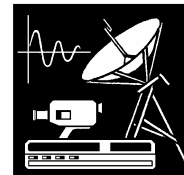


РАДИОЭЛЕКТРОНИКА



УДК 621.396.6

ОПТИМИЗАЦИЯ АКТИВНЫХ АНТЕНН ШУНТИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

М.А.Хаванова, Р.В.Петров

OPTIMIZATION OF ACTIVE ANTENNAS BY SHUNT ELEMENTS

M.A.Khavanova, R.V.Petrov

Институт электронных и информационных систем НовГУ, hma41@mail.ru

Рассмотрен вопрос применения шунтовых вибраторов для создания миниатюрных активных антенн. Получены формулы для расчета характеристик шумовой температуры активной антенны с шунтовым вибратором. Показана возможность эффективного применения шунтирующих элементов, в том числе магнитоэлектрических, для миниатюризации размеров антенных решеток. Применение магнитоэлектрических шунтирующих вибраторов позволит в перспективе уменьшить массогабаритные характеристики фазированных антенных решеток, улучшить их шумовые характеристики, повысить чувствительность.

Ключевые слова: активная антенна, шунтовой вибратор, магнитоэлектрический гиратор

This paper considers the question of application of shunt dipoles for designing miniature active antennas. The formulas for calculating the characteristics of the noise temperature of an active antenna with a shunt dipole were obtained. For miniaturization of the antenna arrays' sizes the possibility of effective application of shunting elements including electromagnetic ones was shown. Application of magnetoelectric shunt vibrators will allow us to reduce the weight and size of phased antenna arrays and to improve their noise characteristics and sensitivity.

Keywords: active antenna, shunt dipole, magnetoelectric gyrator

Вступление

Ключ к успеху реализации любого радиопередающего или приемного устройства в современном мире — это его габаритные размеры, при качественной работе всех узлов входящих в состав радиоаппаратуры. Миниатюризация антенн и, в частности, антенных решеток в этой связи является в настоящий момент важнейшей задачей, т.к. массогабаритные размеры фазированных антенных решеток составляют значительную, если не основную часть объема радиолокационных станций. Миниатюризация антенн за полвека прошла значительный путь [1-3]. В связи с повсеместной тенденцией миниатюризации радиоэлектронных устройств в последние десятилетия наметилась новая отрасль антенной техники — создание миниатюрных или интегральных приемных антенн. В качестве таких антенн подразумеваются системы, в которых используются электронные усилительные устройства (например, транзисторные), непосредственно связанные с излучающими элементами. Совмещение активного элемента с излучателем позволяет создать эффективные приемные антенны, размеры которых значительно меньше резонансных

излучателей полуволновой длины. Потребность в таких антеннах остро ощущается во всех диапазонах от метровых и дециметровых до миллиметровых волн. Для их создания возможно использование существующих для этих диапазонов транзисторов в качестве активных элементов.

Целью настоящей статьи является обоснование возможности эффективного применения шунтирующих элементов, в том числе магнитоэлектрических (МЭ), для миниатюризации размеров антенных решеток.

Активная антенна

Активная антенна состоит из пассивной антенны (излучателя) и усилителя. В зависимости от схемы их соединения можно выделить приемные активные антенны двух видов: первый — антенны с усилителем (рис.1а), второй — антенны со встроенными трансформаторами (пассивная антенна является для усилителя не только источником сигнала, но и цепью обратной связи) (рис.1б).

Рассмотрим вопрос создания короткой приемной вибраторной или щелевой антенны первого типа.

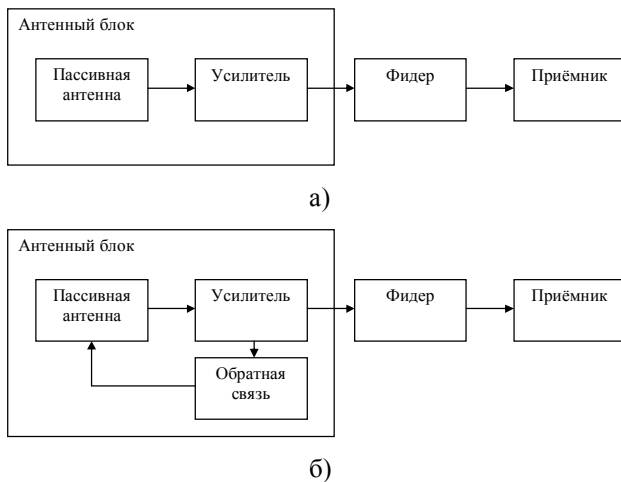


Рис.1. Структурная схема активной антенны

Разница в КНД полуволновой антенны и короткой ($\ell \leq \lambda/8$) составляет 0,4-1,0 [1,2]. Близкие значения КНД обеспечивают почти полное равенство эффективных площадей рассеяния, несмотря на значительное различие в размерах. Однако плохое согласование с фидером ограничивает применение коротких антенн. Малая активная составляющая входного импеданса такой антенны сравнима с сопротивлением потерь в согласующей цепи. В результате КПД антенны получается низким. Большая активная составляющая входного импеданса затрудняет согласование в диапазоне частот.

Непосредственное подключение усилителя к антенне позволяет избежать потерь в согласующей цепи и усилить слабый сигнал, наводимый в короткой антенне. Отношение сигнал/шум на выходе усилителя меньше, чем в пассивной антенне, так как к принятым шумам неизбежно добавляются собственные шумы усилителя.

Шумовая температура приемной антенны T_c определяется как [4]:

$$T_c = T_A + T_y + \frac{T_n}{K_p}, \quad (1)$$

где T_A — шумовая температура пассивной антенны; T_y — шумовая температура усилителя; T_n — шумовая температура приемника; K_p — коэффициент передачи усилителя по номинальной мощности.

Если $K_p \gg 1$, то вклад шумов приемника в шумовую температуру системы становится пренебрежимо малым. При этом

$$T_c = T_A + T_y. \quad (2)$$

Вклад усилителя в шумовую температуру системы T_c зависит от входного импеданса пассивной антенны:

$$T_y = T_{y0} + T_1 \frac{(R_c - R_{\text{опт}})^2 + (x_c - x_{\text{опт}})^2}{R_A - R_{\text{опт}}}, \quad (3)$$

$$T_{y0} = 2T_0 \{g_{\text{ш}} r_{\delta} + R_{\text{ш}} g_{11} + R_{\text{опт}} [g_{\text{ш}} + R_{\text{ш}} (b_{11}^2 + g_{11}^2)]\}, \quad (4)$$

$$T_1 = T_0 \sqrt{(r_{\delta} + R_{\text{ш}} + g_{\text{ш}} r_{\delta}^2) [g_{\text{ш}} + R_{\text{ш}} (g_{11}^2 + b_{11}^2)] - R_{\text{ш}}^2 b_{11}^2}. \quad (5)$$

Шумовая температура усилителя достигает минимального значения при вполне определенном оптимальном значении импеданса $r_{\text{опт}}$ антенны:

$$r_{\text{опт}} = R_{\text{опт}} + jx_{\text{опт}}, \quad (6)$$

$$R_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{r_{\delta} + R_{\text{ш}} + g_{\text{ш}} r_{\delta}^2 - R_{\text{ш}}^2 b_{11}^2 / [g_{\text{ш}} + R_{\text{ш}} (b_{11}^2 + g_{11}^2)]}{g_{\text{ш}} + R_{\text{ш}} (b_{11}^2 + g_{11}^2)}}, \quad (7)$$

$$x_{\text{опт}} = \frac{b_{11} R_{\text{ш}}}{g_{\text{ш}} + R_{\text{ш}} (b_{11}^2 + g_{11}^2)}. \quad (8)$$

Приведенные соотношения получены на основании шумовой эквивалентной схемы транзистора, данной в работах [4,5]. Здесь все обозначения даны, как элементы цепи устройств, аналогично в [5], считая антенну, как один из элементов [4].

В формулах (3)-(8) обозначено: $y_{11} = g_{11} + jb_{11}$. y_{11} и y_{21} — параметры транзистора в выбранном режиме:

$$R_{\text{ш}} = \frac{20I_{\text{э}0}}{|y_{21}|^2}; \quad g_{\text{ш}} = 20I_3 \left[(1 - \alpha_0) - \frac{I_k + I_{\text{э}0}}{I_3} \right]. \quad (9)$$

Входное сопротивление короткого вибратора имеет малую активную и большую емкостную составляющие, поэтому транзистор, подсоединенный непосредственно к короткой антенне, сильно шумит. Для значительного улучшения характеристик возможно применение шунтового вибратора. Теория и практическое применение шунтовых вибраторов, как известно, широко разработаны Г.З.Айзенбергом [6]. Шунт, добавленный к симметричному антенному вибратору, позволяет получить ряд новых положительных качеств. Основными из них являются: расширение рабочего диапазона волн (в сторону более длинных) за счет компенсации реактивной составляющей входных сопротивлений; уменьшение размеров вибратора; наличие точки нулевого потенциала, позволяющей осуществить питание антенны коаксиальным кабелем без применения специальных симметрирующих устройств. Наличие шунтовых вибраторов создает благоприятные условия для того, чтобы входное сопротивление менялось возможно меньше. Это позволяет, подбирая размеры вибратора, достигнуть хорошего согласования его входного сопротивления и волнового сопротивления фидера в широком диапазоне частот. Наличие шунта приводит к трансформации входного сопротивления в сторону его повышения. Это обстоятельство можно считать преимуществом, когда есть необходимость набирать синфазные решетки из шунтовых вибраторов и использовать высокоомные симметричные фидеры. При питании антенны коаксиальным фидером со сравнительно более низким волновым сопротивлением, наоборот, оно является недостатком.

Двухпроводный шунтовой вибратор показан на рис.2. Изменяя размеры g и d , можно получить заданный импеданс на нужной частоте.

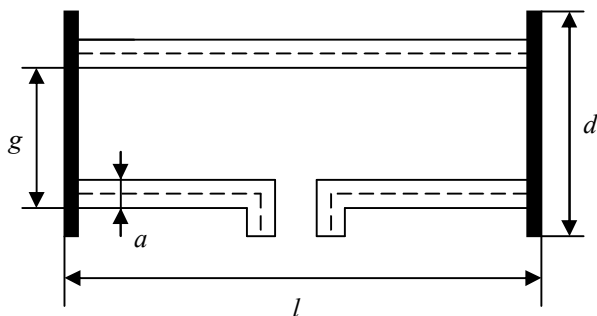


Рис.2. Двухпроводный шунтовый вибратор: a — ширина проводника, l — длина вибратора, d — диаметр шунта, g — расстояние между проводниками

В качестве шунтового вибратора допустимо использование МЭ гиратора [7,8]. В этом случае возможна как электронная подстройка волнового сопротивления, так и управление диаграммой направленности антенной решетки. Перспективность применения МЭ материалов для построения фазированных антенных решеток показана в работах [9-14].

Аналогичные результаты можно получить, используя в качестве пассивного излучателя линейную короткую щель ($l \ll \lambda/2$) в этих диапазонах. При этом удобно использовать шунтовую щель, возбуждаемую симметричными полосковыми линиями. Таким образом, изменяя параметры пассивного излучателя, можно получить хорошее шумовое согласование пассивной антенны с выбранным транзистором в заданном диапазоне длин волн и построить малогабаритную приемную активную антенну.

Заключение

Активные антенны с шунтирующими элементами являются перспективным направлением для дальнейшего развития техники СВЧ. Применение МЭ шунтирующих вибраторов позволит в перспективе уменьшить массогабаритные характеристики фазированных антенных решеток, улучшить их шумовые характеристики, повысить чувствительность.

Работа выполнена в рамках реализации государственных заданий высшим учебным заведениям в части проведения научно-исследовательских работ на 2014 год.

1. Flacheneker G, Landstorfer F., Lindenmeier H. Aktive Antennen in Frequenzbereich von 100 kHz bis 250 MHz // Nachrichten technishe Zeitschrift. 1971. Bd.24. P.231-236.
2. Сверхминиатюрные активные антенны // Радиоэлектроника за рубежом. 1988. Вып. 27.
3. Антенны / Под ред. Е.Фурсова. М.: Фолио, 2009. 121 с.
4. Фалькович С.Е., Музыка З.Н. Чувствительность радиоприемных устройств с транзисторными усилителями. М., Энергия, 1970. 128 с.
5. Радциг Ю.Ю., Кучерявенко Н.С. и др. Исследование активных антенн // Микроэлектроника. 1972. Вып.7. С.64-70.

6. Антенны УКВ / Под ред. Г.З.Айзенберг. М.: Радио и связь, 1977. 288 с.
7. Петров Р.В., Аверкин С.В., Филиппов А.В. Исследование эффекта гирации в магнитоэлектрическом резонаторе // Вестник НовГУ. Сер.: Техн. науки. 2010. №60. С.85-89.
8. Бичурин М.И. и др. Исследование магнитоэлектрического СВЧ гиратора // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. URL: www.science-education.ru/102-5370; www.rae.ru/snt/?section=content&op=show_article&article_id=6603.
9. Петров Р.В., Сринивасан Г. Проектирование магнитоэлектрической фазированной антенной решетки // Вестник НовГУ. Сер.: Техн. науки. 2010. №50. С.61-65.
10. Бичурин М.И., Петров Р.В., Татаренко А.С. Магнитоэлектрические СВЧ устройства для ФАР // Современные проблемы науки и образования. 2011. №4. URL: www.science-education.ru/98-4727
11. Бичурин М.И., Петров Р.В., Татаренко А.С. Применение магнитоэлектрических композитов для построения модулей ФАР // <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/projects/article-directory-to-okt2011/6-technics-sciences/27-electrical-engineer-radiotrician-telecommunication-and-electronics>, 2011.
12. Бичурин М.И., Петров Р.В., Татаренко А.С. Модули ФАР разработанные на основе магнитоэлектрических композитов // Сб. ст. 12 Междунар. науч.-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности». СПб., 2011. Т.1. С.75-77.
13. Петров Р.В., Хаванова М.А. Расчет диаграммы направленности антенны с магнитоэлектрическим излучателем // Вестник НовГУ. Сер.: Техн. науки. 2012. №67. С.25-29.
14. Petrov R.V., Bichurin M.I., Tatarenko A.S. Magnetolectric Microwave Module for Phased Array// PIERS Proceedings, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013. P.455-458.

References

1. Flacheneker G, Landstorfer F., Lindenmeier H. Aktive Antennen in Frequenzbereich von 100 kHz bis 250 MHz. Nachrichten technishe Zeitschrift. Bd 24 Nrs, 1971.
2. Sverkhminiatiurnye aktivnye anteny [Subminiature active antennas]. Radioelektronika za rubezhom [Radioelectronics in foreign countries], 1988, issue 27.
3. Fursova E. Antenny [Antennas]. Moscow, "Folio" Publ., 2009. 121 p.
4. Fal'kovich S.E. et al. Chuvstvitel'nost' radiopriemnykh ustroystv s tranzistornymi usiliteliymi [Sensitivity of radio receivers equipped with transistor amplifiers]. Moscow, "Energiya" Publ., 1970.
5. Radtsig Iu.Iu., Kucheriavenko N.S. et al. Issledovanie aktivnykh antenn [The study of active antennas]. Mikroelektronika – Russian Microelectronics, 1972, issue 7, pp. 64-70.
6. Aizenberg G.Z. Antenny UKV [VHF-UHF antennas]. Moscow, "Radio i svyaz" Publ., 1977. 288 p.
7. Petrov R.V., Averkina S.V., Filippov A.V. Issledovanie efekta giratsii v magnitoelektricheskom rezonatore [The research of gyration effect in magneto-electric resonator]. Vestnik NovGU. Ser.: Tekhnicheskie nauki – Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences, 2010, no. 60, pp. 85-89.
8. Bichurin M.I., Petrov R.V., Solov'ev I.N., Solov'ev A.N., Kovalenko D.V. Issledovanie magnitoelektricheskogo SVCh giratora [The study of magnetolectric microwave gyrator]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia – Modern problems of science and education, 2012, no. 2. Available at: www.science-education.ru/102-5370. www.rae.ru/snt/?section=content&op=show_article&article_id=6603.
9. Petrov R.V., Srinivasan G. Proektirovanie magnitoelektricheskoi fazirovannoi antennoi reshetki [Design of magnetolectric phased antenna array]. Vestnik NovGU. Ser.: Tekhnicheskie nauki – Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences, 2009, no. 50, pp. 61-65.

10. Bichurin M.I., Petrov R.V., Tatarenko A.S. Magnitoelektricheskie SVCH ustroistva dlia FAR [Magnetolectric microwave devices for phased array]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia* – Modern problems of science and education, 2011, no. 4. Available at: www.science-education.ru/98-4727.
11. Bichurin M.I., Petrov R.V., Tatarenko A.S. Primenenie magnitoelektricheskikh kompozitov dlia postroeniia module FAR [The use of magnetolectric composites for designing phased array modules]. Available at: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/projects/article-directory-to-okt2011/6-technicsciences/27-electrical-engineer-radiotrician-telecommunication-and-electronics>, 2011.
12. Bichurin M.I., Petrov R.V., Tatarenko A.S. Moduli FAR razrabotannye na osnove magnitoelektricheskikh kompozitov [Phased array modules based on magnetolectric composites]. *Sb. statei 12 Mezhdun. NPK "Fundamental'nye i prikladnye issledovaniia, razrabotka i primeneniye vysokikh tekhnologii v promyshlennosti"* [Proc. 12th Int. Research and Practical Conf. "Basic and applied research and development and application of high technologies in industry"], vol. 1, St. Petersburg, 2011, pp.75-77 (8-10.12).
13. Petrov R.V., Khavanova M.A. Raschet diagrammy napravlennosti anteny s magnitoelektricheskim izluchatelem [The calculation of directivity pattern of antenna with magnetolectric emitter]. *Vestnik NovGU. Ser.: Tekhnicheskie nauki* – Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences, 2012, no. 67, pp. 25-29.
14. Petrov R.V., Bichurin M.I., Tatarenko A.S. Magnetolectric Microwave Module for Phased Array. *PIERS Proceedings*, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013, pp. 455-458.