

Микропроцесорен модул за измерване и хармоничен анализ на параметрите на трифазен електрически ток

Илиян Цветков

A Microprocessor Module for Measurement and Harmonic Analysis the Parameters of Three-Phase Electric Current: *The paper presents a modular structure and development approach of a specialized module for three-phase power supply parameters measurement and analysis. The developed device is suitable for using with microcomputers or embedded systems. This allows to apply it in different laboratory installations, loggers, remote controllers etc.*

Key words: *Electrical Engineering, Electrical measurements, Embedded Microprocessor Devices.*

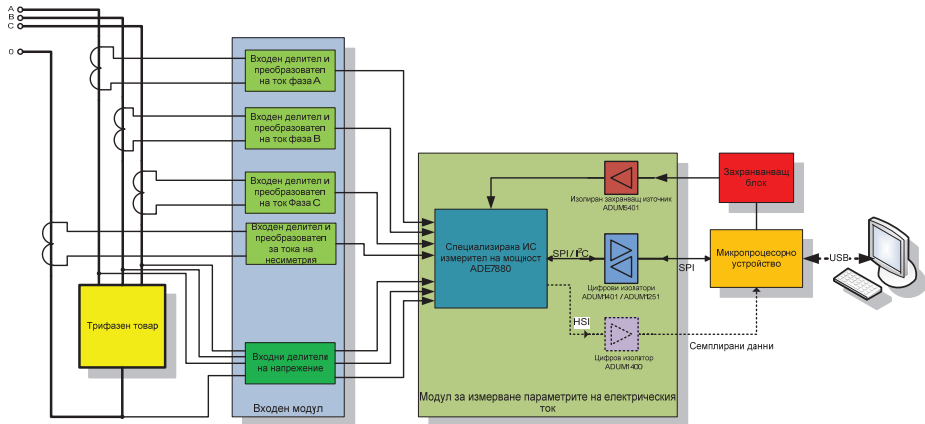
ВЪВЕДЕНИЕ

Измерването на параметрите и най-вече хармоничният анализ на електрическия ток при трифазните електрозахранващи вериги е свързано с множество технически и технологични проблеми, като честота на дискретизация, разрядност на аналого-цифрово преобразуване и др. Най-сериозният проблем обаче е обработката на получените данни и то, когато това трябва да става в реално време. Затова прецизните трифазни мрежови анализатори са много скъпи уреди, а често възможностите им не позволяват извършването на сложни анализи. По-старите са реализирани с отделни аналого-цифрови преобразователи (АЦП), а анализа се извършва от високопроизводителен компютър или цифров сигнален процесор (DSP). При по-новите се използват специализирани интегрални схеми (ИС), съдържащи повечето от необходимите за целта функционални блокове. Подобни ИС през последните години се предлагат от различни производители, като се наблюдава динамично развитие по отношение на параметрите и функционалните им възможности. Това позволява да се разработват измервателни устройства, с които за разлика от публикуваните в [7] и [8] да може в реално време да се извършва анализ на хармоничните съставляващи.

ИЗЛОЖЕНИЕ

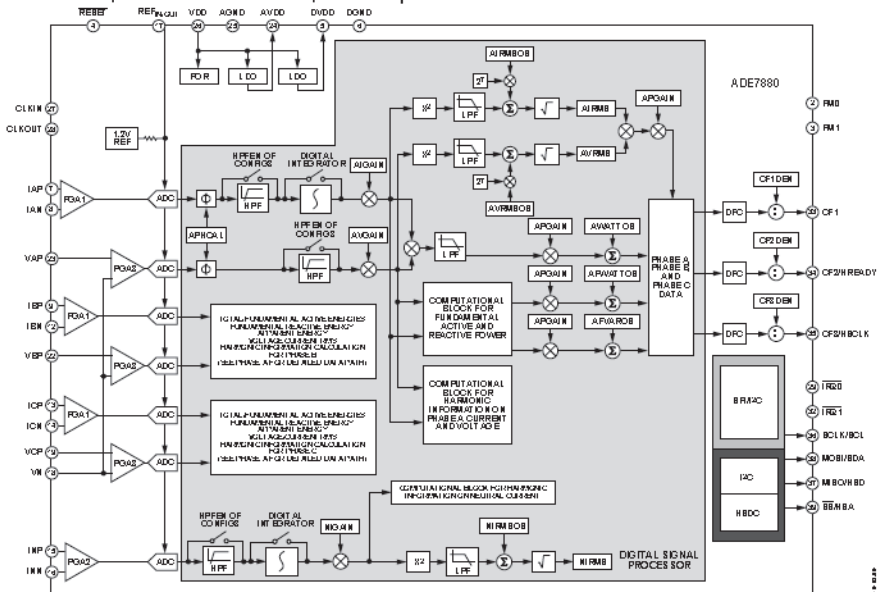
Подобно на предишните разработки [7] и [8], и тук се използва ИС на фирмата Analog Devices. Основна причина за това е възможността за постигане на висока точност. Структурната схема разработената система е показана на Фиг. 1. Измервателният модул е базиран на ИС ADE7880 [2]. Връзката с микропроцесорното устройство може да се осъществява селективно посредством SPI или I²C интерфейс, като и по двата могат да се получават само обработените резултати. При необходимост, семплирани данни могат да се предават едностранно по отделен високоскоростен (HS) интерфейс, подобен на SPI. Това може да става обаче само при работа с I²C. Изоляцията от възможни високи потенциални разлики се осъществява с цифрови изолатори ADUM1401 [2] за SPI или ADUM1251 при I²C и ADUM1401 за високо скоростния интерфейс. За изолация на захранването, както и за управляващите сигнали се използва ИС ADUM5401 [2]. Връзката на микропроцесорното устройство се осъществява посредством USB интерфейс, но при необходимост е възможно и по кабелна или безжична мрежа.

Отчитането на напреженията за трите фази става чрез входни делители, които са реализирани на отделни платки. Токовете могат да се измерват посредством шунтове, di/dt сензори, преобразователи на Хол или с токови трансформатори, както е на схемата. За разлика от предходните разработки тук се отчита отделно и тока на несиметрия.



Фиг. 1. Блок-схема на модулна система за измерване параметрите на тока, при трифазни електрически вериги

Функционалната схема на ADE7880 е показана на Фиг. 2. Входните канали са седем – по два за всяка фаза - ток и напрежение, плюс тока в нулевия проводник. Всеки канал има собствен програмируем усилвател (PGA) и АЦП. Цифровият сигнален процесор е аналогичен за отделните фази. Получените резултати за активната, реактивната и пълната енергии от всяка фаза се сумират, за да се отчетат общите стойности за цялата мрежа.



Фиг. 2. Блок-схема на специализирана ИС ADE7880 – трифазен измерител на мощност

Аналогово-цифровите преобразователи са 24 разрядни Σ - Δ , с честота на дискретизация 1,024 MHz (CLKIN/16). Опорното напрежение на аналогово-цифровите преобразователи може да се задава както от вътрешен, така и от външен източник.

Цифровият сигнален процесор при ADE7880 е 28 разряден, като на всеки канал има по един фазов коректор (Ф), високо пропускащ цифров филтър, логическа схема за повдигане на квадрат, ниско пропускащ филтър, умножаващи регистри, суматор и устройство за коренуване и намиране на абсолютна стойност (Фиг. 2).

Изчисляването на ефективните стойности на напреженията и токовете за всяка фаза става, като се сумират квадратите на семплираните данни, филтрират се от ниско пропускащ филтър и след това полученият резултат се коренува. Това може да бъде онагледено със зависимостта:

$$F_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^n f(n)},$$

Където $f(n)$ са моментните стойности, а N е броят на дискретите за един период.

При работа с di/dt сензори напрежението на токовете входове е необходимо да се интегрира във функция на времето. Затова, допълнително на всеки токов канал има, цифров интегратор. При работа с токови трансформатори или шунтове, интегриране на входния сигнал не е необходимо, затова интеграторите, както и ниско-пропускащите филтри могат програмно да се изключват.

Изчисляването на моментните стойности за активната мощност на всяка фаза става от умножаващ регистър (Multiplier) - $p(t) = i.u$. След филтриране от ниско пропускащ филтър LPF2 те се сумират с натрупване (интегрират) от суматори.

Реактивната енергия се изчислява аналогично, но резултатите за тока се пропускат през фазовъртящ на 90° филтър.

Привидната мощност се получава, като произведение на ефективните стойности на тока и напрежението.

Трифазните мощности – активна, реактивна и привидна се изчисляват като сума от получените за всяка една фаза.

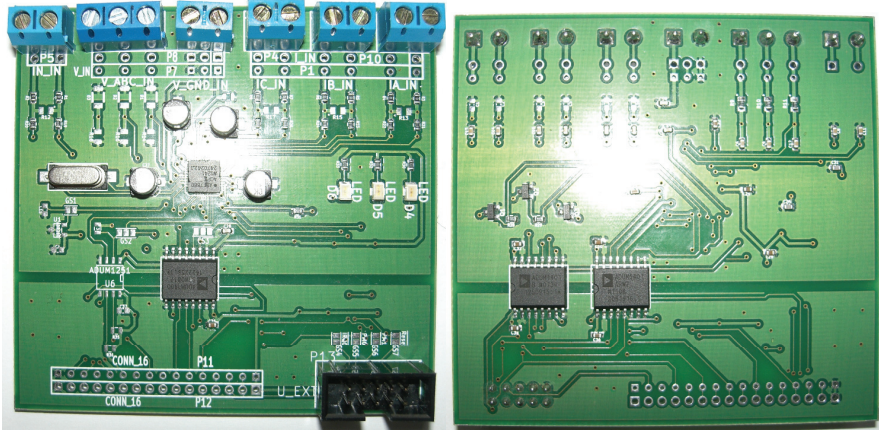
Моментните стойности за токовете от трите фази се сумират и се сравняват с моментната стойност за нулата. При наличие на разлика е възможно да се генерира сигнал за нередност, защото това се получава при пробив в изолацията на някоя от фазите.

ИС ADE7880 може да извършва хармоничен анализ за честоти 45-66 Hz. Честотната лента е до 2,8 kHz, но броят на хармониците е ограничен до 63. Заедно с токовете и напреженията, се анализират тока в нулевата фаза и сумата на токовете от останалите три. До третия хармоник се изчисляват стойностите за активната, реактивната и пълната мощности, както и за факторите на мощност. Освен това също до третия хармоник се изчисляват и нелинейните изкривявания на токовете и напреженията.

За калибровка на ИС са предвидени множество схеми и регистри, с помощта на които могат да се задават коефициентите на настройка. В чипа има вграден сензор за температура, който се използва, при необходимост от температурна корекция.

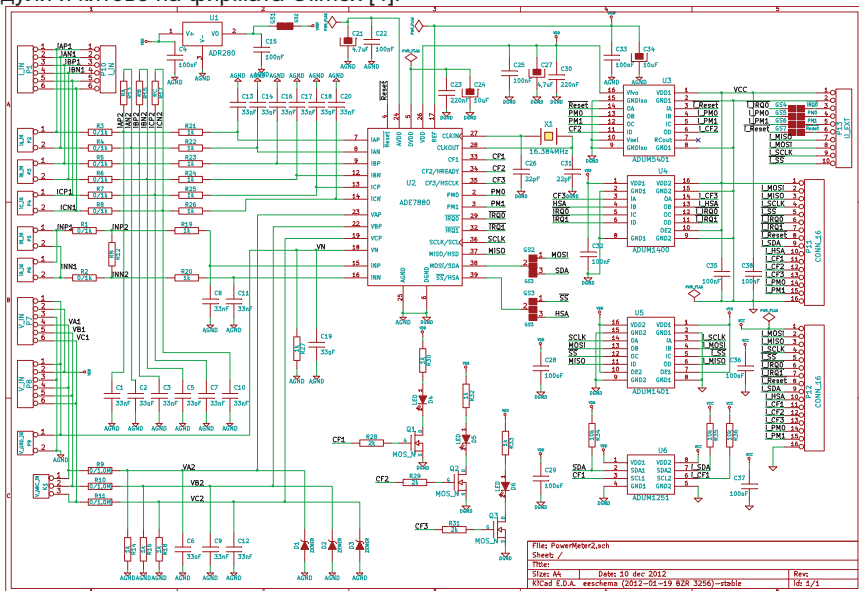
Изборът на активен интерфейс SPI или I²C става посредством управляващите сигнали PM0 и PM1. Изводите CF1, CF2 и CF3 отчитат с порционни импулси активната енергия на трите фази, но при използване на HS интерфейса имат други функции. ADE7880 има два сигнала за прекъсване – IRQ0 и IRQ1, които могат индивидуално да бъдат маскирани.

При работа с I²C, е възможно по еднопосочен интерфейс да се получават семплираните моментни стойности на токовете, напреженията активните и привидните мощности, както и за тока в нулевия проводник. Данните за отделните параметри се предават последователно със скорост от 4 MBit или 8 MBit. Честотата на дискретизация за семплираните данни, в зависимост от скоростта на обмен и броя на параметрите е 4 kHz или 8 kHz.



Фиг. 3. Общ вид на измервателен модул за измерване параметрите на трифазни електрозахранващи мрежи (вид отгоре и отдолу).

Модулът за измерване параметрите и хармоничен анализ в трифазни електрически мрежи е реализиран на двуслойна печатна платка с двустранен повърхностен монтаж (Фиг. 3). Схемата е дадена на Фиг. 4. Предвидено е той да може да бъде монтиран към универсални печатни платки или свързан посредством лентов кабел към микропроцесорни устройства. Изводите за връзка по SPI / I²C шината са съвместими с U_EXT интерфейса, използван в микропроцесорните модули и китове на фирмата Olimex [4].



Фиг. 4. Схема на модул за измерване параметрите на електрическия ток при трифазни вериги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическата реализация на модулната система за измерване параметрите на трифазния електрически ток позволява да се направят следните изводи:

1. Разработеният модул за измерване параметрите на електрическия ток при трифазни мрежи е възможно да бъде използван при създаването на измервателни уреди и опитни уредби за извършване на анализи както в хранващите мрежи, така и при работата на консуматорите.

2. За осигуряване на висока точност и пълното функциониране на системата е необходимо да се извършва прецизна калибровка.

3. Поради сложността на операцията по калиброване (ADE7880 има повече от 200 калибровъчни регистри), е необходимо да разработи нова методика и специализиран софтуер за автоматизиране на процеса.

ЛИТЕРАТУРА

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page.

[2] <http://www.analog.com>.

[3] <http://www.microchip.com>.

[4] <http://www.olimex.com>.

[5] Колектив, под ред. на проф. Ал. Балтажиев, Електрически измервания, Д. И. „Техника“, София, 1977, стр. 382.

[6] Цветков, И. Приложно програмно осигуряване на системи за измерване параметрите на тока в електрохранващи мрежи. В: НС на РУ, ноември, Русе, РУ "А.Кънчев", 2013

[7] Цветков, И. Микропроцесорен модул за измерване параметрите на трифазен електрически ток. В: НС на РУ, ноември, Русе, РУ "А.Кънчев", 2013

[8] Цветков И.С., Т.Й.Станчев, Г.Р.Георгиев,. Микропроцесорен модул за измерване параметрите на монофазен електрически ток,. В: НС на РУ, ноември 2013г., Русе, РУ "А.Кънчев", 2013

За контакти:

гл. ас. д-р инж. Илиян Цветков, Катедра "Теоретична и измервателна електротехника", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 415, e-mail: i_tsvetkov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.