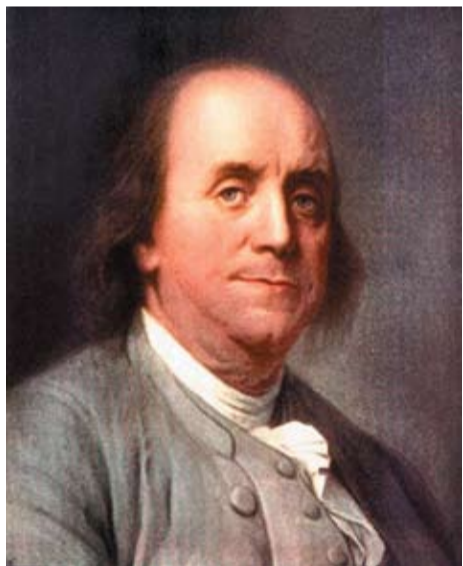


Для передачи сигналов на большие расстояния, как правило, используются радиоволны. Их легко излучать и принимать, к тому же их можно «снабдить» любой информацией. Выбор диапазона длин волн очень большой — от нескольких тысяч метров до миллиметров. Все это позволяет решать самые разные задачи: от организации радиовещания на всю планету до обеспечения работы местных программ.

Для создания радиоволн с конца XIX века применяют радиопередатчики. Под радиопередатчиком обычно понимают генератор электромагнитных волн, связанный с антенной. В передающей антенне энергия высокочастотных токов преобразуется в энергию электромагнитных волн. Известно несколько основных типов передатчиков радиоволн: искровые, дуговые, машинные, ламповые, полупроводниковые и др. Исторически первыми были изобретены искровые передатчики. Своим названием они обязаны принципу, который лежит в основе их работы: колебания возбуждаются в контуре во время появления искры. Эти передатчики занимали большой диапазон частот — приемник мог ловить фактически одну радиостанцию, сигнал которой занимал почти всю шкалу настройки.

Молния — «божий передатчик радиоволн»

Тот факт, что электрический разряд, искра или молния создают в окружающем пространстве электромагнитные волны, экспериментально доказал немецкий физик Генрих Герц. А вот электрическая природа молнии убедительно доказана гораздо раньше — и тоже экспериментально, причем не представителем науки, а ученым-любителем, каковым был известный американский политик Бенджамин Франклин (Benjamin Franklin, 1706–1790). С одной стороны, удивительно, что человек, посвятивший себя профессиональному занятию политической деятельностью и снискавший на этой стезе известность, параллельно сумел оставить столь заметный след в науке. С другой же стороны, это еще раз доказывает, что любознательность,



Бенджамин Франклин. 1777 год

подкрепленная трудолюбием, способна привести к настоящим научным открытиям и расширить познания людей о природе различных явлений. Выдающийся русский генетик Николай Петрович Дубинин утверждал, что одаренность — это эффективное развитие человеческой сущности качеств, достижимое при сочетании нормального генотипа с благоприятными условиями его развития. Эта точка зрения, неоднократно высказываемая им в открытой печати, подверглась резкой критике на специально созванном общем собрании АН СССР 27 ноября 1980 года. Однако Его Величество Время расставило все точки над «i», доказав правоту слов великого ученого и сохранив их в истории, в то время как и имена, и аргументы его оппонентов давно уже забыты.

История вышеназванного открытия любопытна не менее, чем фигура самого исследователя. В 1746 году (по другим источникам — в 1743), Франклин, будучи в Бостоне, стал свидетелем циркового представления некоего доктора Спенсера, приехавшего из Шотландии. В его фокусах использовались эффекты, связанные со статическим электричеством. Увиденное произвело на Франклина большое впечатление, вызвав в нем желание найти научное объяснение экспериментам заезжего демонстратора. Франклину было в ту пору 40 лет, он уже пользовался некоторой известностью и, что немаловажно, был не только состоятельным человеком, но и располагал достаточным временем для занятий научной работой. О своем стремлении Бенджамин сообщил

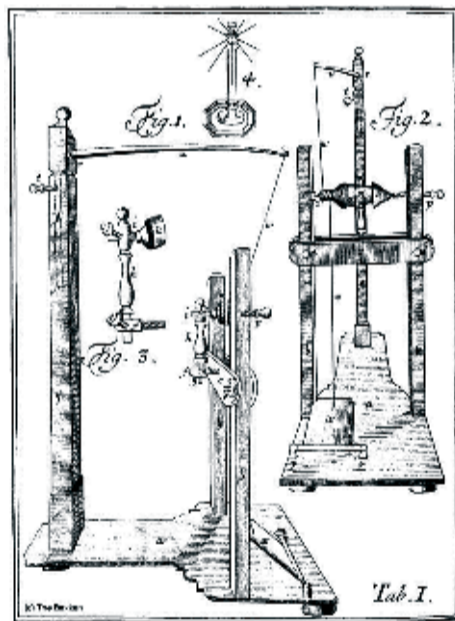


в письме другу, английскому ботанику и купцу, и к тому же еще члену Лондонского королевского общества, Питеру Коллинсону (Peter Collinson, 1694–1765), и в ответ тот прислал ему специальную стеклянную трубку для получения электричества с помощью трения и инструкцию по пользованию устройством. Первые опыты, проведенные Франклином с этим устройством, и стали отправной точкой его научных исследований в области процесса электрического разряда вблизи остроконечных металлических стержней.

Франклину было известно, что ранее вопрос о связи между электрическими явлениями и молнией находился в кругу научных интересов физиков разных стран. Так, в Англии этой темой занимался Исаак Ньютон (1643–1727), который, в частности, предложил в электрической машине для получения искр заменить серный шар стеклянным. Об этом было сообщено в его в статье, представленной Королевскому обществу в 1675 году. В результате появились снабженные ручным приводом «электризационные машины на основе вращающегося стеклянного шара, потираемого руками». Во Франции такого рода исследованиями занимался физик-экспериментатор Жан-Антуан Нолле (Jean Antoine Nollet, 1700–1770), который первым заметил, что электричество быстрее «стекает» с заостренных, нежели тупых тел.

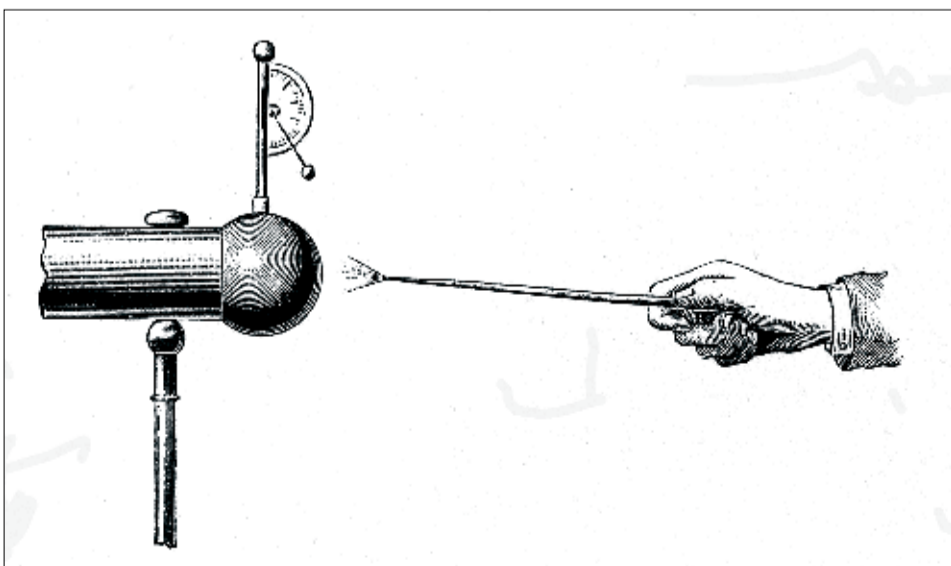


Французский физик-экспериментатор Жан-Антуан Нолле



Электростатический генератор Иоганна Винклера

Однако наиболее существенных результатов к тому времени достиг немецкий физик Иоганн Генрих Винклер (Johann Heinrich Winkler, 1703–1770), который усовершенствовал электрическую машину. Вместо того чтобы натирать стеклянные шары, цилиндры или диски руками, Винклер применил для этой цели подушечки из шелка и кожи,



Опыт Бенджамина Франклина, показывающий способность заостренных предметов извлекать и испускать «электрический огонь». 1750 год

наполненные конским волосом, которые прижимались к стеклянной поверхности пружинами. Благодаря новой конструкции ему удалось получить очень сильные электрические искры — он, например, мог зажечь винный спирт искрой, извлеченной пальцем из кондуктора. В результате экспериментов ученый пришел к выводу, что небесная молния и искра, полученная человеком, отличаются друг от друга только энергетической мощностью. Другими словами, искра — это микроскопическая искусственная молния. Согласно научным воззрениям Винклера, молния является результатом трения воздушных частичек о водяной пар, который поднимается с больших водных поверхностей.

Забегая вперед, заметим, что уже в наше время, когда молнию воспроизвели в лаборатории, оказалось, что для этого явления необходимо, чтобы между небом и землей находилось поле с напряжением до 30000 В на каждый метр.

Но вернемся во времена Бенджамина Франклина. Его первые шаги в науке оказались на редкость плодотворными. В письме Коллинсону от 11 июля 1747 года он сообщает, что «пришлось наблюдать ряд представляющих нам новыми явлений... Первое из них заключается в замечательной способности заостренных предметов извлекать и испускать электрический огонь». Так, наблюдая электрический разряд кондуктора при нахождении возле него заостренного металлического стержня, Франклин пришел к изобретению молниеотвода. (В описании конструкции змея не отмечена одна важная деталь. К верхнему концу вертикальной планки крестовины был прикреплен кусок проволоки с очень острым концом, который выступал за край планки не меньше чем на фут.)

В письмах к Коллинсону Франклин неоднократно затрагивал вопрос о сходстве молнии и электрической искры. В письме, датированном 1750 годом, он пишет: «Если грозные облака действительно наэлектризованы, то нельзя ли в таком случае защитить от удара молнии дома, церкви, корабли и пр. устройством высоких заостренных железных шестов? От основания такого железного шеста должна была бы идти по наружной стене дома в землю или по борту корабля в воду металлическая проволока. Эти заостренные железные шесты, вероятно, бесшумно отводили бы электричество из облака прежде, чем последнее приблизилось бы настолько, чтобы можно было опасаться удара молнии; этим способом можно было бы защититься от этого ужасного несчастья!»

Изучая электрические искры, образующиеся при работе электростатической машины собственной конструкции, Франклин установил 12 общих свойств, присущих искре и молнии. Для подтверждения своих теоретических предположений он решил экспериментально выяснить, наэлектризованы ли грозные облака, несущие молнию. Не найдя здания требуемой высоты в своем городе, он решает запустить во время грозы в небо воздушный змей. Вот как описывает этот знаменитый эксперимент Джозеф Пристли, один из тех, кто входил в окружение ученого-политика: «Приготовив большой шелковый платок и крестовину из двух палок достаточной длины, чтобы растянуть на них платок, Франклин стал ждать грозы... Змей поднялся в воздух. Прошло немало времени, а каких-либо признаков его электризации не было. Наконец, когда надежда на успех опыта, казалось, уже исчезла, Франклин увидел, что ворсинки на пеньковой бечеве, удерживающей змея, встали дыбом, словно они находятся на проводнике. Обрадованный этим явлением, он тотчас приблизил палец к ключу (который свисал с бечевы, оканчивающейся изолирующей шелковой лентой), и с ключа потекли

электрические искры!.. Предоставим читателю самому судить о том, какое чувство испытал Франклин, когда понял, что совершил открытие! Это произошло в июне 1752 года, через месяц после того, как его теория получила подтверждение во Франции, о чем он в то время еще не знал.

Через два месяца после этого события Франклин устанавливает на крыше своего дома в Филадельфии стержень, конец которого соединяет с железным насосом изолированной проволокой, спускающейся по стене (не что иное, как заземление). Не менее оригинально Франклин подошел к решению вопроса о сигнализации относительно надвигающегося грозового фронта, то есть прохождения над молниеотводом грозового облака. «Против двери, ведущей в мою комнату, — писал он, — проволока раздваивалась, на концах ее, расходящихся сантиметров на пятнадцать, были укреплены колокольчики, а между ними на шелковой нитке подвешен бронзовый шарик, который должен был раскачиваться и ударять по колокольчикам, когда над домом



Колокольчики, сигнализирующие о приближении грозы

будут проходить заряженные электричеством облака». По существу, это был электрический звонок, но работающий не от источника постоянного или переменного тока, а от статического электричества.

Следует заметить, что попытки защититься от молнии были известны задолго до начала нашей эры. Во время археологических раскопок в Египте на стенах разрушенных храмов были найдены надписи, из которых следует, что установленные вокруг храмов (в частности, храма Эдфу) мачты служили для защиты «от небесного огня». Дошедшие до нас другие египетские источники свидетельствуют, что за много веков до нашей эры, во время правления Рамзеса III, по повелению фараона использовались заостренные сверху и позолоченные сорокаметровые мачты для отвода от храма грозы и огня.

Древнеримский писатель и ученый Плиний Старший в своем известном энциклопедическом труде «Естественная история в 37 книгах» сообщает, что, по преданиям, жрецы во время обрядов переводили молнию в землю, пользуясь высоким металлическим шестом. В исторических сведениях IV и V веков также имеются следы использования устройств, очень напоминающих молниеотводы. Истинно же научное объяснение принципа действия молниеотводов, неправильно называемых в быту громоотводами, и их широкая популяризация начались уже гораздо позже, лишь в середине XVIII века благодаря трудам целого ряда исследователей: Франклина в Америке, Ломоносова и Рихмана в России, Долибара во Франции, Дивиша в Моравии, а также некоторых других ученых.

Бенджамин Франклин был многогранной личностью, его в равной степени интересовали и гуманитарные, и технические науки. Он, например, установил закон сохранения зарядов и ввел в физику электричества многие термины, которыми ученые пользуются до сих пор, среди них «батарея», «заряд электричества», «лейденская банка», «конденсатор», «проводник», «непроводник (изолятор)», «электрический удар», «электрик», «наэлектризованное тело». Ему принадлежат знаки обозначения полярности источника электрического тока — «плюс» и «минус», а также такие понятия, как отрицательный заряд и грозовой разряд.

В России уже в то время были хорошо известны работы американского исследователя. Так, в 1757 году в одном из номеров газеты «Санкт-Петербургские ведомости» сообщалось об изобретении «громоотвода». Франклин стал первым американским ученым, избранным иностранным членом Петербургской академии наук (2 ноября 1779 года). В частности, не без его участия были установлены добрые отношения между США и Россией. А декларация Российской империи от 28 марта 1780 года о вооруженном нейтралитете в войне США против Великобритании оказала весьма действенную помощь молодому американскому государству и была высоко оценена Б. Франклином

Современные исследования показали, что длина молнии может быть от 2 до 20 км,

а иногда и до 50 километров. Во время грозы может наблюдаться до 50–60 мощных электрических разрядов. Поскольку все происходит чрезвычайно быстро, а наш глаз обладает свойством в течение короткого времени удерживать увиденное в своей «памяти», мы видим почти всю систему разветвленных зигзагов огненных стрел. Сила тока у молнии достигает 25000–60000, а иногда и 200000 ампер, а напряжение достигает нескольких миллионов вольт. По своей силе отдельные молнии превышают мощность всех электростанций мира! Какое-то время ученым казалось весьма заманчивым использовать этот колоссальный потенциал. Однако энергия молний, в силу того что разряд длится очень короткое время, невелика. Если оценить стоимость энергии молнии в денежном выражении, то она составит всего лишь несколько рублей.

Искра — земной передатчик радиоволн

Исследования природы молнии, в частности, тот факт, что грозовой разряд действует как мощный радиопередатчик, сыграли немалую роль в зарождении радиотехники. Любое резкое изменение электрического тока, как известно, сопровождается электромагнитным излучением, которое распространяется в пространстве по всем направлениям от породившего его источника. Аналогичные изменения тока происходят и на различных стадиях развития грозового разряда. По своей интенсивности излучение грозового разряда подобно другим электромагнитным волнам и также уменьшается при удалении от источника (приемник способен «поймать» это излучение за тысячи километров от породившей их грозы, даже в противоположной точке земного шара). Так, работы, проведенные в 2004 году в Нижегородском научно-исследовательском радиоприемном институте (ФГНУ «НИРФИ»), показали, что коротковолновое радиоизлучение молнии представляет собой последовательность коротких импульсов (длительность от менее чем 100 наносекунд до нескольких микросекунд). Промежутки между импульсами составляют от нескольких десятков до сотен микросекунд.

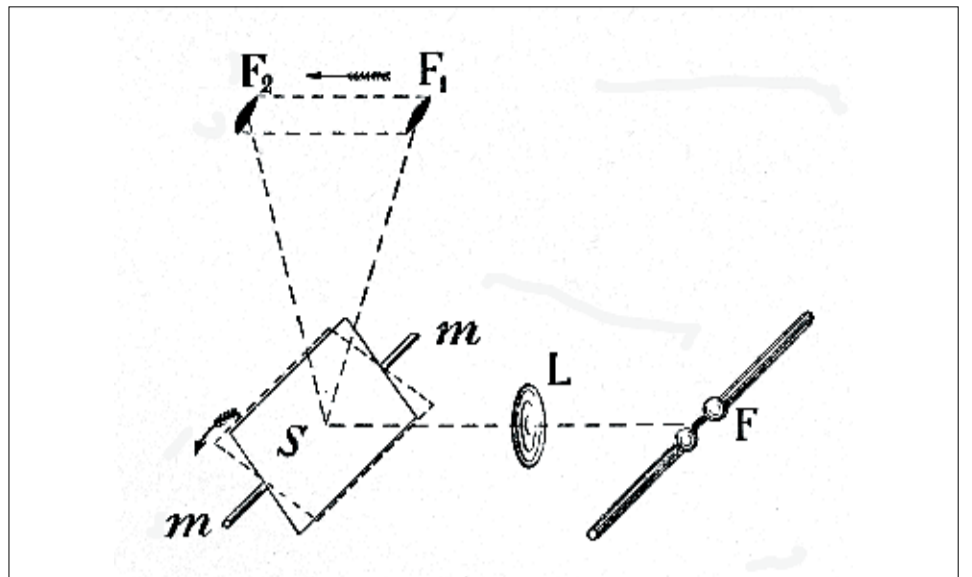
Колебательный характер электрического разряда был доказан еще до экспериментальных работ с электромагнитными волнами Г. Герца. Французский физик Феликс Савари (Félix Savary, 1797–1841) в 1826 году отметил это свойство электрического разряда, после того как заметил, что если посредством тока лейденской банки воздействовать на стальную спицу, то в одних случаях ее намагничивание происходит в одном направлении, а в других случаях — в другом, при одних и тех же знаках заряда. В 1842 году Джозеф Генри (Joseph Henry, 1797–1878), а через пять лет Герман Гельмгольц (Hermann Helmholtz, 1821–1894) пришли к выводу, что «разряд лейденской банки состоит не из одного перехода электричества с одной обкладки на другую, а из целой серии быстро затухающих электрических колебаний». Теория колебательного характера электрического разряда была выдвинута Вильямом Томсоном (William Thomson, лорд Кельвин, 1824–1907), который в 1853 году предложил формулу зависимости периода колебаний (T) электрического разряда от емкости (C) и индуктивности (L) системы:

$$T = 2\pi\sqrt{L \times C}$$

Важным вкладом в изучение искрового разряда явились работы немецкого физика Вильгельма Феддерсена (Berend Wilhelm Feddersen, 1832–1918). В 1857 году он построил прибор для изучения электрических разрядов (искр) в воздухе, а в 1861 году исследовал разрядную искру с помощью вращающихся зеркал, конструкцию которых разработал английский физик Чарльз



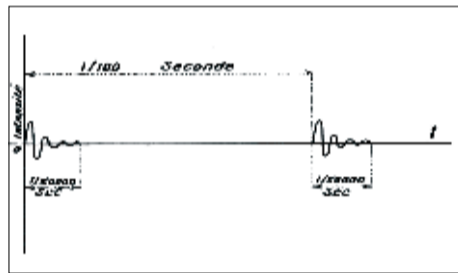
Английский физик Чарльз Витстон



Эксперимент В. Феддерсена. 1862 год

Витстон (Sir Charles Wheatstone, 1802–1875), что позволило сделать запись явления на фотографическую пластину. Во время эксперимента между возникающей искрой в разряднике и быстро вращающимся зеркалом устанавливалась линза. При вращении зеркала происходило быстрое перемещение изображения искры.

В 1862 году Феддерсен обнаружил, что каждый разряд состоит из целой серии разрядов. В одном из его опытов, например, оказалось, что время свечения искры составило 0,000025 секунды, и состояла эта искра из нескольких последовательных вспышек продолжительностью примерно 0,000005 секунды.



Вид последовательных вспышек искры в экспериментах В. Феддерсена. 1862 год

Зная быстроту вращения зеркала, он определил промежуток времени между отдельными разрядами и показал, что этот период пропорционален квадрату корню из произведений емкости и самоиндукции цепи, в которой наблюдается разряд. Если бы разряд состоял только из одной искры, то в зависимости от длительности разряда изображение искры в зеркале получилось бы удлиненным. Немецкий физик подтвердил теорию В. Томсона и убедительно доказал, что электрический разряд имеет колебательный характер.

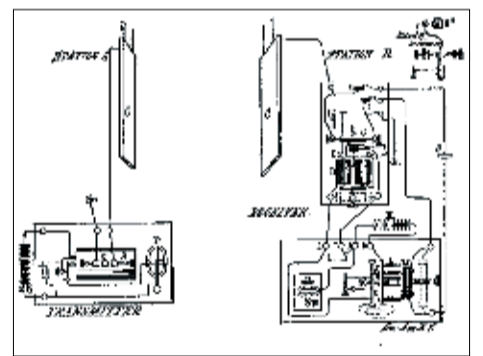
Исследования Феддерсена были опубликованы в немецком научном журнале «Annalen der Physik» в 1862 году. И только в 1886 году, почти через четверть века, результатами его экспериментов заинтересовался будущий первооткрыватель электромагнитных волн Генрих Герц. Впервые искусственные электромагнитные волны были получены им в 1888–1889 годах. В своих экспериментах ученый использовал искровой генератор (катушку Румкорфа с линейным вибратором), позволяющий благодаря колебательному характеру искрового разряда получить быстро затухающие электромагнитные волны. Для приема появившихся в пространстве электромагнитных волн Герц использовал резонатор, который располагал на некотором расстоянии от антенны генератора. В момент улавливания резонатором электромагнитных волн в его искровом промежутке появлялись еле заметные искорки, увидеть которые можно было лишь с помощью лупы. Свои эксперименты Герц проводил с электромагнитными волнами длиной около 60 см (частота около 500 МГц).

Первым передатчиком радиоволн в исследованиях пионеров беспроволочной телеграфии был природный передатчик — молния. Русский ученый Александр Степанович Попов в ходе экспериментов в начале апреля 1895 года принимал на сконструированный им когерентный радиоприемник с релейным усилением электромагнитные сигналы атмосферного происхождения, то есть разряды молний. Это произошло в преддверии официальной демонстрации первой в мире системы радиосвязи. По поводу «грозоотметчика» А. С. Попова один французский историк беспроволочного телеграфа сказал: «Уже в 1895 году, когда никто еще не мог выступить с предложением беспроволочного телеграфа, был кто-то, кто телеграфировал при помощи электричества. Этим «кто-то» была молния, которая телеграфировала Попову в его лабораторию: «Я здесь» и давала ему точные указания своего капризного пути».

Первая в мире радиосвязь была осуществлена А. С. Поповым 25 апреля (7 мая) 1895 года с помощью искровой передаточной радиосистемы, ставшей прототипом систем беспроволочной телеграфии первого поколения.

За время существования искусственной искры успевают произойти несколько десятков затухающих колебаний, пока из-за потерь энергии на активном сопротивлении и за счет излучения разность потенциалов не упадет до значения, при котором уже невозможен искровой разряд. После этого наступает сравнительно большой период времени, когда вибратор не излучает, а заряжается до пробойного напряжения. Время «зарядки» обычно в десятки и сотни раз превышает время «работы» (излучения) вибратора — это и есть одна из основных причин малой средней мощности искровых генераторов радиоволн. Кроме того, в станциях с непосредственным возбуждением антенны спектр излучаемых сигналов вследствие сильного затухания был непомерно широк, что создавало значительные трудности при организации радиоприема.

Для снижения затухания в антенной цепи



Принципиальная схема радиотелеграфной системы первого поколения. 1898 год

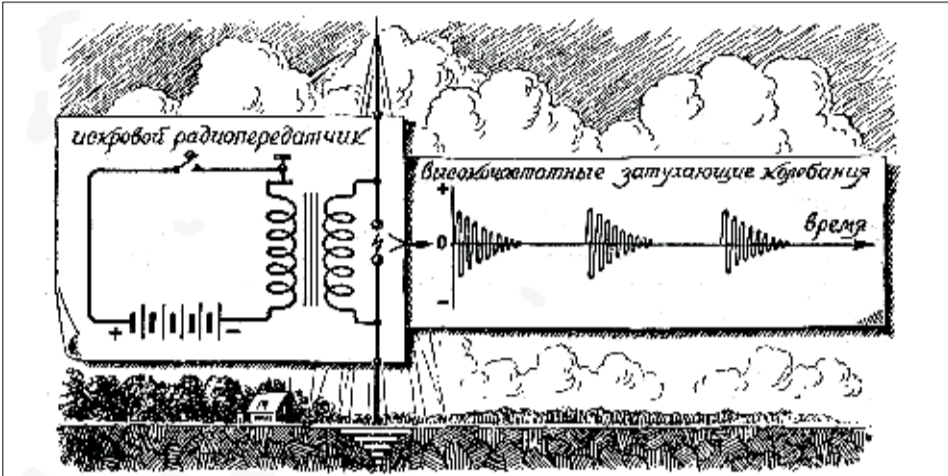
искрового передатчика в начале 1900 года немецкий радиотехник Фердинанд Браун (Ferdinand Braun, 1850–1918) предложил вынести разрядник из антенной цепи и связать его с антенной с помощью одного или нескольких связанных контуров. Искровые передатчики такого типа называли «отправителями Брауна». В схеме Брауна антенная цепь через катушку связи связывалась с замкнутым колебательным контуром, в котором к электродам разрядника подводилось высокое напряжение, например, от катушки Румкорфа.

Емкость конденсаторов контура выбиралась достаточно большой, что позволяло накопить в конденсаторах как можно больше энергии. В этом случае после пробоя искрового промежутка во время колебательного разряда появлялась возможность перехода энергии в антенный контур и возбуждения его на собственной частоте. При совпадении собственных частот контура и антенны получалась связанная система двух контуров. При этом замкнутый контур с искровым промежутком обладал большим затуханием, а антенный контур имел сравнительно малое затухание. При сильной связи контуров накопленная в замкнутом контуре энергия после разряда передавалась в антенну. После затухания основных колебаний в замкнутом контуре часть энергии, оставшейся в антенном контуре, возвращалась в замкнутый контур и вызывала новую вспышку в разряднике. В результате возникал колебательный процесс в замкнутом контуре и антенной катушке, а вместо однократного спада тока возникали бичения. При этом в замкнутом контуре значительная часть энергии расходовалась впустую.

(Окончание в следующем номере)

Виктор Пестриков, д. т. н., профессор СПбГУСЭ

Первый радиосигнал пришел с небес



Искровой радиопередатчик с простым воздушным разрядником

(Окончание. Начало в IT News № 8/2007)

Радиопередатчики по схеме Брауна позволяли значительно проще, чем собранные по старым схемам, повышать мощность передаваемого радиосигнала. Если до этого дальность передачи искрового радиотелеграфа составляла около 20 км, то искровой передатчик Брауна имел дальность действия свыше 10 тыс. км. И что очень важно, этот передатчик благодаря слабой затуханию волн позволял производить точную настройку приемника при приеме радиосигнала. Новое схемное решение радиопередатчика вызвало к жизни такое понятие, как «дальность телеграфа». В 1901 году Гульельмо Маркони (Guglielmo Marconi, 1874–1937) послал радиосигнал из Англии в Северную Америку с искрового передатчика конструкции технического советника его компании Джона Флеминга. В основе этой разработки лежали идеи Фердинанда Брауна. Передатчик, по некоторым расчетам, работал на волне примерно 300 м и имел мощность порядка 25 кВт.

Что касается конкретной длины волны работы передатчика, то по этому вопросу истории науки и техники спорят до сих пор: по различным источникам, она колеблется от 300 до 3000 м. И связано это с тем, что в свое время Г. Маркони не дал четкого ответа на этот вопрос. Во время лекций, посвященных этому событию, он называл разные значения длины волны передатчика: 304,8 м (1903 год), 365,8 м (1908 год) и 1800 м (30-е годы XX века). Вероятнее всего, это связано с тем, что частота передатчика не измерялась непосредственно во время его работы, а определялась расчетным путем. Можно предположить, что для расчета была использована не вполне совершенная методика и по мере ее развития частота передатчика уточнялась. В подтверждение этого предположения говорит следующее. В 1935 году в своих воспоминаниях Д. Флеминг отметил, что в 1901 году длина волны электромагнитного излучения не измерялась, потому что к тому времени он еще не изобрел волномер (последний появился только в октябре 1904 года). Вот что сообщает конструктор передатчика: «Высота подвеса антенны в первом варианте составляла 200 футов (61 м). Последовательно с антенной мы подключаем трансформаторную катушку или «jigger» (трансформатор затухающих колебаний). По моим оценкам, первоначальная длина волны должна была быть не менее 3000 футов (915 м), но позднее она была гораздо выше».

Искровые передатчики передавали информацию в телеграфном режиме с помощью азбуки Морзе. Предпринимались с их помощью и попытки передачи человеческой речи. Так, осенью 1903 года А. С. Попов и его ученик С. Я. Лифшиц построили первую искровую радиотелефонную систему связи, в которой использовался искровой передатчик: вместо ключа в нем был подсоединен микрофон. В январе 1904 года Попов продемонстрировал работу этой системы перед участниками 3-го Всероссийского электротехнического съезда. В том же году появились сообщения об аналогичных экспериментах по радиотелефонированию с помощью затухающих колебаний, про-



Конструкция воздушного разрядника

веденных итальянским профессором Курино Мажораной (Quirino Majorana). В его экспериментах был использован искровой передатчик со «звучащей искрой». В схеме передатчика антенный контур возбуждался от высоковольтного индуктора искровыми разрядами около 10 тыс. раз в секунду. Для передачи речи использовался микрофон особой конструкции, который включался в антенную цепь. Ученому удалось добиться хорошего звучания при передаче человеческого голоса — высокая частота разрядов позволила увеличить излучаемую энергию и сравнительно легко модулировать телефонными токами пакеты высокочастотных колебаний.

Технические трудности по модуляции затухающих электромагнитных колебаний так и не позволили разработчикам создать промышленный образец искровой системы связи, способной передавать речь. Как известно, качество слухового приема зависит от числа импульсов, а частота звука должна быть в пределах 500–1000 Гц. Искровые передатчики не отвечали этому требованию — искровые разряды воспроизводились как треск, а не как тон. Использование вращающихся разрядников для повышения числа искр хотя и несколько продвинуло решение проблемы, но кардинального решения не принесло.

Эксплуатация искровых радиопередатчиков с простым воздушным разрядником также выявила ряд его недостатков. Эти искровые разрядники вносили существенное затухание в контур и имели большие потери энергии во время разряда, вследствие чего они выделяли большое количество тепла при высокой температуре. При высоких рабочих напряжениях время деионизации в разряднике возрастало, и как следствие, разряд в течение каждого разрядного цикла не успевал прекращаться, а при увеличении частоты повторения циклов между электродами возникала непрерывная дуга.

Для предотвращения обратного перехода энергии из вторичного контура в первичный стали прибегать к искусственному размыканию первичной цепи путем преждевременного гашения искры. Такое гашение достигалось применением весьма коротких искровых промежутков между серебряными, медными или вольфрамовыми электродами при хорошем их охлаждении. В результате получалось возбуждение толчком (ударом), которое выгодно отличалось от обыкновенного искрового способа тем, что:

1) колебания во вторичной системе определяются только постоянными параметрами

вторичной системы и происходят с присущей ей частотой;

2) затухания вторичной системы не увеличиваются обратным переходом энергии в первичную систему;

3) может быть применена большая связь, что приведет к увеличению общего количества энергии во вторичной системе.

Для увеличения мощности, растущей с увеличением напряжения, отдельные короткие искровые промежутки соединяются последовательно. Погасание искры, в зависимости от условий деионизации промежутка, может совершиться в один из минимумов результирующего тока при биениях. Погасание искры в первый минимум получило название «совершенный удар». Существенным фактором, определяющим возможность удара, является величина связи между первичной и вторичной цепями. Чем больше затухание первичной цепи, тем большую связь можно допустить для осуществления удара. Наиболее выгодна связь, при которой действующая сила тока во вторичной цепи достигает наибольшего значения, — обычно она не превышает 30%. При вольфрамовых электродах возможно применение связи до 60% (система Huth'a).

Для достижения слабого затухания радиоволн немецкий физик Макс Вин (Max Karl Werner Wien, 1866–1938) в 1902 году предложил разделить искровой разрядник на несколько автономных последовательно включенных искровых промежутков. По достижении напряжения на разряднике определенной величины происходил последовательный пробой всех искровых промежутков. Проводимость такого разрядника резко и быстро уменьшалась по окончании первого ряда затухающих колебаний в замкнутом контуре, и он уже не пробивался вновь, а энергия из антенны вообще не возвращалась в колебательный контур.

Система Вина использовала метод, который получил название «метод ударного возбужде-



Немецкий физик Макс Вин

ния колебаний». Особенно хорошие результаты она давала при подключении первичного контура передатчика к генератору тока повышенной частоты (200–1000 Гц) через повышающий трансформатор. В этом случае принимаемые сигналы после детектирования в приемнике имели музыкальный тон, что облегчало их прием в условиях помех от сигналов других радиостанций или атмосферных разрядов.

Радиостанции с разрядником Вина называли «радиостанциями со звучащей искрой». Сигнал искровой радиостанции прослушивался в наушниках радиоприемника в виде музыкального тона определенной высоты при условии, что скорость появления искр составляла 500–2000 в секунду.

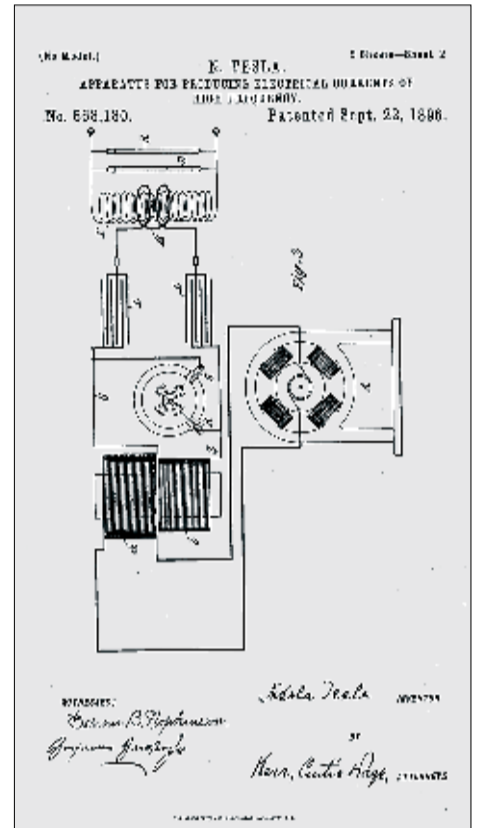
В числе других способов быстрого гашения искрового разряда наибольшее распространение получил механический. Этот способ предложил еще в 1896 году Никола Тесла (Nikola Tesla, 1856–1943). На конструкцию устройства для его реализации ученый получил американ-



Многочастотный искровой разрядник конструкции Макса Вина

ский патент — U. S. Patent 568180 от 22 сентября 1896 года.

Гашение искрового разряда происходило в результате быстрого увеличения искрового промежутка между неподвижными контактами и контактами, находящимися на вращающемся

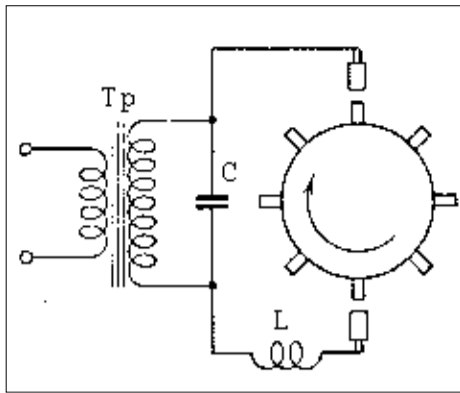


Патент Н. Теслы на вращающийся разрядник с изменением искрового промежутка. 1896 год

металлическом диске. В наиболее простом варианте к двум неподвижным электродам разрядника, между которыми электродвигателем вращался металлический диск с четным числом выступов, подводилось высокое напряжение. Контакты располагались на диаметрально противоположных точках относительно зубьев диска. Расстояние между электродом и зубом диска составляло 0,5–1 мм. Напряжение к электродам подбиралось таким образом, чтобы в момент нахождения зубьев под электродами происходил искровой разряд. Если диск вращался со скоростью n оборотов в секунду и на нем было p выступов, то образовывалось np искр в секунду и столько же комплектов радиоволн излучалось антенной.

Для лучшего охлаждения вращающийся разрядник иногда подвергался воздушному охлаждению при помощи вентилятора. Так, в 1909 году уроженец Австралии инженер Джон Балзилли (John Graeme Balsillie, 1885–1924) изготовил электроды разрядника в форме широких лопастей, которые при вращении разрядника выполняли еще и роль вентилятора. Такая конструкция несколько облегчила тепловой режим разрядника и сократила время деионизации при высоких рабочих напряжениях и мощностях. Однако конструкция часто выходила из строя из-за термомеханических нагрузок, что и предопределило ее судьбу — в конце концов от нее отказались.

Искровые передатчики быстро нашли применение в радиотелеграфных станциях: к 1910 году наибольшее распространение получили искровые радиостанции с вращающимися искровыми разрядниками. Прием сигналов производился на детекторные радиоприемники с дальнейшим прослушиванием через телефонные трубки. Такой комплект радиоаппаратуры без существенных изменений использовался вплоть до окончания Первой мировой войны, невзирая на то что появились радиопередатчики незатухающих колебаний, а в приемной аппаратуре начали использовать электронные лампы усилители. Инженерами были разработаны два типа вращающихся разрядников искровых передатчиков: асинхронные и синхронные. В асинхронном разряднике диск приводится во вращение от независимого

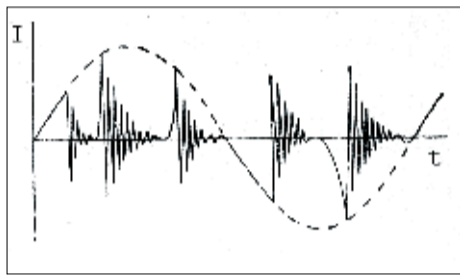


Устройство вращающегося разрядника

электродвигателя. Искра возникает несколько раз за полупериод питающего напряжения (парциальные разряды). Для питания применяется машина низкой частоты (50 Гц), а высота тона (v) регулируется скоростью вращения диска:

$$v = \frac{Z \cdot n}{60}$$

(Z — число зубцов диска, n — число оборотов в минуту).

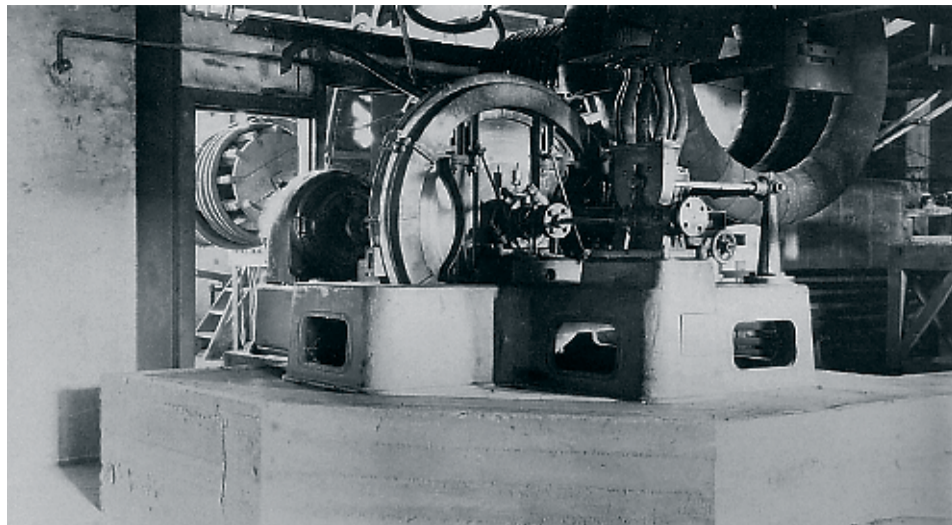


Форма токов высокой частоты в искровом передатчике с асинхронным разрядником

В синхронном же разряднике диск насаживается на вал питающего альтернатора, при этом искра возникает только однажды за каждый полупериод переменного тока, причем в те моменты, когда напряжение достигает своего максимума. Число зубцов делается равным числу полупериодов переменного тока, развиваемых альтернатором за один оборот; альтернатор применяется повышенной частоты (500...1000 Гц). Для достижения точной регулировки рама с неподвижными электродами должна быть поворотной.

В первом десятилетии XX века благодаря успехам в искровой радиотелеграфии удалось установить радиосвязь со всеми континентами нашей планеты и, что особенно важно, утвердить этот вид связи в качестве основного как на морях и океанах, так и на суше. Искровой радиостанцией был оснащен и символ человеческого величия начала XX века — гигантский лайнер «Титаник», вышедший 10 апреля 1912 года (в один из дней пасхальной недели) из Саутгемптона в свое первое и последнее плавание. Радиостанция «Титаника» была на то время самой современной и эффективной: радиус ее действия составлял днем 250–400 миль, а ночью — 2000 миль. Передатчик мог работать в длинноволновом диапазоне на 600 м (500 кГц) и средневолновом — 300 м (1000 кГц). За паромом был закреплен позывной сигнал MGY.

В искровом передатчике «Титаника» впервые в морской практике был установлен разрядник синхронно-вращательного типа. Он представлял собой металлический диск с разрядными электродами, смонтированный на валу генератора. 16 электродов на диске соприкасались с двумя неподвижными электродами, соединенными последовательно с закрытым колебательным контуром с интенсивностью, равной удвоенной частоте вращения вала (несколько сот разрядов в секунду). Операторы принимающих радиостанций могли легко



Конструкция вращающегося разрядника искровой радиостанции. 1907 год

отличить мелодичный тон, испускаемый синхронно-вращательным разрядником, от шипящего звука, порождаемого простым разрядником. Применение разрядника этого типа позволило увеличить дальность передачи.

Передающая часть радиостанции состояла из пяти независимых контуров, преобразующих постоянный ток судовой электросети в мощные регулируемые радиочастотные колебания, которые затем передавались в атмосферу 325-метровой антенной, установленной на судне. Имелся и дополнительный передатчик, который обеспечивал выработку простого разряда в случае отказа основного передатчика. Радиорубка располагала зуммером, гальванометром, портативным волномером, а также особым набором инструментов для проверки и наладки контуров. Электроэнергию для радиостанции вырабатывал генератор, приводимый в действие паровой машиной. В случае необходимости можно было использовать дизель-генератор, расположенный на шлюпочной палубе, или аккумуляторные батареи. Электродвигатель-генератор, рассчитанный на мощность 5 кВт (из которых в антенну попадало около 500 Вт), состоял из электродвигателя постоянного тока и напрямую соединенного с ним генератора переменного тока, установленных на едином основании.

Для управления силой искрового разряда использовались два реостата: один был последовательно подключен к обмотке двигателя, другой — к возбуждающей обмотке генератора. Четыре графитовые щетки гасили паразитные колебания или пики генерации, защищая обмотки генератора и двигателя. Генератор выдавал переменный ток напряжением до 300 В с частотой 70 циклов.

Высокочастотный первичный (замкнутый колебательный) контур подавал высокое напряжение непосредственно для передачи. Разрядник в контуре последовательно выполнял следующие функции:

- 1) обеспечивал бездействие контура до полного заряда конденсатора;
- 2) открывал путь высокому напряжению для разряда в форме искры, создавая таким образом колебания радиочастоты;
- 3) гасил разряд, возвращая разрядник в непроводящее состояние.

Помещение радиостанции занимало три каюты: в одной был оборудован приемник, во второй — передатчик, третья предназначалась для отдыха радиотелеграфистов. Последних было двое: старший радист Джек Филлипс и младший радист Гарольд Брайд.

Искровой передатчик был использован и в первой радиосвязи между Антарктидой и Австралией. Произошло это событие в 1913 году во время второй зимовки австралийской экспедиции доктора Дугласа Моусона (Sir Douglas Mawson, 1882–1958) на Земле



Д. Моусон, руководитель австралийской экспедиции в Антарктиду. 1913 год

Адели (мыс Денисон). Радист экспедиции передал радиограмму в Австралию через самую южную в то время станцию беспроводного телеграфа, «искровой» передатчик которой также принадлежал антарктической экспедиции Моусона и базировался на острове Макуори.

В начавшейся войне 1914 года различного вида радиотехнологии приобрели большую стратегическую важность. Британское прави-



Британский инженер готовит искровую беспроводную станцию к отправке на фронт. 1917 год

тельство немедленно взяло под свой контроль отдельные подразделения компании Marconi, в частности трансатлантические станции в Уэльсе и фабрики в Челмсфорде. Компания даже организовала индивидуальную подготовку операторов беспроводной телеграфии.

В годы первой мировой войны на подводных лодках были установлены длинноволновые искровые передатчики, так как из-за несовершенства радиоаппаратуры радиосвязь на коротких и сверхдлинных волнах не велась. Искровая радиосвязь в подводном положении была невозможна, что не позволяло обеспечить совместные действия подводных лодок. Передача радиограмм производилась в надводном положении после установки антенны на двух мачтах. Дальность радиосвязи, несмотря на большую потребляемую передатчиком мощность, была незначительной. Кроме того, во время сеанса радиосвязи подводная лодка имела ограниченную готовность к погружению, из-за чего подвергалась большей опасности и к тому же была неспособна атаковать противника.

Военные деятели воюющих держав поставили перед разработчиками радиотехники задачи по перехвату радиосигналов и их пеленгации. Так, компанией Marconi's Wireless Telegraph Co. Ltd был разработан пеленгатор Marconi Bellini-



Пеленгатор Marconi Bellini-Tosi для обнаружения беспроводных станций. 1916 год

Tosi для обнаружения положения вражеских беспроводных станций. Это устройство использовалось Королевским флотом и армией Великобритании для слежения за положением немецких субмарин, военно-морских кораблей и цеппелинов.

Эксплуатация передатчиков с затухающими колебаниями показала, что они имеют ряд недостатков, которые очень трудно устранить при использовании для возбуждения радиоволн искрового разряда. Главный из них заключался в том, что искровые передатчики излучали слишком широкий спектр частот. Две искровые станции с различными несущими частотами настолько мешали друг другу, что одновременная их работа практически исключалась. Ко всему прочему, искровые генераторы имели низкий коэффициент полезного действия и были неспособны качественно передавать человеческую речь. Кроме того, для сверхмощных длинноволновых искровых радиостанций требовались не только огромные антенны, которые подвешивались на 200–250-метровых мачтах и башнях, но и огромные денежные средства — в пределах 5–10 миллионов рублей в денежных знаках того времени (до переворота 1917 года). Строительство таких станций было под силу только крупным электротехническим компаниям. Передатчики же со «звучащей искрой» для таких мощных станций уже не годились, как ни отставала это направление фирма Маркони.

Заканчивая свой экскурс в историю использования разряда электрической искры для возбуждения радиоволн, еще раз подчеркнем, что метод возбуждения электромагнитных волн с помощью электрической искры в течение почти 20 лет был практически основным при организации беспроводной передачи сообщений (с 1940 года искровые передатчики запрещены). Этот метод сыграл важную роль не только на начальном этапе развития радиосвязи, но и во многом предопределил дальнейший этап развития радиотехники, приведший к созданию новых типов генераторов радиоволн. Передатчики с затухающими колебаниями со временем были вытеснены более совершенными генерирующими устройствами незатухающих электромагнитных колебаний: место искровой техники стали занимать дуговые и машинные генераторы незатухающих колебаний, а позже — ламповые конструкции.

Виктор Пестриков,
д. т. н., профессор СПбГУСЭ

Литература:

1. Вениамин Франклин. Опыт и наблюдения над электричеством. Пер. с англ. Б. С. Алексеева. М. Изд-во АН СССР. 1956. 271 с.
2. Общее собрание АН СССР. Вестник АН СССР. 1981. № 6, с. 40–47.
3. Вениамин Франклин. Избранные произведения. М. ГИПЛ. 1956.
4. Иванов Р. Ф. Франклин. М. Молодая гвардия. 1972. 256 с.
5. Липсон Г. Великие эксперименты в физике. М. Мир. 1972. 215 с.
6. Из предыстории радио. Сборник оригинальных статей и материалов. Составитель С. М. Рытов. Под ред. Л. И. Мандельштама. М-Л. Изд-во АН СССР. 1948. 475 с.
7. Очерки истории радиотехники. Под редакцией Б. С. Сотина. М. Изд-во АН СССР. 1960. 448 с.
8. Марченков В. К. Александр Степанович Попов — изобретатель, ученый педагог. Электросвязь. 1995. № 1, с. 3–5.
9. Bondyopadhyay P. B., «Investigations on Correct Wavelength of Transmissions of Marconi's December 1901 Transatlantic Wireless Signal». IEEE Antennas and Propagation Society. International Symposium Digest, 12, 1993, pp. 72–75.



Радиорубка лайнера «Титаник». 1912 год