



УДК 621.316.36

DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-27

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА ОСНОВІ АНАЛОГА ЛЯМБДА-ДІОДА ЗА ДОПОМОГОЮ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Попова І. О., к.т.н.,

Курашкін С. Ф., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

E-mail: etem@tsatu.edu.ua

Анотація – Під час розробки нових пристроїв діагностування і захисту силового електрообладнання застосовується лямбда-діод – пристрій з від’ємним диференційним опором, тобто негatron. Схеми з лямбда-діодами мають малі втрати енергії, високу термостабільність, значну і стабільну амплітуду вихідного сигналу. Недоліком є складність регулювання природньої вольт-амперної характеристики (ВАХ). Для його усунення розроблений аналог лямбда-діоду (АЛД) на базі дискретних польових транзисторів. З ростом прикладеної напруги зростає також струм АЛД і при деякій напрузі він досягає максимального значення, а потім зменшується аж до 0. У роботі досліджено способи регулювання ширини ВАХ і межі їх змін для подальшого застосування отриманих даних під час розробки пристроїв захисту. Змінюючи напругу, що подається до АЛД були отримані природні ВАХ при відсутності дільників напруги, а також штучні ВАХ у разі включення між затворами і стоками польових транзисторів АЛД дільників напруги. Було встановлено, що ширина ВАХ залежить від співвідношення між опорами дільників – це є перевагою АЛД при індивідуальному підстроюванні ВАХ для конкретного випадку. Також було досліджено ВАХ АЛД у разі встановлення позисторів у плечі дільників напруги. Було встановлено, що зі збільшенням температури середовища, ділянка з негативним диференціальним опором зміщується вправо по відношенню до природньої ВАХ, збільшується ширина основи ВАХ і зростає напруга запирання. Таким чином можна зробити висновок про спроможність змінювати ВАХ АЛД в широких межах у залежності від технічного завдання на розробку первинного перетворювача на базі АЛД. Аналог можна застосовувати в якості перетворювача неелектричних величин в електричні, оскільки ширина основи збільшується майже в 4 рази, що дозволяє контролювати декілька об’єктів одночасно.

Ключові слова - лямбда-діод, польовий транзистор, біполярний транзистор, комплементарна пара, енергоефективність, терморезистор, негatron.

Постановка проблеми. Перспективним ключовим напівпровідниковим елементом, який може застосовуватися під час розробки нових пристроїв діагностування і захисту силового електрообладнання є лямбда-діод. Він являє собою пристрій,

конструкція якого складається з комплементарної пари польових транзисторів, включених за визначеною схемою [1] і відноситься до групи елементів, що мають від'ємний диференційний опір в певному режимі роботи – негатронів.

Електронні схеми з лямбда-діодами мають малі втрати енергії, високу температурну стабільність, значну і стабільну амплітуду вихідного сигналу. Оскільки лямбда-діод має характеристику перемикача – ділянка, відповідаюча закритому стану поширюється на доволі велику напругу, тому такий пристрій може бути використаний у широкому класі схем захисту. Головним недоліком лямбда-діода є те, що регулювати або збільшувати ширину його вольт-амперної характеристики (ВАХ) можливо лише в межах природньої ВАХ.

Аналіз останніх досліджень. Оскільки серійне виробництво лямбда-діодів відсутнє був розроблений аналог лямбда-діоду (АЛД) на базі дискретних польових (рис. 1, а) і біполярних транзисторів (рис. 1, б), що утворюють комплементарну пару [2, 4]. Також досліджується комбінована схема з використанням польового n -канального і біполярного $p-n-p$ транзистора (рис. 1, в), що дає змогу отримати більш широку ВАХ. Умовне позначення лямбда-діода наведено на (рис. 1, г).

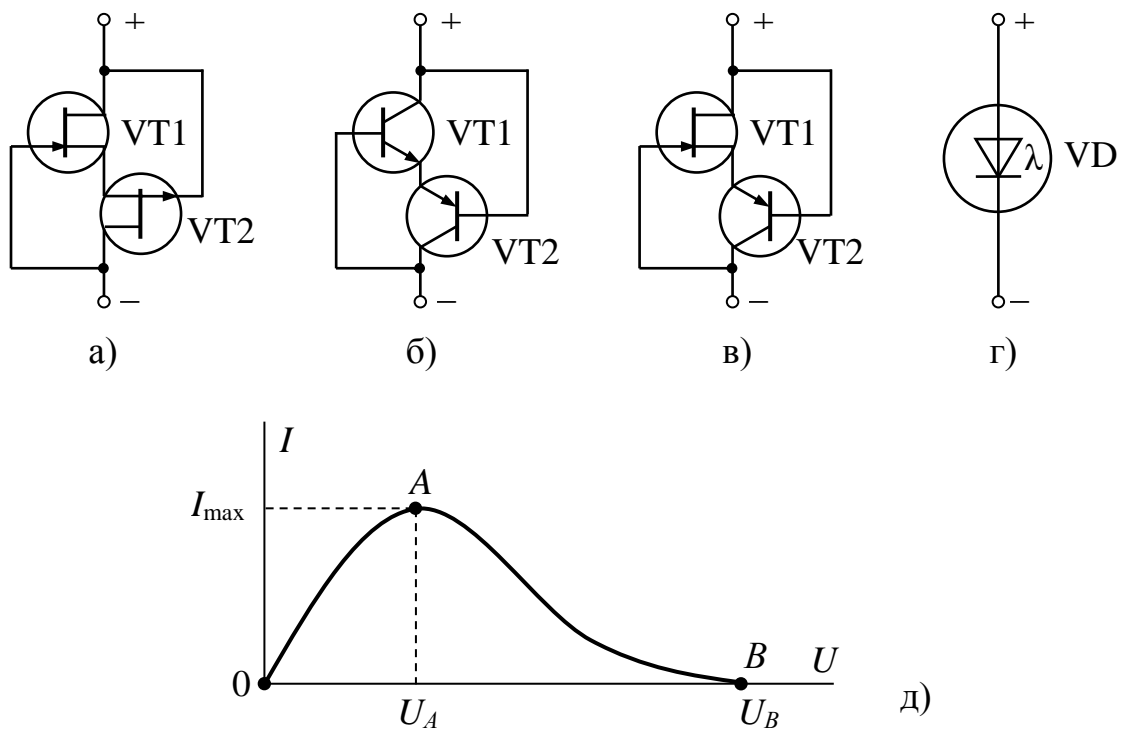


Рис. 1. Аналог лямбда-діода і його ВАХ

ВАХ АЛД (рис. 1, д) має ділянку ОА з позитивним і ділянку АВ з негативним диференційним опором. З ростом прикладеної напруги зростає також струм АЛД і при деякій напрузі U_A він досягає максимального значення I_{\max} , а потім зменшується. При напрузі U_B транзистори закриваються, АЛД не проводить струм і залишається у закритому стані.

Якщо між затворами і стоками польових транзисторів (рис. 1, а) включити ділянки напруги (рис. 2), параметри ВАХ АЛД можуть бути змінені.

Формулювання цілей статті. зняти ВАХ АЛД з різними комплементарними парами польових транзисторів, дослідити способи регулювання ВАХ і межі їх змін для подальшого використання отриманих даних під час розробки пристроїв захисту силового електрообладнання.

Основна частина. Отримання ВАХ проводилося за класичною методикою. Змінюючи напругу, що подається до АЛД від 0 до 10 В були отримані природні ВАХ, за які прийняли залежність $I=f(U)$ за умовою $R_1 = R_3 = 0$ та $R_2 = R_4 = \infty$. Результати експерименту наведені в таблиці 1.

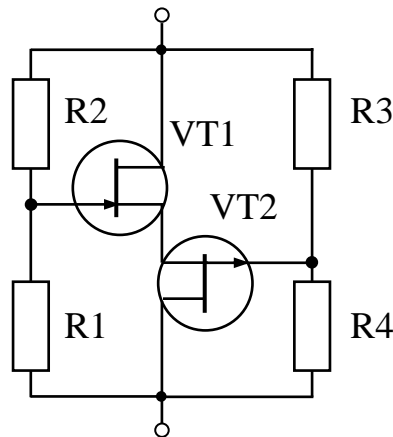


Рис. 2. Схема АЛД з ділянками напруги

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень природних ВАХ АЛД

Комплементарна пара	U_A, B	U_B, B	I_{\max}, mA
КП303Г-КП103Л	0,90	3,00	1,60
КП303Б-КП103М	0,85	2,90	1,55
КП303Е-КП103М	0,95	3,25	1,70

З отриманих даних можна побачити, що величини U_A , U_B , I_{\max} одного порядку, незважаючи на тип комплементарної пари

транзисторів, тому для подальшого дослідження можна обрати пару КП303Г-КП103Л.

Зміна ширини ВАХ АЛД можлива за умови наступного співвідношення між опором дільників [3]:

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

Перевагою АЛД є можливість зміни ширини ВАХ індивідуальним підбором співвідношення K .

Так, при збільшенні опорів резисторів $R2, R3$ від 0 до 100 кОм і незмінних опорах $R1 = R4 = 150$ кОм = const, струм I_{\max} збільшується від 1,55 до 3,4 мА (рис. 3).

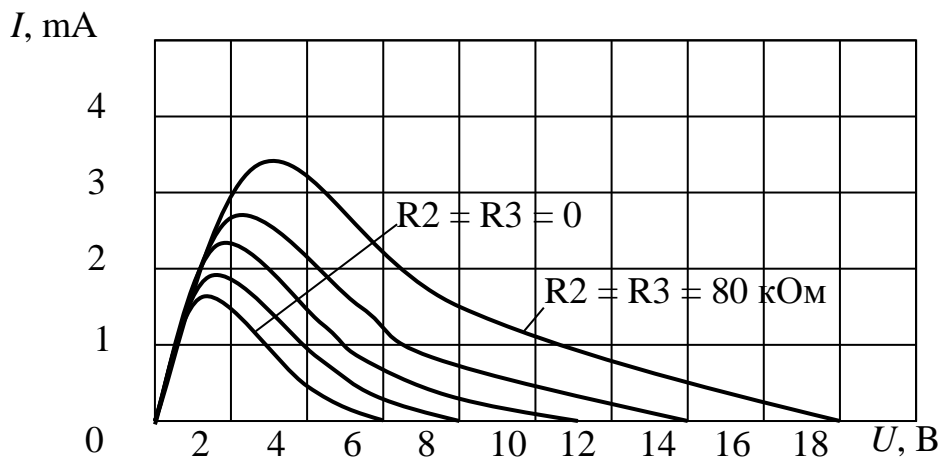
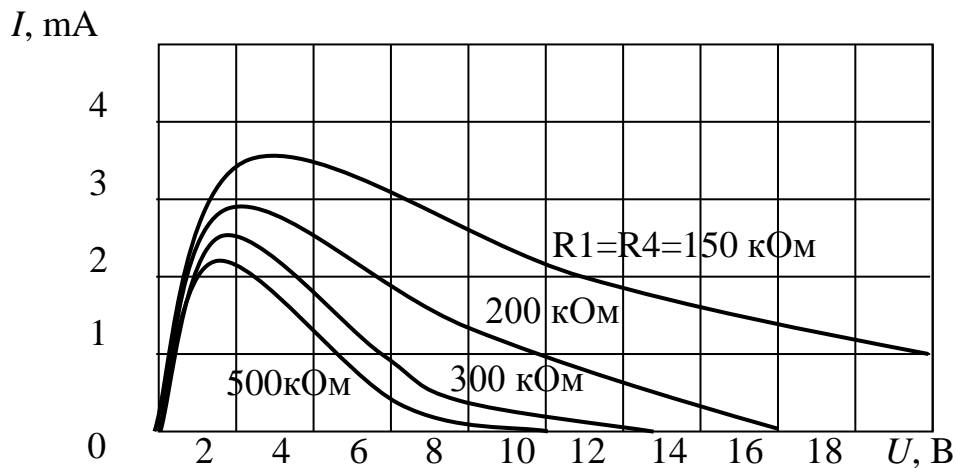
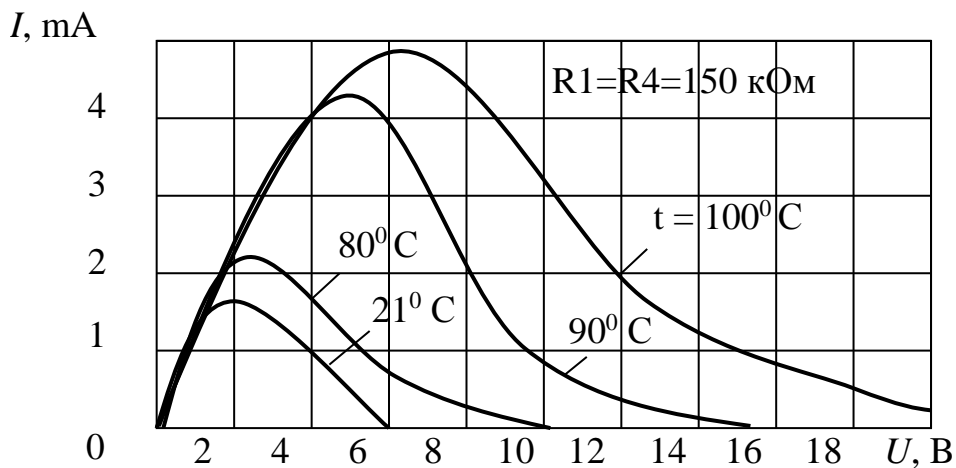


Рис. 3. ВАХ АЛД при $R2 = R3 = \text{var}$, $R1 = R4 = 150$ кОм

Збільшення опорів $R2, R3$ приводить до зростання напруги запирання АЛД U_B від 6 до 20 В. Причому, чим менше значення приймає співвідношення K , тим ширше основа ВАХ.

При збільшенні опорів резисторів $R1, R4$ від 150 до 500 кОм і $R2 = R3 = 100$ кОм = const, зменшується I_{\max} (рис. 4), а ВАХ наближається до природної. Однак зниження опорів резисторів $R1, R4$ до величини менше 150 кОм унеможливило закриття АЛД.

Якщо замість резисторів $R2$ і $R3$ встановити позистори СТ14-1Б (рис. 5), зі збільшенням температури середовища, в якому вони знаходяться, ділянка з негативним диференціальним опором зміщується вправо по відношенню до природної ВАХ, збільшується ширина основи ВАХ і зростає напруга запирання U_B (рис. 5).

Рис. 4. ВАХ АЛД при $R_1 = R_4 = \text{var}$, $R_2 = R_3 = 100 \text{ кОм}$ Рис. 5. ВАХ АЛД з позисторами R_2, R_3

Так, якщо температура позисторів 21°C – напруга запирання АЛД дорівнює 6 В, а при збільшенні їх температури до 100°C напруга запирання АЛД збільшиться до 22 В. При заміні позисторів на термістори зміщення ВАХ буде протилежним, тобто ширина ВАХ буде зменшуватися, відносно природної.

Однак, слід відмітити, що позистори мають ряд переваг перед термісторами: у позисторів температурний коефіцієнт опору $\alpha = 15\text{--}50\%/^\circ\text{C}$, в той час як у термісторів $\alpha = 4\text{--}8\%/^\circ\text{C}$. Тому у позисторів менша похибка під час зростання температури і є можливість контролю одночасно декількох об'єктів.

Замість резисторів R_2 і R_3 можна використовувати інші нелінійні резистори, які змінюють свій опір під впливом зовнішніх факторів: гігристори, фоторезистори тощо [5].



Висновки. Отримані ВАХ аналогу лямбда-діоду дозволяють зробити висновок про спроможність їх змінювати в широких межах у залежності від технічного завдання на розробку первинного перетворювача на базі АЛД. Також слід відмітити, що АЛД є енергоекономічним перетворювачем, оскільки у закритому стані споживає не більше 1,5 мА. Аналог можна застосовувати в якості перетворювача неелектричних величин в електричні оскільки ширина основи збільшується майже в 4 рази, що дозволяє контролювати декілька об'єктів одночасно.

Література

1. Kano, G. (1975). The lambda diode: versatile negative-resistance device. *Electronics*, 48 (13), 105-109.
2. Chua, L. O., Yu, J., Yu, Y. (1985). Bipolar-JFET-MOSFET Negative Resistance Devices. *IEEE. Transactions on Circuits and Systems*, 1, 46-61.
3. 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 / СНАУ. – Суми, 2016. – Вип. 10/1 (29). – С. 163-167. – (Механізація та автоматизація виробничих процесів).
4. Курашкін С. Ф. Експериментальне дослідження аналогу лямбда-діода на біполярних транзисторах / С. Ф. Курашкін, І. О. Попова, А. Я. Чураков // Праці Таврійської державної агротехнічної академії / ТДАТА. – Мелітополь, 2007. – Вип. 45. – С. 40-44.
5. Жарков В. Я. Застосування аналогу лямбда-діода для діагностики та захисту електрообладнання від аномальних режимів роботи / В. Я. Жарков, І. О. Попова // Науковий вісник НАУ. – К.: 1999.– Вип. 19. – С. 205–207.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АНАЛОГА ЛЯМБДА-ДИОДА С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Попова И. А., Курашкин С. Ф.

Аннотация

При разработке новых устройств диагностирования и защиты силового электрооборудования применяется лямбда-диод – полупроводниковый прибор с отрицательным дифференциальным сопротивлением, т.е. негатрон. Схемы с лямбда-диодами имеют небольшие потери энергии, высокую термостабильность, значительную и стабильную амплитуду выходного сигнала. Недостатком является сложность регулирования естественной вольтамперной характеристики (ВАХ). Для его устранения разработан аналог лямбда-диода (АЛД) на базе дискретных полевых транзисторов. С ростом приложенного напряжения растет ток АЛД и при некотором напряжении он достигает максимального значения, а затем уменьшается до 0. В работе исследованы способы регулирования ширины ВАХ и



границы их изменений. Изменяя напряжение, подаваемое на АЛД были получены природные ВАХ при отсутствии делителей напряжения, а также искусственные ВАХ при включении между затворами и стоками полевых транзисторов АЛД делителей напряжения. Было установлено, что ширина ВАХ зависит от соотношения между сопротивлениями делителей, что является преимуществом АЛД при индивидуальной подстройке ВАХ под конкретную задачу. Также были исследованы ВАХ АЛД в случае установки резисторов в плечи делителей – было установлено, что с увеличением температуры, участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением смещается вправо по отношению к естественной ВАХ, увеличивается ширина основания ВАХ и растет напряжение запирающего. Можно сделать вывод о способности изменять ВАХ АЛД в широких пределах в зависимости от технического задания на разработку первичного преобразователя на базе АЛД. Аналог можно применять в качестве преобразователя неэлектрических величин в электрические поскольку ширина основания увеличивается почти в 4 раза, что позволяет контролировать несколько объектов одновременно.

CONVERTER OPPORTUNITIES DETERMINATION BASED ON LAMBDA-DIODE ANALOGUE BY VOLT-AMPS DIAGRAMS

I. Popova, S. Kurashkin

Summary

The scientific work is devoted to research the primary converter characteristics and its capabilities are 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, they have low energy losses, high temperature stability, significant and stable output signal amplitude. But 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 electronic circuits designed to protect power electrical equipment. 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. Based on researching results of different transistors types it is determined the type of transistor practically does not affect the parameters of the volt-amps diagram. There was defined a relationship between resistance of voltage divider and influence on width the negative resistance section of volt-amps diagram. The obtained volt-amps diagrams of the lambda-diode analogue make it possible to conclude they are able to vary widely, depending on development specification are required to primary converter. The lambda-diode analogue can be used as a converter of non-electric quantities into electrical ones, since the base of VA-diagram width increases by almost 4 times, that allows to control several objects simultaneously.

Keywords: lambda diode, field transistor, bipolar transistor, complementary pair, energy efficiency, thermistor, negatron.