



## Исследования

И. В. Гребенев	МЕТОДИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТИРУЮЩЕГО МЫШЛЕНИЯ .....	45
П. В. Зуев	ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ЦИТАТЫ АКАДЕМИКА П. Л. КАПИЦЫ О ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРА .....	55
В. В. Майер А. А. Перминов	ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ: ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ В ПРАКТИКУМЕ .....	59
АВТОРЫ ЖУРНАЛА .....		67
ABSTRACTS .....		68

---

---

### Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акатов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

### Редакционный совет:

И. В. Гребенев д.п.н., профессор, Нижний Новгород  
М. Д. Даммер д.п.н., профессор, Челябинск  
П. В. Зуев д.п.н., профессор, Екатеринбург  
Ю. А. Сауров д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров

### Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков д.п.н., профессор, Тамбов  
Г. Г. Никифоров к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва  
А. Ю. Пентин к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва  
Ф. А. Сидоренко д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург  
Я. А. Чиговская-Назарова к.филол.н., доцент, ректор ГГПИ, Глазов  
Т. Н. Шамало д.п.н., профессор, Екатеринбург

**Адрес редакции, издателя и типографии:** 427621, Удмуртия, Глазов,  
Первомайская, 25, Пединститут, Телефон: (341 41) 5-32-29.  
*E-mail: kropa@bk.ru*

---

---

**Учредитель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко»

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77-69506.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 21.03.23. Подписано в печать 27.03.23. Дата выхода в свет: 29.03.23. Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,25.

Заказ 157. Тираж 200 экз. Цена свободная.

**Первая страница обложки:** Модель электрофорной машины (Майер В.В., Вараксина Е.И., Корнев Ю.А. Физическое моделирование электрофорной машины // Учебная физика. — 2023. — № 1. — С. 43–44).

УДК 372.853

В. В. Майер, И. А. Васильев, Ю. А. Корнев  
**ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ  
НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ОПЫТОВ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ**

В статье описаны принципиальная схема, конструкция, технология изготовления и результаты экспериментального исследования высоковольтного преобразователя напряжения на полевом транзисторе.

*Ключевые слова:* электростатика, учебные опыты, высокое напряжение, электронный преобразователь.

### 1. Введение

Пьезогенератор в качестве высоковольтного источника для опытов по электростатике [1, 2] обладает тем недостатком, что не позволяет получить постоянное по величине напряжение. Выпускаемые различными фирмами источники высокого напряжения [3, с. 318–319] используют сетевое питание, поэтому с ними не могут экспериментировать школьники. Самодельные источники на основе строчных трансформаторов [4] громоздки и неудобны в работе. Поэтому мы обратились к опыту любителей электрошокеров, которые опробовали большое количество работоспособных схем этого электрического оружия. Одна из них показалась нам перспективной для создания высоковольтного источника [5].

### 2. Принципиальная схема и детали преобразователя

Принципиальная схема исследованного нами прибора изображена на рис. 1. На мощном полевом транзисторе  $VT1$  и намотанных на ферритовом сердечнике катушках  $L1$  и  $L2$  собран блокинг-генератор. Катушку  $L1$  следует считать первичной обмоткой повышающего трансформатора  $T1$ , так как именно по ней проходят мощные импульсы электрического тока. Катушка  $L2$  обеспечивает положительную обратную связь в генераторе. Вторичная обмотка  $L3$  повышающего трансформатора  $T1$  содержит в сотни раз больше витков, чем первичная. При этом на повышающей обмотке  $L3$  возникает переменное напряжение, форма которого близка к синусоидальной. Амплитуда этого напряжения примерно во столько раз больше напряжения на первичной обмотке, во сколько число витков вторичной обмотки превышает число витков первичной. Работа выпрямителя с пятикаскадным умножением напряжения в пояснениях не нуждается [6, 7].

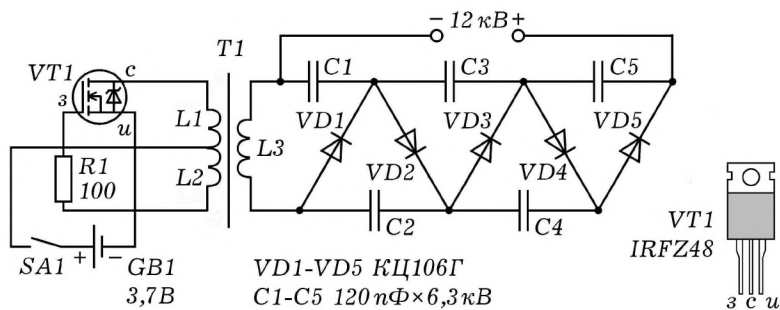


Рис. 1. Принципиальная схема высоковольтного преобразователя напряжения

Таблица 1

## Спецификация компонентов высоковольтного преобразователя

Компонент	Название компонента и его параметры
$C1-C5$	Керамический конденсатор емкостью $C = 120$ пФ на номинальное напряжение $U = 6,3$ кВ марки К15-5.
$VD1-VD5$	Кремниевый диод КЦ106Г с допустимым обратным напряжением $U_{обр} = 10$ кВ, прямым током $I_{вп} = 0,01$ А.
$VT1$	$N$ -канальный полевой транзистор IRFZ48 с допустимым напряжением между стоком и истоком $U_{си} = 60$ В и затвором-истоком $U_{зи} = \pm 20$ В, током сток-исток $I_{си} = 50$ А при $25^\circ\text{C}$ , рассеиваемой мощностью $P_{к} = 190$ Вт.
$GB1$	1) Аккумуляторная батарея на номинальное напряжение $U = 3,7$ В марки LiitoKala, типа 18650, емкостью $Q = 2600$ мА·ч. 2) Аккумуляторная батарея на номинальное напряжение $U = 3,7$ В марки IMR, типа 18650, емкостью $Q = 2600$ мА·ч, с максимально выдаваемым током 40 А.
$R1$	Постоянный резистор сопротивлением $R = 100$ Ом с отклонением от номинального значения $\pm 1\%$ марки MF-25 мощностью $P = 0,5$ Вт.
$T1$	Трансформатор преобразователя намотан на ферритовом сердечнике от трансформатора компьютерного блока питания. Сердечник состоит из двух П-образных секций, его габаритные размеры $11 \times 34 \times 58$ мм. Один из длинных стержней сердечника круглый, второй имеет квадратное сечение. Содержит две низковольтные обмотки $L1, L2$ и одну высоковольтную обмотку $L3$ .
$L1, L2$	Низковольтные обмотки содержат по 8 витков многожильного провода сечением $0,5 \text{ мм}^2$ в хлорвиниловой изоляции, намотанных на стержне квадратного сечения.
$L3$	Повышающая обмотка трансформатора намотана на круглом каркасе из эбонита длиной 37 мм и внутренним диаметром 11,5 мм. Обмотка содержит 2400 витков провода ПЭЛ 0,05, уложенных послойно виток к витку с прокладками из конденсаторной бумаги между соседними слоями. Выводы обмотки сделаны тонкими многожильными проводами. Катушка с повышающей обмоткой пропарафинена.
$SA1$	1) Выключатель клавишный круглый Micro Rexant RWB-105 с максимально допустимым напряжением 250 В и максимальным током 3 А. Используется для постоянной работы преобразователя. 2) Выключатель-кнопка без фиксации Micro Rexant PBS-33B с максимально допустимым напряжением 250 В и максимальным током 1 А. Кнопка соединена параллельно выключателю RWB-105. Необходима для осуществления кратковременной работы преобразователя.

### 3. Конструкция прибора

3.1. Опытный образец высоковольтного преобразователя собран на панели из пластика размером  $3 \times 80 \times 200$  мм (рис. 2). На ней расположены аккумулятор, включатель питания и соединенная параллельно с ним кнопка, полевой транзистор с алюминиевым радиатором размером  $2 \times 24 \times 40$  мм, повышающий трансформатор и умножитель напряжения. Высокое напряжение выведено на два электрода, представляющие собой закрепленные на панели гайками винты М3 длиной 18 мм.

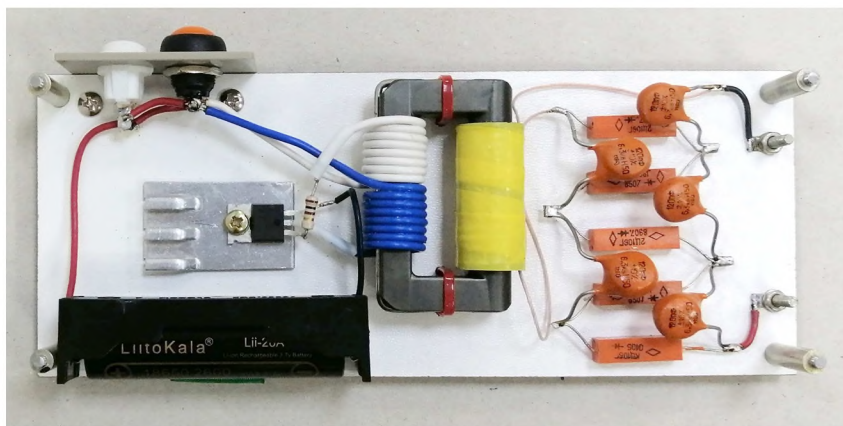


Рис. 2. Внешний вид высоковольтного преобразователя без защитной панели из оргстекла

3.2. **Повышающий трансформатор.** Трансформатор преобразователя намотан на ферритовом сердечнике от трансформатора компьютерного блока питания. Сердечник состоит из двух П-образных секций, его габаритные размеры  $11 \times 34 \times 58$  мм. Один из длинных стержней сердечника круглый, второй имеет квадратное сечение. Повышающая обмотка трансформатора намотана на круглом каркасе из эбонита длиной 37 мм и внутренним диаметром 11,5 мм. Она содержит 2400 витков провода ПЭЛ 0,05, уложенных послойно виток к витку с прокладками из конденсаторной бумаги между соседними слоями. Выводы обмотки сделаны тонкими многожильными проводами. Катушку с повышающей обмоткой желательно пропарафинить.

После изготовления высоковольтной обмотки сердечник трансформатора собирают так, чтобы катушка с этой обмоткой оказалась на его круглом стержне. Низковольтные обмотки, содержащие по 8

витков каждая, наматывают непосредственно на стержне квадратного сечения. Для них используют многожильный провод сечением примерно  $0,5 \text{ мм}^2$  в хлорвиниловой изоляции.

#### 4. Исследование преобразователя

4.1. Подключение электроизмерительных приборов. Исследование транзисторного преобразователя производится с целью определения силы тока, потребляемого из источника питания, и получаемого при этом выходного напряжения. Кроме того, представляют интерес осциллограммы напряжений между различными точками прибора. Поэтому на рис. 3 изображена принципиальная схема высоковольтного преобразователя напряжения, на которой показано включение электроизмерительных приборов и цифрами обозначены точки снятия осциллограмм.

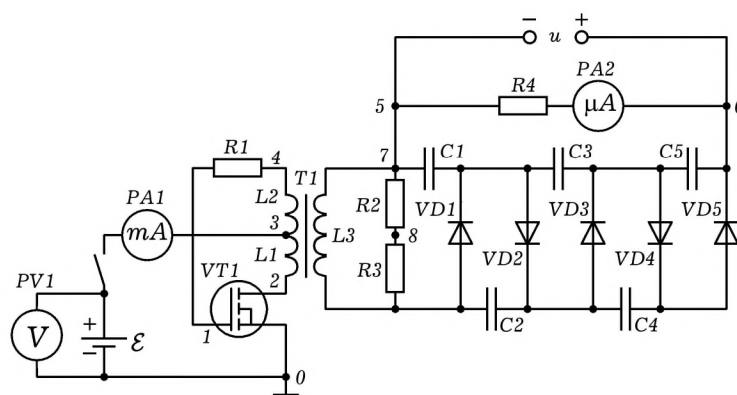


Рис. 3. Подключение электроизмерительных приборов для исследования преобразователя

4.2. Напряжение и сила потребляемого тока. В качестве вольтметра  $PV1$  и миллиамперметра  $PA1$  использованы мультиметры типа  $DT9208A$ . Измерения показали, что: 1) ЭДС аккумулятора  $\mathcal{E} = 3,77 \text{ В}$ ; 2) при включении нагрузки преобразователя  $R_4 = 205,7 \text{ МОм}$  напряжение на аккумуляторе падает до  $U_{\text{пит}} = 3,72 \text{ В}$ ; 3) сила тока, потребляемая преобразователем от аккумулятора,  $I_{\text{пит}} = 0,57 \text{ А}$ ; 4) таким образом, мощность, потребляемая высоковольтным преобразователем от источника питания  $P_{\text{пит}} = U_{\text{пит}} I_{\text{пит}} = 3,72 \cdot 0,57 = 2,12 \text{ (Вт)}$ .

4.3. Выходное напряжение преобразователя. Высоковольтный вольтметр составлен из микроамперметра  $PA2$  и резистора  $R4$ ,

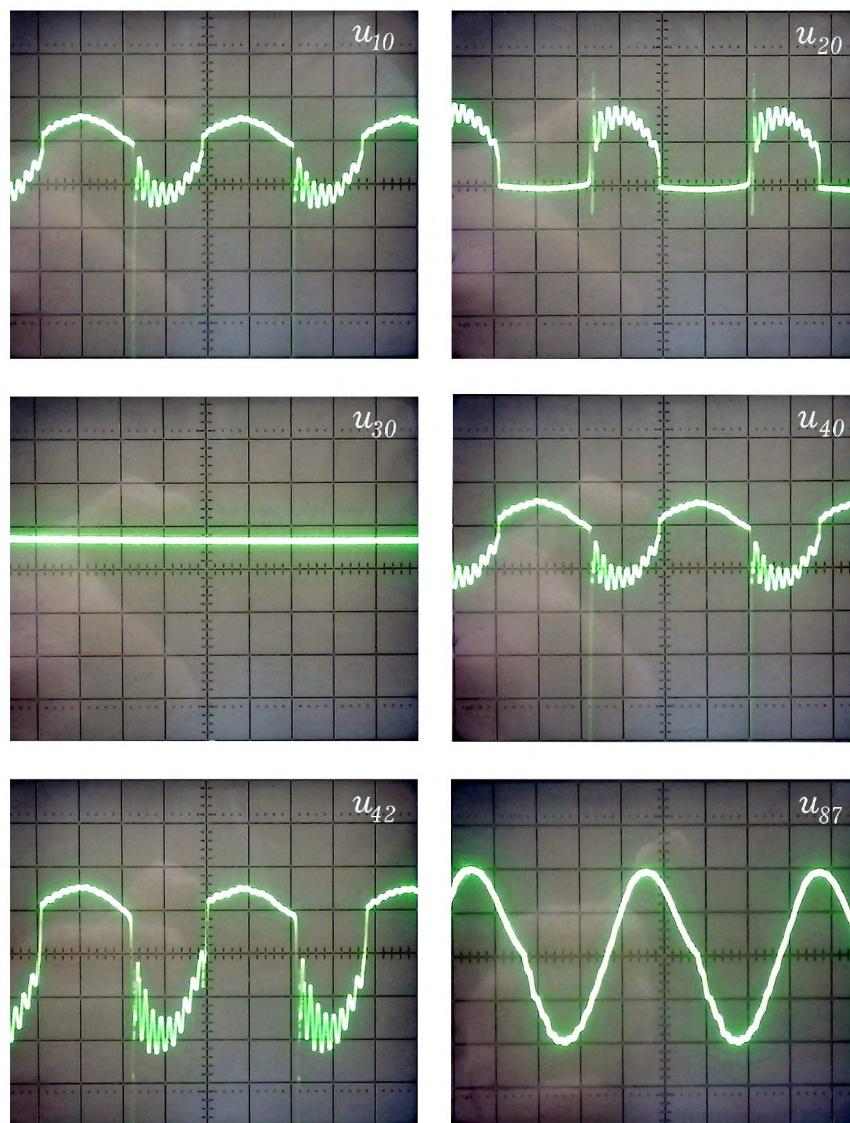


Рис. 4. Осциллограммы постоянной и переменной составляющих характерных напряжений преобразователя, полученные посредством аналогового осциллографа С1-65А. Цены делений вертикальной и горизонтальной шкал указаны в тексте (п. 4.5)

выполняющего функцию добавочного сопротивления  $R_d$  (рис. 3). Резистор  $R_4$  составлен из 20 последовательно соединенных постоянных резисторов типа МЛТ-1 номинальным сопротивлением 10 МОм каждый. Все резисторы расположены на вертикальной плате из оргстекла. Контрольное измерение сопротивления выполнено мультиметром типа DT9208A. Так как максимальный предел измерения этого мультиметра составляет 200 МОм, то резистор  $R_4$  был разделен на две равные части  $R_4'$  и  $R_4''$ , сопротивления которых и были измерены. Оказалось, что  $R_4' = 103,6$  МОм и  $R_4'' = 102,1$  МОм, поэтому измеренное значение добавочного сопротивления  $R_d = 205,7$  МОм.

Сила тока, измеренная микроамперметром типа М1690А с пределом измерения 100 мкА, составила  $I_d = 66$  мкА; контрольное измерение микроамперметром типа М24 с пределами измерения  $\pm 150$  мкА дало значение 65 мкА. Таким образом, выходное напряжение преобразователя  $U = I_d R_d = 66 \cdot 10^{-6} \cdot 205,7 \cdot 10^6 = 13,6$  кВ.

**4.4. Коэффициент полезного действия преобразователя.** На нагрузке  $R_d = 205,7$  МОм выделяется мощность  $P_n = U_n I_n = 13,6 \cdot 10^3 \cdot 66 \cdot 10^{-6} = 0,90$  Вт. Отсюда, учитывая мощность, потребляемую прибором из источника (п. 4.2), получаем, что КПД преобразователя  $\eta = P_n / P_{\text{пит}} = 0,90 / 2,12 = 0,42 = 42\%$ .

**4.5. Результаты осциллографирования.** Для изучения работы преобразователя напряжения мы использовали аналоговый осциллограф типа С1-65А. Осциллограммы представлены на рис. 4. Для всех осциллограмм по горизонтали цена деления 20 мкс/дел, по вертикали 5 В/дел. Исключение составляет осциллограмма напряжения  $u_{87}$ , снимаемого с делителя, подключенного к обмотке  $L_3$ : цена деления шкалы по вертикали 10 В/дел.

Проведем расчеты периода и частоты для каждой из осциллограмм. Чтобы найти период сигнала, сосчитаем число делений, расположенных между соседними горбами осциллограммы, и умножим его на цену деления. Определим частоту — это величина обратная периоду:  $\nu = 1/T$ .

1) Осциллограмма напряжения  $u_{10}$  между точками 1 и 0 схемы, приведенной на рис. 3, похожа на синусоиду, отрицательные полупериоды которой искажены высокочастотным сигналом. Амплитуда напряжения  $U_{10} = 5$  В, его период  $T = 75$  мкс и частота  $\nu = 13,3$  кГц.

2) Напряжение  $u_{20}$  между истоком и стоком транзистора VT1 получено инверсией относительно оси времени и выпрямлением напряжения  $u_{10}$ . Амплитуда напряжения  $U_{20} = 4$  В, его период  $T = 80$  мкс и частота  $\nu = 12,5$  кГц.

3) Напряжение  $u_{30} = 3,7$  В постоянное, равное напряжению источника питания.



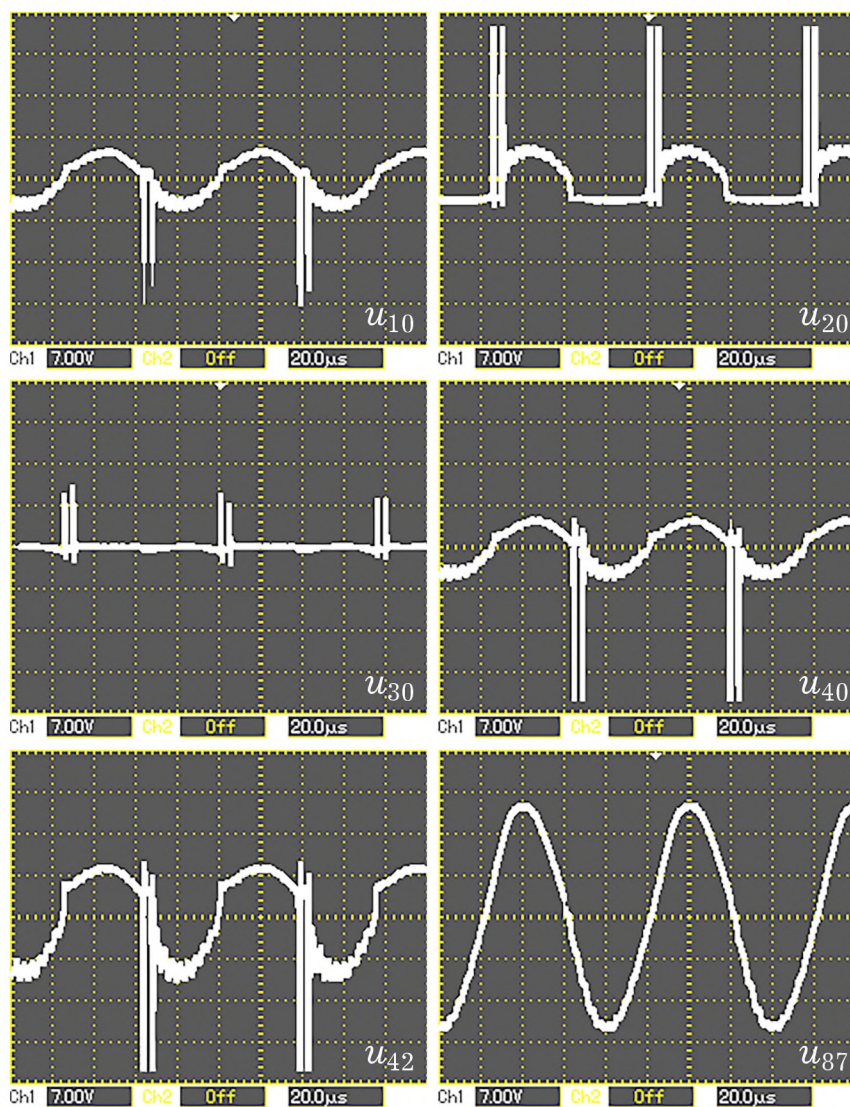


Рис. 5. Осциллограммы переменных напряжений преобразователя, полученные посредством цифрового осциллографа *UTD2025CL*. Цена деления по вертикали 7 В, по горизонтали 20 мкс

4) Осциллографирование показало, что напряжение  $u_{40}$  практически равно напряжению  $u_{10}$ ; его амплитуда  $U_{40} = 5$  В, период  $T = 80$  мкс и частота  $\nu = 12,5$  кГц.

5) Напряжение  $u_{42}$  практически в два раза больше  $u_{10}$  и  $u_{40}$  и совпадает с ними по фазе. Амплитуда этого напряжения  $U_{42} = 8$  В, период  $T = 80$  мкс и частота  $\nu = 12,5$  кГц.

6) Для получения осциллограммы высокого напряжения использован делитель из соединенных последовательно резисторов сопротивлением  $R_2 = 8,92$  кОм и  $R_3 = 1,03$  МОм. Напряжение  $u_{87}$  имеет практически синусоидальную форму, его амплитуда  $U_{87} = 20$  В, период  $T = 78$  мкс и частота  $\nu = 12,8$  кГц. Тогда амплитуда переменного напряжения на обмотке  $L3$  трансформатора  $T1$  равна

$$U_{L3} = \frac{R_2 + R_3}{R_2} U_{87} = 2,3 \text{ кВ.}$$

После выпрямления и пятикаскадного умножения получаем постоянное напряжение  $U = 11,6$  кВ, что по порядку величины согласуется с непосредственными измерениями этой величины (п. 4.3).

### 5. Заключение

Описанный в статье высоковольтный преобразователь постоянного напряжения был изготовлен с целью проверки возможности использования этого прибора в учебных опытах по электростатике. Проведенное исследование подтвердило не только возможность, но и целесообразность наличия такого источника высокого напряжения в комплекте оборудования школьного физического кабинета. Рассмотренный источник отличается простотой, доступностью, компактностью, надежностью и безопасностью. Эти характеристики позволяют рекомендовать разработку конструкции и изготовление обсуждаемого прибора в качестве содержания ученического исследовательского инженерно-физического проекта.

Авторы выражают благодарность Е. И. Вараксиной за помощь в работе.

*Исследование выполнено на базе Федеральной инновационной площадки «Школа учебного физического эксперимента» в рамках научного проекта «Методика проведения новых физических опытов в школе как средство формирования инженерных компетенций обучающихся», поддержанного Министерством Просвещения Российской Федерации в 2023 году.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Майер В. В. Электризация давлением в школьном курсе физики // Учебная физика. — 2004. — № 1. — С. 12–21.
2. Вараксина Е. И., Корнев Ю. А. Пьезогенератор высокого напряжения в проектной деятельности обучающихся // Учебная физика. — 2019. — № 4. — С. 3–11.
3. Учебное оборудование для кабинетов физики общеобразовательных учреждений / Ю. И. Дик, Ю. С. Песоцкий, Г. Г. Никифоров и др.; под ред. Г. Г. Никифорова. — М.: Дрофа, 2005. — 396 с.
4. Майер В. В., Вараксина Е. И. Индукция, самоиндукция и высокое напряжение // Потенциал. — 2011. — № 1. — С. 67–74.
5. Мини электрошокер своими руками. <https://www.youtube.com/watch?v=FAupdG3j2EU>.
6. Майер В. В., Вараксина Е. И. Высоковольтные источники напряжения // Потенциал. — 2011. — № 2. — С. 65–73.
7. Майер В. В., Вараксина Е. И. Формирование понятия высокого напряжения // Учебная физика. — 2011. — № 2. — С. 3–13.

Глазовский государственный педагогический институт

Поступила в редакцию 21.03.23.

## ABSTRACTS

**XXVIII All–Russia scientific and practical conference «The Educational Physics Experiment: Topical problems. Modern solutions».** A report on XXVIII All–Russian scientific and practical conference «The Educational Physics Experiment: Topical problems. Modern solutions» is presented. The conference was organized in Glazov on 27–28 January 2023. The names and abstracts of the reports are given. *Keywords:* didactics of physics, educational physics experiment, scientific and practical conference.

**Mayer V. V., Chetkarev A. N. Educational model of a gun on alcohol vapor.** For students of the 9th grade of the basic school, an engineering and physical project is proposed. The purpose of the project is to develop and manufacture a working model of a gun intended for experimental study in the 10th grade of high school of the recoil of the gun when fired. *Keywords:* student project, gun model, recoil when fired, experimental study.

**Faddeev M. A., Maslennikova Yu. V. Solving multilevel experimental problems in physics as one of the ways to prepare students for training in advanced engineering schools.** The article considers an approach to the development and use of multilevel experimental problems in physics in the educational process, which contributes to the effective preparation of students for training in advanced engineering schools. *Keywords:* school physics experiment, multilevel experimental tasks, advanced engineering schools.

**Mayer V. V., Vasiliiev I. A., Kornev Yu. A. High-voltage converter for experiments in electrostatics.** The article describes the schematic diagram, design, manufacturing technology and the results of an experimental study of a high-voltage converter on a field-effect transistor. *Keywords:* electrostatics, educational experiments, high voltage, electronic converter.

**Mayer V. V., Perminov A. A. Laboratory work of the workshop: an educational study of Newton's rings.** The article presents a manual on the laboratory work of a high-level school physics workshop on the study of Newton's rings. *Keywords:* physical workshop, advanced level, laboratory work, Newton rings, educational research.

**Mayer V. V., Varaksina E. I., Kornev Yu. A. Physical modelling of an electrophorical machine.** A working physical model of an electrophorical machine is proposed, intended for a lecture demonstration in the course of general and experimental physics of a pedagogical university. *Keywords:* electrophor, electric spark gap, high voltage capacitor.

**Grebenev I. V. The methodological significance of experimental thinking.** Some aspects of the influence of experimental thinking on the development of methods of teaching physics are considered. *Keywords:* experimental thinking, modeling, school physical experiment.

**Zuev P. V. Didactic value of academician P. L. Kapitsa's quote about engineer training.** Methodological techniques are offered to prepare students for engineering and technical activities. *Keywords:* engineer, engineering activity, activity approach, experiment, theory, model, level of training.

**Mayer V. V., Perminov A. A. Pedagogical experiment: testing the possibility of using new laboratory work in a workshop.** The article presents the conditions, results and analysis of a pedagogical experiment to test the possibility of using laboratory work «Educational study of Newton's rings» in the workshop of the physics and mathematics lyceum. *Keywords:* physics and mathematics lyceum, workshop, laboratory work, Newton rings, pedagogical experiment.