1. Моделирование и исследование элементов конструкции антенны с помощью программы MANNA

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 JE3HHT. Программа позволяет:

- создавать и редактировать описания антенны, как заданием координат, так и мышкой. Не надо набирать вручную длинные ряды цифр, описывающих координаты каждого провода в трехмерном пространстве;

- 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. То есть можно легко 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». Использовать удобное меню создания многоэтажных антенн - стеков, причем в качестве элемента стека можно использовать любую существующую или созданную антенну;

- оптимизировать антенну, гибко настраивая цели оптимизации: *Z*ВХ, *КСВ*, усиление, *F*/*B*, минимум вертикального угла излучения, причем предельно наглядно – движками указывается важность 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, чего исходно и в виду-то не имели. Строить множество разнообразных графиков: *Z*ВХ, *КСВ*, усиления, отношения излучений вперед/назад (*F*/*B*), включая показ *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 [5].

**1.1 Исследование влияния зазора в симметричном вибраторе на степень согласования и рабочую полосу**

Общая длина симметричного вибратора 0,5·*λ*. Радиус провода в середину которого подключается источник *ЭДС* - 0,0002·*λ*. Радиус плеч симметричного вибратора - 0,01·*λ*. Зазоры для подключения *ЭДС* изменяем от 0,001·*λ* до 0,05·*λ* с шагом 0,001·*λ*.

Для каждого зазора проводим оптимизацию с целями по максимальному усилению, *КСВ* и согласованию на частоте 861 МГц.

Графики значений *КСВ* от частоты приведены на рис. 2.1 - 2.5 соответственно.

Рисунок 2.1

Рисунок 2.2

Рисунок 2.3

Рисунок 2.4

Рисунок 2.5

На частоте 861 МГц определяем минимальное значение *КСВ*, абсолютную и относительные полосы рабочих частот по уровню *КСВ* = 1,5 и по уровню *КСВ =* 2. Результаты расчетов сведены в табл. 2.1 - 2.4.

Таблица 2.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *КСВ* = 1,5 | | | | | |
| *Z*, в *λ* | *f*ксв мин, МГц | *l*, м | *l(f)*, см | *f1*, МГц | *f2*, МГц |
| 0,001 | 854,312 | 0,07856 | 8,78 | 823,316 | 874,976 |
| 0,002 | 861,2 | 0,07655 | 8,71 | 833,648 | 892,196 |
| 0,003 | 857,756 | 0,07647 | 8,74 | 826,76 | 888,752 |
| 0,004 | 854,312 | 0,07635 | 8,78 | 823,316 | 885,308 |
| 0,005 | 854,312 | 0,07566 | 8,78 | 823,316 | 888,752 |
| 0,006 | 857,756 | 0,07517 | 8,74 | 823,316 | 888,752 |
| 0,007 | 854,312 | 0,07481 | 8,78 | 823,316 | 888,752 |
| 0,008 | 854,312 | 0,07447 | 8,78 | 823,316 | 888,752 |
| 0,009 | 857,756 | 0,07396 | 8,74 | 823,316 | 892,196 |
| 0,01 | 857,756 | 0,07347 | 8,74 | 823,316 | 892,196 |
| 0,011 | 857,756 | 0,07298 | 8,74 | 823,316 | 892,196 |
| 0,012 | 857,756 | 0,07262 | 8,74 | 823,316 | 892,196 |
| 0,013 | 857,756 | 0,07213 | 8,74 | 823,316 | 895,64 |
| 0,014 | 857,756 | 0,07177 | 8,74 | 823,316 | 892,196 |
| 0,015 | 857,756 | 0,07128 | 8,74 | 823,316 | 895,64 |
| 0,016 | 861,2 | 0,07079 | 8,71 | 826,76 | 895,64 |
| 0,017 | 857,756 | 0,07043 | 8,74 | 826,76 | 895,64 |
| 0,018 | 857,756 | 0,06994 | 8,74 | 826,76 | 895,64 |
| 0,019 | 857,756 | 0,06958 | 8,74 | 826,76 | 895,64 |
| 0,02 | 861,2 | 0,06909 | 8,71 | 826,76 | 895,64 |
| 0,021 | 861,2 | 0,06875 | 8,71 | 826,76 | 895,64 |
| 0,022 | 861,2 | 0,06824 | 8,71 | 826,76 | 899,084 |
| 0,023 | 857,756 | 0,06789 | 8,74 | 826,76 | 895,64 |
| 0,024 | 861,2 | 0,06739 | 8,71 | 826,76 | 899,084 |
| 0,025 | 861,2 | 0,06705 | 8,71 | 826,76 | 895,64 |
| 0,026 | 861,2 | 0,06656 | 8,71 | 830,204 | 899,084 |
| 0,027 | 861,2 | 0,0662 | 8,71 | 826,76 | 899,084 |
| 0,028 | 861,2 | 0,06571 | 8,71 | 830,204 | 899,084 |
| 0,029 | 861,2 | 0,06523 | 8,71 | 830,204 | 899,084 |
| 0,03 | 861,2 | 0,06452 | 8,71 | 830,204 | 899,084 |
| 0,031 | 861,2 | 0,06421 | 8,71 | 830,204 | 899,084 |
| 0,032 | 861,2 | 0,0642 | 8,71 | 830,204 | 895,64 |
| 0,033 | 861,2 | 0,06382 | 8,71 | 830,204 | 895,64 |
| 0,034 | 861,2 | 0,06331 | 8,71 | 830,204 | 895,64 |
| 0,035 | 861,2 | 0,06297 | 8,71 | 830,204 | 895,64 |
| 0,036 | 861,2 | 0,06278 | 8,71 | 830,204 | 895,64 |
| 0,037 | 861,2 | 0,06167 | 8,71 | 833,648 | 895,64 |
| 0,038 | 861,2 | 0,06133 | 8,71 | 833,648 | 895,64 |
| 0,039 | 861,2 | 0,06097 | 8,71 | 833,648 | 895,64 |
| 0,04 | 861,2 | 0,06048 | 8,71 | 833,648 | 895,64 |
| 0,041 | 861,2 | 0,06014 | 8,71 | 833,648 | 895,64 |
| 0,042 | 861,2 | 0,05978 | 8,71 | 833,648 | 895,64 |
| 0,043 | 861,2 | 0,05944 | 8,71 | 833,648 | 895,64 |
| 0,044 | 861,2 | 0,05893 | 8,71 | 833,648 | 895,64 |
| 0,045 | 861,2 | 0,05859 | 8,71 | 833,648 | 895,64 |
| 0,046 | 861,2 | 0,05825 | 8,71 | 833,648 | 892,196 |
| 0,047 | 861,2 | 0,05789 | 8,71 | 833,648 | 892,196 |
| 0,048 | 861,2 | 0,0574 | 8,71 | 837,092 | 892,196 |
| 0,049 | 861,2 | 0,05704 | 8,71 | 837,092 | 892,196 |
| 0,05 | 861,2 | 0,0567 | 8,71 | 837,092 | 892,196 |

Таблица 2.2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *КСВ* = 1,5 | | | | | |
| *Z*, в *λ* | *П*абс, МГц | *П*отн, % | *КСВ*min | *КСВ*ср | *К*укор |
| 0,001 | 51,66 | 6,08 | 1,34 | 1,48 | 1,1 |
| 0,002 | 58,55 | 6,78 | 1,28 | 1,43 | 1,13 |
| 0,003 | 61,99 | 7,23 | 1,26 | 1,42 | 1,14 |
| 0,004 | 61,99 | 7,26 | 1,24 | 1,41 | 1,14 |
| 0,005 | 65,44 | 7,64 | 1,22 | 1,39 | 1,13 |
| 0,006 | 65,44 | 7,64 | 1,21 | 1,38 | 1,15 |
| 0,007 | 65,44 | 7,64 | 1,2 | 1,38 | 1,14 |
| 0,008 | 65,44 | 7,64 | 1,19 | 1,37 | 1,16 |
| 0,009 | 68,88 | 8,03 | 1,18 | 1,37 | 1,15 |
| 0,01 | 68,88 | 8,03 | 1,17 | 1,36 | 1,17 |
| 0,011 | 68,88 | 8,03 | 1,16 | 1,36 | 1,17 |
| 0,012 | 68,88 | 8,03 | 1,15 | 1,35 | 1,16 |
| 0,013 | 72,32 | 8,41 | 1,14 | 1,35 | 1,18 |
| 0,014 | 68,88 | 8,03 | 1,13 | 1,34 | 1,17 |
| 0,015 | 72,32 | 8,41 | 1,12 | 1,34 | 1,19 |
| 0,016 | 68,88 | 8,00 | 1,11 | 1,33 | 1,19 |
| 0,017 | 68,88 | 8,00 | 1,1 | 1,32 | 1,2 |
| 0,018 | 68,88 | 8,00 | 1,09 | 1,32 | 1,2 |
| 0,019 | 68,88 | 8,00 | 1,08 | 1,31 | 1,2 |
| 0,02 | 68,88 | 8,00 | 1,08 | 1,31 | 1,21 |
| 0,021 | 68,88 | 8,00 | 1,07 | 1,31 | 1,21 |
| 0,022 | 72,32 | 8,38 | 1,06 | 1,32 | 1,22 |
| 0,023 | 68,88 | 8,00 | 1,05 | 1,31 | 1,22 |
| 0,024 | 72,32 | 8,38 | 1,04 | 1,31 | 1,24 |
| 0,025 | 68,88 | 8,00 | 1,04 | 1,3 | 1,23 |
| 0,026 | 68,88 | 7,97 | 1,03 | 1,3 | 1,23 |
| 0,027 | 72,32 | 8,38 | 1,02 | 1,31 | 1,25 |
| 0,028 | 68,88 | 7,97 | 1,01 | 1,3 | 1,24 |
| 0,029 | 68,88 | 7,97 | 1,01 | 1,3 | 1,24 |
| 0,03 | 68,88 | 7,97 | 1,01 | 1,31 | 1,26 |
| 0,031 | 68,88 | 7,97 | 1,01 | 1,31 | 1,26 |
| 0,032 | 65,44 | 7,58 | 1,02 | 1,29 | 1,27 |
| 0,033 | 65,44 | 7,58 | 1,02 | 1,3 | 1,27 |
| 0,034 | 65,44 | 7,58 | 1,03 | 1,3 | 1,29 |
| 0,035 | 65,44 | 7,58 | 1,03 | 1,31 | 1,28 |
| 0,036 | 65,44 | 7,58 | 1,05 | 1,32 | 1,28 |
| 0,037 | 61,99 | 7,17 | 1,07 | 1,31 | 1,3 |
| 0,038 | 61,99 | 7,17 | 1,08 | 1,32 | 1,32 |
| 0,039 | 61,99 | 7,17 | 1,08 | 1,32 | 1,31 |
| 0,04 | 61,99 | 7,17 | 1,09 | 1,33 | 1,33 |
| 0,041 | 61,99 | 7,17 | 1,1 | 1,33 | 1,33 |
| 0,042 | 61,99 | 7,17 | 1,1 | 1,34 | 1,33 |
| 0,043 | 61,99 | 7,17 | 1,11 | 1,34 | 1,34 |
| 0,044 | 61,99 | 7,17 | 1,12 | 1,35 | 1,34 |
| 0,045 | 61,99 | 7,17 | 1,12 | 1,35 | 1,34 |
| 0,046 | 58,55 | 6,78 | 1,12 | 1,35 | 1,33 |
| 0,047 | 58,55 | 6,78 | 1,13 | 1,35 | 1,33 |
| 0,048 | 55,10 | 6,37 | 1,14 | 1,35 | 1,33 |
| 0,049 | 55,10 | 6,37 | 1,14 | 1,36 | 1,33 |
| 0,05 | 55,10 | 6,37 | 1,15 | 1,36 | 1,33 |

Таблица 2.3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *КСВ* = 2 | | | | | |
| *Z*, в *λ* | *f*ксв мин, МГц | *l*, м | *l(f)*, см | *f1*, МГц | *f2*, МГц |
| 0,001 | 854,312 | 0,0786 | 8,78 | 792,32 | 916,304 |
| 0,002 | 861,2 | 0,0766 | 8,71 | 802,652 | 933,524 |
| 0,003 | 857,756 | 0,0765 | 8,74 | 799,208 | 926,636 |
| 0,004 | 854,312 | 0,0764 | 8,78 | 795,764 | 923,192 |
| 0,005 | 854,312 | 0,0757 | 8,78 | 795,764 | 926,636 |
| 0,006 | 857,756 | 0,0752 | 8,74 | 795,764 | 926,636 |
| 0,007 | 854,312 | 0,0748 | 8,78 | 799,208 | 926,636 |
| 0,008 | 854,312 | 0,0745 | 8,78 | 799,208 | 926,636 |
| 0,009 | 857,756 | 0,074 | 8,74 | 799,208 | 926,636 |
| 0,01 | 857,756 | 0,0735 | 8,74 | 799,208 | 930,08 |
| 0,011 | 857,756 | 0,073 | 8,74 | 799,208 | 930,08 |
| 0,012 | 857,756 | 0,0726 | 8,74 | 799,208 | 930,08 |
| 0,013 | 857,756 | 0,0721 | 8,74 | 799,208 | 930,08 |
| 0,014 | 857,756 | 0,0718 | 8,74 | 799,208 | 930,08 |
| 0,015 | 857,756 | 0,0713 | 8,74 | 802,652 | 930,08 |
| 0,016 | 861,2 | 0,0708 | 8,71 | 802,652 | 930,08 |
| 0,017 | 857,756 | 0,0704 | 8,74 | 802,652 | 930,08 |
| 0,018 | 857,756 | 0,0699 | 8,74 | 802,652 | 930,08 |
| 0,019 | 857,756 | 0,0696 | 8,74 | 802,652 | 930,08 |
| 0,02 | 861,2 | 0,0691 | 8,71 | 802,652 | 930,08 |
| 0,021 | 861,2 | 0,0688 | 8,71 | 802,652 | 930,08 |
| 0,022 | 861,2 | 0,0682 | 8,71 | 806,096 | 930,08 |
| 0,023 | 857,756 | 0,0679 | 8,74 | 806,096 | 930,08 |
| 0,024 | 861,2 | 0,0674 | 8,71 | 806,096 | 930,08 |
| 0,025 | 861,2 | 0,0671 | 8,71 | 806,096 | 930,08 |
| 0,026 | 861,2 | 0,0666 | 8,71 | 806,096 | 930,08 |
| 0,027 | 861,2 | 0,0662 | 8,71 | 806,096 | 930,08 |
| 0,028 | 861,2 | 0,0657 | 8,71 | 809,54 | 930,08 |
| 0,029 | 861,2 | 0,0652 | 8,71 | 809,54 | 930,08 |
| 0,03 | 861,2 | 0,0645 | 8,71 | 809,54 | 930,08 |
| 0,031 | 861,2 | 0,0642 | 8,71 | 809,54 | 930,08 |
| 0,032 | 861,2 | 0,0642 | 8,71 | 809,54 | 902,636 |
| 0,033 | 861,2 | 0,0638 | 8,71 | 809,54 | 902,636 |
| 0,034 | 861,2 | 0,0633 | 8,71 | 809,54 | 902,636 |
| 0,035 | 861,2 | 0,063 | 8,71 | 806,096 | 923,192 |
| 0,036 | 861,2 | 0,0628 | 8,71 | 806,096 | 919,748 |
| 0,037 | 861,2 | 0,0617 | 8,71 | 812,984 | 902,636 |
| 0,038 | 861,2 | 0,0613 | 8,71 | 812,984 | 926,636 |
| 0,039 | 861,2 | 0,061 | 8,71 | 812,984 | 926,636 |
| 0,04 | 861,2 | 0,0605 | 8,71 | 812,984 | 926,636 |
| 0,041 | 861,2 | 0,0601 | 8,71 | 812,984 | 926,636 |
| 0,042 | 861,2 | 0,0598 | 8,71 | 812,984 | 923,192 |
| 0,043 | 861,2 | 0,0594 | 8,71 | 812,984 | 923,192 |
| 0,044 | 861,2 | 0,0589 | 8,71 | 816,428 | 923,192 |
| 0,045 | 861,2 | 0,0586 | 8,71 | 816,428 | 923,192 |
| 0,046 | 861,2 | 0,0583 | 8,71 | 816,428 | 923,192 |
| 0,047 | 861,2 | 0,0579 | 8,71 | 816,428 | 923,192 |
| 0,048 | 861,2 | 0,0574 | 8,71 | 816,428 | 923,192 |
| 0,049 | 861,2 | 0,057 | 8,71 | 816,428 | 923,192 |
| 0,05 | 861,2 | 0,0567 | 8,71 | 816,428 | 919,748 |

Таблица 2.4

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *КСВ* = 2 | | | | | |
| *Z*, в *λ* | *П*абс, МГц | *П*отн, % | *КСВ*min | *КСВ*ср | *К*укор |
| 0,001 | 123,98 | 14,51 | 1,34 | 1,63 | 1,1 |
| 0,002 | 130,87 | 15,08 | 1,28 | 1,6 | 1,13 |
| 0,003 | 127,43 | 14,77 | 1,26 | 1,58 | 1,14 |
| 0,004 | 127,43 | 14,83 | 1,24 | 1,57 | 1,14 |
| 0,005 | 130,87 | 15,20 | 1,22 | 1,57 | 1,13 |
| 0,006 | 130,87 | 15,20 | 1,21 | 1,57 | 1,15 |
| 0,007 | 127,43 | 14,77 | 1,2 | 1,55 | 1,14 |
| 0,008 | 127,43 | 14,77 | 1,19 | 1,54 | 1,16 |
| 0,009 | 127,43 | 14,77 | 1,18 | 1,54 | 1,15 |
| 0,01 | 130,87 | 15,14 | 1,17 | 1,55 | 1,17 |
| 0,011 | 130,87 | 15,14 | 1,16 | 1,54 | 1,17 |
| 0,012 | 130,87 | 15,14 | 1,15 | 1,54 | 1,16 |
| 0,013 | 130,87 | 15,14 | 1,14 | 1,54 | 1,18 |
| 0,014 | 130,87 | 15,14 | 1,13 | 1,53 | 1,17 |
| 0,015 | 127,43 | 14,71 | 1,12 | 1,52 | 1,19 |
| 0,016 | 127,43 | 14,71 | 1,11 | 1,51 | 1,19 |
| 0,017 | 127,43 | 14,71 | 1,1 | 1,51 | 1,2 |
| 0,018 | 127,43 | 14,71 | 1,09 | 1,51 | 1,2 |
| 0,019 | 127,43 | 14,71 | 1,08 | 1,51 | 1,2 |
| 0,02 | 127,43 | 14,71 | 1,08 | 1,51 | 1,21 |
| 0,021 | 127,43 | 14,71 | 1,07 | 1,51 | 1,21 |
| 0,022 | 123,98 | 14,28 | 1,06 | 1,5 | 1,22 |
| 0,023 | 123,98 | 14,28 | 1,05 | 1,5 | 1,22 |
| 0,024 | 123,98 | 14,28 | 1,04 | 1,5 | 1,24 |
| 0,025 | 123,98 | 14,28 | 1,04 | 1,5 | 1,23 |
| 0,026 | 123,98 | 14,28 | 1,03 | 1,5 | 1,23 |
| 0,027 | 123,98 | 14,28 | 1,02 | 1,5 | 1,25 |
| 0,028 | 120,54 | 13,86 | 1,01 | 1,49 | 1,24 |
| 0,029 | 120,54 | 13,86 | 1,01 | 1,49 | 1,24 |
| 0,03 | 120,54 | 13,86 | 1,01 | 1,5 | 1,26 |
| 0,031 | 120,54 | 13,86 | 1,01 | 1,5 | 1,26 |
| 0,032 | 93,10 | 10,87 | 1,02 | 1,49 | 1,27 |
| 0,033 | 93,10 | 10,87 | 1,02 | 1,49 | 1,27 |
| 0,034 | 93,10 | 10,87 | 1,03 | 1,5 | 1,29 |
| 0,035 | 117,10 | 13,54 | 1,03 | 1,51 | 1,28 |
| 0,036 | 113,65 | 13,17 | 1,05 | 1,5 | 1,28 |
| 0,037 | 89,65 | 10,45 | 1,07 | 1,5 | 1,3 |
| 0,038 | 113,65 | 13,07 | 1,08 | 1,51 | 1,32 |
| 0,039 | 113,65 | 13,07 | 1,08 | 1,51 | 1,31 |
| 0,04 | 113,65 | 13,07 | 1,09 | 1,52 | 1,33 |
| 0,041 | 113,65 | 13,07 | 1,1 | 1,53 | 1,33 |
| 0,042 | 110,21 | 12,70 | 1,1 | 1,52 | 1,33 |
| 0,043 | 110,21 | 12,70 | 1,11 | 1,52 | 1,34 |
| 0,044 | 106,76 | 12,27 | 1,12 | 1,51 | 1,34 |
| 0,045 | 106,76 | 12,27 | 1,12 | 1,52 | 1,34 |
| 0,046 | 106,76 | 12,27 | 1,12 | 1,53 | 1,33 |
| 0,047 | 106,76 | 12,27 | 1,13 | 1,53 | 1,33 |
| 0,048 | 106,76 | 12,27 | 1,14 | 1,54 | 1,33 |
| 0,049 | 106,76 | 12,27 | 1,14 | 1,54 | 1,33 |
| 0,05 | 103,32 | 11,90 | 1,15 | 1,54 | 1,33 |

По уровню *КСВ*=1,5 и *КСВ*=2 минимальное значение *КСВ*, равное 1,01, получается при зазоре 0,031⋅*λ*.

На рис. 2.6 приведен график зависимости коэффициента укорочения от величины зазора симметричного вибратора, изменяющегося от 0,001⋅*λ* до 0,050⋅*λ*.

Рисунок 2.6

**На рис. 2.7 приведен график зависимости относительной полосы рабочих частот по уровню *КСВ* = 1,5 и *КСВ* = 2 от величины зазора симметричного вибратора, изменяющегося от 0,001**⋅*λ* **до 0,050**⋅*λ***.**

Рисунок 2.7

**На рис. 2.8 приведен график зависимости минимального и средних значений *КСВ* по уровню *КСВ* < 2 и *КСВ* < 1,5 от величины зазора симметричного вибратора, изменяющегося от 0,001**⋅*λ* **до 0,050**⋅*λ***.**

Рисунок 2.8

**Выводы:** На частоте 861 МГц для симметричного полуволнового вибратора с радиусом плеч 0,01·*λ* при увеличении зазора от 0,001⋅*λ* до 0,05⋅*λ* улучшается значение *КСВ* от 1,34 до 1,01 (при *Z* = 0,031·*λ*), затем увеличивается до 1,15.

Наибольшее значение полосы рабочих частот 8,41 % наблюдается при Z = 0,013⋅*λ* и Z=0,015⋅*λ* по уровню *КСВ* = 1,5 и 15,20 % - при *Z* = 0,005⋅*λ* и Z = 0,006⋅*λ* по уровню *КСВ* = 2.

Наименьшее значение *КСВ* = 1,01 наблюдается при *Z* = 0,031⋅*λ* и обеспечивается полоса рабочих частот 13,86 % (средний *КСВ -* 1,5) по уровню *КСВ* = 2 и 7,97 *%* (средний *КСВ* = 1,31) - по уровню *КСВ* = 1,5.

**1.2 Исследование влияния диаметра проводников симметричного вибратора на рабочую полосу частот**

Общая длина полуволнового симметричного вибратора 0,5⋅*λ*. Зазор для подключения *ЭДС* выбираем 0,006⋅*λ*, радиус провода 0,0002⋅*λ*. Для каждого радиуса провода проводим оптимизацию с целями по наилучшему *КСВ* и согласованию. Исследования выполняем для радиусов от 0,001⋅*λ* до 0,03⋅*λ* с шагом 0,001⋅*λ*. На частоте 861 МГц определяем минимальное значение *КСВ,* абсолютные и относительные полосы рабочих частот по уровню *КСВ* = 1,5 и по уровню *КСВ* = 2. Результаты расчетов сводим в табл. 2.5 - 2.8.

Графики значений *КСВ* от частоты приведены на рис. 2.9 - 2.11 соответственно.

Рисунок 2.9

Рисунок 2.10

Рисунок 2.11

На частоте 861 МГц определяем минимальное значение *КСВ,* абсолютные и относительные полосы рабочих частот по уровню *КСВ* = 1,5 и по уровню *КСВ* = 2. Результаты расчетов сводим в табл. 2.5 - 2.8.

Таблица 2.5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *КСВ* = 1,5 | | | | | |
| *a*, в *λ* | *f*ксв мин, МГц | *l*, м | *l(f)*, см | *f1*, МГц | *f2*, МГц |
| 0,001 | 854,656 | 0,081 | 8,78 | 848,112 | 867,744 |
| 0,002 | 854,656 | 0,08 | 8,78 | 841,568 | 867,744 |
| 0,003 | 854,656 | 0,08 | 8,78 | 841,568 | 867,744 |
| 0,004 | 854,656 | 0,079 | 8,78 | 835,024 | 874,288 |
| 0,005 | 854,656 | 0,079 | 8,78 | 835,024 | 874,288 |
| 0,006 | 854,656 | 0,078 | 8,78 | 835,024 | 874,288 |
| 0,007 | 854,656 | 0,077 | 8,78 | 828,48 | 874,288 |
| 0,008 | 854,656 | 0,077 | 8,78 | 828,48 | 880,832 |
| 0,009 | 854,656 | 0,076 | 8,78 | 828,48 | 880,832 |
| 0,01 | 854,656 | 0,075 | 8,78 | 821,936 | 887,376 |
| 0,011 | 854,656 | 0,075 | 8,78 | 821,936 | 887,376 |
| 0,012 | 854,656 | 0,074 | 8,78 | 821,936 | 893,92 |
| 0,013 | 854,656 | 0,074 | 8,78 | 821,936 | 893,92 |
| 0,014 | 854,656 | 0,073 | 8,78 | 821,936 | 893,92 |
| 0,015 | 861,2 | 0,072 | 8,71 | 821,936 | 907,008 |
| 0,016 | 861,2 | 0,072 | 8,71 | 821,936 | 907,008 |
| 0,017 | 861,2 | 0,072 | 8,71 | 815,392 | 913,552 |
| 0,018 | 861,2 | 0,071 | 8,71 | 815,392 | 913,552 |
| 0,019 | 861,2 | 0,071 | 8,71 | 815,392 | 913,552 |
| 0,02 | 867,744 | 0,068 | 8,64 | 828,48 | 913,552 |
| 0,021 | 867,744 | 0,068 | 8,64 | 821,936 | 920,096 |
| 0,022 | 867,744 | 0,068 | 8,64 | 821,936 | 920,096 |
| 0,023 | 867,744 | 0,067 | 8,64 | 821,936 | 920,096 |
| 0,024 | 867,744 | 0,067 | 8,64 | 821,936 | 920,096 |
| 0,025 | 867,744 | 0,067 | 8,64 | 821,936 | 920,096 |
| 0,026 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 821,936 | 920,096 |
| 0,027 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 821,936 | 926,64 |
| 0,028 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 821,936 | 926,64 |
| 0,029 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 821,936 | 926,64 |
| 0,03 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 821,936 | 926,64 |

Таблица 2.6

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *КСВ* = 1,5 | | | | | |
| *a*, в *λ* | *П*абс, МГц | *П*отн, % | *КСВ*min | *КСВ*ср | *К*укор |
| 0,001 | 19,63 | 2,29 | 1,41 | 1,44 | 1,07 |
| 0,002 | 32,72 | 3,81 | 1,39 | 1,43 | 1,09 |
| 0,003 | 26,18 | 3,06 | 1,37 | 1,4 | 1,09 |
| 0,004 | 39,26 | 4,59 | 1,35 | 1,41 | 1,10 |
| 0,005 | 39,26 | 4,59 | 1,33 | 1,39 | 1,10 |
| 0,006 | 39,26 | 4,59 | 1,31 | 1,37 | 1,12 |
| 0,007 | 45,81 | 5,38 | 1,3 | 1,36 | 1,13 |
| 0,008 | 52,35 | 6,13 | 1,28 | 1,36 | 1,13 |
| 0,009 | 52,35 | 6,13 | 1,25 | 1,33 | 1,14 |
| 0,01 | 65,44 | 7,66 | 1,21 | 1,32 | 1,16 |
| 0,011 | 65,44 | 7,66 | 1,2 | 1,31 | 1,16 |
| 0,012 | 71,98 | 8,39 | 1,15 | 1,29 | 1,18 |
| 0,013 | 71,98 | 8,39 | 1,14 | 1,27 | 1,18 |
| 0,014 | 71,98 | 8,39 | 1,13 | 1,26 | 1,19 |
| 0,015 | 85,07 | 9,84 | 1,06 | 1,25 | 1,21 |
| 0,016 | 85,07 | 9,84 | 1,05 | 1,24 | 1,21 |
| 0,017 | 98,16 | 11,35 | 1,03 | 1,25 | 1,21 |
| 0,018 | 98,16 | 11,35 | 1,03 | 1,25 | 1,23 |
| 0,019 | 98,16 | 11,35 | 1,02 | 1,24 | 1,23 |
| 0,02 | 85,07 | 9,77 | 1,13 | 1,27 | 1,28 |
| 0,021 | 98,16 | 11,27 | 1,15 | 1,3 | 1,28 |
| 0,022 | 98,16 | 11,27 | 1,15 | 1,3 | 1,28 |
| 0,023 | 98,16 | 11,27 | 1,19 | 1,31 | 1,30 |
| 0,024 | 98,16 | 11,27 | 1,19 | 1,31 | 1,30 |
| 0,025 | 98,16 | 11,27 | 1,2 | 1,32 | 1,30 |
| 0,026 | 98,16 | 11,27 | 1,21 | 1,32 | 1,32 |
| 0,027 | 104,70 | 11,98 | 1,23 | 1,34 | 1,32 |
| 0,028 | 104,70 | 11,98 | 1,24 | 1,34 | 1,32 |
| 0,029 | 104,70 | 11,98 | 1,25 | 1,35 | 1,32 |
| 0,03 | 104,70 | 11,98 | 1,27 | 1,36 | 1,32 |

Таблица 2.7

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *КСВ* = 2 | | | | | |
| *a*, в *λ* | *f*ксв мин, МГц | *l*, м | *l(f)*, см | *f1*, МГц | *f2*, МГц |
| 0,001 | 854,656 | 0,081 | 8,78 | 828,48 | 887,376 |
| 0,002 | 854,656 | 0,08 | 8,78 | 821,936 | 893,92 |
| 0,003 | 854,656 | 0,08 | 8,78 | 815,392 | 900,464 |
| 0,004 | 854,656 | 0,079 | 8,78 | 815,392 | 900,464 |
| 0,005 | 854,656 | 0,079 | 8,78 | 808,848 | 907,008 |
| 0,006 | 854,656 | 0,078 | 8,78 | 808,848 | 907,008 |
| 0,007 | 854,656 | 0,077 | 8,78 | 802,324 | 913,552 |
| 0,008 | 854,656 | 0,077 | 8,78 | 802,324 | 913,552 |
| 0,009 | 854,656 | 0,076 | 8,78 | 802,324 | 920,096 |
| 0,01 | 854,656 | 0,075 | 8,78 | 802,324 | 926,64 |
| 0,011 | 854,656 | 0,075 | 8,78 | 795,76 | 926,64 |
| 0,012 | 854,656 | 0,074 | 8,78 | 795,76 | 933,184 |
| 0,013 | 854,656 | 0,074 | 8,78 | 795,76 | 933,184 |
| 0,014 | 854,656 | 0,073 | 8,78 | 789,216 | 939,728 |
| 0,015 | 861,2 | 0,072 | 8,71 | 795,76 | 946,272 |
| 0,016 | 861,2 | 0,072 | 8,71 | 789,216 | 952,916 |
| 0,017 | 861,2 | 0,072 | 8,71 | 789,216 | 959,36 |
| 0,018 | 861,2 | 0,071 | 8,71 | 789,216 | 959,36 |
| 0,019 | 861,2 | 0,071 | 8,71 | 789,216 | 965,904 |
| 0,02 | 867,744 | 0,068 | 8,64 | 795,76 | 965,904 |
| 0,021 | 867,744 | 0,068 | 8,64 | 795,76 | 972,448 |
| 0,022 | 867,744 | 0,068 | 8,64 | 795,76 | 972,448 |
| 0,023 | 867,744 | 0,067 | 8,64 | 789,216 | 978,992 |
| 0,024 | 867,744 | 0,067 | 8,64 | 789,216 | 978,992 |
| 0,025 | 867,744 | 0,067 | 8,64 | 789,216 | 985,536 |
| 0,026 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 789,216 | 992,08 |
| 0,027 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 789,216 | 998,624 |
| 0,028 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 789,216 | 998,624 |
| 0,029 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 782,672 | 1005,168 |
| 0,03 | 867,744 | 0,066 | 8,64 | 782,672 | 1011,712 |

Таблица 2.8

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *КСВ* = 2 | | | | | |
| *a*, в *λ* | *П*абс, МГц | *П*отн, % | *КСВ*min | *КСВ*ср | *К*укор |
| 0,001 | 58,90 | 6,86 | 1,41 | 1,61 | 1,07 |
| 0,002 | 78,53 | 9,12 | 1,39 | 1,6 | 1,09 |
| 0,003 | 85,07 | 9,92 | 1,37 | 1,62 | 1,09 |
| 0,004 | 85,07 | 9,92 | 1,35 | 1,57 | 1,10 |
| 0,005 | 98,16 | 11,44 | 1,33 | 1,59 | 1,10 |
| 0,006 | 98,16 | 11,44 | 1,31 | 1,56 | 1,12 |
| 0,007 | 111,23 | 12,96 | 1,3 | 1,58 | 1,13 |
| 0,008 | 111,23 | 12,96 | 1,28 | 1,54 | 1,13 |
| 0,009 | 117,77 | 13,68 | 1,25 | 1,53 | 1,14 |
| 0,01 | 124,32 | 14,38 | 1,21 | 1,51 | 1,16 |
| 0,011 | 130,88 | 15,20 | 1,2 | 1,51 | 1,16 |
| 0,012 | 137,42 | 15,90 | 1,15 | 1,5 | 1,18 |
| 0,013 | 137,42 | 15,90 | 1,14 | 1,47 | 1,18 |
| 0,014 | 150,51 | 17,41 | 1,13 | 1,5 | 1,19 |
| 0,015 | 150,51 | 17,28 | 1,06 | 1,45 | 1,21 |
| 0,016 | 163,70 | 18,79 | 1,05 | 1,48 | 1,21 |
| 0,017 | 170,14 | 19,46 | 1,03 | 1,46 | 1,21 |
| 0,018 | 170,14 | 19,46 | 1,03 | 1,46 | 1,23 |
| 0,019 | 176,69 | 20,13 | 1,02 | 1,46 | 1,23 |
| 0,02 | 170,14 | 19,32 | 1,13 | 1,49 | 1,28 |
| 0,021 | 176,69 | 19,98 | 1,15 | 1,5 | 1,28 |
| 0,022 | 176,69 | 19,98 | 1,15 | 1,5 | 1,28 |
| 0,023 | 189,78 | 21,47 | 1,19 | 1,52 | 1,30 |
| 0,024 | 189,78 | 21,47 | 1,19 | 1,52 | 1,30 |
| 0,025 | 196,32 | 22,12 | 1,2 | 1,52 | 1,30 |
| 0,026 | 202,86 | 22,78 | 1,21 | 1,53 | 1,32 |
| 0,027 | 209,41 | 23,43 | 1,23 | 1,54 | 1,32 |
| 0,028 | 209,41 | 23,43 | 1,24 | 1,54 | 1,32 |
| 0,029 | 222,50 | 24,89 | 1,25 | 1,55 | 1,32 |
| 0,03 | 229,04 | 25,53 | 1,27 | 1,57 | 1,32 |

На рис. 2.12 приведен график зависимости коэффициента укорочения от величины радиуса проводников симметричного вибратора, изменяющегося от 0,001⋅*λ* до 0,03⋅*λ*.

Рисунок 2.12

На рис. 2.13 приведен график зависимости относительной полосы рабочих частот по уровню *КСВ =* 2 и 1,5 от величины радиуса проводников симметричного вибратора, изменяющегося от 0,001⋅*λ* до 0,03⋅*λ*.

Рисунок 2.13

На рис. 2.14 приведен график зависимости минимального и средних значений *КСВ* по уровню *КСВ* < 2 и < 1,5 от величины радиуса проводников симметричного вибратора, изменяющегося от 0,001⋅*λ* до 0,03⋅*λ*.

Рисунок 2.14

**Выводы:** На частоте 861 МГц для симметричного полуволнового вибратора с зазором 0,006⋅*λ* при увеличении радиуса плеч вибратора от 0,001⋅*λ* до 0,03⋅*λ* улучшается значение *КСВ* от 1,41 до 1,02 (при *а* = 0,019⋅*λ*), затем увеличивается до 1,27. Наибольшее значение полосы рабочих   
частот 11,98% наблюдается при *а =* 0,027⋅*λ* по уровню *КСВ* = 1,5 и 25,53 % при *а* = 0,03⋅*λ* по уровню *КСВ* = 2. Наименьшее значение *КСВ* = 1,02 наблюдается при *а* = 0,019⋅*λ* и обеспечивается полоса рабочих частот 20,13 % (средний *КСВ* = 1,46) по уровню *КСВ* = 2 и 11,35 % (средний *КСВ =* 1,24) - по уровню *КСВ* = 1,5.

**1.3 Создание модели антенны и оптимизация ее конструкции**

Создадим модель антенны типа волновой канал с одним рефлектором, активным вибратором в виде симметричного вибратора и с тремя директорами.

Рабочая частота 861 МГц. Радиус проводников директоров, активного вибратора и рефлектора выбираем 0,005⋅*λ*. Радиус траверсы антенны - 0,005⋅*λ*. Общая длина активного вибратора 0,46⋅*λ*. Длина рефлектора 0,5⋅*λ*, длина первого директора 0,42⋅*λ*, второго - 0,38⋅*λ*, третьего - 0,34⋅*λ*. Зазор между плечами активного вибратора - 0,005⋅*λ*.

По оси *x* активный вибратор располагаем в начале координат, рефлектор по координате минус 0,1⋅*λ*, первый директор - плюс 0,1⋅*λ*, второй директор - плюс 0,2⋅*λ*, третий директор - плюс 0,3⋅*λ*. Размеры сформированной модели, введенные в программу MMANA приведены на рис. 2.15.

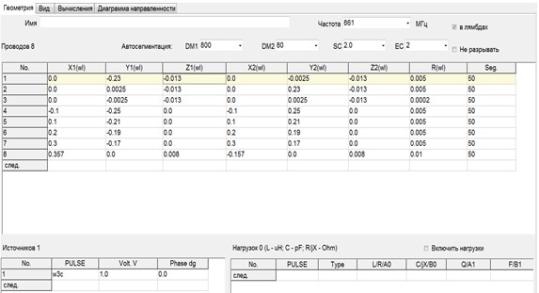


Рисунок 2.15

На рис. 2.16 приведен внешний вид с распределением амплитуд ВЧ токов по элементам антенны на частоте 861 МГц, а на рис. 2.17 - рассчитанные параметры, сечение диаграммы направленности в двух плоскостях.

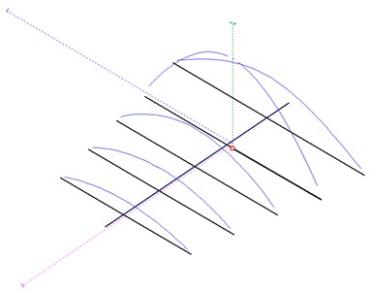


Рисунок 2.16

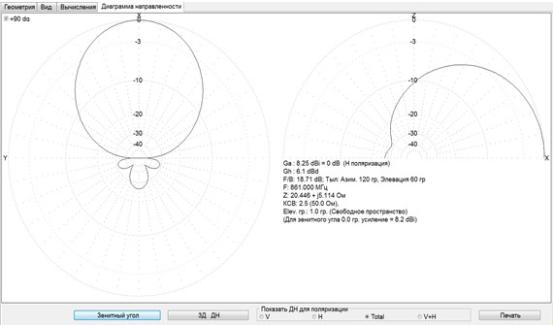


Рисунок 2.17

Оптимизируем конструкцию антенны с целью получения максимального усилению и наилучшего значения *КСВ.* При оптимизации изменяем положение рефлектора и директоров только по оси *х,* причем параллельно оси *у.* После оптимизации размеры задаем с точностью до миллиметра, радиусы плеч 2 мм, радиус траверсы - 6 мм.

На рис. 2.18 приведен внешний вид антенны с распределением амплитуд ВЧ токов по элементам оптимизированной конструкции антенны на частоте 861 МГц, на рис. 2.19 - рассчитанные параметры, сечение диаграммы направленности в двух плоскостях и на рисунке 2.20 – параметры конструкции.

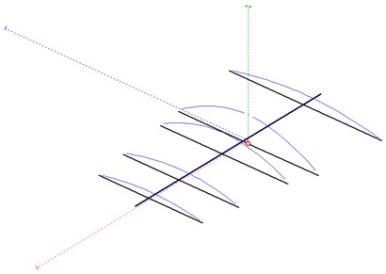


Рисунок 2.18

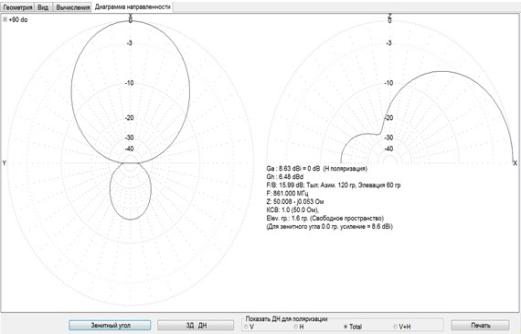


Рисунок 2.19

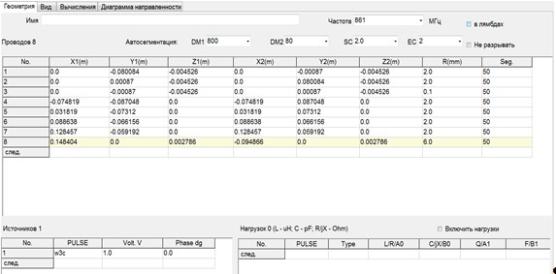


Рисунок 2.20

Рассчитаем параметры антенны на заданной частоте, оценим полосу рабочих частот, минимальный уровень *КСВ* и коэффициент усиления.

Конструкция, оптимизированная (изначальная) имеет *КСВmin* = 1,01 (2,47). Полоса рабочих частот 10 % по ТЗ. Средний коэффициент усиления в полосе рабочих частот – 8.7 дБи, среднее значение *КСВ =* 1,31. Рабочая полоса частот по КСВ = 1,5 составляет 85,17 МГц или 9,81%; по КСВ = 2 составляет 112,725 МГц или 13,05%.

Зависимость *КСВ* и коэффициента усиления антенны от частоты приведена на рис. 2.21.

Рисунок 2.21

Конструктивные размеры элементов оптимизированной антенны сведем в табл. 2.9.

Таблица 2.9

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип элемента | Общая длина, мм | Радиус проводника, мм | Зазор, мм |
| Рефлектор | 174 | 2 | - |
| Активный вибратор | 160 | 2 | 0,00696 |
| Директор 1 | 146 | 2 | - |
| Директор 2 | 132 | 2 | - |
| Директор 3 | 118 | 2 | - |
| Траверса | 240 | 6 | - |

**Выводы:** Таким образом, синтезирована конструкция антенны «волновой канал» с 3 директорами, рефлектором и активным вибратором. Проведена оптимизация по критерию наибольшего усиления и наибольшего уровня *КСВ*. Оптимизированная конструкция имеет в требуемой полосе рабочих частот 10*%* средний уровень *КСВ =* 1,31 и средний коэффициент усиления 8,7 дБи. Рабочая полоса частот по КСВ = 1,5 составляет 85,17 МГц или 9,81%; по КСВ = 2 составляет 112,725 МГц или 13,05%.

**1.4 Исследование направленных свойств антенны горизонтальной поляризации с учетом свойств поверхности земли**

1). Для вычислений введем параметры реальной земли *ε* = 13, *σ =* 5 мСим/м.

2). Рассчитаем высоты размещения для частоты 861 МГц. В табл. 2.10 приведены соответствующие высоты.

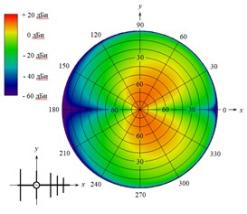
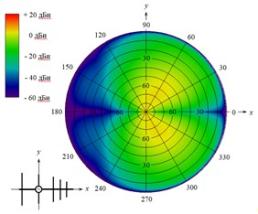
Таблица 2.10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Высота в λ | 0,16 | 0,2 | 0,25 | 0,37 | 0,5 | 0,62 | 0,75 | 1 | 1,5 | 2 |
| Высота в м | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,17 | 0,21 | 0,26 | 0,34 | 0,52 | 0,69 |

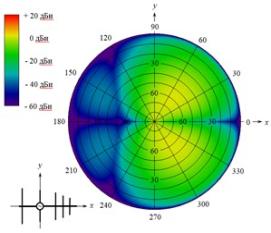
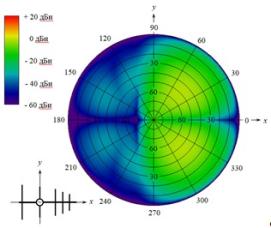
3). Создаем таблицы «углы/усиление» для каждой высоты для последующих расчетов в программе MathCad 14.

Для каждого варианта строим трехмерную сферическую развертку верхней полусферы пространства *ДН* (ТСРВПП ДН) для горизонтальной поляризации и для вертикальной поляризации.

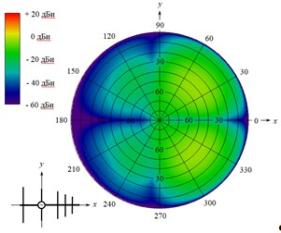
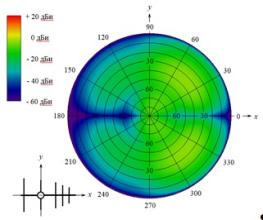
Полученные трехмерные сферические развертки верхней полусферы пространства для обоих поляризаций приведены для вертикальной поляризации на рис. 2.22 и для горизонтальной поляризации на рис. 2.23.

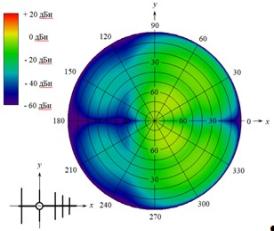
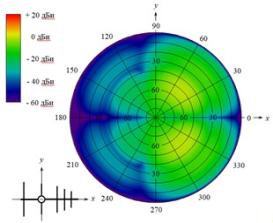
*Н* = 0,05 м *Н* = 0,06 м

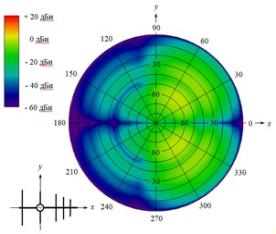
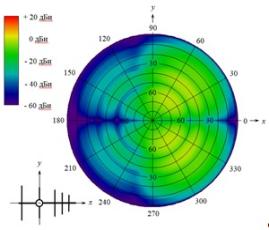
*Н* = 0,08 м *Н* = 0,12 м

*Н* = 0,17 м *Н* = 0,21 м

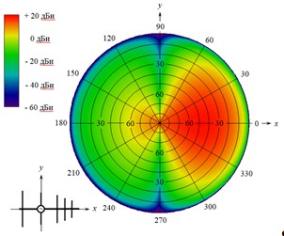
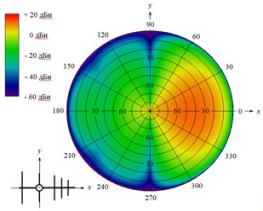
 

*Н* = 0,26 м *Н* = 0,34 м

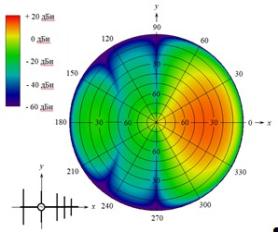
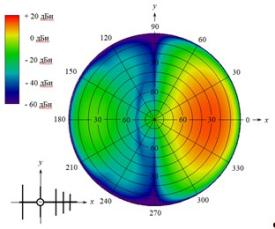
 

*Н* = 0,52 м *Н* = 0,69 м

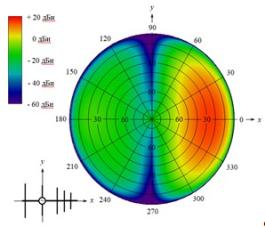
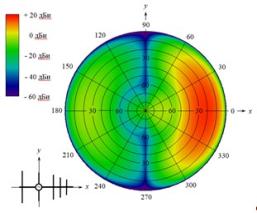
Рисунок 2.22

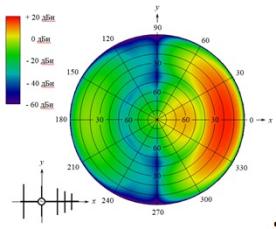
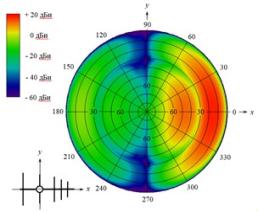
*Н* = 0,05 м *Н* = 0,06 м

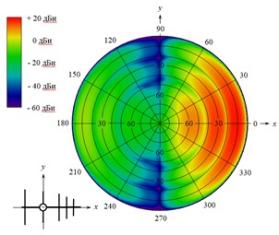
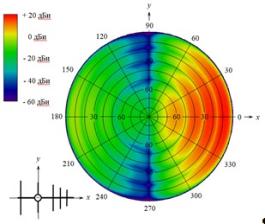
*Н* = 0,08 м *Н* = 0,12 м

*Н* = 0,17 м *Н* = 0,21 м

*Н* = 0,26 м *Н* = 0,34 м

*Н* = 0,52 м *Н* = 0,69 м

Рисунок 2.23

**Выводы:** Наибольшие значения направленности антенны обеспечиваются при горизонтальной поляризации (рис. 2.23). Наиболее эффективно антенна работает на углах прихода от 20° до 40° в азимутальном секторе ± 45°. На высотах подъема до 0,62·*λ* в секторе углов прихода от 0° до 90° диаграмма направленности однолепестковая. Характерным является малый уровень *КН* антенны в азимутальном направлении 180° для вертикальной поляризации (рис.2.22).

**1.5 Исследование направленных свойств антенны горизонтальной поляризации с учетом свойств поверхности земли в направлении максимального *КНД***

антенна поляризация частота

1). Для вычислений введем параметры реальной земли *ε* = 13, *σ =* 5 мСим/м.

2). Рассчитаем высоты размещения для частоты 861 МГц. В табл. 2.11 приведены соответствующие высоты.

Таблица 2.11

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Высота в λ | 0,16 | 0,2 | 0,25 | 0,37 | 0,5 | 0,62 | 0,75 | 1 | 1,5 | 2 |
| Высота в м | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,17 | 0,21 | 0,26 | 0,34 | 0,52 | 0,69 |
| Высота в λ | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 |
| Высота в м | 0,87 | 1,04 | 1,21 | 1,39 | 1,56 | 1,74 | 1,91 | 2,08 | 2,26 | 2,43 |

3). Задаём высоту над уровнем Земли в метрах, материал – Медь.

4). Задаём частоту 861 МГц.

5). Строим графики зависимости КНД от углов прихода на заданной частоте.

Графики представлены на рисунках 2.24 и 2.25

Рисунок 2.24

Рисунок 2.25

**Выводы:** Направленное действие антенны по углам прихода сильно зависит от высоты размещения над поверхностью земли. В секторе углов прихода от 0° до 90° до высоты подъема 0,62·*λ* сечение *ДН* имеет однолепестковый характер. Увеличение высоты подъема на 0,5·*λ* приводит к появлению дополнительного лепестка в сечении *ДН* в секторе углов прихода от 0° до 90°. Увеличение высоты подъема приводит к прижатию лепестка диаграммы направленности к земле, что дает возможность работать при малых углах прихода.

**1.6 Исследование направленных свойств антенны горизонтальной поляризации с учетом свойств поверхности земли при различных углах наклона траверсы антенны**

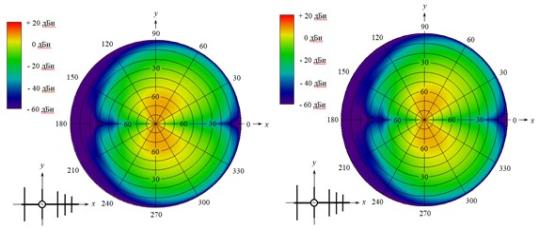
1). Для вычислений используем оптимизированную антенну и параметры реальной земли *ε* = 13, *σ =* 5 мСим/м.

2). Высота размещения над поверхностью земли 1,5·*λ*. Тогда высота в метрах будет равна 0,52 м.

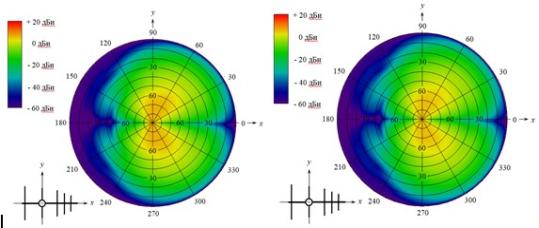
3). Задаем высоту над Землей в метрах, материал - Медь.

4). Задаем вращение антенны от +50 до -50 градусов по оси *у*.

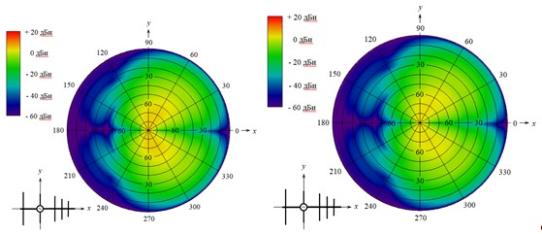
5). Задаем частоту 861 МГц и для каждого варианта строим трехмерную сферическую развертку верхней полусферы пространства для горизонтальной поляризации и для вертикальной поляризации. Результаты приведены соответственно на рис. 2.26 и 2.27.



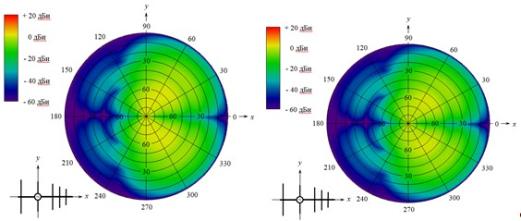
*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=50° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=45°



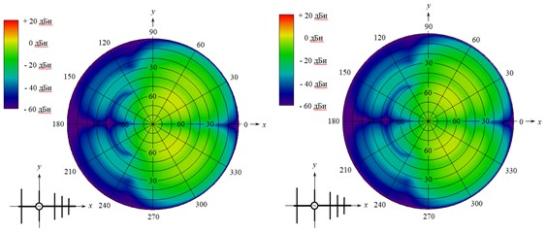
*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=40° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=35°



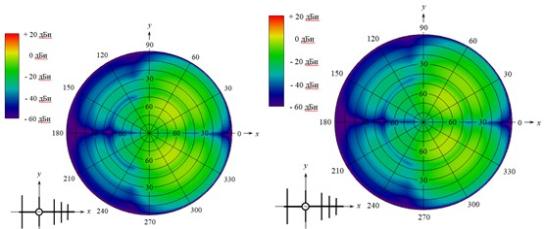
*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=30° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=25°



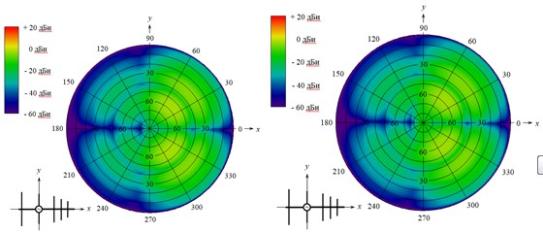
*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=20° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=15°



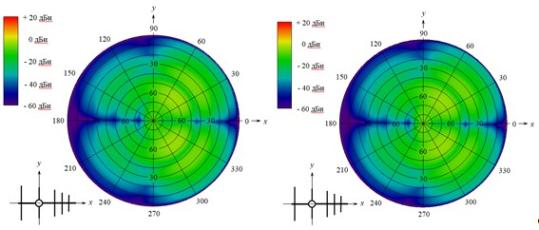
*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=10° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=5°



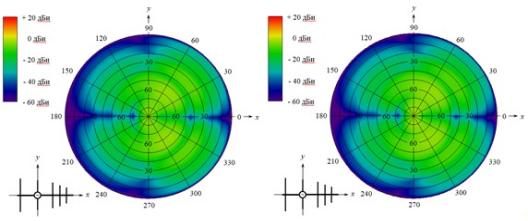
*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=0° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-5°



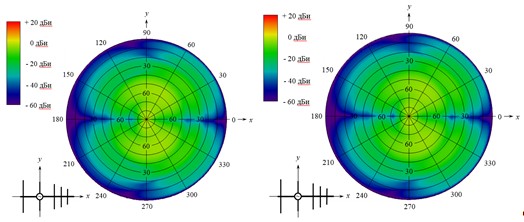
*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-10° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-15°



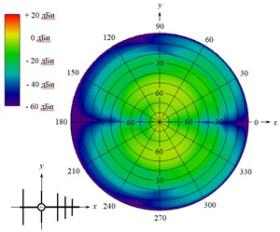
*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-20° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-25°



*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-30° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-35°

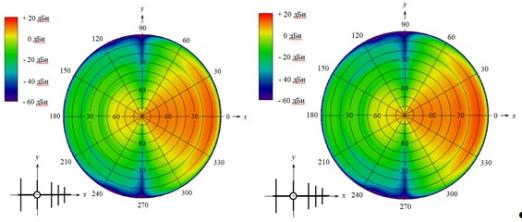


*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-40° *Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-45°

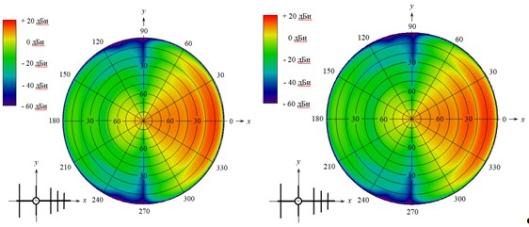


*Н* = 0,52 м; *ВП*; α=-50°

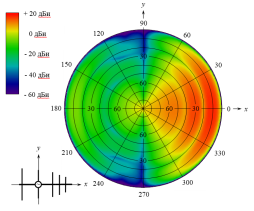
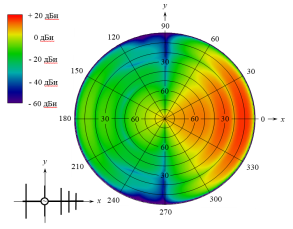
Рисунок 2.26



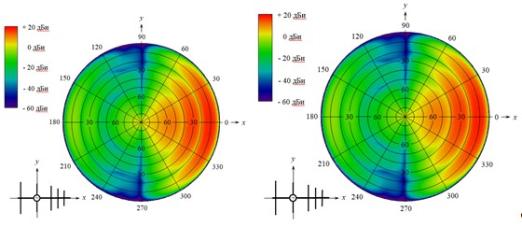
*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=50° *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=45°



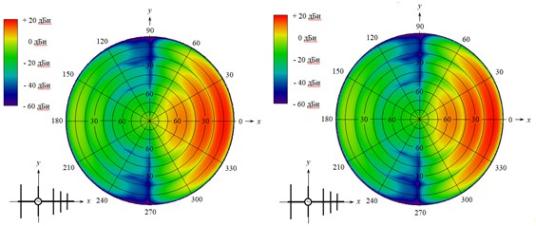
*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=40° *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=35°



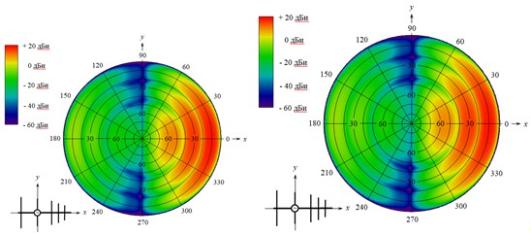
*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=30° *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=25°



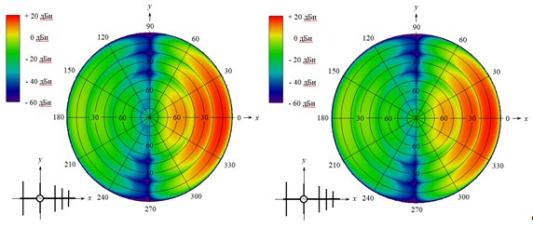
*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=20° *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=15°



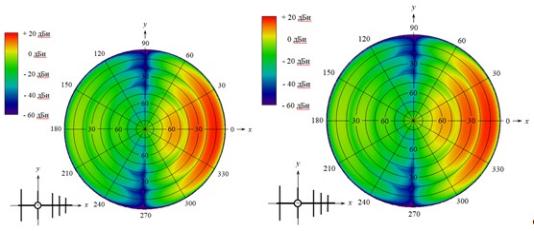
*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=10°  *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=5°



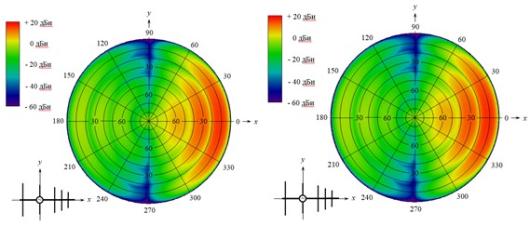
*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=0° *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-5°



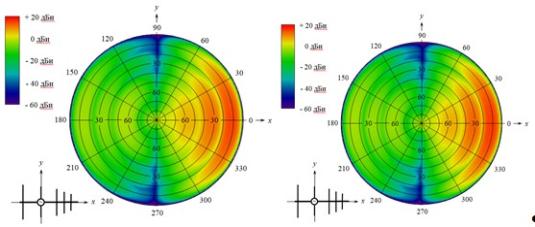
*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-10° *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-15°



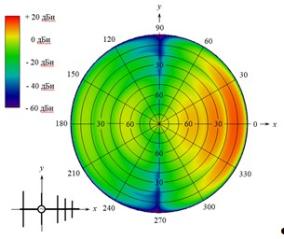
*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-20° *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-25°



*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-30° *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-35°



*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-40° *Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-45°



*Н* = 0,52 м; *ГП*; α=-50°

Рисунок 2.27

**Выводы:** При горизонтальном расположении антенны большие значения коэффициента направленности антенны наблюдаются для горизонтальной поляризации (рис. 2.27). Наклон траверсы антенны приводит к некоторому уменьшению направленного действия антенны и уменьшению провалов в квазивертикальном направлении.

## **1.7 Исследование направленных свойств антенны горизонтальной поляризации с учетом свойств поверхности земли в направлении максимального *КНД* при различных углах наклона траверсы антенны**

1). Для вычислений используем параметры реальной земли *ε* = 13, *σ =* 5 мСим/м.

2). Высота размещения над поверхностью земли 0,52 м.

3). Задаем высоту над Землей в метрах, материал - Медь.

4). Задаем вращение антенны от +50 до -50 градусов по оси *у*.

5). Задаем частоту 861 МГц.

Полученные графики зависимостей *КНД* от углов прихода на частоте 861 МГц при различных высотах над поверхностью земли в плоскости *XOZ* приведены на рис. 2.28 и 2.29.

Рисунок 2.28

Рисунок 2.29

**Выводы:** На представленных сечениях (рис. 2.29, 2.30) видно, что при наклоне траверсы антенны возможно исключение провалов (в одном случае при 20° минус 20 дБ при угле наклона минус 5°) и повышение направленного действия антенны до 25 дБ в квазивертикальном направлении.

**Заключение**

Таким образом, смоделированы конструкции и исследованы параметры симметричных электрических вибраторов в зависимости от радиуса его плеч и от величины зазора для подключения *ЭДС*, а также смоделирована трёхдиректорная антенна типа «волновой канал», проведена ее конструктивная оптимизация и исследованы направленные свойства горизонтально расположенной над землей антенны в зависимости от высоты расположения и при различных углах наклона траверсы на высоте 1,5·*λ*.

Для моделирования использована русскоязычная версия программного обеспечения MMANA-GAL Pro.

На частоте 861 МГц для симметричного полуволнового вибратора с радиусом плеч 0,01·*λ* при увеличении зазора от 0,001·*λ* до 0,05·*λ* улучшается значение *КСВ* от 1,34 до 1,01 (при *Z* = 0,031·*λ*), затем увеличивается до 1,15. Наибольшее значение полосы рабочих частот 8,41 % наблюдается при   
*Z* = 0,013·*λ* и Z = 0,015⋅*λ* по уровню *КСВ* = 1,5 и 15,20 % при *Z* = 0,005⋅*λ* и   
Z = 0,006⋅*λ* по уровню *КСВ* = 2. Наименьшее значение *КСВ* = 1,01 наблюдается при *Z* = 0,031·*λ* и обеспечивается полоса рабочих частот 13,86 % (средний *КСВ =* 1,5) по уровню *КСВ* = 2 и 7,97 *%* (средний *КСВ* = 1,31) - по уровню *КСВ* = 1,5.

На частоте 861 МГц для симметричного полуволнового вибратора с зазором 0,006⋅*λ* при увеличении радиуса плеч вибратора от 0,001⋅*λ* до 0,03⋅*λ* улучшается значение *КСВ* от 1,41 до 1,02 (при *а* = 0,019⋅*λ*), затем увеличивается до 1,27. Наибольшее значение полосы рабочих частот 11,98% наблюдается при *а =* 0,027⋅*λ* по уровню *КСВ* = 1,5 и 25,53 % при *а* = 0,03⋅*λ* по уровню *КСВ* = 2. Наименьшее значение *КСВ* = 1,02 наблюдается при *а* = 0,019⋅*λ* и обеспечивается полоса рабочих частот 20,13 % (средний *КСВ* = 1,46) по уровню *КСВ* = 2 и 11,35 % (средний *КСВ =* 1,24) - по уровню *КСВ* = 1,5.

Синтезирована и оптимизирована конструкция антенны «волновой канал» с 3 директорами, рефлектором и активным вибратором. Проведена оптимизация по критерию наибольшего усиления и наименьшего уровня *КСВ*. Оптимизированная конструкция имеет в требуемой полосе рабочих частот 10*%* средний уровень *КСВ =* 1,31 и средний коэффициент усиления 8,7 дБи.

Наибольшие значения направленности антенны обеспечиваются при горизонтальной поляризации. Наиболее эффективно антенна работает на углах прихода от 20° до 40° в азимутальном секторе ± 45°. На высотах подъема до 0,62·*λ*. в секторе углов прихода от 0° до 90° диаграмма направленности однолепестковая. Характерным является малый уровень *КН* антенны в азимутальном направлении 180° для вертикальной поляризации.

Направленное действие антенны по углам прихода сильно зависит от высоты размещения над поверхностью земли. В секторе углов прихода от 0° до 90° до высоты подъема 0,62·*λ* сечение *ДН* имеет однолепестковый характер. Увеличение высоты подъема на 0,5·*λ* приводит к появлению дополнительного лепестка в сечении *ДН* в секторе углов прихода от 0° до 90°. Увеличение высоты подъема приводит к прижатию лепестка диаграммы направленности к земле, что дает возможность работать при малых углах прихода.

При горизонтальном расположении антенны большие значения коэффициента направленности антенны наблюдаются для горизонтальной поляризации. Наклон траверсы антенны приводит к некоторому уменьшению направленного действия антенны и уменьшению провалов в квазивертикальном направлении. При наклоне траверсы антенны возможно исключение провалов (в даном случае при 20° минус 20 дБ при угле наклона минус 5°) и повышение направленного действия антенны до 25 дБ в квазивертикальном направлении.

В графической части курсового проекта выполнен сборочный чертеж антенны со спецификацией и чертежи элементов конструкции.

**Библиографический список**

1. Антенны и устройства СВЧ. Под ред. Воскресенского Д.И. - М: Советское радио, 1972.

2. Ардабьевский, А.И. Пособие по расчету антенн сверхвысоких частот / А.И. Ардабьевский, В.Г. Воропаева, К. И. Гринева. - М.: Оборонгиз, 1957.

3. Дорохов, А.П. Расчет и конструирование антенно-фидерных устройств / А.П. Дорохов. - Изд. Харьковского университета, 1960.

4. Марков, Г.Т. Антенны / Г.Т. Марков. – Госэнергоиздат, 1960.

5. Гончаренко, И.В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA / И.В. Гончаренко. - М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио», 2002**.**

6. Ротхаммель, К. Антенны / К. Ротхаммель. - М.: Энергия, 1979.

7. Сапаров, В.Е. Системы стандартов в электросвязи и радиоэлектронике / В.Е. Сапаров, М.И. Максимов. - М.: Радио и связь, 1985

Размещено на Allbest.ru