

Дмитро СТАЦЕНКОКиївський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0002-3064-3109>
e-mail: statsenko.dv@knutd.com.ua**Володимир СТАЦЕНКО**Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0002-3932-792X>
e-mail: statsenko.v@knutd.edu.ua**Євгенія РОМАНЮК**Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0003-4805-959X>
e-mail: romanyuk.yo@knutd.edu.ua**ОСИПЕНКО В.В.**Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0002-1077-1461>
e-mail: osypenko.vv@knutd.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ 1-WIRE У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ «РОЗУМНОГО БУДИНКУ»

У статті розглядаються комп'ютерні системи, які використовуються у «Розумному будинку». Проведено порівняльний аналіз цих комп'ютерних систем. Наголошено, що такі системи мають ряд переваг, які позитивно впливають на життя та безпеку людини. Використання пристроїв для вимірювання температури широко використовується у комп'ютерних системах для моніторингу умов «Розумного будинку». Необхідність встановлення великої кількості датчиків призводить до зростання складності таких комп'ютерних систем. Важливу роль у розробці систем відіграють протоколи з'єднання датчиків з мікроконтролером.

Представлені дві імітаційні моделі комп'ютерних систем «Розумного будинку» для визначення температури в приміщенні на базі класичного протоколу з'єднання так і з використанням протоколу 1-Wire. У імітаційній моделі на базі стандартного протоколу використано: плата Arduino Uno на базі мікроконтролера Atmega328p, датчики температури LM35 та мультиплексор 74HC4051D. У імітаційній моделі з використанням протоколу 1-Wire використано: плата Arduino Uno та цифровий датчик температури DS18B20. Наведено інформацію про роботу протоколу 1-Wire, який широко застосовується для підключення великої кількості датчиків з таким інтерфейсом, а саме існує теоретична можливість адресації необмеженої кількості подібних пристроїв на однопровідній лінії. В імітаційній моделі системи з використанням протоколу 1-Wire кількість датчиків під'єднаних до одного виводу збільшена до 12 з метою аналізу та демонстрації можливостей системи. За результатами моделювання представлені наступні параметри: кількість можливих з'єднань, складність конструкції, використання компактного програмного коду, частота тактового сигналу та вартість комп'ютерних систем «Розумного будинку».

У висновках подано результати проведеного аналізу розглянутих імітаційних моделей комп'ютерних систем. Наведено переваги та недоліки систем з 1-Wire протоколом.

Ключові слова: імітаційна модель, комп'ютерна системи, 1-Wire, датчик температури, Arduino UNO, мікроконтролер.

Dmytro STATSENKO, Volodymyr STATSENKO, Yevheniia ROMANIUK, Volodymyr OSYPENKO
Kyiv national university of technologies and design

USE OF THE 1-WIRE PROTOCOL IN SMART HOME COMPUTER SYSTEMS

The article examines the computer systems used in the "Smart House". A comparative analysis of these computer systems was carried out. It was emphasized that such systems have a number of advantages that have a positive impact on human life and safety. The use of temperature measuring devices is widely used in computer systems to monitor Smart Home conditions. The need to install a large number of sensors leads to an increase in the complexity of such computer systems. Protocols for connecting sensors to a microcontroller play an important role in system development.

The analysis of the latest publications and studies provides information on the widespread use of the 1-Wire protocol in various fields to solve practical problems and the need for further improvement of systems using this protocol.

Two simulation models of "Smart House" computer systems for determining indoor temperature based on the classic connection protocol and using the 1-Wire protocol are presented. The simulation model based on the standard protocol uses: an Arduino Uno board based on an Atmega328p microcontroller, LM35 temperature sensors and a 74HC4051D multiplexer. In the simulation model using the 1-Wire protocol, the following are used: Arduino Uno board and DS18B20 digital temperature sensors. Information is given on the operation of the 1-Wire protocol, which is widely used to connect a large number of sensors with such an interface, namely, there is a theoretical possibility of addressing an unlimited number of similar devices on a single-wire line. In the simulation model of the system with the used 1-Wire protocol, the number of sensors connected to one output is increased to 12 in order to analyze and demonstrate the capabilities of the system. According to the simulation results, the following parameters are presented: the number of possible connections, the complexity of the design, the use of compact software code, the frequency of the clock signal, and the cost of the Smart Home computer systems.

The results of the analysis of the considered simulation models of computer systems are presented in the conclusions. Advantages and disadvantages of systems with 1-Wire protocol are given.

Keywords: simulation model, computer systems, 1-Wire, temperature sensor, Arduino UNO, microcontroller.

Постановка проблеми

Системи «Розумного будинку» виконують різноманітні функції аналізу подій, що відбуваються в приміщеннях різних типів. Обробка подій відбувається відповідно до програми, що завантажена у мікроконтролер, який аналізує та відправляє необхідні команди або сповіщення до підключених пристроїв. Налаштування систем «Розумного будинку» відбувається автоматично та налаштовує роботу всіх систем відповідно до вимог користувача, часу доби, його положення в приміщенні, погоди та зовнішнього освітлення для забезпечення комфортного стану перебування у будинку [1].

Системи «Розумного будинку» об'єднують підсистеми наступного типу у єдину для керування пристроями та додатковими елементами в приміщенні [2]: 1) Підсистеми управління та зв'язку; 2) Підсистема вентиляції, опалення та кондиціонування; 3) Підсистема освітлення; 4) Підсистема електроживлення; 5) Підсистема безпеки та моніторингу.

Підсистема вентиляції, опалення та кондиціонування забезпечує надходження свіжого повітря, регулювання температури та вологості. Підсистема, такого типу, дозволяє знизити витрати енергії за рахунок раціонального використання температури середовища. До цієї підсистеми входять: 1) Дистанційне керування кондиціонерами приміщення; 2) Механізми автоматичного відкриття або закриття вікон приміщень для регулювання температури та вологості приміщення за рахунок зовнішніх умов.

Одним з елементів, який широко застосовується у даних підсистемах є датчик температури. В більшості випадків, датчики температури використовуються для одночасного дистанційного вимірювання та контролю температури в різних частинах приміщення та пристроях «Розумного будинку» [3]. Використання значної кількості датчиків температури у приміщеннях «Розумного будинку» пов'язана з необхідністю своєчасного визначення подій пов'язаних з підвищенням або зниженням температури та прийняття заходів відповідних до програми системи керування.

Це, у свою чергу, призводить до зростання складності комп'ютерної системи «Розумного будинку», а також до підвищення витрат необхідних для розробки та встановлення такої системи. Проте, готові до придбання рішення не завжди задовольняють всім вимогам, а їх вартість перевищує допустимі межі.

Для вирішення такої проблеми використовуються сучасні мікроконтролери та різноманітні датчики. Важливу роль в цьому будуть відігравати інтерфейс та протоколи з'єднання, які покращують зв'язок та передачу сигналів між пристроями.

Аналіз останніх джерел

Огляд публікацій за останні роки показав широке використання протоколу 1-Wire підключення в різних галузях людської діяльності.

У статті [4] представлено систему автоматичного керування побутовими пристроями у домашніх умовах, яка використовує 1-Wire протокол в якості каналу зв'язку для шифрування передачі даних та підвищення захищеності від кібер-злочинців.

В роботі [5] розглянуто практичне застосування 1-Wire цифрових датчиків температури. Завдяки поєднанню практичних інженерних умов температурне поле вертикально заглибленого однострунного теплообмінника ґрунтового теплового насоса перевіряється 1-провідними цифровими датчиками в широкій зоні. Представлена в статті інтелектуальна система вимірювання температури дозволяє довгостроково проводити широкомасштабні дослідження температурного поля підземного теплообмінника.

У дослідженні [6] запропонована система моніторингу замерзлих глибоких свердловин, яка розроблена за технологією 1-Wire, відповідно до середовища застосування моніторингу замерзання для великих відстаней і кількох точок вимірювання при будівництві вугільної шахти на кілометр.

У статті [7] представлено систему моніторингу температури на основі 1-Wire протоколу зв'язку та мікроконтролера AVR фірми Microchip. Апаратна реалізація запропонованої системи моніторингу температури використовує цифровий датчик температури DS18B20, який дозволяє декільком DS18B20 працювати на одній шині 1-Wire. Таким чином, один мікроконтролер PIC можна використовувати для керування багатьма DS18B20, розподіленими на великій території.

У дослідженні [8] представлено недорогу систему збору даних і керування на основі мікроконтролера AVR фірми Microchip через 1-Wire протокол. У цій системі всі датчики вологості та температури підключені до контакту цифрового порту мікроконтролера. Основна мета цієї системи — зменшити кількість проводів від датчика до контролера та усунути залежність від вбудованого аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера.

На основі аналізу останніх досліджень і публікацій, в даній роботі, основну увагу присвячено підключенню датчиків до мікроконтролерів за допомогою протоколу 1-Wire.

Метою роботи є: порівняльний аналіз використання протоколу 1-Wire та традиційного підключення датчиків температури до мікроконтролеру комп'ютерних систем «Розумного будинку».

Виклад основного матеріалу

Розробка та створення комп'ютерних систем «Розумного будинку» передбачає використання достатньо великої кількості датчиків під'єднаних до мікроконтролера, який виконує основні функції обробки, аналізу та передачі даних з підключених пристроїв. В статті розглянуто декілька моделей підключення датчиків до мікроконтролера. Аналіз імітаційних моделей проведено за допомогою програмного забезпечення для автоматизованого проектування електронних схем Proteus [9].

На рис. 1 наведено імітаційну модель комп'ютерної системи призначеної для визначення

температури у приміщенні «Розумного будинку».

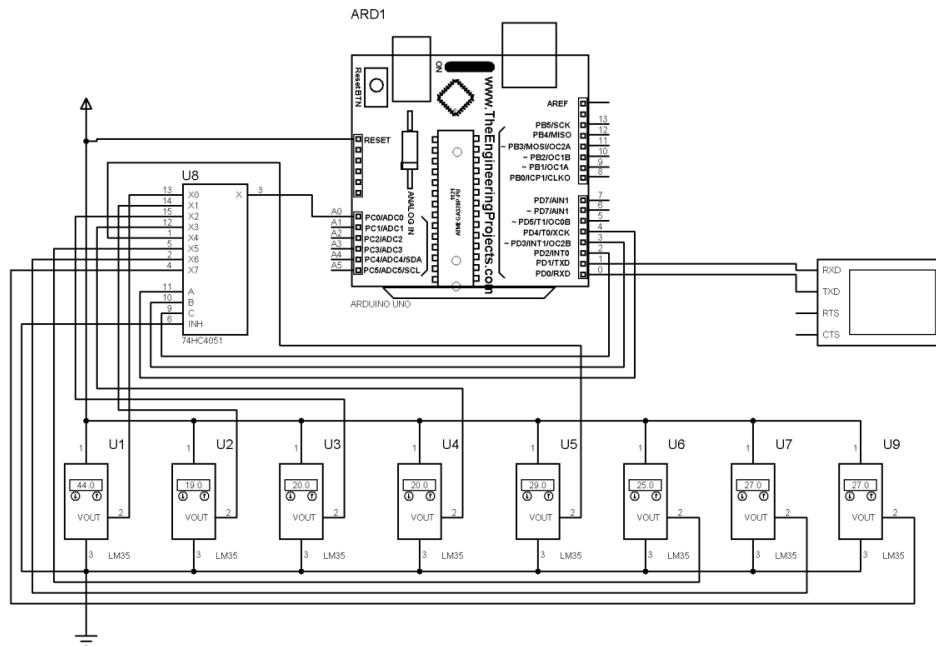


Рис. 1. Імітаційна модель комп'ютерної системи «Розумного будинку» з традиційним підключенням

У даній моделі використані елементи: плата Arduino Uno на базі мікроконтролера Atmega328p [10], датчики температури LM35, мультиплексор 74HC4051D та Virtual Terminal для виводу обробленої інформації з датчиків на консоль персонального комп'ютера.

Датчик температури LM35 є недорогою інтегральною схемою, достатньо надійною та точною при використанні у житлових приміщеннях «Розумного будинку» (похибка вимірювання становить близько $\pm 0,5$ °C) [11]. Датчик LM35 має лінійну залежність вихідного сигналу (температура/напруга), низький вихідний опір, вбудовану схему калібрування. Датчик працює в діапазоні від -55 °C до 150 °C. Аналоговий сигнал на виході прямо пропорційний до зміни температури в градусах Цельсія, на кожен градус припадає 10mV . Струм споживання датчика становить близько $60\ \mu\text{A}$, саморозігрів LM35 становить $0,1$ °C.

В зв'язку з тим, що до плати Arduino Uno можна підключити лише п'ять аналогових пристроїв одночасно, до імітаційної моделі додано мультиплексор. Плата 74HC4051D – 8-канальний аналоговий мультиплексором. Вона має три цифрових входів (S0 – S2), вхід активації низького рівня, вісім незалежних I/O (Y0 – Y7) та загальний I/O (Z). Якщо вхід активації низького рівня знаходиться в низькому рівні, то вибирається один із восьми перемикачів за допомогою S0 – S2. Коли вхід активації низького рівня знаходиться у високому рівні, всі перемикачі мають високий імпеданс у відключеному стані незалежно від S0 – S2. [12].

Представлена імітаційна модель дозволяє підключити вісім датчиків в даному випадку, а при підключенні додаткових мультиплексорів кількість датчиків може сягати 40. Проте, зростає кількість з'єднань та додаткових елементів, необхідних для покращення ефективності роботи комп'ютерної системи «Розумного будинку».

З метою підвищення ефективності систем «Розумного будинку» можна використати протокол 1-Wire для підключення більшої кількості датчиків без необхідності встановлення додаткових модулів, або заміни мікроконтролера. Протокол 1-Wire – призначений для передачі даних в обидві сторони по одному з'єднанню. Режим зв'язку в цьому протоколі - асинхронний і напівдуплексний. При цьому завжди є ведучий – один пристрій на шині, який відсилає команди, та ведені – пристрої, які ці команди приймають та, за необхідністю, відповідають на них. Кожний з ведених пристроїв підключається безпосередньо до загальної шини.

Протокол 1-Wire не складний у реалізації і вимагає для зв'язку всього декілька дротів (шина даних, земля та за необхідністю живлення); проте також має недоліки, а саме висока чутливість до часу та завад. Також 1-Wire не призначений для передачі великих об'ємів інформації та для швидкісного обміну даними.

Протокол 1-Wire визначає фізичний, каналний, мережевий та транспортний рівні взаємодії.

Фізично для організації інтерфейсу необхідні як мінімум лінія для даних та "земля"; досить часто також для підключення пристроїв необхідна лінія живлення, проте деякі ведені пристрої можна під'єднати до паразитного живлення через шину даних. Спрощений приклад підключення шини представлений на рис. 2. Провідний пристрій *Master* і три ведені, *Slave1*, *Slave2* і *Slave3*.

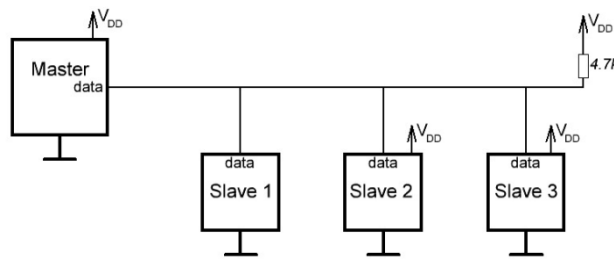


Рис. 2. Приклад підключення ведучого та ведених пристроїв за протоколом 1-Wire.

Обмін інформацією ведеться так званими тимчасовими або тайм-слотами (60 мкс): один тайм-слот служить для обміну одним бітом інформації. Дані передаються біт за бітом, починаючи з молодшого біта молодшого байту. Під час обміну інформацією ведучий ініціює кожну зв'язок на бітному рівні. Передача кожного біта, незалежно від напрямку (передача чи прийом), має бути ініційована провідним.

Розглянемо 5 основних команд для зв'язку по шині 1-Wire: "Запис 1", "Запис 0", "Читання", "Скидання" та "Присутність". Сигнал "Запис 1" відповідає за те, що ведучий встановлює низький рівень протягом 1...15 мкс. Після цього, протягом частини тимчасового слота, що залишилася, він звільняє шину. Сигнал "Запис 0". Ведучий формує низький рівень протягом щонайменше 60 мкс, але з довше 120 мкс. Сигнал "Читання". Ведучий встановлює низький рівень протягом 1...15 мкс. Після цього підлеглий, якщо хоче передати 0, утримує шину низькому стані до 60 мкс; якщо ж підлеглий хоче передати 1, він просто звільняє лінію. Ведучий зазвичай сканує стан шини після 15 мкс після встановлення низького рівня на шині. Основні проблеми, що виникають під час реалізації читання-запису – це проблеми з часом, тобто "невитримування", або навпаки, "перетримування" тимчасових затримок під час читання лінії. Виникають ці проблеми через те, що часто відсутні додаткові правки на повільність мов програмування високого рівня. Сигнал "Скидання/присутність". В даному випадку часові інтервали імпульсів відрізняються. Ведучий встановлює низький рівень протягом 8 тимчасових слотів (480 мкс), а потім звільняє шину (сигнал "Скидання"). Якщо на шині присутній підлеглий, він повинен протягом 60 мкс після звільнення провідним шини встановити низький рівень тривалістю щонайменше 60 мкс (сигнал "Присутність"). Якщо такий сигнал не виявиться, то ведучий повинен вважати, що немає підключених пристроїв до шини і подальший зв'язок неможливий. Ця зв'язок сигналів завжди починає будь-який обмін інформацією між пристроями. Крім цього, потрібно враховувати, що будь-який ведений пристрій після отримання живлення відразу видає сигнал присутності. Сигнал "Скидання" дозволяє ведучому достроково завершити обмін інформацією – наприклад, якщо датчик температури передає всю свою пам'ять, а потрібно тільки перші два байти, які містять значення температури, то після отримання цих двох байт мікросхема просто може опустити лінію в нуль на потрібна кількість часу – датчик зрозуміє, що більше нічого не потрібно пересилати.

На рис. 3 показана імітаційна модель побудована на основі цього методу. В даній схемі використано цифровий датчик температури DS18B20 [13].

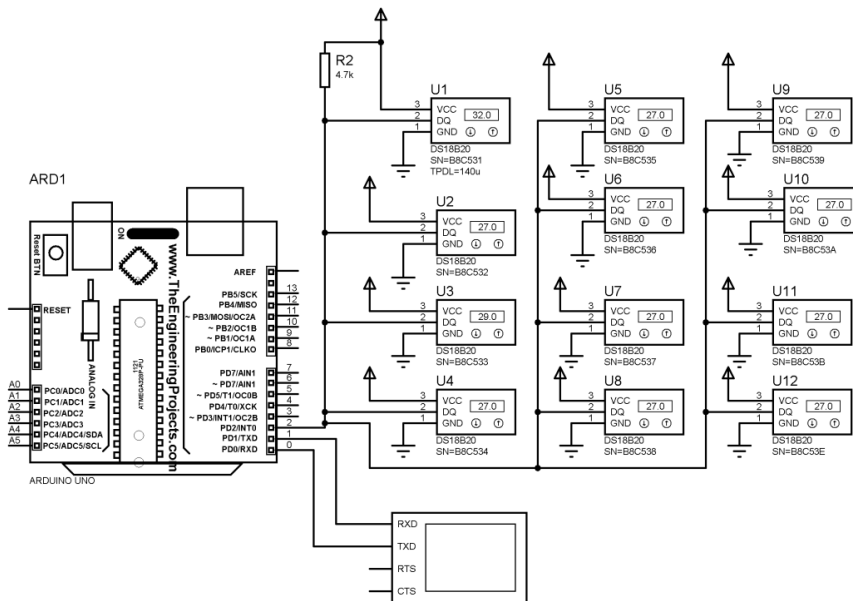


Рис. 3. Імітаційна модель комп'ютерної системи «Розумного будинку» з протоколом 1-Wire

Діапазон вимірюваних температур датчика DS18B20 становить від -55 до +125 °С. Зчитуваний цифровий код є прямим безпосереднім кодом вимірюного значення температури і не потребує додаткових перетворень. Роздільна здатність вбудованого АЦП може бути змінена в діапазоні від 9 до 12 розрядів

вихідного коду. Абсолютна похибка перетворення менше 0,5 °C в діапазоні контрольованих температур від -10 до +85 °C. Внутрішня енергонезалежна пам'ять температурних установок забезпечує запис довільних значень верхньої та нижньої межі установок. Мікросхема містить вбудований логічний механізм пріоритетної сигналізації в лінію про факт виходу температури за один з обраних порогів.

В розглянутих імітаційних моделях рис. 1 та рис. 3 обрані схожі за параметрами датчики та загальний тип мікроконтролера, а саме Arduino Uno. У моделі рис. 3 використовується один цифровий вивід (вивід 2), у той час, як у схемі підключеної за допомогою стандартних з'єднань використовується один аналоговий (A0) та три цифрових виводи мікроконтролера. На рис. 4 показано реалізація пошуку адрес всіх підключених до другого виводу мікроконтролера датчиків температури DS18B20.

```
Locating devices...Found 12 devices.  
Found device 0 with address: 2838C5880000002F  
Found device 1 with address: 2834C58800000052  
Found device 2 with address: 2832C588000000E0  
Found device 3 with address: 2838C58800000041  
Found device 4 with address: 2836C5880000003C  
Found device 5 with address: 283EC58800000090  
Found device 6 with address: 2831C588000000B9  
Found device 7 with address: 2839C58800000018  
Found device 8 with address: 2835C58800000065  
Found device 9 with address: 2833C58800000007  
Found device 10 with address: 2838C58800000076  
Found device 11 with address: 2837C5880000000B
```

Рис. 4. Результат пошуку адрес під'єднаних датчиків до мікроконтролера

У моделі рис. 1 використовуються всі виводи мультиплектора 74HC4051D, що збільшує та ускладнює кількість зв'язків, що негативно впливає на конструкцію комп'ютерної системи «Розумного будинку» та на код програми. Для збільшення числа датчиків під'єднаних до плати Arduino UNO (рис. 1), необхідно використати додаткові мультиплектори. Використовуючи плати 74HC4051D максимальна кількість підключених датчиків збільшиться до 32. Проте, комп'ютерна система з протоколом 1-Wire (рис. 3) дозволяє під'єднати до одного виводу мікроконтролера достатньо велику кількість датчиків, як показано на рисунку.

Для імітаційної моделі зі стандартним з'єднанням максимальна частота зчитування приблизно дорівнює 10 кГц, або 100 мкс. Час для запису/читання імітаційної моделі з протоколом 1-Wire в стандартному режимі буде становити не більше 60 мкс.

Вартість використаних елементів у обох імітаційних моделях комп'ютерних систем «Розумного будинку» становить: LM35 – 57,5 грн.; 74HC4051D – 10 грн.; DS18B20 – 26 грн.. Ціни вказані відповідно до магазинів України станом на грудень 2022 року. Відповідно до цього вартість обладнання необхідного для моніторингу та передачі даних у першому випадку (рис. 1) складає 470 грн. без врахування плати Arduino UNO. У другому варіанті (рис. 3) вартість обладнання бути дорівнювати 312 грн. при встановленні 12 датчиків температури DS18B20.

Висновки

Проведений аналіз комп'ютерних систем «Розумного будинку» на базі стандартного з'єднання та на базі протоколу 1-Wire показав наступні результати. Використання протоколу 1-Wire має наступні переваги: менша кількість зв'язків, проста для реалізації конструкція, компактність та простота програмного коду, можливість під'єднати до однієї і тієї ж плати мікроконтролера значну кількість датчиків. Частота тактового сигналу більша в порівнянні зі стандартним з'єднанням. Вартість системи з інтерфейсом 1-Wire менша на 33% ніж при стандартному підключенні. Основним недоліком такої комп'ютерної системи є те, що пошкодження на лінії 1-Wire призведе до виходу з ладу всієї системи.

Література

1. Alexandra Deschamps-Sonsino Smarter Homes. Apress Berkeley, CA. 2018. pp. 168.
2. Nagender Kumar Suryadevara, Subhas Chandra Mukhopadhyay Design, Implementation and Issues. Springer Cham, 2015. pp. 180.
3. Kamran Souri, Kofi A.A. Makinwa. Energy-Efficient Smart Temperature Sensors in CMOS Technology. Springer Cham, 2018. pp. 118.
4. Magre, Luz & Martinez Santos, Juan Carlos. Leveraging 1-wire Communication Bus System for Secure Home Automation / Colombian Conference on Computing. Communications in Computer and Information Science. Springer Verlag. 2017, pp 759-771.
5. Du, Zuliang & Lv, Z.. An intelligent temperature-measuring system based on 1-wire bus in underground heat exchanger / International Review on Computers and Software, Praise Worthy Prize, s.r.l.. 2012, pp. 1845-1849.
6. Wu, Tao & Zhou, Xiaomin & He, Xiaonan & Xu, Yan.. Design of distributed temperature-measuring system based on 1-wire bus for ultra-kilometre frozen deep well / Evolutionary Intelligence, Springer Nature. 2021.
7. Nasir, Ibrahim & Abdurrahman, Ahmed & Al-Hashmi, Salem & Mohammed, Hamd.. Design and Development of a Temperature Monitoring System Based on PIC Microcontroller and 1- Wire Communication Protocol / Journal of Pure & Applied Sciences. 2017, pp. 8-13.

8. Mohammad, Chowdhury & Masum Refat, Chowdhury.. Design and Implementation of Data Acquisition and Control System Using 1-Wire Protocol. 2021.
9. PCB Design and Circuit Simulator Software – Proteus. URL: <https://www.labcenter.com/>
10. Arduino UNO R3. Product Reference Manual. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
11. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
12. CMOS Digital Integrated Circuits 74HC4051D, 74HC4052D. URL: https://www.mouser.com/datasheet/2/408/74HC4051D_datasheet_en_20201203-959201.pdf
13. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermomete. URL: <https://arduino.ua/docs/DS18B20.pdf>

References

1. Alexandra Deschamps-Sonsino Smarter Homes. Apress Berkeley, CA. 2018. pp. 168.
2. Nagender Kumar Suryadevara, Subhas Chandra Mukhopadhyay Design, Implementation and Issues. Springer Cham, 2015. pp. 180.
3. Kamran Souri, Kofi A.A. Makinwa. Energy-Efficient Smart Temperature Sensors in CMOS Technology. Springer Cham, 2018. pp. 118.
4. Magre, Luz & Martinez Santos, Juan Carlos. Leveraging 1-wire Communication Bus System for Secure Home Automation / Colombian Conference on Computing. Communications in Computer and Information Science. Springer Verlag. 2017, pp 759-771.
5. Du, Zuliang & Lv, Z.. An intelligent temperature-measuring system based on 1-wire bus in underground heat exchanger / International Review on Computers and Software, Praise Worthy Prize, s.r.l.. 2012, pp. 1845-1849.
6. Wu, Tao & Zhou, Xiaomin & He, Xiaonan & Xu, Yan.. Design of distributed temperature-measuring system based on 1-wire bus for ultra-kilometre frozen deep well / Evolutionary Intelligence, Springer Nature. 2021.
7. Nasir, Ibrahim & Abdurrrhman, Ahmed & Al-Hashmi, Salem & Mohammed, Hamd.. Design and Development of a Temperature Monitoring System Based on PIC Microcontroller and 1- Wire Communication Protocol / Journal of Pure & Applied Sciences. 2017, pp. 8-13.
8. Mohammad, Chowdhury & Masum Refat, Chowdhury.. Design and Implementation of Data Acquisition and Control System Using 1-Wire Protocol. 2021.
9. PCB Design and Circuit Simulator Software – Proteus. URL: <https://www.labcenter.com/>
10. Arduino UNO R3. Product Reference Manual. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
11. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
12. CMOS Digital Integrated Circuits 74HC4051D, 74HC4052D. URL: https://www.mouser.com/datasheet/2/408/74HC4051D_datasheet_en_20201203-959201.pdf
13. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermomete. URL: <https://arduino.ua/docs/DS18B20.pdf>