А. С. ПОПОВ

Телеграфирование без проводов

*Cтатья А. С. Попова, опубликованная в первом номере журнала „Физико-математический ежегодник" за 1900 г.
В статье весьма популярно излагаются основные положения радиотехники, приводятся сведения о некоторых моментах деятельности автора за период 1895—1900 гг. и о работах его предшественников и современников.*

*Мы, полагаем, что статья А. С. Попова является ценным документом, освещающим начальные этапы развития радиотехники.*

1. Опыты Герца, опубликованные в конце 80-х годов, твердо направили учение об электричестве на путь, указанный Фарадеем и Максвеллом, и своею гениальною простотой увлекли почти всех занимающихся экспериментальной физикой к воспроизведению вновь открытых явлений.
Дружная работа теоретиков и экспериментаторов скоро привела к тому, что электрические колебания, электромагнитные волны стали в ряду обычно наблюдаемых явлений. Появилась возможность практических приложений в этой новой области: возник новый способ телеграфирования помощью электромагнитных волн — „без проводов".
Как и все другие способы телеграфирования, этот способ пользуется источником энергии, помещенным на станции отправления. Часть этой энергии может быть передана на расстояние на станцию приема, где и обнаруживается соответственным приемником.
2. Прежде чем перейти к описанию действительных приборов, служащих для телеграфирования без проводов, постараемся выяснить основные элементы явлений, характеризуемых терминами „электрическое колебание" и „электромагнитная волна". Для этого прибегнем к разбору одного неэлектрического явления.
Возьмем обыкновенный камертон и сожмем рукой его ветви. Мы затратим при этом мускульное усилие на преодоление упругих сил и создадим некоторый запас энергии в виде деформации упругого тела.
Как только мы освободим камертон, он начнет колебаться и спустя некоторое время остановится. Его колебания затухнут.
Рассмотрим ряд превращений энергии в этом явлении. В первый период времени созданный нами запас энергии упруго измененного, тела вызовет перемещение ветвей камертона — энергия будет переходить в энергию движения твердого тела, пока не наступит второй момент; когда камертон достигнет своего естественного положения равновесия, тогда энергия, затраченная на деформацию, будет равна нулю, но зато скорость и живая сила движения ветвей камертона достигнут максимума.
Во второй период ветви камертона будут двигаться по инерции далее своего положения равновесия. Скорость будет убывать. Энергия движения снова превращается в энергию упругоизмененного тела, пока скорость не сделается равною нулю. Затем скорость переменит знак — начнется движение в обратную сторону, и ряд превращений энергии будет повторяться.
Если бы, кроме указанных преобразований энергии, в явлении не участвовало еще других видов энергии, то движение камертона не прекратилось бы. На самом деле ветви камертона приводят в колебание окружающий воздух и подставку камертона. При этом энергия рассеивается в виде звуковых волн и, кроме того, часть энергии переходит при деформации стали, тела не абсолютно упругого, в тепло; если бы камертон сделать, например, из меди, то при прочих равных условиях, вследствие указанной траты, колебания камертона затухнули бы гораздо быстрее.
Ту часть энергии, которая рассеивается в виде звуковых волн по всем направлениям от камертона, мы можем обнаружить на некотором расстоянии от него, конечно, нашим ухом, но можем энергию этой волны преобразовать опять в прежний вид, т. е. в энергию колебательного движения какого-нибудь другого твердого тела.
Например, всякая упругая легкая перепонка или пластинка может притти в колебание, нужно только, чтобы эта перепонка встречала волну в таком относительном положении, чтобы она могла следовать за движениями воздуха в звуковой волне. Пластинка должна быть поставлена перпендикулярно линии распространения волны.
Мало того, мы знаем, что колебания одного камертона могут через посредство звуковой волны вызвать энергичные колебания другого камертона, если только второй камертон способен колебаться в унисон с первым, потому что импульсы, периодически получаемые ветвями такого камертона, благодаря совпадению могут складываться с возбужденными уже в нем колебаниями.
3. Обратимся теперь к явлениям электрического колебания в той форме, которая дана была в основных опытах Герцом. Возьмем два металлических изолированных шара (рис. 1), соединенные между собою прямолинейным стержнем, разрезанным посредине, так что оба шара изолированы друг от друга.


Будем заряжать их разноименно, например от электрофорной машины, медленно вращая ее. По мере повышения потенциала на шарах мы будем запасать энергию в виде энергии электрического заряда. Почти с уверенностью мы теперь можем сказать, что это будет энергия, запасенная в виде деформаций в эфире, окружающем шары.
Когда разность потенциалов на шарах достигнет такой величины, что произойдет разряд через диэлектрик, разделяющий шары (воздух или минеральное масло), по стержню пойдет мгновенный ток, скажем, от верхнего шара к нижнему.
Разность потенциалов начнет убывать, энергия, запасенная в виде электрического заряда шаров, переходит в энергию тока. Эта энергия проявляется в виде энергии магнитного поля, возбужденного вокруг проводника, т. е. вокруг соединительного стержня. Линии сил этого поля будут направлены по концентрическим кругам, центры которых лежат на оси стержня.
Когда потенциалы шаров сравняются, вся электростатическая энергия перейдет в электромагнитную, но ток не прекратится мгновенно, хотя исчезла первоначальная причина тока—разность потенциалов на шарах.
Исчезающее магнитное поле возбуждает в проводнике электродвижущие силы (самоиндукцию). Ток будет некоторое время продолжаться в прежнем направлении, и на шарах снова появятся разноименные заряды, но, по сравнению с предыдущими, противоположного знака. За этот период энергия магнитного поля снова будет превращаться в энергию электростатического заряда до того момента, пока не прекратится ток. Затем все превращения повторяются снова в прежнем порядке, периодически сменяя друг друга.
Как и в случае колебания камертона, эти явления не исчерпывают всех превращений энергии—часть энергии электрического тока переходит в самом стержне и в особенности в искре в тепловую энергию, отчасти в световую, и часть энергии рассеивается в виде тех возмущений среды, которыми сопровождается периодическое появление и исчезновение магнитного поля в пространстве, окружающем нашу систему проводников.
Разобранный нами цикл явлений называется электрическим колебанием.
Такая система проводников, в которой условия особенно благоприятны для образования электрического колебания, называется вибратором, а ряд возмущений в среде, окружающей вибратор, когда в нем образуется электрическое колебание, называют электромагнитной волной. Электрические колебания будут продолжаться, пока не израсходуется энергия первоначального заряда.
Для всякой данной точки пространства электромагнитную волну можно характеризовать периодическим возникновением и исчезновением переменного по знаку магнитного поля.
Существование электромагнитной волны в соседстве с вибратором может быть доказано, если мы поместим изолированную проволоку с весьма малым перерывом посредине параллельно оси вибратора. Проволока эта будет находиться в переменном магнитном поле, при этом должны появиться электродвижущие силы, направленные вдоль проволоки, и в перерыве появиться искра.
Механизм взаимодействия между вибратором и этой проволокой по существу тот же, что и при взаимной индукции между двумя параллельными проводниками, в том случае, когда по одному из проводников проходит переменный ток. С количественной стороны, однако, можно указать и значительную разницу. Дело в том, что скорость распространения электромагнитной волны может считаться равною скорости света, и в случае обыкновенного переменного тока, период которого равняется, например, 1/50 сек., около проводника появится магнитное поле одного знака на расстоянии d=v0,02", т. е. на пространстве 6000 км. Изменение магнитного поля в какой-нибудь точке вблизи проводника от нуля до максимальной величины Н произойдет в течение также 0,01". Средняя электродвижущая сила, возбужденная в проводнике, помещенном в этой точке пространства, будет пропорциональна величине Н и обратно пропорциональна времени нарастания Н.
В случае электрического колебания число перемен зависит от размеров и формы проводников. Для шаров диаметром 30 см в зависимости от длины стержня может быть 50000000 полных периодов в секунду.
При таком условии магнитное поле одного направления за первый период колебания распространится только на 6 ж и для какого-нибудь мгновения спустя несколько колебаний в пространстве вблизи проводника будет магнитное поле, меняющее знак через каждые 6 м. Электродвижущая сила, которая может быть индуктирована в проводнике, помещенном в таком поле, будет при той же амплитуде напряженности поля Я в миллион раз больше, нежели при обыкновенном переменном токе.
4. Хотя и есть возможность обнаружить взаимную индукцию между параллельными прямолинейными проводниками, например, при помощи телефона, все же электродвижущие силы, при этом возникающие, ничтожны по сравнению с теми, которые появляются при электрических колебаниях на том же расстоянии.
Прямолинейный проводник с перерывом фигурирует в некоторых опытах Герца, но электромагнитная волна может быть обнаружена, таким образом, только на малых расстояниях от вибратора. Однако же, если проводнику с разрезом дать размеры и форму, тождественную с вибратором, то, как и в опыте с камертоном, можно увеличить амплитуду индуктированного электрическою колебания, пользуясь действием резонанса, и на большем расстоянии от вибратора можно получить искру в разрезе (амплитуда электрического колебания может быть определяема разностью потенциалов, возникающей на концах проводника, в котором появляется электрическое колебание). Впрочем, для резонанса звукового необязательно геометрическое тождество двух систем (вспомним, например, резонатор Гельмгольца), важна только способность к колебаниям одной высоты тона; так и в электрических колебаниях можно обнаружить резонанс, не прибегая в проводнике, принимающем волну, к тождественным формам, а можно только подобрать проводнику подходящие размеры. Но, во всяком случае, обнаруживание электрической волны помощью наблюдения искры в перерыве сплошного проводника является лишь очень грубым методом исследования. После опубликования работ Герца стали искать других способов обнаружения электромагнитных волн.
Не рассматривая всех работ, сюда относящихся, упомянем о методе Цендера: в перерыв проводника вводят специально устроенную трубку с весьма малым расстоянием между электродами в разреженном газе (рис. 2) и замыкают цепь из нескольких сот маленьких аккумуляторов через эту трубку, причем подбирают число вольт так, чтобы трубка не начала светитвся от батареи; при возникновении в этих проводниках электрических колебаний искра или даже только изменение разности потенциалов на электродах трубки возбуждает уже свечение трубки, ток батареи замыкается через трубку и уже не прекращается, пока не будет прерван где-нибудь в цепи.


Другой способ, близкий к герцевскому, но более деликатный, предложенный Тюрпеном (М. Turpain), заключается в том, что параллельно искре в перерыв (рис. 3) вводится телефон с элементом. В этом случае искра, появляющаяся в перерыве, временно устанавливает проводимость, и ток батареи замыкается. В телефоне слышится треск тем интенсивнее, чем больше энергия, выделяемая в искре. Оба эти способа, однако, немного только чувствительнее первого способа Герца. В обоих упомянутых способах мы уже имеем возможность замкнуть в близлежащей цепи ток действием электромагнитной волны, что только и нужно для телеграфирования посредством герцевских волн. Расстояние для телеграфирования при помощи описанных способов ограничивалось бы несколькими метрами.
Весьма важный шаг как для изучения электрических колебаний, так и для возможности практических применений электромагнитных волн сделан был открытием Бранли (в 1891 г.).
5. Бранли нашел, что металлический порошок, нанесенный слоем на изолирующую пластинку или же помещенный в стеклянную трубку между двумя электродами, вообще представляет весьма большое сопротивление электрическому току, но если вблизи такой порошкообразной массы будет произведен разряд электрофорной машины или индукционной спирали, то сопротивление порошка мгновенно и весьма значительно уменьшится. Сопротивление падает с десятков и сотен тысяч омов ниже тысячи и иногда даже до нескольких единиц омов.

Падение сопротивления под действием электромагнитной волны зависит от расстояния, на котором произошел разряд. С увеличением расстояния эффект, производимый волною, убывает. Уменьшение сопротивления порошкообразной массы происходит одинаково, будет ли в момент действия волны через порошок циркулировать ток или он будет прерван. Эффект, производимый волной, будет больше, если порошкообразная масса находится в соединении с какими-нибудь проводниками, нежели в том случае, если она изолирована.
Проводимость порошкообразной массы, полученная под действием электромагнитной волны, сохраняет свою величину, но может быть уничтожена встряхиванием порошка. Новый разряд может опять уменьшить сопротивление и т. д.
Сопротивление порошка остается чувствительным к разряду и в том случае, если порошок помещен не в воздухе, а в каком-либо другом изоляторе, например, в изолирующем масле и даже в канадском бальзаме и гуттаперче.
Открытие Бранли послужило основанием работ Минчина и Лоджа, которые применили этот способ обнаружения электромагнитной волны для изучения герцовых лучей.
Причину уменьшения сопротивления металлического порошка Бранли видит в том, что в момент разряда все близлежащие, почти не прикасающиеся между собой зерна металла заряжаются, как конденсаторы, и благодаря их взаимному притяжению наступает лучшее прикосновение между ними. Действительно, изменение сопротивления от электрического колебания того же знака и порядка, какое можно получить прессованием порошка.
Лодж причину явления видит в том, что когда к взаимному частичному притяжению между зернами порошка присоединяют еще электрические силы, то наступает „сцепление" (coherion) между частицами. При значительных по энергии разрядах происходит род электрического сваривания между частицами металла, так что в порошке могут образоваться нити сплошного металла по направлению происходившего разряда.
Чтобы разобрать элементы явления, рассмотрим следующий опыт: возьмем стальную цепочку и подвесим ее вертикально. Пропустим ток от двух элементов через обыкновенный звонок и через несколько звеньев цепочки. Если взять два, три звена, то звонок будет звонить; постепенно вводя звено за звеном, скоро увидим, что звонок перестанет звонить. Малейшее натяжение цепочки вызовет уменьшение сопротивления, и звонок начнет действовать. При освобождении цепочки звон прекращается.
Если вблизи произойдет разряд в каком-нибудь вибраторе, то сопротивление цепочки мгновенно уменьшится, звонок придет в движение и звон не прекратится, пока не встряхнем цепочки. Увеличение электродвижущей силы батареи при том же числе звеньев цепочки ведет к постоянной проводимости ее.
Меняя число элементов и число звеньев цепочки, легко убедиться, что при известном соотношении между электродвижущей силой батареи и числом звеньев цепочки можно достигнуть значительной чувствительности цепочки в электромагнитной волне. Повторяя многократно опыт, можно заметить постепенное уменьшение чувствительности — как будто одни и те же части поверхности прикосновения теряют свои особые свойства по отношению к разряду, по всей вероятности, вследствие окисления.
Некоторый слой окисла, однако, необходим для успеха опыта: цепочка из свеже протянутой проволоки и свеже приготовленная масса опилок имеют ничтожное сопротивление и не могут служить .для подобных опытов. Сильно окисленные поверхности также не годятся, потому что в таком случае только непосредственный разряд через цепочку может восстановить ее проводимость.
Частичное изменение поверхности под действием электромагнитной волны подтверждается и следующим опытом: окислив стальную спицу нагреванием, погрузим конец ее в ртуть — тонкий слой окисла не проводит тока, но электрическое колебание восстановляет металлическое сообщение между ртутью и железом. При этом происходит такое изменение в поверхности железа, что можно вынуть железо из ртути и снова погрузить. Проводимость при этом сохраняется, и только новое нагревание может образовать непроводящий слой.
При некоторой средней степени окисления наблюдается неустойчивость в свойствах порошка: сопротивление под влиянием электрического колебания то уменьшается до малых величин, то увеличивается или уменьшается только на одно мгновение в момент разряда и само собою возрастает. Все это легко наблюдать, составив цепь из трубки с порошком, элемента и апериодического гальванометра. Таким образом, и в явлениях, открытых Бранли, мы имеем средство помощью электромагнитных волн замыкать ток на расстоянии от источника этих волн (аналогично способу Цендера), но при этом можно вызвать эффект при ничтожно малой энергии и таким образом достигнуть значительных расстояний.
6. Этим способом и пользуются при телеграфировании без проводов. В первый раз телеграфный аппарат при помощи трубки Бранли был приведен в действие Лоджем. Трубка была включена последовательно с электромагнитом телеграфа и батареей. Волна, произведенная разрядом, происшедшим по соседству, замыкала ток, и якорь притягивался, но ненадолго, потому что трубка постоянно встряхивалась особою цепочкою, приделанною на одной из быстро вращающихся, осей телеграфного аппарата, выходящей наружу. Эта комбинация, описана в специальных журналах несколько лет спустя после ее осуществления (1897 г.).
Для практического осуществления телеграфирования с помощью электромагнитных волн необходимы следующие составные части: на станции отправления источник электромагнитных волн, по произволу периодически действующий, чтобы посылать длинные и короткие импульсы, из которых помощью азбуки Морзе можно составить буквы и слова.
На станции приема необходимо различить длинные и короткие периоды действия вибратора. Лучше всего принимать их на обыкновенной телеграфной ленте знаками Морзе.
Источником электромагнитных волн, говоря теоретически, может быть любой вибратор, приводимый в действие обыкновенной спиралью Румкорфа с автоматическим прерывателем, причем длинные и короткие периоды действия вибратора могут быть получены помощью обыкновенного телеграфного ключа, введенного в первичную обмотку спирали. Продолжительные и короткие замыкания тока в ней и вызовут ряд быстро следующих друг за другом разрядов в вибраторе в большом и малом числе.
7. Для того чтобы на станции приема привести в действие телеграфный аппарат, употребляется особая комбинация, впервые установленная мною в моем „приборе для обнаружения и регистрирования электрических колебаний". Этот прибор мною был описан и демонстрирован в апреле 1895 г. в собрании физического отделения Русского физико-химического общества; печатное описание его появилось в январской книжке журнала этого общества за 1896 г.
Занимаясь повторением опытов Бранли и Лоджа (1894-—1895 гг.) над отношением металлических порошков к электрическим колебаниям, я убедился, что постоянство чувствительности трубки, описанной в то время Лоджем, очень мало.
Лодж наполнял стеклянную трубку в несколько сантиметров длиною железными опилками и закрывал ее металлическими пробками с концов, пользуясь, таким образом, довольно длинным столбиком слегка спрессованного порошка. Рыхло лежащий порошок в таких условиях малочувствителен. Бранли совсем не упоминает в своих первых статьях о форме своей трубки. Впоследствии же выяснилось, что он демонстрировал открытые им явления, употребляя стеклянную трубку, в которую были введены два металлических стержня, с некоторым трением входящие в трубку, разделенные столбиком металлического порошка, также слегка спрессованного.
Причина малого постоянства чувствительности лежит, мне кажется, в непостоянстве контакта между электродами и порошком.
Наиболее удачная форма трубки по значительной чувствительности при достаточном постоянстве мною была выполнена следующим» образом.


Внутри стеклянной трубки на ее стенках приклеены две полоски платины АВ и CD (рис. 4). Одна полоска выведена на внешнюю поверхность с одного конца трубки, другая с противоположного конца. Полоски своими краями лежат на расстоянии от 0,5 мм до 2 мм при ширине 5—8 мм. Внутренние концы В и С не доходят до пробок, закрывающих трубку, чтобы порошок, в ней помещенный, набившись под пробку, не мог образовать соединения между пластинками, трудно разрушимого встряхиванием.
Порошок, обыкновенно железный или стальной, лежит в трубке совершенно свободно и спрессовывается только своею тяжестью.
Добившись достаточного постоянства и чувствительности трубки, я поставил себе задачу добиться такой комбинации, чтобы проводимость трубки, полученная вследствие действия на нее электрического колебания, немедленно же уничтожалась автоматически. Такая комбинация дает возможность отмечать отдельные, следующие друг за другом, разряды колебательного характера.
После некоторых попыток я пришел к следующему решению задач.
Чувствительная трубка вводится в цепь последовательно с телеграфным реле и батареей (рис. 5).



Таким образом, ток батареи постоянно циркулирует через обмотку реле и трубку АВ, но вследствие весьма больших сопротивлений порошка сила этого тока недостаточна для притягивания якоря реле. Но как только электрическое колебание достигнет трубки, ее сопротивление уменьшится, сила тока, идущего по обмотке реле, увеличится, и якорь, притянувшись, замкнет контакт реле в точке С. В этом контакте замыкается другая цепь, содержащая в себе обыкновенный электрический звонок. Молоточек звонка немедленно придет в движение и своими ударами одновременно встряхнет трубку и произведет звон.
Встряхивание трубки немедленно уничтожит проводимость порошка и прервет цепь реле; якорь реле возвратится на прежнее место и звонок успокоится. Таким образом, прибор будет отмечать коротким замыканием контакта С и звонком всякое электрическое колебание, энергия которого достаточна для такого уменьшения сопротивления трубки, при котором может действовать реле от данной батареи.
Если вызвать ряд непрерывно следующих друг за другом разрядов в вибраторе, то весь ряд явлений в приборе будет повторяться периодически тем чаще, чем быстрее действуют механизмы звонка и реле. Получается ряд отдельных ударов звонка, быстро следующих друг за другом.
Чувствительность прибора зависит от свойств самой трубки, от чувствительности реле и, кроме того, как было мною указано в упомянутой статье, от размера проводников, связанных с трубкою.
Я мог обнаруживать электромагнитные волны, на значительном расстоянии от вибратора, присоединяя к электроду трубки А или В «длинный прямолинейный проводник, параллельный линии электрического разряда в вибраторе, т. е. в условиях, наиболее благоприятных для возбуждения в этом проводнике действием электромагнитной волны электрических колебаний.
Для того чтобы зарегистрировать всякое электрическое колебание, достаточно параллельно или последовательно с электромагнитом звонка ввести обмотку электромагнита, приводящего в движение пишущий аппарат.
С лета 1895 г. (Установка эта работает до сих пор (т. е. до 1900 г. Прим. ред.)) мною был установлен такой прибор для записи электрических колебаний, происходящих в атмосфере, на метеорологической обсерватории Лесного института. Запись колебаний ведется на телеграфной ленте помощью обыкновенного пера, употребляемого в регистрирующих приборах Ришара. Лента приводится в движение часовым механизмом,
Изолированная проволока, оканчивающаяся наверху мачты на метеорологической башне института, проведена в физический кабинет и присоединена к одному из электродов трубки; другой электрод, трубки соединен с землею помощью проводника, проведенного к водопроводной сети.
Я остановился на описании этого прибора потому, что все его части целиком входят в приемную станцию беспроводного телеграфа. Только в качестве записывающего аппарата входит обыкновенный телеграф Морзе, а вместо колебаний, происходящих в атмосфере от разрядов атмосферного электричества, возбуждаются колебания искусственно помощью вибраторов. Эти колебания, достигая проводника, соединенного с трубкой, при посредстве ее, приводят в действие телеграфный аппарат.
Ряд быстро следующих разрядов может дать ряд близко поставленных и даже, вследствие инерции пишущей части аппарата, ряд сливающихся точек или черту на телеграфной ленте. Кратковременное действие вибратора даст на ленте точку.
Моя статья, упомянутая выше, помеченная декабрем 1895 г., оканчивается следующими строками:
„В заключение я могу выразить надежду, что мой прибор, при дальнейшем усовершенствовании его, может быть применен к передаче сигналов на расстояния при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточною энергиею".
Осуществление этой надежды не заставило себя долго ждать. В течение 1896 г. я занимался с изобретенным мною прибором и весною снова демонстрировал его в заседании Русского физико-химического общества в приложении к воспроизведению опытов Герца с электрическими лучами.
Лето 1896 г. я провел на Нижегородской выставке, где в числе метеорологических приборов был также мой прибор, названный грозоотметчиком. В этом году появилось первое известие об опытах Маркони в Англии. Сущность опытов держалась в строжайшей тайне, и все сведения, которые могли получить в течение всей зимы и весны 1897 г. специальные журналы об этих опытах, ограничивались тем, что открыт новый способ (new way) для обнаружения и для возбуждения электромагнитных волн, и что можно послать помощью их длинные и короткие сигналы на значительное расстояние.
По поводу газетных известий об этом я напечатал в октябре статью в кронштадтской газете „Котлин", указав на свой прибор, как решающий эту задачу и отмечающий приближение грозы за 20—30 верст.
В марте этого года мною была прочитана в кронштадтском морском собрании лекция „О возможности телеграфирования без проводников", в которой демонстрировался мой прибор в связи с телеграфом Морзе. Для возбуждения колебаний был употреблен вибратор Герца с шарами в 30 см диаметром. Вибратор помещался на входной лестнице собрания, а телеграфный аппарат помещался в аудитории и был снабжен вертикальным приемным проводником, поднятым на флагштоке, около двух сажен высотой.
В апреле этого года мною производились опыты между военными судами в Кронштадтской гавани и подготовлялись приборы для опытов, предположенных к испытанию в течение лета на Минном отряде. В июне появились описания приборов Маркони, после того как он добился выдачи привилегии в Англии и некоторых других странах. Приборы, служившие в опытах Маркони и давшие возможность телеграфирования (в то время) на расстояние до 12 км, состояли из тех же составных частей, как и описанный мною прибор.
8. Прилагаемая схема взята из первых описаний прибора Маркони (рис. 6).



Источником колебаний служит вибратор итальянского профессора Риги. Этот вибратор состоит из четырех изолированных друг от друга шаров. При разряде индукционной спирали искра получается в трех перерывах, означенных цифрами 1, 2, 3. Между средними шарами искра получалась в масле, налитом в особую оправу, в которой были укреплены шары. Искры 1 я 3 образовались в воздухе. Такой вибратор был построен Риги для получения электромагнитных волн малой длины (длина волны не превосходит внешних размеров вибратора). На станции отправления была, кроме того, мачта, на которой поднимался изолированный проводник, связанный с одним из крайних шаров, тогда как другой крайний шар соединялся с землею.
Колебания, возбужденные в вибраторе, распространялись по присоединенной к нему проволоке, а из нее в окружающее пространство.
На станции приема был также вертикальный изолированный проводник, присоединенный к электроду трубки; другой конец трубки был соединен с землею.
Употребление мачты на станции отправления и на станции приема для передачи сигналов помощью электрических колебаний не было, впрочем, новостью: в 1893 г. в Америке была сделана подобная попытка передачи сигналов известным электротехником Николаем Тесла.
На станции отправления на высокой мачте был поднят изолированный проводник, снабженный на верхнем конце некоторою емкостью в виде металлического листа; нижний конец этой проволоки соединялся с полюсом трансформатора Тесла высокого напряжения и большой частоты. Другой полюс трансформатора был соединен с землею.
Разряды трансформатора были слышны на станции приема в телефоне, соединенном с высоко поднятым проводом и землею.
В первых опытах Маркони на верхних концах изолированного провода помещались металлические листы или цилиндры. Трубка d была включена в цепь батареи и телеграфного реле. Это реле при действии волны на трубку замыкало контакт другой батареи и приводило в действие электромагнитный молоточек, назначенный для автоматического встряхивания трубки и разрушения проводимости порошка. К трубке, кроме того, присоединялись листы W, Wu для того чтобы они резонировали с шарами станции отправления и усилили эффект действия электрического колебания на трубку.
Трубка, употребляемая Маркони, имеет форму, ближе подходящую к трубке Бранли. Она отличается своею миниатюрностью. На рисунке она изображена почти в натуральную величину. Электроды ее — серебряные цилиндрики, диаметром около 4 мм —расположены друг от друга на расстоянии, меньшем миллиметра. Порошок, состоящий из смеси никеля и 4% серебра, содержит еще следы ртути. Трубка запаяна, и воздух из нее выкачан. Телеграфный аппарат не указан на рисунке. Он соединяется параллельно или последовательно с электромагнитом сотрясателя.
На рис. 6 есть еще части, помеченные L, L1 . Назначение их будет понятно из дальнейшего изложения. При размыкании всякой цепи в перерыве образуется искра, и получаются быстрые электрические колебания. Как было показано мною в вышецитированной статье, эти колебания могут действовать на трубку.
Искра особенно увеличивается, если размыкаемая цепь содержит электромагнит. Для того чтобы ослабить искру, нужно дать выход экстратоку размыкания. Для этой цели существуют следующие общепринятые средства: можно присоединить параллельно электромагниту или у перерыва конденсатор, как это делается в спирали Румкорфа; можно вместо конденсатора взять вольтаметр, т. е. два электрода в проводящей жидкости, или, наконец, просто проволоку большого сопротивления без самоиндукции.
Маркони в своих приборах ввел параллельно всем имеющимся электромагнитам сопротивления без самоиндукции.
Вследствие этого электрические колебания, достигающие трубки из приемного провода, могут избрать путь наименьшего сопротивления через ветвь без самоиндукции в землю, помимо трубки. Маркони поэтому вынужден был поставить им на этом пути препятствие в виде незначительной самоиндукции.
Под буквами L, L1 подразумеваются катушки тонкой проволоки, в один слой намотанной на железный прут диаметром 5—6 мм.
9. Электрические колебания, обладая свойствами переменного тока, с трудом проходят по проводнику с самоиндукцией. По свидетельству Маркони, без этих самоиндукций расстояние телеграфирования уменьшается примерно вдвое.
Наличность этих самоиндукций, однако, необходима только в присутствии ветви без самоиндукции, параллельной обмотке реле, что в свою очередь необходимо только при употреблении обыкновенных реле, обладающих весьма большой самоиндукцией.
Подготовленные мною опыты были произведены на минном отряде ассистентом Минного офицерского класса Петром Николаевичем Рыбкиным.


Употребленный мною вибратор изображен на рис. 7. Он помещался на возвышенном месте, на судне или на открытом месте, на берегу.
На станции приема трубка соединялась с вертикальным проводом, поднимаемым на судовой мачте, и с землею (с корпусом судна).
Вместо телеграфного реле употреблялся чувствительный вольтметр с подвижною рамкой (Карпантье), иногда просто вместо гальваноскопа, иногда в роли реле. В чувствительной трубке употреблялся стальной раздробленный бисер. Опыты этого лета (1897 г.) имели целью главным образом выяснить пределы возможного для сигнализации расстояния.
Достигнутые результаты показали возможность передачи сигналов до 5 верст расстояния без специальных мачт. Употребление судовых мачт, снабженных громоотводами по всей их длине и укрепленных металлическими канатами, отражается неблагоприятно на электромагнитной волне.
Колебания, образующиеся по всем проводникам, соседним с приемным проводом, ослабляют волну, и энергия электромагнитной волны рассеивается как на станции приема, так отчасти и на станции отправления. В течение этого лета мы не употребляли проводников, соединенных с вибратором на станции отправления, хотя мне были известны опыты Тесла, и в саду Минного класса я употреблял уже и ранее с некоторыми вибраторами вертикальный проводник на станции отправления.
10. Первые опыты Маркони были произведены на средства английского почтово-телеграфного ведомства при непосредственном участии его специалистов, но по получении привилегии в Англии образовалась „компания беспроволочного телеграфа" (Wireless Telegraphy Company), приобретшая патент Маркони, и дальнейшая разработка этого дела была поставлена на коммерческую ногу.
В течение зимы 1897/98 г. не было сделано чего-нибудь существенного в этом деле.
Но как только была опубликована привилегия Маркони, многие занялись опытами телеграфирования помощью электромагнитных волн. В Германии профессор Слаби, занимавшийся и ранее этим вопросом, воспроизвел (осенью 1897 г.) опыты телеграфирования без проводов и получил со своими приборами, частью лабораторного приготовления, хорошие результаты. Он употреблял в качестве реле, как и мы, гальванометр с подвижною обмоткою, но более чувствительный. Его трубка содержала чистый никкель. Он устранил в своем приборе все ветви без самоиндукции, оставив только ветвь, параллельную перерыву в контакте реле. В этом месте ток не прерывался, а только вводилось большое сопротивление, через которое не могли работать молоточек и телеграф, соединенные параллельно, В некоторых опытах профессор Слаби поднимал изолированный проводник помощью воздушного шара и получил возможность передавать депеши на расстояние до 18 км.
В специальных английских журналах появились статьи о первенстве в изобретении беспроволочного телеграфа, вызванные главным образом формулировкой привилегии Маркони, в которой он много общеизвестных фактов приписывал себе, игнорируя работы и имена известных ученых, в особенности О. Лоджа, после Герца более других потрудившегося для изучения электрических колебаний, и Э. Бранли, открытием которого он воспользовался.

Был ли мой прибор известен Маркони или нет, что, пожалуй, вероятнее, но, во всяком случае, моя комбинация реле, трубки и электромагнитного молоточка послужила основою первой привилегии Маркони, как новая комбинация уже известных приборов.
Не подлежит сомнению, что первые практические результаты па, телеграфированию на значительных расстояниях были достигнуты Маркони прежде других.
Во Франции мой прибор был описан в некоторых журналах, и при появлении описания приборов Маркони указано было сходство его приемной станции с моим прибором.
В докладе Е. Дюкретэ во французском физическом обществе было выяснено, что все составные элементы приемной и отправительной станции телеграфирования без проводников были уже налицо ко времени взятия патента Маркони.
Г. Дюкретэ занялся разработкой приборов телеграфирования и конструировал полную станцию, пользуясь данными моей статьи, и сделал некоторое усовершенствование в устройстве трубки Бранли. Трубка Дюкретэ сделана из слоновой кости. Электроды ее, два стержня из никеля, плотно входят в трубку. Расстояние между ними может изменяться по произволу и может быть регулируемо микрометрическим винтом, нарезанным на одном из стержней.
Вопросы о приоритете на новые изобретения в настоящее время часто весьма трудно разрешимы, вследствие того, что многие лица занимаются одновременно одним и тем же предметом, и могут решаться только формальным образом, по времени печатного опубликования работ.
Имея одинаковые приборы для телеграфирования без проводников с приборами Маркони, трудно и в дальнейшем разойтись с ним существенно. Так, в течение лета 1898 г. на Минном отряде продолжались опыты, подготовленные в течение весны этого года. Вибратор на станции отправления соединялся с сетью изолированных проводников, натянутых на мачтах и реях судна, в том расчете, что колебания, полученные в вибраторе, как показал еще Герц, распространяются по проволокам, связанным с вибратором, и таким образом увеличивается тело, испускающее колебания.
Те же проводники на станции приема служили проводниками, принимающими волну, и были тогда связаны с электродом трубки.
На двух судах были установлены приборы для телеграфирования, при этом на одной из станций разбился сосуд с маслом в вибраторе (рис. 7), однако действие приборов не ухудшилось. Это привело к мысли о бесполезности масла.
Сравнивая между собой вибраторы различных размеров и форм, мы пришли к заключению, что в присутствии сети и соединения с землею одного из электродов вибратора можно работать с самым малым вибратором Герца, т. е. производить разряд между двумя маленькими цилиндриками, оканчивающимися сферическими основаниями.
11. В Англии, в опытах военного ведомства, уменьшая размеры вибратора Риги, введенного Маркони (шары в 20 см диаметром), пришли к употреблению обыкновенного разрядника с шариками около 2—3 см диаметром. Маркони также принял этот разрядник и уничтожил масло. Опыты Маркони продолжались и приборы разнообразились. Были испытаны различные сети проводников на станции приема и на станции отправления. Были периоды времени, когда Маркони приписывал большое значение форме поднимаемых проводников, но потом постепенно все ухищрения были оставлены, и источник электрических колебаний был упрощен до одиночного проводника, -поднятого по возможности выше и связанного с одним из шариков обыкновенного разрядника; другой шарик разрядника соединяется с землею.
Существенными оказались только следующие обстоятельства: высота изолированного проводника, служащего источником колебаний на станции отправления, и приемного проводника на станции приема, возможная тождественность обоих проводников, что, вероятно, важно для резонанса, и хорошее соединение с землею на обеих станциях. Высота поднятия проводников доходила до 200 м и расстояние между станциями до 54 км. К весне 1899 г. было установлено сообщение с упрощенными приборами через Ламанш при высоте мачт в 50 м на расстоянии 45 км.
Таким образом, на современных станциях уже нет специального „вибратора", и электрические колебания образуются в самой проволоке в момент разряда, причем в образовании явления первостепенное участие принадлежит земле.
Если присоединить к разряднику только воздушный провод, не соединяя другого шарика разрядника с землею, то присутствие провода почти ничем не скажется, — получится такой же разряд, какой дает сама спираль.
Но, присоединяя землю, мы тотчас увидим существенное изменение в характере разряда. Разряд приобретает такой же вид, какой можно получить, присоединяя к разряднику Лейденскую банку обеими обкладками.
Присоединение одной только обкладки конденсатора будет отвечать первому случаю, т. е. соединению только изолированного провода.
Таким образом, вертикальный провод и земля образуют собою род конденсатора, колебательный разряд которого и служит источником электромагнитных волн в окружающей среде.
12. Что касается характера возмущений, произведенных таким электрическим колебанием, то можно ожидать, что они сохранят отчасти вид волн, возбужденных герцовым вибратором с вертикальною осью. Несомненно, к этим возмущениям присоединяются еще возмущения, идущие по поверхности земли, так сказать, волны на поверхности уровня электростатического потенциала земли, о чем свидетельствует необходимость соединения через трубку с землею приемного провода на станции и ослабляющее действие сравнительно низких предметов, встречающихся на пути колебаний, например, леса и мелких судов с металлической оснасткой.
Самый механизм возбуждения колебания в прямолинейной вертикальной проволоке можно с большим вероятием уподобить явлениям, происходящим в обыкновенной закрытой органной трубе.
Таким образом, возможная длина волны, возбужденной вертикальною проволокою, может равняться четверной длине самого провода или вообще должна удовлетворять равенству:

L=(2n-1) l /4

где L—длина, l — длина волны, а n — произвольное целое число.
Прилагаемые схемы (рис. 8 и 9) представляют соединение приборов на станции отправления и на станции приема.

 

В течение минувшего лета в опытах, произведенных нами, наряду с этим способом приема депеш был испытан еще другой, основанный на особом отношении чувствительной трубки к слабым электрическим колебаниям.
В одном из опытов между островами, окружающими Кронштадт, производимых ассистентом Минного офицерского класса Петром Николаевичем Рыбкиным и заведующим Кронштадтским крепостным телеграфом капитаном Троицким, оказалось, что снаряженные для опыта приборы не действовали. Не будучи уверенными в полной исправности их, попробовали включить в цепь трубки вместо реле обыкновенный телефон, чтобы на слух узнать о замыкании цепи, и тотчас услышали, что каждый разряд на станции отправления вызывает слабый треск в телефоне; легко можно было принять на-слух самую депешу.
Таким образом, оказалось, что трубка под действием слабого импульса временно, только в момент самого колебания, становится проводящей, но проводимость ее не сохраняется.
Дальнейшее изучение явления показало, что при сильных импульсах сопротивление трубки значительно меняется и сохраняет свою величину малого сопротивления, но при слабых импульсах стрелка чувствительного гальваноскопа, введенного в цепь трубки, чуть-чуть колеблется, но не меняет своего положения, при этом существует некоторая весьма малая проводимость трубки. Сопротивление ее 1000— 10000 Ом. Испытания, произведенные нами, показали, что при помощи телефона можно принимать депеши на расстояниях значительно больших, нежели при помощи реле и телеграфа при той же высоте мачт.
Особенно удобно принимать депеши на-слух, если на станции отправления спираль приводится в действие электролитическим прерывателем Венельта.
Вообще же в телефон отчетливо слышно, с какою частотой работает прерыватель на отправительной станции. Таким образом, можно отличить отправительные станции друг от друга, если их прерыватели работают с различною скоростью.
Наибольшее расстояние, на котором нам случалось работать е телефоном, было около 35 верст, причем на станции отправления (на1 миноносце) для подъема проводника длиною 50 саж. употреблялся змей. На станции приема, на берегу, проводник был поднят на мачту 8—9 саж. высотою. С телеграфным прибором (приборы были изготовлены Дюкретэ в Париже) мы достигали при аналогичных, но не тождественных условиях расстояний до 25 верст.
Приемная станция с телефоном, состоящая из одного элемента, телефона и трубки, настолько компактна и легка, что позволяет надеяться на употребление ее в качестве переносного прибора. Большая чувствительность этого способа позволяет употреблять малые размеры спирали для малых расстояний.
Такая комбинация была, между прочим, испытана нами минувшим, летом для переговоров между привязным воздушным шаром и землею. На земле приемный проводник поднимался на небольшую мачту и употреблялось обычное соединение с землею, а с шара проводник опускался книзу; роль земли на шаре играли алюминиевые листы, укрепленные вокруг корзины несколькими проволоками, натянутыми на оснастку шара для увеличения емкости.
Опыты Маркони в Англии осенью этого года дали наибольшее расстояние, достигающее до 150 км между прибрежными береговыми станциями.
В последней привилегии Маркони, взятой в Англии на имя Wireless Telegraph C°, введено следующее изменение. Приемный изолированный провод идет прямо в землю через первичную обмотку маленького трансформатора без железа (Тесла), трубка же включена- во вторичную обмотку (рис. 10). Достигнут ли большой успех только этим нововведением или есть что-нибудь еще неопубликованное, пока не известно.

Возбуждение трубки вторичным индуктированным колебанием введено еще прежде Лоджем в его опытах 1898 г., а употребление на станции приема трансформатора Тесла—американцем Фессенденом (R. Fessenden).
Компания Маркони в настоящее время устроила много станций на английском берегу Ламанша для опытов.
В газетных описаниях этих опытов неоднократно упоминалось о том, что есть возможность с данной станции по произволу направлять депешу на любую из соседних станций. Можно также четырем станциям, находящимся в общей сфере действий, переговариваться между собою попарно, не мешая друг другу. Подробности решения этой задачи до сих пор не опубликованы, однако можно рассчитывать, что, настраивая источник и приемник электрических колебаний в унисон, благодаря явлениям резонанса, на большом расстоянии можно вызвать действие только одного приемного аппарата, если предварительно все приемные приборы будут настроены различно.
Важное значение беспроводного телеграфа на море, ввиду того что ни туман, ни бури не мешают распространению электромагнитных волн, заставляет почти все правительства интересоваться этим новым применением электричества.
В настоящее время всюду производятся подобные опыты. Дружная работа многих лиц и значительные материальные средства, затрачиваемые на это дело, надо надеяться, скоро дадут хорошие результаты для более широкого применения нового способа телеграфирования и, может быть, поведут еще к новым научным открытиям в этой новой области учения об электричестве.