

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

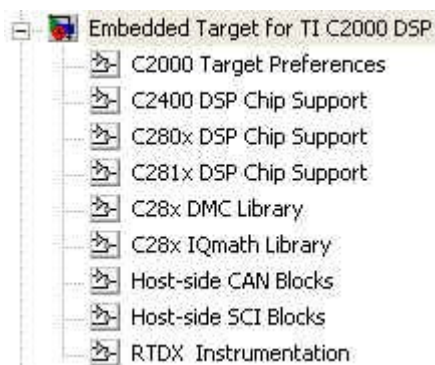
Карасев А. В.

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, г.Саранск
Тел. +7 (8342) 290601 E-mail: a0k@list.ru

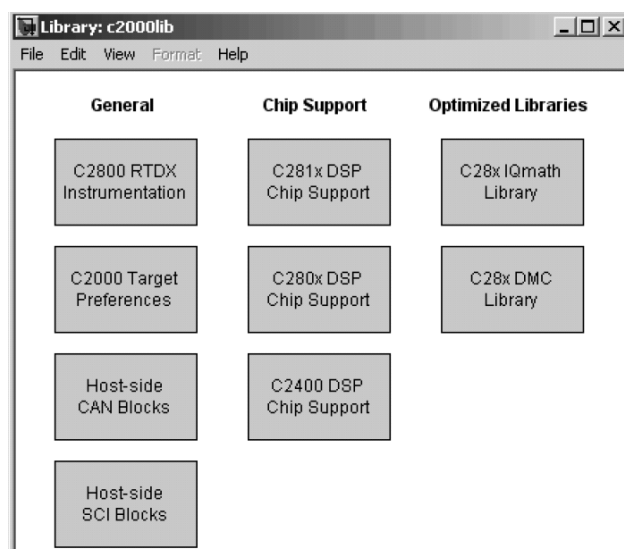
Аннотация. Рассмотрены особенности проектирования цифровых систем управления преобразователями электроэнергии с использованием аппаратных и программных средств.

Цифровые системы управления преобразователями (ЦСУП) на основе DSP контроллеров требуют нового подхода к их проектированию. Преимущества цифровой техники по сравнению с аналоговой, могут быть реализованы только при наличии соответствующих инструментов проектирования и высококвалифицированных кадров. Среда проектирования ЦСУП включает в себя средства моделирования силовой схемы преобразователя и его системы управления, например системы MatLab и PSIM. Обе указанные системы позволяют моделировать силовые схемы преобразователей различной сложности с ЦСУП в дискретном режиме с фиксированным шагом, учитывать особенности цифровых блоков ограниченной разрядности с квантованием по уровню и времени, формировать дискретные передаточные функции звеньев и фиксированные задержки, проектировать цифровые фильтры.

Особенно мощным инструментом проектирования является MatLab, имеющий надстройку в виде средств проектирования и отладки программ реального времени сигнальных процессоров компании Texas Instruments (Embedded Target for TI C2000). Она включает в себя специальные блоки библиотеки моделей Simulink и систему реального времени Real-Time Workshop. Используя данные средства совместно с отладочной средой TI Code Composer Studio и платами DSK Spectrum Digital, можно воплотить модель, построенную в Simulink, в реальное устройство управления и контроля преобразователем электрической энергии. Обмен информацией между средами и блоками осуществляется на языке С.



надстройку в виде средств проектирования и отладки программ реального времени сигнальных процессоров компании Texas Instruments (Embedded Target for TI C2000). Она включает в себя специальные блоки библиотеки моделей Simulink и систему реального времени Real-Time Workshop. Используя данные средства совместно с отладочной средой TI Code Composer Studio и платами DSK Spectrum Digital, можно воплотить модель, построенную в Simulink, в реальное устройство управления и контроля преобразователем электрической энергии. Обмен информацией между средами и блоками осуществляется на



Для процессоров TI c2000x в Simulink предусмотрены блоки моделирования серий c24x, c281x, c280x, блоки поддержки основных операций по управлению двигателями, а также математическая библиотека операций над числами в различных форматах. Библиотека имеет девять разделов, в том числе, блоки моделирования функциональных узлов чипов серии 2000 и блоки моделирования модулей систем управления электродвигателями. Для одного из кристаллов (c280x) блоки моделей показаны на рисунке (рис.1).

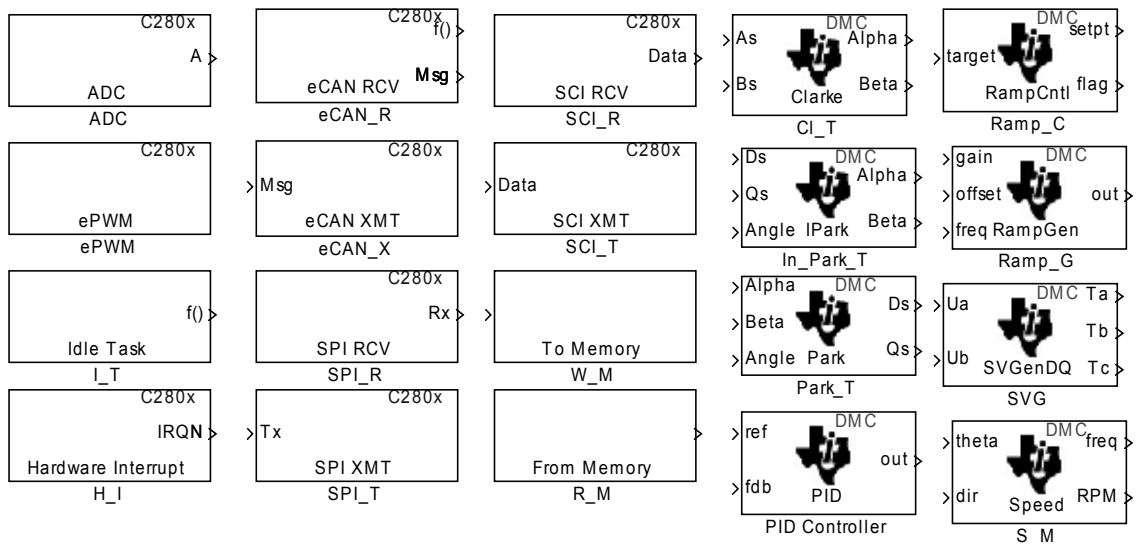


Рис.1. Блоки моделей DSP TI

Одним из основных способов улучшения динамических характеристик преобразователей электроэнергии является использование ЦСУП, формирующих оптимальный закон управления. Удобным инструментом проектирования ЦСУП с заданными передаточными характеристиками является SISO Design системы MatLab, запускаемый из командной строки командой *sisotool* (рис.2).

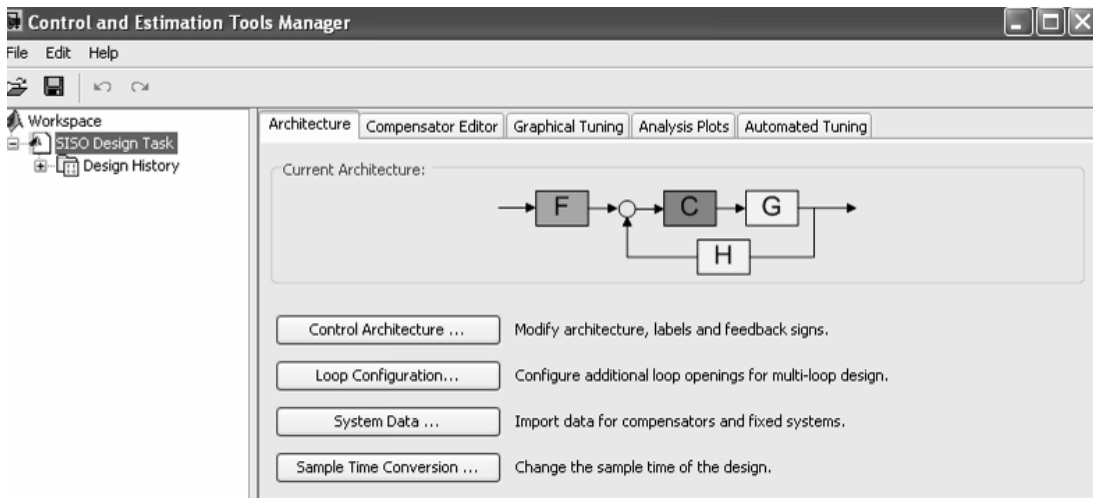


Рис.2. Окно выбора структуры контура регулирования

Данный инструмент позволяет задать и настроить передаточные характеристики всех функциональных модулей системы управления в непрерывной или дискретной форме, определить запас устойчивости по амплитуде и фазе, реакцию системы на единичное и импульсное воздействие, качество регулирования (скорость нарастания, перерегулирование, коэффициент демпфирования, время установления), получить АЧХ и ФЧХ системы. В качестве примера показаны АЧХ и ФЧХ импульсного стабилизатора с корректирующим звеном и частотой дискретизации 100 кГц (рис.3).

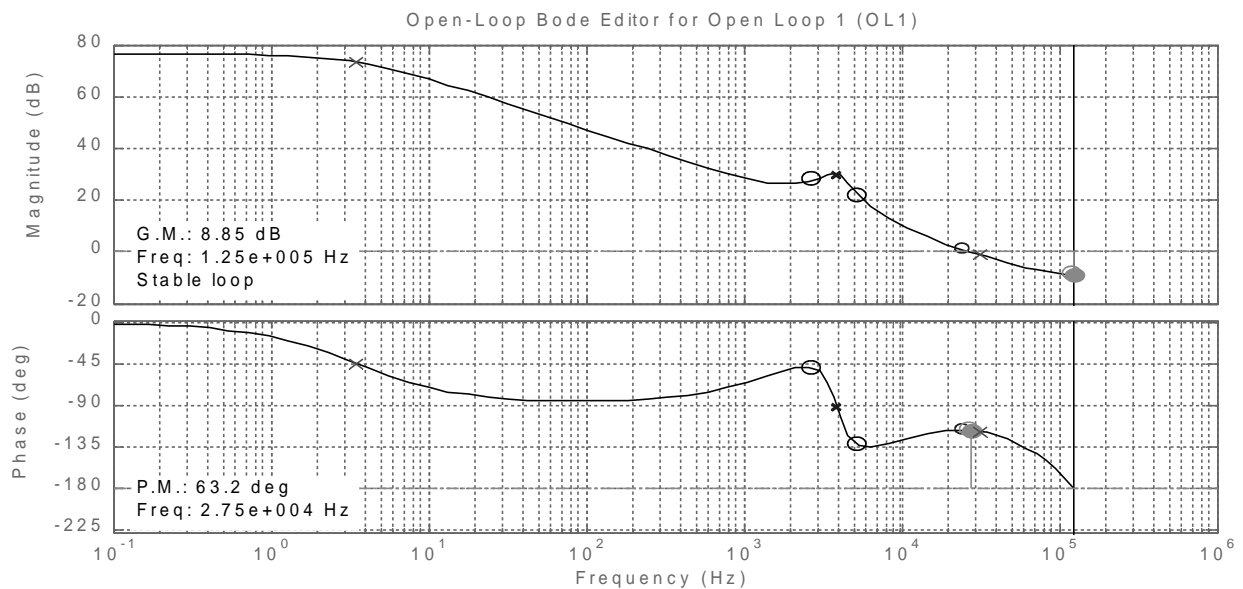


Рис.3. Частотные характеристики импульсного стабилизатора

Существенным достоинством ЦСУП является возможность использования цифровых фильтров, встроенных в DSP, для выделения полезных составляющих сигналов. Проектирование цифровых фильтров удобно вести с использованием инструмента проектирования фильтров MatLab, запускаемого командой *fdatool* (рис.4).

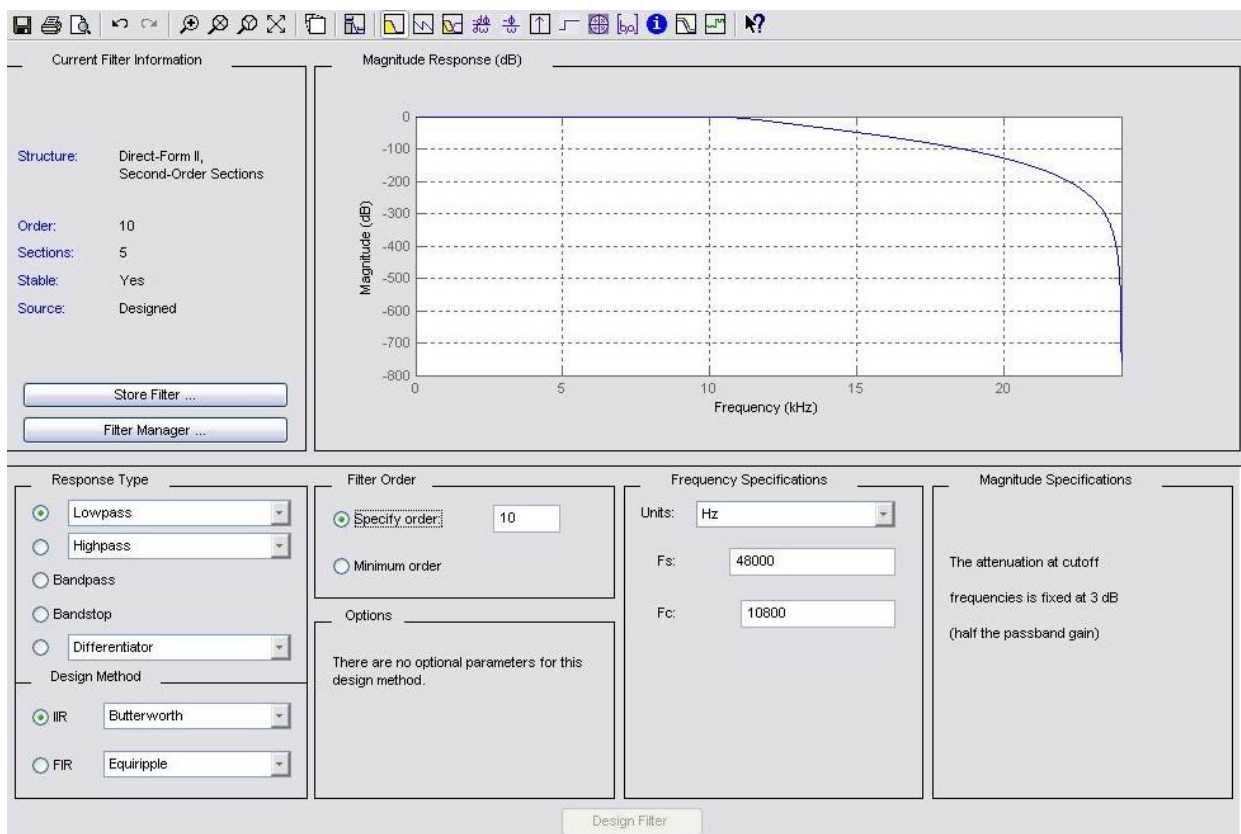


Рис.4. Окно проектирования цифровых фильтров MatLab

В данном окне можно выбрать тип и порядок фильтра, частоту выборки и среза, получить АЧХ, ФЧХ, реакцию на импульсное воздействие.

После проверки основных блоков ЦСУП на моделях силовой схемы, ведется отладка и программирование DSP контроллера в специализированной среде, поставляемой фирмой-

изготовителем DSP. Так для DSP TI используется Code Composer Studio 3.1. Программа для контроллера разрабатывается либо на языке С с дальнейшей оптимизацией по быстродействию, либо на Ассемблере проектируемого контроллера. Отлаживается программа сначала на оценочных платах типа DSK или EVM, а затем в режиме реального времени на проектируемой плате управления с помощью интерфейса JTAG.

Проверка и доводка разработанных ЦСУП может быть проведена на моделях реального времени силовой схемы преобразователя, стыкованных с разработанной ЦСУ через устройство сопряжения. Устройство сопряжения должно иметь высокоскоростной интерфейс ввода/вывода потоков данных между ЦСУП и головной ЭВМ.,

В качестве примера, рассмотрено проектирование обратимого преобразователя на полностью управляемых вентилях с цифровой системой управления, его модели и алгоритмы управления (рис.5).

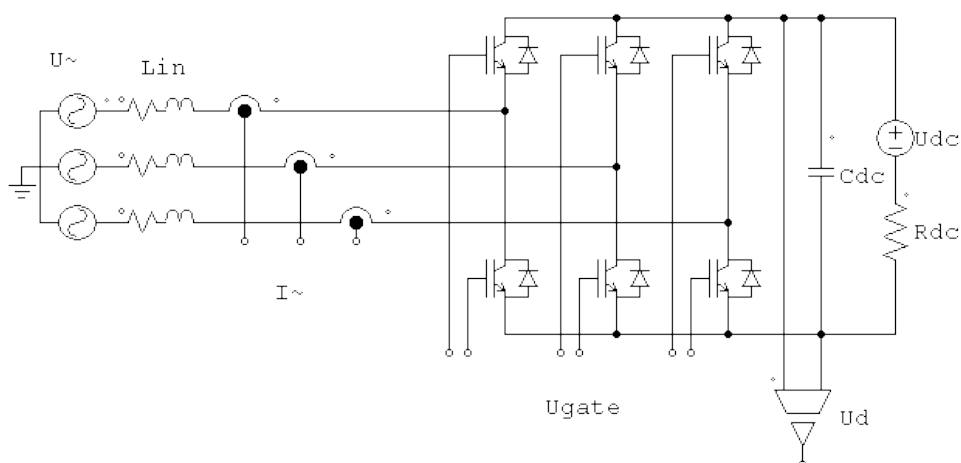


Рис.5. Модель трехфазного обратимого преобразователя

Указанная схема в зависимости от соотношения значений ЭДС в цепи постоянного и переменного тока и способа (фазы) модуляции может работать в выпрямительном и инверторном режиме. На ее основе могут быть реализованы преобразователи частоты, регуляторы-стабилизаторы переменного напряжения, активные фильтры и компенсаторы-генераторы реактивной мощности с искажениями синусоидальности тока менее 5%. К достоинствам схемы при правильном управлении относится свободная циркуляция энергии между цепями постоянного и переменного тока без перенапряжений и бросков тока при принудительной коммутации с различной частотой. Диаграммы сетевых токов и напряжений схемы при работе в выпрямительном режиме имеют вид (рис.6)

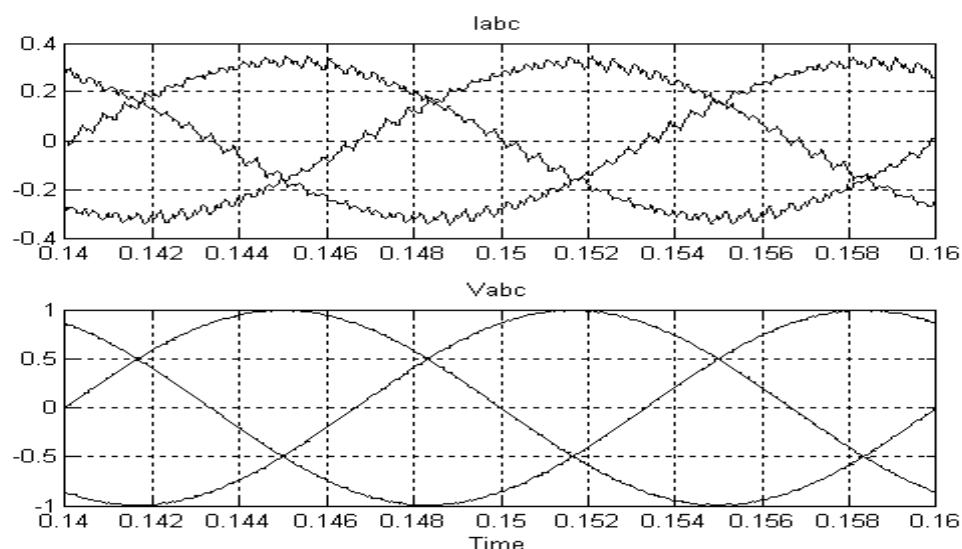


Рис.6. Диаграммы работы схемы в выпрямительном режиме

Фаза основной гармоники сетевых токов (I_{abc}) практически совпадает с фазой напряжения сети, а величина заданных искажений может быть достигнута выбором соответствующих значений индуктивности L_{in} и частоты модуляции, что обеспечивает выпрямителю высокие энергетические показатели.

Цифровые методы управления в преобразовательных системах позволяют реализовать новые алгоритмы. Применительно к трехфазным обратимым преобразователям можно использовать векторную линейную и нелинейную модуляцию. Для исследования указанных видов модуляции в системах моделирования PSIM и MatLab созданы модели, позволяющие подобрать параметры элементов схем и отработать алгоритмы управления. В качестве примера приведены диаграммы модулирующих функций при линейной векторной модуляции и спектральный состав сетевого тока при нелинейной модуляции (рис.7).

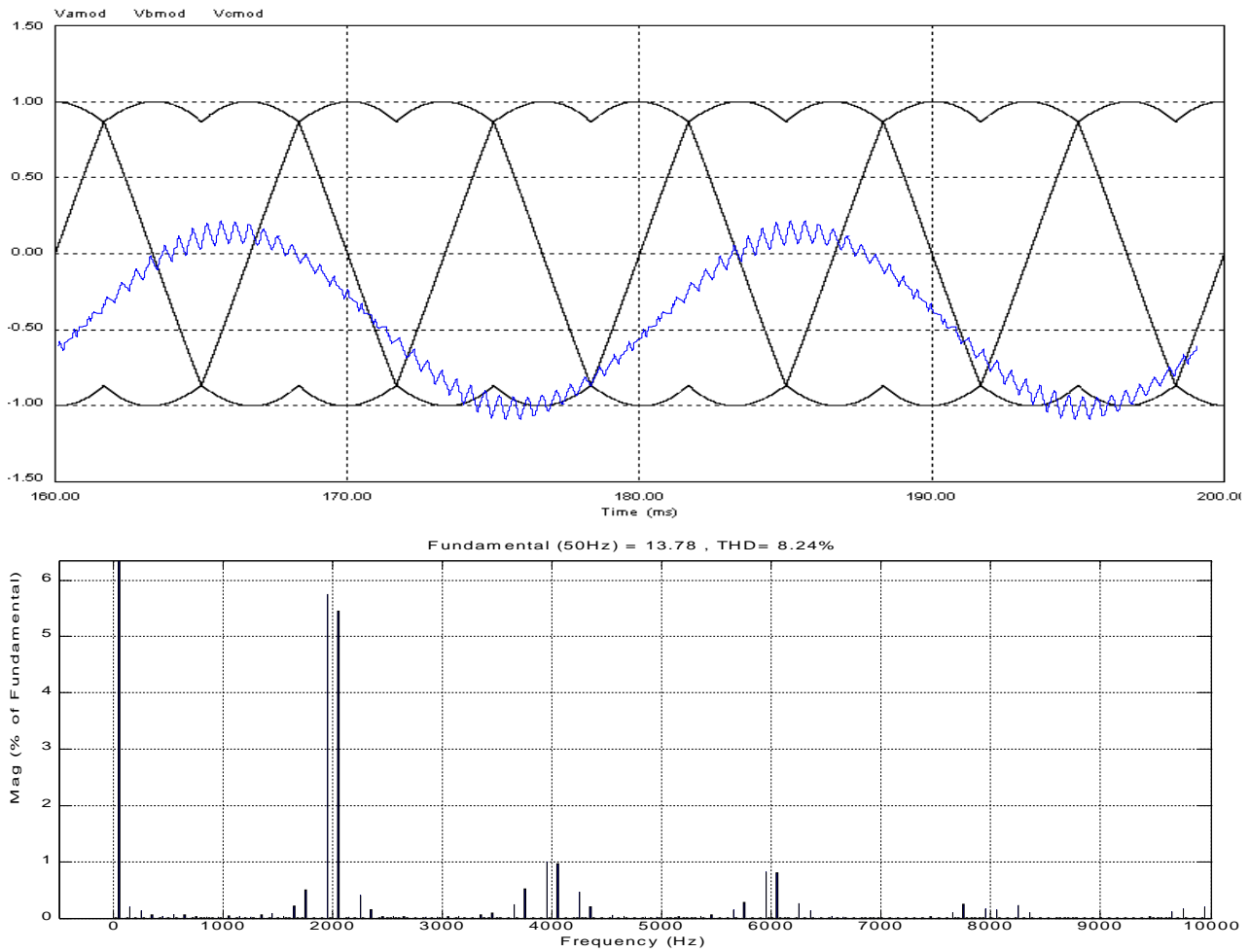


Рис.7. Модулирующие функции и спектральный состав токов

Сравнение результатов моделирования показывает, что применение нелинейной векторной модуляции приводит к возрастанию искажений сетевого тока по сравнению с линейной модуляцией на той же частоте. Данный факт объясняется наличием в спектре сетевого тока гармоник значительного уровня с вдвое меньшими частотами.