

ISSN 2307-5457		НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ
<i>Primum inter pares</i>		<h1>УЧЕБНАЯ ФИЗИКА</h1>
Материалы XXX Всероссийской научно-практической конференции		Июль - сентябрь 2025 №3
„Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения“		Издается с января 1997 года

СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

Р. М. Абдулов	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ	
М. С. Свечникова	ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАЗДЕЛА «ДАВЛЕНИЕ»	3

Старшая школа

М. А. Фаддеев	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ	
Ю. В. Масленникова	ПУЧКОВ СВЕТА В ТРЕУГОЛЬНОЙ ПРИЗМЕ	11
Н. С. Тараканов		

Высшая школа

А. И. Грибков	ПРОСТОЙ МАЯТНИК: ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ,	
Р. В. Романов	РЕАЛЬНОСТЬ И ВИРТУАЛЬНОСТЬ	22

А. А. Кривушин	ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИМПЕДАНС	
О. А. Милованова	БИОТКАНИ В УЧЕБНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ	
С. А. Кривушина	ДЛЯ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ВУЗА	40

В. В. Майер	ПОЛУЧЕНИЕ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ	
Ю. А. Корнев	ОТ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПЬЕЗОГЕНЕРАТОРА	56

Технологии обучения

П. В. Зув	ПРОПЕДЕВТИКА ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ УЧАЩИХСЯ	
В. Е. Сидоров	ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССОВ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ	
	В УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА	66

Науковедение

Ю. А. Сауров	ЭССЕ О КНИГЕ «ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ	
	В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ»	76

АВТОРЫ ЖУРНАЛА		80
----------------	--	----

Редакция журнала:

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

Редакционный совет:

С. В. Барышников	д.ф.-м.н., профессор, Благовещенск
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
О. В. Лебедева	д.п.н., доцент, Нижний Новгород
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
А. П. Усольцев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
А. А. Шаповалов	д.п.н., профессор, Барнаул

Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Я. А. Чиговская–Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГИПУ, Глазов
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Перечень ВАК: Журнал «Учебная физика» включен Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Минобрнауки России в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов, Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГИПУ», Телефон: (341 41) 5–32–29.
E-mail: uch-fiz@mail.ru, kropa@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет 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.

Подписной индекс: 79876.

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

Сдано в набор 02.09.25. Подписано в печать 25.09.25.

Дата выхода в свет: 30.09.25.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 5,0.

Заказ 171. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Экспериментальная установка для проверки закона Кулона в демонстрационном опыте.

Научная статья

ББК 74.262.23

УДК 372.853

В. В. Майер, Ю. А. Корнев

ПОЛУЧЕНИЕ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПЬЕЗОГЕНЕРАТОРА

Обоснована актуальность проблемы получения постоянного напряжения от учебного пьезоэлектрического генератора. Показано, что решением проблемы является подключение к пьезогенератору двухполупериодного выпрямителя, собранного по мостовой схеме и нагруженного на высоковольтный конденсатор. Подробно описаны ключевые моменты дидактического исследования, выполненного преподавателями и студентами бакалавриата в период учебной технологической практики.

Ключевые слова: электростатика, учебные опыты, пьезогенератор, двухполупериодный выпрямитель, мостовая схема.

V. V. Mayer, Yu. A. Kornev

OBTAINING A CONSTANT VOLTAGE FROM A HIGH-VOLTAGE PIEZO GENERATOR

The relevance of the problem of obtaining a constant voltage from an educational piezoelectric generator is substantiated. It is shown that the solution to the problem is to connect a two-half-period rectifier to the piezoelectric generator, assembled according to a bridge circuit and loaded onto a high-voltage capacitor. The key points of the didactic research carried out by undergraduate teachers and students during the period of educational technological practice are described in detail.

Keywords: electrostatics, educational experiments, piezoelectric generator, two-half-period rectifier, bridge circuit.

DOI: 10.62957/2307-5457-2025-3-56-65

1. Введение

Хорошо известно, что бытовую пьезозажигалку нетрудно превратить в учебный физический прибор — пьезогенератор для демонстрационных опытов по электростатике [1]. Обладая массой достоинств, этот прибор имеет также существенный недостаток: он

способен дать высокое напряжение только в короткий промежуток времени, в течение которого происходит деформация пьезоэлемента. Желание устранить этот недостаток приводит к формулировке проблемы дидактического исследования: как с помощью учебного пьезоэлектрического генератора получить постоянное высоковольтное напряжение, обеспечивающее выполнение учебных опытов по электростатике?

В этом исследовании помимо авторов приняли участие вчерашние школьники — студенты первого курса нашего университета. В период *учебной технологической (проектно-технологической) рассредоточенной практики* (12 недель, 24 часа) они самостоятельно изготавливали учебные пьезогенераторы (рис. 1) и осваивали совершенно новые для себя учебные опыты по электростатике, некоторые из которых предполагали получение объективно новых результатов.

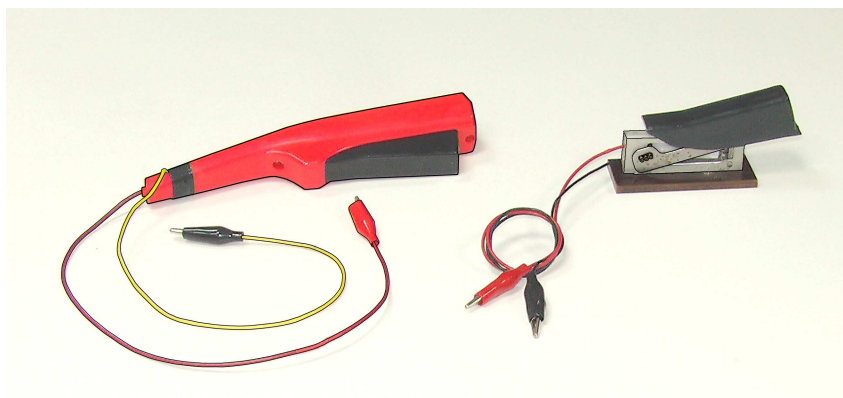


Рис. 1. Учебные пьезоэлектрические генераторы: *слева* — минимальная доработка бытовой пьезозажигалки; *справа* — прибор, раскрывающий устройство пьезогенератора

Основной задачей настоящей статьи является восстановление, насколько это возможно, последовательности действий, которые привели к решению указанной во введении проблемы.

2. Прототипы и уточнение проблемы

В учебном эксперименте по электростатике используются в основном два высоковольтных источника постоянного напряжения — это старая добрая электрофорная машина, дающая между электродами разрядника искру длиной не менее 50 мм [2] (напряжение до примерно 100 кВ [3; 4, с. 213–214]), и современный электронный блок питания, позволяющий получать постоянное напряжение, регулируемое в пределах от 0 до примерно 30 кВ [5, с. 318–319].

Электрофорная машина дает между своими кондукторами жирные искры, сопровождающиеся громким треском. На выходе машины стоят два последовательно соединенных перемычкой конденсатора в форме лейденских банок емкостью примерно 500 пФ [2] каждая. Если перемычку разомкнуть и привести машину в действие, то между ее кондукторами вместо жирных начнут проскакивать такие же по длине, но тощие и более частые искры. Это означает, что конденсаторы, не меняя напряжения на выходе машины, увеличивают заряды искровых разрядов. Что касается электронного блока питания, то на его выходе также стоят конденсаторы. В этом нетрудно убедиться, наблюдая создаваемые блоком искровые разряды. Таким образом, конденсаторы, накапливая электрические заряды, являются неотъемлемой (важнейшей) частью высоковольтных источников постоянного напряжения.

Следовательно, пьезоэлектрический источник постоянного напряжения также должен иметь накопительный конденсатор. Эта мысль позволяет *конкретизировать проблему*: как с помощью учебного пьезогенератора зарядить конденсатор?

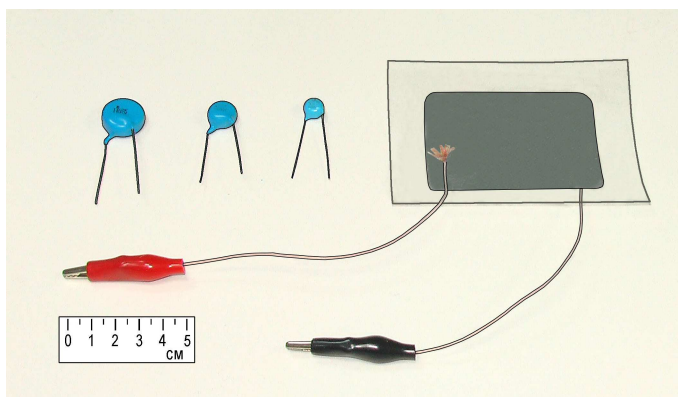


Рис. 2. Высоковольтные конденсаторы: *слева* — современные керамические конденсаторы на 15 кВ; *справа* — самодельный конденсатор из подручных материалов

3. Высоковольтные конденсаторы

Для описанных в статье экспериментов подойдут современные *конденсаторы керамические высоковольтные* на напряжение 15 кВ, емкости которых 100, 220, 330, 680 и 1000 пФ (рис. 2). Они вполне доступны по стоимости и наличию в интернет-магазинах. В целях безопасности при работе со школьниками можно ограничиться первыми тремя из перечисленных здесь конденсаторов. Однако часто бывает быстрее и нередко полезнее самостоятель-

но изготовить с обучающимися необходимые для предварительных опытов высоковольтные конденсаторы.

Для этого нужно найти прозрачную пластиковую бутылку цилиндрической формы и вырезать из нее пластину размером примерно 80×110 мм (толщина которой может колебаться в пределах $0,2-0,3$ мм). Из *металлизированного скотча на бумажной основе* шириной 50 мм (который продается в хозяйственных или строительных магазинах) вырезают два одинаковых прямоугольника размером 50×80 мм и углы их закругляют радиусом 5 мм. Металлизированный скотч аккуратно наклеивают с двух сторон на подготовленную пластину пластика. На металлические обкладки получившегося конденсатора обычным скотчем (липкой лентой) приклеивают выводы длиной 10–15 см, сделанные тонким гибким проводом, например, марки МГТФ диаметром 0,7 мм в изоляции. Мультиметром типа *DT9205A* измеряют емкость изготовленного конденсатора и получают значение, близкое к 300 пФ (рис. 3).



Рис. 3. Самодельный конденсатор емкостью порядка 1000 пФ, измеренной мультиметром

4. Электрический разрядник

Для оценки величины постоянного высоковольтного напряжения проще всего использовать искровой разрядник. Он должен иметь два металлических электрода, расстояние между рабочими концами которых можно изменять и фиксировать. Мы изготовили специальную обойму для электродов из эбонита и попробовали дю-

ралевые, медные и стальные электроды (рис. 4). Оказалось, что более прочные стальные электроды предпочтительнее. Для их изготовления вполне подойдут цилиндрические гвозди диаметром 5 мм, из которых вырезают прутки длиной примерно 80 мм. Один конец каждого электрода нужно сделать полусферическим, а второй — коническим, но не слишком острым, чтобы не вызвать чрезмерное коронирование. Это позволит получать электрические разряды между двумя остриями, двумя полусферами, острием и полусферой, то есть работать с искрами той длины, которая наиболее удобна в конкретном эксперименте. Электрическое соединение описанного разрядника с остальной установкой удобно выполнять закрепленными на концах проводов крокодилами, которые на стальных электродах не оставляют царапин.

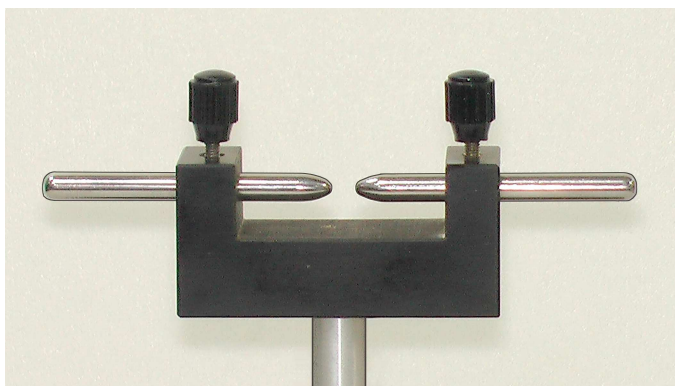


Рис. 4. Разрядник, предназначенный для экспериментальной оценки высокого напряжения и других опытов по электростатике

5. Работа пьезогенератора

Работу пьезогенератора проще всего исследовать с помощью неоновой лампы типа ВМН–2. Эта лампа состоит из цилиндрического стеклянного баллона, заполненного разреженным неоном, в котором расположены два совершенно одинаковых проволочных электрода. При подаче на них постоянного напряжения порядка 100 В в разреженном газе возникает тлеющий разряд. Так как при таком разряде яркое красное свечение неона происходит только возле катода, то неоновая лампа позволяет легко определить направление проходящего по ней электрического тока и, следовательно, полярность напряжения пьезогенератора.

Однако опыт показывает, что при непосредственном подключении неоновой лампы к выходу пьезогенератора никакого свечения вообще не возникает. Причина, конечно, в том, что разность по-

тенциалов в тысячи вольт на выходе пьезогенератора становится меньше напряжения зажигания неоновой лампы. Когда при нажатии на клавишу пьезогенератора напряжение на его выходе начинает расти, в лампе появляется небольшой ток, сопротивление лампы уменьшается, и напряжение на ней падает. Так как внутреннее сопротивление пьезогенератора велико, то даже небольшой ток через лампу практически накоротко замыкает этот источник высокого напряжения.

Разрядник позволяет быстро и весьма убедительно показать себе и окружающим, как работает пьезогенератор. Для этого нужно выставить на нем длину разрядного промежутка не более 1 мм и собрать цепь из последовательно соединенных пьезогенератора, разрядника и неоновой лампы типа ВМН-2 (рис. 5). Медленно нажимают на клавишу пьезогенератора и наблюдают следующие друг за другом три вспышки неоновой лампы возле одного из ее электродов (рис. 5.1). Затем медленно отпускают клавишу и вновь наблюдают столько же вспышек газа, но уже возле другого электрода лампы (рис. 5.2).

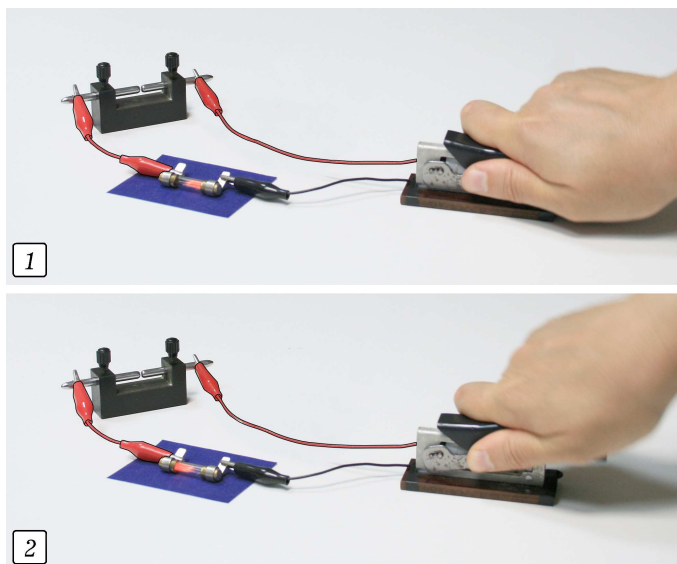


Рис. 5. Определение полярности напряжения пьезогенератора: 1 — при нажатии на клавишу прибора загорается газ возле правого электрода неоновой лампы; 2 — отпускание клавиши приводит к свечению газа вокруг левого электрода неоновой лампы

Очевидно, лампа вспыхивает в момент появления искры в разряднике, то есть тогда, когда напряжение на выходе пьезогенерато-

ра достигает напряжения пробоя разрядного промежутка. До этого момента напряжение на лампе близко к нулю, она не горит и не шунтирует пьезогенератор. В момент проскакивания искры лампа вспыхивает и пьезоэлемент генератора разряжается. Но сжатие пьезоэлемента продолжается, поэтому выходное напряжения пьезогенератора растет до нового разряда и новой вспышки лампы.

Таким образом, при отсутствии разрядника нажатие на клавишу вызывает монотонный рост напряжения на выходе пьезогенератора, а отпускание клавиши — монотонное снижение этого напряжения до нуля. Наличие разрядника с небольшим напряжением пробоя по сравнению с максимальным напряжением пьезогенератора приводит при нажатии на клавишу к появлению серии кратковременных импульсов напряжения определенной полярности, а при отпускании клавиши — такой же серии импульсов противоположной полярности.

Разобравшись в работе пьезогенератора, студенты догадались, как можно зарядить от него конденсатор. Вот как один из них в своей *рабочей тетради* описывает необходимые для этого действия (в квадратных скобках наши пояснения).

«Если просто присоединить [к конденсатору] крокодилы [проводов от пьезогенератора], то при нажатии клавиши каждый из выводов получит [определенный] заряд, а при отпускании клавиши — противоположный.

Чтобы этого избежать и успешно зарядить конденсатор, было решено черный крокодил подсоединить к одному выводу, а красным [крокодилом] после нажатия клавиши [прикоснуться] к свободному выводу, [затем разорвав это соединение], отпускаем клавишу и подносим [красный крокодил] к выводу, на котором черный крокодил, [разряжая тем самым пьезогенератор].

Убедимся в том, что конденсатор заряжается. Прodelываем действия с крокодилами несколько раз. После этого возьмем отвертку с [изолирующей] ручкой и подносим близко к обоим выводам [конденсатора]. Наблюдаем искру.

Изменяя количество нажимов и отпусканий [клавиши], замечаем как изменяется искра. Можно сделать вывод: чем больше раз нажимаем на клавишу, тем больше искра между выводами [конденсатора]».

6. Двухполупериодный выпрямитель

На этом этапе исследования естественно возникла идея снабдить пьезогенератор двухполупериодным выпрямителем, собранным из высоковольтных диодов.

Принципиальная схема разработанного нами прибора приведена на рис. 6. На ней пьезоэлектрический генератор схематически изображен в виде пьезоэлемента, на который действуют внешние силы сжатия \vec{F} (темные стрелки) и примерно такие же по модулю силы растяжения \vec{F} (светлые стрелки). Последние представляют собой внутренние силы упругости, остающиеся внутри деформированного пьезоэлемента после его разряда и прекращения сжатия.

Действие прибора, собранного по этой схеме, доступно для обучающихся даже основной школы, если они знакомы с полупроводниковым диодом и конденсатором [6, с. 340–343, с. 385–388].

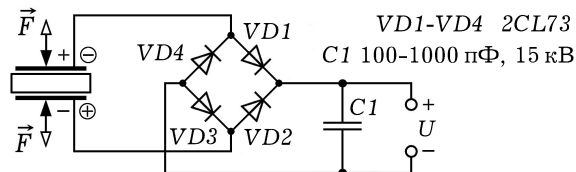


Рис. 6. Принципиальная схема пьезогенератора с двухполупериодным выпрямителем, нагруженным на конденсатор

Пусть при сжатии пьезоэлемента на его верхней обкладке появляется положительный заряд, а на нижней отрицательный. Тогда в подключенной к пьезоэлементу цепи возникает электрический ток, идущий от плюса источника через диод $VD1$, конденсатор $C1$, диод $VD3$ к минусу источника. Этот ток заряжает конденсатор так, что на верхней клемме выпрямителя получается плюс, а на нижней минус напряжения U . При снятии сжатия полярность напряжения на пьезоэлементе меняется на противоположную, и ток идет от нижней обкладки через диод $VD2$, конденсатор $C1$, диод $VD4$ к верхней обкладке пьезоэлемента, заряжая конденсатор в той же полярности, что и раньше. Таким образом, при каждом нажатии и последующем отпуске клавиши пьезогенератора на конденсатор поступают импульсы одинаковой полярности, заряжающие конденсатор до напряжения, развиваемого пьезогенератором. Понятно, что конденсатор в этой схеме наряду с накопителем заряда выполняет функцию разрядника пьезоэлемента, подробно изученную в описанных выше предварительных опытах.

7. Изготовление высоковольтного выпрямителя

Пробный вариант высоковольтного выпрямителя был собран на отечественных кремниевых столбах типа КЦ106Г, для которых максимальное обратное напряжение 10 кВ. Убедившись в работоспособности этого прибора, в дальнейшем мы использовали значительно более компактные диоды типа 2CL73, *повторяющееся пиковое обратное напряжение* которых составляет 12 кВ. Эти диоды внешне представляют собой небольшие черные цилиндры диаметром 3 мм и длиной 10 мм, на которых вдоль оси обозначена марка Т-73, а поперек возле катода расположены три ромбика.

Для сборки высоковольтного выпрямителя нужно использовать плату из хорошего диэлектрика, например, из оргстекла или гетинакса. Поверхности платы должны быть очищены и обезжирены. Для пайки в качестве флюса следует взять канифоль. Места соединений всех деталей должны быть гладкими, чтобы свести к минимуму возможное коронирование зарядов. На рис. 7 в качестве

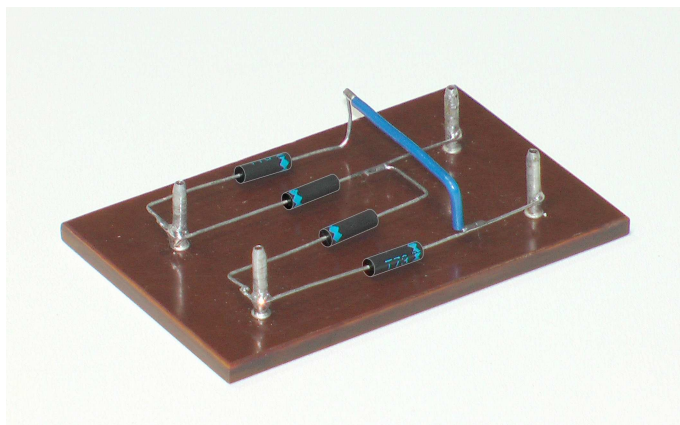


Рис. 7. Конструкция предназначенного для учебных исследований двухполупериодного выпрямителя на высоковольтных диодах

примера приведена фотография изготовленной нами модели выпрямителя. Оценка величины получающегося от пьезогенератора постоянного напряжения производилась по длине искрового разряда (рис. 8) и дала значение, близкое к 10 кВ.

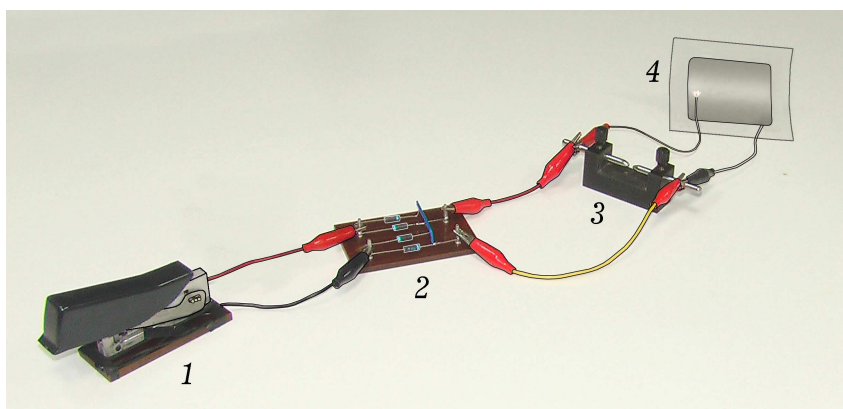


Рис. 8. Установка для измерения постоянного напряжения пьезогенератора с выпрямителем: 1 — пьезогенератор; 2 — высоковольтный выпрямитель; 3 — электрический разрядник; 4 — самодельный конденсатор

8. Заключение

В работе показано, что двухполупериодный выпрямитель, собранный из высоковольтных диодов и нагруженный на высоко-

вольтный конденсатор, позволяет превратить учебный пьезогенератор в источник постоянного напряжения порядка 10 кВ. Этот результат получен в совместной исследовательской деятельности в области дидактики физики преподавателей и студентов–физиков первого курса инженерно–педагогического университета в процессе рассредоточенной проектно–технологической практики. Предварительные эксперименты с новым учебным прибором показали, что величина полученного постоянного напряжения, к сожалению, недостаточна для постановки ключевых демонстрационных опытов [7, 8] по электростатике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майер В.В. Электризация давлением в школьном курсе физики // Учебная физика. — 2004. — № 1. — С. 12–21.
2. Машина электрофорная (малая). Руководство по эксплуатации. — М.: Просвещение, 1983. — 8 с.
3. Буров В.А., Зворыкин Б.С., Кузьмин А.П., Покровский А.А., Румянцев И.М. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. Т. 2. Электричество. Оптика. Физика атома. Пособие для учителей / Под ред. А.А. Покровского. — М.: Просвещение, 1972. — 448 с.
4. Учебное оборудование по физике в средней школе. Пособие для учителей. Под ред. А.А. Покровского. — М.: Просвещение, 1973. — 480 с.
5. 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.
6. Мякишев Г.Я. Физика: 10–й класс: базовый и углубленный уровни: учебник / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский; под ред. Н.А. Парфентьевой. — Москва: Просвещение, 2024. — 432 с.
7. Никифоров Г.Г. Обновление механизмов преодоления ключевых проблем системы учебного физического эксперимента // Учебная физика. — 2017. — № 2. — С. 50–61.
8. Усольцев А.П., Шамало Т.Н., Игошев Б.М. Развитие мышления школьников средствами учебного физического эксперимента // Учебная физика. — 2025. — № 1. — С. 66–73.

Глазовский государственный
инженерно–педагогический
университет имени В.Г. Короленко

Поступила в редакцию 30.06.25.