РАЗДЕЛ V. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Аравенков А.А., Пасынков Ю.А.

Разработка анализатора гармоник на основе широтно-импульсной модуляции с аналоговыми ключами и интеграторами

*Новосибирский Государственный Технический Университет
(Россия, Новосибирск)*

doi:10.18411/spc-16-01-2018-12

idsp: 000001:spc-16-01-2018-12

Аннотация

В работе рассматривается процесс разработки и исследования анализатора гармоник на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В качестве области применения анализатора гармоник выбирается область измерения качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Разрабатываемый анализатор гармоник будет применяться для измерения параметров гармонических составляющих сетевого напряжения и расчета его коэффициента несинусоидальности.

Современный мир не способен существовать без электрической энергии. Она занимает важное место в экономике любой страны как один из ведущих продуктов производства и потребления. А значит, электрическая энергия, как и любой продукт, должна обладать определенными параметрами, которые в совокупности характеризуют её качество. Высокое качество электрической энергии является обязательным, так как от него напрямую зависит срок службы эксплуатируемого оборудования, а также времени затраченное на производство и качество самой выпускаемой продукции. Одним из важных параметров качества электрической энергии в системах электроснабжения общего пользования является коэффициент несинусоидальности напряжения [1]. Так же, можно отметить, что в области учета электрической энергии можно увидеть тенденции, по которой современные счетчики электрической энергии становятся достаточно сложными устройствами, выполняющие множество дополнительных функций. Такими функциями счетчиков может быть возможность легко организовать многотарифные системы учёта, режим ретроспективы, легко вписываются в конфигурацию систем АСКУЭ и т.д. Одной из новых возможностей современных счетчиков является определение качества электрической энергии.

На сегодня, основным способом определения несинусоидальности напряжения является применение дискретного преобразования Фурье (ДПФ), на основе которого разработан алгоритм быстрого преобразования Фурье, так называемый БПФ [2]. Применение ДПФ требует достаточно большого объема памяти и вычислительной мощности в связи с необходимостью хранения как кода программы самого алгоритма умножения, так и промежуточных результатов, которые получаются в ходе таких вычислений. Основным преимуществом БПФ является снижение количества математических операций, по сравнению с использованием ДПФ [3]. Но все же БПФ, остаётся достаточно требовательным алгоритмом, что вызывает трудности при его использовании в маломощных устройствах. К подобным устройствам можно отнести и счетчики электрической энергии, которые чаще всего выполняются на микроконтроллерах общего назначения с ограниченными ресурсами.

Другим способом определения параметров гармоник сигнала может служить метод спектрального анализа основанный на широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Основная идея данного метода заключается в формировании специальных широтно-

импульсных сигналов (ШИС), соответствующих синусоидальной и косинусоидальной составляющим исследуемой гармоники. Умножения этих ШИС на входной сигнал с последующим интегрированием результатов умножения. После чего находится квадратный корень из суммы квадратов результатов интегрирования. Полученное значение будет равно амплитуде исследуемой гармоники. Преимущество данного метода заключается в том, что операции умножения входного сигнала на ШИС и интегрирование легко реализуются в аналоговом виде, что позволяет снять нагрузку с вычислительного устройства [4 – 9].

В соответствии с ГОСТ 32144 – 2013 [10] разрабатываемое устройство должно позволять измерять амплитуды гармоник с 1 по 40 для основной частоты 50 Гц, т.е. измерения будем проводить в диапазоне 50 Гц – 2 кГц, с точностью не хуже 5 %. Рассмотрим структурную схему анализатора гармоник на основе ШИМ, которая приведена на рис. 1. Здесь:

1. ИУ – инвертирующее устройство;
2. К1 – аналоговый ключ для определения синусоидальной составляющей сигнала;
3. К2 – аналоговый ключ для определения косинусоидальной составляющей сигнала;
4. И1 – аналоговый интегратор для определения синусоидальной составляющей сигнала;
5. И2 – аналоговый интегратор для определения косинусоидальной составляющей сигнала;
6. МК – микроконтроллер;
7. USB – интерфейс USB, применяемый для обмена данными с ПК;
8. ПК – персональный компьютер.

Рис. 1. Структурная схема анализатора гармоник на основе ШИМ.

Аппаратная часть анализатора гармоник на основе ШИМ реализуется на элементах с 1 по 5. Исследуемый сигнал подается на инвертирующее устройство 1, а также на первые входы аналоговых ключей 2 и 3. На вторые входы аналоговых ключей 2 и 3 подается инвертированный сигнал с выхода инвертирующего устройства 1. Третье входы аналоговых ключей 2 и 3 подключаются к общей точке схемы (нулевой потенциал). Так же ключи 2 и 3 имеют управляющие входы, на которые подаются сигналы с выходов микроконтроллера 6. Сигнал с выходов ключей 2 и 3 подаются на аналоговые интеграторы 4 и 5. Далее сигнал с выходов аналоговых интеграторов 4 и 5 подаются на микроконтроллер 6, имеющий в своём составе АЦП, что позволяет оцифровать сигналы и произвести окончательные расчеты. Персональный компьютер 8 используется для управления и отображения данных полученных от анализатора гармоник посредством интерфейса USB 7 при тестировании.

Все элементы анализатора гармоник разработаны с применением современных электронных компонентов. Для реализации инвертирующего устройства использован операционный усилитель (ОУ) AD8033, включенный по схеме инвертирующего усилителя с коэффициентом усиления равным 1. Аналоговые интеграторы, собранные на той же микросхеме ОУ по схеме интегрирующего преобразователя. В качестве аналоговых ключей используются микросхемы ADG1411.

При тестировании устройства применялась отладочная плата STM32F4DISCOVERY с установленным на ней микроконтроллером STM32F407VGT6. Для микроконтроллера было разработано программное обеспечение, которое содержит в себе алгоритм измерения гармоник на основе ШИМ. Данная программа может быть легко перенесена на любой другой микроконтроллер. Результаты тестирования полностью совпали с результатами, полученными при моделировании [6 – 9].

В ходе проектирования анализатора гармоник была осуществлена разработка аппаратной и программной части, которые могут быть использованы в современных счетчиках электрической энергии. Разработка устройства включала в себя такие этапы как: разработка структурной схемы устройства, разработка принципиальных схем анализатора гармоник, подбор электронных комплектующих, разработка печатной платы, разработка прошивки для микроконтроллера (в том числе: алгоритмов расчета таблицы ШИМ, самого анализатора гармоник, кода для отладки алгоритмов и тестирования устройства) и программы для ПК. Инструментальная погрешность получившегося устройства составляет приблизительно 1,5 %. Оно позволяет измерять параметры гармонических составляющих сигнала в диапазоне частот 50 Гц – 2 кГц, что соответствует ГОСТ Р 30804.4.7-2013 [10]. Тестирование устройства показало его работоспособность и возможность применения для измерения коэффициента несинусоидальности при решении задач качества электрической энергии в системах электроснабжения общего пользования.

1. ГОСТ Р 32144 – 2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения – Введ. 2013-03-25. – М.: Изд-во стандартов, 20,31. – 20 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.
3. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008 – 992 с. : ил. – Парал. тит. англ.
4. Пат. 2564831С1 Российская Федерация, МПК7 G 01 R 23/16. Анализатор гармоник [Текст] / Аравенков А.А., Пасынков Ю.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Новосибирский государственный технический университет" – № 2014117408/28; заявл. 29.04.2014; опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28. – 6 с. : ил.
5. Пат. 131496U1 Российская Федерация, МПК7 G 01 R 23/16. Анализатор гармоник [Текст] / Аравенков А.А., Пасынков Ю.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Новосибирский государственный технический университет" – №. 2012118134/28; заявл. 03.05.2012; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23. – 7 с. : ил.
6. Аравенков А.А. Анализатор гармоник на основе широтно-импульсной модуляции / А.А. Аравенков, Ю.А. Пасынков // Ползуновский вестник. - 2015. - № 3. - С. 120-125.
7. Aravenkov, A.A. Harmonic analyzer based on PWM method (2014) International Summerschool computer Science 2014 Proceeding of Summerschool 7.7.-13.7.2014, ChemnitzerInformatik-Berichte, CSR-14-01, pp. 6-11.
8. Аравенков А.А. Анализатор гармоник на основе широтно-импульсной модуляции / А.А. Аравенков, Ю.А. Пасынков // Наука. Технологии. Инновации / Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 4-х частях. - 2012. - № 2. - С. 10-11.
9. Аравенков А.А. Исследование влияния спектра широтно-импульсного сигнала на погрешность определения амплитуды гармоник в анализаторе гармоник на основе широтно-импульсной модуляции / А.А. Аравенков, Ю.А. Пасынков // Научный вестник. – 2017. - №. – С. 42-54.
10. ГОСТ Р 30804.4.7-2013.Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем энергоснабжения и подключаемым к ним техническим средств. – Введ. 2013-03-25. – М.: Изд-во стандартов, 20,31. – 39 с.