



СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

В. В. Майер	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК ВНУТРИ	
И. Н. Данилов	ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА	3

Старшая школа

А. Г. Некрасов	ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛА КАРНО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ <i>L-MICRO</i>	7
Е. И. Вараксина А. А. Попова	ДИДАКТИЧЕСКИЙ РЕСУРС УЧЕНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА «ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЛИПСА»	13

Высшая школа

С. А. Герасимов	ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НЕЗАМКНУТЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ, ИЛИ КАК ИЗМЕРИТЬ СИЛУ САМОДЕЙСТВИЯ?	22
В. В. Майер	ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ: КОНСПЕКТ ЛЕКЦИИ ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА	30

Компьютер в эксперименте

С. В. Марков ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ПЕРЕМЕННОГО
ТОКА НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ
AD9833 ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ОПЫТОВ
С АДРЕСНЫМИ СВЕТОДИОДНЫМИ ЛЕНТАМИ 41

Е. И. Вараксина ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС
О. Л. Соколова ПО ФИЗИКЕ В УЧЕБНОМ ПРОЕКТЕ ПО ИНФОРМАТИКЕ .. 52

АВТОРЫ ЖУРНАЛА 67

ABSTRACTS 68

Редакция журнала:

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

Редакционный совет:

В. Е. Антонов	д.ф.-м.н., с.н.с., ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Л. Д. Григорьева	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
С. С. Назин	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
Г. Г. Никифоров	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин	к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
Э. В. Суворов	д.ф.-м.н., профессор, ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Я. А. Чиговская-Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГППИ, Глазов

Оргкомитет конференции:

М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
Ю. В. Иванов	к.п.н., доцент, Глазов
Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов,
Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГППИ». 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 12.05.21. Подписано в печать 15.06.21. Дата выхода в свет: 28.06.21.
Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,25.

Заказ 146. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Современный вариант знаменитого опыта Г. Герца по поляризации электромагнитных волн (Mayer V V and Varaksina E I 2021 Modern demonstration experiments for H Hertz's experimental study *Eur. J. Phys.* **42** 025201).

С. В. Марков

ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО
СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ AD9833
ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ОПЫТОВ
С АДРЕСНЫМИ СВЕТОДИОДНЫМИ ЛЕНТАМИ

В работе представлена доступная конструкция инфранизкочастотного генератора переменного тока на базе цифрового синтезатора частоты AD9833. Генератор предназначен для учебного исследования электрических колебаний в элементах, включенных в цепь переменного тока, явления электромагнитной индукции и самоиндукции совместно с адресными кольцевыми светодиодными лентами.

Ключевые слова: цифровой синтезатор частоты AD9833, инфранизкочастотный генератор переменного тока, электрические колебания в цепях переменного тока, электромагнитная индукция, самоиндукция, микроконтроллерная плата *Arduino UNO*, адресная светодиодная лента.

В статье [2] рассмотрен учебный прибор для исследования явления электромагнитной индукции и обоснования правила Ленца с использованием адресной светодиодной ленты. Описанный прибор может быть применен учащимися в учебном физическом эксперименте при изучении колебаний напряжения и тока в элементах (резистор, конденсатор и катушка индуктивности), включенных в цепь переменного тока, в 9–11 классах. Обычно происходящие электрические колебания в элементах, включенных в цепь переменного тока, наблюдают с помощью осциллографа, а источником тока является звуковой генератор, минимальная частота которого колеблется около 20 Гц. Визуально воспринять колебания тока и напряжения частотой 20 Гц, например, используя адресную светодиодную ленту, невозможно. По полученным осциллограммам не все учащиеся могут осознано понять процессы, происходящие при протекании переменного тока через эти элементы.

Более глубокое осмысление учащимися происходящих колебаний в цепях переменного тока будет возможным, если совместно с осциллографическим методом использовать визуальный способ наблюдения с инфранизкочастотным генератором синусоидальных колебаний на частоте порядка 1 Гц. Тогда колебания напряжения и тока можно будет визуально регистрировать с помощью двух адресных кольцевых светодиодных лент, одна из которых будет регистрировать колебания напряжения, а другая колебания тока. В

настоящее время синусоидальные инфранизкочастотные колебания можно получить с цифровыми синтезаторами частоты. Нами были апробированы два доступных цифровых синтезатора AD9833 и AD9850, работающие под управлением микроконтроллерной платы *Arduino UNO*. Первый имеет более низкую стоимость и проще в управлении. С этим синтезатором были проведены предварительные эксперименты по разработке инфранизкочастотного генератора переменного тока с цифровым управлением микроконтроллерной платой *Arduino UNO* и проведены опыты совместно с адресными светодиодными лентами.

Изготовленный прибор и разработанная методика по его использованию в учебном процессе являются итогом совместной внеурочной экспериментальной работы учителя и ученика. Учебный прибор дополняет известные опыты по исследованию колебаний напряжения и тока в элементах, включенных в цепь переменного тока, с применением осциллографа. С помощью инфранизкочастотного генератора синусоидальных колебаний можно демонстрировать явление электромагнитной индукции и самоиндукции, колебания напряжения и силы тока в различных элементах, подключенных в цепь переменного тока. Генератор также позволяет вырабатывать колебания переменного тока треугольной формы с регулируемой амплитудой.

Прибор снабжен ЖК-индикатором, кнопкой и энкодером вращения для управления и настройки, переменными резисторами для регулирования уровня, смещения и симметрии. Управление микросхемой *DDS* синтезатора AD9833 [1, 3] и всей периферией осуществляет микроконтроллерная плата *Arduino* с загруженной программой [1].

Условно схема генератора разбита на несколько частей: микроконтроллерная часть и модуль *DDS* на микросхеме AD9833, выходящая аналоговая часть, схема питания и пользовательский интерфейс.

1. Цифровой генератор (DDS синтезатор) AD9833 — это программируемый цифровой генератор сигналов с низким энергопотреблением. Позволяет генерировать сигналы с частотой от 1 Гц до 12,5 МГц синусоидальной, треугольной, прямоугольной формы положительной полярности. Шаг изменения частоты можно установить равным 1 Гц, 10 Гц, 100 Гц, 1000 Гц. Данный модуль имеет следующие выводы:

- VCC — плюс питания для цифровых и аналоговых цепей генератора;
- DGND — цифровая земля;
- SDATA — вход данных интерфейса SPI. Передача осуществляется 16-битными словами;

- SCLK — вход тактового сигнала SPI. Используется второй режим работы: (CPOL = 1, CPHA = 0);
- FSYNC — выбор микросхемы. Перед началом передачи данных должен быть установлен в 0, по завершении в 1;
- AGND — аналоговая земля;
- OUT — выход генератора.

Используя микроконтроллерную плату *Arduino*, можно организовать управление модулем генератора на AD9833. При генерации синусоидальных и треугольных импульсов амплитуда изменяется в диапазоне от 38 мВ до 650 мВ с положительной составляющей напряжения. Управление микросхемой DDS синтезатора осуществляется по линиям микроконтроллерной платы D10 (SDATA), D11 (FSYNC), D13 (SCLK).

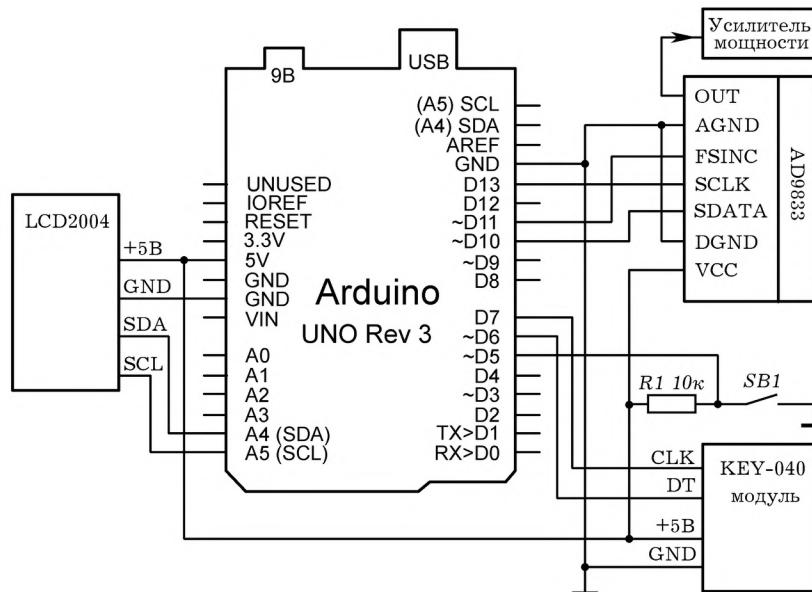


Рис. 1. Функциональная схема цифрового генератора

Разобравшись с устройством AD9833, можно приступить к созданию генератора с интерфейсом управления и индикацией. Для этого добавим в нашу схему энкодер вращения и жидкокристаллический дисплей. На рис. 1 представлена структурная схема генератора. Для удобства работы кнопка энкодера отключена и введена дополнительная кнопка SB1. Вся информация выводится на дисплей LCD2004+I2C (I2C модуль на базе микросхем PCF8574

позволяет подключить символьный дисплей 2004 к плате *Arduino* всего по двум проводам SDA и SCL (A4 и A5), что дает возможность не использовать цифровые выходы *Arduino* при подключении дисплея). При включении питания AD9833 настраивается на генерацию синусоидального сигнала частотой 100 Гц, соответствующая информация отображается на дисплее. Вращая ручку энкодера, можно изменять его частоту, а при нажатии кнопки вызывается меню. В меню доступны следующие опции:

- установка частоты (можно задать произвольное значение от 1 Гц до 12,5 МГц);
- установка фазы (0–360°);
- выбор формы сигнала;
- выбор значения, на которое изменяется частота при вращении ручки энкодера.

Рассмотрим работу с пользовательским интерфейсом на примере установки частоты генератора на 1 Гц.

1. Включают питание. На мониторе распечатывается:

```
Fred: 100Hz
Phase: 0 Deg
Form: Sinusoidal
```

2. Нажимают–отжимают кнопку. Выводится сообщение:

```
>Set frequency
Set phase
Set wave form
.....
```

3. Нажимают–отжимают кнопку. На дисплее выводится сообщение:

```
Input frequency:
00 000 100Hz
Ok Cansel
```

4. Нажимают кнопку и, удерживая в этом положении, вращают ручку энкодера, устанавливая курсор на нужную позицию, например, 00 000 100Hz.

5. Кнопку отжимают и на месте установки курсора начинает мигать выделенная область 00 000 100Hz.

6. Нажимают на кнопку и вращением ручки энкодера устанавливают нужную цифру, например, 00 000 000Hz. Затем кнопку отжимают.

7. Нажимают кнопку, вращают ручку энкодера, перемещая курсор на нужную позицию и затем отжимают, например, 00 000 0000Hz.

8. Нажимают на кнопку и вращением ручки энкодера устанавливают нужную цифру, например, 00 000 001Hz. Затем кнопку отжимают.

9. Нажимают на кнопку и вращением ручки энкодера курсор устанавливают на позицию **Ok**:

```
Input frequency:
00 000 100Hz
>Ok Cansel
```

10. Кнопку отжимают, на дисплее появляется сообщение:

```
Fred: 1Hz
Phase: 0 Deg
Form: Sinusoidal
```

Если требуется переустановить частоту колебаний, можно нажать на кнопку «сброс» микроконтроллерной платы *Arduino* и затем повторить пункты 1–10, или выполнить следующую последовательность действий:

1. Нажимают–отжимают кнопку. На экране дисплея выводится информация:

```
>Set frequency
Set phase
Set wahe form
.....
```

2. Нажимают на кнопку и, вращая ручку энкодера, курсор устанавливают на позиции **About** или **Back** и затем кнопку отжимают. На экране дисплея распечатывается:

```
Fred: 1Hz
Phase: 0 Deg
Form: Sinusoidal
```

3. Нажимают на кнопку и вращением ручки энкодера устанавливают требуемую частоту. Если кнопка будет находиться в нажатом состоянии, то вращением ручки энкодера можно либо плавно увеличивать частоту, либо плавно ее уменьшать с шагом в 1 Гц.

2. Усилитель мощности. Выходная аналоговая часть — это *усилитель мощности*, предназначен для обеспечения требуемой мощности переменного тока на подключенной к генератору нагрузке. Электрическая схема усилителя представлена на рис. 2, а его монтажная плата размером 55 × 75 мм на рис. 3. Условно усилитель мощности можно разделить на две части — предварительный усилитель и конечный каскад усиления. Функция предварительного усилителя — это произвести усиление и смещение постоянной составляющей сигнала DDS синтезатора до 0 В так, чтобы амплитуды колебаний положительной и отрицательной «полуволн» оказались равными. Функция конечного каскада усиления — усилить полученный сигнал до уровня ± 15 В, с выходным током порядка 500 мА.

Чтобы свести к минимуму изменение формы сигнала на выходе OUTDDS генератора применяется операционный усилитель (ОУ) DA2, включенный по схеме повторителя напряжения. Усиливаемый

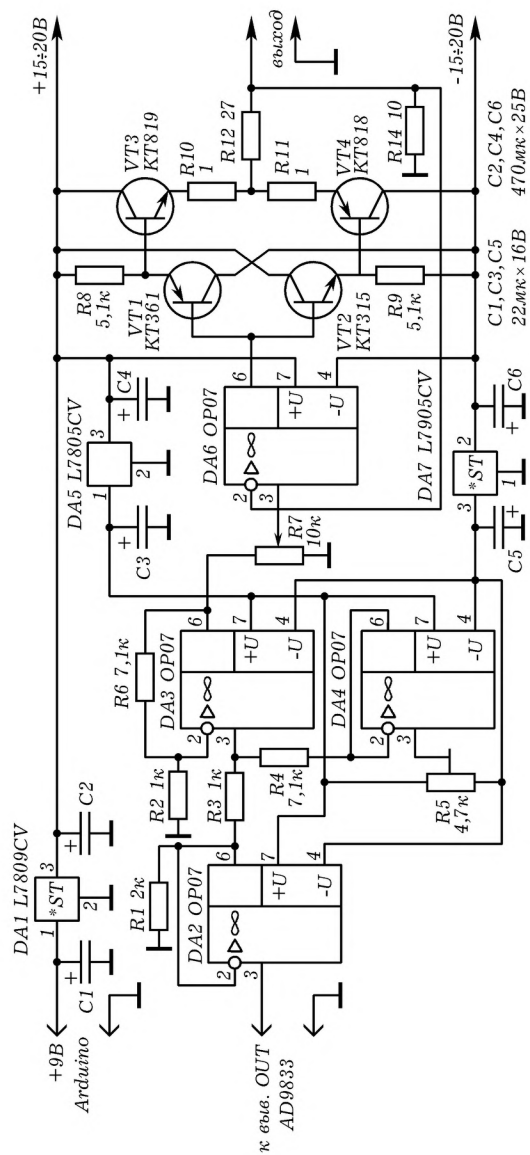


Рис. 2. Электрическая схема усилителя мощности

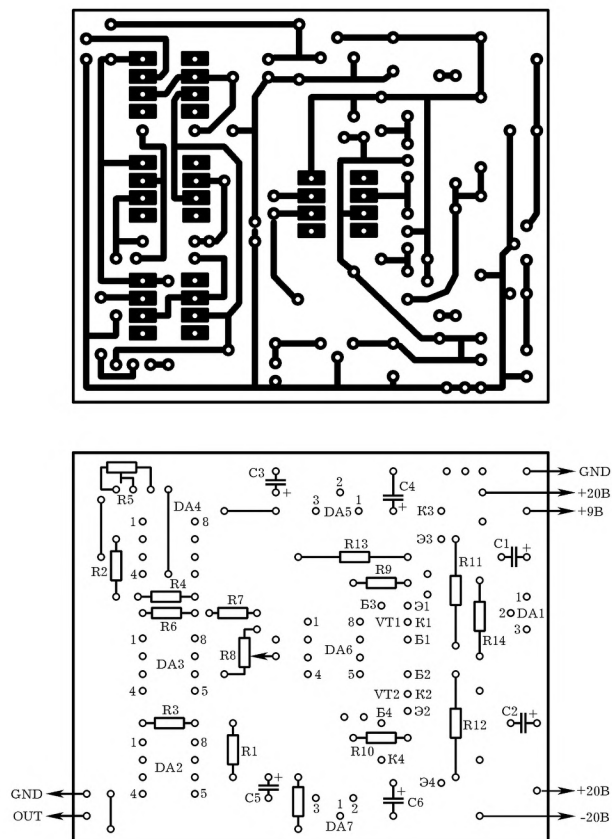


Рис. 3. Монтажная плата усилителя мощности

сигнал с выхода повторителя поступает на инвертирующий вход 2 ОУ DA3, выполняющий функцию предварительного усилителя, с коэффициентом усиления примерно равным 7. На неинвертирующий вход 3 ОУ DA3 подается напряжение смещения от ОУ DA4. Величина напряжения смещения регулируется подстроечным резистором R5, что обеспечивает «симметричность колебаний» относительно нулевой точки *GND* на выходе 6 ОУ DA3. Правильность настройки проверяется, например, осциллографом. Для этого достаточно вход осциллографа подключить к выходу 6 ОУ DA3 и наблюдать на его экране форму сигнала.

Выходной каскад усилителя собран на ОУ DA6 с обратной связью по напряжению и двухтактного транзисторного усилите-

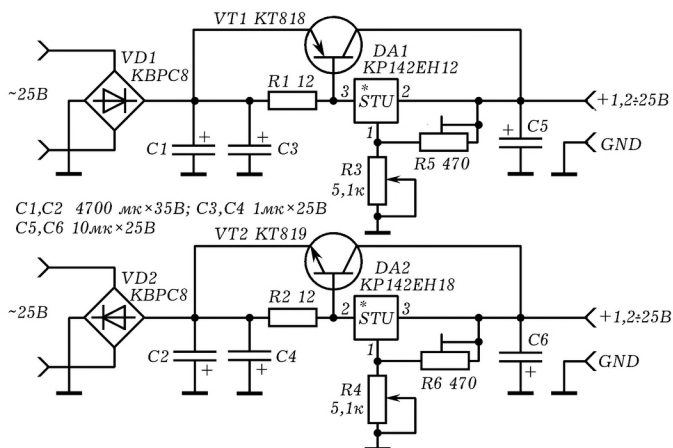


Рис. 4. Стабилизированный блок питания

ля мощности на $VT1$ – $VT4$. Плавным вращением ручки «Амплитуда» переменного резистора $R7$ устанавливают требуемую амплитуду колебаний на его выходе. Транзисторы $VT3$ и $VT4$ необходимо установить на теплоотводящие радиаторы. Для получения колебаний переменного тока необходим двухполярный источник питания, который можно изготовить из последовательно соединенных аккумуляторов или из двух источников с трансформаторным питанием (рис. 4). Схема питания построена на интегральных регуляторах напряжения и обеспечивает двухполярное напряжение ± 20 В для выходной аналоговой части, ± 5 В для питания операционных усилителей и $+9$ В для питания микроконтроллерной платы *Arduino*. Для увеличения максимальной амплитуды колебаний напряжение ± 5 В можно увеличить до ± 15 В, установив для этого соответствующие интегральные стабилизаторы напряжения.

3. Использование генератора в демонстрационных опытах.

Предлагаемый генератор предназначен для использования в экспериментах совместно с кольцевыми адресными светодиодными лентами на 32 и 40 пикселей. Электрическая схема управления адресными светодиодными лентами представлена на рис. 5 [2, с. 54]. Светодиодная лента на 32 пикселя выполняет функцию вольтметра (рис. 5.1), а лента на 40 пикселей выполняет функцию амперметра (рис. 5.4). Для одновременного визуального наблюдения за двумя параметрами в электрической цепи, напряжением и током, две контурные светодиодные ленты установлены совместно. С целью расширения пределов измерения напряжения применяется делитель

напряжения (рис. 5.3), а для визуального наблюдения за изменением индукции магнитного поля катушки используется усилитель (рис. 6).

Приборы для опытов готовят следующим образом. На одном из учебных занятий с учащимися рассматривается действие прибора, где обращают внимание на зависимость направления свечения светодиодных лент от полярности подключенного источника постоянного тока и направления протекания электрического тока. Для этого, например, можно использовать лампу накаливания на 2,5 В и 0,75 А, низковольтный регулируемый источник постоянного тока. К источнику постоянного тока последовательно включают лампу накаливания и светодиодный индикатор с 40-пиксельной лентой. Параллельно лампе подключают светодиодный индикатор с 32-пиксельной лентой с делителем напряжения. Включают питание прибора и плавно увеличивают напряжение на выходе источника постоянного тока. При этом должны загореться зеленые светодиоды 40-пиксельной ленты, например, по часовой стрелке. При согласованном включении светодиодного индикатора с 32-пиксельной лентой к делителю напряжения, должны загореться красные светодиоды в том же направлении. Чувствительность можно регулировать переменным резистором R_{10} делителя напряжения. При увеличении напряжения длина свечения светодиодных лент увеличивается. Изменив полярность включения источника постоянного тока, наблюдают за свечением светодиодных лент в противоположную сторону. Если заменить источник постоянного тока генератором переменного тока, то можно наблюдать за колебаниями напряжения и силы тока в цепи. При правильной регулировке прибора длина свечения светодиодных лент по часовой и против часовой стрелки, при постоянстве амплитуды колебаний генератора, должны быть одинаковы. В противном случае, регулировку производят с помощью подстроечных резисторов R_5 и R_{15} (рис. 5.1 и 5.4) и проверяют симметричность напряжения двухполярного источника питания операционных усилителей.

Генератор совместно со светодиодными лентами проверен в следующих демонстрационных опытах: 1) при введении понятия переменного тока; 2) колебания силы тока и напряжения в цепи переменного тока с активным сопротивлением; 3) колебания силы тока и напряжения в цепи переменного тока с емкостью; 4) колебания силы тока и напряжения в цепи переменного тока с индуктивностью; 5) колебания силы тока в катушке и индукции создаваемого током магнитного поля; 6) явление электромагнитной индукции и экспериментальное подтверждение правила Ленца; 7) явление самоиндукции; 8) работа трансформатора (используется два комплекта светодиодных индикаторов).

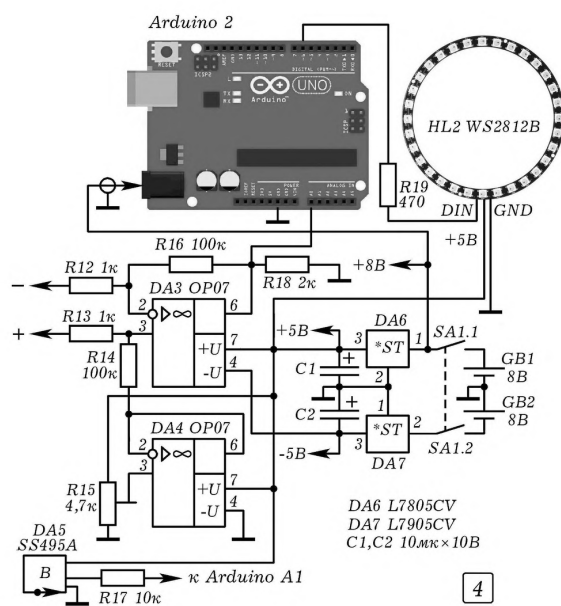
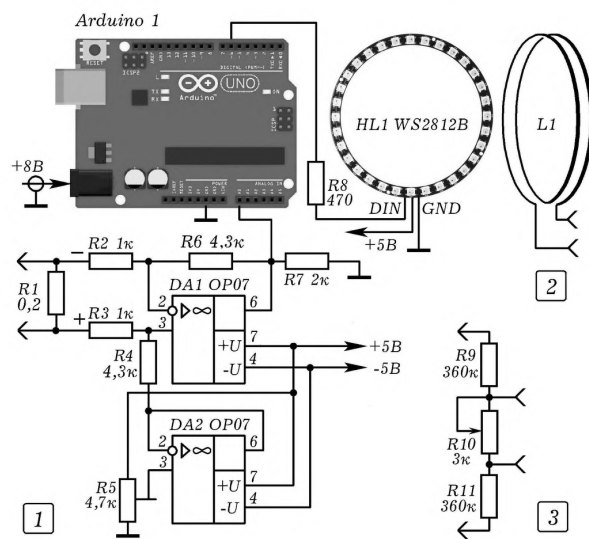


Рис. 5. Светодиодная лента на 40 пиксел — 1; контурная катушка — 2; делитель напряжения — 3; светодиодная лента на 32 пикселя — 4

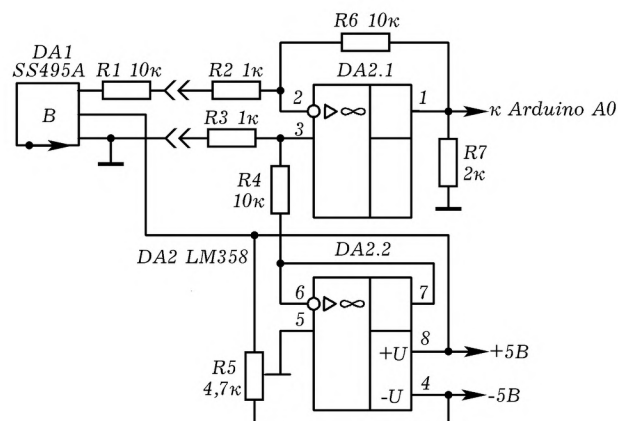


Рис. 6. Усилитель к датчику Холла

Для повышения эффективности познавательного процесса при демонстрации колебаний на смартфон можно записать видеофрагмент эксперимента, файл загрузить в ноутбук и используя, например, бесплатный и свободный кроссплатформенный медиапроигрыватель с открытым исходным кодом *VLC media player* [4], просмотреть в замедленном варианте на экране большого телевизора. Все демонстрации сопровождаются наблюдением осциллограмм колебаний на компьютерном осциллографе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генератор сигналов на AD9833. Режим доступа: <https://tsibrov.blogspot.com/2018/06/ad9833.html> (дата обращения: 09.10.2020).
2. Марков С. В., Маркова О. Н. Демонстратор индукционного тока на основе адресной светодиодной ленты // *Учебная физика*. — 2020. — № 2. — С. 40–56.
3. Функциональный DDS генератор на базе микросхемы AD9833. Режим доступа: <https://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=128164> (дата обращения: 06.10.2020).
4. *VLC media player*. Режим доступа: www.videolan.org (дата обращения: 08.12.2020).

МКОУ «Гыинская СОШ»
Кезского района
Удмуртской Республики

Поступила в редакцию 12.01.21.

ABSTRACTS

Mayer V. V., Danilov I. N. Electric current inside a galvanic cell. A simple demonstration experiment is described, showing that a current flows inside a loaded galvanic cell in the direction from the negative pole of the source to the positive one. A homemade magnetic needle made of neodymium magnets has been used as a current indicator. *Keywords:* current source, electromotive force, electric current in closed circuit.

Nekrasov A. G. Study of the Carnot cycle using L–micro. The method of conducting a lesson dedicated to studying the Carnot cycle is proposed. The lesson uses the L–micro digital laboratory. *Keywords:* lesson, educational research, Carnot cycle, L–micro laboratory.

Varaksina E. I., Popova A. A. Didactic resource of students' project «Optical properties of ellipse». The necessity of organizing project activity of an interdisciplinary nature when studying mathematics is justified. Simple tasks of one of the possible projects devoted to the experimental study of the optical properties of ellipse are proposed. *Keywords:* mathematics, physics, educational project, didactic resource, ellipse.

Gerashimov S. A. Experiments with unclosed electric current, or how to measure the self–force? The self-force by means of which an unclosed system acts on itself can be found and measured in a usual laboratory. For a system consisting of thin magnetized disk and unclosed conductor, the obtained value of the self-force is several orders of magnitude greater than known value. *Keywords:* magnetic field, electric current, weight, magnetization, unclosed conductor.

Mayer V. V. Elements of the theory of optical devices: lecture notes for undergraduate students. The content of the lecture on the discipline «General and experimental physics. Optics» is presented in a summary form. The lecture is developed for bachelor course of pedagogical university. *Keywords:* optical devices, visual observations, magnifying glass, microscope, telescope, diffraction nature of the image, resolution.

Markov S. V. Infra–low–frequency alternator based on the AD9833 digital frequency synthesizer for demonstration experiments with addressable LED strips. The paper presents an affordable design of an infra–low–frequency alternator based on the AD9833 digital frequency synthesizer. The generator is designed for the educational study of electrical vibrations in elements included in the AC circuit, the phenomenon of electro–magnetic induction and self-induction together with address ring LED strips. *Keywords:* AD9833 digital frequency synthesizer, infra–low–frequency alternator, electrical oscillations in AC circuits, electromagnetic induction, self–induction, microcontroller board ArduinoUNO, address LED strip.

Varaksina E. I., Sokolova O. L. Physics digital educational resource in a computer science educational project. The content of interdisciplinary students' project in computer science is proposed. The result of the productive activity of teachers and students is a digital educational resource designed for physics lessons on the introduction and formation of the concept of harmonic wave. *Keywords:* computer science, physics, educational project, digital educational resource, harmonic wave, Lazarus.