

บทที่ 8 Distorting load

distorting load คือ load ที่มีลักษณะไม่คงที่ หรือรูปร่างของกระแสต่างไปจากรูปร่างของแรงดัน ไม่เป็น sine wave แบ่งเป็น สองประเภท

ประเภทแรก **มีค่ากระแสคงที่** แต่รูปร่างไม่เป็น sinusoidal waveform หรือ เรียกว่า harmonic generating loads

ประเภทที่สอง **มีกระแสไม่คงที่** หรือเรียกว่า fluctuating load (ประเภทนี้อาจมี harmonic หรือไม่มีก็ได้)

1. harmonic generating loads

ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้งานในบ้านพักอาศัยและในสำนักงาน จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากในอดีต กล่าวคือ มีการใช้ electronic control มากขึ้น เช่น ระบบที่ออกแบบการทำงานให้มี thyristor, diode หรือ bridge rectifier, speed control motor, dimmer, tv, video, fluorescent ballast และรวมถึง distribution transformer เป็นต้น อุปกรณ์จึงมีลักษณะเป็น non linear load ผลที่ตามมาคือเกิด harmonic distortion ในระบบ, losses, หรือ แม้กระทั่งอาจเกิด resonance ขึ้นบางจุด load เหล่านี้จะเป็น load ขนาดเล็กๆ และจะกระจายอยู่เป็นจำนวนมากทั่วไป ปรากฏจากการควบคุม ปริมาณ harmonic จะเพิ่มขึ้นตามความต้องการใช้งาน harmonics ที่เกิดขึ้นดังกล่าวถือว่าเป็น background harmonic

มี harmonics อีกจำนวนหนึ่ง ที่เกิดจาก non linear load ขนาดใหญ่ เช่น การใช้ variable frequency control speed ของ motor ขนาดใหญ่ในโรงอุตสาหกรรม, โรงหล่อเหล็ก, motor ของรถไฟฟ้า, เป็นต้น ในปัจจุบัน load อุตสาหกรรมเหล่านี้ ได้รับความสนใจเรื่องการควบคุมปริมาณ harmonics ที่จะไหลเข้าระบบจ่ายไฟฟ้า อย่างไรก็ตามปริมาณที่ควบคุมนี้จะรวมกับ background harmonic ที่มีอยู่แล้ว

2. background harmonics of system

หากกระจาย distorted waveform ด้วย fourier series จะพบว่า มี odd harmonics ที่เป็นเลข 3,5,7...ประกอบกัน แต่ harmonics ที่มีปริมาณมากจะเป็นลำดับที่ 3, 5 และ 7 harmonics นี้ จะพบว่าเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยที่เป็น non linear load เช่น tv, video, ballast, dimmer, heater ต้มน้ำร้อน เป็นต้น อุปกรณ์ลักษณะนี้จะมีใช้กันมากขึ้นทำให้ background harmonics สูงมากขึ้นตามลำดับ

การวัด background harmonics ตามจุดต่างๆ ในระบบจำหน่ายจะทำให้ทราบว่าพื้นที่ใดมีแนวโน้มจะเกิดอันตรายจาก harmonics ทั้งปริมาณ และลำดับของ harmonics สามารถใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเมื่อต้องการต่อ non linear load ของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เข้าระบบในบริเวณนั้น

การวัดเปอร์เซ็นต์ harmonic voltage distortion ของ load ใหม่แต่ละลำดับของ harmonic ณ จุด point of common coupling ต้องรู้ถึง background level ข้อมูลของผู้ผลิตเรื่องการทำงานของ load ที่แสดงความสัมพันธ์ของ harmonic current spectra กับ การเปลี่ยนแปลงของ load ซึ่งจะทำให้สามารถวัดได้ในช่วงเวลาที่เหมาะสม

ปัญหาที่ต้องประสบในการควบคุมปริมาณแรงดัน harmonic ในรูปของ voltage drop ที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย คือ ไม่ทราบลักษณะการรวมตัวของ harmonic ลำดับต่างๆ เข้าด้วยกัน คือ ไม่ทราบมุมของ harmonic ที่เกิดจากแต่ละ load ที่ reference กับ fundamental component และ ปัญหาของ reactance ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไม่ linear กับ frequency เช่น กรณีแกนเหล็กของ distribution transformer เมื่อต้องการทราบผลรวมที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องคิดจากกรณีที่รุนแรงที่สุดเพื่อนำไปออกแบบแก้ไข เช่น ปรับปรุง source impedance ที่จุด coupling โดยการติด filter bank หรือเปลี่ยน design ของ non linear load เช่น เพิ่ม rectifier pulses ต่อ cycle จะทำให้เส้นลำดับ harmonic ให้สูงขึ้น เป็นต้น อาจจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องวัดเพื่อบันทึกพฤติกรรมของ harmonic ตรงตำแหน่งที่ต้องการควบคุม และทำการวัดในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม อาจเป็นเวลาหนึ่งเดือน

3. การวัด harmonics ในระบบไฟฟ้า

การวัดค่า harmonic ในที่นี้ มีจุดประสงค์เพื่อการสำรวจระดับความรุนแรงของ harmonic ณ จุดวัดว่าอยู่ในระดับใด จะมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ หรือไม่ จะพิจารณาความรุนแรงได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้กับค่าจำกัดที่ระบุไว้ในข้อกำหนดหรือมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ harmonic ประเภทธุรกิจ และอุตสาหกรรมที่จัดทำโดยคณะทำงานจากสามการไฟฟ้า (กฟผ. กฟน. และ กฟภ.) หรือ มาตรฐาน IEEE-519 หรือ Engineering Recommendation G 5/3 เป็นต้น

อย่างไรก็ตามสิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งคือ ต้องทราบว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้นถูกต้อง เพียงพอสำหรับการนำไปประเมินระดับของความรุนแรง

3.1 เครื่องมือวัด harmonic

การเลือกเครื่องวัดก็เป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับการวัด harmonic เนื่องจากเครื่องวัดแต่ละชนิดจะถูกออกแบบมาสำหรับการวัดสัญญาณที่มีลักษณะแตกต่างกัน การเลือกเครื่องวัดจึงควรจะต้องคล้องกับวิธีการวิเคราะห์ หรือการประเมินระดับของ harmonic ด้วย กล่าวคือ ก่อนที่จะใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงนั้น ควรที่จะทำการสำรวจจากระดับหยาบๆ ก่อน โดยใช้เครื่องมือวัดที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เช่น วัดเฉพาะค่า THD (Total Harmonic Distortion) เพื่อตรวจหาว่ามี harmonic เกิดขึ้นหรือไม่ หากเกินค่าที่กำหนดจึงไปถึงขั้นตอนการวัดเพื่อหาข้อมูลโดยละเอียดสำหรับประเมินค่าความรุนแรงของ harmonic ที่ตรวจพบ

เครื่องมือสำหรับใช้วัด harmonic มีมากมายหลายประเภทด้วยกัน ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

oscilloscope : เป็นเครื่องมือวัดที่แสดงผลออกมาในลักษณะของกราฟรูปคลื่นของสัญญาณ เหมาะสำหรับการวัด harmonic แบบหยาบๆ โดยสังเกตจากรูปร่างที่เพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์ (sine wave)

spectrum analyzer : เป็นเครื่องมือวัดความถี่ที่สามารถแยก harmonic ออกเป็นอันดับต่างๆ ได้ เหมาะสำหรับการวัด harmonic ที่ต้องการทราบ spectrum ของสัญญาณ

digital harmonic measuring equipment : เป็นเครื่องมือวัดที่ออกแบบมาสำหรับการวัด harmonic ทั้งทางความถี่ (frequency domain) และ ทางฐานเวลา (time domain) โดยใช้วิธีการแบบ digital เช่น การทำ sampling สัญญาณ นำมาคำนวณโดยใช้ fast fourier transform technique เครื่องวัดประเภทนี้สามารถวัดค่า harmonic ได้ทั้งประเภทการแยกออกเป็นแต่ละอันดับ และ ค่า THD เหมาะสำหรับการวัด harmonic เพื่อประเมินระดับความรุนแรง

3.2 จุดที่จะทำการตรวจวัด

จากข้อกำหนดกฎเกณฑ์ harmonic หรือมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ harmonic ได้ระบุไว้ว่าการวัดค่า harmonic เพื่อการประเมินระดับความรุนแรง จะต้องกระทำที่จุดเชื่อมต่อ (point of common coupling : PCC) ระหว่าง utility และ customer

3.3 หลักการวัดแรงดัน harmonic

โดยทั่วไปแล้วเครื่องวัดจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานในระดับแรงดันต่ำเท่านั้น ดังนั้นถ้าเป็นการวัดแรงดัน harmonic ที่ระดับแรงดันดังกล่าว ก็สามารถที่จะต่อวงจรวัดแรงดัน ระหว่างจุดวัด (bus bar) กับเครื่องวัดได้โดยตรง ในกรณีวัดที่ระดับแรงดันสูงขึ้น จะต้องต่อวงจรผ่านหม้อแปลงแรงดัน (potential transformer ; PT) เพื่อปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับเครื่องวัด สิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษ คือ การตอบสนองทางความถี่ของ PT ต้องดีและครอบคลุมเพียงพอสำหรับย่านความถี่ของแรงดัน harmonic อันดับต่างๆ ที่ต้องการจะวัด ถ้าหากการตอบสนองทางความถี่ดังกล่าว มีความแม่นยำต่ำเกินไป ก็จะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง โดยทั่วไปแล้ว PT ที่เป็นชนิดที่ใช้การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic) จะมีอิทธิพลจากโครงสร้างภายในของ PT ต่อการตอบสนอง จึงไม่สามารถสรุปในภาพรวมได้ จึงควรกำหนดลำดับที่ไม่สูงมากนัก เช่น ลำดับ 1-13 เป็นต้น และทดสอบให้แน่ใจก่อน ในกรณีที่ระดับแรงดันสูงมากตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป หม้อแปลงแรงดันส่วนใหญ่จะเป็นประเภท CVT (capacitor voltage transformer) แต่เนื่องจากคุณลักษณะของ CVT นั้นถูกออกแบบมาให้มีการตอบสนองกับความถี่ได้ดีเฉพาะที่ความถี่หลัก

ของระบบไฟฟ้า (fundamental frequency) ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำ CVT มาใช้สำหรับวัดแรงดัน harmonic นอกจากนี้จะทราบวิธีชดเชยค่าผิดเพี้ยนทางความถี่ดังกล่าว (compensation method)

3.4 หลักการวัดกระแส harmonic

วงจรมุ่งสำหรับวัดกระแส harmonic ก็เช่นเดียวกับวงจรวัดแรงดัน harmonic กล่าวคือ ทั่วไปแล้วจะใช้ร่วมกับ current transformer (CT) ในกรณีที่จุดวัดเป็นวงจรมีกำลังไฟฟ้าไม่สูงนักจะใช้ CT ที่เป็นชนิด current clamps คล้องกับสายไฟได้เลย ส่วนกรณีที่เป็นระดับแรงดันสูง จะต้องทำการวัดผ่าน CT อาจต้องใช้ transducer ทำการปรับระดับกระแสให้เหมาะสมกับเครื่องวัด เนื่องจาก CT เป็นหม้อแปลงประเภท magnetic เช่นเดียวกันจึงต้องพิจารณาเรื่องความแม่นยำของลำดับต่างๆ ด้วย ซึ่งจากโครงสร้างของ CT จะสามารถครอบคลุมได้ถึง 2 kHz ดังนั้นจึงไม่ต้องกังวลต่อการตอบสนองทางความถี่มากนัก อย่างไรก็ตามคุณลักษณะของ CT จะมีผลกระทบต่อมุมเฟส (phase angle) มากกว่าขนาดของกระแส harmonic ซึ่งบางครั้งก็เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น การตรวจสอบทิศทางการไหลของกระแส harmonic เป็นต้น

3.5 ระยะเวลาที่ใช้สำหรับการวัด

การที่จะให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนถึงคุณลักษณะของ harmonic ที่เกิด ณ จุดวัดอย่างแท้จริงนั้นจะต้องคำนึงถึงคือช่วงเวลาของการวัด (period of measurement) กล่าวคือ ถ้าจุดวัดหรือระบบที่จะทำการวัดมีเสถียรภาพ (stable) ดี คือ การเปลี่ยนแปลงของ load ค่อนข้างน้อย ข้อมูลที่ได้จากการวัดเพียง 1 วันก็อาจจะเพียงพอ อย่างไรก็ตามช่วงเวลาที่เหมาะสมนั้นจะต้องครบตามคาบเวลาทำงานปกติ (duty cycle) ของระบบนั้นๆ อย่างน้อย 1 รอบ โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์สำหรับกรณีที่ load มีการทำงานในลักษณะพิเศษ เช่น โรงงานหลอมเหล็ก ที่มีลักษณะการทำงานค่อนข้างจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อาจมีความจำเป็นจะต้องใช้ระยะเวลาสำหรับการวัดนานขึ้น

4. การเกิด harmonics

harmonic คือ องค์ประกอบในรูปสัญญาณ sine wave ของรูปคลื่นรายคาบโดยมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของค่าความถี่พื้นฐาน (fundamental frequency) เช่น ถ้าความถี่พื้นฐานเป็น 50 Hz ค่า third harmonic จะเป็น 3×50 เป็นต้น harmonic เป็นสาเหตุที่ทำให้แรงดันและกระแสในรูป sine wave มาตรฐานเกิดการเบี่ยงเบน (distortion)

harmonic ที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบเฟสเดียว เช่น computer, electronic ballast charger เป็นต้น จะมีลักษณะเป็น triplen harmonic คือ harmonic ที่ 3,9,15....นอกจาก triplen harmonic แล้วยังมี harmonic ที่ 5,7,11,13,15.....

harmonic ที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบสามเฟส เช่น rectifier, inverter, อุปกรณ์ปรับความเร็วของมอเตอร์ เป็นต้น จะสร้าง harmonic ที่ 5,7,11,13,17,19,23,25. โดยที่ harmonic

อันดับสูงขึ้นไปจะมีปริมาณลดลง harmonic ที่เกิดจากโหลดแบบ arc furnace หรือ เครื่องเชื่อมไฟฟ้า นอกจากจะสร้าง harmonic ที่เป็นจำนวนเต็มของค่าความถี่พื้นฐานแล้ว ยังมี inter-harmonics ประปนมาด้วย โดย inter-harmonics จะมีความถี่ไม่เป็นจำนวนเต็มเช่น 5.2 , 7.4 เป็นต้น

5. ผลของ harmonics

ผลของ harmonic เช่น เกิด eddy current loss, skin effect ในลวดตัวนำสายส่ง หรือในหม้อแปลง, จะรุนแรงหรือไม่ ขึ้นอยู่กับปริมาณ บางกรณีแม้ว่าโรงงานสร้าง harmonic ออกมาในระดับต่ำกว่าข้อกำหนด แต่มีการติดตั้ง power capacitor เพื่อปรับปรุง power factor ตรงตำแหน่งต่างๆ ในระบบ อาจทำให้ impedance ตรงจุดติดตั้งที่เป็น L (system impedance) ขนานกับ C (capacitor) ปริมาณ harmonics ในระบบอาจเพิ่มมากขึ้นจนเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์อย่างมาก เพราะอาจเกิด harmonic magnification หรือ เกิดวงจร resonance ขึ้นในระบบจ่ายไฟ ระหว่าง capacitor กับ reactance ของระบบ หรือ เกิดขึ้นในบางจุดตรง load group นั้นๆ เป็นต้น

6. harmonic standard

ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สร้าง harmonic ปริมาณมากออกมา แต่ไม่เห็นความจำเป็นที่ต้องแก้ไขปัญหามาจาก harmonic เพราะต้องใช้เงินลงทุนมาก แต่ harmonic ปริมาณมากดังกล่าวจะไหลเข้าไปรบกวนระบบของผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่น หรือไหลเข้าสู่ระบบของผู้ผลิตไฟฟ้า ดังนั้นผู้ผลิตไฟฟ้าจึงต้องมีข้อกำหนดกฎเกณฑ์ เรื่อง harmonic เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ และ อุปกรณ์ในระบบผลิต และ ระบบจำหน่าย เช่น ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ harmonic ที่เกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจ และอุตสาหกรรมของ 3 การไฟฟ้า

7. การลด harmonics

การร่วมมือระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟ หรือผู้ผลิตอุปกรณ์เป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญ

การลด harmonic ทำได้โดยใช้อุปกรณ์กรอง harmonic ออกจากระบบไฟฟ้า หรือเรียกว่า harmonic filter โดยให้ harmonic ไหลผ่านตัวมันหรือสร้างกระแสไฟฟ้าชดเชยจน harmonic หายไปแบ่งออกเป็น พาสซีฟฟิลเตอร์ (passive filter) และ แอคทีฟฟิลเตอร์ (active filter)

passive filter หมายถึง อุปกรณ์กรอง harmonic ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ตัวต้านทาน (R) รีแอคเตอร์ (L) และคาแพซิเตอร์ (C) ที่ได้รับการออกแบบให้มีค่า R, L และ C สัมพันธ์กันอาศัยหลักการ resonance แบบอนุกรมเหมือนลัดวงจร มี low impedance สำหรับ harmonic frequency แต่มีลักษณะเหมือน load ธรรมดาตัวหนึ่งตามความถี่ระบบ 50 Hz แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. tuned filter มีหน้าที่หลักคือ ปรับปรุงค่า PF และยังสามารถกรอง harmonic ปริมาณมาก ออกจากระบบแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 ฟิลเตอร์ความถี่เดียว (single tuned filter) คือ filter ที่ค่า impedance ของ filter เมื่อรวมผลของระบบทำให้มีค่าต่ำที่ tuned frequency และมีค่าสูงที่

ความถี่ต่ำกว่า tuned frequency

1.2 ฟิลเตอร์ high pass คือ filter ที่มีค่า impedance ต่ำที่ความถี่สูงเพื่อจะลด harmonic ที่ความถี่สูงกว่าที่จูน แต่การออกแบบทำได้ยากเนื่องจากต้องให้ค่า impedance ต่ำที่ความถี่สูง และการกำจัด harmonic ทั้งหมดออกอาจทำให้ filter มีขนาดใหญ่มาก

2. ดิจูนฟิลเตอร์ (detuned filter) มีหน้าที่หลักคือ ปรับปรุง PF และไม่ทำให้เกิด harmonic magnification ทั่วไปจะออกแบบให้ capacitor bank มี resonance frequency ต่ำกว่า frequency หลักต่ำสุดที่เกิดขึ้น เช่น tune ที่ ลำดับที่ 4 เมื่อมีลำดับที่ 5 หรือมากกว่า จากโรงงานจะเห็น bank นี้มีลักษณะเป็น L ทำให้ไม่เกิดการ magnify จาก capacitor bank

ข้อเสียของ passive filter คือ เป็น filter ที่ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับภาวะของโหลดลักษณะใดลักษณะหนึ่งเท่านั้น หากโหลดหรือระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่ได้เคยออกแบบไว้จะส่งผลกระทบต่อการทำงานเป็นอย่างมาก

active filter หมายถึงอุปกรณ์กรอง harmonic ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ power electronic และ วงจรคอมพิวเตอร์ ที่ร่วมกันทำหน้าที่วัด harmonic ในระบบไฟฟ้า ทำการวิเคราะห์ผล นำผลไปสร้าง harmonic ที่มีลำดับ และปริมาณเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม และจ่ายกระแส นั้นเข้าไปหักล้างกระแส harmonic ในระบบจนไม่ปรากฏ หรือลดกระแส harmonic active filter ออกแบบมาเป็นลักษณะโมดูลมาตรฐานที่สามารถเลือกใช้งานได้ และมีความยืดหยุ่นในการเลือกกรอง harmonic ได้ตั้งแต่ harmonic ที่ 2 ถึง 50 และยังสามารถกรองได้ถึง 15-20 ลำดับ harmonic พร้อมๆกัน ปัญหาของการใช้ฟิลเตอร์ชนิดนี้ คือมีราคาที่สูงกว่า passive มาก ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ปัญหา harmonic อย่างรอบคอบก่อนการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์เพื่อแก้ไข

8. fluctuating loads

8.1 ชนิดของ fluctuating loads

ปัญหาที่เกิดจาก fluctuation loads คือ ไฟฟ้ากระพริบ (light flicker) ความรุนแรงจะขึ้นกับความถี่ หรือจำนวนครั้งที่เกิด

- เกิดขึ้นนานๆ ครั้งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ load ที่ต่อเข้า-ปลดออก เช่นการ start motor ตัวใหญ่ๆ แบบ direct start การเดิน induction furnace การเกิดลัดวงจรในระบบ เป็นต้น
- การใช้ load ชนิดที่มีกระแสเป็น step หรือ ramp เช่น โรงรีดเหล็ก rolling mill การเชื่อมเหล็ก เป็นต้น ช่วงเวลาจะเป็นนาที่
- การเดิน load ของ arc furnace ที่มีกระแสไม่แน่นอน ตอนเริ่มต้นช่วง melt อาจยาวประมาณหนึ่งชั่วโมง จะมีกระแสไม่แน่นอนเนื่องจาก บางช่วง scrap จะแตะกับ electrode ทำให้เกิด short circuit เป็นช่วงๆ

8.2 ผลของ voltage fluctuation

ไฟฟ้ากระพริบทำให้คนเกิดความรำคาญที่ตามองเห็นแสงจากหลอดไฟกระพริบบ่อยๆ และภาคอุตสาหกรรมบางประเภทเกิดความเสียหายในการผลิต หรือ หากเกิดการกระพริบที่เป็นจังหวะสม่ำเสมอ อาจทำให้อุปกรณ์ควบคุม-ป้องกันบางอย่างทำงานผิด

8.3 การคำนวณค่า voltage fluctuation

การคำนวณอย่างง่ายๆ โดยใช้สมการทางไฟฟ้าหรือ phasor technic หากต้องการคำนวณที่ละเอียดอาจต้องใช้ load flow program หรือ กรณีที่มี generator เข้ามาเกี่ยวข้องต้องใช้ EMTP/transient stability program

9. standard

การประเมินความรุนแรงของไฟกระพริบ จะใช้ชั่วคราวนี้ไฟกระพริบระยะสั้น (Pst 10 min) และชั่วคราวนี้ไฟกระพริบระยะยาว (Plt 2-3 hrs) แต่เป็นเรื่องยากที่จะกำหนดมาตรฐาน เพราะแรงดันมีผลกับแสงจากหลอดไฟแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน เช่น แสงจาก incandescent lamp จะค่อนข้างเห็นชัดเจนมากกว่า fluorescent lamp และที่ที่มีแสงสว่างมาก จะชัดเจนกว่าที่มีแสงสว่างน้อย การกระพริบจากการทำงานของ arc furnace อาจพิจารณาจาก short circuit depression ratio คือ ratio ของ fault level ที่ตำแหน่ง electrode ต่อ fault level ที่จุด common coupling ถ้ามีค่ามากกว่า 2.2% อาจทำให้เกิดปัญหากับผู้ที่ใช้ไฟรายอื่น

10. การลด voltage fluctuation

มีแนวทางแก้ไขดังนี้

- ลดการเปลี่ยนแปลง reactive power อย่างกะทันหัน เช่น ลดกระแสของ motor ขณะ start ด้วย auto-transformer, star-delta start
- ใช้ reactive power compensation : เนื่องจาก load บางชนิดมีการเปลี่ยนแปลง reactive power อย่างกะทันหัน จึงต้องการ compensator ที่ทำงานอย่างรวดเร็ว
- การนำ fixed capacitor bank เข้าออกจากระบบ จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันอย่างรวดเร็ว การใช้ thyristor switched inductor / thyristor switched capacitor จะช่วยลดปัญหา
- ลด reactance ของระบบ หรือเพิ่ม fault level ที่จุด common coupling point หรือเปลี่ยนจุดรับไฟไปรับที่ระดับแรงดันสูงขึ้น หรือแยก fluctuating loads ไปรับไฟจากหม้อแปลงที่แยกออกไปจ่ายเฉพาะ