

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Bagatskiy, O. Bagatskiy

THE DEVICE FOR MEASURING QUALITY OF ELECTRICITY IN CONSUMER'S 220V ELECTRICAL NETWORK

The method for determining the quality of the proposed electricity on two parameters (the steady-state voltage and frequency) and device for determining the quality of electricity is briefly described.

Key words: quality of public utilities, device for measuring quality .

Описано метод определения качества предоставления электроэнергии по двум параметрам: установленным значениям напряжения и частоты, кратко описан прибор для определения качества предоставления электроэнергии.

Ключевые слова: качество коммунальной услуги, прибор для измерения качества.

Описано метод визначення якості надання електроенергії споживачу за параметрами усталеної напруги та частоти, стисло описаний прилад для визначення якості надання електроенергії.

Ключові слова: якість комунальної послуги, прилад для вимірювання якості.

© В.О. Багацький, О.В. Багацький,
2014

УДК 004.388

В.О. БАГАЦЬКИЙ, О.В. БАГАЦЬКИЙ

ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖІ 220 В У СПОЖИВАЧА

Вступ. Напруга в однофазній електромережі змінного струму змінюється відповідно до формули

$$U(t) = U_{A1} \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_0) + \delta(t) \quad (1)$$

і характеризується амплітудним значенням напруги U_{A1} , частотою сигналу напруги ω_1 та початкової фази φ_0 , $\delta(t)$ – інші складові сигналу. При цьому слід зауважити, що функція $U(t)$ має таку ж саму область дозволених значень, як і функція U_{A1} .

Якість електроенергії, що постачається споживачу, нормується за певними показниками за допомогою ГОСТ 13109-97 «Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення» [1]. За цим документом контролюється якість електроенергії за 12 показниками. Якість контролюється за відхиленнями параметрів від їх номінального або допустимого рівня і є векторною величиною, причому результатом контролю є висновок – задовольняє якість електроенергії вимогам ГОСТу або не задовольняє.

Енергопостачальна організація відповідає за якість усталених значень відхилень напруги та частоти від номінальних значень, тривалість провалу напруги, перенапруження та імпульсну напругу. Для поліпшення якості за іншими показниками виявляються споживачі, які вносять в мережу завади, їм пропонується облаштувати на вході захисні пристрої, або мережа сегментується таким чином, щоб завади не впливали на інших споживачів.

Існуючі прилади контролю якості електричної мережі 220 В. На даний час в Україні існує багато приладів для контролю якості електроенергії (наприклад, «Ресурс UF2» [2], UNIGOR-330 [3], Omix-3 [4], PE-01 «Меридіан» [5]), які різняться як за точністю вимірювань та кількістю вимірюваних параметрів, так і за ціною, яка коливається у межах від 1780 до 44220 грн. Деякі прилади вимірюють параметри мережі та розраховують показники якості за ГОСТ 13109-97, а в деяких приладах (наприклад, у PE-01 «Меридіан») також виконується контроль за поточними показниками по відношенню до нормативних, з формуванням даних про відповідність або невідповідність вимогам ГОСТ поточних показників.

Мета даної роботи – це опис нового методу та нового приладу, розроблених авторами, для визначення якості надання електроенергії безпосередньо у споживача, за допомогою яких можливо оцінити якість електроенергії одним числом. Цей показник може бути використаний для розрахунку оплати за електроенергію з урахуванням якості її надання.

Загальний підхід до визначення якості. У різних методах визначення якості є суб'єктивні та об'єктивні моменти, що справедливо і для визначення якості комунальних послуг, зокрема якості електроенергії.

В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України запропоновано новий підхід до оцінки якості комунальних послуг, за яким якість послуги в цілому оцінюється за допомогою трьох взаємопов'язаних коефіцієнтів.

Відхилення кожного параметру якості від номінального значення перетворюється за допомогою функції відповідності в миттєвий коефіцієнт якості [6].

Частковий коефіцієнт якості оцінює якість за одним параметром у залежності від зміни його у часі з урахуванням миттєвих коефіцієнтів для кожного моменту часу у відповідності до формули [7]:

$$K_{чя} = (T_1/T_{заг}) \cdot K_1 + (T_2/T_{заг}) \cdot K_2 + \dots + (T_i/T_{заг}) \cdot K_i + \dots + (T_n/T_{заг}) \cdot K_n, \quad (2)$$

де $K_{чя}$ – частковий коефіцієнт якості; T_i – час перебування сигналу якості на i -тій ділянці сигналу якості; K_i – миттєвий коефіцієнт якості для i -тої ділянки; $T_{заг}$ – загальний час реєстрації якості, n – кількість ділянок на діапазоні сигналу якості.

$$T_i = \sum_{j=1}^k T_{ij}, \quad (3)$$

де j – номер часової ділянки на якій на i -тій ділянці діапазону перебуває сигнал якості; k – кількість часових ділянок на i -тій ділянці.

Якість послуги за сукупністю параметрів визначається за допомогою узагальненого коефіцієнта за формулою [8]:

$$K_y = K_{чя1} \cdot K_{чя2} \cdot \dots \cdot K_{чяi} \cdot \dots \cdot K_{чяn}, \quad (4)$$

де K_y – узагальнений коефіцієнт якості; $K_{чяi}$ – частковий i -тий коефіцієнт якості. Таким чином, якість послуги можливо оцінити скалярною величиною у вигляді одного числа. В залежності від якості послуги коефіцієнти змінюються в діапазоні від 1 до 0. Якщо параметр відповідає номінальному значенню, або відхили-

ється від нього на припустиме за нормативним документом значення, то коефіцієнт якості дорівнює 1. Суб'єктивні моменти враховуються вибором крайових значень та форми функції відповідності. Плата за послугу при багатокритеріальному визначенні якості постачання комунальної послуги, розраховується за формулою (5)

$$P = T \cdot K_{II} \cdot K_U, \quad (5)$$

де P – плата за послугу; T – тариф на послугу; K_{II} – кількість спожитої послуги; K_U – узагальнений коефіцієнт якості.

На основі цього підходу розроблено прилад визначення якості електроенергії за двома параметрами: відхилення від номінальних значень усталених значень напруги і частоти. В приладі реалізовані новий метод [7] та структура [9] для визначення якості надання електроенергії з контролем споживання. За частковим коефіцієнтом якості можливо визначити, чи задовольняє електроенергія вимогам ГОСТ 13109-97 за вказаними двома параметрами.

Структурна схема приладу. На рис. 1 показана спрощена структурна схема приладу. Давачем напруги та частоти є трансформатор типу ТПГ-1, який працює практично в режимі холостого ходу, орган керування приладу складається з п'яти кнопок, а у якості пристрою виводу інформації використовується рідкокристалічний індикатор з контролером типу HD44780 та USB вихід. В приладі є годинник реального часу на мікросхемі DS1337.

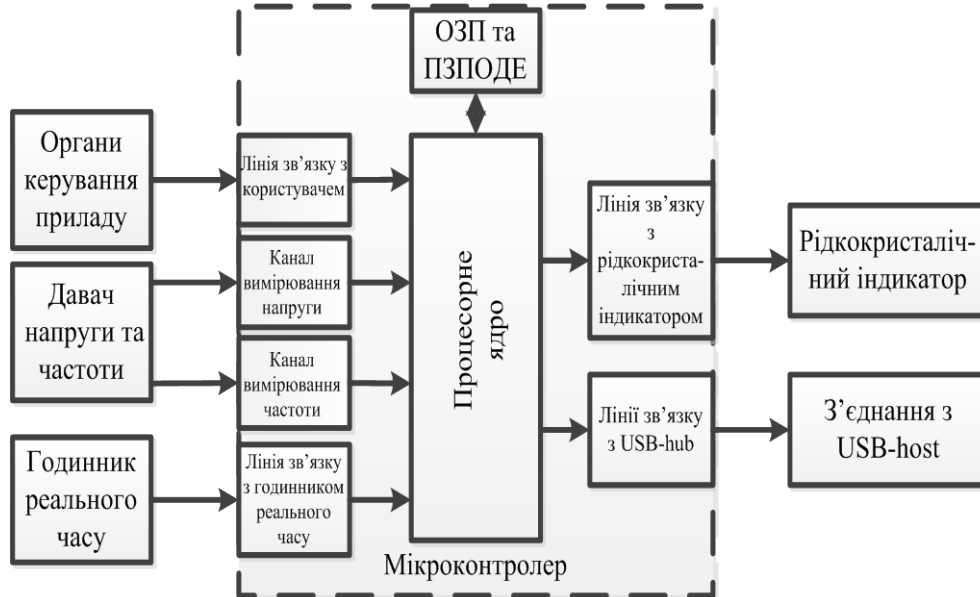


РИС. 1. Структурна схема приладу «Якість-Е1»

Мікроконтролер типу С8051F320 приймає, обробляє та виводить на рідкокристалічний індикатор значення частоти та діюче значення напруги, розраховані для цих величин миттєві, часткові коефіцієнти якості та узагальнений коефіцієнт якості. Збереження розрахованої або отриманої інформації можливе у ОЗП (RAM) або у ПЗПОДЕ (EEPROM). Загальна кількість використаної для керуючої програми ПЗПОДЕ становить 10 кілобайтів.

Канал вимірювання частоти. Вимірювання частоти зазвичай виконується з використанням методу часо-імпульсного перетворення. Для початку вимірювання використовують перехід сигналу через «нуль», що визначає спеціальний пристрій – індикатор. Після такого переходу в лічильник починають надходити імпульси стабільної частоти з кварцового генератора, а після наступного переходу через «нуль» (напівперіод синусоїди) – індикатор забороняє надходження імпульсів. Таким чином, кількість імпульсів, що зберігаються у лічильнику, оберненопропорційна частоті вимірюваного синусоїдального сигналу. Протягом однієї секунди виконується п'ятдесят вимірювань частоти, які осереднюються. Осереднене значення і є тим відліком частоти, який використовується у процедурі багатомежового порівняння для отримання з таблиці, яка зберігається в пам'яті, миттєвого коефіцієнта якості для цього відліку.

В роботі [10] отримані співвідношення, які дозволяють розрахувати вимоги до параметрів швидкодії та точності індикатора переходу через «нуль» для вимірювання частоти 50 Гц. Він повинен спрацьовувати за 9,76 мкс і мати поріг спрацьовування (точність) не гірше ніж 5,16 мВ. Якщо як пристрій переходу через «нуль» використовувати компаратор, що знаходиться у складі аналого-цифрового мікроконтролера, то він задовольняє цим вимогам.

Канал вимірювання амплітуди. Біля значення амплітуди АЦП виконує 25 вимірювань значень синусоїди з досить великим часом між вимірюваннями, який дорівнює 175 мкс. З цих відліків мікроконтролер вибирає максимальне значення, яке зберігається у пам'яті. Протягом однієї секунди 50 разів виконуються такі цикли, потім у процесорі максимальні значення усереднюються. Усереднене значення використовується у процедурі багатомежового порівняння для вибірки з пам'яті миттєвого коефіцієнта якості, що відповідає цьому значенню.

Швидкість зміни синусоїди біля максимуму найменша, тому час між відліками t_e може бути досить великий. Якщо припустима похибка дискретизації може бути 0,2%, то

$$\cos 0 - \cos(x) = 0,002;$$

$$\cos(x) = \cos 0 - 0,002;$$

$$\cos(x) = 0,998;$$

$$x = \arccos(0,998) = 0,063256.$$

Після перетворення x з радіанів у час, отримаємо час t_e :

$$t_B = \frac{20\text{мс} \cdot 0,063254}{2\pi} = 201(\text{мкс}).$$

В приладі використовується кусково-лінійна функція відповідності з крайовими значеннями (0,7; 0,7) та (1,3; 0,7). Часткові коефіцієнти якості в кожен момент часу вираховуються за формулою (2), а узагальнений коефіцієнт якості – за формулою (4).

Вимоги до часу виконання операції програмного забезпечення. Оскільки прилад працює у режимі реального часу, існують певні обмеження для виконання критичних за часом секцій програми. Так, за допомогою програмних засобів, був реалізований годинник реального часу і необхідно, щоб реалізація підрахунку цього часу була максимально швидкою процедурою. Для цього було використано найвищий пріоритет переривань лічильника, в якому обробляються результати та проводиться коригування годинника за допомогою еталону. З іншого боку, для ініціалізації та передачі даних через USB необхідно також витримувати чітко визначені інтервали часу для досягнення результату. Наприклад, у роботі [11] вказано, що час, за який USB-хаб має реагувати на стандартні USB-запити не повинен перевищувати 50 мс. За цей час, USB-хаб повинен надіслати запит до приладу, який щойно під'єднався до шини та в залежності від отриманих даних дозволити або заборонити експлуатацію шини цим приладом. Для дозволу на запуск процедур вимірювання та обробки в приладі необхідно, згідно [12], відповісти на запит USB-хабу одним обов'язковим репортом – GetReport. В цьому репорті вказується вся конфігурація приладу – найменування приладу, швидкість роботи та максимальна кількість даних, яка може бути передана за один запит USB-хабу. Також частиною приладу, який працює у певних часових проміжках, є рідкокристалічний індикатор. Дані, що виводяться на нього, мають затримуватись на проміжок часу, при якому можливо занотувати виміряні дані які, наприклад, можуть містити значення параметру потенціалу або узагальнений коефіцієнт якості. Для приладу був вибраний 3-х секундний інтервал для «екранів» частоти та амплітуди та 4-х секундний – для узагальненого коефіцієнта якості. Так як всього таких «екранів» три, повний цикл виведення («екран амплітуди» – «екран частоти» – «екран узагальненого коефіцієнта») займає 10 секунд.

Виведення інформації та органи керування. Для відображення результатів вимірювання та відповідних коефіцієнтів якості у приладі використовується рідкокристалічний індикатор, що відображає значення та частковий або миттєвий коефіцієнти якості напруги у мережі 220 В (див. рис. 2 екрани а та г), значення та частковий або миттєвий коефіцієнти якості частоти у мережі 220 В (див. рис. 2, екрани б та г) або узагальнений, або миттєвий узагальнений коефіцієнт якості мережі 220 В (див. рис. 2, екрани в та д).

В рідкокристалічному екрані використовується контролер HD44780. Цей контролер фактично є промисловим стандартом і широко використовується при виробництві алфавітно-цифрових модулів-екранів. Існує багато прикладів його застосування, що дозволяє швидко створювати обслуговуючі програми. Крім того, для керування контролерами такого типу досить всього п'ять ліній зв'язку з мікроконтролером, що дозволяє зробити електричну схему приладу більш простою. Безпосереднім виведенням інформації на екран керує мікроконтролер.

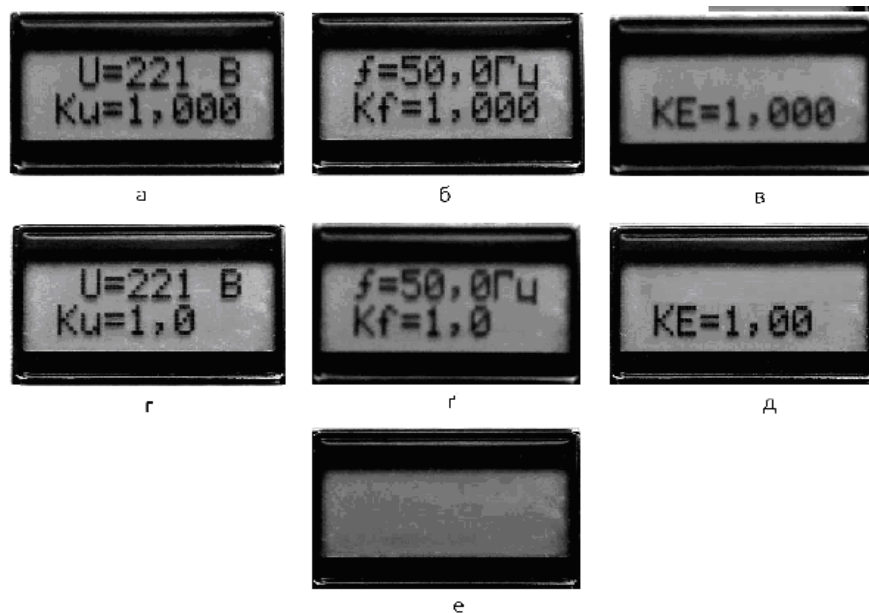


РИС. 2. Можливі варіанти даних на екрані приладу «Якість E1»

З правого боку приладу розташований вихід USB, що використовується для передавання даних (сам пристрій ідентифікується як HID-пристрій згідно вимог, які зазначені у [11]). Це другий інтерфейс, який може використовувати користувач для збору даних при підключенні приладу до USB-хоста (USB-host). Прилад був розроблений як HID-пристрій (HID – Human Interface Device) і програмно підтримує необхідні HID запити. Такий варіант з'єднання не потребує ніяких додаткових драйверів для сімейства операційних систем «Windows», починаючи з «Windows 2000» з пакетом оновлень (Service Pack) не нижче четвертого. Взаємодія з USB-хостом відбувається в автоматичному режимі одразу після під'єднання пристрою і ніяким чином не впливає на дані, що з'являються на екрані. Отримані дані зберігаються у файлі, що оформлений згідно формату XML. Прилад також має вбудований годинник реального часу, який слугує еталоном для вимірювання часових проміжків. Введення такого еталону дозволяє коригувати годинник, який використовується для розрахунків, кожну добу. Таким чином, максимальна похибка часу в кінці місяця дорівнює похибці лише однієї доби – 5 секунд.

Розроблений прилад має на передній панелі п'ять кнопок. Взаємодія з програмним забезпеченням здійснюється трьома кнопками – «МИТ.», «Зуп.», «Вст. 0». Кнопка «МИТ.» у натиснутому стані та фіксації дозволяє програмі виводити на рідкокристалічний екран миттєві значення коефіцієнта якості амплітуди, частоти або їх добутку (див. рис. 2, відповідні екрани г і д).

Кнопка «Зуп.» у натиснутому стані та фіксації виконує роль «від'єднання» (або нульового споживання) споживача у побутовій мережі змінного струму 220 В. Це імітує ситуацію, коли споживач взагалі не споживає електроенергію. У цьому разі рідкокристалічний екран стає порожнім без символів (див. рис. 2, екран е), а при повторному натисканні цієї кнопки на екрані з'явиться інформація, яка була до натискання кнопки.

Кнопка «Вст. 0» при натисканні виконує апаратний скид мікроконтролера. В цьому випадку програма починається з самого початку незалежно від коду, який виконувався до натискання програми. Рідкокристалічний екран стає порожнім без символів (рис. 2, екран е). Кнопка «Відк. U» слугує для відключення резервного живлення. Кнопка «USB» є зарезервованою кнопкою.

Зовнішній вигляд приладу показано на рис. 3.



РИС. 3. Зовнішній вигляд приладу

Технічні дані приладу:

- 1) похибка вимірювального каналу 220 В – не більше $\pm 1 \%$;
- 2) похибка вимірювального каналу 50 Гц – не більше $\pm 0,06 \%$;
- 3) похибка вимірювання часу – не більше 5 с/добу;
- 4) похибка розрахунку коефіцієнтів якості – не більше $\pm 0,1 \%$;
- 5) час осереднення миттєвих вимірювань напруги та частоти – 1 с;
- 6) термін реєстрації коефіцієнтів якості – 1 місяць;
- 7) час зберігання місячних коефіцієнтів якості – 1 рік;
- 8) інтерфейс – USB;
- 9) напруга живлення – $220 \text{ В} \pm 30 \%$;
- 10) номінальна споживана потужність – не більше 4 Вт;
- 11) габарити – 140x80x40.

Висновки. Запропоновано новий підхід та метод визначення якості надання електроенергії споживачу, які дозволяють врахувати рівень якості для сплати за послугу. Наведена структурна схема, особливості та технічні дані розробленого приладу для визначення якості надання електроенергії споживачу.

1. *Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення* : ГОСТ 13109-97 (ІЕК, ІЕС) – ГОСТ 13109-97 – [Чинний від 1999-01-01]. – К.: Технічний комітет ТК 30 EMC, 1999. – 45 с. – (Діючий стандарт України).
2. *Измеритель* показателей качества электроэнергии «Ресурс-UF2». [Електронний ресурс]. <http://www.tst-market.ru>
3. *Digital Multimeter + Signal Generator UNIGOR® 330, 355*. UNIGOR® 330, 355 – TechRentals. [Електронний ресурс]. www.techrentals.com.au/uploads/LEM_UNIGOR355.pdf
4. «*Omix P99-MA-3*» (Omix-3) – Аналізатор якості трьохфазної електричної мережі перемінного струму. Веб-сайт компанії «Евелен». [Електронний ресурс]. http://evelen.ru/product/04/01/omix_3.html
5. *Аналізатор якості електричної енергії «МЕРИДІАН PE-01»*. Веб-сайт ВАТ «МЕРИДІАН» ім. С.П. Корольова. [Електронний ресурс]. <http://www.merydian.kiev.ua/production/analyzer-of-electric-power-quality.php>
6. *Багацький О.В.* Показники якості та оцінка якості надання комунальних послуг // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2012. – № 2, 24. – С. 4–11.
7. *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 НАН України. – № а200607592, заявл. 07.07.2006, опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10.
8. *Пат.* на винахід 82791, Україна, МПК (2006) G01F 1/00 G01R 21/133 (2008.01) G06Q 50/00. Система контролю комунальних послуг / Багацький В.О., Багацький О.В., Кривонос Ю.Г., Палагін О.В., заявник та патентовласник ІК НАН України. – № а200700963, заявл. 30.01.2007, опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.
9. *Пат.* на винахід 82791, Україна, МПК (2006) G01F 1/00 G01R 21/133 (2008.01) G06Q 50/00. Система контролю комунальних послуг / Багацький В.О., Багацький О.В., Кривонос Ю.Г., Палагін О.В., заявник та патентовласник ІК НАН України. – № а200700963, заявл. 30.01.2007, опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.
10. *Багацький, О.В. Багацький В.О.* АЦП часо-імпульсного типу на базі аналого-цифрового мікроконтролера // Вісник ВПІ, ВПІ. – Вінниця, 2013. – № 2. – С. 101–104.
11. *Агуров В.П.* Інтерфейси USB. Практика использования и программирования. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 576 с.
12. *Міжнародна організація «USB.org»*. HID-пристрої. [Електронний ресурс]. <http://www.usb.org/developers/docs/hidpage/>

Одержано 15.09.2014