

УДК 631.37:621.313

**ДОСЛІДЖЕННЯ БІПОЛЯРНОГО
ТРАНЗИСТОРНОГО НЕГАТРОНУ**

Курашкін С.Ф., к.т.н.

<https://orcid.org/0000-0002-3361-9489>

Попова І.О., к.т.н.,

<https://orcid.org/0000-0001-5429-8269>*Таврійський державний агротехнологічний університет, e-mail:*
etem@tsatu.edu.ua

Анотація – розширення функціональних можливостей пристроїв діагностування та захисту електрообладнання можливе за умови втілення новітньої елементної бази. Перспективним напрямком розвитку електронних напівпровідникових пристроїв є застосування негатронів – елементів з відємним значенням опору (ємності, індуктивності). Оскільки виготовлення негатронів є поки що трудомістким технологічним процесом, їх серійне виробництво поки що не налагоджене. За допомогою існуючих напівпровідникових активних елементів можна отримати аналоги негатронів. В роботі досліджується штучні вольт-амперні характеристики (ВАХ) аналогу негатрону на двох біполярних транзисторів однієї структури (n-p-n) з ціллю визначити способи і межі регулювання її ширини і амплітуди для отримання практичних рекомендації під час проектування електронних пристроїв діагностування і захисту силового електрообладнання. Було встановлено, що ширина ВАХ залежить від співвідношення між опорами резисторів, включених у коло баз транзисторів – це має практичний інтерес, оскільки ВАХ можна підлаштовувати індивідуально для конкретного випадку залежно від технічного завдання. Амплітуда ВАХ залежить як від параметрів транзисторів, так і від співвідношення опорів означених резисторів. Аналог біполярного транзисторного негатрона 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: біполярний транзистор, первинний перетворювач, вольт-амперна характеристика, негатрон.

Постановка проблеми. Існує народно - господарча проблема: підвищення експлуатаційної надійності асинхронних двигунів в АПК, яких у виробництві переважна більшість. Головною причиною

існуючої проблеми є експлуатаційні аварійні режими роботи асинхронних двигунів в сільськогосподарському виробництві, тому розробка і удосконалення пристроїв діагностування режиму роботи асинхронних двигунів є одним з шляхів рішення проблеми їх експлуатаційної надійності.

Розробку сучасних приладів діагностування та захисту електрообладнання проводять із використанням новітньої елементної бази, що дозволяє значно спростити схемотехніку порівняно із застосуванням класичних рішень. Завдяки цьому можливе розширення функціональних властивостей таких пристроїв.

Одним з таких перспективних напівпровідникових елементів є негатрон – електронний напівпровідниковий пристрій, який в певному режимі роботи має від’ємне значення основного диференційного параметру (від’ємний активний опір, ємність або індуктивність) [1]. Науковий напрям в області електроніки, пов’язаний з теорією і практикою створення і застосування негатронів отримав назву «негатроніка» – електронних пристроїв, що мають у визначеному режимі роботи від’ємний диференційний опір, а електронні пристрої на напівпровідних кристалах мають значну кількість схемотехнічних рішень для широкого класу як аналогових так і цифрових електронних пристроїв різних функціональних призначень.

В області низьких частот більше розповсюдження мають різні модифікації негатронів на базі структури з декількома $p-n$ переходами – діністори, триністори, тетристори, лямбда-діоди тощо. В основі їх роботи лежить тиристорний лавинний ефект множення носіїв в $p-n$ переході, тобто такі негатрони є елементами, які працюють в ключовому режимі.

Технологія виробництва планарних напівпровідникових пристроїв сьогодні досягла високої досконалості, однак процес їх виготовлення достатньо трудомісткий. З цієї точки зору більш цікавим є застосування аналогів негатронів на базі різних схемотехнічних комбінацій активних пристроїв, наприклад, польових або біполярних транзисторів (рис. 1).

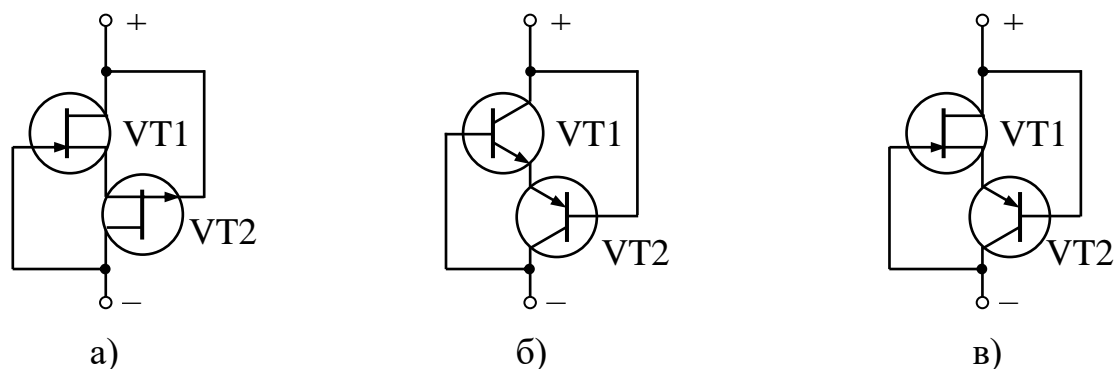


Рис. 1. Аналоги негатронів

Електронні схеми з негatronами мають малі втрати енергії, високу температурну стабільність, значну і стабільну амплітуду вихідного сигналу [2]. Вольт-амперні характеристики негatronів мають ділянку, яка відповідає закритому стану при доволі великій напрузі, що зручно для використання. Одним з головних недоліків негatronу на основі інтегральної біполярної структури є обмежена ширина регулювання природньої ВАХ. Але застосування аналогу негatronу на базі дискретних біполярних транзисторів дозволяє отримати штучні регульовані ВАХ.

Аналіз останніх досліджень. Останній час зусиллями вчених Азербайджану, Росії і України розвивається мікроелектронна негatronіка на базі плівок полікристалічного кремнію, досліджуються їх фізичні властивості і функційні можливості [3]. Дослідження негatronу на базі польової структури, у якості якого застосовується аналог лямбда-діоду, раніше проводилося авторами у роботі [4].

Подальші перспективи розвитку негatronіки полягають у створенні негасенсорів різних фізичних величин і інтегральних первинних перетворювачів на їх основі з частотним виходом в єдиному інтегральному виконанні.

Формулювання цілей статті. Для отримання практичних рекомендацій щодо застосування біполярного транзисторного негatronу необхідно дослідити схему його аналогу, зняти ВАХ, дослідити способи і межі її регулювання.

Основна частина. Принципова схема досліджуваного негatronу біполярної структури зображена на рис. 2.

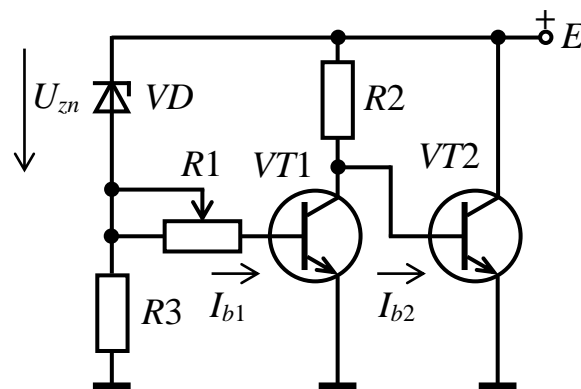


Рис. 2. Принципова електрична схема біполярного негatronу

Резистори R_1 , R_2 призначені для регулювання ширини штучної ВАХ негatronа в значному діапазоні напруги живлення. У якості змінного резистору R_1 може бути застосований нелінійний

напівпровідниковий елемент, опір якого залежить від фізичного параметру (температури, вологості, освітлення тощо).

Стабілітрон VD призначений для регулювання струму негatronу і напруги піка його ВАХ і характеризується опорною напругою U_{zn} . Резистор $R3$ призначений для обмеження напруги, яка подається на транзистор $VT1$.

ВАХ біполярного транзисторного негatronа (рис. 3) має ділянку з позитивним (AB) і негативним (BC) диференціальним опором. З ростом прикладеної напруги до пікового значення U_B , струм досягає максимального значення I_{max} , а потім зменшується до повного закриття при напрузі U_C .

При напрузі, що подається на негatron

$$E \leq U_{zn} \quad (1)$$

транзистор $VT1$ закритий, $VT2$ відкритий і через нього тече струм спокою I_{b2} . Робоча точка знаходиться на ділянці AB.

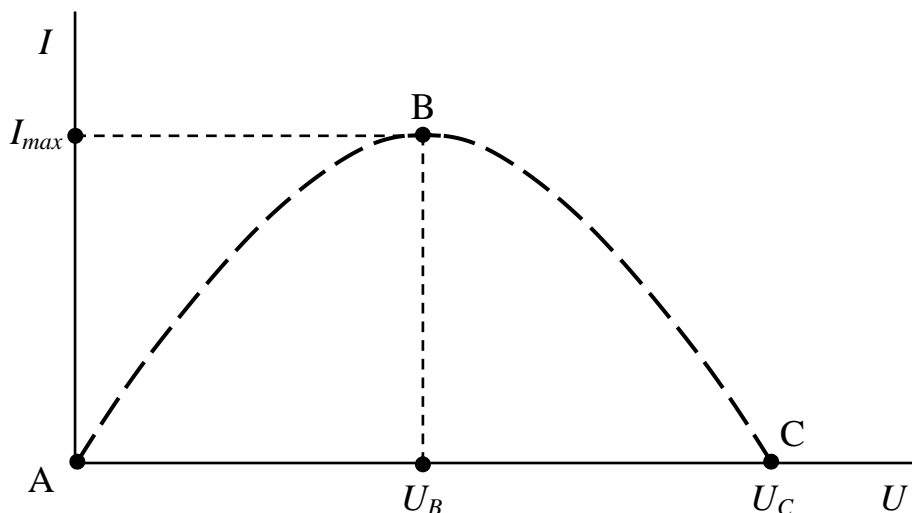


Рис. 3. ВАХ біполярного транзисторного негatronу

Як тільки напруга E перевищить опорну, транзистор $VT1$ відкриється. Але чим більша напруга E буде прикладена до негatronу, тим менше буде падіння напруги між колектором і емітером транзистора $VT1$, що приведе до закриття $VT2$ (ділянка BC).

Ширина ВАХ обмежується напругою відсічки U_C [5].

$$U_C = 2U_{zn}. \quad (2)$$

Таким чином критерієм вибору транзисторів $VT1$ і $VT2$ є умова

$$U_C \leq E \leq U_{ke.max}, \quad (3)$$

де $U_{ke.max}$ — припустима напруга U_{ke} транзисторів, В.

Експериментальне дослідження ВАХ проводилося за класичною методикою. Застосовувалися транзистори типу BD139. Вибір стабілітронів виконується за умовою

$$U_{zn} < U_{be.max}, \quad (4)$$

де $U_{be.max}$ – припустима напруга емітерного $p-n$ переходу транзисторів, В.

Оскільки для BD139 $U_{be.max} = 5$ В, обирається стабілітрон 1N4728А з $U_{zn} = 3,3$ В.

Співвідношення між опорами $R1$, $R2$ аналогу негatronу з біполярною структурою

$$k = \frac{R1}{R2} \quad (5)$$

визначає можливість зміни ширини ВАХ індивідуальним підбором. Так, при збільшенні опору резистора $R1$ відносно $R2$ приводить до зміщення ВАХ по осі напруги, що викликає збільшення напруги відсічки U_C (рис. 4). В той час як максимальний струм майже не змінюється I_{max} . Навпаки, зменшення опору $R1$ відносно $R2$ приводить до зменшення амплітуди ВАХ.

Таким чином опір резистора $R2$ впливає на струм, що споживається негatronом у закритому стані й визначає його енергоспоживання. Отже під час проектування доцільно обирати більші його значення.

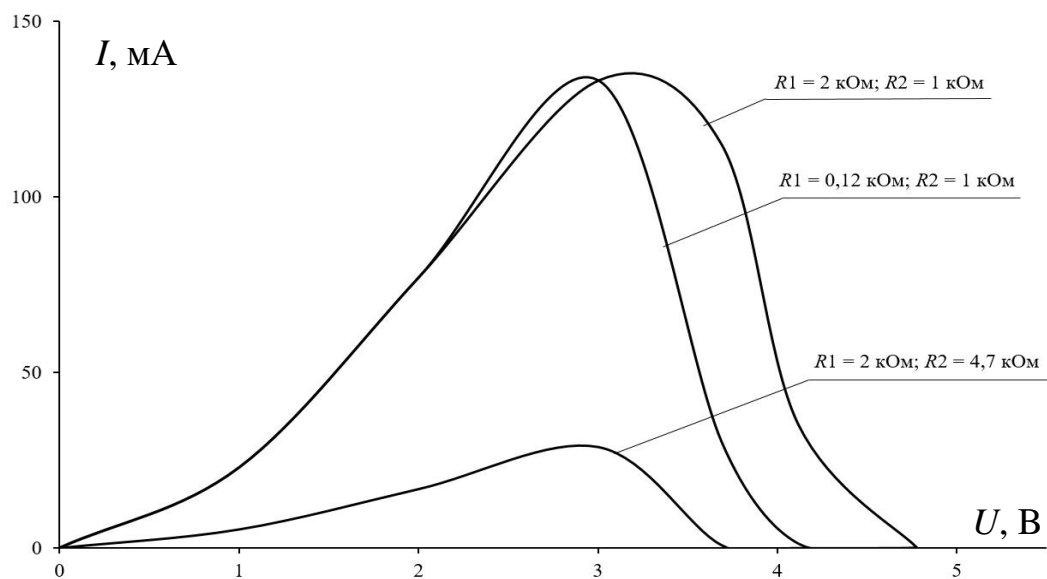


Рис. 4. Вплив параметрів негatronу на його ВАХ

Висновок. Отримані ВАХ аналогу біполярного негatronа дозволяють зробити висновок про спроможність їх змінювати в широких межах у залежності від технічного завдання. Негatron можна застосовувати в якості перетворювача неелектричних величин в електричні. Оскільки ширину основи ВАХ можна збільшувати в рази – це дозволяє контролювати декілька об'єктів одночасно.

Література:

1. *Філінюк М.А.* Теоретичні основи негатроніки. Т.1 // Вінниця: ВНТУ, 2006. – 456 с.
2. *Курашкін С.Ф., Попова І.О., Чураков А.Я.* Експериментальне дослідження аналогу лямбда-діода на біполярних транзисторах // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: 2007. – Вип. 45. – С.40-44.
3. *Касимов Ф.Д.* Перспективы развития и применения микроэлектронной негатроники // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - 2003. - №5. - С.5-8.
4. *Попова І.О., Курашкін С.Ф., Попрядухін В.С.* Експериментальне дослідження вольт-амперних характеристик аналога лямбда-діода на уніполярних транзисторах // Енергетика і автоматика. - 2018. - №5(39). - С.59-67.
5. *Попова І.О., Чураков А.Я.* Обґрунтування параметрів аналога лямбда-діода на біполярних транзисторах // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 5. – Мелітополь: ТДАТА, 2002. – С.11-18.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРНОГО НЕГАТРОНА

Курашкін С.Ф., Попова І.А.

Аннотація

Расширение функциональных возможностей устройств диагностирования и защиты электрооборудования возможно при условии применения современной элементной базы. Перспективным направлением развития электронных полупроводниковых приборов является применение негатронов – элементов с отрицательным значением сопротивления (емкости, индуктивности). Поскольку изготовление негатронов в настоящее время пока еще остается трудоемким технологическим процессом, не налажено их серийное производство. С помощью существующих полупроводниковых активных элементов можно получить аналоги негатронов. В работе исследуются искусственные вольт-амперные характеристики (ВАХ) аналога негатрона на двух биполярных транзисторах одной структуры (n-p-n) с целью определения способа и пределов регулирования ее ширины и амплитуды для получения практических рекомендации при проектировании электронных устройств диагностирования и защиты силового электрооборудования. Было установлено, что ширина ВАХ зависит от соотношения между сопротивлениями резисторов, включенных в цепи баз

транзисторов – это имеет практический интерес, поскольку ВАХ можно подстраивать индивидуально для конкретного случая в зависимости от технического задания. Амплитуда ВАХ зависит как от параметров транзисторов, так и от соотношения сопротивлений указанных резисторов. Аналог биполярного транзисторного негatronа можно применять в качестве преобразователя неэлектрических величин в электрические, поскольку ширина основания ВАХ регулируется в широких пределах, что позволит контролировать несколько объектов одновременно.

Ключевые слова: биполярный транзистор, первичный преобразователь, вольт-амперная характеристика, негatron.

NEGATRON BASED ON BIPOLAR TRANSISTOR RESEARCH

S. Kurashkin, I. Popova

Summary

The functionality of devices for diagnosing and protecting electrical equipment could be expanded by help of modern element base. A promising direction in the development of electronic semiconductor devices is the use of negatrons – elements with a negative value of resistance (capacitance, inductance). Since the production of negatrons is still a labor-intensive technological process, their serial production has not been established. Using the existing semiconductor active elements, analogs of negatrons can be obtained. The paper investigates the synthetic volt-amps diagram of negatron analogue based on two bipolar transistors of the same structure (n-p-n) in order to determine the method and limits for regulating its width and amplitude in order to obtain practical recommendations in the design of electronic devices for diagnosing and protecting power electrical equipment. It was found the volt-amps diagram width depends on the ratio between the resistances included in the base circuits of the transistors – this is of practical interest, since the diagram can be adjusted individually for a particular case, depending on the technical task. The volt-amps diagram amplitude depends both on the parameters of the transistors and on the ratio of these resistances. An analogue of bipolar transistor negatron can be used as a non-electrical quantities converter into electrical ones. Since the volt-amps diagram width is regulated within wide limits, several objects could be controlled at the same time.

Key words: bipolar transistor, sensor, volt-amps diagram, negatron.