

К РЕАЛИЗАЦИИ МАКСИМАЛЬНОЙ СИЛЫ ТЯГИ РЕЛЬСОВОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Известно, что проблема низкого коэффициента сцепления особо остро стоит в рудничном электротранспорте, где скопление на рельсах влаги, масла, угольной и породной пыли может существенно (в 2-3 раза) снизить коэффициент сцепления колес [1]. Основной мерой борьбы с буксованием является подсыпка песка под ведущие колеса для обеспечения большего коэффициента сцепления, при этом подсыпка управляется вручную и требует постоянной его доставки. Известны способы устранения буксования средствами электропривода, задача разбивается на два этапа, определение самого факта избыточного буксования и принятие мер по его устранению путем снижения напряжения питания тягового электродвигателя (ЭД). К ним относятся различные системы, основанные на разности угловых скоростей приводных колес электровоза [2], по принципу отслеживания изменения линейной скорости электровоза, измеряемой устройством, использующий эффект Доплера [3] или выявления вибраций в механической части при больших скоростях скольжения колесной пары [4] и т.д. Все вышеуказанные способы имеют те или иные существенные недостатки, связанные либо с неточностью обнаружения факта проскальзывания колес, либо со сложностью измерения линейной скорости электровоза, либо с недостаточной надежностью устройств измерения этой скорости, или необходимостью вмешательства в механику электровоза для установки датчиков, что в итоге усложняет проведение плановых регламентных работ для обслуживающего персонала.

В [5] было предложено устройство реализации максимального тягового усилия по сцеплению колес с рельсами, основанное на принципе выявления пульсаций из тока ЭД с частотой упругих фрикционных автоколебаний (АКФ), возникающих в режимах буксования колес, функциональная схема которого показана на рис.1. Принцип работы устройства и результаты моделирования, также описаны в [5]. Практическая реализация данного устройства в аналоговом исполнении оказалась сопряжена с серьезными сложностями, при обеспечении нужной точности, на которую влияют наличие в кривой тока других пульсаций, вызванных наличием эксцентриситетов колес, колебаний от неровностей путей (стыки рельс), пульсаций от зубчатой передачи и работой коллекторного узла тягового ЭД, упругих колебаний, возникающих при изменении управляющих и возмущающих воздействий и т.д. При реализации подобного устройства с использованием цифровой техники задача выявления пульсаций из кривой тока возлагается на цифровой полосовой фильтр (ЦФ), реализованный на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) семейства Field Programmable Gate Arrays (FPGA). Использование FPGA имеет ряд преимуществ по отношению к микропроцессорам [6] и хорошо подходит для реализации ЦФ, а также устройств с их использованием. В процессе синтеза, для обеспечения требуемой точности порядок фильтра был выбран автоматически САПР и равен 210, что практически нереализуемо в аналоговом устройстве. Учитывая особенности реализации такого устройства, к наиболее сложному этапу разработки относится создание ЦФ из-за высокого его порядка, а также то, что он реализован на ПЛИС.

Целью данной статьи является разработка методики создания цифрового полосового фильтра на программируемой логической интегральной схеме, а также компьютерная проверка корректности его функционирования.

Для разработки ЦФ ПЛИС FPGA была выбрана производства Xilinx, так как эта фирма является одной из лидеров производства такого рода интегральных схем. САПР для синтеза фильтра использовалась ISE Design Suite, а также встраиваемая в Matlab библиотека System Generator for DSP для проверки правильности работы ЦФ. Следует отметить, что наиболее эффективный путь создания фильтра, с точки зрения использования ресурсов ПЛИС, это использование т.н. модулей IP Core, входящих в состав ISE Design Suite. Для создания ЦФ примером такого IP Core есть FIR Compiler[7].

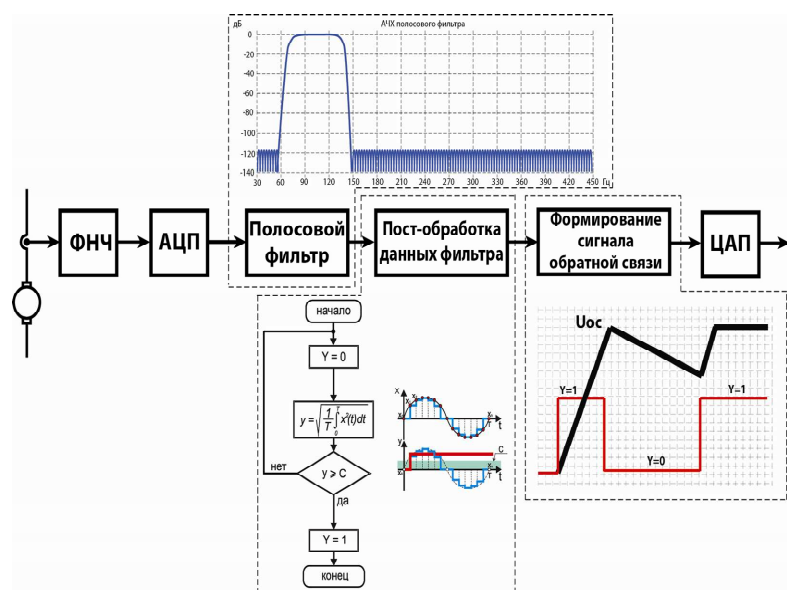


Рис.1 – Функциональная схема устройства реализации
максимума тяги

Синтез, с его помощью, фильтра в ПЛИС предполагает наличия коэффициентов фильтра, которые были получены из Matlab, используя Filter Design and Analysis Tool (FDA Tool). FDA Tool, дает возможность не только получить коэффициенты ЦФ, но и задать параметры будущего фильтра, оптимизированные под реализацию в ПЛИС, такие как представление чисел с фиксированной или плавающей точкой с заданной разрядностью как целой так и дробной части и т.д. Используя FDA Tool были получены коэффициенты полосового фильтра с такими параметрами: частота пропускания полосы от 50 до 150 Гц, частота среза 500 Гц, затухание в полосе подавления 140 дБ, порядок фильтра 210, разрядность коэффициентов 32 с фиксированной точкой, разрядности входа 16 из них 15 для дробной части (16,15), разрядность выхода 16,15, разрядность аккумулятора (43,42), при расчете используются знаковые числа, метод переполнения был выбран «Wrap», частота дискретизации сигнала равна 1000 Гц. Исходя из того, что выполнение операции «свертки» при работе ЦФ, предполагает операцию умножения с накоплением, то результат результирующего регистра (аккумулятора) при увеличении порядка ЦФ может достигать больших значений, поэтому максимальная амплитуда входного сигнала должна быть изначально известна. В случае её превышения может возникнуть переполнение результирующего регистра, что повлечет за собой ошибки расчета и как следствие искажения выходного сигнала, что для данной задачи является недопустимым.

Проверка работы фильтра производилась в Matlab в среде Simulink с использованием библиотеки System Generator for DSP. На вход фильтра подавался случайный спектр гармоник в диапазоне частот от 0 до частоты среза фильтра, 500 Гц, и представлен в виде амплитудно-частотной характеристики рис.2а, выходной сигнал ЦФ был разложен в ряд Фурье, рис. 2б.

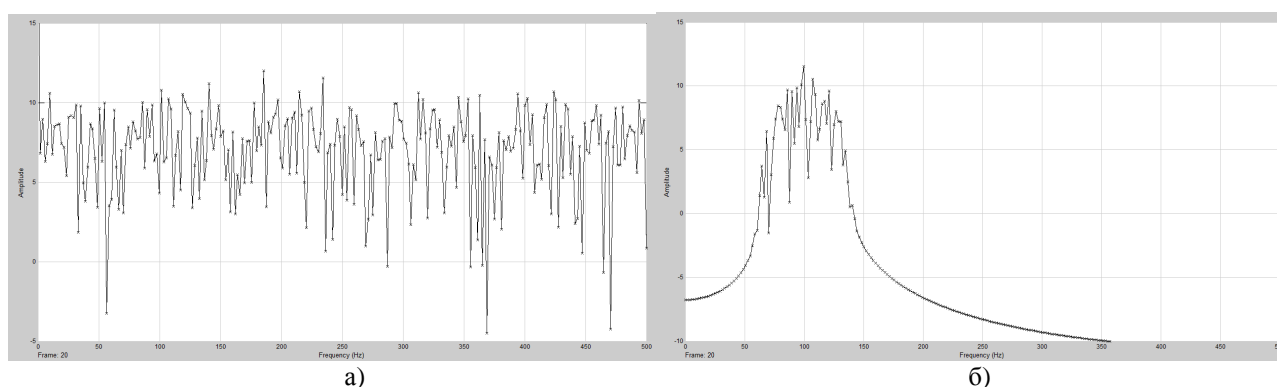


Рис.2 – Результат проверки ЦФ при подаче на него спектра частот различной амплитуды, 2а – входной сигнал, 2б – выходной сигнал ЦФ.

Из рис.2б видно, что наибольшую амплитуду в выходном сигнале фильтра имеют частоты соответствующие полосе пропускания фильтра.

Таким образом, синтез цифрового полосового фильтра по предложенной методике реализации на ПЛИС FPGA позволяет получить фильтр с заданными параметрами полос пропускания, затуханием в полосе подавления, частотой среза, а также форматом представления чисел коэффициентов фильтра и результаты проверки его работы показывают корректность его функционирования. Это позволит обеспечить нужную точность выявления факта избыточного буксования колес рудничного электровоза, в устройстве реализации максимума тяги, по информации о наличии в кривой тока ЭД пульсаций с частотой АКФ.

Литература.

1. Ренгевич А.А. Энергетический баланс рудничных электровозов// Вопросы рудничного транспорта. – 1961. – Вып. 5. – С. 247-257.
2. А.с. СССР 1418104, Устройство обнаружения буксования и юза колес транспортного средства с электрической передачей / Клепиков В.Б., Касторный П.М., Колодяжный В.А., Кутовой Ю.Н., заявл. 23.08.88 г. Бюл. №31
3. А.с. СССР 659425, Устройство обнаружения буксования и юза колес транспортного средства с электрической передачей / Клепиков В.Б., Кутовой Ю.Н., Касторный П.М., Куприев В.Д., Поляков П.Ф., Панасенко Н.В., Королюк А.П., Москаленко И.И. заявл. №4488441, 23.08.88 г. Бюл. №31
4. Патент Российской Федерации 2175612 РФ, МКИ В 60 L 3/10. Устройство обнаружения предельных по сцеплению режимов работы тягового привода рельсового транспорта/ П.А. Коропец, В.С. Черный. – № 2000100712/28; заявл. 10.01.2000; опубл. 10.11.2001, Бюл. № 31.
5. Тимошенко А.В. Система реализации максимума тяги рудничного электровоза// Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Випуск 3/2012(19) с. 366-369
6. Федухин А.В., Муха А.А., ПЛИС-системы как средство повышения отказоустойчивости//Математичні машини і системи, 2010, №1, с. 198-204. – Режим доступа: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/mms/2010_1/01_2010_Feduchin.pdf – Название с экрана
7. Xilinx DS534, FIR Compiler v5.0, Data Sheet. – Режим доступа: http://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/fir_compiler_ds534.pdf. – Название с экрана