

## **РАЗРАБОТВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНО ЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ НА БОЙЛЕР ЗА ГОРЕЩА ВОДА**

**Христо Килифарев<sup>1</sup>, Борислав Недев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Технически университет – Габрово, Хаджи Димитър 4, Габрово, България,  
hri.100@gmail.com*

<sup>2</sup>*Технически университет – Габрово, Хаджи Димитър 4, Габрово, България,  
b.nedev@tugab.bg*

*\*кореспондиращ автор: hri.100@gmail.com*

## **DEVELOPMENT OF AN ENERGY EFFICIENT SYSTEM FOR MONITORING AND CONTROL OF A HOT WATER BOILER**

**Hristo Kilifarev<sup>1</sup>, Borislav Nedev<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>*Technical University of Gabrovo, 4 Hadzhi Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria;*

*\*Corresponding author: hri.100@gmail.com*

### **Abstract**

*It is convenient to know at any time what the temperature is and how much hot water is left in the water boiler, especially when we are taking a shower. It is also important that the water heating in the boiler is achieved with the lowest possible electricity costs - this can be achieved by improving its efficiency and by using the difference in the price of electricity during the day and night. The hottest water in the boiler vessel accumulates in its upper part in a layer, under which there is colder water. This creates temperature zones in height. Increasing efficiency can be achieved by more accurately determining the remaining relative amount of hot water and by appropriately controlling the heating element. By maintaining a different setpoint for the day and night of the relative amount of hot water and its temperature can lead to a reduction in costs. This report presents the development of an embedded system for monitoring and effective control of an electric hot water boiler, based on the Arduino Uno platform. Functional capabilities and requirements for the system are defined, a functional block diagram of the system is presented, a selection of hardware components for implementation is made, a user interface is designed, and a generalized operating algorithm is described.*

**Keywords:** embedded system; hot water boiler; temperature control; Arduino Uno.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Удобно е да се знае във всеки един момент, каква е температурата и колко е оставащото количество гореща вода, което има в бойлера, особено, когато сме под душа. Важно е също загряването на водата в бойлера да бъде постигано с възможно най-малко разходи за електроенергия – това може да се постигне с подобряване на ефективността му и чрез използване на разликата в цената на електроенергията през деня и нощта. Най-горещата вода в съда на бойлера се натрупва в горната му част в слой, под

който има по-студена вода. Така се създават сравнително рязко разграничени температурни зони във височина. Увеличаване на ефективността може да се постигне с по-точното определяне на оставащото относително количество гореща вода и чрез подходящото управление на нагревателния елемент. Чрез подходящо монтиране на допълнителни температурни сензори към корпуса на водосъдържателя на съществуващ бойлер, които са разположени на различна височина, става възможно да се измери температурата на водата в различните слое-

ве и да се изчисли сравнително точно, колко е оставащото количество вода с определена зададена температура. Чрез подходящо управление на моментите на включване и изключване на нагревателя с по-голяма точност от класическия терморегулатор, според текущата и зададената температура, както и според нужното количество гореща вода в бойлера е възможно да се постигне повишаване на ефективността на работа.

Чрез поддържане на различно задание за деня и нощта на относителното количество гореща вода и нейната температура може да се постигне намаляване на разходите с повече от 25% месечно, поради разликата в цената на електроенергията за дневна и нощна тарифа [1].

Настоящият доклад представя разработването на една вградена система за мониторинг и ефективен контрол на електрически бойлер за гореща вода, базирана на Arduino Uno платформата.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Масово в търговската мрежа в България се предлагат контролери за енергийно ефективно управление на бойлери за гореща вода, произведени от фирма Naturela Electronics. Предлагат се различни по сложност и технически параметри модели за електрически бойлери [1], например:

1. NHC-32 - електронен терморегулатор с LED индикация;
2. NHC-33 / NHC-34 / NHC-34M - терморегулатори с LCD дисплей;
3. NHC-56M - интелигентен терморегулатор с цветен TFT дисплей;
4. NHC-57W - интелигентен терморегулатор с 2.4" цветен IPS дисплей и ефектни светещи сензорни бутони.

Сред най-новите разработки на фирма TESH са електрическите бойлери ModEco Cloud - част от фамилията уреди TESH Cloud, предлагащи функции за управление през Интернет, които имат вграден контролер с много функционални възможности [2].

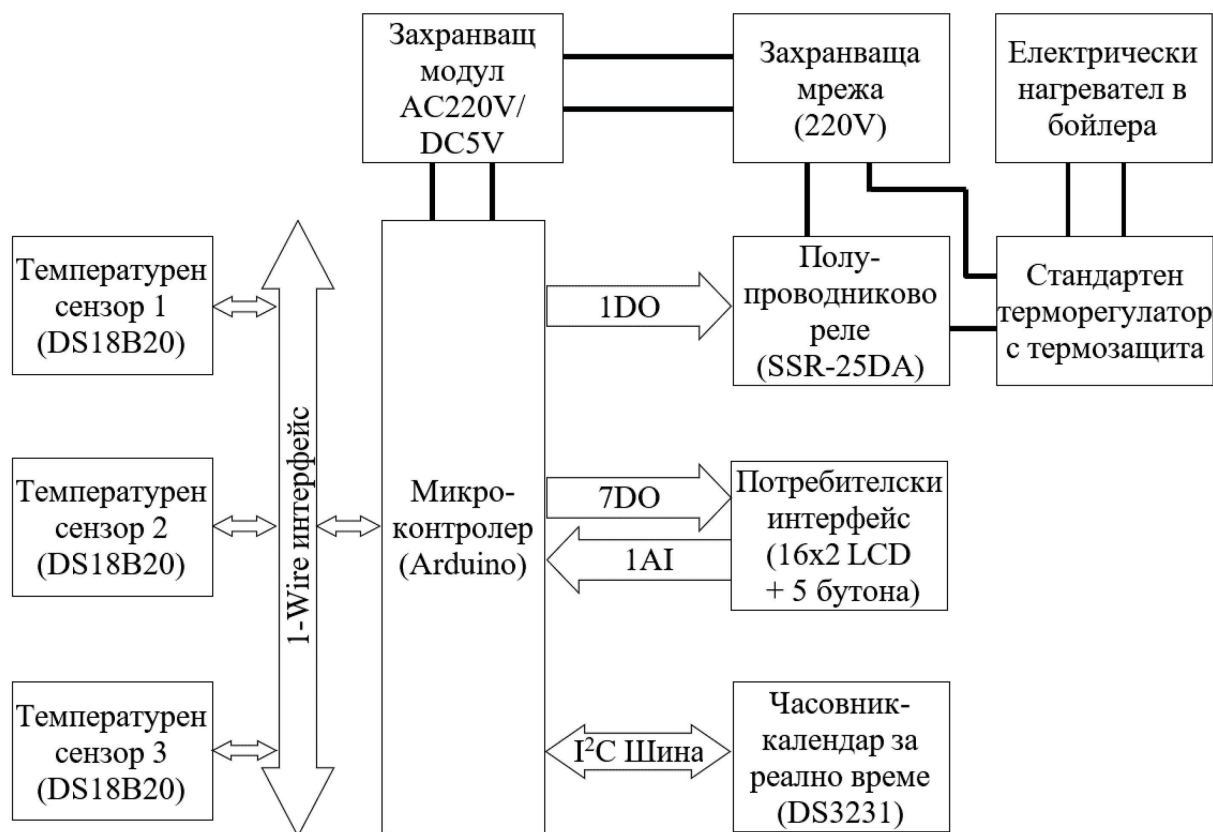
Направеното проучване и анализ на работата на съществуващи бойлери с електронно управление, дефинира следните по-важни функционални възможности и изисквания към разработваната енергийно ефективна система за мониторинг и управление:

- Да поддържа два режима на работа – ръчен и автоматичен. При ръчен режим бойлера работи с една зададена температура, подобно на нормален бойлер, а при автоматичен режим заданието за температура ще се променя според текущия час от денонощието, което ще се програмира за две часови зони, съответстващи на дневна и нощна тарифа за електроенергия;
- Енергоефективността на бойлера да се повиши, чрез промяна на начина за управление на нагревателя и отчитането на текущата температура в различни зони на водосъдържателя;
- Реализиране на удобен и многофункционален потребителски интерфейс чрез бутони и извеждане на информация и настройки на LCD екран;
- Нивото на безопасност на съществуващия бойлер, в който се вгражда контролера, да се запази или да се повиши;
- Ниска цена за реализация;
- Възможност за бъдещо функционално надграждане (софтуерно), без нужда от хардуерна промяна.

Дефинираните функционални възможности и изисквания към разработваната система могат да бъдат осъществени по представената функционална блок-схема на фиг. 1.

В блок-схемата на проектираната система, управлението на всички модули и контрола на загряване на водата се извършва от микроконтролер, който е базиран на Arduino развойна среда.

В системата трябва да се следят няколко основни показателя – температура, час и режим на работа. За тази цел в блок-схемата са предвидени часовник-календар за реално време и три цифрови температурни сензора. Предвидено е часовникът да комуникира чрез



Фиг. 1. Функционална блокова схема на разработваната система

I2C интерфейс с микроконтролера, а температурните сензори - по One Wire цифров интерфейс. Те измерват температурата на корпуса на водосъдържателя (трябва да се монтира под външната изолация на бойлера), а микроконтролерът периодически прочита техните измерени стойности и пресмята текущата температура на водата чрез определени математически зависимости.

В блоковата схема е предвидено полупроводниково реле за силовата част (драйвер), което осъществява връзката между Ардуино модула и електрическият нагревател на бойлера. То включва и изключва захранването му с голяма мощност, а се управлява с изведен маломощен сигнал от микроконтролера програмно.

Към силовата част релето е свързано последователно на фазовия проводник на нагревателния елемент като с цел безопасност е запазен стандартния терморегулатор, който ще изключи нагревателния елемент в случай, че останалата част не сработи адекватно.

За локално визуализиране на текущото състояние и за настройване на параметрите на загряване, в блоковата схема е предвиден разширителен модул с 16x2 LCD и 5 бутона.

За съхраняване на задаваните параметри на загряване на водата, както и за текущите настройки, в схемата е нужна енергонезависима памет – например EEPROM с достатъчен обем.

### Избор на компоненти за реализация

За конкретна прототипна реализация на системата е направен избор на компоненти и модули. На фиг. 2 е представена обобщена принципна електрическа схема на разработваната система.

Избраните компоненти и модули са:

- Микроконтролерна развойна платка Ардуино Uno R3, изградена с микропроцесор ATmega328P [3]. Реализира програмно цялостното управление на бойлера чрез температурни сензори, изпълнителни механизми и реализира потребителският интерфейс. Разполага с вгра-

дена EEPROM памет за съхраняване на зададените настройки;

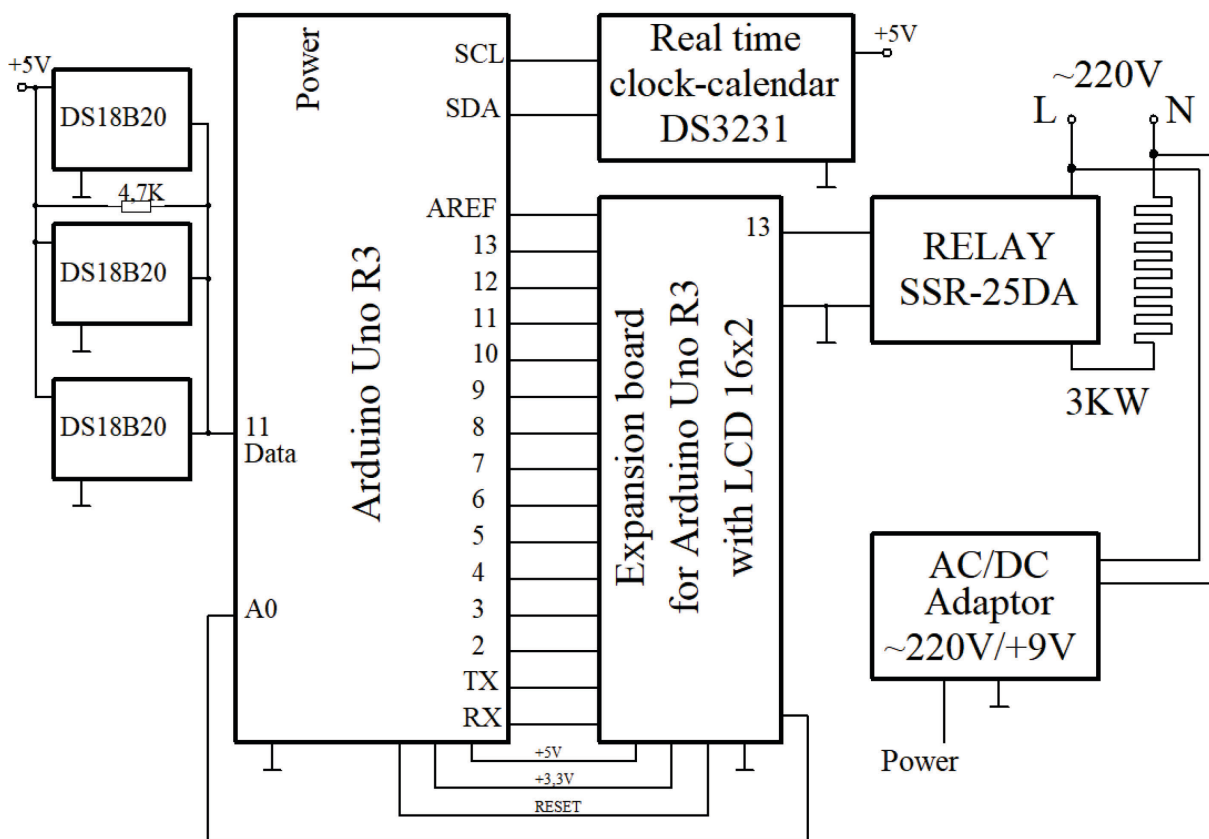
- За реализиране на потребителски интерфейс е избрано да се използва комбиниран разширителен модул за визуализация и въвеждане с бутони, в който се обединяват течнокристален дисплей (LCD) и 5 функционални бутона (LCD KeyPad Shield For Arduino) [4]. Модулът е с двуредов LCD дисплей с 16 символа на ред. За да не бъдат заети цифровите линии, бутоните са свързани чрез делител на напрежение към аналогов вход A0;

- Като драйвер за връзка между управляващите сигнали на Arduino Uno към нагревателния елемент на бойлера е избрано да се използва полупроводниково (солид стейт) реле за по-стигане на голямо бързодействие на превключване, висока надеждност и дълъг експлоатационен срок. Тъй като мощността на нагревателите на битовите бойлери е обикновено около 3 kW, това означава, че консумирания ток от захранващата мрежа при напрежение 220 V е около 14

A. От съображения за резерв по мощност на релето е избран модел с максимален ток на товара 25A. На тези параметри отговаря реле SSR-25DA на фирма "Fotek" [5], което е еднофазно, с комутационно напрежение от 24VAC до 380 VAC и управляващо входно напрежение от 3 VDC до 32 VDC;

- За осигуряване на допълнителна защита на системата е избрано да се използва стандартното реле на бойлера с вградената термозащита;

- За измерване на температурата на водата в бойлера е избрано да се използват 3 бр. цифрови сензора DS18B20, които използват 1-Wire интерфейс за комуникация към микроконтролера [6]. Те трябва да се монтират така, че да измерват температурата на водосъдържателя в горната, средната и долната му част. Сензорите имат широк температурен обхват и предлагат висока точност ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ) за целия работен обхват. Сензорът се предлага също и във водоустойчив корпус (сонда) от неръждаема стомана, подходящ за разработката. Необходимо е да



Фиг. 2. Принципна електрическа схема на разработваната система

се свърже резистор със стойност 4,7 - 10 kΩ между изводите за +5V и данни;

- За точно и автономно измерване на големи времеви интервали, нужни за превключване на режимите на работа при смяна на дневна и нощна тарифа, е предвиден модул на часовник за реално време DS3231 [7]. Той се свързва с микроконтролера чрез I2C интерфейс. Тъй като поддържа функция за календар е възможно да се задават също циклични задания за дните от седмицата, както и за по-дълги интервали;

- За постояннотоково захранване на системата може да се използва мрежов адаптер с параметри 230V AC/ 9V DC с товарен ток 2 А.

### Потребителски интерфейс

За реализацията на потребителския интерфейс е използван LCD keypad модул с 2 реда и 16 символа на ред, който разполага с 5 бутона – select, up, down, left и right. За визуализиране на текущото състояние и зададените настройки в системата са проектирани 5 екранни шаблона, а за въвеждане на стойности за 14 параметъра - 4 основни екрани. Предвидено е тези екрани да се сменят през 3 секунди, циклично, в избран ред. Поради ограниченото място на дисплея са въведени съкратени названия на параметрите и са зададени ограничения за разрядността на числата.

На първия екран (фиг. 3) се визуализират:

- Ред 0 - текущото време (дата и час);
- Ред 1 – текуща средна температура на водата (в °C) и състоянието на нагревателя - включен / изключен (Н = ON/OFF).

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |       |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|-------|
| 2 | 0 | 2 | 4 | . | 1 | 1 | . | 2 | 1 |  | h | h | : | m | m     |
| T | = | X | X | . | X |   |   | ° | C |  |   |   | H | : | O F F |

Фиг. 3. Информационен екран 0

На следващия екран (фиг. 4) се визуализират температурите от трите сензора в системата – означенията Ts1, Ts2 и Ts3

на Ред 0, а на Ред 1 - стойностите им във формат XX.X в °C.

|   |   |   |   |  |  |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|--|--|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|
|   | T | s | 1 |  |  | T | s | 2 |   |  | T | s | 3 |   |   |
| X | X | . | X |  |  | X | X | . | X |  |   | X | X | . | X |

Фиг. 4. Информационен екран 1

Следващият информационен екран (фиг. 5) визуализира на Ред 0 - текущото относително количество на загрята вода в бойлера - чрез бар граф и като стойност XX.X в %. На Ред 1 е текущата тарифа Tarrif = Day / Night.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|
| @ | @ | @ | @ | @ | @ | @ | * | * | * |  | X | X | . | X | % |
|   |   |   | T | a | r | r | i | f | : |  | N | i | g | h | t |

Фиг. 5. Информационен екран 2

На фиг. 6 се визуализират текущо зададените температурни настройки в °C:

- Ред 0 - граничните стойности - минимална (Tl), максимална (Th) и надпис „dt“;
- Ред 1 - дневна (Td) и нощна (Tn) температури и стойността на температурният хистерезис (dt).

|   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |  |   |   |
|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|--|---|---|
| T | l | = | X | X |  | T | h | = | X | X |  | d | t |
| T | n | = | X | X |  | T | d | = | X | X |  |   | X |

Фиг. 6. Информационен екран 3

На следващия екран (фиг. 7) се визуализира на Ред 0 текущият режим на работа (MODE) – автоматичен (AUTO) или ръчен (MANUAL). На Ред 1 се извежда зададената температура (Tman) в °C, само когато MODE = MANUAL.

|  |  |  |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |
|--|--|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|
|  |  |  |  | M | O | D | E | : |   |   | M | A | N | U | A | L |  |  |
|  |  |  |  | T | m | a | n | = | X | X | . | X |   | ° | C |   |  |  |

Фиг. 7. Информационен екран 4

За задаване на стойности са предвидени следните екрани: SETDATE (година, месец, ден, ден\_от\_седмицата); SETTIME (часове, минути, секунди); SETTEMP (Tmin, Tmax, Tday, Tnight, Tmanual, Tdelta); SETMODE (M=auto/manual). Въвеждането на стойност на разряд от число за текущо избран настройван параметър се извършва,

чрез бутоните Up и Down, избор на разряд – чрез Left и Right, а запаметяването – чрез Select.

### **Алгоритъм на работа**

При стартиране на контролера се извършва еднократно инициализиране на температурните сензори чрез команди през 1-Wire интерфейса, инициализира се I2C шината и свързаният чрез нея часовник-календар, инициализират се също цифровите изводи, LCD дисплея и комуникацията по сериен интерфейс. След това се прочитат текущите дата и час от часовника и всички настройки от EEPROM паметта, привеждат се в начално състояние всички променливи и се извежда начален приветствен текст към LCD. От този момент стартира безкраен цикъл с основната програма, в която се извършват последователно следните действия: четат се текущите температури от трите сензора, изчисляват се средна температура и количество загрята вода в проценти и се проверява за натиснат бутон четири пъти в секунда. Актуализират се и се извеждат информационните екрани към LCD или се извършват настройки при регистриран натиснат и разпознат бутон.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

При разработването на системата са изпълнени заложените изисквания и функционалност, повишена е надеждността на работа и удобството при експлоатация от потребителя спрямо обикновения бойлер. Възможни са функционални подобрения при бъдещо развитие в системата като се добавят екрани за извеждане на месечната консумирана електроенергия, да се промени методиката за изчисляване на оставащо количество топла вода в бойлера (в % и в литри), като за това е необходимо да се

промени единствено софтуерната част на контролера.

*Този доклад е финансиран по проект № 2405Е „Усъвършенстване на обучение-то чрез информационни и комуникационни технологии“ за научни изследвания на Технически университет – Габрово.*

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Naturela Electronics, Electronic thermostats for electric and combination boilers (translated), <https://www.naturela-bg.com/bg/products/elektronni-termoregulatori/>, (Accessed 11.2024).
- [2] TESHY, ModEco Cloud with Internet control (translated), <https://tesy.bg/produkti/elektricheski-bojleri/bojleri-modeco/modeco-cloud-s-upravlennie-prez-internet>, (Accessed 11.2024).
- [3] Arduino Docs, UNO R3 SMD | Arduino Documentation, <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3-smd/>, (Accessed 11.2024).
- [4] DFROBOT, DFR0009 LCD KeyPad Shield For Arduino, [https://wiki.dfrobot.com/LCD\\_KeyPad\\_Shield\\_For\\_Arduino\\_SKU\\_DFR0009](https://wiki.dfrobot.com/LCD_KeyPad_Shield_For_Arduino_SKU_DFR0009), (Accessed 11.2024).
- [5] FOTEK CONTROLS CO., LTD., SSR-F-25DA: Solid State Module, <https://www.fotek.com.tw/en-gb/product-category/143>, (Accessed 11.2024).
- [6] Analog Devices Inc., DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer, PDF, 19-7487; Rev 6; 7/19, <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS18B20.pdf>, (Accessed 11.2024).
- [7] Analog Devices Inc., DS3231 Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal, PDF, 19-5170; Rev 10; 3/15, <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS3231.pdf>, (Accessed 11.2024).