

Висновки. Розглянуто особливості побудови рекурсивного просторово-часового графу на прикладі алгоритму паралельного множення з оцінкою часових параметрів графу та виведеною формулою для затрат обладнання на реалізацію рекурсивного обчислювального пристрою. Також побудовано часову матрицю суміжностей рекурсивного просторово-часового графу, яка відображає часову послідовність входу та виходу даних до вершини графу.

1. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. 2. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. – М.: Мир, 1991. 3. Мельник А.О. Спеціалізовані комп'ютерні системи реального часу. – Львів, 1996. – 53 с. 4. Ерметов Ю.О. Проектування обчислювальних структур на основі просторово-часових графів // Вісн. Хмельницьк. нац. ун-ту. – 2005. – № 2. 5. Цилькер Б.Я., Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем: Учеб. для вузов. – СПб.: Питер, 2006. – 668 с. 6. Поспелов Д.А. Введение в вычислительные системы. – М.: Сов. радио, 1972. 7. Дунець Р.Б. Аналіз та синтез топологій комп'ютерних видавничо-поліграфічних систем: Монографія. – Львів: НВФ “Українські технології”, 2003. – 192 с.

УДК 621.398

О.М. Дороніна**, С.В. Хомич*

Національний університет “Львівська політехніка”,

*кафедра електронних обчислювальних машин,

**НДКІ ЕЛВІТ

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ІНТЕЛЕКТУ ПРОЦЕСОРНИХ КОМПЛЕКСІВ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ

© Дороніна О.М., Хомич С.В., 2007.

Розглянуто принципи інтелектуалізації засобів контролю та діагностики енергооб'єктів. Досліджено особливості переходу від рівня багатфункціонального засобу з жорсткими програмами виконання вимірювальних процедур до рівнів неітеративного й ітеративного адаптивного засобу.

This paper presents intellectualization principles of the control and diagnostic tools of power objects. The features of transferring from the level of measure procedures hardcoded multifunctional tools to levels of noniterative and iterative adaptive tools are investigated.

Вступ. Успішне вирішення проблеми енергозбереження неможливе без підвищення рівня структурно-алгоритмічного синтезу комплексів контролю та діагностики енергооб'єктів (ККДЕ), що передбачає насамперед поліпшення метрологічних характеристик результатів вимірювань параметрів електроенергії за оптимального ступеня реалізації потенційної точності вимірювальних перетворень та забезпечення функціональної повноти контролю. Підвищення метрологічної якості вимірювальних перетворень, а також розширення функціональних можливостей сучасних процесорних ККДЕ тісно пов'язані з їхньою інтелектуалізацією, яка залежить від комплексного використання апаратних та програмно-алгоритмічних можливостей на основі апріорної (банку знань та банку даних) та поточної інформації про мету та умови вимірювань.

Огляд літературних джерел

З огляду на [1], метрологічний рівень результатів вимірювань параметрів електроенергії залежить, насамперед від забезпечення таких властивостей вимірювальних процедур, як:

- інваріантність, що характеризується постійністю метрологічного рівня для можливої сукупності ситуацій вимірювань параметра;
- оптимальність, за якої для сукупності можливих алгоритмів вимірювальної ситуації досягається найвищий метрологічний рівень;

- адаптивність, що забезпечує реалізацію потенціальної точності вимірювань завдяки врахуванню інформації про властивості об'єкта вимірювань, умови вимірювань, вимоги та обмеження.

При цьому, згідно з [2], рівень інтелекту ККДЕ як процесорного вимірювального засобу має обумовлюватися здатністю використання інформації для вибору, синтезу та виконання інваріантних оптимальних чи близьких до них процедур вимірювань, які характеризуються найкращою для прийнятих умов і обмежень метрологічною якістю, а також спроможністю визначення і коректування параметрів і характеристик, що реалізуються під час виконання процедур перетворень через адаптацію до зовнішнього середовища та змінювання контрольованих сигналів. Як видно з [3], інтелектуалізація ККДЕ може проводитися від рівня багатофункціонального засобу з жорсткими програмами виконання вимірювальних процедур [4, 5] до рівня неітеративного адаптивного [6, 7] і згодом ітеративного адаптивного засобу [8].

Постановка задачі. Задачею статті є дослідження та порівняльний аналіз можливих рівнів інтелекту ККДЕ з огляду на підвищення метрологічного рівня та розширення функціональних можливостей комплексів.

Основні матеріали дослідження. Особливості першого рівня інтелектуалізації ККДЕ. Найпростішим варіантом структурно-алгоритмічного синтезу ККДЕ є функціонування комплексу на основі встановлення незмінної сукупності вимірювальних процедур із жорсткими програмами виконання, які обираються за ідентифікацією функції (виду параметра) чи виду вхідного сигналу (перший рівень інтелекту). Процедуру визначення показу N_G електроенергетичного параметра G у цьому випадку формально можна описати як:

$$N_G = \left[SR_{dG} \left([R_{ad} R_{au} u_k(t)]_{\Delta_{ku}}, [R_{ad} R_{ai} i_k(t)]_{\Delta_{ki}} \right) \right]_{\Delta_k N}, \quad (1)$$

де R_{au} та R_{ai} – оператори аналогових перетворень, як правило, нормалізації, відповідно напруги та струму; R_{ad} – оператор аналого-цифрового перетворення, R_{dG} – оператор цифрових перетворень при визначенні показу G ; S – оператор усереднення у часі чи за сукупністю вимірів, Δ_{ku} та Δ_{ki} – кроки квантування вхідних сигналів, а $\Delta_k N$ – крок квантування результату вимірювання.

У ККДЕ з першим рівнем інтелекту Δ_{ku} , Δ_{ki} та $\Delta_k N$ є постійними величинами, а R_{au} , R_{ai} , R_{ad} , R_{dG} та S – незмінними функціями з постійними характеристиками і параметрами, причому R_{au} та R_{ai} обираються за розпізнаванням вхідного сигналу, а R_{dG} – за ідентифікацією вимірювальної функції.

Так, під час обчислення показу N_G діючого значення напруги ($G \equiv U$) чи струму ($G \equiv I$) за формулою:

$$N_G = \frac{1}{V} \cdot \sum_{v=1}^V \{ K_G \cdot k_{\sqrt{\cdot}} \cdot [k_{kor} \cdot \frac{k_d}{n} \cdot \sum_{j=1}^n (k_g \cdot g_j - \Delta_g)^2]^{1/2} \}_v, \quad (2)$$

коефіцієнти пропорційності k_g , k_d , $k_{\sqrt{\cdot}}$, коефіцієнти корекції мультиплікативної похибки і масштабування k_{kor} і K_G , величина корекції зміщення нуля вимірювального каналу Δ_g розглядаються як незмінні. При цьому k_{kor} , K_G та Δ_g можуть визначатися в процесі калібрування ККДЕ перед початком функціонування комплексу на контрольованому енергооб'єкті.

Під час обчислення показу N_G активної ($G \equiv P$) чи реактивної ($G \equiv Q$) потужності за формулою:

$$N_G = \frac{1}{V} \cdot \sum_{v=1}^V \{ K_G \cdot k_{kor} \cdot \alpha \cdot K_i \cdot \sum_{j=1}^n [(k_i \cdot i_{(j-1)} - \Delta_i) * (k_i \cdot i_j - \Delta_i)] (k_u \cdot u_j - \Delta_u) \}_v, \quad (3)$$

коефіцієнти пропорційності k_i та k_u , корекції мультиплікативної похибки та знака k_{kor} та K_i і масштабування K_G розглядаються як незмінні величини для свого виду відповідно вхідного сигналу та вимірювального параметра, а операції $() \cdot \alpha$ та $() * ()$ залежать від ідентифікованої функції вимірювання: $() \cdot \alpha \equiv () \cdot 1/n \equiv () : n$, $() * () \equiv () + ()$ для процедури вимірювання P ; $() \cdot \alpha \equiv () \cdot 1$, $() * () \equiv () - ()$ для процедури вимірювання Q .

Через недостатню апріорну інформованість процедури визначення електроенергетичних параметрів за виразами (1)–(3) у ККДЕ з першим рівнем інтелекту можуть розглядатися як

оптимальні, інваріантні до вимірювальних ситуацій, тільки для рівнів вхідних сигналів та умов експлуатації, близьких до номінальних. Розширення діапазонів вимірювання параметрів електроенергії та змінювання температурного режиму приведе до підвищення відносних похибок вимірювання, завдати чому може перехід до адаптивного ККДЕ.

Особливості адаптивних ККДЕ. В адаптивній ККДЕ для виконання процедур вимірювальних перетворень має передбачатися сукупність алгоритмів із характеристиками та параметрами, що варіюються і які необхідно вибирати за встановленими правилами з використанням масивів даних про характеристики вхідних сигналів і вимірювальних параметрів (вид, область існування тощо), умови функціонування (навколишнє середовище, завади), вимоги та обмеження.

На відміну від ККДЕ з першим рівнем інтелекту процедура визначення показу N_G електроенергетичного параметра G (1) в адаптивному ККДЕ, насамперед, характеризується змінними кроками квантування $\Delta_k u$, $\Delta_k i$ та $\Delta_k N$ залежно від області існування відповідно $u_k(t)$, $i_k(t)$ та N_G , а також змінюванням параметрів операторів R_{dG} та S залежно від умов функціонування [3]. При цьому формули визначення показів діючого значення напруги (струму) та активної (реактивної) потужності трансформуються в такі вирази:

$$N_G = \frac{1}{V'(V, \Delta_k N)} \cdot \sum_{v=1}^V \left\{ \frac{K_G}{k'(\Delta_k g)} \cdot k_{\sqrt{\cdot}} [k_{kor}(N_{Uov}, n) \cdot \sum_{j=1}^n [k_g(N_{Gv-1}) \cdot g_j - \Delta_g(N_{Gcv-1})]^2]^{1/2} \right\}_v, \quad (4)$$

$$N_G = \frac{1}{V'(V, \Delta_k N)} \cdot \sum_{v=1}^V \left\{ \frac{K_G \cdot k_{kor}(N_{Uov}, n) \cdot \alpha \cdot K_i}{k'(\Delta_k i, \Delta_k u)} \sum_{j=1}^n [[k_i(N_{Iv-1}) \cdot i_{j-1} - \Delta_i(N_{Icv-1})] * [k_i(N_{Iv-1}) \cdot i_j - \Delta_i(N_{Icv-1})][k_u(N_{Uv-1}) \cdot u_j - \Delta_u(N_{Ucv-1})]] \right\}_v, \quad (5)$$

де коефіцієнти нормалізації k_g вхідних сигналів і величини корекції Δ_g зміщень нуля вимірювальних каналів у поточному вимірювальному експерименті є функціями результатів вимірювання відповідно діючих (миттєвих) (N_{Gv-1}) і середніх (N_{Gcv-1}) значень сигналів у попередньому вимірювальному експерименті, коефіцієнт корекції k_{kor} мультиплікативної складової похибки АЦП та коефіцієнти k' приведення результатів вимірювань до єдиного порядку поточного інтервалу усереднення у v -му вимірювальному експерименті розглядаються як функції відповідно результату вимірювання N_{Uov} опорної напруги і кроків квантування $\Delta_k g$ вхідних сигналів, визначених в процесі того самого вимірювального експерименту, а коефіцієнт усереднення V' є функцією числа V кроків усереднення та кроку квантування параметра на інтервалі усереднення; $\alpha=1$ для процедури вимірювання P ; $\alpha=n$ для процедури вимірювання Q .

Отже, у процедурах вимірювання електроенергетичних параметрів для підвищення метрологічного рівня застосовуються адаптивні вимірювальні алгоритми як на основі результатів робочих вимірювань, отриманих до початку поточного вимірювального експерименту, так і на основі результатів допоміжних вимірювань, виконаних у процесі цього самого експерименту.

Особливе місце в ККДЕ займають адаптивні ітеративні процедури калібрування вимірювальних каналів, у процесі яких визначаються, як правило, коефіцієнти масштабування параметрів та величини, які коректують інструментальні кутові зсуви між напругою та струмом у фазах.

Коефіцієнт K_G може бути визначений відносно розрахункового значення N_{Go} показу параметра, що очікується, до результату його обчислення N_G за вищенаведеними процедурами при $K_G=1$ і подачі на вхід вимірювального каналу G сигналів $g(t)$ із заданою формою, значенням амплітуди і кутового зсуву. При цьому крок j -ї ітерації обчислення K_G має виконуватися за процедурою:

$$K_{Gj} = N_{Go} : N_{Gj-1} \rightarrow N_{Gj} = N_{Gj-1} \cdot K_{Gj} \rightarrow K_G = K_{Gj} \prod_{j'=1}^{j-1} K_{Gj'}, \quad (6)$$

де $N_{Go} = 10^{\varepsilon_G} G_{nom} \geq 1 / \delta_G$.

Перехід до $j+1$ -ї ітерації має здійснюватися за умовою:

$$\Delta N_{Gj} = |N_{Go} - N_{Gj}| > 1/\delta_G. \quad (7)$$

Згідно з [9] коригуючими величинами для інструментального кутового зсуву $\Delta\varphi$ між напругою та струмом у фазі під час обчислення показів активної та реактивної потужностей можуть бути покази косинуса $N_{\cos\Delta\varphi}$ та синуса $N_{\sin\Delta\varphi}$ цього зсуву, які визначаються у разі подачі на входи відповідних вимірювальних каналів синусоїдальних напруги та струму із заданими діючими значеннями і кутовим зсувом φ :

$$N_{\cos\Delta\varphi} = \cos\Delta\varphi \cdot 2^{m-2}, \quad N_{\sin\Delta\varphi} = \sin\Delta\varphi \cdot 2^{m-2}, \quad (8)$$

де m – число розрядів процесора.

Значення $N_{\cos\Delta\varphi}$ та $N_{\sin\Delta\varphi}$ можна знайти відносно показів потужностей до добутків показів діючих значень контрольованих сигналів з урахуванням кута зсуву фаз між ними. При цьому крок j -ї ітерації обчислення $N_{\cos\Delta\varphi}$ та $N_{\sin\Delta\varphi}$ має складатися з операцій:

$$N_{\cos\Delta\varphi j} = (N_{Pj-1} \cdot N_{\cos\varphi} + N_{Qj-1} \cdot N_{\sin\varphi}) : (N_U \cdot N_I); \quad (9)$$

$$N_{\sin\Delta\varphi j} = (N_{Qj-1} \cdot N_{\cos\varphi} - N_{Pj-1} \cdot N_{\sin\varphi}) : (N_U \cdot N_I); \quad (10)$$

$$N_{Pj} = (N_{Pj-1} \cdot N_{\cos\Delta\varphi j} + N_{Qj-1} \cdot N_{\sin\Delta\varphi j}) : 2^{m-2}; \quad (11)$$

$$N_{Qj} = (N_{Qj-1} \cdot N_{\cos\Delta\varphi j} - N_{Pj-1} \cdot N_{\sin\Delta\varphi j}) : 2^{m-2}; \quad (12)$$

$$N_{\cos\Delta\varphi} = (N_{\cos\Delta\varphi j-1} \cdot N_{\cos\Delta\varphi j} - N_{\sin\Delta\varphi j-1} \cdot N_{\sin\Delta\varphi j}) : 2^{m-2}; \quad (13)$$

$$N_{\sin\Delta\varphi} = (N_{\sin\Delta\varphi j-1} \cdot N_{\cos\Delta\varphi j} + N_{\cos\Delta\varphi j-1} \cdot N_{\sin\Delta\varphi j}) : 2^{m-2}. \quad (14)$$

Перехід до $j+1$ -ї ітерації має здійснюватися за умовами:

$$|N_{Pj} - N_U N_I N_{\cos\varphi} : 2^{m-2}| > 1/\delta_P; \quad (15)$$

$$|N_{Qj} - N_U N_I N_{\sin\varphi} : 2^{m-2}| > 1/\delta_Q. \quad (16)$$

Висновки. ККДЕ з першим рівнем інтелекту, функціонуючі на основі встановлення незмінної сукупності вимірювальних процедур із жорсткими програмами виконання, які обираються за ідентифікацією функції (виду параметра) чи виду вхідного сигналу, забезпечують оптимальність та інваріантність процедур вимірювання електроенергетичних параметрів для обмежених діапазонів як контрольованих сигналів, так і умов експлуатації.

Стабілізація точності вимірювань у разі розширення діапазонів вимірювання параметрів електроенергії та змінювання режимів функціонування ККДЕ можлива завдяки реорганізації їх в адаптивні комплекси, які для виконання процедур вимірювальних перетворень передбачають сукупність алгоритмів із характеристиками та параметрами, що варіюються залежно від характеристик вхідних сигналів і вимірювальних параметрів, умов функціонування, вимог та обмежень.

1. Цветков Э.И. Процессорные измерительные средства. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 224 с.
2. Иванов В.Н. Интеллектуальные средства измерений // Приборы и системы управления. – 1996. – № 2. – С. 21–23.
3. Doronina O., Tkachenko V., Khomych S. Features of digital data processing in power objects monitoring devices // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. – Lviv-Slavsko, 2006. – P. 324–326.
4. Дороніна О.М., Лавров Г.М., Хомич С.В. Сучасна концепція побудови інформаційно-вимірювальної системи АСУ енергетичних об'єктів // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2005. – № 546. – С. 50–53.
5. Doronina O., Lavrov G., Khomych S. Program Technical Complex for Automated Supervisory Control Systems of the electric mains and substations // Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application. Proceedings Of the 1st International Conference ACSN-2003. – Lviv, 2003. – P. 27–28.
6. Doronina O., Lavrov G., Khomych S. Measurement ranges expansion peculiarities of Program Technical Complex for the electric power

parameters control // Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application. Proceedings Of the 2-nd International Conference ACSN-200. – Lviv, 2005. – P. 23–24.7. Дороніна О., Лавров Г., Хомич С. Підвищення точності системи контролю енергетичних параметрів електромережі // Системи контролю окружающей среды: Сб. науч. тр. – Севастополь: МГИ, 2004. – С. 96–98. 8. Пат. 18233 Україна. Аналого-цифровий перетворювач інтегральних характеристик електричних величин / О.М. Дороніна, С.В. Хомич. – Опубл. в Бюл., 2006. – № 11. 9. Дороніна О.М., Лавров Г.М., Хомич С.В. Визначення активної та реактивної потужностей у системних мультиметрах електричних величин промислової електромережі // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2001. – № 437. – С. 59–61.

УДК 621.398

О.М. Дороніна**, С.В. Хомич*

Національний університет “Львівська політехніка”,

*кафедра електронних обчислювальних машин,

**НДКІ ЕЛВІТ

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ

© Дороніна О.М., Хомич С.В., 2007

Розглянуто особливості реалізації потенційної точності вимірювання електроенергетичних параметрів синтезом оптимальних вимірювальних процедур, адаптованих до поточної ситуації вимірювань. Досліджено алгоритми, орієнтовані на уточнення характеристик контрольованих сигналів та умов вимірювань, а також використання відомих закономірностей поведінки результатів проміжних вимірювань.

This paper presents features of the electric power parameters measurement potential accuracy implementation based on the optimum measuring procedures synthesis adapted to the measurement current situation. There are investigated the algorithms oriented on refinement of characteristics of controlled signals and measurement conditions, and also usage of known regularity of measurement subproducts behavior.

Вступ. Важливою задачею для підвищення якості контролю виробництва, розподілу та споживання електроенергії є розвиток базового вимірювального алгоритмічного забезпечення процесорних систем контролю, адекватного технічним можливостям цих систем. Однією з основних перешкод для точного виконання вимірювальних процедур у системах контролю параметрів електроенергії є відсутність достатньої апріорної інформації про властивості об'єктів контролю та умови вимірювань. Нейтралізувати цю перешкоду значною мірою можна, використовуючи адаптивні вимірювальні алгоритми, здатні до перебудови відповідно до поточної інформації про змінюваність властивостей та умов функціонування контрольованих об'єктів, результати допоміжних та проміжних вимірювань.

Огляд літературних джерел. З огляду на [1], у процесі контролю параметрів електроенергії можливе використання адаптивних алгоритмів:

- на основі результатів робочих вимірювань, отриманих до початку j -го вимірювального експерименту, орієнтованих на уточнення характеристик контрольованих сигналів, що використовуються для встановлення характеру виконуваних перетворень;