

УДК 531.7

І.Г. Грабар, д.т.н., проф.
В.М. Іванченко, аспір.
В.О. Ломакін, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

МІКРОКОНТРОЛЕРИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСМІСІЙ

Обґрунтована необхідність і наведено опис методології та програмно-апаратного комплексу для дослідження кінематичних та динамічних характеристик обертового руху.

Вступ. У зв'язку з необхідністю зменшення токсичних викидів та зниження енергетичної залежності нашої держави від країн-експортерів палива дуже актуальним питанням є підвищення ефективності використання палива.

До сучасних транспортних засобів висуваються досить жорсткі вимоги: висока питома потужність, економічність, низький рівень отруйних викидів, комфортність, безпечність та інші. Для їх досягнення використовують системи електронного керування двигунами. Ринок пропонує достатньо багато систем електронного керування, які застосовуються в транспорті. Майбутній розвиток цих систем зосередиться на вдосконаленні і покращенні їх роботи разом з розвитком технологій виробництва датчиків і виконавчих механізмів [1]. Але для якісної роботи системи електронного керування необхідно забезпечити її якісним зворотним зв'язком. Одним з найважливіших вихідних параметрів роботи як двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), так і будь-якого іншого двигуна, є крутний момент. Сучасні системи керування ДВЗ визначають частоту обертання колінчастого вала, витрату пального, керують приготуванням стехіометричної паливно-повітряної суміші, знижують токсичність викидів та інше, але в процесі роботи, як правило, не слідкують за вихідними крутним моментом та потужністю ДВЗ внаслідок складності їх вимірювання в умовах роботи системи в реальному часі.

В роботі [2] наведено огляд систем та пристроїв для визначення крутного моменту та запропоновано нову конструкцію динамометра-тахометра-ватметра. Для проведення вимірювань в реальному часі, підвищення точності та розширення діапазону частот обертання сучасних двигунів виникає необхідність використання мікроконтролерів.

Метою роботи є створення і дослідження діючого зразка динамометра-тахометра-ватметра на базі мікроконтролера.

Викладення основного матеріалу. Короткий огляд мікроконтролерів. Для розробок програмно-апаратної частини використовуються мікроконтролери – інтегральні мікросхеми, що суміщають в одному кристалі мікропроцесор, пам'ять даних, пам'ять програм та різноманітну периферію (таймери, стандартні інтерфейси, перетворювачі АЦП і ЦАП, датчик температури та багато іншого).

Найбільш поширені серії мікроконтролерів мають 8-, 16- та 32-розрядну архітектуру.

Для недорогих рішень з нескладними математичними розрахунками використовують мікроконтролери з 8-розрядною архітектурою. Найпоширенішими та найдоступнішими в нашій країні є мікроконтролери виробництва Atmel Corp.

Остаточний вибір розробником тої чи іншої мікропроцесорної платформи для реалізації своєї задачі залежить від великої кількості різних факторів, включаючи економічні. Але зазвичай першою умовою залишається отримання максимально вигідного співвідношення "ціна – продуктивність – енергоспоживання", що визначається складністю задач, які необхідно вирішити.

Ці обставини стали рушієм в розробці в середині 1990-х нового 8-розрядного класу мікроконтролерів з архітектурою AVR. Серійне виробництво AVR почалось в 1996 році, а в даний момент в серійному виробництві у Atmel знаходяться три сімейства AVR - "tiny", "classic" і "mega".

На даний момент співвідношення "ціна – продуктивність – енергоспоживання" для AVR є одним з кращих на світовому ринку 8-розрядних мікроконтролерів. Об'єми продаж AVR у світі подвоюються щорічно. В геометричній прогресії росте число сторонніх фірм, що розробляють та випускають різні програмні і апаратні засоби підтримки розробок для них.

Області використання мікроконтролерів AVR багатогранні. Для сімейства "tiny" – це інтелектуальні автомобільні датчики різного призначення, іграшки, ігрові приставки, материнські плати персональних комп'ютерів, контролери захисту доступу в мобільних телефонах, зарядні пристрої, детектори диму та полум'я, побутова техніка, інфрачервоні пульти дистанційного керування. Для сімейства "classic" – це модеми різних типів, сучасні зарядні пристрої, пристрої класу Smart Cards, супутникові навігаційні системи для визначення місцезнаходження транспортних засобів, складна побутова техніка, пульти дистанційного керування, мережеві карти, материнські плати комп'ютерів, стільникові телефони нового

покоління, а також різні промислові системи контролю та керування. Для "mega" AVR – це аналогові (NMT, ETACS, AMPS) і цифрові (GSM, CDMA) мобільні телефони, принтери і ключові контролери для них, контролери апаратів факсимільного зв'язку і ксероксів, контролери сучасних дискових накопичувачів, CD-ROM і т.д.

Особливості архітектури мікроконтролерів AVR

Всі AVR мають Flash-пам'ять програм, що може бути завантажена як за допомогою звичайного програматора, так і за допомогою послідовного синхронного інтерфейсу (SPI), у тому числі безпосередньо на цільовій платі. Число циклів перезапису – не менше 1000. Останні версії кристалів сімейства "mega" мають можливість самопрограмування.

Всі AVR мають також блок енергонезалежної пам'яті даних (EEPROM), що може перезаписуватись електричними методами. Цей тип пам'яті, доступний програмі мікроконтролера безпосередньо в ході її виконання, зручний для зберігання проміжних даних, різних констант, таблиць перекодувань, каліброваних коефіцієнтів тощо.

Внутрішня оперативна пам'ять (SRAM) є у всіх AVR сімейств "classic" і "mega" і в одного нового кристала сімейства "tiny" - ATtiny26/L. Для деяких мікроконтролерів можлива організація підключення зовнішньої пам'яті даних обсягом до 64 Кб.

Внутрішній тактовий генератор AVR може запускатися від декількох джерел опорної частоти (зовнішній генератор, зовнішній кварцовий резонатор, внутрішній або зовнішній RC-ланцюжок). Максимальна робоча частота визначається конкретним типом мікроконтролера.

Сторожовий таймер (WATCHDOG) призначений для захисту мікроконтролера від збоїв у процесі роботи. Він має свій власний RC-генератор, що працює на частоті 1 МГц.

Мікроконтролери AVR мають у своєму складі від 1 до 4 таймерів/лічильників загального призначення з розрядністю 8 або 16 біт, які можуть працювати і як таймери від внутрішнього джерела опорної частоти, і як лічильники зовнішніх подій із зовнішнім тактуванням.

Система реального часу (RTC) реалізована у всіх мікроконтролерах сімейства "mega" і у двох кристалах сімейства "classic" - AT90(L)S8535. Таймер/лічильник RTC має свій власний передільник, що може програмно підключатися або до основного внутрішнього джерела тактової частоти мікроконтролера, або до додаткового асинхронного джерела опорної частоти (кварцовий резонатор 32,768 кГц, або зовнішній синхросигнал).

Порти вводу/виводу AVR мають число незалежних ліній "Вхід/Вихід" від 3 до 53. Кожний розряд порту може бути запрограмований на ввід або на вивід інформації. Цікава архітектурна особливість побудови портів вводу/виводу в AVR полягає в тому, що для кожного фізичного виводу існує 3 біти контролю/керування, а не 2, як у розповсюджених 8-розрядних мікроконтролерів (Intel, Microchip, Motorola і т.д.). Спрощена структурна схема елемента вводу/виводу AVR-мікроконтролера наведена на рис. 1. Тут DDRx – біт контролю напрямку передачі даних і прив'язки виводу до шини живлення (VCC), PORTx – біт прив'язки виводу до VCC і біт вихідних даних, PINx – біт для відображення логічного рівня сигналу на фізичному виводі мікросхеми.

Архітектура побудови портів вводу/виводу AVR із трьома бітами контролю/керування дозволяє розробнику повністю контролювати процес вводу/виводу.

Аналоговий компаратор входить до складу більшості мікроконтролерів AVR. Типова напруга зміщення дорівнює 10 мВ, час затримки становить близько 500 нс і залежить від напруги живлення мікроконтролера.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) побудований за класичною схемою послідовних наближень із пристроєм вибірки/зберігання (ПВЗ). Кожний з аналогових входів може бути з'єднаний із входом ПВЗ через аналоговий мультиплексор. Пристрій вибірки/зберігання має свій власний підсилювач, що гарантує стабільність вимірювання протягом усього часу перетворення.

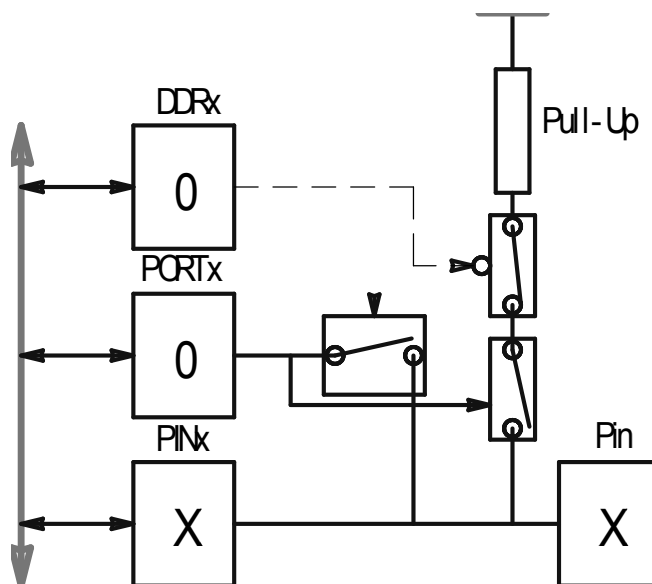


Рис. 1. Структура елемента вводу/виводу AVR

AVR-мікроконтролери можуть бути переведені програмним шляхом в один із шести режимів зниженого енергоспоживання. Для різних сімейств AVR і різних мікроконтролерів у межах кожного сімейства змінюються кількість і сполучення доступних режимів зниженого енергоспоживання. Докладнішу інформацію можна знайти в оригінальній технічній документації Atmel Corp.

Мікроконтролери AVR mega64, mega103 і mega128 мають ще одну примітну архітектурну особливість, що дозволяє значно знизити енергоспоживання всього кристала в цілому, понизивши основну тактову частоту мікроконтролера.

Мікроконтролери AVR функціонують у широкому діапазоні напруг живлення від 1,8 до 6,0 В та температур – комерційний (0 °С...70 °С) та індустріальний (–40 °С...+85 °С).

З погляду програміста, AVR являє собою 8-розрядний RISC мікроконтролер, що має швидкий гарвардський процесор, пам'ять програм, пам'ять даних, порти вводу/виводу й різні схеми інтерфейсу. Структурна схема мікроконтролера наведена на рис. 2. Гарвардська архітектура AVR реалізує повний логічний і фізичний розподіл не тільки адресних просторів, але й інформаційних шин для звертання до пам'яті програм і до пам'яті даних, причому способи адресації й доступу до цих масивів пам'яті також різні. Подібна побудова вже ближче до структури цифрових сигнальних процесорів і забезпечує істотне підвищення продуктивності. Центральний процесор працює одночасно як з пам'яттю програм, так і з пам'яттю даних; розрядність шини пам'яті програм розширена до 16 біт.

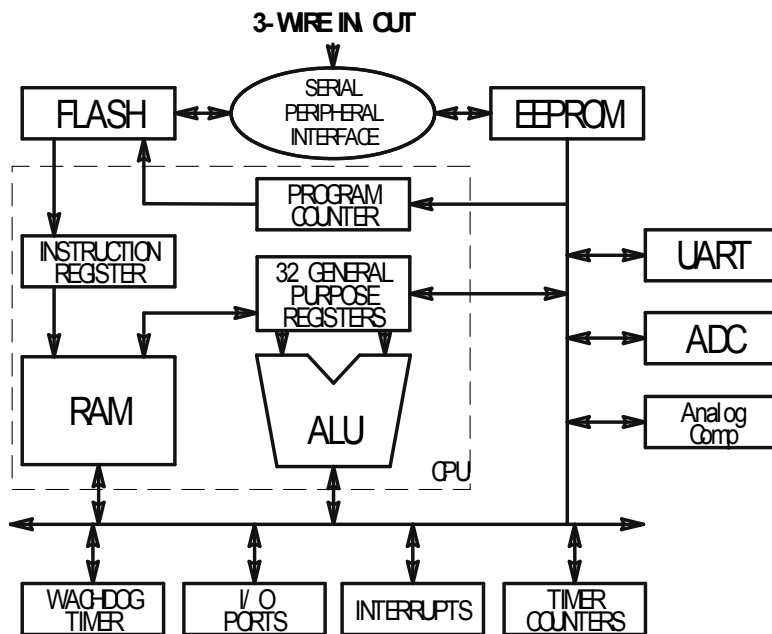


Рис. 2. Структурна схема AVR [4]

Наступним кроком на шляху збільшення швидкодії AVR є використання технології конверсації, внаслідок чого цикл "вибірка – виконання" команди помітно скорочена.

У мікроконтролерах PIC, як і в AVR-контролерах, використовується однорівневий конвеєр при звертанні до пам'яті програм і коротка команда в загальному потоці виконується за один машинний цикл. Головна ж відмінність полягає в тому, що цей цикл в AVR становить усього один період тактової частоти. Для порівняння, на рис. 3 наведені тимчасові діаграми при виконанні типової команди для різних мікроконтролерних платформ.

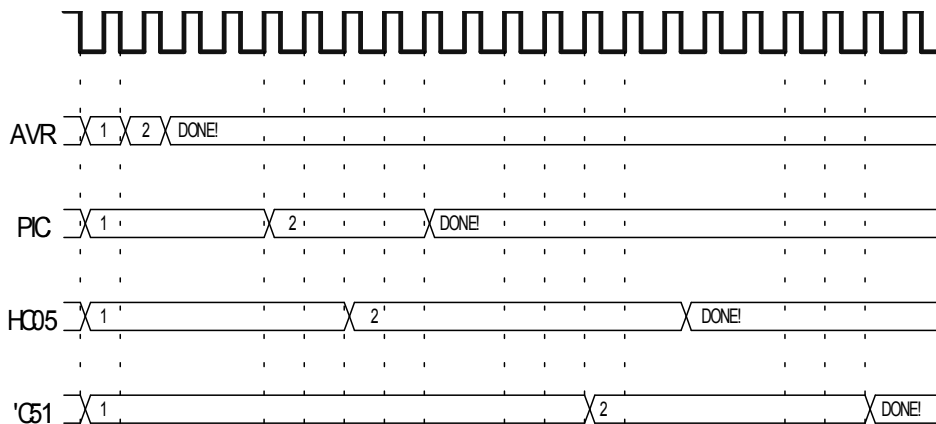
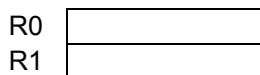


Рис. 3. Часові діаграми мікропроцесорних платформ [4]

Наступна відмітна риса архітектури мікроконтролерів AVR – реєстровий файл швидкого доступу, структурна схема якого показана на рис. 4. Кожний з 32-х реєстрів загального призначення довжиною 1 байт безпосередньо пов'язаний з арифметико-логічним пристроєм (АЛП) процесора. Інакше кажучи, в AVR існує 32 реєстри-акумулятори (зрівняйте, наприклад, з MCS51). Ця обставина дозволяє в сполученні з конвеєрною обробкою виконувати одну операцію в ALU за один машинний цикл.

Шість із 32-х реєстрів файла можуть використатися як три 16-розрядних покажчики адрес при непрямій адресації даних (X, Y і Z), що істотно підвищує швидкість пересилання даних при роботі прикладної програми.



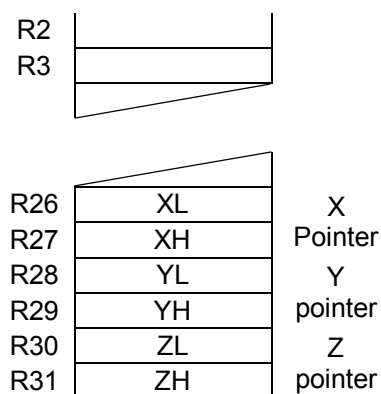


Рис. 4. Регістровий файл AVR [4]

Регістровий файл займає молодші 32 байта в загальному адресному просторі SRAM AVR. Таке архітектурне рішення дозволяє одержувати доступ до швидкої "регістрової" оперативної пам'яті мікроконтролера двома шляхами – безпосередньою адресацією в коді команди й іншими способами адресації SRAM.

Система команд AVR досить розвинена й нараховує до 133 різних інструкцій. Майже всі команди мають фіксовану довжину в одне слово (16 біт), що дозволяє в більшості випадків поєднувати в одній команді й код операції, і операнд.

Добре відомо, що розвинені засоби підтримки розробок при освоєнні й знайомстві з будь-яким мікроконтролерним сімейством відіграють не менш значну роль, ніж самі кристали. Фірма Atmel приділяє цьому питанню велику увагу. Програмні й апаратні засоби для AVR завжди розроблялися й розробляються паралельно із самими мікроконтролерами й містять у собі компілятори, внутрішхемні емулятори, відладчики, програматори, найпростіші відлагоджувальні плати-конструктори практично на будь-який смак. Важливу роль відіграє й відкрита політика Atmel Corp. у питаннях розвитку й поширення різноманітних, доступних засобів підтримки розробок. Це дозволяє розроблювачам і виробникам електронної техніки сподіватися на збереження повноцінної підтримки для перспективного сімейства мікроконтролерів, закладаючи AVR у свої нові вироби.

Програмно-апаратний комплекс для дослідження динамічних характеристик в трансмісіях на основі МК ATmega16

Як показав наведений вище аналіз, для дослідження кінетичних і динамічних характеристик трансмісій за критеріями "ціна – продуктивність – енергоспоживання" найкраще підходить мікроконтролер ATmega16 фірми Atmel. Загальний вигляд плати контролера з периферійними пристроями зображено на рис. 5.

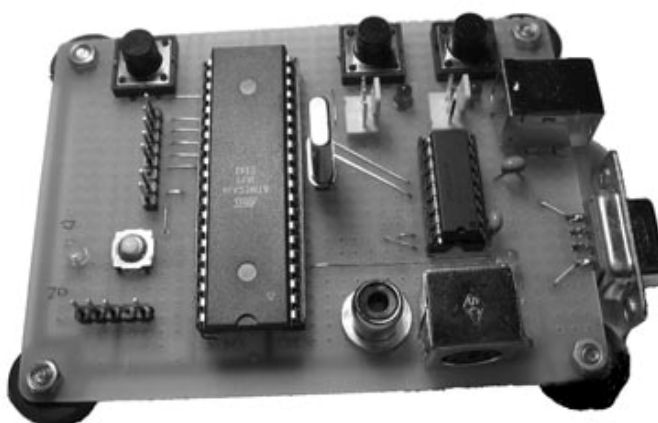


Рис. 5. Загальний вигляд ATmega16 з периферійними пристроями

Кінематично-електричну схему програмно-апаратного комплексу зображено на рис. 6. Мікроконтролер під час роботи вимірює інтервали часу між імпульсами датчиків Хола з точністю, яка визначена кварцевим генератором і складає приблизно 9.1×10^{-8} с та передає їх на комп'ютер. Загальний алгоритм роботи ATmega16 показано на рис. 7.

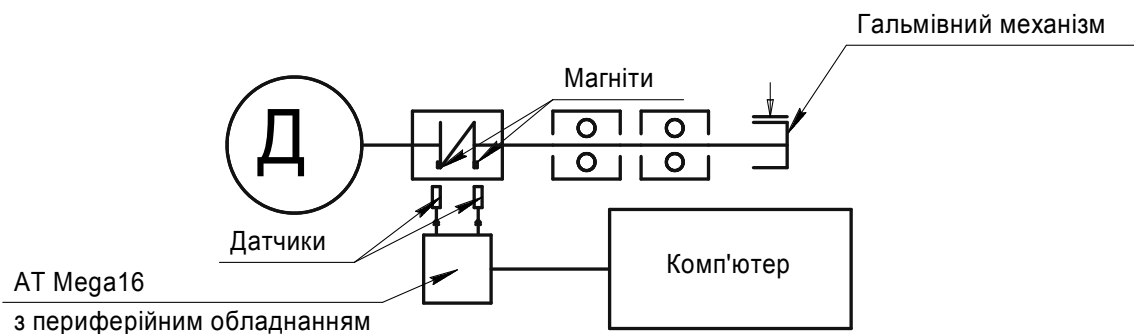


Рис. 6. Схема програмно-апаратного комплексу для вимірювання кінематичних та динамічних параметрів трансмісії

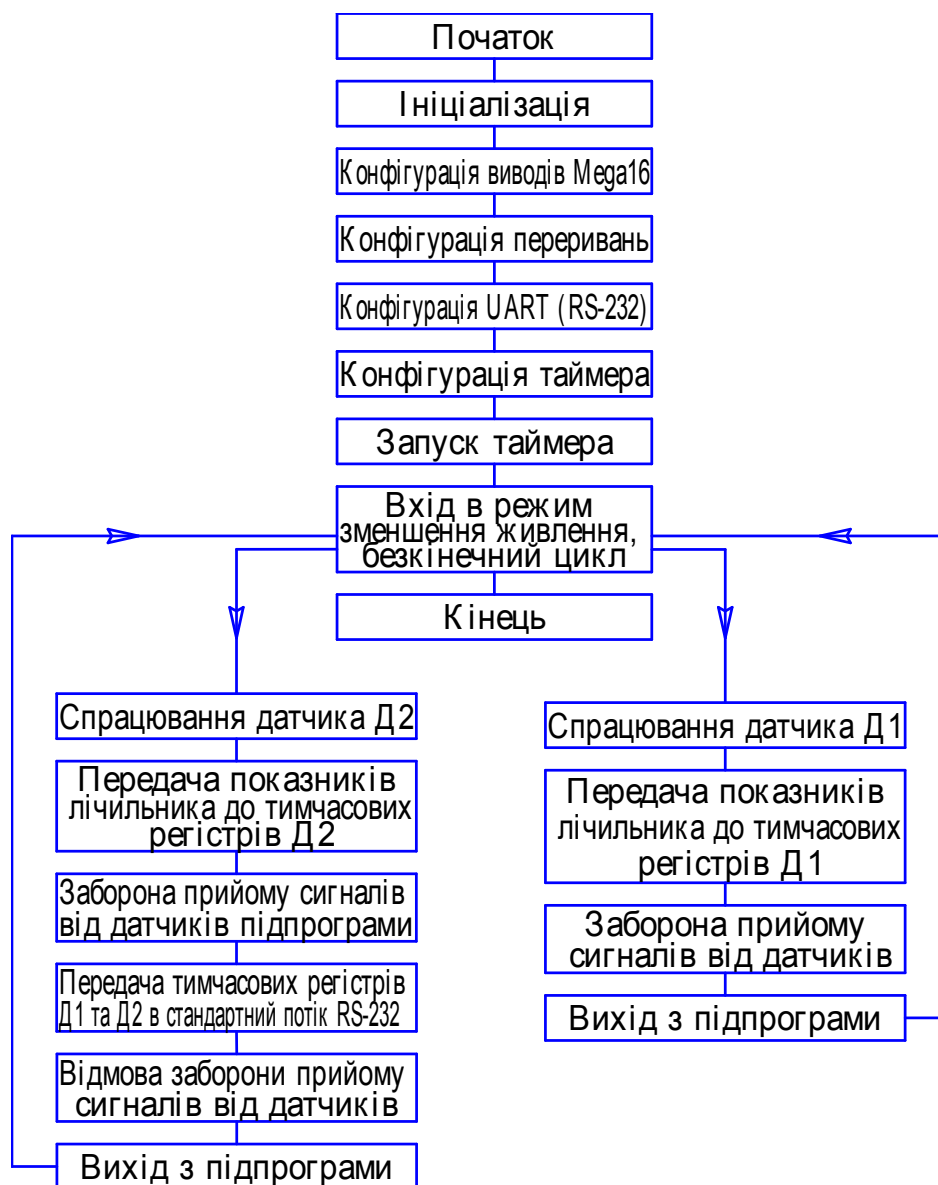


Рис. 7. Алгоритм роботи мікроконтролера ATmega128 16 AE для вимірювання інтервалів часу

Мікроконтролер передає дані на комп'ютер за допомогою інтерфейсу RS232, що являє собою промисловий стандарт для послідовної двонаправленої асинхронної передачі даних. Максимальна відстань, на якій можна організувати зв'язок, складає 20 м.

На відміну від паралельного порту, що складається з восьми інформаційних ліній, що за один такт передає один байт, порт RS-232 потребує лише наявності однієї такої лінії, по якій послідовно передається біт за бітом. Це дозволяє скоротити кількість інформаційних ліній для передачі даних, але зменшує швидкість [3].

Для обробки отриманих даних в реальному часі була створена програма «DTW», загальний вигляд інтерфейсу якої зображено на рис. 8. Вона дозволяє прочитати дані, які передає мікроконтролер з необхідною швидкістю передачі та визначеною довжиною пакета даних з COM порта комп'ютера. Також візуалізує отримані дані в числовому та графічному вигляді і дозволяє:

- коректувати значення жорсткості пружного елемента;
- кількість точкових магнітів на оберт;
- використовувати нелінійні пружні елементи;
- вносити коректування значення нульового крутного моменту при наявності похибки позиціонування точкових магнітів.

В програмно-апаратному комплексі передбачена можливість зворотного зв'язку комп'ютера з мікроконтролером – для оптимізації спільної роботи, яка на даний момент реалізована тільки на апаратному рівні (програма розробляється), так само, як і можливість індикації цифрових даних безпосередньо на платі Mega16, що на даному етапі знаходиться в стадії розробки. Загальний алгоритм роботи програми «DTW» зображено на рис.9.

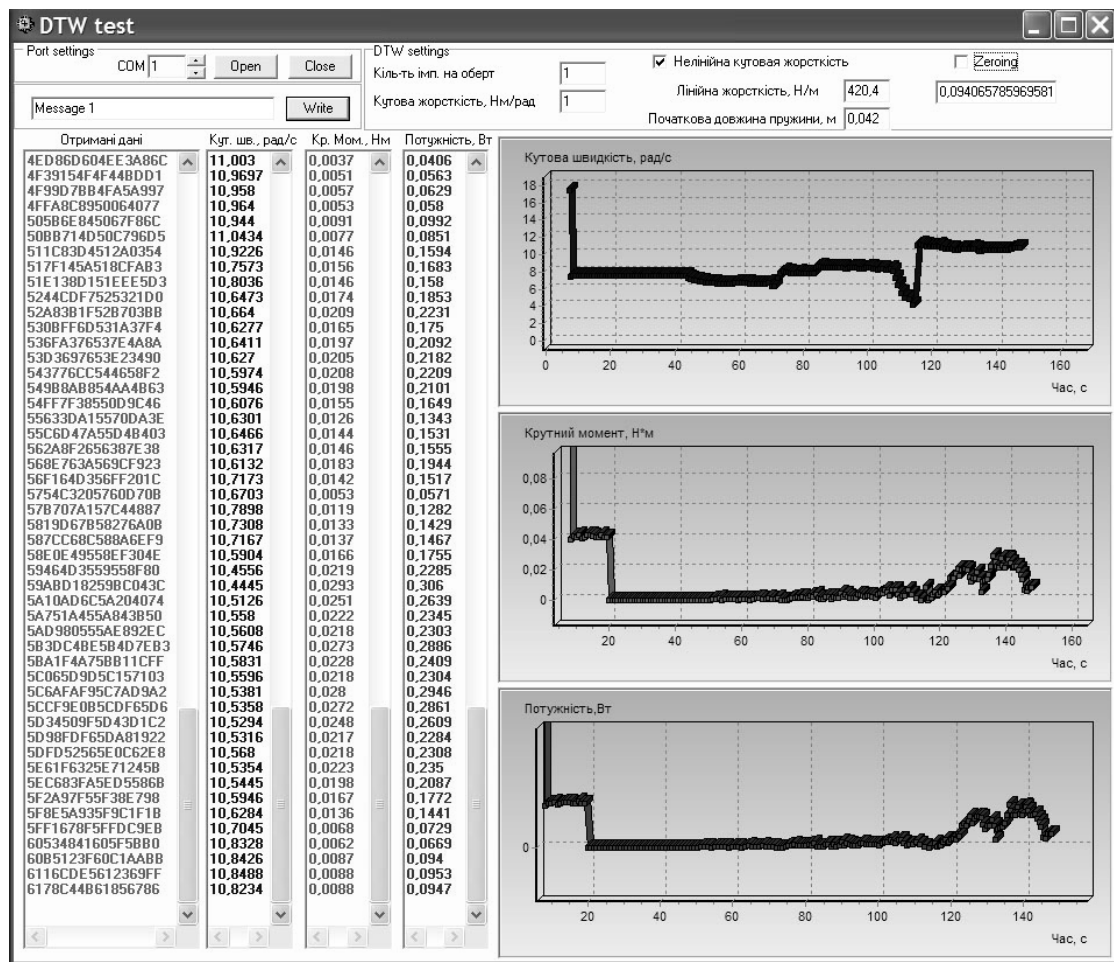


Рис. 8. Загальний вигляд вікна програми для обрахунку частоти обертання, крутного моменту та потужності



Рис. 9. Загальний алгоритм роботи програми «DTW»

Висновки.

1. Створена експериментальна установка для експериментальних досліджень: динаміки стаціонарних та нестаціонарних процесів в трансмісіях при передачі потужності та крутного моменту; динамічних процесів, що відбуваються у двигунах та гальмівних механізмах в реальному часі.

2. Застосування мікроконтролера значно покращує показники точності та сприяє подальшому розширенню функціональних можливостей програмно-апаратного комплексу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Eric Chowanietz. Automobile Electronics 1995. ISBN 1 56091 739 3, order number R-166/ Printed in Great Britain by Bookcraft (Bath) Ltd.*
2. *Грабар І.Г., Ломакін В.О. Теоретичні передумови створення та реалізації програмно-апаратного комплексу для дослідження кінематичних і динамічних характеристик трансмісій в нестаціонарній постановці // Вісник ЖДТУ. – 2007. – № 2 (41). – С. 7–14.*
3. *Сопряжение ПК с внешними устройствами: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 320с.*
4. <http://www.atmel.ru>
5. <http://www.atmel.com>

ГРАБАР Іван Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів і механіки технічних систем ЖДТУ.

Наукові інтереси:

- міцність конструкцій;
- нелінійні явища та моделі; синергетика; нові технології;
- прискорені сертифікаційні дослідження в умовах складного температурно-силового навантаження.

ІВАНЧЕНКО Василь Миколайович – аспірант кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- програмно-апаратні комплекси для вимірювань, обробки та збереження кінематичних та динамічних характеристик технічних систем.

ЛОМАКІН Володимир Олександрович – аспірант кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- кінематичні та динамічні процеси в трансмісіях.

Подано 03.04.2009