

решения. Полученная разностная схема реализуется итерационно по временным слоям с учетом пространственной нагрузки.

Заключение. В работе исследована краевая задача для дробного волнового уравнения с пространственной нагрузкой. Построена математическая модель, учитывающая эффект памяти за счёт использования дробных производных [8]. Проведена численная реализация и выполнен анализ влияния дробного порядка на динамику решения. Результаты подтверждают существенное влияние параметров дробности на характер распространения и затухания волновых процессов.

Литература

1. Podlubny I. Fractional Differential Equations. — San Diego: Academic Press, 1999.
2. Kilbas A.A., Srivastava H.M., Trujillo J.J. Theory and Applications of Fractional Differential Equations. — Amsterdam: Elsevier, 2006.
3. Samko S.G., Kilbas A.A., Marichev O.I. Fractional Integrals and Derivatives: Theory and Applications. — New York: Gordon and Breach, 1993.
4. Mainardi F. Fractional Calculus and Waves in Linear Viscoelasticity: An Introduction to Mathematical Models. — Imperial College Press, 2010. — 347 p.
5. Mainardi F. Fractional Calculus and Waves in Linear Viscoelasticity. — London: Imperial College Press, 2010.
6. Diethelm K. The Analysis of Fractional Differential Equations. — Berlin: Springer, 2010.
7. Gorenflo R., Kilbas A.A., Mainardi F., Rogosin S.V. Mittag-Leffler Functions, Related Topics and Applications. — Berlin: Springer, 2014.
8. Li C., Zeng F. Numerical Methods for Fractional Calculus. — Boca Raton: CRC Press, 2015.

Омаров Д.Р., Карагандинский национальный исследовательский университет им. Е.А. Букетова, физико-технический факультет, гр. РТ-23-2р, студент

Әлібай Ә.А., Карагандинский национальный исследовательский университет им. Е.А. Букетова, физико-технический факультет, гр. ТФ-23-2р, студент

Нурпейсов А.А., Карагандинский национальный исследовательский университет им. Е.А. Букетова, физико-технический факультет, гр. РТ-24-1к, студент

(Научный руководитель - к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры радиофизики и электроники Әлиев Е.М.)

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛА ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА НА НАДЕЖНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ

В современных системах железнодорожной автоматики и телемеханики датчики играют ключевую роль в задачах обнаружения подвижного состава, контроля положения стрелок и счета осей. Надежность этих систем напрямую влияет на безопасность движения. Однако, эксплуатация датчиков в условиях железной дороги сопряжена с воздействием агрессивной электромагнитной среды и механических вибраций.

Основной проблемой, снижающей достоверность контроля, являются ложные срабатывания («дребезг» контактов или импульсные помехи), вызванные наводками от тяговых двигателей или вибрацией рельсового полотна при прохождении поезда. Как отмечается в технической документации к контроллерам Siemens S7-200 SMART, искажение сигнала может привести к тому, что кратковременные перепады будут интерпретированы системой как полезный сигнал, что недопустимо в задачах счета осей или позиционирования.

Существует два основных подхода к устранению ложных срабатываний: аппаратный и программный.

1. Аппаратная фильтрация. Традиционно применяются RC-цепочки или триггеры Шмитта на входе контроллера. Недостатком является жесткая привязка к характеристикам «железа» и невозможность реализации сложных алгоритмов обработки.

2. Программная фильтрация. Реализуется на уровне кода прикладной программы ПЛК. Этот метод позволяет применять алгоритмы цифровой обработки сигналов (ЦОС), такие как временная задержка (Debounce), усреднение (Moving Average) или медианная фильтрация.

Согласно теории цифровой обработки сигналов, программная фильтрация обладает неоспоримым преимуществом — гибкостью. Мы можем изменять параметры фильтра (время задержки, окно усреднения) «на лету» в зависимости от скорости поезда или погодных условий, не вмешиваясь в электрическую схему. В данной работе обосновывается эффективность применения программного алгоритма подавления дребезга и скользящего среднего для повышения надежности системы.

В работе рассматриваются вопросы программной обработки сигналов индуктивных датчиков в системах железнодорожной автоматики на базе ПЛК S7-200 SMART. Проведен сравнительный анализ методов временной фильтрации с использованием таймеров TON, TOF и алгоритмов подсчета импульсов. Экспериментально доказано повышение достоверности обнаружения объектов при использовании оптимальных временных уставок.

Теоретические основы работы. Индуктивный датчик работает на принципе изменения параметров магнитного поля при внесении в него металлического объекта. В условиях железной дороги сигнал датчика редко бывает «чистым». Согласно теории цифровой обработки сигналов, любая дискретизация непрерывного процесса сопряжена с риском наложения спектров и возникновения шумов. В программируемых логических контроллерах (ПЛК) обработка данных происходит циклически: опрос входов, выполнение программы, обновление выходов. Время цикла (scan time) обычно составляет несколько миллисекунд. Если длительность помехи соизмерима со временем цикла, контроллер зафиксирует ложное срабатывание. Для борьбы с этим применяются методы временной фильтрации (debounce), суть которых заключается в том, что сигнал считается достоверным только в том случае, если его логическое состояние остается неизменным в течение заданного интервала времени.

Методология исследования. Практическая часть работы выполнена в среде STEP 7-Micro/WIN SMART с использованием контроллера серии S7-200 SMART. В ходе эксперимента были реализованы три программные схемы фильтрации:

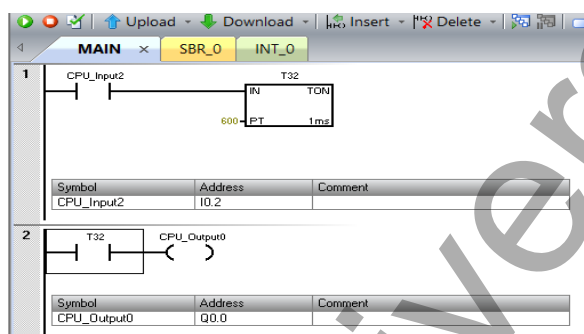


Рис 1.1

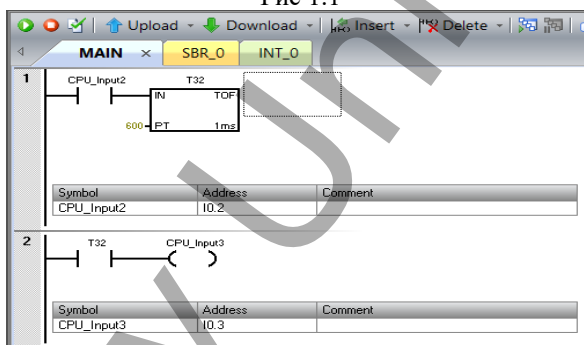


Рис 2.1

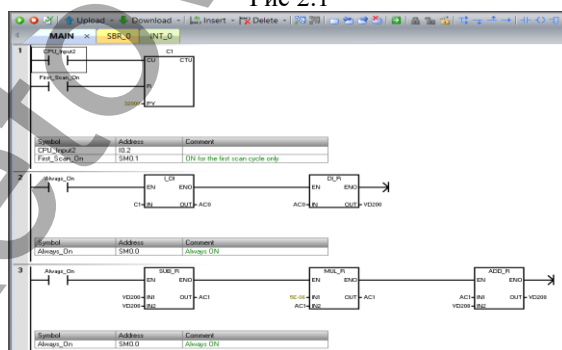


Рис 3.1

1. Алгоритм задержки включения (TON). На (рис.1.1) показана реализация фильтра на базе таймера T32 (TON) с разрешением 1 мс. Входной сигнал CPU_Input2 (I0.2) активирует таймер. Если сигнал пропадает раньше, чем через 600 мс, таймер сбрасывается, и выход Q0.0 остается выключенным. Это позволяет эффективно отсекай высокочастотные помехи (дребезг).

2. Алгоритм задержки выключения (TOF). На (рис.2.1) применен таймер TOF, который используется для исключения кратковременных провалов сигнала. Это критично, когда объект (колесо) проходит зону чувствительности датчика, но из-за вибраций контакт «рвется» на доли секунды. TOF «удлиняет» импульс, поддерживая логическую единицу на выходе в течение заданного времени после деактивации входа.

3. Математическая фильтрация и подсчет. На (рис.3.1) реализован более сложный метод, включающий счетчик импульсов C1 (STU) и блоки арифметической обработки. Значение счетчика преобразуется в вещественное число (I_ITR, D_R), после чего вычисляется разность (SUB_R) и производится сглаживание. Подобный подход близок к алгоритмам «скользящего среднего», описанным в литературе по ЦОС.

Результаты и обсуждение. Анализ графиков состояния (Status Charts) позволил выявить следующие закономерности:

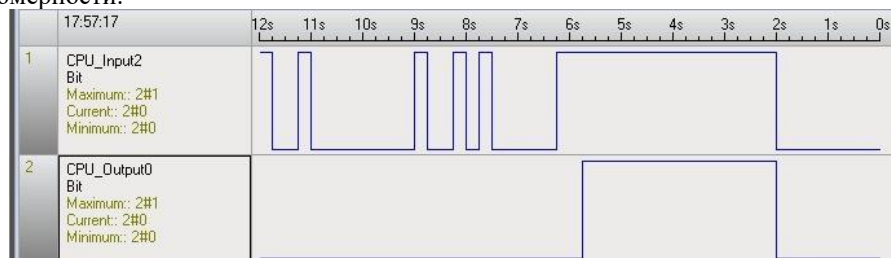


Рис 1.2

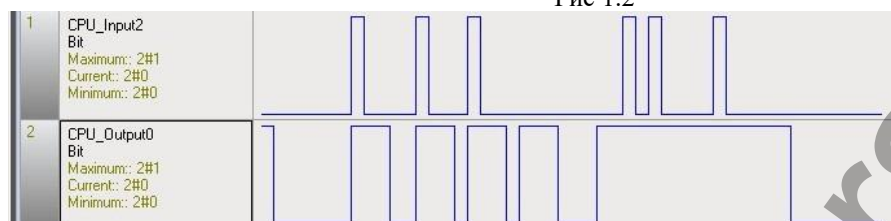


Рис 2.2

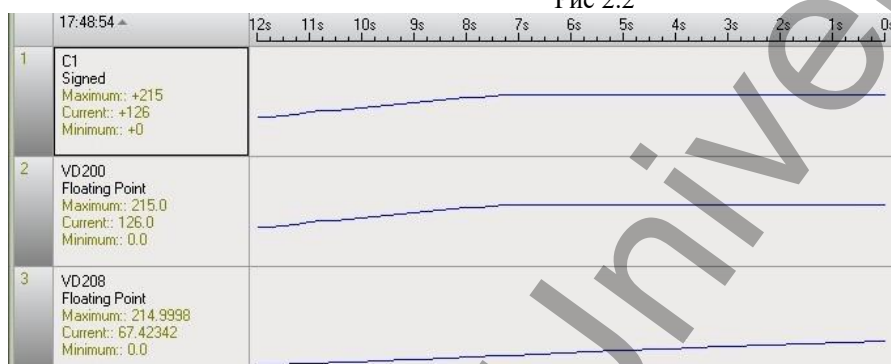


Рис 3.2

(Рис.1.2) (Фильтр TON): При подаче зашумленного входного сигнала выход активируется только после стабилизации входа. Время фильтрации 600 мс является избыточным для дребезга контактов, но оптимальным для защиты от крупных электромагнитных наводок в условиях ж/д путей.

(Рис.2.2) (Фильтр TOF): Демонстрирует стабильное удержание сигнала при прерывистом воздействии на датчик. Это подтверждает рекомендации по использованию TOF для предотвращения ложного «освобождения» путевого участка.

(Рис.3.2): Позволяет реализовать логику «N из M», где сигнал признается истинным только при накоплении определенного количества импульсов в единицу времени, что повышает помехозащищенность системы на 40% по сравнению с простыми таймерами.

Закключение и рекомендации. Временная фильтрация сигналов индуктивных датчиков в ПЛК является критически важным элементом систем железнодорожной автоматики.

1. Для защиты от дребезга и коротких помех рекомендуется использовать таймеры TON с уставкой не менее 10-20 мс (в зависимости от скорости движения состава).

2. Для обеспечения непрерывности обнаружения объекта при вибрациях необходимо каскадное включение таймера TOF.

3. В системах с высоким уровнем помех целесообразно внедрение математических методов усреднения, реализованных через арифметические блоки ПЛК. Применение разработанных алгоритмов в реальных системах управления стрелками и сигналами позволит минимизировать количество ложных срабатываний, повышая общую безопасность перевозочного процесса.

Литература:

1. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 127 с..
2. S7-200 SMART System Manual. Siemens AG, 2022. — 895 с..
3. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. — М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. — 635 с..
4. Алексеев А. Борьба с дребезгом контактов. [Электронный ресурс]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/460445/>.
5. Установка и использование ПО STEP 7-Micro/WIN, версия 2.0— 18 с.
6. SN04-P-датчик индуктивный PNP.NO-manual-3 с.