

## АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ЧАСОВИХ ПЕРЕНАПРУГ ТА ЗАПАДИН НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

© Володимир Ванько, 2005

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації  
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Досліджено особливості виявлення та контролю процесів швидких спотворень сигналів напруги в електричних мережах, враховуючи специфіку їх проходження, а також запропоновано модифікований спосіб визначення моментів початку і закінчення часової перенапруги або западини напруги, враховуючи як методичні, так і інструментальні похибки, що з’являються при реалізації задекларованого способу.*

*Исследовано особенности обнаружения и контроля процессов быстрых искажений сигналов напряжения в электрических сетях, учитывая специфику их прохождения, а также предложено модифицированный способ определения моментов начала и окончания временного перенапряжения или провалов напряжения, учитывая не только методические, но и инструментальные погрешности, возникающие при воплощении задекларированного способа.*

*Is investigated features of detection and control of processes of fast distortions of signals of a voltage in electrical networks, taking into account specificity of their passage, and also the modified way of definition of the moments of a beginning and ending temporary high voltage or failures of a voltage is offered, taking into account not only methodical, but also tool errors arising at an embodiment declare of a way.*

**Постановка проблеми.** Стабільність роботи великої групи електротехнічного обладнання значною мірою залежить не лише від повільних, але й від динамічних спотворень напруги електричних мереж. Незважаючи на численні спроби фахівців стосовно наукових досліджень різних видів швидких відхилень форми та інтегральних параметрів напруги, лише останнім часом в нормативно-технічних документах з’явилися вимоги щодо відповідних показників якості електричної енергії, які дають змогу охарактеризувати вплив часових перенапруг та западин напруги на надійність і ефективність роботи різноманітного технологічного і побутового обладнання.

Якщо врахувати невинне вдосконалення електротехнічної та електронної техніки, то необхідно істотно переглянути вимоги до динамічних показників якості електроенергії. Це передовсім стосується процесів часових перенапруг та западин напруги.

Зважаючи на наявність двох фаз проходження цих процесів, а саме – перехідної та встановленої [1,2], актуальною стає проблема контролю енергетичних показників напруги мережі і особливо в початковій і заключній моменти процесів, коли можуть найсильніше проявлятися відхилення як миттєвих, так і інтегральних характеристик напруги.

**Дослідження особливостей виявлення і контролю часової перенапруги та западини напруги.** В [1] запропоновано спосіб виявлення, вимірювання і контролю часової перенапруги та западини напруги в електричних мережах, функціонування якого відображає блок-схема (рис. 1), де ПМЗ – операція здійснення модуля над миттєвими значеннями вхідної напруги  $u_{\alpha}(t)$ , ОАКФ – обчислення автокореляційної функції (АКФ), ПМЗН – порівняння миттєвих значень напруги, ВПЗН – операція виявлення часової перенапруги та западини напруги, ПУР – порівняння з уставами різних миттєвих значень напруг, ГЧМС – генерація часових міток і синхронізація, ЗМЗ – запам’ятовування миттєвих значень напруги, & – операція кон’юнкції подій настання часової перенапруги і западини напруги, ЛО1 та ЛО2 – відповідно, логічне опрацювання початку і закінчення часової перенапруги і западини напруги, МХП – малохвильове перетворення миттєвих значень напруги з метою визначення необхідних показників якості електроенергії.

Основними умовами виявлення процесів є виконання нерівностей

$$\Phi_j - \Phi_{пор1} > 0. \quad (1)$$

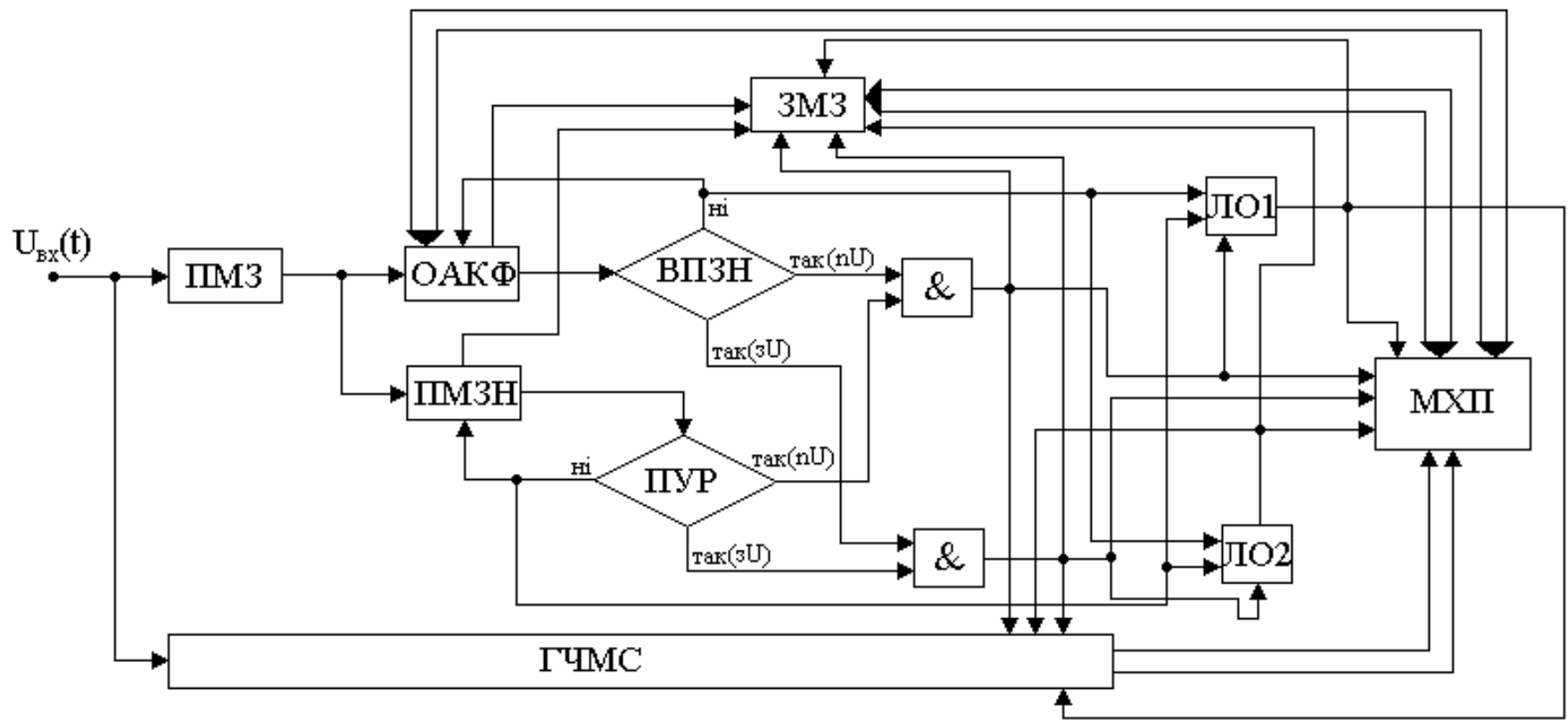


Рис. 1. Блок-схема способу виявлення, вимірювання і контролю часових перенапруг та западин напруги в мережі

Для часової перенапруги

$$\Phi_j - \Phi_{nop2} < 0 \quad (2)$$

за виникнення западини напруги, причому  $\Phi_j$  – поточне значення АКФ контрольованого сигналу, а порогові значення АКФ  $\Phi_{nop1} = 1.1 \cdot \Phi_{ном}$  та  $\Phi_{nop2} = 0.9 \cdot \Phi_{ном}$  визначаються з урахуванням номінального значення стосовно конкретної мережі.

Згідно з [1] в мережах загального призначення при появі часової перенапруги та западини напруги можливі три різновиди сигналів: синусоїдальний, спотворений полігармонічний та промодульований з аперіодичною експоненційною складовою. На основі виразів (1) і (2), приймаючи час вимірювання  $t_{вим} = \pi / \omega_{PZ}$ , визначаємо вирази для похибки виявлення цих процесів:

$$\delta_{eS} = \frac{1}{\Phi_{nop}} \cdot \left\{ \frac{\omega_{PZ}}{\pi} \cdot \int_0^{\pi/\omega_{PZ}} \left[ U_{mPZS} \cdot \sigma(t - \tau_1) \cdot \sin(\omega_{PZ} \cdot t + \varphi_{PZ}) + U_{mS} \cdot [1 - \sigma(t - \tau_1)] \cdot \sin(\omega_S \cdot t + \varphi_S) \right]^2 dt \right\}^{0.5} - 1 \quad (3)$$

для синусоїдального сигналу,

$$\delta_{eC} = \frac{1}{\Phi_{nop}} \cdot \left\{ \frac{\omega_{PZ}}{\pi} \cdot \int_0^{\pi/\omega_{PZ}} \left[ \sigma(t - \tau_1) \cdot \left[ \sum_{k=1}^d U_{mk} \cdot \sin(k \cdot \omega_S \cdot t + \varphi_k) \right] - U_{mS} \cdot \sin(\omega_S \cdot t + \varphi_S) \right]^2 + U_{mS} \cdot \sin(\omega_S \cdot t + \varphi_S) \right] dt \right\}^{0.5} - 1 \quad (4)$$

при спотвореному сигналі та

$$\delta_{eA} = \frac{1}{\Phi_{nop}} \cdot \left\{ \frac{\omega_{PZ}}{\pi} \cdot \int_0^{\pi/\omega_{PZ}} \left[ (U_{mPZe} - U_{mS}) \cdot \sigma(t - \tau_1) \cdot \sin(\omega_{PZ} \cdot t + \varphi_{PZ}) + U_{mS} \cdot \sin(\omega_S \cdot t + \varphi_S) \right]^2 dt \right\}^{0.5} - 1 \quad (5)$$

для сигналу з наявною аперіодичною складовою,

де  $U_{mPZS}, U_{mk}, U_{mPZe}$  – амплітуди відповідних напруг під час цих процесів,  $k=1,2,\dots,d$  – номер гармоніки спектра спотвореного сигналу,  $a$  – параметр, що характеризує експоненційну частку аперіодичної складової сигналу,  $\omega_{PZ}$  і  $\varphi_{PZ}$ ,  $\varphi_k$  – кругова частота і початкові фази сигналів,  $U_{mS}, \omega_S$  і  $\varphi_S$  – амплітуда, кругова частота і початкова фаза синусоїдального сигналу в момент нормального встановленого режиму в мережі,  $\Phi_{nop}$  – потрібне з порогових значень АКФ, взяте з (1) і (2);  $\sigma(t - \tau_1)$  – функція Гевісайда, яка відзначає момент  $\tau_1$  початку одного з виявлених процесів.

Після певних перетворень та використання допустимих спрощень ці вирази приводяться, відповідно, до вигляду

$$\delta_{eS} = \frac{\tau_1 \cdot \omega_{PZ}}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \frac{U_{mS}^2}{U_{mPZS}^2} - 1 \right) + \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \left[ \frac{\sin(2 \cdot \omega_{PZ} \cdot \tau_1 + 2 \cdot \varphi_{PZ})}{- \frac{U_{mS}^2 \cdot \omega_{PZ}}{U_{mPZS}^2 \cdot \omega_S} \cdot \sin(2 \cdot \omega_S \cdot \tau_1 + 2 \cdot \varphi_S)} \right] +, \quad (6)$$

$$+ \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \left[ \frac{U_{mS}^2 \cdot \omega_{PZ}}{U_{mPZS}^2 \cdot \omega_S} \cdot \sin(2 \cdot \varphi_S) - \sin(2 \cdot \varphi_{PZ}) \right]$$

$$\delta_{eC} = \frac{1}{\Phi_{nop}} \cdot \left( \frac{\omega_{PZ}}{\pi} \cdot B_C \right)^{0.5} - 1, \quad (7)$$

$$\delta_{\delta A} = \left\{ \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \frac{e^{-2 \cdot a \cdot \tau_1} - e^{-2 \cdot a_1 \cdot \pi}}{a_1} + e^{-2 \cdot a_1 \cdot \pi} \cdot (a_1 \cdot \cos(2 \cdot \varphi_{PZ}) - \sin(2 \cdot \varphi_{PZ})) - \right. \right. \\ \left. \left. - e^{-2 \cdot a \cdot \tau_1} \cdot (a_1 \cdot \cos(2 \cdot \omega_{PZ} \cdot \tau_1 + 2 \cdot \varphi_{PZ}) - \sin(2 \cdot \omega_{PZ} \cdot \tau_1 + 2 \cdot \varphi_{PZ})) + \right. \right. \\ \left. \left. + \omega_{PZ} \cdot \frac{U_{mS}^2}{U_{mPZe}^2} \cdot \left( 2 \cdot \tau_1 - \frac{\sin(2 \cdot \omega \cdot \tau_1 + 2 \cdot \varphi_S) - \sin(2 \cdot \varphi_S)}{\omega_S} \right) \right] \right\}^{0.5} - 1, \quad (8)$$

де

$$B_C = U_{mS}^2 \cdot \left( 0.5 \cdot \tau_1 - \frac{\sin(2 \cdot \omega_S \cdot \tau_1 + 2 \cdot \varphi_S) - \sin(2 \cdot \varphi_S)}{4 \cdot \omega_S} \right) + \\ + \left[ \sum_{k=1}^d \left( \int_{\tau_1}^{\pi/\omega_{PZ}} U_{mk}^2 \cdot \sin^2(k \cdot \omega_S \cdot t + \varphi_k) dt \right) \right] + \\ + \left[ \sum_{\substack{l=1 \\ n=1}}^d \left( \int_{\tau_1}^{\pi/\omega_{PZ}} 2 \cdot U_{ml} \cdot U_{mn} \cdot \sin(l \cdot \omega_S \cdot t + \varphi_l) \cdot \sin(l \cdot \omega_S \cdot t + \varphi_l) dt \right) \right] \quad (9)$$

$l$  і  $n$  – цілі додатні числа в межах  $1 \dots d$ , причому  $l \neq n$ ,

$a_1 = \frac{a}{\omega_{PZ}}$  – певний параметр, який характеризує

поведінку сигналу під час часової перенапруги і западини напруги.

Необхідно відзначити, що останні вирази фіксують можливість початку досліджуваних процесів в будь-який часовий момент  $\tau_l$  нормального усталеного режиму мережі, який описується синусоїдальним сигналом. Тому (6–9) характеризують точність виявлення цих процесів в мережі, реалізованого згідно з (1) і (2), причому  $\delta_\delta$  залежить від зміни таких координат, як  $\tau_l$ ,  $\omega_{PZ}$ ,  $U_{mPZ}$  (амплітуда одного з трьох можливих видів сигналу),  $\varphi_{PZ}$ ,  $\varphi_S$ .

Аналіз наведених виразів показує, що однією з найвпливовіших на значення величини  $\delta_\delta$  є зміна  $\tau_l$ . Зважаючи на особливості реалізації цього способу виявлення та вимірювання параметрів часової перенапруги і западини напруги [1], залежності зміни похибки  $\delta_\delta$  від коливання величини  $\tau_l$  в діапазоні 0...10 мс для трьох видів сигналів мають вигляд, показаний на рис. 2.

З погляду точності визначення тривалості досліджуваних процесів та оцінки ймовірного найбільшого зростання амплітуди напруги, з урахуванням наявності

в нормальному режимі синусоїдального сигналу, при виникненні цих процесів в мережі варто обмежитись розглядом діапазону  $\tau_l = 1$  мс...5 мс.

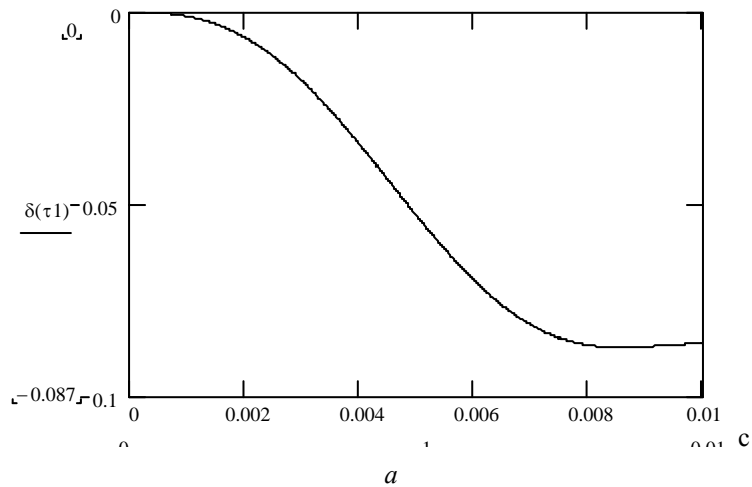
У разі першого різновиду сигналу (синусоїдальна форма – рис. 2, а) можна стверджувати, що значення  $\delta_{\delta S}$  не більше ніж 1% забезпечується, якщо  $\tau_l < 2.25$  мс.

Для спотвореного сигналу характерна істотна залежність  $\delta_{\delta S}$  від вмісту вищих гармонік контрольованої напруги. Наприклад, при значенні коефіцієнта спотворення синусоїдності 15% похибка  $\delta_{\delta S} = 1.5\%$  гарантується лише за умови  $\tau_l < 1.9$  мс. (рис. 2, б).

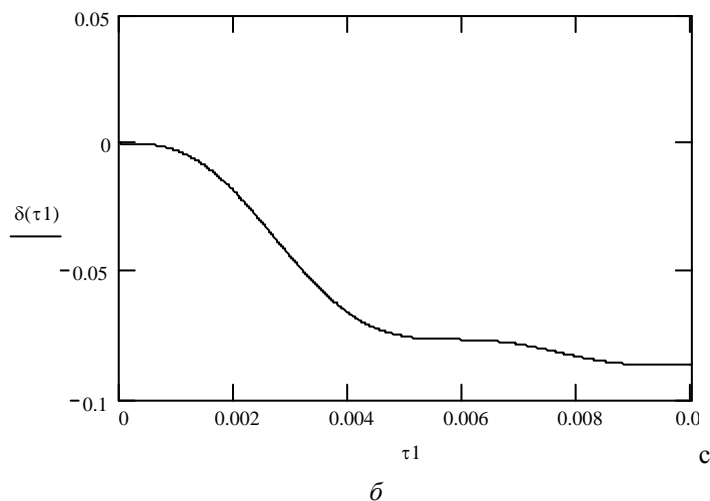
Стосовно третьої форми сигналу напруги з аперіодичною складовою (рис. 2, в) також можна констатувати значну залежність  $\delta_{\delta A}$  від параметра експоненти  $a$ . Якщо прийняти як реальну зміну  $a = 1.0 \dots 2.0$ , то  $\delta_{\delta A} = 1.5\%$  забезпечується, якщо  $\tau_l < 2.0$  мс.

На основі викладеного та з урахуванням особливостей функціонування цього способу контролю процесів часової перенапруги і западини напруги (рис. 1) можна стверджувати, що навіть за умови незначного збільшення чи зменшення АКФ  $\Phi_j$ , яке не буде зафіксоване згідно з (1) і (2) в першому півперіоді вхідного сигналу, то, як показує практика досліджень і за даними [2], це відбудеться в наступному півперіоді.

Безрозм.



Безрозм.



Безрозм.

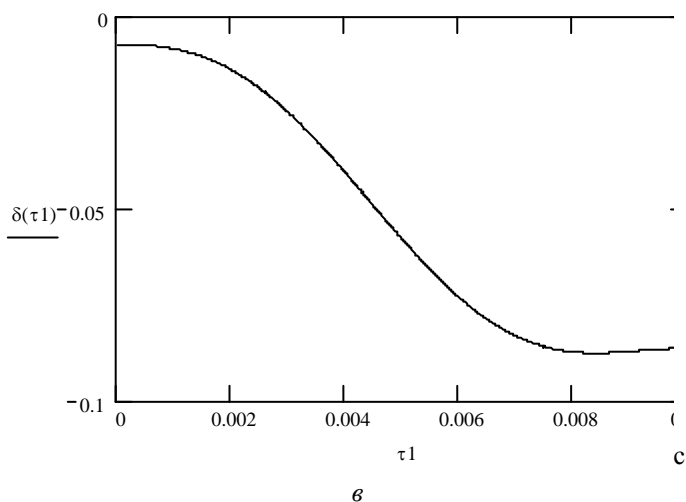


Рис. 2. Графіки залежностей похибки  $\delta_v$  виявлення часових перенапруг та западин напруг від зміни величини  $\tau_1$  для трьох видів сигналів

Отже, внаслідок того, що відзначаються наведені вище зміни значень  $\tau_1$ , можна гарантувати точність визначення моменту виникнення і відповідно тривалості досліджуваних процесів з граничною абсолютною похибкою до  $\pm 7.75 \dots \pm 8.10$ мс.

Грунтуючись на аналізі наукових джерел, присвячених питанням досліджень процесів погіршення якості електроенергії в мережах загального призначення, можна допустити, що  $\varphi_{PZ} \approx 0$ , враховуючи строгу синхронізацію роботи основних вузлів електроенергетичної системи.

Оцінимо вплив на точність виявлення зміни  $\omega_{PZ}$  в момент виникнення цих процесів порівняно з  $\omega_S$  при нормальному встановленому режимі та через відхилення значення  $\varphi_S$ , викликане неточністю блока, що здійснює синхронізацію виконання зазначеного способу виявлення і вимірювання з контрольованим вхідним сигналом  $u_{\text{вх}}(t)$  (операція ГЧМС на рис. 1). Розглянемо в загальному випадку похибку виявлення як величину  $\delta'_e = F[(\omega_{PZ0} + \Delta\omega_{PZ}), (\varphi_{S0} + \Delta\varphi_S)]$ , яка залежить від зміни впливних величин: частоти на певне значення щодо визначеного рівня та аналогічно – початкової фази.

Використовуючи перетворення виразів (6), (7), (8) за допомогою формули Тейлора [3], за умов  $\omega_{PZ0} \gg \Delta\omega_{PZ}$ ,  $\varphi_{S0} = 0$  і  $\Delta\varphi_S \ll 0$  та нехтуючи нескінченно малими величинами, можна виразити для всіх видів сигналів похибку виявлення як

$$\begin{aligned} \delta'_e(\omega_{PZ}, \varphi_S) &= \delta'_e(\omega_{PZ0}, \varphi_{S0}) + \\ &+ \Delta\omega_{PZ} \cdot \delta'_{e\omega_{PZ}}(\omega_{PZ0}, \varphi_{S0}) + \\ &+ \Delta\varphi_S \cdot \delta'_{e\varphi_S}(\omega_{PZ0}, \varphi_{S0}) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\delta'_{e\omega_{PZ}} = \frac{0.354 \cdot \left\{ - \left[ \left( \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{PZ}} \right) + \frac{1}{a} \right] \cdot e^{-2 \cdot a \cdot \frac{\pi}{\omega_{PZ}}} + e^{-2 \cdot a \cdot \tau_1} \cdot \left[ \left( \frac{1}{a} \right) + 2 \cdot \tau_1 \cdot \cos(2 \cdot \omega_{PZ} \cdot \tau_1) \right] + \frac{U_{mS}^2}{U_{mPZ}^2} \cdot \left[ 2 \cdot \tau_1 - \frac{\sin(2 \cdot \omega_S \cdot \tau_1)}{\omega_S} \right] \right\}}{\left[ \frac{\pi \cdot \omega_{PZ}}{a} \cdot \left( e^{-2 \cdot a \cdot \tau_1} - e^{-2 \cdot a \cdot \frac{\pi}{\omega_{PZ}}} \right) \right]^{-0.5}}, \quad (13)$$

$$\delta'_{e\varphi_S} = \frac{-0.3536 \cdot [2 \cdot \cos(2 \cdot \omega_S \cdot \tau_1 + 2 \cdot \varphi_S) - \cos(2 \cdot \varphi_S)]}{\left\{ \pi \cdot \left[ \frac{e^{-2 \cdot a \cdot \tau_1} - e^{-2 \cdot a \cdot \pi}}{a_1} + \omega_S \cdot \frac{U_{mS}^2}{U_{mPZ}^2} \cdot \left( 2 \cdot \tau_1 - \frac{\sin(2 \cdot \omega_S \cdot \tau_1)}{\omega_S} \right) \right] \right\}^{0.5}}. \quad (14)$$

$$\text{де } \delta'_{e\omega_{PZ}} = \frac{\partial F[(\omega_{PZ0} + \Delta\omega_{PZ}), (\varphi_{S0} + \Delta\varphi_S)]}{\partial \omega_{PZ}} \quad \text{і}$$

$$\delta'_{e\varphi_S} = \frac{\partial F[(\omega_{PZ0} + \Delta\omega_{PZ}), (\varphi_{S0} + \Delta\varphi_S)]}{\partial \varphi_S} \quad \text{– часткові}$$

похідні за відповідними впливними величинами.

Для вхідних синусоїдальних сигналів з (6) отримаємо

$$\begin{aligned} \delta'_{eS\omega_{PZ}} &= \frac{\tau_1}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \frac{U_{mS}^2}{U_{mPZ}^2} - 1 \right) + \\ &+ \frac{1}{4\pi} \left[ 2\tau_1 \cdot \cos(2\omega_{PZ} \cdot \tau_1 + 2\varphi_{PZ}) + \frac{U_{mS}^2}{\omega_S \cdot U_{mPZ}^2} \times \right. \\ &\left. \times (\sin(2 \cdot \varphi_S) - \sin(2\omega_S \cdot \tau_1 + 2\varphi_S)) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

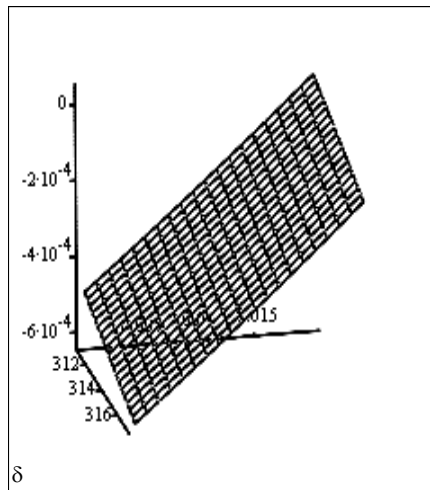
$$\begin{aligned} \delta'_{eS\varphi_S} &= \frac{U_{mS}^2 \cdot \omega_{PZ}}{2 \cdot \pi \cdot U_{mPZ}^2 \cdot \omega_S} \times \\ &\times [\cos(2 \cdot \varphi_S) - \cos(2 \cdot \omega_S \cdot \tau_1 + 2 \cdot \varphi_S)] \end{aligned} \quad (12)$$

а характер впливу цих величин на похибку виявлення показано на рис. 3, а. Звідси можна зробити висновок, що відхилення  $\omega_{PZ}$  і  $\varphi_S$  в окреслених межах не впливає істотно на точність виявлення часових перенапруг і западин напруги.

У разі спотвореного сигналу напруги величини  $\delta'_{eC\omega_{PZ}}$  і  $\delta'_{eC\varphi_S}$  значно залежать від його спектрального складу, а тому їх неможливо подати аналітично. Графічно вплив цих величин показано на рис. 3, б.

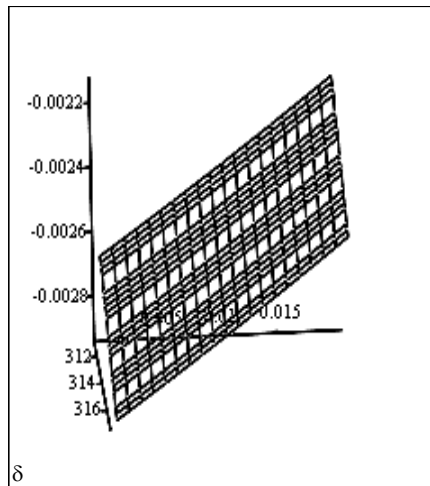
При появі сигналу з аперіодичною складовою часткові похідні після певних спрощень матимуть вигляд

Безрозм.



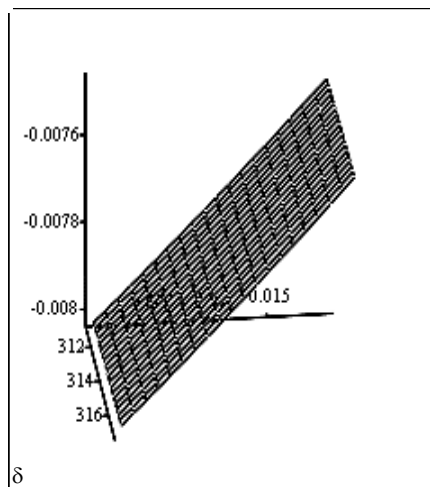
a

Безрозм.



b

Безрозм.



в

Рис. 3. Графіки залежностей похибки  $\delta_{\delta}$  виявлення процесів часових перенапруг та западин напруг від зміни  $\omega_1$  та  $\varphi_S$  для трьох видів сигналів

Вплив цих величин на похибку виявлення  $\delta_{вА}$  зображено на рис. 3, в.

Отже, навіть за умови великих спотворень контрольованих сигналів при зміні впливних величин (крім  $\tau_j$ ) в зазначених межах можна гарантувати високу точність виявлення цих процесів в мережі.

Для підвищення точності фіксації моменту появи та вимірювання тривалості цих процесів в [1] передбачено також порівняння масиву  $r$  різниць  $\{\Delta u_r(T_j)\}$  миттєвих значень сусідніх періодів  $T_j$  і  $T_{j-1}$  повторення з масивами порогових різниць напруги:  $\{\Delta u_{r,ноп1}\}$  – для часової перенапруги та  $\{\Delta u_{r,ноп2}\}$  – стосовно западини напруги. В ГЧМС фіксують моменти часу, коли починають виконуватись нерівності

$$|\Delta u_r(T_j)| > |\Delta u_{r,ноп1}| \text{ та } |\Delta u_r(T_j)| > |\Delta u_{r,ноп2}|. \quad (15)$$

Вибирають масиви порогових значень для (15), враховуючи дослідження характеру зміни сигналу напруги з синусоїдального на один з трьох вище розглянутих варіантів:

$$\Delta u_{rS,ноп} = U_{mS} \cdot (1 + \delta_{вS}) \times \left[ k_{PZ} \cdot \left| \sin(\omega_{PZ} \cdot t + \varphi_{PZ}) \right| - \left| \sin(\omega_S \cdot t + \varphi_S) \right| \right], \quad (16)$$

$$\Delta u_{rC,ноп} = (1 + \delta_{вC}) \times \left[ \sum_{k=1}^d U_{mk} \sin(k\omega_S t + \varphi_k) - U_{mS} \left| \sin(\omega_S t + \varphi_S) \right| \right], \quad (17)$$

$$\Delta u_{rA,ноп} = U_{mS} \cdot (1 + \delta_{вA}) \times \left[ k_{PZ} \cdot e^{-at} \left| \sin(\omega_{PZ} t + \varphi_{PZ}) \right| - \left| \sin(\omega_S t + \varphi_S) \right| \right], \quad (18)$$

де  $k_{PZ}$  – коефіцієнт, який згідно з [1, 2] задає рівень відхилення амплітуди напруги від значення, властивого для нормального встановленого режиму (1.1 при контролі часової перенапруги та 0.9 – під час западини напруги).

На рис. 4 зображено графіки миттєвих порогових значень, описаних виразами (16)–(18). З їх аналізу можна з достатньо високою точністю (без урахування зміни  $\tau_j$ ) – до 1...2 мс – гарантувати абсолютну похибку вимірювання тривалості досліджуваних процесів, вибираючи для  $\{\Delta u_{r,ноп1}\}$  та  $\{\Delta u_{r,ноп2}\}$  масиви миттєвих значень, обчислених за (16).

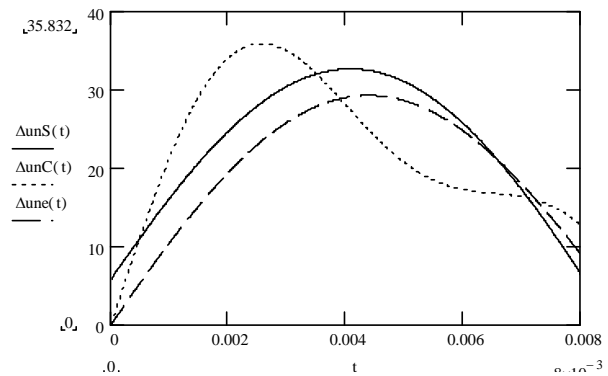


Рис. 4. Графіки миттєвих порогових значень для трьох варіантів контрольованих сигналів напруги, необхідних для підвищення точності вимірювання тривалості досліджуваних процесів

**Вдосконалений спосіб виявлення і контролю часової перенапруги та западини напруги.** Значним недоліком описаного вище способу виявлення цих процесів [1] є згідно з (6), (7) і (8) невиконання умов (1) та (2), викликане відповідними змінами  $\tau_j$ . Одним із способів вдосконалення цього способу контролю може бути введення додаткових операцій, які дають змогу значно послабити вплив  $\tau_j$ , а також забезпечити виконання додаткової функції – визначення поточного значення частоти  $\omega_{PZ}$  досліджуваного сигналу.

Як і раніше, за виділеними переходами через нульове значення вхідних сигналів одночасно здійснюється вимірювання поточного значення АКФ не лише за час  $t_{вим1} = T_j/2 - \Phi'_j$ , але й за  $t_{вим2} = 2T_j - \Phi''_j$ . Поряд з цим в ПМЗН виконують порівняння потоків однойменних миттєвих значень напруги за певний  $T_j$  і попередній  $T_{j-1}$  періоди. Отримані поточні значення АКФ досліджують у блоках операцій першого порівняння АКФ (ППАК) і їх другого порівняння (ПДАК) на предмет виконання нерівностей (1) і (2). При їх невиконанні шукають поточні АКФ за наступну половину періоду  $T_{j+1}/2$   $\Phi'_{j+1}$  та  $\Phi''_{j+1}$ , що містить інформацію про цей  $T_{j+1}/2$  та три попередні півперіоди.

У разі появи часової перенапруги та западини напруги блок-схема запропонованого модифікованого способу (рис. 5) функціонує схоже до попередньої (рис. 1), лише крім виконання операцій кон'юнкції (&) подій реалізується проміжне опрацювання вихідних сигналів ППАК і ПДАК за допомогою операцій диз'юнкції ("1").



Якщо врахувати збільшення  $t_{вим2}$  у виразах (3), (4), (5), то при  $\tau_l = 5$ мс отримаємо істотне підвищення точності виявлення процесів для розглянутих трьох форм контрольованих сигналів:  $\delta_{вс} = -1.2\%$ ;  $\delta_{вс} = -1.5\%$  при рівні коефіцієнта спотворення синусоїдності кривої напруги не більше за 15% та  $\delta_{вд} = -1.5\%$ .

Аналогічно шукають моменти закінчення цих процесів, логічно опрацьовують інформацію в ЛО1 і ЛО2 та фіксують в ЗМЗ необхідні дані. Крім того, за допомогою ГЧМС+ВБЧ визначається не лише тривалість часової перенапруги чи западини напруги, але й послідовність зміни поточної частоти (ВБЧ) вхідних сигналів, що являє собою додаткову корисну інформацію, особливо при дослідженні перехідної фази цих процесів.

**Висновки.** Проаналізовано вплив основних параметрів контрольованого сигналу на точність виявлення

часових перенапруг та западин напруги в електричних мережах. На основі цього запропоновано вдосконалений спосіб контролю процесів, який забезпечує підвищення достовірності визначення та точності вимірювання їх тривалості з сумарною граничною абсолютною похибкою не більше від декількох мілісекунд.

1. Ванько В.М. До питання виявлення і контролю часових перенапруг та западин напруги в електричних мережах загального призначення. // Вісник НУ "Львівська політехніка". 2004. – № 500, – С. 31 – 36. 2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. 3. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. Т. 1. М. 1976.

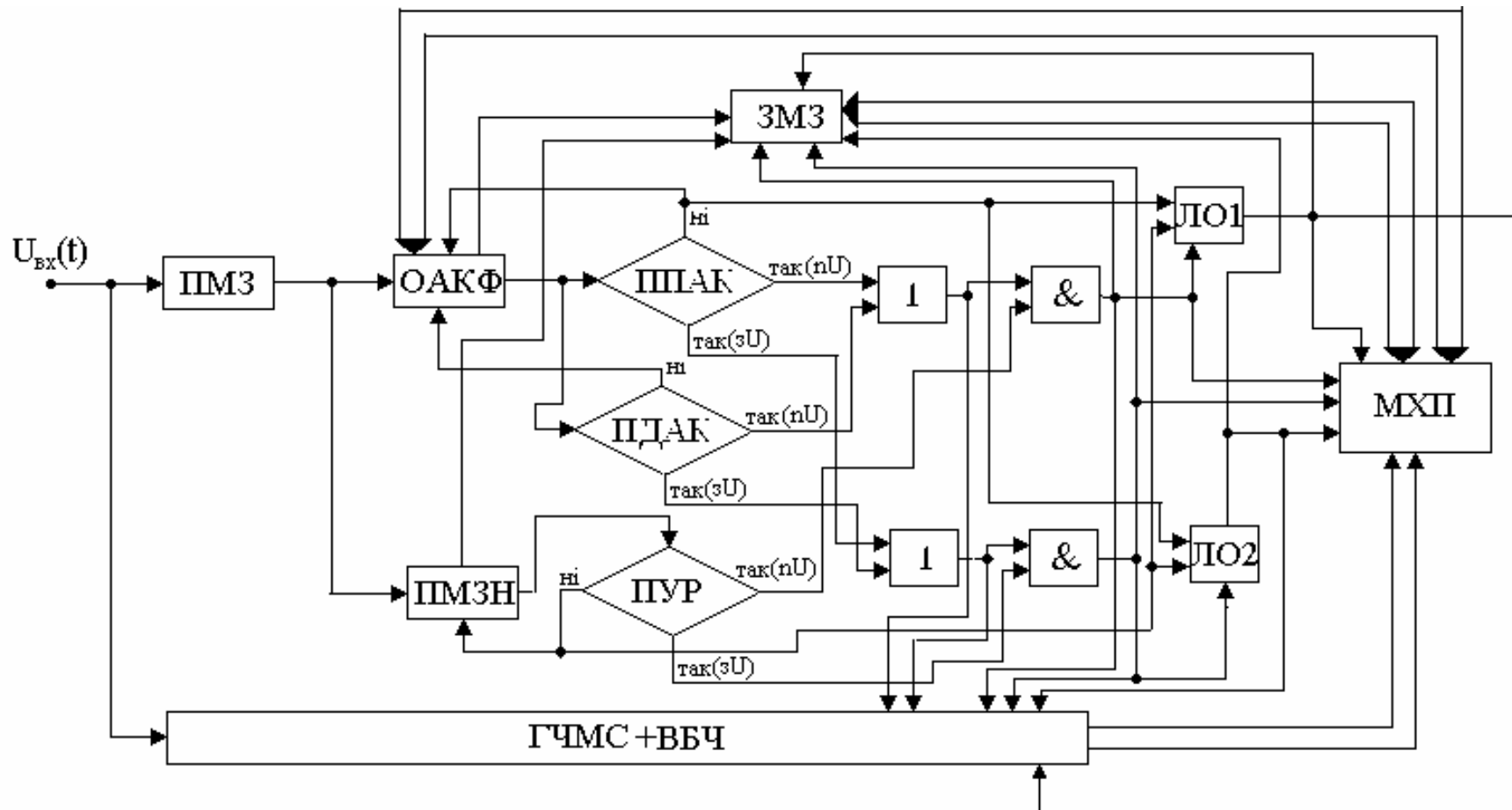


Рис. 5. Блок-схема вдосконаленого способу виявлення, вимірювання і контролю часових перенапруг та западин напруги в мережі