

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра радиотехнических систем

ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

Методическое руководство
к лабораторной работе
по курсу «Системы радиолокации»

Минск 2008

УДК 621.396.96 (075.8)

ББК 32.95 я73

Ч-25

С о с т а в и т е л ь

Е. В. Кереселидзе

Ч-25 **Частотный** метод измерения дальности : метод. руководство к лаб. работе по курсу «Системы радиолокации» / сост. Е. В. Кереселидзе. – Минск : БГУИР, 2008. – 23 с.: ил.

В методическом руководстве изложены вопросы исследования радиотехнических устройств с использованием системы Advanced Design System (ADS) фирмы Agilent Technologies, кратко изложены основные принципы построения частотных радиодальномеров. Даются рекомендации по выполнению лабораторной работы, требования к содержанию отчета и контрольные вопросы.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Радиотехника», «Радиотехнические системы» и «Радиоэлектронная защита информации».

УДК 621.396.96 (075.8)

ББК 32.95 я73

© Кереселидзе Е. В., составление, 2008

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ:	4
2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	4
3. СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ	10
3.1. Основы интерфейса ADS	10
3.2. Окно схемного редактора.....	12
3.3. Окно моделирования	15
3.4. Окно отображения результатов моделирования.....	16
3.5. Используемые методы анализа.....	17
4. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ РАДИОДАЛЬНОМЕРА.....	18
5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ	20
6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	20
7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	21
8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	21
ЛИТЕРАТУРА.....	22

Библиотека БГУИР

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомление с принципом работы дальномера, использующего метод частотной модуляции.

2. Изучение структурной схемы частотного радиодальномера и измерение его параметров.

3. Закрепление теоретических сведений о радиотехнических системах (РТС) данного типа.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Определение дальности радиотехническими методами производится в результате измерения времени $\tau = 2R/c$ прохождения сигналом расстояния от РЛС до цели и обратно (рис. 1). Время запаздывания τ может измеряться: а) непосредственно при фиксации моментов излучения и приема сигнала; б) посредством измерения разности фаз между гармоническими колебаниями, которые выделяются из излучаемого и принимаемого сигналов; в) посредством измерения разности частот излучаемого и принимаемого сигналов. В соответствии с тем, какой из указанных параметров сигнала измеряется при определении дальности, различают: а) временной (импульсный); б) фазовый или в) частотный методы измерения дальности.

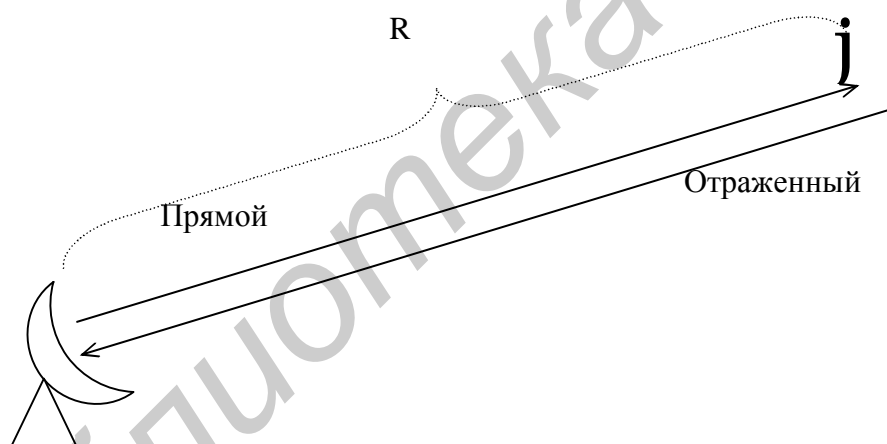


Рис. 1. Схема распространения сигнала до цели и обратно

Частотный метод измерения дальности основан на использовании частотной модуляции излучаемых непрерывных сигналов.

При частотном методе измерения дальности (рис. 2, а) излучается непрерывный сигнал, частота которого $f_{изл}$ изменяется по пилообразному закону (рис. 2 б, в). Если цель неподвижна ($R = const$), то частота принимаемого сигнала $f_{пр}$ изменяется по тому же закону, но с запаздыванием на $\tau = 2R/c$. Разность частот принимаемого и излучаемого сигналов $f_{б}$ (частота биений) на линейных участках изменения этих частот определяется равенством

$$f_{\delta} = t \frac{df}{dt} = \frac{df}{dt} \cdot \frac{2R}{c},$$

где $\frac{\partial f}{\partial t}$ – скорость изменения частоты излучаемого сигнала.

Если Δf_m – девиация частоты передатчика, $T_m = 1/F_m$ – период модуляции излучаемых колебаний, то $df/dt = 2 \Delta f_m / T_m = 2 \Delta f_m F_m$. Следовательно,

$$f_{\delta} = \frac{4 \Delta f_m R}{c T_m} = \frac{4 \Delta f_m F_m R}{c}. \quad (1)$$

Из последнего выражения следует, что при измеренной частоте биений дальность объекта может быть определена по формуле

$$R = \frac{c f_{\delta} T_m}{4 \Delta f_m} = \frac{c f_{\delta}}{4 \Delta f_m F_m}. \quad (2)$$

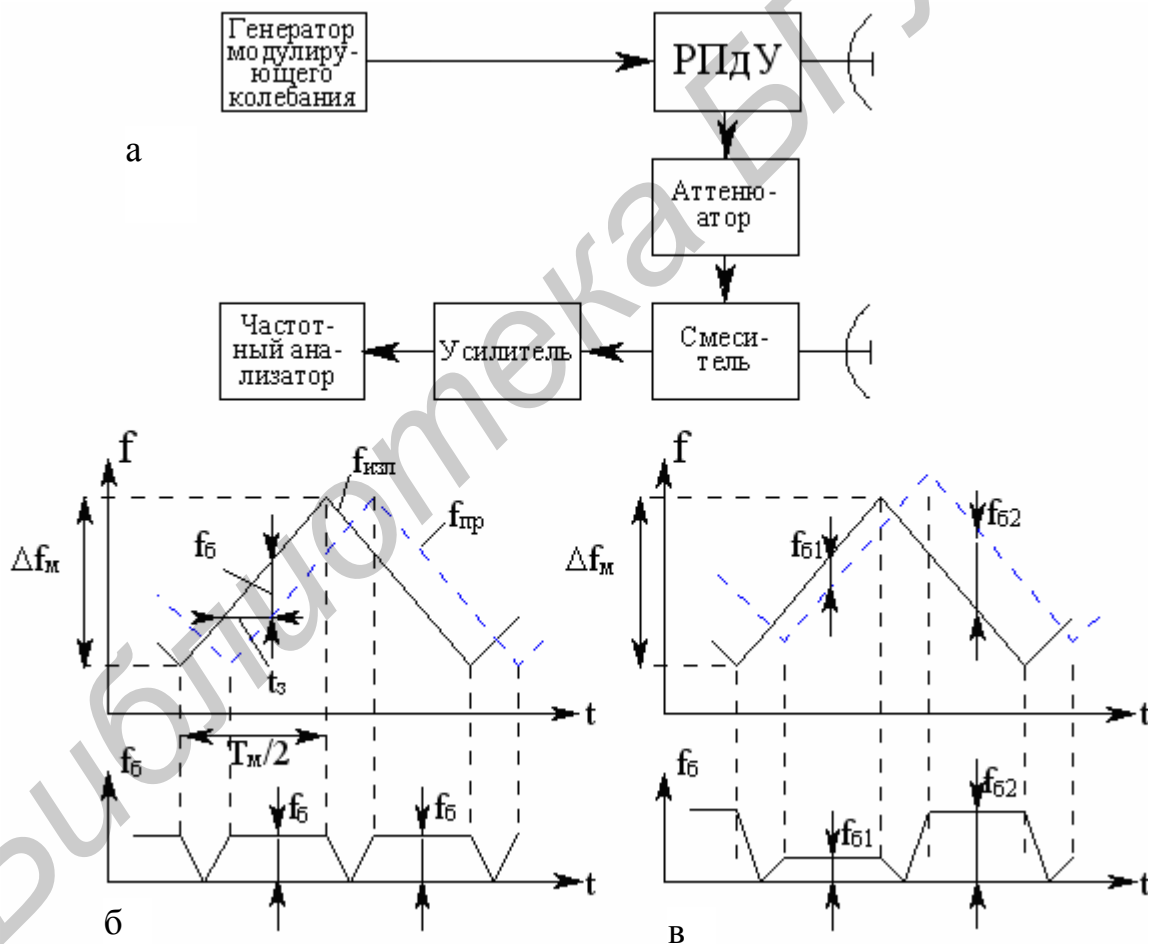


Рис. 2. Схема частотного радиодальномера (а), законы изменения частоты излучаемых и принимаемых колебаний и биений для неподвижных (б) и подвижных (в) целей

Биения формируются в смесителе, на который подается принимаемый и ослабленный аттенуатором излучаемый сигнал. После усиления биения поступают в частотный анализатор (частотомер), шкала которого отградуирована непосредственно в единицах дальности.

При фиксированной дальности объекта частота биений остается постоянной лишь на линейных участках изменения частот излучаемого и принимаемого сигналов. Это обстоятельство является существенным, и его необходимо учитывать при выборе параметров дальномера. Рассмотрим этот вопрос более детально, однако без строгого обоснования приводимых соотношений [1].

Если цель неподвижна, то вследствие периодичности излучаемых и принимаемых колебаний сигнал биений, выделяемый на выходе смесителя, также является периодическим с периодом повторения T_n . Следовательно, спектр биений – линейчатый со спектральными линиями, расположенными на шкале частот в точках $f = kF_m$, $k = 1, 2, \dots$. В рассматриваемом дальномере выполняется условие $T_m > 2R_{max}/c$, которое является необходимым для его нормальной работы. При этом условии основная энергия сигнала биений содержится в спектральной составляющей, частота которой наиболее близка к f_0 . Частотным анализатором будет зафиксирована именно эта частота, близкая, но в общем случае не равная величине f_0 , которая определяется формулой (1).

Разность Δ между фиксируемой анализатором частотой и частотой биений f_0 , которая входит в расчетную формулу (2), вызывает ошибку измерения дальности. Разность Δ является случайной величиной, равномерно распределенной в интервале $(-0,5 F_m, 0,5 F_m)$.

Частотный анализатор, являющийся окончательным устройством частотного дальномера, может быть либо последовательным, либо параллельным. Последовательный анализатор представляет собой узкополосный фильтр, перестраиваемый по частоте. Когда фильтр оказывается настроенным на частоту биений, на его выходе появляется сигнал. Дальность объекта определяется по частоте настройки фильтра в момент появления сигнала на его выходе. В течение большей части времени перестройки фильтр оказывается расстроенным относительно сигнала биений, хотя этот сигнал поступает на его вход. Таким образом, время накопления сигнала цели в фильтре существенно меньше его продолжительности. Это существенный недостаток последовательного спектроанализатора, поскольку при его использовании большая часть энергии принимаемого сигнала теряется и энергетические потери при приеме приходится восполнять увеличением мощности излучаемого сигнала.

Параллельный спектроанализатор представляет собой набор некоторого числа N_R узкополосных фильтров, перекрывающих диапазон возможных значений частот биений. Частота биений определяется по частоте настройки того узкополосного фильтра, на выходе которого появляется сигнал. Потерь энергии принимаемого сигнала в этом случае нет, поэтому параллельный частотный анализатор энергетически более выгоден. Однако такой анализатор является значительно более сложным по сравнению с последовательным спектроанализатором [3].

Если в зоне облучения частотного дальномера находится несколько целей, то каждой цели соответствует определенная частота биений и все эти частоты фиксируются спектроанализатором дальномера. Минимальная разность частот биений двух целей, при которой эти частоты могут быть отдельно за-

фиксированы анализатором, равна F_m . Этой разности соответствует разность расстояний $\Delta R = c/4\Delta f_m$, характеризующая разрешающую способность частотного дальномера по дальности. Таким образом, точность и разрешающая способность частотного дальномера определяются девиацией частоты Δf_m , т. е. шириной спектра излучаемого сигнала.

Особенность частотного дальномера состоит в том, что при движении цели вследствие эффекта Доплера возникает дополнительное смещение частоты принимаемых колебаний относительно частоты излучаемых колебаний (рис. 2, в). При условии $\Delta f_m \ll f_{изл}$, которое всегда выполняется, это смещение можно считать постоянным за период модуляции. Из рис. 2 видно, что доплеровское смещение частоты F_d приводит к тому, что частота биений $f_{\delta 1}$, в течение одного полупериода модуляции не равна частоте биений $f_{\delta 2}$ в течение второго полупериода. Если f_{δ} – частота биений при неподвижной цели, то в случае подвижной цели, находящейся на той же дальности, $f_{\delta 1} = f_{\delta} + F_d$, $f_{\delta 2} = f_{\delta} - F_d$. Отсюда $f_{\delta} = 0,5(f_{\delta 1} + f_{\delta 2})$, $F_d = 0,5(f_{\delta 1} - f_{\delta 2})$. Приведенные соотношения справедливы только при симметричном пилообразном законе модуляции. Они позволяют определить частоты f_{δ} и F_d , т. е. дальность и радиальную скорость цели, путем измерения частот биений $f_{\delta 1}$ и $f_{\delta 2}$.

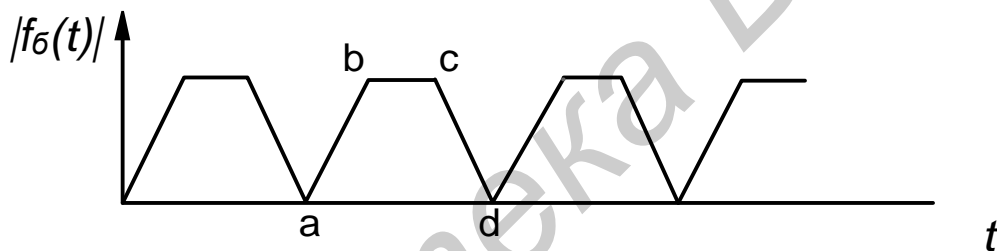


Рис. 3. Огибающая частоты биений

Однако частотомер, работающий по принципу измерения числа периодов (временной метод), измеряет не f_{δ} , а среднее значение $f_{\delta ср}$, которое определяется, как высота прямоугольника, равновеликого площади огибающей частоты биений (рис. 3). Огибающая частоты биений представляет собой трапецию. Площадь трапеции равна [4]:

$$S_{abcd} = \frac{f_{\delta}}{2} \left(\frac{T_m}{2} + \frac{T_m}{2} - t_3 \right). \quad (3)$$

Площадь равновеликого прямоугольника $S_{aa'dd'} = f_{\delta} \frac{T_m}{2}$.

Приравнивая правые части выражений для площадей и решая уравнение относительно $f_{\delta ср}$, получаем

$$f_{\delta ср} = f_{\delta} \left(1 - \frac{t_3}{T_m} \right). \quad (4)$$

Данная ошибка относится к разряду методических ошибок и обуславливает абсолютную погрешность в измерении дальности на величину

$$\Delta R(\Delta f_{\bar{\sigma}}) = \frac{\Delta f_{\bar{\sigma}} c}{4\Delta f_m F_m} = \frac{f_{\bar{\sigma}} c t_3}{4\Delta f_m F_m T_m} = \frac{f_{\bar{\sigma}} c t_3}{4\Delta f_m}. \quad (5)$$

Соответственно относительная ошибка измерения дальности составляет

$$d(\Delta f_{\bar{\sigma}}) = \frac{\Delta R(\Delta f_{\bar{\sigma}})}{R} = \frac{f_{\bar{\sigma}} c t_3 4\Delta f_m F_m}{4\Delta f_m f_{\bar{\sigma}} c} = F_m t_3. \quad (6)$$

Как следует из этого выражения, $d(\Delta f_{\bar{\sigma}})$ пропорциональна t_3 и F_m . Таким образом, чем больше t_3 и F_m , тем больше $d(\Delta f_{\bar{\sigma}})$.

Максимальная задержка $t_{3 \max}$ и максимальная частота модуляции $F_{m \max}$ выбираются из условия обеспечения однозначного измерения дальностей во всем диапазоне изменения рабочих дальностей [4]. При $t_{3 \max}$, равном $\frac{T_m}{2}$, $f_{\bar{\sigma} \max}$ равно Δf_m . В результате максимальная дальность

$$R_{\max} = \frac{f_{\bar{\sigma} \max} c}{4\Delta f_m F_m} = \frac{c \Delta f_m}{4\Delta f_m F_m} = \frac{c}{4F_m}. \quad (7)$$

Второй причиной, вызвавшей ошибку измерения дальности, является дискретность отсчета.

Так, в случае применения для измерения $f_{\bar{\sigma}}$ анализатора спектра, дискретность отсчета обусловлена дискретностью спектра преобразованного сигнала.

Поясним сказанное. Вначале рассмотрим преобразованный сигнал (сигнал на выходе смесителя) без учета скачкообразного изменения фазы на 180° через равные промежутки времени $\frac{T_m}{2}$ (гипотетический случай). В этом случае длительность импульса τ_i равна периоду модулирующей функции T_m . Амплитудно-частотный спектр такого сигнала будет состоять из одной спектральной линии. Остальные спектральные линии, кратные F_m , совпадают с нулевыми значениями огибающей спектра (считаем, что радиоимпульс является прямоугольным). Изменение дальности будем приводить к дискретному смещению $f_{\bar{\sigma}}$ по оси частот. Минимальный интервал, через который может быть зафиксировано следующее значение частоты биений, равен F_m . Это обстоятельство и является причиной ошибки в измерении дальности. Кроме того, это обстоятельство накладывает ограничения и на $f_{\bar{\sigma} \min}$, которые равны F_m . В результате получим

$$R_{\min} = \frac{f_{\bar{\sigma} \min} c}{4\Delta f_m F_m} = \frac{c F_m}{4\Delta f_m F_m} = \frac{c}{4\Delta f_m}. \quad (8)$$

В основу способа уменьшения ошибки измерения дальности, обусловленной дискретностью счета, может быть положено использование сложной модулирующей функции, состоящей из нескольких функций. В радиовысотомере РВ5 она состоит из двух функций: F_{m1} – основной и F_{m2} – дополнительной. Причем $F_{m1} \gg F_{m2}$.

В результате использования F_{m1} и F_{m2} – результирующий модулирующий сигнал приобретает сложную форму (рис. 4), период повторения которого определяется периодом вспомогательной функции F_{m2} . Вследствие этого ин-

тервал между спектральными линиями спектра преобразованного сигнала будет равен F_{m2} . В результате ошибка измерения дальности уменьшится во столько раз, во сколько $F_{m1} > F_{m2}$, и может быть оценена с помощью следующего выражения:

$$\Delta R(\Delta f_{\sigma}) = \frac{F_{m2} c}{4\Delta f_m F_{m1}}. \quad (9)$$

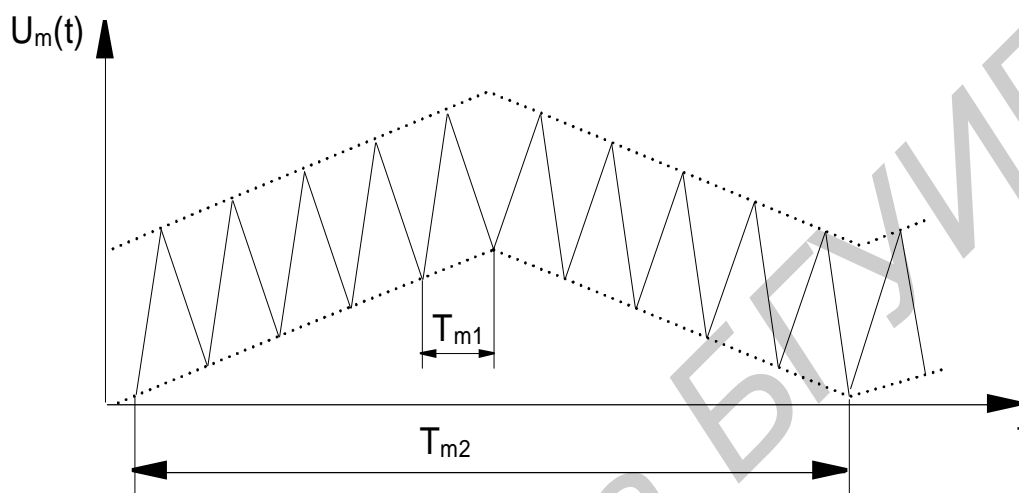


Рис. 4. Огибающая частоты биений при использовании двух модулирующих частот

К недостаткам частотного метода дальнометрии относятся: сложность аппаратуры при дальнометрии многих объектов, что обусловлено необходимостью применения громоздкого параллельного спектроанализатора; трудность эффективной развязки приемного и передающего трактов, необходимой для нормальной работы дальнометра; высокие требования к линейности изменения частоты излучаемых колебаний при дальнометрии многих объектов.

Основные достоинства частотного метода измерения дальности – это малая пиковая мощность излучаемого сигнала по сравнению с мощностью при импульсном методе при высокой точности измерения и разрешающей способности по дальности, а также возможность измерения очень малых дальностей.

Отмеченные достоинства и недостатки частотного метода измерения дальности предопределили его использование в радиовысотомерах малых высот. При этом измеряется дальность до единственного объекта (поверхности суши или воды) и вместо частотного анализатора используется простой счетчик числа выбросов напряжения биений в единицу времени.

Показания радиовысотомера не зависят от покрова местности и атмосферных условий (температуры, влажности и т.п.). Отдельные крупные строения, возвышенности, овраги, берега рек и озер отмечаются на указателе высоты соответствующими изменениями показаний высоты.

Радиовысотометром затруднительно пользоваться при полетах над горной местностью вследствие резких изменений расстояний от летящего самолета до земли, которые могут превышать диапазон измеряемых высот.

При значительных продольных и поперечных кренах самолета (более 30°) показания радиовысотометра становятся ошибочными (особенно при полетах над пересеченной местностью) и пользоваться им в этих случаях не рекомендуется.

При дальнометрии одного объекта частота излучаемого сигнала может изменяться по синусоидальному или другому, необязательно пилообразному закону, что значительно упрощает аппаратуру.

Достоинства частотного метода измерения дальности:

- возможность измерять очень малые дальности;
- использование маломощного передатчика;

Недостатки:

- необходимо использование двух антенн;
- ухудшение чувствительности приемника вследствие просачивания в приемный тракт через антенну излучения передатчика, подверженного случайным изменениям;
- высокие требования к линейности изменения частоты.

Основные тактико-технические данные радиовысотометра малых высот типа РВ-УМ:

1. Диапазон измеряемых высот от 0 до 600 м.
2. Точность измеряемой высоты в диапазоне 0 – 600 м..... ± 5 м, ± 8 % Н.
3. Средняя частота генератора СВЧ..... 444 ± 6 МГц.
4. Полоса модуляции 17 ± 2 МГц.
5. Излучаемая мощность..... не менее 0,2 Вт.

3. СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Исследование частотного радиодальномера проводится в среде Advanced Design System (ADS) фирмы Agilent Technologies, которая представляет собой одну из самых мощных систем проектирования с расширенными возможностями. Среда проектирования имеет оконный интерфейс. Все операции осуществляются внутри рабочей области текущего окна [2].

3.1. Основы интерфейса ADS

Главное окно, называемое Advanced Design System (Main), содержит главное меню и панель инструментов для быстрого доступа к основным операциям. Необходимые данные представлены в виде дерева каталогов, где показана иерархия текущего проекта (рис. 5).

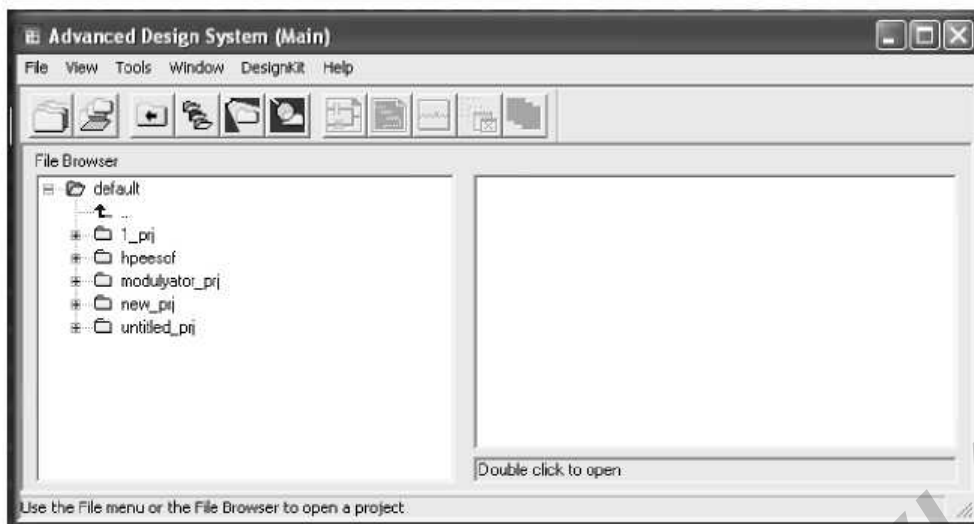


Рис. 5. Главное окно среды проектирования

Из главного окна можно создавать проекты и управлять проектами верхнего уровня и схемами; устанавливать набор необходимых пунктов меню; конфигурировать панели инструментов и назначать горячие клавиши; выбирать типы компонентов, загружаемых во время запуска пакета; воспроизводить макросы, созданные с помощью встроенного языка (Application Extension Language – AEL); формировать AEL-команды; запускать текстовый редактор; открывать окно вывода результатов (Data Display Window) и др.

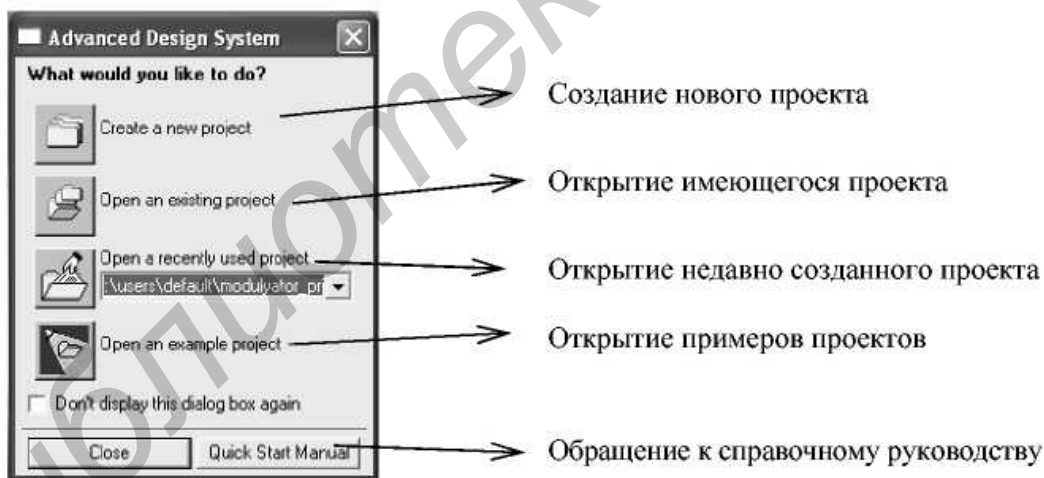


Рис. 6. Окно проектов

Перед тем как начать работать с приложениями, необходимо выбрать тип проекта: Analog/RF, Digital Signal Processing или Both. Тип Analog/RF определяет работу в подсистеме моделирования аналоговых устройств. Тип Digital Signal Processing или Both задает работу в подсистеме проектирования цифровых устройств Ptolemy. Кроме того, тип Both используется для проектирования смешанных аналого-цифровых устройств. Уже созданный проект может работать только при совпадении текущего типа проекта с типом, определенным при создании проекта. Можно изменить эти опции, используя пункт меню Tools →

Advanced Design System Setup в главном окне, при этом необходимо перезагрузить систему.

При загрузке ADS также открывается выпадающее окно проектов (рис. 6). Назначение кнопок панели инструментов показано на рис. 7.

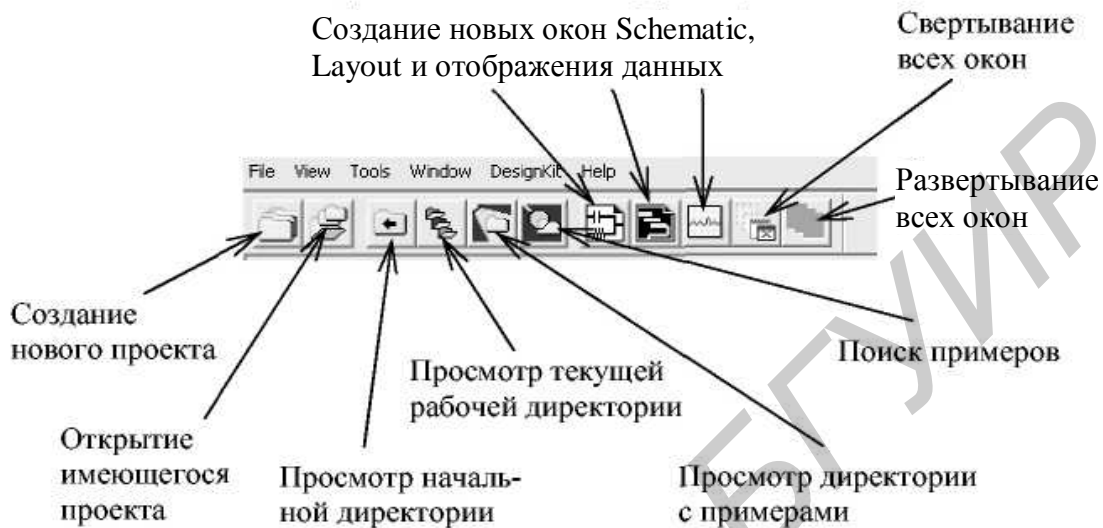
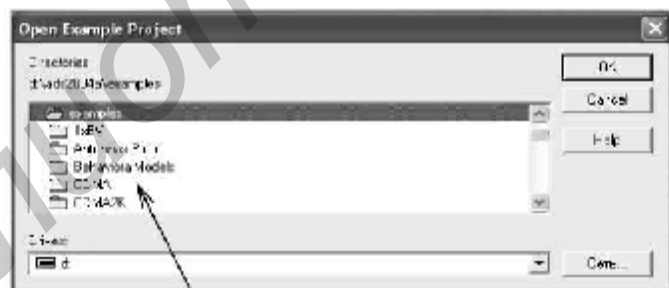


Рис. 7. Главное меню и панель инструментов


Файлы с примерами проектов можно открыть несколькими способами.

Первый способ – выбрать кнопку , которая находится в главном окне Advanced Design System (окно проектов). Откроется окно файлов с примерами проектов (рис. 8).



Примеры проектов

Рис. 8. Окно примеров проектов

Второй способ – выбрать кнопку , которая находится в окне Advanced Design System (Главное меню). Откроется окно файлов с примерами проектов.

Чтобы открыть файл проекта из примеров к программе Advanced Design System, необходимо выбрать из списка нужный проект и дважды щелкнуть на его имени левой кнопкой мыши.

3.2. Окно схемного редактора

Окно схемного редактора содержит заголовок, меню, панель инструментов, панель быстрого доступа к необходимым компонентам и область проекти-

рования схемы. В окне схемного редактора можно создавать и редактировать схему проекта, задавать переменные и уравнения, моделировать, открывать окно вывода результатов (рис. 9).

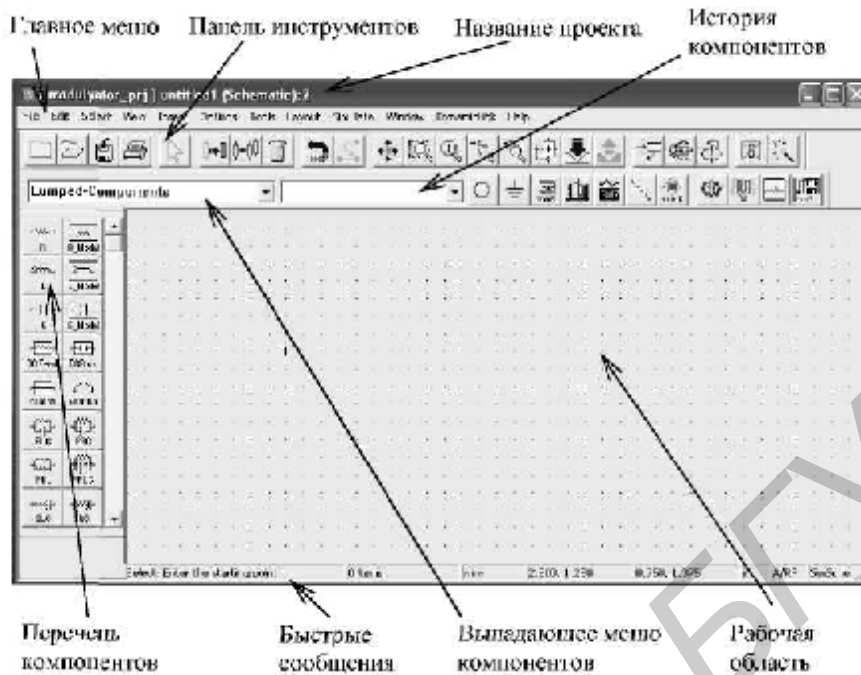


Рис. 9. Окно схемного редактора

В строке «Название проекта» указаны тип окна, тип проекта, имя файла и число-идентификатор, которое показывает, какое по счету окно проекта загружено. В главном меню отображаются пункты меню, доступные в данном редакторе. Выпадающее меню компонентов позволяет выбирать категорию компонентов, отображаемых в списке палитры. Выпадающее меню «История компонентов» содержит список компонентов, которые уже были использованы в данном сеансе работы.

Рабочая область (область проектирования) – область, где располагается проект.

Перечень компонентов содержит кнопки компонентов для размещения их в рабочей области окна.

В строке «Быстрые сообщения» появляются сообщения о тех или иных командах, используемых в течение рабочего сеанса.

Для открытия уже созданной схемы в меню File или File Brower следует выбрать имя нужного файла.

В окне схемного редактора создается схема проекта. Панель инструментов окна схемного редактора показана на рис. 10.



Рис. 10. Панель инструментов окна схемного редактора

Кнопки панели инструментов окна схемного редактора имеют следующее назначение:



































-  – создание новой схемы;
-  – открытие имеющейся схемы;
-  – сохранение текущей схемы;
-  – печать текущей схемы;
-  – окончание выполнения команды и возврат к выбранному режиму;
-  – передвижение объекта;
-  – копирование объекта;
-  – удаление объекта;
-  – возврат к предыдущему шагу;
-  – отмена изменения точки входа;
-  – просмотр всей схемы;
-  – масштабирование указанной области;
-  – масштабирование относительно указанной точки;
-  – увеличение в 2 раза;
-  – уменьшение в 2 раза;
-  – крупный (панорамный) вид указанного объекта;
-  – развертывание иерархии объекта;
-  – свертывание иерархии;
-  – вращение объекта по часовой стрелке;
-  – зеркальное отображение объекта относительно оси x;
-  – зеркальное отображение объекта относительно оси y;
-  – деактивация или активация объекта;
-  – интеллектуальное моделирование;
-  – вставка порта (вход системы);
-  – вставка элемента заземления;
-  – вставка переменной величины;
-  – обращение к библиотеке компонентов;
-  – изменение параметров компонента;
-  – вставка (соединение) проводника;
-  – вставка названия провода;
-  – моделирование (симуляция);
-  – настройка параметров;
-  – открытие нового окна отображения данных;
-  – запуск сервиса обработки данных из файла.

Схема создается размещением компонентов, портов, источников данных, модулей, переменных и т. д. При запуске программы загружается набор библиотек и компонентов по умолчанию. Можно также конфигурировать загружаемые опции, при этом наиболее удобно выбирать тип проекта при старте системы ADS.

Параметры компонентов можно редактировать, когда компонент включается в схему и его параметры отображаются под его графическим обозначением. Значениями параметров могут быть арифметические выражения. Это особенно важно в иерархических проектах для передачи параметров компонентов верхнего уровня в компоненты нижнего уровня. Примером правильной записи в качестве значения параметра является выражение $x = \pi / (2 * \text{Param})$, где π – встроенная константа. Основные арифметические операции – сложение (+), вычитание (–), умножение (*), деление (/) и возведение в степень (^). Эти операторы предназначены для работы с целыми и вещественными (с плавающей точкой) числами.

В настоящее время все промежуточные вычисления выполняются с двойной точностью, и только по окончании вычислений результат преобразуется к типу того параметра, который вычислялся. Следовательно, необходимо соблюдать осторожность, например, используя для вычисления целочисленного параметра выражения, оперирующие вещественными числами. Для целочисленного параметра все промежуточные значения вычисляются с двойной точностью, после чего результат приводится к целочисленному значению.

3.3. Окно моделирования

Моделирование выполняется из окна схемного редактора. В рабочей области размещается необходимый элемент контроля результатов моделирования в проекте, определяется имя проекта с данными, которые будут сгенерированы при моделировании. Для аналоговых схем используются категории элементов контроля: Envelop Simulation и Transient Simulation (для моделирования во временной области). Все данные, получаемые при моделировании, хранятся как Data Set (набор данных). Можно изменить имя проекта до моделирования или оставить его по умолчанию, т.е. использовать имя текущего проекта с расширением .ds.

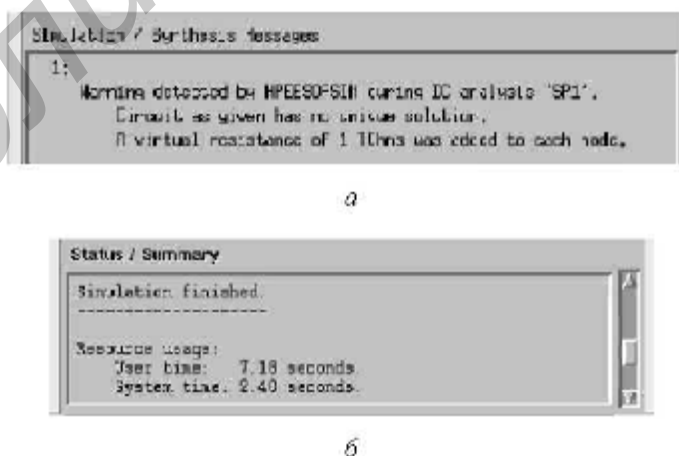



Рис. 11. Окно моделирования:

- а – информационная панель сообщения об ошибках;
- б – информационная панель хода моделирования

Окно моделирования (рис. 11) появляется во время моделирования проекта и загружается автоматически. Окно содержит две информационные панели: Simulation / Synthesis Messages и Status / Summary. В первом окне соответственно отображаются сообщения об ошибках и проблемах, возникающих во время моделирования или синтеза, а также причина, по которой возникла та или иная ошибка. В окне Status / Summary сообщается о ходе моделирования; если моделирование прошло успешно, в нем появляется сообщение Simulation finished.

Отдельные элементы в окне схемного редактора можно деактивировать, исключая их из моделирования, но не удаляя из проекта. Для этого нужно нажать кнопку  Deactivate на панели инструментов или выбрать пункт меню Edit → Component → Deactivate, затем выбрать отдельный элемент или несколько элементов, которые необходимо деактивировать. Для обратной операции – активации деактивированных элементов – используется команда Active из меню Edit → Component → Activate.

3.4. Окно отображения результатов моделирования

Это средство служит для просмотра результатов моделирования. Данные могут быть представлены в различных форматах, координатных сетках, можно сохранить их в файлах и затем использовать в качестве шаблонов. Открыть окно Data Display можно из главного окна или из окна схемного редактора, выбрав пункт меню Window → New Data Display или нажав соответствующую кнопку панели инструментов (рис. 12).



Рис. 12. Окно отображения результатов моделирования

В строке-заголовке отображаются тип окна, имя файла и числовой идентификатор. В меню File существуют три команды для сохранения отображае-

мых данных: Save (сохраняет изменения в текущем файле); Save As (сохраняет данные в файле с новым именем); Save As Template (сохраняет некоторую информацию из области рисования). Автоматически будет создан файл с расширением .ddt, информацию из которого при необходимости можно вставлять в любое окно данных. Открыть существующий файл данных в окне Data Display можно, выбрав Window → Open Data Display, указав имя файла и нажав кнопку ОК. Для закрытия окна Data Display нужно выбрать пункт меню File → Close Window. Если данные в окне изменились, то система предложит сохранить их.

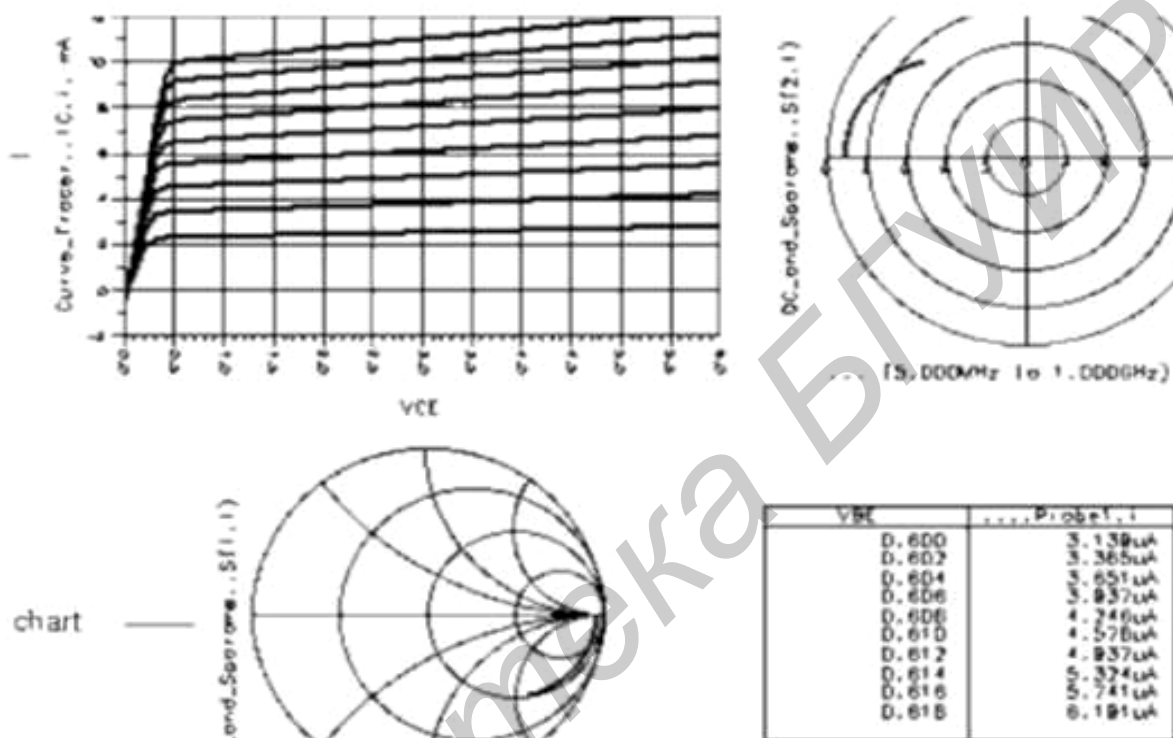


Рис. 13. Разные виды отображения результатов моделирования

Результаты моделирования сохраняются в специальном файле данных. Информацию из этого файла можно просмотреть в окне Data Display (рис. 13). В этом окне можно: отображать данные в виде различных графиков и в различных форматах; вставлять маркеры на графике для чтения данных в точке; записывать математические выражения, которые позволяют выполнять сложные операции над данными; добавлять комментарии и рисованные объекты для улучшения документации.

3.5. Используемые методы анализа

В данной работе используются два вида анализа.

Анализ методом огибающей (Envelope Simulation) использует комбинацию анализов в частотной и временной областях, что позволяет эффективно проводить полный спектральный анализ сложных сигналов, таких как дискретно-модулированные высокочастотные сигналы. Смысл анализа заключается в последовательном применении метода гармонического баланса для ряда вре-

менных точек по несущей частоте на некотором отрезке. Это полезно при проектировании схем и систем, включающих модуляторы/демодуляторы или работающих под воздействием сигналов со сложной модуляцией.

Анализ во временной области (Transient Simulation) позволяет рассчитывать параметры нелинейных устройств методами численного интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений во временной области, когда элементы устройства моделируются приближенными эквивалентными схемами.

4. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ РАДИОДАЛЬНОМЕРА


Модель радара представлена на рис. 14 и содержит передатчик (CW Transmitter), цель (Target_Model) и приемник (Single-Stage Receiver).

Частотно-модулированный сигнал, частота которого изменяется по симметричному пилообразному закону с девиацией частоты ΔF , формируется генератором CW1.

Частота биений на выходе смесителя (DownConvertor1) определяется двумя способами: с помощью частотомера (TF1), измеряющего мгновенную частоту (V2) и счетчика (CT1), который считает количество импульсов, поступающих на его вход (V1). Усреднение частоты биений проводится в окне отображения результатов. При этом $F_{bcp1} = \text{mean}(V2)$, где $\text{mean}()$ – встроенная функция усреднения, а $F_{bcp2} = \text{max}(V1) / (\text{Stop_Setup} - \text{Start_Setup})$, т.е. равна количеству импульсов за время анализа.

Модель дальномера описывается следующими параметрами:

- Carrier_Frequency – несущая частота (0,4 ГГц);
- XMIT_Bandwidth – полоса пропускания фильтра передатчика ($0,5 * \text{Carrier_Frequency}$);
- Receive_Bandwidth – полоса пропускания входного фильтра приемника ($0,5 * \text{Carrier_Frequency}$);
- Transmit_Power – выходная мощность передатчика (1 Вт);
- Receiver_Gain – коэффициент усиления приемника (60 дБ);
- DeltaF – девиации частоты ($0,2 * \text{Carrier_Frequency}$);
- mod_frequency – частота модуляции (100 кГц);
- Low_Bandwidth – полоса пропускания выходного фильтра приемника ($0,15 * \text{Carrier_Frequency}$);
- Target_Range – дальность до цели (15 м);
- Target_Velocity – скорость цели (1 м/с);
- Target_CrossSection – ЭПР цели (1 м^2);
- Step_Setup – шаг изменения времени при моделировании;
- Stop_Setup – время моделирования.

В скобках указаны исходные параметры модели. Любой из параметров может быть изменен либо непосредственно на поле модели, либо в окне параметров компонента, которое открывается после двойного клика левой клавишей мыши на выбранном элементе или нажатием значка  на панели инструментов.

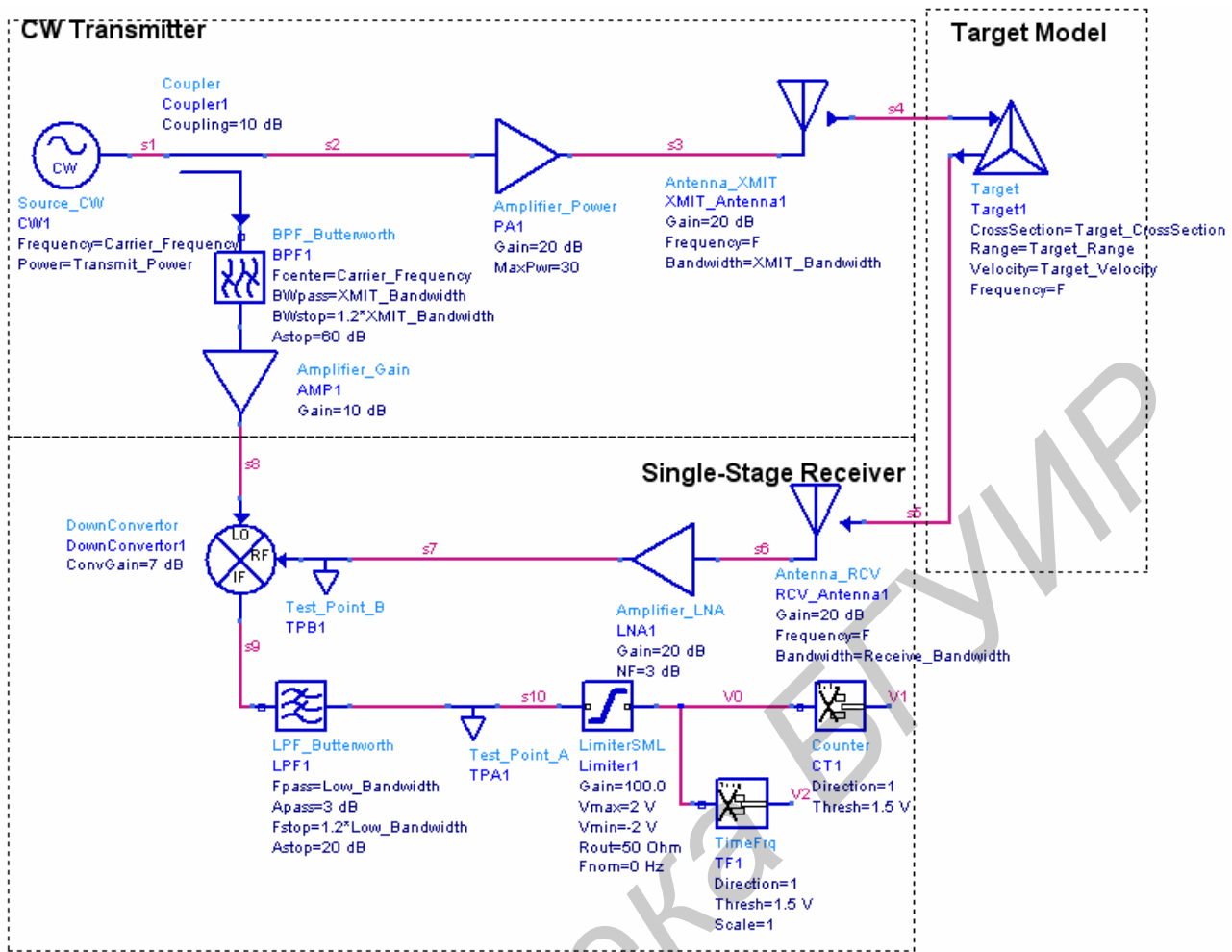


Рис. 14. Схема частотного радиодальномера

Подробную схему каждого элемента модели можно просмотреть с помощью кнопок (развертывание иерархии объекта) и (свертывание иерархии) или выбрав пункт меню File → Open Desings (Window → Desings Open), затем в открывшемся окне (рис.15) выбрать и открыть интересующий элемент.

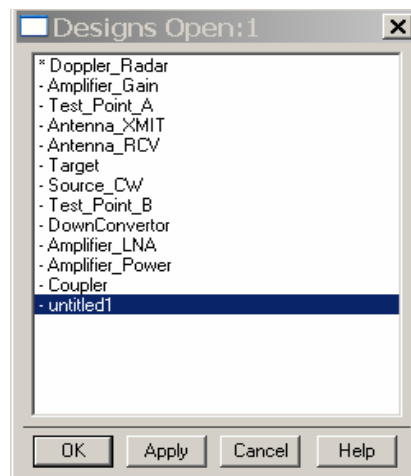


Рис. 15. Окно открытия элементов модели

5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Открыть проект `distance_meter_prj` из директория, указанного преподавателем.


2. В среде ADS в окне схемного редактора подготовить схему (design) макета дальномера, использующего частотный метод измерения дальности.

3. Проанализировать работу дальномера с использованием ADS. Получить сигналы и их спектры в контрольных точках схемы. Получить и проанализировать зависимость ошибки измерения дальности от величины измеряемой дальности.

4. Проанализировать работу моделей генератора сигнала (CW1) и модели цели (Target1)

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить исходные параметры модели и проанализировать работу устройства во временной области, при этом объекты модели `TIME_ANALYSIS` и `TRANSIENT` должны быть активированы, а объекты `ENVELOPE_ANALYSIS` и `ENVELOPE` деактивированы.

2. Начать моделирование командой главного меню `Simulate` → `Simulate` или нажать кнопку  `Simulate` на панели инструментов.

3. Наблюдать в окне моделирования отображение процесса выполнения работы активных контроллеров, оценку общего времени, затраченного на симуляцию, общую оценку результата и сообщения об ошибках.

По завершении симуляции автоматически открывается новое или подготовленное ранее окно отображения результатов моделирования (данных). Форма представления – таблица или график. Вид графика в прямоугольных координатах можно выбрать в панели графического представления. Окно отображения результатов моделирования показано на рис. 16.

4. Для получения спектра сигналов в окне просмотра выходных данных нужно разместить компонент `Eqn`, описывающую вводимое уравнение: `spectr_s10=fs(s10,,,,,0ms,3ms)`. Здесь `spectr_s10` – имя рассчитываемой спектральной характеристики (назначается пользователем); `fs` – имя библиотечной функции, реализующей фурье-анализ, `s10` – имя напряжения в узле, для которого производится вычисление спектра; `0ms`, `3ms` – начальное и конечное значения временного интервала для фурье-анализа. Можно изменить интервалы, не прибегая к повторному моделированию схемы. Из девяти аргументов функции `fs()` только один – имя преобразуемой переменной – является обязательным. Значения необязательных переменных функции `fs()` могут не подставляться, а их место отмечается запятыми. Для получения детальной информации в окне `Eqn` нужно нажать кнопку `Functions Help`.

5. Изменяя дальность до цели (`Target_Range`), получить и проанализировать зависимость ошибки измерения дальности от величины измеряемой дальности. Сравнить полученную зависимость с расчетной.

6. Рассчитать минимальную и максимальную однозначно измеряемую дальность.

7. Проанализировать работу устройства методом огибающей, при этом объекты модели TIME_ANALYSIS и TRANSIENT должны быть деактивированы, а объекты ENVELOPE_ANALYSIS и ENVELOPE активированы.

8. Результат моделирования получить в окне отображения данных (см. рис. 16).

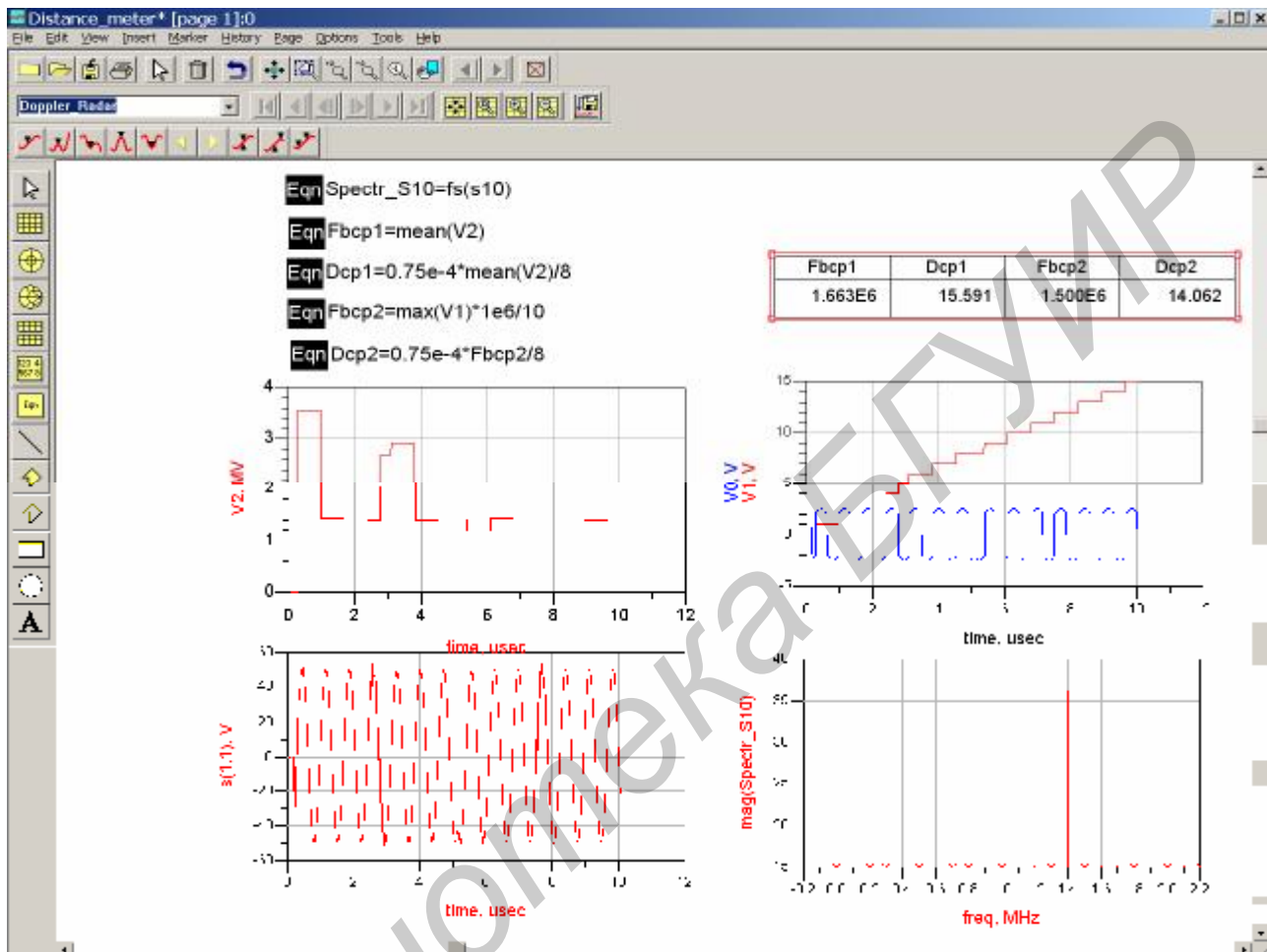


Рис. 16. Окно отображения результатов моделирования

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы и задание.
2. Краткие сведения о частотном методе измерения дальности.
3. Графики зависимостей, расчетные параметры, полученные на каждом этапе выполнения задания.
4. Выводы по каждому пункту исследований.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение радиодальномера.
2. Назовите основные блоки радиодальномера.
3. На чем основан принцип действия высотомера?

4. Перечислите основные тактико-технические характеристики радиовысомера.
5. В чем заключается частотный метод измерения дальности?
6. Какие методы, кроме частотного, могут быть также использованы в РТС для измерения дальности до цели?
7. Поясните формулу для определения частоты биений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакулев, П. А. Радиолокационные системы : учебник для вузов / П. А. Бакулев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радиотехника, 2007. – 376 с.
2. Проектирование радиотехнических устройств в среде Advanced Design System : учеб. пособие / А. Д. Головин [и др.]; под ред. В. Н. Рождествина. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 44 с.
3. Радиотехнические системы : учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю. П. Гришин [и др.]; под ред. Ю. М. Казаринова. – М. : Высш. шк., 1990. – 496 с.
4. Частотный метод измерения дальности : метод. руководство к лаб. работе по дисциплине «Радиотехнические системы» / сост. Н. П. Шохов, Л. А. Ворочаев, Г. Ф. Плугатарь. – Минск : МРТИ, 1992. – 23 с.

Учебное издание

ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

Методическое руководство
к лабораторной работе
по курсу «Системы радиолокации»

Составитель
Кереселидзе Евгений Владимирович

Редактор Т. Н. Крюкова
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 24.06.2008.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,2.

Формат 60×84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,51.
Заказ 77.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6