

В дальнейшем планируется доработка программных комплексов, а также их объединение.

#### Литература

1. Коршунов, Е. А. Программные средства для информатизации вспомогательных производственных процессов инженерно-технических служб предприятия / Е. А. Коршунов, А. С. Фиков, А. А. Капанский // Энергоэффективность. – 2020. – № 4. – С. 18–21.
2. Патапенко, Д. Н. Автоматизация сбора и контроля данных периодической отчетности с помощью специализированного программного обеспечения / Д. Н. Патапенко, Е. А. Коршунов, А. А. Капанский // Энергоэффективность. – 2020. – № 9. – С. 30–32.

### ТРАНСФОРМАТОР ТЕСЛА ПО СХЕМЕ КАЧЕРА БРОВИНА

**М. С. Веромеев**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель О. И. Проневич

Со времени создания трансформатора Тесла прошло уже более 100 лет интерес к этому прибору не угасает, и находятся все более интересные области и его применения. Хотя в наше время трансформатор Тесла чаще всего используется для создания спецэффектов (кино, сцена, красочные шоу, презентации), его применение не исчерпываются этим. Он служит для генерации мощных высокочастотных электромагнитных колебаний, которые успешно применяются для беспроводной передачи данных, в медицине (дарсонвализация), для поиска течей в вакуумных системах (искровой те-чеискатель), для демонстрационно-познавательных целей и другое).

Цель исследования – создание и использование для демонстрации различных электромагнитных и электрофизических явлений на занятиях физики.

Трансформатор Теслы основан на использовании резонансных стоячих электромагнитных волн в катушках. Его первичная обмотка содержит небольшое число витков и является частью искрового колебательного контура, включающего в себя также конденсатор и искровой промежуток. Вторичной обмоткой служит прямая катушка провода. При совпадении частоты колебаний колебательного контура первичной обмотки с частотой одного из собственных колебаний (стоячих волн) вторичной обмотки вследствие явления резонанса во вторичной обмотке возникнет стоячая электромагнитная волна и между концами катушки появится высокое переменное напряжение.

Работу резонансного трансформатора можно объяснить на примере обыкновенных качелей. Если их раскачивать в режиме принудительных колебаний, то максимально достигаемая амплитуда будет пропорциональна прилагаемому усилию. Если раскачивать в режиме свободных колебаний, то при тех же усилиях максимальная амплитуда вырастает многократно. Так и с трансформатором Теслы – в роли качелей выступает вторичный колебательный контур, а в роли прилагаемого усилия – генератор. Их согласованность («подталкивание» строго в нужные моменты времени) обеспечивает первичный контур или задающий генератор (в зависимости от устройства).

Схема классического трансформатора приведена на рис. 1.

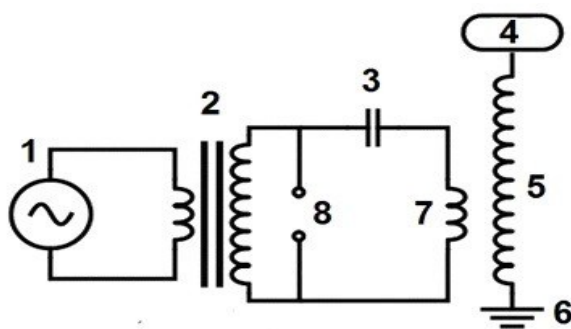


Рис. 1. Устройство классического трансформатора Тесла:  
 1 – источник питания (аккумулятор с прерывателем); 2 – низкочастотный входной трансформатор (катушка Румкорфа); 3 – конденсатор колебательного контура; 4 – выход (терминал); 5 – вторичная обмотка; 6 – заземление; 7 – первичная обмотка; 8 разрядник с искровым промежутком

В современных трансформаторах Тесла основной элемент трансформатора – первичный и вторичный колебательный контуры – остается неизменным, но одна из его частей – генератор высокочастотных колебаний может иметь различную конструкцию, причем редко используются разрядники с искровым промежутком.

Среди многочисленных современных конструкций трансформатора Тесла, нами для сборки была выбрана схема, приведенная на рис. 2 [1]. Данная схема известна как качер Бровина, так как она была изобретена В. И. Бровиным в процессе постройки электромагнитного компаса [2]. Преимуществами данной конструкции являются простота конструкции, малые габариты, высокая доступность деталей, стабильность схемы. Выбранная конструкция включает  $V1$  – транзистор КТ847;  $C1$  – конденсатор 0,068 пФ, 1000 В;  $R1$  и  $R2$  – сопротивления 2,2 кОм и 150 Ом, соответственно.

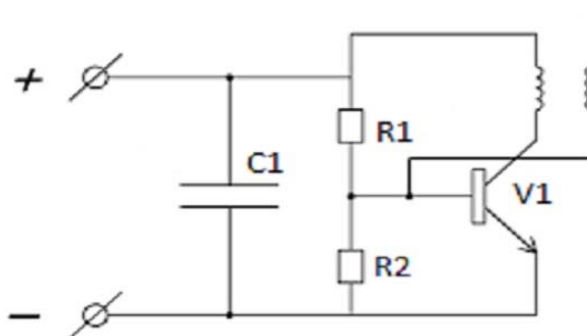


Рис. 2. Схема, использованная при изготовлении действующего макета, пояснения по тексту

При подаче напряжения резисторный делитель создает небольшой потенциал на затворе, происходит открытие транзистора, и большой ток протекает через транзистор и первичную обмотку. В это время на вторичной обмотке наводится электродвижущая сила (ЭДС), которая закрывает транзистор, ЭДС исчезает, так как ток через первичную обмотку не течет. Далее делитель вновь открывает транзистор и все повторяется. В таком режиме транзистор представляет собой твердотельный разрядник, работающий в режиме обратимого пробоя.

Действующий макет трансформатора Тесла был изготовлен следующим образом. В качестве каркаса вторичной обмотки использовали ПВХ-трубу диаметром 50 мм. Для намотки вторичной обмотки использовали эмалированный медный провод диаметром 0,4 мм. Витки провода располагали строго параллельно без наложений, что обеспечивает отсутствие пробоев между витками и паразитных коронных разрядов. Был получен соленоид длиной 600 мм, содержащий 950 витков. Что касается первичной обмотки, то известны три ее варианта: плоская спираль, короткая винтовая и коническая обмотка. Первая обеспечивает максимальную электрическую прочность, но в ущерб величине индуктивной связи. Вторая создает наилучшую связь, обеспечивает максимальный КПД, но чем она длиннее, тем больше вероятность пробоя между ее верхним концом и вторичной обмоткой. Коническая обмотка – это промежуточный вариант, позволяющий получить наилучший баланс между индуктивной связью и электрической прочностью, однако она наиболее сложна в расчетах или требует долгого экспериментирования для выбора числа витков и их диаметров. Поэтому для нашего трансформатора была выбрана винтовая обмотка как самая простая. Ее изготовили из алюминиевого монтажного провода диаметром 3 мм. Диаметр первичной обмотки – 100 мм, число витков – 7. Она располагалась коаксиально со вторичной обмоткой и удерживалась в заданном положении за счет жесткости провода. Был взят готовый корпус из пластика, внутри которого расположились конденсатор и два транзистора, спаянных параллельно.

Общий вид изготовленного трансформатора Тесла приведен на рис. 3.



Рис. 3. Действующий макет качера

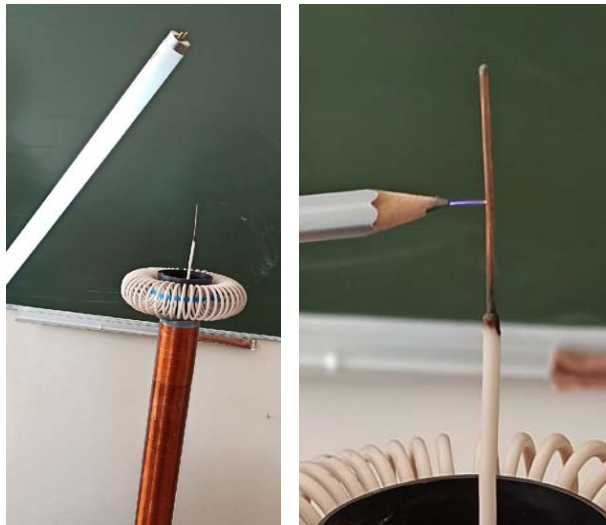


Рис. 4. Демонстрация искрового разряда и распространения электромагнитных волн в окружающем пространстве

Действующий макет трансформатора был использован на занятиях по физике в разделе «Электричество и магнетизм» для демонстрации следующих физических явлений:

- коронный разряд – свечение воздуха в электрическом поле высокого напряжения (рис. 4);
- искровой разряд – пучок ярких, быстро исчезающих искровых каналов;
- стримеры – устойчивые светящиеся разветвленные каналы, которые уходят непосредственно в воздух;

- дуговой разряд – возникает при поднесении к выходу трансформатора заземленного предмета, это наиболее мощный из электрических разрядов;
- распространение электромагнитных волн в окружающем пространстве – свечение газоразрядных ламп на различном расстоянии от трансформатора (рис. 4);
- образование стоячей электромагнитной волны вдоль вторичной обмотки трансформатора – перемещая маленькую газоразрядную лампочку вдоль оси катушки вторичной обмотки, можно определить места, где свечение максимально (пучности), а где минимально (узлы) стоячей волны.

Таким образом, изготовить трансформатор Тесла достаточно высокой мощности можно из доступных и недорогих материалов и электронных приборов. Трансформатор Тесла является отличным наглядным пособием для изучения электромагнитных явлений на занятиях по физике.

#### Литература

1. Качер Бровина. – Режим доступа: <https://x-faq.ru/index.php?topic=118.4280>. – Дата доступа: 24.03.2022.
2. Катушка Тесла. – Режим доступа: <http://fb.ru/article/145931>. – Дата доступа: 25.03.2022.

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Д. В. Подушкин**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Г. А. Рудченко

Цифровизация для энергетического сектора означает, что стратегия развития компаний и предприятий будет выстраиваться вокруг инновационных технологий, а также вокруг систем децентрализованной генерации энергии. По причине повсеместной электрификации предприятий, в том числе предприятий, обеспечивающих коммунальные нужды, постепенно отпадет необходимость создания масштабной инфраструктуры. В ближайшее время должно смягчиться законодательство для отраслей, которые используют новейшие технологии, в том числе финансирование разработок систем, работающих на альтернативных источниках энергии, а также требования к интеллектуальным системам учета [1].

Цифровизация – важнейшее условие для повышения или сохранения уровня конкурентоспособности экономики в мире. На данный момент существует необходимость масштабных изменений в сфере энергетики и направлении общего развития промышленности Беларуси. Однако успешное достижение целей программы сталкивается с рядом проблем.

Цель цифровизации – изменение подходов и переход компании, а также предприятий на управление путем внедрения цифровых технологий и анализа большого массива данных.

Цифровизация позволит предприятиям и энергетическим компаниям увеличить доходы на 3–4 % в краткосрочной перспективе (см. таблицу).