

ДО ПИТАННЯ ВИЯВЛЕННЯ І КОНТРОЛЮ ЧАСОВИХ ПЕРЕНАПРУГ ТА ЗАПАДИН НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

© Ванько В.М., 2004

Розглянуто причини виникнення та особливості проходження часових перенапруг і западин напруги в електричних мережах загального призначення, а також запропоновано спосіб виявлення та вимірювання основних параметрів, які характеризують ці процеси.

The reasons of origin and feature of passing of sentinel overstrain are considered and fail tensions in the electric networks of the common setting, and also the method of exposure and measuring of basic parameters which characterize the given processes is offered.

Вступ. У різноманітних технологічних процесах широко застосовують величезну гаму електротехнічного та електронного обладнання. Надійність і стабільність його функціонування значною мірою залежить від властивостей та особливостей електричної мережі, що використовується для їхнього живлення.

В [1] наведено вимоги до якості електричної енергії в пунктах приєднання електроприймачів, для яких застосовуються мережі загального призначення. Одним з найважливіших параметрів режиму роботи електроенергетичної системи є напруга. Її варто контролювати в основних вузлах системи та комплексі мереж, що забезпечують споживання електроенергії групою електроприймачів.

Для них важливу роль відіграють як порівняно швидкі, так і тривалі зміни і коливання миттєвих та інтегральних значень напруги електромережі. Власне у вигляді таких змін в мережах проявляються явища часових перенапруг та западин напруги [1, 2], які відчутно впливають на роботу та справність різноманітного обладнання.

Аналіз спотворень напруги мережі. За даними [1] найімовірнішими чинниками появи часових перенапруг та западин напруги в підключених до споживачів мережах є процеси, що відбуваються в структурі енергосистеми, де виробляється, перетворюється та розподіляється електроенергія. Досвід енергопостачальних та науково-дослідних організацій в цій галузі свідчить, що погіршення якості електроенергії спричинене:

- порушенням балансу потужностей [3, 4] ;
- несиметрією трифазної системи напруг та раптовими змінами режимів у енергосистемі [3, 4, 5];
- виникненням аварійних ситуацій в мережах [3, 4, 5];
- комутаційними процесами в різних ділянках енергосистеми [4, 6].

Під час порушення балансу активних і реактивних потужностей в умовній структурі генератор–навантаження виникають значні відхилення амплітуди при порівняно невеликих змінах частоти генератора, що призводить до порушення синхронності роботи та часто до аварії в енергосистемі [4]. Форма напруги мережі може залишатись синусоїдною або близькою до неї [3, 4].

Як правило, несиметричні явища в мережі спричинені нерівномірністю навантаження на різні фази трифазної системи напруг. Це зумовлює інколи істотні збільшення чи зменшення напруги в однофазного споживача, що є однаково неприпустимим, особливо при підключенні різного виду електричних двигунів [5]. У такому разі форма напруги здебільшого має практично синусоїдний характер.

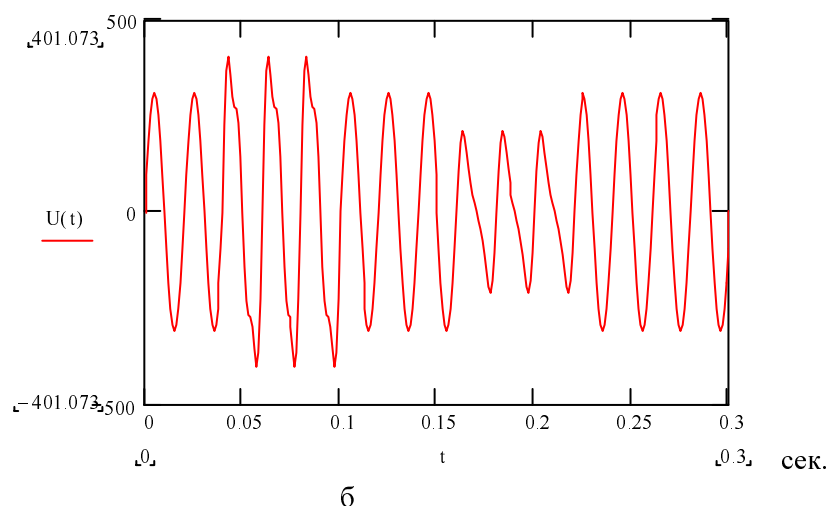
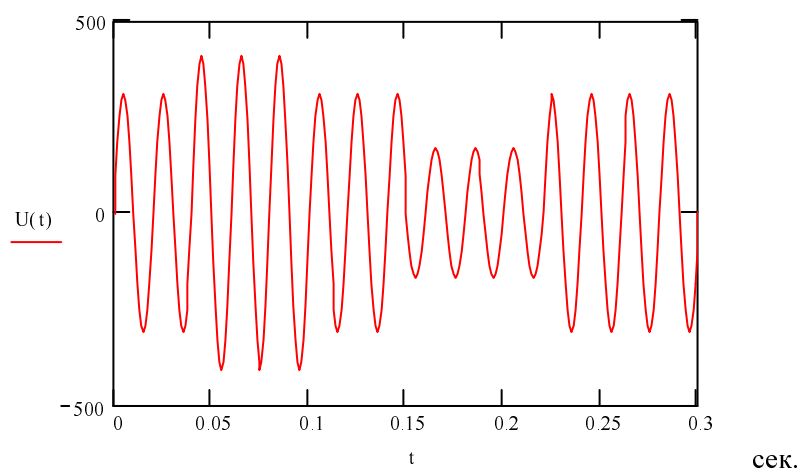
Внаслідок раптових змін рівня споживання певними електроприймачами в мережі можуть виникати перехідні процеси в окремих елементах енергосистеми, причому як в силових перетворювальних агрегатах (високовольтні трансформатори напруги), так і в сервісних вузлах (вимірювальні трансформатори струму і напруги, захисні реле, інвертори тощо) [4]. Напругу мережі характеризує наявність певного спектра вищих гармонік, що залежить від особливостей підключеного навантаження.

Через виникнення коротких замикань на різних ділянках енергосистеми, а також при обриванні нейтралі в трифазній системі напруг, ввімкненій за схемою “зірки”, різко зростають напруги інших (непошкоджених) фаз. Причому інколи може значно збільшуватись напруга третьої гармоніки (в декілька разів) в мережах системи, де використовують автотрансформатори напруги [3, 4, 5].

Крім того, згідно з [5] в мережах з довгими лініями передавання енергії, яким властиві великі значення ємнісного опору, якщо комплексні опори останнього збігаються з індуктивним опором трансформатора певної ділянки енергосистеми, складаються умови для появи явища ферорезонансу. Це супроводжується трикратним зростанням амплітуд основної та третьої гармонік напруги мережі [5].

Комутаційні процеси в різних вузлах енергосистеми також можуть бути причиною виникнення перехідних процесів в мережах, що супроводжуються здебільшого зростанням амплітуди напруги зі збереженням практично синусоїдної форми [4, 6, 7]. Інколи часові перенапруги з’являються, якщо потужні трансформатори напруги переходять на неробочий режим роботи. В напрузі мережі можуть виникати додаткові аперіодичні складові, які модулюють за амплітудою синусоїдний (першої гармоніки) чи полігармонічний сигнал напруги.

Отже, на основі розглянутих ймовірних режимів роботи енергосистеми можна відзначити, що при появі часових перенапруг та западин напруги в мережах загального призначення виникають три різновиди сигналів.



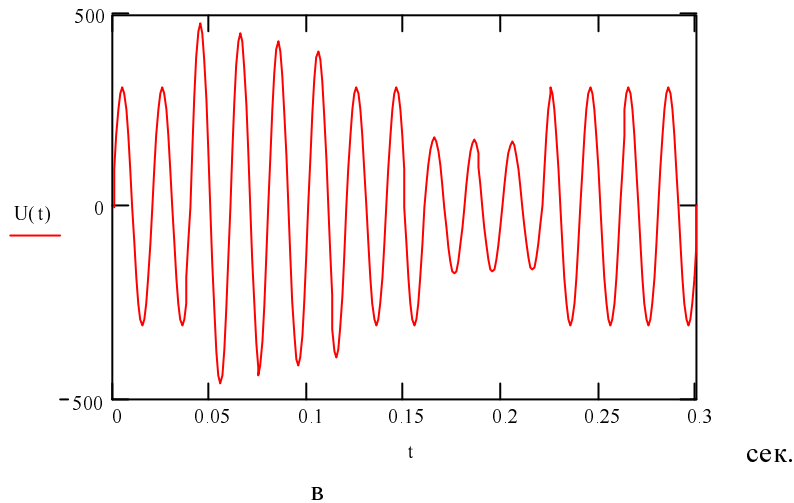


Рис. 1. Різновиди сигналів часових перенапруг та западин напруг

За першим варіантом сигналу, описаним в [1], зберігається практично синусоїдна форма напруги (рис. 1, а). У [8] наведено динамічне подання такого сигналу

$$u_S(t) = (U_{PZSm} - U_{Sm}) \cdot [\sigma(t - \tau_1) - \sigma(t - \tau_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1) + U_{Sm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1), \quad (1)$$

де U_{PZSm} та U_{Sm} – відповідно, амплітуди напруг під час часової перенапруги чи западини напруги та нормального усталеного режиму роботи;

ω – кругова частота першої гармоніки досліджуваного сигналу;

φ_1 – початкова фаза синусоїдної напруги,

$\sigma(t - \tau_1)$ та $\sigma(t - \tau_2)$ – функції Гевісайда для моментів часу τ_1 та τ_2 , відповідно.

При другому різновиді динамічного подання напруги ці явища в мережі супроводжуються значним розширенням частотного спектра сигналу (рис. 1, б). Тобто його напругу можна записати так

$$u_{cn}(t) = [\sigma(t - \tau_1) - \sigma(t - \tau_2)] \cdot \left[\sum_{k=1}^d U_{mk} \cdot \sin(k \cdot \omega \cdot t + \varphi_k) \right] - U_{Sm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1) + U_{Sm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1), \quad (2)$$

де U_{mk} та φ_k – амплітуда та початкова фаза k -ї гармоніки сигналу часової перенапруги чи западини напруги.

Крім того, існує третій варіант форми сигналу, коли з'являється аперіодична складова напруги, як правило, у вигляді певної експоненти (рис. 1, в). Наближено такий сигнал зображається виразом

$$u_{an}(t) = (U_{PZem} \cdot e^{-p \cdot t} - U_{Sm}) \cdot [\sigma(t - \tau_1) - \sigma(t - \tau_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1) + U_{Sm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1), \quad (3)$$

де U_{Pzem} та p – амплітуда сигналу часової перенапруги чи западини напруги та коефіцієнт, що характеризує експоненційну частку аперіодичної складової.

В [1] наведено діапазони змін основних параметрів сигналів стосовно процесів, які розглядаються, в мережах з різними номінальними напругами.

Наприклад, для часової перенапруги вважають, що перевищення амплітудою реальної напруги номінального значення U_{Sm} може становити від 1.15 до 1.75 раза. А триває цей процес від 0.04 до 60 с. Однак згідно з [3, 5, 6] в деяких мережах, наприклад, з використанням автотрансформаторів і при певних видах аварій в трифазних системах напруг, виникають амплітуди перенапруг до (3 ... 4) U_{Sm} .

За даними [1] глибина западини напруги в мережі загального призначення може змінюватись в дуже широких межах, тобто амплітуда напруги сягає (0.01 ... 0.85) U_{Sm} . А тривалість западини напруги коливається від 0.05 с. до 30 с.

Спосіб виявлення і контролю часової перенапруги та западини напруги. Для аналізу процесів часових перенапруг та западин напруги становлять інтерес амплітудні, енергетичні і часові параметри сигналу. Якщо врахувати можливі часові зміни зазначених варіантів сигналів напруги під впливом різних спотворень в мережі, коли порушуватиметься одна з важливих вимог до сигналів, а саме – інтегрованість функції зміни напруги в часі, то доцільно застосовувати їх подання сукупністю спектральних густин $U(\omega)$ [8, 9]. Це дає змогу, по-перше, істотно спростити обчислення енергетичних параметрів сигналів. По-друге, з'являється можливість інтерпретувати спектральний склад сигналу, і повніша інформація дає змогу аналізувати, як відбуваються процеси часових перенапруг та западин напруги і визначати причини їх появи. Однак істотною перешкодою при деяких спотвореннях напруги є неможливість точно визначити $U(\omega)$, тим більше, коли неможливо реалізувати перетворення Фур'є, коефіцієнти якого дають інформацію про спектральну густину досліджуваного сигналу [8, 10].

Специфіка цих процесів показує, що до появи, в момент їх виникнення та під час проходження відзначають різкі зміни форми і значень сигналів напруги. Поряд з цим найбільший інтерес становить інформація про інтегральні характеристики, форму і спектр напруги, взяті упродовж послідовно вибраних одиничних інтервалів часу. Це пояснюється особливостями проходження цих процесів, коли на початку відбувається їх певна перехідна частина, а потім – усталена [1, 6, 7].

На основі цього пропонують спосіб виявлення, вимірювання і контролю часової перенапруги та западини напруги в електричних мережах.

Його суть пояснює блок-схема, зображена на рис. 2.

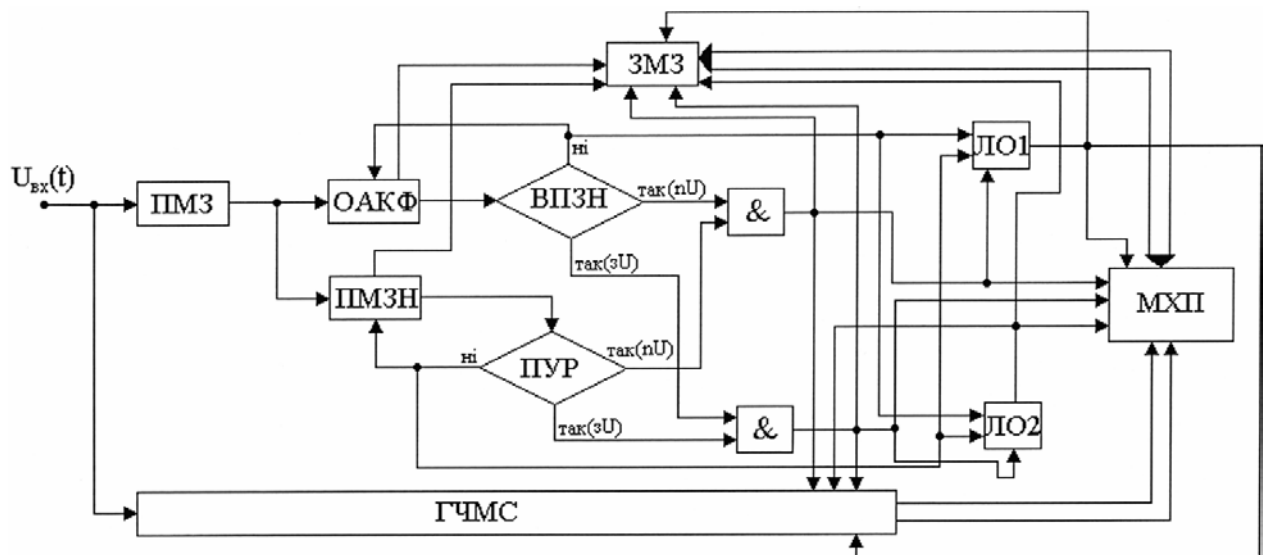


Рис. 2. Блок-схема способу виявлення, вимірювання і контролю часових перенапруг та западин напруги в мережі

Доцільно вибрати тривалості кожного одиничного інтервалу контролю кратними або такими, що дорівнюють половині періоду повторення першої гармоніки [1]. Тоді підготовка вхідної напруги $u_{вх}(t)$ полягає в здійсненні операції виконання модуля її миттєвих значень (ПМЗ). Поряд з цим неперервно виконується виділення переходів сигналів вхідної напруги через нульове значення та формування часових міток для їх миттєвих значень, що відображається на рис. 2 як генерація часових міток і синхронізація (ГЧМС).

Потім паралельно відбуваються такі операції: обчислення автокореляційної функції (ОАКФ) та послідовно в часі порівняння миттєвих значень напруги (ПМЗН) і порівняння з уставами різниць (ПУР).

В ОАКФ знаходиться поточне значення АКФ Φ_j для вибраного j -го одиничного інтервалу часу. Поряд з цим спочатку при ПМЗН шукають для кожної пари однойменних миттєвих значень напруги за певний T_j і попередній T_{j-1} періоди повторення масив r різниць $\Delta u_r(T_j) = u_r(T_j) - u_r(T_{j-1})$. Далі за ПУР порівнюють отримані для кожної пари значень $\Delta u_r(T_j)$ з уставами – першим $\Delta u_{пор1}$ та другим $\Delta u_{пор2}$ значеннями порогових різниць напруги:

$$\Delta u_r(T_j) \gg \Delta u_{\text{нор}1}; \Delta u_r(T_j) \ll \Delta u_{\text{нор}2} . \quad (4)$$

Відстежують і фіксують за допомогою операції ГЧМС моменти часу, коли виконується кожна з наведених нерівностей.

Після цього здійснюється процедура виявлення часової перенапруги та западини напруги (ВПЗН). Появу часової перенапруги знаходять за умови порівняння отриманого поточного значення АКФ Φ_j із першим пороговим значенням АКФ $\Phi_{\text{нор}1} = 1.1 \cdot \Phi_{\text{ном}}$:

$$\Phi_j - \Phi_{\text{нор}1} \gg 0 , \quad (5)$$

де $\Phi_{\text{ном}}$ – номінальне значення АКФ стосовно конкретної мережі.

А пошук западини напруги здійснюють і виявляють за умови

$$\Phi_j - \Phi_{\text{нор}2} \ll 0 , \quad (6)$$

причому друге порогове значення $\Phi_{\text{нор}2} = 0.9 \cdot \Phi_{\text{ном}}$.

У разі появи часової перенапруги та западини напруги ініціюється запам'ятовування миттєвих значень напруги (ЗМЗ) за останній інтервал її пошуку до його виникнення та протягом подальших інтервалів проходження. Підтвердженням цього слугує виконання операцій кон'юнкції (&) подій настання часової перенапруги та западини напруги спочатку за виразами (5) і (6), а також виконання нерівностей (4). Завдяки цьому у поєднанні з ГЧМС точно визначається момент виникнення того чи іншого процесу.

Виявлення початку часової перенапруги та западини напруги стимулює спеціальне опрацювання інформації про перебіг процесу, використовуючи запам'ятовані дані про останній період повторення нормального режиму мережі та інші, починаючи з першого періоду, коли цей процес з'явився. Водночас постійно виконується процедура знаходження моменту закінчення часової перенапруги чи западини напруги $u_{\text{вх}}(t)$. Остання має деяку схожість з описаними вище операціями виявлення цих процесів. Тобто аналогічно під час кожного одиничного інтервалу часу відбуваються ПМЗ, а після цього одночасно – ОАКФ та послідовно ПМЗН і ПУР з відстеженням моментів, коли починають виконуватись нерівності (4). Момент закінчення часової перенапруги чи западини напруги визначають, коли перестане діяти одна з умов – (5) або (6). Для точнішого визначення закінчення одного з цих процесів необхідне логічне опрацювання (на рис. 2 – ЛО1 стосовно часової перенапруги і ЛО2 – западини напруги) подій ВПЗН, ПУР та після кон'юнкції &. Після ЛО1 і ЛО2 за допомогою ГЧМС визначають тривалість часової перенапруги чи западини напруги, закінчують запис інформації в ЗМЗ, а також припиняють щодо котрогось з цих процесів опрацювання і визначення необхідних параметрів.

Щоб отримати найповніший обсяг інформації, враховуючи можливі спотворення сигналу, доцільно використовувати математичну обробку за допомогою wavelet-перетворення (малохвильове перетворення – МХП на рис. 2) [11], яке загалом для функції $f(x)$ реалізується у вигляді

$$W(f; b, a) = |a|^{-0.5} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot \psi^* \left(\frac{x-b}{a} \right) dx , \quad (7)$$

де $\psi^* \left(\frac{x-b}{a} \right)$ – комплексна спряжена функція стосовно базової ψ ,

b та a – відповідно, характеристики переміщення функції ψ та її бінарного розширення.

Результатом перетворення (7) є масив wavelet-коефіцієнтів

$$C_{l,m} = W(f, b, a), \quad (8)$$

які забезпечують часо-частотний аналіз функції $f(x)$. За аналогією з перетворенням Фур'є ці коефіцієнти поряд з іншою інформацією характеризують також спектр контрольованої напруги $u_{\text{вх}}(t)$. Отже, до деякої міри $C_{l,m}$ можна розглядати як аналоги спектральної густини $U(\omega)$, причому завдяки МХП можна зняти ряд обмежень стосовно неповторюваності та неінтегрованості $u_{\text{вх}}(t)$.

В МХП закладено виконання обчислень показників якості, які згідно з [1] описують процеси часової перенапруги чи западини напруги в мережі: коефіцієнт часової перенапруги і глибини западини напруги, а також їхні зміни в часі та дослідження форми кривої $u_{\text{вх}}(t)$.

Висновки. Запропонований спосіб виявлення, вимірювання та контролю показників якості забезпечує отримання максимальної і всебічної інформації щодо часових перенапруг та западин напруги в електричних мережах загального призначення. З'являються нові можливості для підвищення якості електроенергії через вдосконалення систем регулювання та стабілізації фазних (лінійних) напруг у три- та однофазних електричних мережах за рахунок збільшення інформативної бази даних. Крім цього, покращання способу контролю режимів функціонування енергосистеми сприяє підвищенню надійності роботи її основних вузлів, запобігаючи виникненню екстремальних та аварійних режимів.

1. ГОСТ 13109-97. *Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.* 2. Сегеда М.С. *Електричні мережі та системи.* – Львів, 1999. 3. Авербух А.М. *Релейная защита в задачах с решениями и примерами.* – Л., 1975. 4. Шнейерсон Э.М. *Дистанционные защиты.* – М. 1986. 5. Васютинский С.Б. *Вопросы теории и расчета трансформаторов.* – Л., 1970. 6. Бабилов М.А., Комаров Н.С., Сергеев А.С. *Техника высоких напряжений.* – М. – Л-д., 1963. 7. *Трансформаторы тока* / В.В. Афанасьев, Н.М. Адоньев, В.М. Кибель и др. – Л-д., 1989. 8. Баскаков С.И. *Радиотехнические цепи и сигналы.* – М., 1988. 9. Левин Б.Р. *Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая.* – М., 1974. 10. Шрюфер Е. *Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизованных сигналов.* – К., 1992. 11. Наконечный А.Й. *Теория малохвильового перетворення та її застосування.* – Л., 2001.

УДК 621.317

М.М. Микийчук¹, Р.М. Огірко², Т.Г.Бойко¹

¹Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
²Державний науково-дослідний інститут “СИСТЕМА”

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОХИБОК ПРОМИСЛОВИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

© Микийчук М.М., Огірко Р.М., Бойко Т. Г., 2004

Розглянуто прогнозування часових і температурних похибок засобів вимірювання температури. Запропонований підхід дасть змогу підвищити метрологічну надійність засобів вимірювання температури і сприятиме зменшенню експлуатаційних затрат.

The prognostication of temporal and temperature errors of temperature measuring means are considered in the paper. Offered method allows to get a more metrology reliability of temperature measuring means and allows to reduce of operating costs.

Вступ. Температура є основним інформативним параметром більшості технологічних процесів в промисловості. Найширше для вимірювання температури застосовують контактні методи з використанням термоелектричних перетворювачів та термоперетворювачів опору, питома вага яких в основних галузях промисловості становить майже 80 % [1]. Тому якість температурних вимірювань з використанням методів контактної термометрії відчутно впливає на результати промислового виробництва.

Особливе значення мають температурні вимірювання, що застосовують для автоматизації технологічних процесів. Переваги автоматизації очевидні, але, поряд з цими, її застосування зумовило: по-перше, збільшення кількості засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) внаслідок збільшення обсягів вимірювань температури, по-друге, необхідність розширення функціональних можливостей промислових ЗВТ для вимірювань інших технологічних параметрів, наприклад, уніфікованих сигналів, а також регулювання значень цих параметрів, по-третє, підвищення вимог до надійності функціону-