



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **145729** (13) **U**
(51) МПК
G01R 21/133 (2006.01)
G01R 22/10 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2020 05461</p> <p>(22) Дата подання заявки: 25.08.2020</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 29.12.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 28.12.2020, Бюл.№ 24</p>	<p>(72) Винахідник(и): Осолінський Олександр Романович (UA), Кочан Володимир Володимирович (UA), Саченко Анатолій Олексійович (UA), Кочан Орест Володимирович (UA), Агнешка Молга (PL)</p> <p>(73) Володілець (володільці): Осолінський Олександр Романович, с. Стривка, Збараський р-н, Тернопільська обл., 47371 (UA), Кочан Володимир Володимирович, вул. Львівська, 7, кв. 3, м. Тернопіль, 46020 (UA), Саченко Анатолій Олексійович, вул. Загребельна, 42-а, м. Тернопіль, 46027 (UA), Кочан Орест Володимирович, вул. Наукова, 57/133, м. Львів, 79071 (UA)</p>
---	---

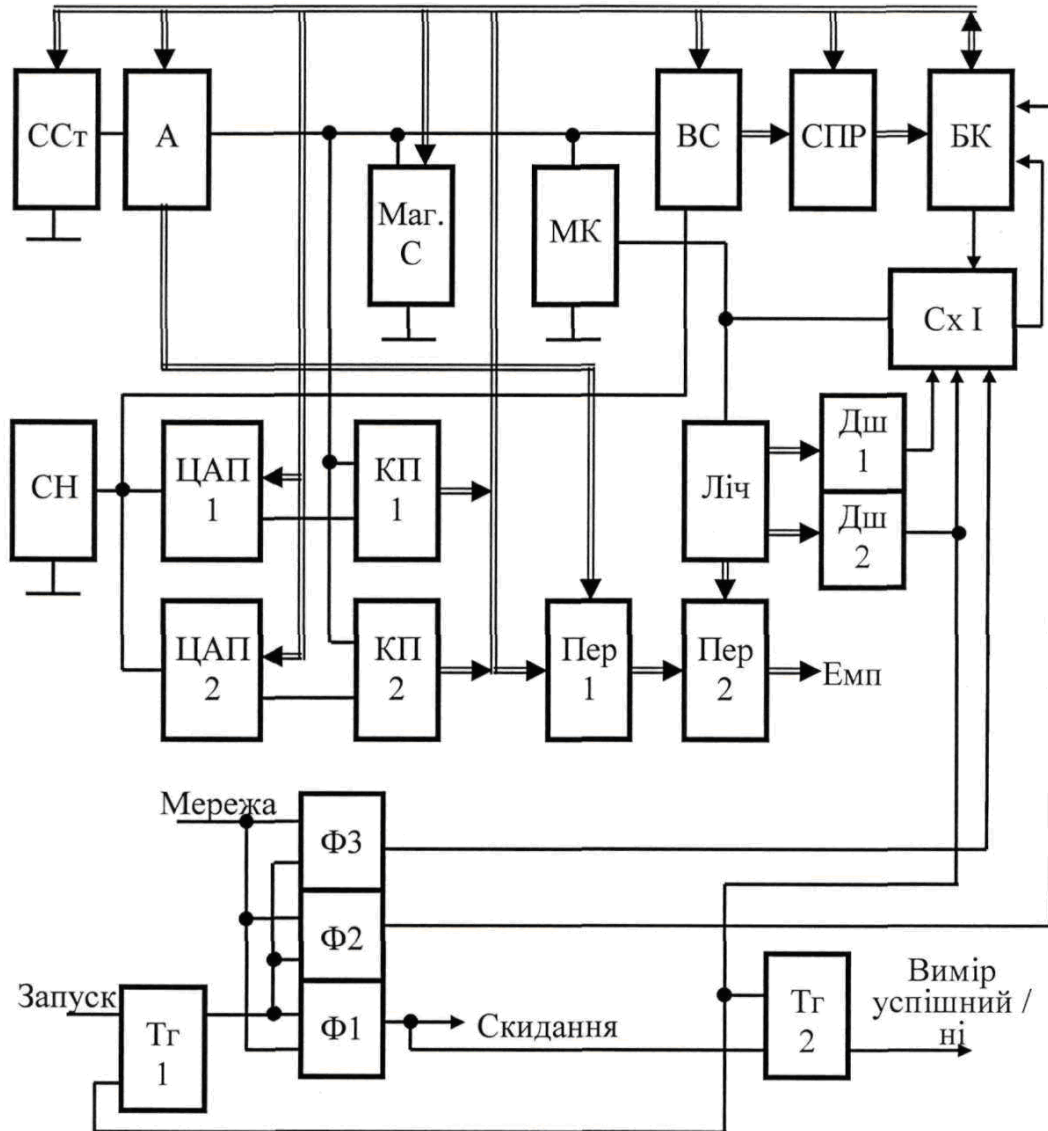
(54) ПРИСТРІЙ ЗАВАДОСТІЙКОГО ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ СПОЖИВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА

(57) Реферат:

Пристрій завадостійкого вимірювання енергії споживання мікроконтролера складається із послідовно ввімкнених керованого стабілізатора струму, завадостійкого амперметра постійного струму і мікроконтролера, паралельно останньому підключені перші входи двох компараторів, керований магазин ємності та вхід вимірювальної системи, вихід якої підключено до послідовно ввімкнених системи прийняття рішень та блока керування, шина даних якого підключена до входів-виходів керування та обміну даними керованого стабілізатора струму, завадостійкого амперметра постійного струму, магазину ємності, вимірювальної системи, системи прийняття рішень, двох цифро-аналогових перетворювачів, виходів двох компараторів та входу двох послідовно з'єднаних перемножувачів, другі входи яких підключені до виходу завадостійкого амперметра постійного струму та підключеного до виходу мікроконтролера лічильника циклів виконання програми мікроконтролером, причому вихід стабілізатора напруги підключено до входів опорної напруги вимірювальної системи і двох цифро-аналогових перетворювачів, виходи яких підключено до других входів двох компараторів. Додатково у схему введені дві підсистеми - запуску циклу вимірювання та закінчення циклу вимірювання, перша з яких складається із двох тригерів, на перший вхід першого тригера надходить сигнал "запуск" процесу вимірювання енергії споживання мікроконтролера, а його вихід підключено до входів дозволу спрацювання трьох формувачів, до робочих входів яких підключено змінну напругу мережі живлення, причому перший з формувачів формує сигнал "скидання" всіх лічильників і тригерів пристрою завадостійкого вимірювання енергії споживання мікроконтролера, вихід другого формувача підключено до входу запуску чергового циклу вимірювання енергії споживання мікроконтролера блока керування, згідно з переходом мережі через нуль, а вихід третього формувача, що формує допустимі межі часу закінчення чергового циклу вимірювання енергії споживання мікроконтролера, підключено до входу схеми I підсистеми закінчення циклу

UA 145729 U

вимірювання, вихід якої підключено до входу блока керування, а інші входи - до виходів блока керування, мікроконтролера та двох дешифраторів, входи яких підключено до виходів лічильника циклів виконання програми мікроконтролером, причому вихід другого дешифратора підключено до других входів тригерів підсистеми запуску циклу вимірювання.



Корисна модель належить до засобів вимірювальної техніки, зокрема засобів вимірювання енергії тих споживачів, які споживають електричну енергію дуже нерівномірно в часі - інтегральних мікросхем, мікропроцесорів, мікроконтролерів та інших мікроелектронних пристроїв (далі МК).

5 Імпульсна енергія МК визначається, згідно з математичною формулою [1]

$$E = \int_{t=0}^T u \cdot i \cdot dt$$
, (1)

де u - миттєве значення напруги на контактах МК; i - миттєве значення струму через контакти МК; t - поточне значення часу; T - час, за який вимірюють спожиту енергію.

10 Задача вимірювання потужності та енергії МК значно ускладнюється, наприклад при вимірюванні енергії спрацювання інтегральних мікросхем, особливо виконаних на базі комплементарної метал-оксид-напівпровідникової технології (КМОН), яка останнім часом стала домінувати. Для таких мікросхем перепади енергоспоживання у статичному режимі та у момент перемикання досягають 1 до 200.

15 Частота перемикань таких мікросхем (повторення імпульсів споживання енергії) відповідає подвійній частоті тактового генератора (десятьки МГц), при цьому гармоніки імпульсів споживання енергії сягають сотень МГц. Тому необхідний малий динамічний внутрішній опір джерела живлення, як активний, так і реактивний, інакше виникають збої. Зменшують динамічний внутрішній опір джерела живлення ввімкненням у коло живлення високочастотного конденсатора, причому довжина провідників від мікросхем до конденсатора повинна бути
 20 мінімальною (1...2 см). Цей режим роботи МК можна назвати штатним, його порушення веде до порушення функціонування через збої.

Через це відомий спосіб вимірювання спожитої МК енергії шляхом вимірювання спожитого струму та напруги на ньому [1] за допомогою амперметра і вольтметра, а також часу споживання секундоміром, наприклад електронним, не можна використати. Якщо амперметр
 25 ввімкнути між конденсатором у колі живлення МК і самим МК, то різко зростає динамічний реактивний внутрішній опір кола живлення МК. Це, як уже вказувалося, веде до збоїв МК, тобто спотворення його енергоспоживання. Тобто таке ввімкнення амперметра не створює нормальний (штатний) режим роботи МК.

Увімкнення амперметра між конденсатором в колі живлення МК та блоком живлення веде
 30 до неконтрольованого обміну енергією між МК та конденсатором - енергія, спожита МК, може суттєво відрізнятись від вимірюваної через зміну напруги на конденсаторі за час вимірювання (тобто зміну енергії, яку зберігає конденсатор). Тому виникає методична похибка, яку практично неможливо коригувати. Використання такого способу вимірювання енергоспоживання у [2] привело до того, що побудовані за результатами вимірювання моделі мали похибку більше
 35 10 %.

Використання спеціалізованих мікросхем [3] практично не змінює стан справ саме тому, що розглянуті похибки є методичними, тобто вони притаманні не апаратним засобам, а способам вимірювання.

Тому більшу точність вимірювання енергоспоживання МК забезпечив спосіб [4], що включає
 40 вимірювання миттєвого струму споживання МК. Цей спосіб для зменшення динамічного внутрішнього опору (особливо реактивного) кола живлення МК використовує "струмове дзеркало" [5]. Через нелінійні властивості транзисторів динамічний опір "струмового дзеркала" малий і МК працює у штатному режимі. Додатковою перевагою способу [4] є те, що використаний як вимірювальний прилад цифровий осцилограф є заземленим. Однак, при
 45 значних змінах струму через транзистор, напруги база-емітер транзисторів "струмового дзеркала" змінюються на 0,2...0,3 В. Тобто у сумі спад напруги на "струмовому дзеркалі" змінюється на 0,4...0,6 В. Така зміна напруги веде до методичної похибки, яку також неможливо відкоригувати. Побудовані за результатами вимірювання моделі мали похибку приблизно 7 %.

Для усунення цього недоліку у [6] запропоновано жити МК від стабілізатора струму (а не напруги). Пристрій [6] вимірює миттєву потужність та енергію виконання команд або інструкцій МК. Живлення МК від джерела струму дає змогу обчислювати струми у вимірювальному колі за першим законом Кірхгофа. Тут МК працює у нормальному (штатному) режимі - він заземлений, паралельно до його живлення підключено конденсатор. Струм, що споживає МК від
 50 конденсатора, можна обчислити за формулою [7]:

55
$$I_C = \frac{U_C}{T}$$
, (2)

де I_C - струм заряду або розряду конденсатора; U_C - зміна напруги при заряді або розряді конденсатора; T - час заряду або розряду конденсатора; C - ємність конденсатора.

5 Якщо напруга на конденсаторі спадає, то струму від стабілізатора струму для живлення МК не вистачає - МК забирає з конденсатора енергію (струм),. Якщо напруга на конденсаторі росте, то струм стабілізатора струму для МК є надлишковим - МК віддає конденсатору надлишкову енергію. При попередньому налаштуванні пристрою струм стабілізатора струму вибирають таким, щоби за час дослідження напруга на конденсаторі змінювалася в допустимих межах і ця зміна не впливала на роботу МК (зазвичай 0,5...1 %).

10 Слід відзначити, що оцінка струмів заряду-розряду конденсатора за формулою (2) при вимірюванні енергоспоживання МК є приблизною, бо розряд конденсатора в умовах наявності опору навантаження відбувається по експоненті, а не по прямій. Однак, при дослідженні малих змін напруги (0,5...1 % порівняно із напругою живлення), похибка апроксимації експоненти прямою є величиною другого порядку малості (нею можна нехтувати).

15 Напруга на конденсаторі у [6] обмежена еквівалентом стабілітрона, виконаним на операційному підсилювачі та напівпровідниковому діоді. Напруга спрацювання еквівалента стабілітрона задає опорне джерело напруги (прецизійний стабілізатор напруги), вихідна напруга якого рівна номінальній напрузі роботи досліджуваного МК. Напруга живлення досліджуваного МК не може перевищити задану опорним джерелом напруги - спрацьовує еквівалент стабілітрона і приймає на себе надлишковий струм, що надходить від стабілізатора струму. 20 Послідовно з еквівалентом стабілітрона ввімкнено прецизійний резистор, за спадом напруги на якому можна виміряти струм, який забирає еквівалент стабілітрона. Зміни напруги на конденсаторі, ввімкненому в коло живлення МК, вимірює перший канал цифрового осцилографа, а спад напруги на резисторі, ввімкненому послідовно із еквівалентом стабілітрона - другий канал. Земля цифрового осцилографа підключена до виходу опорного джерела 25 напруги. Це дає змогу працювати цифровому осцилографу у диференційному режимі - напруги, що надходять на його обидва входи, близькі до вихідної напруги опорного джерела напруги.

Основним недоліком пристрою [6] є відносно низька завадостійкість щодо завад, наведених зовнішніми електромагнітними полями на вхідні кола цифрового осцилографа. При цьому методи цифрової фільтрації для зменшення впливу наведених завад, через дуже велику 30 розбіжність тактової частоти досліджуваного МК та частоти завади, мало придатні. Мінімальні тактові частоти досліджуваних сучасних МК складають 10-20 МГц, а основним видом завад є завади від мережі живлення частотою 50 Гц. В такому випадку, для ефективної фільтрації, необхідна вибірка, тривалістю 20-50 періодів завади, тобто 1-2,5 секунди. А для дослідження імпульсного споживання МК необхідно вловлювати щонайменше десятку гармоніку струму споживання, тобто період дискретизації осцилографа повинен складати 5-10 наносекунд. В 35 такому разі необхідна для фільтрації вибірка буде складати від 80 до 400 МБ. Цифрові осцилографи, що мають такі об'єми буферної пам'яті, на сьогодні не випускаються. Крім цього, цифрова фільтрація вибірки такого об'єму за прийнятний час вимагає використання суперкомп'ютерів.

40 Найближчим аналогом корисної моделі є спосіб вимірювання середньої енергії імпульсного споживача [8], при реалізації якого МК також (як і у [6]) живлять від стабілізатора струму, причому конденсатор, ввімкнений паралельно імпульсному споживачу, використовується як перетворювач струм-напруга, а його ємність можна змінювати (конденсатор реалізовано як магазин ємностей). При реалізації способу [8] спочатку (при виконанні попередніх циклів 45 вимірювання) налаштовують струм стабілізатора струму таким чином, щоб за час вимірювання (час виконання набору зданої кількості однотипних команд або досліджуваної програми) прямували б до нуля (були меншими за допустиме значення) як зміна напруги на конденсаторі C в колі живлення МК, так і зміна інтеграла напруги на конденсаторі C в колі живлення МК. Для цього, згідно з [8], в момент запуску виконання досліджуваного набору команд, фрагменту 50 програми або програми у цілому ємність конденсатора встановлюють максимальною (настільки великою, що перевищення напруги в колі живлення імпульсного споживача допустимого значення стає неможливим), а під час налаштування струму стабілізатора струму одночасно змінюють ємність конденсатора, ввімкненого паралельно імпульсному споживачу, таким чином, щоби зміни спаду напруги на імпульсному споживачі не перевищували допустимі.

55 Недоліком найближчого аналога є низька завадостійкість щодо завад від мережі живлення частотою 50 Гц. Під час процесу вимірювання енергії споживання МК, як при налаштуванні схеми, так і під час безпосереднього вимірювання енергоспоживання МК, на вхід системи регулювання (див. [8]) діють завади частотою 50 Гц від мережі живлення. Їх дія збиває систему регулювання при її налаштуванні (не дає змоги налаштувати оптимальний струм стабілізатора 60 струму) та впливає на результат вимірювання під час безпосереднього вимірювання

енергоспоживання МК. Тому, хоча завадостійкість найближчого аналога значно вища порівняно із пристроєм [6], у найближчому аналогу передбачено не всі можливі заходи забезпечення максимального захисту від завад.

5 Задачею корисної моделі є підвищення завадостійкості запропонованого у [8] пристрої щодо дії завад, наведених зовнішніми електромагнітними полями на входні кола засобів вимірювання.

В основу корисної моделі поставлено задачу забезпечення умов, при яких використовувані інтегруючі засоби вимірювання напруги (аналого-цифрові перетворювачі двотактного інтегрування або сигма-дельта) можуть у повній мірі проявити свої завадостійкі властивості.

10 Пристрій забезпечення завадостійкості вимірювання середньої енергії МК складається із послідовно ввімкнених керованого стабілізатора струму, завадостійкого амперметра постійного струму і МК. Паралельно до МК підключені перші входи двох компараторів, керований магазин ємності та вхід вимірювальної системи, вихід якої підключено до послідовно ввімкнених системи прийняття рішень та блока керування. Шина даних останнього підключена до входів-виходів керування та обміну даними керованого стабілізатора струму, завадостійкого амперметра постійного струму, магазину ємності, вимірювальної системи, системи прийняття рішень, двох цифрово-аналогових перетворювачів, виходів двох компараторів та входу двох послідовно з'єднаних перемножувачів. Другі входи перемножувачів підключені до виходу завадостійкого амперметра постійного струму та підключеного до виходу МК лічильника циклів виконання програми МК. При цьому вихід стабілізатора напруги підключено до входів опорної напруги вимірювальної системи і двох цифрово-аналогових перетворювачів, виходи яких підключено до 15 20 других входів згаданих двох компараторів.

Згідно з корисною моделлю, для підвищення завадостійкості пристрою завадостійкого вимірювання енергії споживання МК, у схему введені дві підсистеми - запуску циклу вимірювання та закінчення циклу вимірювання. Перша з них складається із двох тригерів та 25 трьох формувачів імпульсів, що спрацьовують при переході мережі живлення (джерела завад) через нуль. При цьому на першій вхід першого тригера надходить сигнал "запуск" процесу вимірювання енергії споживання МК, а його вихід підключено до входів дозволу спрацювання трьох формувачів, до робочих входів яких підключено змінну напругу мережі живлення. Перший з формувачів формує сигнал "скидання" всіх лічильників і тригерів пристрою завадостійкого вимірювання енергії споживання МК. Вихід другого формувача підключено до входу запуску 30 чергового циклу вимірювання енергії споживання МК блока керування, згідно з переходом мережі через нуль. Вихід третього формувача, що формує допустимі межі часу закінчення чергового циклу вимірювання енергії споживання МК, підключено до входу схеми I підсистеми закінчення циклу вимірювання. Вихід схеми I підсистеми закінчення циклу вимірювання підключено до входу блока керування, а інші входи - до виходів блока керування, МК, та двох 35 дешифраторів, входи яких підключено до виходів лічильника циклів виконання програми МК. При цьому вихід другого дешифратора підключено також до других входів двох тригерів підсистеми запуску циклу вимірювання.

40 Принцип дії запропонованого пристрою завадостійкого вимірювання енергії споживання МК повністю відповідає найближчому аналогу [8]. Забезпечення умов, при яких використані інтегруючі засоби вимірювання напруги (аналого-цифровий перетворювач двотактного інтегрування або сигма-дельта, що входить у склад вимірювальної системи), може у повній мірі проявити свої завадостійкі властивості, вимагає виконання умови

$$\int_{t=0}^{\infty} \sin(u) \cdot dt = 0 \quad . \quad (3)$$

45 Для виконання загальної умови (3) слід виконати ряд окремих умов:

1. час вимірювання повинен бути не менший за мінімально допустимий T_{MIN} та не більший за максимально допустимий T_{MAX} ;

50 2. час вимірювання повинен знаходитися у межах заданого допуску від $-\Delta T_{SIN}$, до $+\Delta T_{SIN}$ відносно переходу напруги мережі живлення через нуль (при умові початку вимірювання у момент аналогічного переходу мережі живлення через нуль);

3. за час вимірювання досліджуваних інструкції, команди, фрагменту програми або програми у цілому МК повинен виконувати відому цілу кількість разів;

4. за час вимірювання відхилення напруги на конденсаторі (магазині ємності) у колі живлення МК повинно не перевищувати допустимого;

55 5. за час вимірювання інтеграл відхилення напруги на конденсаторі у колі живлення МК повинен не перевищувати допустимого.

У випадку багатократного невиконання всіх цих умов одночасно проводять зміну згаданих допустимих відхилень.

Структурна схема пропонованого пристрою показана на креслені. У неї входять елементи, що відповідають найближчому аналогу - стабілізатор струму ССт, завадостійкий амперметр А постійного струму, магазин ємності Маг.С, досліджуваний МК, вимірювальна система ВС, система прийняття рішень СПР, блок керування БК, стабілізатор напруги СН, цифро-аналогові перетворювачі ЦАП1 і ЦАП2, компаратори КП1 і КП2, лічильник Ліч та два перемножувачі Пер1 і Пер2. Для підвищення завадостійкості у схему креслення введено дві підсистеми - запуску циклу вимірювання та закінчення циклу вимірювання. Перша з них складається із двох тригерів Тг1 і Тг2, а також трьох формувачів імпульсів Ф1, Ф2, і Ф3. Друга з них складається із двох дешифраторів Дш1 і Дш2 та схеми І Сх І.

Роботу пропонованого пристрою завадостійкого вимірювання енергії споживання МК пояснює креслення. Аналогічно, як у найближчому аналогу, процес вимірювання енергоспоживання досліджуваного МК складається із ряду циклів, при яких проходить налаштування параметрів живлення МК - струму стабілізатора струму ССт, ємності магазину Маг.С, а також допустимих відхилень напруги на досліджуваному МК, які фіксують компаратори КП1 і КП2. Межі спрацювання цих компараторів задають цифро-аналогові перетворювачі ЦАП1 і ЦАП2. У кожному циклі вимірювання МК виконує записану у його пам'ять програму багато разів, цю кількість підраховує лічильник Ліч. При цьому КП1 і КП2 фіксують наявність виходу напруги на МК за задані межі, а вимірювальна система ВС визначає інтеграл відхилення напруги на МК (у складі ВС це робить інтегруючий аналого-цифровий перетворювач) від заданої напруги стабілізатора напруги СН. Після закінчення циклу вимірювання за їх результатами система прийняття рішень СПР визначає необхідність змін налаштування ССт, Маг.С, КП1, КП2. Якщо зміни налаштувань не потрібно, то процес вимірювання енергоспоживання МК закінчується. Значення спожитої енергії Емп визначається перемножувачами Пер1 і Пер2, відповідно до обґрунтованої у [8] формули

$$\int_{t=0}^T u_i \cdot I_i \cdot dt = U_{REF} \cdot I_{REF} \cdot T_{VYM} \quad , (4)$$

де U_{REF} , I_{REF} - напруга стабілізатора напруги СН та струм стабілізатора струму ССт, який після закінчення циклу вимірювання вимірює завадостійкий амперметр А постійного струму; T_{VYM} - тривалість циклу вимірювання енергоспоживання досліджуваного МК, який фіксує Ліч.

Поставлені вимоги підвищення завадостійкості вимірювання середньої енергії МК забезпечують підсистеми запуску циклу вимірювання та закінчення циклу вимірювання. Перша з них дає змогу почати кожен цикл вимірювання у момент переходу напруги мережі живлення (основного джерела завад) через нуль. При цьому сигнал "запуск" процесу вимірювання перекидає тригер Тг1, який дозволяє роботу трьох формувачів Ф1, Ф2, Ф3. Формувачі Ф1 і Ф2 спрацьовують у момент переходу мережі живлення через нуль. При цьому Ф1 формує короткий імпульс, що скидає всі тригери пристрою у початковий стан (стан початку циклу вимірювання), а Ф2 - безпосередньо запускає цикл вимірювання (при відповідному проектуванні блока керування БК формувачі Ф1 і Ф2 можуть бути суміщені). Формувач Ф3 формує імпульс, що задає допустимі межі закінчення циклу вимірювання від $-\Delta U_{SIN}$ до $+\Delta U_{SIN}$ відносно переходу напруги мережі живлення через нуль у наступному переході напруги мережі живлення через нуль (виконує п. 2 перелічених вище умов).

Сигнал закінчення циклу вимірювання формує Сх І, яка контролює одночасне виконання всіх п'яти перелічених вище умов. На її входи надходять:

1. виходи дешифраторів Дш1 і Дш2, які підключені до виходів лічильника Ліч, на який у свою чергу надходять імпульси закінчення кожного циклу виконання програми роботи МК, у якій передбачено багатократне виконання досліджуваної інструкції, команди, фрагменту програми або програми у цілому. Таким чином виконується п. 1 перелічених вище умов, що забезпечують високу завадостійкість пристрою;

2. вихід формувача Ф3, який забезпечує виконання п. 2 перелічених вище умов;

3. вихід МК, який формує імпульси закінчення кожного циклу виконання програми роботи МК, у якій передбачено багатократне виконання досліджуваної інструкції, команди, фрагменту програми або програми у цілому. Таким чином виконується п. 3 перелічених вище умов;

4. вихід блока керування БК, який забезпечує виконання пп. 4, 5 перелічених вище умов. Умова п. 4 забезпечується за допомогою компараторів Кп1 і Кп2. БК фіксує спрацювання компараторів протягом циклу вимірювання і у момент закінчення циклу вимірювання. Якщо напруга на МК не перевищує верхнього та нижнього допуску на зміну напруги на МК, то компаратори не спрацьовують і БК подає на Сх І відповідний дозвіл. А при перевищенні допусків БК такий дозвіл не формує. Цикл вимірювання тоді примусово закінчується при

перевищенні максимально допустимого часу вимірювання T_{MAX} (сигнал з виходу дешифратора Дш2 перекидає тригер Тг2). Виконання умови 5 фіксує блок керування за результатами вимірювання інтегралу відхилення напруги на конденсаторі у колі живлення МК. Якщо інтеграл не перевищує допустимого значення, то БК дає дозвіл на спрацювання Сх І. При перевищенні допуску БК такий дозвіл не формує.

Таким чином, інтегруючий аналого-цифровий перетворювач, що входить у склад вимірювальної системи ВС, може реалізувати максимальну для даних умов завадостійкість, що забезпечує високу точність вимірювання енергії, яку споживає МК.

Після закінчення успішного циклу вимірювання (всі п'ять умов одночасно виконані) блок керування БК подає на вхід першого перемножувача Пер1 значення середньої напруги спрацювання обох компараторів. Аналогічно, як у найближчому аналогу [8], значення спожитої МК енергії рівне добуткові цієї середньої напруги на струм споживання (вимірюється завадостійким амперметром постійного струму А) та на тривалість виконання програми роботи МК (перемножувач Пер2). За результатами вимірювання цієї енергії можна обчислити енергію, спожиту МК при однократному виконанні досліджуваної інструкції, команди, фрагменту програми або програми у цілому.

Таким чином пристрій, запропонований у [8], при застосуванні удосконалень, що пропонувані корисною, має вищу стійкість до завад, які створює мережа живлення. Проведені імітаційні дослідження [9] показали, що, при відхиленні часу вимірювання від періоду мережі не більше, ніж на 0,9 мілісекунди, при тривалості виконання програми 1 мілісекунда, похибка вимірювання середньої енергії споживання МК, викликана завадою амплітудою 60 мВ, не буде перевищувати 0,012 %. Така похибка від дії завад цілком прийнятна навіть для дуже точних вимірювань енергоспоживання МК.

Запропонований пристрій може знайти застосування для оцінки енергії спрацювання інтегральних мікросхем, зокрема мікроконтролерів та мікропроцесорів. Перевагою вимірювання середнього енергоспоживання є відсутність накопичення похибки, характерної для вимірювання миттєвого енергоспоживання. Пристрій можна використати для оцінки енергії виконання як окремих команд, так і фрагментів програм, а навіть програм в цілому, що дозволить оптимізувати програмне забезпечення МК щодо споживання енергії, продовживши тим самим час автономної роботи пристроїв (при живленні від батарей або акумуляторів без відновлення їх заряду). Такий шлях зменшення енергоспоживання найбільш універсальний, він може бути використаний як для створення нових систем, так і для модернізації існуючих.

Джерела інформації:

1. Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин / Під ред. Є.С.Поліщука. - К.: Вища школа, 1978. - 352 с.

2. Tiwari, V., Malik, S., Wolfe, A., & Lee, M.T.C. (1996). Instruction level power analysis and optimization of software. In Technologies for wireless computing (pp. 139-154). Springer, Boston, MA.

3. AN39 Current Measurement Applications Handbook. ZETEX Semiconductors.

4. Nikolaidis, S., Kavvadias, N., & Laopoulos, T. (2002). Instruction-level power measurement methodology. Electronics Lab, Physics Dept, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.

5. Analysis of Circuits for Measurement of Energy of Processing Units [Text] / A. Borovyi, V. Konstantakos, V. Kochan [et al.] // Proceedings of the fourth IEEE international workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems -: IEEE, 2007. - September, 9-11. - P. 42-47. Borovyi, A., Kochan, V., Sachenko, A., Konstantakos, V., & Yaskilka, V. (2007, September). Analysis of circuits for measurement of energy of processing units. In 2007 4th IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2007), Dortmund, Germany, pp. 42-46.

6. Патент 90922 України. Пристрій вимірювання енергії імпульсних споживачів / Боровий А.М., Майків І.М., Кочан Р.В., Домбровський З.І., Кочан В.В.

7. Кухлинг Х. Справочник по физике. - М.: Мир, 1982.

8. Патент 114219 України. Спосіб вимірювання середньої енергії імпульсного споживача та пристрій для його реалізації / Осолінський О.Р., Кочан В.В., Домбровський З.І., Кочан О.В.

9. Osolinsky, O. (2016). Research of interference immunity of the system for measuring the average energy consumption of microcontrollers. In 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, pp. 284-288.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій завадостійкого вимірювання енергії споживання мікроконтролера, що складається із послідовно ввімкнених керованого стабілізатора струму, завадостійкого амперметра постійного струму і мікроконтролера, паралельно останньому підключені перші входи двох компараторів, керований магазин ємності та вхід вимірювальної системи, вихід якої підключено до послідовно ввімкнених системи прийняття рішень та блока керування, шина даних якого підключена до входів-виходів керування та обміну даними керованого стабілізатора струму, завадостійкого амперметра постійного струму, магазину ємності, вимірювальної системи, системи прийняття рішень, двох цифро-аналогових перетворювачів, виходів двох компараторів та входу двох послідовно з'єднаних перемножувачів, другі входи яких підключені до виходу завадостійкого амперметра постійного струму та підключеного до виходу мікроконтролера лічильника циклів виконання програми мікроконтролером, причому вихід стабілізатора напруги підключено до входів опорної напруги вимірювальної системи і двох цифро-аналогових перетворювачів, виходи яких підключено до других входів двох компараторів, який **відрізняється** тим, що у схему введені дві підсистеми - запуску циклу вимірювання та закінчення циклу вимірювання, перша з яких складається із двох тригерів, на перший вхід першого тригера надходить сигнал "запуск" процесу вимірювання енергії споживання мікроконтролера, а його вихід підключено до входів дозволу спрацювання трьох формувачів, до робочих входів яких підключено змінну напругу мережі живлення, причому перший з формувачів формує сигнал "скидання" всіх лічильників і тригерів пристрою завадостійкого вимірювання енергії споживання мікроконтролера, вихід другого формувача підключено до входу запуску чергового циклу вимірювання енергії споживання мікроконтролера блока керування, згідно з переходом мережі через нуль, а вихід третього формувача, що формує допустимі межі часу закінчення чергового циклу вимірювання енергії споживання мікроконтролера, підключено до входу схеми I підсистеми закінчення циклу вимірювання, вихід якої підключено до входу блока керування, а інші входи - до виходів блока керування, мікроконтролера та двох дешифраторів, входи яких підключено до виходів лічильника циклів виконання програми мікроконтролером, причому вихід другого дешифратора підключено до других входів тригерів підсистеми запуску циклу вимірювання.

