



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114219** (13) **C2**
(51) МПК (2017.01)
G01R 21/00
G01R 19/02 (2006.01)
G01R 5/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2015 06563</p> <p>(22) Дата подання заявки: 03.07.2015</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.05.2017</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 25.11.2015, Бюл.№ 22</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.05.2017, Бюл.№ 9</p>	<p>(72) Винахідник(и): Осолінський Олександр Романович (UA), Кочан Володимир Володимирович (UA), Домбровський Збишек Іванович (UA), Кочан Орест Володимирович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Осолінський Олександр Романович, с. Стриївка, Збаразький р-н, Тернопільська обл., 47371 (UA), Кочан Володимир Володимирович, вул. Львівська, 7, кв. 3, м. Тернопіль, 46020 (UA), Домбровський Збишек Іванович, вул. Лучаківського, 3, кв. 34, м. Тернопіль, 46023 (UA), Кочан Орест Володимирович, вул. Бандери, 12, м. Львів, 79012 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 90922 C2, 10.06.2010 О.Р. Осолінський, В.В. Кочан, П.Є. Биковий, М.І. Чирка «Система вимірювання енергоспоживання мікроконтролерів» // Вимірювальна та Обчислювальна Техніка в Технологічних процесах – Хмельницький, 2014, №4 (49) – с. 109-113 RU 123970 U1, 10.01.2013 Voroyi A., et al. "Device for measuring instant current values of CPU's energy consumption." Proceedings of the IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'09). 2009, p. 126-130 US 2007164723 A1, 19.07.2007 US 2007108992 A1, 17.05.2007 US 2011238360 A1, 29.09.2011 US 4682102 A, 21.07.1987 US 5736848 A, 07.04.1998</p>
---	---

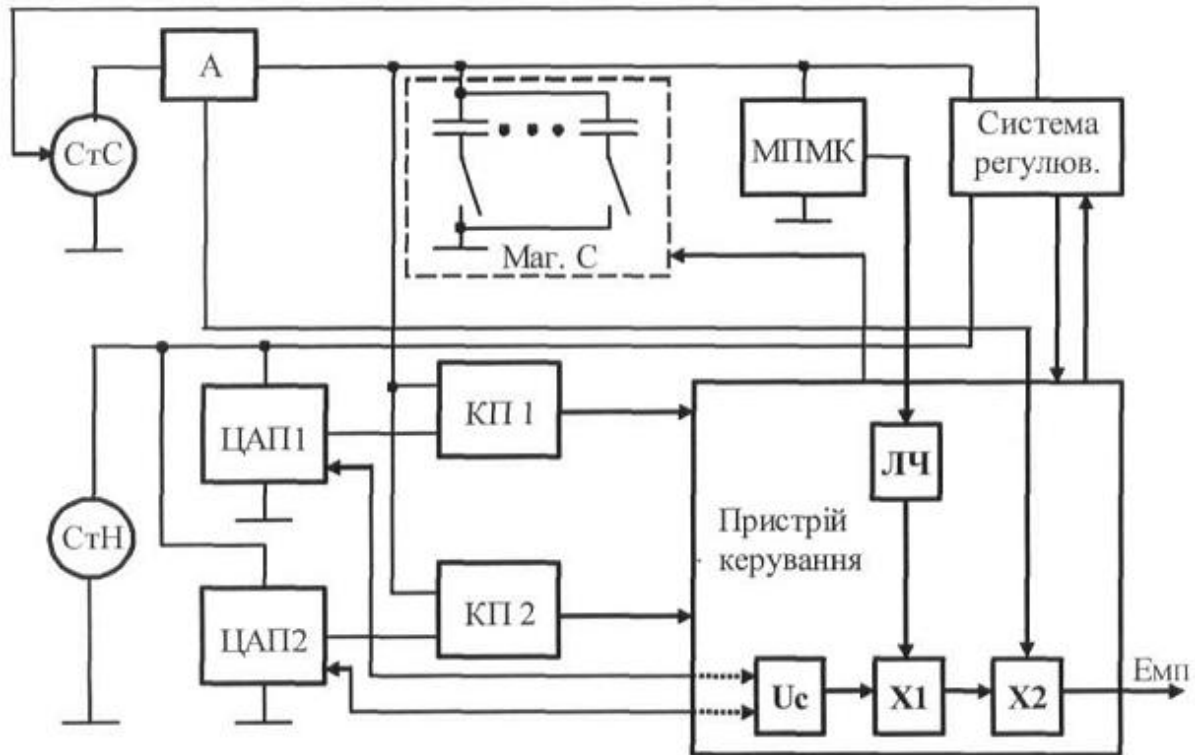
UA 114219 C2

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ СЕРЕДНЬОЇ ЕНЕРГІЇ ІМПУЛЬСНОГО СПОЖИВАЧА ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

(57) Реферат:

Спосіб вимірювання енергії, зокрема виконання команд і програм мікроконтролерів/мікропроцесорів (МГМК), що живлять від стабілізатора струму. Керований магазин ємності, ввімкнений паралельно МГМК, є перетворювачем струм-напруга. Перед

вимірюванням налаштовують струм стабілізатора так, щоби інтеграл зміни напруги на МПМК за час вимірювання прямував до нуля. Одночасно змінюють ємність магазину ємності так, щоби зміни напруги на МПМК не перевищували допустимі. Струм стабілізатора вимірюють амперметром постійного струму. Енергію обчислюють як добуток напруги на МПМК на струм стабілізатора та на час вимірювання. Пристрій складається із досліджуваного МПМК, стабілізатора струму його живлення, системи регулювання цього струму і амперметра його вимірювання, а також керованого магазину ємності, опорного стабілізатора напруги, двох цифро-аналогових перетворювачів і двох компараторів напруги, що фіксують перевищення допустимих напруг на МПМК. У пристрій керування входять блок вимірювання часу, блок визначення середнього значення вхідних кодів цифро-аналогових перетворювачів та два перемножувачі, які обчислюють виміряну середню енергію.



Фіг. 1

Запропонований спосіб 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.

5 Як відомо [1], імпульсна енергія визначається згідно з математичними формулами

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

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

10 Задача вимірювання потужності та енергії імпульсних споживачів значно ускладнюється, наприклад, при вимірюванні енергії спрацювання інтегральних мікросхем, особливо виконаних на базі комплементарної метал-оксид-напівпровідник технології (КМОН), яка останнім часом стала домінувати. Зокрема, за цією технологією виготовляються всі сучасні мікропроцесори та мікроконтролери (МПМК). Основною особливістю схем КМОН в порівнянні з іншими
15 технологіями є дуже мале енергоспоживання в статичному режимі. В більшості випадків можна вважати, що енергія споживається тільки під час перемикання станів логічних елементів МПМК [2]. Це зумовлює імпульсний характер споживання мікросхем на базі КМОН технології - перепади енергоспоживання у статичному режимі та при перемиканні досягають 1 до 200. Частота перемикань КМОН МПМК, тобто частота повторення імпульсів споживання енергії,
20 відповідає подвійній частоті тактового генератора (для сучасних МПМК - десятки МГц), через те, що перемикання різних логічних елементів МПМК виконуються як згідно з переднім, так і згідно з заднім фронтами імпульсів тактового генератора. При цьому гармоніки імпульсів споживання енергії сягають сотень МГц.

Тому МПМК вимагають малого динамічного внутрішнього опору джерела живлення, причому
25 як активного, так і реактивного, інакше МПМК під час роботи збиваються. Зменшення динамічного внутрішнього опору джерела живлення досягається шляхом ввімкнення в коло живлення МПМК високочастотного конденсатора, причому довжина провідників від МПМК до конденсатора повинна бути мінімальною. Такий режим роботи МПМК можна назвати штатним, його порушення веде до того, що, через збої та порушення функціонування МПМК, результати
30 вимірювання їх енергоспоживання спотворюються. В такому випадку вимірювання енергоспоживання МПМК втрачає зміст.

Через вказані особливості МПМК відомий спосіб вимірювання енергії, яку споживає деякий пристрій, шляхом вимірювання струму споживача та напруги на ньому [1] за допомогою
35 амперметра і вольтметра, а також часу споживання годинником (секундоміром, наприклад електронним), не можна використати. Такий спосіб часто використовують для вимірювання середньої потужності на постійному струмі та низьких частотах. Недоліком такого способу є те, що він не пристосований до забезпечення нормального (штатного) режиму роботи мікроелектронних пристроїв. При реалізації цього способу амперметр можна ввімкнути тільки між МПМК та конденсатором в колі живлення МПМК або між цим конденсатором та блоком
40 живлення МПМК. Перший варіант веде до різкого зростання динамічного внутрішнього опору кола живлення МПМК, що, як вказувалося вище, недопустимо. Другому варіанту властиві значні похибки вимірювання енергоспоживання через неконтрольований обмін енергією між МПМК та конденсатором - енергія, спожита МПМК може суттєво відрізнятись від вимірюваної через зміну напруги на конденсаторі за час вимірювання. Якщо ця напруга зменшилася, то МПМК спожив енергії більше, ніж виміряна, частину енергії йому віддав конденсатор. Якщо ця напруга збільшилася, то МПМК спожив енергії менше, ніж виміряна, конденсатор сприйняв частину енергії.

Для усунення цього недоліку в [3] запропоновано жити МПМК від стабілізатора струму (а не напруги). Цей пристрій вимірює миттєву потужність та енергію виконання команд або
50 інструкцій МПМК. Живлення МПМК від джерела струму дає змогу обчислювати струми у схемі за першим законом Кірхгофа. В цьому пристрої мікропроцесор працює у нормальному (штатному) режимі - він заземлений, паралельно до його живлення підключено конденсатор. Струм, що споживає МПМК від конденсатора, можна обчислити за формулою [4]

$$I_C = \frac{U_C \cdot C}{T}, \quad (2)$$

55

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.

При цьому, якщо напруга на конденсаторі спадає, то струму від стабілізатора струму для живлення МПМК не вистачає - МПМК забирає з конденсатора енергію, якої не вистачає. Якщо напруга на конденсаторі росте, то струм стабілізатора струму для МПМК є надлишковим - МПМК 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 МПМК (зазвичай 0,5...1 %).

Слід відзначити, що оцінка струму споживання МПМК за формулою (2) є приблизною, бо розряд конденсатора в умовах постійного опору навантаження відбувається по експоненті, а не по прямій. Однак, при дослідженні малих змін напруги (порівняно із напругою живлення), похибка апроксимації експоненти прямою є малою.

Напруга на конденсаторі обмежена еквівалентом стабілітрона, виконаним на операційному підсилювачі та напівпровідниковому діоді. Напругу спрацювання еквівалента стабілітрона задає опорне джерело напруги (прецизійний стабілізатор напруги), вихідна напруга якого рівна номінальній напрузі роботи досліджуваного МПМК. Напруга живлення досліджуваного мікропроцесора не може перевищити задану опорним джерелом напруги - спрацьовує еквівалент стабілітрона і приймає на себе надлишковий струм, що надходить від стабілізатора струму. 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 мікропроцесора, 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 напруги. Це дає змогу працювати цифровому осцилографу у диференційному режимі - напруги, що поступають на його обидва входи близькі до вихідної напруги опорного джерела напруги.

Основним недоліком пристрою [3] 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 розбіжність тактової частоти досліджуваного мікропроцесора та частоти завади, мало придатні. Мінімальні тактові частоти досліджуваних сучасних мікропроцесорів 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 мікропроцесора необхідно вловлювати щонайменше десятку гармоніку струму споживання, тобто період дискретизації осцилографа повинен складати 5-10 наносекунд. В такому разі необхідна для фільтрації вибірка буде складати від 100 до 500 МБ. Цифрові осцилографи, що мають такі об'єми буферної пам'яті, на сьогодні не випускаються. Крім того, цифрова фільтрація вибірки такого об'єму за прийнятний час вимагає використання суперкомп'ютерів.

Прототипом пропонованого способу є спосіб вимірювання середньої енергії імпульсного споживача [5], в якому МПМК живлять також від стабілізатора струму, причому конденсатор, ввімкнений паралельно імпульсному споживачу, використовується як перетворювач струм-напруга. Напруга на імпульсному споживачі теж обмежується за допомогою високочастотного еквівалента стабілітрона. При реалізації способу [5] спочатку налаштовують струм стабілізатора струму таким чином, щоби інтеграл відхилення напруги на імпульсному споживачі від початкового значення за час вимірювання (час виконання набору зданої кількості однотипних команд або досліджуваної програми) прямував до нуля (був меншим за допустиме значення). Потім, в наступному циклі вимірювання, вимірюють інтеграл за час вимірювання квадрата спаду напруги на резисторі, ввімкненому послідовно до еквівалента стабілітрона. Далі вимірюють значення струму стабілізатора струму та вихідної напруги опорного стабілізатора напруги за допомогою прецизійних амперметра та вольтметра постійного струму. Для обчислення середньої енергії імпульсного споживача від добутку значення напруги опорного стабілізатора напруги (визначеного прецизійним вольтметром постійного струму) на значення струму стабілізатора струму (визначеного прецизійним амперметром постійного струму) та на значення часу вимірювання (визначеного прецизійним електронним таймером) віднімають значення вимірюваного інтегралу квадрата спаду напруги на резисторі, ввімкненому послідовно до еквівалента стабілітрона.

Основним недоліком прототипу є ускладнення схеми за рахунок необхідності використання двох вимірювальних систем досить високої точності та чутливості - однієї в складі системи регулювання, другої - для вимірювання спаду напруги на резисторі, ввімкненому послідовно із

високочастотним еквівалентом стабілітрона. Крім ускладнення схеми, друга вимірювальна система збільшує похибку вимірювання. Також прототип вимагає попереднього підбору конденсатора в колі живлення МПМК, тому не може бути основою для створення автоматичної системи дослідження енергоспоживання МПМК.

5 Задачею винаходу є спрощення схеми та створення умов автоматизації експериментальних досліджень енергоспоживання МПМК при дослідженні енергії виконання інструкцій, команд, фрагментів програм або програм в цілому, а також оптимізації програмного забезпечення за критерієм мінімуму енергоспоживання.

10 Суть пропонованого способу вимірювання середньої енергії імпульсного споживача полягає у живленні його від стабілізатора струму з використанням конденсатора, ввімкненого паралельно імпульсному споживачу, який служить перетворювачем струм-напруга при вимірюванні середньої енергії. Струм стабілізатора струму під час попередніх циклів вимірювання середнього енергоспоживання налаштовується таким чином, щоби інтеграл відхилення напруги на імпульсному споживачі від початкового значення за час вимірювання
15 прямував до нуля (був меншим за допустиме значення). При цьому в момент ввімкнення ємність конденсатора встановлюють максимальною (настільки великою, що перевищення напруги в колі живлення імпульсного споживача допустимого значення стає неможливим). Під час налаштування струму стабілізатора струму одночасно змінюють ємність конденсатора, ввімкненого паралельно імпульсному споживачу, таким чином, щоби зміни спаду напруги на
20 імпульсному споживачі не перевищували допустимі. Після налаштування вимірюють значення струму стабілізатора струму прецизійним амперметром постійного струму та обчислюють результат вимірювання як добуток середньої напруги на імпульсному споживачі на значення струму стабілізатора струму та на значення часу вимірювання.

25 Пропонований спосіб реалізується пристроєм, що складається із стабілізатора струму, системи регулювання його струму, прецизійного амперметра постійного струму, двох цифро-аналогових перетворювачів, двох компараторів напруги, керованого магазину ємності та пристрою керування, в склад якого входять два послідовно ввімкнуті перемножувачі, блок визначення середнього значення вхідних кодів цифро-аналогових перетворювачів та лічильник часу виконання досліджуваного програмного забезпечення. Стабілізатор струму, через
30 послідовно із ним ввімкнений прецизійний амперметр постійного струму, підключений до виводу живлення досліджуваного МПМК, куди підключено також керований магазин ємності та вхід системи регулювання струму, а також входи двох компараторів. В схему введено також два цифро-аналогових перетворювачі. Входи їх опорної напруги та вхід опорної напруги системи регулювання підключені до виходу опорного стабілізатора напруги, а їх кодові входи (задання напруги) підключено до виходів пристрою керування. Результат вимірювання пристрій керування обчислює як добуток середнього значення кодів цифро-аналогових перетворювачів (формується блоком визначення середнього значення вхідних кодів цифро-аналогових перетворювачів) на час виконання досліджуваного програмного забезпечення (формується лічильником часу виконання) та на значення струму стабілізатора струму (отриманого на виході
40 прецизійного амперметра постійного струму).

45 Роботу пропонованого способу та пристрою для його реалізації розглянемо за допомогою структурної схеми, поданої на Фіг. 1. Живлення імпульсного споживача від джерела струму дає змогу записати, згідно з першим законом Кірхгофа, суму струмів у вузлі, куди приєднані стабілізатор струму (через прецизійний амперметр постійного струму), споживач, магазин конденсаторів і входи системи регулювання та двох компараторів. Однак при вимірюванні середнього енергоспоживання доцільніше записати баланс генерованої та спожитої енергії

$$E_{REFI} = E_{MP} + E_C + E_{IN} + E_{CS} + E_{MS}, \quad (3)$$

де E_{REFI} - енергія стабілізатора струму (генерована, надходить у вузол); E_{MP} - енергія
50 імпульсного споживача, МПМК (спожита, виходить з вузла); E_C - енергія магазину конденсаторів (спожита, виходить з вузла, коли напруга на конденсаторі росте і повернута, надходить у вузол, коли напруга на конденсаторі падає); E_{CS} , E_{KP1} , E_{KP2} - енергії, спожиті входами системи регулювання та двох компараторів (ці енергії дуже малі порівняно з іншими, тому в подальшому ними нехтуємо).

55 Енергію, накопичену магазином конденсаторів, можна визначити як [4]

$$E_C = (C \cdot U_C^2) / 2, \quad (4)$$

а її зміну - як

$$\Delta E_C = (C \cdot U_C^2) / 2, \quad (5)$$

5 де E_C , ΔE_C - енергія, накопичена конденсатором, та її зміна; U_C , ΔU_C - напруга на конденсаторі та її зміна; C - ємність конденсатора.

Якщо виконати першу операцію прототипу і запропонованого способу (налаштовують струм стабілізатора струму таким чином, щоби інтеграл відхилення напруги на імпульсному споживачі від початкового значення за час вимірювання прямував до нуля), тобто $\Delta U_C \rightarrow 0$, то і зміна енергії, накопиченої конденсатором, буде прямувати до нуля, тобто $\Delta E_C \rightarrow 0$. Таким чином, конденсатор, створюючи штатні умови роботи імпульсного споживача, не змінює баланс енергії генерування-споживання, тобто його енергію можна виключити з (3) і переписати (3) як

$$E_{MP} = E_{REFI}, \quad (6)$$

15 В свою чергу енергія джерела струму E_{REFI} не залежить від енергії споживання імпульсного споживача. Вона може бути визначена як

$$E_{REFI} = U_{REF} \cdot I_{REFI} \cdot T_{VYM}, \quad (7)$$

В періоди малого споживання енергії імпульсним споживачем (МПМК виконує набір команд, кожна з яких вимагає відносно мало енергії) напруга на конденсаторі, ввімкненому паралельно 20 МПМК, може зростати вище допустимої для цього МПМК. Тоді у способі [5] еквівалент стабілітрона спрацьовує та „відводить” надлишковий струм з вузла живлення МПМК. Ця „відведена” згідно зі способом [5] надлишкова енергія може бути врахована, якщо контролювати струм через еквівалент стабілітрона, що у способі [5] здійснює захист МПМК від перевищення 25 напруги його живлення. Для цього послідовно з еквівалентом стабілітрона ввімкнено резистор (шунт), спад напруги на якому вимірюється вимірювальною системою. Ця система значно ускладнює пристрої, що реалізують спосіб [5], а також вносить похибку у результат вимірювання.

У запропонованому способі перед початком експерименту (перед ввімкненням) ємність 30 магазину ємності встановлюють настільки великою, що згадана надлишкова енергія під час роботи МПМК не може зарядити цю ємність до напруги, небезпечної для МПМК. Однак велика ємність в колі живлення МПМК ставить дуже жорсткі вимоги до чутливості системи регулювання струму стабілізатора струму. Для зменшення цих вимог під час налаштування струму стабілізатора струму одночасно змінюють (зменшують) ємність конденсатора, ввімкненого 35 паралельно імпульсному споживачу, таким чином, щоби зміни спаду напруги на імпульсному споживачі були достатньо істотними (з точки зору системи регулювання), але не перевищували допустимі (з точки зору МПМК). Зміни струму стабілізатора струму та зміни ємності конденсатора повинні бути взаємно узгодженими.

Після налаштування схеми значення струму стабілізатора струму вимірюють прецизійним 40 амперметром постійного струму. Результат вимірювання обчислюють згідно з (7) як добуток середньої напруги на імпульсному споживачі на значення струму стабілізатора струму та на значення часу вимірювання.

Структурна схема пристрою для реалізації запропонованого способу подана на Фіг. 1. В її склад входять стабілізатор струму СтС, система регулювання його струму, прецизійний 45 амперметр постійного струму А, керований магазин ємності Маг.С, досліджуваний МПМК, стабілізатор опорної напруги СтН, два цифро-аналогових перетворювачі ЦАП1 і ЦАП2, два компаратори напруги КП1 і КП2 та пристрій керування, в склад якого входять два послідовно ввімкнуті перемножувачі Х1 і Х2, блок визначення середнього значення вхідних кодів цифро-аналогових перетворювачів Ус та лічильник ЛЧ часу виконання досліджуваної інструкції, 50 команди або програми.

Пристрій працює наступним чином. Перед початком експерименту (перед ввімкненням) ємність магазину Маг.С встановлюють максимальною (щоби надлишковий струм СтС не міг зарядити Маг.С до напруги, небезпечної для МПМК) а струм СтС встановлюють мінімальним. Також межі спрацювання компараторів КП1 і КП2 встановлюють (шляхом задання відповідних 55 кодів на входах ЦАП1 і ЦАП2) встановлюють максимальними.

В пам'ять МПМК записують підпрограму його самоналаштування (встановлення потрібного режиму роботи своїх вузлів) та послідовність команд, середнє енергоспоживання яких досліджують (це може бути як багатократно повторена одна з команд, так і досліджувана програма або її фрагмент). Перед початком виконання досліджуваної команди (програми),

5 МПМК посилає регулюючій та вимірювальній системам код старту дослідження. Система регулювання починає інтегрувати відхилення напруги живлення МПМК від напруги СтН (остання рівна номінальній напрузі живлення МП). Після виконання записаних в пам'ять МПМК команд (програми) на пристрій керування надходить сигнал закінчення дослідження. Лічильник ЛЧ визначає час виконання програми і перемножувачі X1 і X2, згідно з (7), визначають енергію,

10 спожиту МПМК.

В процесі налаштування пристрій керування змінює струм СтС та ємність магазину Маг.С згідно з алгоритмом, поданого на Фіг. 2. Спочатку пристрій керування аналізує стан першого компаратора, що фіксує перевищення напругою на МПМК верхнього допустимого значення. Якщо КП1 спрацював, то пристрій керування опитує систему регулювання. Якщо інтеграл відхилення напруги на МПМК за час вимірювання зріс, то необхідно зменшити струм стабілізатора струму живлення МПМК (формований стабілізатором струму надто великий, що і викликало перевищення напругою на МПМК верхнього допустимого значення). Якщо інтеграл відхилення напруги на МПМК за час вимірювання не показав її зростання, то причиною спрацювання КП1 не є струм стабілізатора струму, а ємність магазину ємності Маг.С, її

15 необхідно збільшити, щоби зміни напруги живлення від коливання струму споживання МПМК стали менші.

Якщо КП1 не спрацював, проводиться аналогічний аналіз спрацювання КП2. Однак в цьому випадку рішення приймаються протилежні, адже КП2 фіксує вихід напругою на МПМК за нижнє допустиме значення.

25 Далі аналізується перевищення допустимого значення інтегралом відхилення напруги на МПМК за час вимірювання. Якщо допустиме значення перевищене та інтеграл зріс, то струм стабілізатора струму живлення МПМК необхідно зменшити, якщо інтеграл зменшився - то струм слід збільшити.

Якщо перелічені перевірки не ствердили вихід напруги на МПМК та інтегралу її зміни за допустимі межі, то алгоритм передбачає зменшення допустимого рівня відхилення напруги на МПМК, що фіксуються компараторами КП1 і КП2. Тоді описаний процес налаштування схеми повторюється до того часу, доки допустимий рівень відхилення напруги на МПМК не стане настільки малим, що не впливатиме на результат вимірювання енергії.

35 Запропонований метод вимірювання середньої енергії імпульсних споживачів, аналогічно до прототипу, має методичну похибку, пов'язану з припущенням: коли після виконання

налаштування $\int_0^T (U_i - U_{REF}) dt \rightarrow 0$, то можна вважати, що $\int_0^T u_i \cdot i_i \cdot dt = U_{REF} \cdot I_{REF} \cdot T_{VYM}$. Остання

рівність безумовно має місце, коли імпульсний споживач лінійний. Однак, напівпровідникові елементи, з яких складається мікропроцесор, є нелінійними елементами, в зв'язку з чим і виникає згадана методична похибка. Але її значення буде досить малим - допустимі межі зміни напруги на досліджуваному МПМК вибирають таким чином, щоби зміни напруги на ньому під час вимірювання не перевищували $\pm 1\%$, а значить методична похибка при виконанні однієї команди буде значно менша за $\pm 1\%$. При нелінійності енергоспоживання імпульсного споживача $\pm 8\%$, що приблизно відповідає нелінійності споживання мікропроцесорів, методична похибка буде не перевищувати $\pm 8\%$ від $\pm 1\%$, тобто $\pm 0,08\%$. Однак треба відзначити, що

40 приведені значення нелінійності споживання мікропроцесорів стосується відносно великих змін напруги на мікропроцесорі, що відповідають $\pm 10\%$, а при змінах цієї напруги $\pm 1\%$ нелінійність буде значно меншою - при параболічній залежності споживання мікропроцесорів від напруги методична похибка зменшиться до приблизно $\pm 0,018\%$.

Таким чином, запропонований спосіб вимірювання середньої енергії імпульсних споживачів має високу точність, є простішим з прототип і не вимагає унікального обладнання - використовуваний прецизійний амперметр повинен мати максимальну похибку $0,05...0,1\%$, а такі прилади широко випускаються багатьма фірмами. Перевагою пропонованого пристрою є те, що його структура та елементи великою мірою співпадають з пристроєм вимірювання миттєвої потужності споживання імпульсних споживачів [3]. Це дає змогу дуже точного

55 порівняння енергії виконання команд (програм), виміряних прототипом і пропонованим пристроєм.

Запропонований спосіб і пристрій вимірювання середньої енергії імпульсних споживачів може знайти застосування для оцінки енергії спрацювання інтегральних мікросхем, зокрема,

МПК. Його можна використати для оцінки енергії виконання як окремих команд МПК, так і фрагментів програм, а навіть програм в цілому, що дозволить оптимізувати програмне забезпечення МПК щодо споживання енергії, продовживши тим самим час автономної роботи пристроїв (при живленні від акумуляторів або батарей). Перевагою вимірювання середнього енергоспоживання є відсутність накопичення похибки, характерна для вимірювання миттєвого енергоспоживання. 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. <http://en.wikipedia.org/wiki/CMOS>.

3. Патент № 90922 України, МПК7 G05F 5/00, G01K 17/00. Пристрій вимірювання енергії імпульсних споживачів [Текст]/ Боровий А.М., Майків І.М., Кочан Р.В., Домбровський З.І., Кочан В.В.; заявник і патентовласник Боровий А.М., Майків І.М., Кочан Р.В., Домбровський З.І., Кочан В.В. - № а2008 06325; заявл. 13.05.08; опубл. 10.06.10, Бюл. № 11. - 4 с: іл.

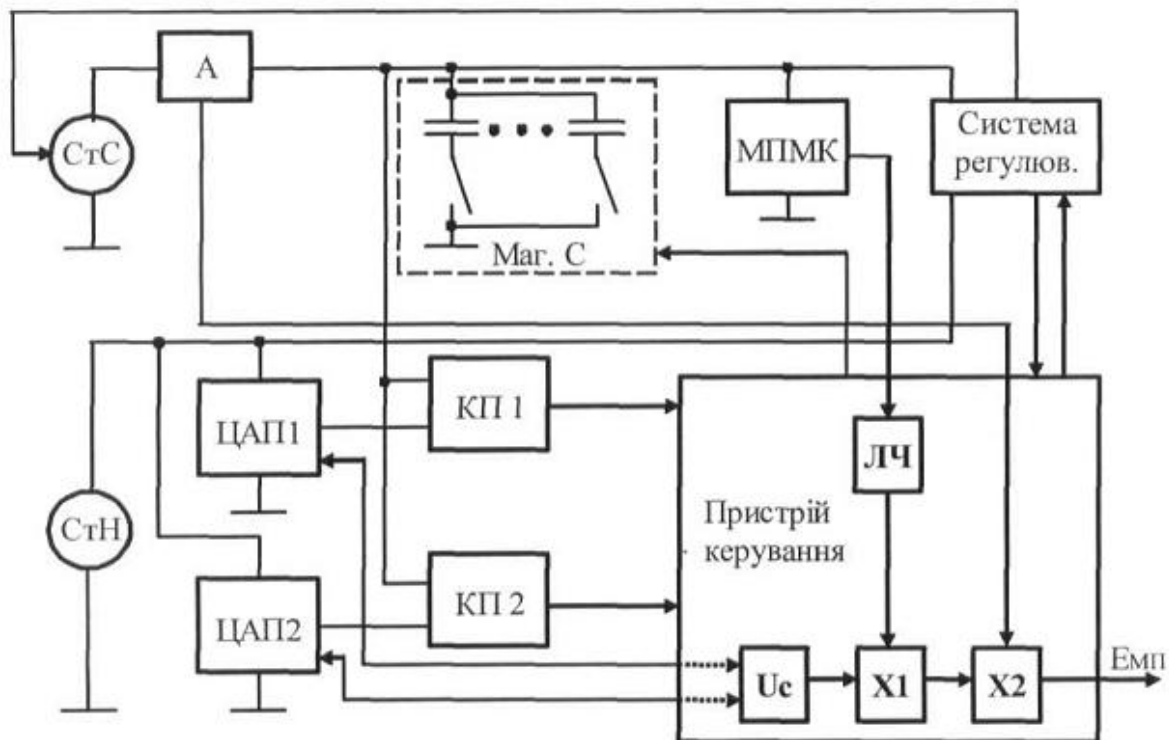
4. Кухлинг Х. Справочник по физике./ Х. Кухлинг; Пер. с нем. - Москва: Мир, 1982. - 520 с.

5. О.Р. Осолінський, В.В. Кочан, П.Є. Биковий, М.І. Чирка "Система вимірювання енергоспоживання мікроконтролерів"// міжнародний науково-технічний журнал Вимірювальна та Обчислювальна Техніка в Технологічних Процесах - Хмельницький, 2014, № 4 (49) - С. 109-113.

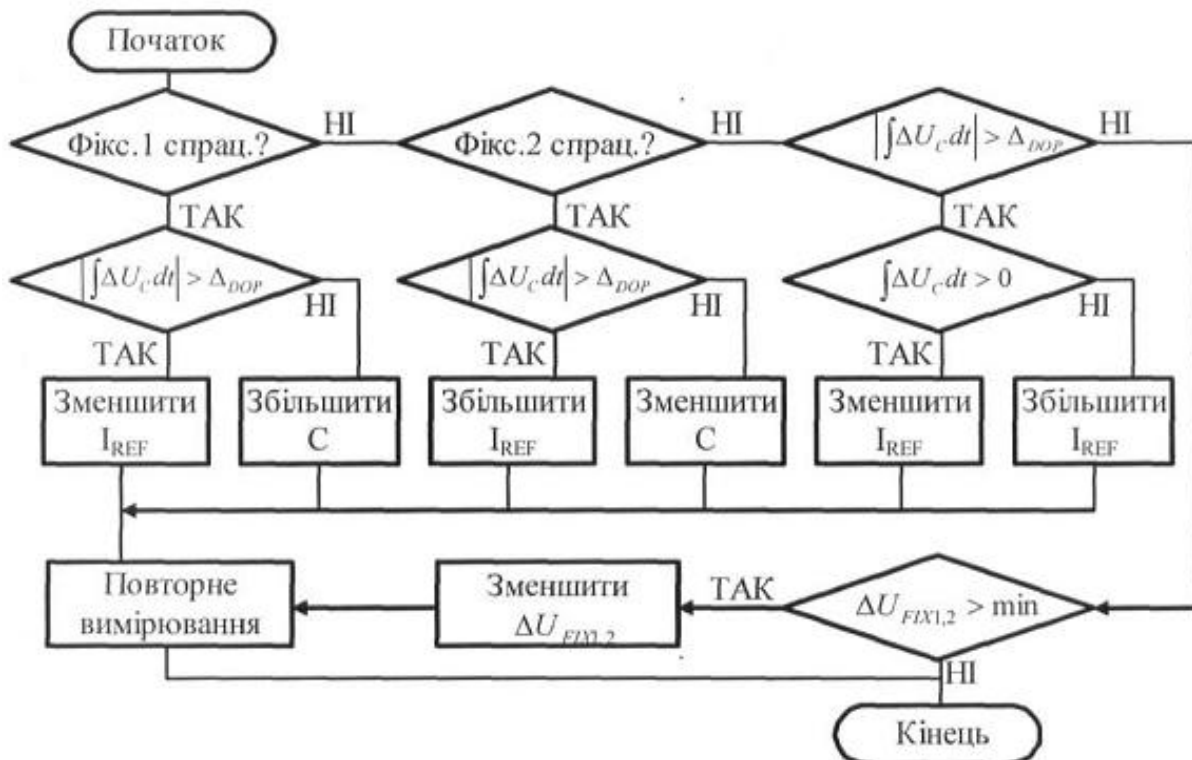
ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб вимірювання середньої енергії імпульсного споживача, що полягає у живленні його від стабілізатора струму, використанні конденсатора, ввімкненого паралельно імпульсному споживачу, як перетворювача струм-напруга, налаштуванні струму стабілізатора струму таким чином, щоби інтеграл відхилення напруги на імпульсному споживачі від початкового значення за час вимірювання прямував до нуля, тобто був меншим за допустиме значення, вимірюванні значення струму стабілізатора струму за допомогою прецизійного амперметра постійного струму та обчисленні добутку значення напруги на значення струму стабілізатора струму та на значення часу вимірювання, який **відрізняється** тим, що в момент ввімкнення ємність конденсатора встановлюють максимальною, тобто 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.

2. Пристрій вимірювання середньої енергії імпульсного споживача за п. 1, що складається із послідовно ввімкнених стабілізатора струму, прецизійного амперметра постійного струму та імпульсного споживача, паралельно якому підключено конденсатор та вхід системи регулювання, виходи якої підключено до входу регулювання струму стабілізатора струму та входу блока керування, опорного стабілізатора напруги, вихід якого підключено до входу системи регулювання, та послідовно з'єднаних першого і другого перемножувачів, що входять у пристрій керування, причому до других входів перемножувачів підключено вихід прецизійного амперметра постійного струму та, через блок вимірювання часу, вихід синхронізації імпульсного споживача, який **відрізняється** тим, що конденсатор, підключений паралельно до імпульсного споживача, виконано у вигляді керованого магазину ємності, а в схему введено підключені до опорного стабілізатора напруги два цифро-аналогові перетворювачі, виходи яких підключено до перших входів двох компараторів напруги, другі входи яких підключено до входу живлення імпульсного споживача, а виходи - до входу пристрою керування, виходи якого підключено до входів керування цифро-аналогових перетворювачів, магазину ємності та системи регулювання струму стабілізатора струму живлення імпульсного споживача, причому перший вхід першого перемножувача підключено до виходу блока визначення середнього значення вхідних кодів цифро-аналогових перетворювачів.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601