

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	10
1.1. Общие сведения о работе.....	10
1.2. Программа работы.....	10
1.3. Ход выполнения работы.....	14
1.4. Обработка результатов.....	34
1.5. Содержание отчета.....	35
1.6. Перечень контрольных вопросов.....	35
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.....	37
2.1. Общие сведения о работе.....	37
2.2. Программа работы.....	37
2.3. Ход выполнения работы.....	39
2.4. Обработка результатов.....	52
2.5. Содержание отчета.....	53
2.6. Перечень контрольных вопросов.....	54
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СХЕМ УМНОЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ.....	55
3.1. Общие сведения о работе.....	55
3.2. Программа работы.....	55
3.3. Ход выполнения работы.....	58
3.4. Обработка результатов.....	68
3.5. Содержание отчета.....	69
3.6. Перечень контрольных вопросов.....	69
4. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.....	70
4.1. Общие сведения о работе.....	70

4.2. Программа работы.....	70
4.3. Ход выполнения работы.....	72
4.4. Обработка результатов.....	87
4.5. Содержание отчета.....	88
4.6. Перечень контрольных вопросов.....	88
5. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАССИВНЫХ СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ.....	90
5.1. Общие сведения о работе.....	90
5.2. Программа работы.....	90
5.3. Ход выполнения работы.....	94
5.4. Обработка результатов.....	105
5.5. Содержание отчета.....	108
5.6. Перечень контрольных вопросов.....	109
6. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРНОГО СГЛАЖИВАЮЩЕГО ФИЛЬТРА ТИПА ФЭ.....	111
6.1. Общие сведения о работе.....	111
6.2. Программа работы.....	111
6.3. Ход выполнения работы.....	114
6.4. Обработка результатов.....	122
6.5. Содержание отчета.....	124
6.6. Перечень контрольных вопросов.....	124
7. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРНОГО СГЛАЖИВАЮЩЕГО ФИЛЬТРА ТИПА ФК.....	126
7.1. Общие сведения о работе.....	126
7.2. Программа работы.....	126
7.3. Ход выполнения работы.....	129
7.4. Обработка результатов.....	136
7.5. Содержание отчета.....	137
7.6. Перечень контрольных вопросов.....	138

8. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРНОГО СГЛАЖИВАЮЩЕГО ФИЛЬТРА ТИПА ФШ	139
8.1. Общие сведения о работе	139
8.2. Программа работы	139
8.3. Ход выполнения работы	141
8.4. Обработка результатов	144
8.5. Содержание отчета	145
8.6. Перечень контрольных вопросов	145
9. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ	146
9.1. Общие сведения о работе	146
9.2. Программа работы	146
9.3. Ход выполнения работы	148
9.4. Обработка результатов	157
9.5. Содержание отчета	159
9.6. Перечень контрольных вопросов	160
10. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОСТЕЙШЕЙ СХЕМЫ ПОНИЖАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ	162
10.1. Общие сведения о работе	162
10.2. Программа работы	163
10.3. Ход выполнения работы	165
10.4. Обработка результатов	179
10.5. Содержание отчета	183
10.6. Перечень контрольных вопросов	184
11. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОСТЕЙШЕЙ СХЕМЫ ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ	186
11.1. Общие сведения о работе	186
11.2. Программа работы	187

11.3. Ход выполнения работы	189
11.4. Обработка результатов	197
11.5. Содержание отчета	201
11.6. Перечень контрольных вопросов	202
12. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОСТЕЙШЕЙ	
СХЕМЫ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	
ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ	203
12.1. Общие сведения о работе	203
12.2. Программа работы	204
12.3. Ход выполнения работы	205
12.4. Обработка результатов	213
12.5. Содержание отчета	218
12.6. Перечень контрольных вопросов	218
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	220

ПРЕДИСЛОВИЕ

Организация электропитания и энергоснабжения различной промышленной аппаратуры является актуальной инженерной задачей. В связи с этим при подготовке специалистов по целому ряду инженерных специальностей, в частности по специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов, учебными планами предусматриваются соответствующие дисциплины. При их реализации важное значение имеет формирование у студента или слушателя курсов повышения квалификации и переподготовки базовых знаний о принципах функционирования отдельных узлов вторичных источников электропитания, а также о подходах к выбору параметров входящих в их состав компонентов.

Решить эту задачу может реализация соответствующего практикума. В его рамках для анализа работы типовых узлов, входящих в состав вторичных источников электропитания, предложено использовать специализированное программное обеспечение — симуляторы электронных схем (в англоязычной литературе в отношении таких программ часто применяется аббревиатура SPICE — Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis).

Выбор программного обеспечения для выполнения моделирования представляет собой непростую задачу, так как у преподавателя достаточно часто может возникнуть потребность в обеспечении реализации курса в дистанционном формате или на базе другого Университета, где ряд проприетарного программного обеспечения может оказаться недоступным. В таком случае предпочтение следует отдать свободно распространяемым программам, к числу которых и относится программа Micro-Cap 12¹, разработчиком которой является ныне закрытая компания Spectrum Software². Программа представляет собой мощный инструмент

¹ URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Micro-Cap>.

² URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Spectrum_Software.

для аналогового и цифрового моделирования электрических и электронных цепей с интегрированным визуальным редактором. Последнее является большим достоинством, особенно при реализации дисциплины на младших курсах.

Настоящий практикум включает в себя двенадцать работ, рассчитанных в общей сложности на 32 академических часа аудиторной работы. Первая работа посвящена вопросам нормативно-технического обеспечения электропитания и энергоснабжения и служит для знакомства с интерфейсом программы. Далее обучающийся последовательно знакомится с неуправляемыми и управляемыми выпрямительными схемами, схемами умножения напряжения, пассивными и активными сглаживающими фильтрами. На выполнение каждой из этих работ отводится 2 академических часа.

Далее приводятся работы, направленные на изучение принципов работы параметрического стабилизатора напряжения, а также знакомство с импульсной техникой на примере простейших схем импульсных преобразователей постоянного напряжения: понижающего, повышающего и инвертирующего. На выполнение каждой из этих работ отводится 4 академических часа ввиду значительного объема моделирования.

Описание каждой лабораторной работы предваряет постановка цели и задач исследования, а также программа выполнения работы, содержащая исходные данные для выполнения моделирования по вариантам. Далее приводится исчерпывающее описание порядка выполнения работы с описанием каждого из используемых при моделировании компонентов. Затем приводятся сведения по обработке результатов исследования и рекомендуемое содержание отчета о выполнении лабораторной работы. Завершает описание каждой работы список вопросов к защите.

В зависимости от объема курса, посвященного вопросам электропитания, и рабочей программы дисциплины, возможно выполнять работы настоящего практикума выборочно, а также дополнять их практическими

работами и лабораторными исследованиями, выполняемыми с использованием стендового оборудования.

Пособие рассчитано на читателя, не использовавшего ранее программу Micro-Cap 12, и может быть полезно преподавателям, а также студентам радио- и электротехнических специальностей при выполнении лабораторных и практических работ, а также при подготовке курсовых работ и проектов по соответствующим дисциплинам.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

1.1. Общие сведения о работе

Цель работы заключается в изучении основных показателей качества электрической энергии и методов их определения.

Задачи работы.

1. Изучить основные показатели электрической энергии по ГОСТ 32144 и методы их определения по ГОСТ 30804.4.7.

2. Изучить стандартные напряжения, а также их допустимые отклонения по ГОСТ 29322 и Правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации.

3. Осуществить моделирование источника электрической энергии с характеристикой согласно заданию преподавателя. Снять осциллограмму на выходе моделируемого источника (рис. 1.1).

4. Осуществить расчет показателей качества электрической энергии для рассмотренного источника.

5. Охарактеризовать полученные результаты моделирования и расчетов, сделать общее заключение о том, для чего необходимо осуществлять измерения показателей качества электрической энергии.

1.2. Программа работы

Перед выполнением исследования необходимо изучить понятие качества электрической энергии, его показатели и методы их определения на основе действующей нормативной документации [1, 2]. Кроме того, с использованием нормативной документации [3, 4] необходимо предварительно изучить требования к стандартным напряжениям и их допустимым отклонениям.

Согласно ГОСТ 32144 отклонение частоты, измеряемое в Гц, определяется по формуле (1.1):

$$\Delta f = f_m - f_{\text{ном}}, \quad (1.1)$$

где $f_{\text{ном}}$ — значение основной частоты напряжения электропитания, Гц, измеренное в интервале времени 10 с в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.1.

Согласно ГОСТ 32144 отклонения напряжения рассчитываются с использованием формул (1.2)–(1.3):

$$\delta U_{(-)} = [(U_0 - U_{m(-)})/U_0] \cdot 100; \quad (1.2)$$

$$\delta U_{(+)} = [(U_{m(+)} - U_0)/U_0] \cdot 100, \quad (1.3)$$

где $U_{m(-)}$, $U_{m(+)}$ — значения напряжения электропитания, меньшие U_0 и большие U_0 соответственно, усредненные в интервале времени 10 мин в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.12; U_0 — значение напряжения, равное стандартному номинальному напряжению или согласованному напряжению (согласованное напряжение — напряжение, отличающееся от стандартного номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 29322, согласованное для конкретного пользователя электрической сети при технологическом присоединении в качестве напряжения электропитания, согласно п. 40 ГОСТ 54130-2010).

По ГОСТ 32144 значение коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка $K_{U(n)}$ в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии определяется с использованием формулы (1.4):

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100. \quad (1.4)$$

По ГОСТ 32144 значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (коэффициента нелинейных искажений, THD, отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к средне-квадратическому значению основной составляющей) K_U , % в точке передачи электрической энергии определяется с использованием формулы (1.5):

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100. \quad (1.5)$$

Исследуемая схема (рис. 1.1) содержит 40 генераторов синусоидального напряжения, каждый из которых соответствует своей гармонической составляющей напряжения на выходе моделируемого источника электрической энергии. Каждый генератор синусоидального напряжения характеризуется собственным значением **амплитуды и частоты**. Параметры генераторов приведены в таблице 1.1.

Моделируемый источник электрической энергии соответствует напряжению электрической сети 0,38 кВ. К моделируемому источнику электрической энергии в качестве нагрузки подключается резистор с сопротивлением 1 кОм.

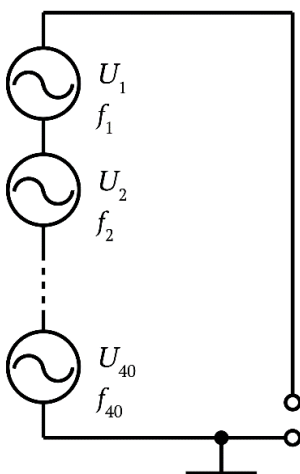


Рис. 1.1

Принципиальная схема моделируемого источника электрической энергии

Таблица 1.1

Исходные данные для моделирования

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
f_i , Гц	49,2	50,3	49,6	50,8	49,9	50,5	49,5	50,1
Номер гармоники i	U_i , В							
1	218,0	232,0	221,0	215,0	227,0	237,0	219,0	240,0
2	37,0	42,0	51,2	25,5	36,2	12,0	15,8	14,1
3	15,0	10,0	12,0	13,5	9,0	11,5	12,0	8,0
4	6,0	8,0	5,0	9,0	5,0	4,0	6,0	8,0

Продолжение табл. 1.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
f_1 , Гц	49,2	50,3	49,6	50,8	49,9	50,5	49,5	50,1
Номер гар- моники i	U_i , В							
5	3,2	4,0	3,6	4,8	5,2	6,3	7,2	4,0
6	6,6	7,0	5,5	6,8	7,0	5,0	5,4	3,6
7	1,5	2,0	1,8	1,7	1,9	1,5	2,2	1,3
8	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	0,8
9	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1
10	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0
11	5,0	6,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0
12	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2
13	3,6	4,0	3,9	4,2	3,8	4,1	3,6	4,5
14	0,2	0,5	0,1	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2
15	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,0	0,0
16	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2
17	3,0	2,1	2,6	3,3	3,8	2,7	3,1	2,2
18	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
19	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1
20	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2
21	0,0	0,8	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2
22	0,9	0,8	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
23	3,2	2,5	2,6	2,8	2,5	2,2	3,0	2,9
24	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
25	0,1	0,2	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
26	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
27	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1
29	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0
30	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2
31	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1
32	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1
33	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0
34	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2
35	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
36	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1
37	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,2	0,0
38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1
39	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2
40	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

1.3. Ход выполнения работы

1.3.1. Моделирование осуществляется с использованием программы MicroCap 12.2.0.5. Дистрибутив программы, представляющий собой архив, распространяется свободно. В случае недоступности сайта разработчика программного обеспечения Spectrum Software (<http://www.spectrum-soft.com/download/download.shtm>), а также его архивированной версии в Website archive (<https://web.archive.org/web/20230106104512/http://www.spectrum-soft.com/download/download.shtm>), дистрибутив можно скачать по постоянно действующей ссылке Облака mail.ru: <https://cloud.mail.ru/public/rsHM/о6MYiUEwD>.

Для запуска программного обеспечения содержимое архива следует распаковать во вновь созданную папку в любой удобной для Пользователя директории. При запуске на персональных компьютерах организаций следует учитывать, что запуск программного обеспечения может осуществляться только из разрешенных Администратором директорий (программа в ходе своего выполнения создает файлы; в случае ограничений со стороны Администратора на запись файлов в директории программное обеспечение будет работать некорректно).

Запуск программного обеспечения осуществляется путем открытия файла «mc12_64.exe» или «mc12.exe» в зависимости от разрядности используемого персонального компьютера.

1.3.2. Добавление и настройка генератора синусоидального сигнала («Sine Source»).

Для добавления на лист схемы генератора синусоидального сигнала («Sine Source») необходимо выбрать соответствующий компонент или с использованием системы меню, или с использованием вкладки «Browse» боковой панели (рис. 1.2). После выбора компонента вместо курсора мыши появится условное графическое обозначение элемента. После выбора желаемого расположения добавление элемента на лист схемы осу-

ществляется нажатием левой кнопки мыши. После добавления элемента на схему открывает окно настройки свойств данного элемента (рис. 1.3).

Так как каждый из 40 генераторов синусоидального сигнала в моделируемой схеме характеризуется собственной амплитудой и частотой, то для каждого из них должна быть создана собственная модель. Для ее создания необходимо нажать в окне свойств элемента кнопку «New».

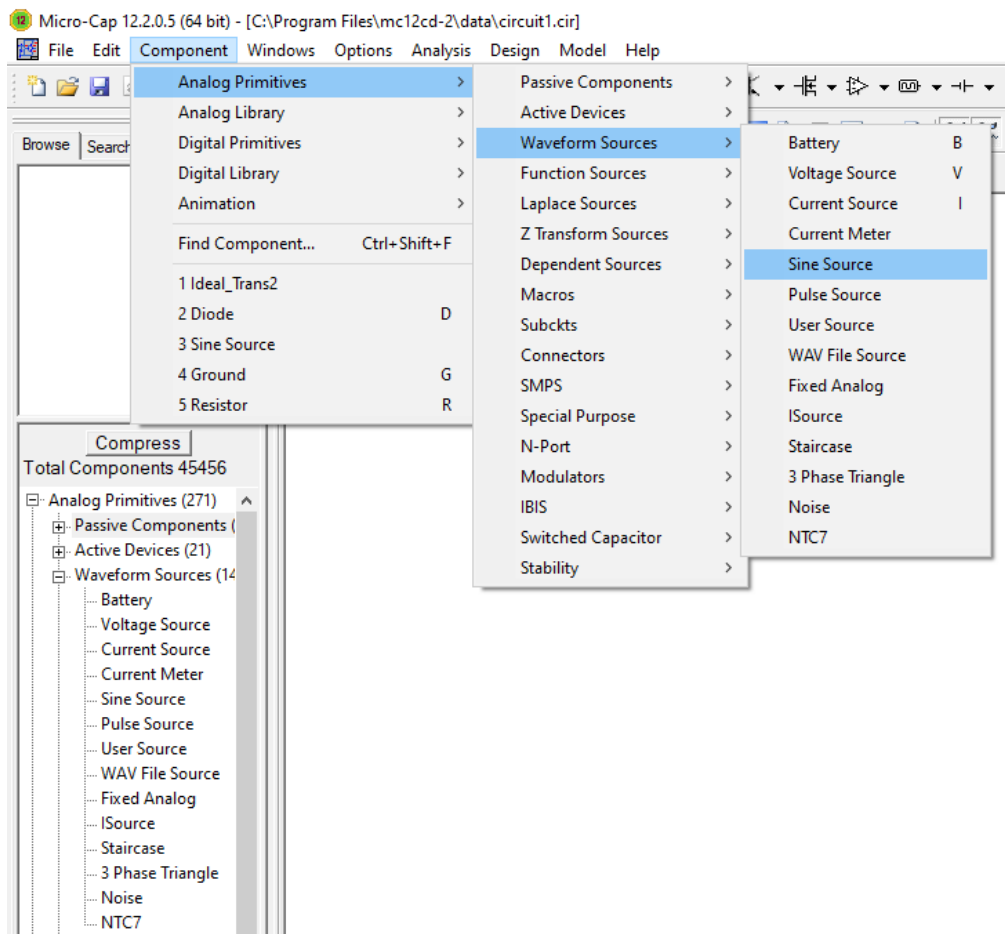


Рис. 1.2

Выбор генератора синусоидального сигнала

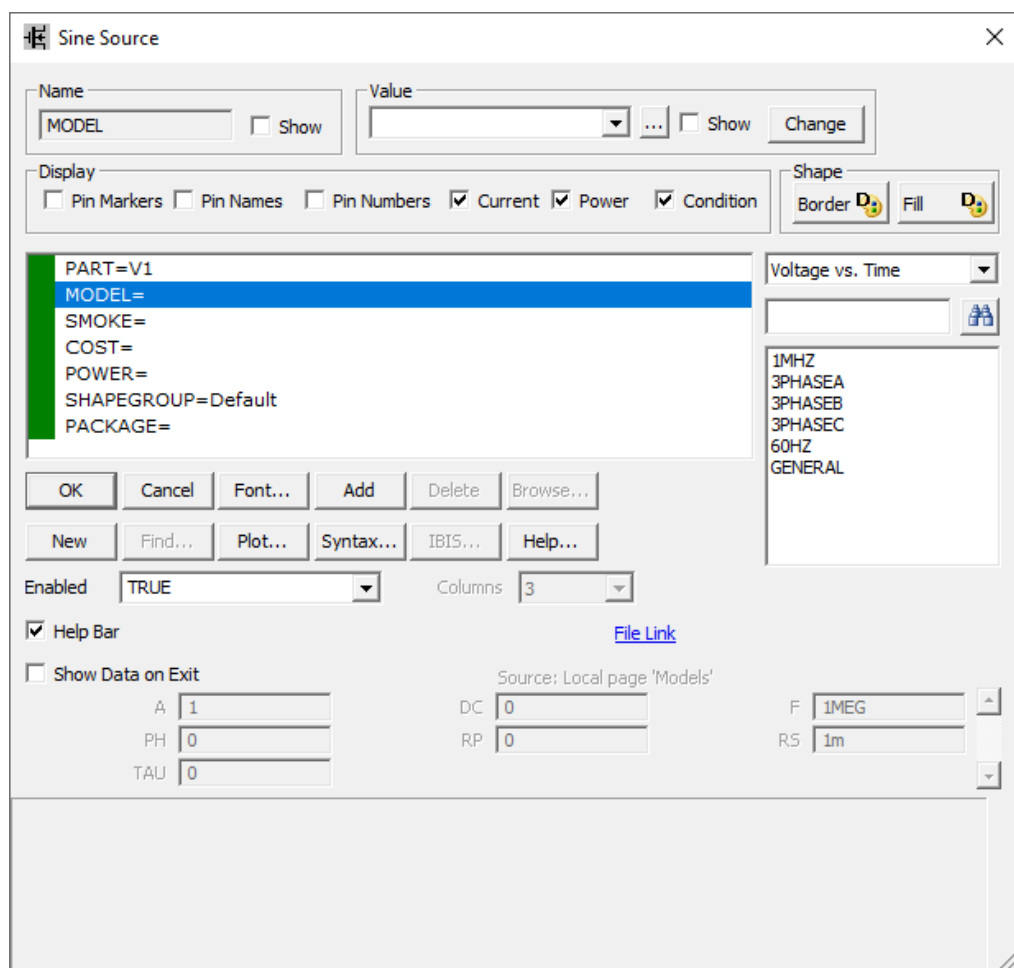


Рис. 1.3

Окно настройки свойств генератора синусоидального сигнала

После нажатия кнопки «New» в поле «Value» появится значение «NewModel1», соответствующее новой модели (для каждой новой модели после NewModel появляется ее порядковый номер) и станут доступными для заполнения поля параметров генератора:

- амплитуды «A»;
- уровня постоянной составляющей напряжения «DC»;
- частоты «F»;
- начальной фазы в радианах «PH»;
- периода повторения затухающего сигнала «RP»;

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru