

УДК 621.37-621.39(091)

Открытие колебательного эффекта искрового разряда

Пестриков В. М.

*Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения
Россия, 191119, Санкт-Петербург ул. Правды, 13
pvm205@yandex.ru*

Получено: 13 октября 2019 г.

Отрецензировано: 9 ноября 2019 г.

Принято к публикации: 16 ноября 2019 г.

Аннотация: *Представлена история открытия колебательного разряда конденсатора. Рассмотрена теория разряда конденсатора У. Томсона и экспериментальное обоснование колебательного характера электрического разряда В. Феддерсеном. Сравниваются периоды электрических колебаний, вычисленные по теории У. Томсона и полученные в эксперименте. Уделено внимание колебательному искровому разряду, возникающему в колебательном контуре с разрядником. Приводится формула Рожанского для определения периода электрических колебаний в такой цепи. Искровой разрядник стал основным источником радиоволн в начальный период развития беспроводной телеграфии.*

Ключевые слова: *искра, искровой разряд, колебательный разряд конденсатора, формула У. Томсона, затухающий колебательный процесс, эксперименты В. Феддерсена, искровой промежутки, формула Рожанского, электроды из серебра.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. Открытие колебательного эффекта искрового разряда // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 4. С. 560—575.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Пестриков, В. М. Открытие колебательного эффекта искрового разряда / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 4. С. 560—575.

Discovery of the oscillatory effect of a spark discharge

V. M. Pestrikov

*St. Petersburg State University of Film and Television
13 Pravda St. Petersburg, 191119, Russia
pvm205@yandex.ru*

Received: October 13, 2019

Peer-reviewed: November 9, 2019

Accepted: November 16, 2019

Abstract: *The history of the discovery of the oscillatory discharge of a capacitor is presented. The theory of the discharge of the condenser W. Thomson and the experimental justification of the oscillatory nature of the electric discharge by W. Feddersen are considered. The periods of electric oscillations calculated according to the theory of W. Thomson and obtained in the experiment are compared. Attention is paid to an oscillatory spark discharge arising in an oscillatory circuit with a spark gap. Rozhansky's formula is given to determine the period of electric oscillations in such a circuit. The spark gap became the main source of radio waves in the initial period of development of wireless telegraphy.*

Keywords: *spark, spark discharge, oscillatory discharge of a capacitor, formula by W. Thomson, damped oscillatory process, W. Feddersen's experiments, spark gap, Rozhansky formula, silver electrodes.*

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov, "Discovery of the oscillatory effect of a spark discharge," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 2, no. 4, pp. 560–575, 2019. (In Russ.).

1. Введение

Первые знания об электричестве были связаны со статическим электричеством, позже появился гальванический элемент и постоянный ток. Только после открытия колебательных токов электричества появилось явление электрического резонанса, которое до сих пор играет большую роль в радиотехнике. Разряд конденсатора через электрический контур, содержащий самоиндукцию и искровой промежуток, носит название «колебательного искрового разряда». В такой цепи возникают затухающие электрические колебания. Искровой разрядник явился первым созданным человеком радиопередатчиком, который с помощью электрической искры генерировал серию коротких переходных импульсов радиоволн, называе-

мых затухающими волнами. Это был основной тип передатчиков, использовавшихся в эпоху беспроводной телеграфии или «искры», с 1887 года до конца первой мировой войны.

2. Колебательный характер электрического разряда

Колебательный характер электрического разряда был доказан еще до экспериментальных работ с электромагнитными волнами Г. Герца.

Одним из первых исследователей разряда лейденской банки стал русский ученый Георг Вильгельмович Рихман (11.06.1711—26.06.1753). В 1753 году им была разработана схема, состоящая из лейденской банки, включенной между двумя изолированными телами, одно из которых может заряжаться машиной, а другое — одновременно от конденсатора, (рис. 1). К обоим телам были присоединены электрометры с одинаковыми шкалами. Экспериментируя со схемой, Рихман впервые создал режим заряда — разряда конденсатора и выявил колебательный характер разряда лейденской банки, чему, однако, объяснения дать не смог [1]. Об обнаруженном явлении он написал в своих «Заметках по электричеству»: «электричество может попеременно как бы выталкиваться из одного тела в другое» [2].

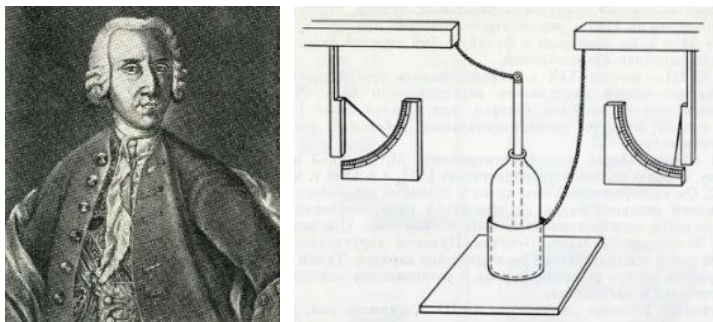


Рис. 1. Георг Рихман и его эксперимент по колебательному разряду лейденской банки [2]. 1753 г.

Fig. 1. Georg Richmann and his experiment on the vibrational discharge of a Leyden bank [2]. 1753

Эффект Рихмана был настолько поразительным, что Русский физик Франц Эпинус [нем. Franz Ulrich Maria Theodor Aepinus (Äpinus, Hoch), 13 (24).12.1724—10(22).08.1802) в своем капитальном труде «Опыт теории электричества и магнетизма», изданном в Петербурге в 1759 г., поместил статью с объяснением «одного явления в лейденской банке, открытого знаменитейшим Рихманом» [3].

Эпинус, однако, не особо разобрался в сути явления. Упомянув об экспериментах «профессора Рихмана из Петербурга» с лейденской банкой,

известный английский физик Джозеф Пристли (англ. Joseph Priestley, 13.03.1733—06.02.1804) назвал их «весьма любопытными и элегантными».

В 1801 году английский физик и химик Уильям Хайд Волластон (англ. William Hyde Wollaston, 06.08.1766—22.12.1828) опубликовал короткую, но значимую статью «Эксперименты по химическому производству и действию электричества», в которой он добавил свой голос к сторонникам того, что электрический ток столба Вольта такое же электричество, как и на основе трения [4]. В статье приводится его десять проведенных опытов по этой тематике.

В одном из опытов ему удалось разложить воду с помощью электрических разрядов искры. В ходе эксперимента он наблюдал, что, когда разложение происходит под действием разряда статического электричества, то водород и кислород не появляются на разных электродах, как в опыте с гальваническим столбом, а на каждом электроде выделяется смесь газов, словно ток прошел через воду в обоих направлениях.

Это как раз и говорит о том, что разрядный ток состоит из чередующихся, противоположно направленных токов. Однако, этот вопрос не интересовал автора статьи, ее направленность была посвящена другой проблеме. На этот опыт Волластона как раз и сослался через 46 лет в своей статье Герман фон Гельмгольц, обосновывая колебательный характер искры лейденской банки. Недаром в кругу английских ученых была в ходу поговорка: «Тот, кто спорит с Волластоном, — неправ».

Нужно отметить, что в эксперименте Волластона электрической ток подводился от электростатического генератора по очень тонким проводящим скрученным нитям с двумя микроскопическими золотыми наконечниками, погруженными в воду. До Волластона для разложения воды использовали сильные разряды от батареи лейденских банок, которые пропускались через жидкость и производили в ней взрывы, сопровождавшиеся искрами.

После этих опытов, французский физик Феликс Савар (фр. Félix Savart, 30.06.1791—16.03.1841) на основании экспериментальных наблюдений опубликовал в 1827 году статью, в которой отметил, что когда несколько игл располагаются на различном расстоянии над проволокой, через которую проходит разряд лейденской батареи, то они намагничиваются в различных направлениях, и что путем последовательного усиления разряда через катушку достигается несколько перемен полюсов у находившихся в ней игл, рис. 2 [5].

В 1834 г. английский физик Чарльз Уитстон (англ. Sir Charles Wheatstone, 06.02.1802—19.10.1875) занялся изучением искрового разряда и для

этого сконструировал вогнутое зеркало, которое вращалось вручную от ременной передачи со скоростью пятьдесят оборотов в секунду, рис. 3 [6]. Перед вращающимся зеркалом проскакивала искра, которая проецировалась на противоположную стену. В результате вращения зеркала она отображалась не как линия света, а как полоса света. Уитстон смог приблизительно измерить длину искры и, таким образом, легко определить её длительность времени существования: длина световой полосы делилась на скорость вращения зеркала, или расстояние, пройденное зеркалом, выраженное в угловых секундах.



Рис. 2. Феликс Савар и его эксперимент по колебательному характеру электрического разряда лейденской банки.

Fig. 2. Felix Savart and his experiment on the oscillatory nature of the electric discharge of a Leyden jar

В середине 30-х годов XIX в. французский физик Доминик Франсуа Араго, секретарь Парижской Академии наук, рекомендовал выбрать Чарльза Уитстона на вакантное место члена-корреспондента Академии. Араго хорошо был знаком с работами Уитстона. Наиболее важными из них, которые послужили поводом для избрания в Парижскую Академию, Араго считал его эксперименты по измерению скорости распространения электрического заряда по проводнику и определению длительности существования искры электрического разряда. Главным в этих опытах было то, что Уитстон разработал новую технологию для исследования быстропротекающих процессов, которая могла быть использована для решения других научных проблем.

Американский физик Джозеф Генри (Joseph Henry, 17.12.1797—13.03.1878) прочитав статью Савара отметил: «...возникали некоторые сомнения в отношении правильности показаний направления тока этим путем, с тех пор как г. Савар опубликовал в 1826 г. сообщение о том, что когда несколько игл располагаются на различном расстоянии над проволо-

кой, через которую проходит разряд лейденской банки, то они намагничиваются в различных направленных и что путем последовательного усиления разряда через спираль достигается несколько перемен полюсов у находившихся над ней игл» [7]. Это заставило Генри в 1840—1842 гг. исследовать разряд лейденской банки в цепи, содержащей соленоид со стальной иглой. Намагнитив около 1000 толстых игл, Генри не обнаружил изменений полярности, однако, когда взял тонкие иглы, то наблюдалось несколько перемен полярности, что было связано с «простым увеличением количества электричества, в то время как направление разряда оставалось прежним». В итоге он пришел к выводу: «Разряд, какова бы ни была его природа, если воспользоваться для удобства теорией Франклина, не представляется единичным переносом невесомого флюида с одной обкладки банки на другую; явление заставляет нас допустить существование главного разряда в одном направлении, затем нескольких возвратных действий назад и вперед, каждое из которых слабее предыдущего, и так до тех пор, пока не наступит равновесие» [8]. Он также утверждал, что при разряде «волны электричества» пробегают по поверхности проводника, а не внутри его, как это происходит при прохождении гальванического тока.

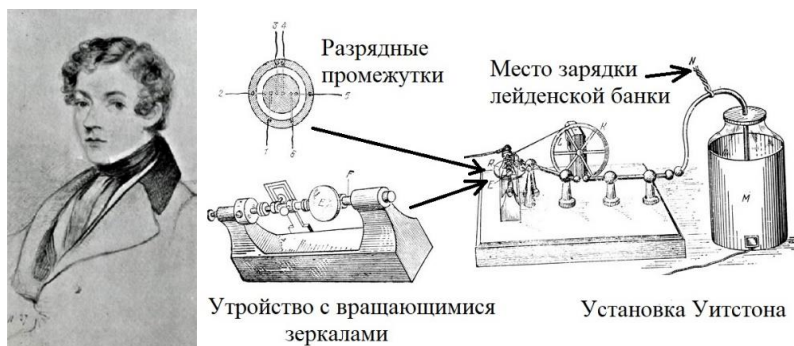


Рис. 3. Английский физик сэр Чарльз Уитстон (1837 г.) и его установка для изучения искрового разряда.

Fig. 3. English physicist Sir Charles Wheatstone (1837) and his installation for the study of spark discharge

Сообщение об этих работах Генри представил 17 июня 1842 г. на сессии Американского философского общества (American Philosophical Society). Описывая свои эксперименты, он сослался на работу Савари и заявил, что взял на себя обязательство повторить эксперименты этого исследователя, прежде чем предпринимать какие-либо новые шаги. В печати информация об этом появилась в виде авторизованного реферата: «Статья

№ 5. Об индукции от обычного электричества и о колебательном разряде» (англ. Contribution N 5. On induction from ordinary electricity and on the oscillatory discharge) [9]. Информация об исследованиях Дж. Генри через 5 лет была помещена в английском журнале «Philosophical Magazine» [10]. Рисс (Peter Theophil Riess, 27.06.1805—23.10.1883), Волластон и Гельмгольц быстро повторили эксперимент Генри.

О явлении, исследованном Дж. Генри, говорил 23 июля 1847 г. перед членами Берлинского физического общества (Berlin Physical Society) и будущий учитель и наставник Генриха Герца 26-летний Герман фон Гельмгольц (нем. Hermann-Ludwig-Ferdinand von Helmholtz, 31.08.1821—08.09.1894) в своей лекции «О сохранении силы». Он, в частности, предложил рассматривать «разряд батареи не как простое движение электричества в одном направлении, а как своего рода маятниковые колебания между двумя обкладками, которые все более и более уменьшаются, пока вся последовательность жизненных сил не будет уничтожена суммой сопротивлений» [11]. В этом высказывании новым явилось лишь упоминание о «живой силе». «Живая сила» в настоящем контексте может быть интерпретирована как «энергия, запасенная в лейденской банке».

В 1897 г. Эрнест Резерфорд в одной из своих ранних работ, посвященных проблеме обнаружения электромагнитных волн, отметил главное достижение Дж. Генри: «Аномальный характер намагничивания стальных игл натолкнул Генри на мысль, что разряд лейденской банки происходит колебательным образом» [12]. Тем самым Дж. Генри экспериментально установил колебательный характер искрового разряда лейденской банки (конденсатора) и указал на возможность создания электрических колебаний.

Полезность конденсатора, как и в случае многочисленных других открытий, появилась только после того, как были сделаны иные открытия и выявлены взаимосвязи между разрядом конденсатора и явлениями, ранее считавшимися чем-то обособленными, не связанными с ним.

3. Теоретическое обоснование колебательного характера электрического разряда

Английский физик Уильям Томсон (лорд Кельвин, 26.06.1824—17.12.1907) прочитал статью Гельмгольца [13] и в 1853 году опубликовал свою статью, в которой впервые математически обосновал возможность существования колебательных электрических разрядов [14]. В статье на основании закона сохранения энергии для электрической цепи моделирование резонансного контура описано обыкновенными дифференциальными уравнениями первого порядка с постоянными коэффициентами:

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad (1)$$

$$-d\left(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C}\right) = d\left(\frac{1}{2} Li^2\right) + Ri^2 dt, \quad (2)$$

где начальные условия:

$$q = q_0 - \text{первоначальный заряд и } i = 0 \text{ когда } t = 0. \quad (3)$$

В выражениях (1) и (2) введены следующие обозначения: i — сила тока в разряднике, q — величина заряда в момент времени t , C — емкость конденсатора, R — сопротивление проводника, через который происходит разряд, L — индуктивность или коэффициент самоиндукции этого проводника.

После подстановки (1) в (2) и преобразований получено обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{1}{CL} q = 0. \quad (4)$$

В результате решения дифференциального уравнения (4) с условиями (3) получена формула для определения величины заряда, появляющегося в конденсаторе при колебательном разряде спустя t секунд после момента начала последнего:

$$q = \frac{q_0}{\varepsilon L} e^{-\frac{R}{2L}t} \left\{ \varepsilon L \cos(\varepsilon t) + \frac{R}{2} \sin(\varepsilon t) \right\}, \quad \text{где } \varepsilon = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \quad (5)$$

Для определения величины периода полного электрического колебания T , т. е. продолжительности одного полного изменения заряда конденсатора в работе получена следующая формула:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}. \quad (6)$$

Когда проводник, через который происходит разряд, имеет очень малое сопротивление, т. е. тогда можно пренебречь величиною $\frac{R^2}{4L^2}$ в сравнении с величиною $\frac{1}{LC}$, то период полного электрического колебания можно записать в виде:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (7)$$

Относительная погрешность формулы (7) по сравнению с (6), приблизительно равна $\frac{R^2 C}{8L}$, то есть порядка одной тысячной.

У. Томсон обнаружил, что решение дифференциального уравнения (4) критически зависит от относительных значений емкости, индуктивности и сопротивления в современной терминологии, и что при определенных обстоятельствах колебания вообще не происходят, то есть в случае чрезмерного затухания.

Уравнение (4) обычно называют уравнением разряда конденсатора, причем при выполнении условия $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ разряд будет колебательным, а в случае $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ — аperiодическим. Случай $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ называют критическим.

Теория Томсона показала, что разряд не представляет собой мгновенное явление, а, наоборот, может происходить с различными периодами времени и процессами различного характера. Интересно отметить, что У. Томсону в момент публикации упомянутой выше фундаментальной статьи было 29 лет.

4. Экспериментальное обоснование колебательного характера электрического разряда

Правильность теоретических выводов Томсона подтвердилась многочисленными наблюдениями явлений электрического разряда, сделанными учеными-экспериментаторами. Наиболее важными такими подтверждениями явились исследования немецкого физика из города Лейпцига Вильгельма Феддерсена (Feddersen Berend Wilhelm, 26.03.1832—01.07.1918), рис. 3.2. Он был первым, кто наглядно подтвердил все особенности колебательных разрядов. Феддерсен в начале учился в Геттингене. Потом переехал в Киль и стал студентом-стажером в Физическом институте, который основал Густав Карстен. Свои исследования в Киле Феддерсен закончил в 1857 году представлением докторской диссертации под названием «Вклад в знание электрической искры» (нем. Beiträge zur Kenntnis des elektrischen Funkens). В 1859 году в экспериментах с лейденской банкой Феддерсену удалось доказать, что каждый электрический искровой разряд состоит из отдельных (затухающих) колебаний. Он понял, что в цепи, состоящей из катушки, конденсатора и резистора, возникают электрические колебания. Для исследований он построил прибор для изучения электрических разрядов (искр) в воздухе.

В 1861 г. В. Феддерсен исследовал разрядную искру с помощью технологии Чарльза Уитстона с вращающимися зеркалами, добавив к ней запись явления на фотографические пластины, рис. 4 [15, 16].

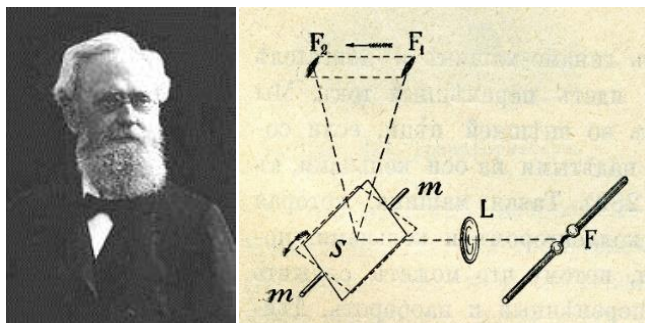


Рис. 4. Немецкий физик Вильгельм Феддерсен и его эксперимент (1862 г.).

Fig.4. German physicist Wilhelm Feddersen and his experiment (1862)

Во время эксперимента между возникающей искрой в разряднике и быстро вращающимся зеркалом устанавливалась линза. При вращении зеркала происходило быстрое перемещение изображения искры. Особенностью эксперимента Феддерсена явилось то, что полученные им световые полосы могли быть сохранены и измерены в стационарном состоянии, в то время как Уитстон наблюдал за своими записями один и никогда их не сохранял.

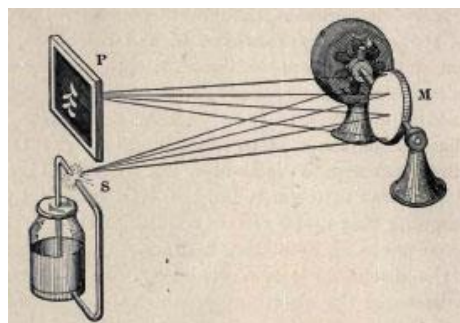


Рис. 5. Вид искры во вращающихся зеркалах, полученный в эксперименте В. Феддерсена для подтверждения колебательного характера искрового разряда. 1862 г.

Fig. 5. The type of spark in rotating mirrors obtained in the experiment of W. Feddersen to confirm the oscillatory nature of the spark discharge. 1862

В 1862 г. В. Феддерсен обнаружил, что каждый разряд состоит из целой серии разрядов. В одном из опытов Феддерсена, например, оказа-

лось, что время свечения искры было 25×10^{-6} секунды, и эта искра состояла из нескольких последовательных вспышек продолжительностью примерно 5×10^{-6} секунды, рис. 5.

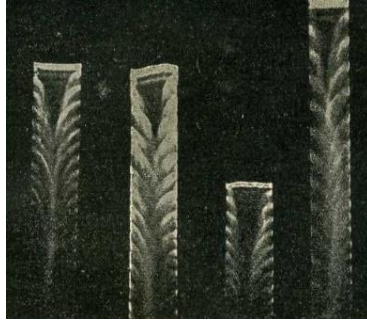


Рис. 6. Вид искр во вращающихся зеркалах.

Fig. 6. View of sparks in rotating mirrors

При этом большая яркость искры наблюдалась около отрицательного электрода. Особенно резкая искра в некоторых опытах представляла собой искру переменного направления, и её яркий конец отпечатывался на фотографиях попеременно то верхним, то нижним концом, рис. 6.

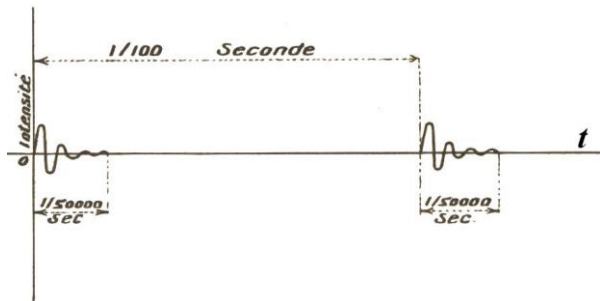


Рис. 7. Вид последовательных вспышек искры на экране P в экспериментах В. Феддерсена. 1862 г.

Fig. 7. View of sequential spark flashes on screen P in W. Feddersen's experiments. 1862

Расстояние между искрами оказалось для каждого опыта неизменным, что доказывало однозначность периода электрических колебаний для данной цепи. Если бы разряд состоял только из одной искры, то в зависимости от длительности разряда изображение искры в зеркале получилось бы удлинённым. Зная скорость вращения зеркала, он определил промежуток времени между отдельными разрядами и показал, что этот период

времени возрастает с увеличением сопротивления цепи и пропорционален квадратному корню из произведения емкости и самоиндукции цепи, в которой наблюдается разряд, рис. 7. В дополнение к этому оказалось, что весь этот процесс не зависит от величины первоначального заряда.

Одним из важных результатов Феддерсена было многократное подтверждение того, что при прочих равных условиях можно подобрать сопротивление достаточно большое, чтобы колебания прекратились, и разряд принял характер непрерывного. Это сопротивление Феддерсен назвал предельным и нашёл, что при различных емкостях C его величина определяется законом:

$$R_{\text{предельное}} = \frac{\alpha}{\sqrt{C}}, \text{ где } \alpha \text{ некоторая постоянная величина.}$$

Интересно отметить, что получение численных результатов из данных опытов Феддерсен проделал без обращения к теории Томсона. В полученных эмпирических законах он очень близко подошел к теории Томсона без использования понятия самоиндукции, которая в ней является главной причиной рассматриваемого явления. Только в одной работе он отметил, что, если принять электрический ток за колебание частиц, то явления инерции становятся допустимыми [17].

Точный расчет периода колебаний по данным Феддерсена был сделан немецким физиком Густавом Кирхгофом (нем. Gustav Robert Kirchhoff; 12.03.1824—17.10.1887), который предложил теорию электрических колебаний, приводящую к тем же результатам, что и теория Томсона [17]. Кирхгоф показал, что предельное сопротивление Феддерсена численно удовлетворяет неравенству, полученному из его теории, для сопротивления, при котором прекращаются колебания. Однако вычисленные Кирхгофом периоды колебаний, хотя и согласовывались с экспериментальными по порядку величин (между 9×10^{-7} и 98×10^{-7} секунды), но оказались приблизительно вдвое меньшими по величине (у Феддерсена между 13×10^{-7} и 227×10^{-7} секунды). Такое несоответствие величин периодов полученных в эксперименте Феддерсена и по теории Кирхгофа было связано с выбором диэлектрической постоянной стекла конденсатора, если её принять 6,82, вместо 2, которую принимал Кирхгоф, то все периоды увеличатся в $\sqrt{3,41}$, то есть приблизительно вдвое.

Эмпирический характер работ Феддерсена имеет две важные особенности: подтверждение существования электрических колебаний независимо ни от какой теории и открытие новых явлений, которые сопутствуют этим колебаниям. Последние результаты исследований В. Феддерсена были опубликованы в немецком научном журнале «Annalen der Physik» в 1862

году. Только в 1886 году, почти через четверть века, с результатами этих экспериментов ознакомился и заинтересовался будущий первооткрыватель электромагнитных волн Генрих Герц.

5. Колебательная цепь с искровым разрядником

При выводе формул (6) и (7) сделано допущение, что для всех участков цепи, соединяющей обкладки конденсатора, выполняется закон Ома. В практической схеме искрового передатчика, когда в колебательной цепи есть искровой промежуток, как показал опыт, разность потенциалов на концах искрового промежутка не пропорциональна силе тока, то есть в такой колебательной цепи закон Ома не выполняется, рис. 8.

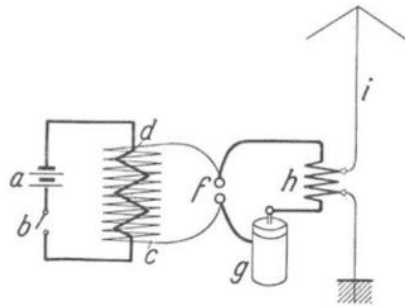


Рис. 8. Принципиальная схема искрового передатчика: *a* — гальваническая батарея, *b* — прерыватель (молоточек Вагнера), *d* — катушка Румкорфа, *f* — искровой разрядник (два металлических шарика), *g* — лейденская банка, *h* — входной контур, *i* — антенна.

Fig. 8. Schematic diagram of the spark transmitter: *a* — galvanic battery, *b* — chopper (Wagner hammer), *d* — Ruhmkorff coil, *f* — spark gap (two metal balls), *g* — Leiden jar, *h* — input circuit, *i* — antenna

В этом случае период колебаний будет несколько отличным от того, который получается на основании формулы Томсона. Однако такое отклонение долгое время не наблюдалось на опыте. Все первоначальные экспериментальные измерения периода колебаний показывали очень хорошее соответствие с формулой Томсона. Это объясняется тем, что эти исследования производились при помощи фотографирования искры, изображение которой перемещалось по пластинке, а точность измерений, произведенных таким методом, не превышала одного процента [18].

Только значительно позже немецкому физику Макс Вину (Wien Max Karl Werner, 25.12.1866—24.02.1938) удалось обнаружить влияние условий возникновения искры на период колебаний в эксперименте по методу резонансных кривых. Вин обнаружил, что изменение периода зависит от материала электродов между, которыми проскакивает искра, в

частности, он увеличивается при замене магниевых электродов серебряными [19]. Более подробные исследования Вина, произведенные им над электродами из магния, висмута, кадмия, сурьмы, цинка, алюминия, меди и серебра показали, что все перечисленные металлы дают большую величину периода, чем магний. При этом оказалось, что увеличение периода идет почти параллельно увеличению декремента. По величине даваемых различными металлами декрементов они располагаются как раз в вышенаписанном порядке. Если же располагать металлы в ряд, соответственно производимому ими увеличению периода колебаний, то получается тот же порядок (при условии, если алюминий и сурьма поменять местами).

Таким образом, исследования Вина устанавливают с несомненностью влияние искры на период колебательного разряда конденсатора и указывают некоторую связь между величинами изменения периода и декремента. Но все же они не делают никаких указаний на причины этого влияния, так как увеличение декремента, как его показал сам Вин, не может повлечь за собой заметного изменения периода.

Несколько большую ясность в этот вопрос внесли исследования Д. А. Рожанского, который при помощи трубки Брауна получил кривые изменения разности потенциалов на концах искрового промежутка, помещенного в колебательную цепь. Рожанский показал [20], что для случая цепей с искровым промежутком время простого колебания « Θ » такой цепи отличается от периода, вычисленного на основании формулы Томсона на величину $\Delta\Theta$, которая удовлетворяет следующему условию

$$\frac{\Delta\Theta}{\Theta} = \frac{1}{\pi V_1} (h_e + Rh_i), \quad (8)$$

где R — омовское сопротивление цепи; V_1 — величина, заключающаяся между крайними значениями разностей потенциалов на обкладках конденсатора за время данного колебания, а h_e определяется из выражения:

$$h_e = \frac{\pi}{\Theta} \int_0^{\Theta} (e - e_1) \cos \omega t \, dt,$$

причем $\omega = \frac{\Theta}{2}$, а $e - e_1$ представляет собой разность электродвижущих сил искры в моменты времени, равностоящие от начала и конца простого колебания; h_i — аналогичное выражение для силы тока i .

6. Заключение

Теоретическое исследование колебательного разряда конденсатора сделано У. Томсоном, а затухающий колебательный процесс в контуре

впервые экспериментально обнаружил В. Феддерсен. Величина периода колебаний при разряде конденсатора в колебательном контуре при наличии в нем искрового промежутка (разрядника) отличается от вычисленного по формуле Томсона на величину, которая может быть определена по формуле Рожанского. Искровой промежуток можно рассматривать как некоторое сопротивление, включенное последовательно в колебательную цепь; при этом, изменяя его длину, можно повысить или понизить напряжение, до которого будет заряжен конденсатор, пока не пробьется искровой промежуток и не начнется колебательный процесс. Искра (в особенности при электродах из серебра) увеличивает, хотя и очень немного, период колебания контура.

Список литературы

1. Цвербаба Г. К. Георг Вильгельм Рихман. Л. : Наука, 1977. С. 131—132.
2. Рихман Г. В. Труды по физике. М. : Изд-во АН СССР, 1956. С. 350—352.
3. Эпинус Ф. У. Т. Теория электричества и магнетизма. [Л]. : Изд-во АН СССР, 1951. С. 349—371.
4. Wollaston W. H. Experiments on the Chemical Production and Agency of Electricity // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. December 31, 1801. Vol. 91. Pp. 427—434.
5. Savary F. “M’emoire sur l’aimantation.” Vol. 34, Oct. 1827, Pp. 5—57. [Online]. Available: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k65691629/f11.image>
6. Wheatstone C. An Account of some Experiments to measure the Velocity of Electricity and the Duration of Electric Light // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. December 31, 1834. Vol. 124. Pp. 583—591.
7. Генри Дж. Колебательный разряд. В кн. : Сборник оригинальных статей и материалов «Из предыстории радио» / Сост. С. М. Рытов, под ред. Л. И. Мандельштама. М. — Л. : Изд-во АН СССР, 1948. С. 243—245.
8. Henry J. Contributions to Electricity and Magnetism // Transactions of the American Philosophical Society. New Series. 1839. Vol. 6. Pp. 303—337.
9. Henry J. Contribution N 5. On induction from ordinary electricity and on the oscillatory discharge // Proceedings of the American Philosophical Society. 1842. Vol. 2. Pp. 193—196.
10. Henry J. Electrical experiments // Philosophical Magazine and Journal of Science. 1847. Vol. 30, No. 202. Pp. 368—369.
11. Гельмгольц Г. О сохранении силы. В кн. : Сборник оригинальных статей и материалов «Из предыстории радио» / Сост. С. М. Рытов, под ред. Л. И. Мандельштама. М. — Л. : Изд-во АН СССР, 1948. С. 246.
12. Резерфорд Э. Магнитный детектор электрических волн и некоторые его применения. Избранные научные труды. Т. 1 : Радиоактивность. М. : Наука, 1971. С. 41—65.
13. Helmholtz H. Messungen über fortpflanzungsgeschwindigkeit der reizung in den nerven-zweite reihe // Arch. Anat. Physiol. wiss. Med. 1852. S. 199—216.
14. Томсон В. О преходящих электрических тока. В кн. : Сборник оригинальных статей и материалов «Из предыстории радио» / Сост. С. М. Рытов, под ред. Л. И. Мандельштама. М. — Л. : Изд-во АН СССР, 1948. С. 247—257.

15. Feddersen B. W. Beiträge zur Kenntniss des elektrischen Funkens // *Annalen der Physik und Chemie*. 1858. Bd. 103. S. 69—88.
16. Feddersen B. W. Über die elektrische Flaschenentladung // *Annalen der Physik und Chemie*. 1862. Bd. 116. S. 132—171.
17. Лебединский В. Электрические колебания в проводнике // *Электричество*. 1899. № 3. С. 33—39.
18. Слуцкина А. Влияние искры на период колебательного разряда конденсатора // *Телеграфия и телефония без проводов*. 1918. № 1. С. 11—23.
19. Wien M. Über einen Einfluß des Metalls der Funkenstrecke auf die Frequenz elektrischer Schwingungen // *Physikalische Zeitschrift*. 1910. Bd. 11, No. 7. S. 282—287.
20. Рожанский Д. А. Влияние искры на колебательный разряд конденсатора. СПб. : 1911. 185 с.

Информация об авторе

Пестриков Виктор Михайлович, д. т. н., профессор Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-0466-881X.

Information about the author

Viktor M. Pestrikov, Dr. Tech. Sc., Professor, St. Petersburg State University of Film and Television, St. Petersburg, Russian Federation. ORCID 0000-0003-0466-881X.