

Выбор программ

для моделирования кондуктивной помехоэмиссии в питающую сеть силовыми преобразователями

В настоящее время существует множество прикладных программ для моделирования электрических схем, например MATLAB, SwitcherCAD, QUCS, NI Multisim и т. д. С их помощью можно смоделировать большинство схем, поскольку то, чего не может одна моделирующая среда, сможет другая. Таким образом, используя два-три инструмента, можно перекрыть все потребности инженеров-разработчиков. Однако существуют и специфические потребности, к примеру, моделирование помехоэмиссии по цепям питания. Статья посвящена поиску наиболее удобного и точного инструментария, позволяющего исследовать уровень кондуктивной помехоэмиссии силовыми преобразователями в питающую сеть.

Виталий Скворцов, к. т. н.

sva@ie.tusur.ru

Константин Низаметдинов

morbisignare@me.com

Поскольку вопрос электромагнитной совместимости (ЭМС) все острее встает перед разработчиками при проектировании электронных устройств (ЭУ), появляется необходимость в программном обеспечении (ПО), позволяющем облегчить задачу такого рода. Исследования на модели ЭУ проводить гораздо дешевле, чем на опытном образце, поскольку:

- для проведения испытаний не требуется дорогостоящее оборудование и квалифицированный персонал;
- на стадии проектирования есть возможность уменьшить уровень электромагнитных помех (ЭМП) ЭУ схемотехническими методами, не прибегая к дополнительным, усложняющим схему многозвенным фильтрам;
- всегда существует вероятность выхода из строя ЭУ в процессе испытаний.

Условия эксперимента

В качестве объекта исследования был взят непосредственный одноключевой преобразователь повышающего типа (рис. 1). В качестве метода исследования программного продукта на адекватность

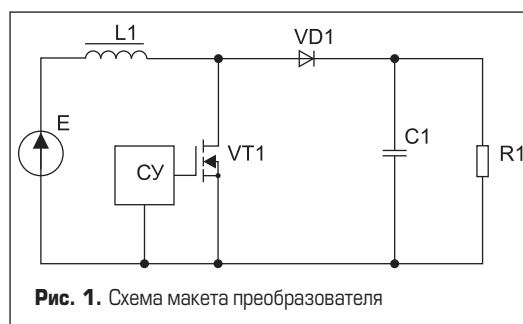


Рис. 1. Схема макета преобразователя

моделирования выбран метод сопоставления результатов исследований натурного образца и результатов моделирования аналогичной схемы в соответствующем программном пакете. Собранный по рис. 1 макет преобразователя исследовался на уровень кондуктивных электромагнитных помех по методике ГОСТ Р 51318.15-99, измерительные приборы соответствуют ГОСТ Р 51319-99.

Преобразователь такого класса может работать в режимах непрерывного и прерывистого тока дросселя. Исследования были проведены на макете в режиме прерывистого тока. Для анализа частотной области радиопомех исследования были проведены при частотах работы преобразователя 20 и 50 кГц. При этом величина индуктивности L_1 задавалась как режим работы преобразователя, так и значение коммутируемого тока (таблица). В процессе экспериментов при изменении параметров схемы неизменной оставалась мощность нагрузки. Диаграммы рис. 2 иллюстрируют режим прерывистого тока преобразователя при токе коммутации 1,92 А.

Чтобы получить результаты моделирования ЭМП, близкие к данным, полученным в ходе выполнения экспериментов, необходимо учитывать многие паразитные параметры электрической схемы и ее компонентов, такие как емкости переходов в полупроводниковых элементах, времена рассасывания неосновных носителей, сопротивление каналов, емкости и индуктивности проводов и дорожек на печатных платах

Таблица. Параметры значений частоты и индуктивности

Параметр	Значение		
Ток коммутации $I_{кр}$, А	4	2,3	1,92
Частота преобразования $f_{пр}$, кГц	20	20	50
Индуктивность дросселя L_1 , мкГн	50	85	50
Мощность нагрузки $P_{н}$, Вт	≈ 25 Вт		

и т. д. Однако основными источниками ЭМП в электронных устройствах являются ключевые переключающие компоненты: транзисторы и диоды. В процессе исследований были учтены следующие паразитные параметры компонентов: омическое сопротивление затвора, истока и стока; пороговое напряжение; максимальная и минимальная нелинейная емкость затвор–сток; емкость затвор–исток; емкость перехода внутреннего диода; ток насыщения внутреннего диода и его сопротивление; суммарный заряд затвора и т. д. Значения этих параметров задавались в соответствии с параметрами реальных компонентов макета.

На основании описанного в литературе функционала были выделены три программных продукта: MATLAB, NI Multisim и SwitcherCAD. В каждом из них было проведено исследование схемы (рис. 1) в одном из указанных ранее режимов, результаты моделирования сопоставлялись с результатами исследования макета в этом режиме как во временной, так и в частотной области.

Полученные результаты

MATLAB — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений. Среда моделирования обладает довольно обширными возможностями для проведения различных исследований электрических схем, существует возможность выбора метода решений дифференциальных уравнений. Однако есть и недостатки, к которым относится значительное время моделирования, невозможность использования реальных компонентов для анализа коммутационных процессов, а также необходимость покупки лицензии. Моделирование в программном пакете MATLAB не позволило получить результаты, сопоставимые с экспериментальными данными, ни во временной, ни в частотной области.

NI Multisim (ранее MultiSIM) представляет собой пакет из программ для моделирования электронных схем, а также построения электронных схем и их последующей разводки. Данная моделирующая среда имеет большую библиотеку реальных электронных компонентов и электронных средств измерения. Это позволяет достичь наиболее достоверных результатов. К существенному недостатку

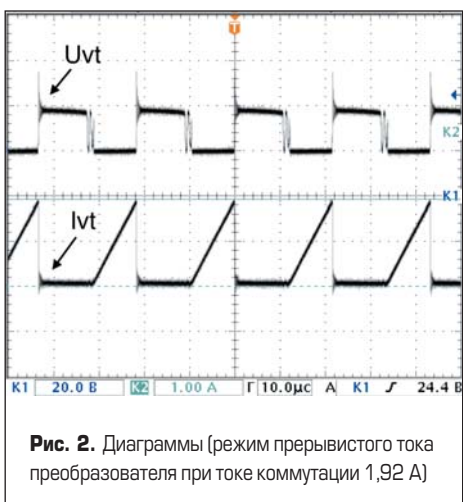


Рис. 2. Диаграммы (режим прерывистого тока преобразователя при токе коммутации 1,92 А)

можно отнести высокую стоимость программы, однако возможно приобрести бесплатную студенческую версию с ограничением в использовании до 50 элементов на схеме. Результаты моделирования повышающего преобразователя NI Multisim позволяют го-

ворить о сходимости результатов с точностью 5% во временной области. Результаты моделирования в частотной области не коррелируют с экспериментальными данными.

SwitcherCAD/LTSpice — программа, разработанная компанией Linear Technology,

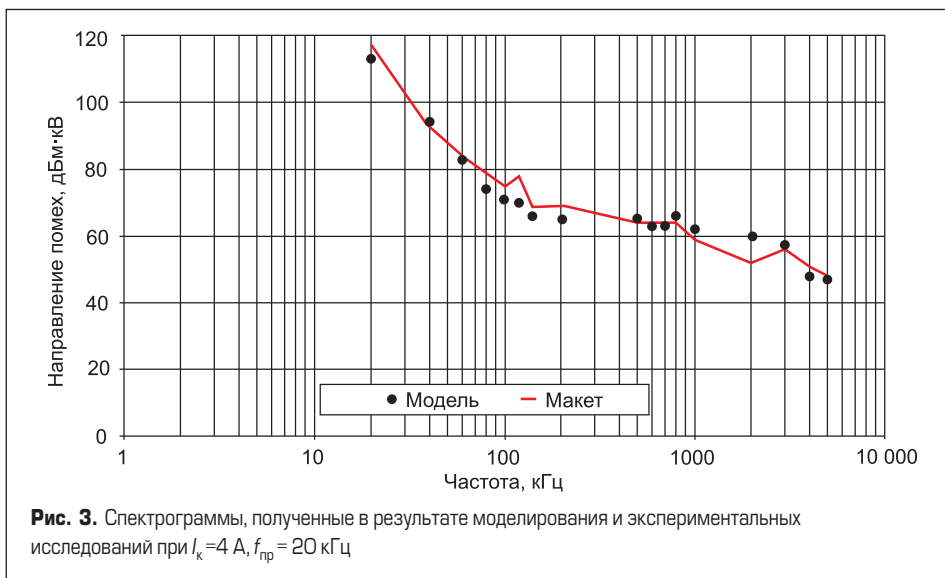


Рис. 3. Спектрограммы, полученные в результате моделирования и экспериментальных исследований при $I_k=4$ А, $f_{пр} = 20$ кГц

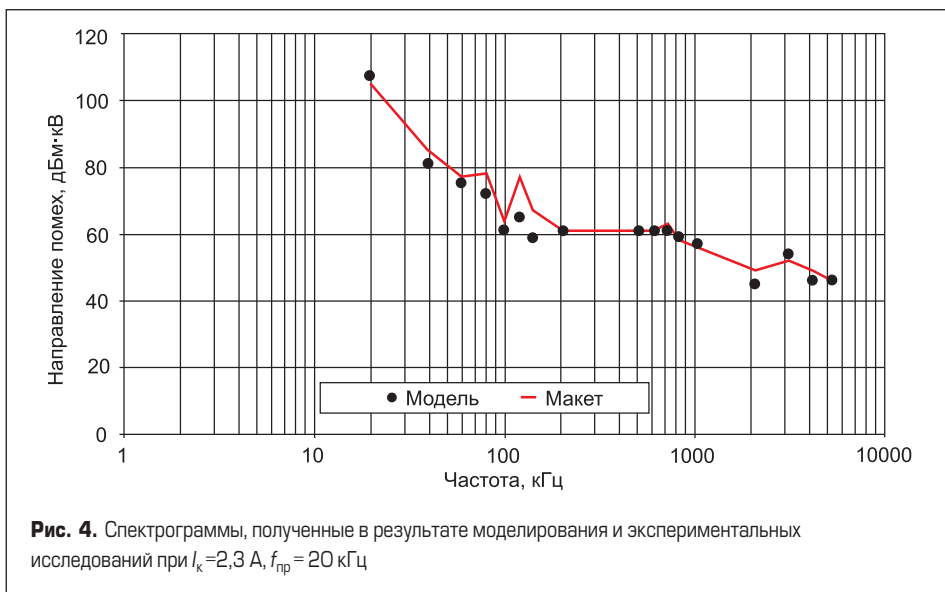


Рис. 4. Спектрограммы, полученные в результате моделирования и экспериментальных исследований при $I_k=2,3$ А, $f_{пр} = 20$ кГц

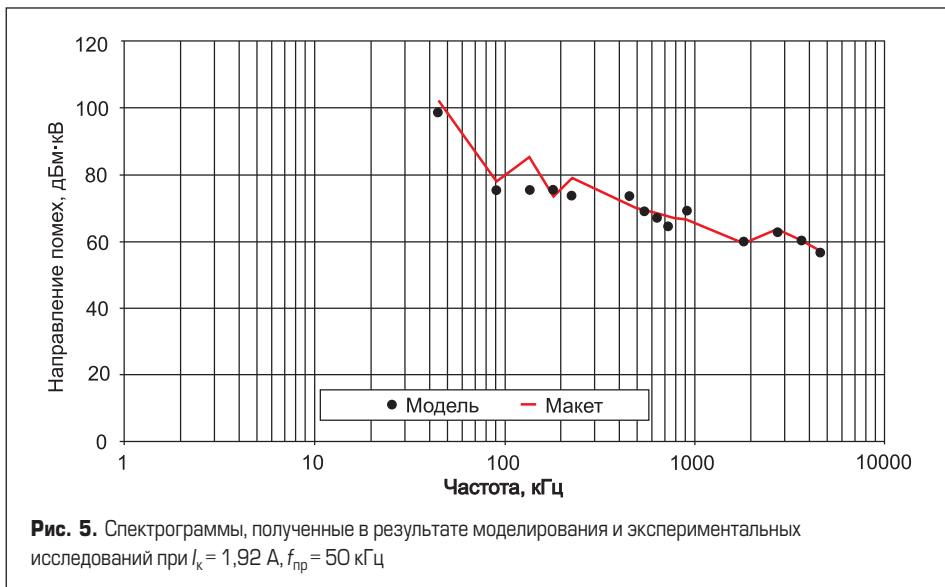


Рис. 5. Спектрограммы, полученные в результате моделирования и экспериментальных исследований при $I_k = 1,92$ А, $f_{пр} = 50$ кГц

предназначенная для проектирования электронных цепей (аналоговых и цифровых) и анализа их параметров в различных режимах. Средства программы позволяют строить электронные цепи средней и большой сложности за счет создания подцепей. В отличие от рассмотренных ранее программ, SwitcherCAD характеризуется более высокой скоростью моделирования и меньшим объемом требуемого дискового пространства. Также достоинством программы является ее свободное распространение (freeware). К недостаткам SwitcherCAD следует отнести «менее дружелюбный» интерфейс, а также ограниченное количество собственных библиотек элементов. При использовании данного пакета удалось получить результаты моделирования и натурных испытаний во временной области с точностью до 5%.

Сравнительные результаты моделирования напряжения помех на входе устройства и экспериментов в частотной области приведены на рис. 3–5.

В процессе моделирования SwitcherCAD строит спектрограммы в дБВ, причем, не пиковых значений, а RMS (среднеквадратичных). Для их соотнесения с экспериментальными, данные необходимо перевести в дБмкВ. Полученные результаты позволяют говорить о сходимости данных моделирования в частотной области с данными экспериментов.

Выводы

В ходе проведенной работы были протестированы моделирующие программы на возможность измерения кондуктивной помехоэмиссии. Полученные данные не от-

ражают всей специфики реальных испытаний, однако результаты моделирования в SwitcherCAD полностью удовлетворяют предварительным (оценочным) исследованиям. По результатам исследования можно рекомендовать SwitcherCAD как среду наиболее простую, понятную и адекватно справляющуюся с поставленной задачей. К тому же, согласно [1], SwitcherCAD является наиболее быстрой средой для расчета.

Литература

1. Востриков А. В., Абрамешин А. Е. Тестирование коммерческого программного обеспечения для моделирования и анализа эквивалентных электрических схем космических аппаратов // Технологии ЭМС. 2012. № 1(40).