

УДК 631.37:621.313

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК АНАЛОГА ЛЯМБДА-ДІОДА НА УНІПОЛЯРНИХ  
ТРАНЗИСТОРАХ**

*І.О. Попова, кандидат технічних наук, доцент*

*С.Ф. Курашкін, кандидат технічних наук, доцент*

*В.С. Попрядухін, кандидат технічних наук, старший викладач*

*Таврійський державний агротехнічний університет*

*e-mail: irirnapopova54@gmail.com, serge.kuras@gmail.com*

**Анотація.** *Робота присвячена дослідженню характеристик та можливостей первинного перетворювача, виконаного на базі аналога лямбда-діоду, який використовується для контролю параметрів діагностування у пристроях захисту електрообладнання. Перевагою лямбда-діоду є можливість отримання вольт-амперної характеристики (ВАХ) з ділянкою негативного опору, недоліком є неможливість регулювати або збільшувати ширину його природню ВАХ, тому застосовують їх аналоги, побудовані за різними схемо-технічними принципами. В роботі розглядається аналог лямбда-діоду (АЛД), побудований на уніполярних транзисторах, що дає змогу змінювати ширину ділянки ВАХ з негативним опором. Цю властивість можна використовувати у схемах захисту. Задачею роботи є дослідження ВАХ АЛД різних комплементарних пар транзисторів та визначення параметрів і меж використання аналогу в якості перетворювача, для чого була складена принципова електрична схема і методика дослідження. За результатами досліджень природних ВАХ різних типів транзисторів визначено, що тип транзистору практично не впливає на параметри ВАХ. Також ВАХ АЛД не змінюється як при об'єднанні стоків польових транзисторів так і їх витоків. Була визначена залежність співвідношення опорів резистивного дільника напруги, прикладеної напруги і їх вплив на ширину ділянки ВАХ з негативним опором.*

**Ключові слова:** *аналог лямбда-діода, комплементарна пара, уніполярний транзистор, енергоекономічність, резистивний дільник напруги, ВАХ*

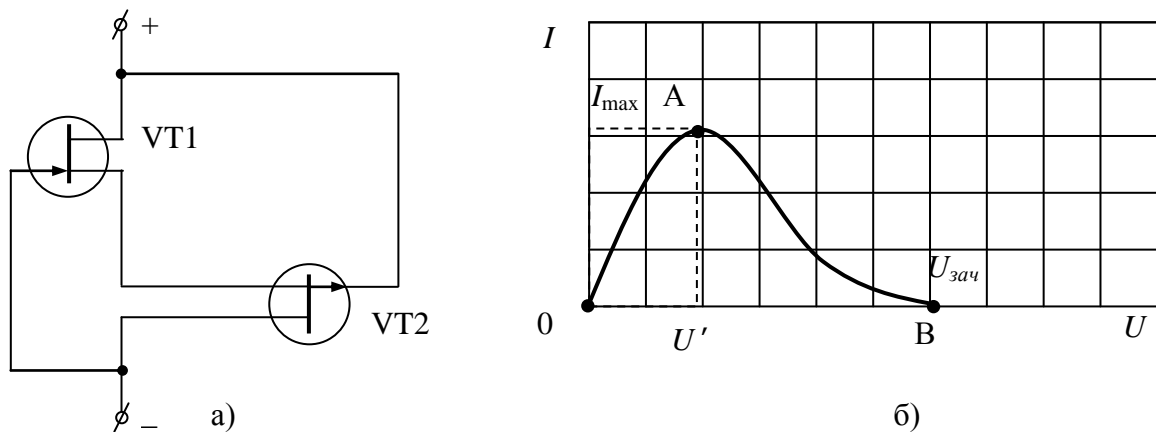
**Актуальність.** *Якість роботи пристрів захисту електрообладнання в першу чергу залежить від типу первинних перетворювачів, що застосовуються для контролю параметрів діагностування. Тому питання розробки і дослідження*

параметрів та можливостей сучасних перетворювачів, наприклад, таких як лямбда-діод, є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** ВАХ лямбда-діоду за формою нагадує грецьку букву  $\lambda$ . Лямбда-діод представляє собою пристрій, структура якого складається з пари уніполярних транзисторів з керованим  $p$ - $n$  переходом виконаних на одному кристалі та включених за певною схемою. Однією з його важливих переваг є можливість отримання ВАХ, ділянки з негативним опором яких можуть змінюватися в широких межах. Оскільки лямбда-діод має характеристику перемикача, ділянка ВАХ, яка відповідає закритому стану поширюється на доволі значну напругу, такий пристрій можна використовувати у схемах захисту з широкому класі.

Недоліком лямбда-діоду є неможливість регулювати або збільшувати ширину його природньої ВАХ, крім того в Україні лямбда-діоди не виготовляються.

Вчені ТДАТУ Жарков В.Я., Чураков А.Я, розробили аналог лямбда-діоду, який складається з двох окремих уніполярних транзисторів, які утворюють комплементарну пару. Один з них має канал  $p$ -типу, інший –  $n$ -типу, і включені за схемою з об'єднаними витокami ( рис.1, а), мають природню ВАХ (рис.1, б) [1].

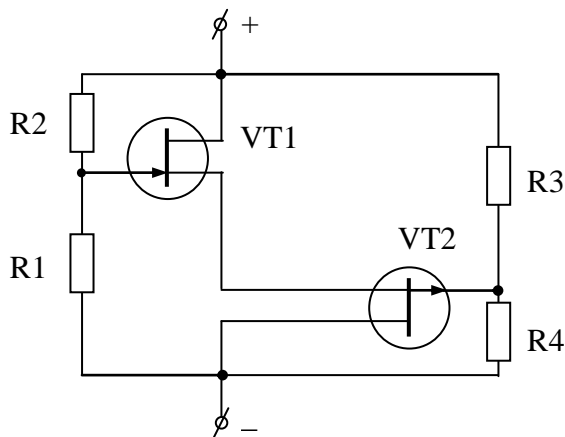


а) принципова схема АД; б) природна ВАХ АД

**Рис. 1. Аналог лямбда-діоду**

З підвищенням прикладеної до АЛД напруги позитивної полярності (анод позитивний) сила струму спочатку зростає і при деякій напрузі досягає найбільшого значення  $I_{\max}$ . При подальшому зростанні напруги сила струму поступово зменшується аж до нуля, коли обидва транзистора переходять в зачинений стан, що відповідає точці В на рис. 1, б.

Для зміни параметрів ВАХ АЛД затвори польових транзисторів приєднують до резистивних ділянок напруги (рис.2).



**Рис. 2. Схема АЛД с резистивными дільниками напруги**

**Мета дослідження** – аналіз ВАХ АЛД різних комплементарних пар транзисторів та визначити параметри і межі його використання у якості перетворювача.

**Матеріали та методи дослідження.** Для дослідження АЛД були обрані такі комплементарні пари транзисторів: КП303Г-КП103Л, КП303Б-КП103М, КП303Е-КП103М. Регулювання прикладеної напруги до АЛД здійснювалося за допомогою блока живлення ЛІПС-35. Напруга вимірювалась вольтметром Э59, сила струму – амперметром М1200, клас точності вимірювальних приборів – 0,5. Принципова схема експериментальної установки для дослідження ВАХ АЛД наведена на рис. 3.

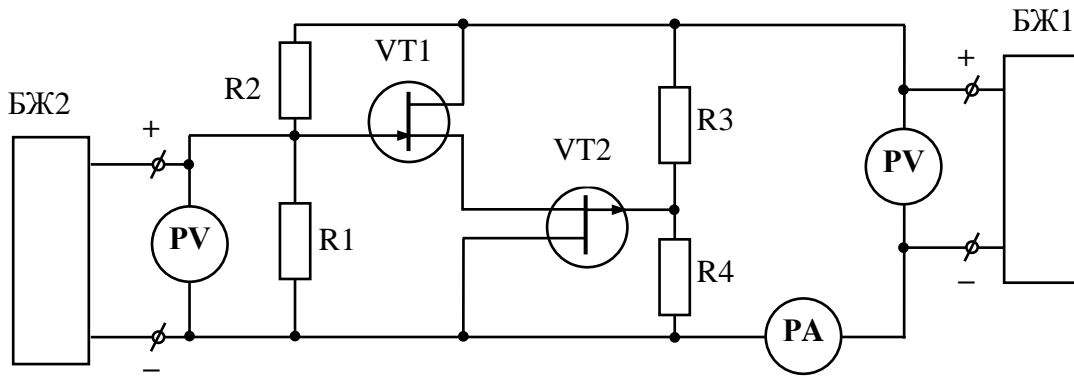


Рис. 3. Принципова електрична схема дослідження ВАХ АЛД

При зміні напруги на затискачах аналога АЛД від 0 до 10 В отримані природні ВАХ. За природну ВАХ аналога лямбда-діода прийнята залежність  $I=f(U)$  при  $R1=R3=0$  і  $R2=R4=\infty$ .

**Результати досліджень та їх обговорення.** Результати досліджень природних ВАХ наведені в таблиці 1.

З таблиці видно, що величини  $U_{зач}$ ,  $I_{макс}$ ,  $U'$  для різних пар транзисторів доволі схожі, тому для подальшого дослідження обрано комплементарну пару КП303Е-КП103М.

### 1. Результати експериментальних досліджень природних ВАХ

Комплементарна пара	$U_{зач}$ , В	$I_{макс}$ , мА	$U'$ , В
КП303Г–КП103Л	3,00	1,60	0,90
КП303Б–КП103М	2,85	1,55	0,85
КП303Е–КП103М	3,30	1,70	0,95

Слід відмітити, що ВАХ АЛД практично не змінюється як при об'єднанні стоків польових транзисторів так і їх витоків. Оскільки ємність  $p-n$  переходу виток-затвор менше за ємність виток-стік [2], використання стоку в якості вихідного електроду АЛД більш переважно. Результати дослідження ВАХ АЛД при об'єднанні стоків або витоків наведено у таблиці 2.

## 2. ВАХ АЛД КП303Е–КП103М при об'єднанні виводів

Напруга $U_{\lambda}$ , В	1,00	1,40	1,60	1,80	2,00	3,00	4,00	5,00	5,80	6,00
Сила струму $I_{\lambda}$ , мА, об'єднані витоки	1,32	1,54	1,59	1,60	1,57	1,12	0,55	0,12	0,03	0,00
Сила струму $I_{\lambda}$ , мА, об'єднані стоки	1,30	1,53	1,58	1,60	1,56	1,10	0,55	0,10	0,00	0,00

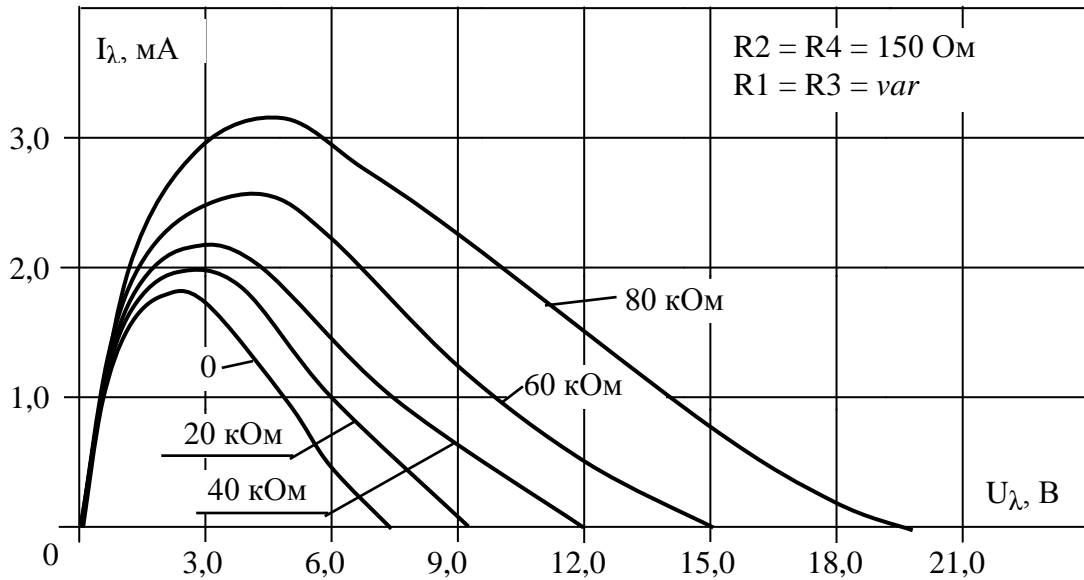
У подальших дослідженнях використовувалася схема АЛД з об'єднаними витоками.

Як було вказано раніше, перевагою АЛД перед лямбда-діодом є можливість зміни параметрів ВАХ в широких межах шляхом зміни опорів резистивних ділянок напруги в колах затворів транзисторів АЛД. Співвідношення опорів резисторів R1, R2, R3, R4 повинно задовольняти умові [2]:

$$K = \frac{R1}{R2} \approx \frac{R3}{R4} \quad (1)$$

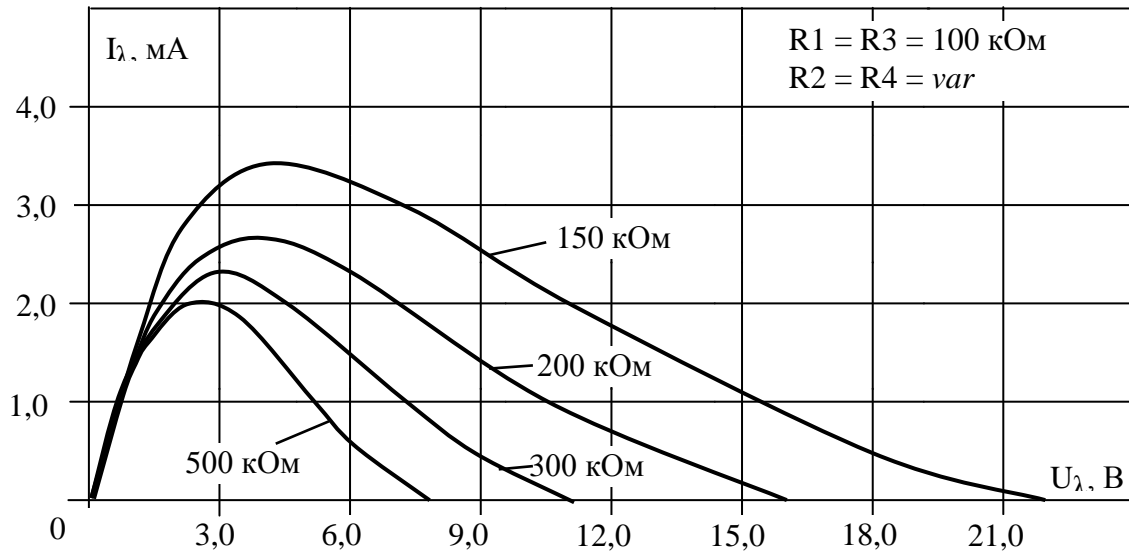
ВАХ АЛД КП303Е-КП103М для різних опорів резисторів R1-R4 наведені на рис. 4, 5. Як можна побачити, при збільшенні опорів резисторів R1 і R3 від 0 до 100 кОм і при незмінних величинах опорів R2, R4 рівних 150 кОм, збільшується ширина ВАХ з 6 В до 18 В, при цьому збільшується максимальний струм АЛД з 1,55 мА до 3,4 мА (рис. 4).

При збільшенні величин опорів резисторів R2, R4 зменшується напруга запирання АЛД з 22 В до 6 В. Причому, чим більше співвідношення (1), тим більше ширина основи ВАХ АЛД. Так, при збільшенні величин опорів резисторів R2, R4 з 150 до 500 кОм і незмінних величинах опорів R1, R3, які дорівнюють 100 кОм, напругі зачинення АЛД зменшується з 22 В до 6 В, також зменшується  $I_{\max}$  (рис. 5) і ВАХ АЛД наближається до природньої. Однак зниження величини опорів R2, R4 до величини менш 150 кОм призводить до неможливості закрити АЛД.



**Рис. 4. ВАХ АЛД КП303Е-КП103М при зміні опорів резисторів R1, R3 і постійних опорах резисторів R2 = R4 = 150 кОм**

Якщо замість резисторів R2, R3 в схемі АЛД включити напівпровідникові пристрої, що змінюють величину опору в сторону збільшення, то ділянка з негативним ВАХ АЛД з негативним диференціальним опором зміщується вправо відносно до його природної ВАХ і збільшується ширина її основи.



**Рис. 5. ВАХ АЛД КП303Е-КП103М при зміні опорів резисторів R2, R4 і постійних опорах R1 = R3 = 100 кОм.**

Наприклад, якщо замість резисторів R2, R3 в схемі АЛД включити позистори СТ14-1Б, при збільшенні їх температури ділянка з негативним ВАХ

АЛД з негативним диференційним опором зміщується вправо, росте ширина її основи і збільшується напруга зачинення: при температурі 21°C напруга зачинення АЛД складає 6 В, а при збільшенні температури до 100°C напруга зачинення збільшується до 22 В, тобто в 3,7 разів [3].

Таким чином, АЛД з позистором, включеним між затвором транзистора VT1 і стоком транзистора VT2, можна використовувати в якості пристрою для контролю температури, або іншої неелектричної величини, наприклад, вологості або ступеню освітлення тощо.

Слід відмітити, що зі зміною напруги на затискачах АЛД пропорційно змінюється напруга на затворах транзисторів.

Якщо на затворі польового транзистора VT1 збільшувати напругу при незмінній нарузі на затискачах АЛД, це також призводить до збільшення ширини основи ВАХ АЛД при незмінних величинах опорів R1-R4.

В зв'язку з тим, що енергоспоживання АЛД в зачиненому стані вкрай мале, перспективним є використання цього пристрою в схемах автоматичного контролю, діагностування і захисту.

**Висновки і перспективи.** Експериментальне дослідження ВАХ АЛД показало, що підключення затворів польових транзисторів до резистивних ділянок напруги дозволяє змінювати ширину основи ВАХ в декілька раз. Також до значної зміни ширини ВАХ призводить зміна напруги на затворах уніполярних транзисторів, що дозволяє використовувати їх в якості перетворювачів неелектричних величин в електричні.

#### **Список літератури**

1. Попова І. О. Можливості виконання енергоекономічних пристроїв на базі аналога лямбда-діода для АПК/ І. О. Попова, А. В. Жарков // Вісник Сумського національного аграрного університету // Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – Суми: СНАУ, 2016. – Вип. 10/1 (29) – С.163-167.
2. Попова І. О. Енергоекономічний перетворювач на базі аналога лямбда-діода для контролю параметрів об'єктів в АПК / І. О. Попова // Збірник тез доповідей XVIII міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» присвячена 116 річниці з дня народження академіка П.М. Василенка». – Суми: СНАУ, 2016. – С.213-214.

3. Попова І. О. Еквівалентна схема заміщення первинного перетворювача на основі аналога лямбда-діода / І. О. Попова, С. Ф. Курашкін // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка і енергетика АПК». – К.: НУБіП, 2017. – Вип. 261. – С.163-169.

### References

1. Popova, I. O., Zharkov, V. Y. (2016) *Mozhlyvosti vykorystannya energoekonomichnyh prystroiv na bazi analogu ljambda-dioda dlja APK* [Possibilities of implementation the energyeconomic devices are based on lambda-diode analogue for agriculture]. Sumy, Ukraine: Sumy National Agriculture University Herald, 10/1 (29), 163–167.

2. Popova, I. O. (2016) *Energoekonomichnyj peretvoryuvach na bazi analogu ljambda-dioda dlja kontrolyu parametriv objektiv v APK* [Energyeconomic transformer based on lambda-diode analogue for control parameters of objects in agriculture]. XVIII annual scientific conference «Modern problems of agricultural mechanics in memory to a 116 anniversary academician P.M. Vasilenko birth». Sumy (Ukraine), 213–214.

3. Popova, I. O., Kurashkin S. F. (2017) *Ekvivalentna shema zamischennya pervynnogo peretvoryuvacha na osnovi na osnovi analoga ljambda-dioda* [The equivalent circuit of substitution as a primary element based on lambda diode analogue]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy, Seriiia «Tekhnika i enerhetyka APK»*. 261, 163-169.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АНАЛОГА ЛЯМБДА-ДИОДА НА УНИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

*И. А. Попова, С. Ф. Курашкин, В. С. Попрядухин*

**Аннотация.** *Работа посвящена исследованию характеристик и возможностей первичного преобразователя, выполненного на базе аналога лямбда-диода, который применяется для контроля параметров диагностирования в устройствах защиты электрооборудования. Преимуществом лямбда-диода является возможность получения ВАХ с участком отрицательного сопротивления, а недостатком – невозможность регулирования или увеличивать ширину его естественной ВАХ, поэтому применяются их аналоги, построенные на разных схемотехнических принципах. В работе рассматривается лямбда-диода на базе униполярных транзисторов, что дает возможность изменять ширину участка ВАХ с отрицательным сопротивлением. Это свойство можно использовать в схемах защиты. Задачей работы является исследование ВАХ АЛД разных комплементарных пар транзисторов и определение параметров и пределов использования аналога в качестве преобразователя, для чего была составлена принципиальная электрическая схема и методика исследования. По результатам исследований естественных ВАХ разных типов транзисторов определено, что тип транзистора практически не влияет на параметры ВАХ.*



Также ВАХ АЛД не изменяется как при объединении стоков полевых транзисторов, так и их истоков. Была определена зависимость соотношения сопротивлений резистивного делителя напряжения, приложенного напряжения и их влияние на ширину участка ВАХ с отрицательным сопротивлением.

**Ключевые слова:** *аналог лямбда-диода, комплементарная пара, униполярный транзистор, энергоэкономичность, резистивный делитель напряжения, ВАХ*

## **THE VOLT-AMPS DIAGRAM EXPERIMENTAL RESEARCH OF LAMBDA-DIODE ANALOGUE BASED ON HOMOPOLAR TRANSISTORS**

*I. Popova, S. Kurashkin, V. Popryaduhin*

**Abstract.** *The scientific work is devoted to research the primary converter characteristics and capabilities, based on lambda-diode analogue which is used to monitoring diagnostic parameters in electrical equipment protection devices. The advantage of the lambda-diode is possibility to obtain volt-amps diagram with a negative-resistance section, and the disadvantage is impossibility to regulate or increase the width of its natural volt-amps diagram, so their analogs based on different circuitry principles are used. In this research were consider a lambda-diode analogue based on FET-transistor, which makes it possible to vary the width of the volt-amps diagram with negative resistance. This property can be used in protection circuits. The task is to research volt-amps diagram the different complementary transistors pairs of analogue have and to determine their parameters and limits to use as a primary converter. Electrical circuit and a test procedure were compiled as well. Based on researching results of different transistors types it is determined the type of transistor practically does not affect the parameters of the VA-diagram. The volt-amps diagram of analogue does not change when combining the drains or sources of FET-transistors. There was defined a relationship between resistance of voltage divider, the applied voltage and their influence on width the negative resistance section of VA-diagram.*

**Key words:** *lambda-diode analogue, complementary pair, FET-transistors, energy economy, resistance voltage divider, volt-amps diagram*