

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel



МОСКВА - 2014

The screenshot displays the Sequel GUI software interface. The main window title is "C:/Users/vladimir/Desktop/he_32/SequelGUI2_Release/SequelGUIProjects/switched_cap/sc_lpf_5th_3.sproj - SequelGUI". The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Help), a toolbar with various simulation and editing tools, and a central workspace showing a complex circuit diagram with multiple op-amp stages, resistors, and capacitors. On the left, there is an "Element Explorer" and "Solve Block Statements" panel. On the right, a "Configuration Panel" is visible, containing a table of parameters:

Name	Value
	Circuit
Title	
Realtime	false
Global Parameters	
rin_opamp	1e18
rout_opamp	1u
r_large	1e18
r_off	1e12
r_on	1m
tc	0.03125m
tcby2	0.015625m
av_opamp	1e5
rd	1e24

At the bottom, there is a "Message Area" and a status bar with tabs for "Debug Messages", "Warning Messages", "Critical Messages", "Fatal Messages", and "Solver Output". The footer text reads "Copyright IIT Bombay, EE Department".

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Оглавление

Глава 1. Установка программы.....	2
Глава 2. Первый шаг	3
Глава 3. Создание собственного простого проекта.....	6
Глава 4. О некоторых примерах	19
Заключение	21
Приложение. Добавление модели транзистора КТ315	22

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Признаться, когда мой давний знакомый из университета Бен-Гуриона дал ссылку на симулятор, <https://www.ee.iitb.ac.in/~sequel/>, у меня были сомнения, стоит ли сочинять ещё один рассказ.

Причина сомнений проста – довольно сложный для начинающего процесс создания схемы в редакторе и подготовка к симуляции. Но у этой программы есть одно свойство, о котором речь пойдёт ниже, что и заставило меня присмотреться к программе.

Программа есть в версии для Windows и для Linux, как я понимаю для свободного использования. Мне сейчас удобнее использовать Windows 8. Будут ли проблемы с работой в Linux? Появятся сомнения, можно будет проверить.

Глава 1. Установка программы

Установки программа не требует. После скачивания архива и разархивации достаточно запустить основной исполняемый файл *SequelGUI.exe* из папки с программой.

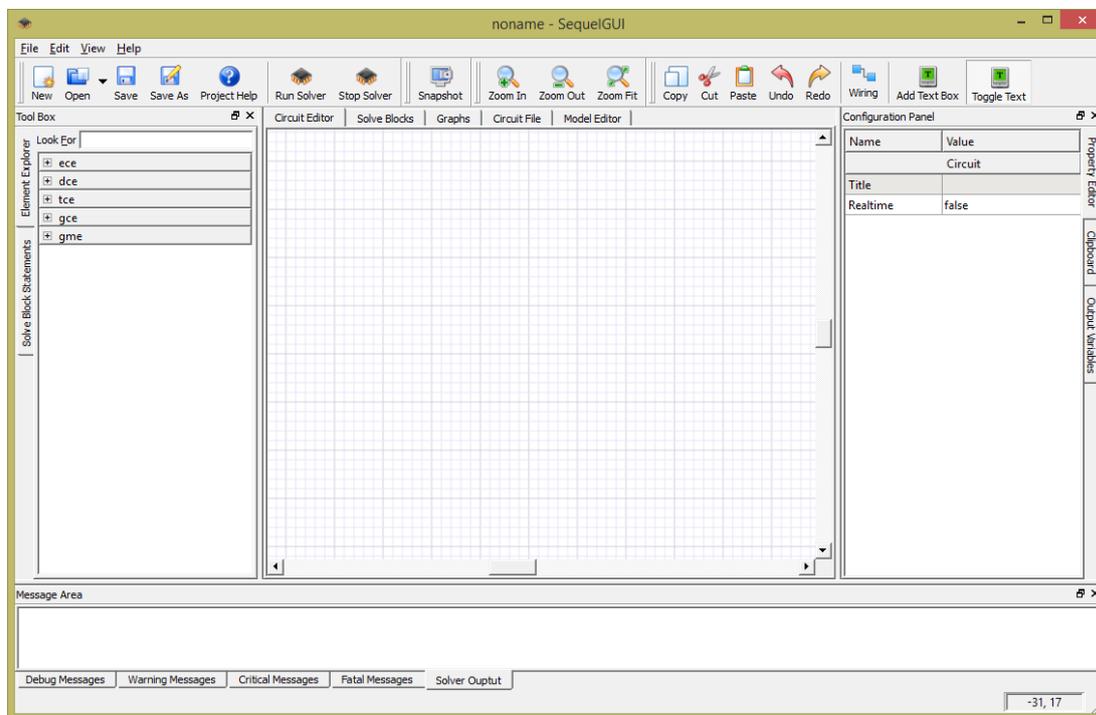


Рис. 1.1. Рабочее окно программы

Тот факт, что программа не требует установки, представляется мне существенным достоинством. И вот почему.

Я перенёс папку с программой на флэшку, включил мой планшет (с Windows 8), вставил флэшку и запустил программу. Программа работает так же, как и на стационарном компьютере, где папка с программой «лежит» на рабочем столе.

Мало того, когда я перезагрузил стационарный компьютер, запустив дистрибутив Fedora 18, существующий в качестве второй операционной системы; когда вставил флэшку и, выделив исполняемый файл, выбрал из меню запуск программы в среде Wine, программа столь же успешно заработала.

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Я не готов пока сказать, что можно полностью работать с программой на флэшке, следует тщательнее проверить это утверждение, но познакомиться с работой программы, благо примеров с программой приходит много, можно и в таком простом варианте.

Глава 2. Первый шаг

Именно попытка что-то сделать в программе, когда я запустил её в первый раз, заставила меня сомневаться, нужно ли рассказывать о ней. Привычка работать с другими программами мне несколько не помогла. Пришлось обращаться к руководству.

Если вы захотите сделать первый шаг, то советую запустить в программе любой из примеров. Для этого используйте кнопку с иконкой *Open*.

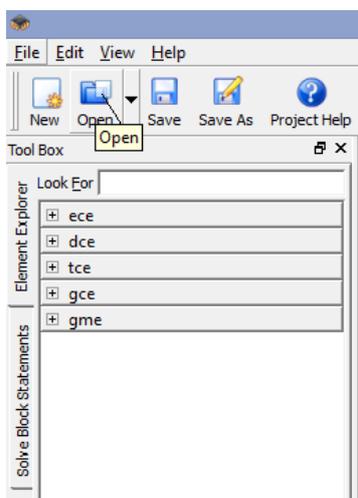


Рис. 2.1. Как открыть папку с проектами

В проводнике появляется ряд папок, каждая из которых содержит множество проектов. В этом можно убедиться, открыв любую из папок, все проекты имеют расширение *sproj*. Проекты разложены по папкам так, чтобы можно было, окинув взглядом этот набор, представить, с какими схемами вы можете работать. Для тех, кто подобно мне не очень любит англоязычные программы, я на рисунке ниже переведу названия.

И я постараюсь показать наиболее, с моей точки зрения, интересные проекты, отображающие возможности программы. Перебрать все проекты – эта задача остаётся за вами.

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

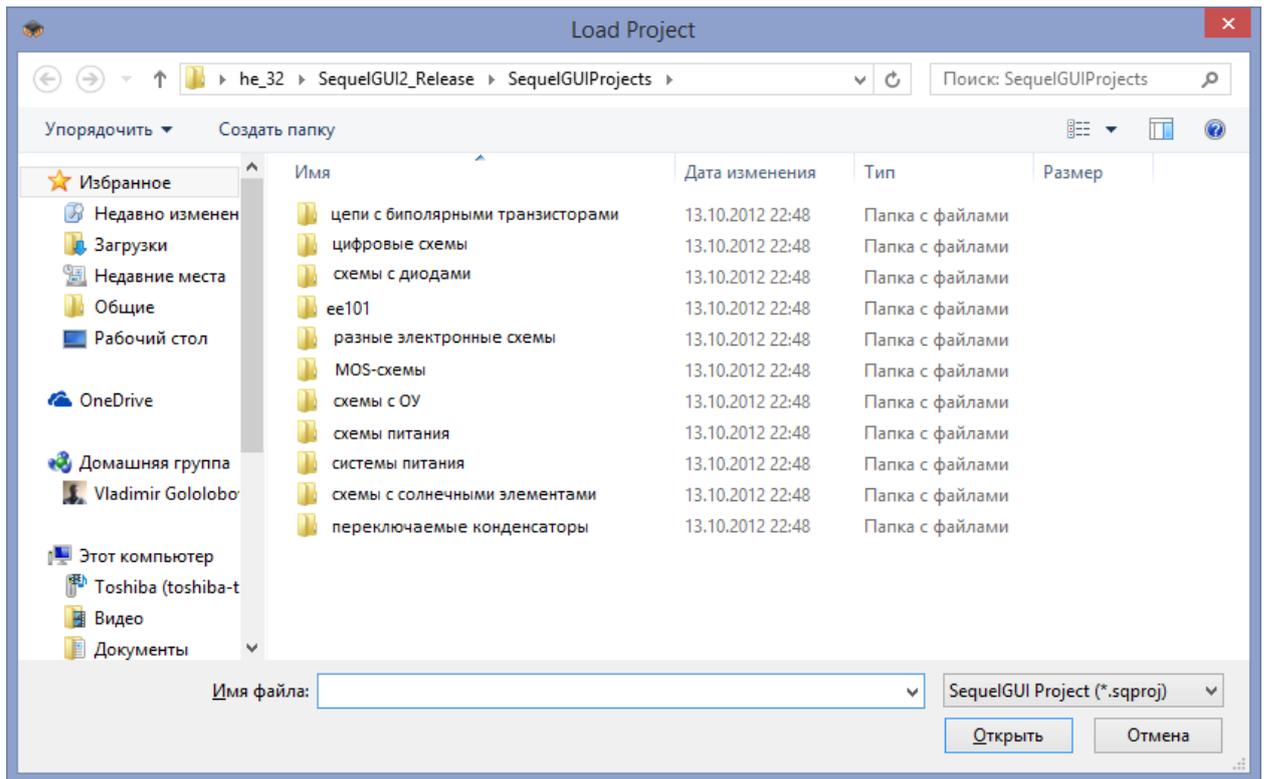


Рис. 2.2. Папки с примерами проектов

Чтобы посмотреть, как работает программа, выберем один из проектов, нажмём кнопку проводника **Открыть**.

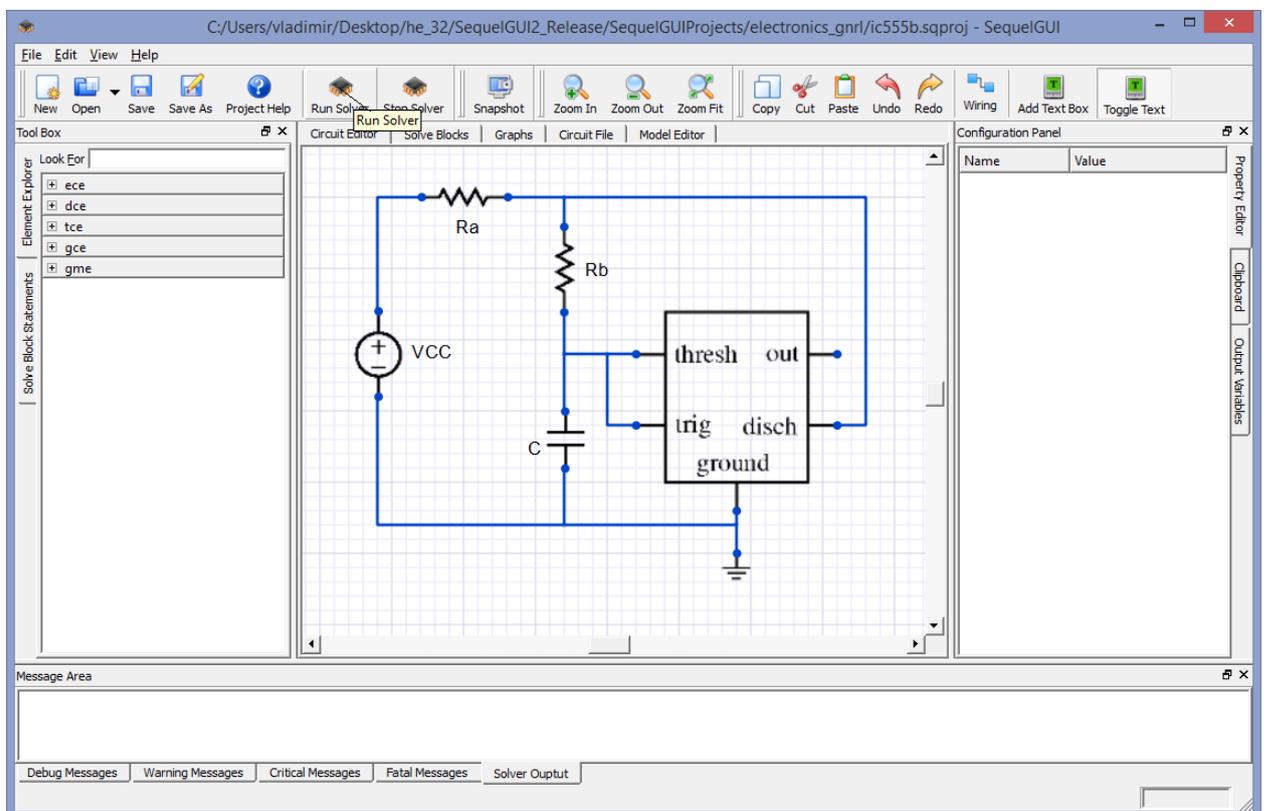


Рис. 2.3. Проект открыт в рабочем окне программы

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Схема может показаться вам слишком большой, но её легко уменьшить, например, используя колёсико мышки. Для симуляции предварительно следует нажать кнопку с иконкой микросхемы и подписью *Run Solver*. Кстати, на рисунке выше вы можете видеть, что при наведении курсора на кнопку появляется подсказка.

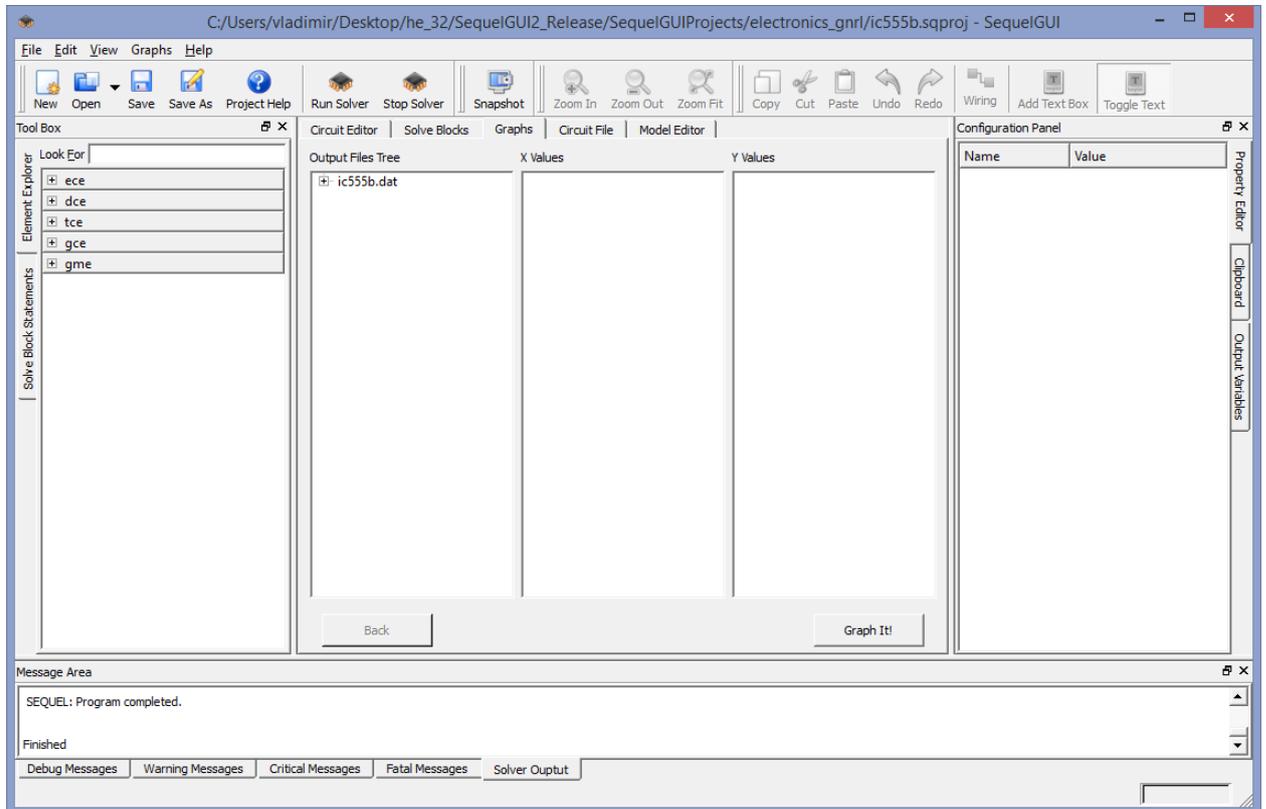


Рис. 2.4. Подготовка схемы к получению диаграмм

Крестик возле данных позволяет раскрыть данные, как показано ниже.

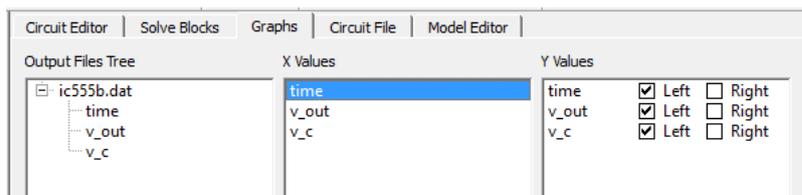


Рис. 2.5. Данные проекта и аргумент функции

Выберем аргумент во втором окне, который будет отображаться по оси x. В следующем окне выберем переменную *v_out*. Активизируется кнопка в нижней части окна **Graph It**, которую и следует нажать.

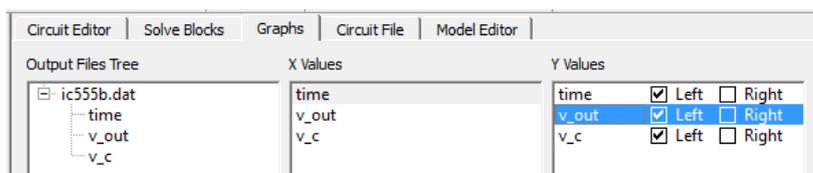


Рис. 2.6. Выбор переменной для построения графика

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

В рабочем окне программы появится графический результат симуляции, в данном случае появится сигнал на выходе микросхемы таймера 555.

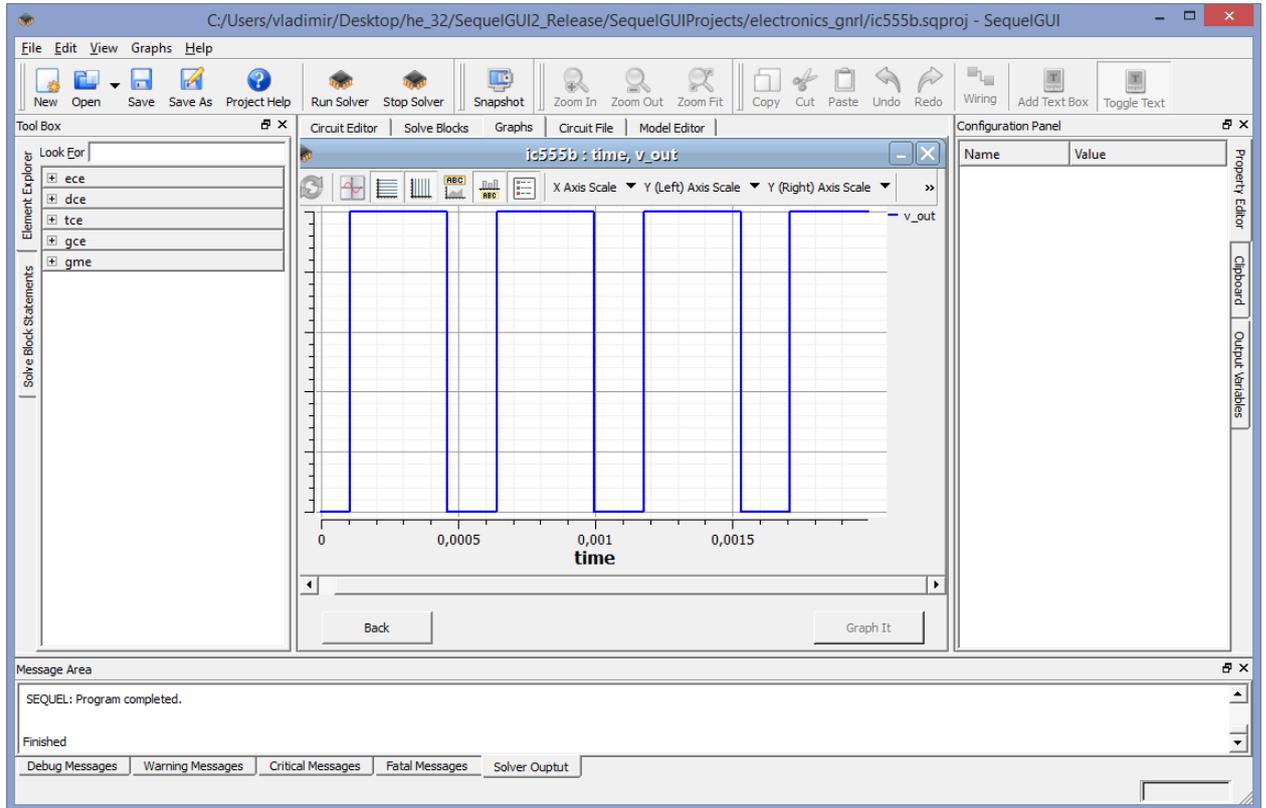


Рис. 2.7. Графический результат симуляции

Глава 3. Создание собственного простого проекта

Столь необычный для многих процесс симуляции готовой к работе схемы из набора примеров подразумевает, что и процесс создания собственного проекта не будет простым. Чтобы не вдаваться в ненужные пока детали, я повторю то, что написано в руководстве. Итак.

Вот схема, которая будет предметом первого эксперимента.

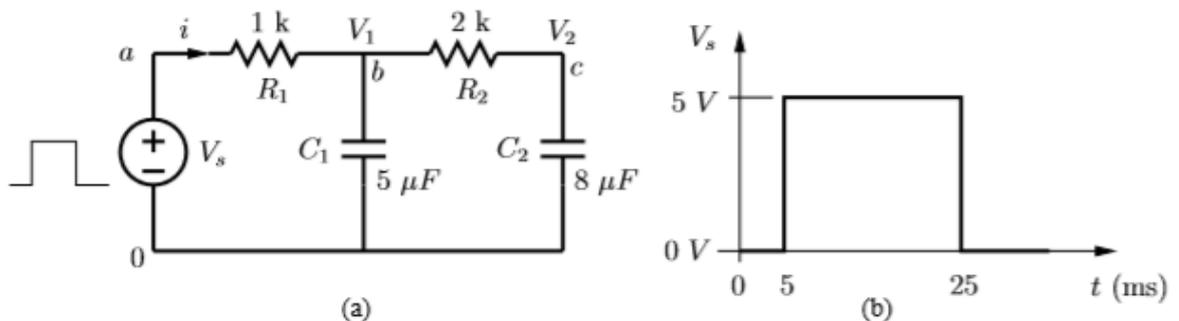


Figure 2: RC circuit for the tutorial example.

Рис. 3.1. Схема для создания собственного проекта

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

После просмотра готовых проектов для перехода к собственному проекту достаточно нажать кнопку **New** на инструментальной панели окна программы. Все нужные для первой схемы компоненты находятся в списке группы *ece*. Чтобы раскрыть список, достаточно левой клавишей мышки нажать на крестик слева.

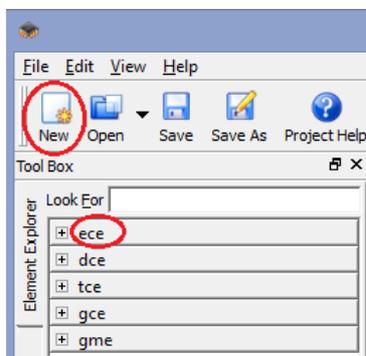


Рис. 3.2. Иконка нового проекта и списки компонентов

Списки компонентов находятся на закладке (слева) *Element Explorer*. Первый нужный мне элемент – это генератор импульсов.

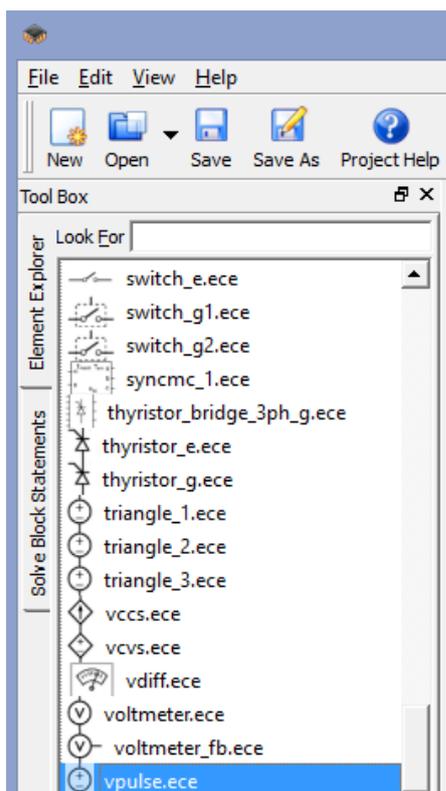


Рис. 3.3. Генератор импульсов в списке компонентов

Для добавления выбранного компонента в рабочее поле чертежа после его выделения следует дважды щёлкнуть левой клавишей мышки в нужном месте чертежа. Компонент появится. Если нужно будет его переместить, достаточно выделить его левой клавишей мышки, не отпуская клавишу, мышкой переместить компонент в нужное место. Если в правом окне выделить закладку *Property Editor* (редактор свойств), то можно увидеть, а при необходимости исправить или задать свойства элемента.

По первому впечатлению расположение компонентов не кажется слишком удачным. Машинально пытаешься найти компонент «по алфавиту».

Но, тем не менее, элементы сгруппированы по функциям, а алфавитный порядок соблюдается в группе.

Думаю, после некоторого опыта работы с программой такой порядок расположения не будет вызывать вопросов.

Вдобавок, конечно, в программе впечатляет количество разноплановых компонентов.

Выделение нужного элемента осуществляется одним щелчком левой клавиши мышки.

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

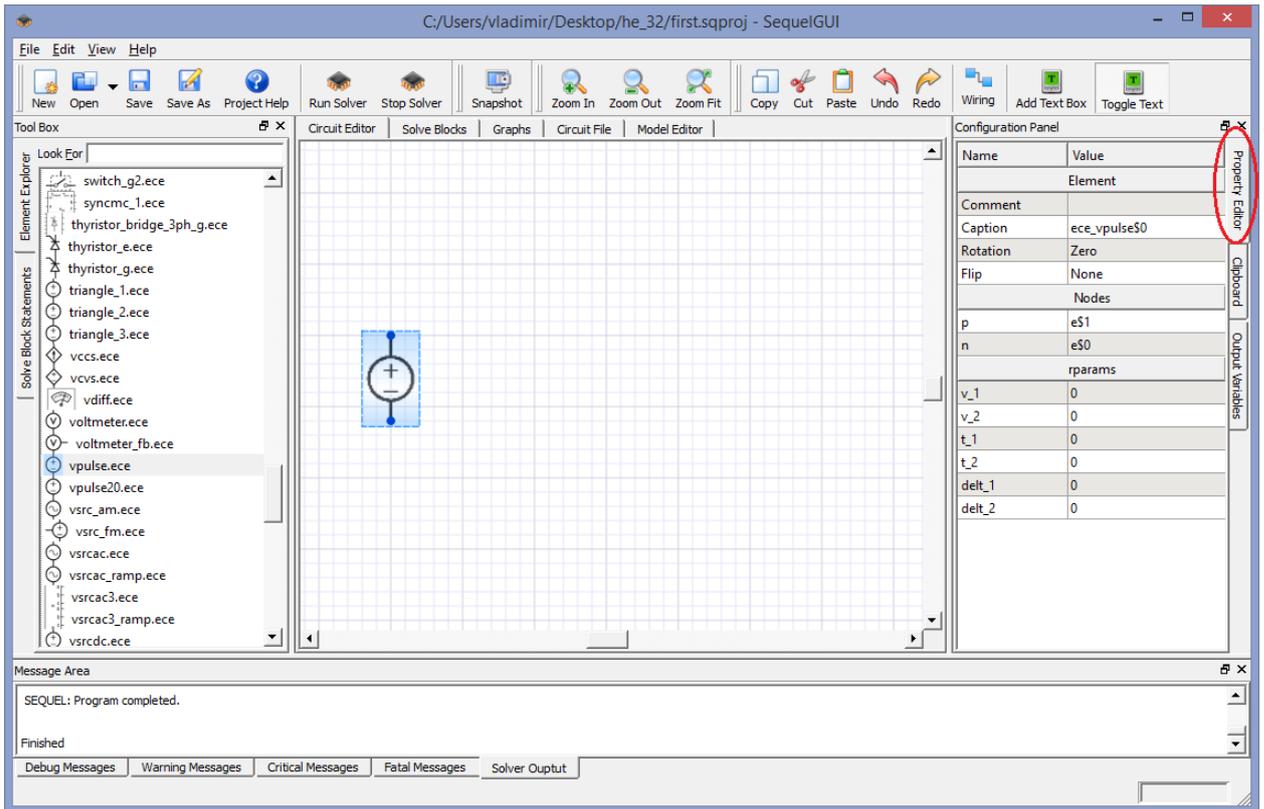


Рис. 3.4. Установка компонента в рабочее поле

Позже мы зададим все нужные параметры генератора, а пока добавим остальные компоненты, повторяя выделение и установку двойным щелчком. Нам потребуется г.е.с.е и с.е.с.е. Для повторной установки элемента можно повторно выполнить двойной щелчок.

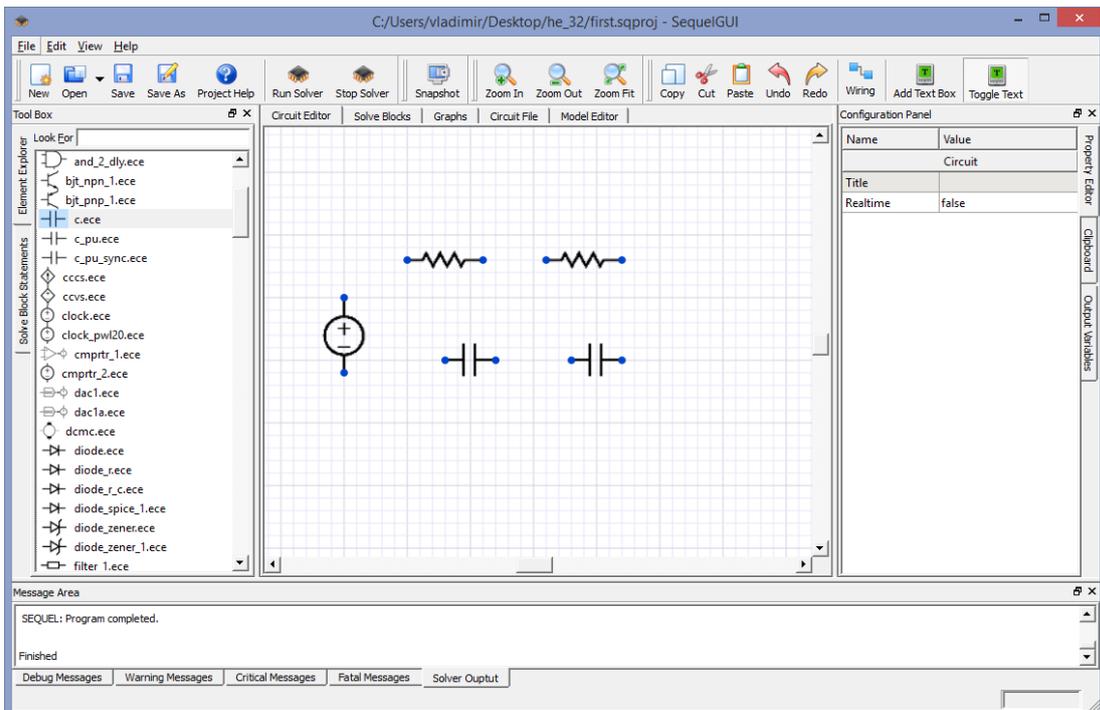


Рис. 3.5. Добавление необходимых компонентов

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

После добавления компонентов можно задать их свойства (*Property Editor*), для резисторов, как следует из руководства, я задам обозначения $r1$ и $r2$ и сопротивления $1k$ и $2k$. А для конденсаторов в свойствах использую ещё и поворот (*Rotation*), повернув их на 90^0 .

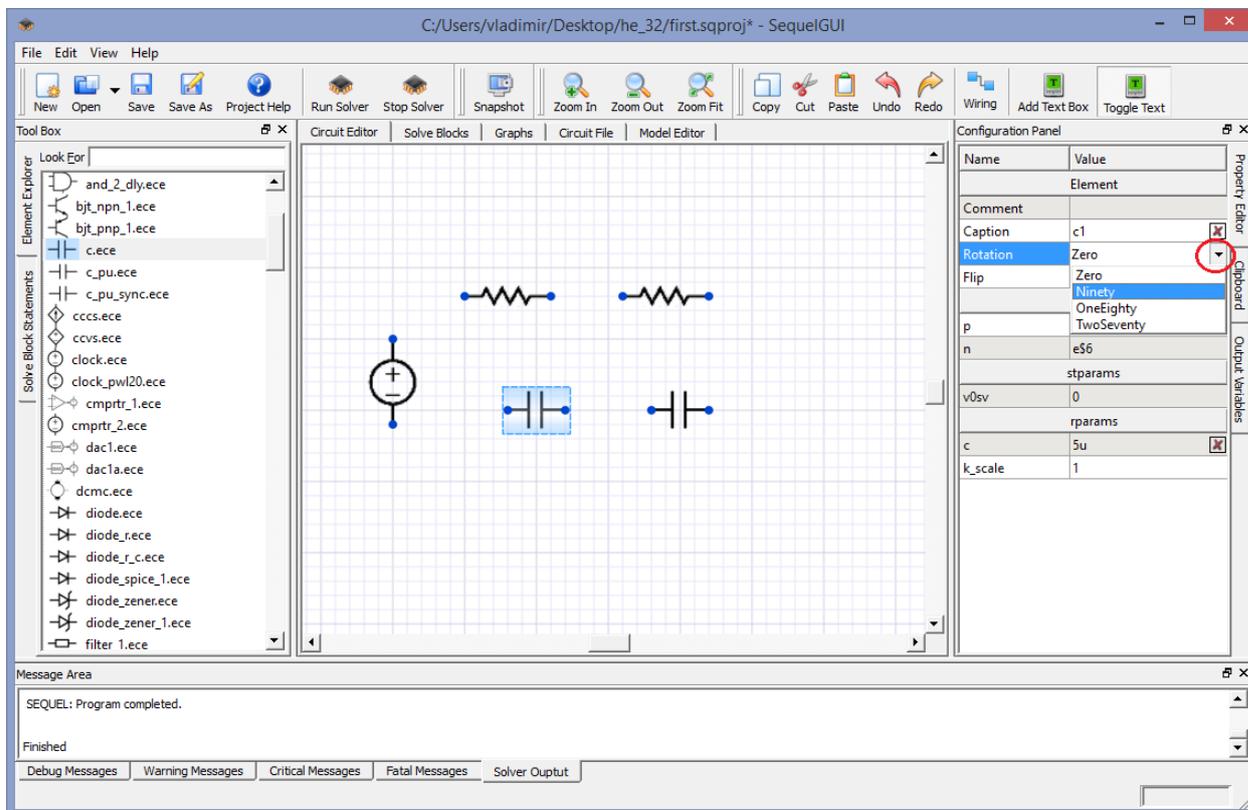


Рис. 3.6. Задание свойств и поворот первого конденсатора

Небольшое замечание, на первой схеме ёмкость конденсатора обозначена как $5\mu F$. В свойствах это значение должно выглядеть так: $5u$. Аналогично следует обозначать и время, не $10ms$, а $10m$ и остальные компоненты тоже.

Для генератора импульсов в руководстве рекомендуются следующие параметры:

For the voltage pulse, we can let the pulse start at $t_1 = 5\text{ ms}$ and end at $t_1 = 25\text{ ms}$. The relevant parameters are therefore $t_1 = 5m$, $t_2 = 25m$, $v_1 = 0$, and $v_2 = 5$. The parameters $delt_1$ and $delt_2$ represent the rise/fall time of the pulse and can be set to a suitable (small) number, say, $10u$.

Задав свойства, переместив их, чтобы схема выглядела аккуратнее, можно приступить к соединению.

Если подвести курсор к контактной точке компонента, то курсор поменяет вид. Нажав левую клавишу мышки, можно получить направляющие, вдоль которых вести соединение, отпустив клавишу мышки. Для поворота под прямым углом можно зафиксировать точку поворота, щёлкнув левой клавишей мышки. После щелчка на контактной точке второго элемента режим проведения соединения переходит в основной режим. Теперь схема выглядит так:

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

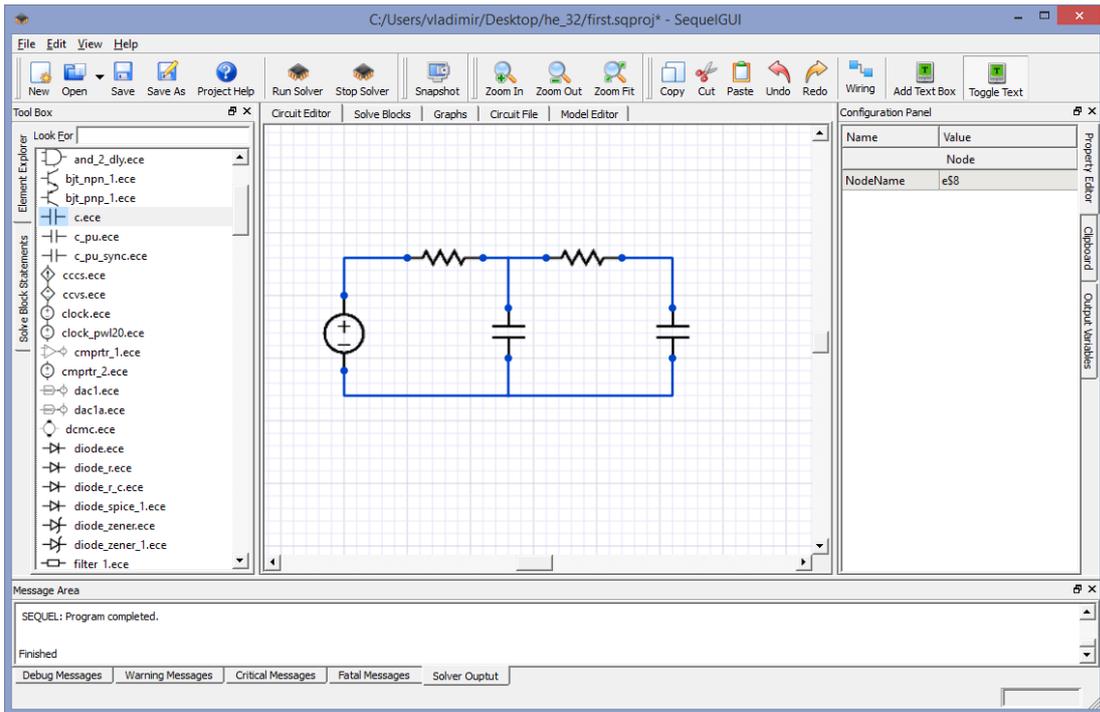


Рис. 3.7. Вид схемы после соединения элементов

Следующий шаг – это использование кнопки на инструментальной панели **Run Solver**. Но перед тем, как продолжить работу, обратим внимание на... Вот, что получится после нажатия кнопки.

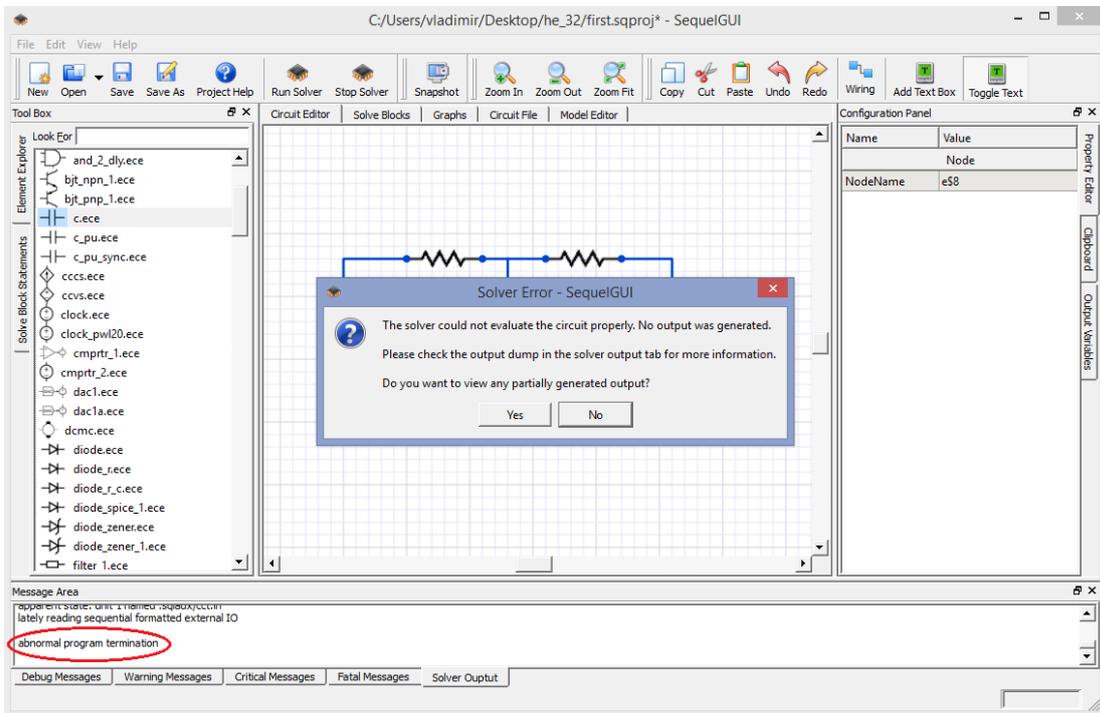


Рис. 3.8. Сообщение о проблемах

В окне сообщений (в нижней части рабочего окна) отображено, что процесс прерван. А в сообщении, которое появилось в рабочем поле, предлагается проверить, с чем связано это прекращение работы. И вопрос, хотите ли вы продолжать, несмотря на это?

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Нет смысла продолжать. В примерах, которые можно посмотреть в папке готовых проектов, всё необходимое уже сделано за нас. А в собственном проекте следует самостоятельно позаботиться о том, чтобы объяснить симулятору, что мы от него хотим. Вернёмся к руководству пользователя.

Имена всех узлов задаются автоматически. Но иногда удобнее дать им свои названия. Для этого достаточно выделить элемент и задать имя в редакторе свойств. После наведения курсора на элемент через некоторое имя появляется его имя.

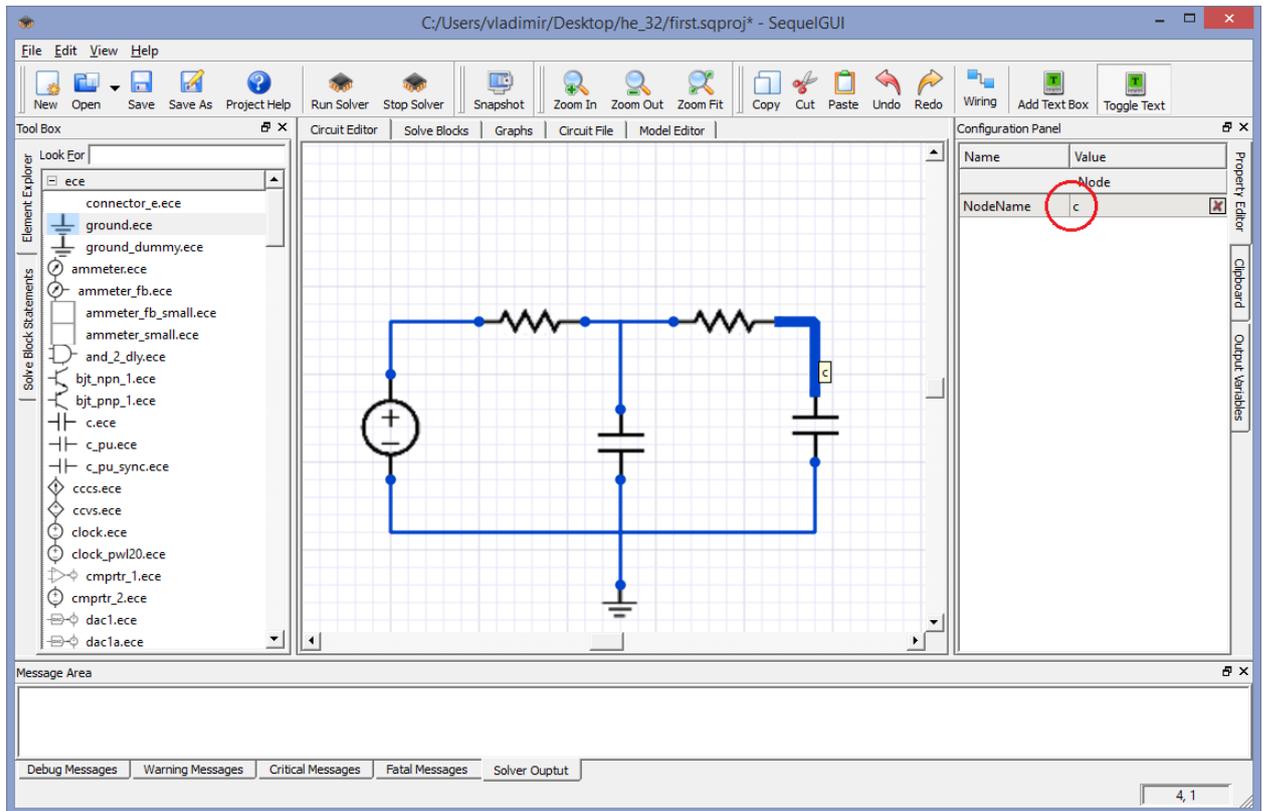


Рис. 3.9. Задание имени узла

Кроме задания названий я добавил компонент *ground*, поскольку многие симуляторы без «земли» не работают. И, пока не забыл, на схеме все обозначения можно задать как текстовые, то есть, R1, C1 и т.п.

А завершающий этап в оформлении схемы – это задание переменных. В приводимом примере советуется определить ток через резистор r1 и напряжение узлов b и c.

Последовательность действий следующая:

1. Перейти в правом окне на закладку *Output Variables*.
2. Нажать кнопку **Add Variable**.
3. Навести курсор (который превратился в крестик) на резистор r1 и нажать левую клавишу мышки.
4. Из выпадающего меню выбрать i1.

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

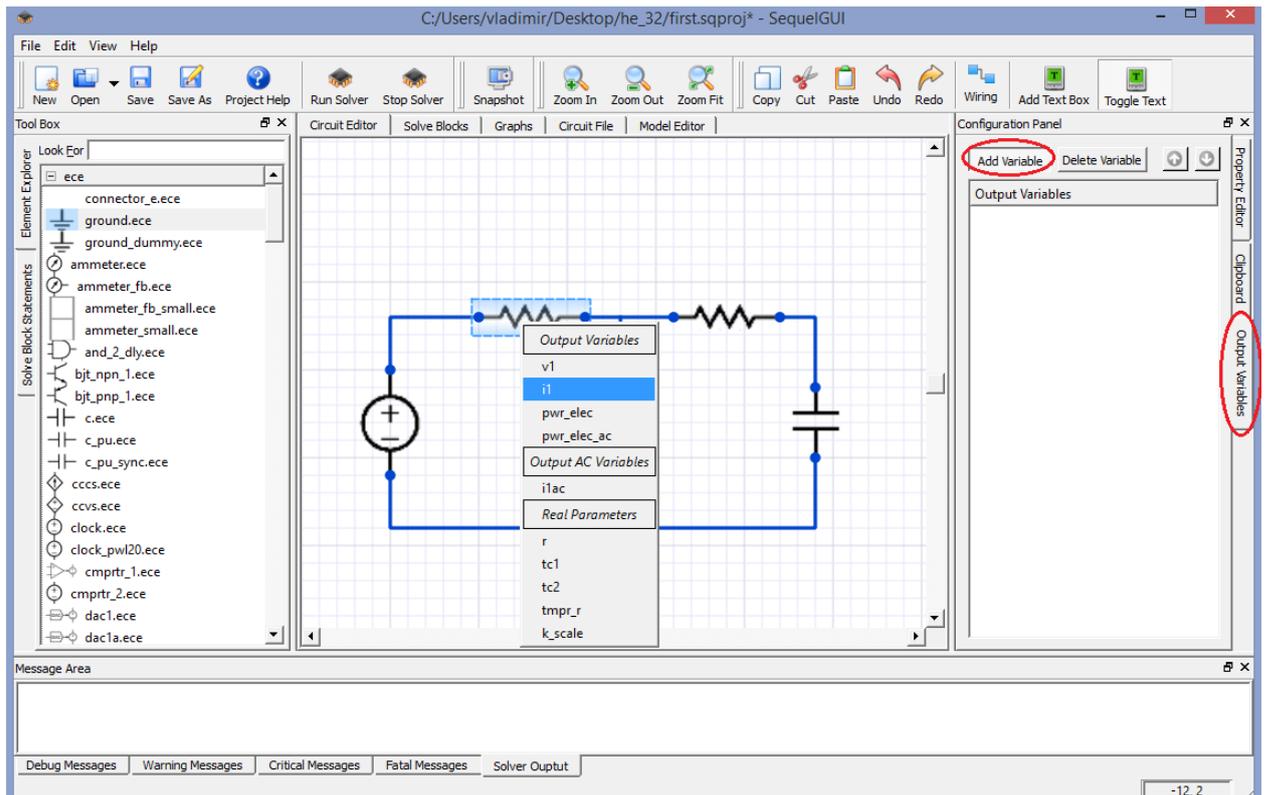


Рис. 3.10. Задание первой выходной переменной

Затем следует повторить эти шаги для узлов b и c. Поскольку компонентов в этом случае нет, выпадающее меню не появляется, просто появляются добавленные переменные.

Чтобы заработала кнопка иконки *Run Solver* на инструментальной панели, нужно создать *Solve* (решение). Это осуществляется на следующей закладке рабочего поля *Solve Blocks*. После перехода на эту страницу на ней появится кнопка **Add Solve Block**. Нажав эту кнопку, вы получаете возможность создать блок, где определится состояние в начальный момент, а затем будет осуществлён анализ переходного процесса в следующие моменты времени.

После появления первого блока надлежит выделить его, щёлкнув левой клавишей мышки по заголовку. Справа в окне в выпадающем меню выбрать для типа блока *Start Up*. Обычно в таких случаях используют кнопку со стрелкой вниз справа от нужного окна. Но в этом случае можно использовать как кнопку, так и просто щёлкнуть левой клавишей мышки по окошку. В обоих случаях появится выпадающее меню со списком доступных вариантов.

Можете убедиться, что перечень видов анализа соответствует аналогичному набору любой программы моделирования.

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

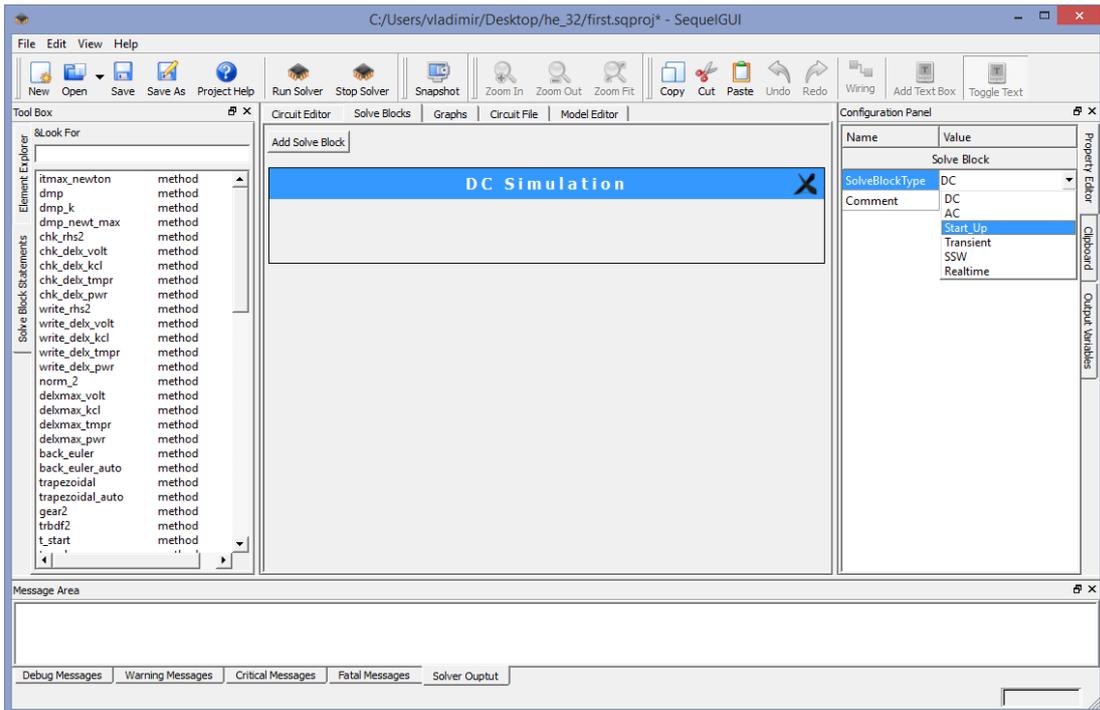


Рис. 3.11. Выбор начального блока

Сменив симуляцию на постоянном токе на *Start Up*, можно добавить первый элемент блока *initial_sol*. Все элементы, как компоненты схемы, находятся в левом окне. Отыскать нужный элемент можно перемещаясь по всему списку, а можно ввести имя в окно поиска &Look For.

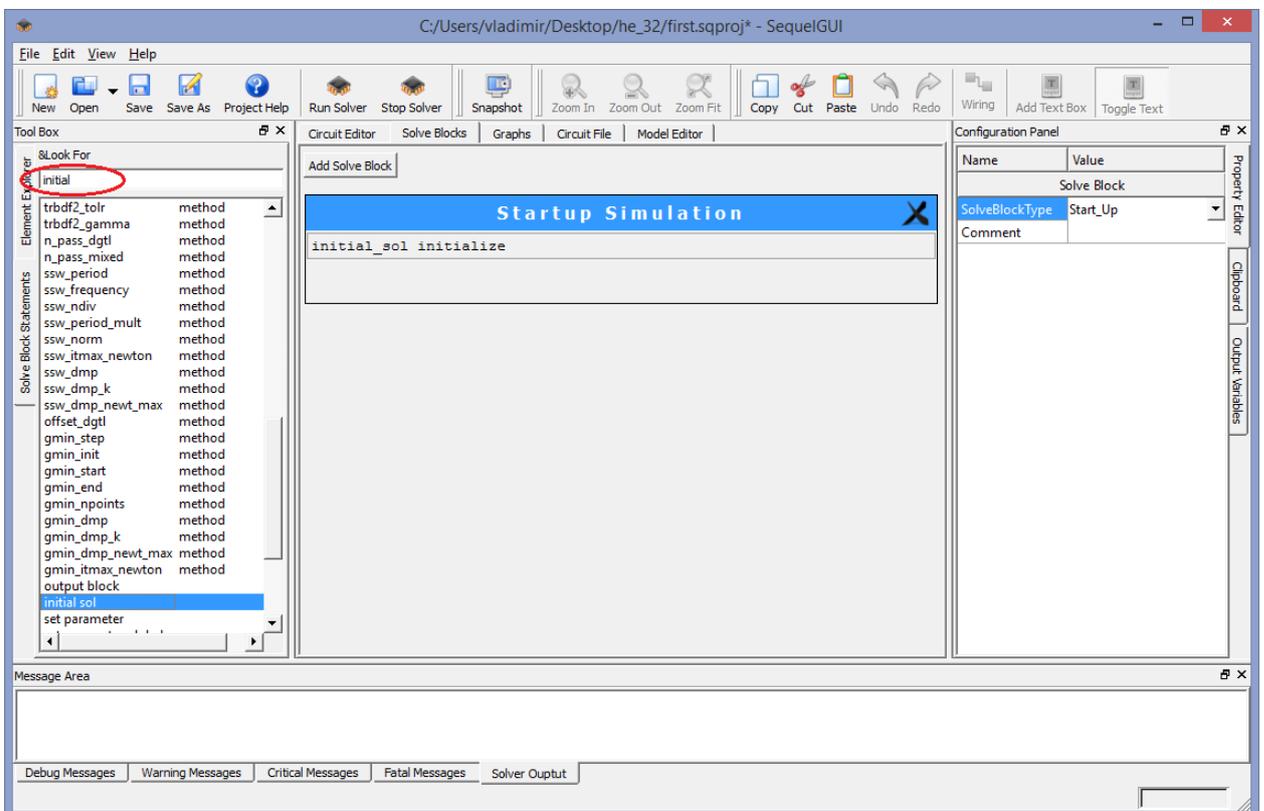


Рис. 3.12. Выбор первого элемента блока

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

В отличие от электрических компонентов в данном случае элементы команд перетаскиваются в блок: выделить требуемый элемент нажатием левой клавиши мышки, удерживая клавишу, переместить курсор мышки в нужное место блока.

Следующим этапом подготовки станет добавление второго блока для анализа переходных процессов. Вновь кнопка **Add Solve Block**. Тип второго блока – *Transient*.

Перетаскиваем *initial_sol*, как и в первом случае, но его тип (в окошке типа на правой панели) задаём, как *Previous*. Попадая в рабочее поле, этот элемент оказывается последним за уже имеющимися по умолчанию. Его можно выделить, подцепить мышкой, удерживая левую клавишу, и перенести в начало блока.

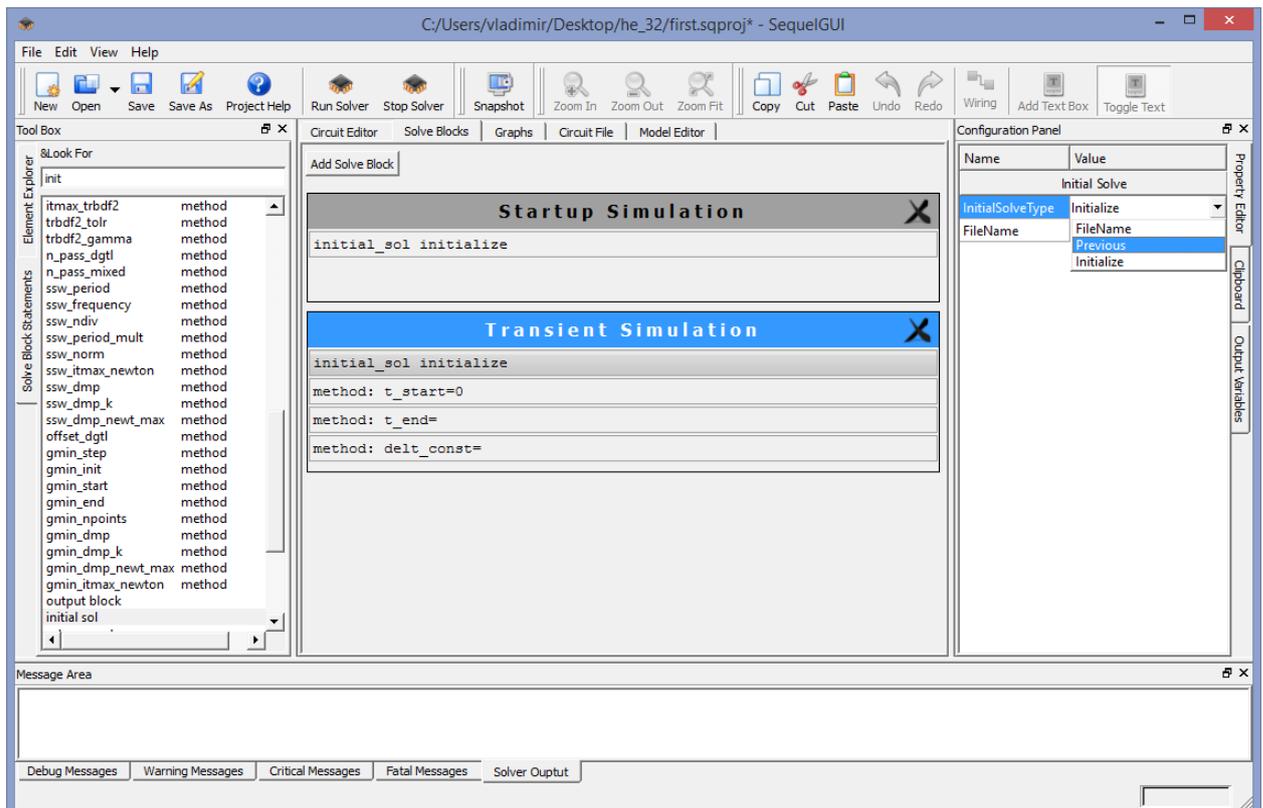


Рис. 3.13. Формирование второго блока

Далее, добавляем *back_euler* со свойством *yes*, которое устанавливается в поле свойств галочкой в окошке *Value*. Следующие элементы должны получить значения: $t_{start} = 0$, $t_{end} = 100m$, $delt_{const} = 10u$.

При моделировании электрической цепи будут получены данные, которые следует сохранить: напряжение узлов b и c в файле, скажем, *rc_1.dat*, а ток через *r1* в файле *rc_2.dat*.

Для этого добавим из элементов левой панели *output_block*. Выделим его, в панели свойств зададим имя файла, согласно с тем, что мы решили ранее; в разделе переменных используем кнопку **Output Vars**. В появившемся окне со списком переменных выделим нужные переменные.

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

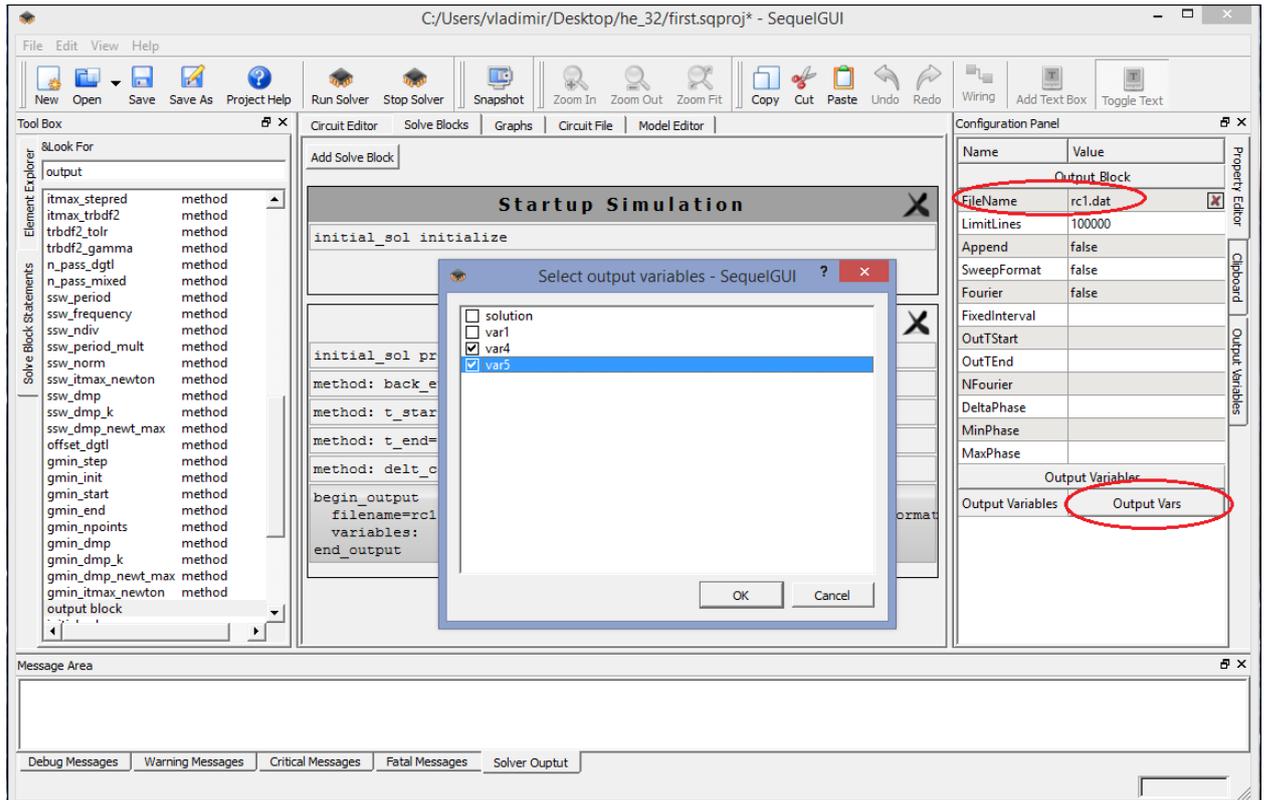


Рис. 3.14. Формирование блока вывода

Аналогичные операции сделаем для второго блока вывода, где будет обработан ток через резистор r1. В итоге мы получим такой набор команд.

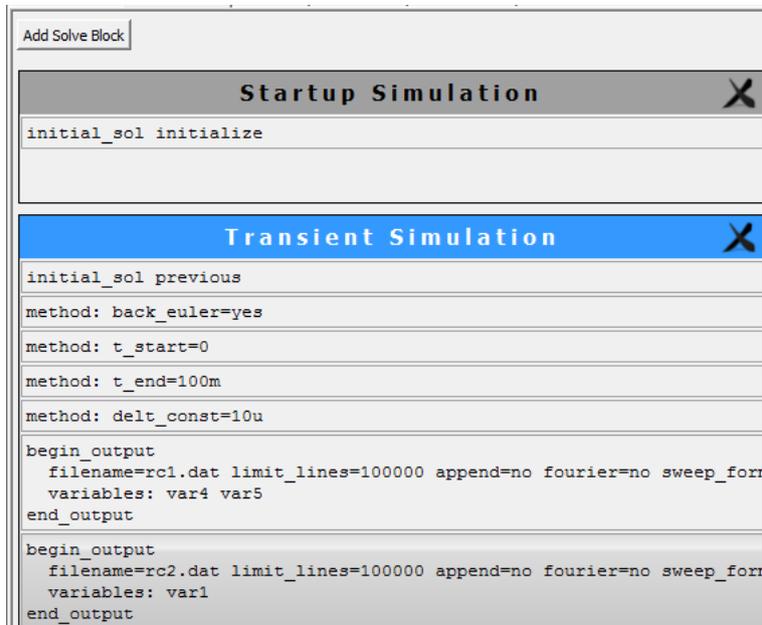


Рис. 3.15. Набор команд для моделирования

Для выполнения моделирования и получения графиков осталось выбрать закладку основного окна программы *Circuit File*, где использовать кнопку **Generate CF**. В результате появится файл...

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

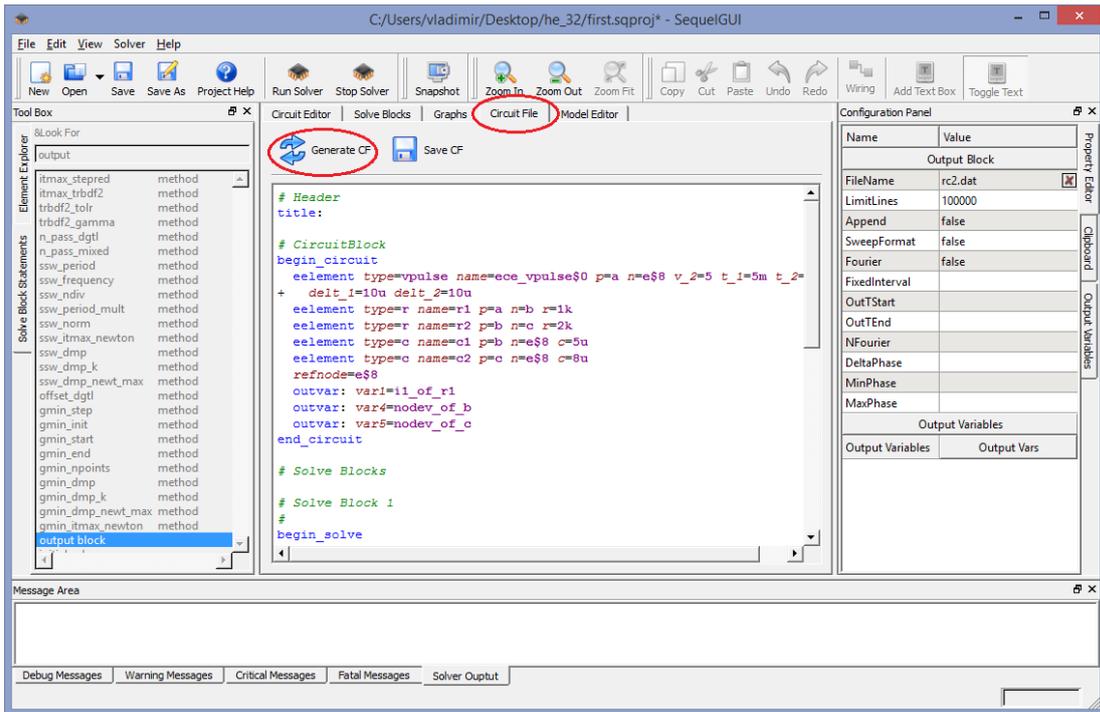


Рис. 3.16. Генерация файла для моделирования

Теперь можно использовать кнопку **Run Solver** на инструментальной панели, что мы пробовали сделать раньше.

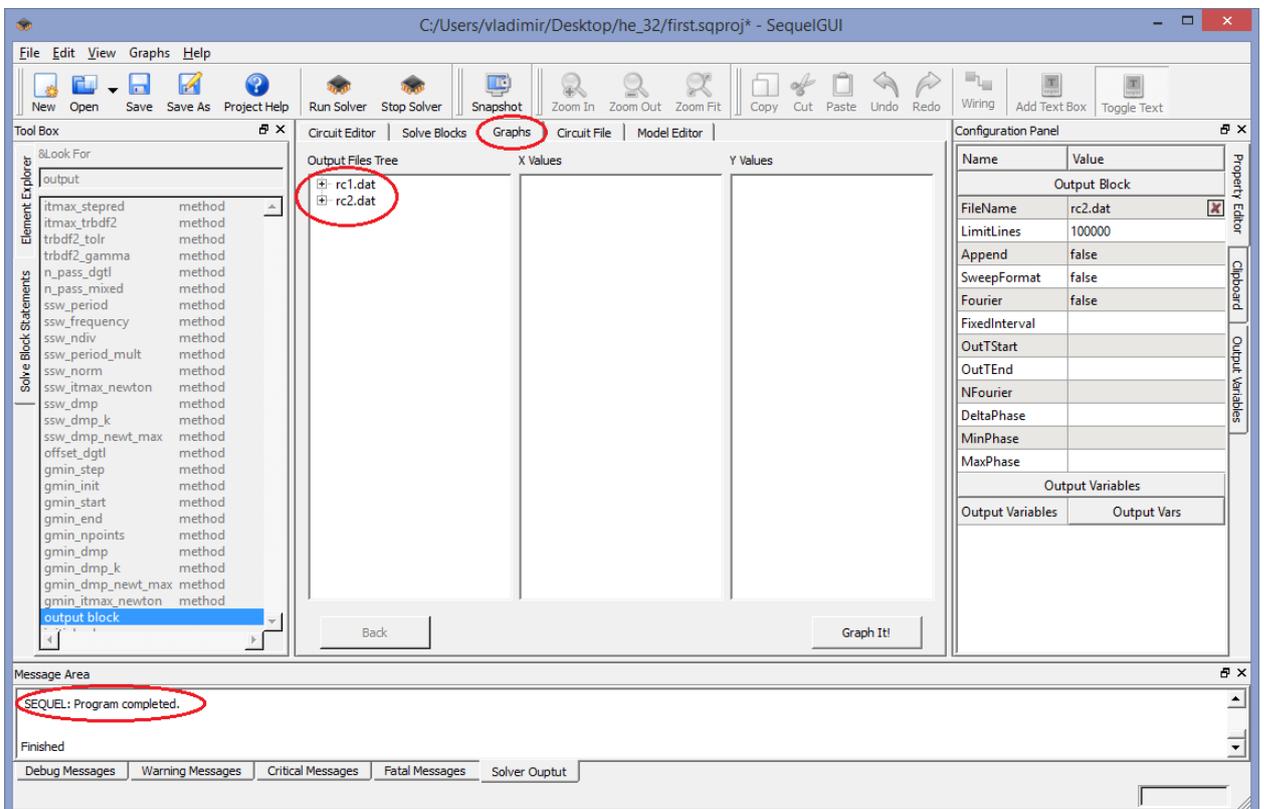


Рис. 3.17. Результат запуска программы моделирования

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Программа перешла на страницу *Graph*, в окне сообщений сказано, что *Program completed*, и два файла данных есть в основном окне. Раскроем первый файл (нажав курсором крестик слева), для оси *x* выберем *time*, для оси *y* *var4*, нажмём кнопку **Graph It**. Результат:

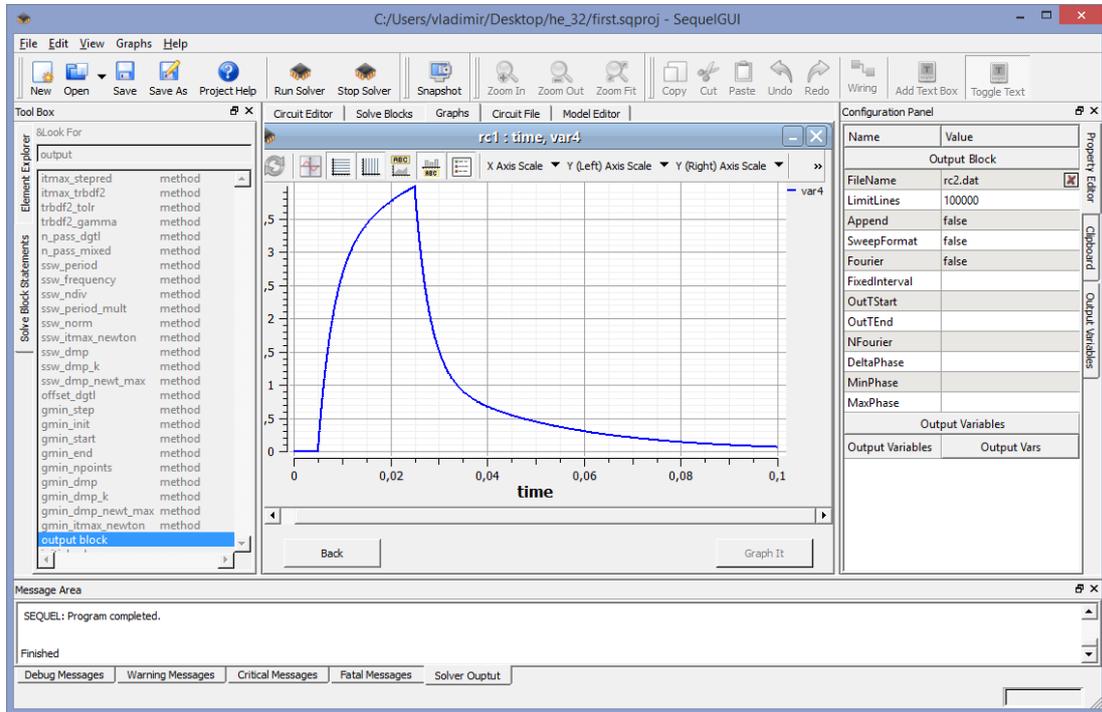


Рис. 3.18. График напряжения в первом узле схемы

Аналогично можно получить другие графики, используя кнопку **Back** и выделяя нужные переменные. Кроме того, можно выделить все переменные и получить все графики.

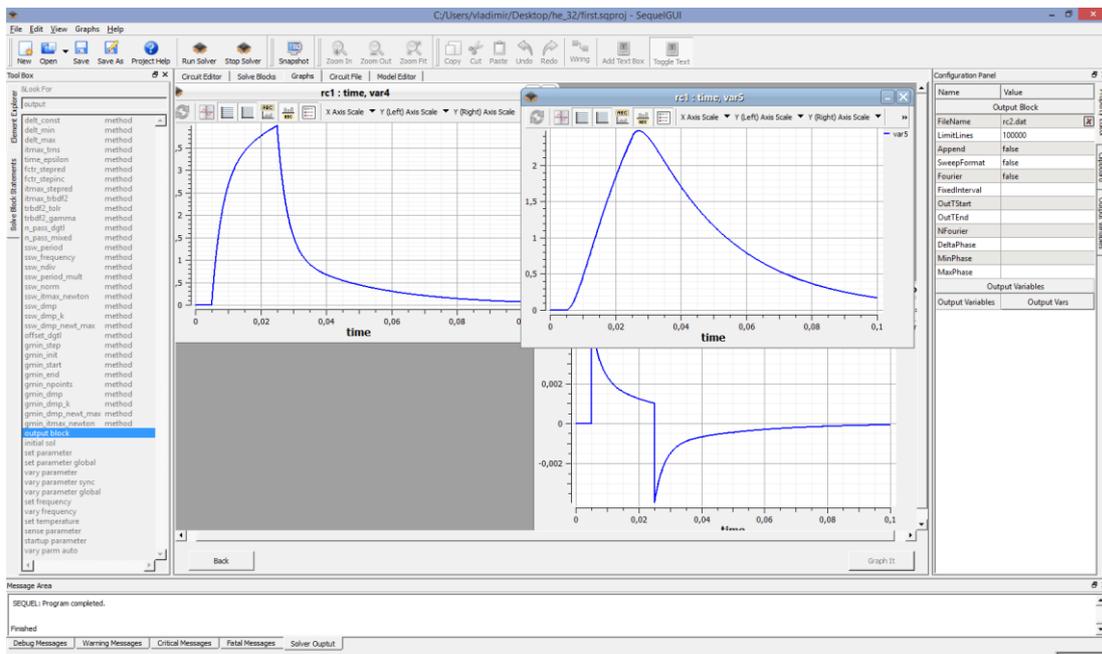


Рис. 3.19. Все графики в одном окне вывода

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Есть притча: «Скоро сказка сказывается, да не скоро дело делается». В данном случае наоборот. Провести все действия быстрее, чем о них рассказать. Вы можете проверить это самостоятельно. И ещё. Добавим в схему диод. Удалим провод, соединяющий генератор с резистором r1, добавим диод и восстановим соединения.

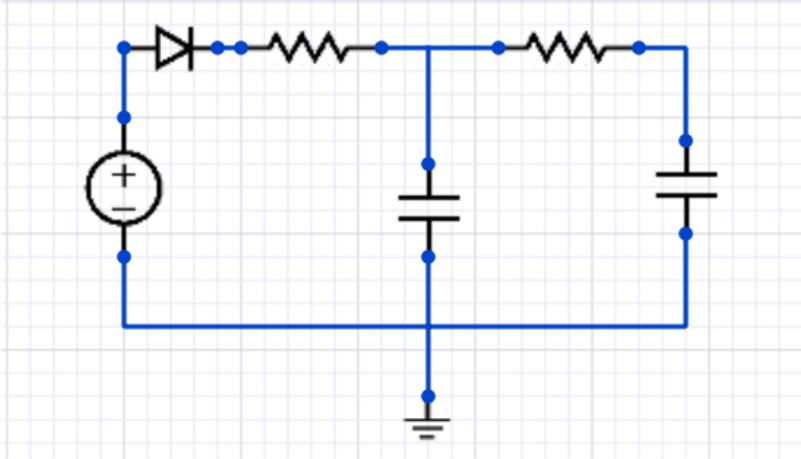


Рис. 3.20. Добавление элемента в схему

Блок Solve (блоки) остаются без изменения, достаточно сгенерировать новые файлы данных, чтобы получить новый результат.

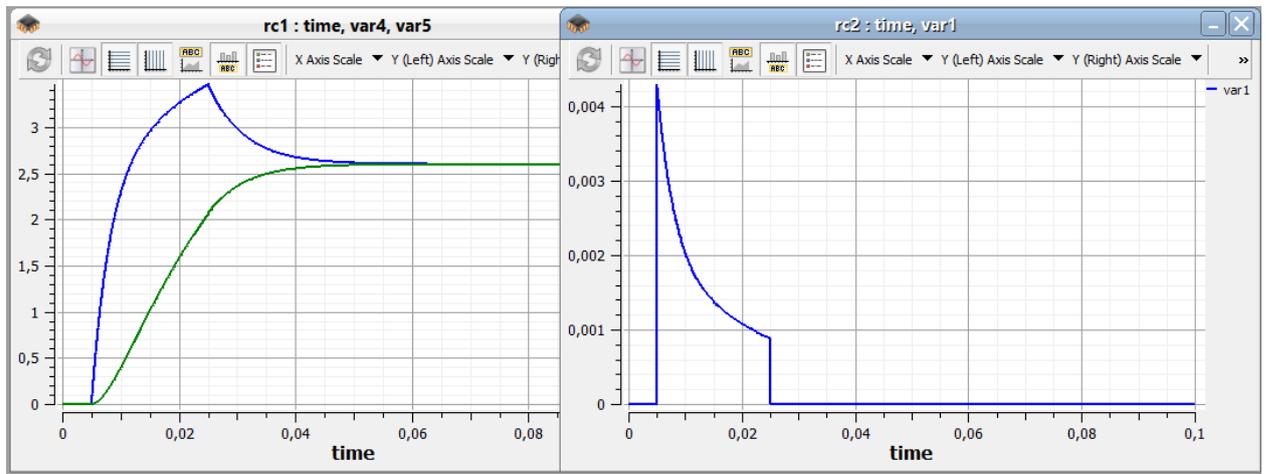


Рис. 3.21. Графики модифицированной схемы

Левый график получен одновременным выделением двух переменных.

Небольшое замечание: при удалении участка «провода» удаляется всё соединение. Возможно, я этого не исключаю, что-то следует сделать дополнительно. Но и восстановить все соединения недолго.

Тем, кто привык к программам моделирования с другим интерфейсом, как Multisim или TINA-TI, может показаться, что программа неоправданно усложнена. Но это усложнение даёт и больше возможностей, и лучше показывает то, что в других программах скрыто за окнами диалогов или в меню программы.

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Глава 4. О некоторых примерах

Часто встречающаяся ситуация – получение АЧХ. Частотные характеристики интересуют нас во многих случаях.

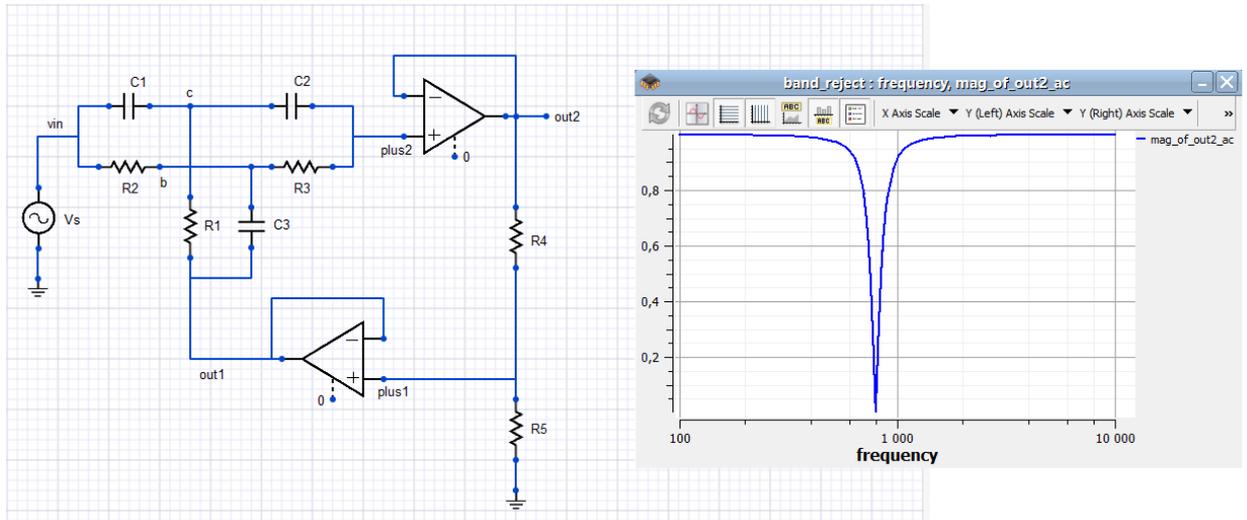


Рис. 4.1. Фильтр и его АЧХ

Осваивая электронику, волей-неволей приходится обращаться и к аналоговой технике, и к цифровой. И удобно, если это можно сделать в одной программе.

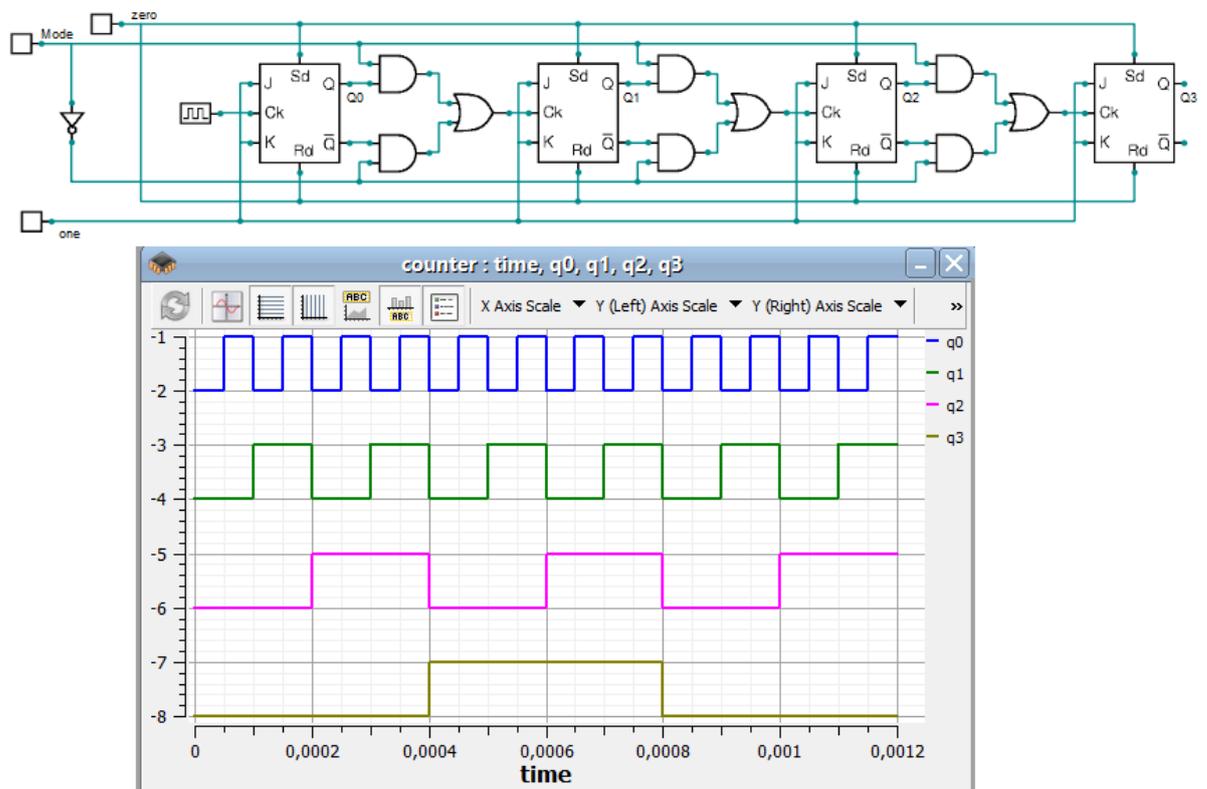


Рис. 4.2. Счётчик с прямым и обратным счётом и диаграмма сигналов на выходах

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Многие интересуются современными импульсными источниками питания, сердцем которых служат преобразователи. Среди примеров можно найти искомое. Впрочем, можно собрать и свою схему.

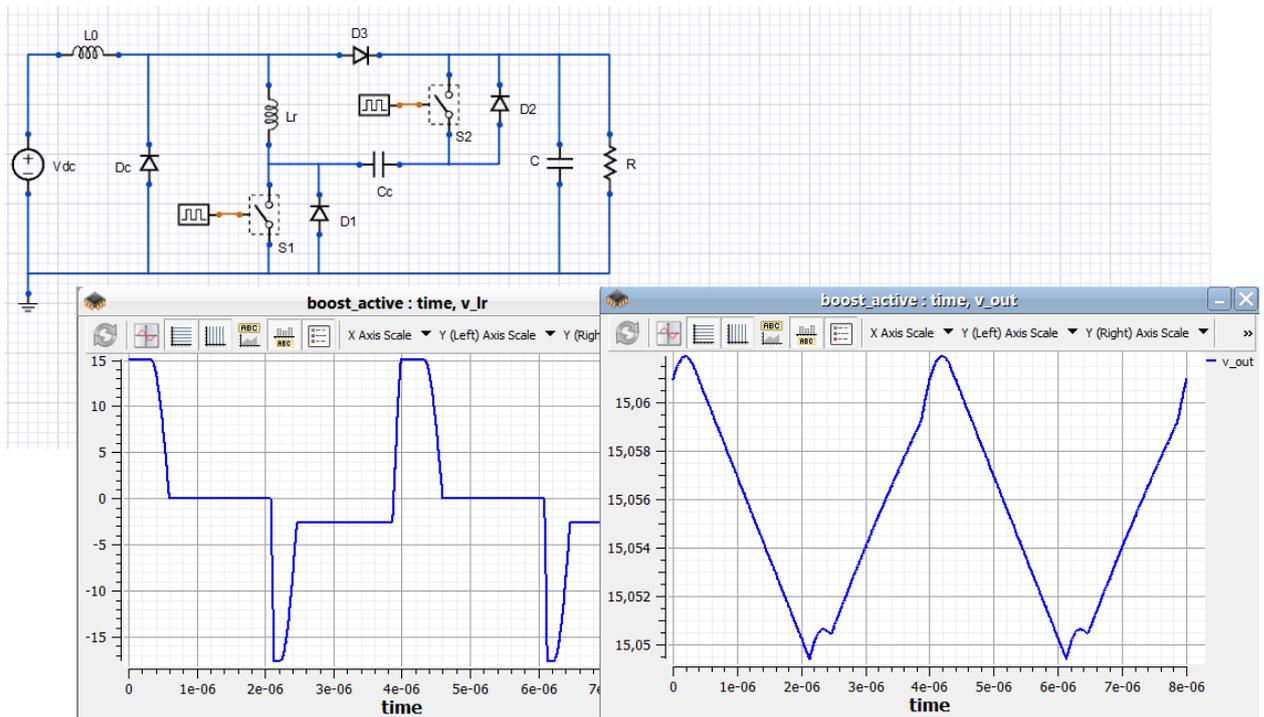


Рис. 4.3. Конвертор и осциллограммы напряжения на индуктивности и на выходе

Многие программы моделирования электрических цепей производят диаграммы, где аргументом служит время, как при работе осциллографа. Но наблюдение сигналов не всегда является целью виртуальных экспериментов. Вот пример:

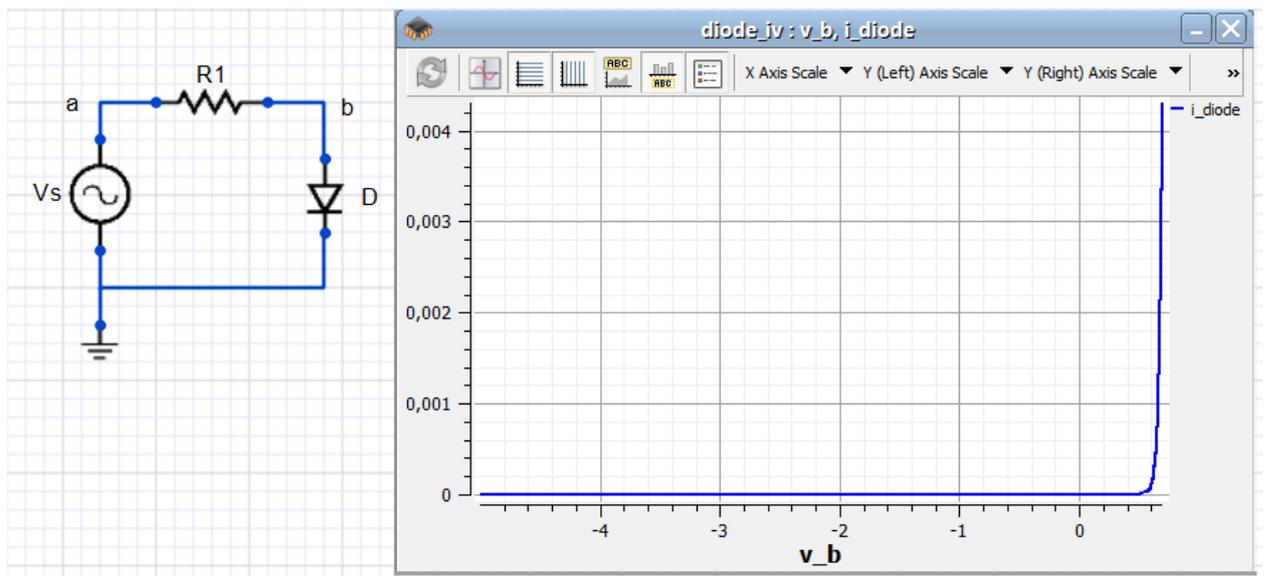


Рис. 4.4. Вольт-амперная характеристика диода

Свобода выбора переменных в качестве аргумента и функции позволяет легко строить подобные характеристики, что важно при обучении. Кстати, на графике можно выделить интересующую

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

область, получив новый график, на котором легко определяются все значения, если навести курсор (он имеет вид крестика) на график и нажать левую клавишу мышки.

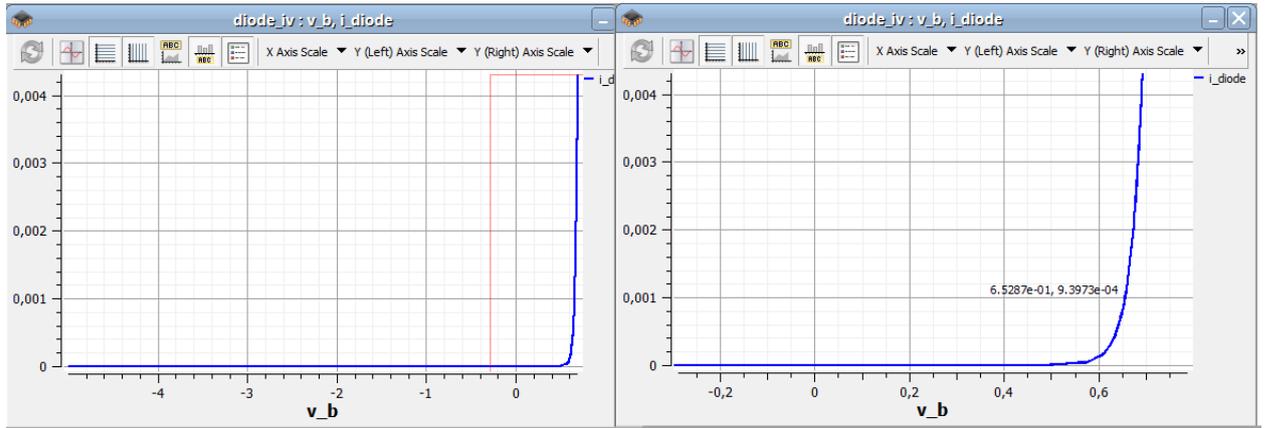
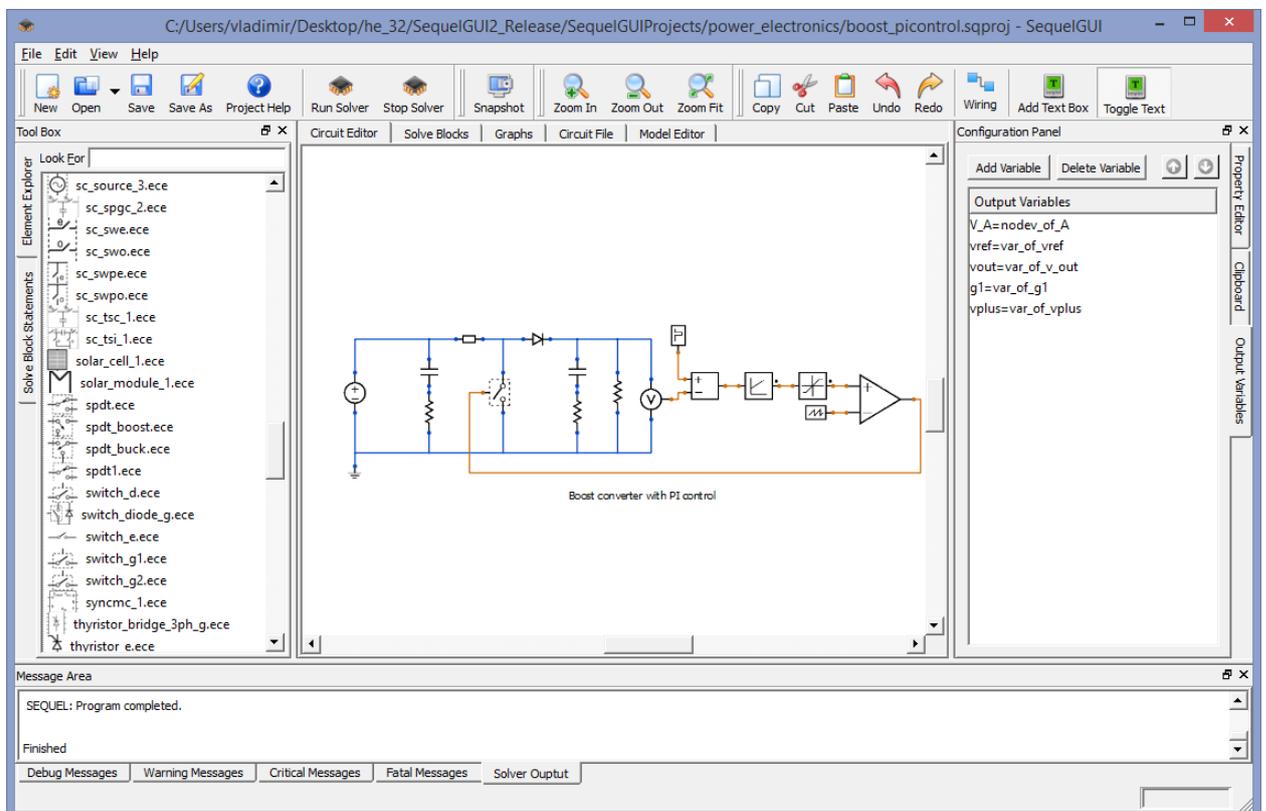


Рис. 4.5. Модификация графика

Заключение

Начинающих радиолюбителей, для которых я, как правило, и сочиняю разные истории, программа может не заинтересовать. Но есть и опытные радиолюбители. Более того, программа, как мне кажется, может заинтересовать и преподавателей, поскольку не только имеет большие возможности в части моделирования, но и раскрывает сам процесс моделирования электрических цепей. И работает с достаточно сложными устройствами.



Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

Приложение. Добавление модели транзистора КТ315

У меня есть Spice-модель транзистора КТ315. Многих интересует возможность использования в программах моделирования отечественных компонентов. Вот текст модели.

```
.MODEL KT315 NPN (IS=10F BF=584.517 VAF=100 IKF=29.2714M ISE=131.803P  
+ NE=2.08337 BR=1.95214 IKR=9.99996M ISC=100.316P RE=1 RC=5.48635 CJE=27.3893P  
+ VJE=700.001M MJE=500.287M CJC=27.3893P VJC=700.001M MJC=500.287M TF=450.287P  
+ XTF=499.984M VTF=10 ITF=10.2268M TR=153.383P)
```

А вот модель из набора программы Sequel:

```
emodel name=bjt_npn_2N2222 type=bjt_npn_1 is=3.108f bf=217.5 vaf=131.5 ikf=1.296 ise=190.7f  
ne=1.541 br=6.18 ikr=0 nc=2 cje=26.08p vje=0.750 mje=0.3333 tf=451p xtf=2 vtf=10 itf=0.1 cjc=14.57p  
vjc=0.75 mjc=0.3333 tr=51.35n xtb=1.5 eg=1.11 xti=3.0 fc=0.50 rb=10 rc=1
```

На всякий случай я предлагаю заменить все буквы буквами в нижнем регистре, исправить заголовок и убрать знаки перехода на другую строку.

```
emodel name=bjt_npn_2N2222 type=bjt_npn_1 is=10f bf=584.517 vaf=100 ikf=29.2714m ise=131.803p  
ne=2.08337 br=1.95214 ikr=9.99996m isc=100.316p re=1 rc=5.48635 cje=27.3893p vje=700.001m  
mje=500.287m cjc=27.3893p vjc=700.001m mjc=500.287m tf=450.287p xtf=499.984m vtf=10  
itf=10.2268m tr=153.383p
```

Сохранив этот текстовый файл, изменим его расширение на mdl, как у всех моделей программы в папке *Models*, и добавим его к остальным моделям с именем *ece_bjt_npn_KT315.mdl*.

Среди примеров есть пример схемы испытания транзисторного усилителя.

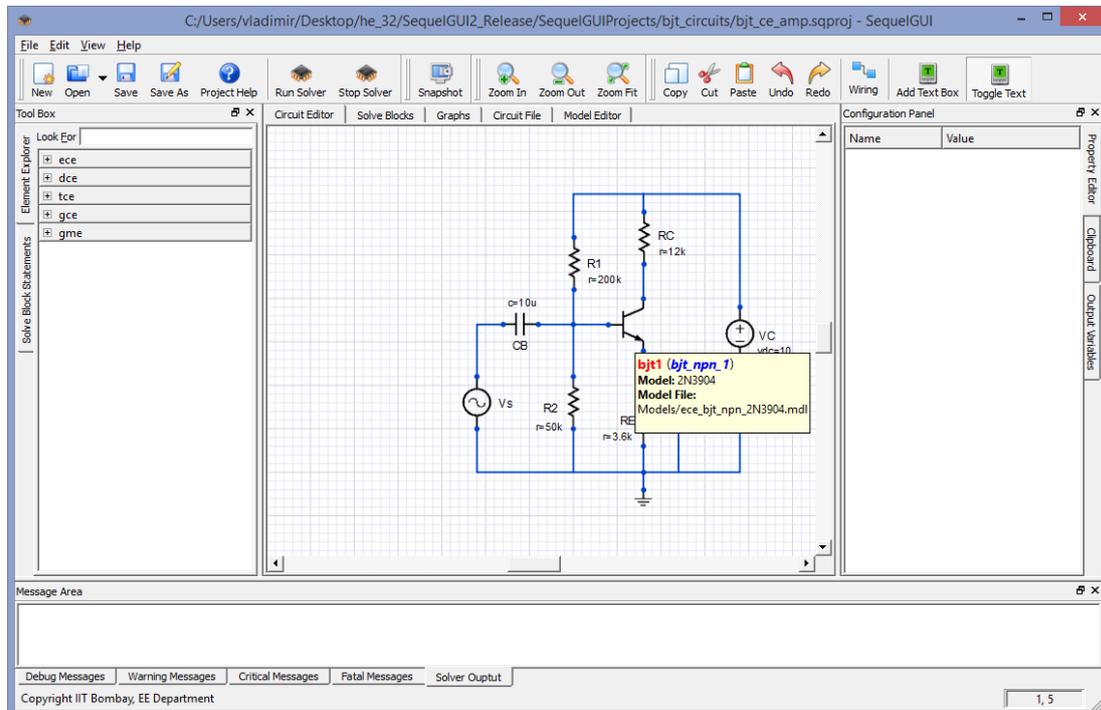


Рис. А.1. Схема усилителя

Запустив моделирования усилителя, посмотрим АЧХ исходного варианта с транзистором 2N3904.

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

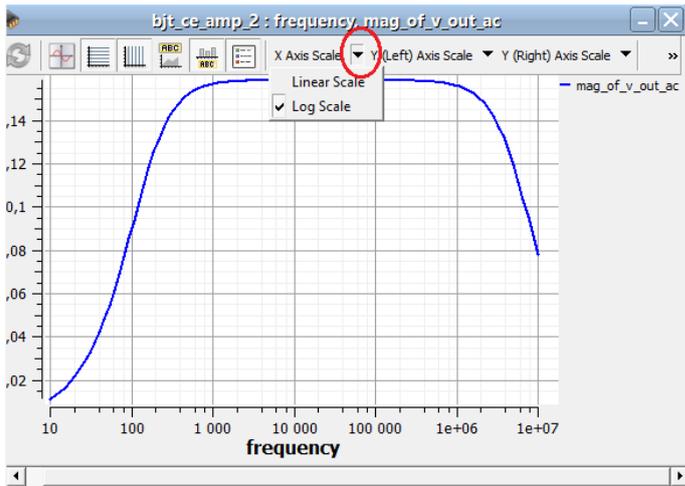


Рис. А.2. АЧХ исходного усилителя (ось x логарифмическая)

Теперь выделим транзистор и щёлкнем правой клавишей мышки по выделению. В выпадающем меню выберем *Assign Model*.

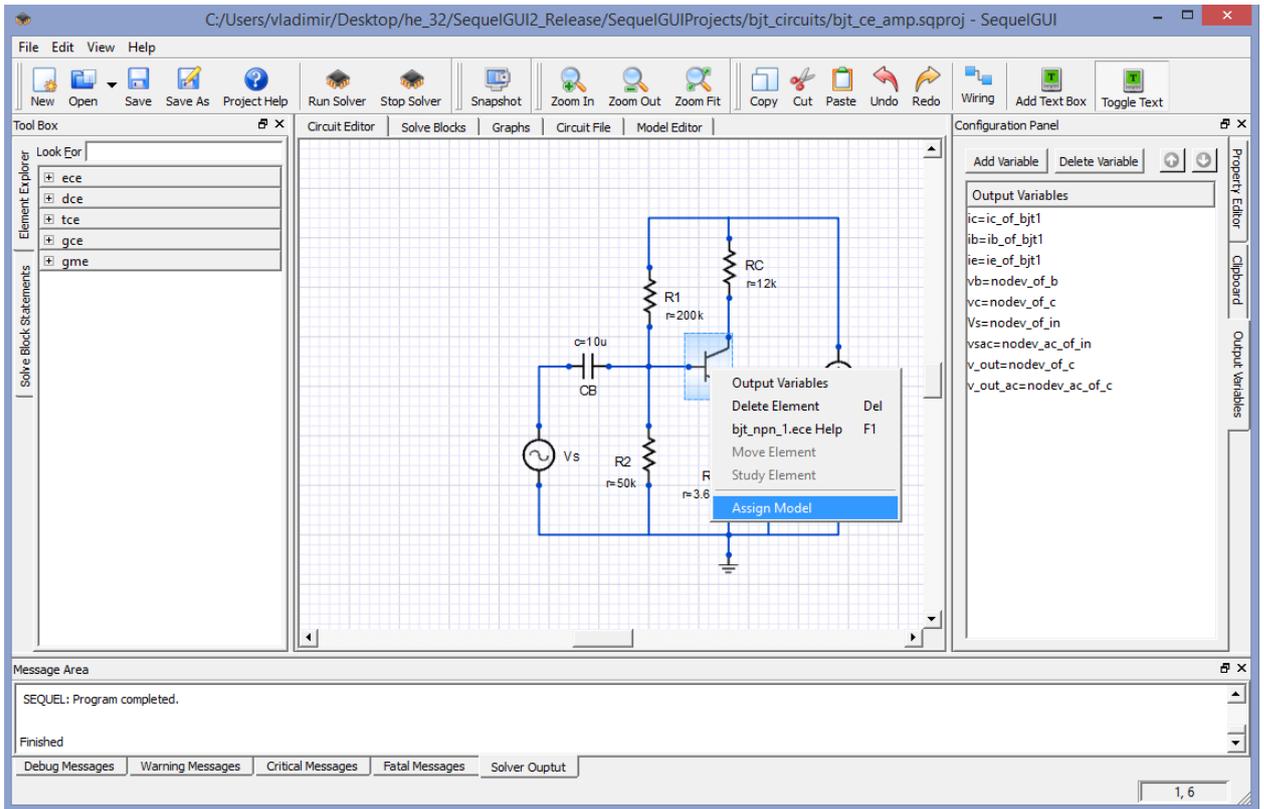


Рис. А.3. Меню выбора модели

В появившемся диалоговом окне добавим модель кнопкой **Add Model**, указав созданный нами файл, а потом удалим прежнюю модель кнопкой **Remove Model**.

Ещё один симулятор электрических цепей Sequel

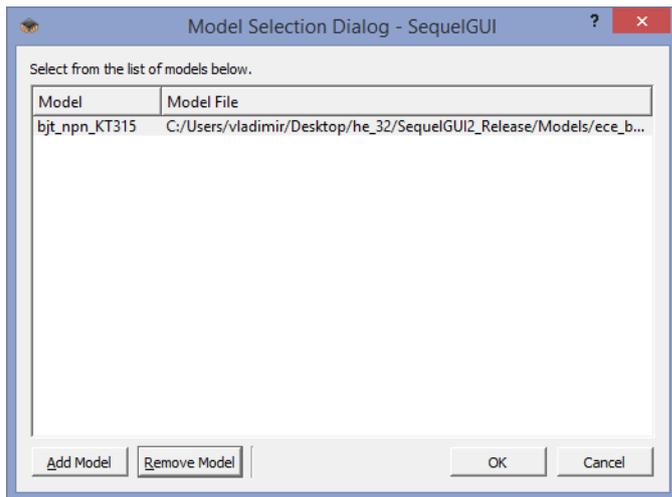


Рис. А.4. Добавление новой модели

На странице *Circuit File* на всякий случай нажмём кнопку **Generate CF**. И запустим *Run Solver*. Можно убедиться, что АЧХ каскада изменилась.

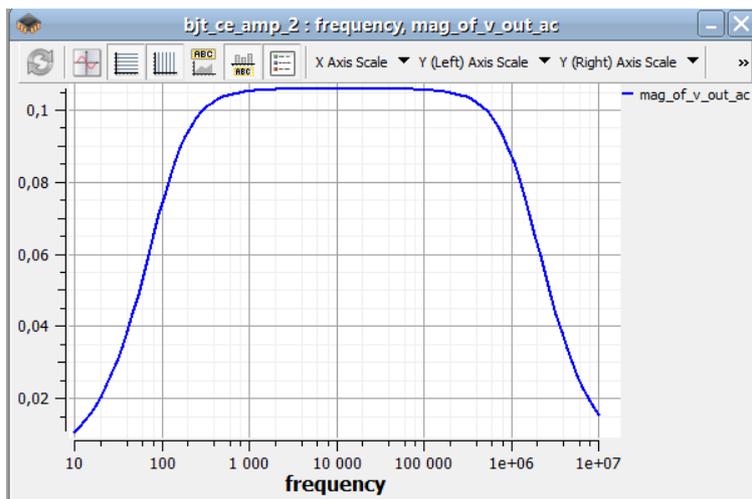


Рис. А.5. АЧХ усилителя с транзистором KT315

Изменение АЧХ я отнёс бы к замене транзистора. Аналогично, с моей точки зрения, можно поступить и другими моделями. Кстати, в этом же примере можно убедиться, что выводятся не только графики, что удобно для наблюдения сигналов, но и таблицы, что тоже бывает нужно.

Variable	Value
ic	0.23211869E-003
ib	0.12568159E-004
ie	-0.24468685E-003
vb	0.14972736E+001
vc	0.72145758E+001

Рис. А.6. Табличная форма представления данных