

УДК 519.24

С.И. Червонный, Г.В. Гейко

*Национальный технический университет “ХПИ”, Харьков***ОБ УПРАВЛЕНИИ СИСТЕМОЙ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ**

Рассмотрены возможные варианты решения задачи управления системой фазовой автоподстройки частоты с целью защиты от импульсных помех в широком диапазоне частот входных сигналов.

Ключевые слова: автоподстройка частоты, микроконтроллер, полоса захвата, полоса удержания.

Введение

Постановка проблемы. Системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) со времени появления (1921 г.) нашли множество применений в устройствах связи, в узлах синхронизации запоминающих устройств с подвижным носителем информации, в измерительных системах. Появление в недавнее время недорогих и простых в использовании микросхем устройств ФАПЧ открыло возможности ещё более широкого их применения. В качестве места возможного применения системы ФАПЧ рассматриваем узел обработки сигналов вихревого потокоизмерителя. В потокоизмерителях этого типа (поток газа или жидкости) в трубопроводе после препятствия (вихреобразователя) в некотором диапазоне скоростей потока образуются вихри [1], частота которых пропорциональна скорости потока.

Вихри обнаруживают при помощи датчиков, в частности, датчиков с использованием пьезоэффекта. Характеристика сигналов датчиков: частоты вихрей от 15 Гц до 500 Гц, амплитуда пропорциональна квадрату частоты, форма импульсов сглажена и не обязательно с монотонным фронтом и спадом. Проблема обработки заключается в том, что удары по трубопроводам и вибрации иного происхождения создают помехи, снижающие точность измерений, особенно в области низких частот вихрей. Среди используемых ныне решений – применение

цифровых многополосных фильтров с переключением полос пропускания фильтров в зависимости от амплитуды сигналов вихрей. Представляется возможным в данном случае использовать систему ФАПЧ как средство защиты от помех.

Анализ литературы. В зависимости от элементов, использованных в схеме фазовой автоподстройки частоты, она может быть аналоговой (при использовании аналоговых схем фазового детектора), цифровой (при использовании в качестве фазового детектора логических цепей) и полностью цифровой (при реализации фильтра низкой частоты в цифровом виде). В сущности, ФАПЧ – это система управления с петлей обратной связи, в которой параметрами регулирования являются частота или фаза сигнала, а не величина его напряжения или тока [2].

В литературных источниках утверждают, что устройство ФАПЧ в соответствии с теорией оптимальной нелинейной фильтрации является оптимальным фильтром для узкополосного сигнала с частотными и фазовыми флуктуациями на фоне широкополосного шума. Устройство относится к классу динамических систем с периодической нелинейностью.

Во множестве литературных источников авторов из разных стран рассматриваются теоретические основы фазовых систем, методы оптимального син-

теза ФАПЧ, методы анализа влияния детерминированных и случайных возмущений на работу систем ФАПЧ [3]. Например, существует такой способ управления системой ФАПЧ, который состоит в том, что если начальная расстройка по частоте входного сигнала и ГУН намного больше полосы захвата системы ФАПЧ, для расширения частотного диапазона целесообразно применить комбинацию параллельного соединения двух систем: частотной АПЧ и фазовой АПЧ [4]. Много работ посвящено разработке управляемых генераторов СВЧ диапазона с ФАПЧ. Низкочастотные системы ФАПЧ с непрерывным диапазоном рабочих частот, где максимальная частота более, чем втрое превышает минимальную, не упоминаются. Можно сделать вывод о том, что для решения задачи неминуемы модификации классической схемы устройства.

Целью статьи является анализ возможности схемотехнического синтеза модифицированной схемы системы ФАПЧ для решения поставленной задачи.

Основная часть

Классическая схема системы фазовой автоподстройки частоты приведена на рис. 1. Она содержит фазовый детектор (ФД), фильтр низких частот (ФНЧ), генератор управляемый напряжением (ГУН) [5]. В качестве ФАПЧ-устройства будем рассматривать микросхему типа CD4046 (аналог 561ГГ1) [6], структурная схема которой показана на рис. 2.

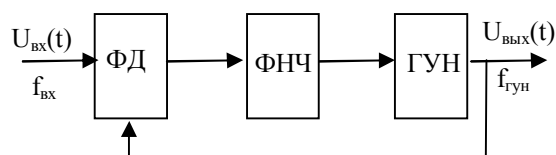


Рис. 1. Система фазовой автоподстройки частоты

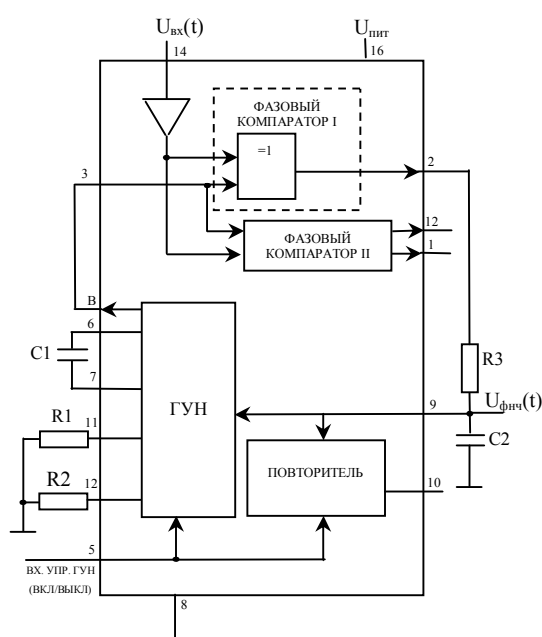


Рис. 2. Микросхема типа CD4046

Генератор (ГУН) имеет такие средства подстройки частоты: конденсатор С1, перезарядка которого есть времязадающий процесс, резистор R1, определяющий величину тока в источнике тока перезарядки, резистор R2, ограничивающий сверх рабочую частоту ГУН. Также необходимо отметить, что напряжение на выходе реального фильтра изменяется не по линейному закону и характеристика ГУН линейна не во всём диапазоне [7].

С помощью микросхемы можно построить систему ФАПЧ с такими особенностями: а) входной сигнал фазового детектора (ФД) – импульсы прямоугольной формы со скважностью, равной 2 (меандр), б) имеются фазовые детекторы двух типов, один обеспечивает фазовый сдвиг по отношению к выходному сигналу генератора с частотой, управляемой напряжением (в дальнейшем ГУН) на 90° и существенно противостоит помехам во входном сигнале, другой обеспечивает нулевой фазовый сдвиг. Очевидны некоторые препятствия применению микросхем систем ФАПЧ для решения рассматриваемой задачи. Требования к форме входного сигнала вызваны тем, что для формирования выходного сигнала фазового детектора используется цифровая схема “исключающая или”, которая при одинаковых частотах входных (цифровых) сигналов и при отсутствии сдвига фазы между входным сигналом и сигналом с выхода ГУН даёт нулевой (минимальный) уровень сигнала после фильтра низкой частоты (ФНЧ), а при сдвиге в 180° даёт максимальное напряжение, которое несколько меньше $E_{пит}$.

При сдвиге фазы на 90°, на выходе ФНЧ напряжение соответствует половине диапазона его изменения, что показано на рис. 3, а. При таких условиях имеет место максимально широкий возможный диапазон частот захвата и диапазон частот удержания состояния слежения в системе ФАПЧ.

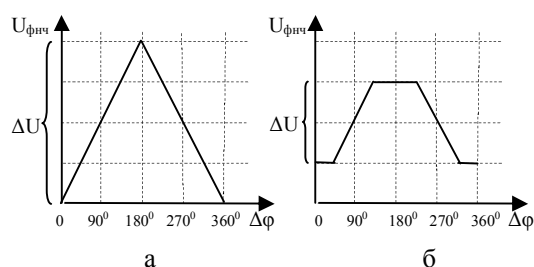


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения ФД (после ФНЧ) от разности фаз входного сигнала и сигнала ГУН: а – при скважности входного сигнала $q=2$; б – при скважности входного сигнала $q=4$

При отклонении скважности входного сигнала от значения 2 (рис. 3, б) неминуемо сужение упомянутых областей и ухудшение характеристик устройства. При отклонении частоты входного сигнала от частоты настройки ГУН напряжение на входе ГУН смещается от уровня половины $E_{пит}$ и удерживается

фазовый сдвиг, отличный от 90° (если система остаётся в режиме слежения). Достаточным будет формирование входного сигнала путем усиления и ограничения на уровнях, обеспечивающих приближенные скажности к значению 2.

Объектом внимания в системе ФАПЧ являются процессы вхождения в режим отслеживания и процессы отслеживания входного сигнала при допустимых скоростях изменения частоты на входе. Специфика рассматриваемого применения такова, что всегда можно определить возможную скорость изменения интенсивности потока в трубопроводе и скачкообразное изменение частоты сигнала датчика вихрей не ожидается. Возможные средства регулирования частоты и фазы с некоторыми их характеристиками при типовом использовании микросхем CD4046 показаны в табл. 1.

Таблица 1

Возможные средства регулирования частоты и фазы

	Средства регулирования частоты и фазы ГУН	Возможность управления напряжением или током	Возможность перекрытия диапазона частот	Наличие деталей на рынке
1	Вход ГУН	напряжением	есть	не нужны
2	Резистор R2	с помощью тока свето-диода в оптроне с фоторезистором	есть	есть (ОЭП-7, VTL5C1, VTL5C2)
3	Конденсатор C1	с помощью напряжения (вариконды, варикапы)	нет	не нужны

В отношении процесса вхождения в режим отслеживания можно предполагать, что при наличии режима отслеживания с плавной автоматической подстройкой системы в пределах диапазона рабочих частот, процедура входа в режим отслеживания может быть построена как одноразовое прохождение диапазона частот с выходом в режим автоматической подстройки после захвата частоты.

С помощью этих средств представляется возможным построение регулятора, в котором постоянно действует обычная для системы ФАПЧ подстройка фазы и частоты воздействием через вход ГУН. В случае отклонения фазы за допустимые пределы (определяется отклонением напряжения на входе ГУН от напряжения при сдвиге фаз на 90°) временно включается система подстройки частоты изменением и фиксацией значения сопротивления резистора R2, действующая только во время подстройки фазы до допустимого отклонения от 90° .

Показателями, определяющими фильтрующее действие и устойчивость системы ФАПЧ, являются параметры области захвата входной частоты и области частот удержания режима слежения. Эти параметры зависят от полосы пропускания ФНЧ на входе ГУН. При этом, если фильтр имеет широкую полосу пропускания, то это обеспечивает быстрое

вхождение в режим слежения, но система ФАПЧ имеет плохие фильтрующие свойства, поскольку помехи могут оказаться в состоянии перестроить систему на частоту, отличную от частоты входного сигнала без помех. То есть, желаемые показатели качества – быстрое вхождение в режим слежения и хорошие фильтрующие свойства одновременно нереализуемы и в отношении ширины полосы пропускания ФНЧ ведут к противоречивым требованиям.

Обычно производят переключение ширины полосы пропускания ФНЧ после вхождения в режим слежения. В нашем случае полоса пропускания ФНЧ это еще один объект управления, поскольку ФНЧ, настроенный на хорошие фильтрующие свойства системы на частоте 10 Гц, может сделать невозможным или затян timer вхождение в режим на частоте 500 Гц, поскольку область захвата будет существенно сужена и возможен её “пролёт” при процедуре вхождения в режим слежения. Регулировку размеров области удержания можно производить, обеспечивая размеры области пропорциональными частоте входного сигнала, здесь возможны и другие решения. Разумеется, для этого параметра допустимо и ступенчатое управление за счет переключения резисторов в ФНЧ, если ФНЧ не сложнее интегрирующей RC-цепи. Поскольку потребуются переключение резисторов в зависимости от частоты ГУН, не миновать измерения частоты и принятия решения о выборе и переключении резистора. Это выполнимо с применением микроконтроллера с кварцевой стабилизацией частоты и постоянным временем выполнения команд. С участием микроконтроллера появляется возможность при неизменной в течение некоторого времени частоте входных сигналов ФАПЧ временно сужать область удержания режима слежения, обеспечивая доступную улучшенную защиту от помех всегда. С помощью микроконтроллера можно также анализировать необходимость процедуры вхождения в режим слежения и произвести соответствующие переключения. Поскольку на низких рабочих частотах (15–500 Гц) высокое быстродействие внутренних элементов микросхем системы ФАПЧ не может вызвать заметных задержек, то связанных с этим проблем обеспечения устойчивости работы системы ФАПЧ не предвидится. Тем не менее, компьютерное моделирование и макетные исследования системы необходимы.

Выводы

В результате проведенного анализа возможности схемотехнического синтеза модифицированной системы ФАПЧ для решения задачи защиты от помех сигналов датчика в вихревом потокоизмерителе, можно утверждать, что существует возможность построения соответствующего узла прибора и делает более конкретными теоретические и прикладные исследования в направлении его создания.

Список литературы

1. Бакай А.С. Многоликая турбулентность / А.С. Бакай, Ю.С. Сигов. – М.: Знание, 1989. – С. 3-12.
2. Основы теории тактовой сетевой синхронизации: учеб. Пособие / Л.Н. Щелованов и др. – СПб.: СПбГУТ, 2000.
3. Мельников Г.И. Исследование метода фазовой автоподстройки частоты / Г.И. Мельников, С.И. Червонный. – Х., 1982. – С. 3-23.
4. Радиоприемные устройства: учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов / Давыдов Ю.Т. и др.; под ред. А.П. Жуковского. – М.: Высшая школа, 1989. – 342 с.

5. Голуб В. Несколько слов о системе ФАПЧ / В. Голуб // Компоненты и технологии. – 2003. – №8.
6. Партала О.Н. Цифровые КМОП микросхемы: справочник / О.Н. Партала. – М.: Наука и техника, 2001. – 400 с.
7. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 1983. – 592 с.

Поступила в редколлегию 1.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Серков, Национальный технический университет “ХПИ”, Харьков.

ПРО КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ФАЗОВОГО АВТОПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ

С.І. Червонний, Г.В. Гейко

Розглянуто можливі варіанти рішення задачі керування системою ФАПЧ з метою захисту від імпульсних перешок.

Ключові слова: *автопідстроювання частоти, мікроконтролер, смуга захоплення, смуга утримання.*

ABOUT PHASE LOCKED LOOP SYSTEM CONTROL

S.I. Chervonnyi, G.V. Geyko

Some ways of PLL system control for random pulses suppression.

Keywords: *self-tuning of frequency, microcontroller, bar of capture, bar of withholding.*