

ВДОСКОНАЛЕНИЙ СПОСІБ ВИЯВЛЕННЯ І КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСІВ ТИМЧАСОВИХ ПЕРЕНАПРУГ ТА ЗАПАДИН НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Куць В.Р., інженер

(Національний університет “Львівська політехніка”)

Ванько В.М., д.т.н.

(Львівський національний аграрний університет)

Наведено трактування щодо перебігу та особливостей контролю тимчасових перенапруг і западин напруги в електричних мережах. Запропоновано оригінальний спосіб виявлення та контролю цих негативних процесів погіршення якості електроенергії на основі wavelet-перетворення. Розроблено алгоритми визначення показників якості електроенергії, котрі дозволяють розширено описувати проходження зазначених процесів

Вступ. Під час комутаційних явищ та коротких замикань в електричних мережах на енергооб'єктах виникають специфічні негативні процеси: тимчасові перенапруги та западини напруги.

Перші з них представляють собою підвищення миттєвих та інтегральних значень напруги [1], деколи із збереженням її синусоїдальної форми, котрі можуть спричиняти вихід з ладу вартісного електричного та електронного устаткування.

Западини напруги полягають у раптовому зниженні миттєвих чи середньоквадратичних значень (СКЗ), інколи до майже нульового рівня [1]. Даний негативний процес у мережі викликає не лише суттєве зниження продуктивності різноманітного устаткування, але й може призводити до погіршення надійності приладів промислового і побутового призначення. Йдеться, наприклад про такі, котрі містять електричні двигуни і щодо яких декларуються вимоги до напруг споживання відповідними вітчизняними і міжнародними нормативними документами [1,2].

Через випадковий характер виникнення досить важко за допомогою відомих засобів вимірювання виявляти та досліджувати у повному обсязі тимчасові перенапруги та западини напруги у мережах енергосистеми.

Таким чином, контроль і оцінка якості ЕЕ у зв'язку із появою та перебігом зазначених негативних процесів є однією з найважливіших і актуальних проблем з огляду на потреби постійного вдосконалення засобів вимірювання показників якості (ПЯ), котрі описують ці процеси.

Особливості контролю негативних динамічних процесів у мережах. За даними [1] тимчасові перенапруги та западин напруги, що з'являються в електричних мережах, характеризуються такими основними ПЯ ЕЕ:

коефіцієнтом тимчасової перенапруги $K_{перU}$ та глибиною западини напруги δU_3 , а також тривалостями їх перебігу $t_{P\Sigma}$ та $t_{Z\Sigma}$.

Вони визначаються за виразами

$$K_{перU} = \frac{U_{mn}}{k_{ав} \cdot U_{ном}} = \frac{U_{ск.п} \cdot k_{а.п}}{k_{ав} \cdot U_{ном}}, \quad (1)$$

$$\delta U_3 = 1 - \frac{U_{ск.з}}{U_{ном}}, \quad (2)$$

де $k_{а.п}$ і $k_{ав}$ – коефіцієнти амплітуди досліджуваного сигналу та на момент встановленого режиму; U_{mn} та $U_{ск.п}$ – амплітуда та СКЗ напруги під час тимчасової перенапруги; $U_{ск.з}$ та $U_{ном}$ – СКЗ при западині напруги та номінальне значення напруги, характерне для даної мережі.

У даному випадку (1) і (2) відображають лише коливання СКЗ напруги відносно $U_{ном}$, причому вони розраховані на найпростішу реалізацію процедури вимірювань, яка є ефективною у випадку форми контрольованого сигналу напруги, близької до синусоїдальної. При цьому, особливість величин $k_{а.п}$ і $k_{ав}$ полягає в тому, що вони тільки у першому наближенні характеризують форму напруги та не дають інформації про енергетичний спектр сигналу. Нажаль, реально під час процесів тимчасової перенапруги та западини напруги поряд з приблизно синусоїдальним має місце спотворений полігармонічний чи амплітудно-модульований сигнал.

Специфіка зазначених процесів показує, що у момент їх виникнення та під час проходження мають місце різкі зміни форми і значень сигналів часової функції напруги $f_U(t)$. Тобто, тимчасові перенапруги та западини напруги можна віднести до *негативних динамічних процесів*, котрі мають місце у мережах енергосистеми. Поряд з цим найбільший інтерес з'являється до інформації про інтегральні характеристики, форму і спектр напруги, взяті протягом певним чином послідовно вибраних інтервалів часу t_B вимірювання. Це пояснюється особливостями проходження даних процесів, коли на початку відбувається їх певна перехідна частина, а потім – усталена [3].

Тому, доцільно трансформувати вирази (1) і (2) до виду

$$K_{перU} = \frac{(f_U)_{ск.п}}{U_{ном}} = \frac{\sqrt{\left(\Phi_P^U(0)\right)_{BC-nU}}}{\sqrt{\Phi_{ном}^U(0)}} = (b_{BC-nU})_P, \quad (3)$$

$$\delta U_3 = 1 - \frac{(f_U)_{ск.з}}{U_{ном}} = 1 - \frac{\sqrt{\left(\Phi_Z^U(0)\right)_{BC-nU}}}{\sqrt{\Phi_{ном}^U(0)}} = 1 - (b_{BC-nU})_3, \quad (4)$$

де $\left(\Phi_P^U(0)\right)_{BC-nU}$ і $\left(\Phi_Z^U(0)\right)_{BC-nU}$ – кореляційні функції даних процесів, які по-різному описуються в залежності від часу проходження (індекс BC –

встановлена фаза або індекс nU – перехідна фаза); $\Phi_{ном}$ – номінальне значення кореляційної функції, що відповідає значенню напруги $U_{ном}$ [3].

Суттєва перевага такого підходу полягає в тому, що величини $(b_{BC-nU})_p$ і $(b_{BC-nU})_z$ є однотипними, завдяки чому можна використати однаковий алгоритм для обчислення $K_{нерU}$ і δU_z та єдину структуру для побудови засобу їх вимірювання.

Моніторинг тимчасових перенапруг та западин напруги на основі wavelet-перетворення. Виходячи з викладеного вище, можна зробити висновок, що для дослідження динамічної поведінки сигналів напруг у мережах різних об'єктів та систем управління в енергетиці доцільно використовувати як найоптимальніший спеціальний математичний апарат – wavelet-перетворення (ВВП) [4,5].

В [5,6] запропоновано оригінальний спосіб виявлення та контролю вказаних негативних процесів за допомогою дискретного ВВП (ДВВП). Спочатку над досліджуванним сигналом $f_U(t)$ здійснюється операція попереднього підготування до виду, зручного для подальшого його перетворення. Одним з варіантів цього може бути аналого-цифрове перетворення вхідного сигналу, тобто отримання масиву кодів $\{f_U(k)\}$.

Одночасно реалізується виділення інтервалів вимірювання t_B шляхом визначення переходів $f_U(t)$ через нульове значення та формування часових міток для $\{f_U(k)\}$. Дана підготовча процедура також забезпечує обчислення часових параметрів названих шкідливих процесів – тривалостей t_{PS} і t_{ZS} , а також – нумерацію точок перебігу.

Надалі над $\{f_U(k)\}$ виконується ДВВП за допомогою операцій декомпозиції на рівнях $j=1,2,\dots,J$. На кожному j -у рівні отримують вектор з k_j деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів $|d_{j,k_j}|$, а на J -у – два вектори: $|d_{J,k_J}|$ та апроксимуючих $|a_{J,k_J}|$.

При цьому важливим є наступний аспект. Від вибраної кількості J рівнів ДВВП залежить частотний діапазон аналізу $f_U(t)$, причому під час реалізації запропонованого способу значення J приймається з певним надлишком.

Особливістю процедури виявлення того чи іншого негативного процесу є *два моменти*.

По-перше, у разі появи тимчасової перенапруги чи западини напруги вже на першому рівні ДВВП графік вектора $|d_{1,k_1}|$, як функції часу, буде містити імпульсні відхилення значень від практично нульового значення, оскільки параметри $|d_{1,k_1}|$ вибрані таким чином, щоб максимально уникнути у них інформації про досліджувану $f_U(t)$ і використати їх для виявлення цих процесів [5,6]. В моменти початку і закінчення негативних процесів будуть виконуватись нерівності коли біжучі значення першого вектора коефіцієнтів перевищать деякі розраховані

опорні значення (необхідна умова), котрі визначаються характером появи цих процесів і параметрами ДВВП [5].

$$\text{mod}|d_{1,k_1}| > d_{on,n}, \text{mod}|d_{1,k_1}| > d_{on,3}, \quad (5)$$

Особливістю даного перетворення є, як правило, досить невелика різниця між $d_{on,n}$ і $d_{on,3}$, значення котрих вибирається трохи більшим нуля і залежить від необхідного рівня завадостійкості структури, що реалізує даний спосіб контролю якості ЕЕ. Завдяки цьому, допустимо застосовувати одне значення опори d_{on} і єдиний алгоритм виявлення обох процесів згідно (5).

Але виконання умов (5) може настати і у випадку появи, наприклад, швидких імпульсних змін форми $f_U(t)$ з тривалостями в одиниці-десятки мікросекунд [1], які помилково трактуватимуться як описувані негативні процеси.

Другим, достатнім моментом у фіксації початку і закінчення тимчасових перенапруг та западин напруги у мережах вважається обчислення біжучих значень автокореляційної функції (АКФ) фрагментів $f_U(t)$ протягом виділених інтервалів вимірювання t_B , а також визначення проміжків часу, коли ці значення виходять за встановлені межі [5,6].

Таким чином, поряд з дотриманням умови (5) необхідно також додатково фіксувати здійснення нерівностей

$$\left\{ \frac{\left[\sum_j \sum_{k_j} (d_{j,k_j})^2 + \sum_{k_j} (a_{j,k_j}^2) \right]}{N_{B\epsilon}} \right\}^{0.5} = \left\{ \frac{\left[(d_{1,k_1})^2 + (a_{1,k_1})^2 \right]}{N_{B\epsilon}} \right\}^{0.5} > 1.1 \cdot \Phi_{ном}^{0.5} \quad (6)$$

$$\left\{ \frac{\left[\sum_j \sum_{k_j} (d_{j,k_j})^2 + \sum_{k_j} (a_{j,k_j}^2) \right]}{N_{B\epsilon}} \right\}^{0.5} = \left\{ \frac{\left[(d_{1,k_1})^2 + (a_{1,k_1})^2 \right]}{N_{B\epsilon}} \right\}^{0.5} > 0.9 \cdot \Phi_{ном}^{0.5}, \quad (7)$$

де $N_{B\epsilon}$ – сумарне число точок дискретизації за визначений інтервал часу вимірювання $t_{B\epsilon}$ під час виявлення тимчасових перенапруг та западин напруги.

Особливістю запропонованого способу з використанням ДВВП є той факт, що значення $t_{B\epsilon}$ знаходиться, починаючи від моменту фіксації (5), а за відсутності останньої, наприклад на початку T_j , приймається рівним t_B .

На рис. 1 наведено приклад виявлення тимчасової перенапруги за допомогою запропонованого способу із застосуванням ДВВП для досліджуваного сигналу котрий показаний на верхній частині рис. 1, де $\omega_S, U_{mS,ном}$ і $\omega_P, U_{m,PS}$ – колова частота і номінальна амплітуда напруги встановленого режиму та тимчасової перенапруги, причому для спрощення представлення взято $\omega_S = \omega_P$.

$$f_U(t) = \begin{cases} U_{mS.ном} \cdot \sin \omega_S \cdot t, t < \tau_1 \\ U_{m.PS} \cdot \sin \omega_P \cdot t, t \geq \tau_1 \end{cases}, \quad (8)$$

Нижче на рис. 1 зображують графіки векторів коефіцієнтів семи рівнів розкладу ДВВП для $f_U(t)$ з $U_{mPS} = 532B$ та $U_{mS} = 311B$ – семи деталізуючих $|d_{j,k_j}|$ ($j=1,2,\dots,7$) та одного останнього рівня апроксимуючих коефіцієнтів $|a_{7,k_7}|$. В якості базової функції застосовувалась функція Даубечі – db10 [4].

Як видно, необхідною умовою виявлення тимчасової перенапруги є поява коротких імпульсів на першому рівні ДВВП, що відповідає (5), та достатня умова, котра підтверджується (6). За допомогою цієї інформації легко визначається тривалість t_{PS} проходження даного процесу як різниця часу між моментами початку і закінчення процесу, тобто – $t_{PS} = \tau_2 - \tau_1$ (рис. 1).

Використовуючи отримані значення векторів $|d_{j,k_j}|$ і $|a_{j,k_j}|$ розраховують наведені вище основні ПЯ ЕЕ. За даним способом виявлення і контролю зазначених динамічних процесів K_{nepU} і δU_3 пропонується трактувати двосторонньо, враховуючи особливості та суть wavelet-коефіцієнтів ДВВП [6].

Виходячи з [4,6] та використовуючи вирази (3) і (4), ці ПЯ ЕЕ можна з високою достовірністю визначати за допомогою векторів першого рівня перетворення:

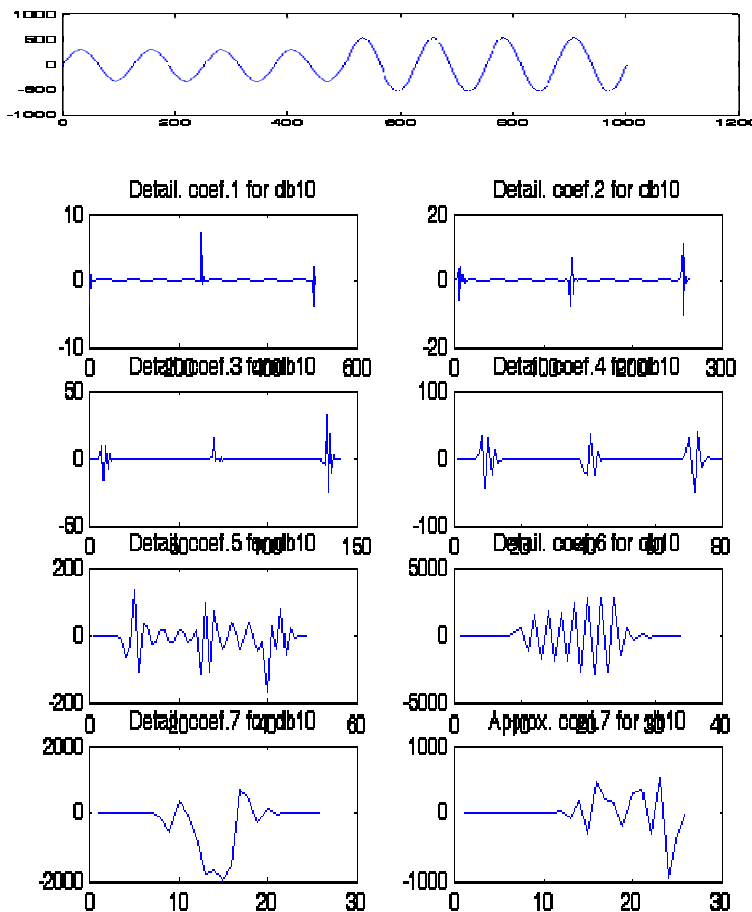


Рис. 1. Приклад виявлення часової перенапруги за допомогою запропонованого способу із застосуванням ВВП

$$K_{пер.U} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{\text{вм}}} \cdot \sum_{k_1} [(d_{1,k_1})^2 + (a_{1,k_1})^2]}}{\sqrt{\Phi_{\text{ном}}^U(0)}}, \quad (9)$$

$$\delta U_3 = 1 - \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{\text{вм}}} \cdot \sum_{k_1} [(d_{1,k_1})^2 + (a_{1,k_1})^2]}}{\sqrt{\Phi_{\text{ном}}^U(0)}}, \quad (10)$$

причому $N_{\text{вм}}$ міститься в частині інтервалу вимірювання ДВВП – $t_{\text{вм}} = T_{\text{ej}} \langle t_B \rangle$, а

T_{ej} – біжучий період повторення $f_U(t)$.

Завдяки виконанню багаторівневої декомпозиції $\{f_U(k)\}$ за даним способом отримують також матриці коефіцієнтів ДВВП, за якими вирази (3) і (4) можна представити як

$$K_{пер.U} = \frac{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^J \sum_{k_j} (d_{j,k_j})^2 + \sum_{k_j} (a_{j,k_j})^2 \right]}}{\sqrt{\Phi_{\text{ном}}^U(0) \cdot N_{\text{вм}}}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{\text{вм}}} \cdot \left(E_{j.\text{ном}} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_{\text{ном}}}}^J E_j \right)}}{\sqrt{\Phi_{\text{ном}}^U(0) \cdot N_{\text{вм}}}}, \quad (11)$$

$$= \sqrt{(K_{nU})_{j.\text{ном}}^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_{\text{ном}}}}^J (K_{nU})_j^2} = \sqrt{(K_{пер.U})_{j.\text{ном}}^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_{\text{ном}}}}^J (K_{пер.U})_j^2}$$

$$\delta U_3 = 1 - \frac{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^J \sum_{k_j} (d_{j,k_j})^2 + \sum_{k_j} (a_{j,k_j})^2 \right]}}{\sqrt{\Phi_{\text{ном}}^U(0) \cdot N_{\text{вм}}}} = 1 - \frac{\sqrt{\left(E_{j.\text{ном}} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_{\text{ном}}}}^J E_j \right)}}{\sqrt{\Phi_{\text{ном}}^U(0) \cdot N_{\text{вм}}}}, \quad (12)$$

$$= 1 - \sqrt{(K_{nU})_{j.\text{ном}}^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_{\text{ном}}}}^J (K_{nU})_j^2} = 1 - \sqrt{[(b_{BC-nU})_3]_{j.\text{ном}}^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j_{\text{ном}}}}^J [(b_{BC-nU})_3]_j^2}$$

де $E_j, E_{j.\text{ном}}$ – відповідно, енергії на j -ому рівні перетворення та на рівні $j_{\text{ном}}$, частотний діапазон якого включає в себе промислову частоту [6].

Отже, за результатами обчислення у випадку тимчасової перенапруги $K_{пер.U}$ є геометричною сумою часткових коефіцієнтів гармонічних складових $(K_{nU})_j$ j -их та $(K_{nU})_{j.\text{ном}}$ $j_{\text{ном}}$ -го рівнів ДВВП, котрі також можна трактувати як часткові коефіцієнти перенапруг стосовно певних частотних смуг $f_U(t)$.

Аналогічно при западині напруги вираз (12) представляємо у вигляді сукупності параметрів $(b_{BC-nU})_3$, що визначаються (4) і характеризують масив δU_3 , котрий описує особливості перебігу даного процесу та спектральний склад досліджуваної $f_U(t)$.

Важливою перевагою запропонованого способу виявлення та вимірювання тимчасових перенапруг і западин напруги є певна спорідненість

алгоритмів визначення основних ПЯ ЕЕ, що дозволяє побудувати єдину структуру вимірювального засобу з хорошими метрологічними характеристиками на основі останніх досягнень мікроелектронної техніки.

Висновки. Використовуючи новітній математичний апарат – wavelet-перетворення, можна ефективно виявляти та контролювати специфічні негативні процеси погіршення якості ЕЕ у мережах: тимчасові перенапруги та западини напруги. Завдяки запропонованому способу їх контролю можна забезпечити максимальну і різнобічну інформацію щодо проходження даних процесів, що дозволить у подальшому знаходити причини появи та шукати шляхи усунення або мінімізації впливу даних процесів у мережах.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электро-магнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

2. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий.–4-е изд., перераб и доп.– М.: Энергоатомиздат, 2000.– 331 с.

3. Ванько В.М. До питання виявлення і контролю часових перенапруг та западин напруги в електричних мережах загального призначення // Вісник НУ “Львівська політехніка” «Автоматика, вимірювання та керування». – 2004. – №500. – С.31-36.

4. Наконечний А.Й. Теорія малохвильового перетворення та її застосування. – Л. : Фенікс, 2001. – 278 с.

5. Ванько В.М. Спосіб виявлення та вимірювання часових перенапруг та западин напруги в електричних мережах // Вісник Львівського Державного аграрного університету: «Агроінженерні дослідження», 2006, №10, с. 514-523.

6. Ванько В.М. Оцінка якості електроенергії під час перебігу процесів часових перенапруг та западин напруги в мережах // Вісник НУ “Львівська політехніка” «Комп’ютерні науки та інформаційні технології». – 2006. – №565. – С. 177–183.

Аннотация

Усовершенствованный способ обнаружения и контроля процессов временных перенапряжений и завалов напряжения в электрических сетях

Ванько В.М., Куць В.Р.

Приведено пояснение появления и особенности контроля временных перенапряжений и завалов напряжения в электрических сетях. Предложен оригинальный способ выявления и контроля этих негативных процессов ухудшения качества электроэнергии на основании wavelet-преобразования. Разработан алгоритм определения показателей качества электроэнергии, которые позволяют расширенно описать протекания этих процессов

Abstract

The improved method of discovery and control of processes of temporal overstrains and obstructions of tension is in electric networks

V. Vanko, V. Kuc

Reasoning concerning the course and properties of monitoring the temporal over-voltages and voltage depressions in electric networks is proposed. The original method of detecting and controlling these negative processes of electric power quality worsening based on wavelet-transform is developed. The algorithms of electric power quality index identification that enable us to broaden the description of mentioned processes' origin are suggested