

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕКУПЕРИРУЮЩЕГО ТРЕХФАЗНОГО ТРАНЗИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Е.Г. Бородацкий

ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы», г. Екатеринбург

В настоящее время полупроводниковые преобразователи находят преимущественное применение в качестве силового регулирующего элемента электропривода. Одним из примеров служит преобразователь частоты типа ПЧ-ТТЕТ-32-690-50-УХЛ4 [1-3]. Особенностью преобразователя является наличие двух одинаковых транзисторных трехфазных мостов, как во входной цепи, так и в выходной цепи. Входной мост выполняет функции выпрямителя и инвертора, ведомого сетью. Выходной мост - автономного инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией. В отличие от широко распространенного преобразователя частоты с входным неуправляемым диодным выпрямителем, такое решение обеспечивает работу электропривода, как в двигательном режиме, так и в тормозном режиме с рекуперацией энергии в питающую сеть.

При проведении испытаний опытных образцов преобразователей на промышленной установке была выявлена необходимость дополнительного исследования режимом работы входного транзисторного моста. В качестве метода исследования выбрано математическое моделирование преобразователя в программе MicroCAP. Выбор программного продукта обусловлен следующими особенностями:

- поддержка хорошо известных специалистам и широко применяемых Pspice-моделей электронных устройств;
- высокие функциональные возможности программного продукта при расчетах и анализе полученных данных;
- наличие доступной для бесплатного пользования демо-версии программ, которая использовалась для выполнения вычислений.

Схемотехническая модель силовой части рекуперирующего трёхфазного транзисторного преобразователя изображена на рис. 1. Модель состоит из следующих компонентов: входного реактора с индуктивностью LR1-LR3; диодов D1-D6 неуправляемого выпрямителя; управляемых ключей S1-S6, имитирующих работу БТИЗ - транзисторов инвертора; зависимые источники напряжения EG1-EG6 отражающие работу системы управления преобразователя; формирующие RC – цепочки с сопротивлением RS и емкостью CS, включенные параллельно каждому ключу; снабберные конденсаторы Cd1-Cd3; емкостного фильтра в звене постоянного тока Cd4 с разрядным резистором R7; паразитных индуктивностей соединительных шин и проводов L1-L6; двух источников тока I1 и G1, задающих нагрузку преобразователя по уровню и во временной области соответственно. Параметры ключей и диодов соответствуют параметрам БТИЗ-транзистора и обратного диода модуля типа SKM200GB176D производимых компанией Семикрон:

.MODEL SKM200_DIODE D (BV=1700 IBV=11m IS=1m RL=170Meg RS=4m);

.MODEL S_VT VSWITCH (ROFF=10Meg RON=10m VOFF=0.8 VON=3.5).

На входы UA, UB, UC, подается трёхфазное синусоидальное напряжение от источника питания с линейным напряжением 660 В, внутренним сопротивлением 0,136 Ом и индуктивностью 0,1 мГн.

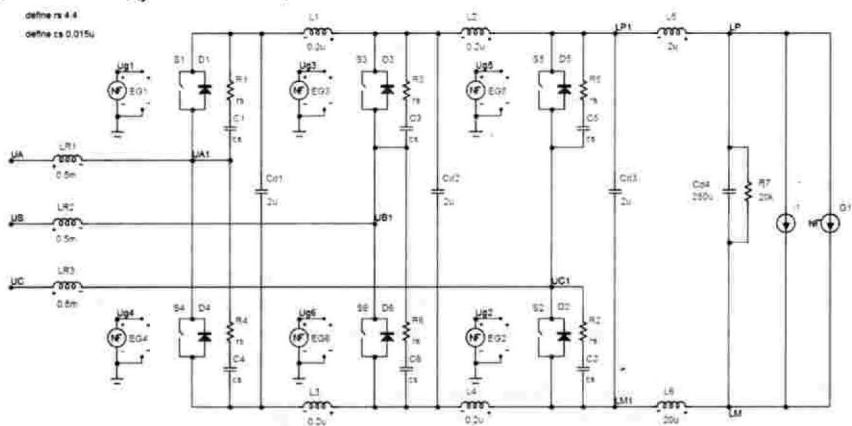


Рисунок 1 – Схематехническая модель силовой части преобразователя

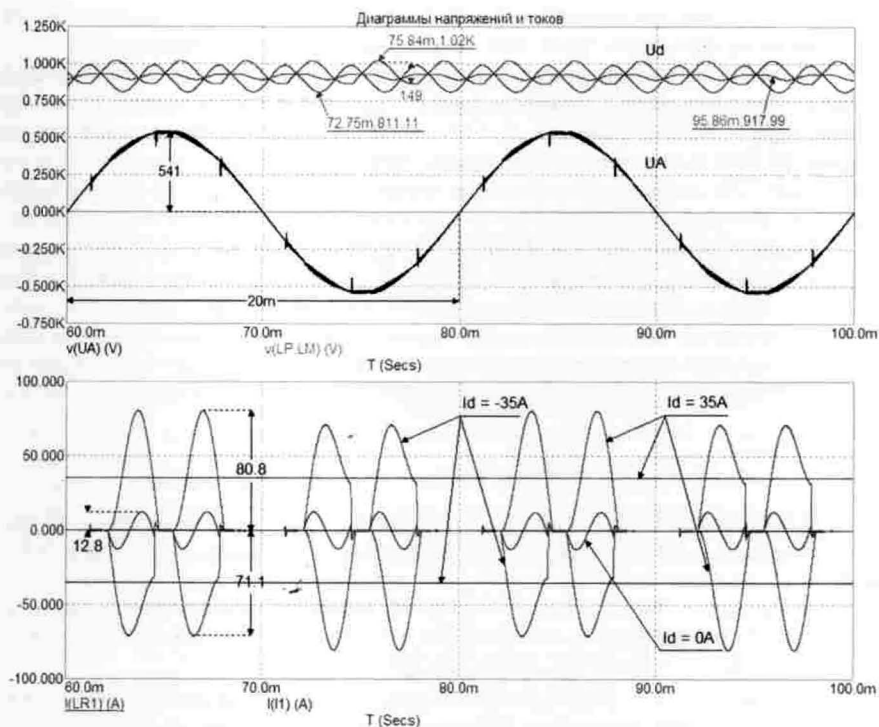


Рисунок 2 – Расчётные диаграммы напряжений и токов на входе и выходе преобразователя

Вычисления выполнялись в режиме Transient Analysis (расчет переходных процессов). Данный режим позволяет строить зависимости от времени различных переменных модели схемы и наблюдать их в графическом окне также, как и на экране осциллографа. При запуске режима были установлены следующие параметры расчета:

- Time Range: 100m (время расчёта 100 мс);
- Maximum Time Step: $1e-7$ (максимальный шаг по времени 0,1 мкс);
- Run Options: Normal (управление выдачей результатов расчетов: результаты расчетов не сохраняются);
- State Variables: Zero (установка начальных условий: нулевые начальные условия для потенциалов всех аналоговых узлов и токов через индуктивности).

Помимо этого должны быть сняты галочки со следующих пунктов: Operating Point; Operating Point Only; Auto Scale Range и Accumulate Plots.

Диаграммы напряжений и токов полученные при расчете по разработанной модели для трёх значений тока нагрузки: 0 и ± 35 A, показаны на рис. 2.

В верхней части изображены диаграммы фазного напряжения фазы A (UA) и напряжения в выходной цепи выпрямителя (выпрямленное напряжение Ud). Расче-

ты показывают, что при номинальной нагрузке амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения не превышает 150 В (16% от средневыпрямленного напряжения).

В нижней части приведены диаграммы входного и выходного токов. В режиме выпрямителя входной ток направлен синфазно с входным напряжением. В режиме рекуперации – противофазно. В режиме холостого хода происходит перетекание энергии из сети в конденсатор фильтра и обратно. Амплитуда импульсов тока не превышает 17% от амплитуды тока при номинальной нагрузке. Из-за небольшой индуктивности входного реактора ток во всех режимах имеет прерывистый характер.

Разработанная модель помогла глубже понять процессы, протекающие в схеме преобразователя, скорректировать алгоритм управления транзисторами, оценить влияние снабберных конденсаторов на уровень перенапряжений в схеме. Результаты моделирования подтвердили возможность построения рекуперирующих в сеть преобразователей частоты с входным реактором, имеющим небольшую индуктивность. В целом это позволило повысить надежность работы преобразователя частоты.

Список использованных источников

1 Бородацкий Е., Васильев П., Кривовяз В. Частотно-управляемый электропривод перемещения самоходного грузового вагона. – Силовая электроника, 2011, № 5.

2 Бородацкий Е.Г., Васильев П.А. Преобразователь частоты для самоходного вагона горнопроходческого комплекса/ Материалы XI межд. науч.-практ. конф. «Проблемы карьерного транспорта» – Екатеринбург: УрО РАН, 2011.

3 Бородацкий Е.Г. Преобразователь частоты для электропривода передвижения самоходного грузового вагона. Сб. докл. X межд. науч.-практ. конф. " Проблемы и достижения в промышленной энергетике". - Екатеринбург: ЗАО «Уральские выставки», 2011.