การวิเคราะห์คุณลักษณะคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเลท

นายฐิติพงษ์ อินทรสินธุ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3805-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

POWER QUALITY CHARACTERISTICS ANALYSIS BY USING WAVELET TRANSFORM

Mr.Thitipong Intarasin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3805-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์คุณลักษณะคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเลท
โดย	นาย ฐิติพงษ์ อินทรสินธุ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... กรรมการ

(นายพงษ์ศักดิ์ หาญบุญญานนท์)

ฐิติพงษ์ อินทรสินธุ์ : การวิเคราะห์คุณลักษณะคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้การแปลงเวฟเลท (POWER QUALITY CHARACTERISTICS ANALYSIS BY USING WAVELET TRANSFORM) อ. ที่ปรึกษา: อ. ไชยะ แช่มช้อย, 177 หน้า. ISBN 974-17-3805-6

วิทยานิพนธ์นี้เน้นการศึกษาการวิเคราะห์คุณลักษณะของคุณภาพไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลท โดยเลือกวิเคราะห์ปรากฏการณ์ 2 ลักษณะคือ การสับสวิตช์ตัวเก็บประจุและแรงดันตกชั่วขณะ จากผลการศึกษาโดยทดสอบจากเหตุการณ์จำลองบนโปรแกรมสำเร็จรูป ATP/EMTP และข้อมูลจริงจากการตรวจวัดภาคสนาม ปรากฏว่าเทคนิคการแปลงเวฟเลทสามารถใช้จำแนกรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังได้ถูกต้อง และหาขนาดและช่วงระยะเวลาที่เกิดของแรงดันตกชั่วขณะได้ถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ในการประยุกต์ใช้งานทั่วไปทางด้านคุณภาพไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2546

4470288421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: POWER QUALITY / WAVELET TRANSFORM / CAPACITOR SWITCHING / VOLTAGE SAG

THITIPONG INTARASIN: POWER QUALITY CHARACTERISTICS ANALYSIS BY USING WAVELET TRANSFORM: CHAIYA CHAMCHOY, 177 pp. ISBN 974-17-3805-6

This thesis focuses on the analysis of the characteristics of Power Quality conducted by applying the wavelet transform technique to analyze the capacitor switching and the voltage sag. The findings from the simulation of ATP/EMTP and the field test are clearly shown that the wavelet transform technique can precisely categorize different types of capacitor switching. In addition, the technique can also effectively find the magnitude and duration of voltage sag to apply for various fields of the Power Quality.

Department Electrical engineering Student's signature Thitipong

Field of study Electrical engineering Advisor's signature Ch-Chamchoy

Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้แนะแนวทางปฏิบัติให้ความคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดจนชี้ให้เห็นข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขต่างๆนับตั้งแต่เริ่มต้นในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ และ คุณพงษ์ศักดิ์ หาญบุญญานนท์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ปิยะสวัสดิ์ นวรัตน์ ณ อยุธยา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับเทคนิคการแปลงเวฟเลท

ขอขอบคุณ กองวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้านครหลวง พร้อมทั้งผู้บริหารและเพื่อนพนักงานประจำกองทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือในด้านข้อมูลต่างๆและคำปรึกษาพร้อมทั้งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้มอบโอกาสอันสูงสุดแห่งชีวิตแก่ผู้วิจัย คือ การศึกษา

ฐิติพงษ์ อินทรสินธุ์

กันยายน 2546

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ขั้นตอนวิธีดำเนินการ 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 3

2 การใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลทในการวิเคราะห์ปรากฏการณ์คุณภาพไฟฟ้า 5

2.1 การใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลทในการวิเคราะห์ปัญหาปลดสับสวิตช์ตัวเก็บประจุ 7

2.2 การใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลทในการวิเคราะห์ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ 10

3 การวิเคราะห์คุณลักษณะแรงดันเกินชั่วครู่จากการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุโดยใช้การแปลงเวฟเลท 11

3.1 แรงดันเกินชั่วครู่จากการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลัง 11

3.2 การหาค่าคุณลักษณะของแรงดันเกินชั่วครู่จากการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลัง 11

3.2.1 ค่าแรงดันเกินสูงสุด (V_{max}) 11

3.2.2 ค่าแรงดันก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ (V_F) 12

3.2.3 ค่าแรงดันเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด (V_S) 12

3.2.4 ค่าความถี่ของการแกว่ง ($f_{Voltage}$) 13

3.2.5 ค่าระยะเวลาที่เกิดทรานเซียนต์ ($T_{transient}$) 14

หน้า

3.2.6 ค่าสูงสุดของผลการแปลงเวฟเลทยกกำลังสอง :MAX(SQUARED WTC_{D1}) และ MAX(SQUARED WTC_{D2}) 15
4 การวิเคราะห์คุณลักษณะแรงดันตกชั่วขณะโดยใช้การแปลงเวฟเลท 18
4.1 แรงดันตกชั่วขณะ 18
4.2 คุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ 18
4.2.1 ขนาดของแรงดันชั่วขณะ (Amplitude) 19
4.2.2 คาบเวลาการเกิด (Duration of Voltage Sag) 19
4.3 การหาคุณลักษณะรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะจากการแปลงเวฟเลท 20
4.3.1 ผลการกระจายส่วนละเอียดที่แต่ละระดับความละเอียด 20
4.3.2 กราฟพลังงานของผลการแปลงเวฟเลทในส่วนละเอียดที่แต่ละระดับความละเอียด 21
4.3.3 วิธีการหาระยะเวลาที่เกิดของแรงดันตกชั่วขณะ 22
4.3.4 วิธีการหาขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ 23
5 การประยุกต์ใช้ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะแรงดันเกินชั่วครู่เนื่องจากการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุ 27
5.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะแรงดันเกินชั่วครู่เนื่องจากการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุ 27
5.1.1 การสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังแบบปกติ (Normal Energizing) 27
5.1.2 การสับสวิตช์ตัวเก็บประจุขณะที่มีตัวเก็บประจุต่ออยู่ก่อน (Back to Back Energizing) 27
5.1.3 การเกิดอาร์คขณะปลดตัวเก็บประจุออกจากระบบหรือการเกิดกระแสคืนตัว (Capacitor Switch Restrike on open) 29
5.2 วิธีการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิทช์ตัวเก็บประจุกำลังจากคุณลักษณะของแรงดันเกินชั่วครู่ 30
5.2.1 คุณลักษณะเฉพาะของแรงดันเกินชั่วครู่เนื่องจากการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังแบบปกติ 30
5.2.2 คุณลักษณะเฉพาะของแรงดันเกินชั่วครู่เนื่องจากการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุขณะที่มีตัวเก็บประจุต่ออยู่ก่อน 39

หน้า

5.2.3 คุณลักษณะเฉพาะของแรงดันเกินชั่วครู่เนื่องจากการเกิดอาร์ค ขณะปลดตัวเก็บประจุออกจากระบบหรือการเกิดกระแสคืนตัว 34
5.3 การทดสอบวิธีการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิทช์ตัวเก็บประจุกำลังที่ระดับแรงดันขนาดกลาง โดยจำลองรูปคลื่นแรงดันจากระบบไฟฟ้าจริง 37
5.3.1 ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองและค่าพารามิเตอร์ 37
5.3.2 การจำลองการสับสวิทช์ตัวเก็บประจุกำลัง และผลการจำลองรูปคลื่นแรงดัน 40
5.4 การสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิทช์ตัวเก็บประจุกำลังจริงที่ระดับแรงดันขนาดกลาง 33 kV โดยใช้คุณลักษณะรูปคลื่นแรงดัน 82
5.4.1 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 1 83
5.4.2 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 2 83
5.4.3 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 3 84
5.4.4 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 4 84
5.4.5 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 5 85
5.4.6 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 6 85
5.4.7 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 7 86
5.4.8 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 8 86
5.4.9 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 9 87
5.5 สรุปผลการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุจากการทดลองจริง 89
6 การทดสอบหาคุณลักษณะแรงดันตกชั่วขณะจากเครื่องกำเนิดแรงดันตกชั่วขณะ 90
6.1 การสร้างรูปคลื่นแรงดันชั่วขณะโดยเครื่องกำเนิดแรงดันตกชั่วขณะ 90
6.2 ผลการสร้างรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะ 91
6.2.1 แรงดันตกชั่วขณะเหลือ 10 เปอร์เซ็นต์ 91
6.2.2 แรงดันตกชั่วขณะเหลือ 30 เปอร์เซ็นต์ 93
6.2.3 แรงดันตกชั่วขณะเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ 94
6.2.4 แรงดันตกชั่วขณะเหลือ 70 เปอร์เซ็นต์ 98
6.2.5 แรงดันตกชั่วขณะเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ 101
6.2.6 แรงดันตกชั่วขณะเหลือ 0 เปอร์เซ็นต์ หรือ ไฟฟ้าดับชั่วขณะ 103
6.3ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะโดยใช้การแปลงเวฟเลท 104

หน้า

6.4 การเปรียบเทียบผลการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ
โดยใช้เทคนิคการแปลงเวฟเลทกับมาตรฐาน SEMI F47 121
6.5 สรุปการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะโดยใช้การแปลงเวฟเลท 127
7 สรุปและข้อเสนอแนะ 129
7.1 การสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังจาก 129
7.1.1 รูปคลื่นที่ได้จากการจำลองบน ATP/EMTP 129
7.1.2 รูปคลื่นที่ได้จากการทดลองปลดสับจริง 130
7.1.3 ข้อแนะนำของการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลัง 130
7.2การหาคุณลักษณะแรงดันตกชั่วขณะโดยใช้การแปลงเวฟเลท 130
7.2.1 ที่มุมเริ่มเกิดเป็น 0 องศา 130
7.2.2 ที่มุมเริ่มเกิดเป็น 30 องศา 131
7.2.3 ที่มุมเริ่มเกิดเป็น 60 องศา 131
7.2.4 ที่มุมเริ่มเกิดเป็น 90 องศา 132
7.2.5 ที่มุมเริ่มเกิดเป็น 270 องศา 132
7.2.6 ที่มุมเริ่มเกิดเป็น 330 องศา 132
7.2.7 ข้อแนะนำของการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ
โดยใช้การแปลงเวฟเลท 132
รายการอ้างอิง 134
ภาคผนวก 136
ก ปรากฏการณ์ความผิดปกติในระบบไฟฟ้า 137
ข เทคนิคการแปลงเวฟเลท 146
ค การตรวจจับและหาตำแหน่งของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า 150
ง ตัวอย่างการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลัง 157
จ ตัวอย่างการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ 162
ฉ รูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะ 3 เฟสที่มุมบนคลื่นเฟส A เป็น 0 องศา 164
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 177

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

4.1 แสดงช่วงเวลาของการทำหน้าที่ในการขจัดความผิดพร่อง 20

5.1 สรุปเงื่อนไขของรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังทั้ง 3 แบบ 36

5.2 ข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยแบริ่งและสายป้อน 37

5.3 ข้อมูลโหลดในแต่ละวันที่บันทึกของโรงงานรองเท้าบาจา 39

5.4 ข้อมูลโหลดในแต่ละวันที่บันทึกของโรงงาน NS Electronics 39

5.5 ข้อมูลการใช้ตัวเก็บประจุกำลังของ
โรงงานรองเท้าบาจาและ NS Electronics 39

5.6 การรายงานคุณลักษณะรูปคลื่น (Max voltage, VF)
โดยแยกแต่ละเฟส 53

5.7 การรายงานคุณลักษณะรูปคลื่น (VS , Max Squared WTC_{D1})
โดยแยกแต่ละเฟส 54

5.8 การรายงานคุณลักษณะรูปคลื่น (Max Squared WTC_{D1}, transient duration)
โดยแยกแต่ละเฟส 55

5.9 การรายงานคุณลักษณะรูปคลื่น (Estimated Frequency, ΔV)
โดยแยกแต่ละเฟส 56

5.10 ผลการสันนิษฐานการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุที่จำลองรูปแบบ Normal Energizing 57

5.11 การรายงานคุณลักษณะรูปคลื่น (Max voltage, VF) โดยแยกแต่ละเฟส 72

5.12 การรายงานคุณลักษณะรูปคลื่น (VS,Max Squared WTC_{D1}) โดยแยกแต่ละเฟส 73

5.13 การรายงานคุณลักษณะรูปคลื่น (Max Squared WTC_{D2}, transient duration)
โดยแยกแต่ละเฟส 74

5.14 การรายงานคุณลักษณะรูปคลื่น (Estimated Frequency) โดยแยกแต่ละเฟส 75

5.15 ผลการสันนิษฐานการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุที่จำลอง
รูปแบบ Back to Back Energizing 76

5.16 สรุปการหาคุณลักษณะของรูปที่ 5.74 – 5.77 และผลการสันนิษฐาน
รูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลัง 83

5.17 สรุปการหาคุณลักษณะของรูปที่ 5.78 – 5.86 และผลการสันนิษฐาน
รูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลัง 88

6. 1 ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 0 องศา 104

หน้า

6. 2 ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 30 องศา.....105
6. 3 ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 60 องศา.....106
6. 4 ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 90 องศา.....107
6. 5 ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 270 องศา.....108
6. 6 ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 330 องศา.....109
6. 7 ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นไฟฟ้าดับชั่วขณะ.....116
6. 8 ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะเฟส B.....117
6. 9 ผลการหาคุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะเฟส C.....118

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2. 1 Scaling function และ Wavelet function ของ Daubechies' Wavelet [3] 6

2. 2 ตัวอย่างการกระจายสัญญาณที่ระดับ 1 7

2. 3 รูปคลื่นที่ทำการวิเคราะห์ 7

2. 4 ผลการแปลงเวฟเลทที่ระดับ 1 (ก) WTC_{A1} (ข) WTC_{D1}
แสดงแกนนอนเป็นจุดตัวอย่าง 8

2. 5 ผลการแปลงเวฟเลทที่ระดับ 2 (ก) WTC_{A2} (ข) WTC_{D2}
แสดงแกนนอน เป็นจุดตัวอย่าง 8

2. 6 ผลการแปลงเวฟเลทที่ระดับ 3 (ก) WTC_{A3} (ข) WTC_{D3}
แสดงแกนนอนเป็นจุดตัวอย่าง 9

2. 7 ผลการแปลงเวฟเลทที่ระดับ 4 (ก) WTC_{A4} (ข) WTC_{D4}
แสดงแกนนอนเป็นจุดตัวอย่าง 9

2. 8 การกระจายรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะ 4 ระดับความละเอียด
โดยแสดงทั้งส่วนหยาบและส่วนละเอียด 10

3. 1 ตำแหน่งของแรงดันเกินสูงสุด 12

3. 2 ตำแหน่งของแรงดันก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ 12

3. 3 ตำแหน่งของแรงดันเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด 13

3. 4 การแยกส่วนของทรานเซียนต์ออกจากรูปคลื่น 13

3. 5 การประมาณระยะเวลาของปัญหาโดยการแปลงเวฟเลท 14

3. 6 ค่า MAX(SQUARED WTC1) และ MAX(SQUARED WTC2) 15

3. 7 การประเมินขนาดขนาดแรงดันเกินที่เกิดจากการสวิตช์ใน 1 ช่วงเวลาที่สนใจ 16

3. 8 การประเมินความถี่การแกว่งที่เกิดจากการสวิตช์ใน 1 ช่วงเวลาที่สนใจ 16

3. 9 การประเมินรูปแบบการสับสวิตช์ใน 1 ช่วงเวลาที่สนใจ 17

5. 1 คุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ 20

5. 2 ตัวอย่างผลการแปลงเวฟเลทที่ 4 ระดับความละเอียด 21

5. 3 กราฟพลังงานในส่วนละเอียดที่ 9 ระดับ 22

5. 4 การหาระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกจาก WTC1 และ Squared WTC1 23

5. 5 ค่าพลังงานสูงสุดสอดคล้องกับขนาดแรงดันตกที่ระยะเวลาการเกิดเดียวกัน 24

5. 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันตกต่อหน่วยกับค่าพลังงานสูงสุดของแต่ละระดับความ

หน้า

ละเอียดที่ระยะเวลาที่เกิดเดียวกัน....24
5. 7 การหาค่าพลังงานสูงสุดของรูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะ....25
5. 8 การหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะ....25
5. 9 การประเมินขนาดของแรงดันตกชั่วขณะใน 1 ช่วงเวลาที่สนใจ....26
5. 10 การประเมินช่วงระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะในช่วงเวลาที่สนใจ....26
5. 1 แรงดันเกินชั่วครู่ที่บัส 24 kV เนื่องจาก Normal Energizing....28
5. 2 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุกำลังเนื่องจาก Normal Energizing....28
5. 3 แรงดันเกินชั่วครู่ที่บัส 24 kV เนื่องจาก Back to Back Energizing....29
5. 4 กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุกำลังเนื่องจาก Back to Back Energizing....29
5. 5 ตัวแรงดันเกินชั่วครู่เนื่องจาก Capacitor Switch Restrike on open....30
5. 6 รูปคลื่นแรงดันเกินชั่วครู่เนื่องจาก Normal Energizing ทั้ง 3 เฟส....31
5. 7 รูปคลื่นแรงดันเนื่องจาก Normal Energizingที่เฟส A จากการจำลอง (ATP/EMTP)....32
5. 8 รูปคลื่นแรงดันที่เกิดปัญหา (Normal Energizing) และรูปคลื่นแรงดันพื้นฐาน....32
5. 9 การแยกส่วนที่เป็นรูปคลื่นแรงดันแกว่ง (Normal Energizing)
ออกจากแรงดันพื้นฐาน....32
5. 10 ค่าสูงสุดของการยกกำลังสองผลการแปลงเวฟเลทที่ระดับความละเอียดที่ 1และ2 ของ
รูปคลื่นแรงดันเกินเนื่องจาก Normal Energizing....33
5. 11 รูปคลื่นแรงดันเกินเนื่องจาก Back to Back Energizing ทั้ง 3 เฟส....33
5. 12 รูปคลื่นแรงดันการเกิดอาร์คขณะปลดตัวเก็บประจุออกจากระบบทั้ง 3 เฟส....35
5. 13 การหาตำแหน่งของ VF และ VS....35
5. 14 ภาพไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของสถานีไฟฟ้าย่อยแบริ่ง....37
5. 15 ระบบไฟฟ้าและพารามิเตอร์ที่จำลองในโปรแกรม....39
5. 16 ตำแหน่งการสับสวิตช์ที่เลือกในใช้การจำลอง....39
5. 17 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....40
5. 18 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....40
5. 19 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....41
5. 20 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....41
5. 21 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....42
5. 22 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....42

หน้า

5. 23 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....43
5. 24 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....43
5. 25 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....44
5. 26 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....44
5. 27 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....45
5. 28 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....45
5. 29 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....46
5. 30 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....46
5. 31 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....47
5. 32 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....47
5. 33 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....48
5. 34 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....48
5. 35 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....49
5. 36 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....49
5. 37 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....50
5. 38 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....50
5. 39 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....51
5. 40 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....51
5. 41 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....52
5. 42 รูปคลื่นแรงดันทั้ง 3 เฟสเมื่อสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลัง....58
5. 43 รูปคลื่นแรงดันทั้ง 3 เฟสแยกให้เห็นเฟสที่เกิดผลน้อย....58
5. 44 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....59
5. 45 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....59
5. 46 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....60
5. 47 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....60
5. 48 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....61
5. 49 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....61
5. 50 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....62
5. 51 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....62

หน้า

5. 52 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....63
5. 53 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....63
5. 54 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....64
5. 55 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....64
5. 56 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....65
5. 57 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....65
5. 58 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....66
5. 59 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....66
5. 60 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....67
5. 61 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....67
5. 62 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....68
5. 63 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....68
5. 64 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 1 ทั้ง 3 เฟส....69
5. 65 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 2 ทั้ง 3 เฟส....69
5. 66 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 3 ทั้ง 3 เฟส....70
5. 67 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 4 ทั้ง 3 เฟส....70
5. 68 รูปคลื่นแรงดันระดับกลางที่ตำแหน่ง Time 5 ทั้ง 3 เฟส....71
5. 69 วงจรที่ใช้จำลองการเกิดอาร์คขณะปลดตัวเก็บประจุออกจากระบบ....77
5. 70 รูปคลื่นแรงดันจำลองที่เกิดอาร์คขณะปลดตัวเก็บประจุออกที่ค่าอิมพีแดนซ์ Z1....77
5. 71 รูปคลื่นแรงดันจำลองที่เกิดอาร์คขณะปลดตัวเก็บประจุออกค่าอิมพีแดนซ์ Z2....78
5. 72 รูปคลื่นแรงดันจำลองที่เกิดอาร์คขณะปลดตัวเก็บประจุออกค่าอิมพีแดนซ์ Z3....78
5. 73 รูปคลื่นแรงดันจำลองที่เกิดอาร์คขณะปลดตัวเก็บประจุออกค่าอิมพีแดนซ์ Z4....79
5. 74 การวิเคราะห์คุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันที่ค่าอิมพีแดนซ์ Z1....80
5. 75 แสดงการวิเคราะห์คุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันที่ค่าอิมพีแดนซ์ Z2....80
5. 76 แสดงการวิเคราะห์คุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันที่ค่าอิมพีแดนซ์ Z3....81
5. 77 แสดงการวิเคราะห์คุณลักษณะของรูปคลื่นแรงดันที่ค่าอิมพีแดนซ์ Z4....81
5. 78 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 1
และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะรูปคลื่น....83
5. 79 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 2

หน้า

และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะรูปคลื่น....83
5. 80 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 3
และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะรูปคลื่น....84
5. 81 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 4
และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะรูปคลื่น....84
5. 82 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 5
และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะรูปคลื่น....85
5. 83 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 6
และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะรูปคลื่น....85
5. 84 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 7
และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะรูปคลื่น....86
5. 85 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 8
และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะรูปคลื่น....86
5. 86 การทดลองสับสวิตช์ตัวเก็บประจุครั้งที่ 9
และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะรูปคลื่น....87
6. 1 เครื่องกำเนิดแรงดันตกชั่วขณะ Porto-Sag Model PS30-3P....90
6. 2 แรงดันตกชั่วขณะ 1 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....91
6. 3 แรงดันตกชั่วขณะ 2 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....91
6. 4 แรงดันตกชั่วขณะ 3 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....92
6. 5 แรงดันตกชั่วขณะ 4 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....92
6. 6 แรงดันตกชั่วขณะ 5 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....93
6. 7 แรงดันตกชั่วขณะ 1 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....93
6. 8 แรงดันตกชั่วขณะ 2 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....94
6. 9 แรงดันตกชั่วขณะ 3 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....94
6. 10 แรงดันตกชั่วขณะ 4 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....95
6. 11 แรงดันตกชั่วขณะ 5 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....95
6. 12 แรงดันตกชั่วขณะ 1 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....96
6. 13 แรงดันตกชั่วขณะ 2 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....96
6. 14 แรงดันตกชั่วขณะ 3 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330....97

หน้า

6. 15 แรงดันตกชั่วขณะ 4 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 97
6. 16 แรงดันตกชั่วขณะ 5 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 98
6. 17 แรงดันตกชั่วขณะ 1 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 98
6. 18 แรงดันตกชั่วขณะ 2 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 99
6. 19 แรงดันตกชั่วขณะ 3 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 99
6. 20 แรงดันตกชั่วขณะ 4 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 100
6. 21 แรงดันตกชั่วขณะ 5 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 100
6. 22 แรงดันตกชั่วขณะ 1 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 101
6. 23 แรงดันตกชั่วขณะ 2 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 101
6. 24 แรงดันตกชั่วขณะ 3 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 102
6. 25 แรงดันตกชั่วขณะ 4 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 102
6. 26 แรงดันตกชั่วขณะ 5 ไซเคิล ที่มุมบนคลื่นเป็น 0,30,60,90,270 และ330 103
6. 27 ไฟฟ้าดับชั่วขณะที่ช่วงเวลาและมุมบนคลื่นต่างๆ 103
6. 28 ความผิดพลาดของการหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 0 องศา 110
6. 29 ความผิดพลาดของการหาช่วงเวลาเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 0 องศา 110
6. 30 ความผิดพลาดของการหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 30 องศา 111
6. 31 ความผิดพลาดของการหาช่วงเวลาเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 30 องศา 111
6. 32 ความผิดพลาดของการหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 60 องศา 112
6. 33 ความผิดพลาดของการหาช่วงเวลาเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 60 องศา 112
6. 34 ความผิดพลาดของการหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 90 องศา 113
6. 35 ความผิดพลาดของการหาช่วงเวลาเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 90 องศา 113
6. 36 ความผิดพลาดของการหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 270 องศา 114
6. 37 ความผิดพลาดของการหาช่วงเวลาเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 270 องศา 114
6. 38 ความผิดพลาดของการหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 330 องศา 115
6. 39 ความผิดพลาดของการหาช่วงเวลาเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 330 องศา 115
6. 40 แรงดันตกชั่วขณะที่มุมบนคลื่นเท่ากับ 0 องศาที่เฟส A และ 2 เฟสที่เหลือ 116
6. 41 ความผิดพลาดของการหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะ 119
6. 42 ความผิดพลาดของการหาช่วงเวลาเกิดแรงดันตกชั่วขณะ 119
6. 43 ความผิดพลาดของการหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะ 120

หน้า

6. 44 ความผิดพลาดของการหาช่วงเวลาเกิดแรงดันตกชั่วขณะ....120
6.45 มุมเริ่มเกิดบนคลื่น 0 องศา....121
6.46 มุมเริ่มเกิดบนคลื่น 30 องศา....122
6.47 มุมเริ่มเกิดบนคลื่น 60 องศา....123
6.48 มุมเริ่มเกิดบนคลื่น 90 องศา....124
6.49 มุมเริ่มเกิดบนคลื่น 270 องศา....125
6.50 มุมเริ่มเกิดบนคลื่น 330 องศา....126
7. 1 การหาช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะผิดพลาด....131
7. 2 การหาช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ถูกต้อง....132
7. 3 แสดงบริเวณที่หาขนาดแรงดันตกผิดพลาด....133
ก.1 ตัวอย่างของความผิดปกติด้านแรงดัน....138
ก.2 ตัวอย่างของความผิดปกติด้านกระแส....138
ก.3 ความผิดปกติด้านความถี่ของรูปคลื่น....138
ก.4 ทรานเซี้ยนแบบอิมพัลส์....139
ก.5 ทรานเซี้ยนแบบอิมพัลส์....139
ก.6 ไฟฟ้าดับในช่วงสั้น....140
ก.7 แรงดันไฟฟ้าตก....140
ก.8 แรงดันเกินชั่วขณะ....141
ก.9 แรงดันไม่สมดุล....142
ก.10 ความผิดปกติจากรูปคลื่นมีส่วนประกอบกระแสตรงปนอยู่....143
ก.11 ฮาร์มอนิกส์....143
ก.12 รูปคลื่นมีรอยบาก....144
ก.13 แรงดันกระเพื่อม....144
ก.14 ความถี่ระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง....144
ก.15 สัดส่วนความผิดปกติต่างๆ....145
ข.1 ฟังก์ชันฐานหลักเวฟเลทแต่ละชนิด....146
ข.2 ฟังก์ชันเวฟเลทแบบ Haar , Coiflet, Daubechies และ Symlets....147
ข.3 คุณสมบัติการเลื่อนตำแหน่งและการขยายและลดสเกลของฟังก์ชันเวฟเลท....147
ข.4 แผนผังการกระจายสัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด....149

หน้า

ค.1 การกระจายสัญญาณ 2 Scale (2 levels) 152
ค.2 รูปคลื่นการทดลองการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังจริง 152
ค.3 การกระจายรูปคลื่น 2 ระดับ การใช้ Daubechies wavelet 4 สัมประสิทธิ์ตัวกรอง 153
ค.4 การกระจายรูปคลื่น 2 ระดับ การใช้ Daubechies wavelet 6 สัมประสิทธิ์ตัวกรอง 153
ค.5 การกระจายรูปคลื่น 2 ระดับ การใช้ Daubechies wavelet 8 สัมประสิทธิ์ตัวกรอง 154
ค.6 การกระจายรูปคลื่น 2 ระดับ การใช้ Daubechies wavelet 10 สัมประสิทธิ์ตัวกรอง 154
ค.7 รูปคลื่นที่ได้จากเครื่องกำเนิดแรงดันตกชั่วขณะ 155
ค.8 ผลการกระจายรูปคลื่นในส่วนละเอียดแต่ละสัมประสิทธิ์ตัวกรองที่ระดับ1 155
ง.1 รูปคลื่นจำลองกรณี Normal energizing 157
ง.2 แสดงการรายงานผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของรูปคลื่น 157
ง.3 การตรวจสอบคุณลักษณะกับกรณีการสับสวิตช์แบบต่างๆ 158
ง.4 การสรุปผลการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกรณียืนยันผลสรุปแน่นอน 158
ง.5 รูปคลื่นจำลองกรณี Capacitor Switch Restrike On Open 159
ง.6 แสดงการรายงานผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของรูปคลื่น 159
ง.7 ผลการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกรณีใช้
การประมาณในการตัดสินใจ 160
ง.8 รูปคลื่นจริงจากการทดลองกรณี Normal energizing 160
ง.9 ผลการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุจากการทดลองจริง 161
จ.1 การหาช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกที่ผิดพลาดโดยแสดงที่ขนาด 90 % 5 cycle 0 องศา 162
จ.2 แสดงการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะผิดพลาด 162
จ.3 การหาช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกที่ไม่ผิดพลาดโดยแสดงที่ขนาด 90 % 5 cycle 90 องศา 163
จ.4 แสดงการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะที่ไม่ผิดพลาด 163
ฉ. 1 ระยะเวลาเกิด 1 ไซเคิล 164
ฉ. 2 ระยะเวลาเกิด 2 ไซเคิล 164
ฉ. 3 ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล 165
ฉ. 4 ระยะเวลาเกิด 4 ไซเคิล 165
ฉ. 5 ระยะเวลาเกิด 5 ไซเคิล 166
ฉ. 6 ระยะเวลาเกิด 1 ไซเคิล 166
ฉ. 7 ระยะเวลาเกิด 2 ไซเคิล 167

หน้า

ฉ. 8 ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล 167
ฉ. 9 ระยะเวลาเกิด 4 ไซเคิล 168
ฉ. 10 ระยะเวลาเกิด 5 ไซเคิล 168
ฉ. 11 ระยะเวลาเกิด 1 ไซเคิล 169
ฉ. 12 ระยะเวลาเกิด 2 ไซเคิล 169
ฉ. 13 ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล 170
ฉ. 14 ระยะเวลาเกิด 4 ไซเคิล 170
ฉ. 15 ระยะเวลาเกิด 5 ไซเคิล 171
ฉ. 16 ระยะเวลาเกิด 1 ไซเคิล 171
ฉ. 17 ระยะเวลาเกิด 2 ไซเคิล 172
ฉ. 18 ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล 172
ฉ. 19 ระยะเวลาเกิด 4 ไซเคิล 173
ฉ. 20 ระยะเวลาเกิด 5 ไซเคิล 173
ฉ. 21 ระยะเวลาเกิด 1 ไซเคิล 174
ฉ. 22 ระยะเวลาเกิด 2 ไซเคิล 174
ฉ. 23 ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล 175
ฉ. 24 ระยะเวลาเกิด 4 ไซเคิล 175
ฉ. 25 ระยะเวลาเกิด 5 ไซเคิล 176