

Министерство образования Российской Федерации
Уральский государственный технический университет - УПИ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТЕНН С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА *ELNEC*

Методические указания по курсам
"Распространение радиоволн
и антенно-фидерные
устройства в системах подвижной связи",
"Антенны и устройства СВЧ"
для студентов всех форм обучения
радиотехнических специальностей

Екатеринбург 2001

УДК 621.38

Составитель С.Н. Шабунин

Научный редактор доц., канд. техн. наук С.Т. Князев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТЕНН С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА *ELNEC*:
Методические указания по курсам “Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства в системах подвижной связи”, “Антенны и устройства СВЧ”/ С.Н. Шабунин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. 12 с.

Методические указания содержат краткое описание пакета компьютерного моделирования проволочных антенн *ELNEC*. Пакет позволяет рассчитать диаграммы направленности, коэффициент усиления и входное сопротивление антенн произвольного вида, которые можно представить в виде набора элементарных проводников – сегментов. Показан вид основных меню и дан пример описания антенн.

Рис.7.

Подготовлено кафедрой “Высокочастотные средства радиосвязи и телевидения”.

© Уральский государственный
технический университет – УПИ, 2001

ELNEC – программа электродинамического моделирования и анализа проволочных антенн, позволяющая моделировать конструкцию разнообразных антенн. Программа позволяет рассчитывать диаграммы направленности с учетом поляризационных свойств антенн, определять коэффициент усиления, уровень боковых лепестков и ширину главного лепестка по уровню половинной мощности, соотношение излучения вперед-назад. Программа дает возможность увидеть в трехмерном измерении расположение проводников антенны, точки соединения сегментов, а также посмотреть расчетное распределение тока по проводникам антенны. Помимо полевых характеристик антенны, можно исследовать и ее импедансные свойства: рассчитать входное сопротивление и КСВ по входу антенны при заданном волновом сопротивлении фидера. При расчете можно учесть проводимость материала антенны. Анализ характеристик антенны проводится как для открытого пространства, так и при наличии идеально проводящей поверхности или реальной земли (ее параметры можно задать в зависимости от вида подстилающей поверхности). В конструкцию антенны могут быть включены реактивные сопротивления.

ELNEC имеет очень просто построенное базовое меню для моделирования и анализа параметров антенн. Описания антенн и их диаграмм направленности могут быть легко сохранены и считаны с диска. Имеется возможность в одной системе координат показать несколько диаграмм направленности антенны для наглядного представления эффективности предпринятых изменений ее конструкции и способов включения. Легко выполняется анализ изменения диаграмм направленности антенны в полосе частот. Программа позволяет легко изменять конструкцию антенны, изменять длину и расположение сегментов и их диаметр. Алгоритм работы программы *ELNEC* при модификации антенны позволяет проводить не полный пересчет ее параметров, а только тех из них, которые изменились, что приводит к существенной экономии времени счета. Результаты расчетов могут быть выведены на принтер.

ИНСТАЛЛЯЦИЯ

Для инсталляции пакета *ELNEC* следует создать на жестком диске поддиректорию (например, с именем *ELNEC*) и скопировать в нее содержимое файлов. Желательно для файлов описания конструкции антенн создать отдельную поддиректорию (например, *\ELNEC\ANTENNAS*). Для сохранения выходной информации целесообразно создать еще одну поддиректорию (например, *\ELNEC\DATA*). В этой же поддиректории сохраняются результаты исследования параметров антенн при частотном сканировании. Программа *ENSETUP* позволяет несколько изменить конфигурацию системы, сохраняемую в файле *ELNEC.CFG*.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕНН В *ELNEC*

ELNEC – программа моделирования антенны, т.е. построения модели антенны, имитирующей реальную антенну. Создание подходящей модели антенны является своеобразным искусством. Соответствие параметров смоделированной антенны параметрам реально изготовленной появляется после получения определенных навыков проектирования антенн.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АНТЕННЫ

ELNEC моделирует любую антенну набором прямых круглых проводников – *WIRES*. Даже петлевые элементы антенн следует создавать из коротких прямых проводников. Диаметр проводников может быть любым, но не более 0,02 длины волны. Практически любая проводящая структура может быть смоделирована набором проводников. Например, проводящая поверхность может быть заменена сеткой проводников с шагом 0,1 длины волны или меньше.

Положение проводников в пространстве задается координатами начала и конца соответственно вдоль осей x , y и z . *ELNEC* имеет некоторые возможности упростить и ускорить процедуру ввода координат элементов антенны, которые будут описаны ниже. Проводники могут быть электрически соединены только концами. Пересекающиеся проводники, проходящие через одну точку, не могут иметь электрического контакта. Таким образом, корректно смоделировать Х - соединение можно при использовании четырех проводников. Проводники соединяются концами, если координаты этих концов совпадают. При учете подстилающей поверхности (идеально проводящей или имеющей параметры реальной земли) проводник антенны имеет контакт с этой поверхностью, если координата z одного из его концов равна нулю.

Каждый проводник (*wire*) делится на сегменты. Максимальное число сегментов – 127. Считается, что распределение тока вдоль каждого сегмента изменяется линейно. Это создает дополнительную проблему рационального выбора сегментов - числа элементов разбиения каждого проводника. Время счета увеличивается по квадратичному закону от числа сегментов. Разумным является использование порядка 10 сегментов на полдлины волны при расчете полевых характеристик антенны и порядка 20 сегментов при расчете входного сопротивления. Близко расположенные проводники или сходящиеся под небольшим углом могут потребовать большего числа сегментов. Оптимальное число сегментов в этом случае определяется при исследовании влияния на результаты счета изменения количества разбиений. Поможет и просмотр картинок распределения тока по проводникам. Резкие разрывы могут свидетельствовать о некорректном числе сегментов

в проводнике. Таким образом, нужно приобрести определенный опыт проектирования антенн в *ELNEC*.

В документации на *MININEC* – еще одну программу проектирования антенн - сказано, что длина сегмента должна быть больше 1,25 его диаметра и больше 0,0001 длины волны.

В *ELNEC* легко задаются источники возбуждения антенн. Источник возбуждения должен быть расположен на одном из проводников. Источников возбуждения может быть несколько со своими амплитудами и фазами. Имеется возможность включить в разрыв соседних проводников нагрузку $R + jX$. Нагрузок может быть несколько.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассчитанная диаграмма направленности исследуемой антенны представляется в стандартной для антенн сферической системе координат в азимутальной (плоскость XOY) и меридиональной (проходящей через ось z под некоторым углом к оси x) плоскостях. Диаграммы направленности рассчитываются для дальней зоны. При нажатии клавиши «*A*» на экран монитора выдаются результаты анализа поля излучения антенны (коэффициент усиления, ширина главного лепестка диаграммы направленности, уровень бокового и заднего излучения). Диаграмма направленности антенны может быть показана вместе с антенной, причем поворот антенны приводит к соответствующему повороту картинки поля. Для активизации этого режима следует в режиме основного меню после команды «*VA*» или в режиме ввода описания конструкции антенны после команды «*V*» один или два раза нажать клавишу «*T*».

Входное сопротивление и коэффициент стоячей волны (КСВ), а также напряжение и ток для каждого излучателя могут быть распечатаны или просмотрены на экране монитора при вводе команды «*SD*» в режиме основного меню. КСВ рассчитывается для заданного волнового сопротивления питающего фидера.

Распределение тока можно увидеть в режиме просмотра конструкции антенны после ввода команды «*VA*» или в режиме ввода описания конструкции антенны после команды «*V*» в соответствии с экранной подсказкой. Форма тока по проводникам антенны позволяет судить о корректности сегментации антенны и ее моделирования.

Ввод данных о нагрузках, которые могут быть включены в конструкцию антенны, осуществляется при вводе команды «*LD*» в режиме основного меню. Нагрузки могут быть как вещественными, так и комплексными. Программа позволяет рассчитать дополнительные потери мощности в нагрузках.

Программа *ELNEC* имеет возможность выполнить масштабирование размеров антенны при изменении рабочей частоты.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Основное меню

Для запуска программы проектирования антенн *ELNEC* необходимо обратиться к файлу *ELNEC.EXE* непосредственно или через соответствующую иконку на рабочем столе *WINDOWS*. После запуска программы на экране появляется основное меню (рис. 1).

В режиме основного меню можно задать название проекта вводом команды «*TI*», ввести частоту командой «*FR*» или режим расчета параметров антенны на нескольких частотах командой «*FS*», войти в режим ввода элементов конструкции антенны командой «*WI*», считать ранее записанный файл или сохранить созданный командами «*RE*» и «*SA*», удалить файл командой «*DE*», перейти в режим ввода данных об источниках и нагрузках командами «*SO*» и «*LO*», распечатать содержимое файла командой «*PD*», посмотреть внешний вид антенны командой «*VA*», перейти в режим расчета параметров антенны нажатием клавиши «*Enter*», окончить работу с программой *ELNEC* вводом команд «*QU*» или «*EX*». В режиме основного меню вводятся данные о наличии подстилающей поверхности командой «*GT*» и ее свойствах командой «*GD*». Введение команд «*TA*», «*CU*», «*SD*» позволяет вывести таблицы с диаграммами направленности, распределением тока и значениями входного сопротивления и КСВ исследуемой антенны. После ввода этих команд появляется дополнительное меню с выбором объекта вывода. Им может быть экран (команда «*S*»), принтер (команда «*P*») или файл (команда «*F*»).

В основном меню задается способ представления диаграмм направленности. Команда «*PT*» задает плоскость, в которой рассчитывается диаграмма направленности: азимутальная или меридиональная. Команда «*PA*» определяет азимутальный угол, для которого вычисляется диаграмма направленности в меридиональной плоскости. Команда «*PR*» дает возможность рассчитывать диаграмму направленности в заданном диапазоне углов. Шаг по угловой координате, т.е. число точек, задается командой «*SS*». Масштабную сетку для рисования диаграмм направленности можно изменить по команде «*OR*». Программа позволяет рассчитывать диаграммы направленности антенн с учетом их поляризационных характеристик. По команде «*FI*» можно строить диаграммы направленности как отдельно для вертикальной и горизонтальной поляризации, так и суммарную для обеих поляризаций. Точность анализа диаграмм направленности определяется по команде «*AR*», а масштаб при расчете коэффициента усиления антенны –

по команде «RF». Волновое сопротивление подводящей линии для расчета КСВ и входного сопротивления антенны задается при помощи команды «SZ».

Единицы измерения, используемые для ввода координат проводников антенны, задаются по команде «UN» и могут быть выражены в метрах (M), миллиметрах (L), футах (F), дюймах (I) и долях длины волны (W).

Проводимость материала антенны может определяться по команде «WL» и может соответствовать идеальному проводнику (Z), медному (C) алюминиевому (A) или задается пользователем нажатием клавиши (U) и вводом требуемого значения поверхностного сопротивления материала.

Меню описания проводников антенны

В меню ввода координат проводников антенны можно попасть из основного меню введением команды «WI». В этом режиме вводятся координаты начала и конца проводников моделируемой антенны, их диаметр, число сегментов разбиения, проверяется наличие контактов между отдельными проводниками. Вид меню ввода проводников показан на рис.2.

----- WIRES -----						
Wire	Conn.	End 1 (x,y,z : m)	Conn.	End 2 (x,y,z : m)	Dia(mm)	Seg
1	W5E1	0.600, 0.000, -0.015	W4E1	0.600, 0.000, 0.015	5.00E+00	2
2	W4E2	0.600, 0.000, 0.080		0.600, 0.000, 0.960	4.00E+01	8
3	W5E2	0.600, 0.000, -0.080		0.600, 0.000, -0.960	4.00E+01	8
4	W1E2	0.600, 0.000, 0.015	W2E1	0.600, 0.000, 0.080	4.00E+01	2
5	W1E1	0.600, 0.000, -0.015	W3E1	0.600, 0.000, -0.080	4.00E+01	2
6	W2E1	0.600, 0.000, 0.080	W11E1	0.000, 0.300, 0.080	4.00E+01	6
7	W3E1	0.600, 0.000, -0.080	W11E2	0.000, 0.300, -0.080	4.00E+01	6
8	W2E1	0.600, 0.000, 0.080	W10E1	0.000, -0.300, 0.080	4.00E+01	6
9	W3E1	0.600, 0.000, -0.080	W10E2	0.000, -0.300, -0.080	4.00E+01	6
11	W6E2	0.000, 0.300, 0.080	W7E2	0.000, 0.300, -0.080	4.00E+01	4
12	W14E1	0.000, -0.300, 1.120	W15E1	0.000, 0.300, 1.120	4.00E+01	8
(17 total)			Tot segs: 102			
(number) = wire to change (A)dd wires (D)elete wires (G)roup edit chg ant (H)t (R)enumber wire (T)aper segments chg (U)nits (V)iew antenna Preserve Connections = OFF; X to turn ON <ESC> = ret to main menu						

Рис.2. Меню описания проводников антенны

Для правильного описания исследуемой антенны с помощью проводников необходимо разбить ее на отдельные простые прямые элементы и пронумеровать каждый из них. В первой колонке задается номер проводника. Во второй указывается, с каким проводником имеется электрический

контакт. Например, сочетание символов *WIE2* свидетельствует о соединении данного конца проводника с проводником *N1*, причем контакт происходит со вторым его концом. Далее вводятся координаты первого конца проводника по осям *x*, *y* и *z* в выбранных единицах измерения. Следующая колонка показывает на возможный электрический контакт с другим проводником. Пробел в этом столбце свидетельствует о том, что данный конец проводника ни с чем не связан. Далее вводятся координаты второго конца проводника, его диаметр и число сегментов разбиения. Вместо ввода координат можно сразу указывать на точку контакта, а нужные координаты будут вычислены автоматически. При вводе нужно следить, чтобы общее число сегментов не превышало 127. Команды, отмеченные в нижней части экрана, позволяют несколько упростить процесс ввода и коррекции данных. Так, для исправления какого-либо проводника нужно ввести номер этого проводника и нажать «*Enter*». На нужный проводник можно сместиться с помощью стрелок на клавиатуре. По команде «*A*» можно добавить необходимое число проводников, а по команде «*D*» удалить, указав их номера через тире. Команда «*V*» позволяет посмотреть внешний вид антенны. Групповая коррекция, т.е. одновременное изменение какой-либо координаты у нескольких проводников, может быть выполнена по команде «*G*». Корректируемые проводники можно указать их номерами или отметить соответствующий фрагмент стрелками курсора. Изменить высоту подвеса всей антенны над поверхностью земли можно по команде «*H*», при этом на соответствующую величину будет изменена координата *z* всех проводников антенны. Предусмотрена проверка на возможный контакт проводников, например, при малом расстоянии между ними и большим диаметром. Выход из окна ввода координат проводников антенны проводится нажатием клавиши «*Esc*».

Меню ввода источников энергии

В это меню можно попасть из основного вводом команды «*SO*». При этом на экране монитора появляется следующая картинка (рис.3).

----- SOURCES -----						
-- Source	Pulse	Wire #/Pct Actual	From End 1 (Specified)	Ampl.(V, A)	Phase(Deg.)	Type
1	1	1 / 50.00	(1 / 50.00)	1.000	0.000	V

(number) = source to change (A)dd sources (D)elete sources (G)roup edit
<ESC> = ret to main menu

Рис.3. Меню ввода возбуждающих источников

В этом окне можно указать, какой из проводников антенны имеет источник возбуждения, и в какой части данного проводника он находится. Кроме этого вводится амплитуда и фаза возбуждающего напряжения или тока. Источников возбуждения может быть несколько. Вводимые команды этого окна соответствуют описанным ранее командам окна ввода координат проводников. Выход из меню источников проводится нажатием клавиши «Esc».

Меню ввода нагрузок

Некоторые конструкции антенн предусматривают наличие реактивных, а иногда и активных нагрузок (например, удлиняющие индуктивности или укорачивающие емкости). Из основного меню попасть в меню нагрузок (рис.4) можно при вводе команды «LO».

----- LOADS -----					
Load	Pulse	Wire #/Pct Actual	From End 1 (Specified)	R (Ohms)	X(Ohms)
<p>(number) = load to change change load</p> <p>(number) = load to change change load</p> <p>(T)ype</p> <p>(A)dd loads (Laplace/ Z)</p> <p>(D)elete loads 1 = add one load & select</p> <p>(G)roup edit</p> <p><ESC> = ret to main menu</p>					

Рис.4. Меню нагрузок

Выход из окна ввода нагрузок антенны проводится нажатием клавиши «Esc».

Расчет характеристик антенны

После ввода координат проводников, описывающих антенну, проверки правильности полученной модели по внешнему виду и координатам точек контакта проводников, ввода данных по источникам возбуждения электромагнитных колебаний и нагрузок в антенне можно переходить в режим расчета полевых и импедансных характеристик антенны. Однако предварительно рекомендуется сохранить введенную конструкцию на диске. Если данная операция не выполняется, последнее при работе пакета описание антенны сохраняется и появляется при новом запуске программы *ELNEC*.

Началом расчета параметров антенны является нажатие клавиши «Enter» в окне основного меню. При этом компьютер начинает рассчитывать матрицу собственных и взаимных сопротивлений сегментов проводников антенны, а также диаграмму направленности и входное сопротивление антенны. Результатом расчетов является диаграмма направленности антенны, появляющаяся на экране компьютера (рис.5).

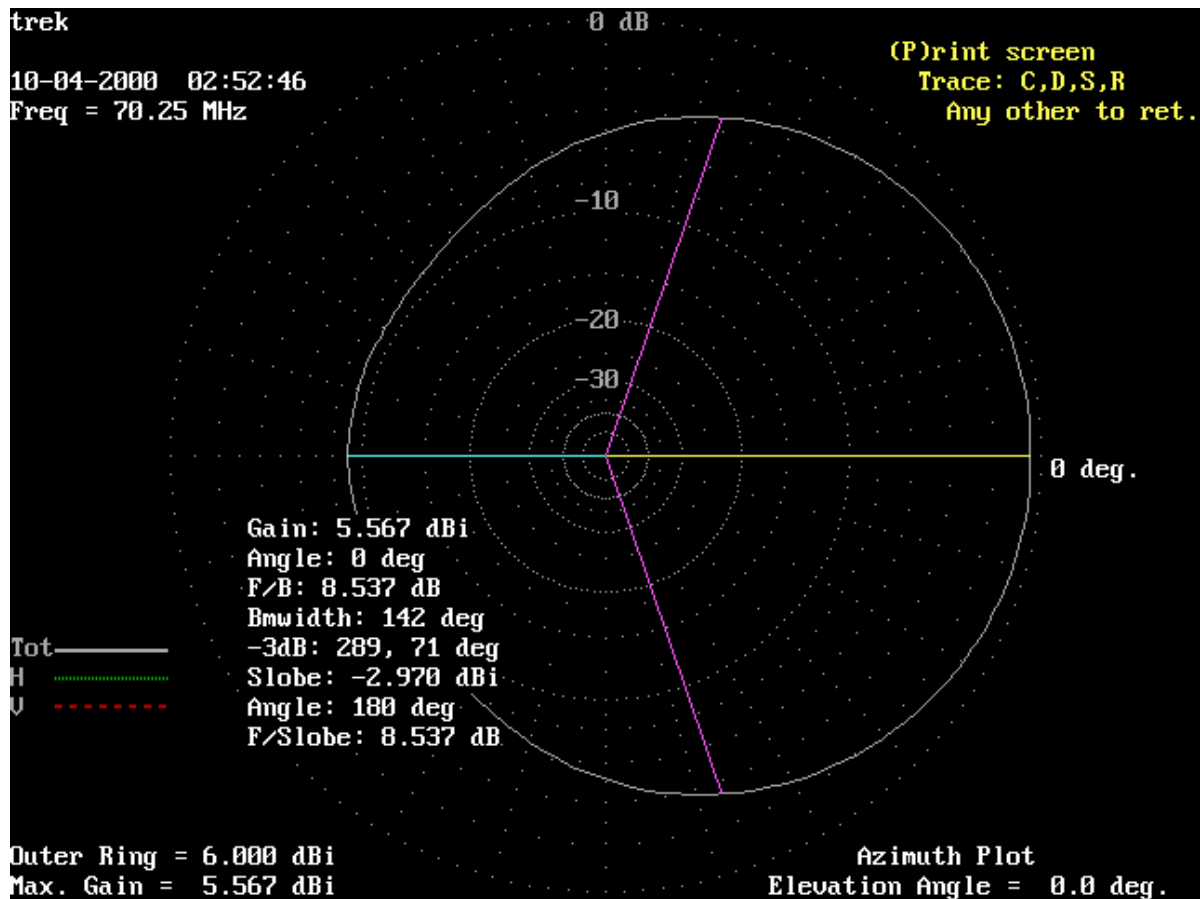


Рис.5. Одно из возможных представлений диаграммы направленности антенны

Представленный рисунок содержит дополнительную информацию о коэффициенте усиления антенны (*Gain*), угле максимального излучения (*Angle*), уровне заднего излучения (*F/B*), ширине главного лепестка диаграммы направленности по уровню половинной мощности (*Bwidth*), значениях углов, соответствующих этому уровню, и уровне бокового излучения (*Slobe*). Эта информация появляется на экране после нажатия клавиши «A», запускающей процедуру анализа диаграммы направленности антенны. При желании рассчитать диаграмму направленности антенны для других углов и плоскостей нажимают клавишу «Esc», переходят в основное меню и после соответствующей коррекции данных вновь нажимают клавишу «Enter». На экране появляется новый рисунок распределения излучаемого поля. При этом используются ранее рассчитанные матрицы собственных и взаимных сопротивлений сегментов.

Проверить корректность вычислений можно по картине токов, текущих по проводникам антенны. Этот рисунок можно получить вводом команды «VA» в основном меню. Картина токов вибраторной антенны с квадратным экраном показана на рис.6. Имеется возможность повернуть антенну, сдвинуть ее, изменить масштаб функции тока, укрупнить или

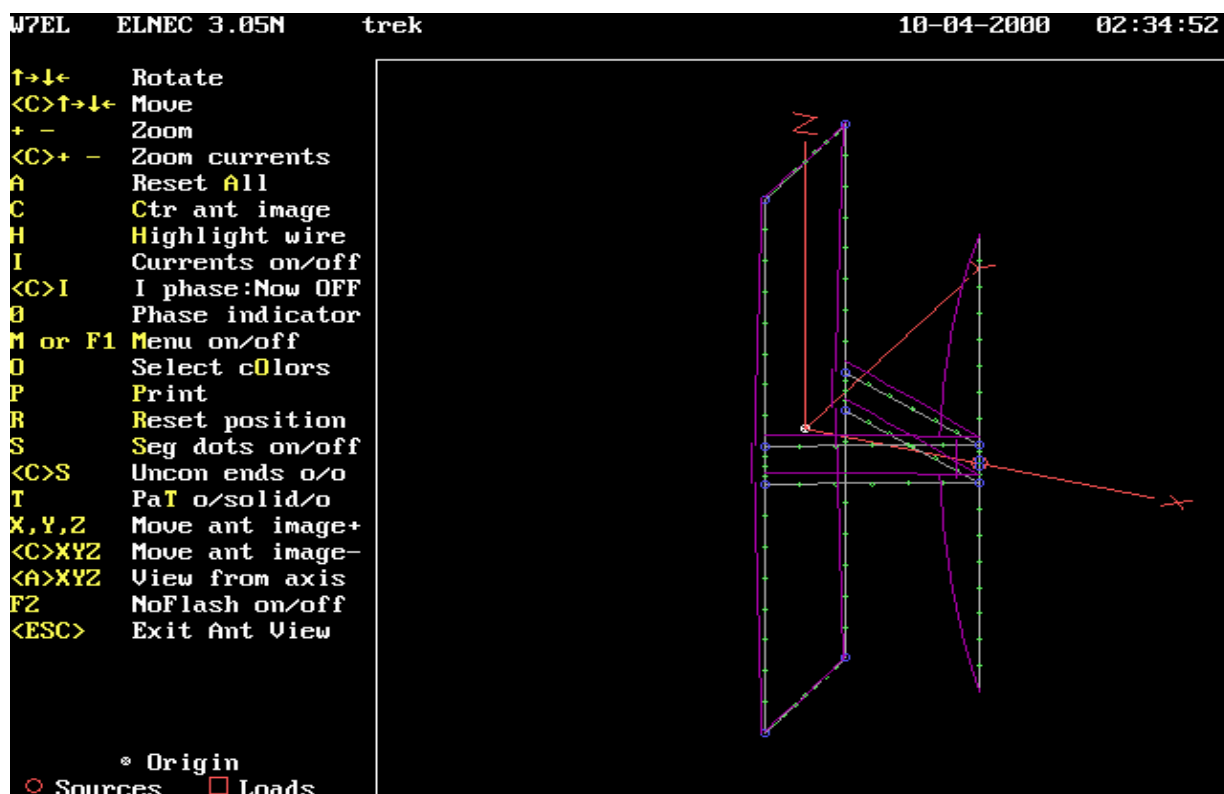


Рис.6. Проводники антенны с рассчитанным распределением тока

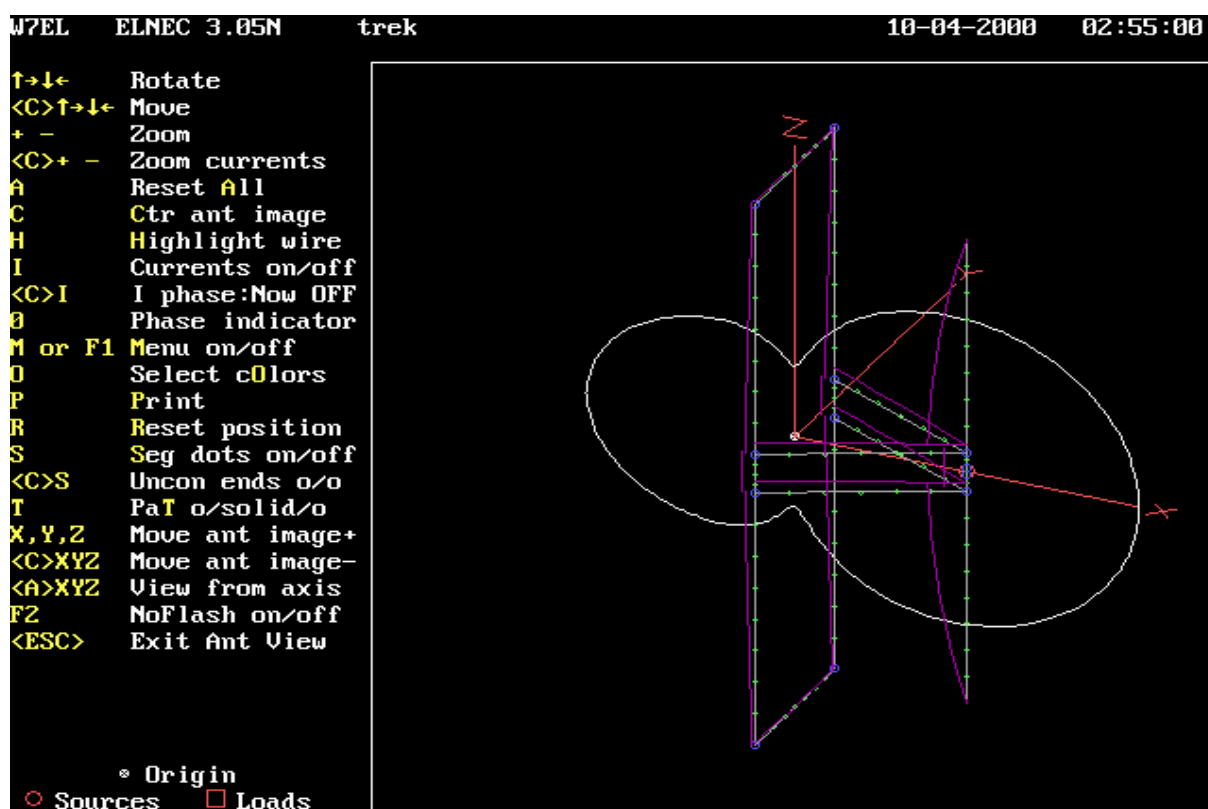


Рис.7. Вид антенны с рассчитанным распределением тока и диаграммой направленности

уменьшить антенну на экране, учесть фазовые соотношения токов и т.п., что следует из подсказки на экране монитора.

Имеется возможность совмещения картинок антенны и диаграммы направленности (рис.7), что позволяет наглядно представить возможную структуру излучаемого поля по отношению к элементам антенны.

Процесс моделирования антенны и анализа ее параметров продолжается до получения приемлемого результата по коэффициенту усиления, входному сопротивлению и уровню бокового излучения, а также и другим существенным характеристикам.

Более подробная информация о пакете *ELNEC* приведена в документации на программный продукт *ELNEC.DOC*.

Большими возможностями по сравнению с рассмотренным выше пакетом проектирования «проволочных» антенн обладают программы *MIN-INEC*, *NEC* и *NEC-Win professional*.

Проектирование антенн с помощью пакета *ELNEC*

Составитель Шабунин Сергей Николаевич

Редактор Л.Ю. Козьячева

Подписано в печать 20.06.2001

Бумага типографская

Уч.-изд.л. 0,69

Офсетная печать

Заказ

Формат 60x84 1/16

Усл.печ.л. 0,70

Цена "С"

Издательство УГТУ-УПИ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
