

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОК-ЧАСТОТА НА ОСНОВЕ ОСЦИЛЛИСТОРНОГО ЭФФЕКТА

Рассматривается возможность построения измерительных преобразователей постоянного тока, осуществляющих прямое преобразование тока в частоту переменного тока. Чувствительный элемент преобразователя представляет собой германиевый осциллятор. Приведены зависимости частоты от тока, полученные в ходе теоретических и экспериментальных исследований. Представлена конструкция преобразователя ток-частота и приведены его характеристики.

**Ключевые слова:** электронно-дырочная плазма, преобразователь, осциллятор, колебания тока, частота, электрическое поле, напряженность.

**Введение.** Большинство измерительных преобразователей (ИП), применяющихся при построении средств измерений электрических, магнитных и других величин, в качестве информативного параметра выходного сигнала используют его амплитуду. Следовательно, проектирование цифровых измерительных устройств и сопряжение их с вычислительной техникой в процессе измерений обуславливает необходимость дополнительного преобразования сигнала в код или величину, легко преобразующуюся в код, например, частоту. Дополнительные преобразования усложняют средство измерения и снижают его точность. При построении цифровых средств измерений предпочтительнее использовать ИП с частотным выходным сигналом. Такой сигнал обладает следующими достоинствами: а) легко преобразуется в цифровой код; б) имеет высокую степень помехозащищенности; в) характеризуется малыми потерями информации при передаче по линии связи. Поэтому разработка ИП физических величин непосредственно в частоту, минуя промежуточное преобразование, является актуальной задачей. Ряд физических эффектов и явлений в твердых телах позволяет реализовать измерительные преобразователи с частотным выходным сигналом. Примерами таких эффектов являются эффект Ганна и акустоэлектрический эффект, на основе которых создаются частотные преобразователи напряжения [1, 2].

В настоящее время исследовано множество неустойчивостей в твердых телах. Особый интерес представляют неустойчивости в электронно-дырочной полупроводниковой плазме. Особенность некоторых типов неустойчивостей в полупроводниковой плазме — это возникновение электрических колебаний тока или напряжения, следовательно, появляется возможность построения ИП с частотным выходом. Осцилляторный эффект заключается в возникновении колебаний электрического тока, протекающего по образцу при воздействии электрического и магнитного поля [3]. В основе осцилляторного эффекта лежит явление винтовой не-

устойчивости электронно-дырочной плазмы образца из полупроводникового материала, помещенного в электрическое и магнитное поля [4]. Образцы, в которых он возникает, получили название «осцилляторов».

На частоту колебаний тока в осцилляторе влияют различные факторы, например, величина магнитного и электрического поля, параметры плазмы и многие другие [5]. Благодаря этим особенностям возможно построение ИП различных физических величин с частотным выходом [6–9].

Целью настоящей работы является исследование зависимости частоты колебаний тока в осцилляторе из *n*-германия от протекающего по нему тока и разработка преобразователя ток-частота (ПТЧ) на основе осцилляторного эффекта.

**Теория.** Данный эффект проявляется при выполнении некоторых условий:

1) наличие магнитного и электрического полей, напряженности которых превышают некоторые пороговые значения;

2) наличие в объеме осциллятора электронно-дырочной плазмы. Электрическое поле создается путём приложения напряжения к электродам, выполненным на торцевых гранях осциллятора. Магнитное поле создается с помощью постоянных магнитов.

Электронно-дырочная плазма в объеме осциллятора может быть получена различными способами. Наиболее распространенным является способ, при котором плазма создается с помощью инжектирующих контактов. Данные контакты могут выполняться как на торцевых (рис. 1а), так и на боковых (рис. 1б) гранях осциллятора. Этот способ позволяет осуществить двойную (биполярную) инжекцию, при которой с одного контакта инжектируются дырки, а с другого — электроны. Следует отметить, что в случае инжекции с торцевых контактов последние выполняют двойную функцию, т.е. являются одновременно инжектирующими и полевыми. При этом изменение тока сопровождается изменением приложенного к осциллятору напряжения.

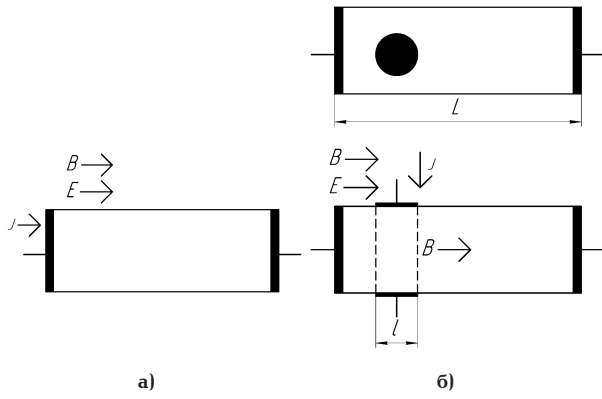


Рис. 1. Осциллятор:  
а) с торцевым инжектирующим контактом;  
б) с боковым инжектирующим контактом

При превышении электрического и магнитного полей критических значений в осцилляторе возбуждается винтовая неустойчивость электронно-дырочной плазмы, развитие которой приводит к появлению колебаний тока, протекающего по осциллятору, и колебаний электрического потенциала на его боковых гранях. Причем частота колебаний потенциала равна частоте колебаний тока.

Частота генерации осциллятора из несобственного полупроводника зависит от напряженности электрического поля, определяется амбиполярным сносом винтового возмущения и находится как [10]:

$$f_E = \frac{K}{2\pi} \mu_a E, \quad (1)$$

где  $K$  — волновое число;  $\mu_a$  — амбиполярная подвижность;  $E$  — напряженность электрического поля. Для собственного (или близкого к собственному) полупроводника частота зависит от индукции магнитного поля, определяется вращением винтового возмущения и находится как:

$$f_B = -\frac{20D_a}{9\pi a^2} (\mu_n - \mu_p) B, \quad (2)$$

где  $D_a$  — коэффициент амбиполярной диффузии;  $\mu_n$  и  $\mu_p$  — подвижности электронов и дырок;  $2a$  — поперечный размер осциллятора;  $B$  — индукция магнитного поля.

В общем случае в полупроводниках одновременно происходит амбиполярный снос и вращение винтового возмущения и из выражений (1) и (2) можно получить формулу для частоты в виде:

$$f \cong \frac{0,18\mu_a}{a} E + \frac{0,71D_a(\mu_n - \mu_p)}{a^2} B, \quad (3)$$

где  $\mu_a = \frac{\mu_n \mu_p (n_0 - p_0)}{\mu_n n_0 + \mu_p p_0}$ ;  $D_a = \frac{n_0 \mu_n D_p + p_0 \mu_p D_n}{\mu_n n_0 + \mu_p p_0}$ ;  $\mu_n$  и  $\mu_p$  — подвижности электронов и дырок;  $n_0$  и  $p_0$  — равновесные концентрации электронов и дырок;  $D_n$  и  $D_p$  — коэффициенты диффузии электронов и дырок.

В работе [11] установлено, что частота колебаний тока определяется параметрами электронно-дырочной плазмы и размерами осциллятора в месте возникновения винтовой неустойчивости.

Увеличение плотности инжектирующего тока приводит к возрастанию концентрации электронов и дырок в месте возбуждения абсолютной винтовой неустойчивости и, соответственно, уменьшению частоты, что можно использовать для создания ПТЧ. Следует отметить, что в случае использования торцевых инжектирующих контактов увеличение тока сопровождается повышением приложенного к осциллятору напряжения, что должно приводить к увеличению частоты. Такое действие данных факторов может привести к тому, что частота будет слабо зависеть от изменения плотности инжектирующего тока и при определенном значении тока частота перестанет изменяться.

**Теоретические и экспериментальные исследования.** При получении электронно-дырочной плазмы с помощью расположенных аксиально боковых контактов (рис. 1б) инжектирующие и полевые контакты разделяются.

При таком способе инжекции в осцилляторе можно условно выделить две области. В первой (области инжекции) напряженность электрического поля  $E_{\pi}$  зависит от концентрации инжектированных носителей и изменяется при изменении уровня инжекции (инжектирующего тока). Вторая область включает в себя остальную часть осциллятора и напряженность  $E_0$  в ней определяется напряжением  $U$ , приложенным к торцевым омическим контактам. Причем при  $L \gg l$  можно считать, что  $E_0 = U/L$ . Так как напряженность порогового поля  $E_{\pi}$  уменьшается при увеличении концентрации электронно-дырочной плазмы, критерий возбуждения осциллятора более легко выполняется в области инжекции носителей зарядов, чем в остальной части образца. Средняя плотность инжектированных носителей ( $\Delta p = \Delta n$ ) между инжектирующими контактами при достаточно высоком уровне инжекции находится по формуле [12]:

$$\Delta p \approx \sqrt{\frac{(n_0 - p_0) \mu_n \mu_p \tau I}{qa(\mu_n + \mu_p)^2}}, \quad (4)$$

где  $\tau = \tau_n = \tau_p$  — время жизни электронов и дырок;  $n_0$  и  $p_0$  — равновесные концентрации электронов и дырок;  $q$  — заряд электрона;  $I$  — плотность тока.

Зависимость частоты от плотности инжектирующего тока, при постоянном напряжении, приложенном к осциллятору, будет обуславливаться изменением концентрации плазмы в объеме осциллятора.

В случае инжектированной плазмы концентрации электронов  $n$  и дырок  $p$  равны:

$$n \approx n_0 + \Delta n; \quad p \approx p_0 + \Delta p. \quad (5)$$

Подставив (5) в выражения  $\mu_a$  и  $D_a$  и преобразуя формулу (3), получим:

$$f \cong \frac{\sqrt{qa} \mu_n (n_0 - p_0) E}{\pi a [\sqrt{3qa} (\mu_n n_0 + \mu_p p_0) + \sqrt{3(n_0 - p_0) \mu_n \mu_p \tau I}]} + \frac{20 \left[ \sqrt{qa} (\mu_n + \mu_p) (\mu_n D_p n_0 + \mu_p D_n p_0) + (\mu_n D_p + \mu_p D_n) \sqrt{\mu_n \mu_p (n_0 - p_0) \tau I} \right] B}{9\pi a^2 [\sqrt{qa} (\mu_n n_0 + \mu_p p_0) + \sqrt{\mu_n \mu_p (n_0 - p_0) \tau I}]}, \quad (6)$$

Пренебрегая собственным вращением возмущения, в силу его малости по сравнению с амбиполярным сносом, частота будет определяться первым

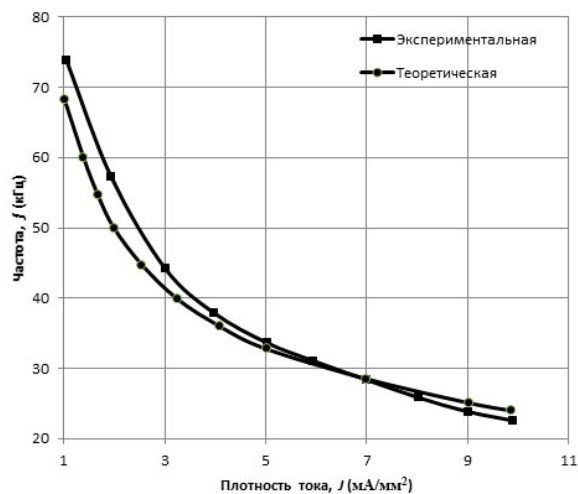


Рис. 2. Зависимость частоты от плотности инжектирующего тока

членом в правой части формулы (6). При сильном уровне инжекции, когда выполняется условие ( $\Delta p \approx \Delta n \gg n_0, p_0$ ), после несложных преобразований получаем приблизительную оценку зависимости частоты от плотности инжектирующего тока  $I$ :

$$f \approx \frac{E}{\pi} \sqrt{\frac{q\mu_n\mu_p(n_0 - p_0)}{3\alpha t I}} = \frac{k}{\sqrt{I}}. \quad (7)$$

Переходя в формулах (6) и (7) от плотности тока к току, получим выражения, описывающие зависимость частоты от тока, протекающего через инжектирующие контакты.

На рис. 2 представлены экспериментальная и теоретическая, рассчитанная по формуле (6), зависимости частоты от плотности тока для осциллятора из  $n$ -германия размерами  $1 \times 1 \times 4$  мм<sup>3</sup>.

Сопоставление экспериментальной и теоретических зависимостей показало хорошее соответствие. При этом необходимо отметить, что полученные зависимости частоты выведены на основе линейной теории осцилляторного эффекта и использовались приближенные выражения для  $\Delta p$ . Кроме того, не учитывалось влияние собственного магнитного поля, изменение напряженности электрического поля вдоль осциллятора, конечность длины образца и другие факторы, которые приводят к различным нелинейным эффектам. Получение аналитического выражения зависимости частоты от плотности инжектирующего тока с учетом нелинейных характеристик осцилляторного эффекта в настоящее время не представляется возможным. Анализ показывает, что, несмотря на значительное количественное несовпадение экспериментальных и теоретических результатов, достигающее в отдельных точках 20 %, расчет по формулам (6), (7) позволяет оценить коэффициент преобразования плотности тока в частоту.

Таким образом, проведенные эксперименты показали возможность использования осциллятора для построения преобразователей постоянного тока в частоту, характеризующихся высокой чувствительностью. Среднее значение отрицательной чувствительности составляет  $S \approx 4,5$  кГц/(мА/мм<sup>2</sup>) в диапазоне (1–10) мА.

Технология изготовления чувствительного элемента ПТЧ (осциллятора), схемы его подключения

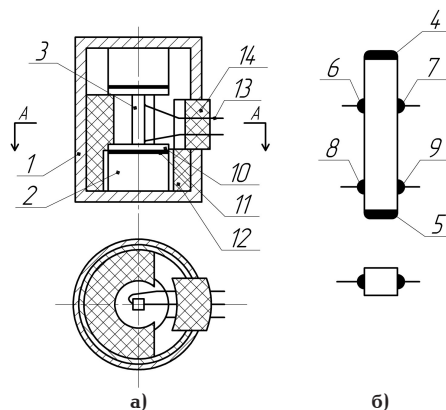
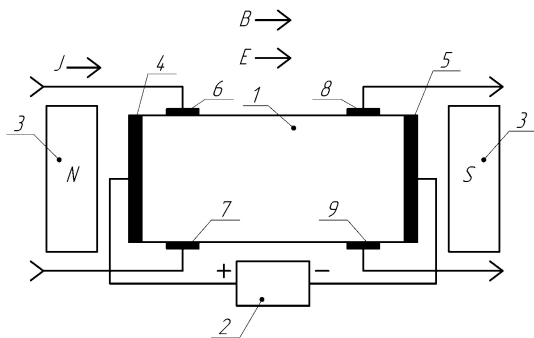


Рис. 3. Преобразователь ток-частота: а) конструкция ПТЧ; б) конструкция чувствительного элемента

к источнику напряжения и вывода осцилляторных колебаний во внешнюю цепь рассмотрены в [13].

Общий вид преобразователя представлен на рис. 3а. В корпусе 1 из технически чистого железа Армо расположены постоянные магниты 2, которые предназначены для создания в рабочем зазоре  $4,2$  мм магнитной индукции  $B \geq B_{п}$  (пороговая индукция  $B_{п} = 0,3$  Тл) и выполнены из  $SmCo_5$  в виде таблеток диаметром  $5,5$  мм и толщиной  $3$  мм. Чувствительный элемент (осциллятор) 3, изготовленный из германия ГЭС 30 в виде параллелепипеда размерами  $1 \times 1 \times 4$  мм<sup>3</sup>, расположен в зазоре между магнитами 2. Элемент 3 имеет торцевые контакты 4 и 5, которые подключаются к источнику напряжения, и две пары боковых контактов. Торцевые контакты 4 и 5 (рис. 3б) выполнены омическими из олова. Пара боковых контактов 6 и 7, предназначенная для включения в цепь измеряемого тока, выполнена аксиально на расстоянии  $0,8$  миллиметра от торцевого контакта 4, подключаемого к положительному полюсу источника напряжения. Контакт 6 выполнен из олова, а контакт 7 — из индия. Вторая пара боковых контактов 8 и 9 выполнена из олова на расстоянии  $0,5$  мм от контакта 5 и предназначена для снятия осцилляторных колебаний. Торцевые контакты 4, 5 припаиваются к контактными площадкам 10 из меди, которые изолируются от магнитов 2 прокладками 11. Для закрепления осциллятора в магнитной системе используется втулка 12 из органического стекла, к которой приклеиваются контактные площадки 10. Включение осциллятора в цепь измеряемого тока и измерительную цепь осуществляется через выводы 13, которые закреплены в держателе 14. Для настройки преобразователя в верхней части крышки корпуса 1 выполнено отверстие, позволяющее перемещать в небольших пределах один из постоянных магнитов 2. После настройки положение магнита фиксируется с помощью эпоксидной смолы. Для повышения стабильности работы преобразователя корпус 1 заполнен силиконовым маслом, при этом защищается поверхность осциллятора и улучшается тепловой режим его работы.

На рис. 4 представлена схема включения преобразователя в измерительную цепь. Электрическое поле в осцилляторе 1 создается приложением напряжения к его торцевым контактам 4 и 5 от источника постоянного напряжения 2, а магнитное поле, в котором помещается осциллятор 1, создается постоянными магнитами 3. При протекании пре-



**Рис. 4.** Схема включения преобразователя в измерительную цепь: 1 — осциллятор из *n*-Ge; 2 — источник постоянного напряжения; 3 — постоянные магниты из *SmCo<sub>5</sub>*; 4, 5, 7, 8, 9 — контакты из Sn; 6 — контакты из In

образуемого (измеряемого) тока  $J$  через боковые контакты 6 и 7 в осцилляторе 1 возникают колебания продольного тока, создаваемого источником 2. Выше отмечено, что одновременно с колебаниями продольного тока на боковой поверхности осциллятора возникают колебания напряжения (потенциала). Вывод колебаний напряжения в осцилляторе во внешнюю цепь осуществляется с помощью омических контактов 8 и 9, выполненных аксиально на боковых гранях осциллятора 1. Переменное напряжение, частота которого зависит от инжектирующего тока, подается на блок обработки выходного сигнала преобразователя.

**Заключение.** Анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований зависимости частоты осцилляторных колебаний от инжектирующего тока показывает возможность использования осцилляторного эффекта для построения преобразователей постоянного тока с частотным выходным сигналом, осуществляющих непосредственное преобразование тока в частоту и обладающих высокой чувствительностью.

Чувствительный элемент (осциллятор) преобразователя помещен в магнитное поле трубчатой магнитной системы, что позволяет защитить его от механических повреждений и действия внешних электромагнитных полей. Преобразователь характеризуется высокой чувствительностью. Чувствительность в диапазоне  $(1,0-10,0)$  мА/мм<sup>2</sup> достигает значения — 4,5 кГц/(мА/мм<sup>2</sup>) при нелинейности характеристики преобразования 15 %, а диапазоне  $(1,0-3,0)$  мА/мм<sup>2</sup> чувствительность  $S \approx -(12-15)$  кГц/(мА/мм<sup>2</sup>). В диапазоне  $(1,0-3,0)$  мА/мм<sup>2</sup> нелинейность имеет значение менее 1 %.

#### Библиографический список

- Li W., Liu L., Shi R. [et al.]. Acoustoelectric Voltage Sensor Based on S0 Mode Lamb Wave Resonator with Millivolt Resolution // 2023 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), Montreal, QC, Canada. 2023. P. 1–4. DOI: 10.1109/IUS51837.2023.10306502.
- Мальшев И. В., Осадчий Е. Н. Применение сильных постоянных магнитных и электрических полей для создания новых объёмных полупроводниковых преобразовательных уз-

лов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2019. № 6 (208). С. 70–85.

3. Gliksman M. Instabilities of a cylindrical electron-hole plasma in a magnetic field // Physical Review. 1961. Vol. 124. P. 1655–1664. DOI: 10.1103/PhysRev.124.1655.

4. Иванов Ю. Л., Рывкин М. Возникновение колебаний тока в образцах германия, помещенных в электрическое и продольное магнитное поле // Журнал технической физики. 1958. Т. 28. С. 54–56.

5. Владимиров В. В., Волков А. Ф., Мейлихов Е. З. Плазма полупроводников. Москва: Атомиздат, 1979. 254 с.

6. Cheredov A. I., Shchelkanov A. V., Akhmedzhanov R. A., Korenev E. O. Magnetically sensitive converter of the magnetic field gradient based on oscillistor // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). 2017. P. 1–3. DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239443.

7. Shchelkanov A. V., Cheredov A. I. Oscillistor-based force sensor // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1546. 012002. DOI: 10.1088/1742-6596/1546/1/012002.

8. Gaman V. I., Drobot P. N. Oscillistor sensors with a frequency output based on a silicon structures // Electronic Instrument Engineering Proceedings. APEIE-98. 1998. Vol. 1. P. 133–135. DOI: 10.1109/APEIE.1998.768930.

9. Дробот П. Н., Дробот Д. А. Осцилляторные сенсоры с частотным выходом // Южно-сибирский научный вестник. 2012. № 1. С. 120–123. EDN: PAGHTH.

10. Hurwitz C. E., McWhorter A. L. Growing helical density waves in a semiconductor plasmas // Physical Review Letters. 1964. Vol. 134 (4A). P. 1033–1050. DOI: 10.1103/PhysRev.134.A1033.

11. Викулин И. М., Люзе Л. Л., Преснов В. А. Частота винтовой неустойчивости в осцилляторах // Физика и техника полупроводников. 1968. Т. 2, № 8. С. 1138–1143.

12. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах. Москва: Мир, 1973. 416 с.

13. Cheredov A. I., Shchelkanov A. V. Angular displacement sensor based on oscillistor effect // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1901. P. 012104-1-012104-7. DOI:10.1088/1742-6596/1901/1/012104.

**ЧЕРЕДОВ Александр Иванович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 6957-1660

AuthorID (РИНЦ): 471995

**ЩЕЛКАНОВ Андрей Владимирович**, старший преподаватель кафедры «Радиотехнические устройства и системы диагностики» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 2564-1461

AuthorID (SCOPUS): 56447045400

ORCID: 0000-0002-1354-8708

ResearcherID: P-9053-2015

Адрес для переписки: shchelkanov@omgtu.ru

#### Для цитирования

Череев А. И., Щелканов А. В. Преобразователь ток-частота на основе осцилляторного эффекта // Омский научный вестник. 2024. № 4 (192). С. 134–138. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-192-134-138.

Статья поступила в редакцию 22.05.2024 г.

© А. И. Череев, А. В. Щелканов

## CURRENT-TO-FREQUENCY CONVERTER BASED ON OSCILLISTOR EFFECT

The possibility of direct current measuring converters construction measuring converted direct current, realizing straightdirect current-to-frequency conversion of current into frequency of alternating current or voltage is considered. An oscillistor made of electronic germanium is used as an element realizing this conversion. The dependences of frequency on current obtained in the course of theoretical and experimental studies are given. The device of the current-frequency converter is shown and its characteristics are given.

**Keywords:** converter, oscillistor, current fluctuations, frequency, electric field, voltage, electron-hole plasma, transducer, oscillisator, current oscillations, frequency, electric field, field strengthintensity.

### References

1. Li W., Liu L., Shi R. [et al.]. Acoustoelectric Voltage Sensor Based on S0 Mode Lamb Wave Resonator with Millivolt Resolution // 2023 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), Montreal, QC, Canada. 2023. P. 1–4. DOI: 10.1109/IUS51837.2023.10306502. (In Engl.).
2. Malyshev I. V., Osadchiy E. N. Primeneniye sil'nykh postoyannykh magnitnykh i elektricheskikh poley dlya sozdaniya novykh ob'yemnykh poluprovodnikovyykh preobrazovatel'nykh uzlov [The use of strong constant magnetic and electric fields to create a new type of bulk semiconductor converter units] // Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2019. No. 6 (208). P. 70–85. (In Russ.).
3. Glikzman M. Instabilities of a cylindrical electron-hole plasma in a magnetic field // *Physical Review*. 1961. Vol. 124. P. 1655–1664. DOI: 10.1103/PhysRev.124.1655. (In Engl.).
4. Ivanov Yu. L., Ryvkin M. Vozniknoveniye kolebaniy toka v obraztsakh germaniya, pomeshchennykh v elektricheskoye i prodol'noye magnitnoye pole [Occurrence of current oscillations in germanium samples placed in an electric and longitudinal magnetic field] // *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki. Journal of Technical Physics*. 1958. Vol. 28. P. 54–56. (In Russ.).
5. Vladimirov V. V., Volkov A. F., Meylikhov E. Z. Plazma poluprovodnikov [Semiconductor plasma]. Moscow, 1979. 254 p. (In Russ.).
6. Cheredov A. I., Shchelkanov A. V., Akhmedzhanov R. A., Korenev E. O. Magnetically sensitive converter of the magnetic field gradient based on oscillistor // *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*. 2017. P. 1–3. DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239443. (In Engl.).
7. Shchelkanov A. V., Cheredov A. I. Oscillistor-based force sensor // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1546. 012002. DOI: 10.1088/1742-6596/1546/1/012002. (In Russ.).
8. Gaman V. I., Drobot P. N. Oscillistor sensors with a frequency output based on a silicon structures // *Electronic Instrument Engineering Proceedings. APEIE-98*. 1998. Vol. 1. P. 133–135. DOI: 10.1109/APEIE.1998.768930. (In Engl.).
9. Drobot P. N., Drobot D. A. Ostsilistornyye sensory s chastotnym vykhodom [Oscillistor sensors with a frequency out-

put] // *Yuzhno-sibirskiy nauchnyy vestnik. South-Siberian Scientific Bulletin*. 2012. No. 1. P. 120–123. EDN: PAGHTH. (In Russ.).

10. Hurwitz C. E., McWhorter A. L. Growing helical density waves in a semiconductor plasmas // *Physical Review Letters*. 1964. Vol. 134 (4A). P. 1033–1050. DOI: 10.1103/PhysRev.134.A1033. (In Engl.).

11. Vikulin I. M., Lyuze L. L., Presnov V. A. Chastota vintovoy nestabil'nosti v ostsilistorakh [Frequency of helical instability in oscillistors] // *Fizika i tekhnika poluprovodnikov. Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov*. 1968. Vol. 2, no. 8. P. 1138–1143. (In Russ.).

12. Lampert M., Mark P. Inzheksionnyye toki v tverdykh telakh [Current Injection in Solids]. Moscow, 1973. 416 p. (In Russ.).

13. Cheredov A. I., Shchelkanov A. V. Angular displacement sensor based on oscillistor effect // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1901. P. 012104-1-012104-7. DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012104. (In Engl.).

**CHEREDOV Aleksandr Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Radio Engineering Devices and Diagnostic Systems Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.

SPIN-code: 6957-1660

AuthorID (RSCI): 471995

**SHCHELKANOV Andrey Vladimirovich**, Senior Lecturer of Radio Engineering Devices and Diagnostic Systems Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-code: 2564-1461

AuthorID (SCOPUS): 56447045400

ORCID: 0000-0002-1354-8708

ResearcherID: P-9053-2015

Correspondence address: shchelkanov@omgtu.ru

### For citations

Cheredov A. I., Shchelkanov A. V. Current-to-frequency converter based on oscillistor effect // *Omsk Scientific Bulletin*. 2024. No. 4 (192). P. 134–138. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-192-134-138.

Received May 22, 2024.

© A. I. Cheredov, A. V. Shchelkanov