

На заре искровой передачи информации

В. М. Пестриков

Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения
pvm205@yandex.ru

Аннотация. Показана эволюция конструкций искровых передатчиков при переходе от генерации коротких волн к волнам большей длины, чем в опытах Герца. Указаны причины, вызвавшие этот шаг.

Ключевые слова: искра, искровой разрядник, искровой передатчик, затухающие колебания

I. ВВЕДЕНИЕ

Идея передачи сигналов через «пространство», то есть без использования провода, соединяющего отправителя и получателя, впервые возникла вскоре после открытия Фарадеем того, что сейчас называется индуктивным действием электрического тока. Обычно говорят, что ток течет «в» или «через» провод. В реальности, только часть соответствующей электрической энергии сосредоточена в самом проводе. Остальное распространяется или «просачивается» наружу из провода на значительное расстояние и создает невидимое «поле индукции» или «напряжения» в окружающем эфире.

В 1864 году известный английский ученый Джеймс Клерк Максвелл впервые, предположил, что, если бы использовались токи очень высокой частоты, то значительная часть энергии, находящейся внутри и вокруг проводника, фактически отделилась бы от провода и распространялась бы наружу через эфир в форме «волн». С помощью математических уравнений он показал, что такие волны будут иметь ту же общую природу, что и те, которые несут нам свет и тепло через звездное пространство.

Двадцать три года спустя, в 1887 году, немецкий физик Генрих Герц экспериментально доказал правильность этого рассуждения. Используя искровой разряд из лейденских банок, он получил колебательные токи большой частоты и фактически показал, что такие токи создают «волны», которые можно обнаружить на значительном расстоянии.

Однако диапазоны частот волн, полученные Герцем, все еще были очень ограничены. Трудность на этом этапе заключалась не в частоте. На самом деле используемые частоты были слишком высокими, а длины волн, как следствие, слишком малыми. Герц, как известно, проводил эксперименты в ультракоротковолновом диапазоне (УКВ), а такие волны, как сейчас известно, имеют дальность распространения примерно несколько десятков километров.

Поэтому следующая проблема состояла в том, чтобы найти какие-то средства уменьшения частоты, чтобы создавать более длинные волны, которые «несли» бы больше энергии и таким образом распространялись на

большие расстояния. Для этого не подходили конструкции антенн, которые использовал для передатчика Герц.

Эту проблему удалось решить независимо друг от друга А.С. Попову и Г. Маркони [1] с помощью кажущегося простого устройства, подачи искровых разрядов от герцевского генератора непосредственно в длинную вертикальную или «приподнятую» (*elevated*) антенну. Такая антенна излучает электромагнитные волны, длина которых равна четырем длинам передающей антенны. Что очень важно, А.С. Попов выделил вертикальную антенну в отдельное устройство, которое с помощью снижения соединил с одним из концов вторичной обмотки катушки Румкорфа. До этого, передающая дипольная антенна Герца составляла одно целое с передатчиком (катушкой Румкорфа).

Преимуществом вертикальной антенны, кроме излучения волн, распространяющихся на большие расстояния, было еще то, что они имели вертикальную поляризацию. Эти более длинные вертикально поляризованные волны могли распространяться за горизонт, подобно распространению земной волны, повторяющей контур Земли. При определенных условиях эти волны могли выходить за горизонт, отражаясь от слоев заряженных частиц (ионов) в верхних слоях атмосферы, что позже было названо распространением пространственной волны.

Нужно отметить, что Попов во время спасательной операции броненосца «Генерал-адмирал Апраксин» в Финском заливе в 1900 г. активно использовал вертикальные передающие антенны высотой 46 м и 54 м. Антенны излучали волны в диапазоне 184–216 м.

В искровых передатчиках Герца, Попова и Маркони использовался метод прямого возбуждений электрических колебаний непосредственно в антенне.

II. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИСКРОВОГО ПЕРЕДАТЧИКА

Использование вертикальной антенны в передатчиках стало важным шагом вперед и привело к быстрому прогрессу в передаче информации. В течение нескольких лет беспроводные сигналы успешно принимались на расстоянии нескольких сотен миль.

В 1898 году сэр Оливер Лодж сделал еще один важный шаг вперед, вставив «индуктивность» в обычную антенну, тем самым «загрузив» ее так, чтобы она излучала еще более длинные волны. Лодж также, по видимому, был первым, кто осознал важность «настройки» как передающей, так и принимающей антенн на одну и ту же частоту. Оригинальная схема передатчика Лоджа показана на рис. 1 [2]. Расположение

лейденских банок и различных искровых шаров в наши дни выглядят довольно причудливо, но нет никаких сомнений в ценности его введения «индуктивности для настройки антенны». Разработка Лоджа с «синтоическими банками» проложила путь к синтении или настройке, без которых беспроводная связь никогда бы не продвинулась далеко.

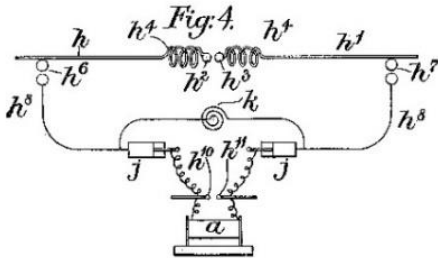


Рис. 1. Принципиальная схема искрового передатчика О. Лоджа с настраиваемой антенной [2]

В 1899–1900 годах для увеличения мощности искрового передатчика и устранения взаимных помех одновременно работающих радиостанций, а также снижения затухания в антенной цепи схема Попова была усложнена. Для этого в начале 1900 г. немецкий радиотехник Фердинанд Браун предложил вынести разрядник из антенной цепи и связать его с антенной с помощью одного или нескольких связанных контуров. Такие искровые передатчики «со сложной схемой» стали называть «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, рис. 2 [3].

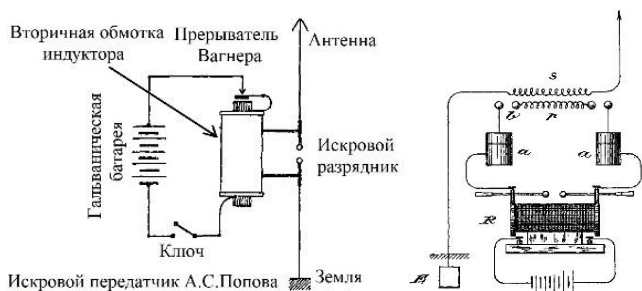


Рис. 2. Искровой передатчик Брауна с вынесенным из антенной цепи разрядником (справа)

Емкость конденсаторов контура выбиралась достаточно большой, чтобы иметь возможность накопить в конденсаторах как можно больше энергии. В этом случае после пробоя искрового промежутка появлялась возможность во время колебательного разряда 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 и т. д. В результате возникал колебательный процесс в замкнутом контуре и антенной катушке, а вместо однократного спада тока возникали биения. При этом в замкнутом контуре значительная часть энергии расходовалась впустую.

III. ПЕРЕДАТЧИК Д.А. ФЛЕМИНГА

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 10000 км. И что очень важно, этот передатчик, благодаря слабому затуханию волн, позволял производить точную настройку приемника при приеме радиосигнала. Новое схемное решение радиопередатчика, способствовало появлению понятия «дальняя телеграфия». В 1901 г. Г. Маркони послал радиосигнал из Англии в Северную Америку с искрового передатчика конструкции технического советника его компании Д. А. Флеминга, рис. 3. В основе этой разработки лежали идеи Ф. Брауна [4]. Передатчик, по некоторым расчетам, работал на волне примерно 300 м и имел мощность порядка 25 кВт.

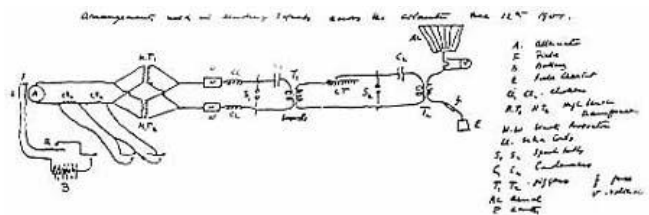


Рис. 3. Принципиальная схема искрового передатчика, нарисованная Д. А. Флемингом для передачи сигнала через Атлантический океан, декабрь 1901 г.

Что касается конкретной длины волны передатчика, то по этому вопросу историки науки и техники спорят до сих пор. По различным источникам длина волны колеблется от 300 м до 3000 м. Это связано с тем, что во время памятных, лекций, посвященных этому событию, Г. Маркони не дал четкого ответа на этот вопрос: он называл разные значения длины волны передатчика: 304,8 м (1903 г.), 365,8 м (1908 г.) и 1800 м (30-е годы 20 века). Это, наверное, связано с тем, что частота передатчика не измерялась непосредственно во время его работы, а была получена расчетным путем. Можно предположить, что для расчета точной частоты работы передатчика была использована достаточно несовершенная методика, и по мере ее развития частота передатчика уточнялась. В подтверждение это факта говорит следующее. В 1935 году в своих воспоминаниях Д. А. Флеминг отметил, что в 1901 году длина волны электромагнитного излучения не измерялась, потому что к тому времени он еще не изобрел волномер. Волномер появился только в октябре 1904 года. Как отмечает конструктор передатчика: «Высота подвеса антенны в первом варианте составляла 200 футов (61 м).

Последовательно с антенной мы подключали трансформаторную катушку или «jiggeoo» (трансформатор затухающих колебаний). По моим оценкам первоначальная длина волны должна была быть не менее 3 000 футов (915 м), но позднее она была гораздо выше».

IV. ПОПЫТКИ СОЗДАНИЯ ИСКРОВОЙ РАДИОТЕЛЕФОНИИ

Искровые передатчики передавали информацию в телеграфном режиме с помощью азбуки Морзе. Предпринимались попытки передачи с помощью искрового передатчика человеческой речи. Осенью 1903 года А. С. Попов и его ученик С. Я. Лифшиц построили первую искровую радиотелефонную систему связи. В системе использовался искровой передатчик, в котором вместо ключа был подсоединен микрофон. В январе 1904 года А. С. Попов продемонстрировал работу этой системы перед участниками 3-го Всероссийского электротехнического съезда. Вслед за этой работой, в том же году, появились сообщения об аналогичных экспериментах по радиотелефонированию с помощью затухающих колебаний, проведенных итальянским физиком проф. К. 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 10 000 раз в секунду. Для передачи речи использовался микрофон особой конструкции, который включался в антенную цепь. Мажоране 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 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, действующих на телефон, 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 передачи речи, но кардинально решить ее не удалось. Требовались другие подходы для решения этой проблемы.

V. ПЕРЕДАТЧИКИ С ИСКРОВЫМ УДАРНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Эксплуатация искровых радиопередатчиков с простым воздушным разрядником (рис. 4) выявила ряд их 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.

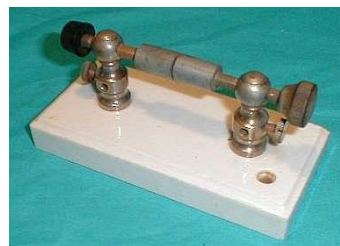


Рис. 4. Конструкция простого воздушного разрядника

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 погашения искры. Такое погашение 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 выгодной является 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).

VI. ИСКРОВАЯ СИСТЕМА МАКСА ВИНА

Для достижения слабого затухания радиоволн немецкий физик Макс Вин (Wien Max Karl Werner, 25.12.1866 – 24.02.1938) в 1902 году предложил практическую конструкцию искрового разрядника с разделенными на несколько автономных, последовательно включенными искровыми промежутками. 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 получила название «метода ударного возбуждения колебаний», рис. 5. Особенно хорошие результаты она давала при питании первичного контура передатчика от генераторов 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.

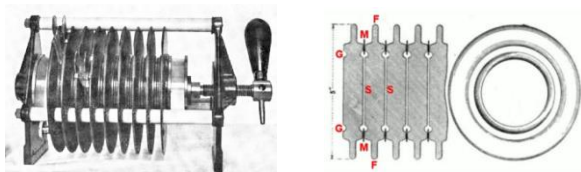


Рис. 5. Многократный искровой разрядник конструкции М. Вина. Слева поперечное сечение части гасящегося разрядника, состоящего из металлических дисков (F), разделенных тонкими изолирующими слюдяными шайбами (M), образующих последовательно несколько микроскопических разрядников (S)

В стандартном разряднике Вина на 2,5 кВт было восемь последовательно соединенных разрядников. Благодаря быстрому отводу тепла было обеспечено отличное гашение колебаний первичного контура с высокой стойкостью волновых последовательностей в воздушном контуре. Частота генератора 500 Гц давала частоту искры 1000 Гц, высокая нота передатчиков Telefunken была довольно характерной. Эффективность была высокой, более 60 %.

Радиостанции с разрядником Вина называли радиостанциями со звучащей искрой, рис. 6. Сигнал искровой радиостанции прослушивался в наушниках радиоприемника в виде музыкального тона определенной высоты при условии, что скорость появления искр составляла 500–2000 искр в секунду.

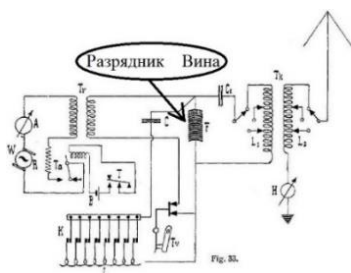


Рис. 6. Принципиальная схема искрового передатчика с разрядником М. Вина

Многократные разрядники использовались и в русских радиотелеграфных передатчиках, например, тех, которые изготавливались в 1912–1914 гг. Радиотелеграфным депо Морского ведомства.

Эти радиостанции, называвшиеся иногда «радиостанциями учебно-минного отряда», выпускались мощностью 0,2; 1; 2; 5 и 8 кВт. Передатчики работали в диапазоне волн от 200 до 3000 м, а также на коротких волнах порядка 80 м. Они имели колебательный контур,

который получал ударное возбуждение посредством многократного разряда. Конденсатор контура заряжался через высоковольтный трансформатор от машины переменного тока 1000 Гц.

Заметим, что система гасящей искры дает практически такой же эффект, если воспользоваться вращающимся искровым разрядником Марconi [6], показанным на рис. 7. Здесь ряд выступающих выступов С установлен на быстро вращающемся колесе В, и искры проходят между ними и двумя медленно вращающимися дисками АА, расположенными под прямым углом. Из-за скорости колеса В искры возникают в очень быстрой последовательности, и каждая искра автоматически гасится за счет расширения зазора по мере того, как выступающие выступы С удаляются от дисков В. Это иногда называют «механическим» гашением.

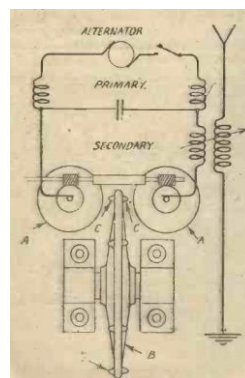


Рис. 7. Принципиальная схема радиопередатчика с вращающимся искровым разрядником Марconi

Вращающийся искровой разрядник работал со скоростью, обеспечивающей частоту 500 искр в секунду. Поскольку скорость не зависела от нагрузки, то звучание было исключительно чистым.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К 1907 году беспроводные искровые передатчики достигли предела своего развития. Однако, время от времени, в их конструкции вносились некоторые усовершенствования для повышения их эффективности. Последняя разработка, передатчик с вращающимся искровым разрядником, использовалась до 1934 года, когда этот тип излучения был запрещен международным правом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Jabbari Bijan. Introduction to the Classic Paper by Marconi // Proceedings of the IEEE. October 1997. Vol. 85, No. 10. P.1524.
- [2] Patent US609154 / Lodge O.J. Electric telegraphy. Patented August 16, 1898. Application filed February 1, 1898.
- [3] Patent GB22020A / Braun Ferdinand. Improvements in or relating to Telegraphy Without the Use of Continuous Wires. Accepted, 22nd Sept, 1900. Date of Application, 3rd Nov., 1899.
- [4] 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. 1993. 12. P. 72–75.
- [5] Patent GB8462A / Marconi G. Improvements in Apparatus for Wireless Telegraphy. Accepted, 31st Dec., 1907. Date of Application, 11th Apr., 1907.