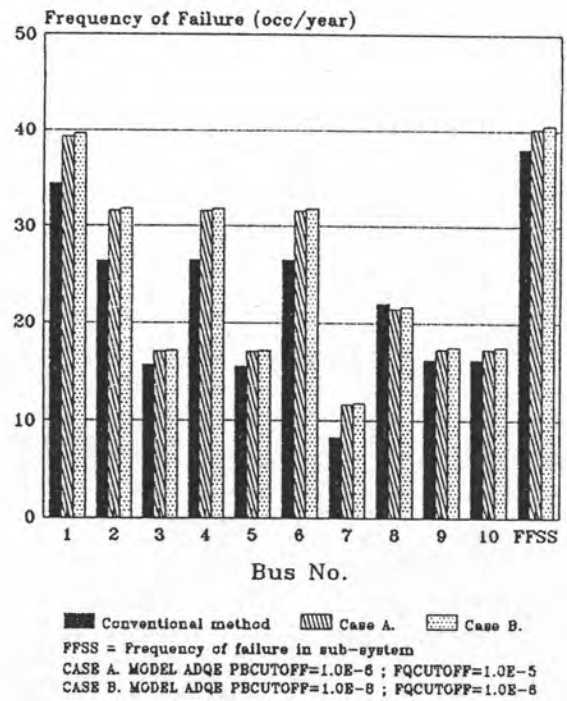
```
IEEE-RTS ; CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99913431
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   262.3074
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   897
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    594      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  6547      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99865113
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   487.8210 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 20001      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.05299517
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    40.5224 occ/year
```

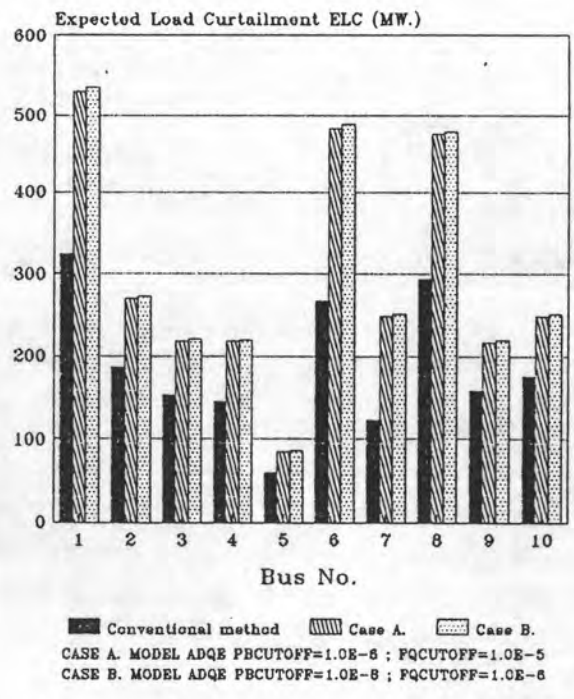
BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

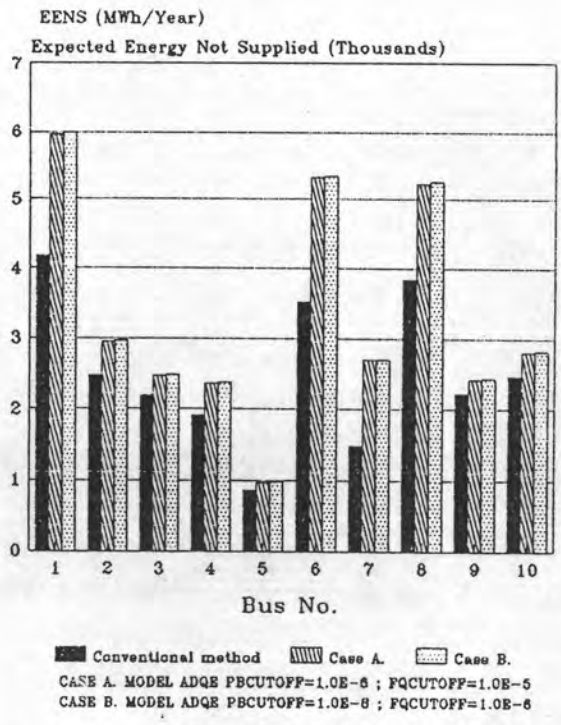
BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.051940027	39.65742570	534.6620	5992.0082	454.9946
2	0.040960452	31.78960032	272.3582	2968.2613	358.8136
3	0.022224345	17.23417146	221.1603	2489.5328	194.6853
4	0.040968924	31.80313322	219.9335	2373.0405	358.8878
5	0.022209475	17.21037911	87.0872	981.1629	194.5550
6	0.040996582	31.82852918	488.3620	5351.4206	359.1301
7	0.014266401	11.74069916	251.1830	2706.3982	124.9737
8	0.027166478	21.62880012	479.5706	5264.6389	237.9783
9	0.022389475	17.48464212	219.0590	2444.0340	196.1318
10	0.022420303	17.49984865	251.2428	2820.1337	196.4019

```
      ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     2.2707 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    74.6407 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    25.0680 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00286165
Severity Index                                =  1504.0825 System-Min
```

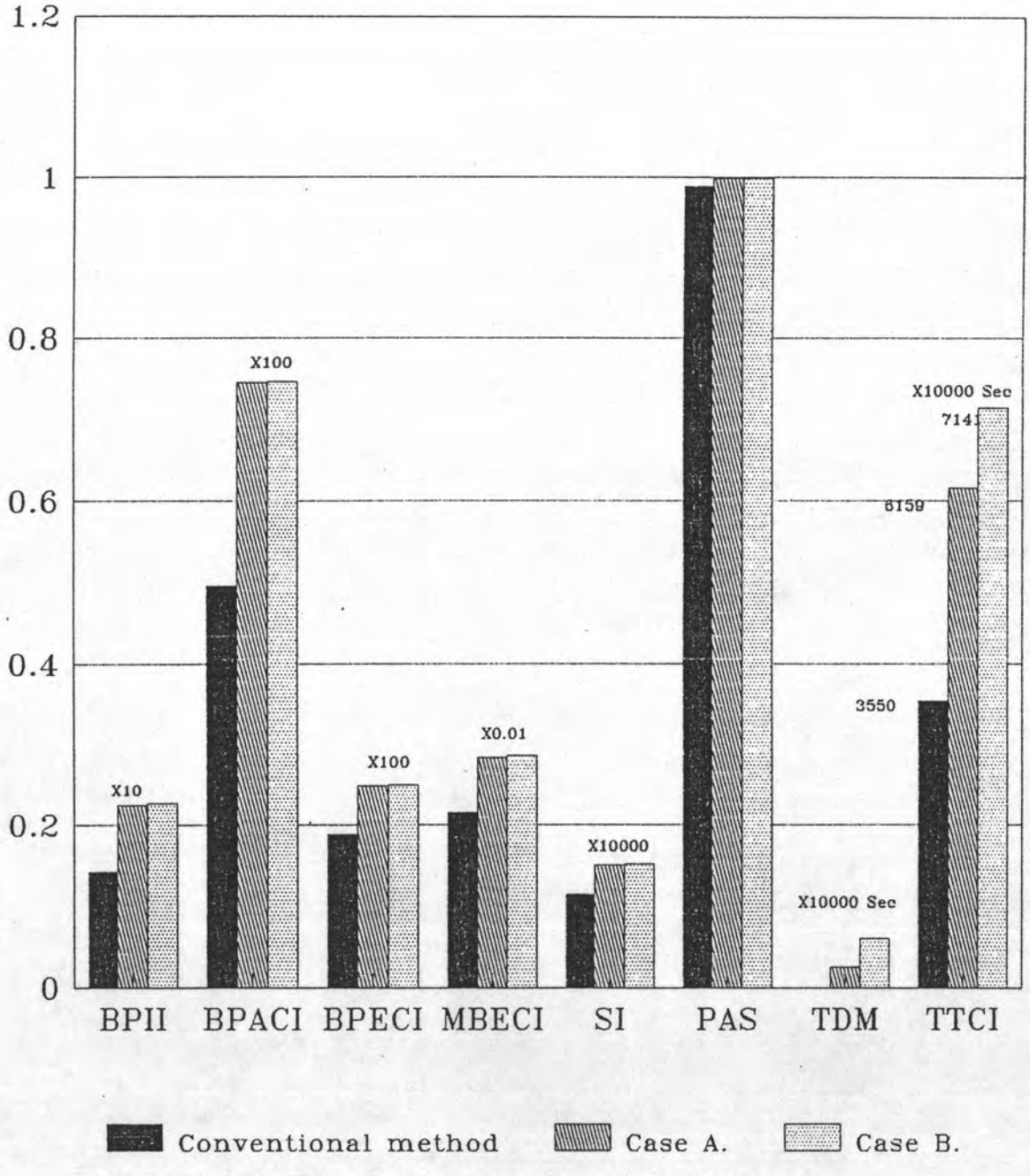








รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย เมื่อกำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็นและความถี่ต่ำสุดของสถานะที่ได้รับการพิจารณาในขั้นตอนการสร้างโมเดลแอดดิเควชีอิควาเล็นต์แตกต่างกัน



PAS = Probability of all states in calculation
TDM = Time to develop adequacy equivalent model
TTCI = Total time to calculate adequacy indices

รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้รวมของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย เมื่อกำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็น และความถี่ต่ำสุดของสถานะที่ได้รับการพิจารณาในขั้นตอนการสร้างโมเดลแอดดิเควซีอิควิวาเล็นตส์แตกต่างกัน

สูงกว่าวิธีการเดิม สถานะดังกล่าวที่ไม่ได้รับการพิจารณาในการใช้วิธีการเดิมเป็นสถานะที่มีระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องสูงกว่า 4 ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบมาก จึงทำให้ผลการคำนวณค่า ELC และ EENS มีค่าสูงขึ้นมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็น (PFSS) และความถี่ (FFSS) ของโอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย ค่าที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกัน

ผลการคำนวณใน Case A. และ Case B. มีความแตกต่างกันน้อยมากทั้งในค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดและรวมของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย แต่ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 5.5 คือ เวลาที่ใช้ในการคำนวณใน Case B.ใช้เวลาการคำนวณสูงกว่า Case A. ทั้งเวลาที่ใช้ในการสร้างโมเดล และเวลาที่ใช้คำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ จำนวนสถานะในโมเดลของ Case B.เท่ากับ 897 สถานะ จะลดลงเหลือเพียง 309 สถานะ ใน Case A. ดังนั้นกรณีศึกษาต่อไปส่วนใหญ่จะใช้เงื่อนไข Cut-off value ใน Case A. สำหรับขั้นตอนการสร้างโมเดลแอดดิเควชีอิควาเล็นตส์

5.4.2 กรณีการกำหนดช่วงระดับสำหรับประมาณค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้า

เนื่องจากค่าความพร้อมมูลที่ได้จากการคำนวณ ก่อนมีการปัดเศษเป็นจำนวนเต็ม หรือประมาณเป็นช่วงระดับ จะมีจำนวนสถานะในโมเดลมากเกินความจำเป็น การประมาณค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเต็ม (RD=1) ไม่ส่งผลให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่คำนวณได้แตกต่างจากกรณีไม่ปัดเศษ ดังนั้นการประมาณค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเต็มจะใช้เป็นเกณฑ์กำหนดทั่วไปในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อย่างไรก็ตาม หัวข้อนี้จะพิจารณาถึงผลการประมาณค่าความพร้อมมูลเป็นช่วงระดับที่เหมาะสม โดยประมาณช่วงระดับเป็นจำนวนเท่าของ 5 (RD = 5) และ 10 (RD = 10)

ตารางที่ 5.15 และ 5.16 แสดงผลการคำนวณเมื่อประมาณช่วงระดับความพร้อมมูลเป็นจำนวนเท่าของ 5 และ 10 ตามลำดับ ผลจาก 2 ตารางดังกล่าวนำมาพิจารณาร่วมกับตารางที่ 5.10 และ 5.13 แสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และ 5.7 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดทั้ง 10 บัส ในกรณีที่มีการประมาณค่าความพร้อมมูลแตกต่างกันไม่ทำให้ผลการคำนวณแตกต่างกันมากนัก แต่จะสังเกตุเห็นได้ว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อยเมื่อประมาณค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเต็ม จะมีค่าสูงกว่าเมื่อประมาณช่วงระดับเป็นจำนวนเท่าของ 5 และ 10 เล็กน้อย และทั้งหมดมีค่าสูงกว่าการคำนวณโดยวิธีการเดิม

สำหรับเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะมีค่าลดลง เมื่อการประมาณช่วงระดับมีค่าสูงขึ้น เพราะจำนวนระดับสถานะในโมเดลลดลงจาก 309, 289, 260 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.15 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส โดยวิธีแอดติเควซีอิควิวาเล็นตส์ เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเท่าของ 5 (RD=5)

```
IEEE-RTS ; CURT=20% ; RD=5
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6  (COMAQD)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99829346
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   261.3188
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   289
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    250      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  5536      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99791681
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   486.7746 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 18731      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.05275898
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    40.1948 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.051707485	39.33552806	511.1850	5731.7160	452.9576
2	0.040764184	31.51792173	263.7138	2881.4149	357.0943
3	0.022099499	17.06388035	216.2644	2447.1666	193.5916
4	0.040772661	31.53145170	213.2099	2305.8870	357.1685
5	0.022086020	17.04240764	85.1568	964.4547	193.4735
6	0.040800187	31.55667030	474.4030	5215.0732	357.4096
7	0.014214206	11.66302108	247.8037	2678.7038	124.5164
8	0.027029243	21.43855769	472.8088	5211.2913	236.7762
9	0.022264913	17.31471801	214.1860	2402.0281	195.0406
10	0.022296762	17.33167881	245.9362	2775.7067	195.3196

```
          ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     2.2107 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailment Index =    73.2598 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    24.4846 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00279504
Severity Index                                =  1469.0740 System-Min
```

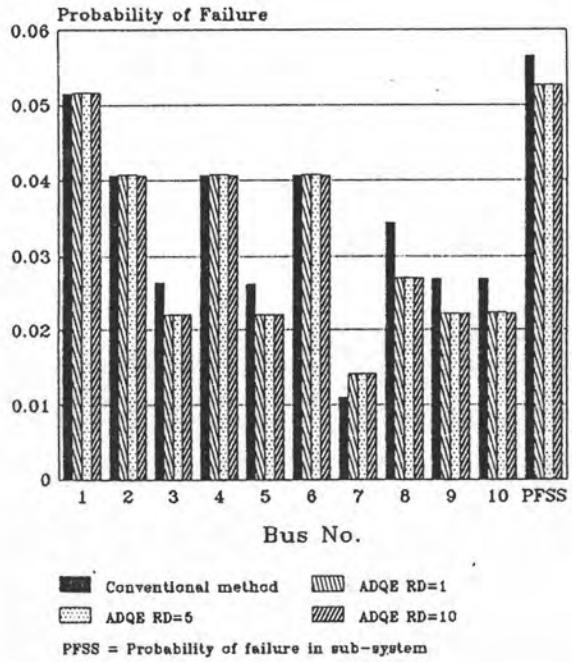
ตารางที่ 5.16 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส โดยวิธีแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์ เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเท่าของ 10 (RD=10)

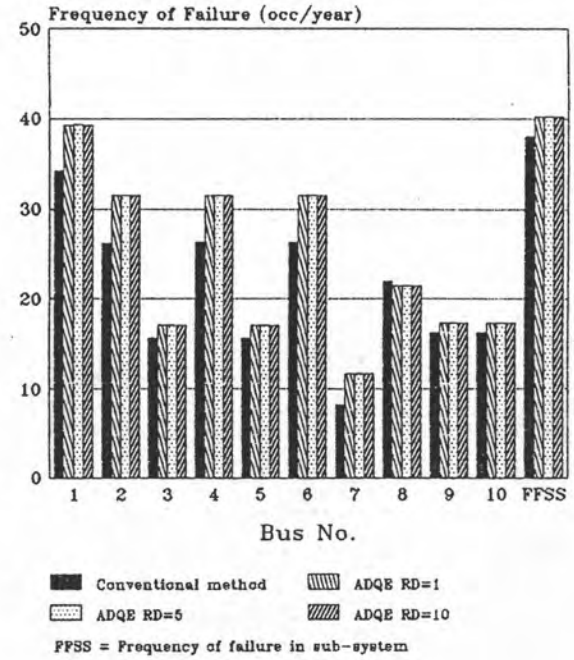
```
IEEE-RTS ; CURT=20% ; RD=10
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99829346
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   261.3188
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   260
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    249      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  5150      Sec*
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99792501
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   486.7893 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 17218      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.05273578
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    40.1739 occ/year
```

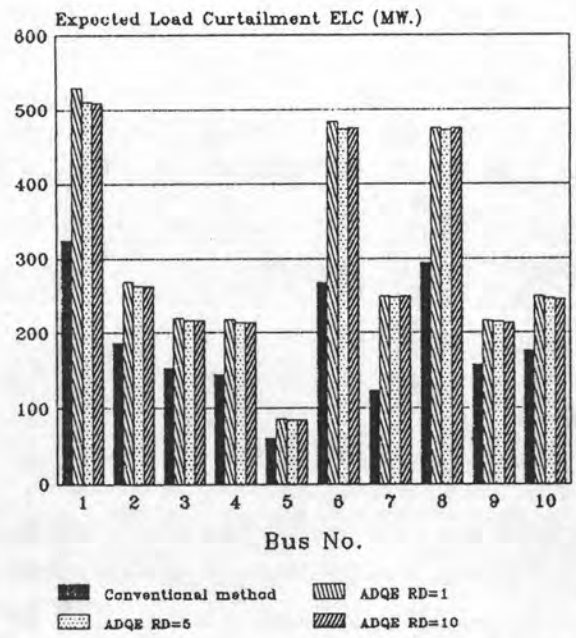
BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

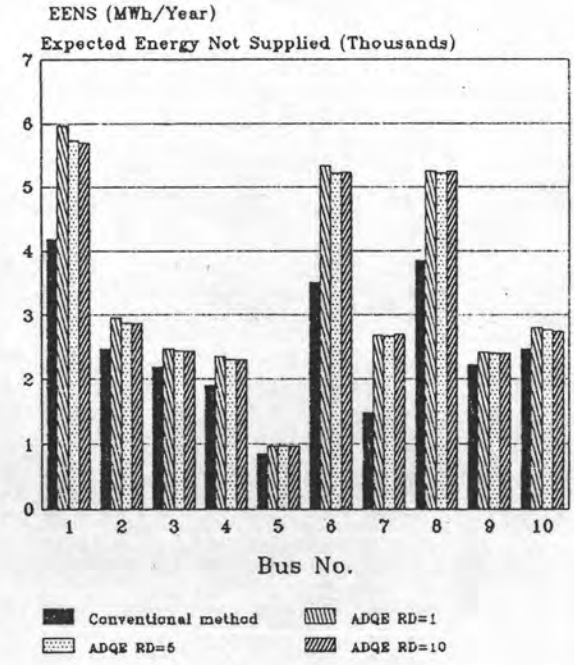
BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.051642813	39.27921446	509.7041	5706.0654	452.3910
2	0.040697867	31.46094275	263.3351	2874.5365	356.5133
3	0.022057809	17.03109326	215.8952	2442.1119	193.2264
4	0.040706384	31.47455133	213.0415	2301.7097	356.5879
5	0.022044312	17.00957277	85.0077	962.4433	193.1082
6	0.040733971	31.49985191	475.0824	5222.6112	356.8296
7	0.014214917	11.66484168	249.7518	2699.9571	124.5227
8	0.027033083	21.44587686	475.5476	5240.2178	236.8098
9	0.022223725	17.28297961	213.8869	2397.5378	194.6798
10	0.022255720	17.30010159	244.5223	2754.3093	194.9601

```
       ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     2.2115 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =   73.3256 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    24.4756 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00279402
Severity Index                                =  1468.5360 System-Min
```

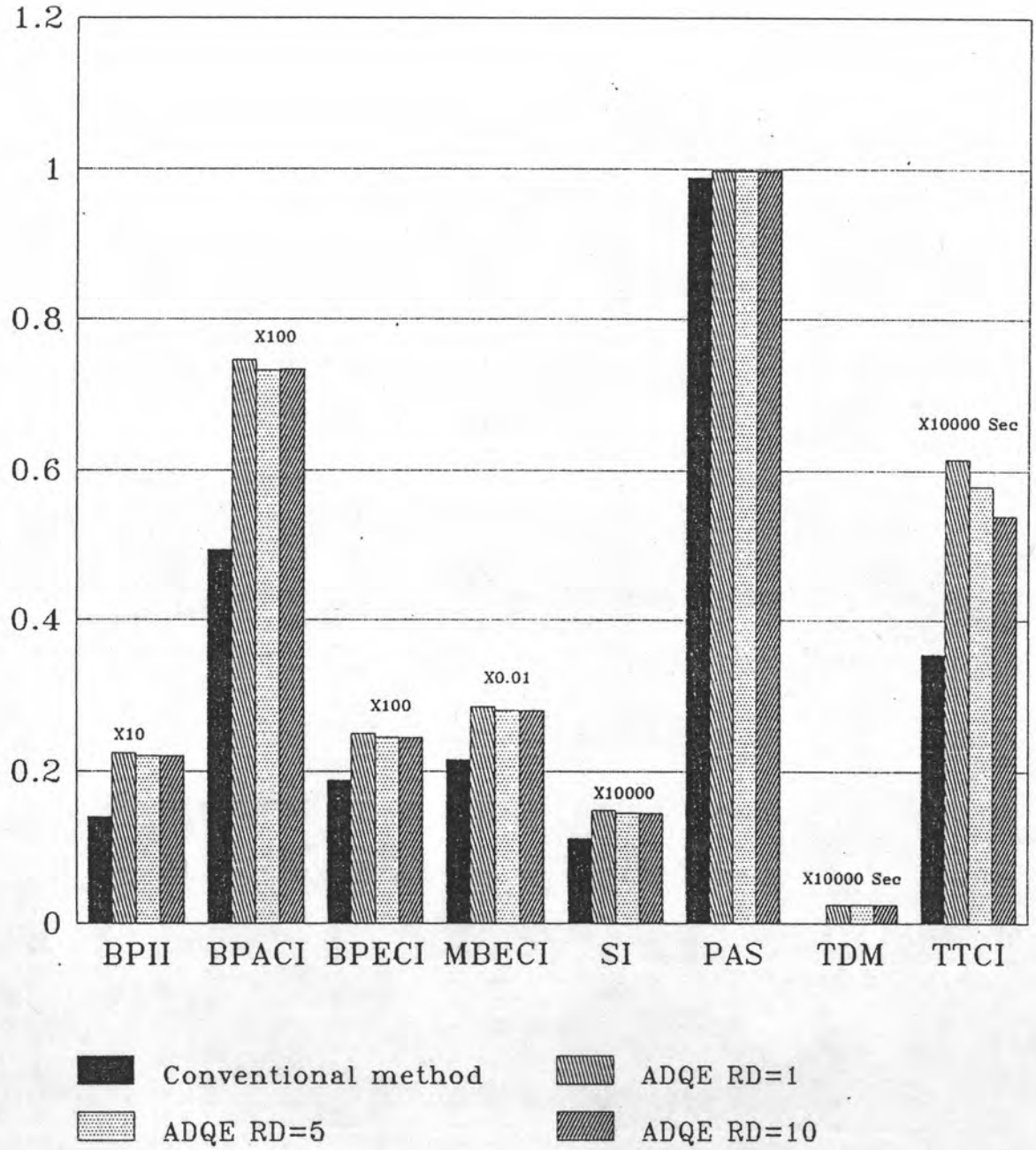








รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยขนาด 10 บัส เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลแตกต่างกัน



PAS = Probability of all states in calculation
TDM = Time to develop adequacy equivalent model
TTCI = Total time to calculate adequacy indices

รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้รวมของระบบไฟฟ้าส่วนย่อยขนาด 10 บัส เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลแตกต่างกัน

5.4.3 กรณีการกำหนด Cut-off value สำหรับพิจารณาสถานะในขั้นตอนการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย

การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ เป็นการรวมสถานะหนึ่งของโมเดลเข้ากับสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องใน SS ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องสูงถึง 8 และถ้าสถานะดังกล่าวมีค่าความน่าจะเป็นและความถี่ของการเกิดสูงกว่าค่า Cut-off value ที่กำหนด จะได้รับการพิจารณาในขั้นตอนคำนวณต่อไป ดังนั้นการกำหนดค่า Cut-off value ดังกล่าวไม่จำเป็นต้องมีค่าต่ำดังเช่นการคำนวณโดยวิธีการเดิม ในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบผลของการกำหนดค่า Cut-off value สำหรับเลือกสถานะในขั้นตอนการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อยเป็น 2 กรณี คือ

1) กรณีที่ 1 (Case A.) กำหนดเช่นเดียวกับในกรณีใช้วิธีการเดิม คือ 10^{-8} และ 10^{-6} สำหรับค่าต่ำสุดของความน่าจะเป็นและความถี่ของสถานะที่ได้รับการพิจารณา

2) กรณีที่ 2 (Case B.) กำหนดให้ค่าความน่าจะเป็น และความถี่ของโอกาสการเกิดสถานะต่ำสุดที่ได้รับการพิจารณาเท่ากับ 10^{-6}, 10^{-5} ตามลำดับ

ผลการคำนวณใน Case A. แสดงในตารางที่ 5.14 หัวข้อ 5.4.1 และ Case B. แสดงในตารางที่ 5.17 และการเปรียบเทียบแสดงในรูปที่ 5.8 และ 5.9

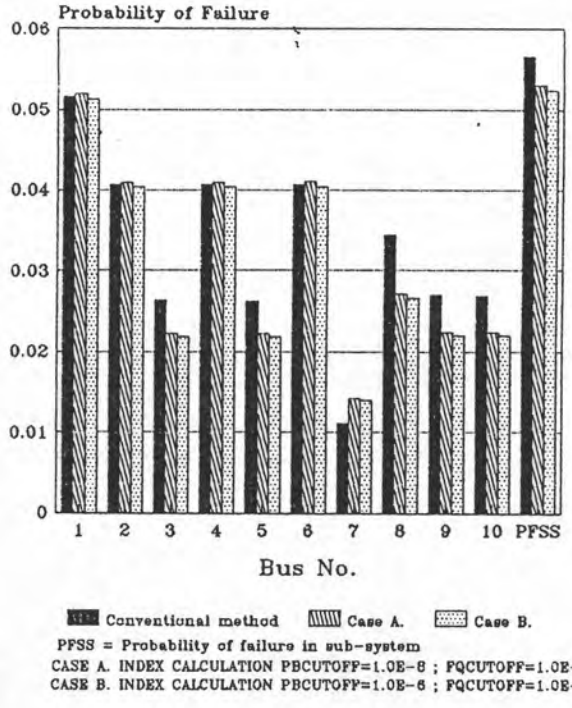
ตารางที่ 5.17 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส โดยวิธีแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์ เมื่อกำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็นและความถี่ต่ำสุดของสถานะที่ได้รับการพิจารณาในการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้เท่ากับ 1.0E-6 และ1.0E-5

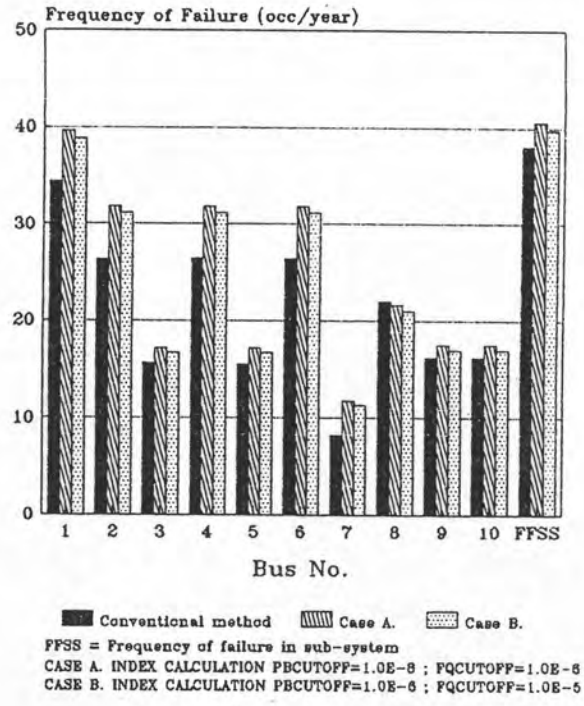
```
IEEE-RTS ; CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99913431
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   262.3074
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   897
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    603      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  6124      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99647266
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   484.9860 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        =  3332      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.05233967
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    39.7011 occ/year
```

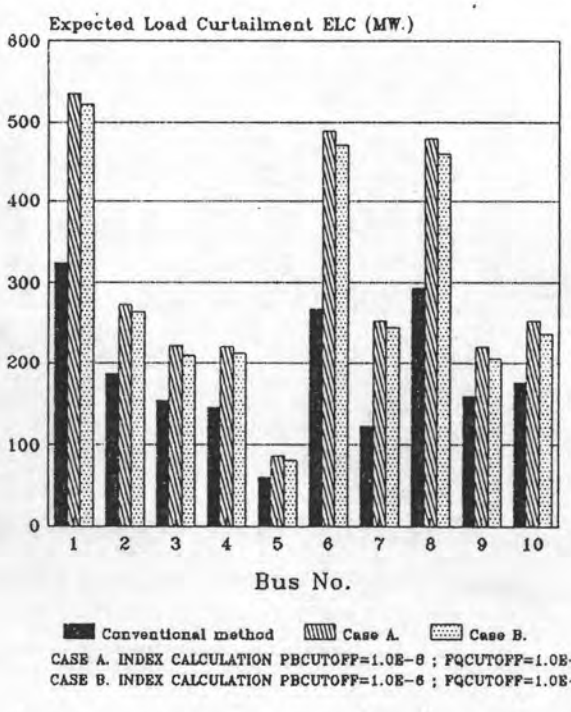
BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

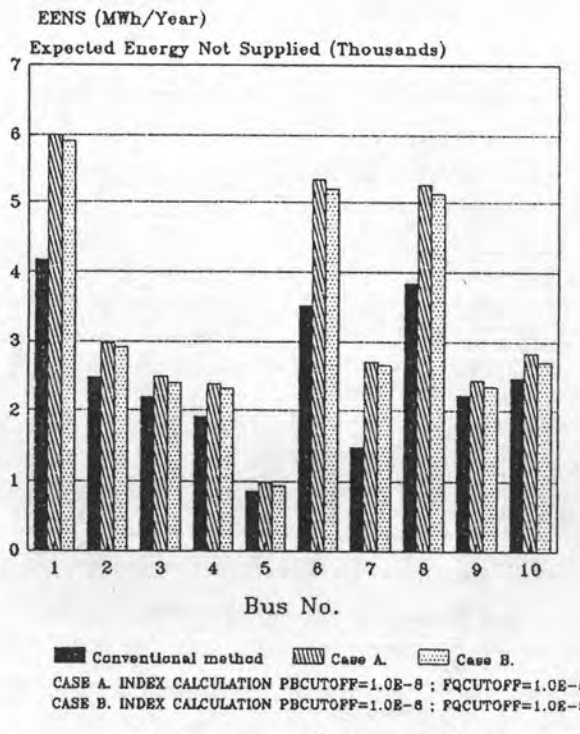
BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.051325183	38.89117452	522.0695	5901.2159	449.6086
2	0.040398649	31.09762584	263.5689	2903.8654	353.8922
3	0.021835550	16.77225092	208.9231	2397.6545	191.2794
4	0.040404510	31.10686098	211.8417	2314.0223	353.9435
5	0.021828494	16.76096864	82.3826	945.6012	191.2176
6	0.040425508	31.12533630	469.8990	5215.3959	354.1274
7	0.013965227	11.36517346	243.9486	2654.8489	122.3354
8	0.026626546	20.96532582	460.3328	5128.3027	233.2485
9	0.021944859	16.93056410	205.4204	2345.3112	192.2370
10	0.021973864	16.95087180	235.8160	2706.6617	192.4910

```
       ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     2.1803 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailment Index =    73.1516 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    24.4091 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00278642
Severity Index                                =  1464.5441 System-Min
```

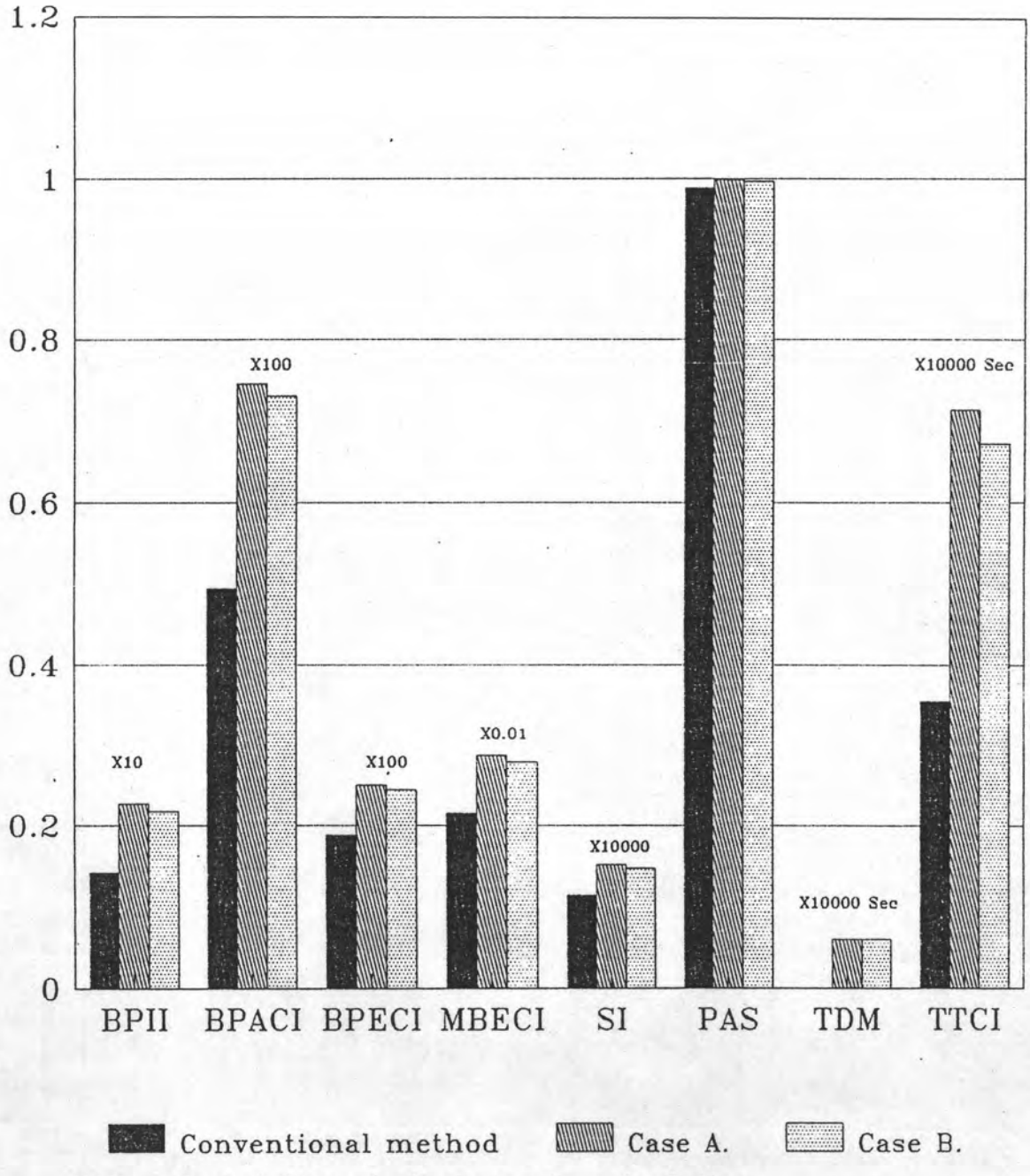








รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย เมื่อกำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็นและความถี่ต่ำสุดของสถานะที่ได้รับการพิจารณาในการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้แตกต่างกัน



PAS = Probability of all states in calculation
TDM = Time to develop adequacy equivalent model
TTCI = Total time to calculate adequacy indices

รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้รวมของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย เมื่อกำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็นและความถี่ต่ำสุดของสถานะที่ได้รับการพิจารณา ในการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้แตกต่างกัน

5.4.4 กรณีการกำหนด Cut-off value สำหรับเลือกสถานะจากโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ใช้คำนวณร่วมกับสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย

การกำหนด Cut-off value (กำหนดในตัวแปร COMADQ) สำหรับคัดเลือกสถานะจากโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ที่ผ่านมา จะพิจารณาสถานะที่มีความน่าจะเป็นของการเกิดสูงกว่า 10^{-6} แล้วนำมาคำนวณร่วมกับความน่าจะเป็นของสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ความน่าจะเป็นของสถานะร่วมดังกล่าวมาผ่านการพิจารณาค่า Cut-off value ดังการศึกษาในหัวข้อ 5.4.3 อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นการกำหนด Cut-off value ในหัวข้อนี้จึงเสมือนการคัดเลือกสถานะที่มีความสำคัญหรือมีความน่าจะเป็นของการเกิดสูงใน MS มาใช้คำนวณร่วมกับระบบไฟฟ้าส่วนย่อย ในการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงค่า Cut-off value ดังกล่าว ภายใต้เงื่อนไขอื่น ๆ มีเหมือนกัน กำหนดให้กรณีพื้นฐาน (Case .B)มีค่าเท่ากับ 10^{-6} ดังแสดงในตารางที่ 5.17 หัวข้อ 5.4.3 และกรณีเปรียบเทียบ (Case A.) มีค่าเท่ากับ 10^{-5}

ตารางที่ 5.18 แสดงผลสำหรับ Case A. และรูปที่ 5.10, 5.11 แสดงผลการเปรียบเทียบกรณีทั้ง 2 และผลการคำนวณโดยวิธีการเดิม ค่าดัชนีความเชื่อถือได้สำหรับใน Case A. และ Case B.เกือบจะไม่มีความแตกต่างกัน แต่เวลาที่ใช้ในการคำนวณ Case A. ต่ำกว่า Case B. ค่อนข้างมาก คือ 3,990 วินาที และ 6,727 วินาที ตามลำดับ

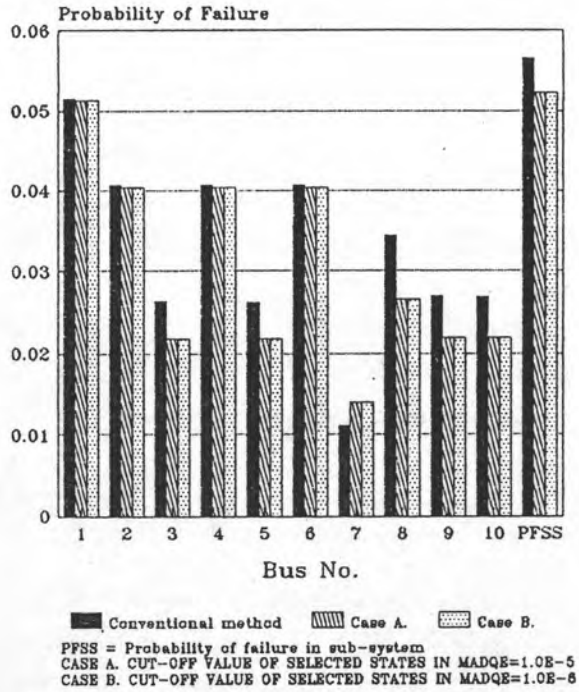
ตารางที่ 5.18 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส โดยวิธีแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์ กำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็นต่ำสุดของสถานะในโมเดลแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์ที่ได้รับการพิจารณาในการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้เท่ากับ 1.0E-5

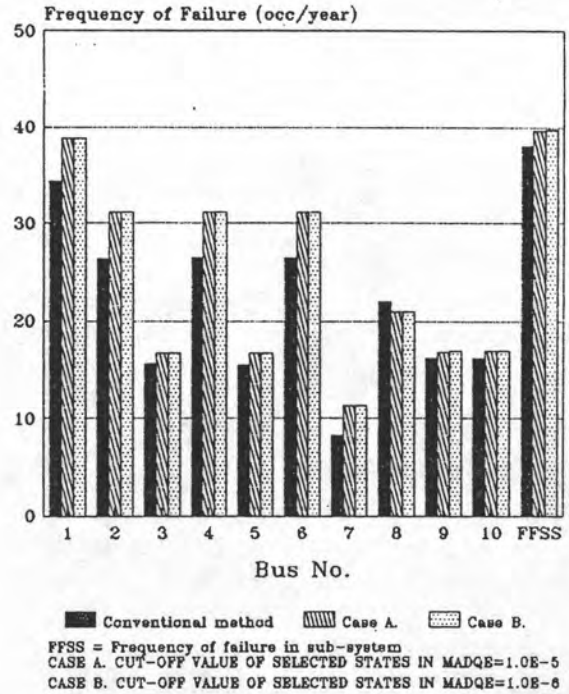
```
IEEE-RTS ; CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-5 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99913431
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   262.3074
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   897
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    594      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  3396      Sec*
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99624093
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   484.7694 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        =  3232      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.05230941
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    39.6829 occ/year
```

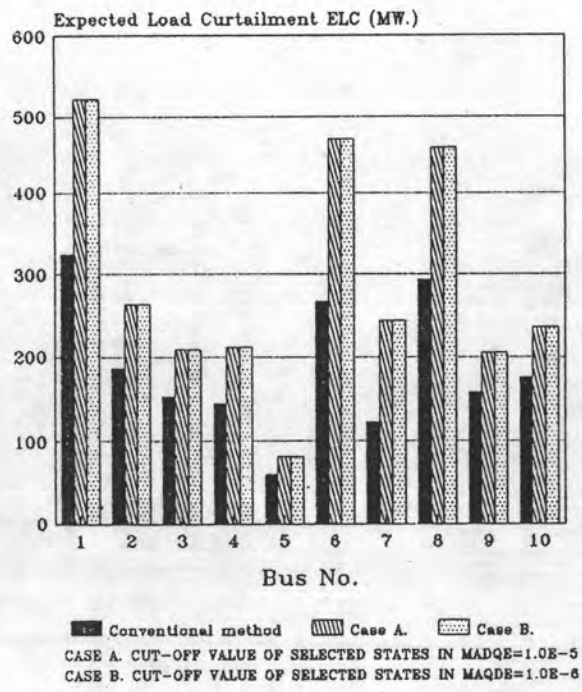
BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

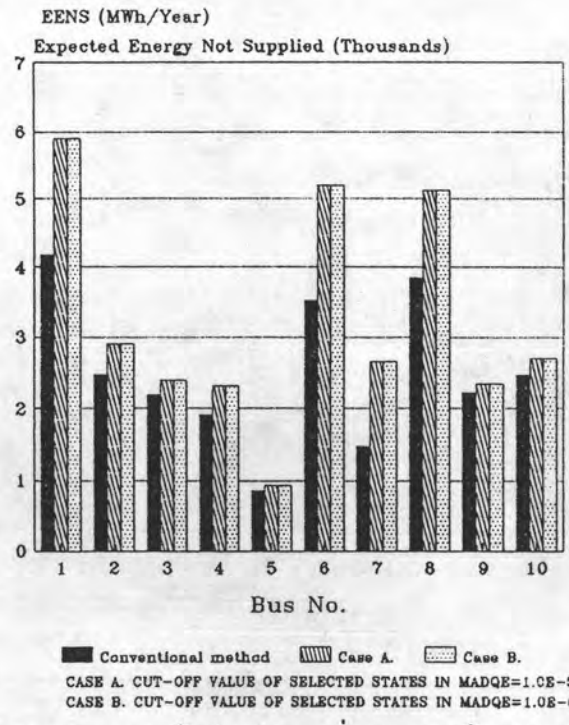
BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.051294914	38.87296029	521.9413	5899.3165	449.3435
2	0.040368380	31.07941161	263.4537	2902.1594	353.6270
3	0.021805281	16.75403669	208.7093	2394.4888	191.0143
4	0.040374241	31.08864676	211.7538	2312.7209	353.6784
5	0.021798226	16.74275441	82.2983	944.3525	190.9525
6	0.040395239	31.10712208	469.6842	5212.2698	353.8623
7	0.013965227	11.36517346	243.9486	2654.8489	122.3354
8	0.026596278	20.94711159	460.1297	5125.2953	232.9834
9	0.021914591	16.91234987	205.1691	2341.5684	191.9718
10	0.021943595	16.93265757	235.5326	2702.4331	192.2259

```
       ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     2.1791 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    73.1453 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    24.3915 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00278442
Severity Index                                =  1463.4889 System-Min
```

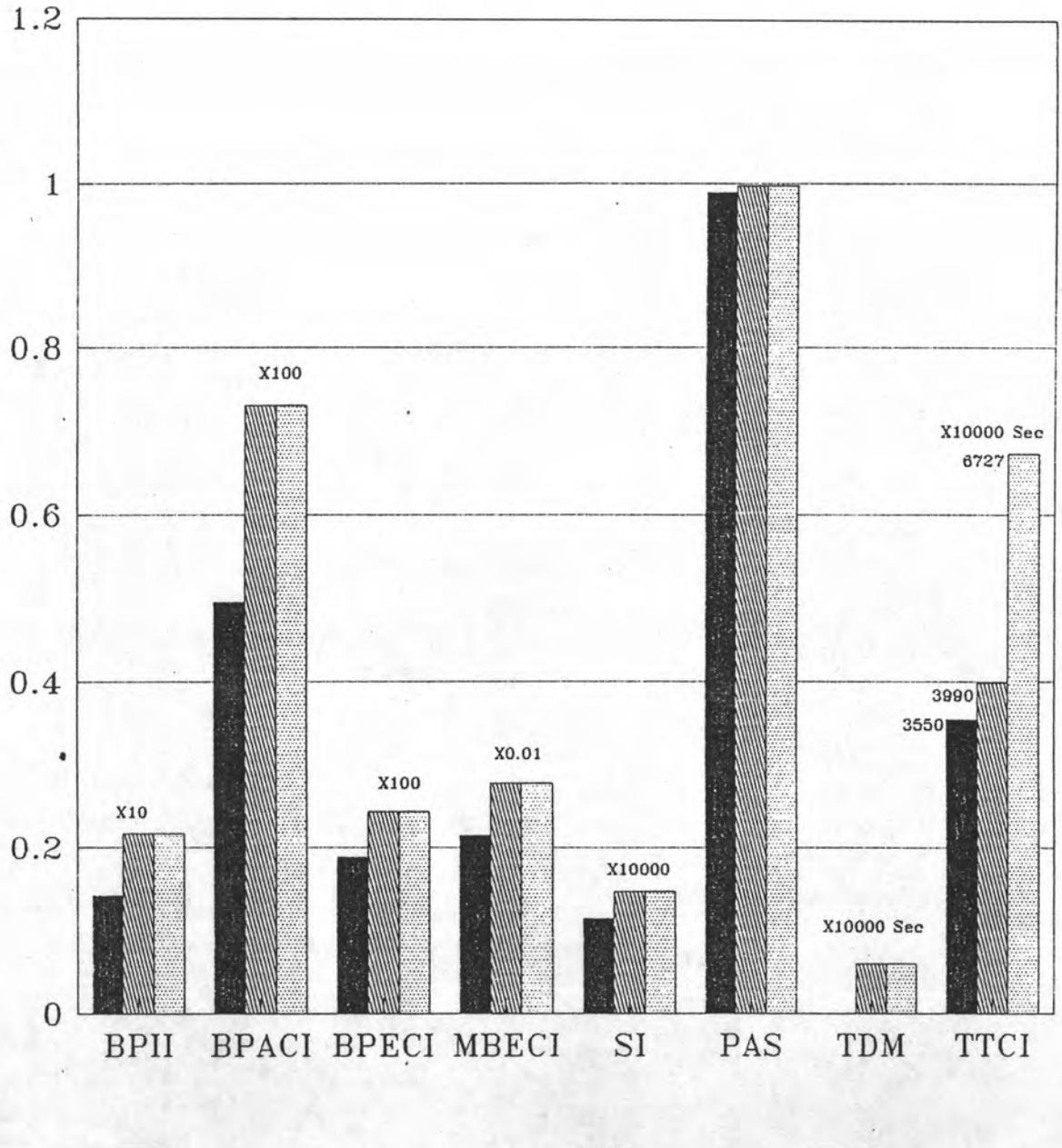








รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย เมื่อกำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็นต่ำสุดของสถานะ ในโมเดลแอดดิเควชีอิควาเล็นต์ที่ได้รับการพิจารณาในการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้แตกต่างกัน



PAS = Probability of all states in calculation
TDM = Time to develop adequacy equivalent model
TTCI = Total time to calculate adequacy indices

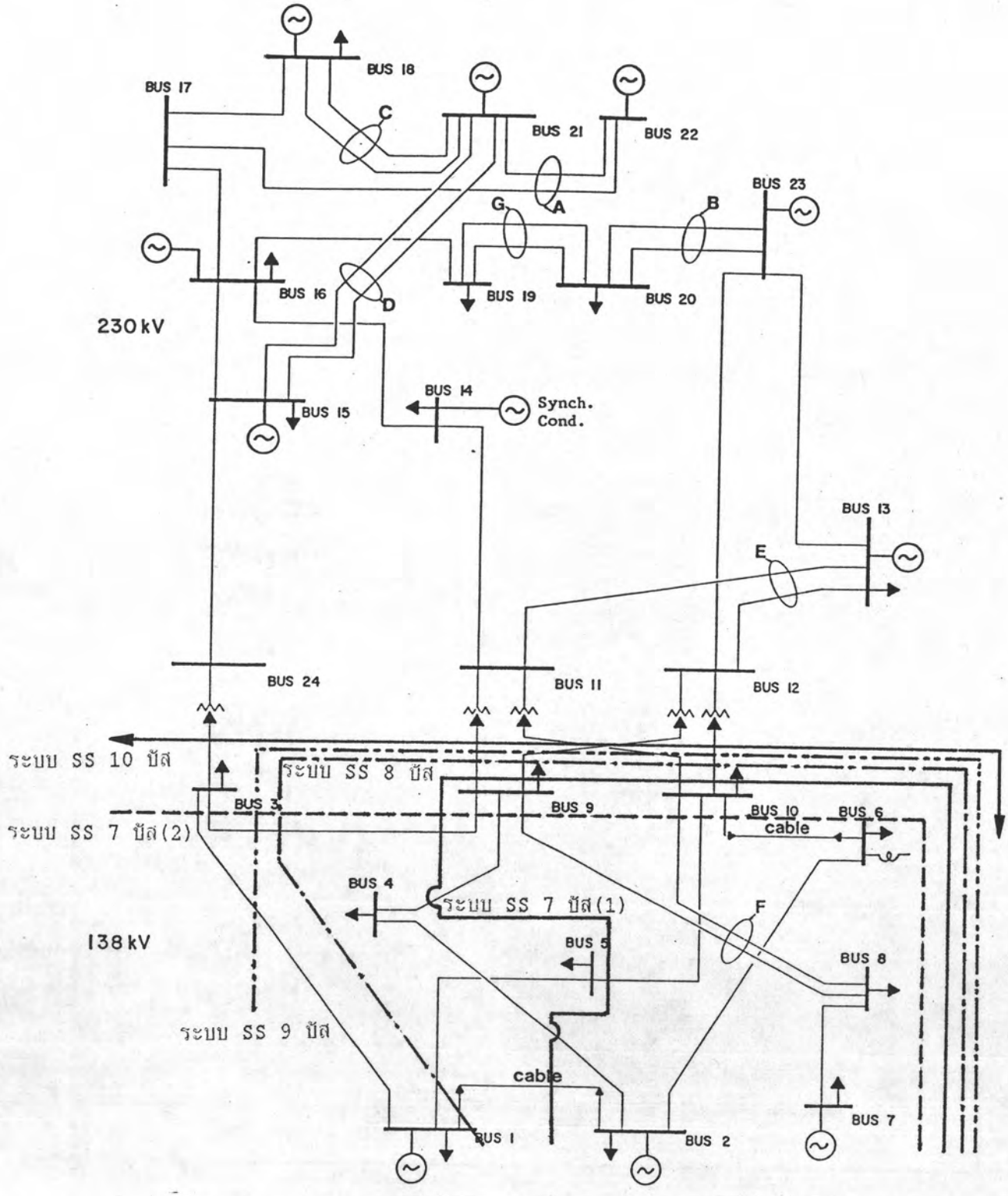
รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้รวมของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย เมื่อกำหนดให้ Cut-off value สำหรับความน่าจะเป็นต่ำสุดของสถานะ ในโมเดลแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์ที่ได้รับการพิจารณาในการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้แตกต่างกัน

5.4.5 กรณีการกำหนดและตัดแบ่งระบบไฟฟ้าส่วนย่อย

ในหัวข้อ 5.4.1-5.4.4 ที่ผ่านมา เป็นการพิจารณาถึงการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อผลและเวลาที่ใช้ในการคำนวณระบบไฟฟ้าส่วนย่อยจำนวน 10 บัสเท่านั้น จากตารางผลการคำนวณทั้งหมดชี้ให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์สูงกว่าวิธีการเดิม ทั้งนี้เนื่องจากระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส มีจำนวนองค์ประกอบไม่แตกต่างจากระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ 14 บัสที่เหลือมากนัก ทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณสูงมาก เนื่องจากมีการพิจารณาสถานะมากขึ้นดังอธิบายในหัวข้อที่ 5.4.1 ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบกรณีเลือกจำนวนองค์ประกอบย่อยและจำนวนบัสในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดที่บัสเดียวกันและเวลาที่ใช้ในการคำนวณอย่างไร โดยตัดแบ่งพื้นที่ในระบบ IEEE-RTS เพิ่มเติมเป็นอีก 4 แบบ คือ ระบบ SS 9 บัส, ระบบ SS 8 บัส, ระบบ SS 7 บัส (1) และ ระบบ SS 7 บัส (2) ซึ่งแตกต่างจากระบบ SS 7 บัส (1) ในด้านการตัดแบ่งระบบ ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 5.19, 5.20, 5.21 และ 5.22 ตามลำดับ และใช้เปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้าส่วนย่อยขนาด 10 บัส ตารางที่ 5.13 ภายใต้เงื่อนไขอื่นๆ ที่เหมือนกัน

รูปที่ 5.13 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดแต่ละโหลดบัสในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย ค่าความน่าจะเป็นและความถี่ของโอกาสที่จะเกิดความล้มเหลว ELC และ EENS สำหรับใน 4 กรณีแรก คือ ระบบส่วนย่อยขนาด 10, 9, 8 และ 7(1) บัส มีค่าแตกต่างกันในปริมาณไม่มากนัก ค่า ELC และ EENS เกือบทั้งหมดมีค่าสูงกว่าการคำนวณโดยใช้วิธีการเดิม กรณีเลือกระบบไฟฟ้าส่วนย่อยขนาด 7 บัส(2)ในแบบที่ 2 ส่งผลให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดบัสที่ 6 และ 8 มีค่าสูงมากผิดปกติ และทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อยรวมสูงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการตัดแบ่งระบบที่ไม่เหมาะสม จากลักษณะการตัดแบ่งในรูปที่ 5.12 บัส 6 และบัส 8 มีโอกาสเกิด Isolation ได้ง่าย

รูปที่ 5.14 แสดงเวลาสำหรับใช้ในการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้จะลดลงเมื่อจำนวนบัสในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยมีจำนวนลดลงจาก 10, 9, 8, 7(1) บัส คือ 6,159, 4,585, 3,942 และ 3,722 วินาที ตามลำดับ ถึงแม้เวลาดังกล่าวจะสูงกว่าการคำนวณโดยใช้วิธีการเดิม (3,550 วินาที) แต่ความถูกต้องในการพิจารณาความน่าจะเป็นของสถานะรวมยังคงสูงตามไปด้วย จากการเปรียบเทียบดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าเมื่อใช้วิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์กับระบบไฟฟ้าส่วนย่อยที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก เมื่อเทียบสัดส่วนกับส่วนของระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่เหลือเวลาที่ใช้ในการคำนวณควรจะสั้นกว่าการใช้วิธีการเดิม ดังตัวอย่างแสดงในหัวข้อที่ 5.4.7



รูปที่ 5.12 การจัดแบ่งระบบไฟฟ้าส่วนย่อยในระบบทดสอบ IEEE-RTS

ตารางที่ 5.19 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 9 บัส ในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS โดยวิธีแอดดิเควซีอิควิวาเล็นตส์

```
IEEE-RTS ; CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99822081
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   262.9854
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   306
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    293      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  4292      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99785302
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   486.6662 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 18058      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.05268980
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    40.1143 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.051649247	39.26985361	529.4153	5936.8471	452.4474
2	0.040735377	31.49604489	267.3235	2910.4550	356.8419
4	0.040743883	31.50962461	216.6251	2333.2486	356.9164
5	0.021568155	16.63395683	86.7524	965.0492	188.9370
6	0.040760881	31.52443719	423.5179	4541.7802	357.0653
7	0.014210880	11.65696900	249.3284	2695.3529	124.4873
8	0.026516367	21.02370054	465.4560	5094.6081	232.2834
9	0.021699989	16.82996474	216.6201	2395.2366	190.0919
10	0.021751894	16.88735621	296.3336	3371.9256	190.5466

```
          ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES (SS 9 BUSES)
Bulk Power Interruption Index                 =     2.3883 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    68.5884 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    26.2539 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00299702
Severity Index                                =  1575.2345 System-Min
```

ตารางที่ 5.20 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 8 บัส ในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS โดยวิธีแอดดิเควซีอีควิวาเล็นตส์

```
IEEE-RTS ; CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99535249
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   348.4638
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   634
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    531      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  3411      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99524487
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   483.4845 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 13094      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.03750204
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    28.7895 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
2	0.035796166	27.36500929	258.9827	2865.3996	313.5744
4	0.035801467	27.37349564	199.8056	2206.3683	313.6209
5	0.018187585	13.70002843	74.5375	871.7290	159.3232
6	0.035827624	27.40828187	381.1921	4202.4083	313.8500
7	0.014002632	11.38066153	251.0390	2733.1534	122.6631
8	0.022865394	17.83955802	426.9620	4732.6925	200.3009
9	0.018327220	13.90932066	175.2750	1999.7209	160.5464
10	0.018373252	13.96359189	229.1948	2679.4070	160.9497

```
       ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES (SS 8 BUSES)
Bulk Power Interruption Index                 =     1.9128 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    69.3652 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    21.3514 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00243738
Severity Index                                =  1281.0850 System-Min
```

ตารางที่ 5.21 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 7 บัส ในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS โดยวิธีแอดดิเควซีอิควิวาเล็นตส์ (การตัดแบ่งระบบแบบที่ 1)

```
IEEE-RTS ; CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99529910
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   349.0585
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   709
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    606      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  3116      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99519249
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   483.3975 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION       = 13352      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM    = 0.03715755
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM    =    28.5042 occ/year
```

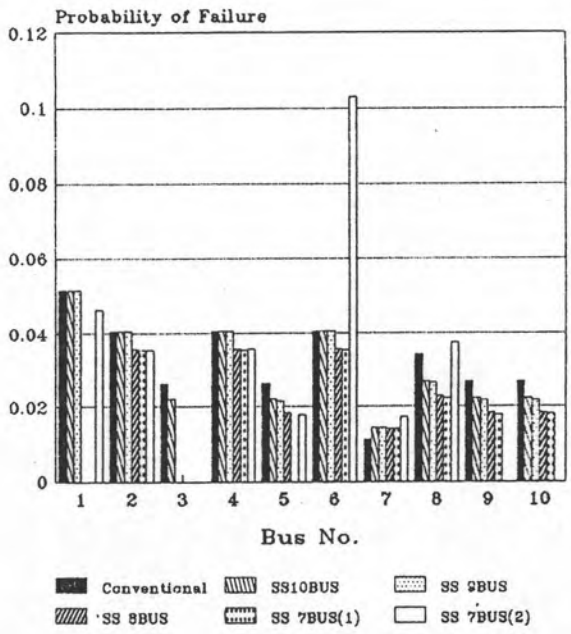
BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

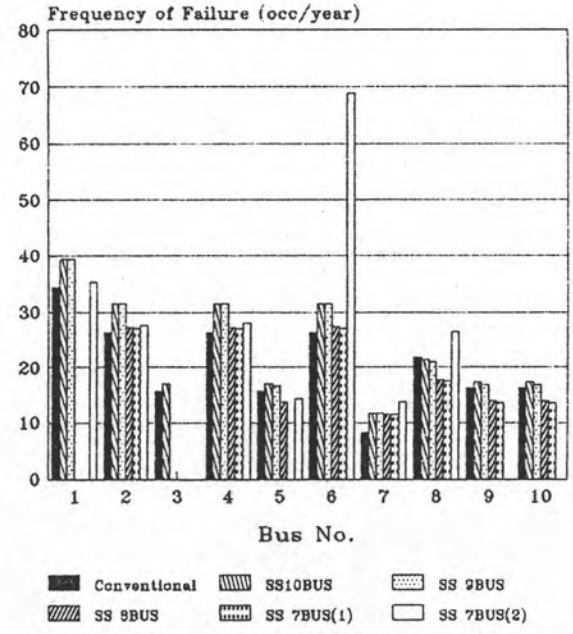
BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
2	0.035454109	27.08923623	258.5637	2855.1630	310.5780
4	0.035462896	27.10077498	199.4085	2198.3246	310.6550
6	0.035476547	27.11232684	394.4808	4364.9127	310.7745
7	0.013999467	11.37522274	250.9585	2732.7970	122.6353
8	0.022447626	17.50437528	423.1213	4680.8561	196.6412
9	0.017890652	13.55524463	179.2923	2029.6584	156.7221
10	0.017923149	13.58202522	222.0718	2566.1972	157.0068

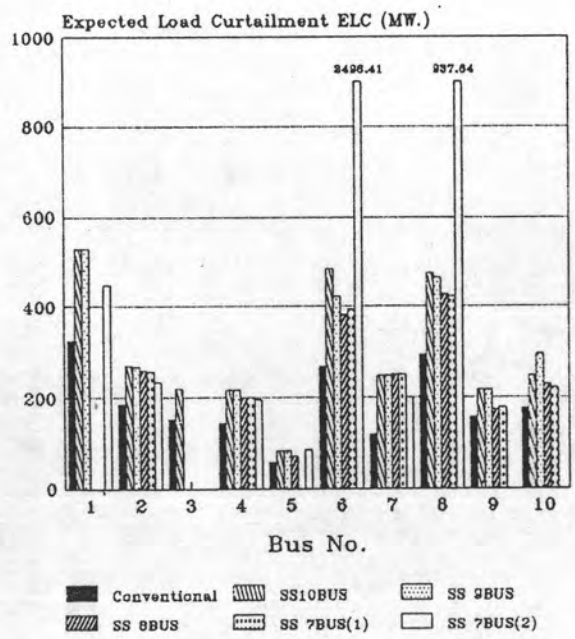
```
       ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES (SS 7 BUSES(1))
Bulk Power Interruption Index                 =      1.9814 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =     67.6356 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =     22.0225 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =      0.00251399
Severity Index                                =   1321.3510 System-Min
```

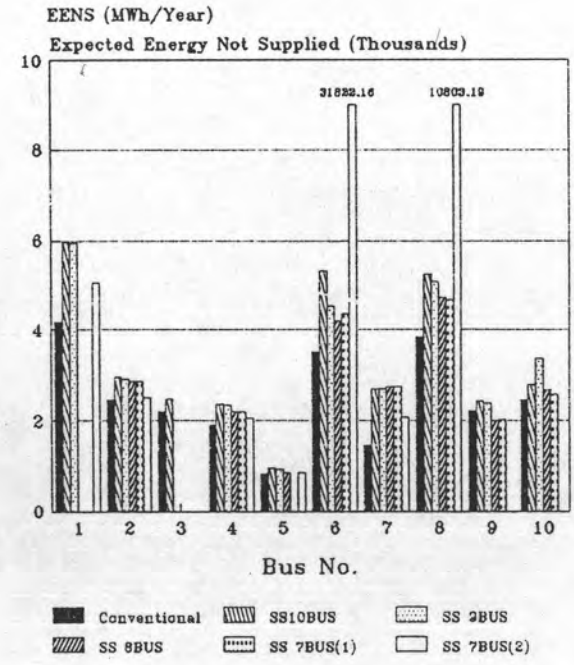
ตารางที่ 5.22 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 7 บัส ในระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS โดยวิธีแอดดิเควซีอิควิวาเล็นตส์ (การตัดแบ่งระบบแบบที่ 2)

```
IEEE-RTS ; CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99800590
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   266.5133
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   253
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    396      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  1379      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99768193
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   486.4049 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 12089      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.13021661
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    87.0140 occ/year
     |**************************************************************|
     |                BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM                |
     |**************************************************************|
     |--------------------------------------------------------------|
     | BUS  PROBABILITY   FREQUENCY       ELC       EENS       EDLC |
     | NO.  OF  FAILURE   OF FAILURE      (MW)      (MWh)     (hours)|
     |--------------------------------------------------------------|
     |   1  0.046339096   35.27284585   449.4985  5070.3628   405.9305 |
     |   2  0.035616584   27.76203555   232.8332  2511.1255   312.0013 |
     |   4  0.035914715   28.12771315   196.5202  2051.4650   314.6129 |
     |   5  0.017759067   14.24706970    89.1732   889.1240   155.5694 |
     |   6  0.103213571   68.92945639  2496.4063 31822.1571   904.1509 |
     |   7  0.017041123   13.72802891   199.8949  2078.4405   149.2802 |
     |   8  0.037575918   26.63129829   937.6443 10803.1910   329.1650 |
     |--------------------------------------------------------------|
          ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES (SS 7 BUSES(2))
Bulk Power Interruption Index                 =      5.8849 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =     52.8877 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =     70.6213 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =      0.00806179
Severity Index                                =   4237.2787 System-Min
```

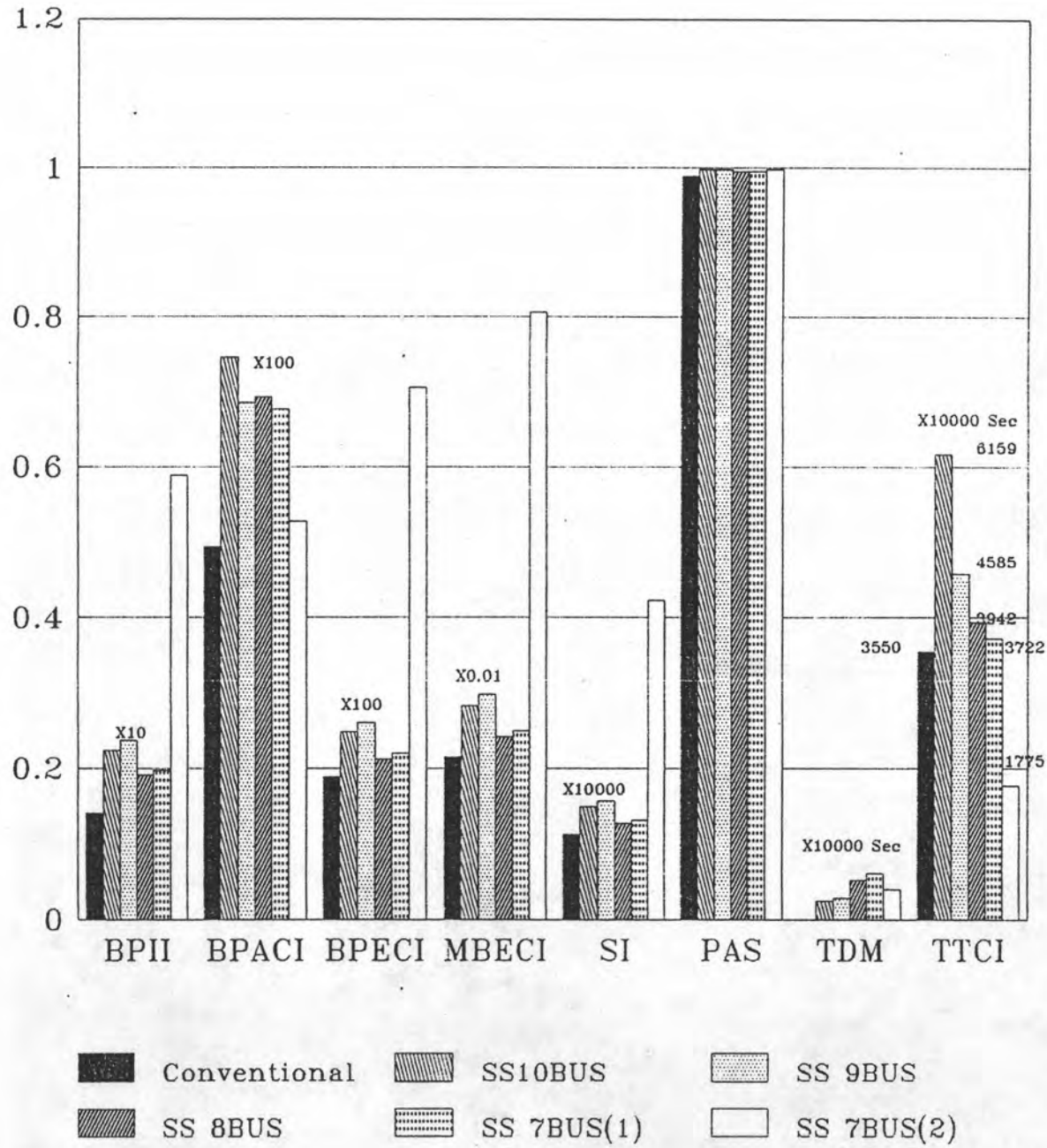








รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย เมื่อตัดแบ่งระบบไฟฟ้าส่วนย่อยมีองค์ประกอบแตกต่างกัน



PAS = Probability of all states in calculation
TDM = Time to develop adequacy equivalent model
TTCI = Total time to calculate adequacy indices

รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้รวมของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย เมื่อตัดแบ่งระบบไฟฟ้าส่วนย่อยมีองค์ประกอบแตกต่างกัน

5.4.6 กรณีการกำหนด Curtailable load ของระบบแตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่า Curtailable load (กำหนดด้วยตัวแปร CURT) จะทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดเปลี่ยนแปลงไป และปริมาณการเปลี่ยนแปลงในแต่ละโหลดบัสมีสัดส่วนที่ไม่สม่ำเสมอ แต่ผลรวมของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบรวมจะต้องเท่ากันเสมอ (สำหรับการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีเนทเวอร์คโฟลว์) ดังแสดงในตารางที่ 5.23 กำหนด CURT= 15% , ตารางที่ 5.10 กำหนด CURT= 20% และในตารางที่ 5.25 กำหนดค่า CURT = 25% ทั้ง 3 ตารางคำนวณโดยใช้วิธีการเดิม และผลการคำนวณโดยวิธีแอดดิเควชีอิควาเล็นตส์กับระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส แสดงในตารางที่ 5.24, 5.13 และ 5.26 ตามลำดับ

รูปที่ 5.15 และ 5.16 แสดงผลการเปรียบเทียบจากทั้ง 6 ตารางดังกล่าวมาข้างต้น ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบส่วนย่อย 10 บัส ซึ่งคำนวณโดยวิธีแอดดิเควชีอิควาเล็นตส์จะสูงกว่าการคำนวณโดยวิธีการเดิม 25-40% เมื่อกำหนดค่า CURT เหมือนกัน และมีค่าลดลงเมื่อ CURTเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อ CURT เพิ่มขึ้น หมายถึงโอกาสที่ค่าโหลดบัสต่างๆ ใน MS ต้องรับภาระการถูกตัดโหลดบางส่วน สูงขึ้น เมื่อเกิดการขัดข้องของสายส่งและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใน MS ดังนั้น ค่าความพร้อมมูลการจ่ายกำลังไฟฟ้าในโมเดลจะมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณรวมกับสถานะการเกิดเหตุขัดข้องใน SS จะทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าลดลง

ตารางที่ 5.23 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS โดยวิธีการเดิม เมื่อกำหนด CURTAILABLE LOAD=15% ของค่าโหลดสูงสุดในแต่ละบัส

IEEE-RTS ; CURT=15% ; by CONVENTIONAL METHOD
Cut-off value in index calculation : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES = 3560 Sec
PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.98836444
FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION = 476.2636 occ/year
TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION = 27963 states
PROBABILITY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 0.07619417
FREQUENCY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 49.1437 occ/year
PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM = 0.06137722
FREQUENCY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM = 40.6232 occ/year

BASIC BUS INDICES IN SYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.057257538	37.54982156	310.4127	4042.8857	501.5760
2	0.047993748	30.70628177	197.7850	2650.6323	420.4252
3	0.035377745	21.21877136	217.1082	3093.5898	309.9090
4	0.048004252	30.72189612	153.7149	2052.2770	420.5172
5	0.035273668	21.13184807	85.0827	1214.1703	308.9973
6	0.048033127	30.73961079	282.7812	3775.9464	420.7702
7	0.011071359	8.27344593	108.7728	1303.7498	96.9851
8	0.042208797	26.55433525	323.8304	4319.0138	369.7491
9	0.035857634	21.67897058	218.4156	3080.1981	314.1129
10	0.035811554	21.64583180	243.2609	3429.3953	313.7092
13	0.068307961	43.03533106	1122.9381	15314.4735	598.3777
14	0.035445585	21.26051784	234.5849	3345.7313	310.5033
15	0.060831191	38.98370470	1684.8431	24393.0838	532.8812
16	0.039593103	24.57197326	154.7031	2089.8513	346.8356
18	0.070406024	44.54723983	1499.3906	21338.1510	616.7568
19	0.039580661	24.55543113	281.0885	3789.6860	346.7266
20	0.048358664	31.19358904	501.2920	7018.5099	423.6219

ANNUALIZED OVERALL SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index = 2.6737 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index = 155.0556 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index = 37.2812 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index = 0.00425584
Severity Index = 2236.8704 System-Min
ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES (BUS No.1-10)
Bulk Power Interruption Index = 1.6075 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index = 52.7079 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index = 21.7431 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index = 0.00248209
Severity Index = 1304.5882 System-Min

ตารางที่ 5.24 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส โดยวิธีแอดดิเควซีอิควาเล็นตส์ เมื่อกำหนด CURTAILABLE LOAD=15% ของค่าโหลดสูงสุดในแต่ละบัส

```
IEEE-RTS ; CURT=15% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      :PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5
Cut-off value to select MADQE state :PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  :PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99829346
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   261.3188
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   332
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    254      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES       =  6352      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99790505
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   486.7550 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 20759      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.05900336
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    43.1617 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.058820630	42.94542491	489.8061	5617.2571	515.2687
2	0.057287571	41.71275369	297.3556	3362.5764	501.8391
3	0.042613160	30.59233366	354.1645	4041.6978	373.2913
4	0.057294954	41.72385737	241.1669	2695.8864	501.9038
5	0.042600665	30.57283202	139.4657	1592.9253	373.1818
6	0.057319044	41.74483064	587.6925	6691.0840	502.1148
7	0.014211076	11.65796340	200.4578	2154.9582	124.4890
8	0.044766053	32.59114117	500.0168	5603.3282	392.1506
9	0.042765325	30.81846487	347.3670	3947.6622	374.6242
10	0.042791441	30.82994247	393.2962	4488.1543	374.8530

```
       ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     2.6658 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    82.2671 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    30.1768 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00344484
Severity Index                                =  1810.6095 System-Min
```

ตารางที่ 5.25 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS โดยวิธีการเดิม เมื่อกำหนด CURTAILABLE LOAD=25% ของค่าโหลดสูงสุดในแต่ละบัส

IEEE-RTS ; CURT=25% ; by CONVENTIONAL METHOD
Cut-off value in index calculation : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES = 3567 Sec
PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.98836444
FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION = 476.2636 occ/year
TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION = 27963 states
PROBABILITY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 0.07619417
FREQUENCY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 49.1437 occ/year
PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM = 0.05552747
FREQUENCY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM = 37.2402 occ/year

BASIC BUS INDICES IN SYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.049722817	32.94367801	333.8481	4275.8091	435.5719
2	0.038196356	24.40687584	177.3648	2317.6051	334.6001
3	0.022395854	12.84247583	108.2659	1543.7750	196.1877
4	0.038211139	24.42836666	138.5098	1801.3469	334.7296
5	0.022263948	12.73362345	41.9436	600.4747	195.0322
6	0.038251495	24.45150295	254.9376	3316.7831	335.0831
7	0.011071359	8.27344593	132.5558	1610.3969	96.9851
8	0.031295014	19.70903536	271.9831	3503.2536	274.1443
9	0.023029915	13.42173323	114.6214	1594.4974	201.7421
10	0.022976583	13.38269600	127.4436	1772.0878	201.2749
13	0.067021950	42.24312281	1358.1861	18600.4845	587.1123
14	0.022493243	12.89504667	117.0870	1674.9476	197.0408
15	0.057731401	36.67929273	1624.0450	23511.7285	505.7271
16	0.027692588	17.07051247	107.7494	1387.1673	242.5871
18	0.069793851	44.00524666	1993.5208	28926.6749	611.3941
19	0.027678487	17.05209709	195.7647	2515.0246	242.4635
20	0.043889289	27.94183003	522.1777	7299.2882	384.4702

ANNUALIZED OVERALL SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index = 2.6737 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index = 155.0556 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index = 37.2812 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index = 0.00425584
Severity Index = 2236.8704 System-Min

ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES (BUS No.1-10)
Bulk Power Interruption Index = 1.2774 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index = 45.6891 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index = 16.7688 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index = 0.00191425
Severity Index = 1006.1275 System-Min

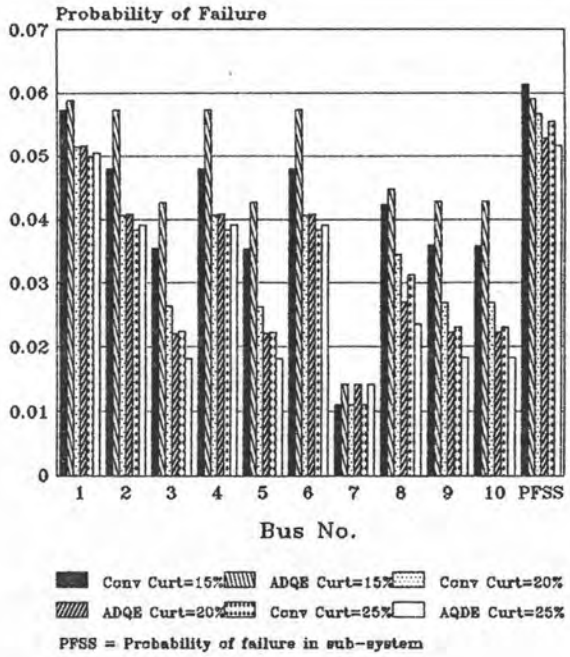
ตารางที่ 5.26 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส โดยวิธีแอดดิเควซีอิควิวาเล็นตส์ เมื่อกำหนด CURTAILABLE LOAD=25% ของค่าโหลดสูงสุดในแต่ละบัส

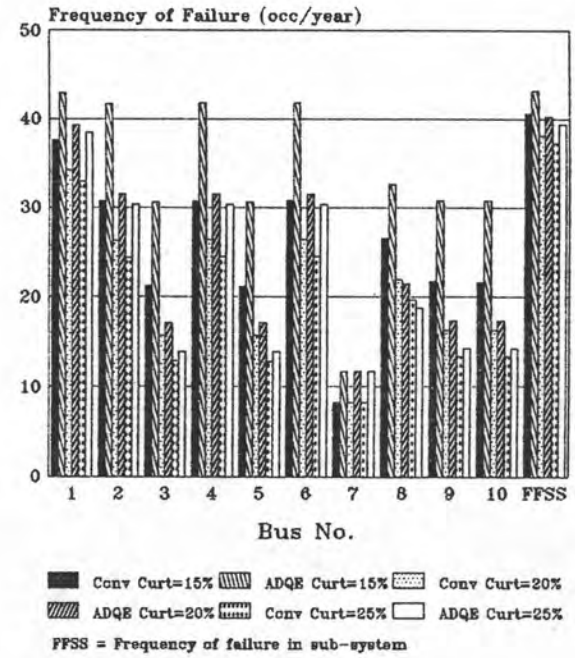
```
IEEE-RTS ; CURT=25% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      :PROB=1.0E-6 ; FREQ=1.0E-5
Cut-off value to select MADQE state :PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  :PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.99829346
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   261.3188
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   305
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =    253      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =  5833      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.99791341
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   486.7686 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 19190      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.05156503
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    39.4013 occ/year
```

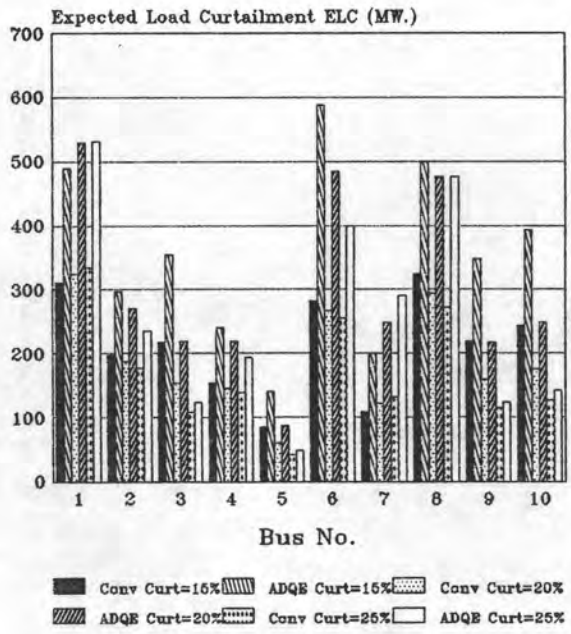
BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

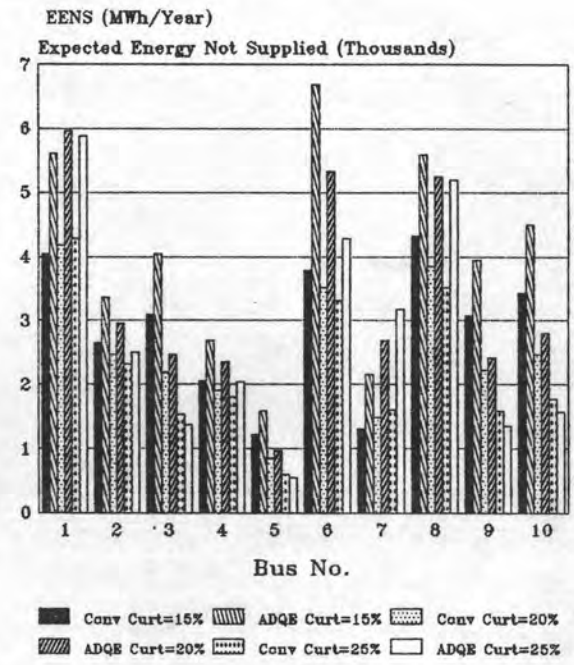
BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.050460515	38.49385543	531.0469	5887.2774	442.0341
2	0.039083693	30.31824917	235.7632	2516.0152	342.3731
3	0.018179250	13.89304424	123.3055	1380.6503	159.2502
4	0.039093916	30.33450488	193.2457	2038.0123	342.4627
5	0.018165845	13.87157054	48.5515	544.1201	159.1328
6	0.039123667	30.36068828	400.2540	4275.9176	342.7233
7	0.014214242	11.66301338	290.8750	3166.3493	124.5168
8	0.023581408	18.72653465	476.8479	5206.1792	206.5731
9	0.018349002	14.15097668	123.7785	1364.6235	160.7373
10	0.018384728	14.17062253	141.9497	1571.7391	161.0502

```
        ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     1.9261 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    65.1151 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    20.9841 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00239545
Severity Index                                =  1259.0488 System-Min
```

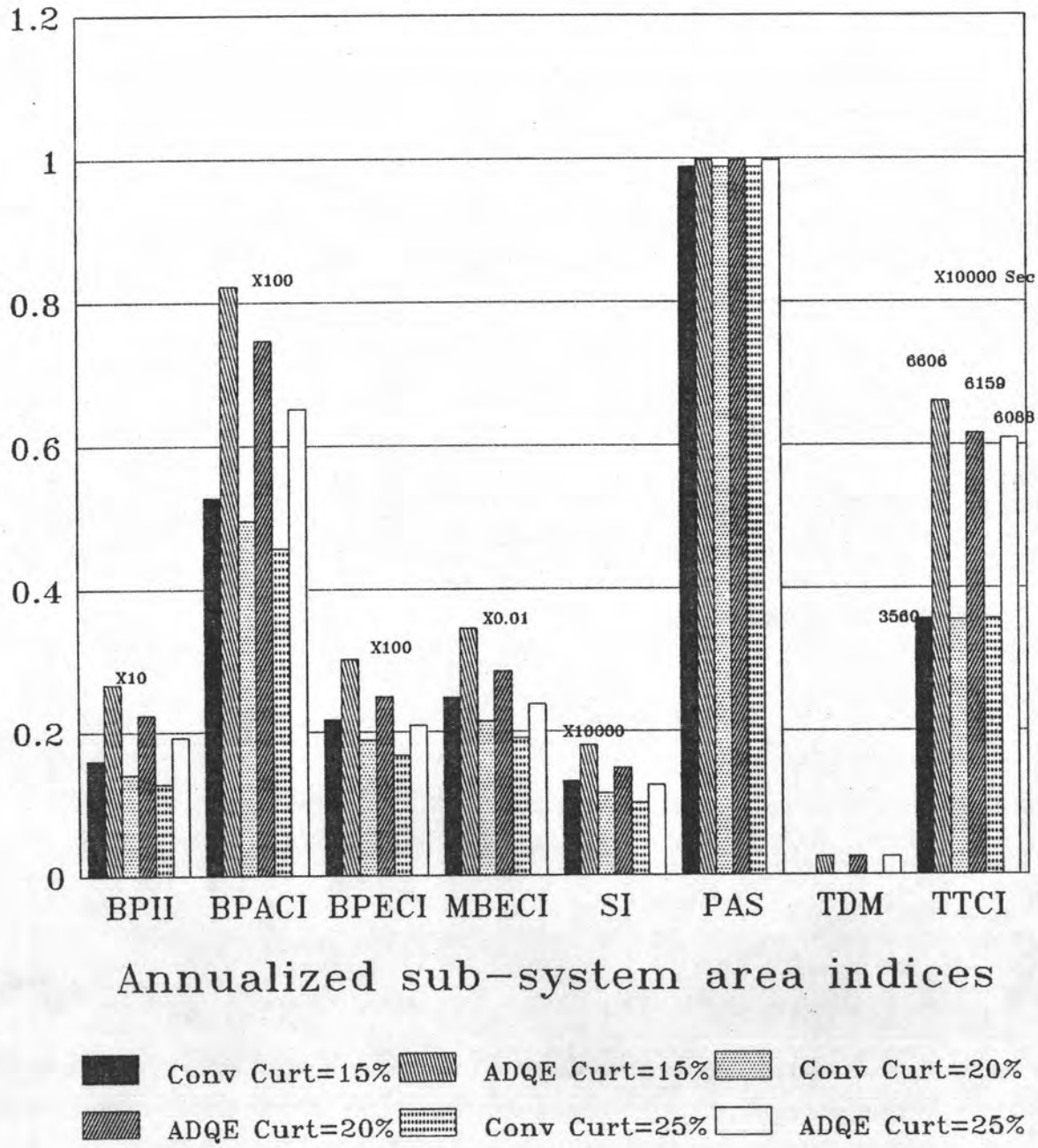








รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส เมื่อกำหนดค่า CURTAILABLE LOAD แตกต่างกัน

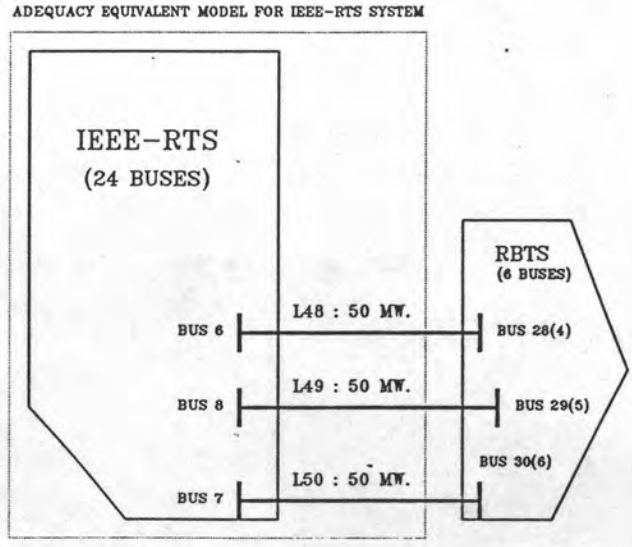


รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้รวมของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 10 บัส เมื่อกำหนดค่า CURTAILABLE LOAD แตกต่างกัน

5.4.7 การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบทดสอบมาตรฐานรวม IEEE-RTS และ RBTS

เนื่องจากระบบทดสอบ IEEE-RTS มีขนาดค่อนข้างเล็ก เมื่อนำมาใช้ทดสอบกับวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ไม่สามารถเลือกแบ่งเป็นระบบไฟฟ้าส่วนย่อย(SS) ที่เหมาะสมและมีขนาดเล็กกว่ามาก ๆ เมื่อเทียบกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั้งระบบ จึงเป็นสาเหตุให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณสูงกว่าวิธีการเดิม ดังแสดงในหัวข้อต่าง ๆ ที่ผ่านมา

ดังนั้นในหัวข้อนี้ได้ทดลองโดยนำระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัส มาเชื่อมต่อกับระบบทดสอบ RBTS 6 บัส โดยเชื่อมต่อทั้งสองระบบด้วยสายส่งเชื่อมโยงขนาด 50 MW จำนวน 3 สายส่งระหว่างบัส 6, 8, 7 ในระบบ IEEE-RTS กับบัส 4(28), 5(29), 6(30) ของระบบ RBTS ดังแสดงในรูปที่ 5.17 สายส่งเชื่อมโยงมีอัตราการเสีย (Failure rate) 1 ครั้ง/ปี อัตราการซ่อมแซม (Repair rate) 876 ครั้ง/ปี และสำหรับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ของระบบทดสอบทั้ง 2 ไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 5.17 ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS ต่อเชื่อมโยงกับระบบ RBTS

ในการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบทดสอบดังกล่าว สมมุติว่าในการปฏิบัติการระบบถือว่าเป็นระบบเดียวกัน กำหนดให้ Curtailable load= 20% ผลการคำนวณโดยใช้วิธีการเดิม แสดงไว้ในตารางที่ 5.27 และผลการคำนวณโดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์สำหรับระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 6 บัสซึ่งครอบคลุมระบบ RBTS เมื่อกำหนดให้การประมาณค่าความ

พร้อมมูลเป็นจำนวนเต็ม (RD =1) และเป็นช่วงระดับจำนวนเท่าของ 5 (RD =5) แสดงในตารางที่ 5.28 และ 5.29 ตามลำดับ

นอกจากนี้เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่า เหตุที่ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ELC และ EENS ของจุดโหลดในหัวข้อที่ 5.4.1-5.4.6 ซึ่งคำนวณโดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์มีค่าสูงกว่าการคำนวณโดยวิธีการเดิม เนื่องมาจากมีการพิจารณาสถานะที่มีระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องสูงเป็นประมาณ 2 เท่าของวิธีการเดิม ดังนั้นในตารางที่ 5.30 และ 5.31 ได้แสดงผลการคำนวณโดยวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ เมื่อมีการกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องรวมของขั้นตอนการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยไม่เกิน 5 และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยวิธีการเดิมซึ่งกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องรวมไม่เกิน 4 ดังแสดงในรูปที่ 5.18 และ 5.19 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ELC และ EENS ของจุดโหลด มีค่าลดลงใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยวิธีการเดิม และเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะสั้นลงด้วย เนื่องจากมีการพิจารณาจำนวนสถานะน้อยลง

อย่างไรก็ตาม ในรูปที่ 5.18 กรณีมีการกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องไม่เกิน 5 โดยวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ค่าความน่าจะเป็นและความถี่ของการเกิดความล้มเหลวที่โหลดบัส จะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่กำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง(ระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในการคำนวณปกติมีค่าสูงสุด 8) เนื่องจากจำนวนสถานะที่ได้รับการพิจารณาน้อยลง และมีค่าต่ำกว่าการคำนวณโดยวิธีการเดิม ซึ่งเหตุผลได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.4.1

ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ELC และ EENS ของจุดโหลด หรือของรวมทั้งระบบส่วนย่อยโดยวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ในกรณีที่ไม่กำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องจะมีค่าสูงกว่าวิธีการเดิมประมาณ 40-50% ขณะที่เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะลดลงอย่างมาก จากวิธีการเดิมใช้เวลา 15,471 วินาที ลดลงเหลือเพียง 9,470 และ7,177 วินาที เมื่อ R =1 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดและวัตถุประสงค์ของการใช้วิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

สรุปผลการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิตและระบบสายส่งกำลังไฟฟ้ากรณีศึกษาในบทนี้ ได้แสดงรวมไว้ในตารางที่ 5.32

ตารางที่ 5.27 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE-RTS & RBT โดยวิธีการเดิม เมื่อกำหนด CURTAILABLE LOAD=20% ของค่าโหลดสูงสุดในแต่ละบัส

IEEE-RTS & RBT (30 BUSES) ; CURT=20% ; by CONVENTIONAL METHOD
Cut-off value in index calculation : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES = 15471 Sec
PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.97736424
FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION = 581.8086 occ/year
TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION = 88892 states
PROBABILITY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 0.04997740
FREQUENCY OF FAILURE IN OVERALL SYSTEM = 36.8545 occ/year
PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM = 0.02348023
FREQUENCY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM = 17.2138 occ/year

BASIC BUS INDICES IN SYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
1	0.033803815	25.03193868	209.2963	2446.1107	296.1214
2	0.026671273	19.21450697	115.4639	1369.1586	233.6404
3	0.017335363	11.72406017	83.5457	1037.1684	151.8578
4	0.026678337	19.22529613	89.5957	1059.3788	233.7022
5	0.017266576	11.66362597	32.5022	404.3890	151.2552
6	0.026972220	19.65352915	173.9483	2005.0759	236.2766
7	0.023373324	16.78879544	131.6708	1533.9059	204.7503
8	0.023541810	17.04035328	186.8328	2151.4845	206.2263
9	0.017687347	12.07705450	87.2757	1063.2183	154.9412
10	0.017691454	12.10336795	97.8773	1186.4312	154.9771
13	0.046501233	33.90711614	904.7376	10908.8601	407.3508
14	0.017388350	11.75653712	90.2922	1123.7825	152.3219
15	0.037792617	27.68970879	1300.7022	16810.6283	331.0633
16	0.020126816	14.25119578	75.3982	871.8717	176.3109
18	0.047525146	34.60338145	1408.7533	18012.4084	416.3203
19	0.020123103	14.24566063	136.3108	1576.9827	176.2784
20	0.033912035	23.72929782	341.4838	4233.5081	297.0694
26	0.023260408	16.97935798	23.7666	269.1230	203.7612
27	0.020938544	15.12913291	78.4638	874.1901	183.4216
28	0.017619587	12.20223155	21.3815	246.3058	154.3476
29	0.017369645	11.81881757	9.5346	116.1650	152.1581
30	0.017305889	11.72472537	9.9273	118.3905	151.5996

ANNUALIZED OVERALL SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index = 1.8480 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index = 152.1867 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index = 22.8727 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index = 0.00261103
Severity Index = 1372.3599 System-Min

ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES (BUS No.26-30 in RBT)
Bulk Power Interruption Index = 0.7734 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index = 8.3116 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index = 8.7793 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index = 0.00100221
Severity Index = 526.7592 System-Min

ตารางที่ 5.28 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 6 บัส(RBT)โดยวิธีแอดดิเควซีอิควาเล็นตส์เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเต็ม (RD=1)

```
IEEE-RTS & RBT ; CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.98821253
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   481.9071
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   429
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   4706 Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES       =  4764      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.98806677
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   595.6833 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 16693      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.01604018
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    14.2484 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
25	0.000000000	0.00000000	0.0000	0.0000	0.0000
26	0.015789132	13.83841676	42.1017	406.9094	138.3128
27	0.015693466	13.78857348	132.2947	1246.1686	137.4748
28	0.012600574	10.83871547	32.3665	311.9182	110.3810
29	0.012259510	10.45983585	15.6255	151.6732	107.3933
30	0.012350910	10.57887950	19.0800	170.8472	108.1940

```
        ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     1.3052 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    16.9470 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =    12.3650 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00141152
Severity Index                                =   741.8973 System-Min
```

ตารางที่ 5.29 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 6 บัส(RBT)โดยวิธีแอดดิเควซีอิควาเล็นตส์เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเท่าของ 5 (RD=5)

```
IEEE-RTS & RBT ; CURT=20% ; RD=5
Cut-off value to develop MADQE      : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6
Cut-off value to select MADQE state : PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  : PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.98821253
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   481.9071
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   238
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   4460 Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES       =  2717      Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.98812155
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   595.7799 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        = 12174      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.01980777
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    15.9376 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
25	0.000000000	0.00000000	0.0000	0.0000	0.0000
26	0.019574358	15.55165159	43.5682	429.2782	171.4714
27	0.019592046	15.58845078	139.3237	1350.2119	171.6263
28	0.016646286	12.72804220	35.6957	362.1665	145.8215
29	0.016234097	12.25940693	17.1715	175.9189	142.2107
30	0.016330266	12.38507819	20.6640	195.1891	143.0531

```
       ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                  =     1.3861 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    16.0892 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index            =    13.5825 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index   =     0.00155051
Severity Index                                 =   814.9507 System-Min
```

ตารางที่ 5.30 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 6 บัส(RBTS) โดยวิธีแอดดิเควซี-อิควิวาเล็นตส์ เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเต็ม (RD=1) และกำหนดระดับการเกิดสถานะการเหตุการณ์ขัดข้องรวมสูงสุดไม่เกิน 5

```
IEEE-RTS & RBTS ; CURT=20% ; RD=1
Cut-off value to develop MADQE      :PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6
Cut-off value to select MADQE state :PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  :PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.95382375
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   451.0361
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   321
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   5077      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =   224       Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.95229708
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION  =   558.9051 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION       =  6958      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM    = 0.01124391
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM    =     9.2839 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
25	0.000000000	0.00000000	0.0000	0.0000	0.0000
26	0.011060370	9.00179839	28.0403	294.0163	96.8888
27	0.010971444	8.94617671	86.2807	883.5607	96.1099
28	0.008648227	6.88822189	20.9665	218.3956	75.7585
29	0.008482951	6.71928038	10.0786	106.1132	74.3107
30	0.008542260	6.79792450	12.5902	120.4457	74.8302

```
        ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                 =     0.8538 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    17.0140 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index           =     8.7704 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index  =     0.00100119
Severity Index                                =   526.2264 System-Min

    REMARK : This is special case which  SS combined state contingency level
             has been limited at maximum 5 levels.
```

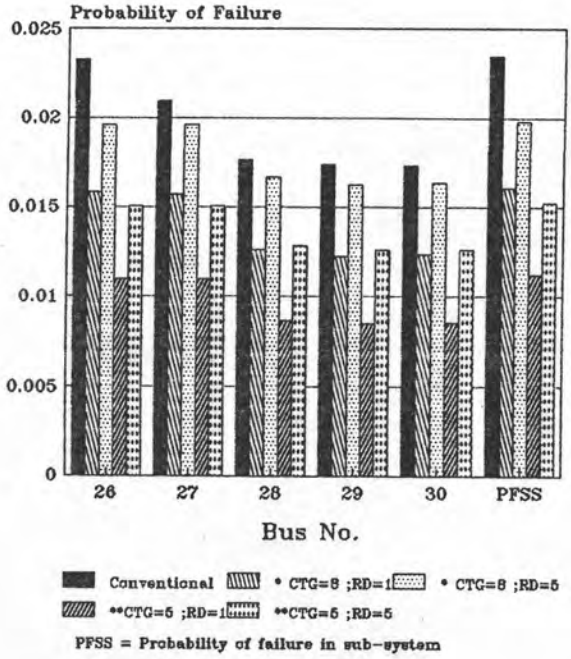
ตารางที่ 5.31 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย 6 บัส(RBTS) โดยวิธีแอดดิเควซี-อิควิวาเล็นตส์ เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลเป็นจำนวนเท่าของ 5(RD=5) และกำหนดระดับการเกิดสถานะการเหตุการณ์ขัดข้องรวมสูงสุดไม่เกิน 5

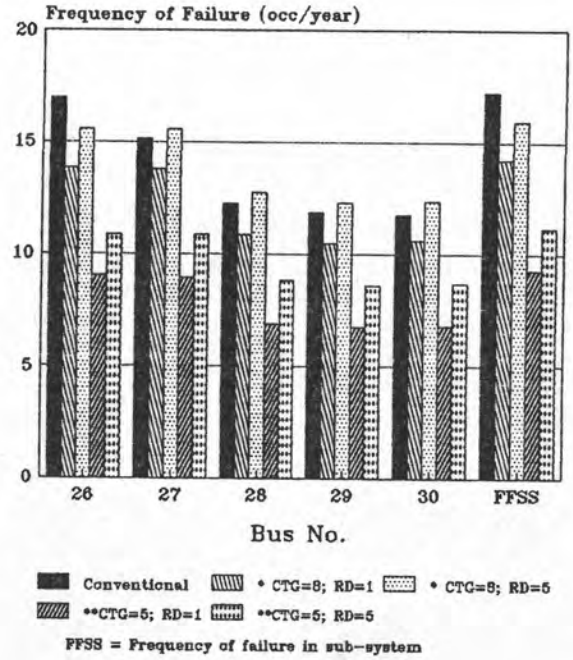
```
IEEE-RTS & RBTS ; CURT=20% ; RD=5
Cut-off value to develop MADQE      :PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6
Cut-off value to select MADQE state :PROB=1.0E-6 (COMADQ)
Cut-off value in index calculation  :PROB=1.0E-8 ; FREQ=1.0E-6

PROBABILITY OF ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS = 0.95382375
FREQUENCY  OF  ALL STATES IN MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   451.0361
       TOTAL STATES OF MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   214
       TIME TO DEVELOP MODEL ADEQUACY EQUIVALENTS =   4972      Sec
          TIME TO CALCULATE ADEQUACY INDICES      =   168       Sec
          PROBABILITY OF ALL STATES IN CALCULATION = 0.95232498
          FREQUENCY OF ALL STATES IN CALCULATION   =   558.9525 occ/year
          TOTAL STATES IN INDEX CALCULATION        =  5346      states
          PROBABILITY OF FAILURE IN SUB-SYSTEM     = 0.01520729
          FREQUENCY  OF  FAILURE IN SUB-SYSTEM     =    11.1044 occ/year
```

BASIC BUS INDICES IN SUBSYSTEM

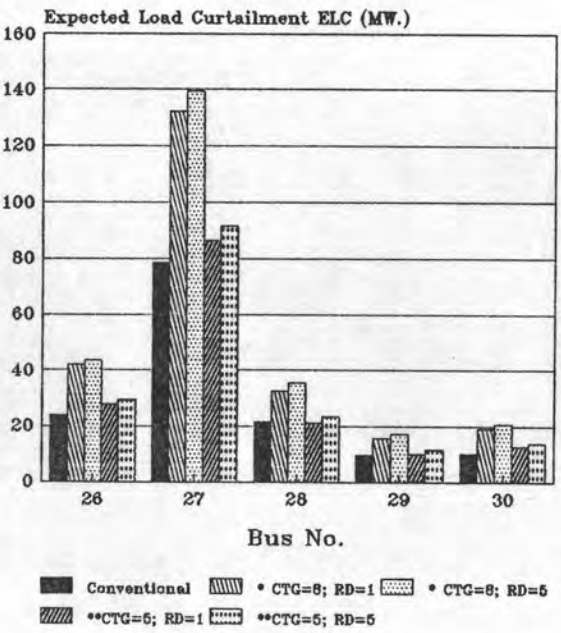
BUS NO.	PROBABILITY OF FAILURE	FREQUENCY OF FAILURE	ELC (MW)	EENS (MWh)	EDLC (hours)
25	0.000000000	0.00000000	0.0000	0.0000	0.0000
26	0.015042795	10.84958251	29.2420	313.9265	131.7749
27	0.015049110	10.86024725	91.8503	974.5211	131.8302
28	0.012830877	8.84337834	23.2832	260.2508	112.3985
29	0.012608029	8.60458316	11.3009	127.2649	110.4463
30	0.012669709	8.68951772	13.8634	141.8366	110.9867

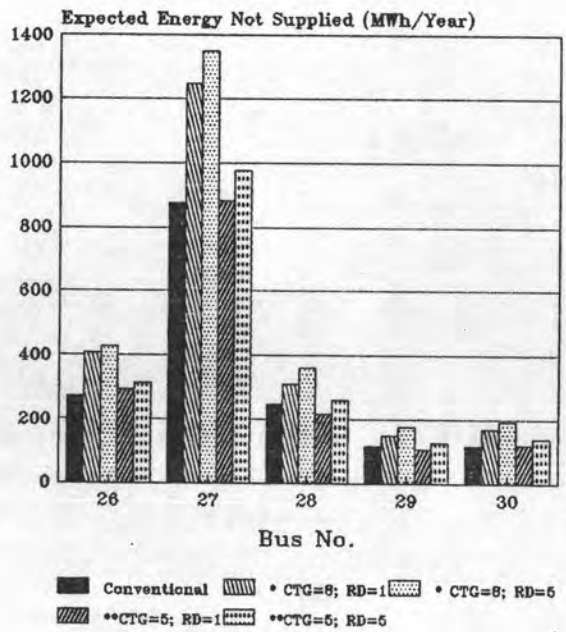
```
        ANNUALIZED SUB-SYSTEM INDICES
Bulk Power Interruption Index                  =     0.9164 MW/MW-year
Bulk Power-supply Average MW Curtailmemt Index =    15.2678 MW/disturbance
Bulk Power/Energy Curtailment Index            =     9.8259 MWh/MW-year
Modified Bulk Power Energy Curtailment Index   =     0.00112168
Severity Index                                 =   589.5568 System-Min

    REMARK : This is special case which  SS combined state contingency level
             has been limited at maximum 5 levels.
```



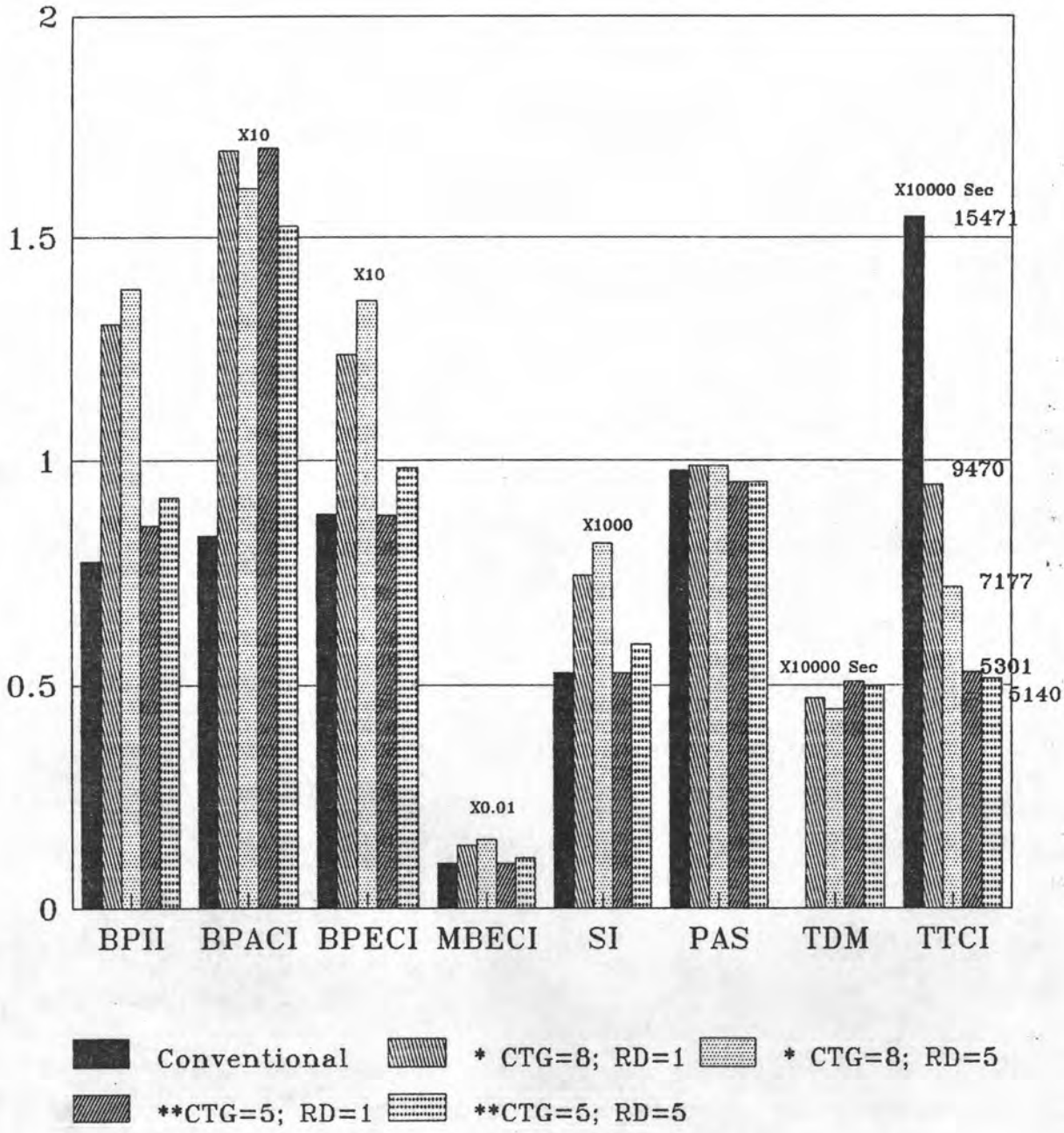


REMARK :
* Maximum contingency level in SS index calculation = 8 (Ordinary)
**Maximum contingency level in SS index calculation = 5 (Special case)





รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยขนาด 6 บัส (RBTS) ระบบทดสอบ IEEE-RTS & RBTS เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลแตกต่างกัน



รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้รวมของระบบไฟฟ้าส่วนย่อยขนาด 6 บัส (RBTS) ระบบทดสอบ IEEE-RTS & RBTS เมื่อประมาณช่วงระดับค่าความพร้อมมูลแตกต่างกัน

ตารางที่ 5.32 สรุปผลรวมการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ในกรณีศึกษาต่างๆ ที่ผ่านมา

TABLE No.	METHOD	TEST SYSTEM	No. SS BUSES	MAXIMUM CONTG LV	RD (1,5,10)	CURT %	CUT-OFF VALUE(1) PROB	CUT-OFF VALUE(1) FREQ	(2) COMADQ	CUT-OFF VALUE(3) PROB	CUT-OFF VALUE(3) FREQ	PFSS	FFSS	BPII	BPACI	BPECI	MBECI	SI	PAS	MAGDE states	TDM seconds	TTCI seconds
5.10	Conv	RTS	10	4		20				1.0E-8	1.0E-6	0.05663	38.1157	1.4166	49.5033	18.8651	0.00215	1131.91	0.98836			3550
5.13	Adq-Eqv	RTS	10	8	1	20	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.05276	40.1900	2.2506	74.5921	24.9438	0.00285	1496.63	0.99791	309	251	6159
5.14	Adq-Eqv	RTS	10	8	1	20	1.0E-8	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.05300	40.5224	2.2707	74.6407	25.0680	0.00286	1504.08	0.99865	897	594	7141
5.15	Adq-Eqv	RTS	10	8	5	20	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.05276	40.1948	2.2107	73.2598	24.4846	0.00280	1469.07	0.99792	289	250	5786
5.16	Adq-Eqv	RTS	10	8	10	20	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.05274	40.1739	2.2115	73.3256	24.4756	0.00279	1468.54	0.99793	260	249	5399
5.17	Adq-Eqv	RTS	10	8	1	20	1.0E-8	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-5	0.05234	39.7011	2.1803	73.1516	24.4091	0.00279	1464.54	0.99647	897	603	6727
5.18	Adq-Eqv	RTS	10	8	1	20	1.0E-8	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-5	0.05231	39.6829	2.1791	73.1453	24.3915	0.00278	1463.49	0.99624	897	594	3990
5.19	Adq-Eqv	RTS	9	8	1	20	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.05269	40.1143	2.3883	68.5884	26.2539	0.00300	1575.23	0.99785	306	293	4585
5.20	Adq-Eqv	RTS	8	8	1	20	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.03750	28.7895	1.9128	69.3652	21.3514	0.00244	1281.09	0.99524	634	531	3942
5.21	Adq-Eqv	RTS	7(1)	8	1	20	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.03716	28.5024	1.9814	67.6356	22.0225	0.00251	1321.35	0.99519	709	606	3722
5.22	Adq-Eqv	RTS	7(2)	8	1	20	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.13022	87.0140	5.8849	52.8877	70.6213	0.00806	4237.28	0.99768	253	396	1775
5.23	Conv	RTS	10	4		15				1.0E-8	1.0E-6	0.06138	40.6232	1.6075	52.7079	21.7431	0.00248	1304.59	0.98836			3560
5.24	Adq-Eqv	RTS	10	8	1	15	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.05900	43.1617	2.6658	82.2671	30.1768	0.00344	1810.61	0.99791	332	254	6606
5.25	Conv	RTS	10	4		25				1.0E-8	1.0E-6	0.05553	37.2402	1.2774	45.6891	16.7688	0.00191	1006.13	0.98836			3567
5.26	Adq-Eqv	RTS	10	8	1	25	1.0E-6	1.0E-5	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.05157	39.4013	1.9261	65.1151	20.9841	0.00240	1259.05	0.99791	305	253	6086
5.27	Conv	RTS-RBT	6(RBT)	4		20				1.0E-8	1.0E-6	0.02348	17.2138	0.7734	8.3116	8.7793	0.00100	526.76	0.97736			15471
5.28	Adq-Eqv	RTS-RBT	6(RBT)	8	1	20	1.0E-8	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.01604	14.2484	1.3052	16.9470	12.3650	0.00141	741.90	0.98807	429	4706	9470
5.29	Adq-Eqv	RTS-RBT	6(RBT)	8	5	20	1.0E-8	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.01981	15.9376	1.3861	16.0892	13.5825	0.00155	814.95	0.98812	238	4460	7177
5.30	Adq-Eqv	RTS-RBT	6(RBT)	5*	1	20	1.0E-8	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.01124	9.2839	0.8538	17.0140	8.7704	0.00100	526.23	0.95230	321	5077	5301
5.31	Adq-Eqv	RTS-RBT	6(RBT)	5*	5	20	1.0E-8	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-8	1.0E-6	0.01521	11.1044	0.9164	15.2678	9.8259	0.00112	589.56	0.95232	214	4972	5140

REMARK : 1) CUT-OFF (1) = Cut-off value to develop MADQE
2) COMADQ (2) = Cut-off value to select MADQE state
3) CUT-OFF (3) = Cut-off value in index calculation
4) * The special cases have maximum contingency levels in index calculation by ADEQUACY EQUIVALENTS equal 5 (ordinary cases equal 8)