

УДК 621.317

Н.І. ПОВОРОЗНЮК, к.т.н., доц. НТУУ "КПІ", м. Київ,
Д.П. БІЛЮБА, магістр НУХТ, м. Київ

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Розглянута система моніторингу якості електроенергії. Проаналізований сучасний етап розвитку систем енергозабезпечення і вказані проблеми і виклики. Обґрунтована необхідність моніторингу систем енергозабезпечення. Запропонована структура системи моніторингу якості електроенергії, а також алгоритми аналізу сигналів на основі вейвлет-перетворення і класифікації спотворень на основі методу опорних векторів. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: якість електроенергії, моніторинг, вейвлет-перетворення, класифікація, метод опорних векторів.

Постановка проблеми і аналіз літератури. У розвитку сучасних систем енергозабезпечення спостерігаються такі тенденції [1].

Зростає частка споживачів електроенергії, у яких широко застосовуються потужні напівпровідникові пристрої (тиристори, біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT), польові транзистори тощо), що працюють у ключовому режимі. Ключовий режим роботи спричинює значне відхилення струмів і напруг споживача від синусоїдної форми і споживач стає нелінійним пристроєм. Нелінійні пристрої підключені до спільної шини живлення і тому спотворення, що виникають у цих пристроях, поширюються по всій мережі.

У той же час зростає частка споживачів електроенергії (високоточні комп'ютерні та інформаційні системи, технологічні лінії і установки тощо), які дуже чутливі до спотворень. Спотворення форми напруги живлення, поширюючись по електромережі, негативно діє на таких споживачів, спричинюючи неправильний режим роботи, збої, перегрівання і навіть вихід з ладу.

Ще однією тенденцією є широке запровадження у системах енергопостачання альтернативних джерел енергії (вітрові, сонячні електростанції, енергоустановки на термальних водах тощо), потужність яких набагато менша традиційних електростанцій. Генерація електричної енергії тепер розподілена по великій території і здійснюється великою кількістю електростанцій. Задача забезпечення потрібної якості електроенергії значно ускладнюється.

Якість електроенергії (Power Quality) – це багатогранне поняття, що характеризує складні процеси в системах енергозабезпечення і описується системою показників (Indices). Показники якості мають відображати стан електричної мережі як в усталеному (стаціонарному), так і у неусталеному (нестационарному) режимах і тому поділяються на кілька класів.

Збурення. Збурення – короткотермінові відхилення від форми кривої напруги (струму) в усталеному режимі. Відхилення, у свою чергу, поділяються на високочастотні: неперіодичні разові імпульси (impulsive), періодичні короткотермінові провали напруги (notching), короткотермінові відхилення коливального характеру (oscilatory) і низькочастотні: просідання напруги (sag, dip), перенапруга (swell), пропадання (провал) напруги (interrupt). Основними параметрами збурень є амплітуда відхилення і його тривалість.

Спотворення. Спотворення – це відхилення форми кривої напруги (струму) від ідеальної синусоїдної форми в усталеному (стаціонарному) режимі роботи енергосистеми. Спотворення обумовлені наявністю гармонік та інтергармонік і характеризуються коефіцієнтом гармонічних спотворень (THD-Total Harmonic Distortion), який визначається відношенням суми середніх квадратичних значень всіх гармонік до середнього квадратичного значення основної (fundamental) гармоніки і вираженого здебільшого у відсотках.

Несиметрія напруг. Під несиметрією напруг розуміють неідентичність амплітуд напруг трифазної мережі, а також відхилення кута між векторами фазних і лінійних напруг від значення 120° . Несиметрія проявляється у наявності оберненої і нульової послідовності напруг і характеризується коефіцієнтом несиметрії.

Флюктуації і флікер. Флюктуації описуються як непередбачувані, хаотичні зміни амплітуди напруги (струму), що спричиняють мерехтіння (flicker) світла в освітлювальних установках.

Проблема якості електроенергії знайшла відображення у міжнародних [2 – 5] і вітчизняних стандартах [6], у яких законодавчо закріплена система показників якості електроенергії, а також допустимі і граничні значення цих показників.

Мета статті. Розробка автоматизованої системи моніторингу якості електроенергії енергетичної системи, розподіленої по великій території.

Структура системи моніторингу. Система моніторингу якості електроенергії складається з таких підсистем: підсистема збору первинної інформації; підсистема аналізу сигналів і виокремлення особливостей; підсистема класифікації [7 – 9].

Підсистема збору первинної інформації містить набір датчиків (сенсорів) фазних і лінійних напруг і струмів. Вихідні сигнали датчиків перетворюються у цифрову форму і передаються каналами зв'язку на підсистему обробки інформації.

Частотний діапазон спотворень у енергосистемі досить широкий, тому частота дискретизації сигналів вибирається високою. Це призводить

до великих обсягів інформації, яка поступає на підсистему обробки. З цього потоку інформації доцільно вибирати лише ті сегменти сигналів, що містять інформацію про спотворення. Вибір таких інформативних сегментів, тобто *сегментація* сигналів здійснюється порівнянням середнього квадратичного значення сигналу з пороговим значенням. Якщо обчислене середнє квадратичне значення сигналу перевищує порогове, то такий сегмент сигналу поступає на подальшу обробку.

Вейвлет-аналіз сигналів. Для аналізу сигналів енергетичних систем традиційно використовували перетворення Фур'є, зокрема ефективний алгоритм обчислення коефіцієнтів – швидке перетворення Фур'є. Перетворення Фур'є дає змогу визначити спектральні компоненти сигналу і обчислити, зокрема, коефіцієнт гармонічних спотворень. Однак, перетворення Фур'є можна застосовувати лише для стаціонарних сигналів, у той час як сигнали енергетичних систем здебільшого нестационарні. Щоб зняти це обмеження було запропоновано і широко застосовувалося короткотермінове перетворення Фур'є, тобто перетворення Фур'є сигналу, зваженого нормованою ваговою функцією скінченної тривалості (вікном). Короткотермінове перетворення Фур'є крім роздільної здатності по частоті, має ще й роздільну здатність по часові, тобто здатне відображати зміну спектрального складу нестационарного сигналу з плином часу. Недолік короткотермінового перетворення Фур'є – фіксована роздільна здатність по частоті на всіх частотах аналізу.

У 80-ті роки минулого століття було запропоновано новий метод аналізу сигналів – вейвлет-аналіз (Wavelet Analysis) [10]. З того часу почався бурхливий розвиток цього методу і широке застосування у різноманітних областях науки і техніки. Вейвлет-перетворення сигналу $x(t)$ – це інтегральне перетворення виду

$$W_{s,\tau}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\Psi_{s,\tau}(t)dt. \quad (1)$$

де $\Psi_{s,\tau}(t) = \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$ – вейвлет-функція, що характеризується двома параметрами s та τ ; $\Psi(t)$ – так звана материнська функція.

Для аналізу сигналів у різних областях науки і техніки було запропоновано кілька видів материнських функцій – Морлі (Morlet), Мейера (Meuer), Добеші (Daubechi) тощо. Вибір тієї чи іншої материнської функції диктується специфічними вимогами, які ставляться до аналізу сигналів у конкретній області.

Параметр s (scale) визначає масштаб материнської функції по часові, тобто змінюючи цей параметр можна розтягувати, або стискати материнську функцію. Розтягування чи стискання материнської функції по часові еквівалентно зміщенню частоти аналізу у частотній області: розтягування зміщує частоту аналізу в область низьких частот, а стискування – в область високих частот. Таким чином, параметр s забезпечує роздільну здатність вейвлет-аналізу по частоті.

Параметр τ забезпечує зсув материнської функції по часові і локалізації на певній ділянці сигналу, тобто забезпечує роздільну здатність вейвлет-аналізу по часові.

Таким чином у вейвлет-аналізі досягнуто оптимальне співвідношення між роздільними здатностями по частоті і по часу.

У середовищі MathLab було змодельовано обробку сигналів енергетичних систем з різними видами спотворень, було застосовано різні види материнських функцій і проведений порівняльний аналіз результатів моделювання.

Класифікація спотворень. Отримана в результаті аналізу сукупність параметрів, унікальна для кожного типу спотворень, передається у підсистему класифікації.

Для класифікації спотворень широко застосовуються такі методи штучного інтелекту як нейронні мережі, нечітка логіка, адаптивна нейро-нечітка мережа, метод опорних векторів (Support Vector Machine) [11,12]. Шляхом порівняльного аналізу був вибраний метод опорних векторів.

Метод опорних векторів полягає у тому, що інформаційні об'єкти гіперплощиною поділяються на два класи. Гіперплощина проводиться таким чином, щоб максимізувати роздільну смугу між об'єктами двох класів. У системі MathLab було створено моделі сигналів енергетичних систем зі спотвореннями п'яти різних класів. Ці сигнали подавалися на класифікатор для тренування і тестування. Проведено також дослідження спотворених сигналів з різними функціями класифікатора — лінійною, квадратичною, поліноміальною, радіальною функцією Гауса. Досягнута точність класифікації для всіх досліджуваних функцій не була нижчою 85%, причому поліноміальна функція показала дещо кращі результати (96%) у порівнянні з іншими функціями.

Висновки. Запропонована система моніторингу якості електроенергії, а також алгоритми аналізу сигналів і класифікації спотворень дають змогу оцінити стан системи енергопостачання і прийняти адекватні управлінські рішення.

Список літератури: 1. Nath S. Detection of Power Quality Disturbances using Wavelet Transform / S. Nath, A. Dey, A. Chakrabarti. – World Academy of Science, Engineering and

Technology. – 2009. – Vol. 49. – P. 869–873 **2.** IEEE 1159-1995 IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality **3.** IEEE 1459-2010 IEEE Standards Definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balance or unbalanced conditions **4.** IEC 61000-4-30 Testing and Measurement Techniques – Power Quality Measurement Methods **5.** IEC 61000-4-7 General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto **6.** ГОСТ 13109-97 “Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения” **7.** *Dwivedi U.D.* Power quality monitoring and analysis: an overview and key issues, International Journal of Systems Signal Control and Engineering Application // *U.D. Dwivedi, Deepti Shakya, S.N. Singh.* – 2008. – Vol. 1. – № 1. – P. 74–88 **8.** *Matz V.* Automated Power Quality Monitoring System for On-line Detection and Classification of Disturbances / *V. Matz, T. Radil, P. Ramos, A. Cruz Serra* // Instrumentation and Measurement Technology Conference. – IMTC 2007. – P. 286–295 **9.** *He H.* A self-organizing learning array system for power quality classification based on wavelet transform / *H. He, J.A. Starzyk* // IEEE Trans. Power Delivery. – 2006. – Vol. 21. – №. 1. – P. 286–295. **10.** *Santoso S.* Power quality assessment via wavelet transform analysis / *S. Santoso, E.J. Powers, W.M. Grady, P. Hofmann* // IEEE Trans. Power Delivery. – 1996. – Vol. 11. – №. 2. – P. 924–930. **11.** *Bollen M.H.J.* Classification of underlying causes of power quality disturbances: deterministic versus statistical methods / *M.H.J. Bollen, I.Y.H. Gu, P.G.V. Axelberg, E. Styvaktakis* // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2007. – P. 1–17 **12.** *Axelberg P.G.V.* Support vector machine for classification of voltage disturbances / *P.G.V. Axelberg, I.Y.H. Gu, M.H.J. Bollen* // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2007. – Vol. 22. – №.3. – P. 1297–1303

Стаття представлена д.т.н. проф. НТУУ "КПІ" Сильвестровим А.М.

УДК 621.317

Система мониторинга качества электроэнергии / Поворозник Н.И., Билюба Д.П. // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 135 – 139.

Рассмотрена система мониторинга качества электроэнергии. Проанализирован современный этап развития систем энергообеспечения и указаны проблемы і вызовы. Обоснована необходимость мониторинга систем энергообеспечения. Предложена структура системы мониторинга качества электроэнергии, а также алгоритмы анализа сигналов на основе вейвлет-преобразования і классификации искажений на основе метода опорных векторов. Бібліюгр.: 12 назв.

Ключевые слова: качество электроэнергии, мониторинг, вейвлет-преобразование, классификация, метод опорных векторов.

UDC 621.317

Monitoring quality power system / Povorozniuk N.I., Biluba D.P. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 135 – 139.

A monitoring quality power system quality is considered. The contemporary stage of development of energy systems and indicated the problems and challenges are analysed. The necessity of monitoring power system is grounded. The structure of the system for monitoring power quality and signal analysis algorithms based on wavelet transform and classification distortion based on support vector method are proposed. Refs.: 12 titles.

Keywords: power quality, monitoring, wavelet transform, classification, support vector method.

Надійшла до редакції 30.06.2011