

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА И ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ЕГО МОДЕЛИ

*Дмитриев Д.В., Коновалов Д.А, Ярославцев Е.В.
Томский политехнический университет, г. Томск
Научный руководитель Ярославцев Е.В., к.т.н., доцент кафедры
промышленной и медицинской электроники*

В настоящее время для питания различных электрофизических установок широко применяются высокочастотные преобразователи постоянного напряжения (ППН), выполненные на основе мостовой схемы последовательного резонансного инвертора [1]. Благодаря «мягкой» коммутации ключей силовой части, производимой в моменты перехода квазисинусоидального тока, потребляемого от первичного источника, через нулевое значение, такие устройства обладают пониженными динамическими потерями и малым уровнем помех, генерируемых в питающую сеть. Принцип действия и схемотехника последовательных резонансных инверторов относительно просты, однако при практической реализации устройства зачастую возникают проблемы с выбором оптимальных значений параметров компонентов силового колебательного контура, обеспечением устойчивой работы преобразователя и высокого качества выходного напряжения, особенно при большом диапазоне изменения питающего напряжения и сопротивления нагрузки.

Известно, что для снижения материальных и временных затрат на разработку и настройку реальных устройств силовой электроники целесообразно предварительно провести исследования модели выбранной схемы путем имитационного моделирования в хорошо зарекомендовавшем себя пакете PSpice.

Цель работы: разработка модели высокочастотного ППН на основе последовательного резонансного инвертора и оценка её адекватности путём сравнения результатов моделирования с результатами аналитических расчётов и данными, полученными при проведении экспериментальных исследований.

В ходе работы были проведены аналитические расчёты для определения основных параметров схемы (см. таблицу 1) с учетом следующих исходных данных:

$U_{\Pi}=10-200$ В – напряжение питания инвертора;

$U_{\Pi}=1250$ В –напряжение на выходе выпрямителя (на нагрузке);

$R_{\Pi}=2600$ Ом – сопротивление нагрузки;

$f_0=25$ кГц – резонансная частота контура (рабочая частота инвертора);

По известной методике [2] были рассчитаны параметры элементов последовательного резонансного контура и коэффициент трансформации трансформатора n :

$C_k=0,231$ мкФ – ёмкость конденсатора резонансного контура;

$L_k=155$ мкГн – индуктивность дросселя резонансного контура;

$n=W_2/W_1=6,6$.

Моделирование. В среде PSpice была разработана модель проектируемого источника питания, представленная на рис. 1.

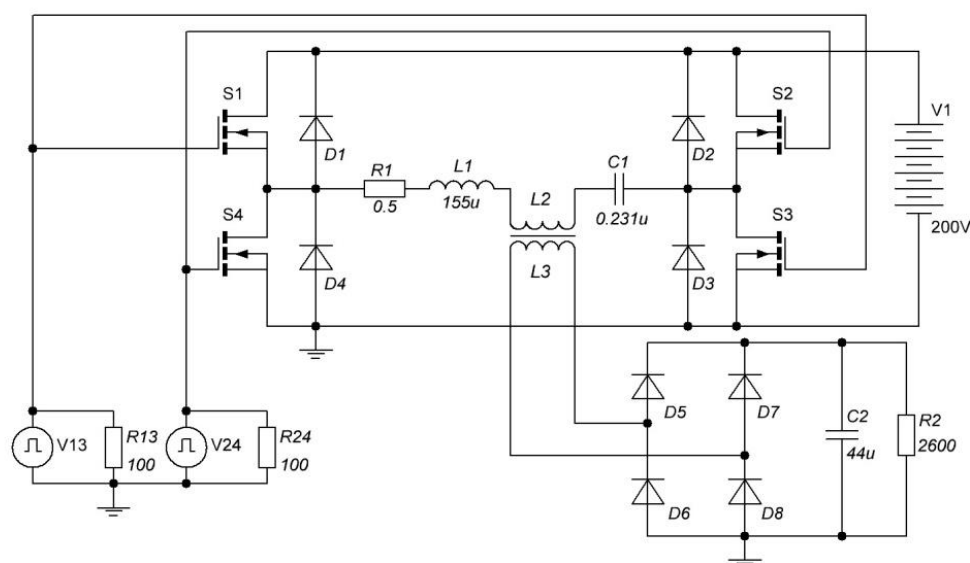


Рис. 1. Схема модели резонансного преобразователя в программе PSpice

Все элементы модели являются стандартными компонентами программы PSpice. Инвертор питается постоянным напряжением 10-200 В. В качестве силовых ключей использованы модели MOSFET-транзисторов, которые переключаются прямоугольными импульсами управления с частотой 25 кГц, поступающими от источников V13 и V24. Между выключением одной пары транзисторов (S1–S3) и включением другой (S2–S4) для исключения сквозных токов введена временная задержка $t_s=0,5$ мкс. Трансформатор представлен двумя катушками индуктивности L_2 и L_3 , связанными между собой коэффициентом трансформации, равным 6,6. Выходное напряжение трансформатора выпрямляется диодным мостом D5–D8, фильтруется конденсатором C2 и поступает на нагрузку R2.

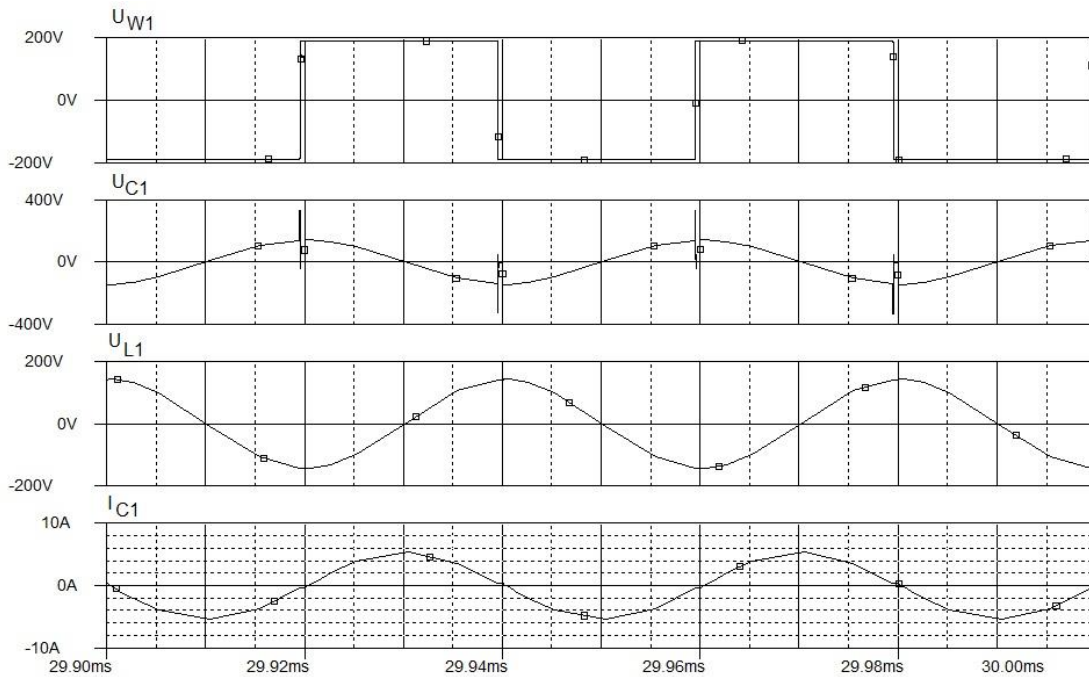


Рис. 2. Диаграммы токов и напряжений на элементах модели

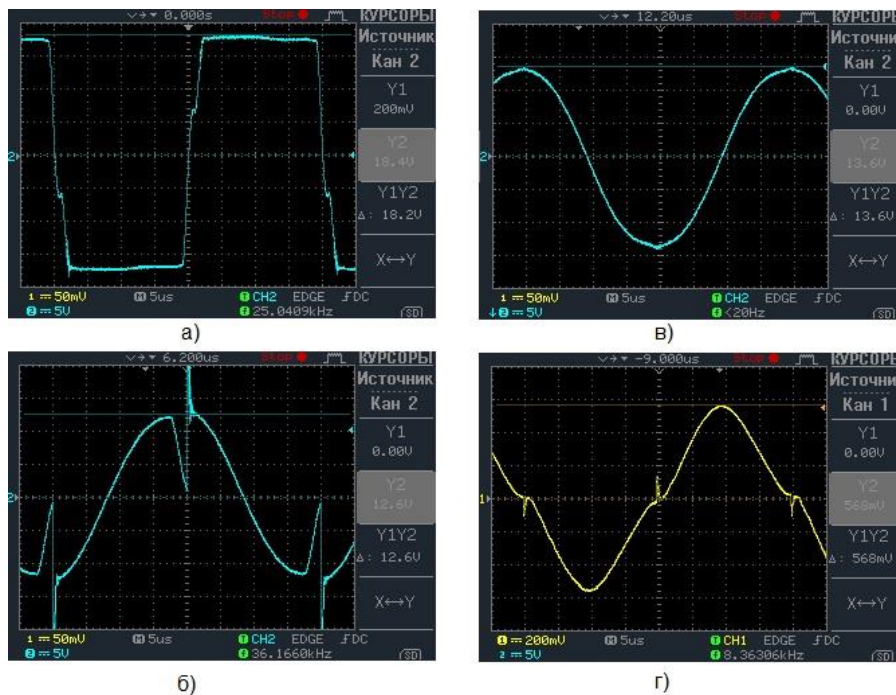


Рис. 3. Осциллограммы токов и напряжений на компонентах инвертора

Для экспериментальной проверки результатов аналитического расчёта и результатов моделирования была собрана и исследована реальная установка источника питания с параметрами, соответствующими техническому заданию. Формирование импульсов управления транзисторами осуществлялось с помощью

микроконтроллера *STM32F103*, питание инвертора производилось от лабораторного источника питания с регулируемым выходным напряжением. Силовые транзисторы – *IRG4PH50UD*, контурный конденсатор – К78-2, 0.231 мкФ. Дроссель контура выполнен на кольце КП 36x25x7.5 из МО-пермалля типа МП-140, число витков $W=49$, провод 2 мм. Силовой трансформатор намотан на кольце из феррита М2000НМ1-36, обмотки: $W_1=46$ витков, провод 2 мм, $W_2=293$ витка, провод 0.5 мм. В качестве нагрузки были использованы последовательно включенные бытовые лампы накаливания (6 шт.×90 Вт). Измерения параметров переходных процессов проводились с помощью цифрового вольтметра В7-38 и осциллографа Tektronix TDS 3012В (погрешность измерений – не более 2%).

Результаты расчётов, моделирования и экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значение параметра в установившемся режиме	Результат моделирования	Результат эксперимента	Погрешность моделирования, %
Входное напряжение инвертора, В	200	202	1
Средний ток инвертора, А	3,3	3,27	1
Максимальное напряжение на вторичной обмотке, В	1250	1245	0,8
Максимальный ток нагрузки, А	0,48	0.49	2
Амплитудное напряжение на конденсаторе резонансного контура, В	145	140	3,5
Выходное напряжение, В	1250	1240	0,8
Мощность установки, Вт	600	620	3,2

Выводы

1. Результаты моделирования отличаются от результатов эксперимента не более чем на 3,5% для всех оцениваемых параметров, что свидетельствует об адекватности разработанной модели инвертора.

2. Модель правомерно использовать для проведения углубленных исследований по усовершенствованию созданного ППН.

Список информационных источников

1. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с.

2. Белов Г.А. Высокочастотные тиристорно-транзисторные преобразователи постоянного напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.: ил.

ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ ЛЬДА

Журавлев А.Е.

Томский политехнический университет, г. Томск

*Научный руководитель: Пестунов Д.А., к.т.н., доцент кафедры
промышленной и медицинской электроники*

При изучении углеродного цикла во внутренних водоемах в зимний период была замечена связь между эмиссией метана и углекислого газа из озера в атмосферу с образованием и вертикальными перемещениями ледового покрова. Вероятно, ледообразование, которое изменяет химический состав воды у нижней стенки, а также то, что при шевелении льда в его структуре образуются поры, сказывается на газообмене между озером и атмосферой.

Для параметризации интенсивности потоков газов необходимо следить за вертикальными перемещениями ледового покрова. Для этого необходимо создать устройство, которое позволит следить за изменениями толщины ледяного покрова.

На практике измерение поступательных перемещений коим и является изменение толщины льда можно проводить различными способами. Изначально был выбран метод оптического измерения, но при лабораторных испытаниях выяснилось, что данный метод не подходит для измерения расстояния до оптически-прозрачных поверхностей (стекло, лед), т.к. лазерный луч в некоторых случаях проходил через объект контроля и показывал значение расстояния до объекта, находящегося за объектом контроля.

Результаты измерений с помощью средств радиолокационного зондирования, которые измеряют энергию отраженного радиолокационного сигнала, определяемую отражательной способностью объектов или эффективной площадью рассеяния, сильно зависят от комплексной диэлектрической проницаемости льда, рельефа поверхности и влажности, а так же от параметров аппаратуры наблюдения[1].