หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

คำว่า "คุณภาพกำลังไฟฟ้า" ถูกนำมาพูดถึงบ่อยครั้งเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งอาจเกิดจากแหล่งจ่ายไฟมีแรงดันต่ำกว่าความเป็นจริง หรือแรงดันมีรูปคลื่นไซน์ที่ไม่สมบูรณ์เนื่องมาจากสาเหตุใดก็ตาม ปัจจุบันสาเหตุที่สำคัญของการเพิ่มขึ้นของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าคือการนำอุปกรณ์จำพวก ไมโครโปรเซสเซอร์ และอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มาใช้กันมากขึ้น เพราะอุปกรณ์จำพวกนี้มีบทบาทสำคัญในการนำมาใช้งานสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิต อุปกรณ์ที่ใช้ในสำนักงานแบบอัตโนมัติ และอุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกสบายภายในที่พักอาศัย โดยเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังยังเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนขึ้นอีกด้วย ในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นถือว่าให้แรงดันรูปคลื่นไซน์ที่สมบูรณ์ ซึ่งจะถูกรบกวนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเหล่านี้ ส่วนระดับการทำงานที่สัมพันธ์กันของอุปกรณ์ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ โดยได้มีการพัฒนาขึ้นจากความร่วมมือกันของโรงงานผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง การไฟฟ้า ผู้ใช้ไฟฟ้า และยังคำนึงถึงสภาวะการทำงานโดยทั่วไปของระบบหลายๆระบบที่ไวต่อสภาพการทำงานของระบบไฟฟ้า ซึ่งค่าเหล่านี้จะนำมาใช้พิจารณาร่วมกัน ในการหาระดับการทำงานที่สัมพันธ์กัน

2.1 นิยามทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

คุณภาพกำลังไฟฟ้าคือ "ปัญหาใดก็ตามที่เกิดขึ้นกับแรงดัน และกระแส ที่เบี่ยงเบนไปจากรูปคลื่นไซน์ ตลอดจนการแปรเปลี่ยนของความถี่ ซึ่งส่งผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าและการไฟฟ้าไม่สามารถทำงานได้หรือเกิดการทำงานผิดพลาด"[1]

การศึกษาของโครงการนี้ได้ทำการศึกษามาตรฐาน 7 ฉบับด้วยกันคือ

1) IEEE Std.1159-1995 : *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.* ของประเทศสหรัฐอเมริกา [2]
2) prEN50160-1993: *Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems.* ของกลุ่มประชาคมยุโรป [3]
3) IEC 1000-2-1-1990 : *Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 2 - Environment, Section 1 - Description of the Environment-Electromagnetic Environment for Low-Frequency Conducted Disturbances and Signalling in Public Power Supply Systems.* มาตรฐานนานาชาติ [4]
4) IEC 1000-2-2-1990 : *Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 2 - Environment, Section 2 - Compatibility Levels for Low-Frequency Conducted Disturbances and Signalling in Public Low-Voltage Power Supply Systems.* มาตรฐานนานาชาติ [5]
5) IEC 1000-2-4-1994 : *Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 2 - Environment, Section 4 - Compatibility Levels in Industrial Plants for Low-Frequency Conducted Disturbences.* มาตรฐานนานาชาติ [6]
6) Engineering Recommendation G.5/3 -1976 *: Limits for Harmonics in the United Kingdom Electricity Supply System.* ของประเทศอังกฤษ [7] (เฉพาะฮาร์มอนิก)
7) IEEE Std. 519-1992 : *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.* ของประเทศสหรัฐอเมริกา [8] (เฉพาะฮาร์มอนิก)

นอกจากมาตรฐานต่างประเทศแล้ว โครงการนี้ได้รวบรวมมาตรฐานในประเทศที่การไฟฟ้าได้กำหนดขึ้นเพื่อให้การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ามีคุณภาพที่ดีขึ้นอีกด้วย ซึ่งรวบรวมเท่าที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

ในแต่ละมาตรฐานจะมีข้อกำหนดและลักษณะการใช้ของแต่ละมาตรฐานแตกต่างกันไป มาตรฐานดังกล่าวมีลักษณะดังนี้

1. International Electrotechnical Commission (IEC)

เทอมที่ใช้ในมาตรฐาน IEC คือการเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Compatibility :EMC) ซึ่งกำหนดคำว่า EMC เป็นความสามารถของชิ้นส่วนอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบฟังก์ชันการทำงาน ที่สามารถทำงานได้เป็นที่น่าพอใจในสภาพแวดล้อมทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทนต่อสิ่งรบกวนทางสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมนั้น
มาตรฐาน IEC ที่กล่าวเกี่ยวกับคุณภาพกำลังไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มด้วยกันคือ

1) General กล่าวถึงคำจำกัดความและถ้อยคำทางวิชาการ (IEC 1000-1-x)
2) Environment กล่าวถึงคุณลักษณะโดยทั่วไปที่อุปกรณ์จะสามารถทำงานได้ (IEC 1000-2-x)
3) Limits กำหนดระดับการแผ่กระจายของสิ่งรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์ต่อร่วมกับระบบไฟฟ้ากำลัง (IEC 1000-3-x)
4) Testing and Measurement Techniques ให้รายละเอียดของการวัด อุปกรณ์และกระบวนการทดสอบ เพื่อความแน่ใจว่าจะผ่านเกณฑ์ต่างๆของมาตรฐาน (IEC 1000-4-x)
5) Installation and Mitigation Guidelines ให้แนวทางในการประยุกต์ใช้งานของอุปกรณ์เพื่อลดความรุนแรงของสิ่งรบกวน หรือ การป้องกันอุปกรณ์ เช่น ติดตั้งตัวกรอง ตัวปรับปรุงกำลังไฟฟ้า ตัวป้องกันแรงดันเกิน ฯลฯ ที่สามารถปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้ (IEC 1000-5-x)
6) Generic and Product Standard กำหนดระดับที่สามารถทนต่อสิ่งรบกวนได้ของอุปกรณ์ในประเภททั่วไป และประเภทเจาะจงของอุปกรณ์ (IEC 1000-6-x)

ปรากฏการณ์สิ่งรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่พิจารณาใน IEC 1000-2-x มีดังนี้

- Harmonics
- Inter-harmonics
- Voltage fluctuations
- Voltage dips and short supply interruptions
- Mains signalling
- Power frequency variation
- D.C.components (อยู่ภายใต้การพิจารณา)

2. European Committee for Electrotechnical Standardization (prEN50160-1993)

เป็นมาตรฐานที่อธิบายถึงคำนิยามและคุณลักษณะที่สำคัญของแรงดันที่เกี่ยวกับความถี่ ขนาด รูปคลื่น และความสมดุลของแรงดันทั้งสามเฟส ณ จุดจ่ายไฟให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าภายใต้การใช้งานในสภาวะปกติ ทั้งระบบแรงดันต่ำ(น้อยกว่า 1000 Vrms) และ แรงดันปานกลาง(1 kVrms ถึง 35 kVrms) ซึ่งมาตรฐานนี้ได้อธิบายคุณภาพกำลังไฟฟ้าว่าอยู่ในช่วงระดับใดที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับการบริการ

3. Institute of Electrical and Electronics Engineerings (IEEE)

เป็นองค์กรมาตรฐานของประเทศสหรัฐอมริกาทั้ง ANSI และ IEEE มาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ให้แนวทางการปฏิบัติและทฤษฎีพื้นฐานของปรากฏการณ์ ซึ่งจะมีเอกสารทางมาตรฐานมากพอไว้ให้อ้างอิง เอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพกำลังไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 2.1

จากผลการศึกษาได้แบ่งกลุ่มปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าไว้ 7 กลุ่มดังนี้

1) ภาวะชั่วครู่ (Transients)

2) การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลาสั้น (Short Duration Variations)

3) การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลายาว (Long Duration Variations)

4) แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

5) ความผิดเพี้ยนรูปคลื่น (Waveform Distortions)

6) แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

7) การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า (Power Frequency Variation)

แต่ละกลุ่มยังสามารถแยกย่อยลงไปได้อีกและมีคุณลักษณะของปรากฏการณ์ดังต่อไปนี้

Organization	Std.	Title/Scope
ANSI/IEEE	141	Industrial Electric Power Systems
	142	Industrial & Commercial Power System Grounding
	241	Commercial Electric Power Systems
	242	Industrial & Commercial Power System Protection
	399	Industrial & Commercial Power System Analysis
	446	Industrial & Commercial Power System Emergency Power
	493	Industrial & Commercial Power System Reliability
	518	Control of Noise in Electronic Controls
	519	Harmonics in Power Systems
	602	Power Systems in Health Care Facilities
	739	Energy Conservation in Industrial Power Systems
	929	Interconnection Practices for Photovoltaic Systems
	1001	Interfacing Dispersed Storage and Generation
	1035	Test Procedures for Interconnecting Static Power
	1050	Grounding of Power Station Instrumentation & Control
ANSI	C62	Guides & Standards on Surge Protection
	C84.1	Voltage Ratings for Power Systems & Equipment
	C37	Guides and Standards for Relaying & Overcurrent
	C57.110	Transformer Derating for Supplying Nonlinear Loads
IEEE	P487	Wire Line Communication Protection in Power Stations
	1100	Powering and Grounding Sensitive Equipment
	P1159	Monitoring and Definition of Electric Power Quality
	P1250	Guide on Equipment Sensitive to Momentary Voltage
	P1346	Guide on Compatibility for ASDs and Process Controllers
NEMA	UPS	Uninterruptible Power Supply Specification
NFFA	70	National Electric Code
	75	Protection of Electronic Computer Data Processing
	78	Lightning Protection Code for Buildings
NIST	94	Electric power for ADP Installations
	SP678	Overview of Power Quality and Sensitive Electrical
UL	1449	Standards for Safety of Transient Voltage Surge

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพกำลังไฟฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกา

2.1.1 ภาวะชั่วครู่ (Transients)

คือปรากฏการณ์ที่มีแรงดันหรือกระแสที่มีขนาดสูง เกิดขึ้นมาในระบบไฟฟ้ากำลังอย่างรวดเร็ว มักเกิดจากฟ้าผ่าดังตัวอย่างรูปที่ 2.1 หรือการสวิตช์ชุดเก็บประจุ ตัวอย่างดังรูปที่ 2.2 บางครั้งอาจเรียกว่า Surge หรือ Spike ขึ้นอยู่กับการนิยามคุณสมบัติที่สำคัญของแต่ละตัว ซึ่งได้แก่ ความถี่ ขนาด และ ระยะเวลาในการเกิด ตารางต่อไปนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าโดยทั่วไปของมาตรฐานที่กล่าวถึงปรากฏการณ์นี้

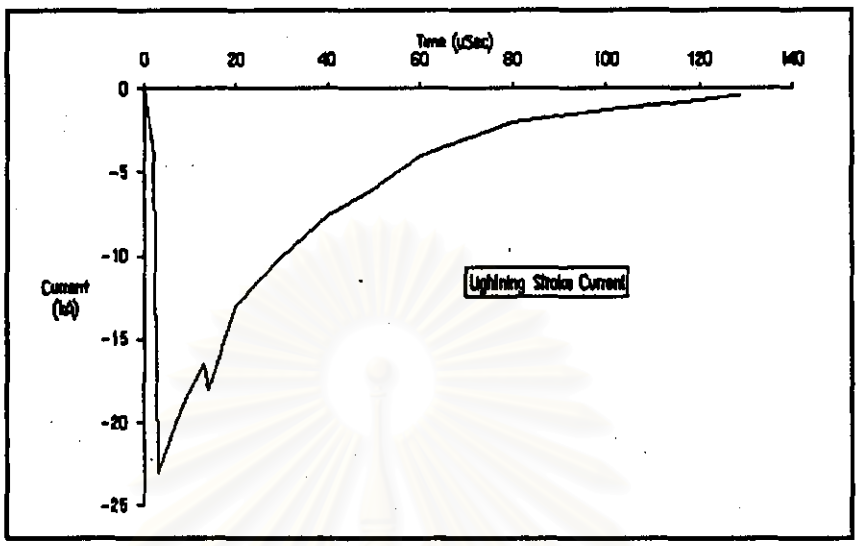
มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-1 -1990	prEN50160 -1993	IEEE Std.1159-1995	
ชื่อ	na	Transient Overvoltage	Impulsive Transient	Oscillatory Transient
ขนาด (PU)	na	na	na	0-8
ช่วงระยะเวลา	na	na	ns-ms	µs-ms
ความถี่	na	< ms	10 kHz-200 MHz	kHz-MHz

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์ภาวะชั่วครู่

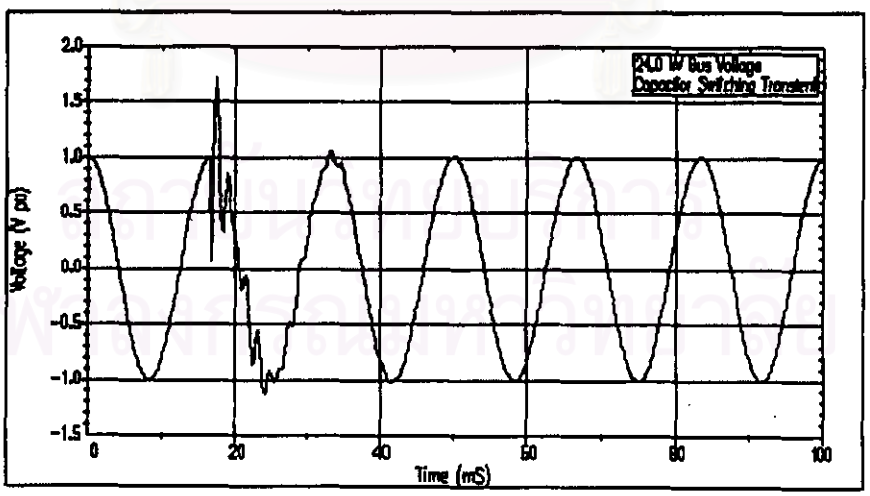
2.1.2 การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลาสั้น (Short Duration Variations)

คือปรากฏการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันหรือกระแสเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ส่วนมากเกิดจากสภาวะความผิดพร่อง(fault) ซึ่งปรากฏการณ์ทางคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่อยู่ในกลุ่มนี้คือ แรงดันตกชั่วครู่(Voltage Sags) แรงดันเกินชั่วครู่(Voltage Swells) หรือ ไฟฟ้าดับชั่วครู่ (Short Interruptions) แต่ละปรากฏการณ์มีลักษณะดังนี้

1. **แรงดันตกชั่วครู่** (Voltage Dip or Sag) คือการที่ค่าแรงดันมีขนาดลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันปกติในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และ กลับสู่ค่าปกติในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวก็คือช่วงระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วครู่ โดยมากเกิดจากความผิดพร่องที่มีอยู่ในระบบดังแสดงในรูปที่ 2.3 หรือการเริ่มเดินเครื่องของภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีตัวแปรที่สำคัญอยู่ 2 ตัวคือ



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างกระแสฟ้าฝ่าที่ทำให้เกิดภาวะชั่วครู่ชนิดอิมพัลส์(Impulsive Transient)ขึ้นบนระบบจำหน่าย



รูปที่ 2.2 ภาวะชั่วครู่ชนิดแกว่ง(Oscillatory Transient)ที่เกิดจากการต่อตัวเก็บประจุเข้าไปในระบบ

ขนาด และ ระยะเวลา แต่ละมาตรฐานได้มีการกำหนด ชื่อ ขนาด และระยะเวลาที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป แตกต่างกันดังตารางต่อไปนี้

มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-1-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	Voltage Dips	Voltage Dips	Voltage Sags
ขนาด (PU)	0.0-0.9	0.01-0.9	0.1-0.9
ระยะเวลา	½ c - few sec	10 ms - 1 min	½ c - 1 min

ตารางท 2.3 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณแรงดนตกชวครู

2. แรงดันเกินชั่วครู่ (Temporary Overvoltage or Swell) คือการที่ค่าแรงดันมีขนาดสูงกว่าค่าแรงดันปกติในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และ กลับสู่ค่าปกติในช่วงระยะเวลาหนึ่ง รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างแรงดันเกินชั่วครู่ที่เกิดจากความผิดพร่องชนิดเฟสเดียวต่อกราวด์ มีตัวแปรที่สำคัญเหมือนกับแรงดันตกชั่วครู่ และค่าที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

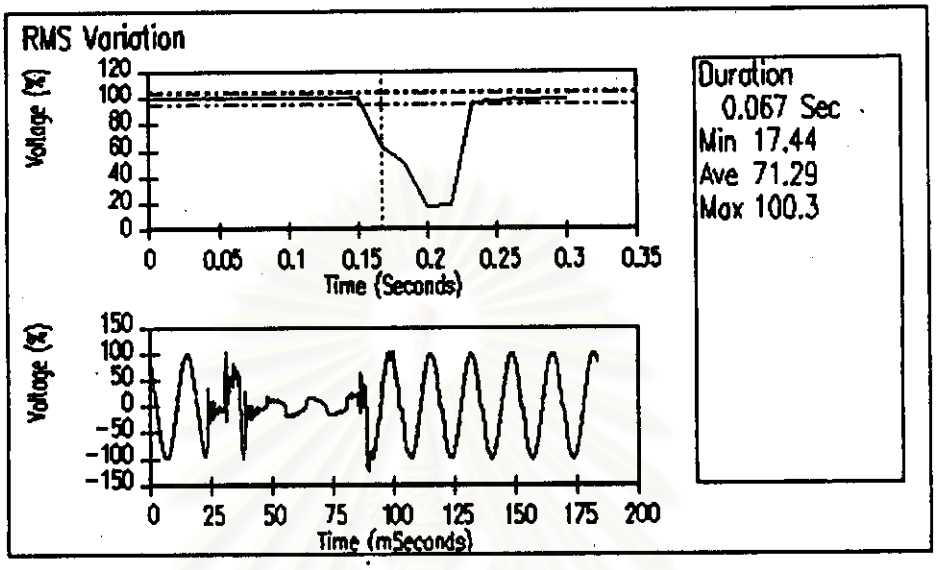
มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-1-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	na	Temporary Overvoltage	Voltage Swells
ขนาด(PU)	na	< 1.7 * < 2.0 **	1.1-1.8
ระยะเวลา	na	na	0.5 c-1 min

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันเกินชั่วครู่

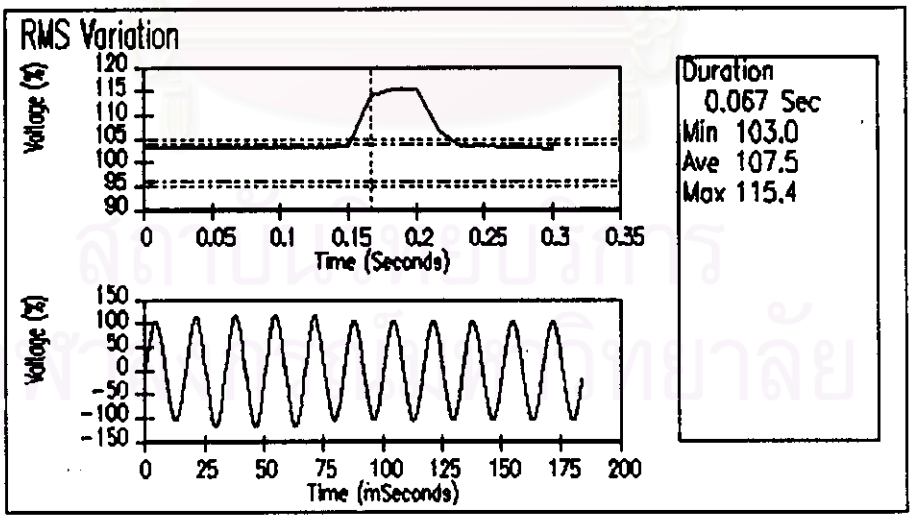
หมายเหตุ * In systems with a solidly or impedance earthed neutral

** In isolated or resonant earthed systems

เป็นค่าที่กำหนดในระดับแรงดัน 1 kV ถึง 35 kV



รูปที่ 2.3 แรงดันตกชั่วครู่ที่เกิดจากความผิดพร่องชนิดเฟสเดียวต่อกราวด์

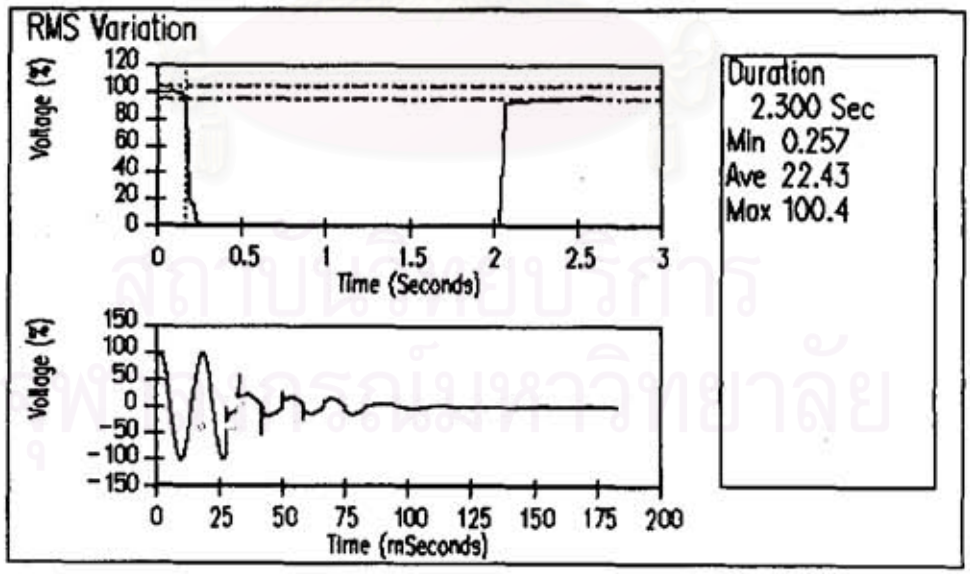


รูปที่ 2.4 แรงดันเกินชั่วครู่ที่เกิดจากความผิดพร่องชนิดเฟสเดียวต่อกราวด์

3. **ไฟฟ้าดับชั่วครู่** (Short Interruption) คือการที่ค่าแรงดันมีค่าต่ำกว่าแรงดันปกติมาก เกือบจะเป็นศูนย์หรือเป็นศูนย์ โดยเกิดในช่วงเวลาสั้นๆ ส่งผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่สามารถทำงานได้ อาจเกิดมาจากความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังดังรูปที่ 2.5 ตัวแปรที่สำคัญของปรากฏการณ์นี้โดยมากจะเน้นความสำคัญที่ระยะเวลาของการเกิดมากกว่า ความแตกต่างกันของแต่ละมาตรฐานแสดงได้ดังนี้

มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-1-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	Short Supply Interruptions	Short Interruptions	Interruptions
ขนาด (PU)	0.0	< 0.01	< 0.1
ระยะเวลา	< 1 min	≤ 3 min	≤ 1 min

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์ไฟฟ้าดับชั่วครู่



รูปที่ 2.5 ไฟฟ้าดับชั่วครู่ที่เกิดจากความผิดพร่องและผลของการต่อวงจรกลับ

2.1.3 การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลายาว (Long Duration Variations)

เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดในช่วงระยะเวลานาน มักเกี่ยวกับการเบี่ยงเบนของค่าแรงดันประสิทธิผลที่ความถี่กำลังไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเป็นได้ทั้งแรงดันเกิน(Overvoltage) หรือแรงดันตก(Undervoltage) และไฟฟ้าดับถาวร(Long Interruption) ซึ่งตัวแปรที่สนใจก็คือ ขนาดและระยะเวลาของการเกิด

1. แรงดันเกิน (Overvoltage) คือแรงดันที่มีค่าสูงกว่าค่าแรงดันปกติในช่วงเวลานาน มักจะมีขนาดของแรงดันไม่สูงมากนักแต่เกิดด้วยระยะเวลานาน จึงส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทำให้ได้รับความเสียหายได้ โดยทั่วไปจะดูค่าเป็นแรงดันประสิทธิผลกับเวลา ตารางต่อไปนี้แสดงถึงค่าโดยทั่วไปของมาตรฐานที่กล่าวถึงปรากฏการณ์นี้

มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-1-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	na	na	Overvoltages
ขนาด (PU)	na	na	1.1-1.2
ระยะเวลา	na	na	>1 min

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันเกิน

2. แรงดันตก (Undervoltage) คือการที่แรงดันมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันปกติในช่วงเวลานาน ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่สามารถทำงานได้ เกิดจากการสวิตช์ภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่ หรือการปลดชุดตัวเก็บประจุออกจากระบบ มาตรฐานที่กล่าวถึงจะบอกขนาดและเวลาที่เกิดดังนี้

มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-1-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	na	na	Undervoltages
ขนาด (PU)	na	na	0.8-0.9
ระยะเวลา	na	na	> 1 min

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันตก

3. ไฟฟ้าดับถาวร (Long Interruption) **คือการที่แรงดันมีค่าต่ำมากเกิดในช่วงเวลานาน โดยมากมักเกิดนอกเหนือการควบคุมของการไฟฟ้า เช่น เกิดอุบัติเหตุรถชนเสาไฟฟ้า หรือ อุปกรณ์ตัดตอนทำงานผิดพลาด เป็นต้น ตัวแปรที่สำคัญคือระยะเวลาของการเกิด ความแตกต่างกันของแต่ละมาตรฐานแสดงได้ดังนี้**

มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-1-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	na	Long Interruptions	Sustained Interruptions
ขนาด (PU)	na	< 0.01	< 0.1
ระยะเวลา	na	> 3 min	>1 min

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์ไฟฟ้าดับถาวร

2.1.4 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

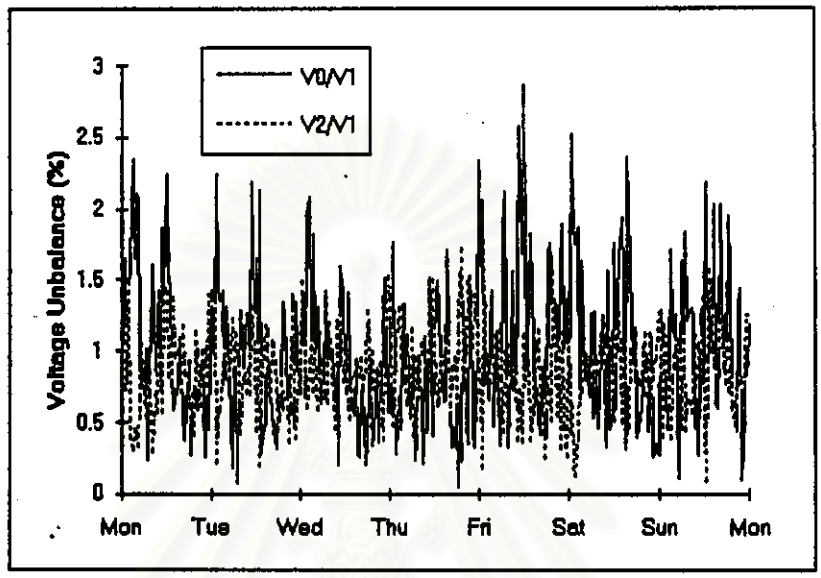
แรงดันไม่สมดุล คือการที่แรงดันของระบบ 3 เฟสมีขนาดในแต่ละเฟสไม่เท่ากันหรือมีมุมเฟสเบี่ยงเบนจาก 120° หรือเกิดขึ้นทั้งสองอย่างพร้อมกัน นิยามได้จากอัตราส่วนขององค์ประกอบลำดับลบ(Negative Sequence)หรือองค์ประกอบลำดับศูนย์(Zero Sequence)ต่อองค์ประกอบลำดับบวก(Positive Sequence) รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างของแนวโน้มของการเกิดแรงดันไม่สมดุลที่วัดบนจุดสายป้อนของผู้ใช้ไฟฟ้า ตารางต่อไปนี้แสดงค่าจำกัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปรากฏการณ์ได้ดังนี้

มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-2-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	Voltage Unbalance	Voltage Unbalance	Voltage Imbalance
เปอร์เซ็นต์ (%)	< 2 *	< 2 **	0.5-2

ตารางที่ 2.9 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันไม่สมดุล

หมายเหตุ * for negative seq. except during faults (nominal voltage up to 240 V, single phase or 415 V, three-phase)

** 95% of 10 minute avg. rms values of negative seq. shall be within 0 to 2% of positive seq. for duration of one week



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแนวโน้มของแรงดันไม่สมดุลของสายป้อนตามบ้านพักอาศัย

2.1.5 ความผิดเพี้ยนรูปคลื่น (Waveform Distortions)

การผิดเพี้ยนของรูปคลื่น คือ การเบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวของรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ทางกำลังไฟฟ้า และสามารถอธิบายคุณลักษณะได้โดยแยกองค์ประกอบทางความถี่ออกมา

การผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแบ่งออกได้เป็น 6 ชนิดคือ

1) องค์ประกอบไฟตรง (Dc offset)

2) ฮาร์มอนิก (Harmonic)

3) อินเตอร์ฮาร์มอนิก (Interharmonic)

4) คลื่นรอยบาก (Notching)

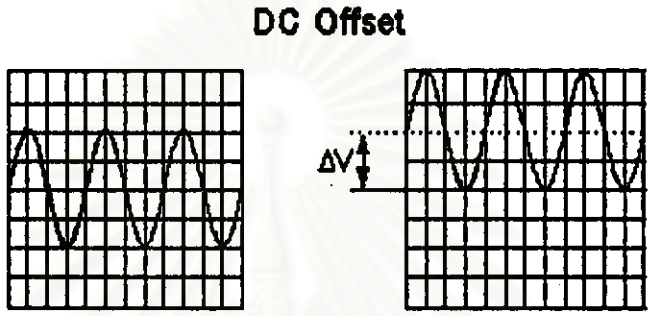
5) สัญญาณรบกวน (Noise)

6) รูปคลื่นผิดพร่อง (Waveshape Fault)

แต่ละชนิดอธิบายได้ดังต่อไปนี้

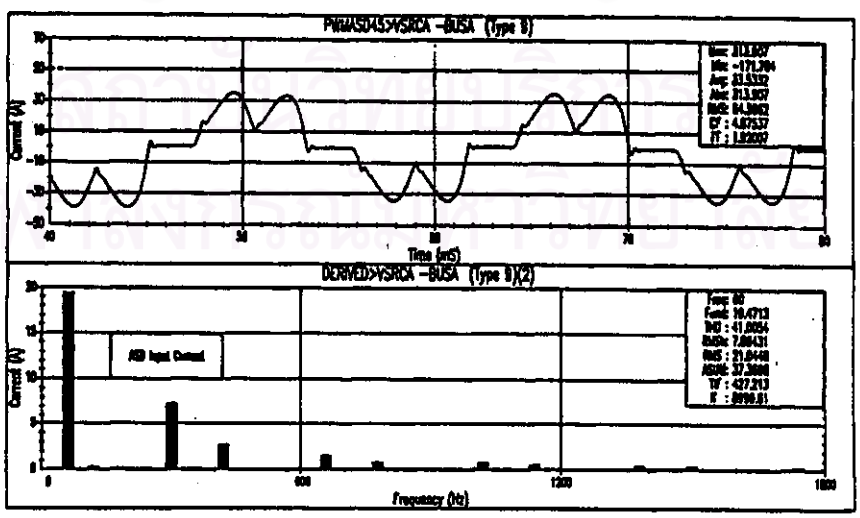
1.องค์ประกอบไฟตรง (Dc offset) **คือการที่มีกระแสหรือแรงดันไฟตรงปะปนอยู่ในระบบกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ เกิดจากสิ่งรบกวนทางแม่เหล็กของโลก(geomagnetic) หรือเป็นผลมาจากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ทำให้เกิดการอิ่มตัวของหม้อแปลง เพิ่มความเครียดต่อฉนวนและผลอันไม่พึงประสงค์อื่นๆได้**

หมายเหตุ ในแต่ละมาตรฐานยังไม่ได้กล่าวถึงค่าที่ออกมาเป็นตัวเลข



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างปรากฏการณ์ขององค์ประกอบไฟตรง

2. ฮาร์มอนิก (Harmonic) **คือแรงดันหรือกระแสรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล(50 หรือ 60 เฮิรตซ์) ฮาร์มอนิกที่ปนกับความถี่หลักมูลทำให้เกิดแรงดัน หรือกระแสมีรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยน ซึ่งความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นมานี้เป็นผลของคุณลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทไม่เป็นเชิงเส้นที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้ากำลัง** รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสและฮาร์มอนิกของกระแสชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้

จากมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฮาร์มอนิก สามารถสรุปการกำหนดค่าจำกัดของฮาร์มอนิกได้ใน 2 ลักษณะคือ ค่าจำกัดแรงดันฮาร์มอนิก และค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิก

1. ค่าจำกัดแรงดันฮาร์มอนิก

ค่าจำกัดแรงดันฮาร์มอนิกจะถูกกำหนดทั้งค่า THD (Total Harmonic Distortion) และ Vh (Individual harmonic Voltage) โดยคิดเป็นร้อยละเทียบกับแรงดันความถี่หลักมูล หรือแรงดันที่ระบุของระบบ ทั้งนี้แล้วแต่มาตรฐานแต่ละฉบับจะกำหนดนิยามไว้

จากการศึกษามาตรฐาน 5 ฉบับสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ดังแสดงในตารางที่ 2.14 ซึ่งสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

ก. มาตรฐาน IEEE Std. 519-1992

แบ่งแรงดันออกเป็น 3 กลุ่ม

- 120 V ถึง 69 kV เรียก General Distribution Systems กำหนดให้ THD $\leq$ 5.0% และ Vh $\leq$ 3.0% ทั้งฮาร์มอนิกลำดับคู่และคี่

- สูงกว่า 69 kV ถึง 161 kV เรียก General Subtransmission Systems กำหนดให้ THD $\leq$ 2.5% และ Vh $\leq$ 1.5% ทั้งฮาร์มอนิกลำดับคู่และคี่

- สูงกว่า 161 kV ขึ้นไป เรียก General Transmission Systems และรวมถึงระบบ Dispersed Generation และ Cogeneration ด้วย กำหนดให้ THD $\leq$ 1.5% และ Vh $\leq$ 1.0% ทั้งฮาร์มอนิกลำดับคู่และคี่

ข. มาตรฐาน G.5/3 - 1976

แบ่งระดับแรงดันออกเป็น 4 กลุ่ม

- 415 V กำหนดให้ THD $\leq$ 5.0% และ Vh ลำดับเลขคี่มีค่า $\leq$ 4.0% ส่วน Vh ลำดับเลขคู่มีค่า $\leq$ 2.0%

- 6.6 kV และ 11kV กำหนดให้ THD $\leq$ 4.0% และ Vh ลำดับเลขคี่มีค่า $\leq$ 3.0% ส่วน Vh ลำดับเลขคู่มีค่า $\leq$ 1.75%

- 33 kV และ 66 kV กำหนดให้ THD $\leq$ 3.0% และ Vh ลำดับเลขคี่มีค่า $\leq$ 2.0% ส่วน Vh ลำดับเลขคู่มีค่า $\leq$ 1.0%

- 132 kV กำหนดให้ THD $\leq$ 1.5% และ Vh ลำดับเลขคี่มีค่า $\leq$ 1.0% ส่วน Vh ลำดับเลขคู่มีค่า $\leq$ 0.5%

ค. มาตรฐาน IEC 1000-2-2-1990

ใช้กับระบบแรงดันต่ำไม่เกิน 240 V สำหรับระบบ 1 เฟส และไม่เกิน 415 V สำหรับระบบ 3 เฟส โดยกำหนดค่า THD ไม่เกิน 8.0% สำหรับ Vh จะกำหนดค่าจำกัดโดยขึ้นกับค่าลำดับฮาร์มอนิก ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.10

Odd harmonics non-multiple of 3		Odd harmonics multiple of 3		Even harmonics	
Harmonic order h	Harmonic voltage %	Harmonic order h	Harmonic voltage %	Harmonic order h	Harmonic voltage %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			>12	0.2
25	1.5				
>25	0.2+0.5 x 25/h				

ตารางที่ 2.10 Compatibility levels for individual harmonic voltages in low voltage networks

ง. มาตรฐาน IEC 1000-2-4-1994

ใช้กับระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับโรงงานอุตสาหกรรม และ non-public networks (ไม่รวมระบบไฟฟ้าในเรือ เครื่องบิน และฐานนอกชายฝั่ง) ซึ่งแบ่งระบบออกเป็น 3 Class ดังนี้

Class 1 สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ที่ไวต่อสิ่งรบกวนจากระบบไฟฟ้า (very sensitive to disturbance)

Class 2 ระบบที่จ่ายไฟให้กับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Class 3 ระบบที่จ่ายไฟให้กับโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีอุปกรณ์ที่สร้างสิ่งรบกวนในระบบไฟฟ้าได้ง่าย

สำหรับ Class 1, Class 2 และ Class 3 จะกำหนดให้ THD มีค่าไม่เกิน 5.0%,8.0% และ 10.0% ตามลำดับ สำหรับ Vh (รวม Interharmonic ด้วย) จะกำหนดค่าจำกัดโดยขึ้นกับลำดับฮาร์มอนิก ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.11

จ. มาตรฐาน prEN 50160-1993

แบ่งระดับแรงดันออกเป็น 2 กลุ่ม คือแรงดันไม่เกิน 1000 V และ สูงกว่า 1 kV จนถึง 35 kV ทั้ง 2 กลุ่มกำหนดให้ THD มีค่า $\leq$ 8.0% สำหรับ Vh จะกำหนดค่าจำกัดโดยขึ้นกับลำดับของฮาร์มอนิก ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.12 และ 2.13 (ปัจจุบันค่าจำกัดทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเท่ากัน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.11 Compatibility levels for individual harmonic voltages in 3 classes of environment

Odd harmonics								Even harmonics				Inter-harmonics			
non-multiples of 3				multiples of 3											
Order h	class1 Vh (%)	class2 Vh (%)	class3 Vh (%)	Order h	class1 Vh (%)	class2 Vh (%)	class3 Vh (%)	Order h	class1 Vh (%)	class2 Vh (%)	class3 Vh (%)	Order h	class1 Vh (%)	class2 Vh (%)	class3 Vh (%)
5	3	6	8	3	3	5	6	2	2	2	3	<11	0.2	0.2	2.5
7	3	5	7	9	1.5	1.5	2.5	4	1	1	1.5	11 to 13 included	0.2	0.2	2.25
11	3	3.5	5	15	0.3	0.3	2	6	0.5	0.5	1	13 to 17 included	0.2	0.2	2
13	3	3	4.5	21	0.2	0.2	1.75	8	0.5	0.5	1	17 to 19 included	0.2	0.2	2
17	2	2	4	>21	0.2	0.2	1	10	0.5	0.5	1	19 to 23 included	0.2	0.2	1.75
19	1.5	1.5	4					>10	0.2	0.2	1	23 to 25 included	0.2	0.2	1.5
23	1.5	1.5	3.5									>25	0.2	0.2	1
25	1.5	1.5	3.5												
>25	0.2+12.5/h	0.2+12.5/h	$5x\sqrt{11/h}$												

ตารางที่ *2.12 Values of individual harmonic voltages at the supply terminals for orders up to 25 given in percent of U_n (Nominal Voltage of the system) (Un ≤ 1000V)*

odd harmonics				even harmonics	
not multiples of 3		multiples of 3			
order h	relative voltage	order h	relative voltage	order h	relative voltage
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1.5 %	4	1 %
11	3.5 %	15	0.5 %	6...24	0.5 %
13	3 %	21	0.5 %		
17	2 %				
19	1.5 %				
23	1.5 %				
25	1.5 %				

Note: No values are given for harmonics of order higher than 25, as they are usually small, but largely unpredictable due to resonance

ตารางที่ 2.13 *Values of individual harmonic voltages at the supply terminals for orders up to 25 given in percent of Uc (Declared supply voltage) (1 kV < Uc ≤ 35 kV)*

odd harmonics				even harmonics	
not multiples of 3		multiples of 3			
order h	relative voltage	order h	relative voltage	order h	relative voltage
5	6 %	3	5 %*	2	2 %
7	5 %	9	1.5 %	4	1 %
11	3.5 %	15	0.5 %	6...24	0.5 %
13	3 %	21	0.5 %		
17	2 %				
19	1.5 %				
23	1.5 %				
25	1.5 %				

*) Depending on the network design the value for the third harmonic order can be substantionally lower.

Note : No values are given for harmonics of order higher than 25, as they are usually small, but largely unpredictable due to resonance effects.

ตารางที่ 2.14 การเปรียบเทียบค่าจำกัดแรงดันฮาร์มอนิกจากมาตรฐานจำนวน 5 ฉบับ

IEEE Std. 519-1992				G.5/3-1976				IEC 1000-2-2-1990				IEC 1000-2-4-1994					prEN50160-1993			
Vs (kV)	% THD	%Vh Odd	%Vh Even	Vs (kV)	% THD	%Vh Odd	%Vh Even	Vs (kV)	% THD	%Vh Odd	%Vh Even	Vs (kV)	% THD	%Vh Odd	%Vh Even	%Vh Inter	Vs (kV)	% THD	%Vh Odd	%Vh Even
Dist.	5.0	3.0	3.0	0.415	5.0	4.0	2.0	0.415	8.0	T2.10	T2.10	Class1	5.0	T2.11	T2.11	T2.11	≤1.0	8.0	T2.12	T2.12
≤69				6.6	4.0	3.0	1.75					Class2	8.0	T2.11	T2.11	T2.11				
				11	4.0	3.0	1.75					Class3	10.0	T2.11	T2.11	T2.11	>1 to 35	8.0	T2.13	T2.13
Sub	2.5	1.5	1.5	33	3.0	2.0	1.0													
Tr.				66	3.0	2.0	1.0													
>69																				
to																				
161				132	1.5	1.0	0.5													
Trans.	1.5	1.0	1.0																	
>161																				

หมายเหตุ T2.10, T2.11 ... = ตารางที่ 2.10, 2.11, ...

2. ค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิก

ค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิกที่กำหนดไว้ในมาตรฐานมีรูปแบบ และค่าที่แตกต่างกันดังนี้

ก. มาตรฐาน IEEE Std. 519-1992

แบ่งระบบออกเป็น 3 กลุ่ม คือ Distribution Systems, Subtransmission System และ Transmission System ค่าจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกมีรายละเอียดดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.15 ถึง 2.17 และค่าจำกัดของกระแสฮาร์มอนิกจะขึ้นอยู่กับขนาดของผู้ใช้ไฟฟ้าในเทอมของ I_{SC}/I_L

ข. มาตรฐาน G.5/3-1976

มาตรฐานนี้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 Stage

Stage 1 ไม่ต้องพิจารณาเรื่องฮาร์มอนิก หากติดตั้ง Convertor หรือ A.C.Regulator มีขนาดใหญ่ไม่เกินที่กำหนดในตารางที่ 2.18

Stage 2 หากอุปกรณ์มีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดใน Stage 1 ต้องจำกัดให้กระแสฮาร์มอนิกไหลเข้าสู่ระบบได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.19

Stage 3 หากไม่สามารถจำกัดกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลเข้าสู่ระบบตามที่กำหนดใน Stage 2 ได้ต้องทำการวิเคราะห์ระบบทางด้านฮาร์มอนิกอย่างละเอียด ก่อนที่จะได้รับอนุญาตจากการไฟฟ้าให้ใช้ไฟฟ้าได้

ส่วนมาตรฐาน IEC 1000-2-2-1990 , IEC 1000-2-4-1994 และ prEN50160-1993 ไม่ได้กำหนดค่ากระแสฮาร์มอนิกเอาไว้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.15 *Current Distortion Limits for General Distribution Systems (120 V Through 69 000 V)*

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
	Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)					
I_{sc}/I_L	<11	11≤h <17	17≤h <23	23≤h <35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
≥1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25 % of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L.

Where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.16 Current Distortion Limits for General Subtransmission Systems (69 001 V Through 161 000 V)

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
	Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)					
I_{sc}/I_L	<11	11≤h <17	17≤h <23	23≤h <35	35≤h	TDD
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
≥1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

Even harmonics are limited to 25 % of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L.

Where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

ตารางที่ 2.17 Current Distortion Limits for General Transmission Systems (>161 kV), Dispersed Generation and Cogeneration

	Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)					
ISC/ IL	<11	11≤h <17	17≤h <23	23≤h <35	35≤h	TDD
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Even harmonics are limited to 25 % of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual ISC/IL.

Where

Isc = maximum short-circuit current at PCC.

IL = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

ตารางที่ 2.18 Maximum sizes of individual Convertor and A.C. Regulator equipments under stage 1 limits

Supply System Voltage (kV) at Point of Common Coupling	3-Phase Convertors			3-Phase A.C. Regulators	
	3-Pulse (kVA)	6-Pulse (kVA)	12-Pulse (kVA)	6-Thyristor (kVA)	3-Thyristor/ 3- Diode (kVA)
0.415	8	12	-	14	10
6.6 and 11	85	130	250*	150	100

* This limit applies to 12-pulse devices, and to combinations of 6-pulse devices always operated as 12-pulse devices, employing careful control of the firing angles and the d.c. ripple to minimize non-characteristic harmonics, e.g. 3rd, 5th and 7th.

ตารางที่ 2.19 Permitted harmonic currents for any one consumer at point of common coupling under stage 2 limits[Ø]

Supply System Voltage (kV) at Point of Common Coupling	Harmonic Number and Current (A rms.)																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.415	48	34	22	56	11	40	9	8	7	19	6	16	5	5	5	6	4	6
6.6 and 11	13	8	6	10	4	8	3	3	3	7	2	6	2	2	2	2	1	1
33	11	7	5	9	4	6	3	2	2	6	2	5	2	1	1	2	1	1
132	5	4	3	4	2	3	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1

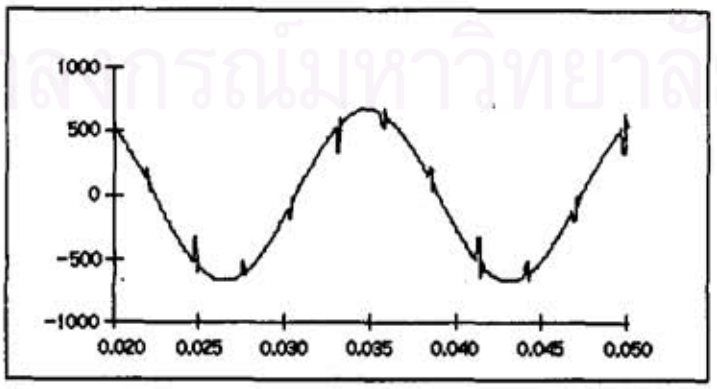
Ø : A tolerance of +10% or 0.5 A (whichever is the greater) is permissible, provided it applies to not more than two harmonics.

ตารางที่ 2.20 การเปรียบเทียบค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิกจากมาตรฐานจำนวน 2 ฉบับ

IEEE Std. 519-1992		G.5/3-1976	
System	Harmonic Limits	Stage	Harmonic Limits
Dist.	T2.15	Stage 1	
≤ 69 kV		3ø	T2.18
Sub. Tr.	T2.16 (50% of T2.15)	1ø	≤ 5kVA for 240V
> 69 to 161 kV			≤ 7.5 kVA for 415 or 480V
Trans.	T2.17 (≅30% of T2.15)	Stage 2	
> 161 kV		3ø	T2.19
		1ø	Not Recommended
		Stage 3	Harmonic Simulation must be done

3. อินเตอร์ฮาร์มอนิก (Interharmonic) **คือแรงดันหรือกระแสรูปคลื่นไซน์ ที่มีความถี่ไม่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล พบมากในทุกระดับของแรงดัน และทุกย่านความถี่อีกด้วย ตารางค่าจำกัดของมาตรฐานอินเตอร์ฮาร์มอนิกนี้ส่วนใหญ่อยู่รวมกับมาตรฐานฮาร์มอนิก**

4. คลื่นรอยบาก (Notching) **คือสิ่งรบกวนทางแรงดันที่เกิดเป็นสัญญาณรายคาบ ปรากฏการณ์นี้ถือได้ว่าเป็นเหตุการณ์ที่อยู่กลั้กึ่งระหว่างทรานเซียนท์และฮาร์มอนิก ซึ่งนอทช์นี้เกิดแบบต่อเนื่อง สามารถอธิบายคุณลักษณะได้ด้วยวิธีการเดียวกับองค์ประกอบของฮาร์มอนิกแต่เนื่องจากนอทช์นี้มีความถี่ที่สูงกว่าฮาร์มอนิกมาก จึงอาจแยกความถี่ออกมาได้ไม่เท่ากับฮาร์มอนิกเมื่อแยกด้วยเครื่องวิเคราะห์ฮาร์มอนิก**



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างแรงดันคลื่นรอยบากที่เกิดจากการทำงานของตัวแปลงผัน

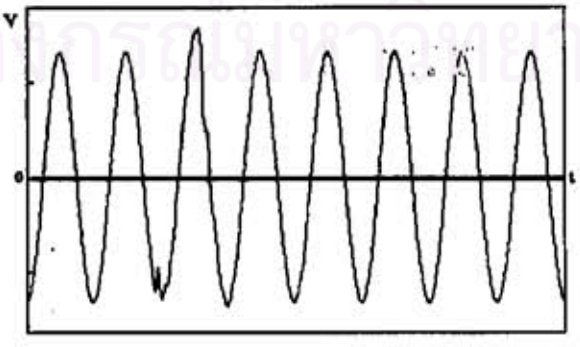
5. สัญญาณรบกวน (Noise) คือสัญญาณแรงดันหรือกระแสที่ปะปนเข้ามาในระบบที่มีช่วงความถี่ต่ำกว่า 500 กิโลเฮิรตซ์ ปะปนมากับสัญญาณแรงดันหรือกระแสในสายไฟของระบบไฟฟ้ากำลัง หรืออาจพบในสายศูนย์ หรือสายสัญญาณอื่นๆ ก็ได้ ตารางต่อไปนี้แสดงการเปรียบเทียบย่านความถี่ของมาตรฐานที่กล่าวถึงปรากฏการณ์นี้

มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-1-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	Main signalling	Main signalling	Noise
ความถี่	110 Hz-500 kHz	110 Hz-148 kHz	< 200 kHz
ขนาดโดยทั่วไป	na	na	< 0.01

ตารางที่ 2.21 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์สัญญาณรบกวน

6. รูปคลื่นผิดพร่อง (Waveshape Fault) นอกจากปรากฏการณ์ที่ได้กล่าวไว้แล้วยังมีปรากฏการณ์หนึ่งที่น่าสนใจ คือรูปคลื่นผิดเพี้ยนซึ่งยังไม่มีมาตรฐานใดกล่าวเอาไว้ แต่มีบทความหลายบทความรวมถึงผู้ผลิตเครื่องวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าหลายยี่ห้อได้กล่าวถึงปรากฏการณ์นี้ ซึ่งมีลักษณะดังนี้

คือเป็นเหตุการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่เกิดในช่วงระยะเวลาสั้นชนิดหนึ่งส่วนมากเกิดน้อยกว่า ½ ไซเคิล มีลักษณะของรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์ ซึ่งไม่สามารถจำแนกได้ว่าอยู่ในกลุ่มปรากฏการณ์ใด แต่ถ้าเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดอยู่เป็นเวลานานต่อเนื่องจะเรียกว่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก ตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 2.10

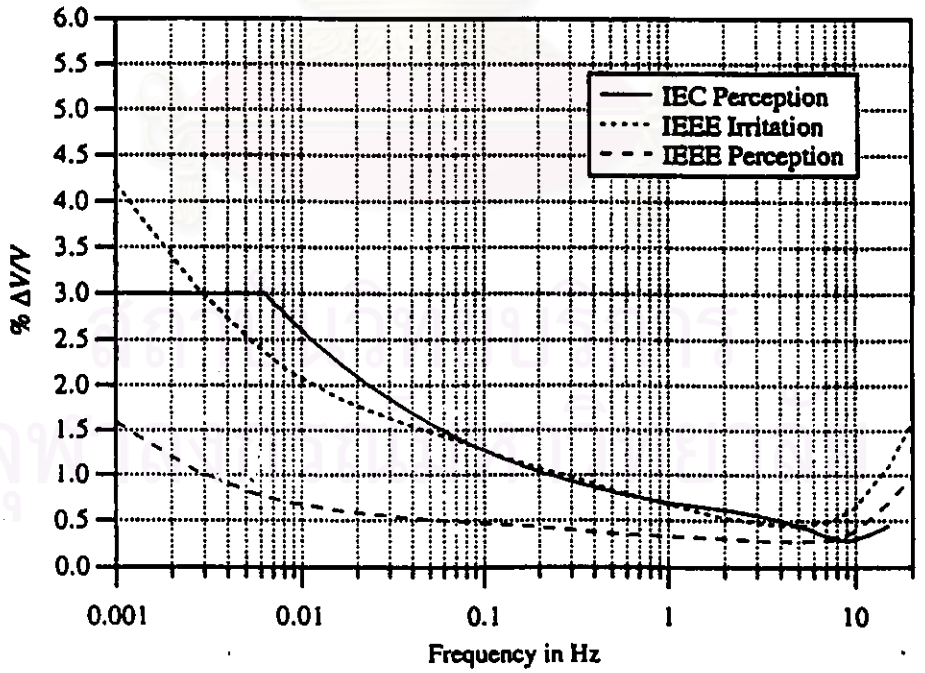


รูปที่ 2.10 ตัวอย่างรูปคลื่นผิดพร่อง

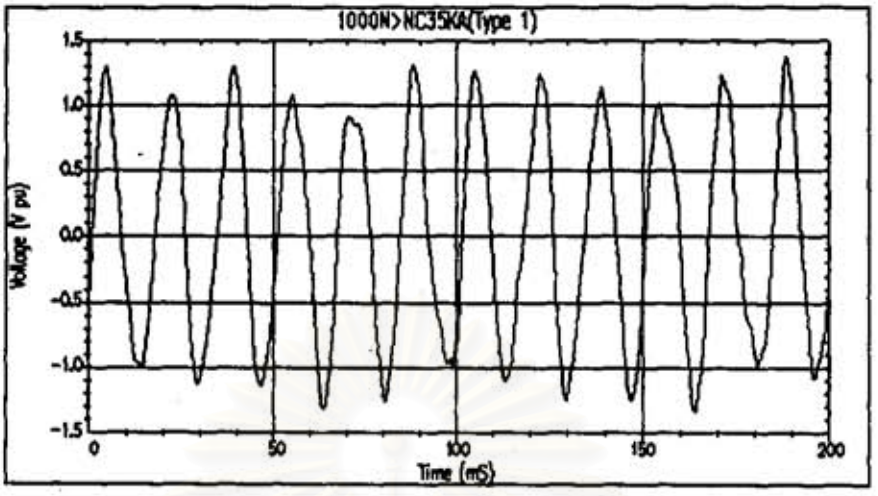
2.1.6 แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

แรงดันกระเพื่อม คือการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่มีขอบเขต(envelop)ของรูปคลื่นแรงดันหรือมีลักษณะที่เป็นอนุกรมของการเปลี่ยนแปลงแรงดันแบบสุ่ม โดยทั่วไปขนาดที่เปลี่ยนแปลงจะไม่เกิน 0.9-1.1 ต่อหน่วย เกิดจากกระแสของภาระไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก

การวัดระดับความรุนแรงของแรงดันกระเพื่อมสามารถทำได้โดยใช้ Flicker Curve ซึ่งแสดงค่าขนาดแรงดันประสิทธิผลต่อค่าแรงดันปกติมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ต่ออัตราการเกิดขึ้นของแรงดันกระเพื่อม(จำนวนครั้งที่แรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลงใน 1 วินาที หรือ 1 นาที) ตัวอย่างของการวัดระดับความรุนแรงแสดงดังกราฟรูปที่ 2.11 นอกจากนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบค่าของ Flicker ของมาตรฐาน IEC 1000-2-2-1990 และ IEEE Std. 141-1993(Recommended practice for electric power distribution for industrial plants) ซึ่งมาตรฐาน IEEE Std.141-1993 นี้ไม่ได้นำมาเป็นมาตรฐานหลักในการศึกษาโครงการนี้ ส่วนรูปคลื่นแรงดันที่ทำให้เกิด Flicker แสดงได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 เกณฑ์วัดระดับความรุนแรงของแรงดันกระเพื่อม



รูปที่ 2.12 แรงดันกระเพื่อมที่เกิดจากการทำงานของเตาหลอมแบบอาร์ค

มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-2-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	Voltage Fluctuations	Voltage Fluctuations	Voltage Fluctuations
ขนาดของแรงดัน (PU)	0.9-1.1	na	0.95-1.05
เปอร์เซ็นต์ (%)	< 3 *	**	na

ตารางที่ 2.22 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันกระเพื่อม

หมายเหตุ * ถ้าค่ามากกว่านี้จะเกิด Flicker

** 95% of 2 hrs. long-term flicker severity values obtained during one week no exceed 1

2.1.7 การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า (Power Frequency Variation)

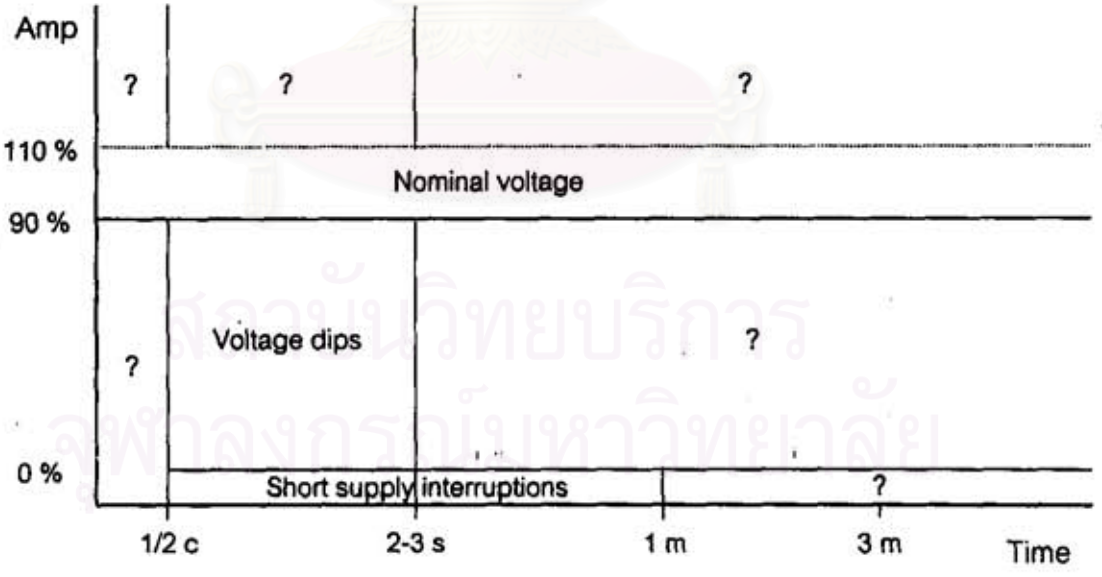
การแปรเปลี่ยนทางความถี่ คือปรากฏการณ์ที่ความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง มีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าความถี่ปกติ(50 หรือ 60 Hz) ความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลังจะสัมพันธ์กับความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้า ตารางต่อไปนี้เป็นค่าความถี่ของแต่มาตรฐานที่ยอมให้เบี่ยงเบนได้

มาตรฐาน / ตัวแปร	IEC 1000-2-2-1990	prEN50160-1993	IEEE Std.1159-1995
ชื่อ	Power Frequency Variation	Power frequency	Power Frequency Variation
±Hz	1	1 *	na

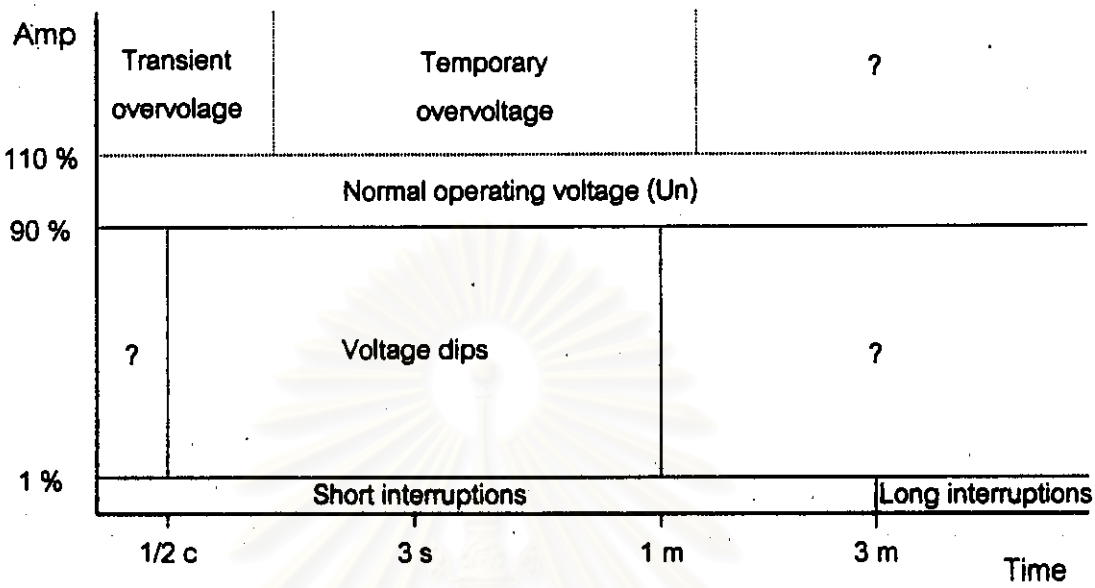
ตารางที่ 2.23 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า

หมายเหตุ * 95% of 10 sec avg during one week

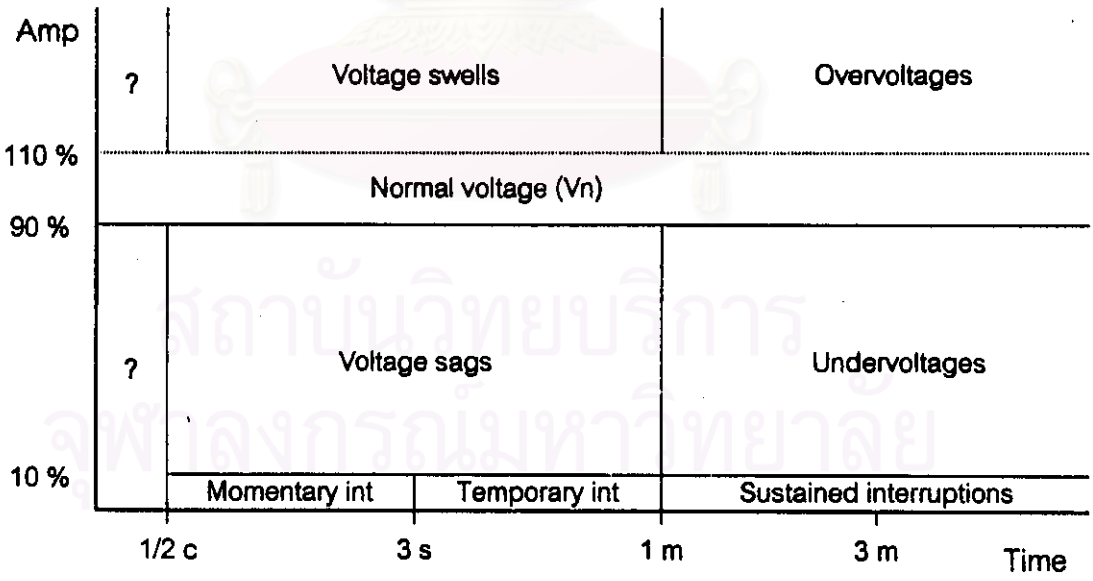
จากมาตรฐานทั้ง 3 ฉบับคือ IEC 1000-2-1-1990, prEN50160-1993 และ IEEE Std.1159-1995 ที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดัน สามารถสรุปเป็นรูปกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงดันเป็นเปอร์เซ็นต์และระยะเวลาของการเกิดได้ดังนี้



รูปที่ 2.13 พารามิเตอร์ที่กำหนดโดย IEC 1000-2-1-1990



รูปที่ 2.14 พารามิเตอร์ที่กำหนดโดย prEN50160-1993



รูปที่ 2.15 พารามิเตอร์ที่กำหนดโดย IEEE std.1159-1995

หมายเหตุ ? เป็นค่าที่มาตรฐานยังไม่ได้กำหนดไว้

2.2 สาเหตุและผลกระทบของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

ปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น อาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชิ้นเล็กๆ หรืออุปกรณ์ชิ้นอื่นที่ประกอบอยู่ในอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำให้อุปกรณ์เหล่านี้เสียหาย หรือไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความรุนแรงหรือชนิดของปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปผลกระทบและสาเหตุของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า [1,2] ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.24 สาเหตุและผลกระทบของปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

ชนิดของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า	สาเหตุ	ผลกระทบ
1. Transients		
1.1 Impulsive Transients	ฟ้าผ่า Electro-Static Discharge สวิตชิ่งของภาระไฟฟ้า สวิตชิ่งของชุดเก็บประจุ	อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย
1.2 Oscillatory Transients	สวิตชิ่งของสายเคเบิ้ล สวิตชิ่งของชุดเก็บประจุ สวิตชิ่งของภาระไฟฟ้า	อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย ฉนวนเสื่อมสภาพหรือสูญเสียความเป็นฉนวน ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้ตัดวงจร
2. Short duration variations		
2.1 Voltage Dips (Sags)	ความผิดพร่องของระบบ การเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ขนาดใหญ่	อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้ เกิดผลเสียทางอ้อม เช่น การผลิตหยุดชะงัก
2.2 Temporary overvoltages (Swells)	ความผิดพร่องชนิดเฟสเดียวต่อกราวด์ ปลดภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่ สวิตช์ชุดตัวเก็บประจุ	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วได้และคอมพิวเตอร์ ได้รับความเสียหาย อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง

ตารางที่ 2.24 (ต่อ) สาเหตุและผลกระทบของปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

ชนิดของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า	สาเหตุ	ผลกระทบ
2.3 Short interruptions	ความผิดพร่องของระบบ ความล้มเหลวของอุปกรณ์ ระบบควบคุมทำงานผิดพลาด	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่ทำงาน สูญเสียข้อมูล หรือหัวอ่านข้อมูลเสียหาย
3. Long duration variations		
3.1 Overvoltages	ปลดภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่ สวิตช์ชุดตัวเก็บประจุ การปรับแท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า	อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย และมีอายุการใช้งานลดลง
3.2 Undervoltages	สวิตชิ่งภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่ ปลดชุดตัวเก็บประจุ ภาระไฟฟ้าเกิน(over load)	อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่สามารถทำงานได้ เกิดความร้อนสูงกับมอเตอร์ ตัวเก็บประจุจ่ายกำลังรีแอกทีฟได้น้อยลง อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทแสงสว่างมีความสว่างลดลง
3.3 Long interruptions	อุปกรณ์ป้องกันทำงาน ดับไฟฟ้าเพื่อการบำรุงรักษา อุบัติเหตุ	อุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ทำงาน เกิดผลทางอ้อม คือกระบวนการผลิตเสียหาย
4. Voltage Unbalance	ความไม่สมดุลของภาระไฟฟ้าในแต่ละเฟส ตัวเก็บประจุทำงานผิดพลาด เช่น เกิดฟิวส์ขาดเฟสใดเฟสหนึ่งของชุดตัวเก็บประจุ 3 เฟส	อายุการใช้งานของมอเตอร์และหม้อแปลงสั้นลงเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2.24 (ต่อ) สาเหตุและผลกระทบของปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

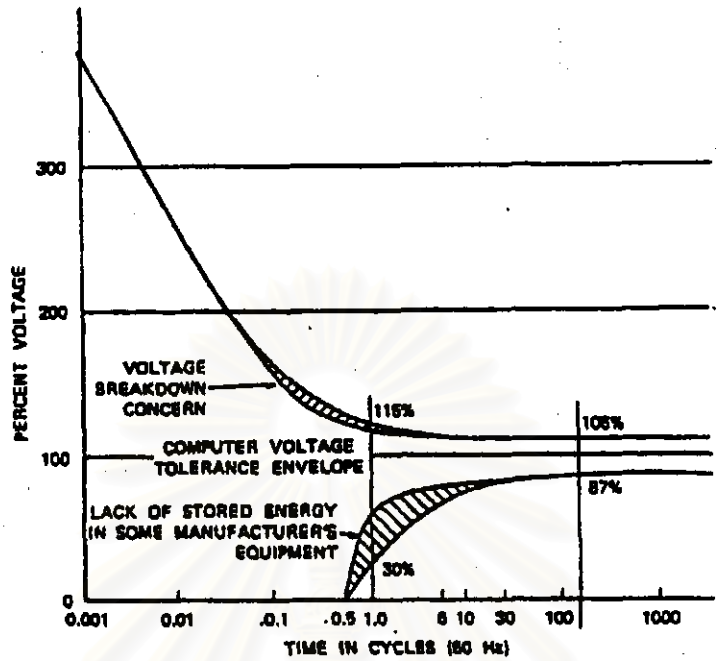
ชนิดของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า	สาเหตุ	ผลกระทบ
5. Waveform Distortions		
5.1 Dc offset	การรบกวนของแม่เหล็กโลก (geomagnetic) ผลจากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น	เพิ่มการอิ่มตัวของหม้อแปลง เพิ่มความเครียดต่อฉนวน
5.2 Harmonics	ภาระไฟฟ้าประเภทไม่เป็นเชิงเส้น เกิดเรโซแนนท์ในระบบ	เกิดความร้อนเกินในสายศูนย์ หม้อแปลง และมอเตอร์ ตัวเก็บประจุเสียหาย เครื่องมือวัดอ่านค่าผิดผลาด, ก่อสัญญาณรบกวน
5.3 Interharmonics	ตัวแปลงผันความถี่แบบสถิต (static frequency converter) ตัวแปลงผันแบบไซโคล (cyclo-converter) อุปกรณ์ไฟฟ้าจำพวกอาร์ค	เกิดสัญญาณรบกวน ตัวกรองรับภาระไฟฟ้าเกิน การอิ่มตัวของขดลวดกระแส (CT) ทำให้เกิดการมองเห็นแสงกระเพื่อม
5.4 Notching	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทำงานในสภาวะเมื่อกระแสเปลี่ยนจากเฟสหนึ่งไปยังเฟสอื่นๆ	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการทำงานร่วมกับสัญญาณนาฬิกา(Clock) ทำงานผิดพลาด
5.5 Noise	ฟ้าผ่า การทำงานของเครื่องเชื่อม แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตช์ ชุดควบคุมSCR	ส่งสัญญาณรบกวนไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆที่ไวต่อสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 2.24 (ต่อ) สาเหตุและผลกระทบของปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

ชนิดของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า	สาเหตุ	ผลกระทบ
	สัญญาณรบกวนจากสัญญาณวิทยุหรือโทรทัศน์	
6. Voltage Fluctuations (Voltage Flicker)	การเปลี่ยนแปลงของภาระไฟฟ้า เตาหลอมแบบอาร์คภาระไฟฟ้าที่มีองค์ประกอบของรีแอกทีฟ	ความสว่างของหลอดไฟเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อภาระไฟฟ้าถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมาก
7. Power Frequency Variations	ความผิดพร่องของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ ภาระไฟฟ้าขนาดใหญ่หลุดจากระบบ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเดินเครื่อง	กระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า กระบวนการใดก็ตามที่ใช้เวลาในการควบคุมการผลิตจากความถี่ไฟฟ้ากำลัง

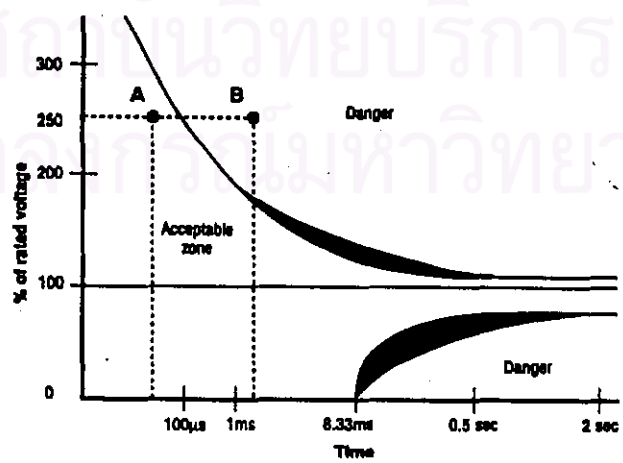
2.3 กราฟเส้นโค้งที่แสดงถึงความสามารถในของการทำงานของอุปกรณ์ต่อปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า (CBEMA CURVE)

เป็นกราฟเส้นโค้งที่แสดงความสามารถในการทนทานของคอมพิวเตอร์ต่อสัญญาณแรงดันรบกวน โดยแสดงในรูปของขนาดและช่วงเวลาของการเกิดของแรงดัน เกิดจากการพัฒนาของ Computer Business Equipment Manufacturers Association(CBEMA)[9] และปัจจุบันได้นำมาใช้วัดคุณสมบัติของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วๆไป อีกทั้งยังใช้ในการอ้างอิงเมื่อกล่าวถึงคุณภาพกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.16 Typical computer voltage tolerance (CBEMA CURVE)

ลักษณะของเหตุการณ์ที่เกิดบนเส้นโค้งมีความหมายดังนี้คือ ถ้าเกิดเหตุการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าใดๆที่สามารถวัดได้ทั้งขนาดและช่วงระยะเวลาของการเกิด เมื่อนำมาใส่ในกราฟเส้นโค้งถ้าเหตุการณ์นั้นออกนอกเส้นโค้งจะก่อให้เกิดปัญหากับอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆได้ ดังเช่น จุด B ที่แสดงในรูปที่ 2.16 นั่นก็คือเกิดในช่วงอันตราย(Danger Zone)ของอุปกรณ์ แต่ในทางกลับกันถ้าเกิดในช่วงยอมรับได้(Acceptable Zone) หรือจุด A อุปกรณ์ไฟฟ้าก็ยังสามารถทำงานได้



รูปที่ 2.17 ขอบเขตที่ยอมรับได้และขอบเขตที่อุปกรณ์ไฟฟ้าจะไม่สามารถทำงานได้

2.4 มาตรฐานในประเทศที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า

สำหรับระบบจำหน่ายในประเทศไทย มีองค์กรของรัฐที่เข้ามาจัดสรรพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าคือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มาตรฐานที่จัดทำขึ้นของแต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวกับคุณภาพกำลังไฟฟ้ามีดังนี้คือ

1) **การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย** เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบทำหน้าที่ผลิต และสรรหาพลังงานไฟฟ้า ให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วประเทศ ส่วนมากระบบกำลังไฟฟ้าจะเป็นระบบสายส่ง ในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึง

2) **การไฟฟ้านครหลวง** เป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่จัดหาและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในเขตปริมณฑล คือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ ค่าแรงดันของระบบจำหน่ายโดยทั่วไปคือ 12kV 24kV 69 kV และ 115kV มีมาตรฐานที่กำหนดไว้ดังนี้คือ

Voltage Unbalance

ณ จุดที่ทำการส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟสไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าต้องไม่เกิน 2.5 % หาได้จากสูตร

% Unbalance = 100 * (Maximum Deviation from Average Voltage)/(Average Voltage)

หมายเหตุ คำจำกัดความของตารางที่ 2.25 ที่แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดมีดังนี้

Normal System Voltage คือ ค่าแรงดันปกติที่กำหนดให้ในระบบ หรือวงจรหนึ่ง สำหรับแบ่งระดับชั้นของแรงดัน เพื่อง่ายต่อการระบุค่านั้น

Rated Voltage คือ ค่าแรงดันที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานหรือคุณสมบัติของอุปกรณ์ขณะใช้งาน เมื่อต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า

Service Voltage คือ ค่าแรงดัน ณ จุดที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าไปยังสายตัวนำกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงที่จุดซื้อขาย (Service Entrance)

Utilization Voltage คือ ค่าแรงดันที่ปลายสายของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อใช้งาน

ตารางที่ 2.25 ค่าแรงดัน Service and Utilization ของ Secondary service

Nominal System Voltage		220	380Y/220	440
Normal Voltage Range				
Utilization voltage	-Min	209	362Y/209	418
	-Max	231	400Y/231	462
Service voltage	-Min	214	371Y/214	428
	-Max	231	400Y/231	462
Emergency Voltage Range				
Utilization voltage	-Min	198	343Y/198	396
	-Max	239	414Y/239	478
Service voltage	-Min	209	362Y/209	418
	-Max	239	414Y/239	478

ตารางที่ 2.26 ค่าแรงดัน Service and Utilization ของ Primary service

Nominal System Voltage		12,000	24,000	69,000	115,000	230,000
Normal Voltage Range						
Voltage at substation bus	-Min	11,200	22,400			
	-Max	11,800	23,600			
Utilization & service voltage	-Min	10,900	21,800	63,650	106,400	209,000
	-Max	11,800	23,600	70,350	117,600	231,000
Emergency Voltage Range						
Voltage at substation bus	-Min	11,100	22,200	59,568	99,745	
	-Max	12,000	24,000	72,500	123,000	
Utilization & service voltage	-Min	10,800	21,600	57,335	96,012	
	-Max	12,000	24,000	72,500	123,000	

3) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบ จัดหาและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วประเทศ นอกเหนือจากเขตปริมณฑลที่ได้รับการจ่ายจากการไฟฟ้านครหลวง ค่าแรงดันของระบบจำหน่ายคือ 22kV 33kV 69kV และ 115 kV โดยมีมาตรฐานที่กำหนดไว้ดังนี้

Frequency Standard กำหนดไว้คือ 50 ± 0.5 เฮิรตซ์

Power Factor Standard สำหรับค่าตัวประกอบกำลังต้องมากกว่า 0.85 lagging

ตารางแสดงค่าแรงดันต่ำสุดและสูงสุด

Voltage Standard	+ %	- %
115 kV		
Normal (±5%)	120.7 kV	109.2 kV
Emergency (±10%)	126.5 kV	103.5 kV
69 kV		
Normal (±5%)	72.4 kV	65.5 kV
Emergency (±10%)	75.9 kV	62.1 kV
33 kV		
Normal (±5%)	34.6 kV	31.3 kV
Emergency (±10%)	36.3 kV	29.7 kV
22 kV		
Normal (±5%)	23.1 kV	20.9 kV
Emergency (±10%)	24.2 kV	19.8 kV
220 V		
Normal (±5%)	231 V	209
Emergency (±10%)	242 V	198

ตารางที่ 2.27 ค่าแรงดันต่ำสุดและสูงสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย