



## **КОНЦЕПЦИЯ ЗА РАЗРАБОТВАНЕ НА ИЗМЕРВАТЕЛНА СИСТЕМА ЗА ИЗПИТВАНЕ НА ДВИГАТЕЛИ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ**

Росен Милетиев<sup>1)</sup>, Емил Йончев<sup>2)</sup>, Галина Петкова<sup>2)</sup>  
[miletiev@gmail.com](mailto:miletiev@gmail.com), [e\\_iontchev@yahoo.com](mailto:e_iontchev@yahoo.com), [gpetkova@vtu.bg](mailto:gpetkova@vtu.bg)

<sup>1)</sup> *Технически Университет – София, катедра "Радиокомуникации и  
видеотехнологии", София 1000, бул. "Кл. Охридски" 8*

<sup>2)</sup> *Висше транспортно училище "Тодор Каблешков" – София  
ул. "Гео Милев" №158, 1574 София,  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** измервателна система, изпитване на двигател с вътрешно горене, тензорезистор, индуктивен сензор.

**Резюме:** В статията е представена концепция за електронна измервателна система за снемане на определени характеристики на двигатели с вътрешно горене. Предложени са варианти за решаване на техническата задача за свързване на голям брой сензори и ограничен набор от интерфейси, с които разполага персоналният компютър. Обобщени са съображенията за избор на концепция и е предложена такава. Представени са изискванията за избор на апаратна и програмна платформа. Предложени са блокови схеми за измерване на въртящия момент на двигателя, чрез използване на преобразувател на сила в напрежение и измерване на честотата на въртене на двигателя, чрез използване на индуктивен сензор, монтиран в корпуса на маховика на двигателя.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Усъвършенстването на системата за техническата експлоатация на буталните двигатели с вътрешно горене (ДВГ) е тясно свързано с развитието на методите и средствата на техническата диагностика и изпитване. За реализация на този процес е необходимо към двигателя да бъдат монтирани множество сензори, които да измерват въртящия момент, оборотите на колянвия вал, налягане и температурата на маслото, температурата на водата и др. Измерването на всички посочени параметри и предаването им към персоналният компютър представлява сложна техническа задача предвид необходимостта от свързване на голям брой сензори и ограничения набор от интерфейси, с които разполага персоналният компютър, които се заключават основно в USB интерфейс.

За решаването на тази задача могат да бъдат използвани два варианта:

1) всички сензори притежават един и същи интерфейс за комуникация, например интерфейс RS485 [1]. Той позволява комуникацията на множество устройства по метода „главен – подчинен“ на значителни разстояния, в силно зашумена

среда, благодарение на използването на усукана двойка като преносна среда и специализирани схеми;

2) създаване на измервателна система, към която могат да бъдат свързани сензори с различни изходни интерфейси, която предава информацията към персонален компютър по реален или виртуален сериен интерфейс (RS232).

Предвид изключителното голямо разнообразие от сензори, произвеждани от различни производители, както и вида на изходните интерфейси, по-универсален се явява вторият вариант, който притежава следните предимства:

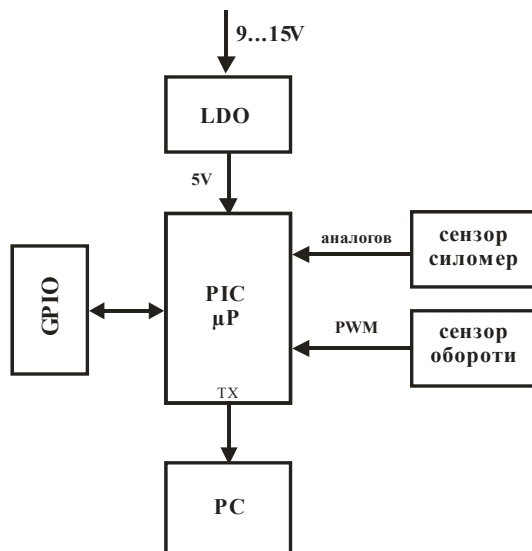
- Възможност за свързване на сензори с различни изходни интерфейси (аналогови или цифрови);

- Симплексна комуникация по отношение на данните – само в посока от измервателната система към персоналният компютър, което значително опростява синхронизацията на системата. По отношение на командите е възможна и дуплексна комуникация.

Предназначението на системата до голяма степен определя избора на апаратната платформа, както и на концепцията като цяло. Причината е, че философията на едно развойно средство е то да притежава изключително богат набор от възможности, с които да се експериментира и да е гъвкаво за преконфигуриране. Не всички от тези възможности ще се използват в процеса на развой, но то ще подпомогне за разработката на крайния продукт. При развойните средства цената не е решаващият фактор при избора на общата концепция.

## ОПИСАНИЕ НА СИСТЕМАТА

Блоковата схема на системата е показана на Фиг.1. Състои се от управляващ микроконтролер ( $\mu P$ ), сензор за обороти и сензор за отчитане на въртящия момент на двигателя (силомер). Захранването на системата се осигурява от захранващ блок, който преобразува входното напрежение 9-15V в стабилизирано 5V напрежение, необходимо за захранване на сензорите и микроконтролера.

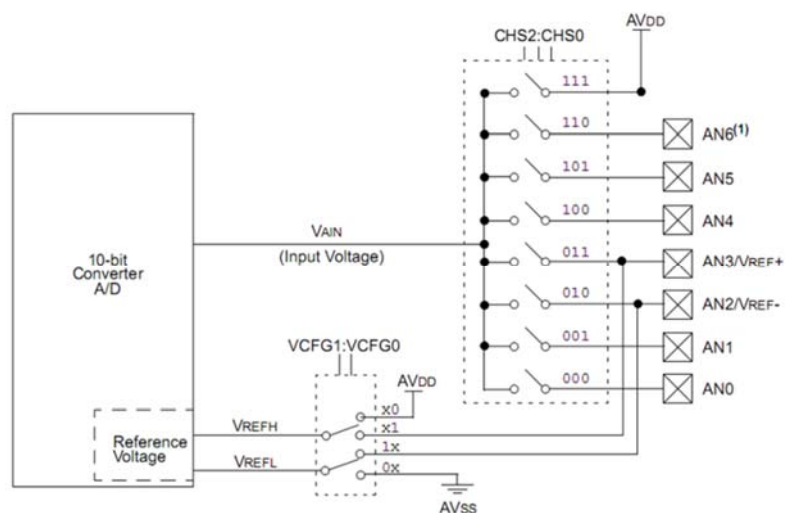


Фиг.1. Блокова схема на измервателната система

Измерването на въртящия момент на двигателя се реализира чрез използване на преобразувател на сила в напрежение. За целта са използвани четири тензорезистора [2] залепени върху еластична механична конструкция. Те са свързани в уитстонов мост. Полученото напрежение на разбалансиране на моста при натоварване, което е

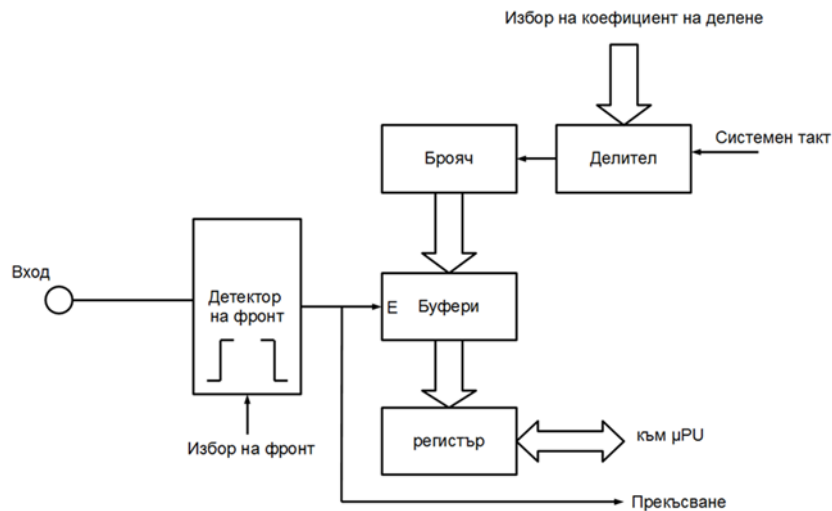
пропорционално на приложената сила, се усилва в инструментален усилвател и се подава на един от аналоговите входове на управляващия микроконтролер. Изходното напрежение на преобразувателя се изменя в границите 0.5÷4.5V.

Повечето микроконтролери с ниска цена са 8-битови и съдържат 10-битов аналогово-цифров преобразувател(АЦП) [3] (фиг.2). Предвидена е възможност за избор на стойността на опорното напрежение на АЦП. При 10-битов АЦП са възможни 1024 нива на дискретизация на входния аналогов сигнал. При избрано опорно напрежение 5V най-малкото изменение на напрежението, което може да бъде преобразувано от АЦП е 4,9mV. На фиг.2 [3] е показана възможност за последващо разширяване на системата с добавяне на още аналогови входове към единствения АЦП. Това е реализирано с добавяне на мултиплексор, чрез който се избира желаните аналогов сигнал за преобразуване. Използването на вградения АЦП позволява изключителна гъвкавост по отношение на обхвата на входните сигнали, тъй като при преобразуването на всеки аналогов сигнал може освен опорно напрежение 5V да се използва и вградения FVR (Fixed Voltage Reference) модул, изходното напрежение на който може да бъде 1.024, 2.048 или 4.096V, като по този начин се постига минимална относителна грешка при преобразуването.



**Фиг.2. Реализация на АЦП в микроконтролер за свързване на множество аналогови канали**

Измерването на оборотите на двигателя се реализира чрез използване на индуктивен сензор, монтиран в корпуса на маховика на двигателя, на разстояние позволяващо сработване на сензора при доближаване на метален предмет. При всяко преминаване на зъб от венца на маховика в обсега на индуктивния сензор изходният му сигнал е с ниско ниво [4]. По броя на получените импулси се определят и оборотите на двигателя. Те се подават на входа на модула за прихващане на импулси на микроконтролера (Фиг.3). Първият блок е детектор за фронт на входните импулси. Дадена е възможност за избор дали ще се работи с преден или заден фронт на постъпващите импулси. Също така се избира с какъв коефициент ще бъде разделена системната тактова честота.



**Фиг.3. Блокова схема на модула за прихващане на импулси**

Броячният регистър увеличава стойността си на всеки тактов импулс и я запазва в буфера. При детектиране на избрания фронт на сигнала от индуктивния сензор, стойността от буфера се прехвърля в потребителския регистър. При настъпването на това събитие потребителската програма може да прочете тази стойност и да определи времетраенето от стартирането на брояча до прехода на фронта и на тази база да се определят оборотите.

С програмното осигуряване на микроконтролера се управлява последователността на вземане на отчети от сензорите и предварителната обработка на суровите данни. Те се предават по сериен интерфейс към РС за визуализация и анализ в реално време, като за целта се използва вградения USART [5] модул на микроконтролера. Предаването на данните от измервателната система към РС се реализира с помощта на пакети, като за всяка измерена величина се задава различен код на пакета. Структурата на предавания пакет съдържа следните полета:

- SYNCH1 – синхронизиращ байт #1, указващ начало на пакета (8 bit)
- SYNCH2 – синхронизиращ байт #2, указващ начало на пакета (8 bit)
- CODE – код на пакета (8 bit), като 2bit са отделени за коефициента на усилване на опорното напрежение от 1.024V (x1, x2, x4), а останалите 6bit са код на източника на сигнал.
- DATA – 16bit стойност на измерената величина
- CRC – контролна сума (8 bit)

Използването на два синхронизиращи байта се налага от обстоятелството да се избегнат грешки при декодиране на пакетите ако някой от синхронизиращите байтове като стойност се появи и в полето за данни.

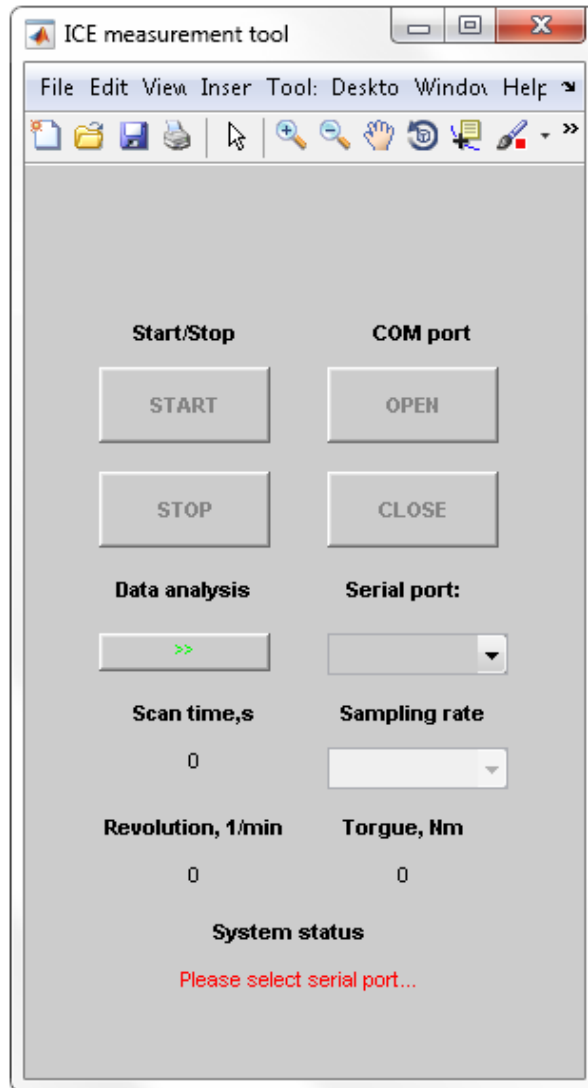
Прилагането на пакетното предаване позволява:

- Да се предава информацията на значителен брой сензори (до  $2^6=64$ ) към РС на база на стойността на полето CODE
- Да се повиши шумоустойчивостта на системата чрез използване на контролна сума за откриване на грешки
- Изключителна гъвкавост по отношение на честотата на дискретизация на аналоговите сигнали, тъй като някой канали може да бъдат сканирани по – често, отколкото други, респ. пакетите с различни кодове към РС могат да имат произволна последователност.

В обратна посока (от РС към измервателната система) могат да бъдат подавани команди за настройка на обхвата, скоростта на измерване на отделните величини и т.н.,

като отново форматирането на тези команди може да стане под формата на пакети с аналогична структура, както пакетите за данни.

Получената измервателна информация се визуализира и анализира в развойна среда MATLAB, като разработеният инструмент създава нова фигура за всеки нов код от предаваните пакети, като при получаване на нов пакет с дадения код опреснява графиката на съответната функция. Видът на този инструмент е показан на Фиг.4.



Фиг.4. Графичен интерфейс за управление и визуализация

Инструментът позволява наблюдение в реално време на различни параметри на двигателя (обороти, въртящ момент и др.), настройка на параметрите при измерване (задаване на честотата на дискретизация на аналоговите сигнали) и анализ на получените резултати (във времевата или честотната област) и т.н.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията е направен обоснован избор на концепция на измервателна система за снемане на определени характеристики на двигател с вътрешно горене. Към системата няма изискване да има напълно завършен апаратен вид и цялостно програмно осигуряване, което дава възможност за бъдещо добавяне на нови апаратни и програмни модули към нея. Включването на допълнителни елементи може да се извърши като се използват свободните I/O изводи на микроконтролера с общо

предназначение (GPIO), които може да бъдат програмирани като аналогови/цифрови входове/изходи. Също така свободните аналогови входове, както и наличните серийни интерфейси. Те ще бъдат изведени на съединители, което дава възможност за бъдещо разширяване на системата, без да се налага изработване на нова платка. За по-добра работа на системата ще бъдат добавени допълнителни вериги за филтриране на шумовите съставки, които на практика няма да усложнят схемата или да оскъпят модула.

Представената концепция е част от Научно- изследователски проект с възложител ВТУ „Т. Каблешков“.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] <https://www.ti.com › lit › pdf › slla272>
- [2] <https://www.hbm.com/en/5501/sensors/>
- [3] <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors>
- [4] <https://stselectronics.eu/>
- [5] <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus/core-independent-and-analog-peripherals/communication-connectivity-peripherals/uart-peripherals>

## **CONCEPT FOR THE DEVELOPMENT OF A MEASUREMENT SYSTEM FOR TESTING INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

**Rosen Miletiev<sup>1)</sup>, Emil Iontchev<sup>2)</sup>, Galina Petkova<sup>2)</sup>**  
[miletiev@gmail.com](mailto:miletiev@gmail.com), [e\\_iontchev@yahoo.com](mailto:e_iontchev@yahoo.com), [gpetkova@vtu.bg](mailto:gpetkova@vtu.bg)

*<sup>1)</sup> Technical University of Sofia, Faculty of Telecommunications,  
8 Kl. Ohridski Blvd, 1000, Sofia*

*<sup>2)</sup> Todor Kableshkov University of Transport 158, Geo Milev Str., 1574, Sofia,  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** *measuring system, internal combustion engine testing, measuring system, internal combustion engine test, strain gauge, inductive sensor*

**Abstract:** *This paper presents a concept for an electronic measurement system to obtain certain characteristics of internal combustion engines. Variants are proposed to solve the technical task of connecting a large number of sensors and a limited set of interfaces available to the personal computer, which are mainly locked in a USB interface. Considerations for choosing a concept are summarized and one is defined. The conditions for choosing a hardware and software platform are presented. Block diagrams are proposed for measuring motor torque using a force-to-voltage converter and measuring motor rotation frequency using an inductive sensor mounted on the motor flywheel.*

*The presented concept is part of a scientific research project with the client VTU "T. Kableshkov".*