

8. Lupanchuk V.Yu., Zaitsev A.V. Development of Navigation Methods in Problems of Determining the Current Situation of Dynamic Objects in the Surrounding Space // Нобелевский конгресс «Наука, технологии, общество и международное нобелевское движение». Тамбов: МИНЦ «Нобелистика», 2017. Вып. 6. С. 437–442.

### Literatura

1. Avgustov L.I., Babichenko A.V., Orekhov M.I., Sukhorukov M.I., Shkred V.K. Navigatsiya letatel'nykh apparatov v okolozemnom prostranstve / pod red. G.I. Dzhandzhgavy. M.: ООО “Nauchtekhlitzdat”, 2015. 421 s.
2. Bershteyn L.S., Melekhin V.B. Planirovanie povedeniya intellektual'nogo robota. M.: Energoatomizdat, 1994. 238 s.
3. Kib N.A., Lupanchuk V.Yu. Formirovanie bazy ob"ektovogo sostava zemnoy poverkhnosti pri kompleksnoy obrabotke materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli // Problemy effektivnosti i bezopasnosti funktsionirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh i informatsionnykh sistem: sb. tr. XXXVII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Serpukhov: FVA RVSN, 2018. Ch. 2. S. 127–131.
4. Kib N.A., Lupanchuk V.Yu., Kuznetsov O.I. Kompleksnyy podkhod k obrabotke materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli // Nejrokompyutery i ikh primenenie: sb. tez. i dokl. XVI Vserossijskoj nauchnoj konferentsii. M.: MGPPU, 2018. S. 156.
5. Lupanchuk V.Yu. Razvitie metodov navigatsionnoy kartografii dlya kontrolya pozitsionirovaniya robototekhnicheskikh kompleksov v prostranstve // Vestnik Moskovskogo aviationskogo instituta. M.: MAI, 2018. T. 25, № 1. S. 132–142.
6. Lupanchuk V.Yu., Goncharov V.M. Sposob obrabotki informatsii v kompleksirovannoy sisteme nazemnoy navigatsii spetsial'nogo transport-nogo sredstva // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2018. Vyp. 4. S. 102–114.
7. Stepanov O.A. Osnovy teorii otsenivaniya s prilozheniyami k zadacham obrabotki navigatsionnoy informatsii. Ch. 1: Vvedenie v teoriyu otsenivaniya. SPb.: GNTS RF TSNII “Elektropribor”, 2009. 989 s.
8. Lupanchuk V.Yu., Zaitsev A.V. Development of Navigation Methods in Problems of Determining the Current Situation of Dynamic Objects in the Surrounding Space // Nobelevskiy kongress “Nauka, tekhnologii, obshchestvo i mezhdunarodnoe nobelevskoe dvizhenie”. Tambov: MINTS “Nobelistsika”, 2017. Vyp. 6. S. 437–442.

DOI: 10.25586/RNUV9187.19.01.P.042

УДК 621.396.67

**В.Т. Поляков, О.В. Попченко, Е.А. Тесла, М.В. Нагорняк**

---

### ВЕРТИКАЛЬНАЯ АНТЕННА С ДВУМЯ ИСТОЧНИКАМИ

---

Рассмотрена вертикальная антенна с двумя источниками, где второй источник заменяет традиционную удлиняющую катушку индуктивности. Обсуждаются некоторые положительные свойства такой антенны.

**Ключевые слова:** антенна, источники сигнала, удлиняющая катушка.

Поляков В.Т., Попченко О.В., Тесла Е.А., Нагорняк М.В. Вертикальная антенна...

V.T. Polyakov, O.V. Popchenko, E.A. Tesla, M.A. Nagorniyak

### VERTICAL ANTENNA WITH TWO SOURCES

A vertical antenna with two sources is considered, where the second source replaces the traditional loading coil. Some positive properties of such an antenna are discussed.

*Keywords:* antenna, signal sources, loading coil.

Рассмотрена укороченная вертикальная антенна КВ-диапазона 40 м. Достоинством вертикальных антенн является благоприятная для дальней связи диаграмма направленности (ДН), обеспечивающая излучение и прием под небольшими углами к горизонту, являющаяся в то же время круговой по азимуту и обеспечивающая связь в любых направлениях.

Полноразмерный четвертьволновый вертикальный антенный элемент имел бы высоту 10 м, что неудобно для портативных радиостанций и для работы в полевых условиях. В таких случаях используют укороченные вертикальные штыревые антенны. Они имеют значительную реактивную (емкостную) составляющую входного сопротивления, которая должна быть скомпенсирована для настройки антенны в резонанс и согласования ее с активным выходным сопротивлением передатчика, обычно равным 50 Ом. По мере укорочения антенны эта реактивная составляющая быстро возрастает, а активная составляющая, напротив, падает.

Традиционно реактивную (емкостную) составляющую входного сопротивления компенсируют индуктивностью «удлиняющей» катушки, включенной в основания вертикала в точке питания. Распределение тока в антенне при этом близко к треугольному, а действующая высота получается около половины геометрической высоты. Несколько лучшие результаты дает размещение удлиняющей катушки на некоторой высоте над основанием вертикала. Это увеличивает «площадь тока», делая его равномерным в нижней части антенны и оставляя треугольным в верхней, что хорошо видно на эскизе антенны (рис. 1-*a*).

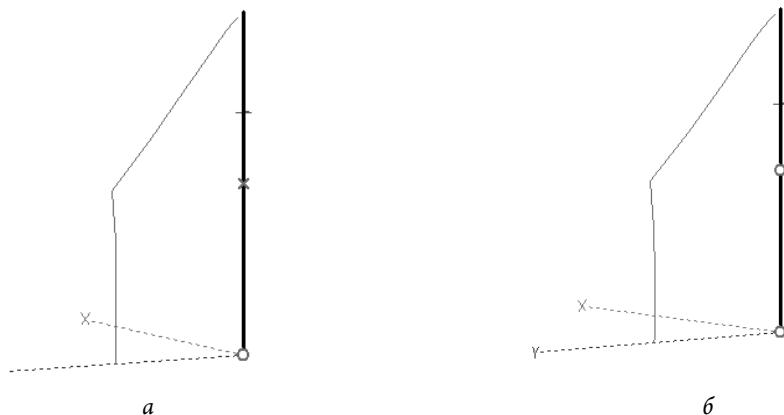


Рис. 1. Геометрия и распределение тока в моделях антенны:

*а* – традиционной; *б* – модифицированной (с двумя источниками)

Антенна смоделирована в программе MMANA на «круглой» частоте 7,0 МГц для удобства масштабного пересчета ее размеров на любой другой диапазон. Основной элемент антенны – вертикальный штырь высотой 4 м. Программа позволяет ввести диаметр штыря (22 мм) и материал, из которого он изготовлен (алюминиевая труба). Источники сигнала на рисунке 1 показаны кружками (второй вывод источника заземлен), удлиняющая катушка (нагрузка) – косым крестиком.

В середине антенны на высоте 2 м в основной элемент включена удлиняющая катушка с добротностью 200. Ее индуктивность, рассчитанная программой, оказалась равной 19 мкГн. Реактивная составляющая входного сопротивления легко убирается до нуля точкой подстройкой индуктивности удлиняющей катушки.

Расчет этой (классической) антенны, установленной на реальной земле с параметрами: диэлектрическая проницаемость 10 и проводимость 0,01 См/м – дал вполне ожидаемый результат. Входное сопротивление низкое – 12,5 Ом, выигрыш отрицательный – 1 дБ, что говорит о потерях главным образом в удлиняющей катушке. Заземление программа считает идеальным.

Диапазонные свойства антенны отображены на рис. 2 (КСВ) и рис. 3 (ДН).

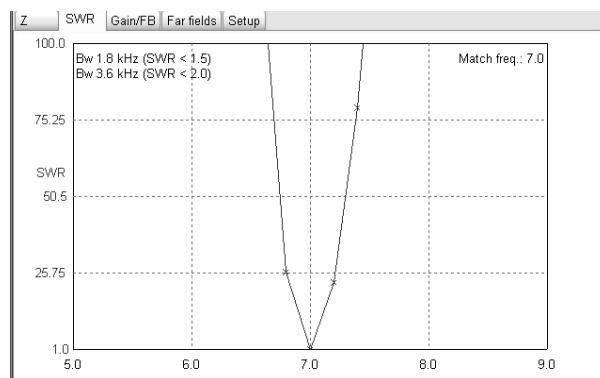


Рис. 2. Частотная зависимость КСВ антенны с удлиняющей катушкой

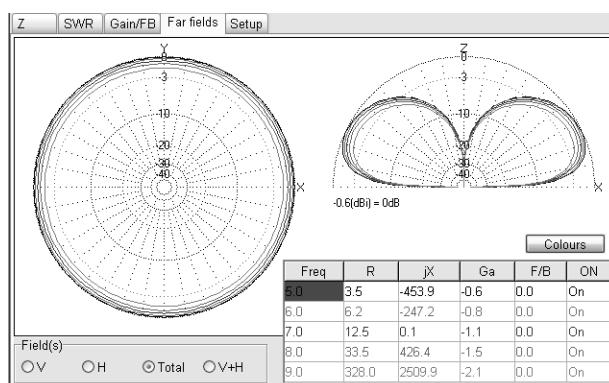


Рис. 3. Частотная зависимость ДН, входного сопротивления и выигрыша относительно изотропного излучателя Ga антенны с удлиняющей катушкой

Поляков В.Т., Попченко О.В., Тесла Е.А., Нагорняк М.В. Вертикальная антенна...

В данной антенне полоса частот не превосходит 3,6 кГц, а эквивалентная добротность получается около 2000, следовательно, антенна требует подстройки при работе в некотором диапазоне частот, и это ее главный недостаток.

**Суть предложения** данной статьи состоит в замене удлиняющей катушки вторым источником сигнала (второй точкой питания от того же передатчика). Очевидно, что для сохранения прежнего тока в антенну напряжение и фаза второго источника должны быть примерно такими же, как и падение напряжения на исключаемой удлиняющей катушке (теорема об эквивалентном источнике в теории цепей). Многократное моделирование позволило подобрать эти параметры и оптимизировать их. Эскиз полученной антенны показан на рис. 1-б, а параметры второго источника таковы: напряжение 17 В (у первого источника 1 В), фаза – 95°, что примерно соответствует напряжению на индуктивности удлиняющей катушки и опережению напряжения на ней относительно тока.

Распределение тока в антенне и ДН практически не изменились, но радикально увеличилась широкополосность антенны! Теперь КСВ не превосходит 1,5 в широкой полосе частот от 5 до 8 МГц (рис. 4). Обусловлен этот замечательный результат, по всей видимости, тем, что соотношение амплитуд и фаз источников остается постоянным в данной полосе частот.

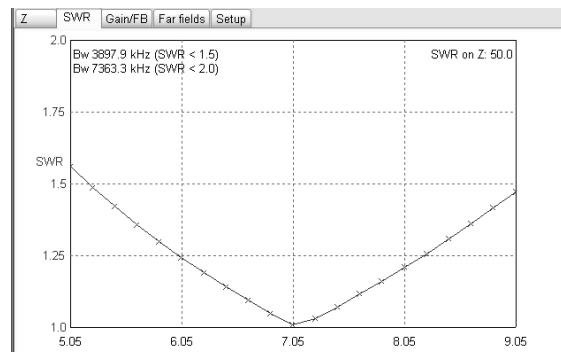


Рис. 4. Частотная зависимость КСВ антенны с двумя источниками

ДН антенны изменилась незначительно, она остается практически неизменной в указанной полосе частот, а выигрыш возрос почти на 2 дБ (рис. 5).

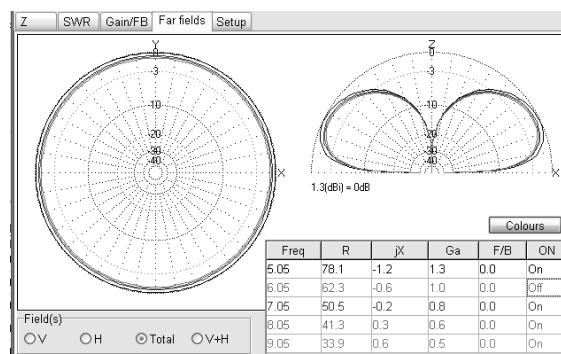


Рис. 5. Частотная зависимость ДН, входного сопротивления и выигрыша относительно изотропного излучателя Ga антенны с двумя источниками

Особо надо рассмотреть входное сопротивление. По первому источнику в основании вертикала  $R_{bx} = 50 \text{ Ом}$  и оно практически чисто активное. Поэтому первым источником может служить выход передатчика, соединенный с основанием вертикала 50-омным кабелем произвольной длины. Никаких согласующих устройств здесь не требуется.

По входному сопротивлению второго источника имеем отрицательную активную компоненту  $-40 \text{ Ом}$  и большую реактивную (емкостную) компоненту  $830 \text{ Ом}$ . Это означает, что второй источник не отдает энергию, а, напротив, получает ее от первого, основного, источника антенны. Поэтому при передаче второй источник должен соединяться с первым, чтобы обеспечить возврат мощности. Кроме того, надо обеспечить 17-кратное повышение напряжения на втором источнике и 95-градусный фазовый сдвиг.

Вопрос о том, как это сделать в передающей антенне, авторы пока не прорабатывали, предположительно требуется широкополосный повышающий трансформатор и широкополосный фазовращатель. С приемной же антенной все несколько яснее. К основанию вертикала надо подключить 50-омный вход усилителя радиочастоты (УРЧ). Его выходное сопротивление должно быть малым, а усиление регулироваться в пределах  $1 \div 25$ . Сейчас есть такие ОУ, но усилитель можно собрать и на дискретных компонентах. Выход УРЧ соединяется с местом включения второго источника через широкополосный фазовращатель и, кроме того, со входом основного приемника. Получается антenna с регенерацией сигнала. Регулируя усиление, можно подобрать необходимую степень регенерации сигнала в антенне.

**Обсуждение.** Регенеративные антенны были изобретены Николой Теслой еще в позапрошлом веке и использовались им (на основе искровых генераторов) для повышения чувствительности его беспроводных устройств [8; 14; 15]. В начале эпохи ламповой техники Эдвин Армстронг изобрел регенератор – простой одноламповый радиоприемник, единственный колебательный контур которого был тесно связан с антенной. Кроме того, в тот же контур с помощью катушки связи подавался усиленный сигнал из анодной цепи лампы. Благодаря положительной обратной связи резко возросли и чувствительность, и селективность приемника.

Затем регенеративная рамочная антenna была предложена нашим соотечественником Владимиром Козьмичом Зворыкиным (одним из изобретателей телевидения) в 20-х годах прошлого века, но специального названия не получила, хотя на нее был выдан американский патент. Впоследствии регенеративные антенны, как рамочные, так и лучевые, много лет применялись в регенеративных приемниках без УРЧ [11].

В работах одного из авторов настоящей статьи [3; 4; 7; 12] элементарными средствами показано, что принятая мощность пропорциональна объему собственного ближнего поля приемной антенны. Этот объем в пределе может достигать значения  $(\lambda/3)^3$  независимо от размеров самой антенны при условии, что они малы по сравнению с длиной волны  $\lambda$ . Однако в реальности объем ближнего поля гораздо меньше из-за потерь в антенне, заземлении, согласующем устройстве и т.д.

В простых регенеративных приемниках обратную связь подают на входной контур [11; 12]. Если он тесно связан с антенной ( $K_{cb} = 1$ ), то сигнал регенерируется не только в контуре, но и в антенне. Токи и напряжения в ней возрастают, увеличивается объем собственного ближнего поля, а с ним и эффективная площадь  $S_{\text{эфф}}$ . Интерференция собственного и приходящего полей поворачивает вектор Умова – Пойнтинга в окрест-

Поляков В.Т., Попченко О.В., Тесла Е.А., Нагорняк М.В. Вертикальная антенна...

ности антенны в направлении ее провода [7]. Если коэффициент связи контура с антенной  $K_{cb} \ll 1$ , то лишь малая часть регенерированного в контуре сигнала попадает обратно в антенну и увеличение ее эффективной площади незначительно.

Такие соображения привели к мысли о полезности подачи в антенну усиленного сигнала обратной связи [10]. Эти и другие (в том числе исторические) аспекты регенерации сигналов более подробно рассмотрены в докладе «Новое в регенерации сигналов» [6].

Область применения регенеративных антенн весьма обширна. Например, на конференциях в Российском новом университете были предложены концепции спутникового радиовещания и распределенных вычислительных систем [1; 2; 13]. Задача улучшения параметров приемных устройств при одновременном уменьшении габаритов в них очевидна и весьма актуальна.

Дальнейшее усовершенствование метода регенерации сигнала в антenne состоит в использовании для обратной связи не принятого и усиленного, а синхронизированного с ним чистого от помех сигнала местного гетеродина. Процесс получения такого сигнала достаточно хорошо разработан [9]. Авторы надеются, что это дело недалекого будущего [5].

### Литература

1. Добрынин К.Д., Поляков В.Т. Концепция спутниковой распределенной вычислительной системы // Цивилизация знаний: российские реалии: труды Семнадцатой Международной научной конференции (Москва, 22–23 апреля 2016 г.). М.: РосНОУ, 2016. С. 343.
2. Лахманова Е.М., Поляков В.Т. Два способа повышения чувствительности бытовых радиовещательных УКВ ЧМ приемников // Цивилизация знаний: российские реалии: труды Семнадцатой Международной научной конференции (Москва, 22–23 апреля 2016 г.). М.: РосНОУ, 2016. С. 346.
3. Поляков В. «Мистика» коротких антенн // Радио. 2000. № 8. С. 18–19; № 9. С. 46.
4. Поляков В. «Мистика» коротких антенн продолжается... // Радио. 2004. № 11. С. 21–22. URL: <ftp://ftp.radio.ru/pub/2004/11/mystic.zip> (дата обращения: 28.01.2019).
5. Поляков В.Т. Антенны с регенерацией сигнала // Цивилизация знаний: российские реалии: труды Девятнадцатой Международной научной конференции (Москва, 20–21 апреля 2018 г.). М.: РосНОУ, 2018. С. 726.
6. Поляков В. Новое в регенерации сигналов // CQ-QRP. 2010. № 30. С. 4–10.
7. Поляков В.Т. О ближнем поле приемной антенны // Схемотехника. 2006. № 3. С. 35–37; № 4. С. 38–40.
8. Поляков В.Т. Приемники Н. Теслы // CQ-QRP. 2006. № 14. С. 24–27.
9. Поляков В.Т. Радиовещательные ЧМ приемники с фазовой автоподстройкой. М.: Радио и связь, 1983.
10. Поляков В. Регенеративные антенны // CQ-QRP. 2011. № 35. С. 8–14.
11. Поляков В.Т. Секрет простых регенераторов 20-х годов // Схемотехника. 2006. № 7. URL: <http://nice.artip.ru/sekret-prostyh-regeneratorov-20-h-godov> (дата обращения: 28.01.2019).
12. Поляков В.Т. Техника радиоприема: простые приемники АМ сигналов. М.: ДМК Пресс, 2001.
13. Поляков В.Т., Сахарова М.О. О возможности непосредственного УКВ ЧМ радиовещания с искусственного спутника Земли // Цивилизация знаний: российские реалии: труды Семнадцатой Международной научной конференции (Москва, 22–23 апреля 2016 г.). М.: РосНОУ, 2016. С. 350.

14. Peterson G. Regeneration Revisited // TFC Books. URL: <http://www.tfcbooks.com/articles/tws5.htm> (date of the application: 28.01.2019).
15. Polyakov V.T. N. Tesla Receivers // QRP Quarterly. 2007. Vol. 48, № 1. P. 61–63.

### Literatura

1. Dobrynin K.D., Polyakov V.T. Kontseptsiya sputnikovoy raspredelennoy vychislitel'noy sistemy // Tsivilizatsiya znaniy: rossiyskie realii: trudy Semnadtsatoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (g. Moskva, 22–23 aprelya 2016 g.). M.: RosNOU, 2016. S. 343.
2. Lakhmanova E.M., Polyakov V.T. Dva sposoba povysheniya chuvstvitel'nosti bytovykh radioveshchatel'nykh UKV CHM priemnikov // Tsivilizatsiya znaniy: rossiyskie realii: trudy Semnadtsatoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (g. Moskva, 22–23 aprelya 2016 g.). M.: RosNOU, 2016. S. 346.
3. Polyakov V. "Mistika" korotkikh antenn // Radio. 2000. № 8. S. 18–19; № 9. S. 46.
4. Polyakov V. "Mistika" korotkikh antenn prodolzaetsya... // Radio. 2004. № 11. S. 21–22 . URL: <ftp://ftp.radio.ru/pub/2004/11/mystic.zip> (data obrashcheniya: 28.01.2019).
5. Polyakov V.T. Antenny s regeneratsiey signala // Tsivilizatsiya znaniy: rossiyskie realii: trudy Devyatnadtsatoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (g. Moskva, 20–21 aprelya 2018 g.). M.: RosNOU, 2018. S. 726.
6. Polyakov V. Novoe v regeneratsii signalov // CQ-QRP. 2010. № 30. S. 4–10.
7. Polyakov V.T. O blizhnem pole priemnoy antenny // Skhemotekhnika. 2006. № 3. S. 35–37; № 4. S. 38–40.
8. Polyakov V.T. Priemniki N. Tesly // CQ-QRP. 2006. № 14. S. 24–27.
9. Polyakov V.T. Radioveshchatel'nye CHM priemniki s fazovoy avtopodstroykoj. M.: Radio i svyaz', 1983.
10. Polyakov V. Regenerativnye antenny // CQ-QRP. 2011. № 35. S. 8–14.
11. Polyakov V.T. Sekret prostykh regeneratorov 20-kh godov // Skhemotekhnika. 2006. № 7. URL: <http://nice.artip.ru/sekret-prostyh-regeneratorov-20-h-godov> (data obrashcheniya: 28.01.2019).
12. Polyakov V.T. Tekhnika radiopriema: prostye priemniki AM signalov. M.: DMK Press, 2001.
13. Polyakov V.T., Sakharova M.O. O vozmozhnosti neposredstvennogo UKV CHM radioveshchaniya s iskusstvennogo sputnika Zemli // Tsivilizatsiya znaniy: rossiyskie realii: trudy Semnadtsatoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (g. Moskva, 22–23 aprelya 2016 g.). M.: RosNOU, 2016. S. 350.
14. Peterson G. Regeneration Revisited // TFC Books. URL: <http://www.tfcbooks.com/articles/tws5.htm> (date of the application: 28.01.2019).
15. Polyakov V.T. N. Tesla Receivers // QRP Quarterly. 2007. Vol. 48, № 1. P. 61–63.