

И. Гончаренко
DL2KQ – EU1TT

Компьютерное моделирование антенн

Все о программе MMANA

ИЗДАТЕЛЬСКОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ
РадиоСофт
Журнал «РАДИО»
МОСКВА
2002

УДК 681.3
ББК 32.845
Г65

Гончаренко И. В.

Г65 Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA. — М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио». 2002 — 80 с.: ил. ISBN 5-93037-092-3

Эта книжка посвящена описанию работы с одной из лучших на сегодняшний день и, что особенно следует подчеркнуть, бесплатной компьютерной программой моделирования антенн MMANA. Краткое описание программы было опубликовано в журнале «Радио» в 2001 г. (июнь-сентябрь). В этом издании приведено полное ее описание. Особое внимание уделено тонкостям работы с MMANA, которые не освещены в журнальном варианте, кроме того разобраны типичные ошибки, приведены ответы на часто встречающиеся вопросы.

Наличие большой библиотеки файлов готовых антенн позволяет не только подобрать подходящую антенну, но и проверить на конкретных примерах уровень освоения программы.

Также даны, хотя и не относящиеся непосредственно к MMANA, но желательные для уверенной работы и правильного понимания полученных результатов, основы компьютерного моделирования антенн.

УДК 681.3
ББК 32.845

© Гончаренко И. В., 2002
© Журнал «Радио», 2002
© Оформление. ИП РадиоСофт, 2002

ISBN 5-93037-092-3

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
1. Компьютерное моделирование антенн: когда, как, зачем?	6
2. Общие параметры MMANA	10
3. Установка и удаление	13
4. Закладка «Геометрия»	13
4.1. Описание проводов	13
4.2. Всплывающее меню	20
4.3. Источники	21
4.4. Нагрузки	22
5. Закладка «Вид»	24
5.1. Всплывающее меню	26
6. Закладка «Вычисления»	27
6.1. Параметры окна	27
6.1.1. Окно «Параметры земли» и ограничения MININEC при моделировании реальной земли	28
6.1.2. Результаты вычислений	36
6.2. Меню «Графики»	37
6.2.1. Закладка «Z»	39
6.2.2. Закладка «КСВ»	40
6.2.3. Закладка «Gain/FB»	41
6.2.4. Закладка «ДН»	41
6.2.5. Закладка «Установки»	42
7. Закладка «Диаграммы направленности»	42
8. Меню «Правка провода»	45
8.1. Команды и кнопки	45
8.2. Команды всплывающего меню	48
8.3. Особенности и приемы при пользовании меню «Правка провода»	49
9. Меню «Правка элемента»	50
9.1. Закладка «Параметры»	50
9.2. Закладка «Вид»	52
10. Меню «Оптимизация»	52
10.1. Окно «Параметры вычислений»	53
10.2. Кнопка «Установки цели»	53
10.3. Кнопка «Источники по диапазонам»	55
10.4. Изменяемые параметры	57
10.4.1. Команды первого всплывающего меню	58
10.4.2. Команды третьего всплывающего меню	61
10.4.3. Установки совместного изменения (кооперации)	61
10.5. Другие команды меню «Оптимизация»	62

10.6. Обзор шагов оптимизации	63
11. Команды главного меню «Файл»	64
12. Команды главного меню «Правка»	66
13. Команды главного меню «Сервис»	67
13.1 Окно «Сравнить»	68
13.2. Меню «Сервис и установки»	68
13.2.1. Закладка «Контур»	69
13.2.2. Закладка «L»	69
13.2.3. Закладка «СУ на LC»	70
13.2.4. Закладка «СУ на линиях 1»	70
13.2.5. Закладка «СУ на линиях 2»	72
13.2.6. Закладка «L, C из линии»	72
13.2.7. Закладка «Установки»	73
14. Команды главного меню «Помощь»	74
15. Файлы готовых антенн	75
16. Ответы на часто задаваемые вопросы	75
17. Заключение и благодарности	79

ПРЕДИСЛОВИЕ

Чудеса бывают. Редко, но бывают. К их числу, несомненно, можно отнести появление бесплатных (*freeware*) программ, не уступающих, а кое в чем и превосходящих их профессиональные аналоги.

Программой именно такого класса и является программа моделирования антенн MMANA, позволяющая в компьютере проверить антенну, которую вы предполагаете изготовить для своего радиоприемника или телевизора, сотового телефона или радиостанции (стационарной или носимой). Иными словами — любой профессиональной или любительской антенны. Рассчитанная на широкий круг пользователей, она имеет понятный «дружественный» интерфейс и, что немаловажно для многих пользователей, «объясняется» с ними на русском языке.

Программу MMANA и библиотеку к ней, содержащую информацию о 200 антеннах, можно бесплатно скачать с сайта редакции журнала «Радио» <www.paguo.ru>, на котором имеется страничка, посвященная этой программе. Информация на сайте регулярно обновляется (модифицируется программа, расширяется ее библиотека). Объем программы и библиотеки к ней небольшой - около 500 килобайт. Не высоки и ее минимальные требования к компьютеру, на котором она будет использоваться.

Если у вас нет доступа в Интернет, то дискету с программой и библиотекой можно заказать в издательстве «РадиоСофт» (109125, Москва, Саратовская ул., 6/2). Контактный телефон: (095) 177-47-20. Адрес электронной почты: real@radiosoft.ru.

Краткое описание программы, из которой и родилась эта книга, впервые было опубликовано на страницах журнала «Радио». Журнал продолжает вести на своих страницах антенную тему: следите за его публикациями.

Редакция журнала «Радио»

«Нет, ребята, тяжело эту штуку описывать, очень уж она проста. Это все равно, что стакан кому описывать, или не дай бог рюмку: только пальцами шевелишь, и чертыхаешься от бессилия...»

Стругацкие. «Пикник на обочине»

1. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕНН: КОГДА, КАК, ЗАЧЕМ?

Сам идея компьютерного моделирования антенн весьма заманчива: нарисовав на экране любую конфигурацию из проводов и труб, можно посмотреть, как это «творение» будет работать в качестве антенны, и получить все ее характеристики. Более того, можно исследовать антенну и, изменяя ее параметры, оптимизировать под конкретные условия и требования. Ведь на реальной антенне многие параметры измерить либо очень трудно, либо практически невозможно. Исследование же компьютерной модели позволяет получить все мыслимые характеристики антенны.

Хорошая программа моделирования – это и антенная лаборатория, позволяющая без особых затрат просчитать самые невероятные проекты, получить их объективные данные, а не чье-то субъективное (и вполне вероятно ошибочное, или просто неприменимое к вашим конкретным условиям) мнение. Это и мощная обучающая система, которой можно задать практически любые вопросы, получив математически точный ответ, позволяющая объективно сравнить разные типы антенн, и самому сделать выводы. Также это и уникальный интерактивный справочник – в обычном бумажном справочнике просто физически невозможно учесть все многообразие возможностей выполнения и размещения антенны – число вариантов, в принципе бесконечно. Вспомните сколько раз, увидев бумажное описание интересной антенны, вы мучились вопросами типа: «А у меня нет указанной в описании трубки, и не предвидится. Что и как надо изменить под ту, что у меня есть? Как повлияет стоящая рядом мачта другой антенны? Что будет, если немного изменить форму антенны,

подгоняя ее под мои условия? Антенна не помещается, как ее можно укоротить в моем случае, и что в ее параметрах при этом изменится?». И так далее, и тому подобное. И что же оставалось? Или отказываться от применения такой антенны, или делать ее на свой страх и риск, надеясь, что потом как-то удастся подстроить. Да еще и не зная, а достижимо ли это в принципе, после ваших модификаций... Применение же хорошего моделировщика антенн позволяет решить эти ваши (именно ваши специфические) вопросы, на которые иначе никто вам не ответит.

Первые программы расчета антенн, появившиеся еще в 80-е годы, были весьма примитивны и вычисляли по конкретным формулам только определенные типы антенн. Ситуация изменилась, когда в подобных программах начали применять метод многомерных матриц (моментов), суть которого сводится к разбиению каждого проводника антенны на точки (сегменты) и вычислению в каждой точке тока – как собственного, так и наведенного от всех остальных сегментов. На этом методе базируются все современные программы (ELNEC, EZNEC, NEC4WIN95, MMANA). Для анализа большинства любительских антенн вполне достаточно, чтобы программа обсчитывала 100...500 точек, однако иногда бывают ситуации, когда мало и 1000 точек. Обсчет таких матриц занимает время порядка десятков секунд даже на ЭВМ с тактовой частотой 100 МГц, а на серьезных задачах с числом точек в несколько тысяч (скажем, параболическая УКВ антенна с высоким усилением) даже гигагерцовый компьютер «задумывается» на несколько десятков минут! Но это крайности, и в основном даже на простых компьютерах расчеты производятся быстро.

Есть и еще одна проблема. Все известные мне программы моделирования (кроме MMANA и, пожалуй, еще EZNEC) имеют свои ограничения. Трудности вызывало, например, моделирование отрезков длинных линий, систем параллельных или близко расположенных проводов, коротких проводников (менее 0,05 длины волны) и еще некоторых случаев. Полученные при моделировании результаты упорно не желали иметь ничего общего с действительностью. Это еще терпимо, когда вы подгоняете известную антенну под заданные условия – тут ведь заранее ясно, что должно получиться. Но когда вы проектируете новую антенну, всегда остается сомнение, соответствует ли действительности то, что вы получили? Или

программа где-то в расчетах споткнулась о свои ограничения, и полученный ею результат есть просто бред компьютера?

Точного ответа на этот вопрос не существует, поэтому если результат «похож на правду», то считают, что он правильный, а если не очень похож – то неправильный. При таком подходе теряется главное достоинство компьютерного моделирования – возможность спроектировать и узнать что-то новое. Программ, не «спотыкающихся» на ограничениях, автору известно всего две – EZNEC (на английском) и MMANA. Последняя, если быть точным, имеет некоторые ограничения в моделировании реальной земли, но не имеет ограничений, по взаимному расположению проводов. Однако многие полезные вычислительные и сервисные функции MMANA в EZNEC отсутствуют. Кроме того, EZNEC имеет ограничение в 500 точек, что для точного анализа серьезных антенных систем маловато. И, наконец, последнее по упоминанию, но не по значению – EZNEC стоит немаленьких денег.

Автор программы MMANA – известный программист Makoto Mori (JE3HHT). Многим наверняка известны его программы по приему телетайпа MMTTY, телевидения с медленной разверткой MMSSTV, цифровой обработке НЧ сигнала DSPil. Все они (вместе с японской версией MMANA) лежат на его сайте <<http://plaza27.mbn.or.jp/~je3hht/>>. Но, как настоящий программист, Makoto не лишен странностей. Например, все его программы принципиально бесплатны. А еще он неважно знает английский, и программы пишет только на японском. Но качество его программ настолько высоко, что их переводят даже с японского. Так, например, была переведена на английский язык и широко распространилась по всему миру телетайпная программа MMTTY.

Автор этих строк, познакомившись с японской версией MMANA, был настолько удивлен ее возможностями, что решил перевести ее на более употребительные языки. Русская версия выложена для свободного скачивания на сайте журнала «Радио» <http://www.pagu.ru/cq/txrx/index.shtml>. Объем файла около 500 К. Английская версия выложена на сайте <www.qsl.net/mmhamsoft/mmana>. Обе версии периодически обновляются.

Объем и сервис функций программы MMANA просто поражает. Но, чтобы научиться их использовать, придется приложить некоторые усилия по освоению MMANA (как, впрочем, и любой другой программы). Я старался сделать

интуитивно понятный русский интерфейс с полными текстами надписей, но, тем не менее, вам придется потратить какое-то время на освоение. Не считайте это время потерянным, оно многократно окупится на экономии при изготовлении и настройке антенн! Данная книга вам в этом поможет. Посидев несколько вечеров за компьютером, вы сможете пользоваться большей частью возможностей программы.

Для тех, кто впервые займется компьютерным моделированием антенн, необходимо иметь в виду следующий важный момент. Несмотря на очень хорошее совпадение результатов MMANA с реальными, необходимость точной настройки физических антенн, сделанных по результатам моделирования, все же остается. Степень подстройки зависит от различий реальных и моделируемых условий. Прежде всего, от окружающих местных предметов. Например, УКВ «волновые каналы», изготовленные по расчетам и установленные над крышей не потребуют подстройки, а, например, «дельта» диапазона 80 метров, висящая между домами, из-за их неучтенного влияния может потребовать подгонки резонансной частоты. На реальной антенне результаты, полученные в MMANA, после небольшой подстройки достижимы. И это один из самых существенных моментов: вы знаете, что при правильном изготовлении и настройке антенна работоспособна и обеспечивает вычисленные параметры. Чего не скажешь об антеннах, описанных на бумаге – многим знакома ситуация, когда изготовив антенну точно по бумажному описанию, убеждаешься – она не работает... Причем совершенно непонятно почему: то ли ошибка в изготовлении, то ли просто требуется ее тщательно настроить, то ли антенна в принципе не способна обеспечить приведенные в описании параметры. Предварительное компьютерное моделирование позволяет однозначно исключить последнюю причину.

И перед тем как перейти собственно к описанию MMANA, хотел бы вас предостеречь от непроизводительной затраты сил и нервов на изучение вопроса – а можно ли доверять результатам моделирования в MMANA? Этот вопрос тщательно изучен очень многими людьми, и ответ давно получен – можно и нужно! По результатам моделирования изготовлены десятки различных антенн и, наоборот, сделаны сотни моделей уже работающих антенн, и везде совпадение практических результатов с расчетными очень хорошее. Я бы мог привести множество писем от разных людей, сделавших по моделям

реальные антенны, и не делаю этого только ради экономии места. Единственная проблема – надо, чтобы компьютерная модель была сделана без ошибок. Но в MMANA приняты очень серьезные меры, позволяющие свести к минимуму вероятность ошибки за счет некорректных действий человека (нюансы в моделировании некоторых специальных случаев, будут рассмотрены ниже).

И, завершая тему о доверии к полученным результатам, отметим, что метод моментов не пользуется никакими узкоспециальными формулами для расчета конкретного типа антенн. Он вообще никак не разграничивает в расчетах разные виды антенн, все считается по одной и той же общей методике, что и обеспечивает его универсальность и объективность. Это, увы, не всегда можно сказать об антеннах, спроектированных людьми вручную. Тут, к сожалению, возможны субъективные ошибки. И вы в этом убедитесь, когда самостоятельно смоделируете некоторые «заслуженные» антенны и увидите их действительные характеристики, а не приведенные восторженным и вполне вероятно искренне заблуждающимся автором антенны. Итак, что же может MMANA и как ею пользоваться?

2. ОБЩИЕ ПАРАМЕТРЫ MMANA

MMANA – это программа моделирования антенн, работающая в среде Windows. Вычислительной основой MMANA (так же как и многих коммерческих программ моделирования) является программа MININEC Ver.3, которая была создана для целей американских ВМС в *Washington Research Institute*.

Все дополнительные функции и интерфейсы написаны JEЗННТ. Русифицированная и английская версии MMANA сделаны автором этих строк. Программа позволяет:

- Создавать и редактировать описания антенны как заданием координат, так и мышкой. Кто хоть раз набивал вручную длинные ряды цифр, описывающих координаты каждого провода в трехмерном пространстве в различных NEC, поймет, какой это колоссальный шаг вперед!

- Рассматривать множество разных видов антенны.
- Рассчитывать диаграммы направленности (ДН) антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях (под любыми вертикальными углами).
- Одновременно сравнивать результаты моделирования нескольких разных антенн (ДН и все основные характеристики).
- Редактировать описание каждого элемента антенны, включая возможность менять форму элемента без сдвига его резонансной частоты. Проще говоря, вы можете за пару секунд трансформировать «волновой канал» в «квадраты» или «дельты».
- Редактировать описание каждого провода антенны. Имеется возможность перекомпоновки антенны без утомительного перебора цифр координат, простым перетаскиванием мышкой (практически всю антенну можно нарисовать и редактировать одной мышкой);
- Просчитывать комбинированные провода, состоящие из нескольких, разных диаметров. Это полезно при расчете элементов, составленных из труб разного диаметра, например «волновых каналов» или вертикалов.
- Использовать удобное меню создания многоэтажных антенн – стеков, причем в качестве элемента стека можно использовать любую существующую или созданную вами антенну.
- Оптимизировать антенну, гибко настраивая цели оптимизации: Zвх, KCB, усиление, F/B, минимум вертикального угла излучения, причем предельно наглядно – движками указывается важность для вас того или иного параметра.
- Задавать изменение при оптимизации более 90 параметров антенны. Возможно описание совместного (зависимого) изменения нескольких параметров.
- Сохранять все шаги оптимизации в виде отдельной таблицы. Это полезно для последующего неспешного просмотра и анализа – не мелькнет ли там чего любопытного, что вы исходно и в виду-то не имели.
- Строить множество разнообразных графиков: Zвх, KCB, усиления, отношения излучений вперед/назад (F/B), включая показ зависимости ДН от частоты.

- Автоматически рассчитывать несколько типов согласующих устройств (СУ), причем возможно включать и выключать их при построении графиков.
- Создавать файлы-таблицы (формата *.csv, просматриваемого в Excel) для всех переменных расчетных данных: таблицы токов в каждой точке антенны, зависимости усиления от вертикальных и горизонтальных углов, таблицы основных параметров антенны как функций частоты, и наконец весьма полезную таблицу напряженности электрического и магнитного полей антенны в заданном пространстве. Она необходима для определения соответствия антенны на требования электромагнитной совместимости.
- Рассчитывать катушки, контура, СУ на LC элементах, СУ на отрезках длинных линий (несколько видов), индуктивности и емкости, выполненные из отрезков коаксиального кабеля.

Ограничений по взаимному расположению проводов нет. Это означает, что любая конфигурация проводников будет рассчитана корректно. Максимальное число: проводов – 512, источников – 64, нагрузок – 100.

Надо заметить, что мне ни разу не удалось создать такую модель антенны, для которой не хватило бы этих цифр. Максимальное число точек расчета – 8192 (установлено по умолчанию – 1280). Необходимый объем ОЗУ: для 1024 точек – 8 М, для 2048 – 32 М, для 4096 – 128 М, для 8192 – 512 М. То есть удвоение числа точек требует учетверения емкости ОЗУ. В еще более резкой, экспоненциальной зависимости растет время вычислений от числа точек.

Например, расчет антенны с 300 точками на компьютере Пентиум I 200 МГц с 32 МБ ОЗУ занимает около 25 секунд, а расчет антенны имеющей 3000 точек на Пентиум III 900 МГц с 512 МБ ОЗУ занимает 40 минут! Страшно подумать, сколько времени займет расчет 8 тысяч точек, даже на самом скоростном компьютере. Но возможно это только сейчас... В то время, когда я пишу эти строки максимальная частота компьютеров достигла 1,4 ГГц, что еще несколько лет назад казалось фантастикой.

Во всяком случае, MMANA может обеспечить задачу, достижимую по сложности самых скоростных как современных, так и будущих компьютеров.

3. УСТАНОВКА И УДАЛЕНИЕ

Несмотря на околокомпьютерные ужасы, описанные несколькими строками выше, MMANA имеет более чем скромные минимальные системные требования: она работает на 486DX25 с ОЗУ 8 М и разрешением монитора 800x600. ОС – Win95 или выше. Никаких особых требований к винчестеру (кроме его наличия) и видеокarte (кроме разрешения) – подойдет даже 512 К. Основная нагрузка ложится на процессор, поскольку велик объем математических операций.

Даже при таких скромных минимальных условиях MMANA обеспечивает расчет 1024 точек, что достаточно для подавляющего большинства антенн (сравните – большинство платных моделировщиков имеют 300–500 точек максимум), т.е. вы сможете нормально работать с большинством антенн даже на относительно слабой машине.

Для установки просто разархивируйте файл *mmanarus.zip* в директорию MMANA (или с любым устраивающим вас именем – программа допускает переименование своего каталога). Ее надо создать самостоятельно средствами Windows на жестком диске.

Программа не создает библиотек *.dll, записей в системном регистре Windows и прочего «мусора». Она полностью готова к работе сразу после распаковки – вам даже не понадобится перезагружать компьютер. Более того, она работоспособна даже с дискеты. Программа не создает ярлыка на рабочем столе, но при желании его можно сделать самостоятельно стандартной процедурой Windows (иконка есть в директории программы).

Для удаления просто удалите директорию программы. Ничего другого не требуется.

4. ЗАКЛАДКА «ГЕОМЕТРИЯ»

4.1. Описание проводов

При старте программы открывается закладка **Геометрия** и вы видите несколько полей вверху и три таблицы (рис. 1),

на которой открыт файл уже имеющейся антенны (меню **Файл-Открыть**), например, ...:/MMANA/ANT/УКВ направленные/4delta6.maa (это четырехэлементная «дельта» диапазона 50 МГц, все следующие рисунки сделаны для этого файла).

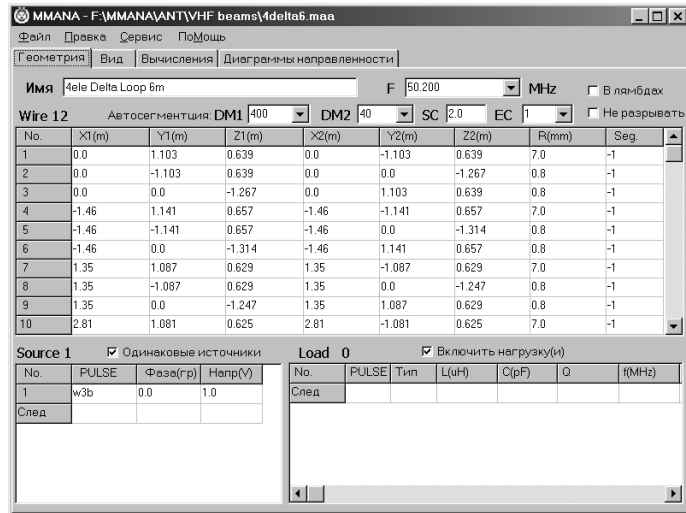


Рис. 1

Эта закладка – базовое описание антенны, поэтому изучить и пользоваться ею надо внимательно. Ошибки здесь не прощаются, ведь чтобы получить правильный ответ вы должны точно объяснить компьютеру, как именно устроена ваша антенна.

Поле **Имя** – это название антенны, любое, какое вы зададите. Оно будет фигурировать вверху всех закладок, и под этим же именем антенна будет выводиться при ее последующем сравнении с другими.

Поле **F...MHz** – основная частота антенны. Это значение будет использоваться в последующих расчетах по умолчанию (если вы не зададите там иное значение). В этом поле имеется удобный для выбора список частот – по несколько из каждого любительского диапазона, а если вам нужна специфическая частота, то просто введите ее значение вручную.

Первая таблица **Провода** – это описание проводов. В методе моментов любая антенна представляется как набор проводов. Каждая строка в этой таблице – описание одного провода: X1, Y1, Z1 – это координаты в трехмерном про-

странстве начала провода, а X2, Y2, Z2 – то же самое, но конца провода. R – радиус провода (обратите внимание, не диаметр, а именно радиус). Размерность всех этих величин можно задавать либо в метрах (для R в мм), либо в длинах волн установкой флага в верхнем левом окошке **В лямбдах**. Если вы задали размерность в l, то при изменении частоты будут изменяться и размеры антенны в метрах и в l будут показываться размеры во всех других окнах.

В ячейки таблицы можно вводить не только цифры, но и арифметические выражения – они будут автоматически просчитаны. Допустимы знаки + / * (). Например запись вида 10/4+2 после нажатия **Enter** сменится вычисленным значением 4,5. Такой оперативный калькулятор временами бывает очень удобен, например, при делении провода на части, или, если вы вводите описание антенны, размеры которой даны в футах. Можно прямо вводить значение в футах, не забывая дописать после цифры в футах *0.305, и все будет автоматически пересчитано.

Если величину R установить равной 0, то данный провод будет восприниматься программой изолятором. Такой прием удобен при анализе сложных многопроводных антенн для экспериментов: можно временно удалить из анализируемой антенны провод (не удаляя его из таблицы описания), установив его радиус равным 0. При этом сегменты этого провода исключаются из расчета, поэтому вычисления будут несколько быстрее.

Если величину R установить отрицательной (например, -1, -2, -3 и т.д.), то это означает, что данный провод комбинированный, и физически состоит из нескольких проводов или труб разного радиуса. Если провод создали вы и сами установили R = -1, то надо задать и описание комбинированного провода. Для этого во всплывающем под правой кнопкой мышки меню выберите пункт **Установки комбинированного провода**, и в появившемся окне-табличке **Установки комбинированного провода** объясните компьютеру, каким образом, из труб какого диаметра и какой длины вы намереваетесь составить этот провод.

Способ расположения труб по уменьшению диаметра (от центра провода к его краям, или от начала к концу) выбирается из всплывающего под двойным левым (именно левым – это не опечатка!) щелчком мыши по табличке в графе **Тип** из следующих значков:

- <-> Самая толстая труба в центре, уменьшение радиуса к каждому из краев провода. Вариант вибратора волнового канала.
- -> Самая толстая труба в начале провода, уменьшение радиуса к концу провода. Вариант штыря.
- <->* Почти то же самое, что и <->, но при переменной сегментации (что это такое – несколькими абзацами ниже), уплотненная расстановка точек будет осуществляться не только по концам провода, но и вокруг каждого места физического изменения радиуса (стыка труб), что повышает точность расчетов.
- ->* Отличается от -> тем же самым, что и <->* от <->.

Например, откройте файл *...ANT/KB направленные/3el20.maa*. Установлен $R = -1$ выбран тип <->*, в таблице описано следующее: L_0 (в типе <-> это будет центральный отрезок, счет идет от середины провода к его краям) = 1,8 м, реальный физический радиус этого куска $R_0 = 15$ мм.

Далее $L_1 = 1,8$ м, реальный радиус $R_1 = 12,5$ мм. Это означает, что к каждому из концов трубы L_0 пристыкованы трубы (их будет две – по одной с каждой стороны) длиной по $L_1 = 1,8$ м и радиусом $R_1 = 12,5$ мм. И наконец L_2 это длина кусков труб, пристыкованные к концам труб L_1 . Если это последний радиус, то удобно установить $L_2 = 9999$ – это как раз и объясняет компьютеру, что крайние трубки, какой бы длины в последующих расчетах они не вышли, должны быть с радиусом R_2 , который в нашем примере составляет 10 мм. В данном примере мы описали следующий элемент: средняя труба длиной 1,8 м и радиусом 15 мм, далее по ее краям две трубы по 1,8 м с радиусом 12,5 мм, и далее в обе стороны до конца элемента (а какой он получится зависит уже от последующих расчетов или ваших установок) идут трубы с радиусом 10 мм.

А вот если бы в данной таблице был выбран тип -> или ->*, то тогда это же описание соответствовало бы следующему элементу: первая труба с начала (уже не с середины!) провода 1,8 м длиной и 15 мм радиусом, вторая тоже 1,8 м и 12,5 мм радиусом, и третья – до конца провода 10 мм радиусом. Для волнового канала такой элемент конечно не нужен, а вот для вертикального излучателя – вполне пригодится.

Посмотреть реальные физические размеры труб комбинированного провода вы можете, выбрав во всплывающем

меню закладки **Геометрия** пункт **Таблица размеров комб. провода**. В этой таблице дано число труб, из которых состоит ваш комбинированный провод, и их размеры.

Таким образом, вы можете описать любой провод с переменным радиусом. Если таких проводов несколько и различных по набору труб – обозначьте радиус каждого отдельной отрицательной цифрой и в табличке **Установки комбинированного провода** отдельными строками опишите, какой набор труб имеется в виду под каждым отрицательным значением R .

Если вы загружаете файл антенны, в которой уже есть установленные комбинированные провода (вы увидите отрицательные значения в столбце R), то чтобы увидеть, что на самом деле представляют собой такие провода, выберите во всплывающем меню пункт «Таблица размеров комбинированного провода» – в ней увидите все параметры. В большинстве имеющихся описаний «волновых каналов» уже установлены комбинированные провода, загрузите, например *...:/MMA/ANT/KB направленные/6el10.maa* (это 6-элементный волновой канал на 28 МГц) и посмотрите.

Отметим, что одно и то же значение отрицательного радиуса (-1, например) в разных антеннах может означать совершенно разные установки физических размеров (как задал проектировщик данной антенны), поэтому всегда смотрите таблицу размеров комбинированного провода.

Очень рекомендую при описании геометрии антенны делать несущую траверсу («бум») антенны в направлении оси X , элементы – в направлении оси Y , высота антенны – в направлении оси Z . В принципе, если очень хочется, можно этого и не делать – ДН и входное сопротивление антенны также будут рассчитаны корректно, но MMA по умолчанию считает усиление антенны G_a и отношение излучений вперед/назад F/V именно вдоль оси X . Поэтому, если ваша антенна окажется повернута к оси X например боком, то значения G_a и F/V будут весьма странными. Забегая далеко вперед, замечу, что поправить такую ситуацию уже на нарисованной антенне можно, выбрав в меню **Правка** команду **Вращать** и далее **Вокруг оси Z на 90 град**.

Если вы проектируете GP, то нижний конец провода должен иметь $Z = 0$, иначе программа «не увидит землю» (кроме случая с отдельными приподнятыми радиалами, явно нарисованными, как отдельные провода). Не стремитесь поднять

антенну над землей, увеличивая значения Z , для задания высоты. В программе для этого есть отдельная опция. Точка начала координат ($X = 0, Y = 0, Z = 0$) удобна для размещения в ней середины питаемого элемента. Не рекомендуется без необходимости смещать антенну от нулевых значений по осям X и Y , иначе при обзоре и правке вы можете ее легко «потерять из виду», так как по умолчанию все виды антенны показывают в центре именно начало координат.

Электрическое соединение проводов осуществляется автоматически, как только совпадут все три координаты начала или конца провода. Соединение осуществляется только при совпадении координат начала или конца проводов, при пересечении же их в пространстве в любой другой точке (кроме начала и конца) не приводит к электрическому соединению. Например, если вы проектируете вертикальную T -образную антенну, то недостаточно двух проводов – одного вертикального и одного горизонтального. В этом случае не будет контакта с серединой горизонтального провода: необходимо три провода – один вертикальный и подключенные к его концу два горизонтальных.

Величина Seg определяет число точек (сегментов), на которое разбивается провод при моделировании. Если величина Seg установлена положительной, от 1 и больше – это режим ручного разбиения на сегменты, который принят в большинстве других моделирующих программ. В принципе, чем на большее количество сегментов разбивается провод, тем точнее результаты моделирования. Обычно считается, что достаточно несколько (4–6) сегментов на длине провода в четверть волны. Но тут есть свои сложности, поскольку львиная доля всех ошибок при моделировании происходит именно из-за неверного разбиения провода на сегменты. Правильно разбить провод на сегменты в методе моментов неподготовленному пользователю весьма непросто. Поэтому поначалу я бы рекомендовал пользоваться только имеющимся в MMANA (и очень удобным) режимом автоматического деления на сегменты, для установки которого достаточно установить величину Seg равной 0 или отрицательному числу.

Параметры автосегментации зависят от величин, установленных в полях $DM1$ и $DM2$. Когда вы хотите получить автоматическое деление на равные части, установите $Seg = 0$. В этом случае провод будет разбит на сегменты длиной $\lambda/DM2$. Для повышения точности моделирования весьма желательно,

чтобы плотность сегментов была переменной – минимальной в середине провода и максимальной на его концах. Автосегментация с переменной плотностью достигается установкой значения Seg равным $-1, -2$ или -3 . Если установлено -1 , то включается режим уплотненной расстановки сегментов на обоих краях провода, причем величина сегментов будет убывать от $\lambda/DM2$ до $\lambda/DM1$. Установка -2 – то же самое, но только в начале провода, -3 – только в его конце.

Параметр EC – множитель уплотнения, увеличивая его можно добиться более плотной расстановки точек на концах провода. Показывает, во сколько раз уменьшается размер сегмента на краю провода. Допустимые значения 1–64.

Параметр SC (его значение должно быть больше единицы, но меньше, либо равна 3, допустимы дробные значения) – определяет, с какого расстояния от края провода начнет возрастать плотность сегментов. При $SC = 1,001$ уплотнение сегментов начинается уже от самой середины провода, при $SC = 3$ добавляется только по одной точке в начале и конце (по умолчанию $SC = 2$). Не устанавливайте $SC = 1$, при этом возможно «зависание» программы.

Практический совет. Пока вы не наберетесь достаточного опыта – не трогайте установленные по умолчанию значения $DM1, DM2, EC$ и SC , а параметр Seg всегда ставьте равным -1 для оптимальной автосегментации. Эти настройки дают весьма хорошие результаты в подавляющем большинстве случаев. Только в некоторых специальных случаях, например параллельное соединение нескольких проводов с пучностями напряжения на их концах или наличие пучностей напряжения в середине провода между двумя соседними сегментами, может иметь смысл увеличить параметр EC до 2–4 и уменьшить SC до 1,1...1,2. Ответ на вопрос, как именно можно определить, не требуется ли в вашем случае увеличить число сегментов, есть в конце книги (ответы на часто задаваемые вопросы).

Автосегментация – это очень полезная функция MMANA, позволяющая, во-первых, свести к минимуму ошибки при ручном разбиении на сегменты. А во-вторых, поскольку при автосегментации длина сегмента пропорциональна длине волны, исключить ошибки связанные с изменением частоты. Например, если при анализе антенны Бевереджа длиной 200 м установить вручную число точек 100, то для частоты 1,8 МГц такое количество будет излишним, а для частоты 28 МГц –

недостаточным. Автосегментация позволяет забыть об этой проблеме.

Установленный флаг в поле **Не разрывать** позволяет при последующем редактировании антенны и перемещении провода не разрывать электрически соединенные с ним другие провода, перемещая их вместе с исходным проводом.

4.2 Всплывающее меню

Мы уже упоминали, о всплывающем (под правой кнопкой мыши) меню – его опциях **Установки размеров комбинированного провода** и **Таблица размеров комбинированного провода**. Почти все команды этого меню, как, впрочем, и большинства других, имеют «быстрые» клавиши (подчеркнутые буквы) и «горячие» клавиши (написаны рядом). Не будем останавливаться на самоочевидных командах **Удалить**, **Добавить** – рассмотрим другие:

- **Поменять местами начало и конец** (обменивает координаты начала и конца провода). Бывает очень полезна, когда вы случайно установили источник или нагрузку не на ту сторону провода, которую нужно.
- **Поиск и замена** позволяет заменить значение координаты новым, причем по выбранным осям. Специальный флаг позволяет менять и зеркальные значения (удобно для симметричных антенн).
- **Подвинуть** – перемещение по выбранным координатам. Здесь нередко ошибка пользователя. По умолчанию в меню **Подвинуть** стоит флаг в поле **Выделенную точку**, и если вы хотите подвинуть всю антенну, то надо переставить флаг в поле **Все координаты**, ибо иначе подвинется только одна точка и форма антенны исказится.
- **Описание провода** – подробная таблица, описывающая все параметры выбранного провода (есть даже полярные координаты!). Удобна при различных правках антенны, когда вы хотите что-то поменять в описании данного провода без захода в закладку **Геометрия**.
- **Сервис и установки** – под этой командой прячется обширное, очень интересное и полезное меню (в которое можно попасть также через команду **Сервис** в самой верхней строке), которое, по сути, представляет собой

несколько разных, удобных расчетных программ. Пользоваться ими можно совершенно независимо от MMANA, но обо всем этом подробный разговор будет позднее.

4.3. Источники

Левая нижняя табличка описывает источники. Прямо под словом PULSE пишется:

- w1c – если источник в середине первого провода,
- w1b – если он в начале первого провода,
- w1e – если он в конце первого провода,
- w2c – если он в середине второго провода, и т.д.

Если источник не в середине и не в конце, а где-то сбоку пишется так:

- w1c4 – источник, смещенный в направлении конца от центра первого провода на 4 сегмента (где именно получился источник можно посмотреть, нажав закладку **Вид**, о которой ниже).
- w2c-5 – источник, смещенный от центра первого провода в направлении его начала на 5 сегментов.

То есть первая буква – всегда w (от *wire* – провод), цифра – номер провода, буква за номером (b, c, e) – обозначение начала, середины и конца провода соответственно, а последняя цифра (ее может и не быть) – величина смещения в сегментах от начала конца или середины. Если вы устанавливаете источник на начало или конец провода проверьте, чтобы к этому началу или концу было что-нибудь присоединено – или другой провод, или земля (координата по $Z = 0$). Току куда-то надо утекать, т. е. второй вывод источника не может «висеть в воздухе».

Если вы планируете множество экспериментов с антенной, то удобно разместить источник в центре очень короткого провода, а к нему уже присоединить основные провода антенны: тогда при всех перемещениях длинных проводов источник будет оставаться на месте. Это же прием применяется при параллельном соединении нескольких антенн, питаемых одной линией, а также для установки нагрузок.

Следующий столбец таблицы **Источники** – это фаза источника в градусах. Если источник один, то его фаза

безразлична. Но если вы проектируете систему с активным питанием и соответственно несколькими источниками, то в каждом должна быть установлена нужная фаза.

Например, в двухэлементной антенне HB9CV фаза первого источника 0, а второго – 135 градусов (откройте файл *hb9cv.maa* и посмотрите). Причем обратите внимание, в отличие от большинства других моделировщиков, в MMANA задается не фаза питающего тока, а фаза напряжения. Поэтому при переносе активных антенн из других моделировщиков в MMANA, установки источников будут другими.

Например, два четвертьволновых штыря на расстоянии $\lambda/4$ при источниках тока (например, в ELNEC) для однонаправленной ДН должны иметь следующие установки: 1-й источник: 1 ампер и 0 градусов, 2-й источник: 1 ампер и –90 градусов. При установке же источников напряжения, для получения той же самой ДН установки должны быть иными, 1-й источник: 0,26 вольта и 0 градусов, 2-й источник: 0,41 вольта и –25 градусов. Эта странная, на первый взгляд, разница в описании одного и того процесса возникает потому, что входные сопротивления вибраторов РАЗНЫЕ, первого 20–j18 Ом, второго 49+j15 Ом, поэтому токи одинаковой амплитуды дают разные напряжения, и кроме того, из-за наличия реактивной составляющей во входных сопротивлениях вибраторов фазы питающего тока не совпадают с фазами напряжений.

Последний столбец этой таблицы – напряжение источника. Если источников несколько, вы можете вручную установить амплитуду каждого из них (как в вышеприведенном примере), либо, установив флаг «Одинаковые источники» включить автоматическое уравнивание амплитуд всех источников.

4.4. Нагрузки

Под термином «нагрузка» здесь понимается любая пассивная сосредоточенная цепь – резистор, реактивность, контур. Расположение и вид нагрузок описываются в таблице **Нагрузки**. Положение нагрузки задается точно также как и положение источников в столбце **PULSE**. Тип нагрузки задается в следующем столбце выбором из меню, всплывающего под левой кнопкой мыши (курсор должен быть в этом столбце): LC, R+jX, S.

При выборе LC можно описать:

- Катушку. Столбец L – индуктивность в мкГн, в столбце C – 0, в столбце Q – добротность катушки (0 в этом столбце означает катушку без потерь, то есть с бесконечной добротностью).
- Конденсатор (столбец L – 0, столбец C – емкость в пФ).
- Параллельный колебательный контур. Либо заполнив столбцы L, C, Q, либо в столбце f(MHz) заполнив только L или только C, и, не вводя второй параметр, указать резонансную частоту контура в МГц – недостающий параметр будет автоматически подсчитан. Удобно для описания трапов.

При выборе R+jX в соответствующих столбцах просто указываются активное и реактивное части сопротивления нагрузки в Омах. Для задания резистора указывается только R.

При выборе S, устанавливается режим описания Лапласова типа нагрузки. Этот тип нагрузки наиболее полезен для представления сложных, комбинированных цепей, которые не могут быть представлены другими типами нагрузок. Этот режим удобен для описания сложных последовательно-параллельных цепей из множества реактивностей, например многорезонансных контуров.

Любая комбинация R, L и C может быть представлена Лапласовым типом нагрузок. Описание нагрузки вводится как коэффициенты полинома Лапласа требуемой цепи.

Первый коэффициент задается так: числитель дроби A0, знаменатель B0, второй коэффициент A1 и B1 и т.д. По крайней мере один коэффициент знаменателя должен быть ненулевым. MMANA допускает описание полинома (и соответственно цепи) до 13-го порядка (сравните новый и дорогой EZNEC – только до пятого).

Не используйте этот тип нагрузок, если вы не знакомы с использованием преобразования Лапласа, рассмотрение которого не входит в задачу этой книги.

Для включения нагрузки в состав антенны надо установить флаг в поле **Включить нагрузку(и)**. При отсутствии этого флага описанные в таблице нагрузки при моделировании считаются отключенными (удобно для экспериментов по выяснению влияния нагрузки на параметры антенны). Из типичных ошибок – указать провод, в котором задана нагрузка, и не описать ее (все нули или пустые столбцы).

Это приводит к остановке вычислений. Либо удалите эту нагрузку, если она вам не нужна, либо опишите ее до конца.

Для более детального изучения нагрузок посмотрите следующие примеры:

- Индуктивные нагрузки – VDP40.MAA, VDP40B.MAA, SLOPER.MAA.
- Нагрузки в виде конденсаторов – MAGLOOP.MAA, MAGLOOPC.MAA.
- Нагрузки в виде трапов – MULTDPH.MAA, MULTDPL.MAA, MULTDPW.MAA, MULTDPHW.MAA.
- Резистивные нагрузки – T2FD.MAA, RHOMBIC.MAA, BEVERERAGE.MAA.
- Лапласов тип нагрузки – MCQM.MAA.

Появляющаяся справа над табличкой **Нагрузки** кнопка **Комментарии** вызывает текстовый файл, в котором записаны любые дополнительные данные об антенне. Эта кнопка появляется только тогда, когда при создании антенны были написаны какие-нибудь комментарии. Для создания комментариев на новой антенне используйте команду **Файл – Комментарии**. Эту опцию удобно использовать как записную книжку для хранения сведений, относящихся к данной антенне.

5. ЗАКЛАДКА «ВИД»

Выбрав эту закладку можно посмотреть внешний вид в трехмерном пространстве описанной вами антенны (или взятой из готового файла) и распределение сегментов и токов по ней. Последнее возможно только после предварительного проведения расчета в закладке **Вычисления**, о которой речь пойдет позднее. На рис. 2 показано окно этой закладки.

Движками **Верт. вращение**, **Гор. вращение** и **Масштаб** можно внимательно рассмотреть антенну со всех сторон. Если вы потеряли из виду антенну, нормальное изображение восстанавливается либо флагом **Нормальный вид**, либо нажатием одной из двух кнопок **Центр на антенне** или **Центр на $X=0, Y=0, Z=0$** .

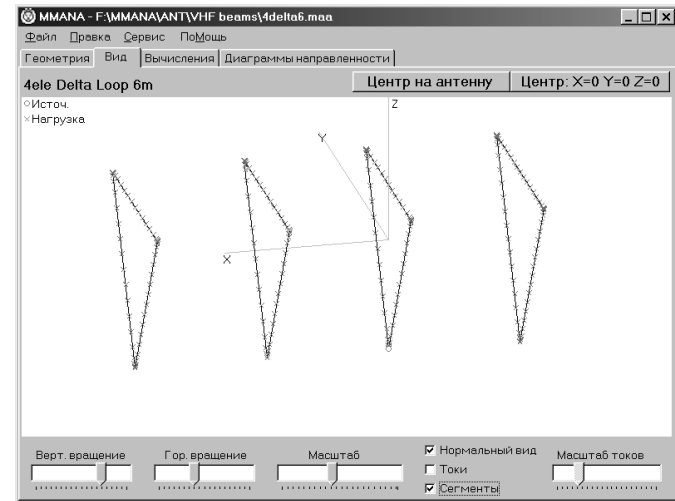


Рис. 2

Первая кнопка помещает в центр экрана геометрический центр антенны (автоматически изменяя при этом масштаб таким образом, чтобы в экран поместилась вся антенна целиком), вторая – в начало координат (выбранный масштаб при этом не меняется). Источники показаны красными кружками, нагрузки – красными крестиками. Напоминание об этом «висит» в левом верхнем углу окна.

При установке флага «сегменты» зелеными крестиками показываются точки разбиения проводов на сегменты. Это удобно делать, чтобы изучить, как меняется сегментация провода при установке разных значений в поле Seg закладки **Геометрия** и влияние на параметры автосегментации (при **Seg** равной отрицательной величине) изменение значений DM1, DM2, SC, EC.

При установке флага «токи» показывается распределение тока в проводах (для этого предварительно должны быть сделан расчет антенны в закладке **Вычисления**). Масштаб отображения токов регулируется соответствующим движком. Просмотр распределения тока по антенне весьма желателен.

Вы должны понимать, что:

- Основное излучение обеспечивают те участки, по которым протекает максимальный ток.
- Участки минимума тока соответствуют максимумам напряжения, и наоборот.

- Желательно, чтобы токи были синфазными, наличие близко расположенных участков с противофазными токами приводит к взаимной компенсации их излучения и снижению эффективности антенны.
- Наличие противофазных токов на протяжении одного провода приводит к дроблению его ДН на лепестки, и, как правило, нежелательно.
- Тут же желательно убедиться, что ни один ноль тока не на краю провода (если таковые имеются) не попадает между далеко отстоящими сегментами. Если такое случилось, увеличьте плотность сегментации, как описано в разделе 4.

На изображении антенны щелчком левой кнопки мыши можно выделить провод – его описание появиться в окне в правом нижнем углу. Если это окно мешает вам, то убрать его можно, временно перейдя в закладку **Геометрия** и выделив там мышкой самую последнюю (пустую) строку в таблице проводов. Тогда при возвращении в закладку **Вид** окна описания провода не будет.

Если проектируемая антенна представляет собой стек, то справа сверху будет дано краткое описание стека – число этажей по горизонтали и вертикали.

5.1. Всплывающее меню

В этом меню (под правой кнопкой мыши) часть команд такая же как и во всплывающем меню закладки **Геометрия** (см. п.4.2.).

Остановимся только на новых командах:

- **Центр изображения на этой позиции** – устанавливает центр обзора на выбранное курсором место. Полезна, если вы хотите детально рассмотреть какой-либо фрагмент антенны. Перед тем как растянуть масштаб изображения, установите интересующий вас участок на центр. Тогда при растяжке он не «убежит» за экран.
- **Удалить источник** – тут почти все ясно. Почти – потому что для активизации этой команды надо предварительно выделить тот провод, в котором этот источник установлен.
- **Передвинуть/добавить источник в** и далее выбрать из следующего окна, куда именно (в начало, конец или середину) вы хотите поместить источник. Предыдущее замечание о выделении провода относится и к этому пункту.

6. ЗАКЛАДКА «ВЫЧИСЛЕНИЯ»

6.1. Параметры окна

Вид этого окна с примером расчета предыдущей антенны *4delta6.maa*, показан на рис. 3. В этом окне производятся установки условий расчета, выводится ход расчета и окончательные результаты. В окне **Частота** устанавливается частота анализа антенны (по умолчанию берется частота, установленная в закладке **Геометрия**). В этом поле имеется удобный для выбора список частот, по несколько из каждого любительского диапазона, а если вам нужна специфическая частота, то введите ее значение вручную.

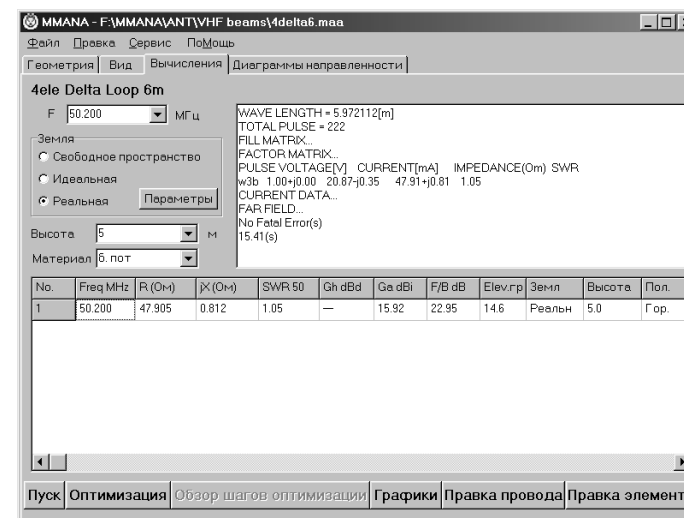


Рис. 3

Правое окно – информационное. Оно отображает текущее состояние расчета. Туда же выводятся сообщения о возможных ошибках расчета.

В окошке **Земля** выбирается тип земли. Пункты **Свободное пространство** и **Идеальная** пояснения не требуют, а вот при установке **Реальная земля**, в этом же окошке появляется кнопка **Параметры**, которая вызывает окно **Параметры реальной земли**, заслуживающее отдельного раздела в описании – см. 6.1.1.

Высота антенны над землей устанавливается в поле **Высота** (естественно, этого можно не делать, если в окошке **Земля** выбрана опция **Свободное пространство**). Программа поднимает антенну вверх по оси Z.

В поле **Материал** выберите из списка материал антенны. Тип материала оказывает заметное влияние на УКВ и укороченных КВ антеннах.

6.1.1 Окно «Параметры земли» и ограничения MININEC при моделировании реальной земли

Этот раздел при первом чтении имеет смысл лишь бегло просмотреть и вернуться к нему внимательно уже после того, как вы попробуете моделировать антенны.

Ранее уже было сказано, что вычислительным «движком» MMANA (как и многих других коммерческих программ моделирования) является MININEC. Сам MININEC имеет некоторые особенности и ограничения в моделировании **Реальной земли**, которые естественно перешли и в MMANA. Мы сейчас рассмотрим их.

Даже когда установлена **Реальная земля**, MININEC для расчета входного импеданса антенны принимает идеальную землю. Реальная земля (со всем ее описанием) учитывается только при определении поля в дальней зоне, и, следовательно, при вычислении усиления антенны и формы ее ДН.

Поэтому при расчетах в MININEC нельзя определить влияние качества земли на входное сопротивление вертикальной антенны, стоящей на поверхности земли, и соответственно оценить влияние потерь в системе заземления на полосу пропускания антенны. Иными словами – вычисляется полоса пропускания при идеальной земле, а значит более узкая, чем в реальности, ибо сопротивление потерь реальной земли снижает добротность антенны и расширяет ее полосу. Кроме того, следует иметь в виду, что активные части импедансов низко висящих (ниже, чем приблизительно 0,25 длины волны) горизонтальных антенн будут несколько меньше реальных, поскольку вычислены для идеальной земли. Это также приводит к неестественно высоким коэффициентам усиления низко подвешенных горизонтальных антенн, поскольку земля в модели действует как идеальный рефлектор (реально таковым не

являясь), и поле, созданное такой антенной, складывается с полем, отраженным от идеальной земли – получается подобие двухэлементной антенны, направленной в зенит.

Это ограничение MININEC и всех основанных на «движке» MININEC программ. Ограничение было сознательно сделано авторами MININEC, чтобы уменьшить объем вычислений и время расчета модели.

Заметьте, что во всех вышеприведенных случаях ДН будут рассчитаны верно. MININEC при расчете поля в дальней зоне (ДН) корректно учитывает отражение и поглощение сигнала землей, учитывая ее проводимость и диэлектрическая проницаемость. Это ценно в определении оптимальной высоты антенны для получения требуемого вертикального угла излучения и формы ДН.

Для задания простой плоской и бесконечной реальной земли в MMANA в таблице **Параметры земли** заполните одну строку – первый столбец – диэлектрическая проницаемость земли, второй – ее проводимость в мС/м. Если вы не знаете параметров своей земли, то ориентировочно их можно взять из таблицы 1.

В четвертом столбце таблицы запишите нуль, в третьем – любое число (например, тоже нуль), его величина в данном случае ничего не определяет. Проследите, чтобы в поле **ВКЛ – радиальный тип** отсутствовала «птичка». На этом описание наиболее употребительного случая плоской земли завершено.

MININEC допускает описание земли сложной формы и с переменными параметрами. Земля может быть задана в виде нескольких различных сред, каждая с собственной проводимостью и диэлектрической постоянной. Каждая среда может иметь различную высоту, поэтому можно описать землю сложного рельефа.

Однако MININEC не будет учитывать экранирование, вызванное элементами рельефа – он вычисляет только отражения от сложного рельефа земли.

Возможны два варианта задания формы сред – параллельные ступени (террасы) или концентрические кольца. Тип сред выбирается установкой «птички», в поле **ВКЛ – радиальный тип**. Если «птички» там нет, то это режим ступеней (в табличке **Параметры реальной земли** третий столбец имеет название **Xcord**), а если «птичка» установлена – то это режим концентрических колец (в табличке **Параметры земли** третий столбец изменяет название на **Rcord**).

Таблица 1

Параметры земли

Характеристика земли	Диэл. Постоянная	Проводимость, мС/м	Качество земли
Морская вода	81	5000	Отличное
Пресная вода	80	1	Отличное
Сельская местность, слегка холмистая, жирный чернозем	20	30	Очень хорошее
Сельская местность, слегка холмистая, чернозем	14	10	Очень хорошее
Болотистая равнина, густо поросшая лесом	13	7.5	Очень хорошее
Сельская местность, холмы средней высоты, среднее облесение	13	6	Хорошее
Сельская местность, холмы средней высоты, среднее облесение, тяжелые глинистые почвы	13	5	Посредственное
Каменистая почва, крутые холмы	14	2	Плохое
Песчаная почва, сухая и каменистая	10	2	Плохое
Городские и индустриальные районы	5	1	Очень плохое
Городские и индустриальные районы – асфальтовые поля	30	1	Очень плохое

Размеры и характеристики каждой среды описываются отдельной строчкой в таблице **Параметр земли**. Первые два столбца – диэлектрическая проницаемость и проводимость данной среды понятны. Два последних столбца – задают координаты среды. Третий столбец, задающий координату по X данной среды, мы рассмотрим позднее. Четвертый – определяет высоту среды в метрах над нулевой координатой Z. Тут есть ограничение MININEC – для правильного расчета первая в списке среда всегда должна иметь высоту 0.

Все остальные среды могут иметь произвольную высоту как положительную (ступень вверх, дом, холм), так и отрицательную – (ступень вниз, обрыв).

В режиме ступеней каждая среда представляет собой полосу (ступень) бесконечной длины и заданной ширины, параллельную оси Y. Таких сред-ступеней может быть описано несколько. Вводимая в третий столбец таблицы координата Xcord задает окончание данной среды-ступени по оси X (действительно для всех сред, кроме последней в списке). Заметим, что в строке описания данной среды вводится координата Xcord ее конца. Началом данной среды, является конец предыдущей, поэтому ЗНАЧЕНИЕ КООРДИНАТЫ Xcord КАЖДОЙ СЛЕДУЮЩЕЙ СРЕДЫ ДОЛЖНО БЫТЬ БОЛЬШЕ ЧЕМ ПРЕДЫДУЩЕЙ. Последняя в списке среда не имеет внешней границы и простирается в бесконечность, поэтому то, что в ней установлено в столбце Xcord, роли не играет. Отметим, что если среда в таблице одна, то она простирается до бесконечности во все стороны.

Пример 1. Берег моря. Две среды, имеющие одинаковую высоту, но разные параметры. Параметры земли берега: диэлектрическая проницаемость 13, проводимость 7,5 мС/м, морской воды – 81 и 5000 соответственно. В таблице **Параметры земли** должны быть две строки вида:

13	7,5	10	0
81	5000	любое число	0

Это означает, что первая среда (земля) имеет нулевую высоту и начинается по оси X в минус бесконечности и кончается на координате X = 10 м, а вторая среда (море), также имея нулевую высоту, начинается по оси X от координаты 10 м (конец предыдущей среды) и продолжается до плюс бесконечности.

Задайте такую землю, нарисуйте простой четвертьволновый штырь (при расположении его на X = 0 получится, что антенна стоит в 10 метрах от берега) и подвигайте его по оси X – поизучайте, как и почему будут меняться его ДН.

Пример 2. Каменистое плато (диэлектрическая проницаемость 14, проводимость 2 мС/м), оканчивается обрывом глубиной 20 м, за которым следует черноземное поле (диэлектрическая проницаемость 20, проводимость 30 мС/м) шириной 100 м, а за ним лежит большое пресное озеро (диэлектрическая проницаемость 80, проводимость 1 мС/м),

ниже уровня поля еще на 5 м. В таблице «Параметры земли» должны быть три строки вида:

14	2	0	0
20	30	100	-20
80	1	любое число	-25

Это означает, что первая среда – холм имеет нулевую высоту и начинается по оси X в минус бесконечности и кончается на координате $X = 0$ м. Вторая среда (поле), имея высоту на 20 м меньше, начинается по оси X от координаты 0 м (конец предыдущей среды) и продолжается до координаты 100 м, третья среда (пресная вода) еще на 5 метров ниже и начинается по оси X от координаты 100 м (конец предыдущей среды) и продолжается до плюс бесконечности.

Если установлен режим концентрических колец («птичка» в поле **Радиалы-Включить**), то третий столбец таблицы **Параметры земли** меняет свое название на Rcord. В этом режиме первая среда представляет собой круг с центром в начале координат, а все последующие среды – расходящиеся концентрические кольца. Таких сред-колец может быть описано несколько.

Вводимая в третий столбец таблицы координата Rcord задает в метрах наружный радиус данной среды (действительно для всех сред, кроме последней в списке). Началом данной среды, является конец предыдущей, поэтому **ЗНАЧЕНИЕ КООРДИНАТЫ Rcord КАЖДОЙ СЛЕДУЮЩЕЙ СРЕДЫ ДОЛЖНО БЫТЬ БОЛЬШЕ ЧЕМ ПРЕДЫДУЩЕЙ**. Последняя в списке среда не имеет внешней границы и простирается в бесконечность, поэтому, что в ней установлено в столбце Rcord роли не играет. Если среда в таблице одна, то она простирается до бесконечности во все стороны.

Отметим особенность (это требование MININEC) – центр первой среды всегда располагается в начале координат. В режиме концентрических колец активно окошко **Радиалы**, и вы можете задать проволочные противовесы (радиалы). В этом окне вводится число радиалов и радиус провода, из которого они изготовлены. Обратите внимание – поле **Радиус** в этом окне задает радиус провода (внимание – в данном окне это делается не в миллиметрах, а в метрах!), из которого выполнены радиалы, а не их длину (т.е. радиус среды)! Длиной

же радиалов является радиус первой среды, заданный в таблице **Параметры земли**. Если в этой таблице описана только одна строка, что соответствует единственному кругу бесконечной длины, то и радиалы также будут бесконечной длины. Поэтому, если вы хотите задать радиалы конечной длины, то вы должны использовать как минимум две среды, причем концом радиалов будет конец первой среды. То есть радиалы, простираются от начала координат до внешней границы самой внутренней среды. Отметим (ограничение MININEC), что радиалы в модели используются только, чтобы изменить проводимость земли для вычисления поля в дальней зоне, т. е. усиления и ДН антенны. Но они не будут иметь влияния на входной импеданс вертикальной антенны. **ОНИ НЕ МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПОТЕРЬ В СИСТЕМЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НА ВХОДНОЙ ИМПЕДАНС АНТЕННЫ**. И еще одно ограничение MININEC, касающееся радиалов: вычисления точны только для большого числа радиалов (условно говоря – больше четырех). Для малого же числа радиалов не учитывается искажение формы ДН, которая в этом случае вытягивается лепестками вдоль радиалов. Для учета подобных эффектов лучше задать радиалы не из меню «Параметры земли», а нарисовать их как отдельные провода, приподнятые над землей.

Пример 3. Имеется небольшое пресноводное круглое озеро (диэлектрическая проницаемость 80, проводимость 1 мС/м) диаметром 200 м (радиус 100 м), окруженное кольцом влажной почвы (диэлектрическая проницаемость 14, проводимость 10 мС/м) шириной 20 м, а дальше во все стороны идет сухая почва (диэлектрическая проницаемость 10, проводимость 2 мС/м). Все это на одной высоте. В таблице **Параметры земли** должны быть три строки вида:

80	1	100	0
14	10	150	0
10	2	любое число	0

Это означает, что первая среда – озеро имеет нулевую высоту и форму круга с радиусом 100 м. Вторая среда (влажная почва) имеет форму кольца с внутренним радиусом 100 м (внешняя граница предыдущей среды) и наружным 150 м.

Третья среда (сухая почва) имеет форму кольца с внутренним радиусом 150 м (внешняя граница предыдущей среды) и простирается до бесконечности во все стороны. Отметим, что в данном случае в окошке **Радиалы** поля **Число** и **Радиус** должны быть оставлены пустыми (или заполнены нулями) – радиалов в данном примере у нас нет.

Пример 4. По равномерной, плоской сухой земле (диэлектрическая проницаемость 10, проводимость 2 мС/м) разложено 10 противовесов длиной по 10 м из провода диаметром 2 мм. В таблице **Параметры земли** должны быть две строки вида:

10	2	10	0
10	2	любое число	0

и, кроме того, в окошке **Радиалы** должно стоять **Число** 10 и **Радиус** 0,001.

Это означает, что первая среда имеет нулевую высоту и форму круга с радиусом 10 м, причем внутри нее на почве дополнительно разложены 10 противовесов по 10 м каждый из провода диаметром 2 мм (а радиуса, естественно 1 мм). Вторая среда имеет форму кольца с внутренним радиусом 10 м (внешняя граница предыдущей среды) и простирается до бесконечности во все стороны.

Пример 5. Высотный железобетонный круглый дом-башня (диэлектрическая проницаемость 13, проводимость 5 мС/м), высотой 20 м, радиусом 8 м. На крыше дома, в самом центре разложены 6 противовесов длиной по 5,2 м из провода диаметром 1 мм. Вокруг дома равномерно во все стороны лежат городские районы (диэлектрическая проницаемость 5, проводимость 1 мС/м). В таблице **Параметры земли** должны быть три строки вида:

13	5	5,2	0
13	5	8	0
5	1	любое число	-20

и, кроме того, в окошке **Радиалы** должно стоять **Число** 6 и **Радиус** 0,005.

Первые две строки описывают крышу дома: первая среда – имеет нулевую высоту и форму круга с радиусом 5,2 м, причем на нее дополнительно положены шесть противовесов по 5,2 м длиной каждый из провода диаметром 1 мм (радиусом 0,5 мм). Вторая среда имеет форму кольца с внутренним радиусом 5,2 м (внешняя граница предыдущей среды) и имеет внешний радиус 8 м – это граница крыши. Третья среда (городские районы) лежит по высоте на 20 м ниже двух предыдущих (высота дома), и имеет форму кольца с внутренним радиусом 8 м (наружный радиус дома) и продолжается до бесконечности во все стороны.

Еще два важных нюанса, относящихся к моделированию земли. Во-первых, вы можете разместить свою антенну в центре координат (т. е. в центре первого круга) – логично это сделать в последнем примере. Но можно этого и не делать – допустимо ее произвольное смещение по плоскости X-Y. Так в примере 3 с озером нет никакой необходимости устанавливать антенну в центре озера – разместите ее на берегу, в любой удобной точке.

Во-вторых, установки реальной земли записываются в *ini*-файл MMANA (а не в файл данной, конкретной антенны, как все остальные исходные данные антенны) и по умолчанию действуют и на все следующие открываемые антенны, изменяя их параметры. Поэтому, если ваши давно и хорошо изученные модели антенн вдруг изменили свои параметры, то почти наверняка дело в том, что вы в последней модели поменяли параметры реальной земли, и совершенно естественно, что это повлияло на параметры уже изученных антенн (если в их описании установлена реальная земля).

Это же случается и при установке новых версий программы – в исходном *ini*-файле MMANA записаны установки равномерной плоской земли (диэлектрическая проницаемость 13, проводимость 5 мС/м), а у вас были уже были установлены какие-то иные, ваши собственные, параметры земли. Поэтому всегда внимательно следите, что именно установлено у вас в **Параметрах земли**.

Завершая этот затянувшийся (но очень нужный!) раздел хочу заметить, что точное моделирование окружающего пространства, несмотря на вышеописанные функции, конечно невозможно. Но мне представляется, что от программы моделирования, по крайней мере, радиолюбительской сие и не требуется. Даже если взять идеальный способ, абсолютно

точно учитывающий как форму, так и дифференциальные характеристики земли и окружающих предметов в каждой точке, то на практике это мало что даст в смысле точности модели. Я себе слабо представляю, кто сможет предпринять подробные исследования хотя бы на проницаемость и проводимость, и измерить размеры множества местных предметов (своей крыши и лифтовых будок на ней, столбов и проводов) и измерить свойства земли во многих точках для ее корректного описания. Это чрезвычайно трудоемкая работа даже для коллектива профессионалов, но никак не для радиолюбителя. Тогда уж быстрее будет просто сделать и измерить антенну.

Поэтому, несмотря на все вышеприведенные ограничения, в подавляющем большинстве случаев в MMANA можно описать конкретную землю с достаточной для практики точностью.

6.1.2. Результаты вычислений

Закончив ввод описания антенны и нажав кнопку **Пуск** в большой нижней таблице мы получим результаты расчета. Если ваш компьютер не очень быстр, а число точек расчета велико, то результатов придется подождать. Результаты выводятся в следующем формате (по столбцам):

- Freq MHz – частота.
- R – активная часть входного сопротивления, Ом.
- jX – реактивная.
- SWR – KCB (по умолчанию в 50-омном тракте, если требуется иное сопротивление его можно установить через меню «Сервис», по цепочке – «Сервис-Сервис и Установки - Установки - Стандартное Z»).
- Gh – усиление относительно полуволнового диполя (дБд), причем это значение выводится, только если расчет производится для свободного пространства. На мой взгляд, это правильный подход – сравнивать усиление антенны с диполем, действительно корректно только в свободном пространстве, ибо при наличии земли ДН, усиление и зенитный угол максимума излучения диполя зависят как от высоты подвеса, так и от свойств земли. Использовать в качестве образца для сравнения столь меняющуюся по параметрам «единицу измерения» как диполь над землей просто неудобно.

- Ga dbi – усиление к изотропному излучателю (для свободного пространства на 2,15 дБ больше, чем Gh). Эта единица, будучи привязанной к абстрактной все-направленной антенне, независимой от высоты и свойств земли, используется в последующем во всех таблицах и графиках.
- F/V db – отношение уровней излучения вперед/назад. В качестве направления назад используется довольно большой телесный угол, по умолчанию – по азимуту 120 градусов (+ 60 градусов от направления назад, т. е. от 120 до 240 градусов по азимуту) и 60 градусов (от 0 до 60 градусов) по зениту. Вычисление излучения назад в столь широком угловом диапазоне более корректно, чем простое вычисление только назад. Это же является причиной, что MMANA дает меньшие значения F/V, чем другие моделирующие программы, которые считают заднее излучение, только для единственного направления – чисто назад. Иное значение телесного угла, излучение в котором будет приниматься излучением назад, можно установить через меню **Сервис**, по цепочке – **Сервис-Сервис и Установки-Установки-Направление тыла для F/V**.
- Elev. – зенитный (вертикальный) угол, под которым расположен максимум излучения антенны.
- Земл – тип земли (свободное пространство, идеальная или реальная), для которого проводилось моделирование.
- Высота – высота антенны в метрах над землей. Естественно, если земля была задана как свободное пространство, столбец будет пустым.
- Пол. – поляризация антенны – горизонтальная или вертикальная. Точнее говоря, выводится, в какой поляризации антенна излучает большую часть мощности.

6.2. Меню «Графики»

Теперь, когда мы увидели результаты расчета антенны в таблице, было бы неплохо более детально изучить их. Для этого жмем на кнопку **Графики**. В поле **Полоса** устанавливается ширина полосы частот (относительно центральной), в которой вы хотите посмотреть параметры (как и во всех подобных) полях. Этот параметр можно либо выбрать из списка,

либо установить вручную. Выбранное значение автоматически устанавливается по горизонтальной оси графика. Далее кнопками вверх выбирается число точек расчета. Для первого анализа достаточно нажать **2 точки** – график будет построен грубо, только по двум точкам. Остальная часть его будет построена сложной экстраполяцией – предположениями MMANA как же этот график должен по ее мнению идти дальше. Точность таких предположений довольно высока, но конечно не абсолютна. Кроме того, на антеннах с нестандартным поведением КСВ от частоты (широкополосных, например) предположения MMANA оказываются неточными. При нажатии **Вся сетка** – просчитываются пять точек – каждый шаг сетки, чем уточняется предыдущий график. При нажатии **Доп. точки**, кроме пяти точек сетки, просчитываются несколько дополнительных точек между шагами сетки (по умолчанию 1, максимум 4), что позволяет иметь уже весьма точный и подробный график из 20 точек.

Последовательно выбирая закладки **Z**, **КСВ**, **Gain/FB**, **ДН** можно наглядно увидеть, как меняются от частоты в заданном вами диапазоне параметры антенны (для тех же самых частот расчета).

Кнопка **Поиск резонанса** предназначена для автоматического поиска резонансной частоты антенны (т. е. той, на которой реактивная составляющая ее входного импеданса равна нулю). Это бывает полезно в некоторых случаях, а именно:

- Если обнаружить резонанс вручную упорно не удастся.
- Для поиска резонансных частот несущих конструкций (мачт например).
- Для определения точного (в цифрах) значения резонансной частоты (не всегда удобно считывать ее значение с обычных графиков).
- После нахождения резонансной частоты на нее автоматически устанавливается центр всех графиков этого окна.

Два важных нюанса. Во-первых, резонансная частота ищется не только в диапазоне, заданном в окне **Полоса**, а во всем диапазоне частот. Во-вторых, если антенна имеет несколько резонансных частот, то определяется ближайшая к установленной центральной частоте. Для определения других резонансных частот MMANA надо «навести на след» – т. е. в закладке этого же окна **Установки** указать какую-то частоту в районе предполагаемого другого резонанса. При этом точность этого «наведения» может быть очень низкой.

Например, простой полуволновой диполь на 14 МГц при задании частоты 20 МГц и нажатии кнопки **Поиск резонанса** дает частоту первого резонанса 14,037 МГц. А при установке центральной частоты 30 МГц нажатие той же кнопки обнаруживает резонанс диполя уже на третьей гармонике – на частоте 42,764 МГц. При установке 60 МГц отыскивается резонанс на пятой гармонике 71,052 МГц.

6.2.1. Закладка «Z»

Черной линией на рис. 4 (кривая 1) показан график $R(f)$, а красной (кривая 2) – $jX(f)$. Есть очень полезная функция – обеспечивающая возможность включить/выключить (во всплывающем под правой кнопкой мыши меню) на этом графике СУ согласующее устройство. Оно автоматически уже рассчитано, и можно посмотреть, как измениться график.

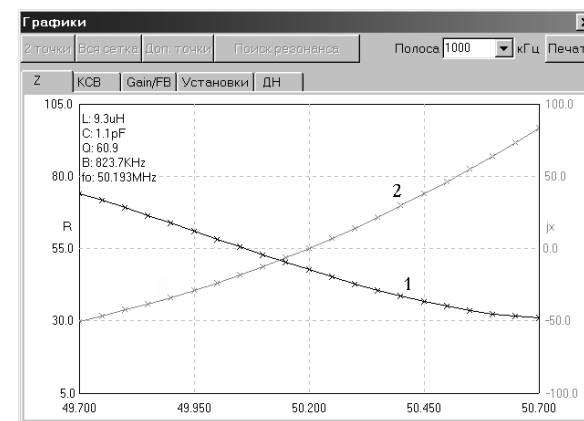


Рис. 4

Оценить, как на краях полосы пропускания антенны меняются реактивности. Уменьшается ли их значение при включении СУ (СУ и антенна имеют разные знаки вносимой реактивности по краям полосы, и поэтому частично компенсируют друг друга, расширяя суммарную полосу системы СУ-антенна). Или же наоборот, включение СУ увеличивает реактивности по краям полосы. Это означает, что СУ и антенна имеют одинаковые знаки вносимой реактивности по краям полосы, и поэтому СУ, хотя и настраивает антенну на центральной частоте, но уменьшает полосу системы СУ-антенна.

6.2.2. Закладка «КСВ»

Выводит график зависимости КСВ от частоты (рис. 5). Размер графика по оси КСВ автоматически адаптируется под получившиеся в процессе расчета значения, поэтому вы всегда увидите полный график.

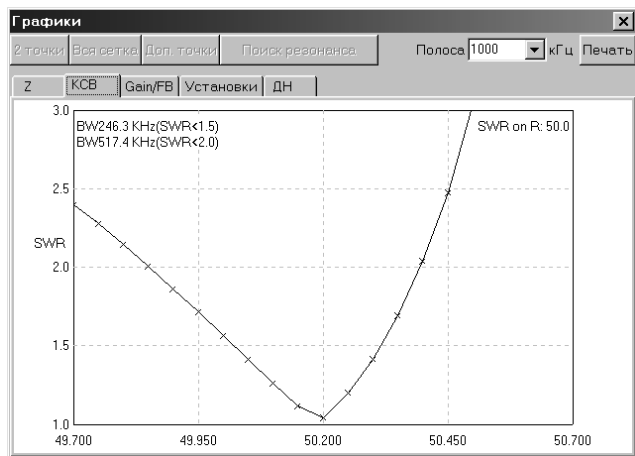


Рис. 5

Если же в заданной вами полосе есть значения с очень высоким КСВ, то график становится чрезмерно плотным в области малых значений. Рассмотреть подробно область малых значений КСВ можно либо, уменьшив полосу (до такой, в которой максимум КСВ будет невелик – оценивается по исходному графику), либо, зайдя в закладку **Установки** в окне **Лимит КСВ**, выбрать желаемый верхний предел графика по КСВ. Все значения выше этого уйдут за пределы окна, и график будет частично обрезан, но зато вы получите возможность детально рассмотреть график для малых КСВ.

В углу графика написаны вычисленные полосы пропускания антенны по уровням КСВ 1,5 и 2,0, что весьма удобно – не надо напрягаться и высчитывать их по клеткам. Также как и в предыдущем пункте на графике можно включить СУ (меню под правой кнопкой мыши) и посмотреть его влияние на согласование и полосу пропускания. Обратите внимание – бывают, на первый взгляд, нелогичные случаи, когда снижая КСВ до 1 на резонансной частоте СУ, тем не менее, уменьшает полосу антенны по уровню КСВ<2.

6.2.3. Закладка «Gain/FB»

Выводит графики усиления Gain(f) черным цветом (кривая 1 на рис. 6) и отношения излучений вперед/назад – красным (кривая 2 на рис. 6).

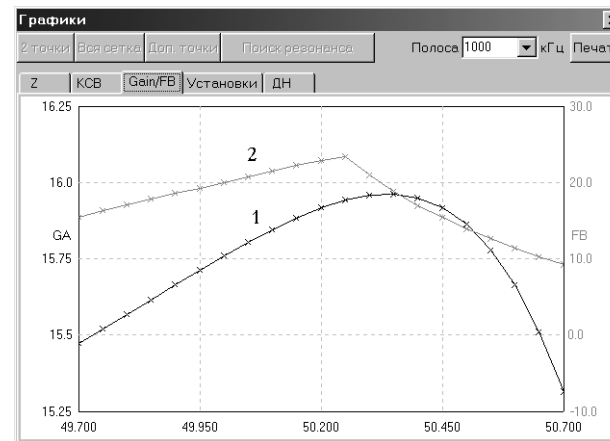


Рис. 6

Кстати, на рис. 6 отчетливо видно, что частоты (настройки) максимального усиления и максимального F/V многоэлементной антенны с пассивными элементами немного не совпадают.

6.2.4. Закладка «ДН»

Выводит разными цветами диаграммы направленности (кривые 1, 2, 3 на рис. 7) антенны для всех частот (шагов сетки) в рассчитанной полосе, а также табличку изменения основных параметров.

Это бывает очень полезно при подгонке антенны, когда требуемые характеристики и форма ДН могут оказаться не на центральной частоте, а где-то в стороне. В этой же закладке в окошке **ДН для поляризаций** можно выбрать для какой поляризации (вертикальной **V**, горизонтальной **H**, их суммы **Сумма**) или для одновременного отображения разными цветами **V+H**) будут построены ДН.

Если ДН на каких-то частотах вам не нужны, их можно выключить, щелкнув в строке соответствующей частоты в столбце **On**.

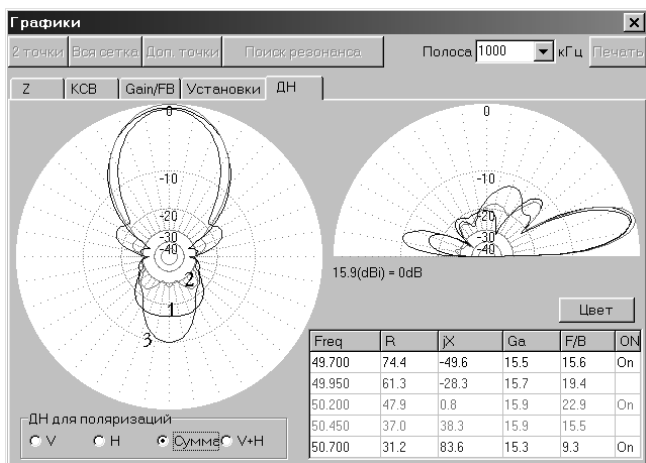


Рис. 7

6.2.5. Закладка «Установки»

Фцентр – центральная частота графика. По умолчанию совпадает с установленной в описании антенны в закладке **Геометрия**.

Лимит КСВ – см. пункт 6.2.2.

Число доп. точек – показывает, сколько дополнительных точек будет рассчитано между соседними шагами сетки (меняется только от 1 до 4, ручной ввод иных значений невозможен).

СУ на графиках – дублирует всплывающее меню.

F согласования – по умолчанию частота согласования (настройки СУ) равна центральной частоте. Но в этом окошке, по необходимости, можно установить и любую другую частоту согласования.

7. ЗАКЛАДКА «ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ»

Выбрав эту закладку (рис. 8), вы увидите ДН антенны в вертикальной и горизонтальной плоскости и табличку всех

основных параметров антенны. ДН любой антенны является объемной трехмерной фигурой, в общем случае, неправильной формы. Отображение этой фигуры на плоских графиках MMANA имеет свои особенности. ДН в вертикальной плоскости MMANA представляет собой сечение плоскостью X–Z объемной ДН.

Именно поэтому, чтобы увидеть на ДН в вертикальной плоскости отношение излучений вперед-назад (и для правильного подсчета F/B программой) при создании описания антенны, следует располагать ее так, чтобы предполагаемый максимум излучения был направлен вдоль оси X.

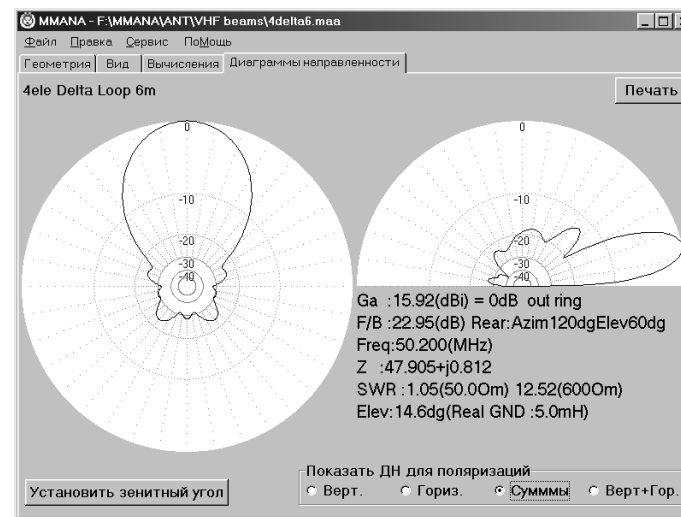


Рис. 8

ДН в горизонтальной плоскости НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПЛОСКИМ РАЗРЕЗОМ объемной ДН, как это принято думать. В самом деле, при наличии реальной земли непосредственно вдоль земли (под нулевым зенитным углом) никакая антенна ничего не излучает, поэтому если мы в этом случае просто попытаемся разрезать объемную ДН плоскостью X–Y, то не увидим ничего. В действительности же все ДН (не только в MMANA, а вообще все) в горизонтальной плоскости являются **КОНИЧЕСКИМИ** сечениями объемной ДН. Строится такая ДН так – берем определенный зенитный угол, и, сохраняя его постоянным, обходим по азимуту антенну вокруг. Получившаяся плоская фигура и будет коническим сечением.

Иными словами, для построения и анализа ДН в горизонтальной плоскости надо знать еще и зенитный угол, для которого она (ДН) построена.

ДН в горизонтальной плоскости, приведенная без указания этого угла (это нередко практикуется в любительской литературе), несет неполную информацию. Дело в том, что для многих антенн в зависимости от зенитного угла меняется не только усиление, но и в некоторой степени форма ДН в горизонтальной плоскости.

Для случая идеальной или реальной земли ДН в горизонтальной плоскости по умолчанию строится для зенитного угла, соответствующего максимальному уровню излучения. Иное значение зенитного угла задается кнопкой **Установить значение зенитного угла**. Это полезно при изучении излучения антенны под малыми зенитными углами к горизонту и формы ее ДН при этом в горизонтальной плоскости.

Если антенна моделируется в свободном пространстве, то установленный по умолчанию зенитный угол для построения ДН в горизонтальной плоскости составляет 0 градусов.

Вот в этом единственном частном случае коническое сечение совпадает с простым плоским сечением плоскостью X-Y. Через меню **Сервис**, по цепочке **Сервис-Сервис** и **Установки-Зенитный угол на ДН в свободном пространстве** можно задать построение горизонтальной ДН для зенитного угла, соответствующего максимальному излучению.

Это удобно, если максимум излучения антенны в свободном пространстве расположен где-то в стороне от 0 градусов по зенитному углу.

В окошке **ДН для поляризаций** можно выбрать для какой поляризации (вертикальной **V**, горизонтальной **H**, их суммы **Сумма**, или для одновременного отображения разными цветами **V+H**) будут построены ДН.

Сохранить ДН, параметры и все результаты расчета антенны в отдельный файл (на будущее для последующего сравнения их с другими) можно, выбрав в основном меню **Файл** команду **Сохранить ДН (*.mab)** (см. также раздел о командах главного меню **Файл**). При этом сохраняется не только описание антенны (провода, параметры сегментации, источники, нагрузки, частота, высота, материал), но и все результаты расчетов.

8. МЕНЮ «ПРАВКА ПРОВОДА»

Вернемся, однако, в закладку **Вычисления**. После того, как получены все параметры антенны, обычно возникает желание чего-нибудь в ней подправить. Конечно, это можно сделать, вернувшись в закладку **Геометрия** и изменяя вручную координаты проводов, но путь этот громоздок и весьма трудоемок. Гораздо проще нажать кнопку **Правка провода** и вызвать окно, которое представляет собой мощный CAD-редактор, позволяющий наглядно создавать и редактировать антенну только мышью без утомительного перебора цифр в закладке **Геометрия**.

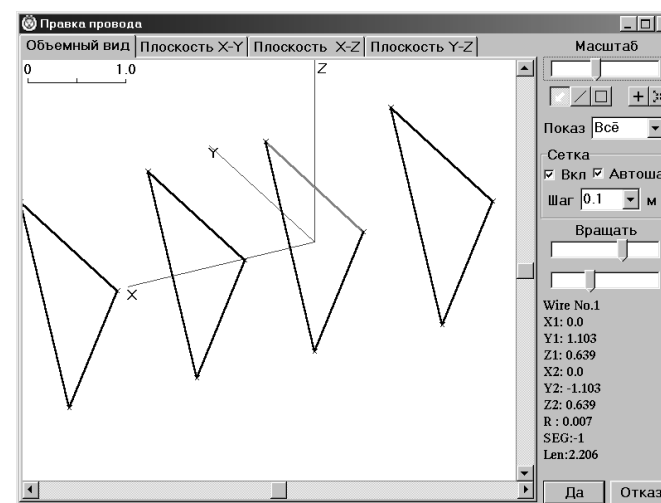


Рис. 9

В открывшемся окне (рис. 9) имеются четыре закладки с очевидным назначением – трехмерный вид антенны, а также двухмерные в каждой из трех плоскостей. В трех последних случаях для облегчения проектирования на изображение накладывается координатная сетка с указанием масштаба.

8.1. Команды и кнопки

На правом поле окна, кроме очевидных движков **Масштаб** и **Вращать** (два движка – вокруг вертикальной и горизонталь-

ной осей), имеются еще пять кнопок (сразу под движком **Масштаб**) с пиктограммами. Первые три кнопки действуют только при выборе одной из закладок двумерных видов (X-Y, Y-Z, Z-X) и устанавливают режим редактирования.

- Первая кнопка (с наклонной белой стрелкой) включает режим редактирования-перетаскивания правой кнопкой мыши существующих проводов. Щелчок – выделение провода (он при этом меняет цвет на красный), щелчок и удержание клавиши нажатой – перетаскивание провода. Причем, если вы возьмете выделенный провод за край (курсор совмещается с концом провода и превращается в крестик – это называется выделением конца провода), то будет перетаскиваться только один его конец, а второй останется на месте. Если же вы возьмете середину провода (при этом рядом с курсором появиться небольшой белый прямоугольник), перемещаться будет весь провод параллельно исходному положению. Электрические соединения при этом не разрываются, то есть будут перемещаться и концы тех проводов, которые электрически соединены с перемещаемым проводом.
- Вторая кнопка (с тонкой диагональной линией) включает режим рисования новых проводов. Просто щелкните в нужном месте координатной сетки правой кнопкой и, держа ее нажатой, нарисуйте провод. С этого действия обычно и начинается рисование новой антенны. Эта кнопка (в отличие от первой и третьей) также действует и на объемном виде, но с некоторыми ограничениями.
- На объемном виде нельзя рисовать провода с произвольными (висящими в воздухе) началами и концами, но зато можно (и нужно, потому что удобнее всего) соединять новыми проводами концы уже имеющихся проводов. Надо попробовать эту функцию, чтобы почувствовать, как она полезна. Создание сложных объемных антенн (вообще говоря, представляющее собой весьма сложную и трудоемкую задачу при вводе координат цифрами, как например в EZNEC, и вообще, во всех известных мне моделировщиках) при помощи этой функции превращается в сплошное удовольствие – простой и совершенно ясный ввод проводов в трехмерном пространстве. Посмотрите, например, в библиотеке антенн MMANA файл *ЗЕРКАЛО.МАН* – объемная сложнейшая антенна (сеточный параболоид) из более чем 300 проводов была

создана мною при помощи вышеописанной функции (и еще меню **Правка элемента**) от силы минут за 15.

- Аналогичный проект в любом другом моделировщике (даже в новейших платных) потребовал бы много часов кропотливейшего и нудного труда, сначала на ввод около 2000 цифровых координат, а потом на коррекцию ошибок. Файл объемной антенны UW4HW, весьма трудно создаваемый путем ввода цифр-координат, при помощи данной опции создается за минуты.
- Третья кнопка (с квадратиком внутри) аналогична второй, но рисуется не один провод, а сразу «квадрат» или прямоугольник.
- При всех перемещениях координаты начала и конца провода меняются не произвольно, а с выбранным шагом координатной сетки.
- Следующие две отдельно расположенные кнопки относятся к управлению изображением, поэтому работают при выборе любой закладки изображения.
- Четвертая кнопка (с плюсом внутри) устанавливает центр изображения на начало координат ($X = 0, Y = 0, Z = 0$).
- Последняя пятая кнопка (с четырьмя стрелками по углам) устанавливает нормальный масштаб, помещая центр изображения на геометрический центр антенны. Это очень удобно, если вы «потеряли из виду» антенну.

В меню **Показ** имеется выбор из трех строк: **Все** – показ всех проводов антенны; **Плоск** – показ только тех проводов, которые лежат в одной плоскости с выделенным проводом; **Элемент** – показ только проводов, электрически соединенных с выделенным. Это меню полезно при редактировании сложных, объемных антенн, когда на плоских видах провода могут накладываться друг на друга и надо временно удалить из рассмотрения не редактируемые в данный момент провода.

В окне **Сетка** устанавливаются параметры координатной сетки. Кроме очевидных флагов **Вкл** и меню **Шаг** имеется флаг **Автошаг**, который, будучи включен, обеспечивает автоматическое изменение шага координатной сетки при смене масштаба изображения. Кроме имеющихся в списке шагов, вы можете вручную задать собственное значение шага (в метрах).

Под движками **Вращать** при выделении провода появляется его полное описание, включая его длину.

8.2. Команды всплывающего меню

Под правой кнопкой мыши имеется обширное всплывающее меню. Первые три его команды очевидны и устанавливают центр изображения на выбранное место, антенну или начало координат.

Очевидны также и команды **Отменить последнее действие** (но только одно, поэтому будьте внимательны, и не делайте подряд два неправильных действия) и **Удалить провод** (выделенный).

Остальные команды:

- **Запомнить этот экран как**, с последующим выбором **A, B, C** – позволяет сохранить в памяти особо понравившийся вам вид, с тем, чтобы вернуться к нему при последующем редактировании.
- **Вызвать из памяти экран**, с последующим выбором **A, B, C** – обратное предыдущему действию.
- **Описание провода** – вызывает уже известное нам окно подробного описания выделенного провода.
- **Установить центр провода на начало координат** – перемещает выделенный провод, так что его центр оказывается точно на середине ближайшей оси координат.
- **Разделить провод на** с последующим выбором **2...10** – разрезает выделенный провод на выбранное число электрически соединенных кусков. Удобно для преобразования и смены формы антенны.
- **Соединить с концом ближайшего провода** – устанавливает электрический контакт выделенного конца провода с ближайшим существующим.
- **Разорвать соединение** – разрывает электрическое соединение выделенного конца провода, позволяя при последующем редактировании перемещать провод отдельно от остальных.
- **Установить начало сетки на** с последующим выбором – позволяет привязать начало координатной сетки к началу координат или к концу выделенного провода – по вашему выбору.

8.3. Особенности и приемы при пользовании меню «Правка провода»

Перемещение проводов на плоских видах происходит только с текущим шагом координатной сетки. Поэтому, если имеющиеся провода антенны не лежат точно на сетке, то возможны следующие проблемы:

- При первом же перемещении они совместятся с ближайшим шагом сетки.
- Если вы вводите новые провода на плоских видах, желая соединить их с уже имеющимися, то новые провода, находясь точно на сетке, не будут автоматически соединены с теми существующими проводами, концы которых не попадают на сетку. На концах таких проводов вместо крестика, свидетельствующего о наличии контакта, будет маленький белый квадратик, показывающий, что контакта нет. Чтобы все же соединить такие провода воспользуйтесь или вводом провода на объемном виде (там нет сетки и провод сам «прихватывается» к концу ближайшего), или на плоском виде во всплывающем меню, предварительно выделив нужный конец провода, выберите команду **Соединить с концом ближайшего провода**.

Если вы находитесь в плоских видах (например, плоскость X–Z) и при этом в меню **Показ** активна команда **Все**, то вновь рисуемые провода по отсутствующей третьей оси (в данном примере Y) будут иметь нулевую координату, то есть лежать именно в плоскости X–Z. Если же вам надо нарисовать провода с ненулевой координатой по третьей оси (например, вы имеете однодиапазонную антенну «двойной квадрат», и хотите превратить ее в трехдиапазонный вариант, добавив рамки в одной плоскости с уже имеющимися), то надо выделить провод или элемент, лежащий в нужной плоскости. Затем в меню **Показ** надо выбрать команду **Плоск.** или **Элемент**.

Для редактирования провода бывает удобно использовать окно **Описание провода**, вызываемое по команде всплывающего меню. Кроме описания провода в декартовой системе координат (того, что в закладке **Геометрия**), имеется описание провода в полярной системе координат (длина и два угла – азимутальный и зенитный). Очень удобно, если вам известна длина провода (например, вы вводите описание

готовой антенны), не отсчитывать по сетке эту длину, а нарисовав провод произвольной длины через полярные координаты, сразу ввести нужную длину. При этом укажите в этом меню, от какой точки провода будет эта длина отсчитываться (т. е. что именно останется на месте) выбрав **Начало**, **Середину** или **Конец**. При необходимости повернуть провод задайте новое значение углов полярных координат в этом окне. Очень удобно для осесимметричных антенн.

9. МЕНЮ «ПРАВКА ЭЛЕМЕНТА»

В этом меню объектом правки служит не отдельный провод, а элемент – несколько соединенных между собой электрических проводов. Например, одна рамка многоэлементного квадрата или один из диполей «волнового канала». Очень удобно для ввода и редактирования параметров многоэлементных антенн в очевидной, интуитивно ясной форме. Например, полный ввод описания десятиэлементного волнового канала с помощью этого меню займет у вас несколько минут, а трехэлементного «квадрата» или «дельты» – и того меньше!

9.1. Закладка «Параметры»

Выводит таблицу основных параметров каждого элемента. Активный элемент подсвечен красным. Столбцы в этой таблице (по порядку):

1. Форма и расположение элемента :
 - Г лин – горизонтальная линия
 - В лин – вертикальная линия
 - В кв, В ромб, В треу, В 2треуг, В-8-уг – вертикальный квадрат, ромб, треугольник, двойной треугольник и восьмиугольник соответственно.
 - Г кв, Г ромб, Г треу, Г-8-уг – все то же самое, но горизонтально.
2. Расстояние между элементами, считая либо от первого элемента, либо от активного (выбирается соответствующим флагом внизу).

3. Ширина элемента.
4. Высота элемента.
5. Длина (для электрически разомкнутого, например диполя) или периметр (для электрически замкнутого, например квадрата) элемента. Например, для «квадратов» или «дельт» не надо высчитывать размер и координаты сторон – просто задайте периметр, а все остальное сделает MMANA.
6. Радиус в миллиметрах (если элемент состоит из проводов разных радиусов, будет надпись *Mixt*).
7. Seg – сегментация (если элемент состоит из проводов с разным разбиением на сегменты, будет надпись *Mixt*).
8. Количество проводов в элементе.

Размерность величин в столбцах 2–5 (в метрах или в длинах волн) выбирается установкой соответствующего флага внизу.

Во всплывающей этой таблице под правой кнопкой мыши меню, кроме очевидных команд **Удалить**, **Добавить**, **Печать этой таблицы**, имеются следующие:

- **Калькулятор** – вызов стандартного Windows калькулятора.
- **Округлить величины до** с последующим выбором **2, 3, 4 знаков** – округляет излишне длинные значения после запятой. Это полезно, если в процессе редактирования, масштабирования или оптимизации получились слишком много цифр после запятой.
- **Поиск и замена** – позволяет заменить значение координаты на новое, причем по выбранным осям. Специальный флаг позволяет менять и зеркальные значения (удобно для симметричных антенн).
- **Установки комбинированного провода** – то же самое меню, которое описано в разделе «Закладка «Геометрия».
- **Изменить форму элемента**. Чрезвычайно полезная команда. Всплывающее под ней большое меню позволяет изменить форму элемента на треугольник, квадрат, ромб, восьмиугольник, линию и на фигуры более сложной формы, причем в любой плоскости и без изменения резонансной частоты элемента! Например, преобразование двухэлементного «волнового канала» в «двойной квадрат» производится несколькими движениями мышкой и занимает несколько секунд.

Так как же быстро ввести описание многоэлементного волнового канала? Выберите в главном меню **Файл** команду **Новый**. В закладке **Геометрия** установите нужную частоту. Затем перейдите (через закладку **Вычисления**) в меню **Правка элемента**, в закладку **Параметры**. В первую строку таблицы с помощью команды всплывающего меню **Добавить** введите элемент – это будет рефлектор. В соответствующих столбцах установите его ширину, радиус и сегментацию. Теперь пользуясь той же командой **Добавить** вставляйте новые элементы, сколько надо. Далее вручную (в соответствии с вашим описанием) поправьте их ширину и расстояние между ними. Затем надо вернуться в закладку **Геометрия** и в центре вибратора разместить источник. Все, описание готово полностью.

Для того, чтобы реализовать многоэлементный «квадрат» или многоэлементную «дельту», делается все тоже самое, с единственным отличием – после добавления самого первого элемента выберите во всплывающем меню команду **Изменить форму элемента** и из списка выберите требуемую форму, а вместо ширины – введите его периметр. При добавлении последующих элементов они будут иметь ту же форму, что и первый.

9.2. Закладка «Вид»

Выбрав закладку **Вид**, можно оперативно посмотреть на антенну после преобразования формы элемента или правок в таблице закладки **Параметры**. Интерфейс и команды этого окна практически совпадают с главной закладкой **Вид** и не требует дополнительных пояснений.

10. МЕНЮ «ОПТИМИЗАЦИЯ»

Вернемся в закладку **Вычисления**. Поредктировав антенну вручную, приходим к пониманию, что добиться таким путем желаемого результата непросто (хотя и интересно) и что лучше использовать автоматическую оптимизацию.

После нажатия кнопки **Оптимизация** открывается соответствующее меню.

10.1. Окно «Параметры вычислений»

В этом окне надо объяснить компьютеру, что же именно вы хотите получить в результате оптимизации от антенны, т. е. установить цели. Это делается семью движками, положением движка задается важность (удельный вес) данного параметра для вас. Крайнее левое положение движка – параметр для вас совсем не важен, крайнее правое – максимально важен. Назначение движков **F/B**, **Gain**, **KCB** очевидно, а вот остальные требуют пояснений.

- Движок **Верт. угол** подразумевает максимально низкий вертикальный угол максимума излучения.
- Движок **jX** – минимальную (по модулю) реактивную часть входного сопротивления антенны.
- Движок **Согласование** – оптимальное согласование под специально заданный в окне **Детальные установки цели** импеданс.
- Движок **Ток** – минимум или максимум тока в заданной точке.

10.2. Кнопка «Установки цели»

Кнопка **Установки цели** вызывает окно **Детальные установки цели**.

В закладке **Цель** задаются:

- В окне **Допустимый максимум** устанавливаются максимальные величины Gain, F/B, jX, KCB, достижение которых будет считаться конечным результатом оптимизации.
- В окне **Согласование** выбирается тип согласования или устанавливается выбранный импеданс, под который будет производиться согласование. Это окно задает параметры для движка **Согласование** предыдущего раздела. Тип **Согласование индуктивностью** означает выбор такого входного импеданса антенны, который может быть согласован с выбранным сопротивлением питающего кабеля при помощи параллельной катушки или петли индуктивности в виде U-образной шпильки (так называемое *hairpin*-согласование). Например, если питающий кабель 50 Ом, то для *hairpin*-согласования входной импеданс антенны может быть 25 –

$j25 \text{ Ом}$, и к подобному значению будет его пытаться подогнать MMANA. Физически смысл такого согласования следующий: емкостная составляющая входного импеданса антенны компенсируется катушкой согласования. То есть образуется параллельный колебательный контур, который заодно трансформирует низкую активную часть входного сопротивления антенны в более высокое волновое сопротивление кабеля. Поэтому такое согласование возможно только в случае, если активная часть входного импеданса антенны меньше волнового сопротивления кабеля. *Hairpin*-согласование нередко применяется в волновых каналах, попутно обеспечивая симметрирование коаксиального кабеля.

- Тип **Согласование емкостью** – почти то же самое, но вместо согласующей катушки используется параллельный согласующий конденсатор. Такое согласование возможно, только если активная часть входного импеданса антенны меньше волнового сопротивления кабеля, а реактивная носит индуктивный характер. Это нечастый случай, но, например, так можно согласовать GP немного длиннее четверти длины волны с входным импедансом $40 + j19 \text{ Ом}$. Подключение параллельно конденсатора с реактивным сопротивлением – $j19 \text{ Ом}$ приводит к тому, что входное сопротивление оказывается равным точно 50 Ом .
- В окне **Цель тока** устанавливается, в какой точке и минимума или максимума тока надо достичь. Это окно задает параметры для движка «Ток» предыдущего раздела. Скажем, вы хотите иметь пучности напряжения или тока в заданных точках провод, например того, который доступен случайному касанию посторонними людьми, и наличие высокого напряжения (то есть минимума тока) на нем нежелательно.

В закладке **Установки** задаются:

- Окно **Направление тыла для F/V**. MMANA при подсчете отношения F/V берет уровень излучения не только точно назад, а в некотором, задаваемом в этом окне угловом диапазоне. Это очень разумный подход. В самом деле, что толку, если антенна имеет подавление строго назад (азимут 180 градусов) скажем, 30 дБ , но зато в паре задних лепестков ДН (на азимуты 135 и 225 градусов) только на 6 дБ . Это типично, например, для антенны G4ZU.

В данном меню устанавливается угловой диапазон, и излучение назад считается по наибольшему уровню в этом диапазоне. Установленный по умолчанию **Азимут** 120 град означает, что излучением назад будет считаться в азимуте от 120 до 240 градусов (180 ± 60). Аналогично **Элевация** 60 градусов – это диапазон вертикальных углов от 0 до 60 градусов.

- Окно **Стандартное Z** устанавливает Z, при котором $KCB = 1$, можно даже установить комплексное Z. Кнопка **Установить Z для hairpin согл.** позволяет установить Z для случая *hairpin*-согласования. При нажатии этой кнопки программа в открывающемся окне просит ввести волновое сопротивление кабеля (оно должно быть больше активной части Z, иначе такое согласование невозможно), и затем автоматически подсчитывается необходимая реактивная часть Z антенны.

10.3. Кнопка «Источники по диапазонам»

Выводит окно **Установка источников по диапазонам**, которое позволяет задать оптимизацию на разных частотах одного диапазона (для обеспечения широкополосности антенны) или для многодиапазонных антенн – сразу на нескольких диапазонах. Допустим, вы хотите, чтобы оптимизация параметров (например, отношения F/V) антенны, имеющей единственный источник в центре первого провода, производилась бы в полосе частот $14,0 \dots 14,35 \text{ МГц}$. Это разумно – зачем нужна антенна, имеющая высокое F/V в центре диапазона, но резко уменьшающееся по краям. Тогда вы должны записать в таблицу окна **Установки источников по диапазонам** следующие четыре строки:

14,00	w1c	0	1
14,10	w1c	0	1
14,20	w1c	0	1
14,35	w1c	0	1

Это означает, что оптимизация будет происходить поочередно по всем четырем выбранным частотам, то есть во всем диапазоне $14 \dots 14,35 \text{ МГц}$.

Другой пример. Имеется трехдиапазонный двойной «квадрат» (файл ...ANT/ВЧ Многодиапазонные/TribandQQ.maa), питаемый по трем отдельным кабелям. Источники в нем распределены следующим образом 14 МГц – w7c, 21 МГц – w15c, 28 МГц – w23c. Для одновременной оптимизации его во всех трех диапазонах вы должны записать в таблицу окна **Установки источников по диапазонам** следующие три строки:

14,15	w7c	0	1
21,2	w15c	0	1
28,5	w23c	0	1

То есть поочередно будут браться параметры антенны для каждого из трех диапазонов, причем для каждого диапазона будет браться соответствующий «свой» источник.

Если же теперь усложнить предыдущий пример и оптимизировать антенну на каждом из трех диапазонов, в пределах полосы отведенной для каждого диапазона, то таблица окна **Установки источников по диапазонам** приобретет следующий (и несколько устрашающий) вид:

14,0	w7c	0	1
14,1	w7c	0	1
14,2	w7c	0	1
14,35	w7c	0	1
21,0	w15c	0	1
21,1	w15c	0	1
21,2	w15c	0	1
21,3	w15c	0	1
21,45	w15c	0	1
28,0	w23c	0	1
28,2	w23c	0	1
28,4	w23c	0	1
28,6	w23c	0	1

Внимательный читатель в ней без труда разберется...

Если же подобной процедуре подвергается антенна с активным питанием (с несколькими источниками), то в каждой

строке таблицы окна **Установки источников по диапазонам** должны быть записаны все источники с теми амплитудой и фазой, которые они имеют на рабочей частоте. Это довольно просто, но таблица при этом изрядно увеличивается в ширину, поэтому примеров приводить я не стану.

10.4. Изменяемые параметры

Теперь, когда вы установили, к какой цели стремиться, объясните компьютеру, изменением каких параметров это надо сделать. Другими словами, что в конструкции и параметрах антенны можно менять и в каких пределах. Для этого имеется таблица **Изменяемые параметры** со следующими столбцами (все значения можно устанавливать и вручную):

- Первый – тип изменяемого параметра. Щелкнув в этом столбце левой кнопкой мыши, увидите первое всплывающее меню, из которого этот тип выбирается.
- Второй – номер провода, источника, нагрузки, элемента в соответствии с их нумерацией в закладке **Геометрия** и меню **Правка элемента**.
- Третий – что именно вы хотите менять в выбранном в первом столбце типе. Щелкнув в этом столбце левой кнопкой мыши, увидите второе всплывающее меню, в котором выбирается конкретный параметр для изменения. Обратите внимание, для каждого типа, выбранного в первом столбце, имеется свое отдельное второе всплывающее меню.
- Четвертый – кооперация (совместная, зависимая оптимизация). Очень часто нельзя или нежелательно менять размеры (или иные параметры антенны независимо друг от друга). Самый простой пример – вибратор волнового канала, координаты дальних его концов должны меняться одинаково по модулю, но с противоположным знаком, иначе вибратор перестанет быть симметричным. Как правило, если позволить менять размеры антенны независимо друг от друга да еще во все стороны, то результатом оптимизации будет нечто перекошенное весьма странной формы, мало напоминающее антенну. Чтобы избежать этого четко продумайте, что именно вы позволяете менять в антенне, и не стоит ли изменение данного параметра сделать зависимым (связанным) от какого-то иного?

- Пятый – шаг изменения величины. По умолчанию вычисляется автоматически, исходя из текущего значения величины. Но нередко имеет смысл изменить его вручную на более мелкий. Например, при оптимизации размеров рефлектора на максимум F/B или при оптимизации по КСВ индуктивности настроечной катушки узкополосной антенны, чтобы в обоих случаях не проскочить оптимум из-за слишком грубого шага.
- Шестой – минимальное значение величины. По умолчанию обычно минимально возможное. Почти всегда имеет смысл изменить его на что-то более реальное (если вы в состоянии, хотя бы ориентировочно, оценить пределы изменения). Например, совершенно ясно, что директор волнового канала на 14 МГц ну никак не может быть короче 8 м, и этой величиной стоит ограничить его минимум.
- Седьмой – максимальное значение величины. Все то же самое, что и в предыдущем пункте. Необходимо думать и ограничивать верхнее значение изменения параметра более или менее реальной величиной (тот же директор из предыдущего примера никогда не будет длиннее 11 м), если вы не хотите получить в результате ненормально большие параметры.
- Восьмой – исходное (нынешнее) значение величины. Должно быть больше минимума, но меньше максимума. В случае необходимости это значение можно вручную поменять без выхода в закладку **Геометрия** или меню **Правка провода** или **Правка элемента**.

10.4.1. Команды первого всплывающего меню

- **Провод** – единица измерения метры. Не забудьте вручную установить во втором столбце номер провода, который вы хотите оптимизировать. Щелкнув левой кнопкой мыши на третьем столбце строки, описывающей провод, во втором всплывающем меню выберите, какие именно координаты (X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2) провода или его радиус (в мм) будут изменяться.
- **Провод (полярные координаты)** – то же самое, но в полярных координатах. Удобно использовать для оптимизации

углового положения или длины наклонного провода. Выбираемые в этом меню координаты имеют привязку к началу, середине или концу провода – выбранное место провода будет оставаться неподвижным. Например, если выбрана **Длина (стартовая точка)** то будет меняться длина провода без изменения его углового положения, причем начало провода останется на прежнем месте, а удлиниться будет дальний конец. Если выбрана **Длина (конечная точка)**, то на месте останется конец провода, а если **Длина (средняя точка)**, то фиксируется середина, а двигаются одновременно (но в разные стороны) оба конца провода.

Все то же самое относится и к азимутальным и к зенитным углам этого меню.

Элемент – устанавливает оптимизацию на элемент. Номер элемента можно посмотреть в меню **Правка элемента**. Щелкнув левой кнопкой мыши на третьем столбце строки, описывающей элемент из очень обширного всплывшего второго меню, можно выбрать, какие именно параметры элемента будут оптимизированы.

Содержание этого меню практически совпадает со столбцами таблицы меню **Правка элемента**:

- **Радиус** – радиус провода в элементе. Если элемент состоит из проводов разного радиуса, то радиус первого провода в элементе.
- **Интервал** – дистанция между соседними элементами (0 для активного элемента). То же самое, что и в меню **Правка провода**.
- **Позиция** – расстояние элемента, считая от первого. То же самое, что и в меню **Правка провода**.
- **Ширина** – габаритный размер элемента по оси Y.
- **Высота** – габаритный размер элемента по оси Z.
- **Периметр, или длина X** – двойное назначение. На электрически незамкнутых элементах – габаритный размер элемента по оси X. На замкнутых (квадраты, ромбы, дельты и т.п.) – суммарный периметр всех проводов элемента.
- **Нагрузка**. Указав во втором столбце ее номер и щелкнув левой кнопкой мыши на третьем столбце строки, описывающей нагрузку, из всплывшего второго меню можно

выбрать тип нагрузки для оптимизации: **L** или **R**, **C** или **jX**. Из типичных ошибок в этом месте: если у вас имеется нагрузка в виде L, а в третьем столбце указано **C** или **jX**, то нагрузка не будет найдена процессом оптимизации. Нюанс, если у вас в меню **Геометрия** описана нагрузка в виде параллельного LC-контура и вы хотите оптимизировать его, то вам потребуется две строки в таблице **Изменяемые параметры**. В первой будет описана нагрузка типа **L** или **R**, во второй – нагрузка с тем же номером, но типа **C** или **jX**.

- **Высота над землей** – в метрах. Естественно, эта команда неактивна, если установлено свободное пространство.
- **Частота** – в МГц. Удобная функция для поиска частоты, на которой антенна имеет наилучшие характеристики.
- **Источник**. Щелкнув левой кнопкой мыши на третьем столбце строки, описывающей источник, из всплывшего второго меню выберите напряжение (в вольтах) или фазу (в градусах), которые вы хотите оптимизировать. Полезно для оптимизации амплитуды и фазы источников в активных антенных системах с несколькими источниками.
- **Интервал в стеке** – в метрах. Команда активна только в случае, если оптимизируемая антенна представляет собой стек (создана командой **Создать стек для расчетов** в меню **Правка – Сделать стек**).

Хочу отметить, что строк изменяемых параметров в таблице может быть столько, сколько параметров вы намереваетесь менять.

Например, можно вписать несколько строк **Элемент**, в каждой из них установив из меню под левой кнопкой в третьем столбце свои параметры (**Интервал**, **Позиция**, **Ширина**, и т.д.), и/или вписать несколько строк **Провод**, в каждой из них установив изменение одного параметра (например, в первой – X2, во второй – Y2, в третьей – R и т. д.). Здесь следует быть внимательным, чтобы ошибочно не задать изменение несуществующих или взаимоисключающих параметров, иначе процесс оптимизации не начнется.

Порядок строк в таблице имеет значение: сначала идет оптимизация по параметру, описанному в первой строке, потом во второй, и т.д. – потом процесс циклически и с

переменными шагами несколько раз повторяется. Если оптимум единственный (что практически бывает редко), то при любом порядке строк в таблице получится одно и то же. А если же нет, в зависимости от порядка строк будут получаться несколько разные результаты оптимизации.

Очень важный практический совет – поначалу, пока вы не освоите хорошо оптимизацию, не описывайте больше одной (максимум двух) строки в этой таблице! Многофакторная (сразу по нескольким параметрам) оптимизация процесс чрезвычайно сложный, требующий осмысления и без навыка получить хорошие результаты очень трудно.

10.4.2. Команды третьего всплывающего меню

Под правой кнопкой мыши в таблице всплывает меню общего редактирования таблицы. Его команды (кроме очевидных – **Удалить эту строку**, **Вставить строку**, **Удалить все**):

- **Установка общего шага** – задает общий шаг изменения линейных размеров во всей таблице.
- **Совместные установки на элемент** – установка совместного изменения параметров одного элемента.
- **Авто совместное изменение параметров** – установка совместного изменения параметров одного провода.

10.4.3. Установки совместного изменения (кооперации)

Устанавливается цифрой в четвертом столбце таблицы **Изменяемые параметры**.

- 0, установленный по умолчанию, означает, что параметр, описываемый данной строкой, изменяется независимо от остальных.
- 1 – изменять параметр совместно с описанным в первой строке таблицы (вместо 1 может быть любое целое число – номер строки в таблице **Изменяемые параметры**).
- -1 (или 2, 3, 4...) – изменять параметр совместно с зеркальным (отрицательным) значением параметра, описанного в первой (2-й, 3-й, 4-й...) строке таблицы.
- 1*0.5 – изменять параметр совместно с описанным в строке 1, но с коэффициентом 0,5. Могут быть и иные математические выражения (допустимые знаки + - / *),

например $2 + 1,5$ – изменять параметр совместно с описанным в строке 2, но со сдвигом 1,5.

Таким образом, потратив время на заполнение таблицы **Изменяемые параметры**, вы можете совершенно определенно указать компьютеру, что и в каких пределах ему позволено менять при оптимизации.

10.5. Другие команды меню «Оптимизация»

Флаг **Не цель простое сканирование** включает режим последовательного перебора параметров, установленных в таблице **Изменяемые параметры** с заданным в ней шагом, без достижения цели, описанной в окне **Параметры вычислений** или установленной движками. Полезно для просмотра влияния выбранного параметра на характеристики антенны.

Кнопка **Все элементы** – под ней открывается окно **Выбор вариации элемента**, в котором наглядно можно установить совместные изменения желаемых размеров. В результате происходит запись необходимых строк в таблицу **Изменяемые параметры**. Честно говоря, я хотел эту кнопку убрать вообще: уж слишком печально часто повторяется одна и та же ошибка начинающих: нажать эту кнопку, не думая записать в таблицу **Изменяемые параметры** все, что получится (а там выходит немало строк), и запустить процесс оптимизации. В результате такой неосмысленной процедуры и выходят всякие перекошенные каракатицы вместо антенн. На самом же деле назначение этой кнопки только в том, чтобы помочь описать зависимые вариации размеров проводов, входящих в состав элементов, устанавливая, по каким осям менять их можно и с изменением каких размеров по другим осям они должны быть связаны. Обязательным условием является хорошее понимание того, что именно и совместно с чем вы разрешили менять. Я очень надеюсь, что такое понимание будут иметь большинство пользователей MMANA, и только поэтому не убрал из программы кнопку **Все элементы**.

Флаг **Разрешение 2 градуса** снижает точность расчета ДН до шага в 2 градуса (иначе 0,5 градуса), что ускоряет вычисления, но может привести к неточностям при расчете остронаправленных УКВ-антенн.

Флаг **Показывать журнал** позволяет наблюдать в реальном времени на экране шаги оптимизации.

Ну и наконец, кнопка **Старт** запускает процесс оптимизации. Если вы включили предыдущий флаг, то можете выбирать любую из закладок **Вид**, **Вычисления**, **Диаграммы направленности** и наблюдать, как меняется антенна и ее параметры в процессе оптимизации. Если необходимо остановить процесс оптимизации до его завершения (например, он слишком затянулся, или вы видите, что оптимизация пошла явно «не туда»), то для этого достаточно нажать кнопку **Остановить** в закладке **Вычисления**. С некоторой задержкой (на завершение вычислений в текущей точке) оптимизация будет остановлена.

По окончании процесса оптимизации в появившемся окне вам будет предложено сохранить шаги оптимизации. Если вы ответите **Да**, то программа сохранит все шаги в отдельный файл с расширением **.mao*, который можно будет изучать в дальнейшем.

Я часто употреблял в главе об оптимизации слова «подумать, имеет смысл, оценить, осмысление». И это не случайно. В отличие от обычных вычислений параметров антенны оптимизация – это процесс, не имеющий однозначного результата. Одна и та же цель может достигаться разными путями, в антеннах все со всем связано. Например, одни и те же характеристики волнового канала можно достичь при совершенно разных сочетаниях его размеров – число вариаций практически неограниченно (отчасти этим и объясняется обилие публикаций похожих по характеристикам, но разных по конструкции антенн). В изменениях характеристик антенны, как правило, есть множество локальных минимумов-максимумов, за которые «цепляется» процесс оптимизации. Оптимизация, по идее – процесс творческий, и компьютеру в полном объеме недоступный. Требуется еще и наличие думающей человеческой головы. Нельзя сказать компьютеру: «Да меняй все, что захочешь, мне неважно что, но создай хорошую антенну!». Это непосильная задача для машины. Поэтому только в связке думающий человек и компьютерный моделировщик можно получить действительно хорошие результаты. Одному из этапов анализа итогов оптимизации и посвящен следующий раздел.

10.6. Обзор шагов оптимизации

После проведения оптимизации в закладке **Вычисления** становится активной кнопка **Обзор шагов оптимизации**,

которая выводит окно просмотра последних 128 шагов оптимизации. В нем выводятся: установки цели (в заголовке, в виде процентной важности каждого параметра), таблица с основными параметрами антенны для каждого из последних 128 шагов оптимизации и ДН в обеих плоскостях для выделенной курсором строки таблицы. В строке **Порядок** можно выбрать, по возрастанию какого из параметров оптимизации расположатся строки в таблице.

Это окно очень полезно для неторопливого анализа – весьма вероятно, что в процессе оптимизации на некоторых шагах антенна имела какие-то неожиданные и интересные свойства, получение которых не было целью данной оптимизации, и поэтому в конечный результат они не попали. Если вы ранее сохранили файл результатов *.*tao*, то вернуться к анализу шагов оптимизации можно в любое время, открыв этот файл. Если же сохранения не было, то вся информация о шагах оптимизации будет утеряна после первого же следующего расчета.

11. КОМАНДЫ ГЛАВНОГО МЕНЮ «ФАЙЛ»

Во всех командах главного меню **Файл** быстрые клавиши (их нажатие на клавиатуре вызывает данную команду без щелчка мышью) обозначены большими подчеркнутыми буквами.

Файлы, в которых сохраняется описание антенны, имеют расширение *.*taa* и к ним относятся очевидные команды **Новый**, **Открыть**, **Сохранить**, **Сохранить как**. Файлы *.*taa* имеют текстовый формат и очень маленький размер. Описание даже очень большой антенны занимает максимум несколько килобайт.

Комментарии – отрывает окно создания и/или редактирования произвольного текстового комментария, который удобно использовать для текущих записей, относящихся к данной антенне. Эти комментарии сохраняются в файле описания антенны. Если описание антенны имеет комментарии, в закладке **Геометрия** появляется кнопка **Комментарии** (над табличкой описания нагрузок).

Файлы, в которых сохраняются ДН и все рассчитанные параметры антенны, имеют расширение *.*tab*. К ним отно-

сятся команды **Открыть ДН**, **Сохранить ДН** (последняя активна только после проведения расчетов **Вычисления-Пуск**). В этих файлах также хранится полное описание антенны (та же информация, что и в *.*taa* файлах). Объем файлов *.*tab* достаточно велик (десятки килобайт), и сохранять их имеет смысл, только если расчет антенны занимает очень большое время, а повторный расчет нежелателен.

Файлы, в которых сохраняются таблицы оптимизации, имеют расширение *.*tao*, к ним относятся команды **Открыть табл. оптимизации**, **Сохранить табл. оптимизации** (последняя активна только после проведения оптимизации).

Последняя группа команд этого меню относится к созданию файлов-таблиц (*.*csv*, просмотр – в Excel) со всевозможными параметрами антенны.

Команды этой группы:

- **Таблица токов** – создает таблицу, в которой приведены параметры тока (амплитуда, фаза, реальная и мнимая часть) в каждом из сегментов расчета.
- **Параметры таблицы напряженности полей** – в открывшемся окне указываются мощность ТХ и координаты той части пространства, в которой вы хотите вычислить напряженности полей (например, вашего дома). Координаты задаются по каждой оси в следующем формате: начальная координата интересующей вас части пространства, шаг изменения ее и число шагов. Скажем, запись вида «X 10 2 25», будет означать, что для оси X будут вычислены параметры для координат от 10 м до 60 м с шагом 2 м. Аналогично задаются интересующие вас координаты по остальным осям. В таблице будут приведены напряженности электрического и магнитного полей (реальная и мнимая части, амплитуда и фаза) в интересующем вас пространстве. Очень полезная функция для определения соответствия антенны нормам на предельный уровень напряженности поля.
- **Параметры таблицы углы/усиление** – в открывшемся окне указываются диапазоны азимутальных и вертикальных углов, в которых вы хотите вычислить усиление антенны. Полезно для «тонкого» анализа остронаправленных антенн, оценить ширину ДН которых на закладке **Диаграммы направленности** проблематично. Углы, для которых вычисляется эта таблица, задаются в следующем формате: интересующий вас начальный угол, шаг его

изменения и количество шагов. Скажем запись вида «Азимут -20 0.1 400» , будет означать, что будут вычислены параметры антенны для диапазона углов по азимуту от –20 до 20 градусов с шагом 0,1 градуса (доли градуса вводятся не в минутах и секундах, а в десятичной форме). Выводится усиление как отдельно по вертикальной и горизонтальной составляющим поля, так и по их сумме.

- **Таблица F/KCB/Gain/Z** – в открывшемся окне указывается диапазон частот, в которых вы хотите вычислить указанные в названии параметры. Есть возможность сделать это со включенным СУ (установкой флага). Если вы, находясь в закладке **Вычисления**, в меню **Графики** нажмете кнопку **Записать F в табл KCB/Gain/Z**, то установленный в этом меню частотный диапазон будет автоматически использован для создания рассматриваемой таблицы.

12. КОМАНДЫ ГЛАВНОГО МЕНЮ «ПРАВКА»

Очевидные команды – **Удалить, Добавить**.

Команды **Поиск и замена, Установки комбинированного провода, Подвинуть, Описание провода** – полностью совпадают с ко-мандами всплывающего меню закладки **Геометрия**.

Остальные команды:

- **Установить параллельно** с последующим выбором **оси X, Y, Z** – устанавливает антенну параллельно выбранной оси.
- **Вращать** с последующим выбором **вокруг оси X, Y, Z** на выбранную величину угла – поворачивает антенну вокруг выбранной оси на заданный угол.
- **Масштабирование** позволяет пересчитать антенну на другую частоту, указав новое значение частоты. Есть возможность менять масштаб только по выбранным осям. Именно этой командой надо пользоваться при переделке понравившейся по параметрам антенны на другой диапазон.
- **Округлить цифры до** с последующим выбором **2, 3, 4, 5 знаков после запятой** – удаляет ненужные цифры. Полезно после выполнения предыдущей команды **Мас-**

штабирование, поскольку при пересчете получается много знаков после запятой.

- **Сделать стек** – очень интересная функция. Позволяет из имеющейся антенны, используя ее как базовый элемент, создать стек. Для этого достаточно в открывшемся меню указать число этажей по горизонтали и по вертикали, а также желаемые расстояния между ними. Команда **Сделать стек для расчетов** устанавливает режим стека в расчетах и оптимизации. По команде же **Создать новую антенну с полным описанием проводов** в таблицу проводов (в закладке **Геометрия**) записываются координаты всех проводов стека. Антенна при этом считается не стекком, а одной сложной, состоящей из множества проводов, поэтому опция оптимизации интервала стека будет неактивна.
- **Открыть временные условия** – черновик, открыв который можно делать любые эксперименты с антенной, не опасаясь потерять исходные данные. Удобно использовать, если вы переделываете уже имеющийся в папке .../ANT файл, который вам не хотелось бы потерять (а сделать это очень легко, если не используя команду **Открыть временные условия** после неудачного преобразования антенны случайно дать команду **Сохранить**).
- **Вернуться из временных условий** – возврат к исходному состоянию.
- **Вернуться к условиям до оптимизации** – если результаты оптимизации вас не порадовали, используйте эту команду для возврата к исходному состоянию.
- **Правка провода** – переход в меню **Правка провода**.
- **Правка элемента** – переход в меню **Правка элемента**.

13. КОМАНДЫ ГЛАВНОГО МЕНЮ «СЕРВИС»

- **Калькулятор** – вызов стандартного Windows-калькулятора.
- **Оптимизация** – переход в окно «Оптимизация».
- **Обзор шагов оптимизации** – то же самое, что описано в разделе 10.6.

13.1 Окно «Сравнить»

Сравнить – это меню (рис. 10) позволяет объективно сравнивать разные антенны (ДН и основные параметры).

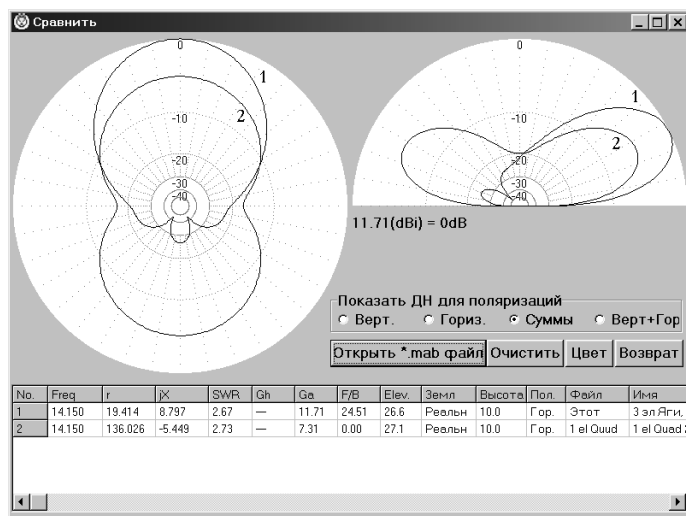


Рис. 10

Если вы попадаете в него после расчета своей антенны (закладка **Вычисления** – кнопка **Пуск**), то увидите ДН и характеристики своей антенны. Кнопкой **Открыть *.tab файл** вы можете вызвать ДН и характеристики другой антенны (заранее сохраненные в *.tab файле, как описано ранее) и увидеть их наложенными друг на друга. В табличке под ДН будут приведены основные параметры сравниваемых антенн. На рис. 10 наложены друг на друга ДН простого вертикального квадрата и трехэлементного волнового канала. Количество сравниваемых антенн не ограничено.

13.2. Меню «Сервис и установки»

Это очень полезное меню (рис. 11), позволяющее выполнять целый ряд смежных с антенными ВЧ расчетов.

Может использоваться совершенно независимо от основной программы как ВЧ-калькулятор для расчета СУ, линий и реактивных элементов.

13.2.1. Закладка «Контур»

Окно показано на рис. 11. Расчет всех параметров LC контура, длины волны и наиболее употребляемых в антенной технике размеров, кратных длине волны.

Частота: 14.05 МГц $\lambda = 21.338078\text{m}$
 $\lambda/2 = 10.669039\text{m}$
 $\lambda/4 = 5.33452\text{m}$
 $5/8 = 13.336299\text{m}$

Реактанс: 226.55507 Ом

L: 2.56636 мкГн

C: 50 пФ Фиксировать частоту

Рис. 11

При наличии птички в окне **Фиксировать частоту** LC контур будет рассчитываться для частоты указанной в первой строке (т. е. при изменении или L или C второй параметр будет рассчитываться автоматически). Если же этой птички нет, то при изменении L и C будет меняться частота.

13.2.2. Закладка «L»

Конструктивный расчет однослойной цилиндрической катушки. Выберите в окне **Вычислить** (рис. 12) подлежащий расчету параметр и заполните поля исходных данных, кроме той величины, которую вы хотите вычислить.

Индуктивность: 2.56636 мкГн

Число витков: 10.0

Диаметр катушки: 2.937262 см

Диаметр провода: 1.0 мм

Между витками: 1.0 мм

Длина катушки: 2.0 см

Вычислить:
 Индуктивность
 Число витков
 Диаметр катушки

Рис. 12

13.2.3. Закладка «СУ на LC»

Пример расчета самого простого и употребительного Г-образного СУ на LC показан на рис. 13.

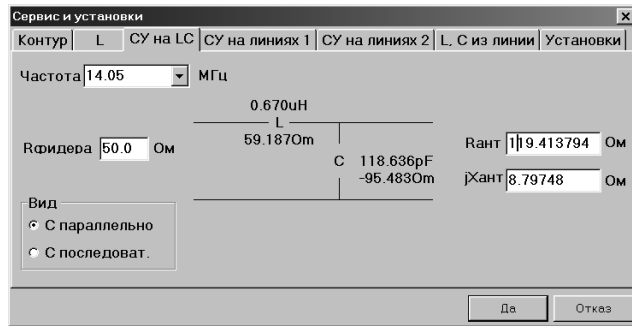


Рис. 13

В двух правых полях введите комплексное $Z_{вх}$ антенны и частоту настройки (по умолчанию туда подставляются параметры из расчета последней антенны). В левом поле введите волновое сопротивление линии передачи (по умолчанию – то, которое вы используете для расчетов). В середине появится схема СУ, с указанием номиналов и реактивных сопротивлений элементов. В окне **Вид** можно выбрать желаемую конфигурацию схемы СУ: конденсатор в параллельной или в последовательной ветви. Это может иметь некоторое значение при использовании КПЕ с заземленным ротором.

13.2.4. Закладка «СУ на линиях 1»

Это меню (рис. 14) состоит из двух независимых окон.

Верхнее **Согласование и трансформация одним отрезком линии** позволяет наглядно рассчитать трансформацию импедансов отрезком длиной линии. В правых полях устанавливается импеданс источника R_i , в левых – нагрузки Z_L (по умолчанию туда подставляются параметры из расчета последней антенны), в среднем окне (стилизованном под изображение отрезка кабеля) – параметры линии (длина электрическая, без учета коэффициента укорочения). При ручной смене любого из введенных параметров остальные меняются автоматически. При наличии птички в окне

Фиксировать R_i при неизменном импедансе источника рассчитывается импеданс нагрузки. При отсутствии этой птички – при фиксированной нагрузке рассчитывается импеданс линии со стороны источника. Тут же рассчитывается КСВ в данном отрезке линии. Это окно с успехом заменяет многоэтажные формулы и сложные диаграммы Вольперта-Смита при расчете входного сопротивления отрезка длинной линии, нагруженной на произвольный импеданс.

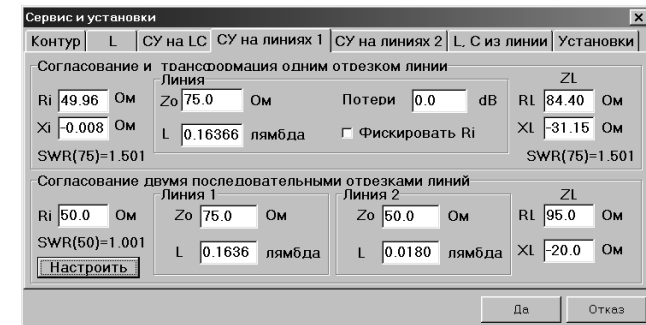


Рис. 14

Нижнее **Согласование двумя последовательными отрезками линий** рассчитывает малоизвестное, но весьма интересное и удобное согласование двумя последовательно включенными отрезками линий с разным волновым сопротивлением.

Интерфейс очень близок к предыдущему окну, только окон с параметрами линий два. Введите справа R_i , слева – Z_L (по умолчанию туда подставляются параметры из расчета последней вашей антенны), а в два средних окна – волновые сопротивления имеющихся в наличии линий (по умолчанию 50 и 75 Ом, вручную можно установить любые другие) и нажмите кнопку **Настроить**. Программа вычислит необходимую длину (электрическую, без учета коэффициента укорочения) каждой из линий. При этом в верхнем окне **Согласование и трансформация одним отрезком линии** автоматически подставляются данные о первом из рассчитанных отрезков с индикацией КСВ в нем и импеданса на его выходе. Рекомендую использовать это окно – имея два отрезка кабелей 50 и 75 Ом, часто удается согласовать антенну. Если у вас имеются отрезки кабелей с другими волновыми сопротивлениями, просто введите их в соответствующие окна.

13.2.5. Закладка «СУ на линиях 2»

Рассчитывается классическое согласование двумя шлейфами из двухпроводной линии (рис. 15).

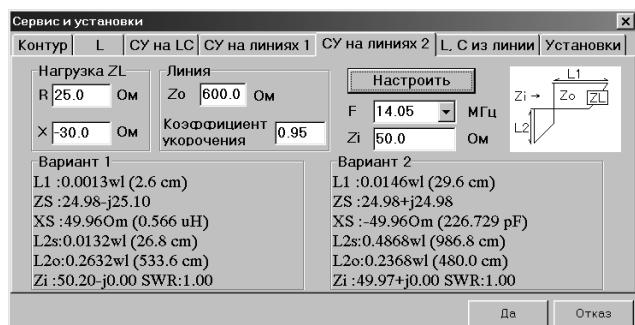


Рис. 15

В левом окне устанавливается импеданс Z_L . По умолчанию туда подставляются параметры из расчета последней антенны. В среднем устанавливаются волновое сопротивление и коэффициент укорочения двухпроводной линии, из которой делаются шлейфы; а в левом – частота согласования и необходимое сопротивление Z_i , которое надо получить в результате согласования. По умолчанию – то, которое вы используете для расчетов в качестве стандартного. Нажмите кнопку **Настроить** – в графическом окошке слева появится рисунок, показывающий схему согласования, а в двух нижних окнах – два варианта (для некоторых соотношений Z_L и Z_i такое согласование или невозможно, или возможен только один вариант) согласования с указанием длин шлейфов. Линия L_2 , включаемая параллельно источнику, может быть как замкнута, так и разомкнута на конце, поэтому вычисляются две ее длины: L_{2s} – если она замкнута (*short*), и L_{2o} – если она разомкнута (*open*). На работы *SU* их влияние одинаково, поэтому из конструктивных соображений обычно выбирают из этих двух возможностей ту, при которой линия короче.

13.2.6. Закладка «L, C из линии»

В этом окне (рис. 16) рассчитываются емкости и индуктивности, изготовленные из коаксиального кабеля или двухпроводной линии.

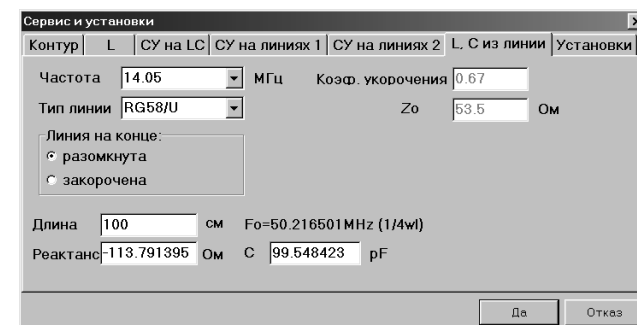


Рис. 16

Сначала надо выбрать из списка тип используемого кабеля или задать вручную его параметры. Конечно, большинство кабелей в списке японские, но их параметры (см. правое поле, где показывается их волновое сопротивление и коэффициент укорочения) весьма близки к большинству распространенных кабелей. Есть и известный в СНГ RG58. Верхние четыре строки списка, соответственно: ручная установка параметров вашего кабеля, воздушная линия 600 Ом, воздушная линия 450 Ом, двухпроводная линия в пластике 300 Ом. Выбрав тип линии и указав разомкнута она или замкнута на конце, достаточно указать желаемую величину L или C и получить нужную длину (или наоборот, указав длину получить величину L или C).

По умолчанию в окне **Реактанс** подставляется величина ОБРАТНАЯ реактивности антенны из последнего расчета (для простейшего согласования последовательно включенной реактивностью как раз и нужно, чтобы ее знак был бы противоположен знаку входной реактивности антенны).

Как справочный параметр выводится частота четвертьволнового резонанса F_0 данного отрезка линии.

13.2.7. Закладка «Установки»

Это меню общих установок программы (рис. 17).

- Окно **Направление тыла для F/B** – то же самое, что описано в разделе 10.2. «Кнопка «Установка цели». Установки данного окна записываются в файл конкретной антенны.
- **Зенитный угол в св. пространстве** устанавливает вертикальный угол для ДН в свободном пространстве или

нулевым, или соответствующим максимальному излучению (оно не всегда идет под нулевым углом).

- **Показывать токи, учитывая фазу** – при выборе этой опции на закладке **Вид** (см. раздел 5.) токи будут отображены с учетом их фазы.
- Окно **Стандартное Z** и кнопка **Установить Z для hairpin согл.** то же самое, что описано в разделе 10.2. «Кнопка «Установка цели»».
- **Последние файлы** – устанавливает количество отображаемых в меню **Файл** последних использованных файлов. При отсутствии флага в поле **только МАА файлы** будут показываться не только файлы *.maa, но и *.tab, и *.mao.
- **Максимум сегментов.** Установка максимального числа сегментов. Необходимый объем ОЗУ: для 1024 точек – 8 М, для 2048 – 32 М, для 4096 – 128 М, для 8192 – 512 М.

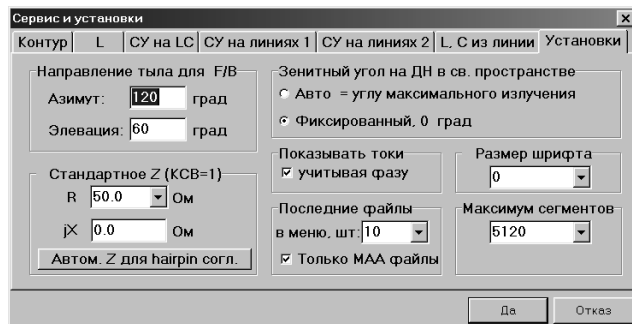


Рис. 17

14. КОМАНДЫ ГЛАВНОГО МЕНЮ «ПОМОЩЬ»

Имеется краткая информация о программе, номере версии, а также ссылка на сайт, с которого можно скачать программу и на котором выкладываются обновленные версии программы и дополнения библиотеки антенн. Полноценных файлов помощи в этом меню нет (только краткая информация), читайте эту книжку, в ней самое полное описание MMANA.

15. ФАЙЛЫ ГОТОВЫХ АНТЕНН

В папке .../ANT имеется около двухсот файлов *.maa интересных готовых антенн, внимательное изучение которых не менее информативно и полезно, чем хорошая книга по антеннам. Для удобства пользования они рассортированы по тематическим директориям. Некоторые файлы встречаются в двух директориях сразу, куда они подходят по тематике. Например, файл двухдиапазонной *Inverted V* попадет как в директорию КВ простые, так и в директорию КВ многодиапазонные. Папка ...ANT/... периодически пополняется новыми файлами – заглядывайте на сайт.

16. ОТВЕТЫ НА ЧАСТО ЗАДАВАЕМЫЕ ВОПРОСЫ

Как узнать, достаточно ли точек при автоматической сегментации и не надо ли установить их больше?

Сделайте вычисления для той сегментации, которая установлена по умолчанию. Затем в закладке **Геометрия** установите максимальную плотность сегментов, то есть предельные значения параметров автосегментации: DM1 = 800, DM2 = 80, SC = 1.001, EC = 16 и повторите вычисления. Если при этом цифры результатов расчета изменились не более чем на несколько процентов (наиболее частый случай), то вернитесь к установленным ранее значениям DM1, DM2, SC, EC. В данном случае они достаточны.

Если же результаты расчета изменились существенно (прежде всего, входной импеданс), то, увеличивая понемногу значение EC и, возможно, уменьшая SC, добейтесь того, чтобы результаты вычислений совпадали бы с полученными при максимальной плотности сегментов.

Почему нет электрического контакта в точках касания проводов?

Или происходит касание не концов проводов, а их середин – в этом случае MMANA не делает контакта. Следует разбить провод, к середине которого нужен контакт на два отдельных, чтобы контактировали именно концы. Или же часть

проводов была создана в меню **Правка провода** на координатной сетке, и концы проводов, лежащие рядом, возможно имеют близкие, но все же разные координаты. Для коррекции выберите в меню **Правка провода** команду из всплывающего меню **Соединить с концом ближайшего провода**.

*После редактирования антенны и удаления части проводов расчет не стартует (сообщение об ошибке). Источник на закладке **Вид** расположен не там, где он был установлен. Почему?*

При удалении (или добавлении) части проводов автоматически меняется нумерация проводов в таблице закладки **Геометрия**. Например, у вас в антенне было 10 проводов и источник в восьмом проводе w8c. При редактировании вы удалили провода 2, 3, 4 и у вас осталось только 7 проводов. Но источник-то в закладке **Геометрия** по-прежнему описан как w8c, а восьмого провода уже нет. Вернее провод есть, но он изменил свой номер и стал пятым. Поэтому вы должны соответственно поменять описание источника на w5c. Все то же самое касается и нагрузок.

Из-за чего меняется вид ДН в горизонтальной плоскости и при повороте антенны на 90 градусов вокруг оси Z?

Объемная ДН антенны конечно не зависит от того, как повернута антенна. Но показ ДН на плоских видах (в вертикальной и горизонтальной плоскости) действительно претерпевает изменения. Дело вот в чем – MMANA строит ДН в вертикальной плоскости всегда как сечение объемной ДН плоскостью X-Z, и вот что именно попадет под этот «нож» зависит от того, как повернута антенна. По умолчанию ДН в горизонтальной плоскости MMANA строит для такого зенитного угла, под которым на ДН в вертикальной плоскости идет максимальное излучение. А поскольку вид ДН в вертикальной плоскости (и, следовательно, угол максимального излучения на этом виде зависит от поворота антенны), то ДН в горизонтальной плоскости будет соответственно построена для другого вертикального угла. Чтобы увидеть прежнюю ДН в горизонтальной плоскости (только повернутую на 90 градусов) вы должны вручную установить тот же самый зенитный угол, для которого она была построена ранее.

Получаются странные (очень большие или очень маленькие) значения F/B, хотя вид ДН нормален. Что не так?

MMANA при вычислениях излучения назад, принимает центральным направлением азимут 180 градусов, то есть по оси X в отрицательном направлении. Поэтому если ваша

антенна нарисована так, что в эту сторону у нее будет не заднее, а боковое направление – вычисленное значение F/B будет неправильным. Для коррекции проблемы разверните антенну вокруг оси Z (**Правка-Вращать-Вокруг оси Z**) так, чтобы максимум ее излучения приходился бы по оси X.

При моделировании GP получаются очень высокие и явно нереальные значения реактивного входного сопротивления и KCB. В чем дело?

Если антенна с источником в начале вертикального провода не имеет радиалов в виде отдельных нарисованных проводов, такая проблема означает, что нижний край антенны оторван от поверхности земли. То есть либо нижний провод имеет координату по Z не равную нулю, либо в закладке **Геометрия** в окошке **Высота** установлено ненулевое значение, либо в окне **Земля** установлено свободное пространство. При этом источник отрывается вторым проводом от заземления (которое является второй половиной антенны), и естественно там получается входное сопротивление чрезвычайно большое – току течь просто некуда. Вертикальная антенна (если только вы не нарисовали противовесы отдельными проводами) всегда должна иметь высоту нижнего конца НОЛЬ и тип земли идеальный или реальный.

Как описать нагрузку в виде последовательного колебательного контура?

Создать две строки в таблице описания нагрузок, одна, описывающая конденсатор, другая – катушку. Место расположения выбрать одинаковым (например, w1c) для обеих нагрузок или близким – в двух соседних точках.

Почему в меню «Правка провода» антенна видна не полностью?

Скорее всего, в меню **Показ** выбрана установка **Плоск.** или **Элемент**. Чтобы увидеть антенну целиком, выберите в этом меню установку **Все**.

Почему, при описании нескольких источников не удается установить их разными по амплитуде?

Уберите птичку из окошка **Одинаковые источники**.

Где в результатах расчета активной антенны выводятся входные сопротивления по всем остальным источникам, кроме первого?

В правом верхнем окне закладки **Вычисления** вместе с отражением текущего состояния расчета.

Изменение параметров нагрузки не влияет на результаты расчетов. В чем дело?

Над табличкой описания нагрузок в поле **Включить нагрузки** поставьте птичку.

Как учесть сложное по схеме СУ (например, Т- или П-образное, контур с отводом и т.д.) в точке питания антенны?

Нарисовать его схему, используя для этого короткие провода (для КВ по несколько см), и расставить в них реактивности в соответствии со схемой СУ.

Посмотрите для примера файлы *EU1TTvert160.maa*, *EU1TTvert80.maa*, и *EU1TTvert40.maa*, в которых показана одна и та же антенна, но с различными схемами СУ по диапазонам.

Один и тот же неизменный файл антенны временами дает иные результаты расчета, чем раньше. Или то же самое на разных версиях программы. Что происходит?

Дело в параметрах установки реальной земли. Они записываются в общем инициализационном файле *mmna.ini* и, естественно, влияют на все антенны, в описании которых использована реальная земля. Поэтому, если вы изменили что-то в окне **Параметры земли**, это повлияет не только на результаты расчета открытой в данный момент антенны, но и на другие. Следите, что установлено в **Параметрах земли**, и не забывайте восстанавливать исходные установки после экспериментов с землей.

Как повысить точность вычисления резонансной частоты при моделировании узкополосных УКВ антенн?

При стандартных установках автосегментации ($DM1 = 400$, $DM2 = 40$, $SC = 2$, $EC = 1$) погрешность вычисления резонансной частоты многоэлементных волновых каналов составляет менее 0,5%. Это вполне достаточно для КВ антенн, но для УКВ антенн уже многовато. Для повышения точности установите более плотную сегментацию, так при значениях $DM1 = 800$, $DM2 = 80$, $SC = 1.001$, $EC = 16$ погрешность расчета резонансной частоты составляет уже менее 0,1%. Это уже вполне приемлемо на УКВ, но сильно замедляет расчеты. Поэтому на начальном, черновом этапе проектирования удобно иметь стандартные установки автосегментации (имея в виду, что частота ее будет несколько неточной). И только на этапе окончательной доводки антенны – увеличивайте число точек под самый предел – будет расти и точность.

17. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И БЛАГОДАРНОСТИ

Я хочу надеяться, что работа с программой по моделированию антенн ММНА принесет вам много новых, по-лезных и интересных сведений по антеннам, сэкономит немало времени, позволит «поверить алгеброй» чужие мнения и разработки (и увидеть действительно ли так они хороши, как об этом говорят и пишут), предотвратит ненужный труд по изготовлению плохо спроектированных антенн и поможет разработать свои собственные новые и интересные конструкции именно под ваши конкретные условия и материалы. Во всяком случае, все это вполне достижимо и не потребует специальных знаний и сверхусилий...

А мне остается только выразить свою искреннюю благодарность и признательность людям, сделавшим возможным реализацию этого проекта:

- *Мако (JE3NHT) – создавшему японскую версию ММНА*
- *Александру (RZ1ZR) – обратившему мое внимание на отличные свойства японской ММНА и помогшему мне сделать первые шаги по переводу программы*
- *Сергею (UA6LGO) – за неоценимую помощь в переводе японских иероглифов*
- *Всем подписчикам рефлектора, в котором шло и идет обсуждение ММНА за советы и вопросы (АНТЕННА@yahoogroups.com)*
- *Борису (RU3AX), уговорившему меня написать эту книгу и сделавшему все для ее выхода в свет*
- *И наконец, (last, but not least) самому близкому и дорогому мне человеку – той, которая вдохновила и поддерживала меня, и которой посвящается эта книга...*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «РАДИОСОФТ»

<http://www.radiosoft.ru>

e-mail: info@radiosoft.ru

Отдел реализации

тел./факс: (095) 177-4720

e-mail: real@radiosoft.ru

ЖУРНАЛ «РАДИО»

<http://www.pagu.ru>

e-mail: radio@paguo.ru

Отдел реализации

тел./факс: (095) 207-7228

e-mail: sale@paguo.ru

Адрес и телефон

для заявок на книги по почте:

111578 Москва, а/я 1 «Пост-Пресс»,

тел: (095) 307-0661, 307-0621

e-mail: postpres@dol.ru

Гончаренко Игорь Викторович

**Компьютерное
моделирование антенн
Все о программе MMANA**

Ответственный за выпуск

А. А. Халоян

Редактор

М. Ю. Нефедова

Дизайн обложки

С. П. Бобков

Компьютерная верстка

А. В. Харьков

Сдано в набор 04.01.2002. Подписано в печать 19.02.2002
Формат 84x108/32. Гарнитура «Прагматика». Бумага офсетная.
Печать офсетная. Печ. л. 2,5. Тираж 3000 экз. Заказ

Издательское предприятие РадиоСофт
109125, Москва, Саратовская ул., д. 6/2
Лицензия № 065866 от 30.04.98

Журнал «Радио»
103045, Москва, Селиверстов пер., 10

ISBN 5-93037-092-3

