

КАНАЛ ВИМІРЮВАННЯ ТА ІНДИКАЦІЇ НАПРУГИ 220 В У ПРИЛАДІ «ЯКІСТЬ-Е1»

Вступ. В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України розроблено прилад визначення якості електроенергії «Якість-Е1» за двома параметрами: відхилення від номінальних значень усталених значень напруги та частоти. В приладі реалізовані нові метод [1] та структура [2] для визначення якості надання електроенергії з контролем споживання. За частковим коефіцієнтом якості можливо визначити, чи задовольняє електроенергія вимогам ГОСТ 13109-97 [3] за вказаними двома параметрами.

Вимоги до параметрів каналу. Відповідно до ГОСТ 13109-97 максимально припустима приведена похибка вимірювання діючого значення напруги 220 В – $\gamma \leq \pm 0,5 \%$.

Основні складові похибок вимірювання напруги за допомогою АЦП – це методична похибка квантування напруги за рівнем та похибка апроксимації синусоїдального сигналу за часом біля максимального значення синусоїди.

Методична похибка квантування за рівнем напруги для 10-розрядного АЦП дорівнює $\pm 0,1 \%$.

Похибка апроксимації залежить від частоти дискретизації. Біля амплітудного значення швидкість зміни напруги близька до нуля, тобто похибка апроксимації невелика. Виберемо похибку апроксимації також не більшою, ніж $\pm 0,1 \%$. Далі будуть виконуватися такі рівняння:

$$\cos 0 - \cos(x) = 0,001;$$

$$\cos(x) = \cos 0 - 0,001;$$

$$\cos(x) = 0,999;$$

$$x = \arccos(0,999) = 0,045.$$

Для частоти 50 Гц час одного напівперіоду дорівнює 10 мс. Звідси

$$t_x = \frac{10 \cdot 0,045}{\pi} = 143(\text{мкс}).$$

Таким чином, для похибки апроксимації в 0,1 %, частота дискретизації синусоїди біля значення амплітуди має бути не менше 7 кГц.

Визначені вимоги до параметрів каналу. Досліджені характеристики трансформаторного давача напруги. Вибраний діапазон вхідних сигналів АЦП, для якого вихідні коди змінюються в межах одного байту, що дозволило обробляти їх однією командою. Це підвищило швидкодію каналу. Розроблено алгоритм та програму кусково-лінійної апроксимації передатної характеристики каналу, що дозволило регулювати похибки зміщення нуля, масштабу та нелінійності програмними засобами.

Ключові слова: вимірювальний канал, давач, передатні характеристики, похибки, апроксимація.

Структура каналу. Вимірювальний канал напруги у приладі складається з нормованого трансформатора напруги, високоточного резистивного дільника (відхилення від номінального значення не більше 0,1 %), який масштабує та зміщує вхідну напругу, та вбудованих у мікроконтролер джерела опорної напруги (ДОН) та АЦП.

Резистивний дільник напруги. Схема резистивного дільника напруги показана на рис. 1.

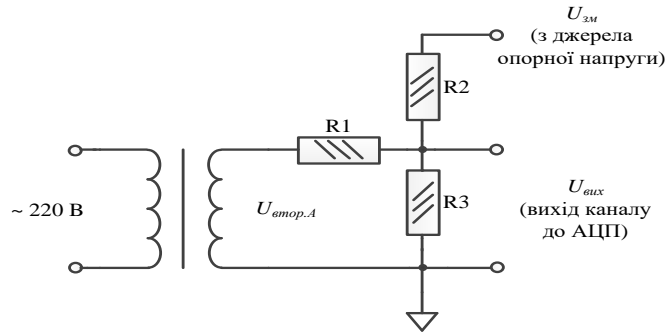


РИС. 1. Резистивний дільник напруги

Напруга на виході такого дільника розраховується (згідно з принципом суперпозиції для струмів [4]) за формулою

$$U_{вих} = U_{втор.А} \cdot \frac{R2 \cdot R3}{R1 \cdot R3 + R1 \cdot R2 + R2 \cdot R3} + U_{зм} \cdot \frac{R1 \cdot R3}{R1 \cdot R3 + R1 \cdot R2 + R2 \cdot R3}, \quad (1)$$

де $U_{втор.А}$ – амплітудне значення напруги вторинної обмотки трансформатора; $U_{зм}$ – напруга зміщення сигналу в позитивну область; $U_{вих}$ – вихідна напруга дільника, що масштабована до значень вхідної напруги аналого-цифрового перетворювача.

При відомому значенні $U_{втор.А}$, $U_{зм}$ та $U_{вих}$ можливо розрахувати такі номінали: $R1$, $R2$ та $R3$, при яких значення напруги $U_{втор.А}$ після дільника, утвореного резисторами $R1$ і $R3$, повністю перейде у позитивну площину, а вихідна напруга буде коливатися у межах, дозволених для роботи АЦП. Крім того, використання джерела опорної напруги АЦП спростило схему давача та підвищило стабільність результатів вимірювання. В загальному випадку можливо використовувати окрему мікросхему – ДОН, однак у приладі «Якість-Е1» ДОН та АЦП є внутрішніми блоками мікроконтролера.

Дільник з трьох високоточних резисторів та джерела опорної напруги мікроконтролера розрахований таким чином, щоб пришвидшити обробку даних з АЦП. В приладі «Якість-Е1» застосовано 8-розрядний мікроконтролер типу С8051F320, який має вбудований 10-розрядний АЦП з вхідним діапазоном сигналу від 0 до +2,5 В. Такий же діапазон повинен мати сигнал з давача (позитивна та негативна півхвилі синусоїдальної напруги). Максимальне припустиме значення вхідної напруги приладу – 286 В, а мінімально припустиме – 156 В. Якщо вхідна напруга виходить за вказані межі, то на індикаторі з’являються символи > 286 В або < 156 В. Для обробки даних з АЦП забезпечені такі рівні напруг, при яких:

- 1) позитивна півхвиля синусоїдального сигналу має рівні від +1,25 до +2,5 В (10 старший розряд АЦП дорівнює 1), а негативна – від 0 до +1,25 В (10 старший розряд АЦП дорівнює 0);
- 2) у позитивній півхвилі амплітудне значення сигналу може бути більшим за +1,75 В, але меншим, ніж +2,5 В, тобто значення, у яких 9 старший розряд АЦП не змінюється і дорівнює 1.

При виконанні цих вимог для визначення відхилень амплітудного значення сигналу від номінального використовуються лише 8 молодших розрядів АЦП, які можуть бути оброблені однією командою мікроконтролера, що збільшує швидкодію каналу.

Дослідження давача. Як давач для приладу вимірювання якості електроенергії «Якість-Е1» був використаний трансформатор ТПГ-1, у якого первинна обмотка розрахована на номінальну напругу ~ 220 В. Для оцінювання величин похибок трансформатора як давача проведено вимірювання передатних та температурних характеристик трансформатора.

Вхідне та вихідне значення змінної напруги вимірювалися універсальними мультиметрами UNI-T UT61E [5], а температура – блоком вимірювання температури DT-801 з максимальною похибкою ± 1 °C на всьому діапазоні вимірювань [6].

Вимірювання передатних та температурних характеристик трансформаторів проводилося при двох температурах таким чином. Спочатку була виміряна передатна характеристика давача при температурі в кімнаті вимірювань $T = 26,5$ °C, причому характеристика вимірювалась при прямому та зворотному проходках: з 160 В до 260 В (прямий хід) та з 260 В до 160 В (зворотній хід). Після цього давач був переміщений у термошафу з температурою 52 °C, де проводилися повторні вимірювання. Результати вимірювань приведені в табл. 1.

Графіки похибок давача щодо лінійної передатної характеристики показано на рис. 2.

ТАБЛИЦЯ 1

Uвх, В	T = 26,5 °C		T = 51,7 °C	
	Uдат, В, пр.х.	Uдат, В, зв.х.	Uдат, В, пр.х.	Uдат, В, зв.х.
160	6,75	6,762	6,744	6,763
170	7,17	7,186	7,154	7,16
180	7,605	7,602	7,575	7,585
190	8,012	8,002	8,022	7,99
200	8,422	8,438	8,414	8,426
210	8,81	8,657	8,817	8,745
220	9,263	9,154	9,24	9,169
230	9,555	9,58	9,533	9,54
240	9,964	9,97	9,936	9,925
250	10,362	10,361	10,322	10,327
260	10,739	10,739	10,688	10,688

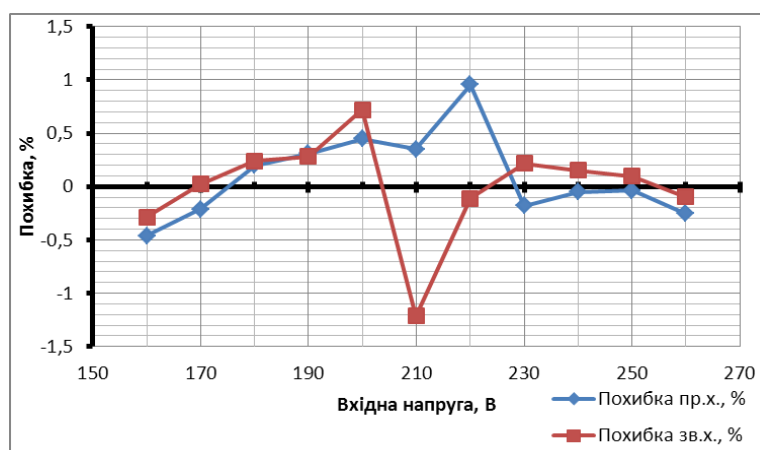


РИС. 2. Похибки передатної характеристики трансформаторного давача

Як видно з рис. 2, похибки прямого та зворотного ходів відрізняються, що свідчить про наявність гістерезису в трансформаторному давачі. З табл. 1 випливає, що температурна похибка дуже мала і тому температура практично не впливає на точність давача.

Алгоритм роботи каналу. Для пошуку максимального значення на позитивній півхвилі синусоїди біля амплітудного значення напруги АЦП виконує 25 вимірювань синусоїди з досить великим часом між вимірюваннями, який дорівнює 175 мкс. З цих відліків мікроконтролер вибирає максимальне значення, яке зберігається у пам'яті. Для зменшення впливу завад протягом однієї секунди 50 разів виконуються такі цикли, потім у процесорі аналого-цифрового контролера максимальні значення усереднюються. Усереднене значення відображається на рідкокристалічному індикаторі з контролером типу HD44780 розміром 8×2 та використовується в процедурі багатомежового порівняння для вибірки з пам'яті миттєвого коефіцієнта якості за напругою, що відповідає цьому значенню.

Кусково-лінійна апроксимація результатів вимірювання. Вихідна напруга ДОН від мікросхеми до мікросхеми контролера може змінюватися від 2,38 В до 2,50 В, тобто на 5 %. Ця напруга в схемі вхідного резистивного діляника формує зміщення у позитивну площину, тобто зміщення 0 передатної характеристики АЦП, а також зміщення масштабу для виходу ЦАП, який є складовою частиною АЦП. Крім того, трансформаторні давачі від примірника до примірника також мають різні передатні характеристики, які можуть бути нелінійними. Тому для індикації значень вимірної напруги на рідкокристалічному індикаторі застосована кусково-лінійна апроксимація (14 відтинків) результатів вимірювання АЦП.

Для кусково-лінійної апроксимації отриманий 8-розрядний код з АЦП перетворюються у послідовність трьох цифр, які будуть виводитися для індикації напруги. Дві старші цифри з трьох визначаються простим порівнянням кодів, за табл. 2 і 3, та відповідності кодів цим цифрам. Приклади таблиць приведені.

Отриманий код АЦП порівнюється із числом у другому стовпчику табл. 2. Число з таблиці вибирається за допомогою зміщення відносно початку (або індексу), при цьому для порівняння використовується метод дихотомії, а індекси табл. 2 поставлені у відповідність індексам табл. 3.

ТАБЛИЦЯ 2

Номінальне значення амплітуди	Код АЦП
150 В	01h
160 В	06h
170 В	15h
180 В	23h
190 В	35h
200 В	44h
210 В	53h
220 В	64h
230 В	75h
240 В	85h
250 В	9Ah
260 В	0AEh
270 В	0C2h
280 В	0D6h
290 В	0E7h

ТАБЛИЦЯ 3

Код для екрану	Цифри
8Ah	«1», «5»
86h	«1», «6»
8Eh	«1», «7»
81h	«1», «8»
89h	«1», «9»
40h	«2», «0»
48h	«2», «1»
44h	«2», «2»
4Ch	«2», «3»
42h	«2», «4»
4Ah	«2», «5»
46h	«2», «6»
4Eh	«2», «7»
41h	«2», «8»
49h	«2», «9»

Таким чином, отриманий індекс з табл. 2 визначає значення двох перших цифр з табл. 3. Перша цифра передається на рідкокристалічний індикатор в першому такті, а друга – в другому такті.

Остання цифра вираховується за допомогою простої пропорції для перетворення чисел з однієї системи числення в іншу [7]

$$x = \frac{A_{\text{вим.}} - A_{\text{табл.}}}{T_{\text{uіст}}} \cdot T_{\text{дес}}, \quad (2)$$

де $A_{\text{табл.}}$ – значення з табл. 2, $A_{\text{вим.}}$ – виміряне значення, $T_{\text{uіст}}$ та $T_{\text{дес}}$ – основи системи числення (для шістнадцятирічної системи це 16, для десяткової – 10). Отриманий результат (остання цифра) кодується та передається на рідкокристалічний індикатор в третьому такті.

Висновки. 1. Запропоновано вибирати такий вхідний діапазон сигналу на вході каналу, щоб обробка відхилень від номінального значення виконувалась над одnobайтними числами за одну команду мікроконтролера. Це дозволило пришвидшити обробку даних.

2. Розроблено алгоритм та програму кусково-лінійної апроксимації передатної характеристики каналу, що дозволило регулювати похибки зміщення нуля, масштабу та нелінійності програмними засобами.

Список літератури

1. Пат. на винахід 82925, Україна: МПК (2006) G01R 11/00 G06Q 50/00. Спосіб контролю витрати і якості комунальних послуг / Багацький В.О., Багацький О.В., Кривонос Ю.Г., Палагін О.В., заявник та патентовласник ІК НАНУ. № а200607592; заявл. 07.07.2006; опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10.
2. Пат. на винахід 82952, Україна: МПК G01R 19/165 (2011.01). Пристрій визначення якості комунальних послуг / Багацький В.О., Багацький О.В., Кривонос Ю.С., Палагін О.В., заявник та патентовласник ІК НАНУ. № а200612878; заявл. 12.06.2006; опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10.
3. ГОСТ 13109-97 (ІЕК, ІЕС). Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. [Чинний від 1999-01-01]. Київ : ТК 30 ЕМС, 1999. 45 с.
4. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники, изд. 2-е, стереотип. Ленинград: «Энергия», 1975. Т. 1. 523 с.
5. Інструкція до лінійки приладів UT61. Веб-сайт компанії «Uni-Trade Group Limited». URL: <http://www.uni-trend.com/manual2/UT61English.pdf> (дата звернення: 01.11.2012).
6. ТРМ-10. Веб-сайт компанії «Эвелен». URL: <http://evelen.ru/product/01/03/tpm10.html> (дата звернення: 01.02.2012).
7. Китов А.И., Криницький Н.А. Электронные цифровые машины и программирование. М.: ГИФМЛ, 1959. 295 с.

Одержано 17.02.2020

Багацький Валентин Олексійович,

доктор технічних наук, провідний науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
bagatskijva@gmail.com

Багацький Олексій Валентинович,

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.

УДК 004.388

А.В. Багацький, В.А. Багацький

КАНАЛ ИЗМЕРЕНИЯ И ИНДИКАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ 220 В В УСТРОЙСТВЕ «ЯКІСТЬ-Е1»

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова, Київ, Україна
Переписка: bagatskijva@gmail.com

В Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины разработан прибор определения качества электроэнергии «Якість-Е1» по отклонениям от номинальных значений установившихся

значений напряжения и частоты. В приборе использованы новые метод и структура устройства определения качества. Определены требования к устройствам канала измерения напряжения 220 В, 50 Гц по точности и быстродействию. Методическая погрешность квантования по уровню для 10-разрядного АЦП равна $\pm 0,1$ %. Для достижения ошибки аппроксимации $\pm 0,1$ % необходимо измерять напряжение около амплитудного значения через 170 мкс. Измерительный канал напряжения в приборе состоит из трансформатора напряжения, высокоточного резистивного делителя, который масштабирует и смещает входное напряжение, и встроенных в микроконтроллер источника опорного напряжения (ИОН) и АЦП. В приборе «Якість-Е1» применен 8-разрядный микроконтроллер типа C8051F320, в котором есть 10-разрядный АЦП с входным диапазоном сигнала от 0 до 2,5 В. Измерены передаточные и температурные характеристики трансформатора при прямом и обратном проходах, оценены его ошибки. Температурная ошибка очень мала и практически не влияет на точность датчика. У датчика есть гистерезис, рассчитанные ошибки не превышают ± 1 %. Для определения отклонения амплитудного значения от номинального используется только 8 младших разрядов АЦП, которые могут обрабатываться одной командой микроконтроллера, что повышает быстродействие канала. Выходное напряжение ИОН от микросхемы до микросхемы контроллера может изменяться от 2,38 В до 2,5 В. Кроме этого, разные трансформаторные датчики могут иметь разные передаточные характеристики, которые могут быть нелинейными. Поэтому для индикации значений измеренного напряжения на цифробуквенном индикаторе применена кусочно-линейная аппроксимация результатов измерения АЦП.

Ключевые слова: измерительный канал, датчик, передаточные характеристики, ошибки, аппроксимация.

UDC 004.388

O. Bahatskji, V. Bahatskji**CHANNEL OF MEASUREMENT AND INDICATION OF 220 VOLTAGE IN THE DEVICE "QUALITY-E1"***V.M. Glushkov Institute of Cybernetics, Kyiv, Ukraine**Correspondence: bagatskijva@gmail.com*

At the V.M. Glushkov Institute of Cybernetics the “Yakist-E1” – electric power quality measuring device, was developed. The device uses new method and structure of a quality determination, and is based on calculating the deviations from the nominal values of voltage and frequency values. The methodical error of level quantization for a 10-bit ADC is $\pm 0.1\%$. To achieve an approximation error of $\pm 0.1\%$, it is necessary to measure the voltage near the amplitude value after 170 μ s. The channel for voltage measuring in the device consists of a voltage transformer, a high-precision resistive divider that scales and biases the input voltage, a reference voltage source (VREF) and an ADC, which built into the microcontroller. The device “Yakist-E1” uses an 8-bit microcontroller type C8051F320, which has a 10-bit ADC with an input signal range from 0 to 2.5 V. The output voltage of the VREF from the chip to the controller chip can vary from 2.38 V to 2.5 V. In addition, different transformer sensors may have different transfer characteristics, which may be non-linear. Therefore, to indicate the values of the measured voltage on the alphanumeric indicator, a piecewise linear approximation of the results of measuring the ADC is used. The transfer and temperature characteristics of the voltage transformer were measured for forward and reverse passages, and, according to the results, was discovered that the temperature error is very small and practically does not affect the accuracy of the sensor and the sensor has hysteresis, the calculated errors do not exceed $\pm 1\%$. All this errors were corrected. To determine the deviation of the amplitude value from the nominal value, only 8 low-order bits of the ADC are used. This trick grants that ADC result can be processed by a single command of the microcontroller, which increases processing speed of the channel.

Keywords: measuring channel, sensor, transfer characteristics, errors, approximation.