

## Антенна за полтора часа

**Организация образовательного процесса в радиотехническом вузе — непростая задача. И если с лекционными занятиями особенных проблем не возникает, то проведение лабораторных работ часто вызывает вопросы. Поскольку недостатка в компьютерах в настоящее время вузы не испытывают (чего не скажешь о специализированном лабораторном оборудовании), большинство лабораторных работ виртуальны. То есть студенты программируют, моделируют, эмулируют, симулируют и т. д., сводя тем самым профессиональные отношения с окружающим миром к нажатию кнопок на клавиатуре. Чтобы хоть как-то изменить сложившуюся ситуацию, авторы, преподаватели УГТУ-УПИ (Екатеринбург), подготовили и апробировали оригинальную лабораторную работу, описанию которой и посвящена настоящая статья.**

**Сергей ШАБУНИН**  
shab313@yandex.ru  
**Иван МАЛЫГИН**  
pit\_pit2@mail.ru

Образовательный процесс в вузе основан на сочетании двух равнозначных процедур: накопление студентами теоретических знаний и приобретение практических навыков. Исторически сложилось так, что с первым особые проблемы не возникают. Накопленные за предыдущие годы опыт и знания, методические наработки обеспечили создание хороших теоретических основ по изучаемым дисциплинам. С развитием практических навыков у студентов, а в быстро развивающихся радиотехническом и телекоммуникационном направлениях особенно, разрыв между теорией и практикой только нарастает. В первую очередь это связано с большой стоимостью лабораторного оборудования, его достаточно быстрым старением. Существенно пострадала технологическая база вузов. Изготовить образец для исследования, соответствующий по качеству лучшим промышленным стандартам, стало почти непреодолимой проблемой. В связи с этим все большее распространение получают эмулированные лабораторные работы.

Сейчас публикуется много материалов о примерах использования тех или иных программных продуктов для расчета радиотехнических цепей и устройств. Авторы хотели этого избежать, поскольку программные продукты и примеры работы с ними не являются сутью этой статьи. И, кроме того, на взгляд авторов, статья о моделировании антенны программно, как правило, скучна либо интересна лишь узкому кругу специалистов. Авторы же хотят привлечь внимание широкого круга читателей к одной большой проблеме высшей школы (в радиотехнике): студенты, как правило, не могут ничего сделать своими руками профессионально.

Современные программы компьютерного проектирования, в том числе антенн и устройств СВЧ, позволяют достаточно хо-

рошо в формате 3D представить конечный результат. Однако увидеть в эмулированном объекте реальную конструкцию сможет лишь тот, кто хотя бы однажды держал в руках или рассматривал подобное изделие. Как найти выход из такой ситуации? И в этом случае преподаватели УГТУ-УПИ избрали совершенно оригинальный путь. Они предложили студентам самостоятельно изготовить макеты высокочастотной техники как в рамках учебных дисциплин, так и в учебной или научной исследовательской работы. К сожалению, ис-

пользование качественных высокочастотных материалов, например, фольгированных диэлектриков, для изготовления печатных конструкций сопряжено с большими затратами. Процесс вытравливания топологии печатных конструкций, пайки и сварки, резки и формования элементов СВЧ-устройств и антенн также сопряжен с определенными проблемами. Желательно, с одной стороны, дать студентам навыки по проектированию, изготовлению и измерению характеристик устройств, а с другой — минимизировать затрачиваемые на это

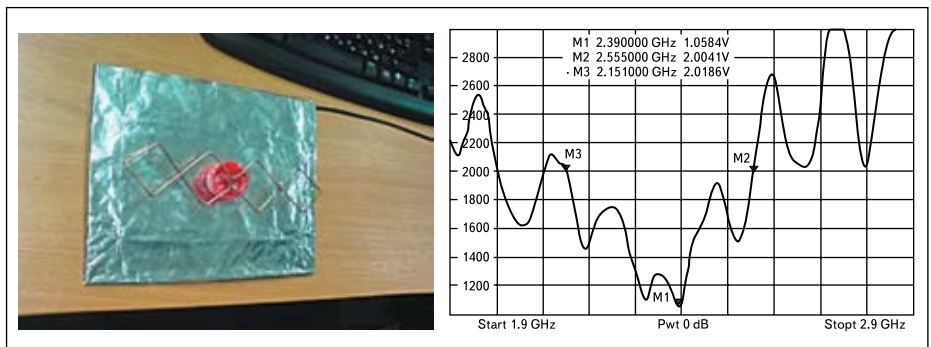


Рис. 1. Внешний вид и частотная зависимость КСВ антенны «четыре квадрата»

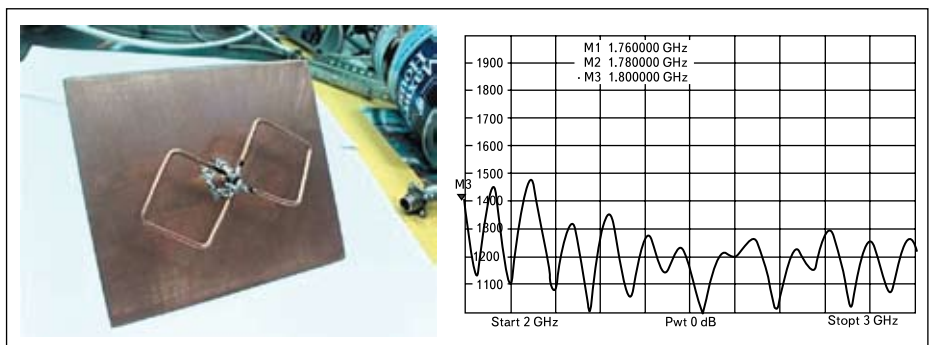


Рис. 2. Внешний вид и частотная зависимость КСВ антенны «восьмерка»

средства. А чтобы привить студентам уверенность в собственных силах, следует показать, что изготовить собственное высокочастотное изделие не так уж и сложно. Следующие шаги цепи — использование желания человека, изготовившего антенну, проверить работоспособность изделия, результата своего творчества. Почти игра, но с большой пользой.

Учитывая вышеизложенное, студентам в рамках лабораторного практикума было предложено попробовать свои силы в самостоятельном изготовлении антенн для широко используемого сейчас диапазона 2,4 ГГц. Задача существенно упрощается в связи с тем, что вопросам прочности конструкций и противостоянию ветровым нагрузкам, характерным для промышленных антенн, особого внимания можно не уделять. С материалом проблем нет. В лабораторных целях макеты антенны можно изготовить практически из мусора — шоколадной фольги, алюминиевых банок, картона.

Для простоты задача расчета точных размеров и разработка конструкции антенны перед студентами не ставилась. В Интернете опубликовано достаточно разнообразных примеров [1–10]. Мы остановили свой выбор на наиболее распространенных типах антенн: вибраторных, рамочных, волноводных и печатных. В статье приведены фотографии созданных конструкций и их характеристики. Параметры антенн исследовались с помощью анализатора параметров цепей ZVA24 фирмы Rohde&Schwartz.

На рис. 1 и 2 показаны антенны, которые чаще используются как телевизионные в диапазоне метровых и дециметровых волн. Несмотря на отсутствие симметрирующего устройства, их характеристики оказались вполне приличными и в диапазоне 2,4 ГГц. Естественно, размеры антенны соответствовали заявленному диапазону.

Частотная зависимость коэффициента усиления антенны «восьмерка» (рис. 3) подтверждает, что, несмотря на простоту и дешевизну, параметры антенны хорошие.

Антенны типа «волновой канал» и графики, иллюстрирующие их согласование, показаны на рис. 4 и 5. Устройство симметрирования отсутствует. Профессионалы, конечно, раскритикуют как сами антенны, так и их характеристики. Однако будем снисходительны к первым изделиям студентов.

Волноводные излучатели (рис. 6, 7) используются как самостоятельные слабонаправленные излучатели, так и в качестве облучателей зеркальных антенн. Параметры их далеки от совершенства. Частота согласования первой антенны получилась на 0,3 ГГц выше желаемой, кабель второй антенны длинноват, что привело к изрезанности АЧХ, но оба недостатка легко исправить.

Линейная 3-элементная «печатная» антенна показана на рис. 8. Проводники выполнены из фольги. В качестве диэлектрика использован картон. Профессионалы вновь обрушат

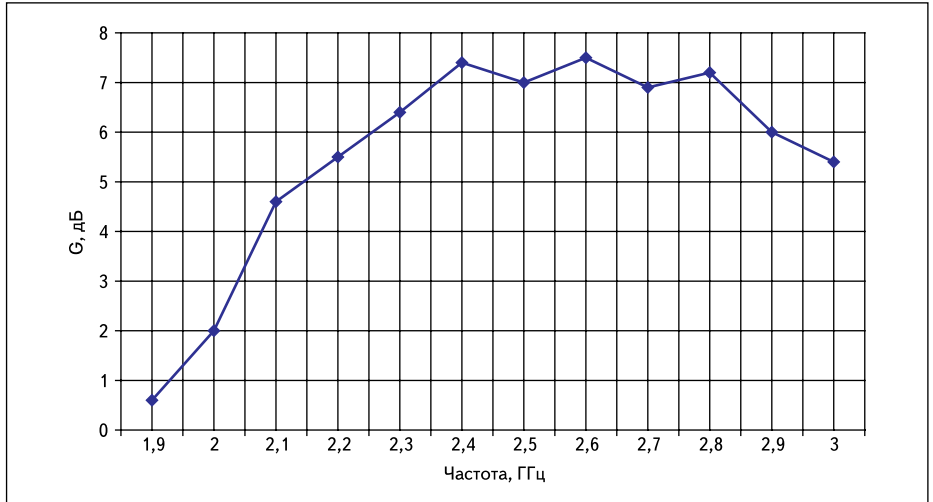


Рис. 3. Частотная зависимость КСВ антенны «восьмерка»

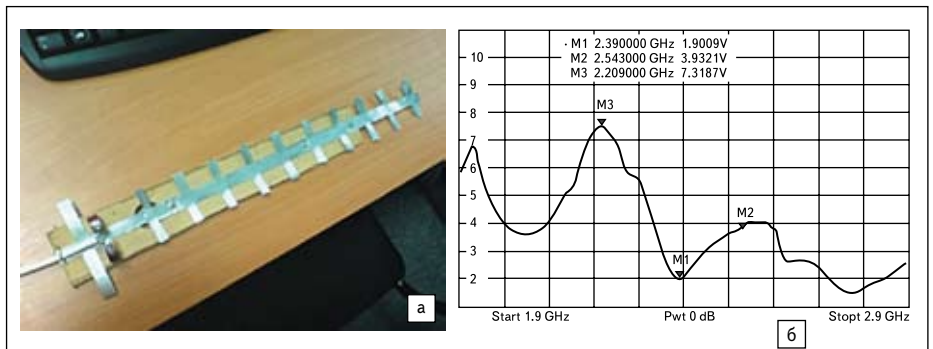


Рис. 4. а) Внешний вид; б) КСВ антенны «волновой канал\_1»

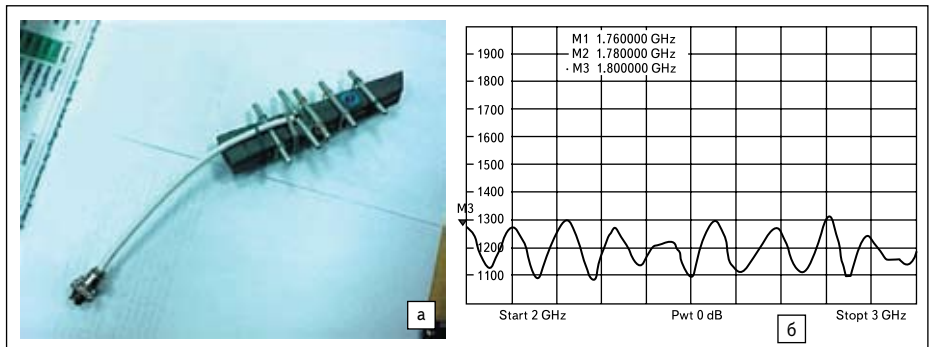


Рис. 5. а) Внешний вид; б) КСВ антенны «волновой канал\_2»

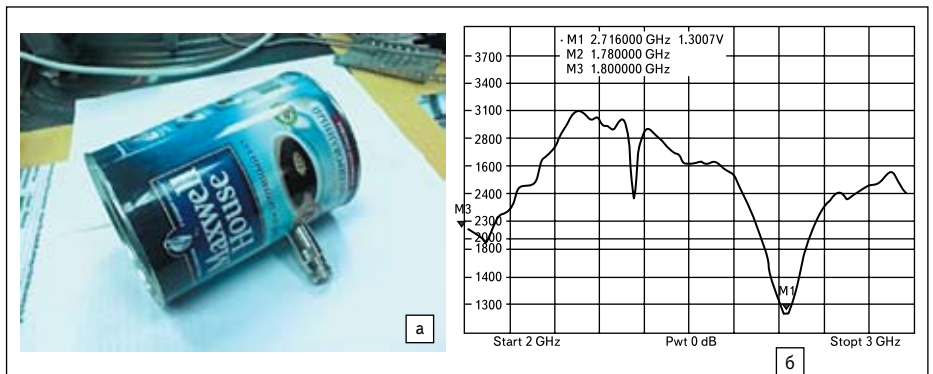


Рис. 6. а) Внешний вид; б) КСВ антенны «кофе»

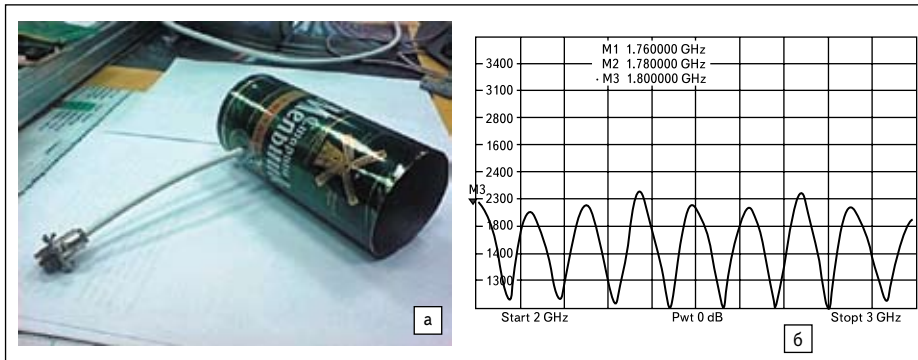


Рис. 7. а) Внешний вид; б) КСВ антенны «пиво»

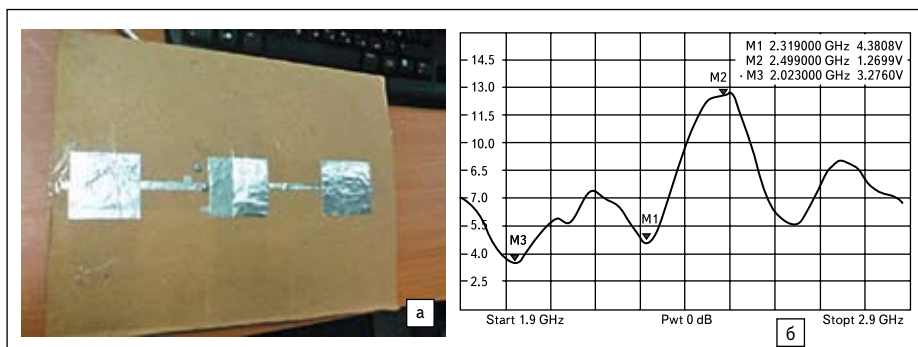


Рис. 8. а) Внешний вид; б) КСВ микрополосковой антенны

град критики, глядя на приведенную зависимость коэффициента стоячей волны (КСВ). Но эти же профессионалы знают о принципиальной узкополосности микрополосковых антенн и существенном влиянии диэлектрической проницаемости подложки на ее характеристики. А какая она тут? Не совсем правильно подключен кабель с достаточно длинными «хвостами» проводников. Но на ошибках студенты учатся. Тем более, когда им есть у кого спросить о том, как исправить ошибки.

Теперь о главном. В результате выполнения проектов студенты, во-первых, приобретают навыки хотя бы приближенных расчетов конструкции антенн, во-вторых, у них появляется определенный навык по технологии изготовления антенн. С точки зрения функционирования антенн неважно, насколько качественными являются металл или диэлектрик, используемый в их конструкциях. Гораздо более важны вопросы согласования. Студенты приобретают хотя бы минимальный опыт по настройке антенн, наблюдая за изменением ее частотных характеристик. Ощущается ухудшение характеристик антенн при неправильном подключении коаксиального кабеля или разьема к антенне. Частотная зависимость коэффициента стоячей волны, характеризующего согласование антенны с фидерным трактом, становится резко изрезанной, а значение КСВ — далеким от идеального единичного значения. Простым помахиванием рукой перед антенной и наблюдением за частотной зависимостью КСВ легко определить диапазон частот,

в котором антенна излучает наиболее эффективно. Именно на этих частотах отраженная от руки волна, вновь попав в антенну, заметно изменяет ее частотные свойства.

Процесс рождения специалиста в области высокочастотной техники долгов и сложен. А прогресс не стоит на месте. Тактовая частота компьютеров ушла в гигагерцы, телекоммуникационные и радиоэлектронные системы штурмуют десятки и сотни гигагерц. Активно внедряются новые материалы и новые технологии. Задача вуза — увлечь и заинтересовать студента, дать ему необходимый багаж знаний и навыков. А на первом этапе — просто не испугать и дать студенту возможность поверить в свои силы. Авторы надеются, что эта методика может быть полезна и другим отечественным вузам. Авторы готовы обсудить свой опыт с коллегами из других регионов страны, что, несомненно, поможет им и их коллегам при обучении студентов. ■

### Литература

1. [www.cqham.ru/cantenna.htm](http://www.cqham.ru/cantenna.htm)
2. [www.wificenter.ru/wifi-antenna-biquad-samodelnaya-antenna-bikvadrat](http://www.wificenter.ru/wifi-antenna-biquad-samodelnaya-antenna-bikvadrat)
3. [www.hub.ru/forum/index.php?](http://www.hub.ru/forum/index.php?)
4. [www.lan23.ru/wifi/anttest.html](http://www.lan23.ru/wifi/anttest.html)
5. <https://forum.antichat.ru/thread28939.html>
6. [www.wifi-net.ucoz.ru/forum/4-2-1](http://www.wifi-net.ucoz.ru/forum/4-2-1)
7. [www.wifiantenna.org.ua](http://www.wifiantenna.org.ua)
8. [www.wifievskiy.narod.ru](http://www.wifievskiy.narod.ru)
9. [www.wificenter.ru](http://www.wificenter.ru)
10. [www.slatino-wi-fi.at.ua/forum/9-6](http://www.slatino-wi-fi.at.ua/forum/9-6)