

УДК 537.5

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-КОНТРОЛИРУЕМОГО ВВОДА ЭНЕРГИИ В АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМАХ ЗАЖИГАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Е.Г. Вовк, аспирант, ХНАДУ

Аннотация. Проанализированы и рассмотрены электронные системы контроля и управления вводом энергии различными разрядами. На основании проведенного анализа разработан микропроцессорный блок для управления вводом энергии наносекундного импульсного разряда в альтернативных системах зажигания двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: микроконтроллер, наносекундный импульсный разряд, энергия, система управления, неравновесная плазма, зажигание.

ФОРМУВАННЯ ПРОГРАМНО-КОНТРОЛЬОВАНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ В АЛЬТЕРНАТИВНИХ СИСТЕМАХ ЗАПАЛЮВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШ- НЬОГО ЗГОРЯННЯ

Є.Г. Вовк, аспірант, ХНАДУ

Анотація. Проаналізовано та розглянуто електронні системи контролю та управління введенням енергії різними розрядами. На підставі проведеного аналізу розроблено мікропроцесорний блок для управління введенням енергії наносекундного імпульсного розряду в альтернативних системах запалювання двигунів внутрішнього згорання.

Ключові слова: мікроконтролер, наносекундний імпульсний розряд, енергія, система управління, нерівноважна плазма, запалювання.

FORMATION PROGRAM-CONTROLLED INTRODUCTION OF ALTERNATIVE ENERGY SYSTEMS IGNITION INTERNAL COMBUSTION ENGINES

E. Vovk, a graduate student of the Department of Applied Mathematics, KNAHU

Abstract. Electronic control systems of the energy deposition by different discharges have been analyzed and reviewed. On the basis of the performed analysis a microprocessor unit for control of the energy deposition by the nanosecond pulse discharge in alternative ignition systems for internal combustion engines has been developed.

Key words: microcontroller, nanosecond pulsed discharge, the energy management system, nonequilibrium plasma, ignition.

Вступ

Як наголошується в роботах [1-3] застосування нерівноважної плазми в системах запалювання бензинових двигунів призводить до збільшення швидкості поширення полум'я, зменшення часу затримки запалювання і до розширення меж займистості паливно-повітряної суміші в порівнянні з іскровою

системою запалювання. В роботі [4] відзначається одна з головних переваг даної системи запалювання - зменшення викидів оксидів азоту без збільшення викидів СО. Одним із способів підвищення ефективності запалювання паливно-повітряної суміші наносекундним імпульсним розрядом є реалізація контрольованого введення енергії, тобто організація програмованого сигналу зі змінною

енергією наносекундного імпульсу. Необхідність такого підходу викликана тенденціями переходу на роботу двигунів на збіднених сумішах і існуванням різних режимів роботи двигуна, що призводить до різних вимог щодо введеної енергії, необхідної для запалювання суміші в циліндрі. Так в роботах [5,6] представлені результати дослідження мінімальної енергії, необхідної для запалювання наносекундним імпульсним розрядом паливно-повітряних сумішей різного складу. Величина мінімальної енергії запалювання варіюється в широких межах залежно від складу суміші і режимів роботи двигуна, тому питання про необхідність контрольованого введення енергії є актуальним.

Мета і постановка задачі

Для генерації наносекундних імпульсів був обраний двоканальний генератор наносекундного імпульсного розряду на основі дрейфових діодів різкого відновлення (ДДРВ) [7]. Метою завдання є розробка мікропроцесорного пристрою, що дозволяє в режимі реального часу проводити настройку і установку необхідних параметрів генератора, що працює на борту транспортного засобу, для контрольованого введення енергії, необхідної для запалювання паливоповітряної суміші в циліндрі двигуна.

Для запуску кожного каналу генератора наносекундного імпульсного розряду на кожен із каналів подається сигнал запуску амплітудою 2.5-15В. Для регулювання амплітуди вихідної напруги і задання частоти використовуються лінійні потенціометри.

Для управління введенням енергії наносекундного імпульсного розряду в рамках модернізації генератора було запропоновано замінити систему задання частоти вихідного сигналу на базі мікросхем 74НС123 на вихідний програмований сигнал мікроконтролера і управління через аналоговий сигнал амплітудою вихідного сигналу, за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП).

Аналіз публікацій

Використання мікропроцесорних систем управління для контролю і управління введенням енергії широко застосовується в медицині. Подібні пристрої використовують для управління твердотільними лазерами,

зокрема, в системах управління магнітно-резонансними томографами. В автомобільній і авіаційній промисловості, системи управління введенням енергії використовуються практично в кожному блоці управління, де здійснюється управління вихідними актуаторами. У даних системах в якості методу управління подачі енергії на актуатор використовується або аналоговий сигнал, або сигнал з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Оскільки використання нерівноважної плазми в системах запалювання двигуна внутрішнього згоряння почало розвиватися відносно недавно, то на даний момент на ринку продукції, що виробляється, відсутні будь-які подібні системи для автоматичного контролю введення енергії наносекундного імпульсу в системах запалювання для ДВЗ в режимі реального часу.

Серед останніх робіт в цьому напрямку можна відзначити роботи [8-9]. В роботі [8] представлений генератор наносекундних імпульсів із змінною шириною імпульсу. Даний генератор дозволяє формувати ШІМ сигнал з частотою від 1 до 100 кГц і амплітудою вихідного сигналу від 100 до 3500В. Опубліковані в статті характеристики досягаються за рахунок часу перемикання біполярного транзистора з ізольованим затвором (IGBT). Даний генератор при резистивному навантаженні в 50 Ом здатний видавати імпульси в 52-62 нс і орієнтований на впровадження і використання в пухлинній терапії.

В роботі [9] представлена мікропроцесорна система на базі сучасного мікроконтролера STM32F1 для програмного формування імпульсного сигналу, яка дозволяє формувати як одно- так і двохполярні аналогові і цифрові сигнали з амплітудою вихідного сигналу до 10В. Слід зазначити, що для задання необхідної амплітуди вихідного сигналу використовується зовнішня мікросхема, що дозволяє формувати сигнал з роздільною здатністю в 8 біт, а для задання вихідного сигналу на мікросхемі мікроконтролер використовує SPI інтерфейс передачі даних. Даний метод формування вихідного аналогового сигналу не дозволить в режимі реального часу проводити програмовану зміну сигналу в мікросекундному діапазоні. При цьому, слід врахувати, що опитування вхідних і оновлення вихідних каналів відбувається кожні 50 мкс і мінімальна тривалість вихідного цифрового сигналу високого фронту становить 100 мкс. В

якості обробки вхідних сигналів використовується в генераторі 2 вхідних тригера. Даний блок управління може використовуватися в якості керуючого блоку для генератора наносекундного імпульсного розряду [7], проте його використання в бортовій системі транспортного засобу для формування нерівноважної плазми в системах запалювання не є можливим.

Мікропроцесорна система управління програмно-контрольованим введенням енергії нерівноважної плазми

На основі аналізу сучасних іскрових систем запалювання на чотирициліндрових двигунах вітчизняного і зарубіжного виробництва можна виділити 2 основних механізми формування сигналів для кожного з циліндрів: парне або індивідуальне. Таким чином, при розробці альтернативних систем запалювання потрібно враховувати дану особливість при їх адаптації на конкретному двигуні. Крім того, в залежності від комплектації ДВЗ різними датчиками і сенсорами, кожен з двигунів матиме свою особливість при обробці сигналів, тому механізм обробки вхідних сигналів повинен включати в себе можливість обробки будь-яких цифрових і аналогових сигналів.

Запропоноване схемотехнічне рішення представлено на рис. 1 і дозволяє організувати такі функції:

- 1) Обробка 8 цифрових і 4 аналогових каналів, при цьому на кожному з каналів може бути організовано переривання;
- 2) Організує управління 2 аналоговими і 8 цифровими каналами;
- 3) В режимі реального часу паралельно формує вихідні аналогові і цифрові сигнали;
- 4) Форма задання параметрів вихідних сигналів дозволяє сформувати будь-які однополярні аналогові сигнали з роздільною здатністю в 12 біт і задавати цифрові вихідні сигнали амплітудою в 5В з будь-якими часовими і кількісними параметрами сигналів з мінімальними дискретними проміжками часу в 0.25 мкс;
- 5) Організовано інтерфейс обміну і передачі даних USB 2.0 для управління через персональний комп'ютер в режимі реального часу;
- 6) Організовано режим управління кутом випередження запалювання при використанні розробленої системи в системах запалювання ДВЗ;
- 7) Розроблене схемотехнічне і програмне забезпечення дозволяє швидко сформувати і адаптувати систему управління для будь-якого введення енергії імпульсними розрядами за умови наявності необхідних апаратних ресурсів.

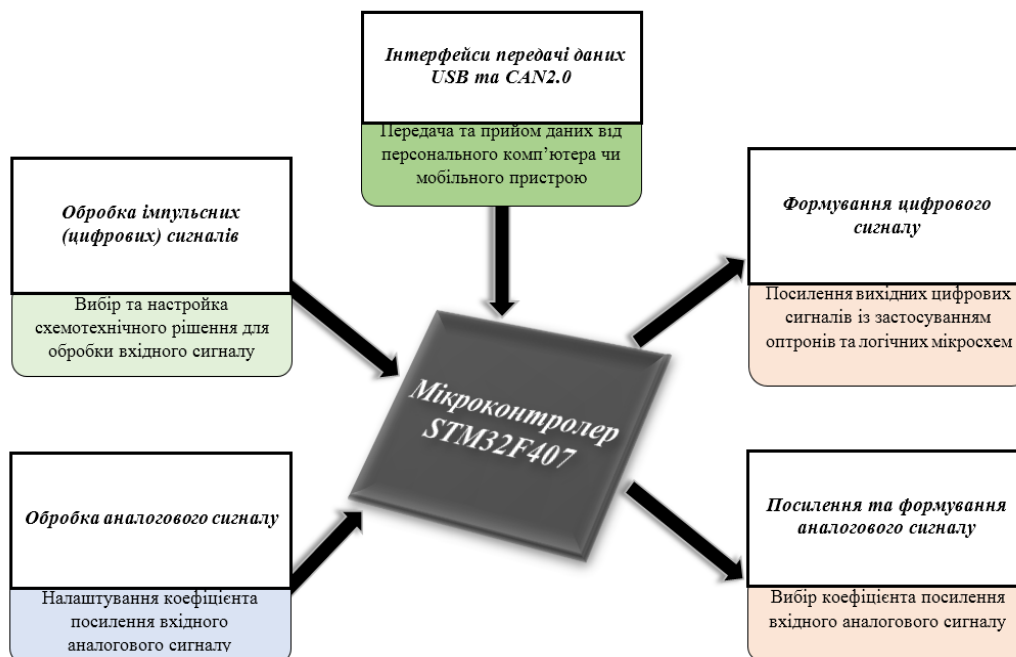


Рис. 1. Структурна схема механізму управління програмно-контрольованим введенням енергії нерівноважної плазми

Умовно, структурну схему розробленого мікропроцесорного блоку управління для організації контрольованого введення енергії наносекундним імпульсним розрядом, поділяють на 3 підсистеми:

- Підсистему обробки вхідних сигналів;
- Мікропроцесорний обчислювальний блок для задання і формування програмованого вихідного сигналу;
- Підсистему для посилення програмованого вихідного сигналу;

Кожна із підсистем розробленої мікропроцесорної системи представлена окремими платами. Запропонована архітектура дозволяє розширювати в разі потреби кількість вхідних і вихідних каналів. Підсистема мікропроцесорного обчислювального блоку дозволяє обробляти та підключати по дві плати підсистем обробки вхідних сигналів і посилення програмованого вихідного сигналу. Запропоноване схемотехнічне рішення дозволяє налаштовувати систему запалювання навіть на 8-ми циліндрових двигунах внутрішнього згоряння, де зниження кількості СО і NO у вихлопних газах, а так же стабілізація займання ультраблідних сумішей буде набагато краще.

Підсистема обробки вхідних сигналів призначена для подачі сигналу про початок програмно-контрольованого введення енергії на мікропроцесорний обчислювальний блок або обробки вхідних аналогових сигналів з датчиків і сенсорів системи управління ДВЗ. Ця

підсистема дозволяє обробляти чотири цифрових і два аналогових сигнали. Кожен з вихідних сигналів даної підсистеми має максимальну амплітуду в 3-3.6В, в залежності від напруги живлення мікропроцесорного пристрою. Для стабільності роботи мікропроцесора під час обробки вхідних сигналів на платі встановлено логічне обв'язування, що представлено мікросхемою HEF4069. Для обробки аналогових сигналів встановлено операційний підсилювач за схемою диференціального підсилювача з встановленим змінним потенціометром для регулювання коефіцієнта посилення сигналу.

Мікропроцесорний обчислювальний блок для задання і формування програмованого вихідного сигналу представлений мікроконтролером STM32F407VGT6. Сімейство даних мікроконтролерів, засноване на ядрі Cortex M4 с продуктивністю в 210 DMIPS при тактовій частоті в 168 МГц, дозволяє обробляти, проводити обчислення і формувати сигнали з мінімальною часою затримкою. Так, з урахуванням затримки при обробці вхідного сигналу з системи управління двигуна і до формування вихідного сигналу на всі 3 підсистеми в середньому займає часу в 20-30 мкс, а точність вимірювання і формування часових параметрів становить 0.25 мкс. Архітектура даного блоку управління побудована таким чином, що дозволяє обробляти вхідні сигнали і видавати програмовані вихідні сигнали послідовно на 1-8 виходів (для восьмициліндрового двигуна).

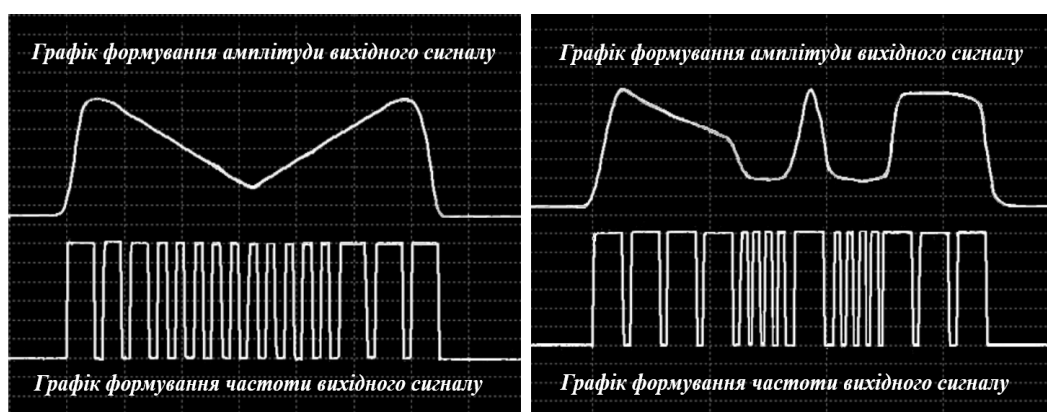


Рис. 2. Графіки формування вихідних сигналів

Формування вихідного програмованого цифрового сигналу (рис.2) задається за допомогою масиву даних, в якому кожен непарний елемент - тривалість високого фронту, парний - тривалість низького фронту. Сформований

алгоритм роботи дозволяє формувати будь-яку кількість імпульсів з роздільною часою здатністю в 0,25 мкс. Така методика, в порівнянні з ШІМ, дозволить максимально оптимізувати процес запалювання па-

тивно-повітряної суміші. Однак, для генератора наносекундного імпульсного розряду, максимальна частота вихідного сигналу становить 32,5 кГц. Для формування вихідного програмованого аналогового сигналу використовується 12-розрядний ЦАП в зв'язці з таймером, дані для якого представлені у вигляді масиву, який заповнюється або в режимі введення з клавіатури, або шляхом задання довільної функції.

Слід зазначити, що в посиленні аналогових сигналів застосовується операційний підсилювач, включений за схемою неінвертуючий підсилювача. Коефіцієнт посилення обирається методом налаштування через змінний потенціометр. Даний сформований сигнал дозволить регулювати амплітуду вихідного сигналу з генератора наносекундного імпульсного розряду.

Для настройки і адаптації системи запалювання з наносекундним імпульсним розрядом на ДВЗ в розроблений мікропроцесорний обчислювальний блок був додатково включений алгоритм зміни кута випередження запалювання з точністю в межах $0,1-0,01^\circ$ ПКВ (повороту колінчастого вала). Реалізована частота коригування кута випередження запалювання залежно від зміни числа обертів обертання колінчастого вала становить один оборот колінчастого вала. Налаштування кута випередження запалювання відбувається через USB2.0 інтерфейс і користувач в режимі реального часу отримує точну інформацію про кут випередження запалювання, частоту обертання колінчастого і розподільного вала, а так само всю необхідну інформацію з додатково підключених датчиків.

У програмному забезпеченні мікропроцесорного обчислювального блоку додатково реалізована можливість підключення до системи управління ДВЗ за допомогою CAN-інтерфейсу.

Висновки

Проаналізовано та розглянуто електронні системи управління введенням енергії різними розрядами, а так само перспективи використання нерівноважної плазми наносекундного імпульсного розряду в ДВЗ.

Запропоновано схемотехнічне рішення мікропроцесорного блоку для управління нано-

секундним імпульсним розрядом в альтернативних системах запалювання двигунів внутрішнього згоряння.

Література

1. Vinogradov V.A. The effects of plasma formations on ignition and combustion [Text] / V.A. Vinogradov, A.F. Alexandrov, I.B. Timofeev, I.I. Isakov // 42th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. – 2004.
2. Tao T. Nanosecond plasma ignition for improved performance of an internal combustion engine [Text] / T. Tao, T. Shiraishi, T. Urushihara, A. Kuthi, M.A. Gundersen // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2007. – Vol. 35. – P. 1664-1668.
3. Singleton D. The role of non-thermal transient plasma for enhanced flame ignition in C₂H₄-air Gundersen [Text] / D. Singleton, S.J. Singleton, M.A. // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2011. – 44, No 2. – P.6.
4. Serbin S. Improvement of gas turbine plasma assisted combustor characteristics [Text] / S. Serbin, A. Mostipanenko, I. Matveev, A. Tropina // 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition. – 2011.
5. Tropina A.A., M. Uddi, Y. Ju. Non-equilibrium plasma influence on the minimum ignition energy. Part 2 // IEEE Trans. on Plasma Sci. – 2011. – Vol.39.- Issue 12. – P.3283-3287.
6. C.C. Huang, S.S. Shy, C.C. Liu, Y.Y. Yan. A transition on minimum ignition energy for lean turbulent methane combustion in flamelet and distributed regimes // Proc. of the Combustion Institute. – 2007. – Vol.31. – P.1401–1409.
7. Пат. 95018 Україна, МПКF02P 15/00. Генератор імпульсів запалювання з наносекундним фронтом на базі дрейфових діодів з різким відновленням (ДДРВ) [Текст] / Заявники Вільчинський Д.В., Тропіна А.А. – № 2014 06456.
8. L. Donghao, Z. Jianxun and D. Yu, "Nanosecond pulse delivery device with adjustable pulse-width based on IGBT," Control Conference (CCC), 2015 34th Chinese, Hangzhou, 2015, pp. 5593-5598.

Рецензент: А.А. Тропіна, професор, д.т.н., ХНАДУ