

УДК:621.317.755:621.316.544.1-022.53

**РАЗРАБОТКА ШЕСТИКАНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА НА
БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ**

КАДЫРОВ И.Ш., ПОСТНОВ А.А.
bgtu_kg@mail.ru

*Кыргызский государственный технический университет
им. И.Раззакова; филиал БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;*

**WORKING OUT OF SIX-CHANELL ELECTRONIC OSCILLOGRAPH ON
THE BASIS OF MODERN MICROCONTROLLERS**

KADYROV I.SH., POSTNOV A.A.
bgtu_kg@mail.ru

*Kyrgyz State Technical University by I. Razzakov; Branch of Baltic State Technical University
“VOENMECH” by D.F. Ustinov;
Bishkek, Kyrgyz Republic*

Аннотация

В работе рассматривается принцип построения блока цифровой обработки электрических сигналов с помощью современного микроконтроллера и способы передачи оцифрованной информации во входные цепи персонального компьютера с дальнейшим отображением их на экране монитора в виде осциллограмм.

Summary

The work concides principle for construction of the electrical digital signals processing unit by modern microcontroller and methods for digitized information transfer to input circuit of personal computer with the further monitor on screen display in the form of oscillograms.

Введение. Проблема точного измерения электрических сигналов в настоящее время становится более актуальной, так как имеющиеся в наличии измерительные и регистрирующие приборы фактически не проходят проверки на точность измерения в соответствующих государственных органах, а некоторый класс приборов морально устарел. В то же время проблемы использования регистрирующих аппаратов в процессе наладки технических объектов управления до настоящего времени остаются нерешенными из-за отсутствия широкодоступных недорогих альтернативных приборов. Эксплуатация шлейфовых осциллографов, где электрический сигнал записывался с помощью шлейфов в виде отклонения светового излучения на фотографической бумаге, практически прекратилась, так как выпуск специальных фотографических бумаг для осциллографа был остановлен еще в прошлом столетии.

Эти трудности в первую очередь коснулись области автоматизированного электропривода (АЭП), так как управление, особенно регулирование скорости в широком диапазоне, электрическими двигателями постоянного и переменного тока возможно только в том случае, если они получают питание с выхода полупроводниковых преобразователей электрической энергии. Наладка и исследование динамических свойств этих электроприводов – процесс сложный как в методическом плане, так и в практической реализации. Если в методическом плане все обстоит благополучно в связи с тем, что разработано достаточное количество теоретически обоснованных практических рекомендаций, то отсутствие регистрирующих приборов затрудняет реализацию этих рекомендаций в практику.

Цели и методы. С появлением современных микропроцессорных систем стало возможным создание относительно недорогих и простых в эксплуатации регистрирующих приборов. Микропроцессор – это однокристалльная большая интегральная схема (БИС), иногда с программируемой логикой. Основными элементами МП являются: арифметико-логическое устройство, предназначенное для обработки данных; блоки внутренних регистров, образующие внутреннюю память, в состав которых входят специальные регистры и регистры общего назначения (РОН); устройства управления; интерфейсы МП, представляющие собой систему адресных, информационных и управляющих шин, обеспечивающих движение информации между элементами МП и с внешней аппаратурой.

Отличительной чертой микропроцессора чаще всего является высокое быстродействие ядра, однако современные микропроцессоры не имеют встроенных периферийных устройств, но вместе с тем при проектировании прибора требуется применение внешних запоминающих устройств, логических и периферийных схем и т.д.

Возможности современных микроконтроллеров (МК) позволяют использовать их вместо микропроцессоров в виде функционально законченного блока, так как микроконтроллер обладает встроенной памятью ОЗУ, ПЗУ и широким набором периферии, например популярные интерфейсы USB, Ethernet и т.д. Все это говорит о преимуществах микроконтроллера в более широком смысле, нежели микропроцессоры на БИС. Подключение небольшого количества внешних согласующих элементов вместе со встроенным программным обеспечением к микроконтроллеру позволяет создать полноценный регистрирующий прибор для решения задач автоматизированного электропривода.

Разработанный регистрирующий прибор изготавливается в виде приставки к персональному компьютеру (ПК), имеет выходной кабель для подключения через USB к входам ПК и шесть входов, предназначенных для измерения как аналоговых, так и цифровых сигналов. Измеряемые аналоговые и цифровые сигналы тарируются во входных цепях прибора и с помощью встроенных в микроконтроллер аналогово – цифровых преобразователей (АЦП) преобразуются в математический код, который в дальнейшем МК распределяет в ячейки внутренней памяти. Отображение измеренных сигналов на мониторе ПК производится самим ПК по специальной программе. В этом смысле приставка вместе с ПК представляют собой электронный осциллограф, работающий в трех режимах:

- отображения на мониторе шести каналов измеряемых периодических сигналов с синхронизацией и в реальном масштабе времени измерения;
- захвата измеряемых периодических сигналов и передачи их в постоянную память персонального компьютера;
- захвата непериодических сигналов переходного процесса с длительностью, не превышающей в 1 с полученных на объекте управления с помощью старт-стопных управляющих устройств.

В режиме отображения сигналов для удобства наблюдения за изображениями на мониторе по специальной программе можно менять как развертку, так и коэффициент усиления, причем последний можно изменять даже в дробных отношениях.

В режиме захвата непериодических сигналов количество измеренных точек достигает 60000, поэтому графики переходного процесса, например, тока и скорости при пуске или остановке двигателя постоянного тока, имеют максимальную разрешающую способность для получения достоверной информации.

Таким образом, разрабатываемый шестиканальный электронный осциллограф состоит из двух самостоятельных объектов:

- персонального компьютера с программным обеспечением для отображения измеряемых электрических сигналов на экране монитора;
- универсального блока, выполненного в виде приставки к ПК, основной задачей которого является цифровая обработка измеряемых сигналов. Это устройство условно можно назвать блоком цифровой обработки сигналов (БЦОС).

Основными параметрами приставки БЦОС являются:

- количество каналов6
- время нарастания переходной характеристики не более, *мкс*1
- активное входное сопротивление, не менее, *МОм*1
- входная емкость, не более, *пФ*20

– допустимое суммарное значение постоянного и переменного напряжения без внешнего делителя, B	20
– диапазон частоты синхронизации	$[1 \text{ Гц} \div 5 \text{ кГц}]$
– предельные уровни, B	20
– нестабильность, $\pm mB$	10
– полоса пропускания, кГц	5
– нормальный диапазон частот, Гц	$[1 \text{ Гц} \div 5 \text{ кГц}]$
– коэффициент развязки между каналами.....	без развязки
Дополнительные параметры приставки БЦОС:	
– частота дискретизации (на шесть каналов), кГц	66
– длина внутренней памяти, <i>байт</i>	900

Основными критериями аппаратной реализации приставки БЦОС с использованием микроконтроллеров являются соблюдение баланса между размерами и стоимостью, с одной стороны, и гибкостью и производительностью – с другой. Для разных приложений оптимальное соотношение этих и других параметров может различаться очень сильно. Поэтому существует огромное количество типов микроконтроллеров, отличающихся архитектурой процессорного модуля, размером и типом встроенной памяти, набором периферийных устройств, типом корпуса и т.д. В то время как 8-разрядные процессоры общего назначения полностью вытеснены более производительными моделями, 8-разрядные микроконтроллеры продолжают широко использоваться [1].

Основным элементом приставки БЦОС является 8-разрядный микроконтроллер фирмы Atmel с архитектурой AVR. Приоритет выбора этих МК объясняется, во-первых, их универсальностью, во-вторых, многообразием целенаправленного использования, где не требуется высокая производительность, но важна низкая стоимость. В то же время в случае необходимости расширения программно-аппаратных возможностей приставки БЦОС существуют микроконтроллеры, обладающие большими вычислительными возможностями, например, цифровые сигнальные процессоры.

Микроконтроллеры AVR по праву считаются одним из самых прогрессивных направлений, активно развиваемых корпорацией Atmel, так как эти элементы представляют собой мощный инструмент для создания современных высокопроизводительных, экономичных и многоцелевых управляющих контроллеров. На настоящий момент соотношение «цена-производительность-энергопотребление» для микроконтроллеров AVR по-прежнему остается едва ли не лучшим на мировом рынке 8-разрядных микроконтроллеров [2]. Постоянно растет число сторонних фирм, разрабатывающих и выпускающих программные и аппаратные средства поддержки для них. Диапазоны использования микроконтроллеров AVR многогранны – от простейших применений в автоматике и интеллектуальных датчиках до сложных управляющих устройств технологическими процессами в промышленном секторе.

Следует отметить, что без применения аппаратных и программных средств поддержки компании Atmel, а также некоторых других сторонних компаний, использование микроконтроллеров с архитектурой AVR в процессе реализации приставки БЦОС было бы невозможным. Объясняется это тем, что высокоскоростные процессы цифровой обработки измеряемых сигналов, происходящие внутри микроконтроллера, требуют быстроедействие МК в несколько десятков мегагерц. Поэтому отладка подобных устройств возможна только с применением внутрисхемных отладчиков On-Line Debugging.

В процессе разработки приставки БЦОС использовалась новая версия внутрисхемного эмулятора JTAGICE, работающего под управлением интегрированной среды приложений AVR Studio. Это приложение создано для поддержки нового однопроводного интерфейса фоновой отладки debug WIRE. В режиме фоновой отладки программный код формируется самим многоцелевым микроконтроллером, и этим достигается полное соответствие как временных, так и электрических параметров системы в отладочном и рабочем режимах. Помимо управления интерфейсами, эмулятор JTAGICE может использоваться и в качестве внутрисхемного программатора для микроконтроллеров, имеющих на кристалле интерфейсы JTAG.

Приставка БЦОС представляет собой универсальный блок ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов, которые измеряются и оцифровываются под управлением персонального компьютера и встроенного программного обеспечения JTAGICE. Приставка допускает изме-

рение до 8 аналоговых сигналов с диапазоном изменения входных напряжений от 0 до 5В и 16 цифровых сигналов с уровнями напряжения логики TTL. Управление приставкой БЦОС производится через интерфейс USB, COM-порт или через промышленный интерфейс типа RS-485. Кроме того, при полном сочетании программного обеспечения самого контроллера и персонального компьютера, помимо основных функций измерения, можно сформировать дополнительные функции, за счет этого приставка БЦОС становится универсальным прибором для решения сложных задач автоматизированного электропривода. По сути, любая задача цифровой обработки сигналов сводится к правильному согласованию входных и выходных уровней при наличии соответствующего программного обеспечения.

Для измерения и регистрации электрических сигналов приставка БЦОС должна решать задачи цифровой обработки сигналов во временной области, широко используемых в современных электронных и цифровых осциллографах. А для определения области частотных изменений сигналов она должна обладать свойствами цифрового анализатора спектра. Для изучения математических аспектов обработки сигналов используются пакеты расширения, именуемые Signal Processing в системах компьютерной математики MATLAB, Mathcad, Mathematica, Maple и др.

Таким образом, при проектировании регистрирующего и измерительного устройства для оптимизации структур управления автоматизированного электропривода одновременно решались две независимые друг от друга задачи. Первая из задач представляет собой построение многоканального (в нашем случае шести канального) осциллографа электрических процессов с возможностью запоминания графической информации. Второй задачей являлось построение блока задания сложных форм электрических сигналов, предназначенных для подачи на вход АЭП в виде стандартных управляющих сигналов в процессе отладки его. Например, формирование трапецеидального, синусоидального, экспоненциального и прочих сигналов, получение которых средствами аналоговой техники представляется очень сложной задачей, а иногда невыполнимой. За основу реализации первой задачи приставкой БЦОС была взята теорема Котельникова, согласно которой любой непрерывный аналоговый сигнал может быть подвергнут дискретизации по времени и квантованию по уровню, то есть представлен в цифровой форме. При этом если частота дискретизации сигнала не меньше, чем удвоенная наивысшая частота в спектре сигнала, то полученный дискретный сигнал эквивалентен искомому сигналу.

Перечисленным выше требованиям к проектируемому шестиканальному электронному осциллографу, удовлетворяющему задачам наладки и эксплуатации автоматизированного электропривода, соответствует функциональная схема, представленная на рис.1, где наглядно показаны направления потоков измеряемых сигналов с отображением их на экране монитора персонального компьютера.

Выбранный для измерения и оцифровки микроконтроллер с архитектурой AVR имеет встроенный АЦП с разрядностью 10 бит и частотой дискретизации 66 кГц на 6 каналов. За счет этого в соответствии с теоремой Котельникова появляется возможность обрабатывать сигналы с частотой около 5 кГц на один канал, т.е. $66 \text{ кГц}/6/2 \sim 5 \text{ кГц}$, что вполне достаточно для за-

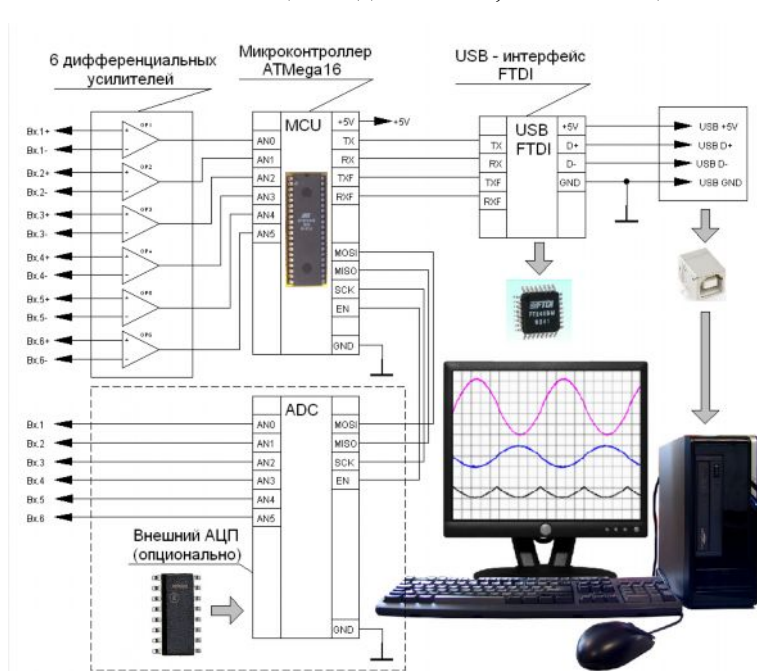


Рис.1 Функциональная схема шестиканального электронного осциллографа.

дач мониторинга автоматизированного электропривода. АЦП микроконтроллера получает запросы от управляющего персонального компьютера, и в виде решетчатой функции поток оцифрованной информации отсылается как данные в пакетах через интерфейс USB со скоростью около 1,3 Мбит/с. Аппаратной реализацией интерфейса USB является специализированная микросхема фирмы FTDI.

FTDI – это интерфейс USB, который в себе объединяет функциональные возможности двух микросхем FTDI вто-

рого поколения вычислительных машин (BM), выполненных в одном устройстве. Нижний ведомый USB-порт конвертируется в два канала, каждый из которых может быть индивидуально настроен как интерфейс UART типа FT232B или как интерфейс FIFO типа FT245BM без необходимости добавления USB-хаба. Существует также несколько других новых специальных режимов, каждый из которых может работать с внешней памятью EPROM, используя команды драйвера. При этом наличие новых опций высокого уровня запуска означает, что контакты устройства UART / FIFO 10 работают в три раза быстрее нормального уровня и один и тот же канал может быть использован несколькими устройствами. Классический тип BM асинхронного режима Bit-Bang используется для формирования пакетов дискретизации осциллографа. Длина каждого из пакетов 3000 байт, не включая контрольных сумм и признаков изохронной передачи. Вход FTDI предоставляет драйверу виртуального COM-порта или D2XX прямой доступ написанного для этих целей программного обеспечения. Все необходимые настройки режимов работы осциллографа хранятся в энергонезависимой памяти программ, а также подключенной к интерфейсной микросхеме FTDI энергонезависимой памяти EPROM.

Аппаратная реализации цифрового шести канального осциллографа завершается применением внешних устройств согласования уровней напряжения или с гальванической развязкой или без нее. В случае если гальваническая развязка не нужна, то применяется обычный операционный усилитель в неинвертирующем режиме.

Все виды управления режимами работы цифровым осциллографом ведутся при помощи специализированного программного обеспечения (ПО). Это ПО специально разработано для задач автоматизированного электропривода и задач энергетики и включает в себя функцию запоминания длительности переходных процессов, усреднения измеренных сигналов, выделения действующих значений, например напряжения и тока, измерение частоты и т.д. Кроме этого, разработан дополнительный модуль, позволяющий производить спектральный анализ входных сигналов. За основу спектрального анализа взято 1024-х точечное преобразование анализируемых сигналов в ряд Фурье. Ядром программного обеспечения являются быстродействующие процедуры цифровой обработки сигналов, написанные на языке Си. Прямой доступ к данным микросхемы FTDI с применением драйверов D2XX позволяет обеспечить надежную работу ПО при низких системных затратах на ресурсы процессора.

Стоит остановиться на специально выбранном механизме буферизации данных, позволяющем достичь оптимального LatencyTime, т.е. времени «латентности» устройства, равного около 1,5 м – сек. Прежде всего пользовательское приложение взаимодействует с приставкой непосредственно через драйвер этого устройства, в нашем случае через устройство FTDI. Драйвер регистрирует и дает разрешение интерфейсу, после чего система сама создает соответствующее символическое имя, через которое можно обратиться к устройству как к файлу. Необходимость такого подхода объясняется тем, что для быстродействующих устройств, особенно передающих данные большими пакетами, как в нашем случае, использование программных буферов имеет два основных недостатка: большие системные расходы на копирование данных в (из) промежуточный буфер; нерациональность использования системной памяти. По этой причине используется прямой ввод/вывод данных, которые принимаются непосредственно в буфер (или передаются из этого буфера), зарезервированный пользовательской программой, надстройкой к основной. Производительность такого метода заметно выше. Однако возникают некоторые сложности с приемом данных, так как у драйвера всегда должен быть прямой доступ к буферу. Это обеспечивается специально разработанной программой «Клиент».

Программа «Клиент» состоит из подпрограмм прямого доступа к памяти и к блоку цифровой обработки принятых данных, в которых заложен алгоритм разделения главных процессов на потоки. Необходимость разделения их объясняется тем, что этот алгоритм содержит три основных процесса по работе с данными. К ним относятся процедуры приема передач данных, их обработка и нормализация, вывод обработанных данных на экран. Для того чтобы приблизить работу разработанного электронного осциллографа к лучевому осциллографу, необходимо добиться обеспечения непрерывности вывода изменяющихся по периодическому закону процессов на экран. Пользователь на экране может наблюдать устойчивую картину в реальном масштабе времени только в том случае, если процедура вывода данных на экран будет вынесена в отдельный поток, а процедура приема обработки и нормализации данных – в отдельный. Отработка этих двух процедур происходит параллельно, поэтому процессор персонального компьютера, работая попеременно и с большой скоростью, должен обеспечивать взаимодействие потоков за счет совершенствования системы синхронизации и выделения специальных областей памяти. Однако избежать задержки

вывода данных в виде осциллограмм на экране монитора не всегда удастся в связи с неизбежными ограничениями по быстродействию процессора ПК, объемом памяти в буферном регистре микроконтроллера и буфера программного обеспечения, которые в совокупности снижают скорость вывода на экран. В то же время эта задержка не превышает 90 мс, что практически не заметно человеческому глазу.

Результаты исследований. В качестве примера применения разработанного электронного осциллографа для решения задач автоматизированного электропривода рассмотрим процесс симметрирования выдачи управляющих импульсов тиристорного преобразователя (ТП), имеющего шестиканальную систему импульсно-фазового управления (СИФУ), т.к. наиболее ответственным моментом в процессе наладки многоканального СИФУ ТП является получение симметричных, равностоящих друг от друга импульсов управления силовыми вентилями, синхронизированных сетью [3,4].

Операция симметрирования импульсов включает в себя операцию выставления длительности формируемых сигналов, соответствующих элементов СИФУ, с помощью времязависимых элементов – R–C-цепочек. При этом использование типовых электронных осциллографов в процессе наладки СИФУ не всегда удобно, поэтому разработанный электронный осциллограф существенно облегчает процедуру настройки каналов СИФУ, т.к. появляется возможность иметь достоверные картины всех контрольных точек наблюдения в виде распечаток.

На рис. 2 показана функциональная схема трех каналов из шестимногоканального СИФУ, в которой: генераторы пилообразных напряжений, предназначенные для формирования напряжений

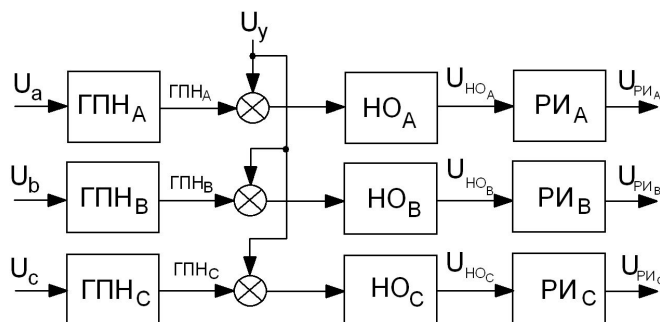


Рис.2. Структурная схема многоканального СИФУ.

обозначены $U_{ГПН_A}, U_{ГПН_B}, U_{ГПН_C}$ обозначены $ГПН_A, ГПН_B, ГПН_C$; нуль – органы, предназначенные для формирования ширины импульсов управления силовыми вентилями $U_{НО_A}, U_{НО_B}, U_{НО_C}$ обозначены $НО_A, НО_B, НО_C$; распределители импульсов, предназначенные для формирования основных и дополнительных импульсов $U_{РИ_A}, U_{РИ_B}, U_{РИ_C}$ по каналам управления силовыми вентилями обозначены $РИ_A, РИ_B, РИ_C$.

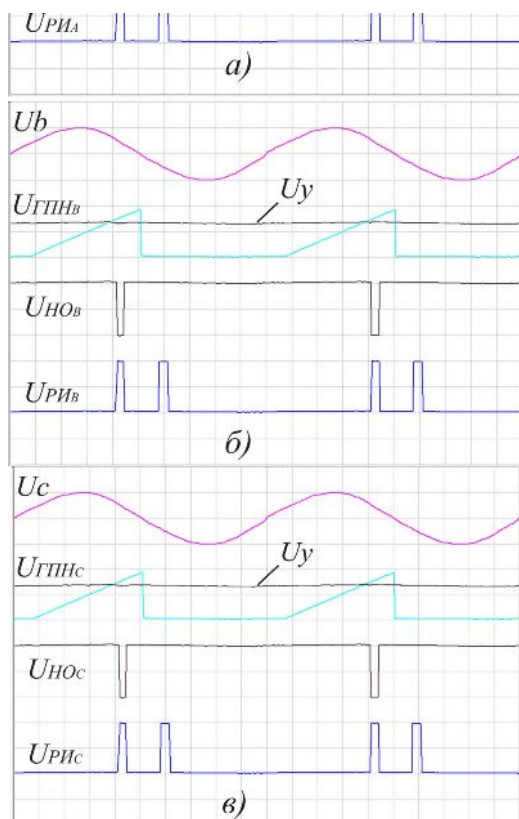


Рис.3. Диаграммы напряжений многоканального СИФУ.

$РИ_A, РИ_B, РИ_C$.

На рис. 3 показаны распечатки осциллограмм, снятых с контрольных точек для трех каналов СИФУ, в которых каждый канал СИФУ содержит по три аналоговых сигнала $(U_a, U_y, U_{ГПН_A})$, $(U_b, U_y, U_{ГПН_B})$, $(U_c, U_y, U_{ГПН_C})$ и по два цифровых сигнала $(U_{НО_A}, U_{РИ_A})$, $(U_{НО_B}, U_{РИ_B})$, $(U_{НО_C}, U_{РИ_C})$.

Рассматривая эти осциллограммы, можно отметить, что каждое пилообразное напряжение $(U_{ГПН_A}, U_{ГПН_B}$ или $U_{ГПН_C})$ формируется в интервалах, когда синхронизирующее напряжение $(U_a, U_b$ или $U_c)$ изменяется в пределах от 30° до 180° и имеет длительность в 150° . Кроме того, настройкой ГПН добиваются, чтобы в каждом канале напряжения $U_{ГПН}$ были одинаковой амплитуды, иначе говоря, наклон «пил» на всех каналах СИФУ должен быть одинаковым.

Другим моментом настройки СИФУ является выставление ширины импульсов нуль – органов,

удовлетворяющих следующим условиям: минимальная длительность должна быть достаточной для надежного отпирания силовых тиристорov; максимальная ширина выбирается из условия обеспечения минимальных электрических потерь по каналам управления тиристорov. Импульсы на выходах распределителей импульсов показывают время поступления основных и дополнительных импульсов на управляющие электроды тиристорov. При этом интервал следования этих импульсов должен быть равен 60° .

Выводы. Все эти условия настройки каналов СИФУ, согласно приведенным осциллограммам на рис. 3, имеют место. В заключение следует отметить, что в связи с бурным развитием вычислительной, микропроцессорной техники цифровые методы обработки сигналов получают все большее распространение. Они имеют более широкие возможности реализации сложных и эффективных алгоритмов обработки сигналов, которые в большинстве своем недоступны для реализации аналоговыми цепями.

Литература:

1. Королев Н.В., Королев Д.Н. AVR: новые 8-разрядные RISC-микроконтроллеры фирмы Atmel// Микропроцессор Ревю. – 1998. – №
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel ОДЭ-КА. 2006.
3. Кадыров И.Ш. Разработка цифровой системы импульсно-фазового управления (СИФУ) и блока логики (БЛ) для реверсивного тиристорного преобразователя (ТП) // Известия КГТУ им. Раззакова, № 9, 2006. – Бишкек: – С. 395-400.
4. Кадыров И.Ш., Постнов А.А. Применение компьютерной математики Matlab при проектировании систем управления тиристорным преобразователем // Известия КГТУ им. Раззакова, № 8, 2006. – Бишкек: – С. 141-147.