

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ КООРДИНАТ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Столярчук П.Г., Гудим В.І., Ванько В.М.
Національний університет "Львівська політехніка"
stolyarchuk@polynet.lviv.ua

The file of normative parameters with the purpose of the most complete maintenance of quality of networks in electropower system is analysed, the influence of probable distortions of a voltage on various kinds of loading is investigated, and also the general approach for measurement of parameters on the basis wavelet of transformation of signals is considered.

Актуальність проблеми. Розвиток сучасних технологій супроводжується використанням і вдосконаленням не лише силового електрообладнання різноманітних технологічних комплексів, а й систем та джерел електропостачання. Вдосконалення електрообладнання вітчизняного та імпортного виробництва здійснюється за рахунок використання нових технологічних і конструктивних рішень та використання відповідних матеріалів. Разом з тим це обладнання є достатньо чутливе до погіршення якості ЕЕ, що найчастіше призводить до зниження його надійності та підвищення втрат енергії. Тут з'являються задачі контролю та забезпечення надійності систем електропостачання.

Згідно з чинним в Україні стандартом на якість ЕЕ, існує два види норм показників якості, зокрема: нормально допустимі і гранично допустимі [1]. Перші з них використовуються для умов нормальної експлуатації силового електрообладнання, а граничні – для аварійних режимів електроенергетичних систем. Відповідно до цього, контроль та оцінка показників якості ЕЕ здійснюються шляхом їх періодичного контролю, вимірювань і обробки за відомими алгоритмами на підставі рекомендованої методології. Поряд з потребами оперативного контролю великого числа даних показників, не менш важливою проблемою є їхня певна систематизація та впорядкування в залежності від впливу на різноманітні споживачі.

Постановка задачі. Досвід вимірювань та обробки показників якості ЕЕ підказує, що залежно від зміни в часі їх можна розділити на статичні та динамічні. До статичних слід віднести наступні:

- повільні коливання амплітудного та середньоквадратичного значення (СКЗ) напруги в електричних мережах;
- несиметрія трифазної системи напруг чи струмів за обчисленнями коефіцієнтів оберненої та нульової послідовностей;
- несинусоїдність змінної напруги чи струму в електричній мережі;
- коливання активних та реактивних потужностей споживання.

Остання група визначає особливості процесів обміну реактивними потужностями між енергосистемою і споживачами, а також потужності втрат в мережах енергосистеми [2, 3, 4].

Динамічними вважаємо показники:

- пов'язані з швидкими імпульсними спотвореннями форми напруги мережі на інтервалі часу, меншому тривалості чвертини періоду основної гармоніки;
- швидкоплинні (з періодом коливання до 1...2 сек.);
- повільноплинні (від 1...2 сек. до кількох хвилин);
- відхилення (частіше перевищення) амплітуд напруги, тобто перенапруги в мережі;
- повільно плинні та швидкоплинні провали в мережі властиві перехідним процесам в мережі протягом часу від одного періоду повторення до 10 сек.

Зважаючи, що швидкі динамічні спотворення напруги в будь-якій точці енергосистеми виникають через комутаційні процеси та атмосферні розряди в мережах, як правило в першу чергу звертають увагу на повільніші статичні відхилення напруги.

При цьому за [5] повільні відхилення напруги призводять до суттєвого погіршення експлуатаційних характеристик електричних двигунів, як наведено у табл. 1. Відхилення цих характеристик від номінальних значень негативно впливають на ефективність функціонування технологічного обладнання та викликають відповідні економічні втрати для виробництва. Крім того, за відомими джерелами [2, 3, 4] виникають втрати підчас експлуатації іншого обладнання.

Наприклад, при відхиленні напруги живлення дугових печей для варіння сталі і кольорових металів потужністю 250 кВт до 4% від номінального значення викликає непродуктивні втрати ЕЕ у 50 МВт-год. на рік. А для освітлювальних ламп розжарювального типу збільшення напруги на 3% скорочує їх термін придатності на 30%, а зростання напруги на 5% – практично вдвічі зменшить строк служби. Схожі висновки можна зробити також стосовно люмінесцентних ламп освітлення.

Варто відзначити, що поряд з рекомендованими за [1] усталеним відхиленням напруги, розмахом зміни напруги та дозою флікера, не менш важливі є також коливання миттєвих і інтегральних значень напруги

Таблиця 1. Вплив відхилення напруги мережі на характеристики електродвигунів

	Характеристики електродвигунів	Зміна характеристик за умови відхилення напруги мережі на:	
		-10%	+10%
1	Пусковий та обертальний моменти	-19%	+21%
2	Ковзання, %	+23%	-17%
3	Частота обертання за номінального навантаження на валі двигуна	до -2.5%	до +2.5%
4	Коефіцієнт потужності (cosφ) при навантаженні а) 100% б) 75% в) 50%	+1% +2÷+3% +4÷+5%	-3% -4% -5÷-6%
5	Струм ротора при номінальному навантаженні	+15%	-12%
6	Струм статора при номінальному навантаженні	+10%	-7%
7	Пусковий струм	-10÷-12%	+10÷+12%
8	Приріст t обмотки при номінальному навантаженні	+5÷+6 град. С	Практично без суттєвих змін

мережі, які носять випадковий непрогнозований характер, що пояснюється впливом багатьох випадкових і змінних факторів [2, 3, 4].

Крім того, на надійність обладнання суттєво впливають показники якості ЕЕ, що регламентують зміни в спектральному складі (коефіцієнти спотворення синусоїдності та n -ї гармонічної складової напруги) та у формі сигналу (коефіцієнт часової перенапруги, глибина западини напруги та їх тривалості).

Розв'язання задачі. На даний момент оцінку коливань напруг мережі здійснюють на основі аналізу осцилограм з використанням графічних методів обробки даної інформації, що характеризується низькою точністю. Проведені авторами дослідження у напрямі обробки коливань напруг і струмів отриманих шляхом осцилографування показали, що можна виділити сигнали напруги мережі двох видів: частоти яких більші від промислової та з частотами, нижчими від промислової. Тут можна стверджувати, що вони підпорядковані однаковим закономірностям, коли йдеться про квазістаціонарні процеси.

З метою пришвидшення процесу обробки аналізованих кривих доцільно з вихідних напруг вилучити першу гармоніку шляхом віднімання від реальної кривої ідеальну синусоїду з амплітудою, яка є пропорційна до стандартної величини. Таким чином залишаться виключно завади, які описуються функцією часу у вигляді:

$$\Delta f_U(t) = f_U(t) - f_{Uc}(t), \quad (1)$$

де $f_U(t)$ - реальна функція (напруга), яка спостерігається в мережі даного навантаження; $f_{Uc}(t)$ - нормована функція, яка відповідає вимогам стандарту, а $\Delta f_U(t)$ - функція сумарних відхилень і завад, яка підлягає аналізу. При $\Delta f_U(t) = 0$ не лише амплітуда а й частота відповідають вимогам стандарту, а досліджувана крива не містить жодних відхилень, спотворень чи завад.

Для існуючих електроенергетичних систем нормованою функцією є синусоїдна напруга на вторинній обмотці трансформатора напруги з середньо-квадратичним значенням 100 В та частотою 50 Гц.

Завдяки опрацюванню виразу (1) шляхом визначення масиву вищенаведених показників можна отримати детальну оцінку гармонійних процесів в різноманітних мережах. Кожен показник оцінюється на основі відповідних математичних моделей та алгоритмів з використанням розкладу функції у ряд Фур'є, що дозволяє виділити енергетичний спектр окремих гармонік. Нажаль цей підхід має ряд суттєвих обмежень, пов'язаних з властивостями досліджуваної функції. Дослідження останніх десятиліть показали, що споживачі з різкозмінними нелінійними характеристиками генерують широкий спектр частот, не кратних до основної, які викликають значні спотворення та завади і не можуть бути враховані за даною методикою. За даними [2] напруги і струми в мережах містять не лише частоти, кратні до основної, а й не кратні, тобто інтергармоніки.

У цьому випадку значно ефективнішим є застосування малошхвильових перетворень (МХП), як більш універсального математичного апарату. Це дозволяє здійснити оцінку амплітуд широкого спектру частот як нижчих так і вищих від промислової. Разом з тим є очевидним, що частоти нижчі від промислової визначають характер коливань, а вищі від промислової спотворення синусоїдної форми напруг та струмів. Одночасно можна оцінити коливання контрольованих напруг, що, наприклад, здійснюється шляхом порівняння амплітуд двох сусідніх періодів повторення. Також можна визначити швидкість зміни СКЗ напруг, беручи до уваги значення останніх сусідніх періодів. Експерименти показують, що ці коливання найчастіше містяться у квазіперіодичних напругах та струмах.

Аналогічно на основі виразу (1) оцінюються несиметрія системи трифазних напруг. При цьому, від контрольованих трифазних напруг потрібно віднімати систему симетричних стандартних трифазних напруг, а

оцінку несиметрії здійснювати на основі аналізу різниць. Поєднання (1) з математичним апаратом МХП дозволяє отримати інформацію про амплітуди основної і вищих гармонік лінійних напруг, а також щодо фазових зміщень між цими напругами. Швидкозмінні несиметричні динамічні процеси, які мають місце у сучасних системах електропостачання, наприклад, дугових сталеварних печей, вимагають вдосконалення методів обробки інформації і на її основі оцінки рівня динамічної несиметрії напруг.

Враховуючи наявність швидкодійних потужних обчислювальних засобів на базі мікропроцесорних систем, аналоговий сигнал, який отримуємо від вимірювальних пристроїв (трансформаторів) перетворюємо у цифровий код з необхідною дискретністю.

Для аналізу функції сумарних відхилень і завад $\Delta f_U(t)$, можна використати МХП у вигляді

$$mcp[\Delta f(t), \psi(t, a, b)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \Delta f(t) \cdot \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (2)$$

де b та a – зміщення та масштаб базової вейвлет-функції ψ , а ψ^* – функція, комплексно спряжена до останньої, основні вимоги до якої розглянуто в [6].

Враховуючи можливості вільного вибору властивостей базової функції ψ , тобто її орієнтації на пріоритетні часову чи частотну локалізації, візьмо для вимірювання різних показників якості ЕЕ дещо відмінні ψ_{ne} та $\psi_{2\theta}$. Наприклад, для повільних коливань напруги та потужностей споживання ефективним

буде ψ_{ne} з часовим вікном $[b + at^* - a\Delta_{\psi_{ne}}, b + at^* + a\Delta_{\psi_{ne}}]$, а стосовно контролю несиметрії трифазної

системи та несинусоїдності напруг і струмів, відповідно – $\psi_{2\theta}$ з частотним вікном $\left[\frac{\omega^* - \Delta_{\psi_{2\theta}}}{a}, \frac{\omega^* + \Delta_{\psi_{2\theta}}}{a} \right]$, де

t^* і ω^* – центри вікон, а $\Delta_{\psi_{ne}}$ і $\Delta_{\psi_{2\theta}}$ – їх часовий і частотний радіуси. Перевагою такого підходу є можливість реалізації єдиної багатофункціональної мікропроцесорної структури, в якій за допомогою програмного переналаштування можна змінити параметри базової функції і отже – алгоритм вимірювання необхідного показника якості ЕЕ.

Висновки. Застосування запропонованого методу оцінки якості напруги мережі на основі малошвидкостного перетворення дозволяє отримати повнішу інформацію про координати режимів енергосистем та систем електропостачання, що гарантуватиме забезпечення високої надійності її функціонування.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Жежелевко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331с.
3. Дрехслер Р. Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке. Пер. с чешск. М. 1985.
4. Sprawozdanie z pomiarów jakości napięcia 30 kV zasilającego konwerter łukowy 65 MVA w Hucie Częstochowa. S z o. o. ENERGOPOMIAR-ELEKTRYKA. – GLIWICE, czerwiec 1998, – 25 s.
5. Ермолин П.Е. Электрические машины малой мощности. – М. : «Высшая школа», 1967. – 504 с.
6. Daubechies I. The wavelet, time/frequency localization and signal analysis, IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 36, Sept. 1990, pp. 961-1005.

Рекомендовано до друку д.т.н. проф. Федоровим М.М.