

## Микропроцесорен модул за измерване параметрите на монофазен електрически ток

Илиян Цветков, Тошо Станчев, Георги Рашков

### ***A Microprocessor Module For Measurement The Parameters Of Mono-Phase Electric Current:***

*The paper presents a modular structure approach and development of a specialized module for mono-phase power supply parameters measurement. 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**

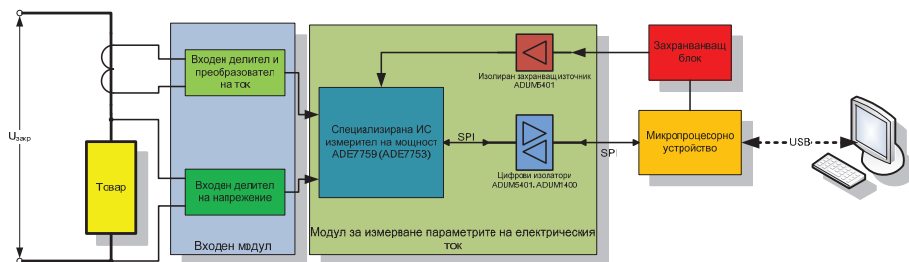
За измерване параметрите на електрическия ток в електрозахранващите вериги, обикновено е необходимо да се използват специализирани анализатори. Подобни измервателни уреди освен, че имат висока цена, често не предоставят необходимата гъвкавост при изграждането лабораторни уредби. Проблем е и приложението им за дистанционно отчитане при отдалечени обекти. Затова бяха разработени модулни системи, предназначени за връзка към микропроцесорни устройства или универсални микрокомпютри, като първата е за монофазни електрически вериги.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ**

Блоковата схема на модулната система за измерване параметрите при еднофазните електрически захранващи вериги е показана на Фиг. 1. Тя може да бъде в два варианта на основата на специализирани интегрални схеми ADE7759 или ADE7753, производство на фирмата Analog Devices. Падът на напрежение в двата края на товара се отчита, посредством входен делител на напрежение, съставен от пасивни елементи. Максималната стойност на напрежението, което може да бъде отчетено на входа на ИС е 0,75 V, но за да се гарантира точността на измерванията, то не трябва да превишава 0,5 V. Отчитането на тока може да става, посредством токов трансформатор, di/dt сензор, шунтово съпротивление с изолиращ усилвател или усилвател с високо общо входно напрежение (High common mode). Входните вериги при работа с токов трансформатор или di/dt сензор са съставени само от пасивни елементи, което води до опростяване на електрическата схема.

Измерителят на мощност се свързва посредством SPI интерфейс със специализирано микропроцесорно устройство или компютър. За предотвратяване претоварването на интерфейсите и захранващи линии от възможни високи потенциални разлики, те са изолирани с цифрови изолаторни ИС ADUM1400 и ADUM5401, също на фирмата Analog Devices [2]. Втората ИС представлява също така и изолиран захранващ източник за целия измервателен модул.

Микропроцесорното устройство може да бъде самостоятелно, със собствен дисплей и захранващ блок или да бъде свързано към компютър, посредством USB интерфейс, от където да се осъществява неговото захранване (Фиг. 1). При реализацията на системата и извършените експерименти е използван модул с едночипов микрокомпютър PIC18F4550 на фирмата Microchip [3]. Връзката и захранването стават изцяло през USB интерфейса.



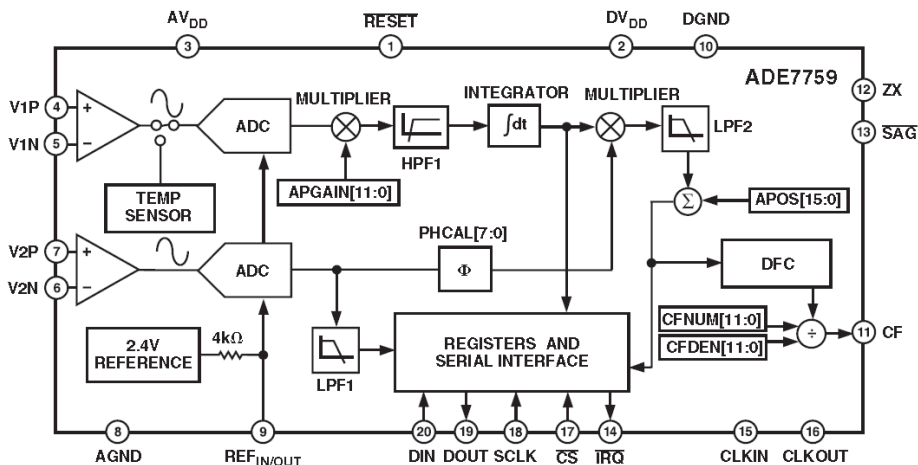
Фиг. 1. Блок-схема на модулна система за измерване параметрите на тока, при монофазни електрически вериги

Както беше отбелязано по-горе първият вариант на модула за измерване параметрите на тока при монофазни вериги е той да бъде реализиран на базата на ИС ADE7759, чиято блокова схема е показана на Фиг. 2. Тя интегрира в себе си програмируеми усилватели за тока и напрежението, аналогово-цифрови преобразователи (АЦП), специализиран цифров сигнален процесор (DSP), SPI интерфейс и управляваща логика. Входните сигнали за тока (канал 1) и напрежението (канал 2) се усилват от програмируемите усилватели. Коефициентите на усилване могат да бъдат - 1, 2, 4, 8 и 16. За първият канал (токов) допълнително могат да бъдат селектирани три обхвата – 0,5V, 0,25V и 0,125V, докато за вторият обхвата е 0,5V. Аналогово-цифровите преобразователи са 20 разрядни  $\Sigma$ - $\Delta$ , с честота на дискретизация CLKIN/4. При стойност на външния кварцов резонатор и тактова честота 3.579545 MHz, семплирането се извършва с честота – 894 kHz. Опорното напрежение на аналогово-цифровите преобразователи може да се задава както от вътрешен, така и от външен източник.

Цифровият сигнален процесор при ADE7759 включва три цифрови филтъра - два ниско пропускащи (LPF1 и LPF2) и един високо пропускащ, два умножаващи регистъра, суматор, фазов коректор ( $\Phi$ ), интегратор и преобразовател код-честота (Фиг. 2). При работа с di/dt сензори напрежението се получава по зависимостта:

$$u = L \cdot \frac{di}{dt}$$

За правилното изчисляване на моментната мощност и на енергията, е необходимо напрежението да се интегрира във функция на времето. Това се извършва от цифровият интегратор, след филтриране от филтъра HPF1. При работа с токови трансформатори или шунтове обаче, интегриране на входния сигнал не е необходимо, затова интеграторът може програмно да се изключва.



Фиг. 2. Блок-схема на специализирана ИС ADE7759 – измерител на мощност

Изчисляването на моментните стойности за активната мощност  $p(t) = i \cdot u$ , става от умножаващ регистър (Multiplier), а след филтриране от ниско пропускателния филтър LPF2 се сумира с натрупване (интегрира) от суматор. Капацитета на сумирация регистър, преди да настъпи препълване е 11,53 s, което е напълно достатъчно време да може той да бъде прочетен от микропроцесорното устройство. За по-лесно отчитане на изразходваната енергия е вграден преобразовател енергия-честота, който изкарва на изхода CF (Фиг. 2) импулси при преминаването на определена порция енергия. Честотата на тези импулси от своя страна е пропорционална на ефективната стойност на активната мощност.

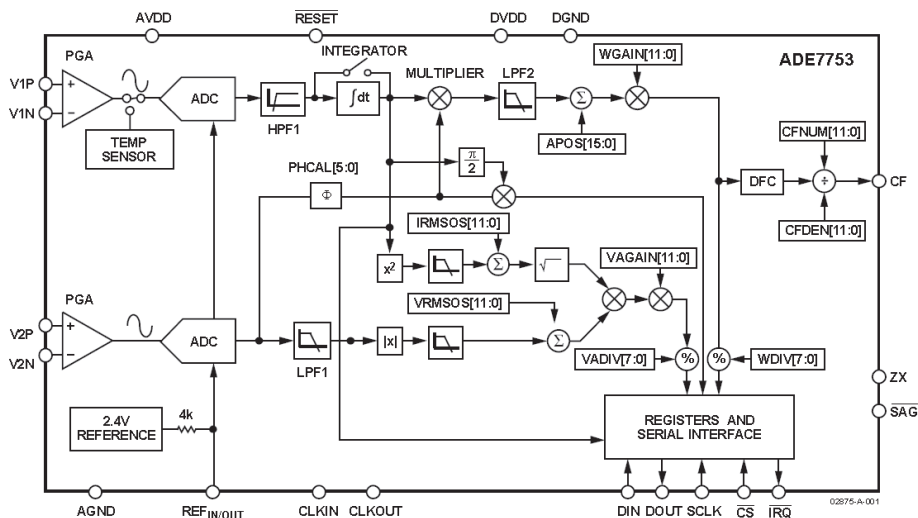
За калибровка на ИС са предвидени множество схеми и регистри, с помощта на които могат да се задават коефициентите на настройка за тока (APGAIN), за моментите на активната мощност (APOS), фазовата разлика (PHCAL) или преобразуването на енергията в честота (порцията) (CFNUM, CFDEN). В чипа има вграден сензор за температура, който се използва, при необходимост от температурна корекция.

Връзката към управляващото микропроцесорно устройство се осъществява посредством SPI интерфейса, като освен четирите стандартни сигнали – DIN, DOUT, SCLK и  $\overline{CS}$ , са предвидени още четири изхода. Сигналът CF, както беше споменато показва количеството енергия, а честота му мощността. Активирането на сигналът  $\overline{SAG}$  (ниско ниво) е индикация за отпадане на входящото напрежение или входящата честота. Изходът ZX си променя състоянието при смяната на поляритета на входа на втория канал. По този начин се получават импулси с честота, равна на тази на измерваното захранващо напрежение. При наличие на постъпили резултати в някои от регистрите за данни, на изходът заявка за прекъсване -  $\overline{IRQ}$ , може да се получи активно (ниско) ниво. Това се контролира от вътрешен регистър за забрана на прекъсванията.

Освен съдържанието на всички вътрешни регистри, през интерфейса могат да бъдат изпращани и моментните стойности, получени за тока, напрежението и активната мощност (семплирани данни). По този начин. След обработка в микропроцесорното устройство е възможно са се изчислят ефективните стойности на тока, напрежението, активната, реактивната и пълната мощности. Със семплираните данни е възможно също така да се извършва и хармоничен анализ,

даващ информация за смущенията и изкривяванията в захранващите мрежи. Честотата на дискретизация за семплираните данни се избира, посредством управляващ регистър и може да бъде – 3,5; 7; 14 и 27,9 kHz.

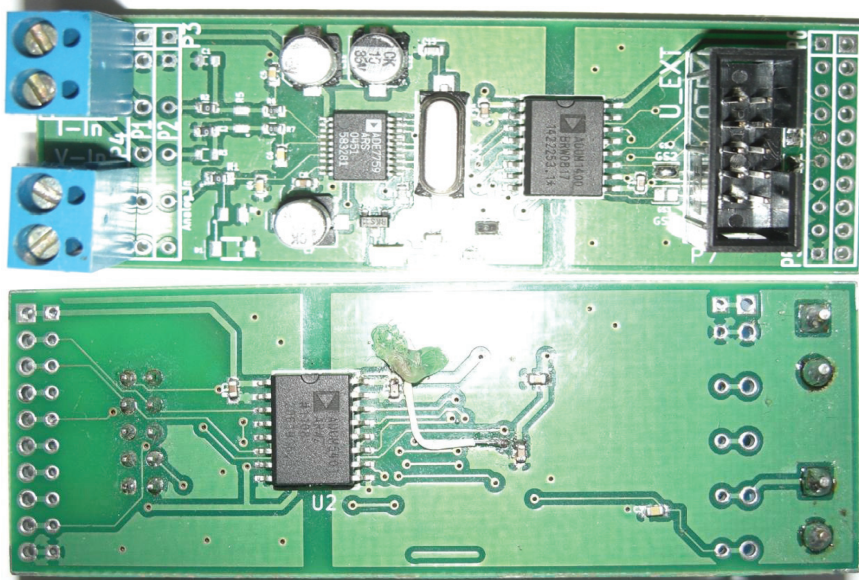
Най-големият недостатък на ИС ADE7759 е в ниската степен на първичната обработка на резултатите, извършвани в реално време от вградения DSP. Този недостатък може да бъде компенсиран с използването на по-производителен външен процесор, но само частично, защото честотата на дискретизация в този случай е няколко пъти по-малка, което ограничава точността на измерванията. Точността на измерване за ефективните стойности на мощността и консумираната енергия е много добра – от порядъка на 0,1%, но в случаи, където трябва да се прави анализ и на останалите параметри на електрическите захранващи мрежи се препоръчва използването на други ИС.



Фиг. 3. Блок-схема на специализирана ИС ADE7753 – измерител на мощност

При необходимост от точно определяне на множество параметри, като ефективните стойности на тока, напрежението активните, реактивните и привидните мощности и енергия, ADE7759 се заменя с ИС ADE7753 (Фиг. 3). Двата чипа са в еднакви корпуси и имат едни и същи изводи, което означава, че замяната на единия с другия не изисква промяна в схемите на свързване или дизайна на печатните платки. Практически ADE7753 включва всички функционални блокове и възможности на ADE7759. Разликата е, че са добавени аритметично-логически блокове за изчисляване в реално време на ефективните стойности на тока, напрежението, активната, реактивната и привидната мощности и енергии. Добавени са и възможности за отчитане максималните стойности на тока и напрежението в рамките на един период, а също и неговата продължителност.

С разработената система (Фиг. 1) е възможно да се извършва експресен анализ на параметрите на монофазни електрозахранващи мрежи. Измервателният модул е реализиран на една двуслойна печатна платка, с двустранен повърхностен монтаж (Фиг. 4).



Фиг. 4. Общ вид на измервателен модул за измерване параметрите на монофазни електрозахранващи мрежи (вид отгоре и отдолу)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Разработеният модул за измерване параметрите на електрическия ток при монофазни мрежи е възможно да бъде използван в конфигурация с различни микропроцесорни устройства, включително развойни китове.

2. За осигуряване на пълното функциониране на изгражданите системи е необходима разработката специализиран софтуер.

3. Благодарение на връзката с компютърни системи, освен експресен анализ на параметрите, е възможно да се извършва продължителен мониторинг, посредством който да се установяват причините за възникване на срывове и аварии в захранващите мрежи.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](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.

### 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](mailto:i_tsvetkov@uni-ruse.bg)

Докладът е рецензиран.