

УДК 621.316

СОВРЕМЕННОЕ АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ УЧЕТА И МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Гриб О.Г., д.т.н.,

*Национальный технический университет «Харьковский
политехнический институт»,*

Жданов Р.В., соискатель*,

РЭС АК «Харьковоблэнерго», Красноград

Гапон Д.А., к.т.н.,

Зуев А.А., к.т.н.

*Национальный технический университет «Харьковский
политехнический институт», г. Харьков*

Тел. (095) 593-95-77

Аннотация: в данной статье рассмотрены вопросы построения измерительной аппаратуры параметров электроэнергии на современных аналого-цифровых преобразователях с внутренней гальванической развязкой. Сделаны выводы о преимуществах и недостатках такой реализации.

Ключевые слова: энергосистема, качество электроэнергии, измерительная аппаратура.

Постановка проблемы. Решение множества проблем, касающихся обеспечения качественного и бесперебойного питания потребителей электрической энергии, требует выполнения быстрого и точного измерения параметров электрических сигналов питающей сети. Эффективное решение данного вопроса позволит повысить точность и устойчивость измерительных органов приборов контроля и учета качества электрической энергии и энергопотребления, что, в свою очередь, позволит получать более достоверную оценку экономического ущерба от низкого качества электрической энергии. Развитие элементной базы позволяет создавать все более совершенные устройства для выполнения наблюдений.

Анализ последних исследований. Спектр выпускаемых на сегодняшний день приборов для выполнения оценки качества электрической энергии достаточно широк. Однако, большинство из них имеют

* Научный руководитель – д.т.н. Гриб О.Г.

© д.т.н. Гриб О.Г., соискатель Жданов Р.В., к.т.н. Гапон Д.А., к.т.н. Зуев А.А.

достаточно ограниченный диапазон входных параметров, в рамках которого обеспечивается заявленная точность измерений.

Формулирование цели статьи. Целью статьи является описание структурной схемы устройства с расширенным динамическим диапазоном, использующего новейшие разработки в области измерений электрических величин. Такой подход позволяет получить достаточно гибкую архитектуру, который может быть успешно применен практически во всех приложениях требующих измерения параметров электрической сети.

Основная часть. Одним из основных источников погрешности при измерении параметров электрической энергии является нелинейность промежуточных измерительных трансформаторов тока и напряжения. Для устранения этого недостатка возможно применение современных АЦП с внутренней гальванической развязкой, таких как ADE7912 производства Analog Devices (рис.1).

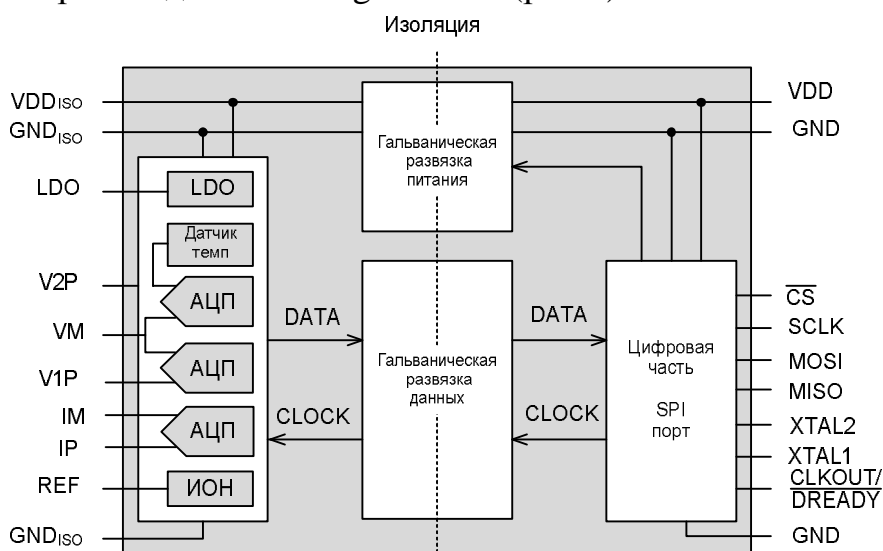


Рис.1. Функциональная схема ADE7912.

Ключевыми особенностями ADE7912 являются:

- три 24-разрядных АЦП одновременной выборки;
- встроенный источник опорного напряжения (ИОН);
- встроенный датчик температуры, подключенный к одному из каналов АЦП;
- встроенный DC-DC преобразователь с гальванической развязкой для питания измерительных цепей;
- 4-проводный SPI интерфейс;
- возможность тактирования от кварцевого резонатора или внешнего задающего генератора;
- возможность синхронизации нескольких ADE7912;
- диапазон входных напряжений для токового канала $\pm 31,25$ мВ;
- диапазон для канала напряжения ± 500 мВ;
- типовой относительный температурный дрейф 10^{-5} /°С;

- соотношение сигнал/шум 70 dB в диапазоне частот до 3 кГц;
- питание от одного источника 3,3В;
- рабочая температура -40...+85 °С;
- удовлетворяет нормам защиты UL1577(5 кВ в течение 1 мин), IEC 61010-1 (400 В среднеквадратическое).

Наиболее важной деталью, выгодно отличающей данную ИС от аналогичных решений других производителей, является наличие встроенного преобразователя питания с гальванической развязкой, что значительно упрощает реализацию устройства.

Структурная схема дискретизатора показана на рис.2. Преобразование сигнала тока в сигнал напряжения осуществляется с помощью шунта, сопротивление которого выбирается в диапазоне 0,001 ... 0,010 Ом. Применение таких значений сопротивления обусловлено диапазоном входных напряжений $\pm 31,25$ мВ для токовых входов IM- IP.

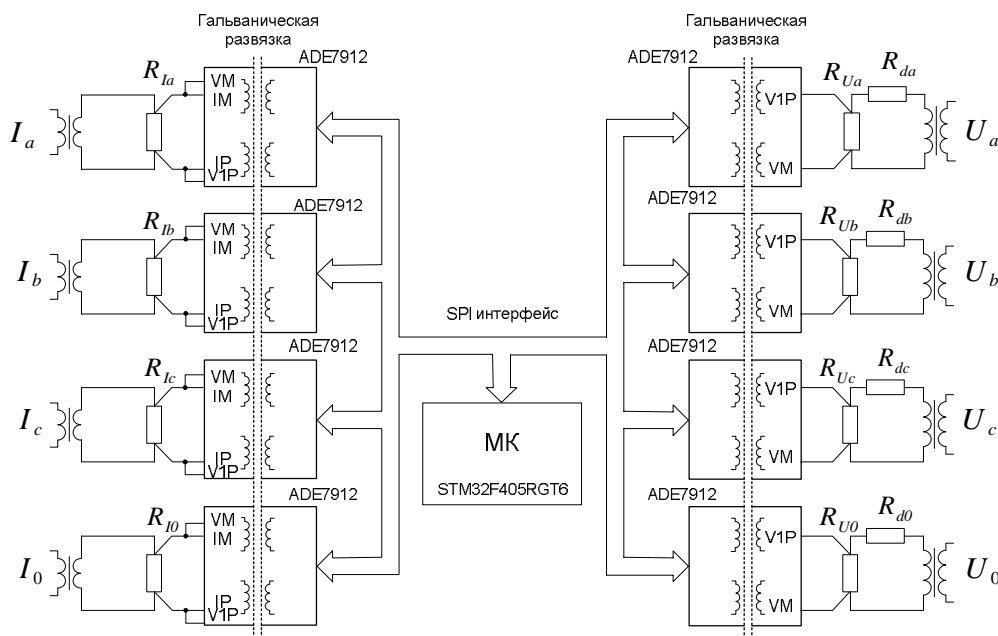


Рис. 2. Структурная схема дискретизатора аналоговых сигналов.

Для расширения рабочего диапазона измерительных цепей это же напряжение подается на входы VM-V1P, с входным диапазоном ± 500 мВ, что позволяет устройству корректно измерять значения входных величин при возникновении аварийных сверхтоков. При этом допустимый диапазон напряжений для измерительных входов данного АЦП составляет ± 2 В, что позволяет исключить выход микросхемы из строя при возникновении при выходе напряжения за рабочий диапазон.

Синхронизация АЦП обеспечивается при помощи общей схемы тактирования и периодической ресинхронизации. Задающим генератором для ведущего АЦП является кварцевый резонатор с частотой 4,096 МГц. Выходной сигнал этой ИС является задающим

для всех остальных АЦП. Для этого выход CLKOUT ведущего АЦП подключается к их входам XTAL1. Такая схема позволяет добиться синхронной работы АЦП, но не исключает возможностей сбоя синхронизации.

Для устранения возможных сбоев применяется процедура ресинхронизации при помощи интерфейса SPI (рис. 3). После окончания первоначальной загрузки и перед началом измерения необходимо отправить команду форсированного запуска установкой регистра SYNC_SNAP в значение 0x01. Для этого используется широковещательный режим SPI, при котором указанная команда отправляется всем АЦП одновременно. С течением времени, выполняется периодический (согласно рекомендациям производителя - несколько секунд) контроль синхронизма, путем сравнения значения внутренних счетчиков ведомых $CNT_{\text{ведомого}}$ и ведущего $CNT_{\text{ведущего}}$ АЦП. При обнаружении расхождения более чем на единицу младшего разряда выполняется ресинхронизация.

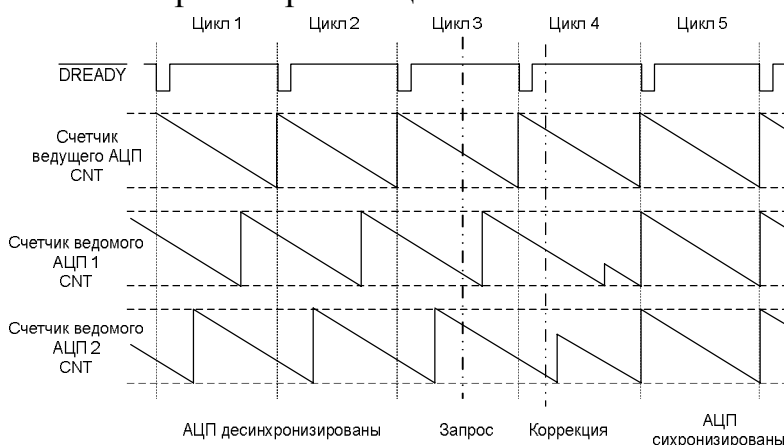


Рис. 3. Временная диаграмма процедуры ресинхронизации.

Эту процедуру можно разделить на четыре этапа. На первом шаге всем АЦП одновременно отправляется команда SYNC_SNAP = 0x02. При этом текущее состояние счетчиков CNT копируется во внутренние регистры АЦП CNT_SNAPSHOT. На втором шаге происходит чтение запомненных состояний регистров CNT_SNAPSHOT через интерфейс SPI. Так как данное значение не меняется, то последовательность и длительность операций чтения не имеет значения. Производителем рекомендуется использовать форсированный режим (burst mode), в котором чтение всех результатов преобразования АЦП, а также регистра CNT_SNAPSHOT происходит в течение одной операции обмена. В случае если значения в счетчиках ведомого и ведущего АЦП отличаются более чем на 1, рассчитывается новое значения счетчика ведомого АЦП $CNT_{\text{ведомого}}^*$.
Если $CNT_{\text{ведомого}} > CNT_{\text{ведущего}}$ то:

$$CNT_{ведомого}^* = CNT_{ведущего} + CNT_0 - CNT_{ведомого} ,$$

иначе

$$CNT_{ведомого}^* = CNT_{ведущего} - CNT_{ведомого} ,$$

где CNT_0 – начальное значение счетчика, при частоте дискретизации 8 КГц и частоте кварцевого резонатора 4,096 МГц равное 511.

На третьем этапе рассчитанное значение записывается через SPI в два последовательных 8-разрядных регистра АЦП COUNTER0 и COUNTER1. Это значение будет автоматически помещено в счетчик CNT на следующем цикле преобразования. На четвертом этапе снова выполняется запоминание и чтение значений счетчиков всех АЦП для проверки правильности синхронизации. Отклонение на ± 1 считается нормальным, и может возникать вследствие разного тактирования счетчика и интерфейса SPI. Это отклонение соответствует несинхронности на ± 244 нсек и не может оказать существенного влияния на результаты измерения. Выбор АЦП с которым осуществляется обмен происходит путем подачи низкого уровня сигнала CS на выбранную микросхему. При этом на входах CS всех остальных АЦП удерживается высокий уровень, что обеспечивает отсутствие ложной активации передачи информации от них.

В качестве управляющего устройства может быть использован микроконтроллер STM32F4xx. Данное семейство 32 разрядных микроконтроллеров характеризуется высокой производительностью и надежностью при низкой стоимости. Они базируются на мощном ARM© Cortex™ M4 ядре с функциями цифровой обработки сигналов. Тактовая частота достигает 180 МГц, а производительность 225 DMIPS. Объем встроенной Flash памяти достигает 2 Мб, а объем встроенной ОЗУ -256 Кб. Кроме того, микроконтроллеры оснащаются широким спектром периферийных и вспомогательных модулей, таких как таймеры счетчики, ШИМ контроллеры, модули шифрования и т.д.. Наличие интерфейсов USB и Ethernet облегчает интеграцию устройства в вычислительную систему. Для подключения внешнего Flash накопителя предусмотрен интерфейс SDIO, полностью совместимый со спецификацией SD Memory Card Specification Version 2.0. Микроконтроллер имеет несколько SPI портов для обмена с другими элементами устройства. Существуют версии со встроенным интерфейсом для подключения TFT LCD панелей, а также интерфейсом для подключения внешнего ОЗУ. Применение данных микроконтроллеров позволяют свести к минимуму объем вспомогательных элементов, упростить схемотехнику и обеспечить полный объем функций, необходимых современному устройству учета.

Выводы. Описанное устройства может с успехом применяться в самых разных задачах применительно к энергетике. Основными его достоинствами является высокая точность и широкий динамический диапазон. Этому способствуют отсутствие нелинейных элементов и большое число разрядов аналогово-цифровых преобразователей. К достоинствам следует также отнести низкую потребляемую мощность как от измерительных цепей так и от цепей оперативного тока.

Литература

1. Контроль и учет электроэнергии в современных системах электроснабжения / [В.И. Васильченко, О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович и др.]. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 204с.
2. Контроль потребления электроэнергии с учетом ее качества / [О.Г. Гриб, В.И. Васильченко, Г.А. Сендерович, П.Г. Щербакова и др.]; под ред. О.Г. Гриба. – Харьков: ХНУРЭ, 2010. – 444с.
3. *Yubo Duan* Research and design of power quality monitoring equipment // International Conference on Measurement, Information and Control (MIC) / *Yubo Duan*. – 2012. – Vol. 2. – P.740-744.
4. *Pimenta, F.* Requirements for a modern PQ and DFR monitoring system – PQ monitoring case study in Portugal // IEEE 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP) / *F. Pimenta, R. Neumann*. – 2012. – P.809-815.

СУЧАСНЕ АПАРАТНЕ ЗАБЕСПЕЧЕННЯ ПРИСТРОЇВ ОБЛІКУ ТА МОНІТОРІНГУ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Гриб О.Г., Жданов Р.В., Гапон Д.А., Зуєв А.О.

Анотація

У статті розглянуті питання побудови вимірювальної апаратури параметрів електроенергії на сучасних аналого-цифрових перетворювачах з внутрішньої гальванічною розв'язкою. Зроблено висновки про переваги та недоліки такої реалізації.

PROVIDING MODERN HARDWARE IN POWER QUALITY MONITORING DEVICES

O.Grib, R.Zhdanov, D.Gapon, A.Zuev

Summary

The issue of constructing an electrical test equipment on modern analog-to-digital converter with an internal isolation presented in this article. The conclusions about the advantages and disadvantages of this implementation are given.