

รายการอ้างอิง

1. Electrotek Concepts, Inc., Evaluation of Distribution Capacitor Switching Concerns,... Final Report, : EPRI TR-107332, 1997.
2. A.Hansen, M.Wildberger. Wavelet Application for Modeling in the Atmospheric Sciences, Second Edition, TR – 114838, Palo Alto : EPRI, 2000.
3. S.Bhatt. The Wavelet Transform and Feature Extraction of Power Quality Disturbances. :Volume 1, TR-114175-V1. Palo Alto : EPRI, 1999.
4. S.Bhatt. Wavelet-based Power Quality Event Identification System.:Volume 2, TR-114175-V2. Palo Alto : EPRI, 1999.
5. A.M.Gaouda and M.M.A.Salama, Power Quality Detection and Classification Using Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.14, No. 4, October 1999: pp 1469-1476.
6. P.Pillay,A.Bhattacharjee. Application Of Wavelet To Model Short-term Power System Disturbances. IEEE Transactions on Power System, Vol.11, No. 4, November 1996 : pp 2031-2037.
7. W.A.Wilkinson,M.D.Cox. Discrete Wavelet Analysis of Power System Transients. IEEE Transactions on Power System ,Vol.11, No. 4, November 1996 : pp 2038-2044.
8. A.M.Gaouda and M.M.A.Salama. Application Of Multiresolution Signal Decomposition For Monitoring Short-Duration Variations in Distribution System. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.15, No. 2, April 2000 : pp 478-485.
9. S. Santoso, S.Bhatt., Characterization Of Distribution Power Quality Events With Fourier And Wavelet Transforms. IEEE Transactions on Power Delivery Vol.15, No. 1, January 2000 : pp 247-254.
10. S. Santoso,. Power Quality Assessment Via Wavelet Transform Analysis. IEEE Transactions on Power Delivery , Vol.11, No. 2, April 1996 : pp 924-930.
11. F.H.Magnago. Fault Location Using Wavelet. IEEE Transactions on Power Delivery Vol.13, No. 4, October 1998 : pp 1475-1480.
12. G.T.Heydt,A.W.Galli. Transient Power Quality Problems Analyzed Using Wavelets. IEEE Transactions on Power Delivery , Vol.12, No. 2, April 1997 : pp 908-915.

13. นครินทร์ วงศ์ศิริธ. ผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าของผู้ใช้จากสถิติตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายแรงดันปานกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
14. สุรัชย์ โรจน์ขจรนภาลัย. ผลของแรงดันตกชั่วขณะต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไวต่อแรงดัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ปรากฏการณ์ความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

คุณภาพของระบบไฟฟ้า

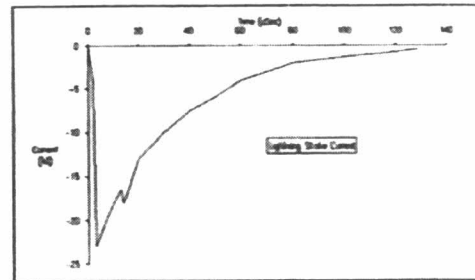
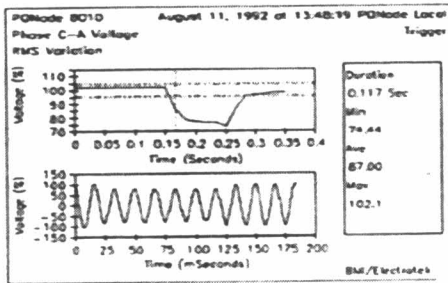
คุณภาพของระบบไฟฟ้าในปัจจุบันจะถูกกำหนดว่ามีค่าดีมากน้อยเพียงใด โดยขึ้นอยู่กับความสามารถในการรักษาสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า (Disturbance) ของแรงดัน กระแส หรือความถี่ ความผิดปกติในด้านต่าง ๆ เหล่านี้มักมีสาเหตุจากความผิดปกติของระบบไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เช่น การเกิดความผิดปกติ (Faults) การตัด-ต่อโหลด หรือตัวคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ภายในระบบ ความผิดปกติในหลาย ๆ ด้านที่เป็นสาเหตุของความผิดปกติเหล่านี้ดูเหมือนจากเป็นสิ่งที่ยากแก่การป้องกันที่จะไม่ให้เกิดขึ้นได้ และดูเหมือนว่าความผิดปกติเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นทุกวัน ดังนั้นการเรียนรู้ถึงคุณลักษณะ รวมถึงสาเหตุของความผิดปกติที่มีในระบบ จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อจะได้มีการวางแผนป้องกันต่อปัญหาของความผิดปกติของคุณภาพของระบบไฟฟ้าได้ โดยที่จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในด้านต่าง ๆ ตามมา

ชนิดของความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

ความผิดปกติที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ รวมถึงมีสาเหตุของการเกิดที่ต่างกันไป โดยทั่วไปแล้วเราสามารถที่จะแยกความผิดปกติทางระบบไฟฟ้าได้ 3 ชนิด โดยใช้คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าเป็นส่วนพิจารณา ดังนี้

ความผิดปกติด้านรูปคลื่นแรงดัน (Voltage waveshape distortion)

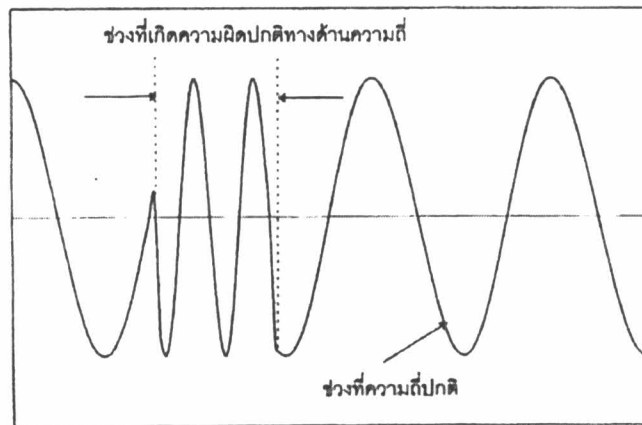
เป็นความผิดปกติในเรื่องของรูปคลื่นแรงดัน ตัวอย่างเช่น แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag) แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell) , ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics) โดยทั่วไปมีสาเหตุหลักเกิดจากความผิดปกติของระบบต่าง ๆ ที่เกิดในระบบไฟฟ้า การตัด-ต่อโหลดเข้าสู่ระบบไฟฟ้า หรือ ผลของโหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น เป็นต้น



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างของความผิดปกติด้านแรงดัน รูปที่ ก.2 ตัวอย่างของความผิดปกติด้านกระแส

ความผิดปกติด้านรูปคลื่นกระแส (Current waveshape distortion)

ความผิดปกติทางด้านรูปคลื่นกระแส มักมีสาเหตุโดยตรงจากการตัด-ต่อโหลดที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ หรือ การเพิ่มเข้าหรือหลุดออกจากระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า



รูปที่ ก.3 ความผิดปกติด้านความถี่ของรูปคลื่น

นอกจากนี้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ายังสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ โดยใช้คุณลักษณะทางด้านเวลาในการเกิด (Duration) ขนาดของแรงดัน (Voltage Amplitude) และความถี่ (Frequency) ของความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นประเภทต่าง ๆ 7 ประเภท ดังต่อไปนี้

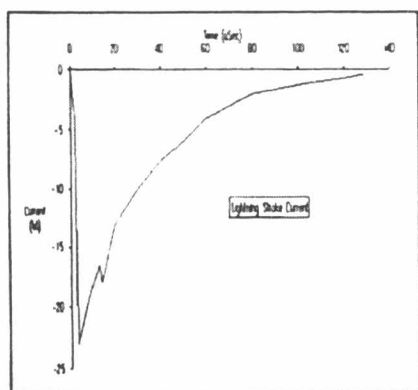
ประเภทของความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

ทรานเซียนส์ (Transients disturbance)

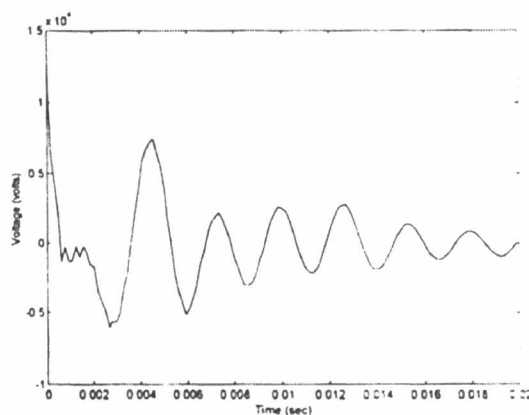
ทรานเซียนส์ เป็นความผิดปกติทางระบบไฟฟ้าที่มีช่วงเวลาการเกิดที่มีความน้อยกว่า 20 ms. โดยที่สภาพความผิดปกติทางด้านขนาดจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0-8 pu. ความผิดปกติชนิดนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

ความผิดปกติทรานเซียนส์แบบอิมพัลส์ (Impulsive Transients)

ทรานเซียนส์แบบอิมพัลส์ เป็นความผิดปกติที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านความถี่ไฟฟ้าของแรงดัน และกระแส ที่สภาวะคงที่ (Steady State) และมีคุณสมบัติทางเดียว (Unidirectional) โดยทั่วไปความผิดปกติชนิดนี้มักจะกำหนดคุณลักษณะโดยใช้ค่าช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time) และช่วงเวลาขาลง (Decay Time) สาเหตุของความผิดปกติชนิดนี้เกิดจาก ฟิวส์เป็นส่วนใหญ่



รูปที่ ก.4 ทรานเซียนแบบอิมพัลส์



รูปที่ ก.5 ทรานเซียนแบบอิมพัลส์

ทรานเซียนส์แบบแกว่ง (Oscillatory Transients)

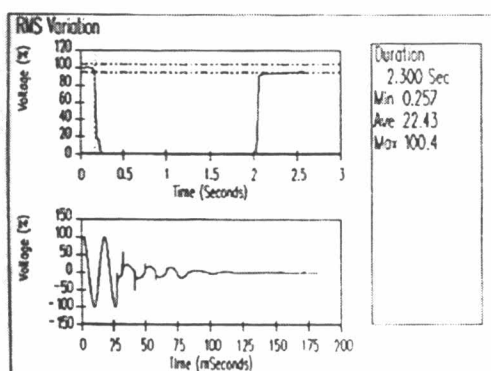
ทรานเซียนส์แบบแกว่ง จะมีคุณลักษณะแบบ 2 ทาง สาเหตุของการเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าชนิดนี้มีสาเหตุเกิดจากการ สับสวิตช์ของคาปาซิเตอร์ เข้าสู่ระบบ หรือออกจากระบบไฟฟ้า การสับโหลดจำพวกมอเตอร์เข้าสู่ระบบ เป็นต้น

ความผิดปกติทางด้านแรงดันแบบช่วงเวลาสั้น (Short Duration Voltage Variation)

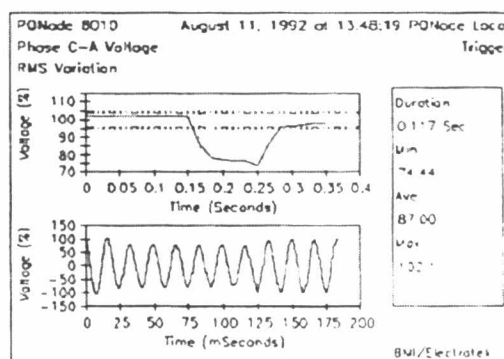
ความผิดปกติทางด้านแรงดันแบบช่วงเวลาสั้น เป็นความผิดปกติที่มีสาเหตุหลักที่เกิดจากสภาพความผิดปกติที่ เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า หรือ การต่อโหลดที่มีขนาดใหญ่เข้าสู่ระบบไฟฟ้า โดยอุปกรณ์เหล่านี้มีความต้องการกระแสไฟฟ้าในช่วงเริ่มเดินเครื่องสูง จึงทำให้เกิดการลดลงของแรงดันในช่วงเริ่มเดินอุปกรณ์เหล่านี้ นอกจากนี้การหลุดออกจากระบบของสายส่งที่มีการต่อเชื่อมในระบบไฟฟ้ายังเป็นสาเหตุประการหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดปกติข้างต้น ความผิดปกติเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

ไฟฟ้าดับ (Voltage Interruption)

ความผิดปกติแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อขนาดของแรงดันจ่ายของระบบไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่า 10% ของค่าปกติ โดยที่มีช่วงเวลาการเกิดความผิดปกตินี้ต่ำกว่า 1 นาที สาเหตุการเกิดของความผิดปกตินี้คือการเกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้า



รูปที่ ก.6 ไฟฟ้าดับในช่วงสั้น



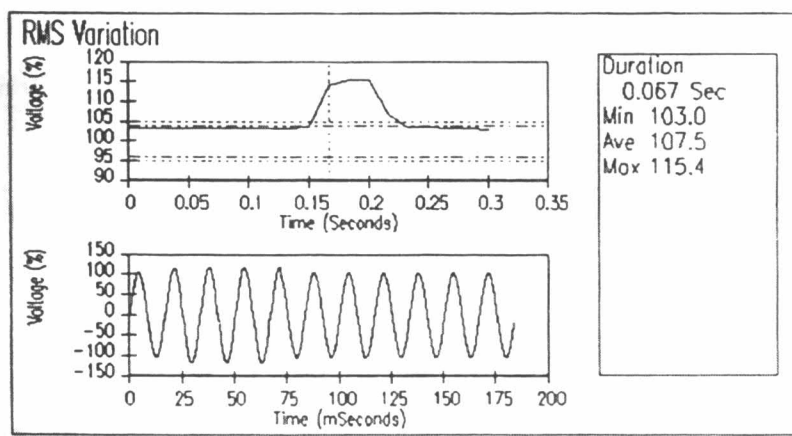
รูปที่ ก.7 แรงดันไฟฟ้าตก

แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag)

แรงดันตกชั่วขณะเป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ามากที่สุดในการบรรดาความผิดปกติทั้งหมด ความผิดปกติชนิดนี้ จะมีผลให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าประสิทธิผล (rms.) มีขนาดลดลงอยู่ในช่วง 10% - 90% ของค่าปกติ โดยที่มีช่วงเวลาการเกิดอยู่ในช่วงเวลา 10 ms. ถึง 1 นาที สาเหตุของการเกิดมาจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้า นอกจากนี้การเริ่มต้นโหลดจำพวกมอเตอร์ที่มีขนาดกำลังมาก ๆ ยังเป็นสาเหตุของความผิดปกติชนิดนี้

แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติในด้านแรงดันที่มีการเพิ่มขึ้นของแรงดันทำให้มีขนาดเป็น 110% - 180% ของขนาดแรงดันประสิทธิผล (rms.) ที่ความถี่ของระบบไฟฟ้ามีช่วงเวลาการเกิด 10 ms. ถึง 1 นาที สาเหตุของการเกิดความผิดปกติชนิดนี้เกิดจากผลของความผิดปกติในเฟสอื่น ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของขนาดแรงดัน ในเฟสที่ไม่เกิดความผิดปกติ นอกจากนี้อาจเกิดจากการปลดโหลดที่มีขนาดกำลังมาก ๆ หรือ การต่อเข้าคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่เข้าสู่ระบบไฟฟ้า



รูปที่ ก.8 แรงดันเกินชั่วขณะ

ความผิดปกติทางด้านแรงดันแบบช่วงเวลานาน (Long Duration Voltage Variation)

ความผิดปกติทางด้านแรงดันแบบช่วงเวลานาน เป็นความผิดปกติของค่าแรงดันประสิทธิผล (rms.) ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ความถี่ระบบไฟฟ้า โดยมีช่วงเวลาก่อเกิดความผิดปกติมากกว่า 1 นาที มีสาเหตุการเกิดจาก ผลของการเปลี่ยนแปลงของขนาดโหลดในระบบไฟฟ้าสามารถแบ่งความผิดปกติชนิดนี้ได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ดังนี้

แรงดันเกิน (Over-Voltage)

เป็นความผิดปกติที่มีลักษณะค่าของแรงดันประสิทธิผลมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 110% ของค่าแรงดันปกติที่มีความถี่เท่ากับค่าความถี่ระบบไฟฟ้า โดยช่วงเวลาก่อเกิดความผิดปกติมากกว่า 1 นาที สาเหตุของการเกิดความผิดปกติชนิดนี้ มีสาเหตุจาก ผลของการปลดโหลดที่มีขนาดใหญ่หรือการต่อเข้าของคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบไฟฟ้า

แรงดันตก (Under-Voltage)

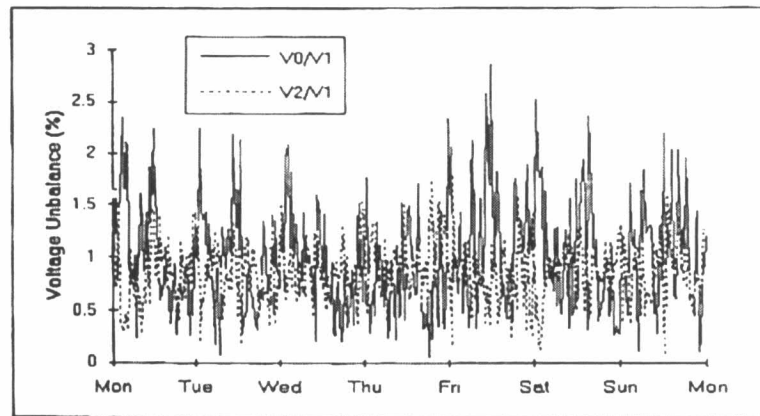
เป็นความผิดปกติที่มีคุณลักษณะที่ตรงข้ามกับ แรงดันเกิน คือ เป็นการลดของค่าแรงดันประสิทธิผลที่มีค่าน้อยกว่า 90% ของค่าแรงดันปกติที่มีความถี่เท่ากับค่าความถี่ระบบไฟฟ้า โดยมีช่วงเวลาก่อเกิดความผิดปกติมากกว่า 1 นาที สาเหตุของการเกิดมีผลมากจาก การต่อเข้าของโหลดที่มีขนาดใหญ่ หรือการปลดออกของคาปาซิเตอร์จากระบบไฟฟ้า

ไฟฟ้าดับเป็นเวลานาน (Sustained Voltage Interruption)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติของแรงดันที่มีขนาดเท่ากับ ศูนย์ ในช่วงเวลามากกว่า 1 นาที สาเหตุของความผิดปกติชนิดนี้ เกิดจากการหยุดจ่ายของอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้า เพื่อทำการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษา

แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าสูงสุดของขนาดแรงดันจากค่าเฉลี่ยของแรงดัน 3 เฟส โดยมากจะใช้ค่าเฉลี่ยของแรงดัน 3 เฟส มาเป็นตัวเทียบนิยามที่จะแสดงผลของความผิดปกติในรูปแบบของ เปอร์เซ็นต์ สาเหตุของการเกิดความผิดปกตินี้เกิดจาก โหลดไม่สมดุลหรืออิมพีแดนซ์ในระบบไฟฟ้าแต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกัน



รูปที่ ก.9 แรงดันไม่สมดุล

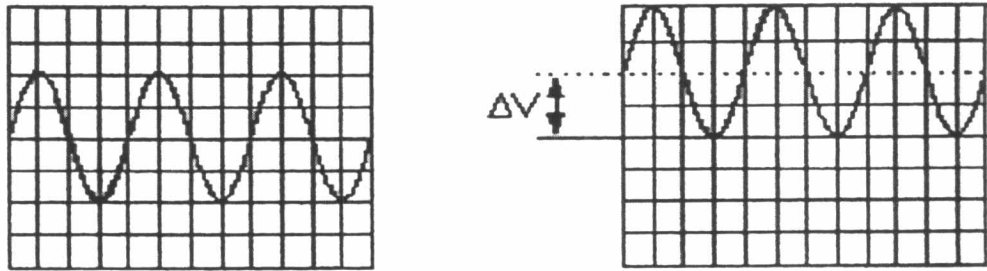
ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น (Wave Distortion)

ความผิดปกติแบบความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นไปจากรูปคลื่นไซน์ในอุดมคติ เราแบ่งความผิดปกติชนิดนี้ ออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

รูปคลื่นมีส่วนประกอบกระแสตรงปนอยู่ (D.C. offset Disturbance)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดจากค่าของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้านิดกระแสตรงที่มีในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ความผิดปกติชนิดนี้มีขึ้นเนื่องจากผลของอุปกรณ์จำพวกวงจรเรียงกระแสที่มีใช้ในระบบไฟฟ้า

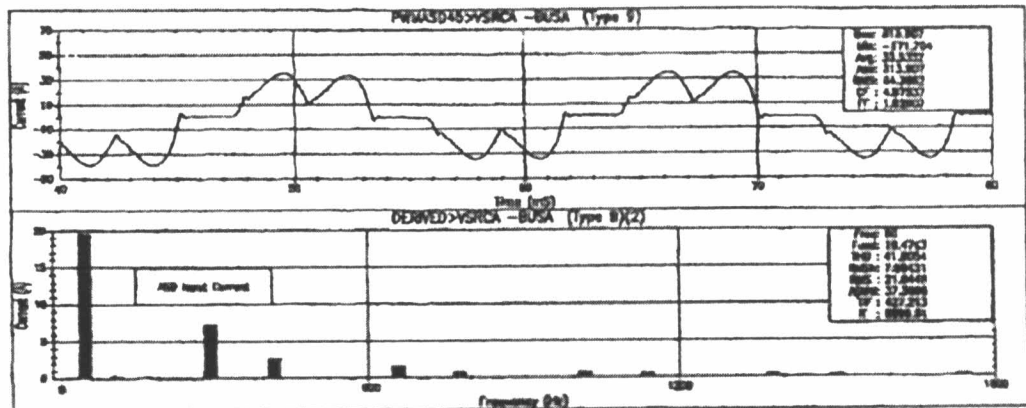
DC Offset



รูปที่ ก.10 ความผิดปกติจากรูปคลื่นมีส่วนประกอบกระแสตรงปนอยู่

ฮาร์มอนิกส์ (Harmonics)

ฮาร์มอนิกส์ เป็นความผิดปกติของ ระบบไฟฟ้าที่มีผลทำให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าหรือรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าซึ่งมีลักษณะของคลื่นไซน์ที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่ระบบไฟฟ้า มีความผิดเพี้ยนเนื่องจาก แรงดันไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้า ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่ระบบไฟฟ้าปนอยู่ ส่วนใหญ่สาเหตุเกิดจากผลของโหลดที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น



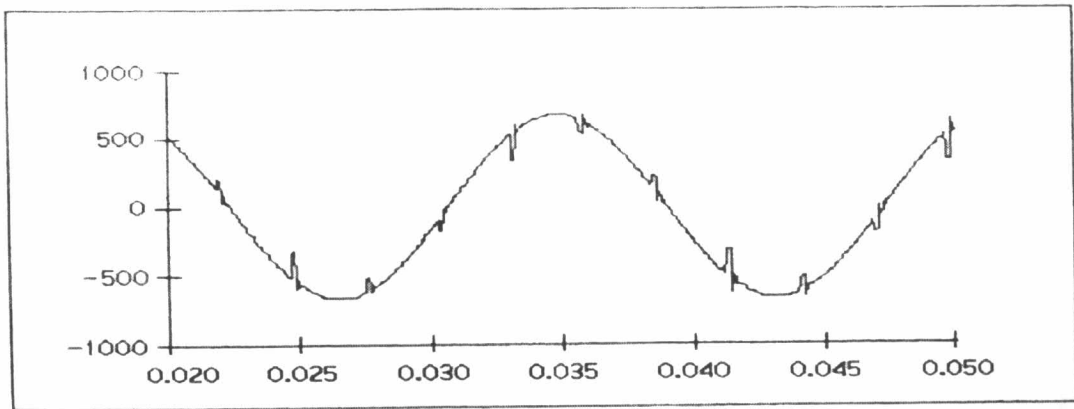
รูปที่ ก.11 ฮาร์มอนิกส์

อินเตอร์ฮาร์มอนิกส์ (Interharmonics)

ความผิดปกติ ชนิดนี้มีลักษณะความผิดปกติคล้ายความผิดปกติแบบฮาร์มอนิกส์ แต่สาเหตุของความผิดเพี้ยนชนิดนี้เกิดจากผลของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า หรือรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า ที่มีแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่ระบบไฟฟ้าปนอยู่ แหล่งกำเนิดความผิดปกติชนิดนี้เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้แปลงความถี่ (Frequency Converter) หรืออุปกรณ์ชนิดอาร์ก (Arcing Device) เป็นต้น

รูปคลื่นมีรอยบาก (Notching)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับรูปคลื่นแรงดันที่มีรอยบากที่มีลักษณะการเกิดเป็นคาบเวลา มีสาเหตุการเกิดมาจากโหลดจำพวกอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



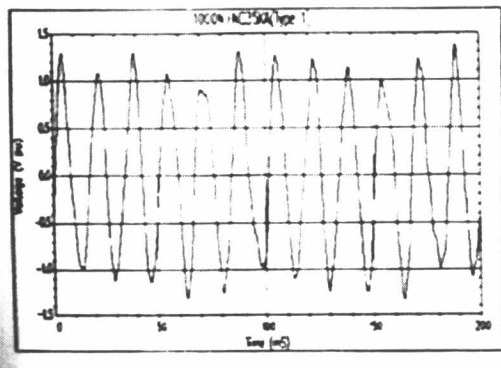
รูปที่ ก.12 รูปคลื่นมีรอยบาก

สัญญาณรบกวน (Noise)

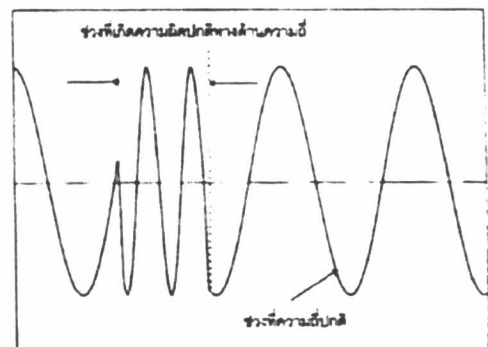
สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าเกิดจากอุปกรณ์จำพวกอิเล็กทรอนิกส์กำลัง อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ความผิดปกติชนิดนี้จะมีผลต่อ อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า เนื่องจากทำให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์ได้รับมีค่าผิดไปจากค่าจริงทำให้อุปกรณ์เหล่านี้ทำงานผิดพลาดได้ โดยเฉพาะอุปกรณ์จำพวกดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์

แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแรงดันโดยแรงดันมีการกระเพื่อมขึ้นลงอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1.1 pu. ความผิดปกติชนิดนี้มีสาเหตุหลักมาจากโหลดจำพวกเตาหลอมไฟฟ้า (arc furnace)



รูปที่ ก.13 แรงดันกระเพื่อม

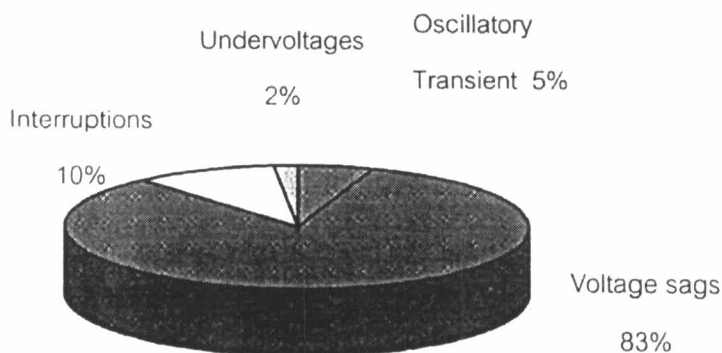


รูปที่ ก.14 ความถี่ระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง

ความผิดปกติแบบความถี่ระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง (Power Frequency Variation)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติของความถี่ระบบไฟฟ้าที่มีค่าผิดไปจากความถี่ระบบไฟฟ้า สาเหตุใหญ่เกิดจาก สายส่งไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Bulk Power Transmission line) เกิดความผิดปกติพร้อมขึ้น หรือการสูญเสียระบบกำลังผลิตของอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าไปจากระบบไฟฟ้า ความผิดปกติเหล่านี้จะมีผลต่อโหลดโดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้จุดตัดศูนย์ (zero crossing) เป็นตัวช่วยในการทำงานเช่น อุปกรณ์เครื่องมือวัด อุปกรณ์ควบคุม หรืออุปกรณ์ป้องกัน

ในบรรดาความผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้านั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจากมีผลต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้งาน จากการสำรวจในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง เราจะพบจำนวนความผิดปกติที่แยกตามจำนวนการเกิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้



รูปที่ ก.15 สัดส่วนความผิดปกติต่างๆ

จากแผนภาพแสดงให้เห็นว่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 80 เป็นความผิดปกติ ชนิดแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag (in USA) or Voltage Dip (in Europe)) ดังนั้นการทำการศึกษาลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะจึงดูเหมือนว่า จะเป็นประโยชน์ ในการวางแผนป้องกันผลกระทบที่อาจมีต่อโหลดได้ในที่สุด

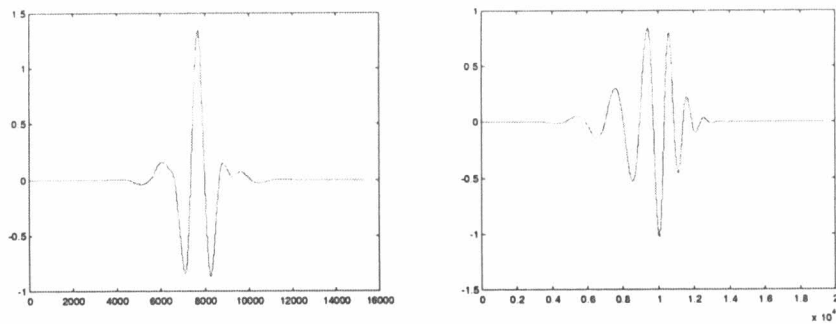
ภาคผนวก ข

เทคนิคการแปลงเวฟเลท

การแปลงเวฟเลท

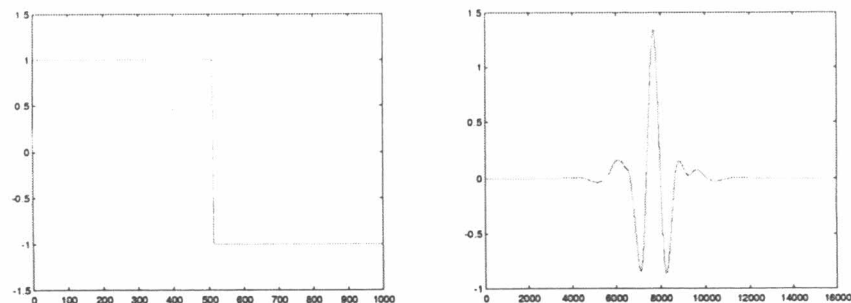
เมื่อใช้การแปลงฟูเรียร์ในการวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะบางช่วงเวลาและความถี่เท่า นั้นจะเสียเวลาในการคำนวณมากเพราะต้องคำนวณใหม่ตลอดย่าน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการแปลงที่สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้เฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่สนใจเท่า นั้นการแปลงที่พัฒนาขึ้นนี้เรียกว่า การแปลงเวฟเลท

การแปลงเวฟเลทจะใช้อธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยกลุ่มของสัญญาณเฉพาะมารวมกันเป็นสัญญาณหรือระบบนั้นๆโดยสัญญาณเฉพาะนี้จะเป็นคลื่นเล็กๆที่เรียกว่า เวฟเลทจะเห็นได้จากรูปที่ ข.1



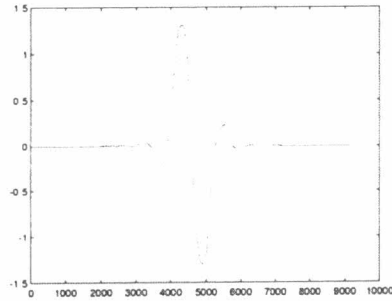
รูปที่ ข.1 ฟังก์ชันฐานหลักเวฟเลทแต่ละชนิด

โดยเวฟเลทจะมีหลายชนิดจะได้จากรูปที่ ข.2

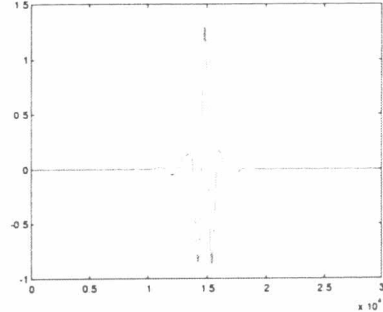


(ก)

(ข)



(ค)



(ง)

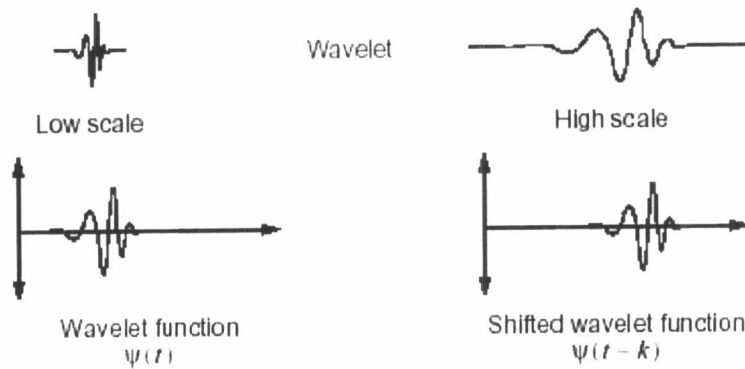
รูปที่ ข.2 ฟังก์ชันเวฟเลทแบบ Haar , Coiflet, Daubechies และ Symlets โดยจะแสดง

ดังรูปที่ ข.2.ก ,รูปที่ ข.2.ข , รูปที่ ข.2.ค และ รูปที่ ข.2.ง ตามลำดับ

รูปคลื่นเวฟเลทแต่ละตัวจะมีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกันซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นเวฟเลทต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเลทแม่ คลื่นเวฟเลทแต่ละอันจะอยู่ในเซตของเวฟเลทนี้โดยแต่ละคลื่นจะเกิดจากการสเกล a และการเลื่อนตำแหน่ง b ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\psi_{b,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left[\frac{t - b}{a} \right] \tag{1}$$

โดยค่า a และ b จะแสดงรูปแบบของฟังก์ชันเวฟเลทดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 คุณสมบัติการเลื่อนตำแหน่งและการขยายและลดสเกลของฟังก์ชันเวฟเลท

การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis : MRA)

สมมติให้ V^j เป็นปริภูมิเวกเตอร์ที่มี j แสดงถึงความละเอียดและจำนวนของฟังก์ชันฐานหลัก ที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชัน ก็หมายความว่าถ้า j มากแล้วความละเอียดของสัญญาณที่เกิดจากการประกอบกันของฟังก์ชันฐานหลักจะมากขึ้นด้วย จากข้อกำหนดเหล่านี้สามารถสรุปเป็นลักษณะสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่างๆได้ดังนี้

- $V^{-\infty} \dots \subset V^{-1} \subset V^0 \subset V^1 \dots \subset V^{\infty}$
- $Closer_{L^2}(\cup_{j \in I} V^j) = L^2(R)$

- $\bigcap_{j \in I} V^j = \{0\}$
- $V^j + W^j = V^{j+1}$
- $f(x) \in V^j \Leftrightarrow f(2x) \in V^{j+1}$

จากการที่ฟังก์ชันฐานหลักประกอบกันเป็นสัญญาณการประมาณที่ระดับความละเอียด j ภายในปริภูมิ V^j เราจะเรียกฟังก์ชันฐานหลักเหล่านี้ว่า ฟังก์ชันสเกลลิง โดยฟังก์ชันสเกลลิงจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างปริภูมิดังนี้

$$f(x) \in V^j \Leftrightarrow f(2x) \in V^{j+1} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) เราสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันสเกลลิงภายในปริภูมิ ได้ดังนี้

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \phi(2^j t - k) \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) ซึ่งเป็นฟังก์ชันฐานหลักของปริภูมิเวกเตอร์ V^j ดังนั้นจะสามารถประมาณสัญญาณ $f(t)$ ที่เกิดจากการประกอบกันของฟังก์ชันฐานหลัก $\phi(t)$ ในปริภูมิเวกเตอร์ V^j ได้คือ

$$f_j(t) = \sum_k c_k^j \phi_{j,k}(t) \quad (4)$$

เมื่อ c_k^j คือสัมประสิทธิ์ของการฉายของ $f(t)$ สู่ฟังก์ชันฐานหลัก $\phi(t)$ ในปริภูมิ V^j

จากคุณสมบัติ $V^j + W^j = V^{j+1}$ ของ MRA การวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่ำลงจะทำให้พลังงานบางส่วนหายไปไปอีกปริภูมิหนึ่งซึ่งก็คือปริภูมิ W^j โดยปริภูมินี้จะมีฟังก์ชันฐานหลักคือ $\psi(t)$ โดยเราจะเรียกว่า ฟังก์ชันเวฟเลต สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (5)$$

ถ้ากำหนดให้ $g_j(t)$ เป็นสัญญาณที่เกิดจากฟังก์ชันฐานหลัก $\psi(t)$ ดังนั้นจะเหมือนกับสมการที่ (4)

$$g_j(t) = \sum_k d_k^j \psi_{j,k}(t) \quad (6)$$

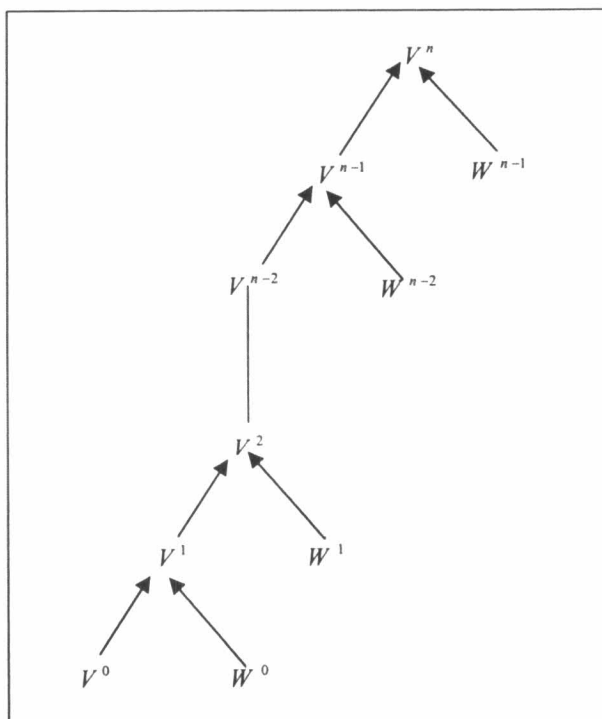
โดยที่ d_k^j คือสัมประสิทธิ์ของการฉาย $f(t)$ สู่ฟังก์ชันฐานหลัก $\psi(t)$ ในปริภูมิ W^j ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ $V^j + W^j = V^{j+1}$ เราจะได้ว่า

$$f_{j+1} = f_j + g_j \quad (7)$$

สมมติให้ $f(t) \in V^{j+1}$ จะสามารถกระจาย $f(t)$ ให้มีความละเอียดน้อยลงได้จากสมการ $V^j + W^j = V^{j+1}$

$$V^{n+1} = V^0 + W^0 + W^1 + W^2 + W^3 + \dots + W^n \quad (8)$$

สามารถสร้างแผนผังการกระจายได้ดังนี้



รูปที่ ข.4 แผนผังการกระจายสัญญาณแบบหลายระดับความละเอียดแสดงในรูปปริภูมิเวกเตอร์

ในทำนองเดียวกันเราสามารถแจกแจงสัญญาณ $f(t)$ ได้คือ

$$f(t) = f_j + g_j + g_{j+1} + g_{j+2} + \dots + g_\infty \quad (9)$$

และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบกระชับคือ

$$f(t) = \sum_k c_j(k) \phi_{j,k}(t) + \sum_{i=j}^{\infty} \sum_k d_i(k) \psi_{i,k}(t) \quad (10)$$

ภาคผนวก ค

การตรวจจับและหาตำแหน่งของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

การตรวจจับและหาตำแหน่งของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

การแปลงเวฟเลทสามารถใช้ประโยชน์กับปัญหาคุณภาพไฟฟ้าได้ เนื่องจากผล การแปลงเวฟเลทจะมีความไวกับสัญญาณเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด เช่น การเกิดความถี่การแกว่ง บนรูปคลื่นแรงดันเนื่องจากการสับสวิตซ์ตัวเก็บประจุกำลังหรือการเกิดแรงดันตกชั่วขณะใน ตำแหน่งเริ่มเกิดกับตำแหน่งที่หยุดเกิด แต่การแปลงเวฟจะไม่มีความไวต่อรูปคลื่นที่คงที่ตลอด (Daubechies wavelet) ดังนั้นเราจึงใช้ข้อดีดังกล่าวนี้ในการตรวจจับและหาตำแหน่งของปัญหา คุณภาพไฟฟ้าตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเราจะใช้เทคนิคที่เรียกว่า การกระจายสัญญาณหลาย ระดับความละเอียด (Multiresolution Signal Decomposition Analysis) โดยจะใช้ เวฟเลทคือ Daubechies wavelet ซึ่งมีรูปร่างพื้นฐานมาจากรูปคลื่นไซน์ โดยกำหนดให้ $C_0(n)$ เป็นสัญญาณ ที่บันทึกได้จากการตรวจวัดโดยเป็นสัญญาณแบบเต็มหน่วย (discrete-time) เช่น $n=1024,2048$ เป็นต้น และกำหนดให้ผลการกระจายสัญญาณใน scale 1 (level 1) เป็น $C_1(n)$ และ $D_1(n)$ โดยที่ $C_1(n)$ เป็นส่วนหยาบของสัญญาณ $C_0(n)$ และ $D_1(n)$ เป็นส่วนละเอียดของ $C_0(n)$ ซึ่ง เราจะหาผลการกระจายสัญญาณได้ดังนี้

$$C_1(n) = \sum_k h(k - 2n).C_0(k) \quad (1)$$

$$D_1(n) = \sum_k g(k - 2n).C_0(k) \quad (2)$$

โดยที่ $h(n)$ และ $g(n)$ เป็นสัมประสิทธิ์ตัวกรองเวฟเลท และในทำนองเดียวกัน ถ้าต้องการหา การกระจายสัญญาณใน scale 2 (level 2) จะได้ว่า

$$C_2(n) = \sum_k h(k - 2n).C_1(k) \quad (3)$$

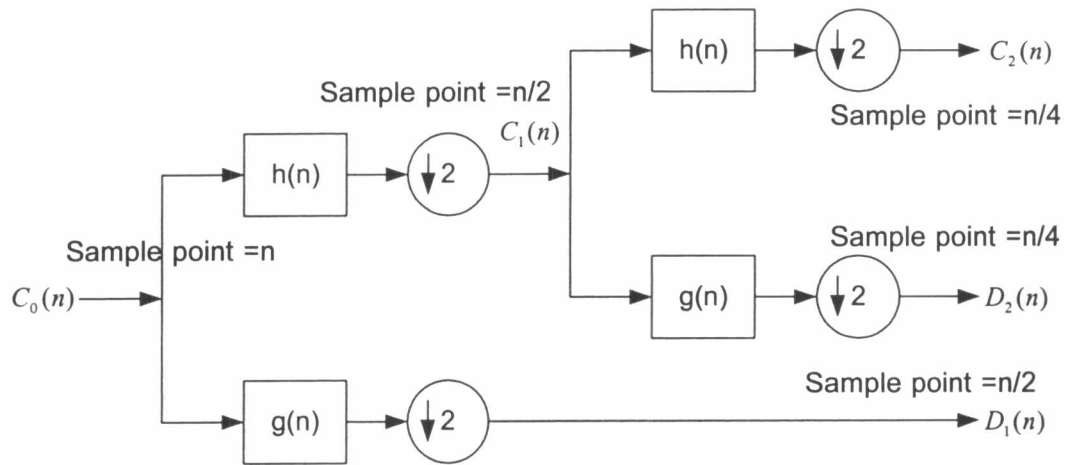
$$D_2(n) = \sum_k g(k - 2n).C_1(k) \quad (4)$$

ซึ่งเราจะสามารถเขียนเป็นแผนภาพตามรูปที่ 1 และ สัมประสิทธิ์ตัวกรองเวฟเลทที่ใช้ในการ คำนวณจะได้ในตาราง 1 และ $g(n)$ มีความสัมพันธ์กับ $h(n)$ คือ

$$g(n) = (-1)^{n+1}.h(L - 1 - n) \quad (5)$$

ตาราง ค.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองเวฟเลท (Daubechies wavelet)

L	n	h(n)
2	1	0.7071067811865480
	2	0.7071067811865480
4	1	0.4829629131446900
	2	0.8365163037374690
	3	0.2241438680418570
	4	-0.1294095225509210
6	1	0.3326705529509570
	2	0.8068915093133390
	3	0.4598775021193310
	4	-0.1350110200103910
	5	-0.0854412738822415
	6	0.0352262918821007
8	1	0.2303778133088550
	2	0.7148465705525420
	3	0.6308807679295900
	4	-0.0279837694169838
	5	-0.1870348117188810
	6	0.0308413818359870
	7	0.0328830116669829
	8	-0.0105974017849973
10	1	0.1601023979741250
	2	0.6038292697974730
	3	0.7243085284385740
	4	0.1384281459011030
	5	-0.2422948870661900
	6	-0.0322448695850295
	7	0.0775714938400651
	8	-0.0062414902130117
	9	-0.0125807519990155
	10	0.0033357252850016

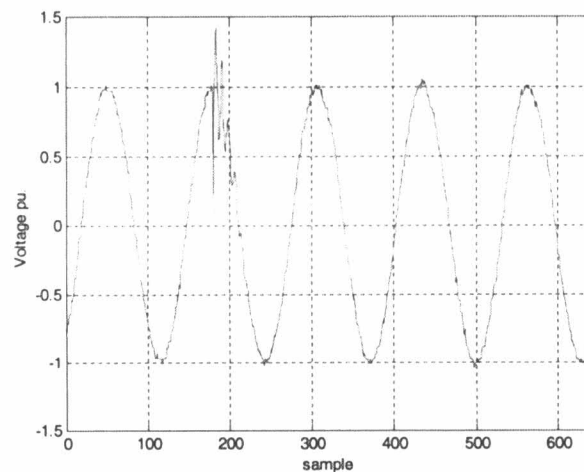


รูปที่ ค.1 การกระจายสัญญาณ 2 Scale (2 levels)

ตัวอย่างการกระจายสัญญาณคุณภาพไฟฟ้า

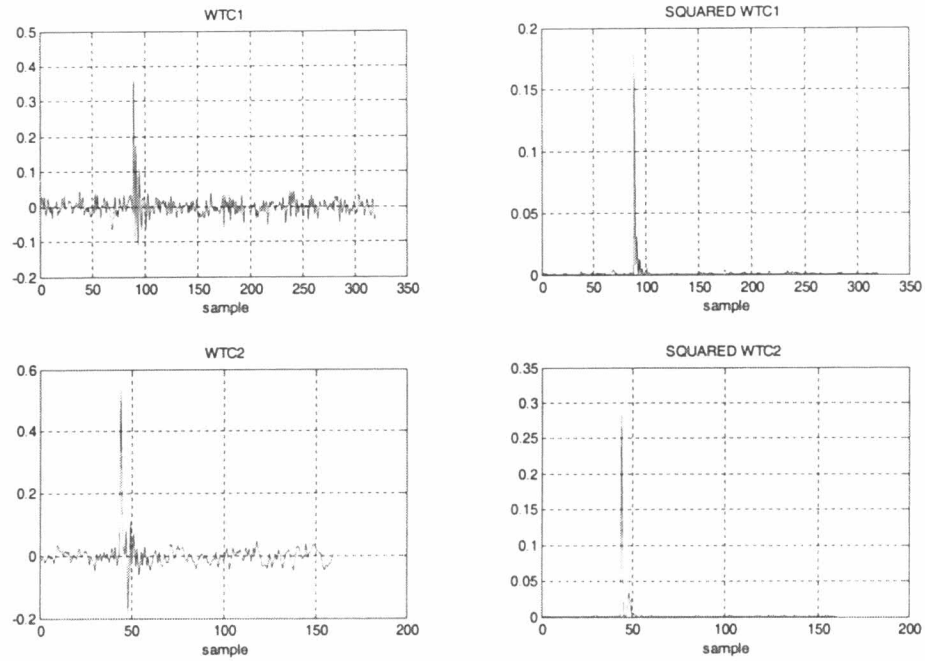
รูปคลื่นแรงดันการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลัง

ตัวอย่างนี้จะเลือกรูปคลื่นแรงดันที่ได้จากการเก็บผลจริง ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.ค โดยทำเป็นค่าต่อหน่วยเรียบร้อยแล้ว

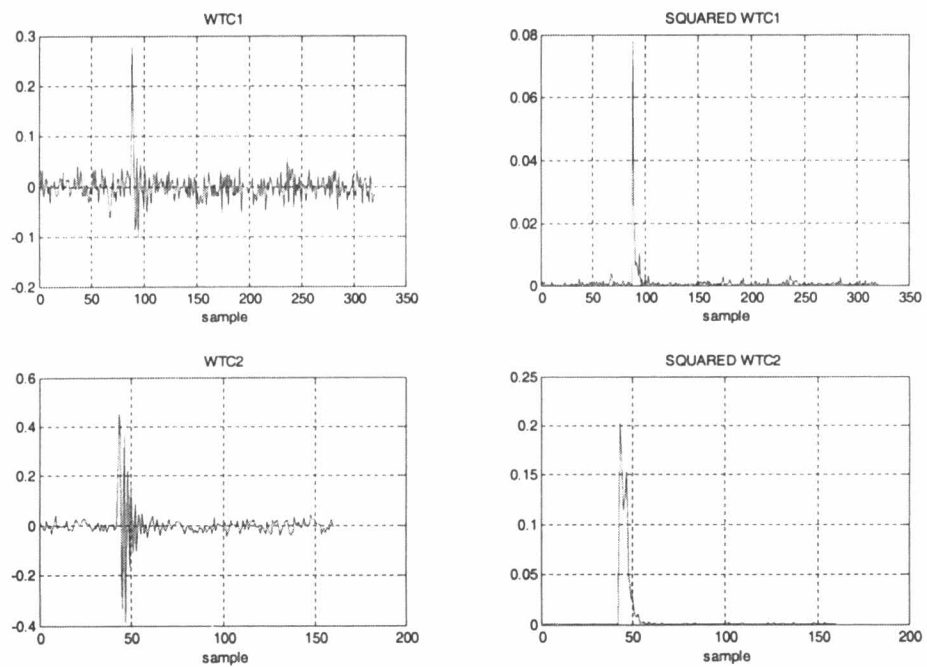


รูปที่ ค.2 รูปคลื่นการทดลองการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังจริง

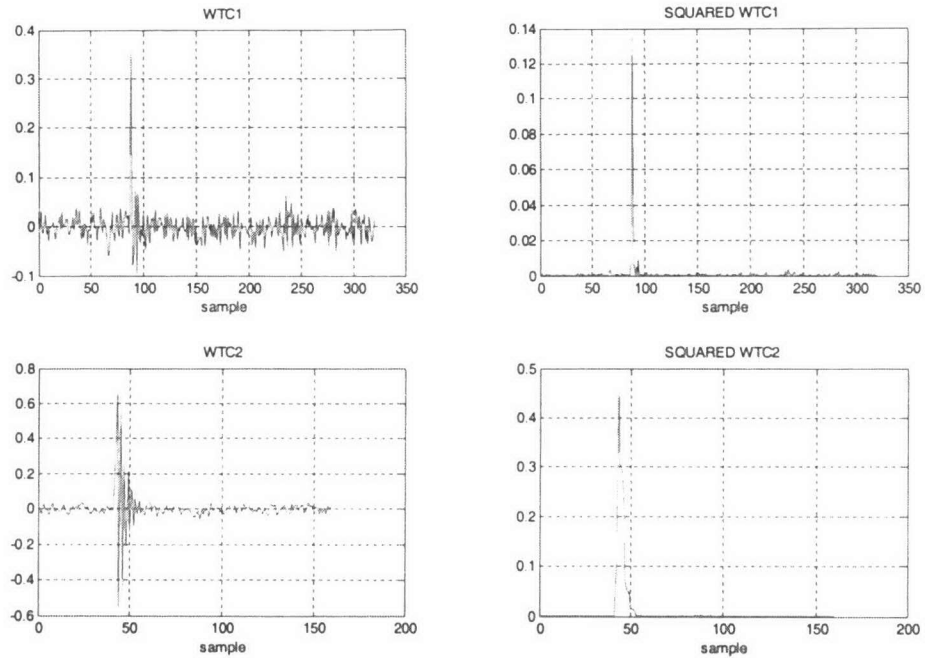
จะได้ผลการหาการกระจายรูปคลื่นในส่วนละเอียด scale 1 และ 2 (level 1 และ 2) โดยเริ่มจากการใช้ 4,6,8 และ 10 สัมประสิทธิ์ตัวกรองตามลำดับดังนี้



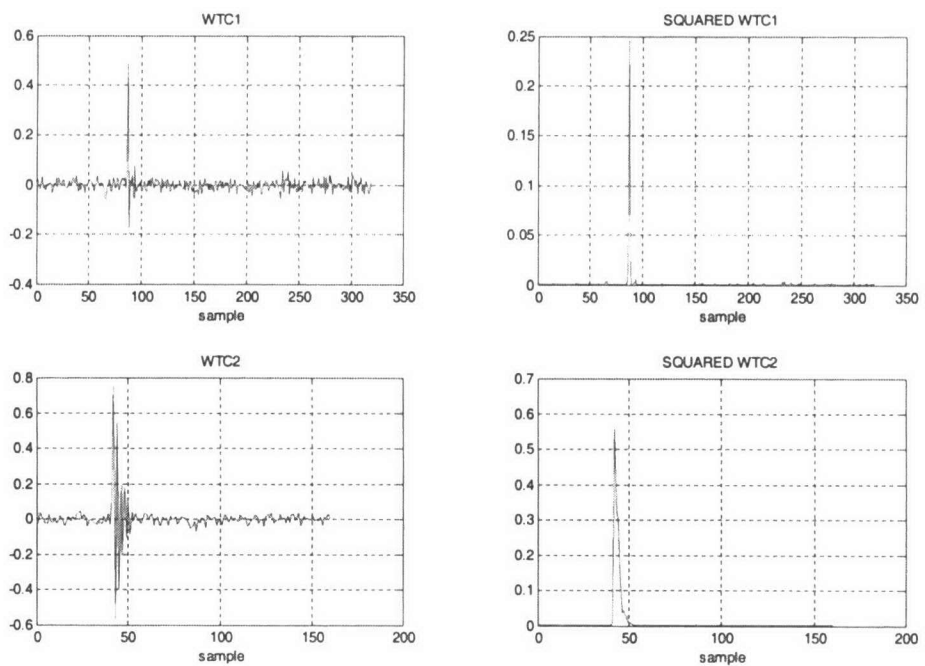
รูปที่ ค.3 การกระจายรูปคลื่น 2 ระดับ การใช้ Daubechies wavelet 4 สัมประสิทธิ์ตัวกรอง



รูปที่ ค.4 การกระจายรูปคลื่น 2 ระดับ การใช้ Daubechies wavelet 6 สัมประสิทธิ์ตัวกรอง



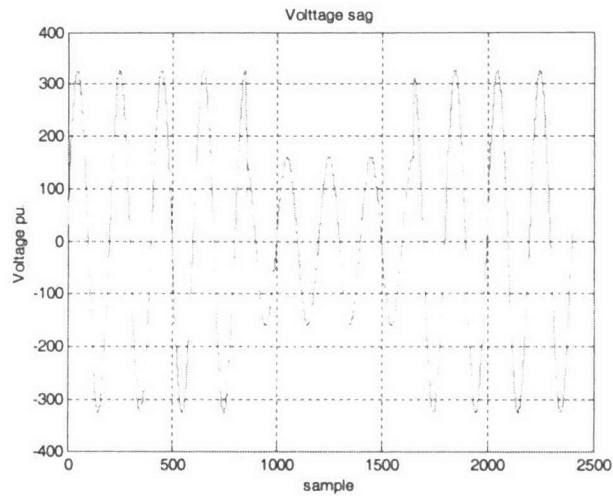
รูปที่ ค.5 การกระจายรูปคลื่น 2 ระดับ การใช้ Daubechies wavelet 8 สัมประสิทธิ์ตัวกรอง



รูปที่ ค.6 การกระจายรูปคลื่น 2 ระดับ การใช้ Daubechies wavelet 10 สัมประสิทธิ์ตัวกรอง
จากรูปที่ ค.3 – ค.6 เราสามารถพิจารณาเลือกใช้สำหรับการคำนวณหาระยะเวลาการเกิดทราน
เซียนต์ได้ตามความเหมาะสม

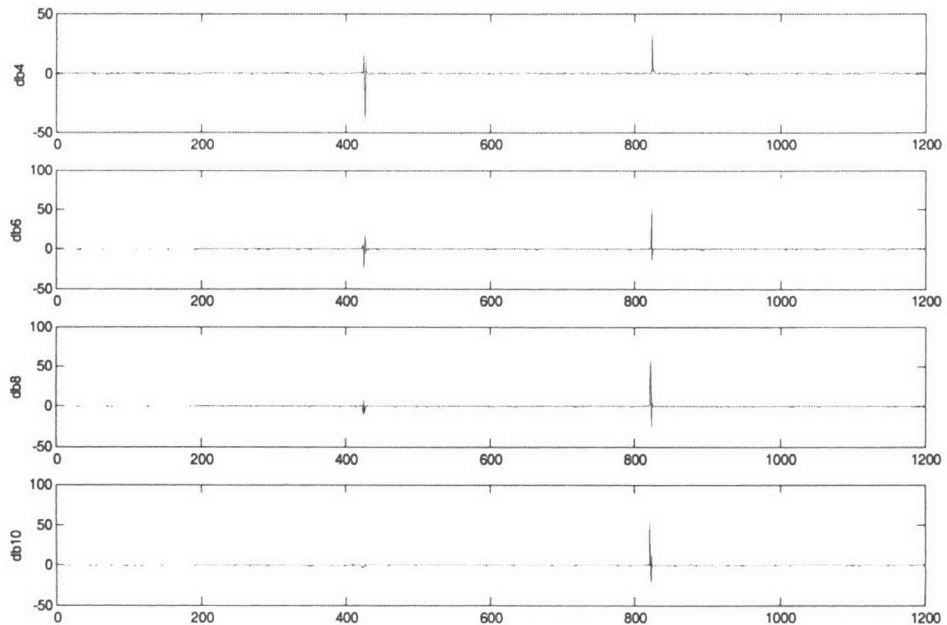
รูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะ

จะแสดงจากตัวอย่างรูปคลื่นที่ได้จากเครื่องกำเนิดแรงดันตกชั่วขณะที่มุมเริ่มเกิด 90 องศา ระยะเวลาที่เกิดหรือช่วงเวลาที่เกิด 4 cycle และขนาดที่ตกลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ ค.7 รูปคลื่นที่ได้จากเครื่องกำเนิดแรงดันตกชั่วขณะ

จะได้ผลการกระจายรูปคลื่นในส่วนละเอียดแต่ละสัมประสิทธิ์ตัวกรอง(4,8,6 และ 10) ที่ระดับ 1



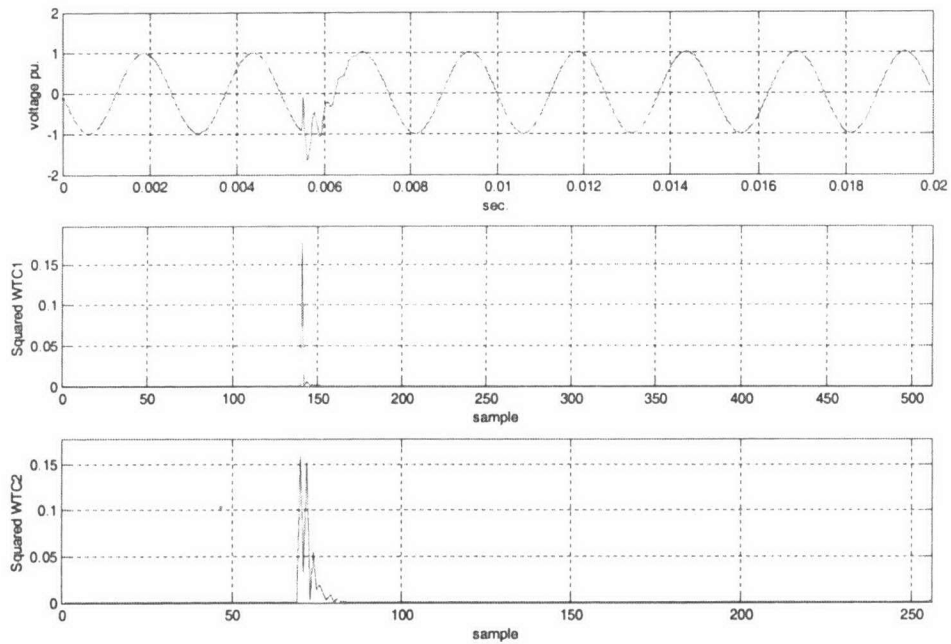
รูปที่ ค.8 ผลการกระจายรูปคลื่นในส่วนละเอียดแต่ละสัมประสิทธิ์ตัวกรองที่ระดับ 1

จากรูปที่ ค.8 เราสามารถเลือกผลการกระจายรูปคลื่นในส่วนละเอียด เพื่อหาระยะเวลาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะได้ ตามความเหมาะสม

ภาคผนวก ง

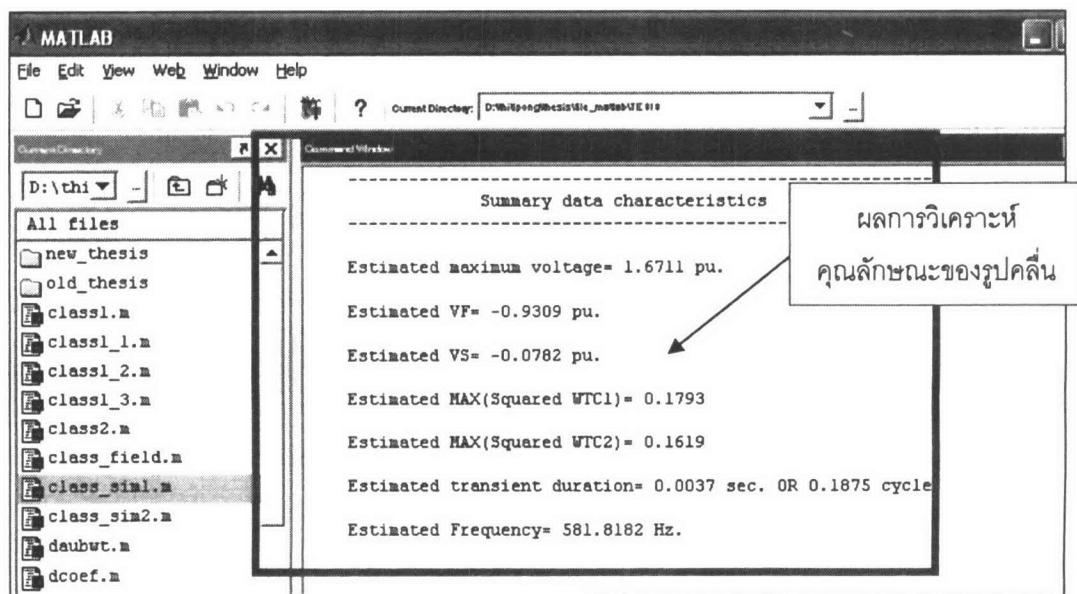
ตัวอย่างการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลัง

ตัวอย่างการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังจากรูปคลื่นจำลอง

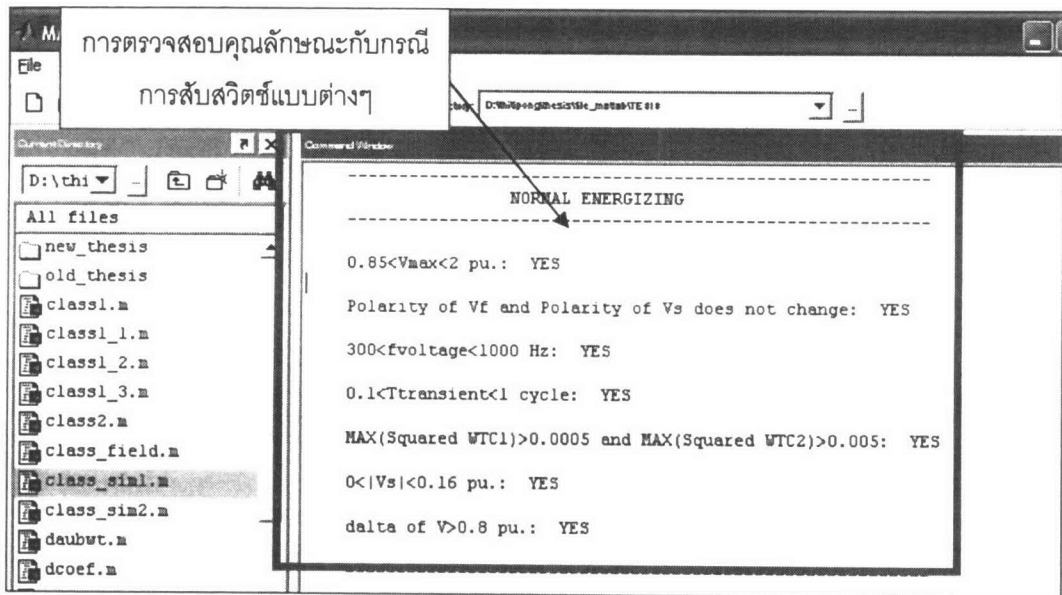


รูปที่ ง.1 รูปคลื่นจำลองกรณี Normal energizing

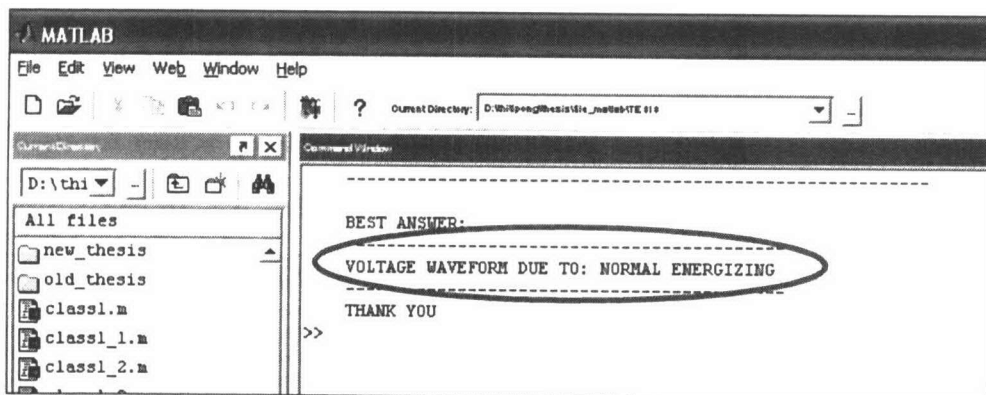
การรายงานผลการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์



รูปที่ ง.2 การรายงานผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของรูปคลื่น

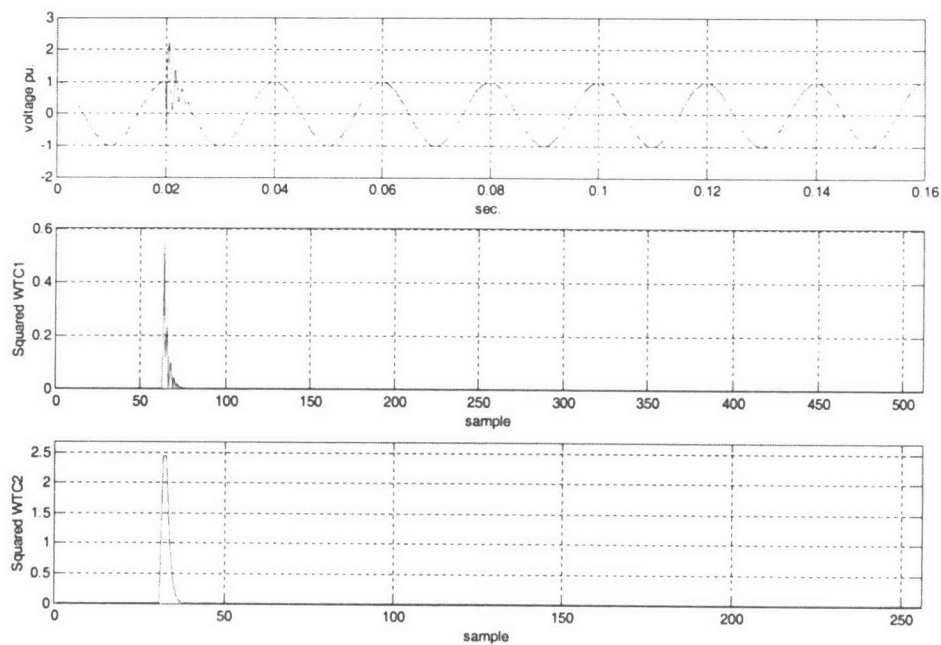


รูปที่ ๓.3 การตรวจสอบคุณลักษณะกับกรณีการสับสวิตช์แบบต่างๆ

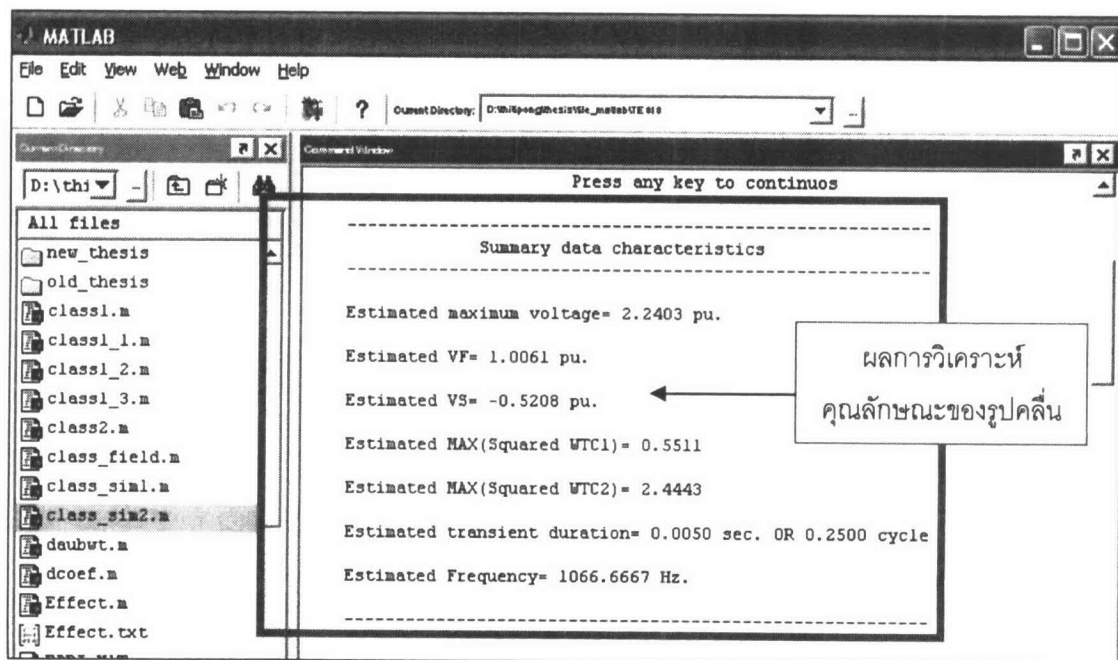


รูปที่ ๓.4 การสรุปผลการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกรณียืนยันผลสรุปแน่นอน

จากตัวอย่างนี้ได้แสดงการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังจำลอง ซึ่งเป็นกรณีที่สามารถหาผลสรุปการสันนิษฐานได้ และในตัวอย่างถัดไปจะแสดงการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังจำลองที่ใช้การประมาณผลสรุป

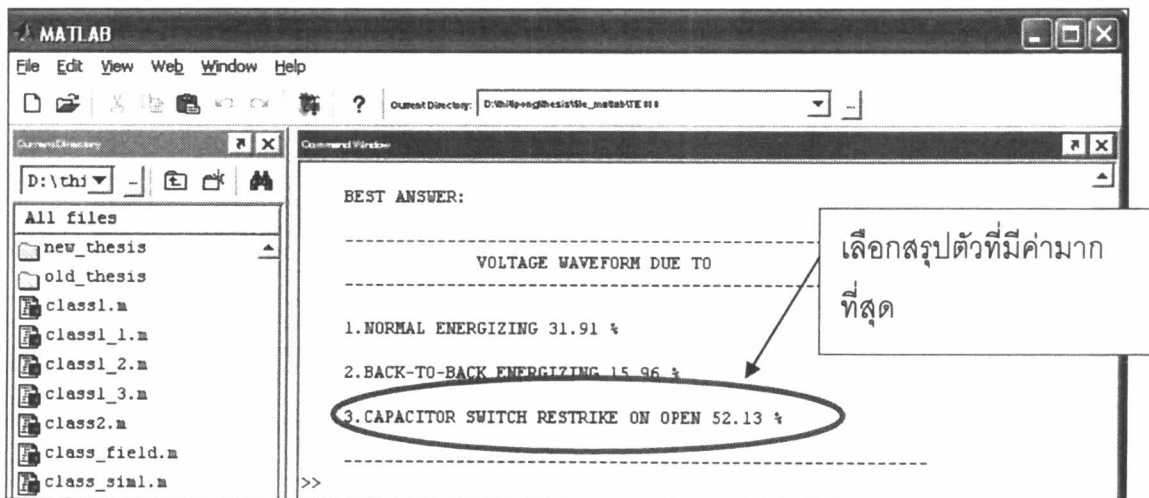


รูปที่ ๓.5 รูปคลื่นจำลองกรณี Capacitor Switch Restrike On Open



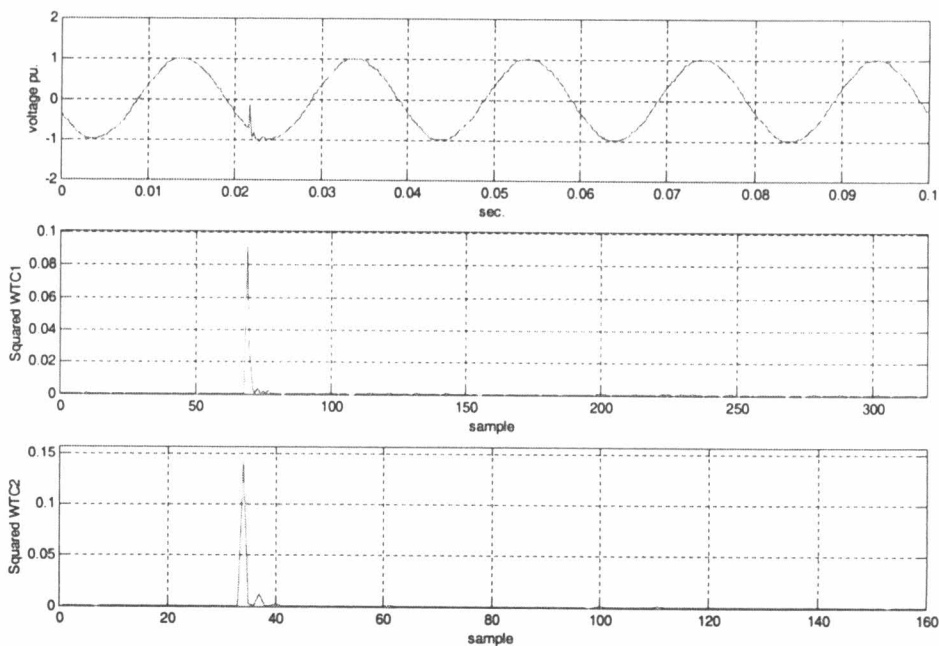
รูปที่ ๓.6 การรายงานผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของรูปคลื่น

การรายงานผลการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์



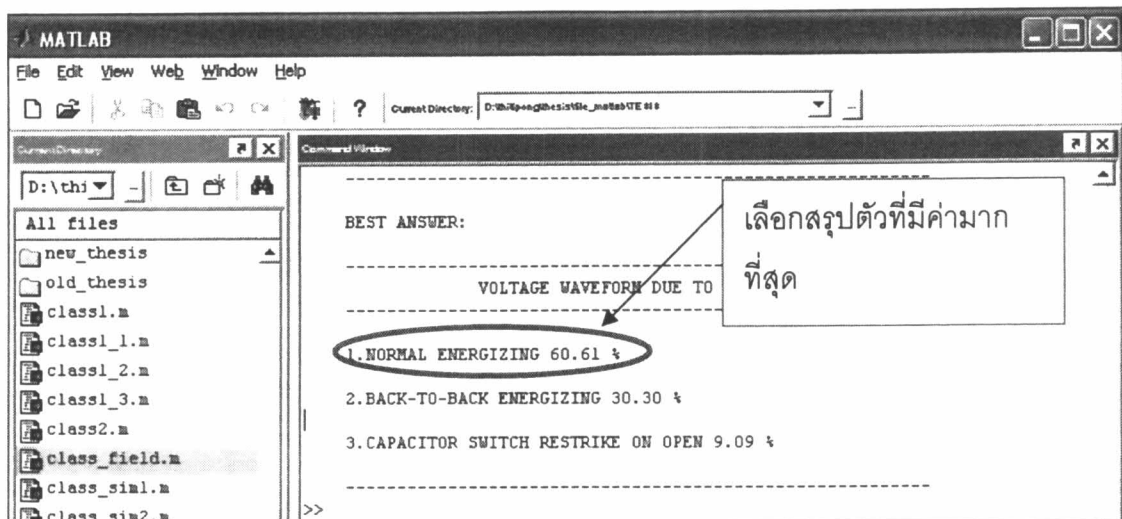
รูปที่ ง.7 ผลการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกรณีใช้การประมาณในการตัดสินใจ

ตัวอย่างต่อไปจะแสดงวิธีการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกับผลการทดลองจริง



รูปที่ ง.8 รูปคลื่นจริงจากการทดลองกรณี Normal energizing

ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ ง.9



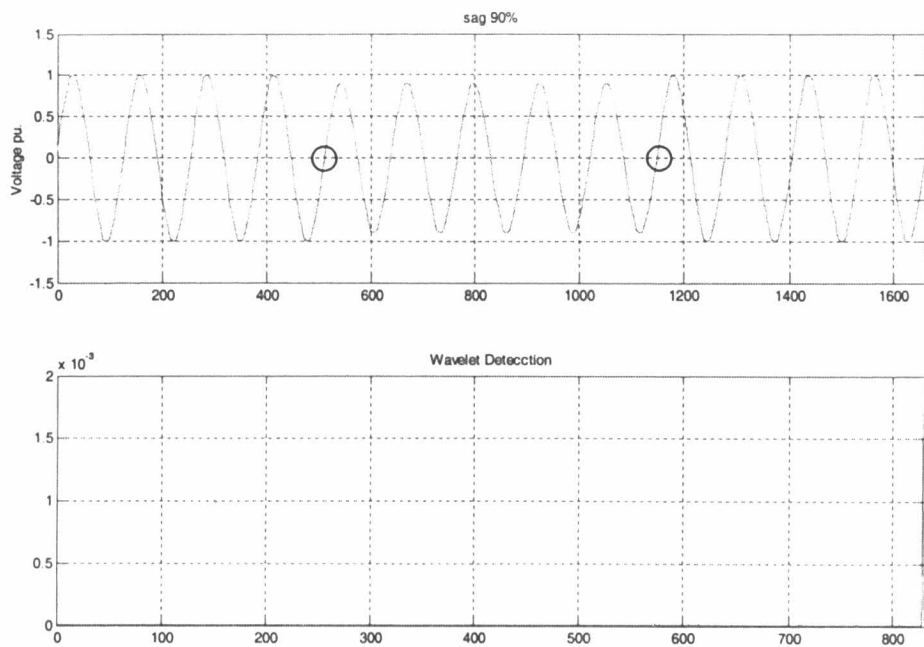
รูปที่ ง.9 ผลการสันนิษฐานรูปแบบการสับสวิตช์ตัวเก็บประจุกำลังจากการทดลองจริง

ภาคผนวก จ

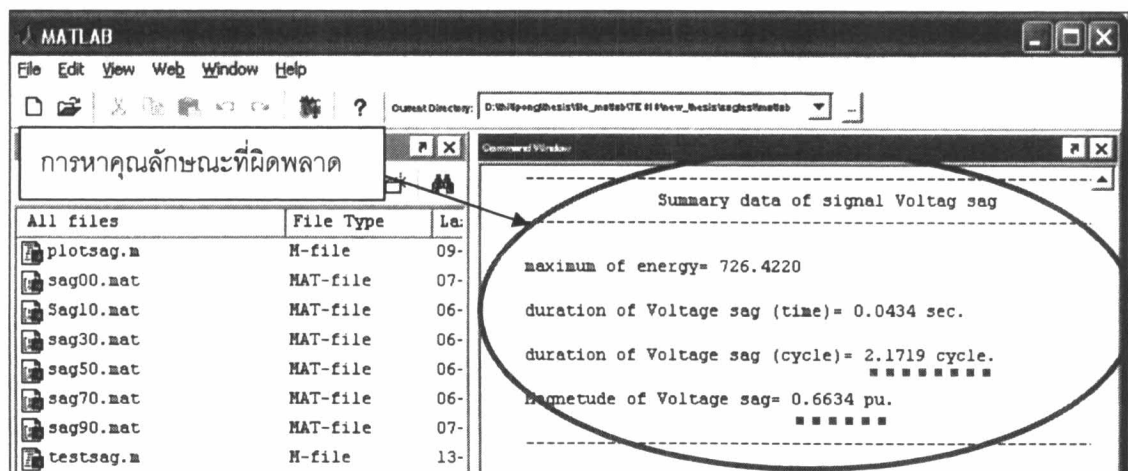
ตัวอย่างการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ

ตัวอย่างการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ

ตัวอย่างการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะที่ผิดปกติ

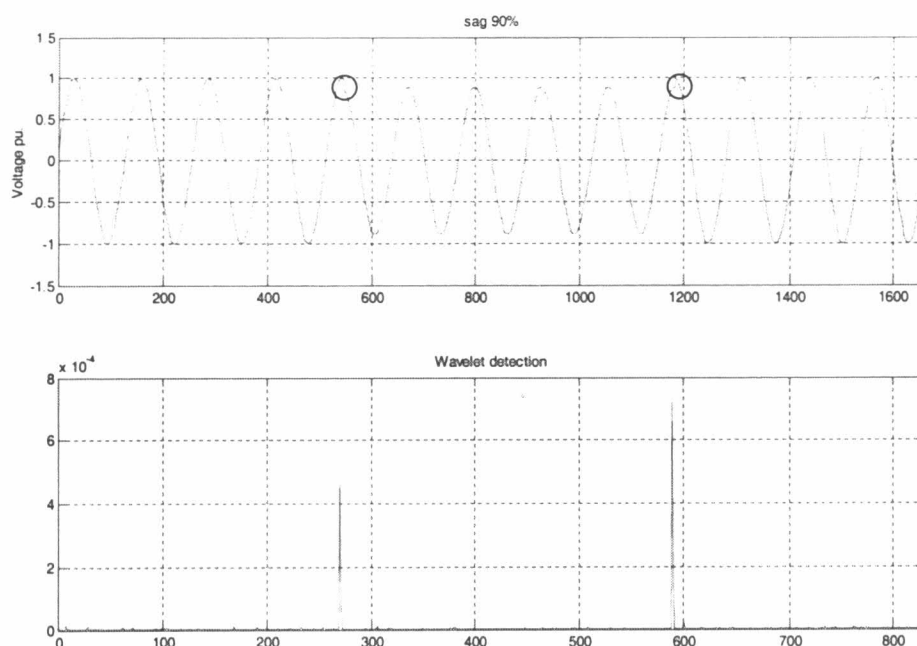


รูปที่ จ.1 การหาช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกที่ผิดปกติโดยแสดงที่ขนาด 90 % 5 cycle 0 องศา จะทำให้ผลการหาขนาดผิดปกติด้วยดังรูปที่ จ.2

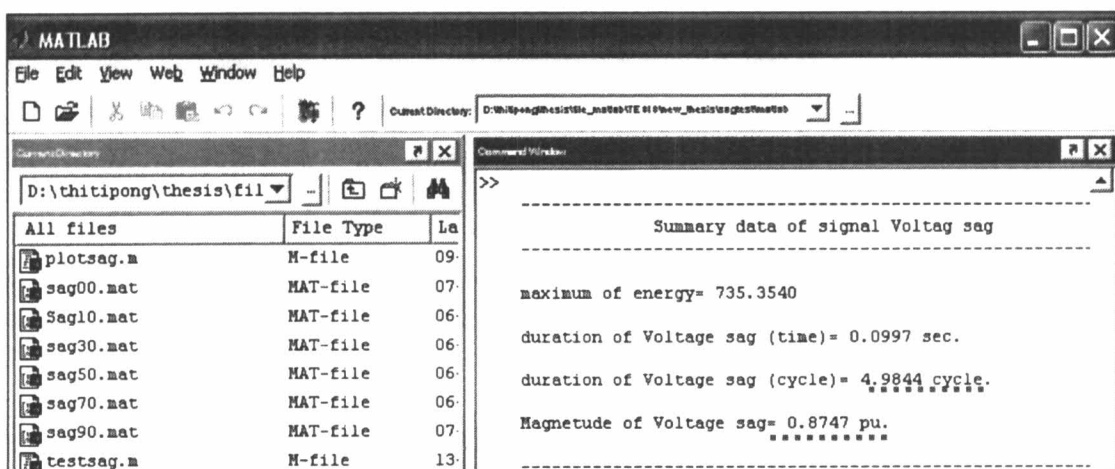


รูปที่ จ.2 แสดงการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะผิดปกติ

ตัวอย่างการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะที่ไม่ผิดปกติ



รูปที่ ๑.3 การหาช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกที่ไม่ผิดปกติโดยแสดงที่ขนาด 90 % 5 cycle 90 องศา และผลการหาขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ

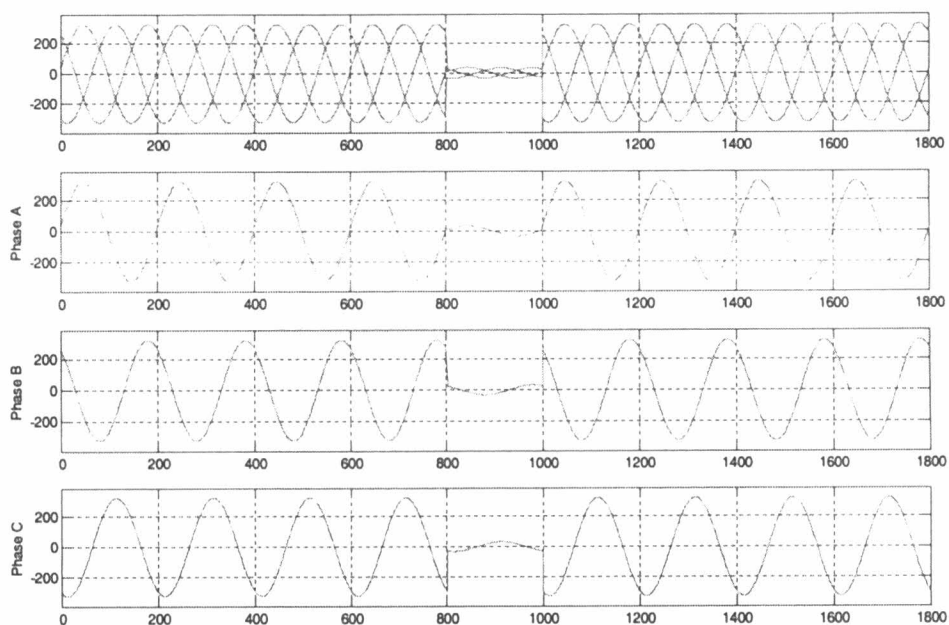


รูปที่ ๑.4 แสดงการหาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะที่ไม่ผิดปกติ

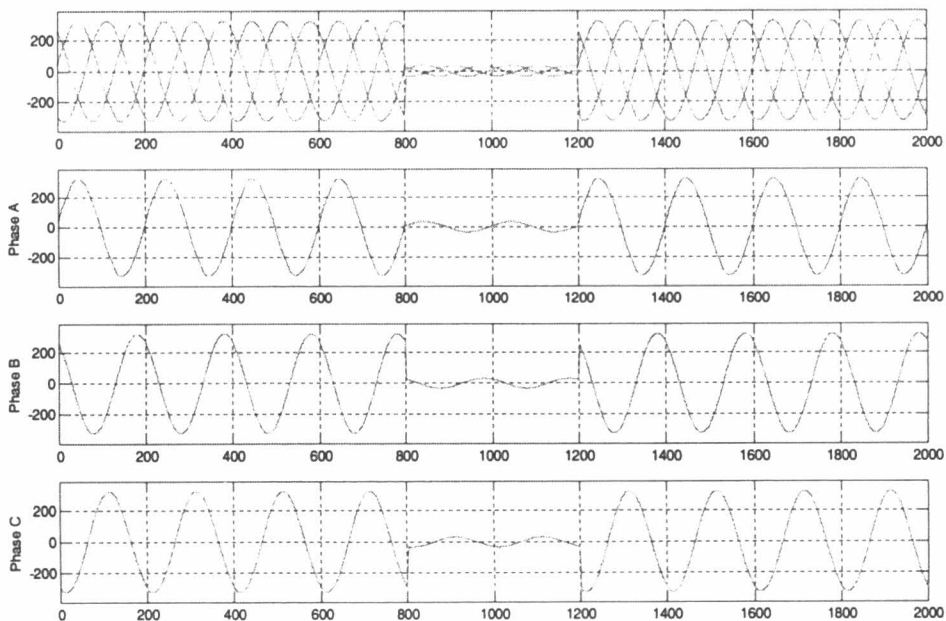
ภาคผนวก จ

รูปคลื่นแรงดันตกชั่วขณะ 3 เฟสที่มุมบนคลื่นเฟส A เป็น 0 องศา

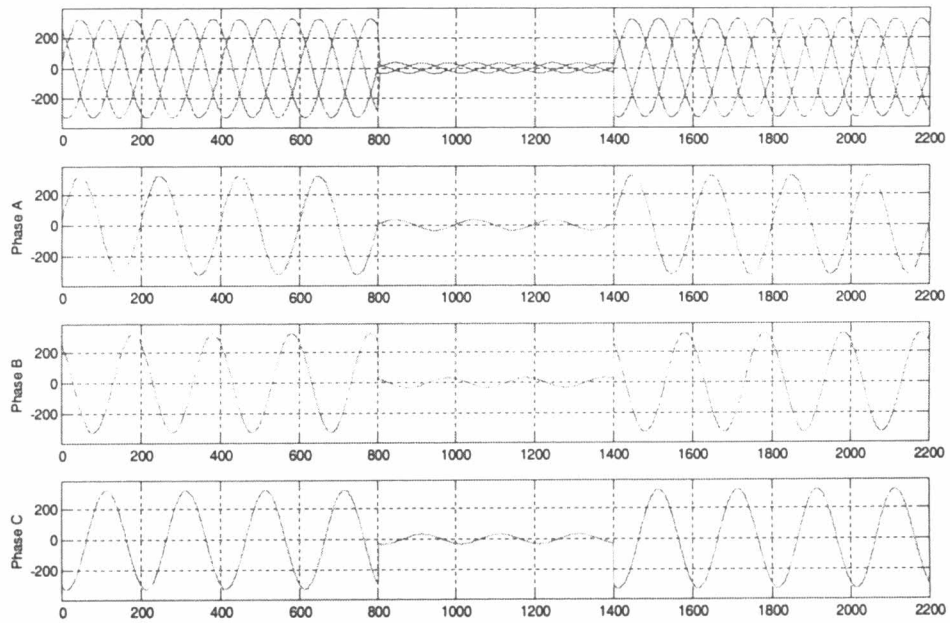
ที่ขนาดแรงดันตกเหลือ 10% ของแรงดันปกติ



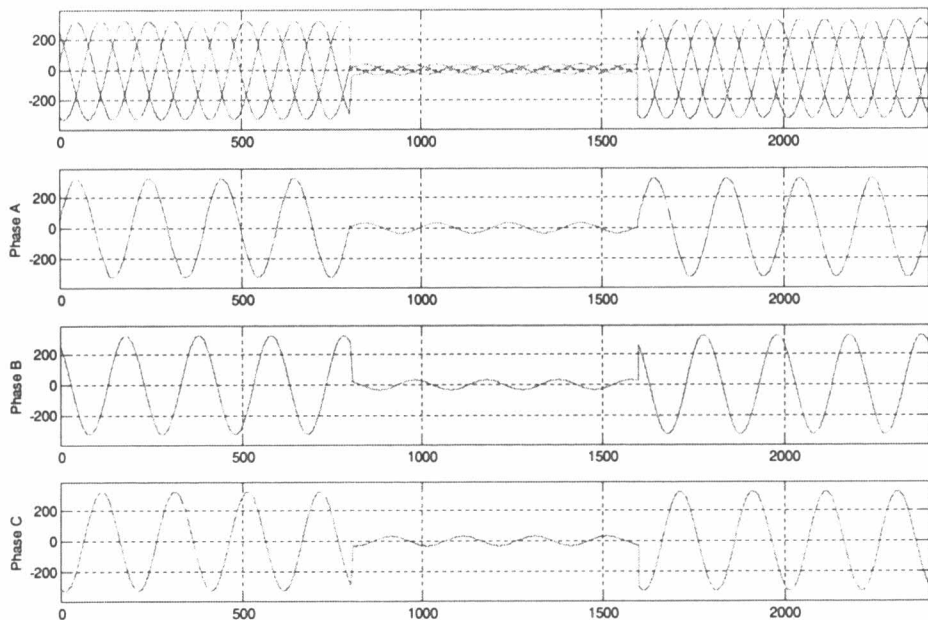
รูปที่ จ. 1 ระยะเวลาเกิด 1 ไมโครวินาที



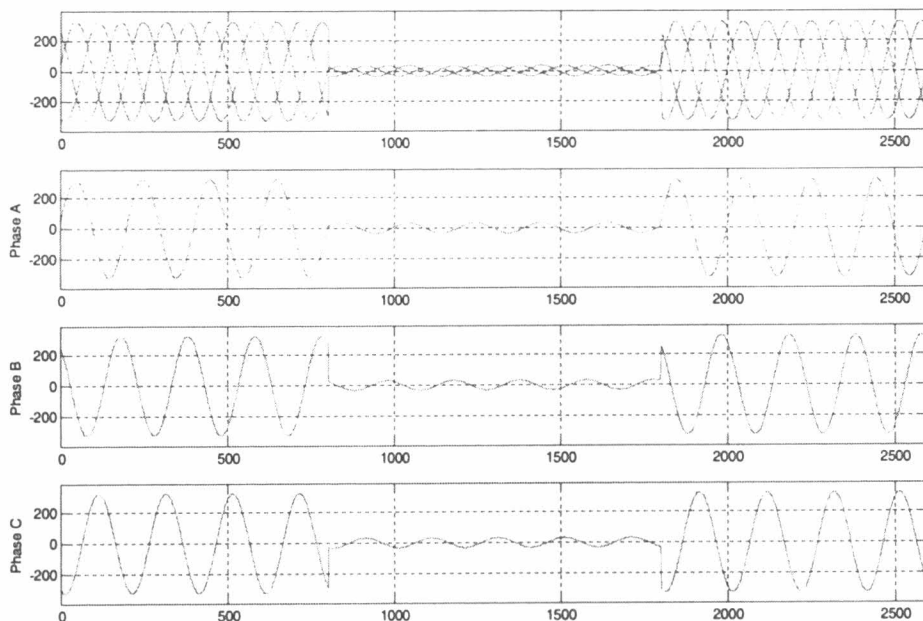
รูปที่ จ. 2 ระยะเวลาเกิด 2 ไมโครวินาที



รูปที่ ฉ. 3 ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล

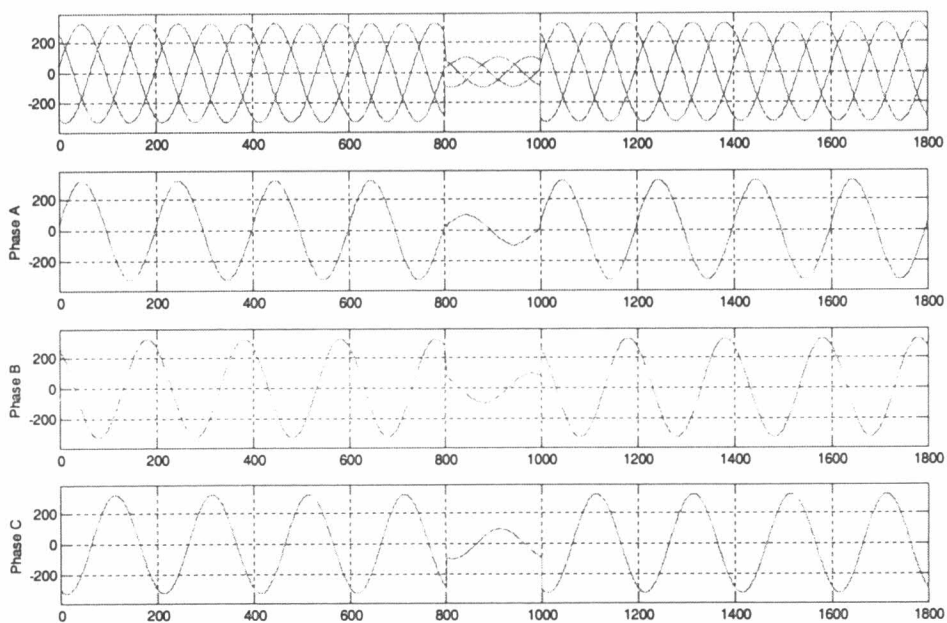


รูปที่ ฉ. 4 ระยะเวลาเกิด 4 ไซเคิล

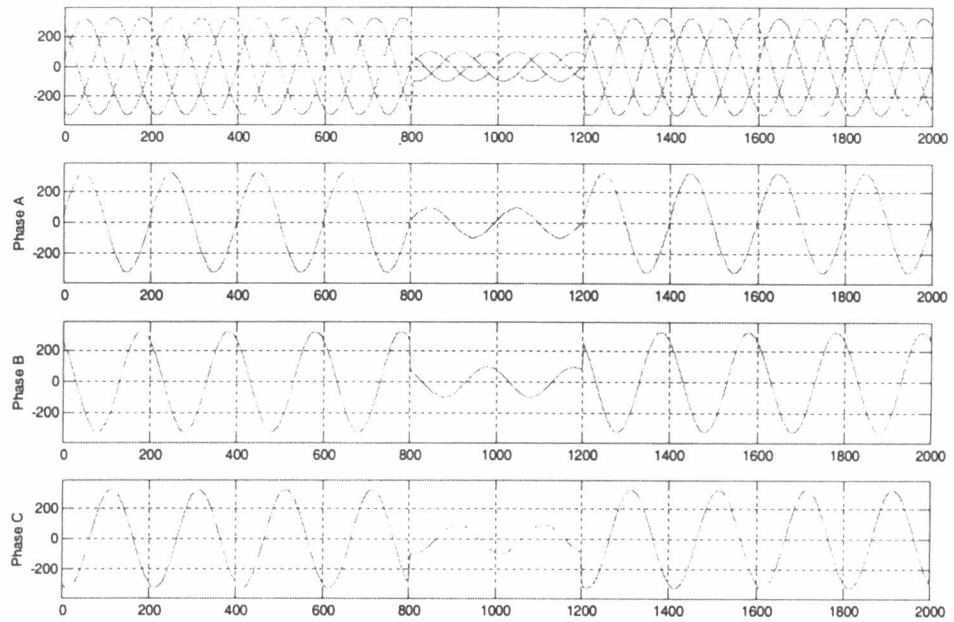


รูปที่ ฉ. 5 ระยะเวลาเกิด 5 ไซเคิล

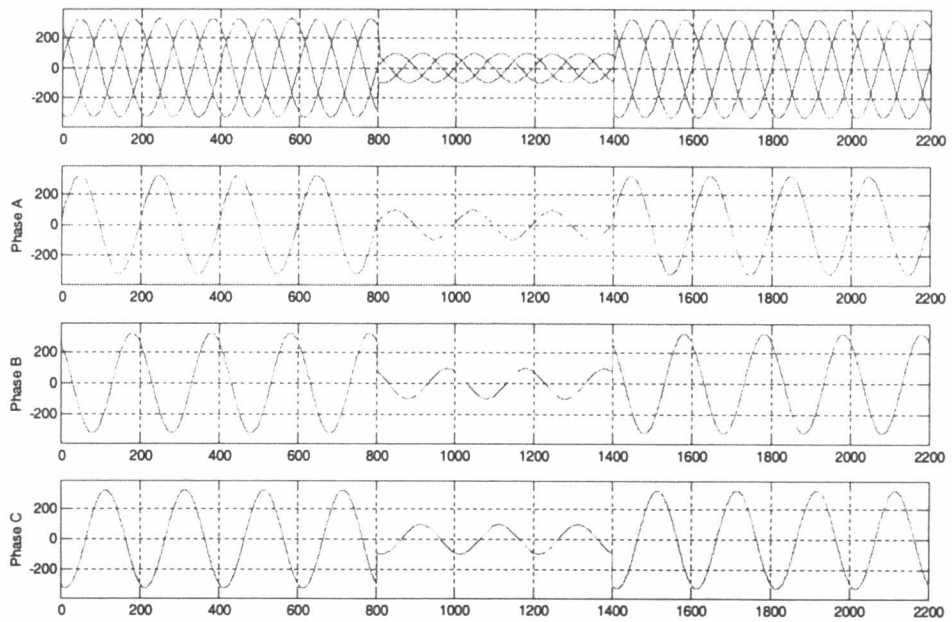
ที่ขนาดแรงดันตกเหลือ 30% ของแรงดันปกติ



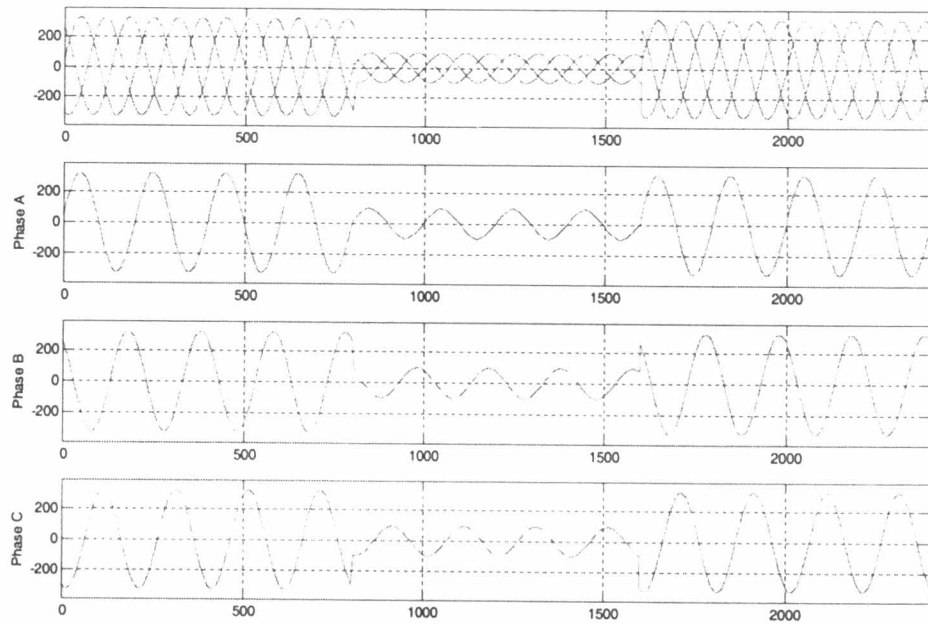
รูปที่ ฉ. 6 ระยะเวลาเกิด 1 ไซเคิล



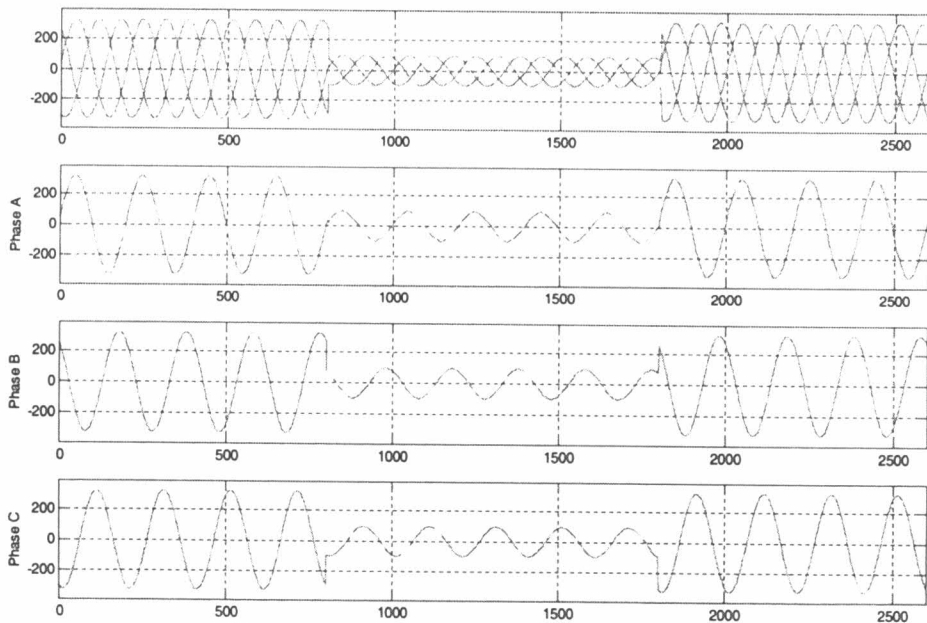
รูปที่ ๗. ระยะเวลาเกิด 2 ไซเคิล



รูปที่ ๘. ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล

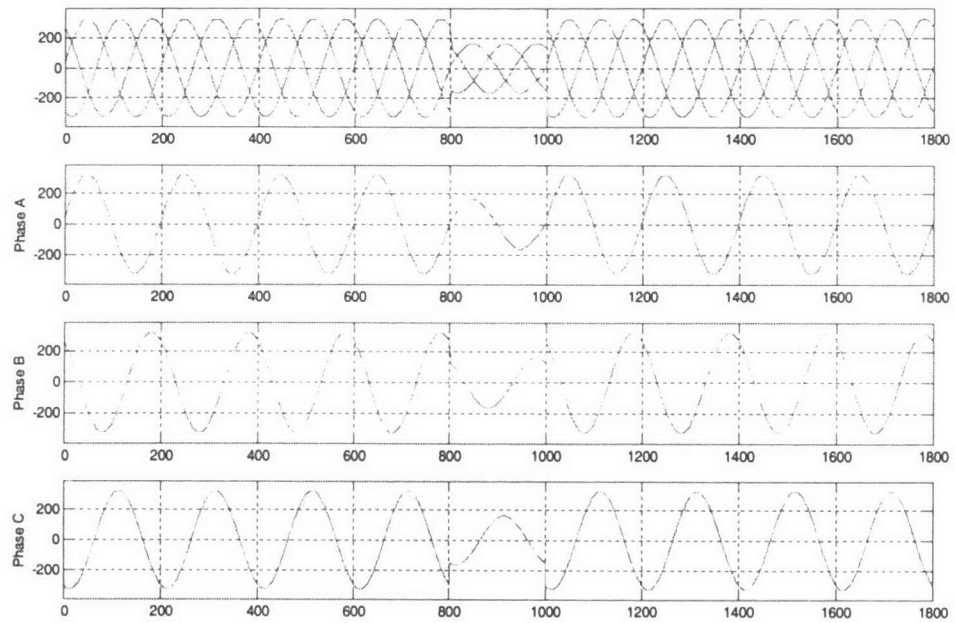


รูปที่ ๙. ระยะเวลาเกิด 4 ไซเคิล

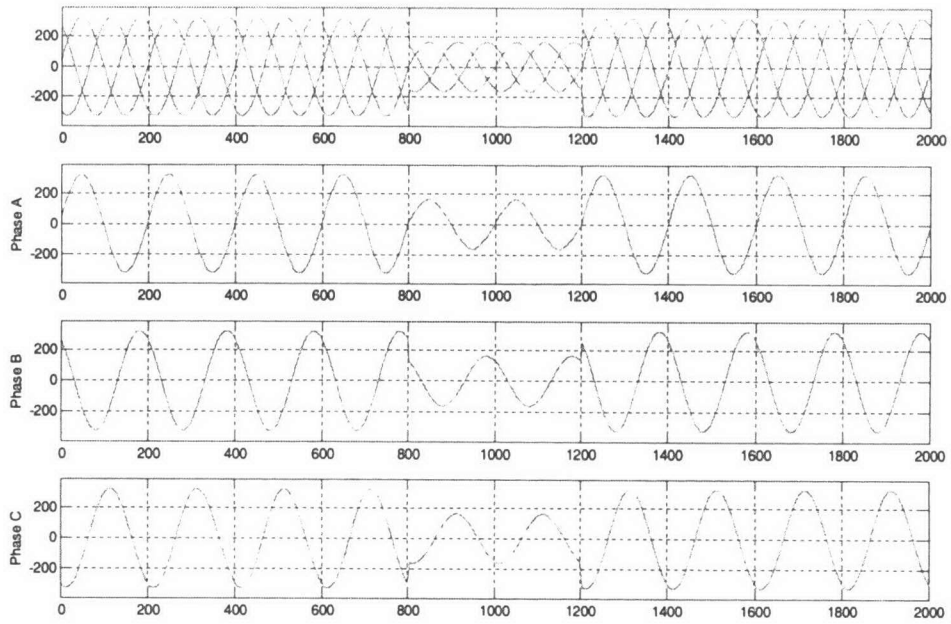


รูปที่ ๑๐. ระยะเวลาเกิด 5 ไซเคิล

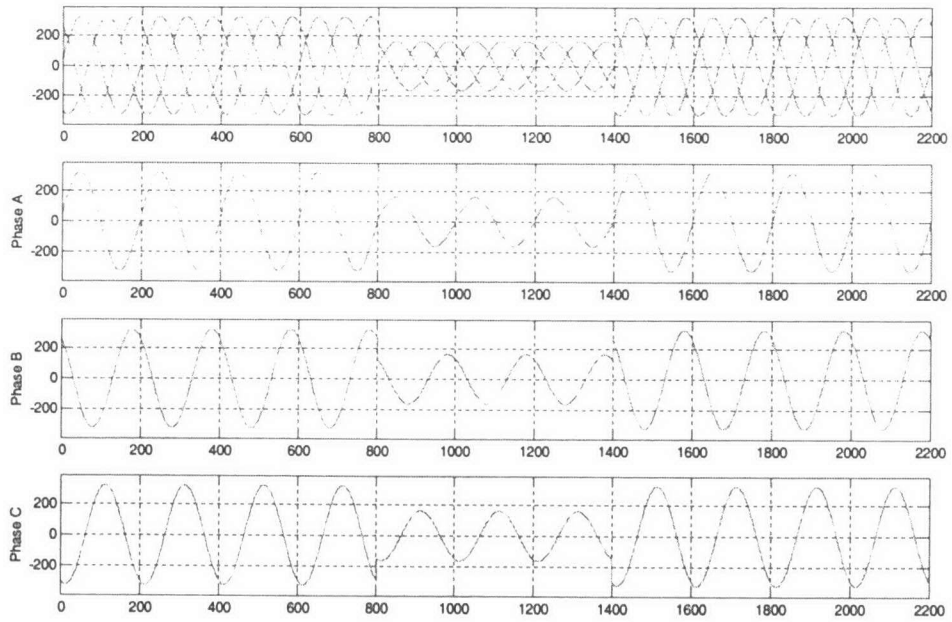
ที่ขนาดแรงดันตกเหลือ 50% ของแรงดันปกติ



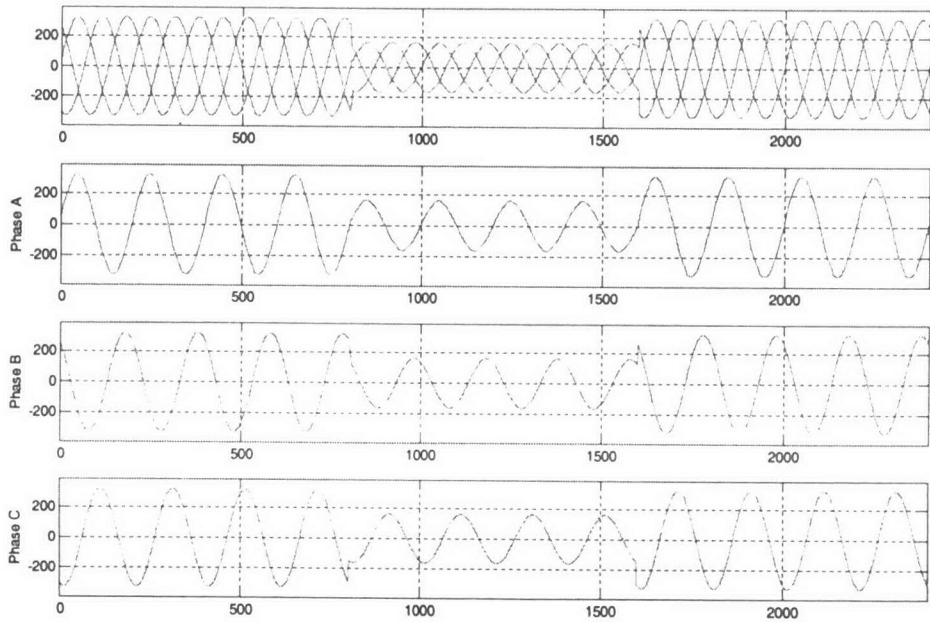
รูปที่ ฉ. 11 ระยะเวลาเกิด 1 ไมโครวินาที



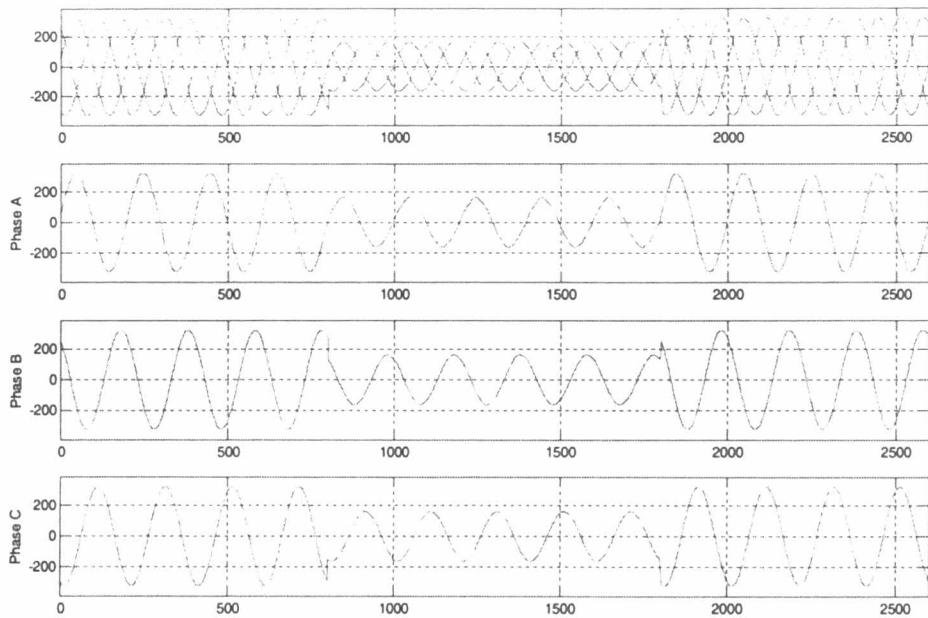
รูปที่ ฉ. 12 ระยะเวลาเกิด 2 ไมโครวินาที



รูปที่ ฉ. 13 ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล

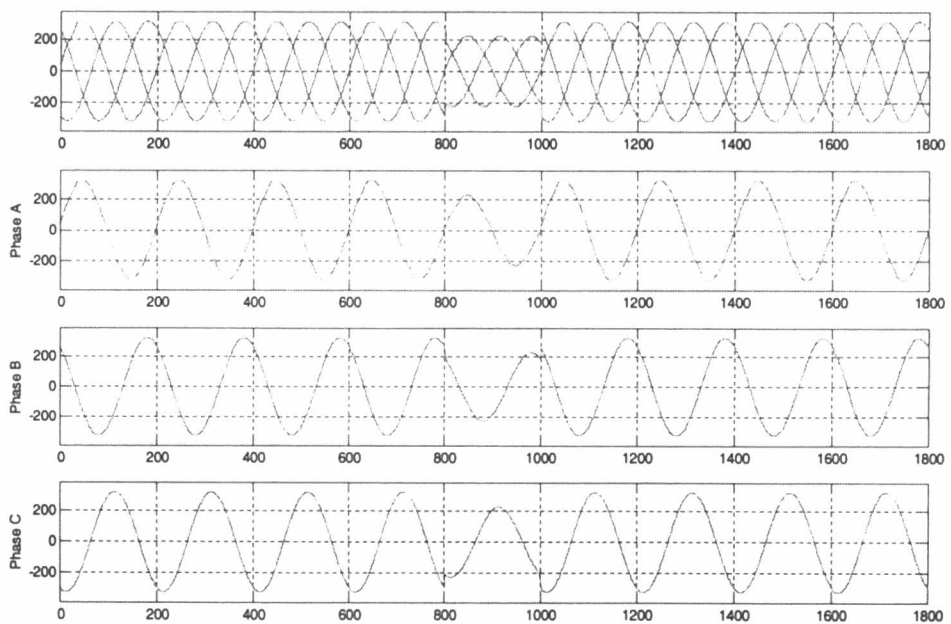


รูปที่ ฉ. 14 ระยะเวลาเกิด 4 ไซเคิล

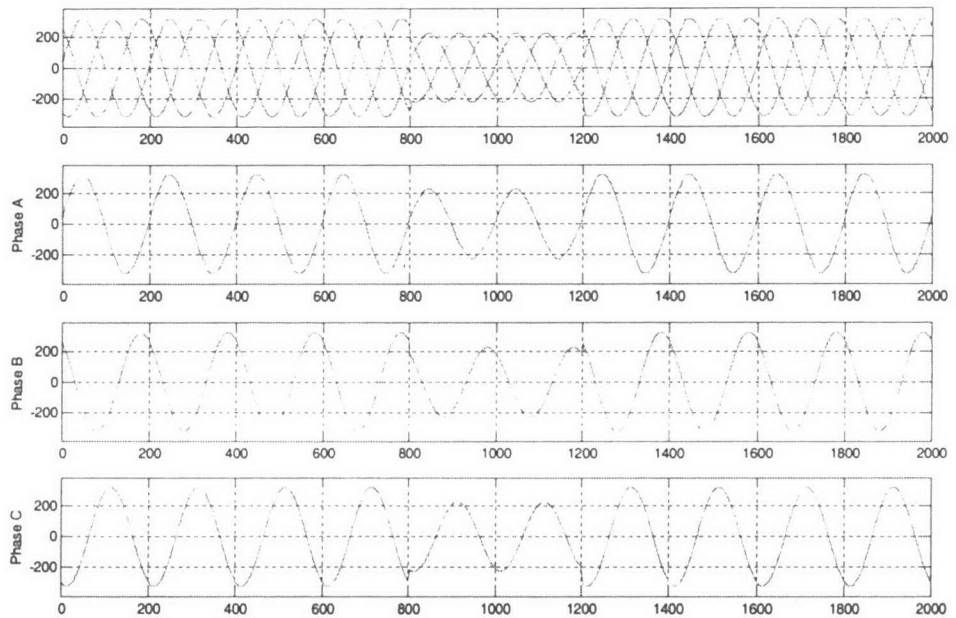


รูปที่ ๑. 15 ระยะเวลาเกิด 5 ไซเคิล

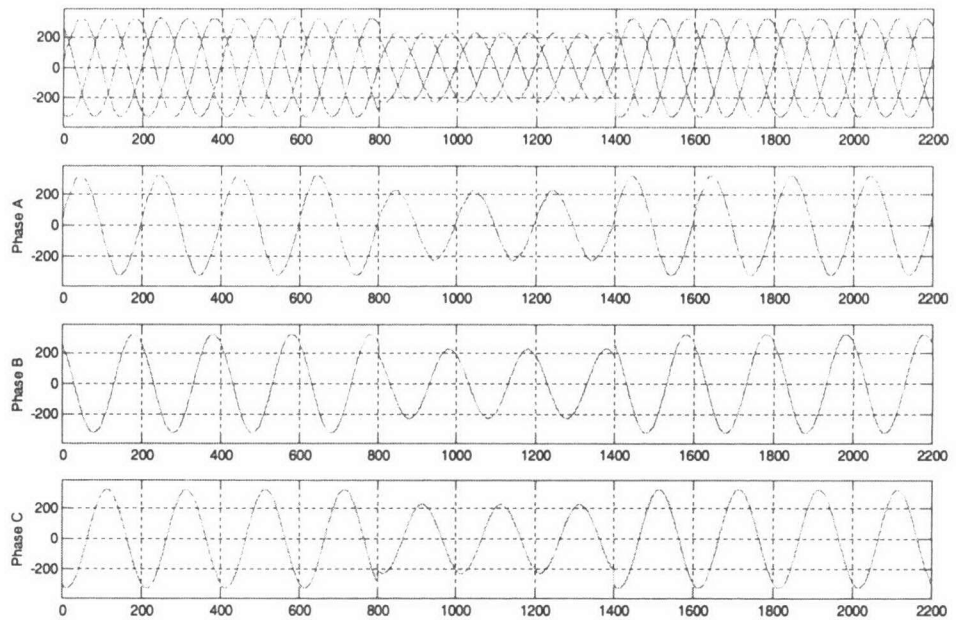
ที่ขนาดแรงดันตกเหลือ 70% ของแรงดันปกติ



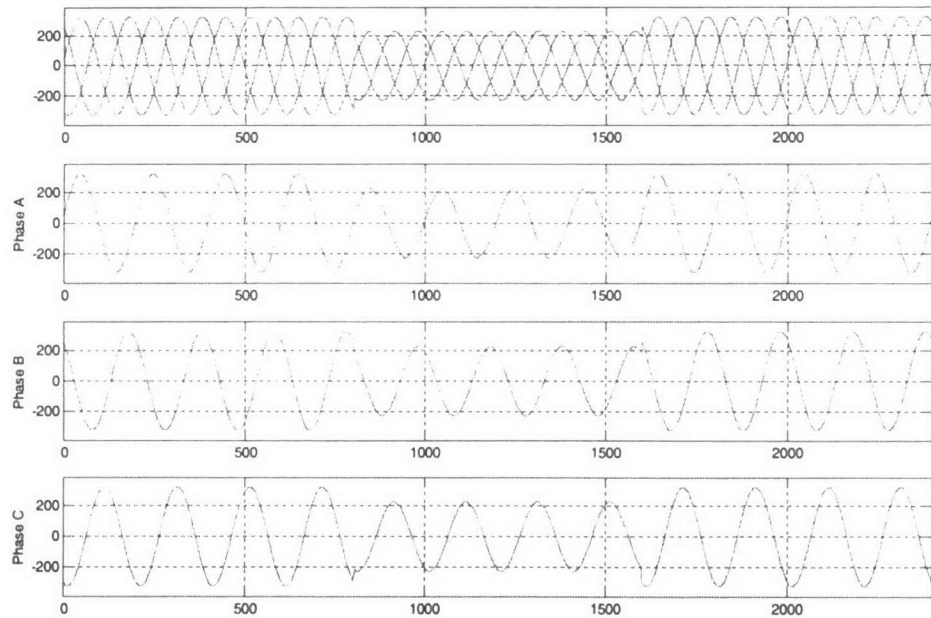
รูปที่ ๑. 16 ระยะเวลาเกิด 1 ไซเคิล



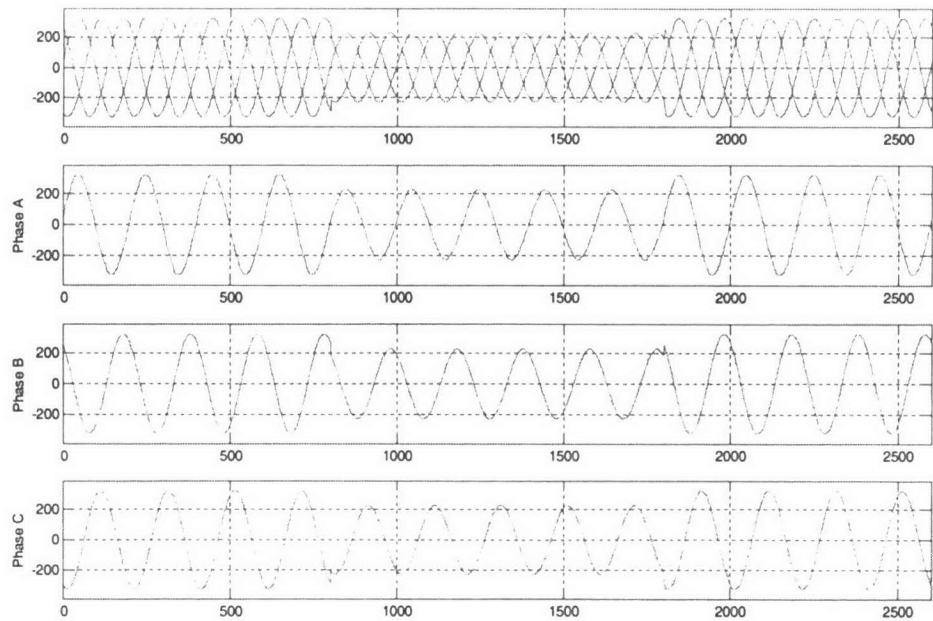
รูปที่ จ. 17 ระยะเวลาเกิด 2 ไซเคิล



รูปที่ จ. 18 ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล

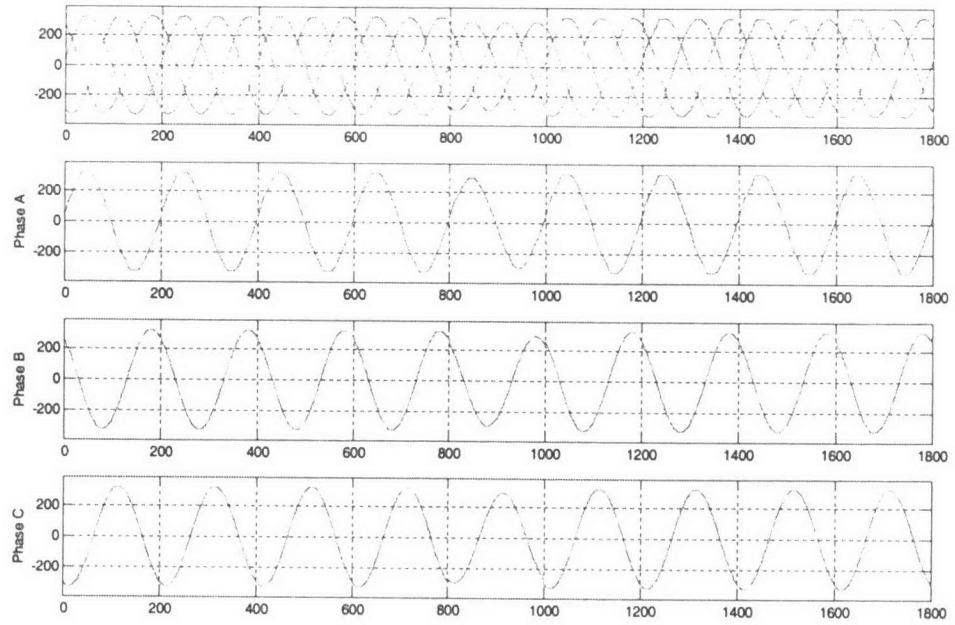


รูปที่ ฉ. 19 ระยะเวลาเกิด 4 ไชเคิล

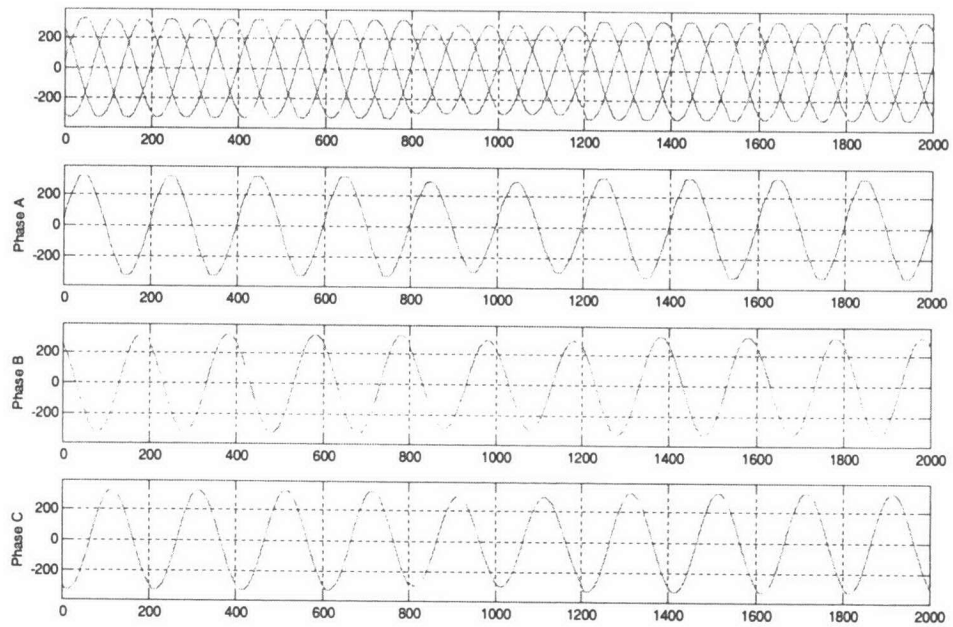


รูปที่ ฉ. 20 ระยะเวลาเกิด 5 ไชเคิล

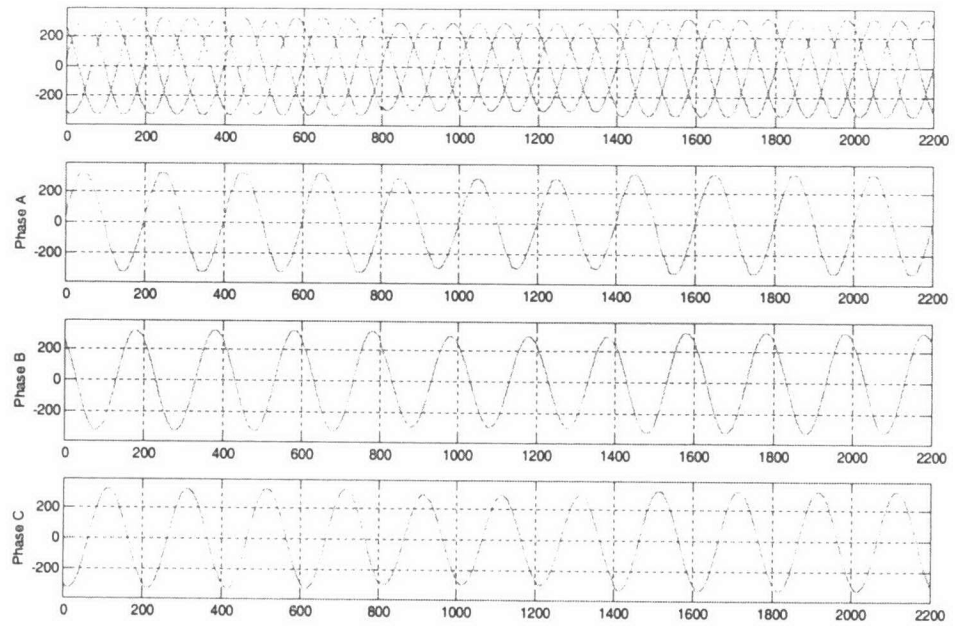
ที่ขนาดแรงดันตกเหลือ 90% ของแรงดันปกติ



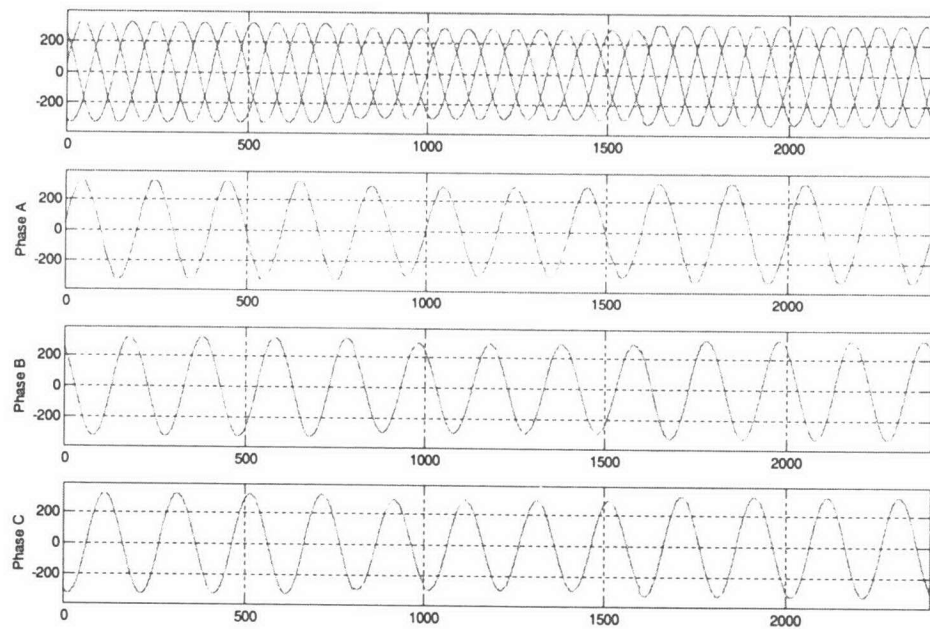
รูปที่ จ. 21 ระยะเวลาเกิด 1 ไซเคิล



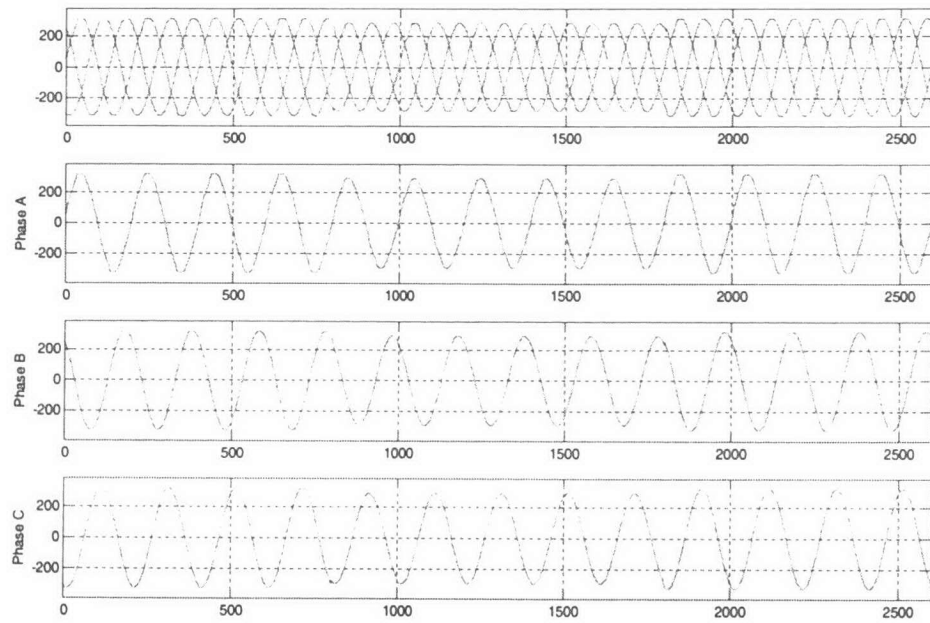
รูปที่ จ. 22 ระยะเวลาเกิด 2 ไซเคิล



รูปที่ ฉ. 23 ระยะเวลาเกิด 3 ไซเคิล



รูปที่ ฉ. 24 ระยะเวลาเกิด 4 ไซเคิล



รูปที่ จ. 25 ระยะเวลาเกิด 5 ไซเคิล

หมายเหตุ รูปคลื่นในรูปที่ จ. 1 – จ. 25 แกนนอนจะแสดงเป็นจุดตัวอย่างสุ่ม (sample point)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ฐิติพงษ์ อินทรสินธุ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี 2544 แล้วเข้าศึกษาระดับปริญญาโทที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สาขา วิศวกรรมไฟฟ้ากำลังในปีเดียวกัน ปัจจุบันทำงานที่ กองวิจัยและพัฒนา ฝ่ายวางแผนและพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง ในตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้าระดับ 4