

РОЗДІЛ «РАДІОЕЛЕКТРОНІКА»

УДК 621.376

КУЛИК М.В., ассистент
СЪЯНОВ А.М., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕРТОРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Введение. Современный частотно-управляемый асинхронный привод в основном строится по схеме «питающая сеть – выпрямитель – трёхфазный автономный инвертор напряжения (АИН) – асинхронный двигатель (АД)». АИН преобразовывает постоянное напряжение в трёхфазное, регулируемое по частоте и действующему значению напряжения. Силовая часть АИН строится на основе тиристоров или же полноуправляемых силовых ключей (IGBT или MOSFET транзисторов). Для регулирования частоты и действующего значения напряжения применяется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) [1]. Управление силовыми ключами АИН осуществляет по определённому алгоритму специальный управляющий контроллер [2].

В настоящее время для улучшения формы выходного напряжения строятся многоуровневые АИН (рис.1). Один из способов построения многоуровневых инверторов основан на последовательном соединении 1-фазных H-мостовых ячеек, как показано на рис.1. Одно из основных преимуществ многоуровневого преобразователя состоит в возможности масштабирования рабочего напряжения и мощности с помощью соединения определенного количества H-мостов [3].

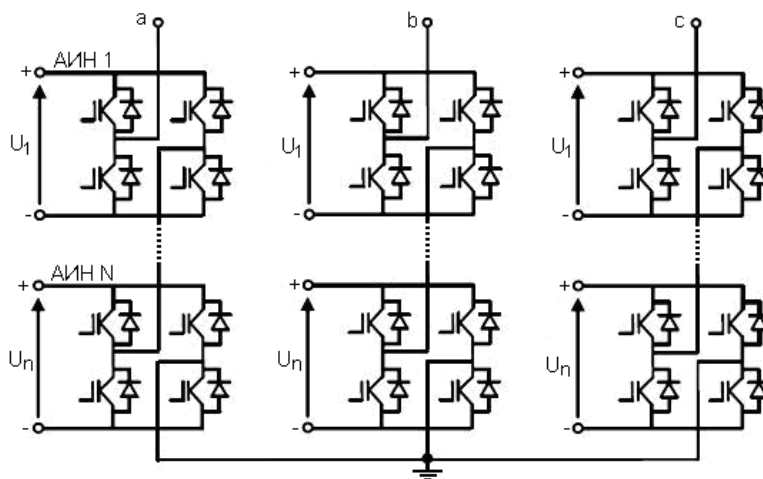


Рисунок 1 – Упрощенная (без входных цепей) структурная схема каскадного многоуровневого АИН

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка и исследование режимов работы системы управления АИН, формирующей двухуровневую ШИМ.

Результаты работы. Для разработки и исследования АИН рассмотрим двухуровневый инвертор (рис.2), формирующий 12 широтно-импульсных сигналов для двухуровневого силового модуля, собранного на IGBT транзисторах.

Система управления АИН построена на основе двух микроконтроллеров (рис.2), формирующих подсистему управления преобразователем и подсистему анализа и визуализации данных. Такое разделение позволило независимо разработать модульную

структуру преобразователя с повышенной отказоустойчивостью и быстродействием [2].

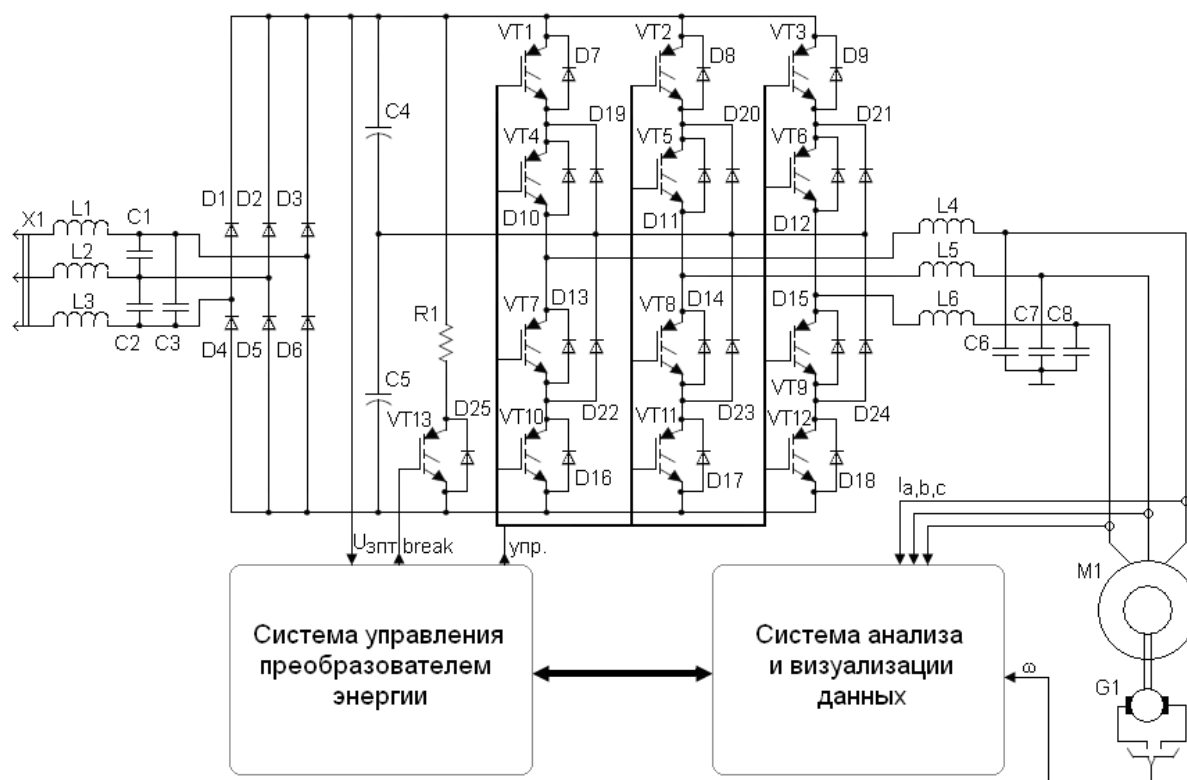


Рисунок 2 – Двухуровневый преобразователь напряжения с нерегулируемым выпрямителем

Блок-схема системы управления преобразователем частоты с нерегулируемым выпрямителем представлена на рис.3. Управляющим звеном в данной схеме является система контроля и управления ШИМ генераторами, которая, взаимодействуя с системой анализа и контроля данных, выбирает режим работы преобразователя, подсчитывает коэффициенты формирования ШИМ сигналов и отслеживает все сигналы ошибок работы.

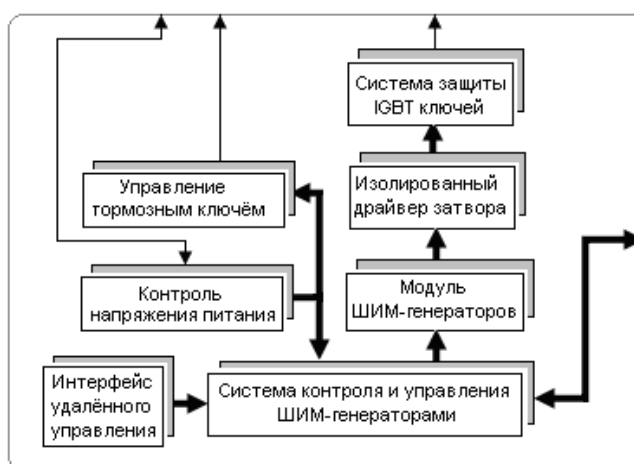


Рисунок 3 – Преобразователь частоты с нерегулируемым выпрямителем

Сформированные сигналы управления ШИМ генераторами поступают в соответствующие счётчики и, если разрешено выполнение и формирование импульсов, то запускают подпрограммы счёта импульсов.

Сформированные сигналы поступают на блок контроля случайных импульсов и формирования защитного интервала между открытиями верхнего и нижнего IGBT транзистора каждой фазы. Данный блок по значениям параметров применяемых модулей, формирует импульсы открытия с учётом специфики IGBT транзисторов в модуле, защищая преобразователь энергии от сквозных токов, протекающих в случае, если время между поочерёдными открытиями транзисторов выбрано неверно.

Разделив блок формирования ШИМ импульсов на блок генерации ШИМ и блок формирования защитного интервала, мы добиваемся возможности применения любых IGBT транзисторов без изменения алгоритма работы системы формирования и автоматического подбора параметров управления ШИМ генераторами для надёжного открытия силовых транзисторов.

Отдельно на блок формирования коэффициентов ШИМ сигналов поступают данные о текущем токе, протекающем через инвертор. Такая необходимость связана с формированием двойной системы защиты, так как все данные параметров работы преобразователя поступают в систему контроля и анализа данных, и в данной системе уже формируются режимы работы и выполняется определённая команда над преобразователем (стоп, реверс, изменение скорости, изменение максимального тока в фазе), но в случае пробоя силового транзистора или выхода из строя компонентов преобразователя формирование аварийного завершения работы и отключение узлов будет иметь большее время отклика в связи с модульной структурой системы.

Отдельным узлом блока ШИМ сигналов является формирование сигнала работы тормозного ключа (рис.2), служащего защитным звеном от превышения напряжения питания в силовой цепи преобразователя. Данный блок представляет собой отдельный независимый модуль, включающий в себя блок генератора ШИМ сигнала управления и систему сравнения напряжения питания преобразователя. Данные о работе данного блока поступают от системы контроля и управления ШИМ генераторами преобразователя энергии совместно с общими данными состояния устройства. В связи с модульностью структуры математическую обработку выполняет система анализа и контроля данных, освобождая основной процессор. Благодаря этому формирование импульсов становится независимым от потока данных и обеспечивает бесперебойный режим работы с гарантированной загрузкой процессора ниже его максимально возможной. Учитывая, что большинство операций при формировании ШИМ сигналов происходит асинхронно, использование системы прерываний позволяет добиться большого быстродействия при гарантированно незагруженном режиме работы микроконтроллера.

Таким образом, модульная система работы преобразователя позволила снизить нагрузку на систему обработки данных и, используя симметричное мультипроцессирование режима работы, построить систему инвертора, обеспечивающую надёжную работу по алгоритму любой сложности.

Для контроля работы АИН и формирования режимов работы ШИМ предлагается использовать подсистему контроля и визуализации, разработанную в [4]. Основным назначением данной системы является задание режима работы преобразователя, отслеживание сигналов ошибки, формирование заданного закона изменения скорости вращения асинхронного двигателя, сбор и анализ полученных данных с возможностью их дальнейшей обработки на персональном компьютере.

На рис.4 представлена блок-схема данной системы, включающая в себя основные блоки, используемые для управления преобразователем и обработки данных.

Ввод данных и команд для взаимодействия с преобразователем выполняется с

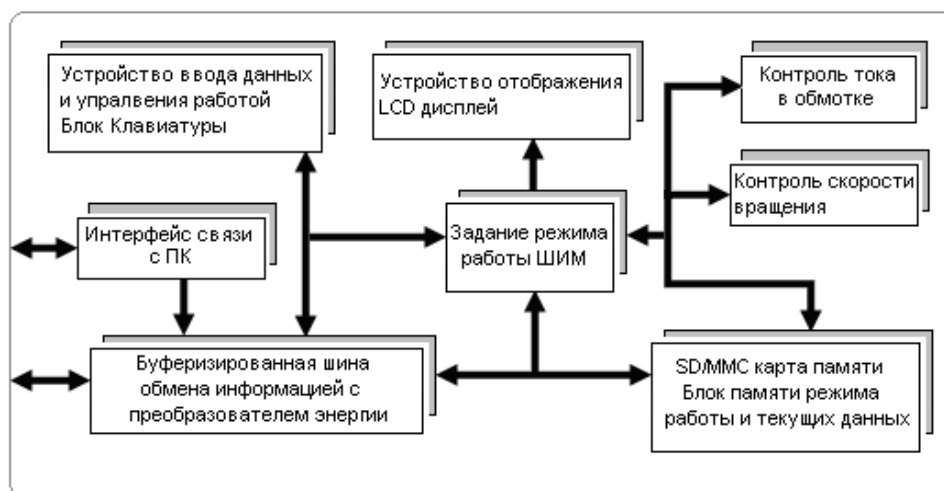


Рисунок 4 – Система анализа и визуализации данных

помощью клавиатуры, расположенной в блоке ввода данных, и по общей шине передаётся в главный узел задания режима работы ШИМ, а также синхронно в буфер обмена информацией с преобразователем. Двойственность отправки данных позволяет синхронно строить закон изменения режимов работы преобразователя и выполнять команды, реакция на которые должна быть незамедлительной (такие команды, как изменение максимального тока в фазе или же аварийное завершение работы).

Особенностью отлаженных программ системы управления и взаимодействия генераторов формирования ШИМ является использование нескольких микроконтроллеров, отдельно для системы управления и для силовой части, а также системных API защиты оперативной памяти от некорректно написанного программного обеспечения или же в случае возникновения ошибки переполнения памяти поступающими данными. Вся область памяти поделена на сектора фиксированного объёма, а в операционной системе хранится таблица занятых участков и адреса прикладных программ, которым эти участки памяти принадлежат. Так, например, при получении новой порции данных с аналогово-цифровых датчиков прикладная программа обращается к операционной системе за получением свободных участков в оперативной памяти для обработки поступающих данных.

Такой подход позволяет создавать единую систему для различных архитектурных решений микроконтроллеров с различными объёмами оперативной памяти и написание алгоритмов работы вне зависимости от выбранного аппаратного обеспечения (типа микроконтроллера, его характеристик и внешнего набора периферийных устройств).

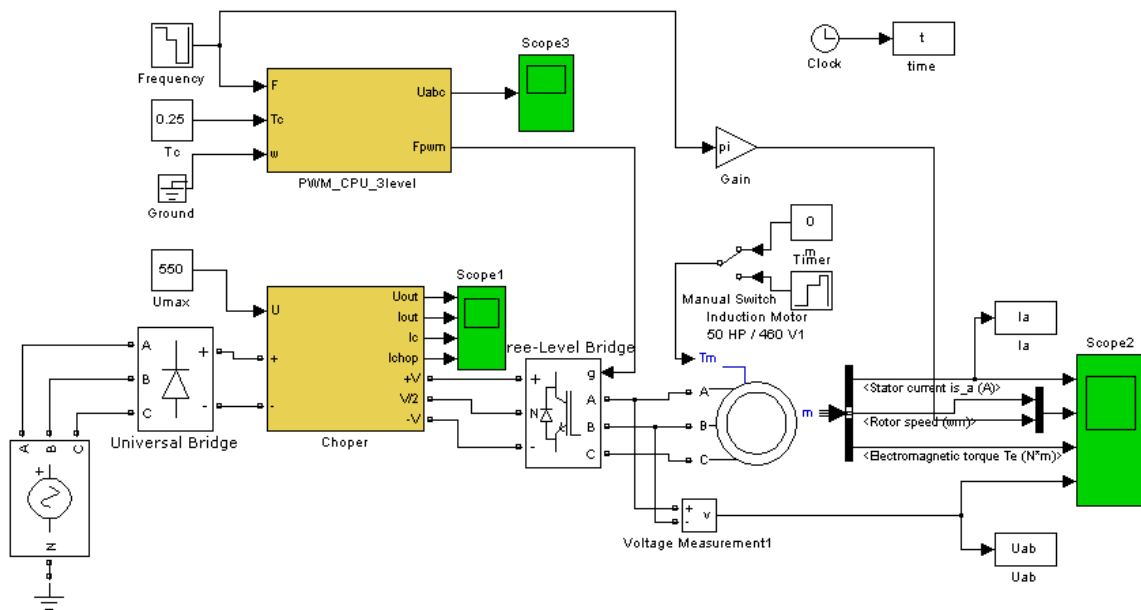
Для исследования режимов работы системы многоуровневый АИН – АД была создана имитационная модель преобразователя в среде MatLab (рис.5).

Модель включает в себя блоки управления ШИМ, источник питания, силовые IGBT модули и асинхронный электродвигатель типа 4AA63A4Y3. Полученные данные в результате моделирования отображаются в блоках Scope.

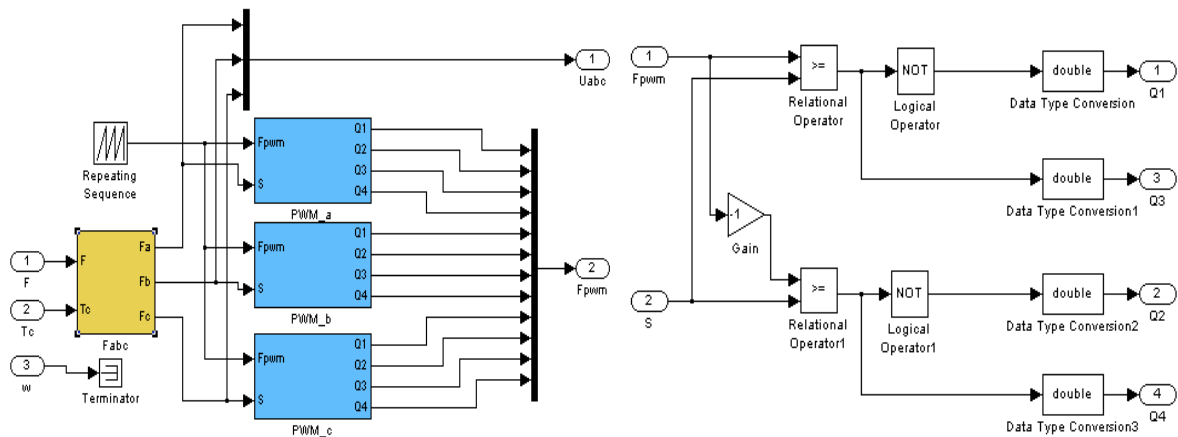
Система управления автономного инвертора в модели представлена блоками PWM_CPU_3level (рис.5, а) и Choper. Он включает в себя блок формирования синусоидального трёхфазного напряжения с заданной частотой и амплитудой (блок Fabc), использующий формирование линейно-частотной модуляции [2]; генераторы формирования ШИМ сигналов фаз, представленные блоками PWM_a, PWM_b, PWMc.

Частотой ШИМ сигнала управляет задающий генератор пилообразного сигнала (рис.5, б), формируя в блоках PWM 12 сигналов управления силовыми IGBT транзисторами с заданными параметрами скорости вращения асинхронного двигателя.

Сформированные сигналы фаз поступают на блоки преобразования их в ШИМ-импульсы с заданной частотой и заполнением. Разработанный блок формирования двухуровневой ШИМ представлен на рис.5, в. В данном блоке формируется наложение сигналов фаз на пилообразный сигнал с заданной частотой, обозначаемой как F_{pwm} . Если сигнал больше или равен значению напряжения F_{pwm} , то единичный уровень поступает на верхний IGBT ключ силового модуля (транзистор VT1 на рис.1), если же сигнал отрицательный – то на нижний транзистор (VT10). Одновременно с этим формируются противофазные ШИМ для инвертированной пилы $-F_{pwm}$, позволяя задавать режим отключения нижнего и верхнего ключа VT4 и VT7 силового модуля.



а) модель системы АИН – АД



б) модель системы управления АИН в) модель широтно-импульсного модулятора

Рисунок 5 – Модель двухуровневого АИН с микроконтроллерным управлением

Сформированные PWM блоками сигналы подаются на IGBT модуль преобразователя энергии и далее, сформированные модулем напряжения, поступают на асинхронный двигатель.

Данная модель позволяет исследовать алгоритм работы АИН и переходные характеристики АД. На рис.6 представлены результаты моделирования управления пуска асинхронного двигателя 4АА63А4У3 с последующим переходом на пониженную скорость. Как видно из рис.6, во время плавного пуска с применением линейно-частотной модуляции (ЛЧМ) задаётся пусковой ток на уровне $0,4I_H$.

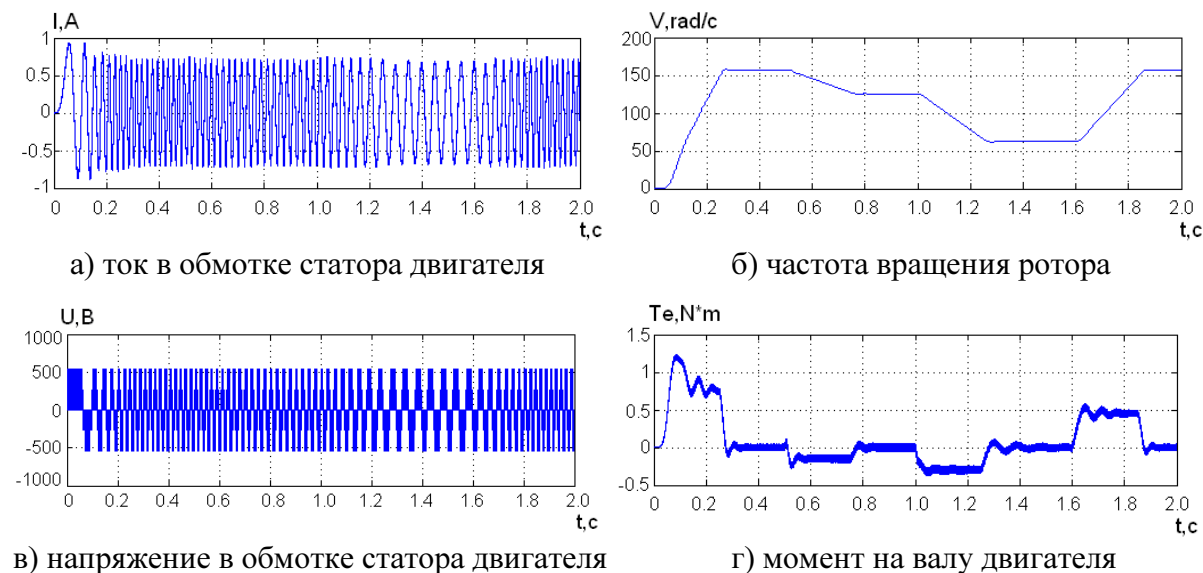


Рисунок 6 – Переходные характеристики асинхронного двигателя 4АА63А4У3

Выводы.

1. Разработанная виртуальная модель системы АИН – АД с ЛЧМ позволяет получить управляемые переходные процессы с заданными качественными показателями, а также исследовать алгоритмы работы инвертора и переходные характеристики АД, разработать микроконтроллерную систему управления, формирующую двухуровневую ШИМ.

2. Особенностью разработанной и исследованной системы АИН – АД является использование нескольких микроконтроллеров – отдельно для системы управления и для силовой части, а также системных API для защиты оперативной памяти от некорректно написанного программного обеспечения или возникновения ошибки переполнения памяти поступающими данными.

3. Созданная модель АИН в среде MatLab позволяет отладить программное обеспечение для системы управления и взаимодействия генераторов формирования ШИМ в двухпроцессорной системе, разработать программно-аппаратную защиту АД и силовых IGBT ключей от ошибок программного обеспечения путём подачи отрицательного потенциала на затворы силовых транзисторов и отключения АД от источника питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулик М.В. Преобразователь напряжения по принципу широтно-импульсного управления / Кулик М.В., Сьянов А.М. // Сб. науч. трудов ДГТУ (технические науки). – Днепропетровск: ДГТУ. – 2008. – Выпуск 1(9). – С.153-159.
2. Кулик М.В. Модель преобразователя энергии с линейно-частотной модуляцией / Кулик М.В., Сьянов А.М., Манукян А.С. // Проблемы автоматизированного электропривода: теория и практика: материалы междунар. конф. – Харьков, 2010. – Выпуск 1. – С.267-269.

3. Шавёлкин А.А. Каскадные многоуровневые преобразователи частоты с улучшенными энергетическими характеристиками / А.А.Шавёлкин // Технічна електродинаміка: наук.- прикладний журнал. – Київ. – 2010. – Ч. 1. – С.65-70.
4. Кулик М. В. Система управління перетворювачем енергії з використанням модуля ркі / Кулик М.В., С'янов О.М., Манукян О.С. // Сб. науч. трудов ДГТУ (технические науки). – Днепродзержинск: ДГТУ. – 2009. – Выпуск 1(11). – С.163-165.

Поступила в редколлегию 03.05.2012.

УДК 621.391

РЯЗАНЦЕВ О.В., к.ф.-м.н., доцент
КУЛИК М. В., ассистент
СЪЯНОВ А.М., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЫ С ФАЗОВЫМИ ВРЕЗКАМИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Введение. Цифровые сигналы при всех их достоинствах имеют один существенный недостаток – низкую спектральную эффективность. Так, например, этот недостаток затормозил возникновение цифрового телевидения более чем на пол века, до тех пор, пока не были разработаны алгоритмы информационного сжатия. По нашему мнению, такая ситуация сложилась вследствие традиционного подхода, перенесенного из аналоговых систем передачи информации и интерпретации фурье-спектров.

Постановка задачи. Рассмотрим сигнал, представляющий собой сумму двух гармонических колебаний с частотами ω_1 и ω_2 . Результатом, как известно, является так называемое биение, то есть сигнал с гармонической огибающей частотой, равной разности ω_1 и ω_2 , и гармоническим заполнением с частотой, равной полусумме ω_1 и ω_2 . Причём, если амплитуды слагаемых одинаковы, то амплитуда огибающей переходит через ноль. В любом случае, либо в точке перехода через ноль, либо в минимуме размаха огибающей происходит скачок фазы на π . Если попытаться выделить данный сигнал с помощью частотно-селективного устройства (ЧСУ), настроенного на частоту, равную $(\omega_1 + \omega_2)/2$, то результат будет отрицательный, хотя в линии связи, например воздушной, присутствует колебание именно этой частоты. Как ни странно, на первый взгляд, для того, чтобы выделить этот сигнал, необходимо иметь два ЧСУ, настроенные на ω_1 и ω_2 соответственно, и просуммировать полученные сигналы или использовать одно широкополосное ЧСУ, в полосу пропускания которого будут входить ω_1 и ω_2 . Если же подать сигнал биений на устройство, лишённое частотной селективности, например осциллограф, то этот сигнал полностью отобразится на экране.

Таким образом, фурье-спектр сигнала является скорее свойством, которое определяет характер отклика на этот сигнал ЧСУ и проявляется именно в процессе взаимодействия сигнала с ним. То есть, перспективные исследования могут заключаться в разработке сигналов, определённым образом сопряженных с соответствующими ЧСУ. Кроме того, следует учесть, что в цифровых системах передачи информации вовсе не обязательно сохранять форму сигнала – важна максимально достоверная идентификация поступления «1» или «0». Если указанное сопряжение игнорировать, то, как показано, например в [1], максимальная символьная скорость цифрового потока связана с шириной полосы, занимаемой каналом, простым соотношением $F_{\max} \approx 1,5 * \Delta f$. Во-