



УДК 621.31  
doi:10.21685/2587-7704-2021-6-1-8



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Исследование и разработка системы беспроводного управления киловольтметром

**Андрей Николаевич Дергунов**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
seiki.akuma@yandex.ru

**Аннотация.** При разработке систем автоматизированного измерения высокого напряжения необходимым является создание системы беспроводного управления киловольтметром. Авторами сформулированы основные требования к устройству киловольтметра, осуществлен выбор беспроводной технологии, разработана структурная схема устройства.

**Ключевые слова:** киловольтметр, беспроводное управление, интерфейс, передача данных, измерение электрического напряжения

**Для цитирования:** Дергунов А. Н. Исследование и разработка системы беспроводного управления киловольтметром // Инжиниринг и технологии. 2021. Т. 6(1). С. 1–4. doi:10.21685/2587-7704-2021-6-1-8

## Research and development of a system for wireless kilovoltmeter control

**Andrey N. Dergunov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
seiki.akuma@yandex.ru

**Abstract.** Creation of a wireless control system for a kilovoltmeter is essential in developing systems for automated high voltage measurement. Basic requirements for the kilovoltmeter device have been formulated, the proper wireless technology has been selected, and a structural diagram for the device has been developed.

**Keywords:** kilovoltmeter, wireless control, interface, data transfer, voltage measurement

**For citation:** Dergunov A.N. Research and development of a system for wireless kilovoltmeter control. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2021;6(1):1–4. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2021-6-1-8

### Введение

Киловольтметры предназначены для измерений напряжений постоянного тока, действующих и амплитудных значений напряжений переменного тока. Данные приборы могут применяться для проверки измерительных трансформаторов напряжения, контроля и измерения сигналов при производстве и учете электроэнергии [1].

Вследствие необходимости разработки систем автоматизированного измерения высокого напряжения, таких как установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ, предназначенной для воспроизведений и измерений напряжений постоянного тока [2], встает вопрос дистанционного управления процессом измерения.

На рынке присутствует довольно много киловольтметров, обладающих внешними интерфейсами, позволяющими автоматизировать процесс измерения, однако в большинстве случаев этими интерфейсами являются RS-232 и USB, что влечет за собой либо использование длинного измерительного кабеля, либо подключения интерфейсного кабеля непосредственно к месту установки блока измерения.

Использование длинного измерительного кабеля сказывается на точности измерения, а подключение интерфейсного кабеля непосредственно к месту установки измерительного блока не является безопасным. Использование беспроводного интерфейса передачи данных решило бы эти пробле-



мы. Однако киловольтметров с беспроводными интерфейсами не так много. В связи с этим было решено разработать новый прибор серии СКВ, предназначенный для измерения высокого напряжения.

Выделим следующие требования, подлежащие рассмотрению:

- Киловольтметр должен состоять из трех блоков: делителя напряжения высоковольтного (ДНВ), блока измерительного (БИ) и устройства управления и индикации (УУИ).
- Подключение БИ к низковольтному выходу ДНВ должно происходить непосредственно к низковольтному выходу или через измерительный кабель.
- Необходимо наличие **системы беспроводной связи** с планшетом или телефоном с операционной системой Android, а также наличие **интерфейса** для связи с персональным **компьютером**.
- Киловольтметр должен обеспечивать прием управляющих команд и передачу измеренных значений.
- Киловольтметр должен иметь аккумуляторную батарею, дисплей и клавиатуру для обеспечения **возможности автономной работы** без использования УУИ.

### Выбор беспроводного интерфейса

В следствии того, что киловольтметр должен подключаться к устройствам под управлением большинства современных операционных систем, в частности Android и Windows, рассмотрению подлежат такие беспроводные технологий, как Wi-Fi и Bluetooth.

Основное различие между Bluetooth и Wi-Fi в том, что Bluetooth в основном используется для построения беспроводных персональных сетей (WPAN), в то время как Wi-Fi используется для построения беспроводных локальных сетей (WLAN). Bluetooth, в отличие от Wi-Fi, имеет низкую пропускную способность и потребляемую мощность и поддерживает ограниченное количество пользователей (одновременных подключений).

Использование беспроводных персональных сетей предпочтительнее, так как в системе будет присутствовать только одно УУИ. Необходимости в высокой пропускной способности нет, так как обновление результата измерения происходит с довольно большой периодичностью. Низкая потребляемая мощность увеличит время автономной работы. Из этого следует, что наиболее подходящей технологией беспроводной связи в нашем случае является Bluetooth.

Bluetooth в своем составе имеет протокол RFCOMM (Radio Frequency Communications) – протокол замены кабеля, который создает виртуальный последовательный поток данных и эмулирует управляющие сигналы RS-232, что позволяет довольно легко интегрировать его с существующим схемотехническим решением. Именно поэтому при выборе Bluetooth модуля следует учитывать поддержку им Bluetooth-профиля эмуляции последовательного порта SPP (Serial Port Profile).

При выборе Bluetooth-модуля, использовались следующие критерии:

- Стандарт передачи данных – Bluetooth.
- Класс излучаемой мощности 2 и выше с возможностью настройки, что обеспечит радиус действия 10 м и позволит избежать регистрации радиоэлектронного средства, так как радиоэлектронные средства технологии Bluetooth в полосе радиочастот 2400–2483,5 МГц с максимальной эквивалентной изотропно излучаемой мощностью передатчика не более 2,5 мВт не подлежат регистрации [3].
- Поддержка SPP (Serial Port Profile).
- Наличие антенного разъема, что снизит требования к разводке печатной платы.
- Напряжение питания, совместимое с питанием микроконтроллера, в нашем случае STM32F405RGT6;
- Наличие интерфейса USART.

В результате поиска были найдены два модуля – BT740-SC и ESP32-WROOM-32U, сравнительная таблица приведена ниже.

Таблица 1

Сравнительная характеристика модулей BT740-SC и ESP32-WROOM-32U

	BT740-SC	ESP32-WROOM-32U
Стандарт передачи данных	Bluetooth	Bluetooth, Wi-Fi
Класс излучаемой мощности	18 дБм (1 класс)	20 дБм (1 класс)
Поддержка SPP	Присутствует	Присутствует
Наличие антенного разъема	IPEX (U.FL Connector)	IPEX (U.FL Connector)
Напряжение питания	3,3–5 В	2,7–3,6 В
Поддерживаемые интерфейсы	GPIO, UART	GPIO, I <sup>2</sup> C, I <sup>2</sup> S, PWM, SDIO, SPI, UART
Набор команд управления	AT-команды	AT-команды, Пользовательская программа



Из таблицы видно, что хотя оба модуля удовлетворяют необходимым критериям, однако можно отметить, что ESP32-WROOM-32U имеет больший функционал, так что выбран был он.

### Структурная схема

Рассмотрим структурную схему (рис. 1).

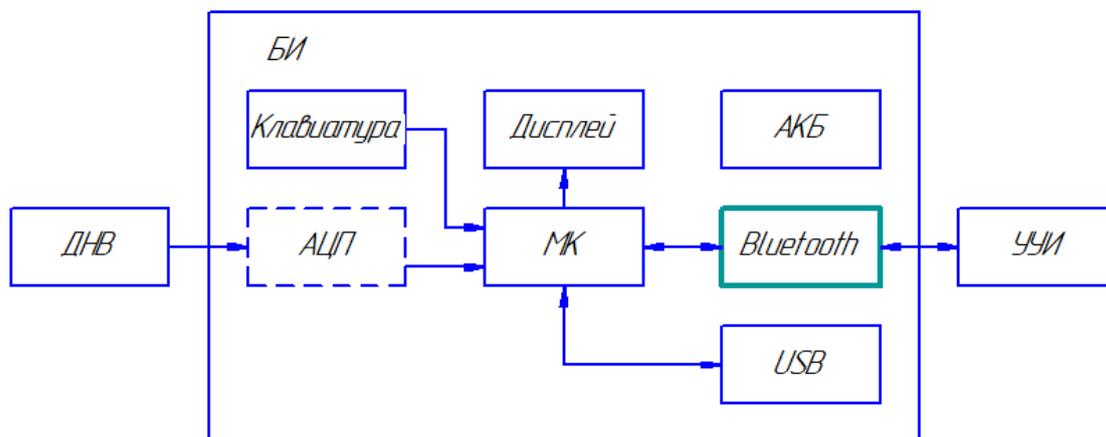


Рис. 1. Структурная схема киловольтметра

Киловольтметр состоит из трех блоков ДНВ, БИ и УУИ. Напряжение с низковольтного выхода ДНВ поступает на вход БИ. Тот, в свою очередь, при помощи АЦП преобразует это напряжение в цифровой вид. Преобразованное напряжение передается на МК (микроконтроллер), где в последующем по заранее калиброванным значениям преобразуется в значение эквивалентного напряжения на высоковольтном входе ДНВ. Bluetooth и USB в этой схеме подключены к МК и выступают в роли моста между БИ и УУИ. УУИ может быть исключено из схемы в случае использования измерительного кабеля, и в данном случае управление и индикация будут выполняться с помощью клавиатуры и дисплея соответственно.

### Требования к программному обеспечению и система команд

Выделим функции, которые должны быть реализованы в программном обеспечении:

- считывание информации о киловольтметре;
- запуск и остановка измерения;
- выбор режима измерения (переменное/постоянное);
- возможность измерения в следующем режиме, возможность проводить серию измерений;
- возможность сохранять результаты измерения для последующего просмотра и обработки.

Также необходима возможность автоматизированной настройки и поверки киловольтметра.

В соответствии с вышесказанным система команд должна включать в себя следующие команды:

- команды чтения и записи настройки прибора, к которым относятся способ запуска измерения (внешний/внутренний), режим измерения (постоянное напряжение / переменное напряжение), количество измерений;
- команды чтения информации о приборе, к которым относятся модель прибора, класс точности, заводской номер, версия программного обеспечения, дата изготовления, дата настройки;
- команды чтения результатов измерения;
- команды запуска измерения и чтения флага готовности результатов измерения;
- команда сброса прибора в исходное состояние.

Прибор должен применять запрос на исполнение команды и отсылать ответ. Для проверки ошибок в пакете запроса/ответа необходим блок обнаружения ошибок. Протокол Modbus RTU удовлетворяет этим требованиям и дает возможность использования как стандартных команд, так и пользовательских, что позволяет нам реализовать необходимые команды. Также использование данного протокола даст возможность интегрировать устройства в существующие SCADA-системы.

### Вывод

В данной работе мы сформировали основные требования к будущему устройству, на основании них производили выбор беспроводной технологии и конкретного модуля, дающего возможность работать с этой технологией, разработали структурную схему устройства и указали требование в ПО.



### Список литературы

1. Цифровой киловольтметр СКВ-100. URL: <http://niiemp.ru/pribory/vysokovoltnye-izmeriteli-napryazheniya/item/kilovoltmeter-skv-100.html>
2. Установка поверки киловольтметров УПК-30ПТ. URL: <http://niiemp.ru/pribory/vysokovoltnye-izmeriteli-napryazheniya/item/upk-30pt.html>
3. О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901911369>

### References

1. *Tsifrovoy kilovol'tmetr SKV-100 = Digital kilovoltmeter SKV-100.* (In Russ.). Available at: <http://niiemp.ru/pribory/vysokovoltnye-izmeriteli-napryazheniya/item/kilovoltmeter-skv-100.html>
2. *Ustanovka poverki kilovol'tmetrov UPK-30PT = Installation for calibration of UPK-30PT kilovoltmeters.* (In Russ.). Available at: <http://niiemp.ru/pribory/vysokovoltnye-izmeriteli-napryazheniya/item/upk-30pt.html>
3. *O poryadke registratsii radioelektronnykh sredstv i vysokochastotnykh ustroystv = On the procedure for registration of radio-electronic means and high-frequency devices.* (In Russ.). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901911369>

Поступила в редакцию / Received 02.02.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 15.03.2021

Принята к публикации / Accepted 26.03.2021