

ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ТА ВІДПОВІДНОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

В. Я. Пуйда

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин
E-mail: volodymyr.y.puida@lpnu.ua

© Пуйда В. Я., 2023

Мобільні пристрої інформаційних, керуючих та телеметричних систем живляться від мобільних генераторів через перетворювачі змінного струму на постійний, від акумуляторних батарей чи за можливості прямо від сонячних панелей. Сонячні панелі, як правило, працюють у системі, що передбачає використання акумуляторів для забезпечення функціонування систем, коли сонячні панелі не працюють або не забезпечують достатньої потужності. Підзаряджати акумулятори можна від самих панелей за достатньої потужності сонячних панелей або від зовнішнього джерела постійного струму. Також для функціонування мобільних пристроїв використовують системи живлення тільки від акумуляторів, підзарядження яких здійснюється від генераторів чи за можливості від стандартних електричних мереж. Всі ці варіанти систем живлення мобільних пристроїв потребують оперативного контролю параметрів акумуляторних батарей та відповідних мереж постійного струму.

У роботі запропоновано варіант побудови пристрою для контролю таких параметрів: напруги мережі постійного струму, від якої живиться мобільний пристрій чи здійснюється зарядження акумуляторних батарей; контроль струму заряду акумуляторної батареї; контроль опору ізоляції кіл постійного струму; контроль наявності напруги зарядних пристроїв; контроль стану зарядних пристроїв; захист акумуляторних батарей від глибокого розряду; контроль стану комутаційних вузлів.

Пристрій реалізовано як двопроцесорну систему на базі мікроконтролерів STM32F103.

Для вимірювання постійного струму використано безконтактний сенсор типу LEM LA 100-R, який формує аналоговий сигнал, що пропорційний до значення постійного струму. Цей сигнал подається на 16-розрядний аналого-цифровий перетворювач. Оскільки ці мікроконтролери мають інтегровані 12-розрядні аналого-цифрові перетворювачі, для забезпечення необхідної точності вимірювання постійного струму та напруги використано зовнішній 16-розрядний аналого-цифровий перетворювач типу ADS1115, який передає інформацію в базовий процесор через інтерфейс I2C. Базовий процесор реалізує основні режими функціонування пристрою, а локальний процесор забезпечує обмін інформацією із загальною системою мобільного енергозабезпечення через інтерфейс RS-485.

Пристрій обладнаний системою індикації на базі LCD індикатора типу BC1602A та функціонально програмованих одиночних світлодіодних індикаторів, локальною клавіатурою для вибору режимів керування, портом USB для підключення додаткових модулів та портом SWD для програмування Flash пам'яті мікроконтролерів і налагодження програм у реальному часі. Під час функціонування в енергонезалежній пам'яті пристрою зберігаються параметри нестандартних подій.

Розроблено програмне забезпечення базового та локального процесорів, яке забезпечує функціонування пристрою в основних режимах та здійснює періодичну самодіагностику пристрою. Отриманими результатами можна скористатися в наукових дослідженнях та під час проєктування реальних автоматизованих систем живлення мобільних інформаційних систем.

Ключові слова: системи живлення мобільних інформаційних систем; акумуляторні батареї; заряджання акумуляторних батарей; мікроконтролер; LCD індикатор; інтерфейс I2C; інтерфейс USB; інтерфейс RS-485; інтерфейс SWD.

Вступ

Завдяки досягненням у мікроелектроніці, появі потужних мікропроцесорних засобів обробки інформації з низьким споживанням можливо розробляти і впроваджувати мобільні інформаційні системи у найрізноманітніших сферах діяльності, зокрема інформаційно-керуючі системи спеціального застосування, призначені для функціонування, наприклад, у польових умовах з різними кліматичними та механічними вимогами.

Важливою компонентою таких систем є система автономного живлення, яка повинна забезпечувати повнофункціональне виконання поставлених завдань та реалізацію усіх основних функцій.

Система автономного живлення мобільних пристроїв інформаційних, керуючих та телеметричних систем може ґрунтуватися на мобільних генераторах через перетворювачі змінного струму на постійний, від акумуляторних батарей чи у міру можливості прямо від сонячних панелей. Сонячні панелі, як правило, працюють в комплексі з акумуляторними батареями, які забезпечують функціонування відповідних мобільних систем, коли сонячні панелі не працюють або не забезпечують достатньої потужності. Підзаряджати акумулятори можна від самих панелей, якщо їх потужності достатньо, або від зовнішнього джерела постійного струму. Також для функціонування мобільних пристроїв використовують системи живлення тільки від акумуляторів, підзаряджання яких здійснюється від генераторів чи за змогою від стандартних електричних мереж. Всі ці варіанти систем живлення мобільних пристроїв потребують оперативного контролю параметрів акумуляторних батарей та відповідних мереж постійного струму.

Огляд літературних джерел

Розвиток методів цифрового оброблення сигналів та поява потужних мікропроцесорних компонентів забезпечили можливість впроваджувати у найрізноманітніших сферах діяльності мобільні інформаційні системи, які потребують відповідних систем живлення, що використовують акумуляторні батареї. Відповідно науковці досліджують контроль параметрів таких систем живлення, наприклад [1]. Розроблено відповідні міжнародні та вітчизняні стандарти ДСТУ, наприклад [2], [3].

Поширення набули системи живлення на основі сонячних панелей, які використовують для живлення найрізноманітніших комплексів, наприклад, у мобільній та портативній електроніці, електромобілях, авіації, космосі, для енергозабезпечення будівель тощо [4], [5], [6]. Такі системи, як правило, використовують акумуляторні батареї [7]. Для цього необхідні відповідні засоби, щоб забезпечити заряджання акумуляторних батарей з оптимальними параметрами, що дасть змогу максимально продовжити їх термін експлуатації та мінімізувати ризик виникнення аварійних ситуацій. Значну роль у цьому відводять пристроям контролю параметрів акумуляторних батарей та відповідних мереж постійного струму [8].

Постановка задачі

Розробити функціональну схему пристрою для контролю параметрів акумуляторних батарей та відповідної мережі постійного струму, який забезпечує контроль основних параметрів системи живлення та обмін інформацією із загальною системою мобільного енергозабезпечення. Здійснити апаратне макетування основних вузлів дослідного зразка пристрою для контролю параметрів акумуляторних батарей та відповідної мережі постійного струму. Розробити базове програмне забезпечення для реалізації основних функцій пристрою.

Результати досліджень

Для розв'язання поставленої задачі запропоновано варіант побудови пристрою для контролю основних параметрів системи живлення: напруги мережі постійного струму, від якої живиться мобільний пристрій чи здійснюється заряджання акумуляторних батарей; контроль струму заряду

акумуляторної батареї; контроль опору ізоляції кіл постійного струму; контроль наявності напруги зарядних пристроїв; контроль стану зарядних пристроїв; захист акумуляторних батарей від глибокого розряду; контроль стану комутаційних вузлів. Крім цього пристрій забезпечує обмін інформацією із загальною системою мобільного енергозабезпечення через інтерфейс RS-485.

На рис. 1 наведено розроблену функціональну схему пристрою для контролю параметрів акумуляторних батарей та відповідної мережі постійного струму.

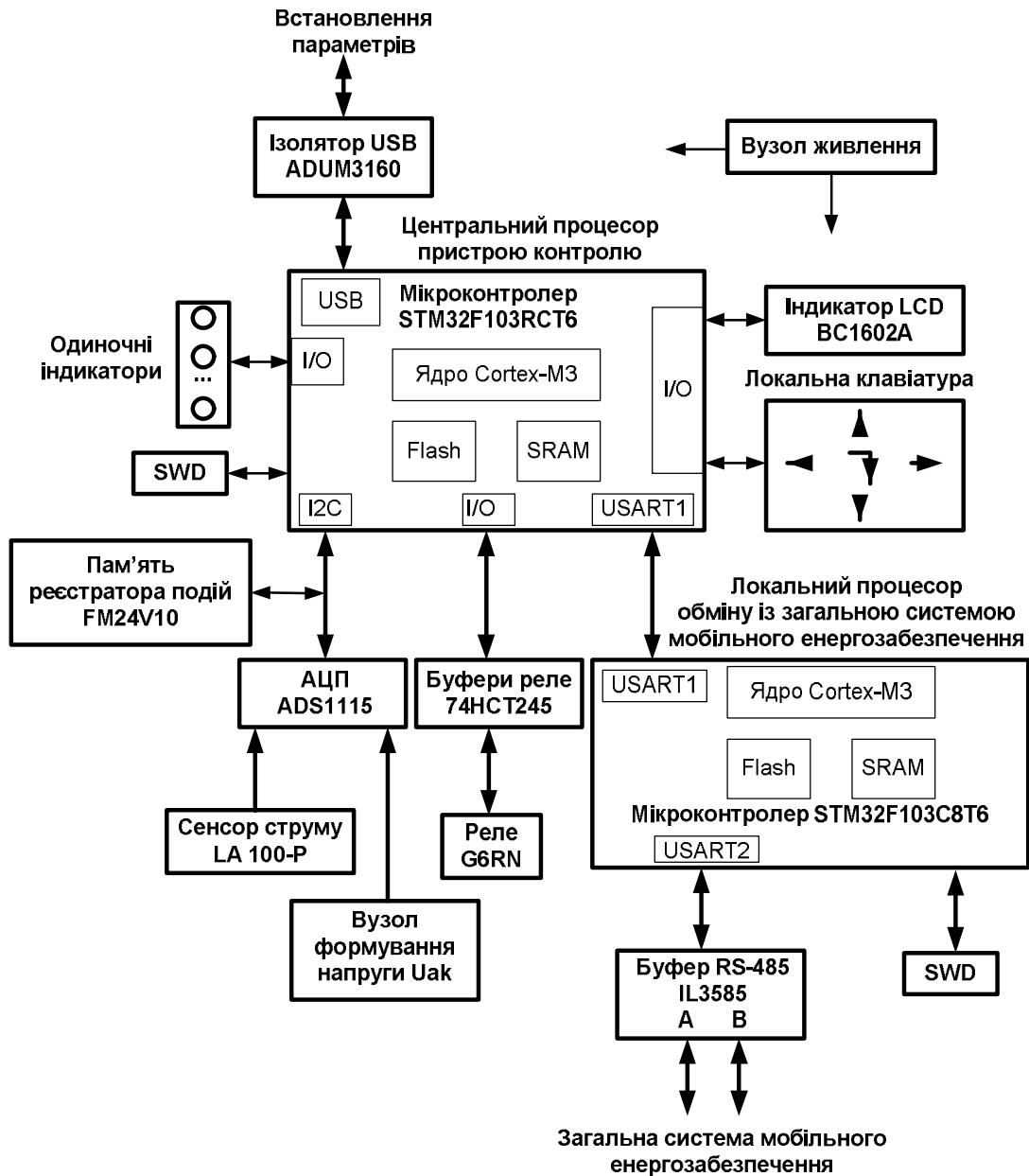


Рис. 1. Функціональна схема пристрою для контролю параметрів акумуляторних батарей та відповідної мережі постійного струму

Пристрій побудований на основі двопроцесорної архітектури. Центральний процесор пристрою реалізує основні функції контролю параметрів та формування команд на реле керування системою заряджання акумуляторів. Локальний процесор забезпечує обмін інформацією із загальною системою мобільного енергозабезпечення через інтерфейс RS-485. Обмін інформацією між

центральним та локальним процесорами відбувається через інтерфейс USART. Як базові елементи центрального та локального процесорів використано мікроконтролери STM32F103RCT6 та STM32F103C8T6 з ядром ARM Cortex-M3 [9], які відрізняються переважно об'ємами інтегрованої на кристалі пам'яті програм і відповідно ціною, що важливо за серійного виробництва. Потужне 32-розрядне ядро з максимальною робочою частотою 72 MHz забезпечує достатню продуктивність для реалізації функцій центрального локального процесора. Об'єм інтегрованої на кристалі пам'яті типу Flash, в якій міститься програма та константи, з можливістю захисту від несанкціонованого копіювання вмісту, становить 128 та 64Kb відповідно, чого достатньо для реалізації необхідних функцій кожного процесора. Також на кристалі мікроконтролерів інтегровано SRAM об'ємом 20Kb та широку номенклатуру периферійних вузлів, зокрема паралельні порти, послідовні інтерфейси типу I2C, USART, USB 2.0.

Мікроконтролер центрального процесора обслуговує різноманітні зовнішні периферійні компоненти: інтерфейс USB для переналаштування основних параметрів пристрою, одиночні світлодіодні індикатори, функціональне призначення яких можна перепрограмувати через спеціальне меню, інформаційне табло меню на базі рідкокристалічного індикатора LCD типу BC1602A на два рядки по 16 символів, кнопки локальної клавіатури для керування опціями меню, інтерфейс USART для обміну інформацією з локальним процесором, інтерфейс SWD для програмування Flash та налагодження програмних модулів. Операції налагодження через інтерфейс SWD підтримує більшість інтегрованих середовищ IDE для розроблення програмного забезпечення.

Мікроконтролер локального процесора забезпечує обмін інформацією із загальною системою мобільного енергозабезпечення через інтерфейс RS-485. Для цього використано мікросхему типу IL3585 із вбудованими ізоляторами ліній, які захищають процесор від зовнішніх електричних завад.

Для введення інформації про величину струму та напруги використано зовнішню мікросхему 16-розрядного аналого-цифрового перетворювача типу ADS1115 [10] оскільки інтегрований аналого-цифровий перетворювач на кристалах мікроконтролерів STM32F103 має 12 розрядів, а цього недостатньо для забезпечення необхідної точності вимірювання струму та напруги.

Вимірювання величини постійного струму реалізовано з використанням сенсора LEM LA 100-P [11] (рис. 2).

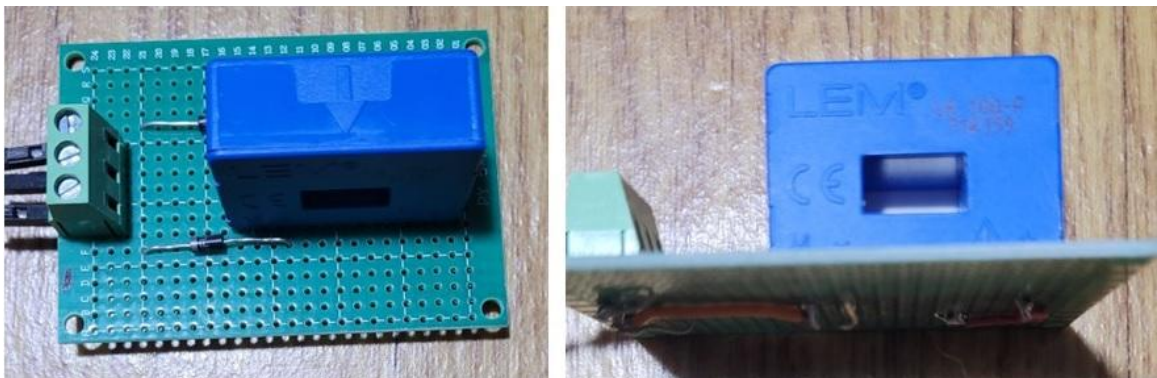


Рис. 2. Макет вузла сенсора для вимірювання величини постійного струму

Сенсор забезпечує вимірювання у колах живлення напругою 12–15 В значення постійного струму до 100 А з точністю 0,45 % в діапазоні температур –40 до +85 °С.

На рис. 3 зображено макет реле керування (1) з оптронною розв'язкою (2) та вузол для вимірювання напруги (3).

Розроблення програм центрального та локального локального обчислювачів виконано у free-середовищі STM32CubeIDE та free-середовищі генератора проєктів STM32CubeMX. Можна

використати поширене середовище Visual Studio 2022 Community із плагіном, наприклад, Visual GDB, який підтримує розроблення програм під Embedded з доволі широкою номенклатурою мікропроцесорів. Плагін VisualGDB платний, однак фірма надає можливість безплатного його використання, але тільки протягом місяця.

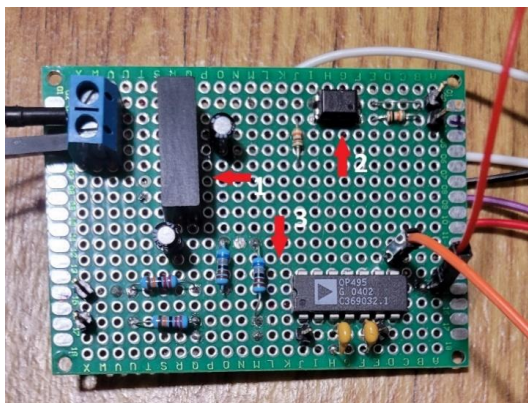


Рис. 3. Макет вузла для вимірювання напруги та реле керування системою заряджання акумуляторів



Рис. 4. Фото меню екрана вимірювання напруги та струму

Всі функції процесорів реалізовано на C з використанням стандартних бібліотек для мікроконтролерів типу STM32F103x. Налаштування програм здійснено в реальному часі на апаратній платформі через інтерфейс SWD. На рис. 5 зображено скріншот фрагмента програми меню пристрою контролю, який виводить на екран рідкокристалічного індикатора LCD типу BC1602A значення напруги (modUa) блока акумуляторних батарей та струму заряду (modIa1), які формує аналого-цифровий перетворювач ADS1115.

```

if (state==10) // WYMIRY (Uak, Ich)
{
    t=modUa;
    tmp=GetValue(0x5a);
    if (t<tmp)t=0.0;
    t=t*GetValueX2(0x0035);
    sprintf(str, "%u.%u Uak,V=%5.1f",N1,N2,t);//0.0 Вим (Uak)
    StrPrint1(str);

    t2=modIa1;
    tmp=GetValue(0x5a);
    if (t2<tmp)t=0.0;
    t2=t2*GetValueX2(0x0035);
    sprintf(str2, "    Ich,A=%6.2f",t2); //0.0 Вим (Ich)
    StrLowPrint (str2);

    if (FirstTime==0)
    {
        sprintf(str, "%u.%u Uak,V=%5.1f",N1,N2,t);//0.0 Вим (Uak)
        StrPrint1(str);

        sprintf(str2, "    Ich,A=%6.2f",t2); //0.0 Вим (Ich)
        StrLowPrint (str2);
    }

    else
    StrPrint1(str);
    StrLowPrint (str2);

    c=GetKey1();

```

Рис. 5. Скріншот фрагмента програми меню пристрою контролю

Перед виведенням інформації на індикатор здійснюють масштабування, помноживши на відповідний коефіцієнт. Значення кожного коефіцієнта коригується під час налагодження пристрою через відповідну опцію меню і зберігається в енергонезалежній пам'яті.

Висновки

Запропоновано варіант побудови пристрою для контролю таких параметрів системи живлення мобільних пристроїв інформаційних, керуючих та телеметричних систем: напруги мережі постійного струму, від якої живиться мобільний пристрій чи здійснюється заряджання акумуляторних батарей; контроль струму заряду акумуляторної батареї; контроль опору ізоляції кіл постійного струму; контроль наявності напруги зарядних пристроїв; контроль стану зарядних пристроїв; захист акумуляторних батарей від глибокого розряду; контроль стану комутаційних вузлів.

Розроблено функціональну схему пристрою на основі двопроцесорної архітектури з використанням мікроконтролерів серії STM32F103 із ядром Cortex-M3.

Виконано макетування окремих вузлів пристрою, розроблено базове програмне забезпечення центрального процесора, який реалізує основні функції пристрою, та локального процесора, що забезпечує обмін інформацією із загальною системою мобільного енергозабезпечення через інтерфейс RS-485.

Список літератури

1. Shcherban A. P., Larin V. Yu. *Imitatsiine modeliuвання skhem kontroliu protsesu rozriadu akumulatora. Tekhnolohichniy audyt ta rezervy vyrobnytstva*, 2016, No. 6(1), 21–26. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.86089. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_6%281%29__5.
2. IEC EN 61951-1:2017/A1:2023(Amendment)
Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes. Secondary sealed cells and batteries for portable applications. Part 1: Nickel-cadmium. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/39f1c8f9-9b58-413b-ace9-195a846abaab/en-61951-1-2017-a1-2023> (accessed: 5 October 2023).
3. DSTU EN IEC 62040-1:2020. *Systemy bezperebiinoho zhyvlennia.*
4. *Renewable Power Generation Costs in 2019.* /publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019. ISBN: 978-92-9260-244-4.
5. *Perovskite solar cells set new world record for power conversion efficiency.* By National University of Singapore, June 22, 2023. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://techxplore.com/news/2023-06-perovskite-solar-cells-world-power.html/> (accessed: 5 October 2023)
6. *Photovoltaic Technologies Beyond the Horizon: Optical Rectenna Solar Cell Final Report, 1 August 2001–30 September 2002*, B. Berland ITN Energy Systems, Inc. Littleton, Colorado. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy03osti/33263.pdf> (accessed: 5 October 2023).
7. Kolontaiievskiy Yu. P., Tuhai D. V., Kotelevets S. V. *Fotoenerhetyka : navch. posib.* / Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2019. 160 s.
8. *User manual of MPPT solar charge controller.* URL: <https://sun-energy.com.ua/image/pdf/V118-MPPT-Solar-Charge-Controller-20200817-19517.pdf> (accessed: 5 October 2023).
9. *stm32f103.* URL: https://www.st.com/content/st_com/en/search.html#q=stm32f103-t=products-page=1 (accessed: 5 October 2023).
10. *ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs.* URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf> (accessed: 5 October 2023).
11. *LEM LA 100-P.* URL: <https://www.lem.com/en/product-list/la-100p> (accessed: 5 October 2023).

DEVICE FOR CONTROLLING PARAMETERS OF ACCUMULATOR BATTERIES AND THE CORRESPONDING DIRECT CURRENT NETWORK

V. Puida

Lviv Polytechnic National University,
Computer Engineering Department

© Puida V., 2023

Mobile devices for information, control and telemetry systems are powered by mobile generators through AC to DC converters, by batteries or, if possible, directly by solar panels. Solar panels typically work in a system that involves the usage of batteries to keep the systems running when the solar panels are not working or not providing enough power. The batteries can be recharged from the panels themselves if the solar panels have sufficient power or from an external direct current source. Also, for some mobile devices, power systems are used only with batteries, which are recharged from generators or, if possible, from standard electrical networks. All these options of power supply systems for mobile devices require operational control of battery parameters and corresponding direct current networks.

The paper proposes a device for monitoring the following parameters: voltage of the direct current network from which the mobile device is powered or the batteries are charged; battery charge current control; control of insulation resistance of direct current circuits; control of the voltage of chargers; monitoring the status of chargers; protection of batteries from deep discharge; control of the state of switching nodes.

The device is implemented as a two-processor system based on STM32F103 microcontrollers.

A non-contact sensor of the LEM LA 100-P type is used to measure the direct current, which generates an analog signal proportional to the value of the direct current. This signal is passed to a 16-bit analog-to-digital converter. Given that these microcontrollers have integrated 12-bit analog-to-digital converters, an external 16-bit analog-to-digital converter of the ADS1115 type is used to ensure the necessary accuracy of direct current and voltage measurement, which transmits information to the basic processor via the I2C interface. The basic processor implements the main operating modes of the device, and the local processor provides information exchange with the general mobile power supply system through the RS-485 interface.

The device is equipped with an indication system based on an LCD indicator of the VS1602A type and functionally programmable single LED indicators, a local keyboard for selecting control modes, a USB port for connecting additional modules and a SWD port for programming the Flash memory of microcontrollers and debugging programs in real time. During operation, parameters of non-standard events are stored in the device's non-volatile memory.

The software of the basic and local processors has been developed, which ensures the functioning of the device in basic modes and performs periodic self-diagnosis of the device. The obtained results can be used in scientific research and in the design of real automated power systems for mobile information systems.

Key words: power systems of mobile information systems; batteries; battery charging; microcontroller; LCD indicator; I2C interface; USB interface; RS-485 interface; SWD interface.