

Приемники Н. Теслы

Автор: Владимир Т. Поляков, RA3AAE

■ Все статьи на CQHAM.RU

■ Все статьи категории "[История радиолюбительства](#)"

Доклад, прочитанный 30.07.06 на слете "Угра-2006" клуба "RU-QRP"

Уважаемые коллеги, друзья и иностранные гости! Совсем недавно, 10 июля, мы отпраздновали 150-летие со дня рождения гениального ученого, изобретателя и инженера Николы Теслы. Хорошо известны его достижения в области электротехники: генераторы и моторы переменного тока, трансформаторы и высоковольтные ЛЭП. На них теперь основана вся энергетика.

По ряду причин менее известны его работы в области высокочастотных токов – фундамент радиотехники, а ведь Тесла продемонстрировал беспроводную передачу сигналов на несколько лет раньше Лоджа, Попова, Маркони и других исследователей. Его патенты перекрывают патенты Маркони, что признал Верховный суд США, но слишком поздно, в 1943 г.

Сам я обратился к изучению работ Теслы после ряда экспериментов с детекторными приемниками, проведенных просто так, ради удовольствия. Оказалось, что под Москвой возможен громкоговорящий прием нескольких радиостанций. Добиваясь максимальной передачи мощности из антенны в детектор, я выяснил, что надо отказаться от конденсатора настройки в антенном контуре и регулировать индуктивность до получения резонанса с емкостью антенны на принимаемой частоте. Полученная схема полностью совпала со схемой Теслы (фиг. 1)!

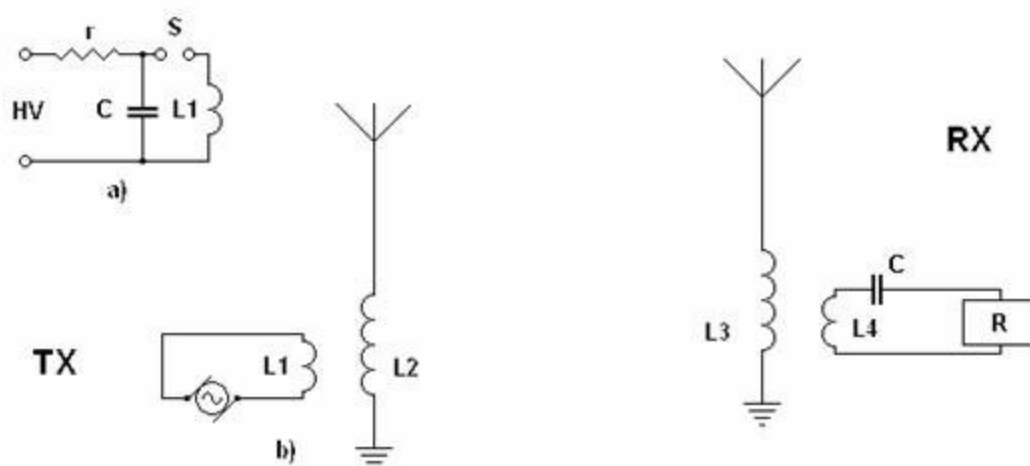


Fig. 1. N. Tesla Wireless

В системе беспроводной передачи Теслы использовано четыре (!) резонансных контура, настроенных на одну и ту же частоту — два на передающей, и два на приемной стороне. Первый контур образуют при замыкании искрового разрядника S конденсатор C и индуктивность первичной обмотки трансформатора $L1$ (фиг. 1,а). Для получения больших мощностей на сверхдлинных волнах Тесла рекомендовал использовать ВЧ альтернатор (фиг. 1,б). Второй контур образован индуктивностью вторичной обмотки $L2$ и емкостью антенны. Большое число витков вторичной обмотки и настройка ее в резонанс позволило получать на антенне огромные напряжения, характерные при работе на длинных волнах с электрически малыми антеннами.

На приемной стороне использован аналогичный резонансный трансформатор с контурами $L3_{\text{ант}}$ и $L4C$. Буквой R обозначено регистрирующее устройство, которое в те годы, собственно, и называлось ресивером. Ко всему приемнику это название было отнесено значительно позднее. Регистраторами могли служить когерер, электромагнитное реле, гальванометр, газоразрядная трубка и другие приборы.

Тесла усовершенствовал и широко распространенный в те годы когерер – трубочку с выводами, заполненную металлическими опилками. В обычном состоянии из-за тонкой пленки окиси на опилках сопротивление когерера велико, но при воздействии ВЧ колебаний происходят микроразряды, в толще опилок образуются проводящие цепочки и сопротивление когерера резко падает. Для возвращения в исходное состояние когерер надо встряхнуть, иначе проводящее состояние сохранится и по окончании сигнала. О. Лодж предложил для этой цели часовой механизм с молоточком, А. С. Попов – реле с молоточком на якоре, срабатывающее от сигнала, а Н. Тесла решил проблему оригинальнее всех, предложив вращающийся когерер! Пересыпающиеся опилки немедленно разрушали проводящие цепочки, как только прекращался сигнал.

Но это далеко не все его усовершенствования когерерного приемника. Он первым указал на необходимость настройки антенного контура в резонанс на частоту сигнала. Такая настройка не только позволяет согласовать антенну со входом приемника, но и радикально улучшает работу малой приемной антенны, позволяя ей извлекать из проходящей волны значительно (в Q раз, Q – добротность) большую мощность. Для настройки в цепь антенны совместно с когерером A включалась дополнительная регулируемая катушка индуктивности $L1$ (фиг. 2). При уменьшении сопротивления когерера от воздействия ВЧ колебаний ток от батареи B проходил через дроссель RFC, когерер A , катушку $L1$ и воздействовал на реле R .

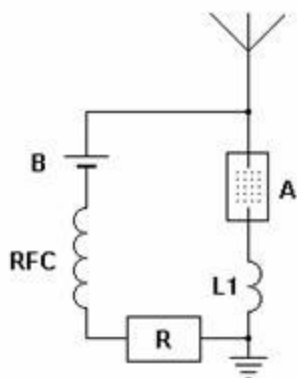


Fig. 2. Coherer RX (1895...1906)

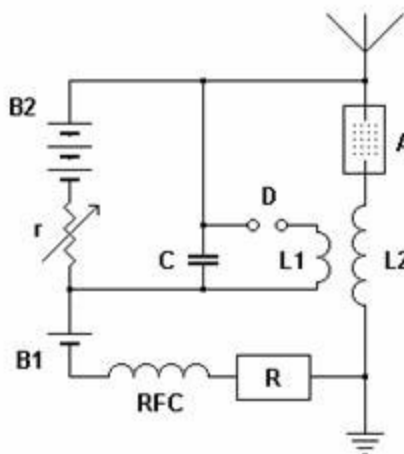


Fig. 3. N. Tesla Coherer RX (1899)

Тесла пошел еще дальше в усовершенствовании когерерного приемника. Он оснастил приемник маломощным встроенным гетеродином! В те годы было немного устройств для генерирования ВЧ колебаний, поэтому гетеродин был подобен искровому генератору, но вместо разрядника был использован механический прерыватель D (фиг. 3). К цепям гетеродина относятся батарея $B2$, реостат r , позволяющий установить оптимальный уровень гетеродинного сигнала, конденсатор C и первичная катушка трансформатора $L1$. При замыкании коммутатора D заряженный от батареи конденсатор C разряжался на катушку, создавая серию затухающих колебаний с частотой, примерно равной частоте принимаемого сигнала.

Братья Корум, исследователи работ Теслы, полагают, что ВЧ напряжение, выделяющееся на вторичной катушке $L2$, и приложенное к когереру A , подводит его к точке пробоя и постоянно поддерживает в активном состоянии. При этом возможен прием телеграфных сигналов на биениях, что радикально отличает тесловский режим работы когерера от режима "детектирования огибающей", использованного Бранли (изобретателем когерера), Лоджем, Поповым и Маркони. Корумы смоделировали этот приемник Теслы и экспериментально установили [1], что чувствительность его при включении гетеродина и том же самом когерере возросла на 66 дБ (с десятков милливольт до десятков микровольт)!

Но не только в этом причина хорошей работы и высокой чувствительности приемников Теслы (в Колорадо он регистрировал грозовые разряды на расстоянии многих сотен миль). Еще одна причина – в улучшении работы самой приемной антенны. На сверхдлинных волнах любая реальная антенна – электрически короткая, ее длина значительно меньше $\lambda/4$. Как показали недавние исследования [2 – 5], увеличить мощность, отбираемую антенной из приходящего поля, удастся путем интенсификации ее собственного ближнего поля, увеличения его объема. Именно ближнее поле, взаимодействуя с приходящей волной, заставляет поток энергии направляться в провод приемной антенны. Мне удалось показать это средствами элементарной математики в ряде статей, к сожалению, пока не переведенных на английский язык [6 – 8].

Усилить собственное поле малой приемной антенны и довести его до размеров поля нормальной, большой антенны можно несколькими способами:

1. Настроить антенну в резонанс и максимально увеличить добротность антенной цепи. Можно показать [6], что добротность должна возрастать обратно пропорционально кубу линейных размеров антенны.
2. Возбудить антенну колебаниями собственного гетеродина, синхронного по частоте и синфазного с приходящим сигналом.
3. Добавить в антенну принятые и усиленные колебания, т. е. использовать положительную обратную связь, или регенерацию.

Как мы уже видели, первые два способа Тесла применил на практике. Использовал ли он регенерацию? Ответ однозначен – да. В его дневнике ("Colorado Springs Notes") сохранилась схема когерентного регенеративного приемника (фиг. 4). На ней, правда, не показаны места подключения антенны и заземления (для Теслы это было очевидно, а нам остается только догадываться), зато предельно ясен принцип действия устройства, в котором когерер заменил разрядник обычного искрового генератора тех времен.

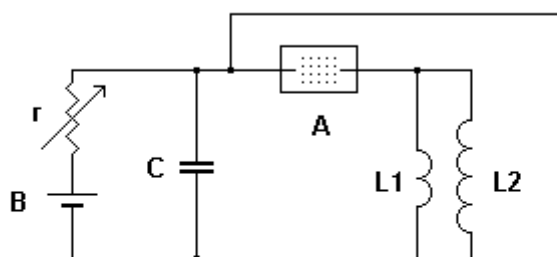


Fig. 4. N. Tesla Regenerator (1899)

Пока нет сигнала, сопротивление когерера A велико, конденсатор C заряжен до напряжения батареи B и колебания в первичном и вторичном контурах трансформатора, образованного катушками $L1$ и $L2$ отсутствуют. При поступлении сигнала сопротивление когерера уменьшается, разряд конденсатора C на катушку $L1$ дает колебания с частотой сигнала (помним, что контура настроены в резонанс!). Их амплитуда во вторичном контуре намного больше (поскольку больше число витков $L2$, и она настроена на ту же частоту). Это усиленное напряжение снова воздействует на когерер и еще более понижает его сопротивление. Налицо положительная обратная связь! По-видимому, регенератор Теслы можно было довести и до самовозбуждения (сделать обратную связь больше критической), регулируя напряжение батареи B и сопротивление реостата r . Начальный толчок к возбуждению колебаний могли дать пересыпающиеся опилки во вращающемся когерере, хаотически изменяющие его сопротивление.

Как бы то ни было, теперь нет сомнения, что регенератор изобретен по крайней мере на 15 лет раньше, чем это сделали Эдвин Армстронг (1914) и Ли де-Форест (1916). Им было проще – де-Форест уже предложил к тому времени трехэлектродную радиолампу (триод), и она широко использовалась как усилитель ВЧ колебаний.

Нам осталось рассмотреть еще один, гениальный по простоте, изяществу и совершенству синхронный гетеродинный приемник Н. Теслы [9]. Заявка на патент была подана еще в июне 1899 г. В приемнике использован электромеханический преобразователь частоты (фиг. 5,а), явившийся, по сути дела, первым в мире двойным балансным смесителем. На вращающемся барабане имелись проводящие полосы, через одну соединенные с верхней и нижней щетками, подключенными, в свою очередь, к антенне и заземлению. К другим двум щеткам, скользящим по полоскам, был присоединен накопительный конденсатор С.

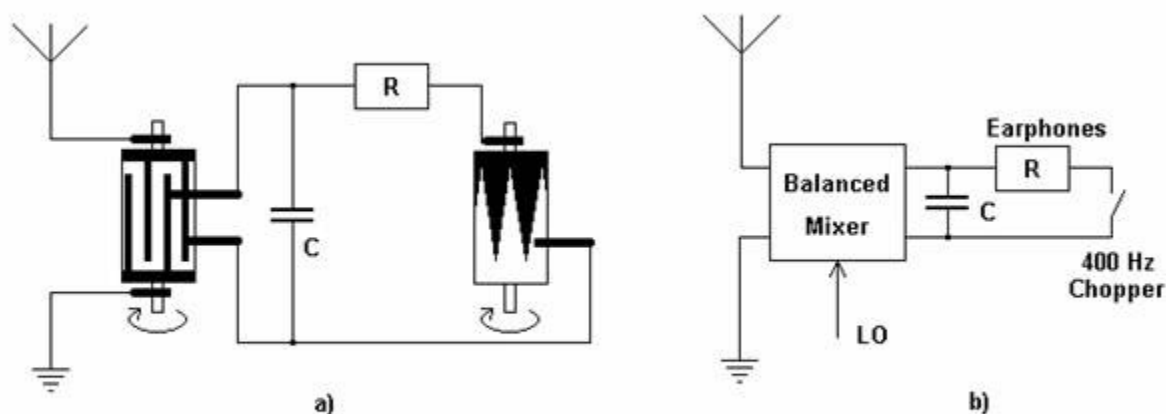


Fig. 5. N. Tesla Synchronous Receiver (1899), a) in old, b) in modern designation

При вращении барабана обкладки конденсатора поочередно замыкались то с антенной, то с заземлением. Если частота коммутации совпадала с частотой сигнала, то на конденсаторе накапливалось синхронно выпрямленное напряжение. Частота коммутации, равная произведению скорости барабана (числа оборотов в секунду) на число пар полосок, могла достигать десятков и даже сотен килогерц. Накопленное напряжение было пропорционально амплитуде сигнала и косинусу его фазы относительно фазы коммутации. В современных обозначениях схема приемника дана на фиг. 5,б.

Текст патента Теслы содержит описание двух особенностей приемника, радикально отличающих его от всех других радиоприемников того времени. Во-первых, это большая чувствительность. Конденсатор накапливает заряд в течение многих периодов слабого сигнала. В результате, напряжение на нем устанавливается близким к ЭДС сигнала в антенне. Разряд конденсатора на регистрирующее устройство R, например, телефоны, происходит также периодически, с помощью второго барабана, коммутирующего цепь телефонов со звуковой частотой. Перемещая щетку на втором барабане вверх и вниз, можно регулировать скважность звуковых импульсов, т. е. постоянную времени разрядной цепи. Как показывает практика [10], чувствительность хороших телефонов может быть лучше 10 мкВ, а во времена Теслы уже умели делать хорошие телефоны! Следовательно, такого же порядка получалась и чувствительность всего приемника. Согласитесь, что эта цифра впечатляет!

Другая особенность приемника – его огромная селективность. Если частота сигнала не совпадает с частотой коммутации первого барабана (не равна частоте местного гетеродина, говоря современным языком), то конденсатор просто не накопит никакого заряда, поскольку на него будут приходить разнополярные импульсы. Увеличивая емкость конденсатора, удастся сузить полосу пропускания хоть до нескольких герц! По сути, этот приемник – узкополосный синхронный фильтр, настроенный на частоту сигнала. В нем нет детектирования как такового, а есть лишь преобразование частоты сигнала в нулевую, т. е. в постоянный ток. То же самое мы делаем и в современных приемниках прямого преобразования, получая замечательные результаты. Ближе всего схема Теслы к современному фазофильтровому приемнику, являясь его прототипом.

Из "глубины веков" Тесла дает нам и еще один совет – установить синхронный фильтр на входе приемника. Насколько мне известно, такое решение еще не использовалось в

радиотехнике, но сулит огромные выгоды, обещая значительно увеличить реальную селективность любого современного радиоприемника.

Литература

1. K. L. Corum and J. F. Corum. Tesla`s Colorado Sprigs Receivers. <http://teslasociety.com/teslarec.pdf>
 2. B. Beaty. Energy-sucking Radio Antennas, N. Tesla`s Power Receiver. <http://www.amasci.com/tesla/tesceive.html>
 3. B. Beaty. More Musing On Energy-sucking Radio Antennas. <http://www.amasci.com/tesla/tescv2.html>
 4. J. F. Sutton and G. C. Spaniol. "Black Hole" Antenna. <http://www.unusualresearch.com/Sutton/sutton.htm>
 5. U.S. Patent # 5,296,866 "Active Antenna". NASA GSC-13449.
 6. В. Поляков. Приемная антенна – это "черная дыра"? <http://www.qrp.ru/bh.zip>
 7. В. Поляков. О ближнем поле приемной антенны. CQ-QRP, # 8, Oct. 2005, p. 10 – 18. Схемотехника 2006, № 3, с. 35–37 и № 4, с. 38–40.
 8. В. Поляков. Секрет простых регенераторов 20-х годов. CQ-QRP, # 11, April, 2006, p. 32 – 35. Схемотехника 2006, № 7, с. 14, 15.
 9. U.S. Patent # 685,955. N. Tesla. "Apparatus for utilizing effects transmitted from a distance to a receiving device through natural media". Patented Nov. 5, 1901.
 10. В. Поляков. Какая чувствительность у ваших телефонов? CQ-QRP, # 10, Feb. 2006, p. 16 – 19.
- 23 августа 2006 г. Владимир Т. Поляков, RA3AAE