



Energetik kuch elektronikasi uchun o'lov panel asboblari

Asqarbek K. Karmshaqov^{1, a)}, Jalolidin T. Galbaev², Fozildjon A. Xoshimov³

^{1, a)} PhD, Dots, Qirg'iziston davlat texnika universiteti, Bishkek, 720064, Qirg'iziston Respublikasi: a.karmyshakov@kstu.kg
<https://orcid.org/0000-0003-3040-8480>

² DSc, prof., I. Razzakov nomidagi Qirg'iziston davlat texnika universiteti, Bishkek, 720024; jalal1603@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9460-2242>

³ DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; khoshimovfozildjon@gmail.com

Dolzarbli: Ishning dolzarbli elektr o'lovlarining aniqligini va o'lov asboblari ko'rsatkichlarini vizual tasvirlashni yangi sxematexnik yechimlar orqali oshirish zarurati bilan bog'liq. Energetik elektronika elektr energiyasini boshqarish va o'zgartirishda muhim rol o'ynaydi. Quvvatli elektron tizimlarning ishonchligi, xavfsizligi va samaradorligini ta'minlash uchun turli elektr parametrlarini aniq o'lchash muhim ahamiyatga ega. Mazkur maqolada energetik elektronikada qo'llaniladigan o'lov asboblari turlari, ularning xususiyatlari va qo'llanilish sohasi tahlil qilinadi. Ayniqsa, raqamli panel o'lov asboblari (RPO'A) alohida e'tibor qaratilgan. Ular analog yechimlarga nisbatan texnologik, ekspluatatsion va iqtisodiy afzalliklarga ega.

Maqsad: yangi sxematexnik yechimlardan foydalangan holda elektr o'lovlarining aniqligi va vizual ko'rinishini oshirish.

Usullari: laboratoriya kompleksini ishlab chiqishda Multisim, Proteus VSM, Micro-Cap dasturiy muhitlarida elektron jarayonlarni modellashtirish usullari, shuningdek, maketlash va prototiplashtirish usullari qo'llanilgan. Elektr jihozlarning komponentlarining matematik modellarini tadqiq qilishda MatLab dasturiy paketi qo'llanilgan.

Natijalar: kuchli elektronikasining elementlari va qurilmalarini o'rganish uchun laboratoriya komplekslari ishlab chiqildi va tayyorlandi. Ularda mualliflar tomonidan yangi sxematexnik yechimlar asosida loyihalashtirilgan indikator panellari qo'llanildi.

Kalit so'zlar: quvvat elektronikasi, o'lov asboblari, tok, kuchlanish, osillograf, multimetr, analizator, indikator.

Щитовые измерительные приборы для силовой электроники

Аскарбек К. Кармышаков^{1, a)}, Жалалидин Т. Галбаев², Фозилджон А. Хошимов³

^{1a)} PhD, доц., Кыргызский государственный технический университет, Бишкек, 720064, Кыргызская Республика; a.karmyshakov@kstu.kg, <https://orcid.org/0000-0003-3040-8480>

² DSc, проф., Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, 720024; jalal1603@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9460-2242>

³ DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; khoshimovfozildjon@gmail.com

For citation: A.K. Karmyshakov, Zh.T. Galbaev F.A. Khoshimov. Panel Measuring Instruments for Power Electronics. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 3, pp. 22-30. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16935061>

Received: 12.07.2025
Revised: 24.07.2025
Accepted: 10.08.2025
Published: 23.08.2025

Copyright: © Askarbek K. Karmyshakov, Zhalalidin T. Galbaev Fozildjon A. Khoshimov, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Актуальность: работы обусловлена необходимостью повышения точности электроизмерения и визуализации показаний приборов посредством новых схмотехнических решений. Энергетическая электроника играет ключевую роль в управлении и преобразовании электрической энергии. Для обеспечения надежности, безопасности и эффективности работы силовых электронных систем необходимы точные измерения различных электрических параметров. В данной статье рассматриваются типы измерительных приборов, используемых в энергетической электронике, их характеристики и область применения. Особое внимание уделяется цифровым щитовым измерительным приборам (ЩИП), которые по сравнению с аналоговыми решениями обладают рядом технологических, эксплуатационных и экономических преимуществ.

Цель: повысить точность и визуальность электроизмерения с использованием новых схмотехнических решений.

Методы: при разработке лабораторного комплекса были использованы методы электронного моделирования процессов с использованием программных сред Multisim, Proteus VSM, Micro-Cap, а также методы макетирования и прототипирования. При исследованиях моделей компонентов электрооборудования применялся пакет прикладных программ MatLab.

Результаты: разработаны и изготовлены лабораторные комплексы для изучения элементов и устройств энергетической электроники, где были использованы индикаторные панели, проектированные авторами с использованием новых схмотехнических решений.

Ключевые слова: энергетическая электроника, измерительные приборы, ток, напряжение, осциллограф, мультиметр, анализатор, индикатор.



Panel Measuring Instruments for Power Electronics

Askarbek K. Karmyshakov^{1,a)}, Zhalalidin T. Galbaev² Fozildjon A. Khoshimov³

^{1a)} PhD, Assoc. Prof, Kyrgyz State Technical University, Bishkek, 720064, Kyrgyz Republic; a.karmyshakov@kstu.kg, <https://orcid.org/0000-0003-3040-8480>

² DSc, prof., Kyrgyz State Technical University n. a. I. Razzakov, Bishkek, 720024 jalal1603@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9460-2242>

³ DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; khoshimovfozildjon@gmail.com

Relevance: The relevance of the work is due to the need to improve the accuracy of electrical measurements and visualization of instrument readings through new circuit solutions. To ensure the reliability, safety and efficiency of power electronic systems, accurate measurements of various electrical parameters are required. This article discusses the types of measuring instruments used in power electronics, their characteristics and scope of application. Particular attention is paid to digital panel meters (DPM), which, compared to analog solutions, have a number of technological, operational and economic advantages.

Aim: improve the accuracy and visibility of electrical measurements using new circuit design solutions.

Methods: When developing the laboratory complex, methods of electronic process modeling were used using the software environments Multisim, Proteus VSM, Micro-Cap, as well as methods of modeling and prototyping. When studying mathematical models of electrical equipment components, the MatLab application software package was used.

Results: laboratory complexes for studying elements and devices of power electronics were developed and manufactured, where indicator panels designed by the authors using new circuit solutions were used.

Keywords: power electronics, measuring instruments, current, voltage, oscilloscope, multimeter, analyzer, indicator. EPS, energy transition, wind and solar generation, demand response, deficit modes, mode balancing, contractual relations, consumer-regulators.

1. Введение (Introduction)

В энергетической электронике электроизмерения необходимы для:

- тестирования и отладки устройств;
- контроля качества электроэнергии;
- диагностики неисправностей;
- обеспечения электробезопасности.

Особенности энергетической электроники (высокая частота коммутации, большие токи и напряжения, влияние импульсных помех) предъявляют особые требования к измерительным приборам. В данной статье рассмотрены цифровые электроизмерительные щитовые приборы, которые пришли на смену устаревающему аналоговому оборудованию со стрелочной индикацией.

В условиях бурного развития автоматизации производства и энергетических систем непрерывно растёт потребность в проведении измерений и контроля измеряемых величин. При обновлении имеющихся и создании новых систем распределения электроэнергии встраиваемые щитовые средства измерения, индикации и контроля являются одними из ключевых компонентов. К сожалению, продукция отечественных производителей измерительной техники не всегда является конкурентоспособной в данной области, уступая зарубежным моделям в цене, функциональности и точности. При этом можно отметить, что российское измерительное приборостроение также развивается динамично и уверенно выходит на достаточно новый уровень [1, 2].

2. Методы и материалы (Methods and materials)

В процессе исследований при проектировании лабораторного оборудования КГТУ применялись методы моделирования процессов в электрических цепях в программных средах Multisim, Proteus VSM, Micro-Cap.

При уточнении параметров электрорадиокомпонентов оборудование применялись методы макетирования.

При исследованиях матмоделей компонентов электрооборудования применялся пакет прикладных программ MatLab.

3. Результаты и обсуждение (Results and discussion)

Большое влияние на развитие электроизмерительной техники оказало внедрение цифровых технологий, которые обладают высоким классом точности. Известно, что большинство используемых стрелочных приборов имеют классы точности 1,5; 2,5 и 4, тогда как их цифровые аналоги имеют класс точности 0,2; 0,5, а в некоторых случаях и 0,1 [3, 4].



К щитовому измерительному оборудованию помимо точности предъявляются и другие, весьма строгие требования. В частности, конструкция щитового измерительного оборудования должна предусматривать возможность крепления, допускающего установку приборов на щит или панель. Кроме того, конструкция корпуса приборов должна допускать эксплуатацию в различных неблагоприятных внешних условиях.

Как известно, что первые образцы цифровых щитовых электроизмерительных приборов, появились в Азии и Европы. Данные устройства не вносились в Госреестр СИ, и на щиты это оборудование устанавливалось в редких случаях и только для выполнения первоначальных испытаний. Приборы обладали фиксированным диапазоном измерения и возможностью отображения показаний физических величин. Вскоре начали выпускаться приборы с возможностью перепрограммирования коэффициентов преобразования, с регулировкой яркости и контрастности, возможностью настройки с лицевой панели без применения внешнего устройства управления. Параллельно с этим появились средства измерения (СИ) с цифровым интерфейсом RS-485, позволяющим передавать информацию об измерениях в цифровом коде по открытому протоколу Modbus [5, 6]. Такой прибор заменяет сразу два блока изделия с аналоговым выходом: стрелочный индикатор и преобразователь в аналоговый сигнал – аналоговый преобразователь сигналов систем телемеханики.

Для электrorаспределительных систем стремительное развитие цифровых встраиваемых приборов привело к созданию многофункционального и многорежимного оборудования, совмещающего в себе целый ряд функций: показывающего и регистрирующего прибора, аналогового датчика тока, напряжения и мощности в универсальный сигнал постоянного тока, устройства для передачи телеизмерений (ТИ), телесигнализации (ТС) и телеуправления (ТУ) [7]. Таким образом, измерительный цифровой прибор стал полноценным контроллером ячейки электрической подстанции, передающим телеинформацию на верхний диспетчерский уровень в стандартных протоколах связи МЭК 870-5-101/104, Modbus RTU/ТСП.

Цифровые измерительные приборы нашли широкое применение в промышленности и активно вытесняют с рынка стрелочные. Наличие цифровых интерфейсов позволяет использовать их в качестве универсальных средств измерений с функциями передачи и визуализации данных. Учитывая тенденцию развития рынка электронных устройств, в ближайшей перспективе можно ожидать снижения стоимости цифровой продукции, а также значительного увеличения доли цифровых устройств в общем количестве эксплуатируемых средств измерения электрических величин [8, 9, 10].

Лабораторный измерительный прибор должен иметь достаточную высоту отображаемого символа для комфортного считывания информации. Кроме того, для безошибочного считывания показания прибора имеет значение форма представления чисел. Большинство цифровых измерительных приборов имеют 7-сегментные светодиодные или жидкокристаллические индикаторы, однако форма представления цифр этими индикаторами желает оставлять лучшего. В этом отношении старые добрые неоновые индикаторы имели форму цифр близкую к печатным шрифтам, но имели небольшие размеры цифр.

В разработанной матричной индикаторной панели применены 2-цветные матричные индикаторы ТОМ-2058FEG, что позволяет, например, для вольтметра использовать зеленый цвет, а для амперметра оранжевый (Рис.1).

Для человека, имеющего нормальное зрение, предельное угловое разрешение составляет примерно одну угловую минуту. Имеется простая формула для определения размера символа:

$$H(\text{мм}) = 2 \cdot R(\text{м})$$

где H – высота символа в миллиметрах;

R – максимальное расстояние видимости в метрах.

Индикатор ТОМ-2058FEG имеет высоту 60 мм, что позволяет считывать показания с расстояния до 30 метров. Структура разрабатываемого прибора представлена на рис.2.

Матричные индикаторы позволяют формировать буквы и цифры с качеством, ненамного уступающим печатным шрифтам.

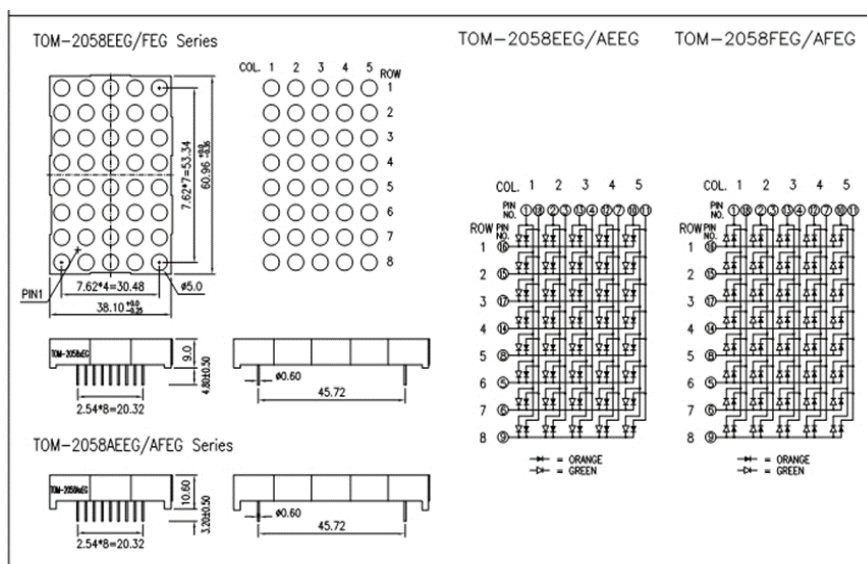


Рис. 1. 2-цветные матричные индикаторы TOM-2058FEG

Fig. 1. 2-color matrix indicators TOM-2058FEG



Рис. 2. Структурная схема измерительного прибора

Fig. 2. Structural diagram of the measuring device

В качестве первичного вольтметра использован прибор РМ-129В (Рис.3) с пределом измерения напряжения 20 Вольт.

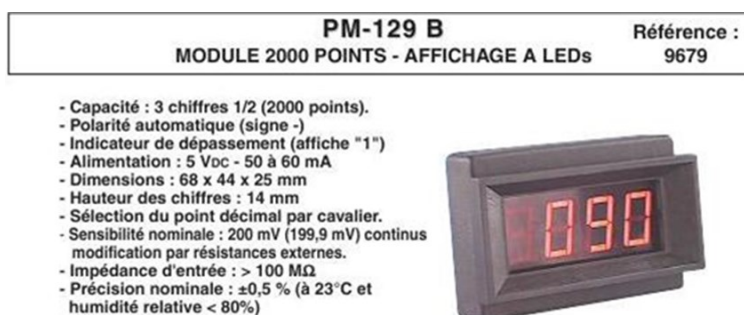


Рис. 3. Характеристики и внешний вид прибора РМ-129В

Fig. 3. Characteristics and appearance of the PM-129B device

PM-129В реализован на популярной микросхеме АЦП двухтактного интегрирования ICL7107, советский аналог КР572ПВ2А. Для упрощения источника питания, на микросхеме IC2 реализован преобразователь +5V => -5V. Для совместного использования с разработанной матричной индикаторной панелью изымаются 7-сегментные светодиодные индикаторы НГ1 и НГ2 (Рис.4).

Для использования РМ-129В в качестве первичного амперметра необходимо закоротить перемычкой резистор RB (Рис.5).

Для преобразования 7-сегментного кода в динамичный код матричного индикатора, с выходов АЦП достаточно сигналов пяти сегментов – а, b, e, f, g. Преобразование кодов и формирование внутренних управляющих сигналов индикаторной панели реализовано на микросхемах DD4...DD7 M27C512. Микросхема M27C512 представляет собой программируемое постоянное запоминающее устройство с ультрафиолетовым стиранием информации (PROM).

На адресные входы PROM поступают сигналы со счетчика строк матричного индикатора (A0... A2), сигнал кратковременного включения заставки “КГТУ” при подаче питающего напряжения (A3), 7-сегментный код с АЦП (A4... A8), код знакоместа индикаторной панели (A9, A10), сигнал гашения незначащего нуля (A11).

Счетчик строк реализован на микросхеме DD2 (генератор) и DD3 (собственно счетчик). RC цепь R13, C18 формирует сигнал включения заставки. В связи с ограниченным количеством выходов PROM на каждом знакоместе панели осуществляется дешифрация только двух из восьми строк матричного индикатора. Поскольку в PROM содержится информация всех знакомест, во первых все микросхемы PROM взаимозаменяемы, во вторых код знакоместа задает область памяти необходимую для конкретного знакоместа. Сигнал гашения незначащего нуля служит для эстетического представления показаний измерительного прибора. Можно сравнить, как выглядит показание прибора без гашения и с гашением незначащих нулей – 008, 8

Digital Panel Meter PM129B-3

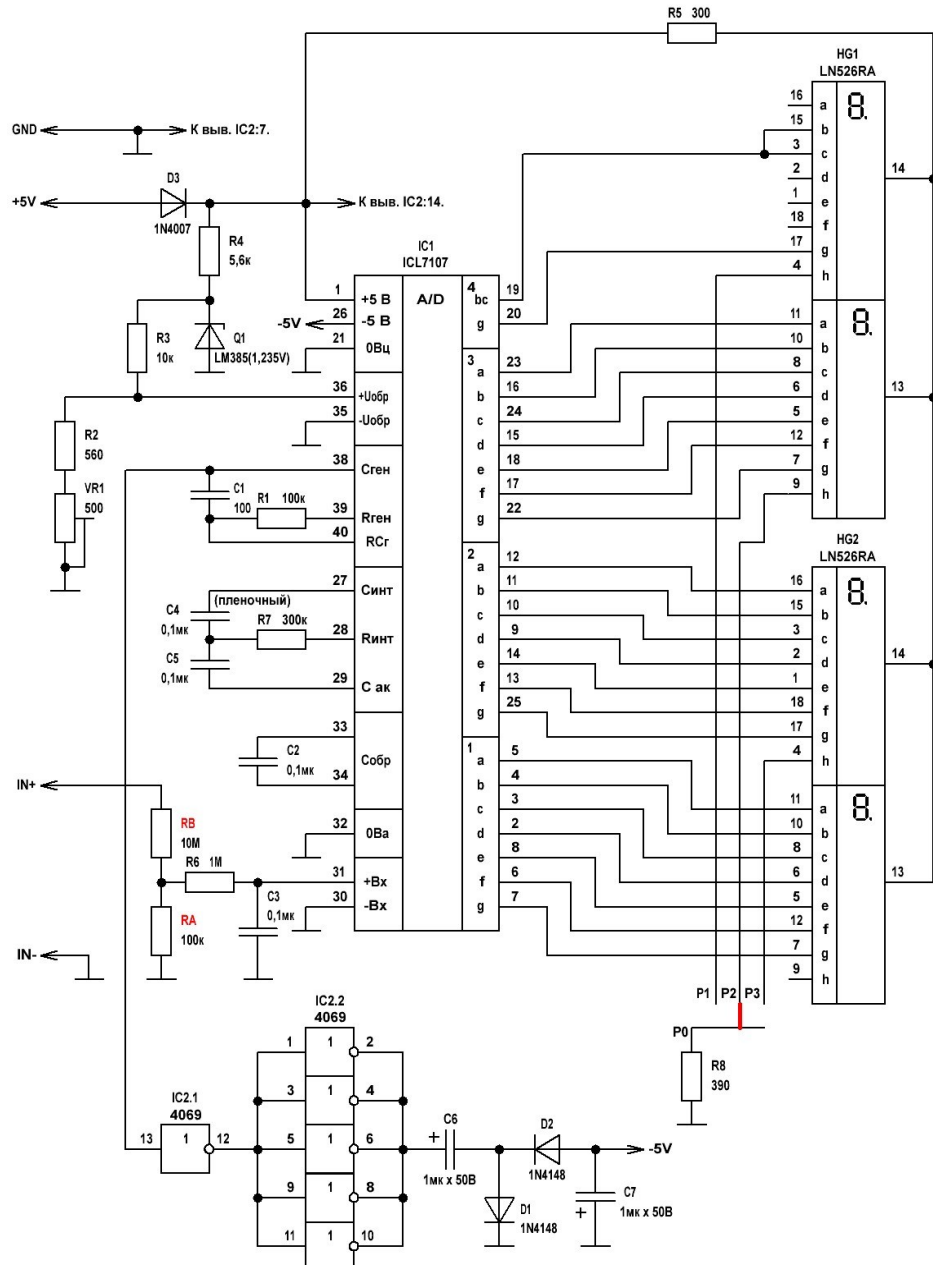


Рис. 4. Электрическая принципиальная схема прибора PM-129B
Fig. 4. Electrical schematic diagram of the PM-129B device

Сигналы с дешифраторов строк (выходы 0 и 1 PROM) через токоограничивающие резисторы поступают на базы ключевых транзисторов VT1... VT8, через которые напряжение питания поочередно поступает на строки матричных индикаторов. На столбцы матричных индикаторов поступает динамичный код с преобразователя кодов (выходы 3...7 PROM). На выходе 2 PROM будет присутствовать сигнал гашения нуля, если данное знакоместо имеет нулевое значение.

Поскольку по цепи столбцов протекает значительный ток по причине динамической индикации строк, было проведено исследование нагрузочной способности выходов PROM.

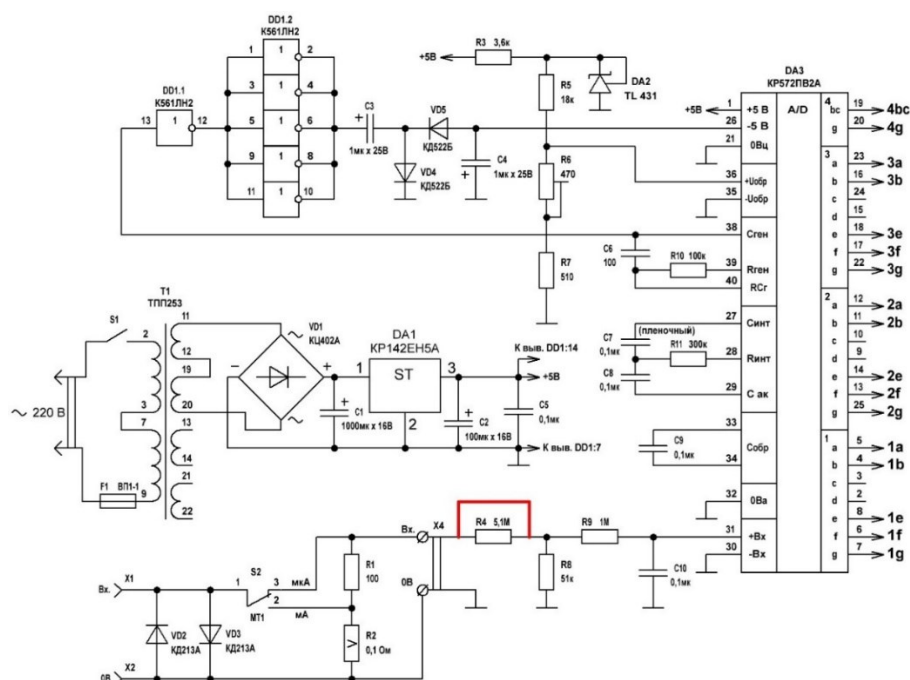


Рис. 5. Скорректированная электрическая принципиальная схема прибора PM-129B
Fig. 5. Corrected electrical schematic diagram of the PM-129B device

Выход PROM нагружался на синий светодиод, имеющий прямое падение напряжения около 3 вольт и измерялся проходящий через него ток. Проверялись PROM разных производителей и даты изготовления. Нагрузочная способность всех проверенных PROM составила 30...40 мА, что вполне достаточно для получения необходимой яркости свечения матричных индикаторов. Заметного нагрева микросхем PROM не наблюдалось, вероятно, этому способствовал достаточно массивный керамический корпус.

Эти щитовые приборы входят в состав учебного комплекса для проведения лабораторных работ по энергетической электронике. За все время эксплуатации отказов не наблюдалось.

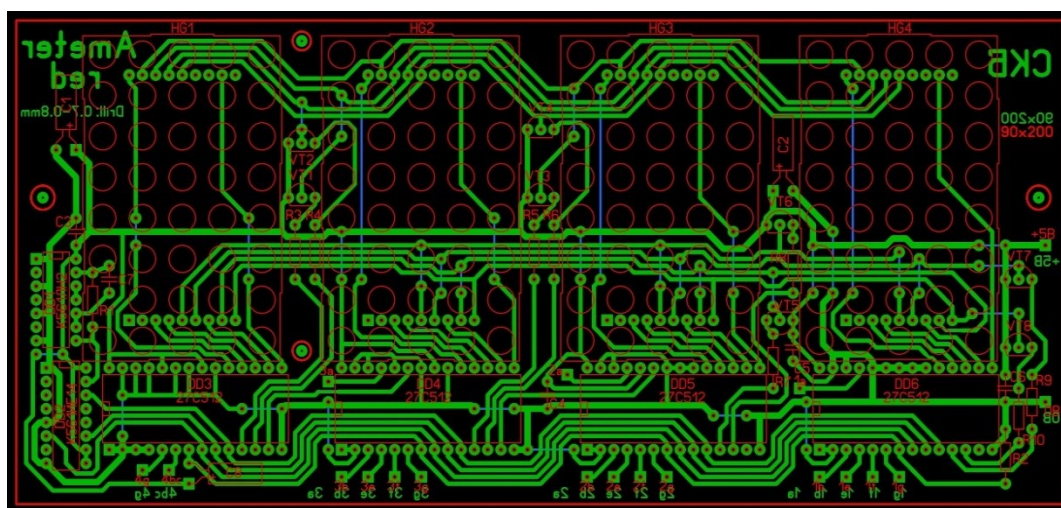


Рис. 6. Печатная плата для индикаторной панели лабораторного комплекса
Fig. 6. Printed circuit board for the indicator panel of the laboratory complex

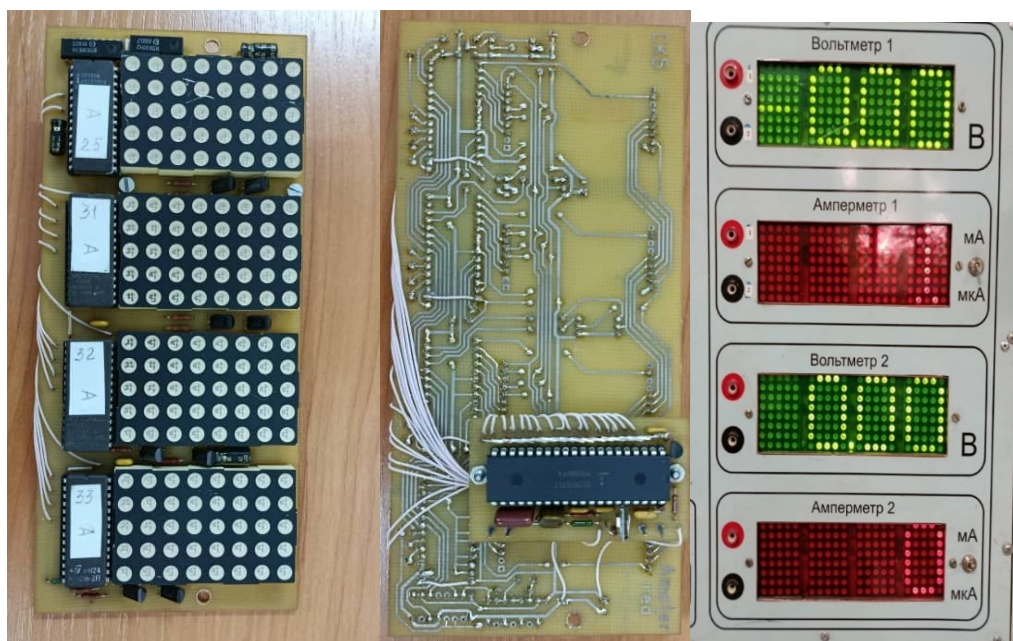


Рис. 8. Индикаторная часть комплекса
Fig. 8. Indicator part of the complex

Особенности измерений в энергетической электронике:

- необходимость гальванической развязки (особенно при измерении высоковольтных шин);
- высокочастотные помехи требуют фильтрации и экранирования;
- термозависимость компонентов должна учитываться при прецизионных измерениях;
- динамический диапазон приборов должен соответствовать возможным колебаниям параметров.

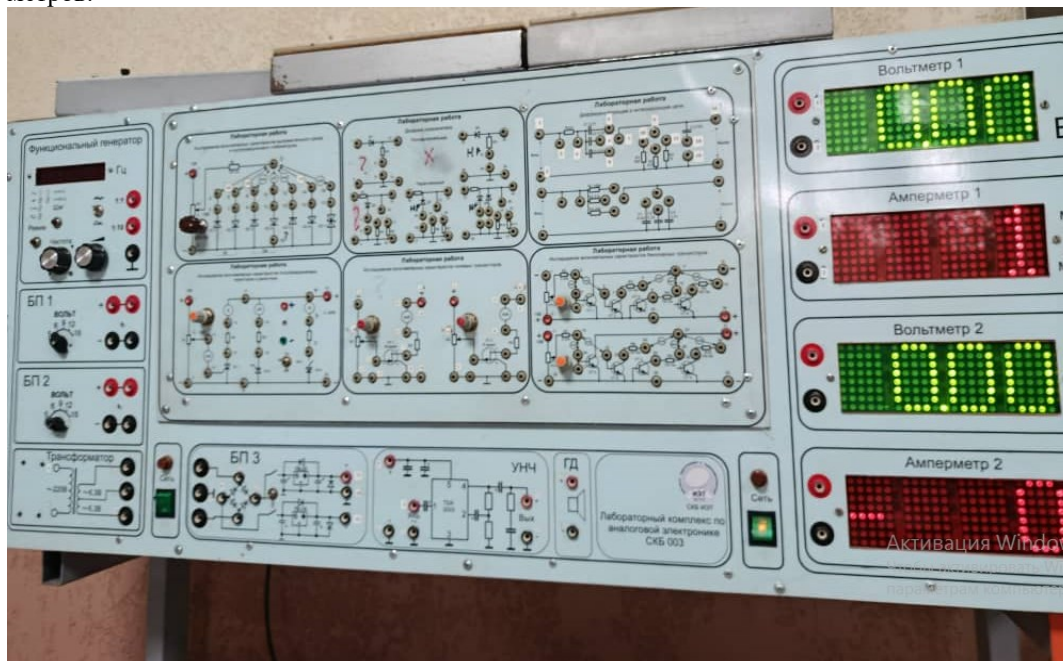


Рис. 9. Общий вид лабораторного комплекса
Fig. 9. General view of the laboratory complex

4. Заключение (Conclusions)

Измерительные приборы являются неотъемлемой частью работы в области энергетической электроники. Их правильный выбор и использование позволяют не только повысить эффективность работы устройств, но и предотвратить аварийные ситуации. С учетом стремительного развития силовой электроники требования к измерительным системам будут только возрастать, способствуя дальнейшим инновациям в этой области.



ЛИТЕРАТУРА

1. Малиновский В. Н., Демидова-Парфенова Р. М., Евланов Ю. Н. и др. Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Энергоиздат, 1985.
2. Малиновский В. Н., Демидова-Парфенова Р. М., Евланов Ю. Н. и др. Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов. Энергоиздат, 1985.
3. Волегов А. С. Электронные средства измерений электрических величин: учебное пособие / А. С. Волегов, Д. С. Незнахин, Е. А. Степанова; Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 104 с.
4. URL: https://cxem.net/software/soft_PCB.php (дата обращения: 15.04.2025).
5. URL: https://led-displays.ru/led_case_77.html (дата обращения: 12.02.2025).
6. URL: <https://www.aremex.ru/products/delta-design/> (дата обращения: 11.05.2023).
7. URL: <https://www.cta.ru/articles/soel/2019/2019-7/118945/> (дата обращения: 10.06.2025).
8. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин. Высшая школа, 1989
9. Бахтияров Г. Д. и др. Аналого-цифровые преобразователи М.: Советское радио, 1980
10. Шонфельдер Г. Измерительные устройства на базе микропроцессора АТmega: Пер. с нем. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012 <https://gmetechnology.com/index.php/products/industrial-equipment/pm-129b-led-panel-meter> (дата обращения: 07.03.2025).
11. В. Г. Кнорринг Цифровые измерительные устройства. Теоретические основы цифровой измерительной техники: Учебное пособие- СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003

REFERENCES

1. Malinovsky V.N., Demidova-Parfenova R.M., Evlanov Yu.N., et al. Electrical measurements: Textbook for universities. Energoizdat, 1985.
2. Volegov A.S. Electronic means of measuring electrical quantities: textbook / A.S. Volegov, D.S. Neznakhin, E.A. Stepanova; Ekaterinburg: Publishing house of the Ural. University, 2014. - 104 p.
3. URL: https://cxem.net/software/soft_PCB.php (date of access: 15.04.2025).
4. URL: https://led-displays.ru/led_case_77.html (date of access: 12.02.2025).
5. URL: <https://www.aremex.ru/products/delta-design/> (date accessed: 11.05.2023).
6. URL: <https://www.cta.ru/articles/soel/2019/2019-7/118945/> (date accessed: 10.06.2025).
7. Atamalyan E.G. Devices and methods for measuring electrical quantities. Higher School, 1989
8. Bakhtiarov G.D. et al. Analog-to-digital converters Moscow: Soviet Radio, 1980
9. Schoenfelder G. Measuring devices based on the ATmega microprocessor: Per. with it. - SPb.: BHV-Petersburg, 2012
10. <https://gmetechnology.com/index.php/products/industrial-equipment/pm-129b-led-panel-meter> (date of access: 07.03.2025).
11. V. G. Knorring Digital measuring devices. Theoretical foundations of digital measuring equipment: Textbook- SPb.: Publishing house of SPbSPU, 2003