

зв'язку на основі аналого-цифрового перетворення вихідних сигналів. Процеси формування сигналу зворотного зв'язку і корекції сигналу λ_j початкової дії на j -му кроці дискретизації в цьому випадку можуть бути описані рівняннями:

$$\{\lambda_j^*\} = \{S_d R_{DA}^{-1H} R_A^{-1H} \zeta^*(t_j)\}, \quad (20)$$

де S_d – оператор операції усереднення, яка вводиться для мінімізації випадкових складових похибок каналу зворотного зв'язку (d – параметр усереднення, в даному випадку – номер реалізації);

$$\lambda_j = \lambda_j + (\lambda_j - \lambda_j^*) = 2\lambda_j - \lambda_j^*. \quad (21)$$

Очевидно, що для нехтування впливом похибки каналу зворотного зв'язку на точність установки і стабільність вихідних сигналів генератора, основна складова цієї похибки має бути меншою за похибку основних каналів. Що ж до додаткової складової похибки, то вона може бути зменшена до необхідної величини відомими способами – за рахунок введення корекції коефіцієнта передачі та зсуву нуля за результатами перетворення відповідно опорного сигналу та нульового рівня напруги [5].

1. Цветков Э.М. *Процессорные измерительные средства*. – Л., 1989. – 224 с. 2. Соренков Э.И., Телига А.И., Шаталов А.С. *Точность вычислительных устройств и алгоритмов*. – М., 1976. – 273 с. 3. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. *Тестовые методы повышения точности измерений*. – М., 1978. – 240 с. 4. Мановцев А.П. *Основы теории радиотелеметрии*. – М., 1973 – 592 с. 5. Лавров Г.Н., Доронина О.М., Портнов М.Л., Портнов Е.М. *Снижение погрешностей измерений телемеханических систем // Энергетик*. – М., 1997. – № 2. – С. 11 – 13.

УДК 621.398

О.М. Дороніна*, Г.М. Лавров, С.В. Хомич
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕОМ,
* НДКІ ЕЛВІТ

ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНОЇ ТА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТЕЙ У СИСТЕМНИХ МУЛЬТИМЕТРАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

© Дороніна О.М., Лавров Г.М., Хомич С.В., 2001

Розглянуто алгоритм визначення активної та реактивної потужностей з перетворенням миттєвих значень вхідних сигналів у цифрові коди і подальшою їх цифровою обробкою. Запропоновано оригінальну модифікацію алгоритму з часовим зсувом між моментами виборок вхідних напруги та струму.

This paper presents the algorithm of active and reactive powers evaluation with the conversion of the instantaneous values of the input signals to the digital codes and subsequent digital processing of these codes. There is proposed the original modification of the algorithm with the input voltage and current samples time shift.

У процесорних системних мультиметрах промислової електромережі для визначення активної потужності отримав розповсюдження алгоритм з перетворенням миттєвих значень

u_j та i_j вхідних напруги $u(t)$ та струму $i(t)$ у цифрові коди N_{u_j} та N_{i_j} у кінцевому числі n точок періоду T_x їх коливання з постійним кроком дискретизації ΔT_x і подальшою цифровою обробкою отриманих кодів:

$$P = \frac{1}{T_x} \int_0^{T_x} u(t)i(t)dt \rightarrow \frac{\Delta T_x}{T_x} \sum_{j=1}^n u_j i_j = \frac{1}{nk_u k_i} \sum_{j=1}^n N_{u_j} N_{i_j}. \quad (1)$$

Обчислення реактивної потужності при синусоїдальних вхідних сигналах $u(t) = U_m \sin \omega t$, $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$, за які з деяким наближенням можна прийняти напруги та струми промислової електромережі, також може бути виконано за вищенаведеним алгоритмом. Але при цьому один із вхідних сигналів, наприклад струм, повинен мати зсув відносно іншого вхідного сигналу (напруги) на одну чверть періоду T_x . Зсув у даному випадку імітується за рахунок множення величини напруги в j -й точці відліку поточного періоду T_x на величину струму в $(j + n / 4)$ точці відліку. Однак при цьому через дискретизацію вхідних сигналів виникає небезпека внесення додаткового кута зсуву між напругою та струмом $\varphi_d \leq 2\pi / n$, що приводить до додаткової похибки:

$$\delta_d = \cos \varphi_d - 1 - \sin \varphi_d \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

яка при кінцевому значенні кількості відліків за період T_x , наприклад, $n = 200..300$ і $|\varphi| \leq \pi / 4$ може досягати значної величини – порядку 2..3 %.

Можливе обчислення реактивної потужності через повну UI та активну P потужності за відомою формулою:

$$Q = \sqrt{(U \cdot I)^2 - P^2}. \quad (3)$$

Однак при цьому необхідне введення додаткових операцій, перш за все операції добування кореня квадратного. Крім того, при значеннях кута зсуву фаз між струмом і напругою, близьких до нуля, гарантовано підвищення похибки обчислення Q через різну швидкість зростання функцій синуса і косинуса.

Пропонується застосування для визначення реактивної потужності модифікації алгоритму з цифровою обробкою кодів миттєвих значень вхідних сигналів (1), відповідно до якої код миттєвого значення напруги з j -ї точки її дискретизації має перемножитися з кодом різниці між миттєвими значеннями струму, що випереджує значення напруги і відстає від нього на рівні проміжку часу $\Delta T_x / 2$ ([1]). При цьому:

$$Q = \frac{1}{nk_u k_i \sin \frac{2\pi}{n}} \sum_{j=1}^n N_{u_j} (N_{i_{j-0,5}} - N_{i_{j+0,5}}). \quad (4)$$

Заміна різниці між $N_{i_{j-0,5}}$ і $N_{i_{j+0,5}}$ на їх суму у даній модифікації приводить до можливості використання останньої для визначення активної потужності:

$$P = \frac{1}{nk_u k_i \cos \frac{2\pi}{n}} \sum_{j=1}^n N_{u_j} (N_{i_{j-0,5}} + N_{i_{j+0,5}}). \quad (5)$$

Отже, запропонована модифікація дозволяє максимально зблизити процедури обчислення активної та реактивної потужностей. Крім того, вона передбачає рознесення в часі виборок миттєвих значень струму та напруги, наслідком чого є можливість використання для аналого-цифрового перетворення вхідних сигналів одного АЦП, що суттєво для багатоканальних багатофункціональних системних мультиметрів.

Слід зазначити, що при $n \gg 1$, що спостерігається в реальності, процедури визначення P і Q за формулами (5) та (4) можуть бути спрощені через заміну $\cos 2\pi/n$ на 1, а $\sin 2\pi/n$ на $2\pi/n$. Крім того, в цьому випадку процедура визначення Q звільняється від операції ділення на кількість відліків n .

Основний вплив на точність визначення потужностей P і Q за формулами (5) і (4) в процесорних мультиметрах електричних величин промислової електромережі, при правильному виборі розрядної сітки процесора, чинять вхідні канали та аналого-цифровий перетворювач. Неідентичність фазочастотних характеристик струмового і напругового вхідних кіл приводить до додаткового кута зсуву фаз φ' між вхідними сигналами. Апаратні методи зменшення похибки від φ' докладно розглянуто в [2]. Можливий програмний метод корекції результатів обчислення потужностей з урахуванням попередньо визначених величин $\cos \varphi'$ та $\sin \varphi'$:

$$P = \frac{\cos \varphi'}{nk_u k_i \cos \frac{2\pi}{n}} \sum_{j=1}^n N_{u_j} (N_{i_{j-0,5}} + N_{i_{j+0,5}}) + \frac{\sin \varphi'}{nk_u k_i \sin \frac{2\pi}{n}} \sum_{j=1}^n N_{u_j} (N_{i_{j-0,5}} - N_{i_{j+0,5}}), \quad (6)$$

$$Q = \frac{\cos \varphi'}{nk_u k_i \sin \frac{2\pi}{n}} \sum_{j=1}^n N_{u_j} (N_{i_{j-0,5}} - N_{i_{j+0,5}}) - \frac{\sin \varphi'}{nk_u k_i \cos \frac{2\pi}{n}} \sum_{j=1}^n N_{u_j} (N_{i_{j-0,5}} + N_{i_{j+0,5}}). \quad (7)$$

Мінімізація впливу зміщень нуля Δu та Δi напругового та струмового каналів на точність визначення потужностей можлива за рахунок введення поправок у коди миттєвих значень напруги та струму за результатами перетворення сигналу нульового рівня. Однак для зменшення апаратних затрат найбільш доцільним є введення поправок за результатами обчислення середніх значень $u(t)$ та $i(t)$ за період їх коливань:

$$\begin{aligned} -\left(k_u \Delta u + \frac{k_u U_m}{n} \sum_{j=1}^n \sin \frac{2\pi j}{n}\right) \xrightarrow{n \gg 1} -k_u \Delta u \\ -\left(k_i \Delta i + \frac{k_i I_m}{n} \sum_{j=1}^n \sin \frac{2\pi j}{n}\right) \xrightarrow{n \gg 1} -k_i \Delta i \end{aligned} \quad (8)$$

Методи зниження впливу похибок АЦП на точність визначення потужностей в системних мультиметрах аналогічні методам, що застосовуються у телемеханічних системах і описані в [2].

1. Пат. 6354 Україна. Пристрій для вимірювання активної та реактивної потужності / О.М. Дороніна, В.М. Ванько, Г.М. Лавров. 2. Лавров Г.Н., Дороніна О.М., Портнов М.Л., Портнов Е.М. Снижение погрешностей измерений телемеханических систем // Энергетик. – М., 1997. – № 2. С. 11 – 13.