

УДК 621.311:621.3.018.3:621.3.016.313

УЗАГАЛЬНЕНИЙ ПОКАЗНИК ЯКОСТІ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ І СИСТЕМАХ

В.Г.Кузнєцов¹, чл.-кор. НАН України, О.Г.Шполянський², канд.техн.наук, Н.А.Яремчук³, канд.техн.наук,
^{1,2} – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,
³ – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

У роботі розглянуто питання побудови і нормування узагальненого показника якості електричної енергії на основі врахування сумісного впливу асиметрії напруг за зворотною послідовністю та гармонійних складників напруги. Узагальнений показник якості дозволяє коректно узгодити конкретні рівні електромагнітної сумісності при одночасній дії декількох спотворюючих факторів. Запропоновано метод визначення оптимальних величин коефіцієнтів n -го гармонійного складника напруги при певному складі гармонік і рівні асиметрії напруг за зворотною послідовністю. Оцінено невизначеність вимірювання узагальненого показника виходячи з невизначеності вимірювання його окремих складників. Бібл. 10, табл. 2, рис. 2.

Ключові слова: якість електроенергії, узагальнений показник, невизначеність.

Вступ. Оцінювання якості електричної енергії (ЯЕ) посідає важливе місце в забезпеченні взаємодії систем електропостачання і споживачів електроенергії. Зростання кількості споживачів з нелінійним та асиметричним навантаженням вимагає розвитку методів і принципів визначення електромагнітної сумісності в електричних мережах.

Якість електричної енергії згідно з ГОСТ 13109-97 [5] характеризується сукупністю певних показників. Для них встановлено допустимі рівні, в межах яких відбувається нормальне функціонування споживачів електричної енергії. Але нормування окремих показників здійснюється за умови, що в даний момент має місце тільки один вид порушень ЯЕ. Тобто, одночасна дія декількох спотворюючих факторів не розглядається і не враховується.

Так, оцінка асиметрії і несинусоїдальності, що є джерелами спотворень для споживачів певних галузей, заснована на встановленні допустимих рівнів цих окремих впливових факторів. Згідно з [5] для асиметрії і несинусоїдальності – це коефіцієнти несиметрії напруг за зворотною послідовністю K_{2U} , несиметрії напруг за нульовою послідовністю K_{0U} , спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U , n -го гармонійного складника напруги $K_{U(n)}$. Загальний недолік нормування стандарту полягає у відсутності розгляду одночасної дії цих спотворень. Тому питання побудови узагальненого показника якості електричної енергії, що враховує одночасну дію спотворень, які пронормовані коефіцієнтом несиметрії напруги зворотної послідовності і коефіцієнтами гармонійних складників напруги, є актуальним.

Нормування окремих показників якості електричної енергії. У відповідності до [5] найбільші величини показників ЯЕ не повинні виходити за гранично допустимі значення, а величини показників ЯЕ, визначених з ймовірністю 95%, повинні не перевищувати нормально допустимих значень (табл. 1). При цьому мінімальний інтервал вимірювань дорівнює 24 годинам.

В стандарті [6] наведено такі ж рівні напруг гармонійних складників для низьковольтних електричних мереж. Загальний коефіцієнт гармонік теж становить 8% за умов, що рівні окремих гармонійних складників не досягають регламентованих рівнів одночасно.

Такі ж самі норми на гармоніки і небаланс задаються стандартом [7] для електромагнітного оточення класу 2 (промислове обладнання), тобто рівні сумісності цього класу ідентичні рівням сумісності мереж загального призначення. Обладнання, чутливе до завад у мережі живлення, належить

до класу 1. Для нього коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U не повинен перевищувати 5% і, відповідно, значення гармонійних складників напруги повинні бути нижчими. Для класу 3 (промислові мережі з великим навантаженням) рівні сумісності вищі: K_U становить 10%, а коефіцієнт асиметрії за зворотною послідовністю – 3%.

Таблиця 1

№	Показники	Допустимий рівень		
		нормальний		граничний
1	K_U % для рівнів напруги:			
	0, 38 кВ	8		12
	6÷20 кВ	5		8
	35 кВ	4		6
	110÷330 кВ	2		3
2	$K_{U(n)}$ % для рівнів напруги:	$n=5$	$n=3$	$n=2$
	0, 38 кВ	6	5	2
	6 ÷ 20 кВ	4	3	1,5
	35 кВ	3	3	1
	110÷330 кВ	1,5	1,5	0,5
		для складників з більшим номером норми зменшуються пропорційно номеру складника		
3	K_{2U} %	2		4
4	K_{0U} %	2		4

Щодо кумулятивної дії спотворень електричної енергії в стандарті [7] зауважено, що наявність напруги зворотної послідовності зумовлює виникнення нехарактерних гармонік під час використання перетворювачів, а обмеження значення K_U застосовують для запобігання одночасному існуванню кількох гармонійних складників з великою амплітудою.

В [9] наведено приклад роботи асинхронного двигуна (АД). Відомо, що нормальний режим роботи такого двигуна можливий

при постійно діючій асиметрії напруг з коефіцієнтом зворотної послідовності 2%. Але в разі, коли напруга живлення двигуна окрім складника за зворотною послідовністю одночасно містить складники вищих гармонік (навіть, якщо $K_U \leq 8\%$ у відповідності із [5]), можна очікувати значного перегріву і пришвидшеного старіння ізоляції. Необхідно звернути увагу, що кількісний результат впливу суттєво залежить від складу гармонік напруги. Несинусоїдальні спотворення кривої напруги при однакових значеннях коефіцієнту несинусоїдальності і різному складі гармонік будуть призводити до різних втрат і нагрівання АД [1,10] та іншого електротехнічного устаткування.

Нормування узагальненого показника якості електричної енергії дозволяє забезпечити допустимі теплові режими роботи електричних машин за різних комбінацій зворотної послідовності і складників вищих гармонік.

Нормування узагальненого показника ЯЕ в електричних мережах низької та середньої ($U \leq 35$ кВ) напруги. Показниками, що найбільше впливають на роботу електрообладнання і використовуються в більшості сучасних стандартів для оцінки якості електричної енергії, є напруга зворотної послідовності і вищі гармоніки. Тому саме з них доцільно сформувані узагальнені показники ЯЕ. Найпростіший спосіб формування узагальнених показників (або комплексних показників) заснований на співвідношенні

$$K^Y = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_l x_l, \quad (1)$$

де α_i – коефіцієнт ваги окремих показників, x_i – окремі відносні показники (метрики).

При побудові узагальненого показника треба враховувати відношення еквівалентності, порядку і адитивності між складниками співвідношення (1). Відношення порядку вимагає однієї направленості впливу складників (1). Відношення адитивності відповідає можливості пропорційного комбінування впливів відносних показників x_i .

Допустиме значення узагальненого показника ЯЕ можна визначити по найбільш поширеному і водночас чутливому до асиметрії і несинусоїдальності устаткуванню. В системах електропостачання середньої та низької напруги таким устаткуванням є асинхронні двигуни. Допустимою асиметрією напруги по зворотній послідовності для АД є 2%. Більш того, тривала робота двигуна з номінальним навантаженням за відсутності інших спотворень ЯЕ не супроводжується помітним зменшенням терміну служби і робочих характеристик. Зменшення терміну служби електричного устаткування від спотворень ЯЕ можливо визначити за формулою [4]

$$\gamma = e^{K_C^2}, \quad (2)$$

де K_C – коефіцієнт спотворення, залежність якого від показників асиметрії і несинусоїдальності має вигляд [3]

$$K_C = \sqrt{434K_{2U}^2 + 389 \sum_{n=2}^{\infty} (K_{U(n)}^2 / n\sqrt{n})}. \quad (3)$$

Виходячи з того, що допустиме значення коефіцієнта асиметрії за зворотною послідовністю для асинхронних двигунів за відсутності інших спотворень складає 2%, підставивши в (3) значення K_{2U} у відносних одиницях, отримуємо допустиме значення коефіцієнта спотворення $K_{CD} = 0,4166$.

Наявність напруги вищих гармонік призводить до тих самих результатів що і зворотна послідовність напруги основної частоти (додаткові втрати, нагрівання, зменшення терміну служби). Тому зі зростанням несинусоїдальності напруги допустиме значення коефіцієнта зворотної послідовності повинно зменшуватися (через адитивну дію цих двох факторів) і, навпаки.

Коефіцієнт спотворення (3) відповідає вимогам нормування узагальненого показника (1), але для можливості безпосереднього аналізу допустимих значень асиметрії і несинусоїдальності необхідно провести його нормування по допустимому значенню. Для цього праву і ліву частини формули (3) ділимо на 0,4166. Перейшовши від відносних одиниць до відсотків, отримуємо формулу

$$K_C^Y = \sqrt{0,25K_{2U}^2 + 0,224 \sum_{n=2}^{\infty} (K_{U(n)}^2 / n\sqrt{n})}, \quad (4)$$

за якою значення K_C^Y отримують у відсотках при підстановці коефіцієнтів асиметрії і несинусоїдальності у відсотках.

Формулу (4) можна використати для оцінювання електромагнітної сумісності і визначення граничних рівнів складової зворотної послідовності основної частоти і гармонійних складників напруги в системах електропостачання для низької і середньої напруги за умови $K_C^Y \leq 1\%$. При цьому арифметична різниця між граничними значеннями складових при $K_{2U} = 0$ і $K_{U(n)} = 0$ не повинна перевищувати 1%.

Нормування узагальненого показника ЯЕ в електричних мережах високої ($U \geq 110$ кВ) напруги. В електричних системах більш високого ієрархічного рівня ланки генерації є тим устаткуванням, на яке асиметрія і гармоніки напруги впливають найбільше. У зв'язку з цим допустимі рівні показників ЯЕ повинні визначатися тут на основі аналізу впливу неякісної електроенергії на роботу синхронних генераторів (СГ). У роботі [9] наведено розрахунок допустимого рівня асиметрії на стороні високої напруги трансформатора і отримано діапазон допустимих значень коефіцієнта асиметрії напруг за зворотною послідовністю $K_{2U} = 0,011 \div 0,024$. Тоді допустимий рівень напруги зворотної послідовності системи електропостачання високої напруги можна визначити як нижню границю діапазону, тобто 1%.

Співвідношення для можливих впливів напруги асиметрії і несинусоїдальності (як і для систем електропостачання низької і середньої напруги) можна отримати для еквівалентних впливових умов. У відповідності з [9] коефіцієнт спотворення для турбогенераторів визначається формулою

$$K_C = \sqrt{1448K_{2U}^2 + 1223 \sum_{n=2}^{\infty} (K_{U(n)}^2 / n\sqrt{n})}. \quad (5)$$

Якщо за допустиме значення K_C прийняти таке, що відповідає ефекту при $K_{2U} = 0,01$ і $K_{U(n)} = 0$, тоді рекомендації по нормуванню узагальненого показника якості електричної енергії можна отримати як

$$K_C^Y = \sqrt{K_{2U}^2 + 0,845 \sum_{n=2}^{\infty} (K_{U(n)}^2 / n\sqrt{n})}, \quad (6)$$

де значення K_C^Y отримують у відсотках при підстановці коефіцієнтів асиметрії і несинусоїдальності у відсотках. А оцінювати допустимі рівні коефіцієнта зворотної послідовності основної частоти і гармонійних складників напруги за умови $K_C^Y \leq 1\%$.

Обчислення допустимих рівнів гармонійних складників за прийнятими значеннями узагальненого показника якості електричної енергії. Умови оцінювання K_{2U} і $K_{U(n)}$ можуть бути використані для розрахунку допустимих значень окремих гармонійних складників за прийнятими значеннями коефіцієнта асиметрії. Узагальнюючи (4) і (6), можна записати

$$K_C^y = \sqrt{A_V K_{2U}^2 + B_V \sum_{n=2}^{\infty} (K_{U(n)}^2 / n\sqrt{n})} \leq 1\% , \quad (7)$$

де A_V і B_V – коефіцієнти, що залежать від класу напруги.

При кількості невідомих більше одного вираз (7) має більше одного рішення. Тому величини допустимих значень окремих гармонійних складників будуть залежати від обраного метода їхнього знаходження. В алгоритмі розрахунку, наведеному в [9], значення коефіцієнтів несинусоїдальності гармонійних складників на $(i+1)$ -му кроці визначаються як

$$K_{U(n)}^{(i+1)} = K_{U(n)}^{(i)} - (\Delta U / S)n,$$

де $K_{U(n)}^{(i)}$ – величина коефіцієнта несинусоїдальності гармонійного складника на i -му кроці; ΔU – крок зменшення; $S = \sum n$ – сума номерів гармонійних складників, що діють в даний момент; n – гармонійний складник, для якого визначається $K_{U(n)}$. Ітераційний процес завершується при виконанні умови

(7). Наведений спосіб визначення $K_{U(n)}$ має певні недоліки: постійний крок зменшення ΔU ; $K_{U(n)}$ зменшується пропорційно номеру гармонійного складника. Тобто, величини гармонійних складників з більшим номером зменшуються швидше, хоча вони мають менший вплив на роботу АД [1,10] та СГ. Для подолання цих недоліків пропонується визначати допустимі значення коефіцієнтів несинусоїдальності та несиметрії на основі градієнтного методу оптимізації. Відомо, якщо функція $f(X)$ є безперервною та такою, що диференціюється, то напрямок її максимального зменшення співпадає з напрямком вектора антиградієнта $-\nabla f(X)$. Перехід з точки простору $X^{(i)}$ у точку простору $X^{(i+1)}$ описується виразом $X^{(i+1)} = X^{(i)} - \lambda^{(i)} \nabla f(X^{(i)})$, де $\lambda^{(i)}$ – коефіцієнт довжини i -го кроку.

Для спрощення процедури пошуку рішення піднесемо вираз (7) до квадрату. Тоді при заданому значенні K_{2U} мінімізації буде підлягати функція

$$f(X) = B_V \sum_{n \in N} (K_{U(n)}^2 / n\sqrt{n}),$$

де N – множина гармонійних складників, для яких необхідно знайти допустимі значення коефіцієнтів несинусоїдальності. Алгоритм визначення допустимих значень $K_{U(n)}$ при заданих номерах гармонік буде мати такий вигляд.

1. Вибираємо за початкові наближення $K_{U(n)}$ їхні нормально допустимі значення у відповідності до ГОСТ 13109-97. Приймаємо $i = 0$.

2. Знаходимо складові вектора градієнта

$$\nabla f(X^{(i)}) = \left[\frac{\partial f(X^{(i)})}{\partial x_n^{(i)}} \right] = \left[2B_V \frac{K_{U(n)}^{(i)}}{n\sqrt{n}} \right]. \quad (8)$$

3. Визначаємо наступне наближення допустимих значень коефіцієнтів несинусоїдальності

$$K_{U(n)}^{(i+1)} = K_{U(n)}^{(i)} - 2B_V \lambda^{(i)} \frac{K_{U(n)}^{(i)}}{n\sqrt{n}}. \quad (9)$$

4. Перевіряємо умову закінчення ітераційного процесу

$$\left| 1 - A_V K_{2U}^2 - B_V \sum_{n \in N} (K_{U(n)}^2 / n\sqrt{n}) \right| \leq \varepsilon , \quad (10)$$

де $\varepsilon > 0$ – похибка збігу ітераційного процесу.

Якщо (10) виконується, то допустимі значення $K_{U(n)}$ знайдено. Якщо (10) не виконується, то змінюємо крок ітерації $i = i + 1$ і переходимо до п. 2. Результат розрахунків подано на графіках: рис. 1, а – для систем електропостачання напругою 0,4 кВ; рис. 1, б – для систем електропостачання напругою 110–330 кВ.

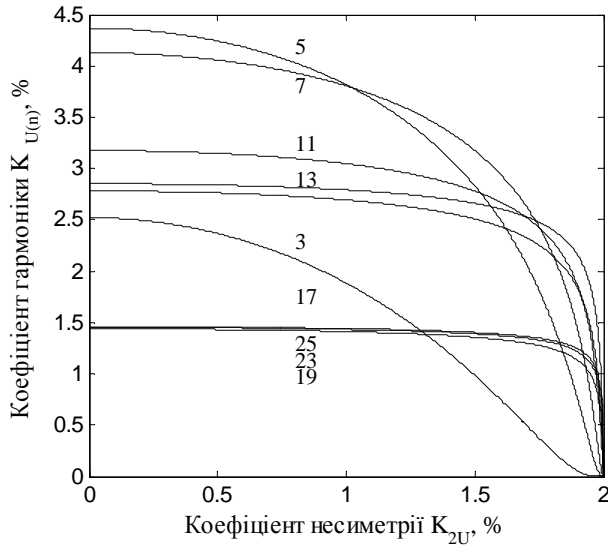


Рис. 1, а

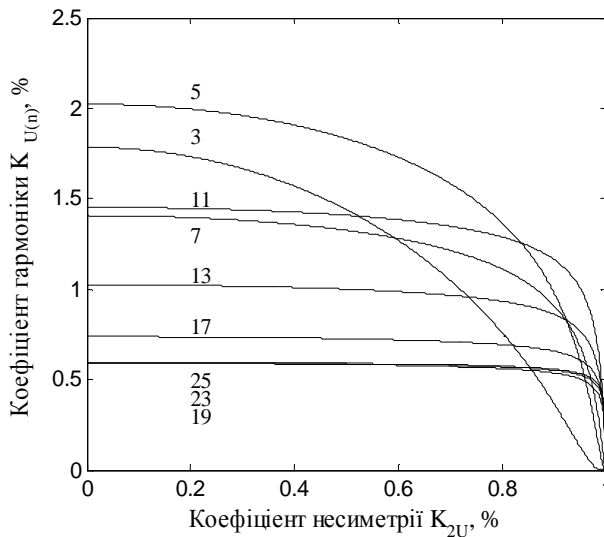


Рис. 1, б

дових похибки як

$$\Delta = (K_C^y)' - K_C^y = \frac{0,25K_{2U}}{K_C^y} \Delta(K_{2U}) + \frac{0,125}{K_C^y} [\Delta(K_{2U})]^2 + \frac{0,224}{K_C^y} \sum_{n=2}^{\infty} (K_{U(n)}^2 \delta_n^2 / n\sqrt{n}). \quad (12)$$

Для отримання максимальної границі u_{\max} невизначеності об'єднуємо складові похибки рівняння (12) за модулем. Результати розрахунків наведено в табл. 2. Такий розрахунок невизначеностей дає завищену оцінку, тому що гарантує максимально можливу границю.

Для розрахунку комбінованої стандартної невизначеності (тобто середнього квадратичного відхилення) на основі (12) можна отримати наступну формулу:

$$u_C = \sqrt{\left(\frac{0,5K_{2U}}{K_C^y} \sigma[\Delta(K_{2U})]\right)^2 + \left(\frac{0,125}{K_C^y} \sigma[\Delta(K_{2U})]\right)^2 + \left(\frac{0,224}{K_C^y} \sum_{n=2}^{\infty} (K_{U(n)}^2 \sigma\delta_n / n\sqrt{n})\right)^2}. \quad (13)$$

У відповідності до оцінювання типу В для окремих складників невизначеності у формулі (13) обрано трикутний розподіл [2]. Тоді $\sigma[\Delta(K_{2U})] = \Delta(K_{2U})/\sqrt{6}$, $\sigma(\delta) = \delta/\sqrt{6}$.

Результати розрахунків комбінованої стандартної невизначеності u_C та розширеної невизначеності

Оцінка невизначеності узагальненого показника якості електричної енергії. Узагальнений показник якості електричної енергії може бути розрахований за результатами вимірювань коефіцієнта асиметрії напруги зворотної послідовності та коефіцієнтів гармонійних складників K_{2U} , $n=2 \div 40$, тобто як при опосередкованому вимірюванні. За нормативним документом [8] результат вимірювання надається з стандартною або розширеною невизначеністю. Вихідними даними для оцінювання невизначеності є границі допустимих похибок вимірювання показників асиметрії і несинусоїдальності. За ГОСТ 13109-97 абсолютна допустима похибка коефіцієнта асиметрії напруги зворотної послідовності повинна не перевищувати 0,3%, а відносна похибка коефіцієнта n -го гармонійного складника повинна не перевищувати 0,5%, якщо коефіцієнт спотворень синусоїдальності $K_U \geq 1\%$.

За цих умов формула узагальненого показника якості електроенергії (6) з урахуванням похибок набуває вигляду

$$(K_C^y)' = \left\{ 0,25(K_{2U} + \Delta(K_{2U}))^2 + 0,224 \sum_{n=2}^{\infty} \left(K_{U(n)}^2 (1 + \delta_n)^2 / n\sqrt{n} \right) \right\}^{1/2}, \quad (11)$$

де $\Delta(K_{2U})$ – абсолютна похибка вимірювання коефіцієнта асиметрії; δ_n – відносна похибка вимірювання коефіцієнта n -го гармонійного складника.

Рівняння похибки Δ узагальненого показника якості електричної енергії можна отримати з урахуванням наближеного співвідношення $(1 + \alpha)^n = 1 + n\alpha + \alpha^2 n(n-1)/2$ за умов малих значень α і можливості відкидання незначних скла-

ченості u_p з рівнем довіри 0,95 узагальненого показника якості електричної енергії K_C^y за даними рис. 1, а наведено в табл. 2. При розрахунках використано максимально допустимі похибки вимірювання асиметрії і несинусоїдальності. Треба відзначити, що при збільшенні внеску асиметрії в загальний показник якості невизначеність вимірювань збільшується.

Таблиця 2

$K_{2U}, \%$	$u_{\max}, \%$	$u_C, \%$	$u_p, \%$
0	0,016	0,005	0,010
0,4	0,045	0,013	0,027
0,8	0,074	0,025	0,050
1,2	0,1	0,038	0,070
1,6	0,13	0,050	0,090
2	0,16	0,063	0,110

Висновки.

1. Недоліком нормування окремих показників якості електричної енергії є те, що враховується тільки один вид порушення якості електричної енергії без оцінювання їхнього сумісного ефекту.

2. Запропоновано введення узагальненого показника якості електричної енергії, що враховує сумісний вплив асиметрії і несинусоїдальності напруги.

3. Оцінено граничні норми узагальненого показника якості, що можуть бути використані для розрахунку найбільш комфортних режимів роботи електричного устаткування і дозволять уникнути перегрівання і скорочення терміну служби обертових електричних машин при довільних комбінаціях асиметрії і несинусоїдальності.

4. Запропоновано метод визначення допустимих величин коефіцієнтів несинусоїдальності гармонійних складників при певному складі гармонік і рівні асиметрії напруг за умови їхньої одночасної дії для забезпечення електромагнітної сумісності обладнання.

5. Оцінено невизначеність вимірювання узагальненого показника якості електричної енергії за результатами вимірювань коефіцієнта асиметрії напруги зворотної послідовності та коефіцієнтів гармонійних складників.

1. Кузнецов В.Г., Шполянський О.Г. Анализ изменения электропотребления и потерь асинхронного двигателя при несинусоидальном напряжении // Электрика. – 2006. – №4. – С. 25–29.

Kuznetsov V.G., Shpolianskii O.G. Variation analysis of asynchronous motor electrical power consumption and losses under no sinusoidal voltage // Elektriika. – 2006. – №4. – P. 25–29. (Rus)

2. Ціделко В.Д., Яремчук Н.А. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання. – Київ: Політехніка, 2002. – 176 с.

Tsidelko V.D., Yaremchuk N.A. Uncertainty of measurement. The data processing and issuing of measurement results. – Kyiv: Politekhnik, 2002. – 176 p. (Ukr)

3. Шидловський А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. – Киев: Наук. думка, 1985. – 268 с.

Shidlovskii A.K., Kuznetsov V.G. Improving of power quality in electrical networks. – Kiev: Naukova dumka, 1985. – 268 p. (Rus)

4. Шидловський А.К., Кузнецов В.Г., Николаенко В.Г. Экономическая оценка последствий снижения качества электрической энергии в современных системах электроснабжения / Препринт № 253, ИЭД АН УССР. – Киев, 1981. – 49 с.

Shidlovskii A.K., Kuznetsov V.G., Nikolaenko V.G. Economic evaluation of results of power quality degradation in the modern electrical supply systems / Preprint №253, Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine. – Kiev, 1981. – 49 p. (Rus)

5. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Качество электрической энергии. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

GOST 13109-97. Interstate standard. Power quality. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems. (Rus)

6. ДСТУ ІЕС 61000-2-2-2001. Електромагнітна сумісність. Частина 2. Електромагнітне оточення. Розділ 2. Рівні сумісності для низькочастотних кондуктивних завод та сигналів систем передавання в низьковольтних електропостачальних системах загального призначення (ІЕС 61000-2-2:1990, ІДТ).

DSTU IEC 61000-2-2-2002. Electromagnetic compatibility (EMC) Part 2-2: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems. (Ukr)

7. ДСТУ ІЕС 61000-2-4-2002. Електромагнітна сумісність. Частина 2. Електромагнітне оточення. Секція 4. Рівні сумісності для промислового обладнання щодо кондуктивних завод (ІЕС 61000-2-4:1994, ІДТ).

DSTU IEC 61000-2-4-2002. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-4: Environment – Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances. (Ukr)

8. ДСТУ-Н РМГ 43:2006. Застосування «Руководства по выражению неопределенности». – Київ: Держстандарт України, 2006. – 20 с.

DSTU-N RMG 43:2006. Application of “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement” –Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2006. – 20 p. (Ukr)

9. Kuznetsov V.G., Nikolaenko V.G. Analysis of permissible level of voltage asymmetry and harmonics in electrical networks // Proceeding ICHPS IV. Intern. Conf. on harmonics in power systems. October 4-6, 1990, Budapest, Hungary. – P. 18–24.

10. Kuznetsov V., Shpolyanskii O., Liutyi A. Modeling of influence of the voltage harmonics on temperature and service life of an induction machine // Proc. 7th Intern. Conf. Electrical Power Quality and Utilisation. Cracow, Poland, 21-23 September 2005. – P. 413–417.

УДК 621.311:621.3.018.3:621.3.016.313

В.Г.Кузнецов¹, чл.-корр. НАН України, О.Г.Шполянський², канд.техн.наук, Н.А.Яремчук³, канд.техн.наук,
^{1,2} – Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,

³ – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

Обобщенный показатель качества электроэнергии в электрических сетях и системах.

В работе рассмотрен вопрос построения обобщенного показателя качества электрической энергии на основе учета совместного влияния несимметрии напряжений по обратной последовательности и гармонических составляющих напряжения. Обобщенный показатель качества позволяет корректно согласовать конкретные уровни электромагнитной совместимости при одновременном действии нескольких искажающих факторов. Предложен метод определения оптимальных величин коэффициентов n-х гармонических составляющих напряжения при некотором составе гармоник и уровне несимметрии напряжений по обратной последовательности. Оценена неопределенность измерения (определения) обобщенного показателя исходя из неопределенности измерения его отдельных составляющих. Библ. 10, табл. 2, рис. 2.

Ключевые слова: качество электроэнергии, обобщенный показатель, неопределенность.

Kuznetsov V.G.¹, Shpolyanskiy O.G.², Yaremchuk N.A.³,

^{1,2} – Institute of Electrodynamics, National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine,

³ – National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”,
Peremogy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

Integrated power quality index in electric power systems and networks.

The paper consider the questions of definition of the integrated power quality index taking into account simultaneous impact of voltage asymmetry on negative sequence and levels of voltage harmonics. The integrated power quality index allows coordinate electromagnetic compatibility levels under simultaneous presence of different distortions. The method of calculation of optimal harmonic factors for fixed set of the harmonics and voltage asymmetry on negative sequence is proposed. Uncertainty of measurement (definition) of the integrated power quality index based on uncertainty of measurement of its components is evaluated. References 4, tables 2, figures 2.

Key words: power quality, integrated index, uncertainty.

Надійшла 01.02.2011

Received 01.02.2011