

Импульсный индукционный металлоискатель на базе ПАИС Anadigm AN231E04

Александр Щерба (shcherba@prosoft.ru)

В статье рассматривается построение металлоискателя импульсного типа на базе программируемых аналоговых микросхем Anadigm. Принцип действия металлоискателя основан на формировании коротких импульсов тока в катушке детектора и регистрации скачка напряжения с амплитудой в несколько сотен вольт, возникающего в момент снятия напряжения с катушки. По характеру таких всплесков возможно детектирование металлов рядом с катушкой.

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ АНАЛОГОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ ANADIGM

Компания Anadigm занимает лидирующие позиции в области разработки и производства программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС). Линейка выпускаемой компанией Anadigm продукции состоит из динамически и статически программируемых аналоговых микросхем. В отличие от статически программируемых схем, где конфигурационные данные загружаются при включении ПАИС и остаются неизменными во время её работы, динамически конфигурируемая схема позволяет частично или полностью изменять функциональную структуру работающего устройства в режиме реального времени. Для этого в ПАИС предусмотрена так называемая теневая память, в которую во время работы аналоговой структуры с помощью

микроконтроллера возможно загрузить обновлённую конфигурацию, а затем по специальной команде мгновенно её активизировать.

Применение программируемых интегральных схем позволяет полностью или частично отказаться от применения дискретных компонентов при обработке аналоговых сигналов. Тем самым повышается точность обработки аналоговых сигналов, уменьшаются габариты и стоимость прибора.

В статье представлена реализация металлоискателя импульсного типа, построенного на ПАИС Anadigm. На одной ПАИС Anadigm AN231E04 выполнена схема формирования импульсов и вся аналоговая часть обработки отражённого от металлических предметов сигнала.

Принцип работы импульсного индукционного металлоискателя

Работа импульсного металлоискателя основана на принципе временного разделения излучаемого от катушки детектора металлоискателя сигнала и сигнала, отражённого от расположенного под землёй металлического объекта. После воздействия импульса магнитной индукции в проводящем объекте возникает, и некоторое время поддерживается (вследствие явления самоиндукции) затухающий импульс тока, представляющий собой задержанный во времени отражённый сигнал. Регистрируемый отражённый сигнал несёт в себе полезную информацию и подлежит дальнейшей обработке.

Импульсный металлоискатель состоит из генератора импульсов тока, приёмной и излучающей катушек (которые могут быть совмещены в одной),

устройства коммутации и блока обработки сигнала (см. рис. 1).

Генератор импульсов тока формирует короткие импульсы тока миллисекундной длительности, поступающие в излучающую катушку, где они преобразуются в импульсы магнитной индукции. Так как излучающая катушка, являющаяся нагрузкой генератора импульсов, имеет ярко выраженный индуктивный характер, на фронтах импульсов у генератора возникают перегрузки в виде всплесков напряжения. Такие всплески могут достигать по амплитуде несколько сотен вольт, однако использование защитных ограничителей для гашения всплесков недопустимо, так как оно привело бы к затягиванию фронта импульса тока и магнитной индукции и, в конечном счёте, к усложнению выделения отражённого сигнала.

Приёмная и излучающая катушки могут располагаться друг относительно друга достаточно произвольно, так как прямое проникновение излучаемого сигнала в приёмную катушку и воздействие на неё отражённого сигнала разнесены во времени. В принципе, одна катушка может выполнять роль как приёмной, так и излучающей, однако в этом случае будет гораздо сложнее развязать высоковольтные выходные цепи генератора импульсов тока и чувствительные входные цепи (см. рис. 2).

Устройство коммутации предназначено для разделения излучаемого и отражённого сигналов. Оно блокирует входные цепи прибора на определённое время, которое определяется временем действия импульса тока в излучающей катушке, временем разрядки катушки и временем, в течение которого возможно появление коротких откликов прибора от массивных слабопроводящих объектов типа грунта. По истечении этого времени устройство коммутации должно обеспечить передачу сигнала с приёмной катушки на блок обработки сигнала. Блок обработки сигнала предназначен для преобразования входного электрического сигнала в удобную для восприятия человеком форму. Он может быть

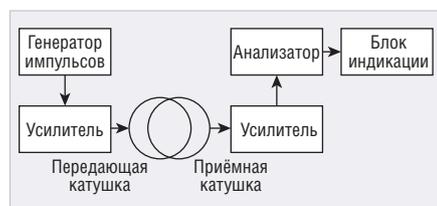


Рис. 1. Структурная схема импульсного индукционного металлоискателя

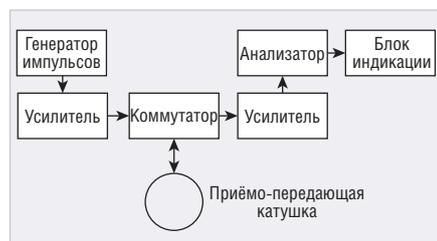


Рис. 2. Структурная схема импульсного индукционного металлоискателя с совмещённой приёмно-передающей катушкой

сконструирован на основе решений, используемых в металлоискателях других типов.

Импульсные индукционные металлоискатели рассматриваются как детекторы, имеющие хорошую дальность обнаружения. К недостаткам импульсных металлоискателей следует отнести сложность идентификации объектов по типу металла, сложность аппаратуры генерации и коммутации импульсов тока и напряжения большой амплитуды, высокий уровень радиопомех.

СХЕМА МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЯ

Катушка детектора является открытой, имеет 17 см в диаметре, сделана из приблизительно 30 метров одножильного изолированного провода 24AWG. Сопротивление катушки составляет около 2,5 Ом. На рисунке 3 изображена катушка импульсного детектора металла со схемой управления цепями катушки, размещённой на отладочной плате AN231K04-DVLP3.

Для получения хорошей дальности обнаружения металлоискателя необходимо обеспечить большой ток в катушке в коротком импульсе. Обыч-

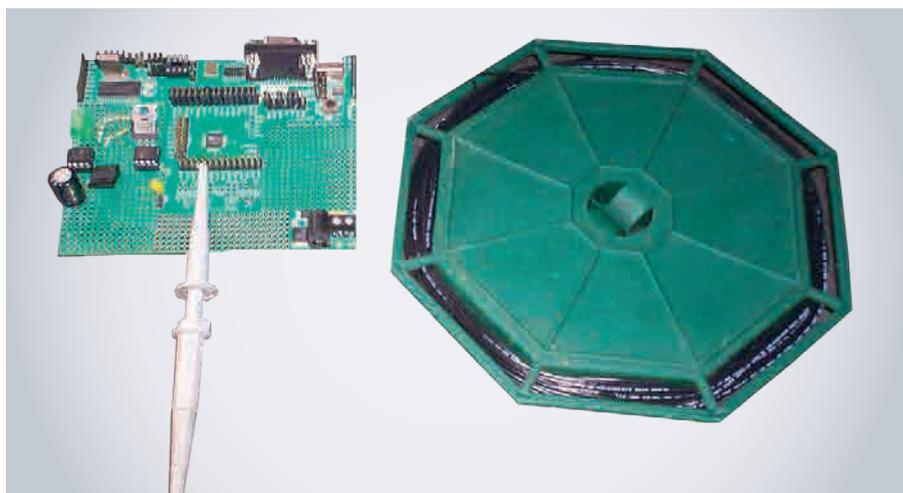
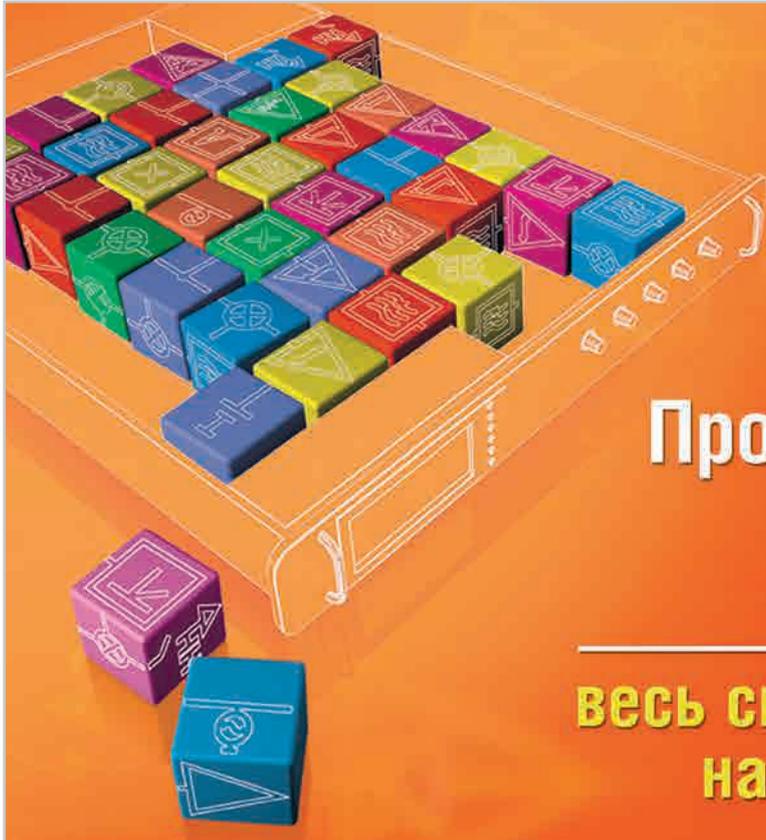


Рис. 3. Катушка и макетная плата металлоискателя

но для такой цели используют один n-канальный МОП-транзистор. Однако в данном случае применены как n-канальный, так и p-канальный МОП-транзисторы. Такое решение обусловлено тем, что катушка должна быть полностью изолирована от питания после того, как выключаются МОП-ключи и прекращается подача напряжения на катушку, позволяя «подтянуть» её к потенциалу VMR (+1,5 В – сигнальная

«земля» ПАИС). Данный метод позволяет в полной мере использовать дифференциальную архитектуру ПАИС, так как обе стороны катушки подключаются к дифференциальному входу ПАИС. Применение МОП-транзисторов обусловлено тем, что они имеют высокое напряжение пробоя, высокий рабочий ток, пороговое напряжение ниже 5 В (или больше –5 В для p-канального транзистора) и малое время пере-





Программируемые аналоговые микросхемы:

весь спектр электроники на одном кристалле!



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU



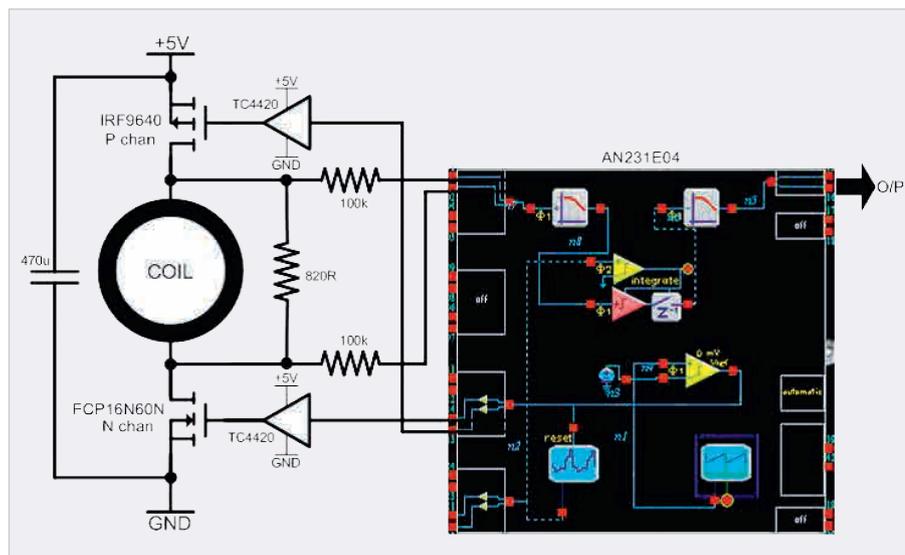


Рис. 4. Схема импульсного индукционного металлоискателя на базе ПАИС Anadigm AN231E04

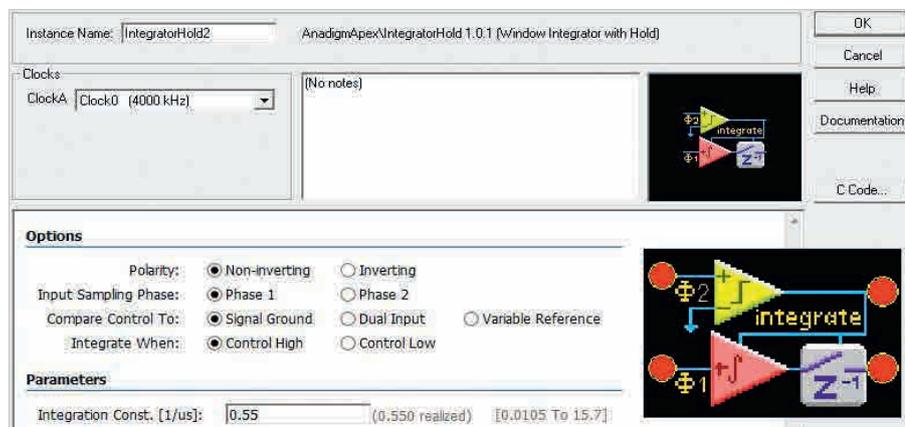


Рис. 5. Окно параметров конфигурируемого аналогового модуля IntegratorHold

ключения. МОП-транзисторы должны управляться драйверами, для чего используются микросхемы TC4420, питающиеся от внешнего источника питания +5 В.

При работе устройства происходит чередование между состоянием покоя с низким током в течение 800 мкс и рабочим состоянием с током потребления более 1 А при подаче напряжения на катушку детектора в течение 200 мкс. Для подавления возникающих при этом бросков напряжения в схему (см. рис. 4) между +5 В и «землей» включён конденсатор ёмкостью 470 мкФ. Для снижения добротности катушки и подавления колебаний при отключении тока используется демпфирующий резистор. Обычно этот резистор имеет сопротивление от 470 до 820 Ом. Также потребуются два резистора 100 кОм между катушкой и ПАИС, так как скачки напряжения на катушке могут превышать 500 В. В сочетании с защитой по входу в ПАИС этого достаточно, чтобы

защитить входные цепи микросхемы от повреждений. Следует отметить, что многие импульсные индукционные схемы включают в себя защитные диоды, но в данном случае от их применения было решено отказаться для уменьшения возможных искажений кривой затухания.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ В САПР ANADIGMDESIGNER® 2

На рисунке 4 представлена схема, спроектированная в программе AnadigmDesigner® 2. Схема состоит из следующих функциональных блоков:

- **Первичный импульсный блок** представляет собой конфигурируемый аналоговый модуль (КАМ) OscillatorSawSqg, который выдаёт импульсы пилообразной формы с амплитудой 2,5 В и частотой 1 кГц. Импульсы поступают на компаратор, чей отрицательный вход соединён с +2 В. Таким образом блок формирует прямоугольный сигнал с длительностью высокого уровня 200 мкс и дли-

тельностью низкого уровня 800 мкс. Это блок используется для формирования электромагнитного импульса длительностью 200 мкс в катушке.

- **Вторичный импульсный блок.** Первичный импульс сбрасывает КАМ PeriodicWave. Данный КАМ используется для генерации вторичного импульса, который поступает в модуль IntegratorHold (интегратор с защёлкой). PeriodicWave использует таблицу LUT (Look-Up Table) для создания определённой пользователем формы сигнала. Также посредством редактирования таблицы LUT пользователь может задать ширину вторичного импульса и его задержку после заднего фронта первичного импульса.
- **Катушка фильтра** – фильтр низких частот на входе от катушки, который может использоваться как для усиления, так и для фильтрации сигнала.
- **Интегратор с узкополосным фильтром.** Модуль IntegratorHold интегрирует сигнал на участке снижения магнитного поля после выброса обратного напряжения. Этот процесс управляется вторичным импульсом.
- **Выходной усилитель/фильтр** – второй в схеме фильтр низких частот, который усиливает выходной сигнал, приходящий от модуля IntegratorHold, и фильтрует имеющийся шум. Угловая частота установлена на очень низком уровне (~1 Гц). Работа данного блока определяет отклик детектора.

На рисунке 5 показано окно параметров КАМ IntegratorHold. Данный модуль предназначен для интегрирования входного сигнала в течение промежутка времени, задаваемого компаратором. В данном случае вход компаратора сравнивается с сигналом «земли», и высокий уровень на входе компаратора заставит интегратор работать со скоростью, определяемой постоянной интегрирования. Когда на входе компаратора появляется низкий уровень, интегрирование останавливается, и КАМ удерживает уровень, при котором интеграция сигнала прекратилась.

РАБОТА СХЕМЫ

На рисунке 6 в произвольном масштабе показан график изменения напряжения на катушке. Работа схемы начинается с формирования основного импульса. Для этого на катушку детектора подаётся напряжение от источника тока через управляемые

МОП-транзисторы. Во время основного импульса напряжение на катушке будет плавно возрастать до некоторого положительного напряжения, величина которого зависит от сопротивления катушки и сопротивления переходов двух МОП-транзисторов, подключённых последовательно к источнику тока. В данном случае это напряжение составляет около 4 В.

Для глубокого проникновения в грунт необходимо создать сильное магнитное поле. Соответственно, основной импульс должен иметь достаточную длительность. Тем не менее, импульс не должен быть и слишком длинным (>250 мкс), так как это может чрезмерно насыщать «землю», что делает небольшие объекты «невидимыми» из-за наличия фонового шума. Кроме того, большинство детекторов металла питаются от батареи, и для снижения энергопотребления рабочий цикл основного импульса должен быть настолько коротким, насколько это возможно.

В конце основного импульса МОП-транзисторы выключаются очень быстро, и ток в катушке исчезает. Это вызывает обратный скачок напряжения, который может достигать несколько сотен вольт. В данной системе с длительностью основного импульса 200 мкс обратный выброс достигал значений близких к -500 В. Чем длиннее будет основной импульс, тем выше будут значения выброса. Ограничение на допустимую величину выброса определяется напряжением пробоя МОП-транзисторов.

В большинстве систем используется демпфирующий резистор с сопротивлением от 470 до 820 Ом. Без демпфирующего резистора затухание произойдёт недостаточно быстро, что не позволит получить положительного выброса (синяя кривая на рисунке 6). В данной конструкции установлен демпфирующий резистор с номиналом 820 Ом. Это приводит к выбросу с последующим затуханием с небольшой продолжительностью.

На рисунке 7 в увеличенном масштабе представлен выброс напряжения и его последующее затухание после возникновения обратного импульса. Эти сигналы усилены на входе ПАИС билинейным фильтром низких частот. На графике представляют интерес две области:

1. **Дискриминация** – выброс, где можно разделить серебро или золото и чёрные металлы.

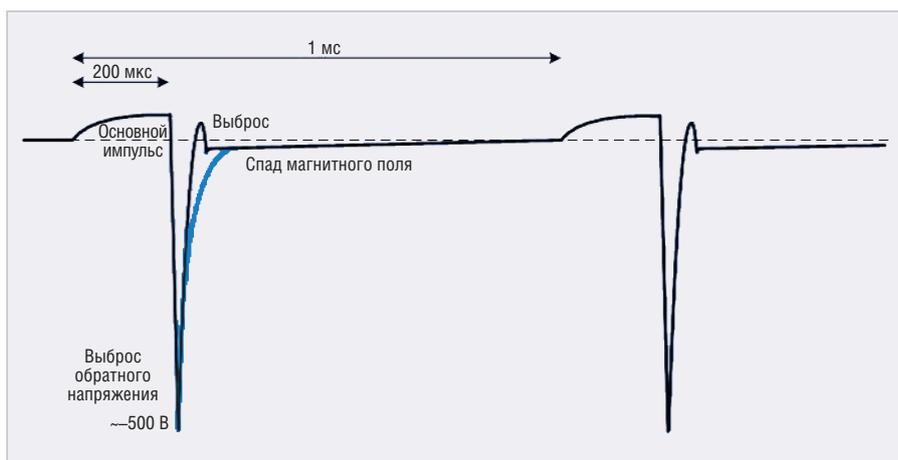


Рис. 6. График изменения напряжения на катушке детектора

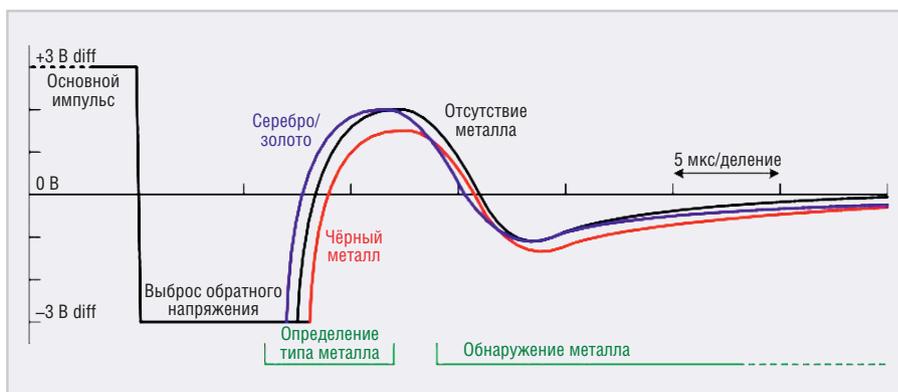


Рис. 7. Выброс напряжения и его последующее затухание после возникновения обратного импульса

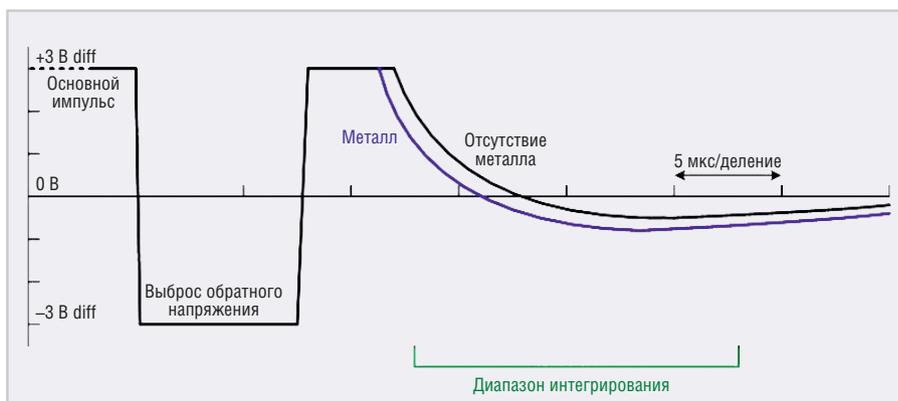


Рис. 8. Кривая затухания, усиленная после фильтра нижних частот

2. **Область обнаружения** – кривая затухания, где обнаруживаются все металлические предметы.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОВ

На рисунке 8 представлена та же кривая (см. рис. 7), но полученная при большем усилении и меньшей частоте среза входного фильтра. Любой металл, находящийся в непосредственной близости от катушки, вызовет изменение кривой затухания, которая будет смещаться в отрицательную область.

На рисунке 9 показан процесс интегрирования модулем IntegratorHold части кривой затухания, пересекающей уровень 0 В. Зелёным цветом показан сигнал с выхода интегратора, который сначала возрастает до значения +3 В, а затем спадает практически до 0 В. Последний, близкий к нулевому, уровень удерживается на выходе интегратора и затем может быть усилен с помощью следующего КАМ. Данный метод очень чувствителен к любому изменению формы кривой.

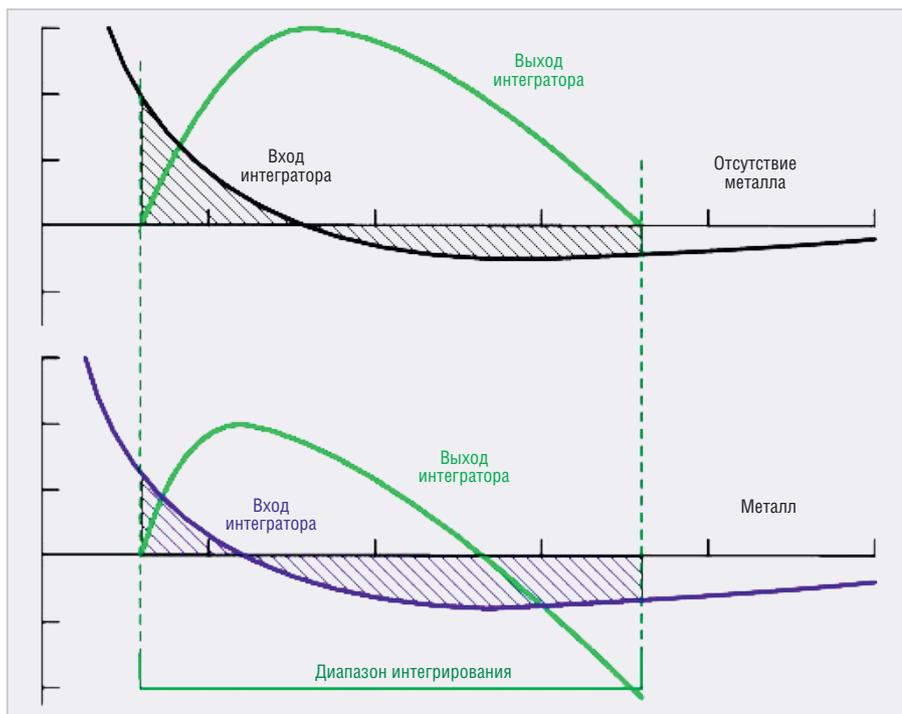


Рис. 9. Интегрирование кривой затухания

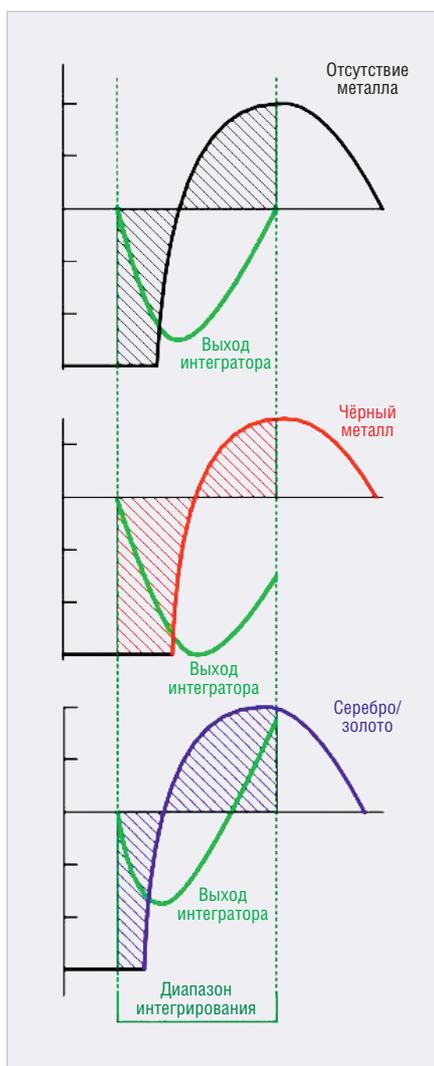


Рис. 10. Определение типа металла путём интегрирования кривой затухания отражённого от предмета сигнала

Для того чтобы максимально увеличить чувствительность детектора, необходимо настроить схему таким образом, чтобы выходной сигнал интегратора был как можно ближе к нулю при отсутствии какого-либо металла вблизи катушки. Для грубой настройки диапазон интегрирования может быть изменён посредством корректировки справочной таблицы в КАМ PeriodicWave. Для более точной настройки применяется корректировка частоты среза входного фильтра.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА МЕТАЛЛА

Для разделения металлов по типу используется более низкий коэффициент усиления и более высокая частота среза во входном фильтре (см. рис. 7). Затем производится интегрирование кривой затухания, начиная с момента выброса обратного напряжения и заканчивая после пересечения кривой нулевого уровня (см. рис. 10). Параметры фильтра подобраны таким образом, чтобы в тот момент, когда вблизи катушки нет металла, выходной сигнал интегратора был близок к нулю. Наличие чёрного металла вблизи катушки сдвигает кривую вправо и вниз, вызывая на выходе интегратора отрицательное напряжение. Предметы из серебра или золота рядом с катушкой смещают кривую влево, и на выходе интегратора появляется положительный сигнал (см. рис. 10).

Таким образом, настройка схемы сводится к тому, чтобы значение на выходе модуля IntegratorHold было близко к нулю при отсутствии металла рядом с катушкой детектора, затем, повышая коэффициент усиления можно увеличить чувствительность дискриминатора до необходимого уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программируемые аналоговые микросхемы могут стать незаменимым инструментом в приложениях, требующих малого времени отклика при обработке аналоговых сигналов с высокой точностью: в PID-регуляторах, в аналоговых фильтрах высокого порядка, в обработке сигналов от датчиков, нейронных сетях и т.п. Использование ПАИС Anadigm позволяет отказаться от значительной части внешних навесных элементов, тем самым уменьшая габариты устройства и повышая его надёжность.

В статье рассмотрен пример построения металлоискателя импульсного типа на базе одной ПАИС Anadigm AN231E04. На выбранной микросхеме выполнена схема формирования импульсов и вся аналоговая часть обработки сигнала. Применение встроенного в ПАИС конфигурируемого аналогового модуля IntegratorHold (интегратора с узкополосным фильтром) позволяет анализировать различные участки отражённого от металлических предметов сигнала и определять тип обнаруженного металла – серебро/золото или железо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щерба А. Конфигурационный протокол динамически программируемых аналоговых схем Anadigm. Компоненты и технологии. 2009. № 12.
2. Щерба А. Построение входных и выходных цепей программируемых аналоговых схем Anadigm. Компоненты и технологии. 2008. № 12.
3. Полищук А. Система автоматизированного проектирования программируемых аналоговых интегральных схем AnadigmDesigner2. Часть 1. Первый шаг: знакомство с интерфейсом. Компоненты и технологии. 2005. № 6–7.
4. Щерба А. Программируемые аналоговые ИС Anadigm: применение конфигурируемых аналоговых модулей в составе программы AnadigmDesigner2. Компоненты и технологии. 2007. № 12.
5. Application Note: State-Driven Control of a dpASP using a Microchip PIC. App Note 206. Anadigm, 2008.





ВЫСТАВКА НОВЕЙШИХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ, ТЕСТИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА

Testing Days. Moscow
впервые и одновременно
с 10-й ежегодной выставкой
Control Days. Moscow

Разделы выставки:



17-19 | МОСКВА
апреля 2018 | Экспоцентр

Акустика Ударные стенды Пробоподготовка ЭМС
Анализаторы сигналов Испытательное моделирование
Аэродинамика Мультиметры Моделирование ЛА
Климатические испытания Механические испытания
Испытания авиационных систем Виброиспытания
Испытания автомобилей Сенсорная измерительная аппаратура
Летные испытания Многоканальные измерительные системы
Испытания космических средств выведения Телеметрия

Реклама

При поддержке:



+7 (495) 790-89-90
www.testingdays.moscow

НОВОСТИ МИРА

**Новая платформа IoT
НЕ ТРЕБУЕТ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Компания Webalo из Лос-Анджелеса, которая разрабатывает платформу потребительского класса для удобной работы и нацеливает её на решение задач промышленного Интернета, выпустила версию 4.0 своей платформы генерирования приложений без написания кода.

Компания объявила об этом 25 октября 2017 года в Сан-Франциско на конференции GE Minds + Machines.

Задуманная в качестве инструмента повышения производительности труда при получении и обработке отраслевых и корпоративных данных, Webalo 4.0 использует патентованную технологию, которая даёт корпоративным пользователям возможность быстро и автоматически генерировать динамические настольные и мобильные приложения в соответствии с личными предпочтениями благодаря программным помощникам и выпадающим меню.

Бизнес-пользователи могут адаптировать приложения к своим нуждам, кодирование не требуется. Опытные пользователи, работающие на производстве, могут визуализировать данные и дополнять, адаптировать или оптимизировать программные бизнес-инструменты и приспособлять их к своим повседневным бизнес-задачам. Изученные ими комбинации клавиш могут в итоге сэкономить компании время и деньги.

К основным особенностям Webalo 4.0 относятся следующие:

- соответствие приложений личным предпочтениям без необходимости написания кода – достаточно просто подключиться, сконфигурировать и развернуть процесс для автоматического генерирования персонализированных приложений, обеспечивающих специфические потребности пользователей;
- ориентированные на пользователя «смеси» данных – первая в своём роде способность составлять «смеси» данных позволяет пользователям в единой среде просматривать несколько потоков данных и взаимодействовать с ними;
- динамическая визуализация данных – автоматически генерируемые варианты визуализации, которые могут включать ключевые показатели производительности, интерактивные диаграммы, форматированные таблицы, карты и широкий спектр других виджетов, создавая адаптируемые пользователями активные приборные доски;
- множество коннекторов данных – подключение к корпоративным данным, таким как данные из систем IBM, Oracle, Microsoft и SAP, данным GE, включая Predix, APM, BMS, ServiceMax и другим промышленным данным из решений таких производителей, как Rockwell, Siemens и Wonderware;
- многоканальность – приложения Webalo без адаптации работают на смартфонах и планшетах с Android и iOS в дополнение к браузерам Chrome, Edge, Firefox и Safari на настольных ПК с большими дисплеями;
- действенность и двунаправленность – позволяет пользователям углубляться в данные, запускать потоки работ и бизнес-процессы, вводить, захватывать, хранить, пересылать, записывать и просматривать данные;
- тревожные сообщения и уведомления – автоматическое ведение мониторинга каждой среды реального времени и оповещение пользователей о требующих реагирования событиях посредством активных уведомлений, которые запускают потоки работ и бизнес-процессы.

www.itweek.ru

**Магнитоэлектрики MICROMETALS****Применение сердечников Micrometals гарантирует:**

- снижение стоимости индуктивных компонентов
- повышение надёжности аппаратуры
- снижение потерь на 30...50% по сравнению с ферритами
- оптимизацию конструкции и уменьшение габаритов индуктивных компонентов



PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 • INFO@PROCHIPRU • WWW.PROCHIPRU



Роснано

ChipEXPO-2018

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

16-я
МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА
ЭЛЕКТРОНИКИ

РОССИЯ | МОСКВА
ЭКСПОЦЕНТР

ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ

- Экспозиция предприятий радиоэлектронной промышленности России «Участники Федеральных целевых программ Минпромторга России»
- Экспозиция «Участники Конкурса «Золотой Чип»
- Экспозиция «Испытания и контроль качества ЭКБ»
- Экспозиция «Новинки производителей электронных компонентов»
- Экспозиция «Другая электроника»
- Экспозиция предприятий Зеленограда (Корпорация развития Зеленограда)
- Экспозиция предприятий АО «Росэлектроника»



17.10-
19.10

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА

