

ПОРІВНЯННЯ НОРМОВАНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Бржезицький В. О., д.т.н., проф., Держук А. О., аспірант, Гаран Я. О., к.т.н., ст. викладач, Линдюк Б. В., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Питання якості електроенергії є одним з ключових у розгляді приєднання України до електроенергетичної системи Європейського Союзу. На даний час в Україні офіційно діють 2 стандарти з якості електроенергії – ГОСТ 13109, успадкований раніше від СРСР [1], та стандарт ЄС [2].

Деякі положення цих стандартів є близькими, деякі – суттєво відрізняються. У зв'язку з цим при вирішенні практичних задач в електроенергетиці необхідно орієнтуватись на виконання вимог обох вищезазначених стандартів, що потребує детального розгляду та співставлення їхніх нормованих показників.

Мета роботи є порівняння нормованих показників якості електроенергії стандартів [1, 2] та виділення із них тих положень, які є домінуючими.

Матеріали дослідження представлено у вигляді таблиці основних нормованих показників обох стандартів.

Таблиця 1 – Нормовані показники якості електроенергії

Назва показника	ГОСТ 13109-97[1]	ДСТУ EN 50160:2014[2]
Відхилення напруги δU_v , що встановилося	Розділ 1.1	Розділ 2.1
Розмах зміни напруги δU_t	Розділ 1.2	Розділ 2.2
Доза флікера P_f	Розділ 1.3	Розділ 2.3
Небаланс напруг електропостачання		Розділ 2.4
Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U	Розділ 1.4	
Коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги $K_{U(n)}$	Розділ 1.5	Розділ 2.5
Напруга сигналів у мережах електропостачання		Розділ 2.6
Коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності K_{2U}	Розділ 1.6	
Коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності K_{0U}	Розділ 1.7	
Відхилення частоти f	Розділ 1.8	Розділ 2.7
Тривалість провалу напруги Δt_n	Розділ 1.9	Розділ 2.8
Імпульсна напруга U_{imn}	Розділ 1.10	
Коефіцієнт тимчасового перенапруги $K_{перU}$	Розділ 1.11	

Розділ 1.1

Нормально допустимі і гранично допустимі значення відхилення напруги δU_v :

1) на виводах приймачів електричної енергії рівня відповідно ± 5 і $\pm 10\%$ від номінальної напруги електричної мережі;

2) в точках загального приєднання споживачів електричної енергії до електричних мереж напругою 0,38 кВ та більше повинні бути встановлені у договорах на користування електричною енергією між енергопостачальною організацією та споживачем з урахуванням необхідності виконання норм цього стандарту.

Розділ 1.2

Гранично допустимі значення розмаху зміни напруги δU_t в точках загального приєднання до електричних мереж при коливаннях напруги, огинаюча яких має форму меандру, залежно від частоти повторення змін напруги $F\delta U_t$ або інтервалу між змінами напруги $\Delta t_{i, i+1}$ рівні значенням, що визначаються по кривій 1 рисунка 1, а для споживачів електричної енергії, що мають лампи розжарювання в приміщеннях, де потрібна значна зорова напруга – рівні значенням, що визначаються по кривій 2 рисунка 1. Перелік приміщень з розрядами робіт, що вимагають значної зорової напруги, встановлюють у нормативних документах, що затверджуються у встановленому порядку.

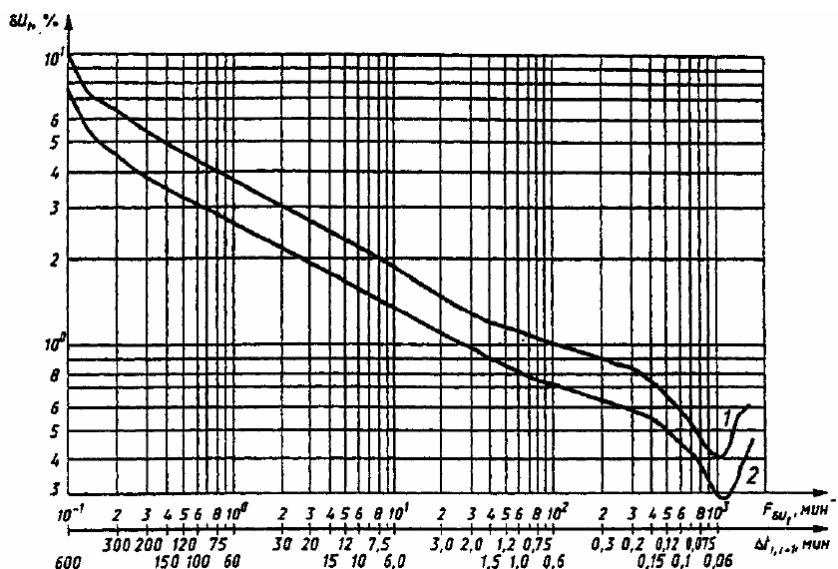


Рисунок 1 – Розмахи зміни напруги, що допускаються, в залежності від частоти повторення змін напруги за 10 хвилин для коливань напруги, що мають форму меандру

Розділ 1.3

1) Гранично допустиме значення для короткочасної дози флікера P_{St} при коливаннях напруги з формою, що відрізняється від меандру, дорівнює 1,38, а для тривалої дози флікера P_{Lt} при тих самих коливаннях напруги показник дорівнює 1,0.

2) У точках загального приєднання споживачів електричної енергії, що мають лампи розжарювання в приміщеннях, де потрібна значна зорова напруга, при коливаннях напруги з формою, що відрізняється від меандру, показник флікера дорівнює 1,0, а для тривалої дози флікера P_{Lt} його значення у цих точках рівне 0,74.

Розділ 1.4

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги у %

Нормальне допустиме значення при $U_{ном}$, кВ				Гранично допустиме значення при $U_{ном}$, кВ			
0,38	6-20	35	110-330	0,38	6-20	35	110-330
8	5	4	2	12	8	6	3

Розділ 1.5

Таблиця 3 – Нормально допустимі значення коефіцієнта n^* -ої гармонічної складової напруги у %

Непарні гармоніки не кратні 3, при $U_{ном}$, кВ					Непарні гармоніки кратні 3**, при $U_{ном}$, кВ					Парні гармоніки при $U_{ном}$, кВ				
n^*	0,38	6-20	35	110-330	n^*	0,38	6-20	35	110-330	n^*	0,38	6-20	35	110-330
5	6,0	4,0	3,0	1,5	3	5,0	3,0	3,0	1,5	2	2,0	1,5	1,0	0,5
7	5,0	3,0	2,5	1,0	9	1,5	1,0	1,0	0,4	4	1,0	0,7	0,5	0,3
11	3,5	2,0	2,0	1,0	15	0,3	0,3	0,3	0,2	6	0,5	0,3	0,3	0,2
13	3,0	2,0	1,5	0,7	21	0,2	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,3	0,3	0,2
17	2,0	1,5	1,0	0,5	>21	0,2	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,3	0,3	0,2
19	1,5	1,0	1,0	0,4						12	0,2	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,0	1,0	0,4						>12	0,2	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1,0	1,0	0,4										
>25	0,2+	0,2+	0,2+	0,2+										
	+1,3x	+0,8x	+0,6x	+0,2x										
	x25/n	x25/n	x25/n	x25/n										

** – Нормально допустимі значення, наведені для $n^*=3$ та $n^*=9$, відносяться до однофазних електричних мереж. Гранично допустимі значення збільшуються за табл. 3 в 1,5 рази.

Розділ 1.6

Нормально допустиме та гранично допустиме значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності в точках загального приєднання до електричних мереж рівні 2,0 та 4,0 % відповідно.

Розділ 1.7

Нормально допустиме та гранично допустиме значення коефіцієнта несиметрії напруги за нульовою послідовністю в точках загального приєднання до чотирипровідних електричних мереж з номінальною напругою 0,38 кВ дорівнюють 2,0 та 4,0 % відповідно.

Розділ 1.8

Відхилення частоти напруги змінного струму в електричних мережах характеризується показником відхилення частоти, для якого встановлені такі норми:

– нормально допустиме та гранично допустиме значення відхилення частоти дорівнюють $\pm 0,2$ та $\pm 0,4$ Гц відповідно.

Розділ 1.9

Гранично допустиме значення тривалості провалу напруги в електричних мережах напругою до 20 кВ включно – 30 с.

Розділ 1.10

Таблиця 4 – Амплітуди грозових імпульсних напруг (у кіловольтах) у точках приєднання до електричної мережі за ГОСТ 13109 (Рисунок 2)

Место расположения точек присоединения	Варианты точек на рисунке Д.1	Номинальное напряжение сети								
		0,38	6	10	35	110	220	330	500	750
Воздушная линия (ВЛ)	<i>a, в</i>	⁵⁾	100	125	325	800	1580	1890	2730	3570
	<i>б¹⁾</i>	-	<u>160</u> 2000	<u>190</u> 2000	<u>575</u> 2000	<u>1200</u> 2000	<u>2400</u> -	<u>3000</u> -	<u>3200</u> -	<u>4800</u> -
Кабельная линия (КЛ)	<i>г</i>	⁵⁾	100	125	325	800	1580	-	-	-
	<i>е²⁾</i>	-	34	48	140	350	660	-	-	-
	<i>д, ж³⁾</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Силовой трансформатор (ТР)	<i>з, з', и⁴⁾</i>	-	60	80	200	480	750	1050	1550	1950
	<i>и'</i>	-	34	48	140	350	660	-	-	-

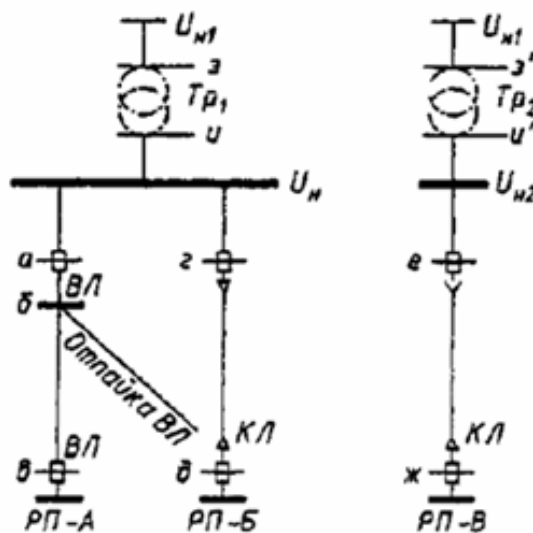


Рисунок 2 – Точки підключення до електричної мережі загального призначення

Значення комутаційних імпульсних напруг за їх тривалості лише на рівні 0,5 амплітуди імпульсу, що дорівнює 1000-5000 мкс, наведені в таблиці 5:

Таблиця 5

Номинальна напруга мережі, кВ	0,38	3	6	10	20	35	110	220
Комутаційна імпульсна напруга, кВ	4,5	15,5	27	43	85,5	148	363	705

Розділ 1.11

Значення коефіцієнта тимчасової перенапруги в точках приєднання мережі загального призначення залежно від тривалості перенапруги не перевищують значень, зазначених у таблиці 6:

Таблиця 6

Тривалість тимчасової перенапруги $\Delta t_{перU}$, с	До 1	До 20	До 60
Коефіцієнт тимчасової перенапруги $K_{перU}$, в.о.	1,47	1,31	1,15

Розділ 2.1 Для всіх рівнів напруги:

У нормальних робочих умовах, за винятком періодів, під час яких відбувались переривання напруги, змінення напруги не повинні перевищувати $\pm 10\%$ від величини номінальної напруги U_n .

В умовах, коли електричну енергію постачають електромережі без зв'язку з об'єднаною енергосистемою чи до особливо віддалених користувачів мережею, змінення напруги не повинні перевищувати $+10\%$ /- 15% від U_n .

Розділ 2.2 Для всіх рівнів напруги:

Швидке змінення напруги електропостачання спричинене головним чином змінами величини навантаження в устаткуванні користувачів електромережею, перемиканням у системі чи аваріями. Якщо напруга під час змінювання перетинає поріг провалу напруги чи поріг перенапруги, то такий випадок точніше треба класифікувати як провал напруги та/або перенапругу.

Розділ 2.3 Для всіх рівнів напруги:

За нормальних робочих умов у будь-якому тижневому періоді показник довгочасного флікера P_{It} , спричиненого коливанням напруги, має бути менше або рівний 1 для 95% часу спостереження.

Розділ 2.4 Для всіх рівнів напруги:

За нормальних робочих умов протягом кожного тижневого періоду 95% середньоквадратичних значень напруги зворотної послідовності (основного складника), усереднених на 10-ти хвилинному проміжку, мають бути в межах від 0% до 2% від напруги прямої послідовності (основного складника).

Розділ 2.5 Для всіх рівнів напруги:

За нормальних робочих умов протягом кожного тижневого періоду 95% середньоквадратичних значень напруги кожної гармоніки, усереднених на 10-ти хвилинному проміжку, мають бути меншими чи рівними значенням, що їх наведено в таблицях 7, 8. Резонанси можуть спричинювати вищі напруги окремих гармонік. Окрім того, сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень напруги електропостачання (ураховуючи всі гармоніки до 40-ої включно) має бути меншим чи рівним 8%.

Таблиця 7 – Величини напруг окремих гармонік до 25-го порядку в точках приєднання, у відсотках від напруги основного складника (Для **низьких та середніх** напруг до $U_n=36$ кВ)

Непарні гармоніки				Парні гармоніки	
не кратні 3		кратні 3			
Порядок h	Відносна амплітуда u_h	Порядок h	Відносна амплітуда u_h	Порядок h	Відносна амплітуда u_h
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 ... 24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Примітка. Не наведено значення для гармонік з порядком вище ніж 25, тому що вони звичайно невеликі та значною мірою непередбачені через резонансні явища.

Таблиця 8 – Величини напруг окремих гармонік до 25-го порядку в точках приєднання, у відсотках від напруги основного складника (Для **високої** напруги $U_n>36$ кВ)

Непарні гармоніки				Парні гармоніки	
не кратні 3		кратні 3			
Порядок h	Відносна амплітуда u_h	Порядок h	Відносна амплітуда u_h	Порядок h	Відносна амплітуда u_h
5	5 %	3	3 % ^{а)}	2	1,9 %
7	4 %	9	1,3 %	4	1,0 %
11	3 %	15	0,5 %	6 ... 24	0,5 %
13	2,5 %	21	0,5 %		
17	На розгляді				
19	На розгляді				
23	На розгляді				
25	На розгляді				

Примітка 1. Не наведено значення для гармонік з порядком вище ніж 25, тому що вони звичайно невеликі та значною мірою непередбачені через резонансні явища.
Примітка 2. Не кратні трьом гармоніки, що мають порядок вище ніж 13, — на розгляді.
Примітка 3. У деяких країнах допуски на гармоніки вже встановлено.
^{а)} Залежно від побудови мережі величина третьої гармоніки може бути суттєво нижче.

Розділ 2.6 Для всіх рівнів напруги:

У деяких країнах електропостачальник може використати електромережі загальної призначеності для передавання сигналів. Протягом 99 % доби значення

напруг сигналів, усереднені на трисекундному проміжку, мають бути меншими чи рівними значенням, наведеним на Рисунку 3.

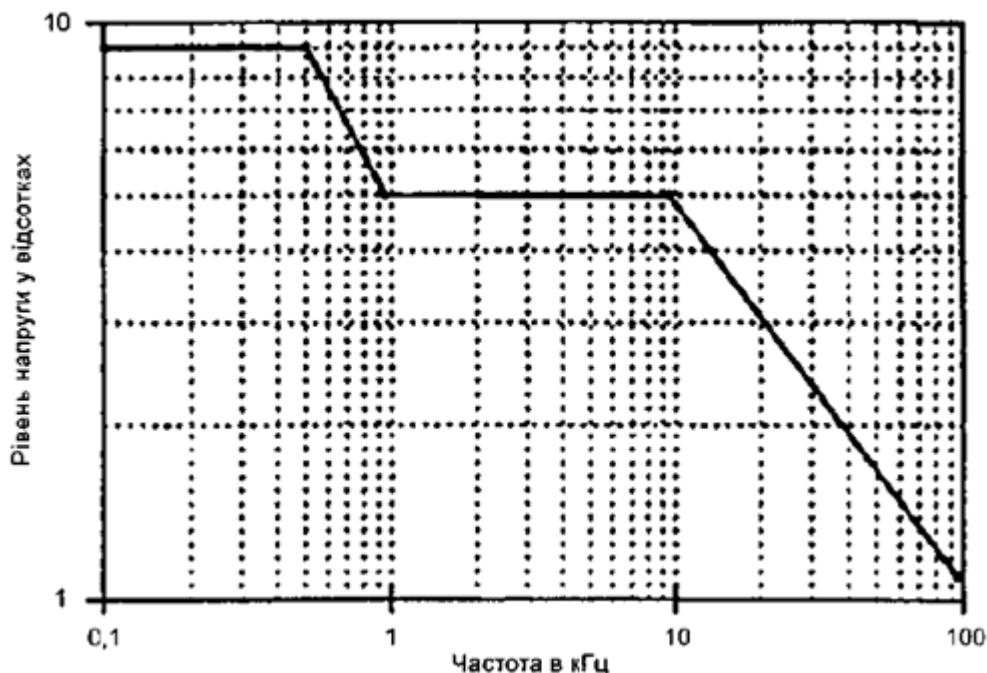


Рисунок 3 – Рівні напруги у відсотках залежно від частоти сигналів, що їх застосовують у мережах загальної призначеності

Розділ 2.7 Для всіх рівнів напруги:

Номінальна частота напруги електропостачання має бути 50 Гц. За нормальних робочих умов середнє значення частоти основного складника напруги, яку виміряно на проміжку 10 с, має бути в межах:

- для систем, які синхронно підключено до об'єднаної енергосистеми:
50 Гц \pm 1 % (тобто 49,5 Гц...50,5 Гц) протягом 99,5 % часу за рік;
50 Гц + 4 % /- 6% (тобто 47 Гц.,.52 Гц) протягом 100 % часу вимірювання;
- для мереж без синхронного підключення до об'єднаної енергосистеми (тобто для електропостачальних систем типу енергетичний острів):
50 Гц \pm 2 % (тобто 49 Гц ...51 Гц) протягом 95 % часу за тиждень;
50 Гц \pm 15 % (тобто 42,5 Гц.,.57,5 Гц) протягом 100 % часу вимірювання;

Розділ 2.8 Для всіх рівнів напруги:

Традиційно поріг початку провалу напруги дорівнює 90 % від номінальної напруги, поріг початку перенапруги — 110 % від номінальної напруги.

Висновки. Стандарти електроенергії [1], [2] мають наступні відмінності:

1. Окрім допустимого змінення напруги \pm 10% за ДСТУ EN 50160:2014 ГОСТ 13109 зазначає нормально допустимі відхилення напруги у \pm 5%.
2. В ГОСТ 13109 вказуються розмахи зміни напруги, що допускаються, в залежності від частоти повторення змін напруги за період 10 хвилин для коливань напруги, що мають форму меандру.
3. В ДСТУ EN 50160:2014 вказується показник якості електроенергії, якого немає в ГОСТ 13109-97: «Напруга сигналів у мережах електропостачання».

4. В ГОСТ 13109 вказуються наступні показники якості електроенергії, яких немає в ДСТУ EN 50160:2014: «Коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності K_{0U} », «Імпульсна напруга U_{imn} », «Коефіцієнт тимчасової перенапруги $K_{перU}$ ».

5. Відхилення частоти f в ДСТУ EN 50160:2014 розділяють для систем, які синхронно підключено до об'єднаної енергосистеми та для мереж без синхронного підключення до об'єднаної енергосистеми, ГОСТ 13109 встановлює норми для нормально допустимого та гранично допустимого значення відхилення частоти.

6. В зв'язку з суттєвою відмінністю стандартів ГОСТ 13109 та ДСТУ EN 50160:2014 за показниками якості електроенергії можуть розроблюватись перехідні положення для їх вибіркового використання. Також ця ситуація може розглядатись як наукова проблема.

Перелік посилань

1. ГОСТ 13109-97. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». – Введ. 1999 – 01 – 01. – М.: ИПК Издательство стандартов. – 1999. – 35 с.

2. ДСТУ EN 50160:2014. «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» (EN 50160:2010, IDT). – К.: Мінекономрозвитку України. – 2014. – 27 с.