

Разработка моделей сетевых защитных устройств и нелинейных элементов

Г. Л. Липкин

ОАО «НИИВК» им. М. А. Карцева,
Россия, 117437 Москва, ул. Профсоюзная, 108

Описываются результаты работ по компьютерному моделированию современных сетевых фильтров. Представлены некоторые выводы по результатам сравнения с натурными экспериментами над реальными устройствами. Рассматриваются вопросы различных подходов к созданию моделей нелинейных элементов в программной среде OrCad 10.5.

Средства вычислительной техники находят все большее применение в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. Электронное оборудование современных объектов должно отвечать множеству требований, в том числе и требованию устойчивости к намеренным или ненамеренным электрическим сетевым помехам (НСП). В качестве НСП могут выступать импульсы большой амплитуды с очень крутым фронтом нарастания, опасность которых заключается в возможности выведения из строя (полностью или частично) электронного оборудования, что связано с огромными рисками и возможными негативными последствиями вплоть до отказов технических средств. Исследование вопросов устойчивости средств вычислительной техники к электромагнитным помехам является необходимым и актуальным аспектом развития современной техники. Поэтому не стоит забывать о таких приборах как сетевые защитные устройства (СЗУ), которые в ряде случаев способны существенно повлиять на защищенность от электромагнитных помех аппаратуры пользователя и являются одним из основных эффективных способов борьбы с НСП.

В рамках работ по исследованию различных средств вычислительной техники на устойчивость к помехам в сети электропитания были исследованы СЗУ из числа часто встречающихся на российском рынке. В процессе исследования были восстановлены их электрические схемы, проведено их моделирование, поставлен ряд модельных и натурных экспериментов [1].

Одним из наиболее распространенных средств моделирования электрических схем является среда для схемотехнического моделирования OrCAD, в которой и были созданы модели СЗУ разных производителей. В состав этой среды моделирования входит язык PSpice, который лежит в основе большинства подобных программ и обеспечивает возможности применения элементов системного моделирования.

Модельные электрические схемы различных производителей имеют много общего. Схемы рассматривались при импульсных входных воздействиях высокого напряжения. Напряжение импульса составляло от 0,5 до нескольких киловольт, время импульса — от 200 микросекунд до нескольких миллисекунд, фронты импульсов — не более 5 % от длительности импульсов. Входные воздействия задавались в программе Stimulus, входящей в состав пакета OrCad. Программа позволяет задавать входные воздействия (параметры источников тока или напряжения), в том числе и в кусочно-линейном виде. Данный вариант задания входных воздействий и был использован.

Результаты натурального экспериментального исследования процессов в СЗУ при воздействии на них высоковольтных импульсов подтвердили правильность разработанных моделей, наблюдалось удовлетворительное совпадение расчетных диаграмм высоковольтных импульсов с экспериментальными осциллограммами, расхождение не выходило за пределы 5–15 %. Расхождение легко объясняется тем фактом, что в моделях большая часть элементов идеализирована, а часть не вошла в конечные версии моделей. Рассмотрены подходы к моделированию некоторых нелинейных элементов, таких как нелинейное сопротивление и нелинейная индуктивность. В рамках проведенных работ для большинства нелинейных узлов фильтров (СЗУ) были созданы соответствующие модели. Однако не для всех исследований введение в модель множества нелинейных элементов оправдано, поскольку при некоторых входных воздействиях замена идеализированных элементов на разработанные модели влияет на точность расчетов незначительно, тогда как время расчетов существенно увеличивается. При ряде других входных воздействий данные элементы вносят больший вклад в общую картину, и их введение в модель становится целесообразным. Разработанные модели нелинейных элементов были успешно использованы при моделировании и других устройств.

Проведенные экспериментальное и модельное исследования показали:

- а) снижение амплитуды входного импульса 1,5 кВ происходит до уровней в диапазоне 620–680 В на выходе СЗУ, что объясняется наличием во всех СЗУ варисторов с близкими значениями напряжений ограничения. Указанный уровень напряжения для ряда средств вычислительной техники нельзя считать допустимым;

- б) при вводимой помехе с энергией около 100 Дж в экспериментах наблюдается выход из строя СЗУ одного из типов, что позволяет говорить о слабой защищенности от импульсных перенапряжений с помощью таких устройств. Однако в большом количестве случаев СЗУ действительно помогают если не полностью защитить, то по крайней мере увеличить срок эксплуатации электронного оборудования.

Возвращаясь к вопросу моделирования нелинейных компонентов СЗУ, следует отметить, что одним из результатов исследования является выработка некоторого общего подхода к решению подобных задач, который позволяет существенно увеличить точность моделирования при ряде воздействий. Разработанные методики уже нашли свое применение при моделировании иных блоков с нелинейными элементами.

Для многих СЗУ разработчики выпускают их модели на языке PSpice или уже готовые библиотеки для использования в OrCAD. Кроме того, некоторые элементы в СЗУ достаточно корректно соотносятся с моделями элементов, существующими в стандартных библиотеках OrCAD. Смешанное использование как существующих библиотек моделей, так и разрабатываемых самостоятельно позволяет существенно ускорить процесс разработки требуемой модели. Среда моделирования OrCAD предоставляет такую возможность — «аналоговое поведенческое моделирование» (АПМ) [2]. АПМ предполагает использование каких-либо моделей элементов библиотек OrCAD в качестве абстрактных функциональных блоков, служащих для создания модели искомого элемента. Таким образом, элементы, используемые для создания функционального блока, при самостоятельном использовании могут иметь отдаленное отношение к искомой модели, они также могут быть включены в одной схеме с моделируемым элементом.

Большинство элементов библиотеки АВМ предоставляет возможность работы с различными линейными и нелинейными управляемыми источниками напряжения (E) и тока (G) из библиотеки ANALOG, входящей в состав OrCad. В моделировании электрических и электронных устройств используются идеальные зависимые и независимые источники тока и напряжения. Они имеют бесконечно большую мощность.

Идеальные зависимые источники электрической энергии представляются четырехполюсниками и являются идеальными источниками питания, управляемыми входным сигналом тока или напряжения [3]. При этом величина выходного напряжения или тока в каждый момент времени определяется мгновенным значением входного управляющего сигнала и передаточной функцией четырехполюсника. Помимо этого в библиотеке ANALOG существует элемент (K), который позволяет описывать связь электромагнитных элементов друг с другом с каким-либо коэффициентом.

При создании модели нелинейной индуктивности [4] можно использовать стандартную модель идеальной индуктивности, связанную элемен-

том (К) библиотеки ANALOG с моделью магнитного сердечника CORE. Модель CORE является стандартной моделью библиотек OrCAD. Для моделирования магнитного сердечника с заданными характеристиками необходимо задать параметры модели CORE для использования в описании схемы замещения. Существует возможность рассчитать параметры модели магнитного сердечника средствами программы Model Editor, входящей в состав OrCAD. В OrCAD используется модель магнитного сердечника, предложенная Джилсом и Атертоном [5]. Часть параметров модели определяется геометрическими размерами сердечника, остальные — свойствами магнитного материала.

Наиболее адекватно данная модель описывает ферриты и молибденовые пермаллои. Программа Model Editor на основании экспериментальных данных оценивает параметры, отражающие физические свойства магнитных материалов. Вводится по точкам кривая намагничивания и указывается значение начальной магнитной проницаемости, на основании чего программа рассчитывает параметры его модели. После окончания расчета полученные числовые характеристики используются в схеме замещения как параметры модели CORE.

Для моделирования нелинейного сопротивления [4] эффективно (с точки зрения скорости разработки и гибкости модели) использовать нелинейные зависимые источники напряжения или тока. Так как напряжение — это функция, которая может меняться с течением времени, а мы можем задать эту функцию или набор функций, то, комбинируя элементы библиотек ABM и ANALOG, создание модели сводится к следующим шагам: выбор представления передаточной функции; описание модели.

В силу того что не всегда зависимость тока от напряжения можно представить в виде определенной функции, возможно ее задание ограниченным числом точек. Перед началом моделирования интерпретатор PSpice произведет линейную интерполяцию по этим точкам. Для описания модели нужно выбрать способ генерации тока или напряжения и узел для измерения текущего напряжения или тока по показаниям, в котором необходимо управлять узлом генерации.

Таким образом, приведенное описание показывает, что аналоговое функциональное моделирование, как подход к разработке моделей нелинейных элементов, позволяет использовать модели функциональных блоков для моделирования электрических элементов. При таком подходе схема замещения элемента может состоять из нескольких функциональных блоков и/или моделей электрических элементов.

Создание в среде OrCAD библиотек моделей элементов позволяет использовать в моделировании как вновь созданные, так и уже существующие модели электрических элементов. Следовательно, появляется возможность ускорить процесс разработки различных моделей. Однажды создан-

ные модели легко встраиваются в пользовательские библиотеки элементов и переносятся в прочие проекты. При этом, в отличие от некоторых моделей, поставляемых со стандартной установкой пакета OrCAD, сохраняется возможность легко варьировать параметрами этих моделей. Данный подход может упростить работу по разработкам принципиально новых устройств и исследованию уже созданных при отсутствии предоставляемых разработчиками устройств и элементов моделей.

Литература

1. *Липкин Г. Л.* Моделирование в OrCad 10.5 прохождения высоковольтных импульсов через ряд сетевых защитных устройств // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. 2008. Вып. 4. С.149–154.
2. *Колесников Ю. Б., Сениченков Ю. Б.* Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
3. *Колесников Ю. Б., Сениченков Ю. Б.* Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
4. *Воронков С. О., Липкин Г. Л.* Создание моделей нелинейных элементов в среде OrCad // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. 2008. Вып. 4. С. 136–148.
5. Моделирование на функциональном уровне в OrCAD 9.2 // Компоненты и технологии. Он-лайн версия от 19.10.2000. ([Электронный ресурс]: www.compitech.ru/html/cgi/arhiv/03_03/stat_140.htm).