หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปรากฏการณ์ความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

2.1 คุณภาพของระบบไฟฟ้า

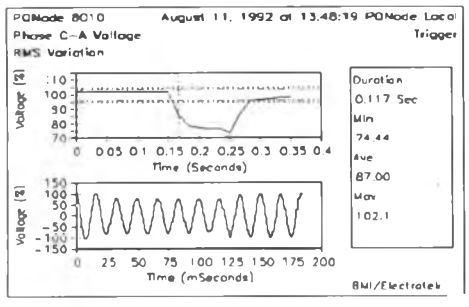
คุณภาพของระบบไฟฟ้าในปัจจุบันจะถูกกำหนดว่ามีค่าดีมากน้อยเพียงใด โดยขึ้นอยู่กับความสามารถในการรักษาสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า (Disturbance) ของแรงดัน กระแส หรือความถี่ ความผิดปกติในด้านต่างๆเหล่านี้มักมีสาเหตุจากความผิดปกติของระบบไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เช่น การเกิดความผิดพร่อง (Faults) การตัด-ต่อโหลด หรือตัวคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ภายในระบบ ความผิดปกติในหลายๆด้านที่เป็นสาเหตุของความผิดปกติเหล่านี้ดูเหมือนจะเป็นสิ่งที่ยากแก่การป้องกันที่จะไม่ให้เกิดขึ้นได้ และดูเหมือนว่า ความผิดปกติเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นทุกวัน ดังนั้นการเรียนรู้ถึงคุณลักษณะ รวมถึงสาเหตุของความผิดปกติที่มีในระบบ จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อจะได้มีการวางแผนป้องกันต่อปัญหาของความผิดปกติของคุณภาพของระบบไฟฟ้าได้ โดยที่จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในด้านต่างๆตามมา

2.2 ชนิดของความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

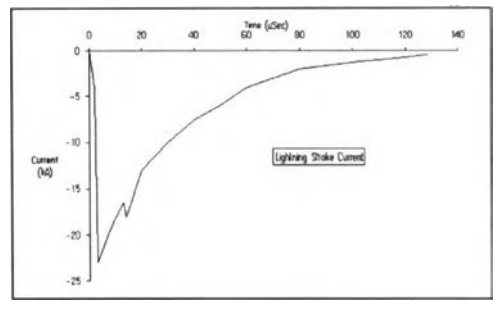
ความผิดปกติที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ รวมถึงมีสาเหตุของการเกิดที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปแล้วเราสามารถที่จะแยกความผิดปกติทางระบบไฟฟ้าได้ 3 ชนิด โดยใช้คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าเป็นส่วนพิจารณา ดังนี้

2.2.1 ความผิดปกติด้านรูปคลื่นแรงดัน (Voltage waveshape distortion)

เป็นความผิดปกติในเรื่องของรูปคลื่นแรงดัน ตัวอย่างเช่น แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag) แรงดันเกินชั่วขณะ(Voltage Swell) , ฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) โดยทั่วไปมีสาเหตุหลักเกิด จากความผิดพร่องแบบต่างๆที่เกิดในระบบไฟฟ้า การตัด-ต่อโหลดเข้าสู่ระบบไฟฟ้า หรือ ผลของโหลดประเภทไม่เป็นเชิงเส้น เป็นต้น



รูปที่2.1 ตัวอย่างของความผิดปกติด้านรูปคลื่นแรงดัน



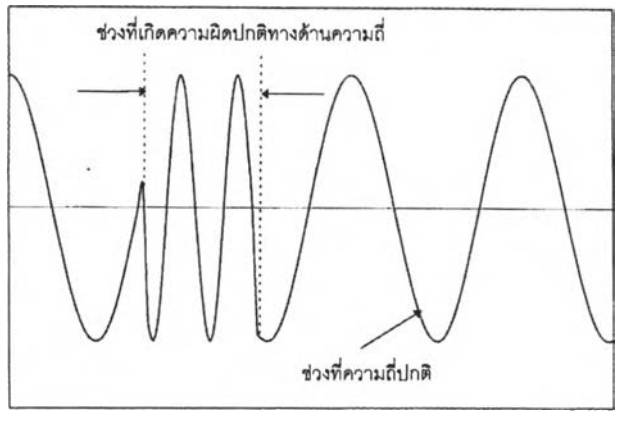
รูปที่2.2 ตัวอย่างความผิดปกติด้านรูปคลื่นกระแส

2.2.2 **ความผิดปกติด้านรูปคลื่นกระแส** (Current waveshape distortion)

ความผิดปกติทางด้านรูปคลื่นกระแส มักมีสาเหตุโดยตรงจากผลของความผิดปกติด้านรูปคลื่นแรงดัน แต่ยังมีสาเหตุอื่นที่เป็นสาเหตุของการเกิดความผิดปกติทางด้านรูปคลื่นกระแส เช่นการเกิดฟ้าผ่าในบริเวณข้างเคียงหรือลงบนส่วนต่างๆในระบบไฟฟ้า

2.2.3 **ความผิดปกติด้านความถี่ของรูปคลื่น** (Frequency distortion)

ความผิดปกติด้านความถี่ของรูปคลื่นมีสาเหตุการเกิดมาจากการตัด-ต่อโหลดที่มีขนาดใหญ่มากๆ หรือ การเพิ่มเข้าหรือหลุดออกจากระบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.3ความผิดปกติด้านความถี่ของรูปคลื่น

นอกจากนี้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ายังสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆโดยใช้คุณลักษณะทางด้านเวลาในการเกิด (Duration) ขนาดของแรงดัน (Voltage Amplitude) และความถี่ (Frequency)ของความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นประเภทต่างๆ 7 ประเภท ดังต่อไปนี้

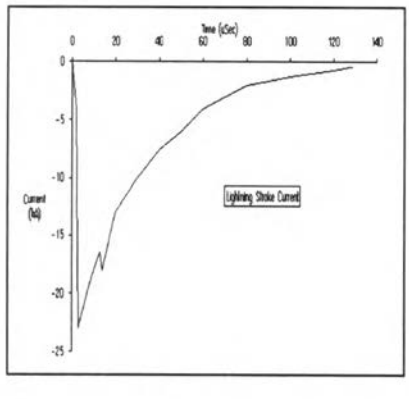
2.3 ประเภทของความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

2.3.1 ทรานเซี้ยนส์ (Transients disturbance)

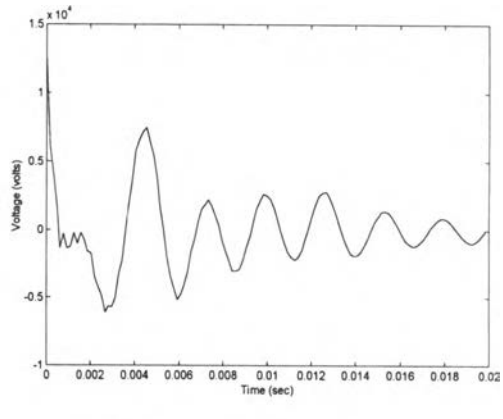
ทรานเซี้ยนส์ เป็นความผิดปกติทางระบบไฟฟ้าที่มีช่วงเวลาการเกิดที่มีค่าน้อยกว่า 20 ms. โดยที่สภาพความผิดปกติทางด้านขนาดจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0-8 pu. ความผิดปกติชนิดนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

2.3.1.1 ความผิดปกติทรานเซี้ยนส์แบบอิมพัลส์ (Impulsive Transients)

ทรานเซี้ยนส์แบบอิมพัลส์ เป็นความผิดปกติที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านความถี่ไฟฟ้าของแรงดัน และกระแส ที่สภาวะคงที่(Steady State) และมีคุณสมบัติแบบทางเดียว (Unidirectional) โดยทั่วไปความผิดปกติชนิดนี้มักจะกำหนดคุณลักษณะโดยใช้ค่าช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time) และช่วงเวลาขาลง (Decay Time) สาเหตุของความผิดปกติชนิดนี้เกิดจาก ฟ้าผ่าเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 2.4 ทรานเซี้ยนส์แบบอิมพัลส์



รูปที่2.5 ทรานเซี้ยนส์แบบแกว่ง

2.3.1.2 **ทรานเซี้ยนส์แบบแกว่ง** (Oscillatory Transients)

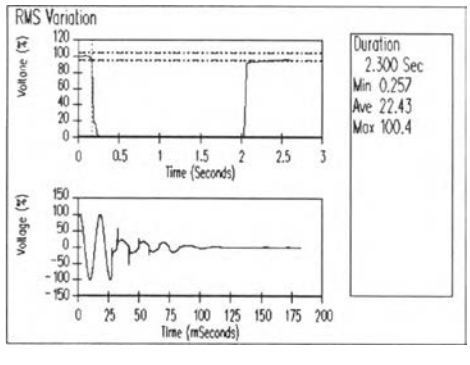
ทรานเซี้ยนส์แบบแกว่ง จะมีคุณลักษณะแบบ 2 ทาง สาเหตุของการเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าชนิดนี้มีสาเหตุเกิดจากการ สับสวิทช์ของคาปาซิเตอร์ เข้าสู่ระบบ หรือออกจากระบบไฟฟ้า การสับโหลดจำพวกมอเตอร์เข้าสู่ระบบเป็นต้น

2.3.2 **ความผิดปกติทางด้านแรงดันแบบช่วงเวลาสั้น**(Short Duration Voltage Variation)

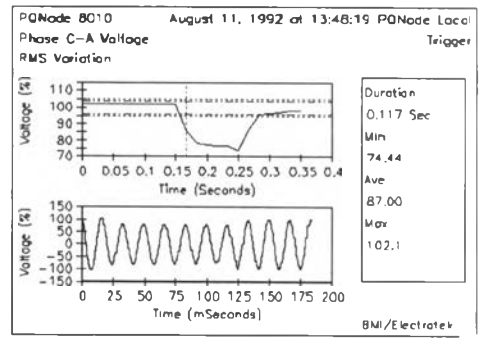
ความผิดปกติทางด้านแรงดันแบบช่วงเวลาสั้น เป็นความผิดปกติที่มีสาเหตุหลักที่เกิดจากสภาพความผิดพร่อง ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า หรือ การต่อโหลดที่มีขนาดใหญ่เข้าสู่ระบบไฟฟ้า โดยอุปกรณ์เหล่านี้มีความต้องการกระแสไฟฟ้าในช่วงเริ่มเดินเครื่องสูง จึงทำให้เกิดการลดลงของแรงดันในช่วงเริ่มเดินอุปกรณ์เหล่านี้ นอกจากนี้การหลุดออกจากระบบของสายส่งที่มีการต่อเชื่อมในระบบไฟฟ้ายังเป็นสาเหตุประการหนึ่งที่ก่อให้เกิดความผิดปกติข้างต้น ความผิดปกติเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆได้ดังนี้

2.3.2.1 **ไฟฟ้าดับ** (Voltage Interruption)

ความผิดปกติแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อขนาดของแรงดันจ่ายของระบบไฟฟ้า มีค่าน้อยกว่า 10 % ของค่าปกติ โดยที่มีช่วงเวลาการเกิดความผิดปกติน้อยกว่า 1 นาที สาเหตุการเกิดของความผิดปกตินี้คือการเกิดความผิดพร่องของระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.6 **ไฟฟ้าดับในช่วงเวลาสั้น**



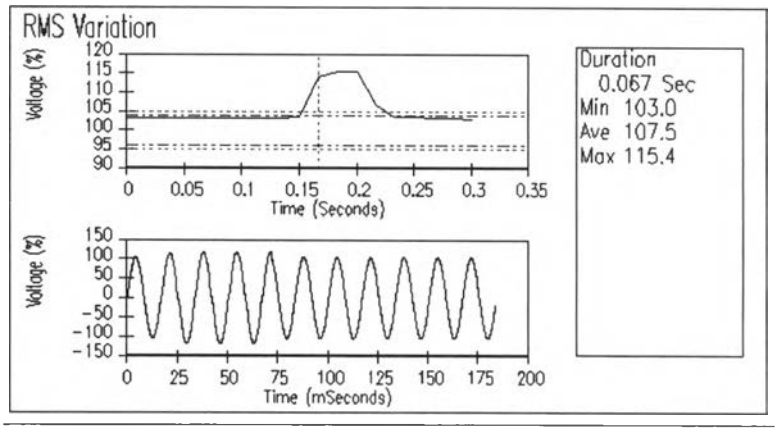
รูปที่ 2.7 **แรงดันตกชั่วขณะ**

2.3.2.2 **แรงดันตกชั่วขณะ** (Voltage Sag)

แรงดันตกชั่วขณะเป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า มากที่สุดในบรรดาความผิดปกติทั้งหมด ความผิดปกติชนิดนี้ จะมีผลให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าประสิทธิผล (rms.) มีขนาดลดลงอยู่ในช่วง 10 % - 90 % ของค่าปกติ โดยที่มีช่วงเวลาการเกิด อยู่ในช่วงเวลา 10 ms. ถึง 1 นาที สาเหตุของการเกิดมาจากความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า นอกจากนี้การเริ่มเดินโหลดจำพวกมอเตอร์ที่มีขนาดกำลังมากๆ ยังเป็นสาเหตุของความผิดปกติชนิดนี้

2.3.2.3 **แรงดันเกินชั่วขณะ** (Voltage Swell)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติในด้านแรงดันที่มีการเพิ่มขึ้นของแรงดันทำให้มีขนาดเป็น 110% - 180% ของขนาดแรงดันประสิทธิผล(rms) ที่ความถี่ระบบไฟฟ้า มีช่วงเวลาการเกิด 10 ms. ถึง 1นาที สาเหตุของการเกิดความผิดปกติชนิดนี้เกิดจากผลของความผิดพร่องใน เฟสอื่น ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของขนาดแรงดัน ในเฟสที่ไม่เกิดความผิดพร่อง นอกจากนี้อาจเกิดจากการปลดโหลดที่มีขนาดกำลังมากๆ หรือ การต่อเข้าคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่เข้าสู่ระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 **แรงดันเกินชั่วขณะ**

2.3.3 **ความผิดปกติทางด้านแรงดันแบบช่วงเวลานาน** (Long Duration Voltage Variation)

ความผิดปกติทางด้านแรงดันแบบช่วงเวลานาน เป็นความผิดปกติของค่าแรงดันประสิทธิผล (rms.)ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ความถี่ระบบไฟฟ้า โดยมีช่วงเวลาการเกิดความผิดปกติมากกว่า 1นาที มีสาเหตุการเกิดจาก ผลของการเปลี่ยนแปลงของขนาดโหลดในระบบไฟฟ้า สามารถแบ่งความผิดปกติชนิดนี้ได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

2.3.3.1 **แรงดันเกิน** (Over-Voltage)

เป็นความผิดปกติที่มีลักษณะค่าของแรงดันประสิทธิผลมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 110%ของค่าแรงดันปกติที่มีความถี่เท่ากับค่าความถี่ระบบไฟฟ้า โดยช่วงเวลาการเกิดมากกว่า 1 นาที สาเหตุของการเกิดความผิดปกติชนิดนี้ มีสาเหตุจาก ผลของการปลดโหลดที่มีขนาดใหญ่หรือการต่อเข้าของคาปาซิเตอร์เข้าสู่ระบบไฟฟ้า

2.3.3.2 **แรงดันตก** (Under-Voltage)

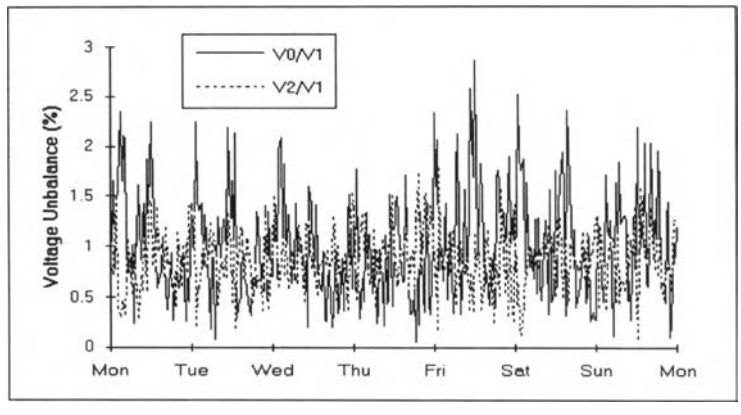
เป็นความผิดปกติที่มี คุณลักษณะที่ตรงข้ามกับ แรงดันเกินคือ เป็นการลดของค่าแรงดันประสิทธิผลที่มีค่าน้อยกว่า 90% ของค่าแรงดันปกติที่ความถี่เท่ากับความถี่ระบบไฟฟ้า โดยมีช่วงเวลาการเกิดมากกว่า 1 นาที สาเหตุของการเกิดมีผลมาจาก การต่อเข้าของโหลดที่มีขนาดใหญ่ หรือการปลดออกของคาปาซิเตอร์จากระบบไฟฟ้า

2.3.3.3 **ไฟฟ้าดับเป็นเวลานาน** (Sustained Voltage Interruption)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติของแรงดันที่มีขนาดเท่ากับ ศูนย์ ในช่วงเวลามากกว่า 1 นาที สาเหตุของความผิดปกติชนิดนี้ เกิดจากการหยุดจ่ายของอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้า เพื่อทำการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษา

2.3.4 **แรงดันไม่สมดุล** (Voltage Unbalance)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าสูงสุดของขนาดแรงดันจากค่าเฉลี่ยของแรงดัน 3 เฟส โดยมากจะใช้ค่าเฉลี่ยของแรงดัน 3 เฟส มาเป็นตัวเทียบ นิยมที่จะแสดงผลของความผิดปกตินี้ในรูปแบบของ เปอร์เซนต์ สาเหตุของการเกิดความผิดปกตินี้เกิดจาก โหลดไม่สมดุลหรืออิมพีแดนซ์ในระบบไฟฟ้าแต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกัน



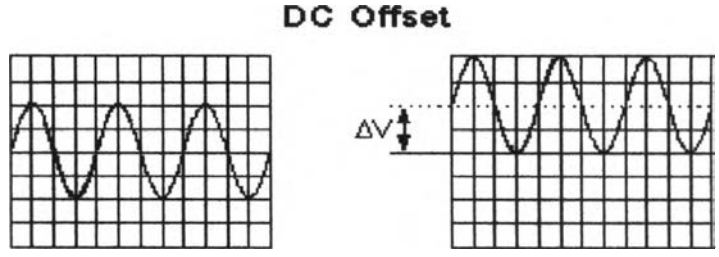
รูปที่ 2.9 **แรงดันไม่สมดุล**

2.3.5 **ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น** (Wave Distortion)

ความผิดปกติแบบความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่เกิด การเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นไปจากรูปคลื่นไซน์ในอุดมคติ เราแบ่งความผิดปกติชนิดนี้ ออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆดังนี้

2.3.5.1 **รูปคลื่นมีส่วนประกอบกระแสตรงปนอยู่** (D.C. offset Disturbance)

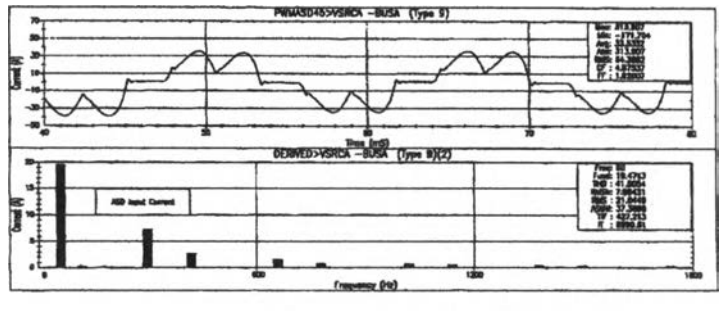
ความผิดปกติชนิดนี้เป็นสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดจากค่าของแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสตรงที่มีในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ความผิดปกติชนิดนี้มีขึ้นเนื่องจากผลของอุปกรณ์จำพวกวงจรเรียงกระแสที่มีใช้ในระบบไฟฟ้า



รูปที่2.10 ความผิดปกติจากรูปคลื่นมีส่วนประกอบกระแสตรงปนอยู่

2.3.5.2 **ฮาร์มอนิกส์** (Harmonics)

ฮาร์มอนิกส์ เป็นความผิดปกติของ ระบบไฟฟ้าที่มีผลทำให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าหรือรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าซึ่งมีลักษณะของคลื่นไซน์ที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่ระบบไฟฟ้า มีความผิดเพี้ยนเนื่องจาก แรงดันไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้า ที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าของความถี่ระบบไฟฟ้าปนอยู่ ส่วนใหญ่สาเหตุเกิดจากผลของโหลดที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 2.11 ฮาร์มอนิกส์

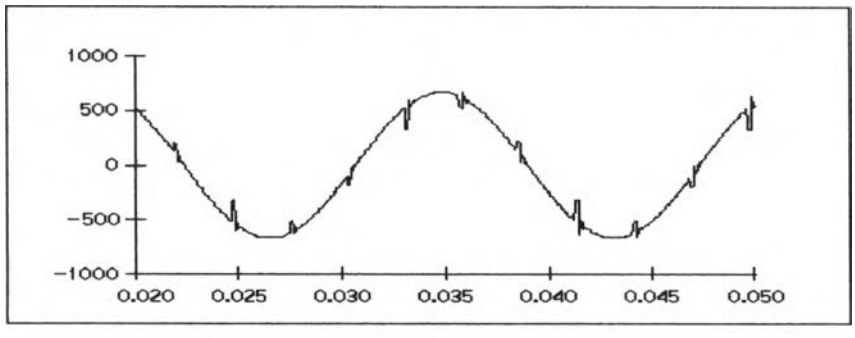
2.3.5.3 **อินเตอร์ฮาร์มอนิกส์** (Interharmonics)

ความผิดปกติชนิดนี้มีลักษณะความผิดปกติคล้ายความผิดปกติแบบฮาร์มอนิกส์ แต่สาเหตุของความผิดเพี้ยนชนิดนี้เกิดจากผลของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า หรือรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า ที่มีแรงดันไฟฟ้าหรือกระไฟฟ้าที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเท่าของความถี่

ระบบไฟฟ้าปนอยู่ แหล่งกำเนิดความผิดปกติชนิดนี้เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้แปลงความถี่ (Frequency Convertor) หรืออุปกรณ์ชนิดอาร์ก(Arcing Device) เป็นต้น

2.3.5.4 รูปคลื่นมีรอยบาก (Notching)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับรูปคลื่นแรงดันที่มีรอยบากที่มีลักษณะการเกิดเป็นคาบเวลา มีสาเหตุการเกิดมาจากโหลดจำพวกอิเล็กทรอนิกส์กำลัง



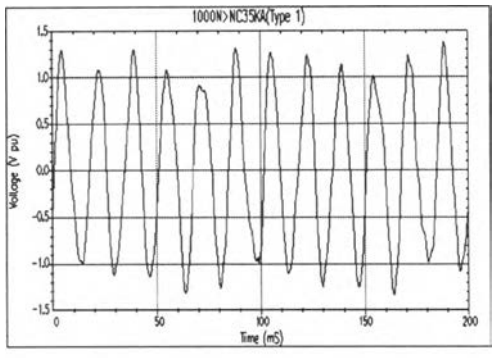
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นมีรอยบาก

2.3.5.5 สัญญาณรบกวน (Noise)

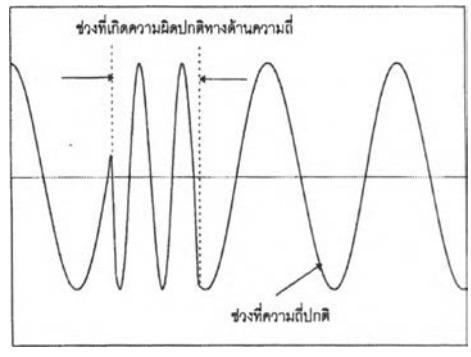
สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าเกิดจากอุปกรณ์จำพวกอิเล็กทรอนิกส์กำลัง อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ความผิดปกติชนิดนี้จะมีผลต่อ อุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้า เนื่องจากทำให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์ได้รับมีค่าผิดไปจากค่าจริงทำให้อุปกรณ์เหล่านี้ทำงานผิดพลาดได้ โดยเฉพาะอุปกรณ์จำพวกดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์

2.3.6 แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแรงดันโดยแรงดันมีการกระเพื่อมขึ้นลงอยู่ในช่วง0.9 ถึง1.1 pu. ความผิดปกติชนิดนี้มีสาเหตุหลักมาจากโหลดจำพวกเตาหลอมไฟฟ้า (arc furnace)



รูปที่ 2.13 แรงดันกระเพื่อม

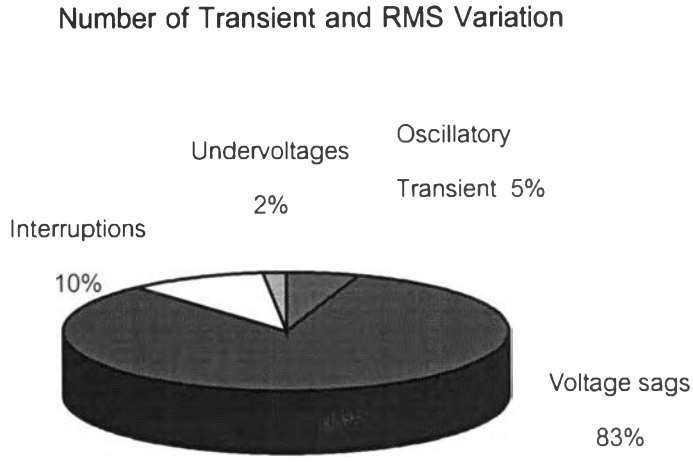


รูปที่ 2.14 ความถี่ระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง

2.3.7 **ความผิดปกติแบบความถี่ระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง** (Power Frequency Variation)

ความผิดปกติชนิดนี้เป็นความผิดปกติของความถี่ระบบไฟฟ้าที่มีค่าผิดไปจากความถี่ระบบไฟฟ้า สาเหตุใหญ่เกิดจาก สายส่งไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Bulk Power Transmission line) เกิดความผิดพร่องขึ้น หรือการสูญเสียระบบกำลังผลิตของอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าไปจากระบบไฟฟ้า ความผิดปกติเหล่านี้จะมีผลต่อโหลดโดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้จุดตัดศูนย์(zero crossing) เป็นตัวช่วยในการทำงานเช่น อุปกรณ์เครื่องมือวัด อุปกรณ์ควบคุม หรือ อุปกรณ์ป้องกัน

ในบรรดาความผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้านั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีผลต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้งาน จากการสำรวจในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง เราจะพบจำนวนความผิดปกติที่แยกตามจำนวนการเกิดเป็นเปอร์เซนต์ได้ดังนี้



รูปที่2.15 สัดส่วนความผิดปกติต่างๆ

จากแผนภาพแสดงให้เห็นว่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 80 เป็นความผิดปกติ ชนิดแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag (in USA) or Voltage Dip (in Europe)) ดังนั้นการทำการศึกษาคุณลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะจึงดูเหมือนว่า จะเป็นประโยชน์ ในการวางแผนป้องกันผลกระทบที่อาจมี ต่อโหลดได้ในที่สุด

ความผิดปกติต่างๆทั้ง 7 ประเภท [1]สามารถสรุปได้ดังตารางข้างล่างนี้

Categories	Typical spectral	Typical duration	Typical voltage
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	<50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 μs rise	50 ns-1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1ms rise	>1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	<5 kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
122Medium frequency	5-500 kHz	20 μs	0-8 pu
1.2.3 High frequency	0.5-5 MHz	5 μs	0-4 pu
2.0 Short duration			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5-30 cycles	0.1-0.9 pu
2 1.2 Swell		0.5-30 cycles	1.1-1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles-3 s	<0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles-3 s	0.1-0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles-3 s	1.1-1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s-1 min	<0.1 pu
2.3.2 Sag		3 s-1 min	0.1-0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s-1 min	1.1-1.4 pu
3.0 Long duration			
3.1 Interruption.		>1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		>1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Overvoltages		>1 min	1.1-1.2 pu
4.0 Voltage imbalance		steady state	0.5-2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0-0.1%
5.2 Harmonics	0-100th H	steady state	0-20%
5.3 Interharmonics	0-6 kHz	steady state	0-2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broad-band	steady state	0-1%
6.0 Voltage fluctuations	<25 Hz	intermittent	0.1-7%
7.0 Power frequency		<10 s	

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่ม และคุณลักษณะของปรากฏการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง