

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2022.1\(488\).7](https://doi.org/10.15589/znp2022.1(488).7)
УДК 621.3.089.2

LABORATORY COMPLEX FOR INVESTIGATION OF PARAMETERS OF ELECTRONIC COMPONENTS

ЛАБОРАТОРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

Volodymyr M. Ryabenkyu
optron2@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6998-746X
Serhii L. Trybulkevich
sergiy.trybulkevich@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5783-6616

В. М. Рябенський,
д.т.н., проф
С. Л. Трибулькевич,
ст. викладач

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. Analyzed the current state of the laboratory environment for testing the parameters of electronic components. The main methods of vimiryuvan and the analysis of the parameters of electronic components are reviewed. A survey of the main market of circuitry laboratory equipment was carried out. The algorithms for the analysis of the main parameters and the practical design of the parameters of SPICE models of electronic components have been completed. A universal software and hardware platform for the simulation and analysis of parameters in electronic components has been developed, as it can be broken in the development of modern power electronics and research conducted in laboratory robots. It was proposed to automate the method of assigning the type of component and the simulation of its characteristics. The hardware part has advanced telecommunication technologies, for which reason the methodology for conducting laboratory experiments with solid-state electronics in the minds of remote training has been approved. *Purpose.* Development of a complex approach to the modification of parameters in electronic components. Automation of the process of follow-up and development of mathematical models of electronic components with their further import from the program of circuit modeling.

Method. At the research the methods of sequential analysis and experimental methods were tested.

Results. The universal hardware platform of the laboratory stand has been expanded for the maintenance of parameters of electronic components, as it can be used for laboratory work with solid state electronics, as well as for the development of the development of upgraded electronic devices.

Scientific novelty. A comprehensive methodology for the modification of the parameters of discrete electronic components, the analysis of their characteristics from the possibility of choosing the parameters of SPICE models and their further import from the program of circuit modeling is developed.

Practical importance. Carrying out testing of electronic components and organization of a laboratory workshop on solid-state electronics in the minds of remote training, improvement of electronic possession, selection of complementary pairs.

Key words: transistor; resistor; capacitor; inductor; SPICE model; IGBT; MOSFET.

Анотація. Проаналізовано сучасний досвід побудови лабораторного обладнання для вимірювання параметрів електронних компонентів. Розглянуто основні методи вимірювань та розрахунку параметрів електронних компонентів. Проведено огляд наявного ринку схемотехнічного лабораторного обладнання. Досліджено алгоритми розрахунку основних параметрів та практичного визначення параметрів SPICE моделей електронних компонентів. Розроблено універсальну програмно-апаратну платформу для вимірювання та розрахунку параметрів електронних компонентів, яка може бути використана у розробці сучасної силової електроніки та проведенні досліджень у лабораторних роботах. Запропоновано автоматизований метод визначення типу компонента та вимірювання його характеристик. У апаратній частині використано сучасні телекомунікаційні технології, завдяки чому запропоновано методику проведення лабораторних робіт з твердотілої електроніки в умовах дистанційного навчання. *Мета* – розробка комплексного підходу до вимірювання параметрів електронних компонентів; автоматизація процесу дослідження та розрахунку математичних моделей електронних компонентів з подальшим їх імпортом у програми схемотехнічного моделювання.

Методика. Під час виконання дослідження використовувались методи порівняльного аналізу та експериментальні методи.

Результати. Розроблена універсальна апаратна платформа лабораторного стенду з дослідження параметрів електронних компонентів, яка може використовуватись для лабораторних робіт з твердотілої електроніки, а також у розробці та налагодженні електронних пристроїв.

Наукова новизна. Розроблено комплексну методику з вимірювання параметрів дискретних електронних компонентів, розрахунку їх характеристик із можливістю визначення параметрів SPICE моделей із подальшим їх імпортом у програми схемотехнічного моделювання.

Практична значимість: проведення випробувань електронних компонентів та організація лабораторного практикуму з твердотілої електроніки в умовах дистанційного навчання, налагодження електронного обладнання, підбір комплементарних пар.

Ключові слова: транзистор; резистор; конденсатор; індуктивність; SPICE модель; IGBT; MOSFET.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Вимірювання параметрів електронних компонентів використовується у розробці та налагодженні електронних пристроїв, у підборі комплементарних пар, у навчальному процесі – під час проведення лабораторних та практичних робіт.

Почасти основним вимірювальним пристроєм є звичайний мультиметр. У навчальному процесі використання таких простих вимірювальних пристроїв, як мультиметр, є достатнім та дозволяє навчити студентів за допомогою простих вимірювальних пристроїв вирішувати складні задачі, але для побудови вольт-амперних характеристик, дослідження температурного дрейфу, підбору елементів з однаковими параметрами його використання не є простим та візуальним шляхом, оскільки, наприклад, побудова вольт-амперної характеристики можлива тільки після великої кількості однотипних вимірювань.

Серійна промисловість випускає такі прилади, як характеристіографи, але часто такі пристрої призначені для вирішення неширокого спектра завдань в умовах заводу-виробника електронних компонентів. Доступність та можливість використання таких приладів для проведення лабораторних робіт, особливо в умовах дистанційного навчання, є великим питанням.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Традиційно завдання подібного класу вирішуються за допомогою характеристіографів. Характеріограф – загальна назва приладів, призначених для спостереження та дослідження характеристик радіоелектронних пристроїв та компонентів, вимірювальна інформація в цих приладах відображається, як правило, на екрані (ЕЛТ, рідкокристалічному, світлодіодному або ін.) у вигляді кривої або сімейства кривих [1].

Вимірювальні прилади подібного типу випускаються серійно, одним з таких пристроїв є джерело-вимірювач Source Meter 2450 від компанії Keithley. Джерело-вимірювачі Keithley серії 2400 є прецизійним чотириквadrантним джерелом струму і напруги з відображенням результатів вимірювань на сенсорному дисплеї за допомогою інтерфейсу користувача.

Ці прилади можуть одночасно працювати як джерела та вимірювачі струму від 10 фА до 10 А в імпульсному режимі та/або напруги від 100 нВ до 200 В із загальною вихідною потужністю 1000 Вт по імпульсному струму та 100 Вт по постійному струму. [2]. Приблизно ціна такого приладу становить 5600 євро. Пристрій дозволяє легко знімати вольт-амперні характеристики діодів у всіх чотирьох квадрантах [3].

Всесвітньо визнаний лідер з виробництва вимірювальних приладів компанія Agilent Technologies випускає аналізатор потужних пристроїв/характеріограф B1505A. Аналізатор потужних пристроїв/характеріограф B1505A компанії Agilent є одноблочним технічним рішенням для визначення параметрів потужних пристроїв від субмікроамперних рівнів до 3000 В або 40 А. Ці можливості перебивають потреби аналізу характеристик нових потужних пристроїв, виготовлених з використанням широкозонних матеріалів, таких як карбід кремнію (SiC) або нітрид галію (GaN) [4].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Розглянуті прилади є прецизійними вимірювальними пристроями із високою точністю та одночасно високою ціною та недоступністю на внутрішньому ринку України. Для лабораторних досліджень така точність є завищеною, але промисловість доступних приладів середньої точності не випускає. Також немаловажним фактором у разі дослідження параметрів та характеристик електронних пристроїв є комплексний підхід з визначенням параметрів SPICE моделей для можливості подальшого використання результатів дослідження у програмах схемотехнічного моделювання.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета – розробка комплексного підходу до вимірювання параметрів електронних компонентів; автоматизація процесу дослідження та розрахунку математичних моделей електронних компонентів з подальшим їх імпортом у програми схемотехнічного моделювання.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань використовуються методи порівняльного аналізу та експериментальні дослідження.

Об'єкт дослідження – лабораторний комплекс з вимірювання характеристик дискретних електронних компонентів.

Предмет дослідження – вимірювання та розрахунок характеристик дискретних електронних компонентів.

Проблема, що вирішується, – розробка комплексного підходу до вимірювання параметрів електронних компонентів.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Комплекс має модульну структуру – за кожне завдання відповідає окремий модуль. Структурна схема наведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема лабораторного комплексу

Вхідний комутатор призначено для програмного підключення модулів дослідних зразків до вимірювального модуля. Така технологія дозволяє проводити лабораторні роботи з твердотілої електроніки в умовах дистанційного навчання. Вимірювальний модуль являє собою набір джерел струму та напруги, програмно керованих підсилювачів інтегральних мікросхем та аналогово-цифрових перетворювачів. Модуль керування призначено для управління комутатором та вимірювальними модулями, а також для збору та передачі інформації. Модуль відображення інформації являє собою графічний рідкокристалічний дисплей з перетворювачем рівнів сигналів для сумісності з мікроконтролером. Модуль Ethernet призначено для передачі інформації у локальну мережу.

Принципову схему мікроконтролерного модуля керування наведено на рис. 2. Як мікроконтролер DD1 використовується контролер Microchip розширеної серії МК PIC18F25K22. До мікроконтролера через роз'єм XP8 підключається модуль зв'язку з ПЕОМ. Для зв'язку з комп'ютером використовується драйвер FT232RL. Сигнал буде передаватись по USB через віртуальний com-порт. Рознімання XP7 призначено для підключення модуля SPI – Ethernet. До мікроконтролера підключені лінії обміну даними SO, SI, SCK; лінії сигналів керування модулем CS, RST; а також

виходи переривань WOL та INT.

Для перемикання режимів роботи використовується клавіатура. У разі натискання кнопки генерується переривання INT2 мікроконтролера. Для індикації режимів використовуються світлодіоди VD9–VD11.

Принципова схема модуля Ethernet наведена на рис. 3. В основу схеми покладено ENC28J60 – Ethernet-адаптер (простіше кажучи, «мережева карта») на одному чипі, розроблений компанією Microchip. Мікросхема не вимагає для роботи багато обв'язки із зовнішніх компонентів, до МК підключається за допомогою SPI, повністю відповідає специфікації IEEE 802.3.

Живлення мікросхеми – 3.3 В. Для роботи від 5 В використовується лінійний стабілізатор на мікросхемі DA1. Вибір напруги живлення модуля виконується за допомогою перемикача на розніманні XP1.

Модуль A1 – спеціальні Ethernet-фільтри (Ethernet magnetics). Являють собою систему з кількох котушок на феритових кільцях. Вони потрібні для розв'язки та захисту від статички.

Модуль дисплея (рис. 4) реалізовано у вигляді окремої печатної плати. Для підключення модуля до мікроконтролерної плати використовується рознімання XP1 та 6-провідний шлейф. На платі встановлено лінійний стабілізатор напруги DA1 типу LM1117 для зниження напруги з 5 В до 3,3 В.

Оскільки лінії даних SCL, SDA індикатору є 3,3-вольтовими, то для інформаційного обміну з 5-вольтовим контролером використовується перетворювач рівнів для двонаправленої шини I²C.

Вимірювальний модуль являє собою два керовані джерела струму або напруги, до яких підключається електронний компонент, що досліджується. Від типу електронного компонента залежить вид та кількість задіяних джерел. Обмеження по струму і напрузі задаються вручну, автоматизація такого процесу практично нереалізовувана, оскільки неможливо автоматично визначити граничні параметри електронного компонента.

Приклад вимірювання вольт-амперних характеристик діоду наведено на рис. 5. Слід зазначити, що на рисунку показано характеристики одного і того самого діоду, але лівіша характеристика відповідає нагрітому стану діоду. Оскільки процес зняття характеристик відбувається досить швидко, стабілізація температури компонента, що досліджується, може не проводитись, досить тільки значення температури на початку вимірювання. Така візуалізація є корисною, коли можна відразу побачити вплив зовнішніх факторів на характеристики компонента.

ВИСНОВКИ

Досліджено основні проблеми, що виникають під час лабораторного дослідження характеристик електронних компонентів. Розроблено універсальну апа-

ратну модульну платформу комплексу вимірювання. Розроблено комплексну методику зняття характеристик та розрахунку параметрів. Передбачено можли-

вість віддаленого керування та вибору зразка з набору, що дасть змогу проведення лабораторних робіт в умовах дистанційного навчання.

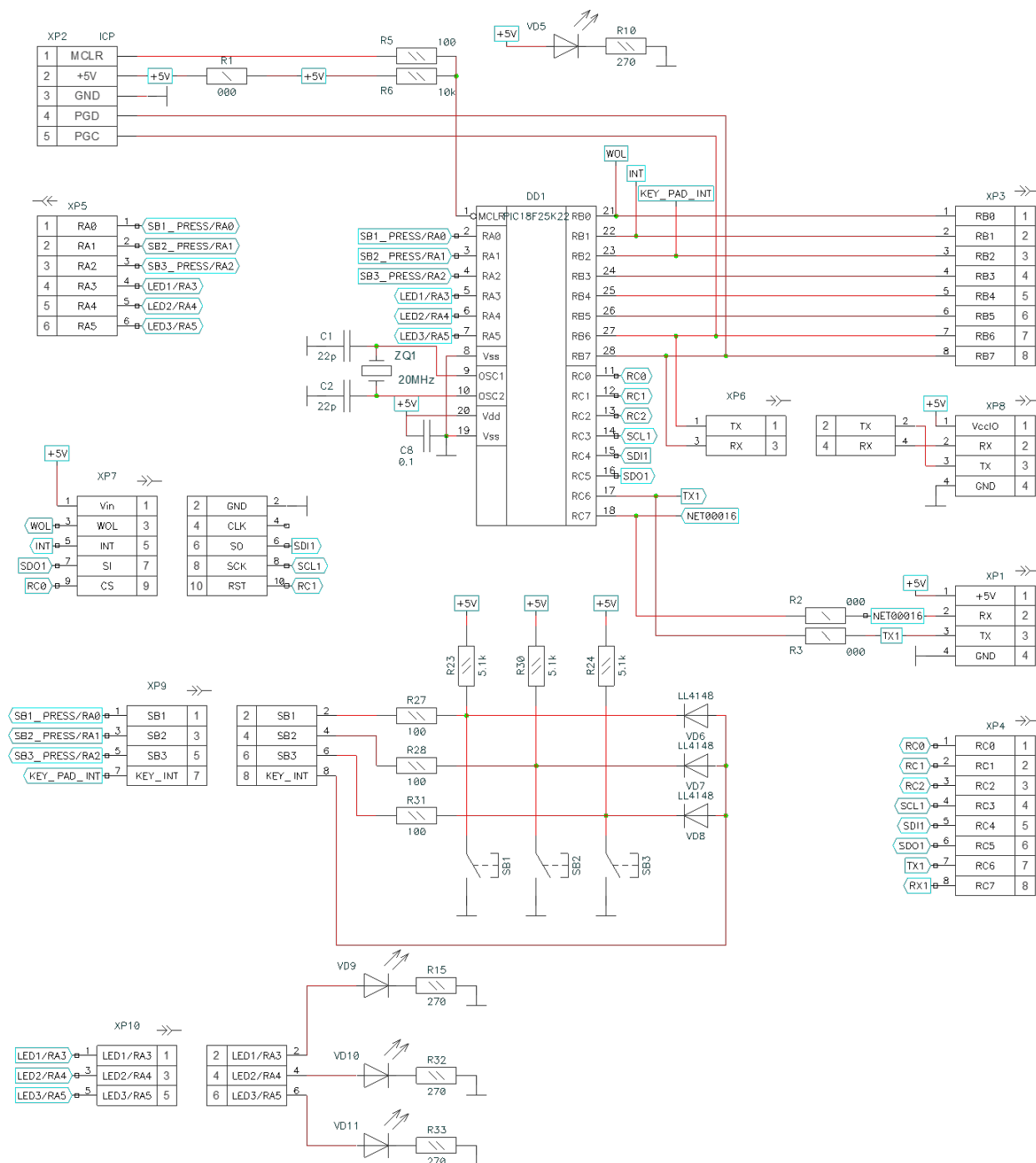


Рис. 2. Принципова схема мікроконтролерного модуля

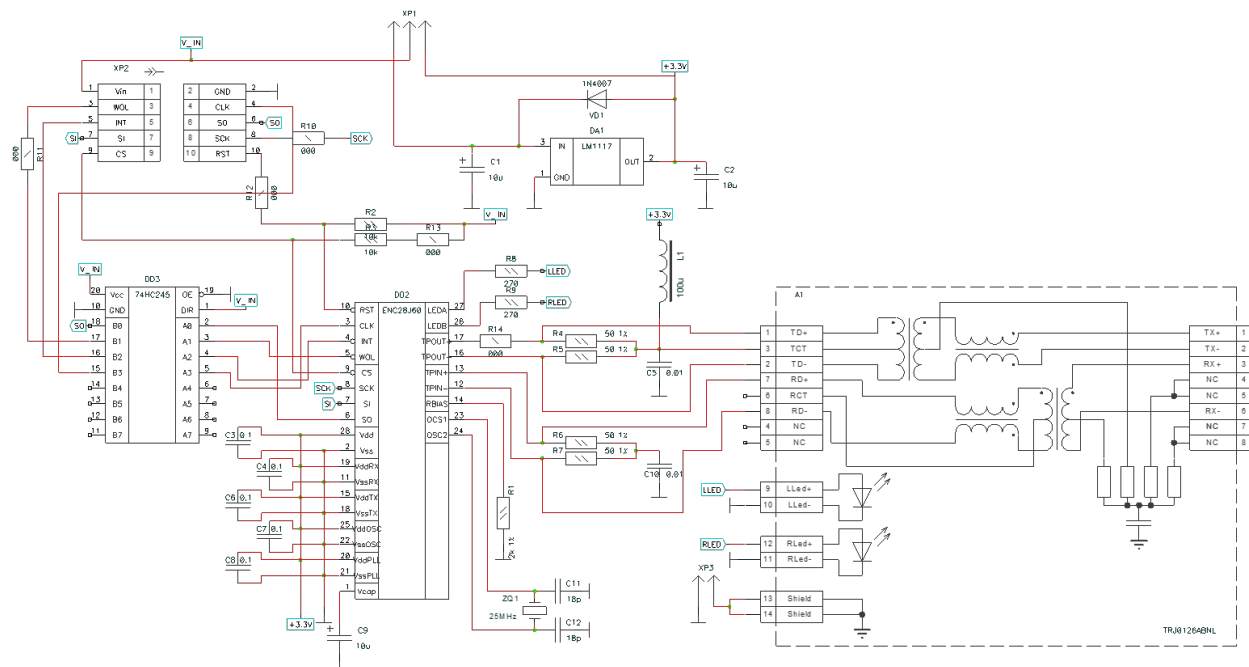


Рис. 3. Модуль Ethernet

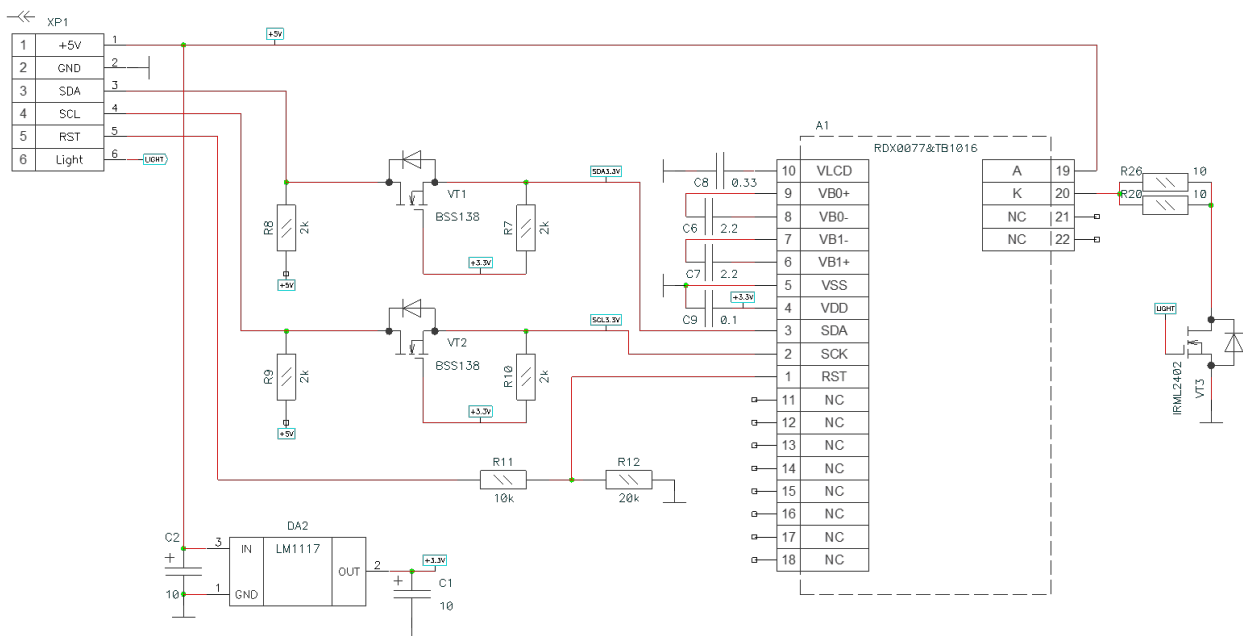


Рис. 4. Модуль дисплея RDX0077-GS

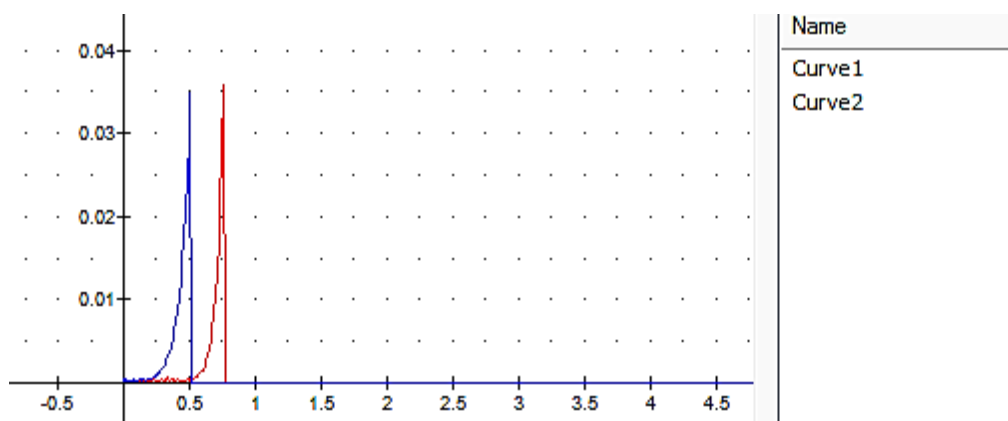


Рис. 5. Приклад вимірювання вольт-амперних характеристик діодів

REFERENCES

- [1] Wikipedia (2020). Characteriographer. Retrieved from: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Характериограф> [in Russian].
- [2] ChipDip (2022). Istochnik-izmeritel' Source Meter (Kalibrator-mul'timetr). [2450 – Source Meter (calibrator multimeter)]. Retrieved from: <https://www.chipdip.ru/product/keithley-2450-2> [in Russian].
- [3] Keithley (2013). Easy I-V Characterization of Diodes Using the Model 2450 SourceMeter® SMU Instrument. Retrieved from: https://www.mouser.com/pdfdocs/IVChrzDiodes2450_AN1.PDF.
- [4] Keysight Technologies (2019). B1505A Power Device Analyzer/Curve Tracer. Retrieved from: <https://www.keysight.com/zz/en/assets/7018-02115/data-sheets/5990-3853.pdf>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Википедия (2020) Характериограф. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Характериограф>.
- [2] ChipDip (2022) 2450 – Источник-измеритель Source Meter (Калибратор-мультиметр). URL: <https://www.chipdip.ru/product/keithley-2450-2>.
- [3] Keithley (2013) Easy I-V Characterization of Diodes Using the Model 2450 SourceMeter® SMU Instrument. URL: https://www.mouser.com/pdfdocs/IVChrzDiodes2450_AN1.PDF.
- [4] Keysight Technologies (2019) B1505A Power Device Analyzer/Curve Tracer. URL: <https://www.keysight.com/zz/en/assets/7018-02115/data-sheets/5990-3853.pdf>

© В. М. Рябенський, С. Л. Трибулькевич
 Дата надходження статті до редакції: 07.04.2022
 Дата затвердження статті до друку: 19.04.2022