

ЦИФРОВО ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА И РЕАКТИВНА ЕНЕРГИЯ И МОЩНОСТ

Велико Великов

С повишаването на цените на електроенергията възниква въпросът за повишаване на точността на измерването ѝ. Обект на настоящата работа е разглеждане на някои специфични решения за измерване на активна и реактивна енергия и мощност за мрежи с индустритални честоти (45 до 65 Hz). Съвременната елементна база дава възможност да се построят уреди с висока точност за измерване на тези величини при сравнително ниска цена.

В статията е описано измерване на активна и реактивна енергия и мощност с използване на дискретизация на сигналите от токовия и напрежителния вход и получаване на търсените величини по изчислителен път. Главната особеност на измервателния процес е използването на честота на дискретизация, която не е постоянна, а се управлява от честотата на мрежата. Тази специфична особеност дава редица предимства - основно това са: намаляване на необходимите изчисления, силно подтискане на смущения от сигнали със случаен характер и намаляване на времето за установяване на индикацията. Практическата реализация е на базата на микроконтролера 68HC11 на фирмата MOTOROLA. От блоковата схема се вижда, че се използува едновременно стартиране на аналогоцифровите преобразуватели за каналите на тока и напрежението. Честотата на дискретизация се получава от синтезатор на честота с фазовозатворена верига, използващ мрежовата честота като водеща. По този начин в един период на напрежението се получават цял брой периоди на дискретизиращата честота.

Изчисляването на активната мощност се извършва по формулата:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} U(jT)I(jT) \quad .1$$

$$n = km; \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

В практиката за определяне на реактивната мощност се използват два начина. При първия (2) се умножават и сумират моментните стойности на напрежението и на тока, взет през закъснение равно на 1/4 период. Ако формите на тока и напрежението са строго синусоидални, двата метода са еквивалентни. При наличие на висши хармоники се получават различия. Предложената структурна схема може да реализира и двата метода. Първият метод е разпространен при високоточни еталонни аналогови измерители на мощност, използващи умножители на базата на ШИМ [1].

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} U(jT) I((j - \frac{m}{4})T) \quad .2$$

където:

m е броят на измерванията в един период на мрежата.

При втория се определя пълната мощност S и след това реактивната мощност (3) по формулатите:

$$Q = \pm \sqrt{(S^2 - P^2)} \quad .3$$

$$S = U_{eff} I_{eff}$$

За определяне на знака на Q е необходимо допълнително измерване на фазата на първия хармоник на тока.

Реализирането на синтезатора на честота е отчасти програмно, отчасти апаратно. Използвана е част от таймерната система на микроконтролера 68HC11. Стартовите импулси за аналогоцифровите преобразуватели се получават с помощта на компаратора OC1 и изхода на компаратора OC2.

$$T = \frac{1}{mf_x}$$

Числото N в регистъра за сравнение на OC1 се определя от формули 4 и 5.

$$C(n) = C(n-1) + T \quad .4$$

$$N = \text{int}(C(n)) \quad .5$$

При системна честота 2 MHz, независимо от точността на изчисленията, се получава дискретност на задаването на момента на старта на ADC с големина 0.5μs или

$$0 \leq \Delta T \leq 0.5 \mu s$$

Тази грешка във времето се трансформира в ъглова грешка $\Delta\phi$, като при $f_x = 50 \text{ Hz}$

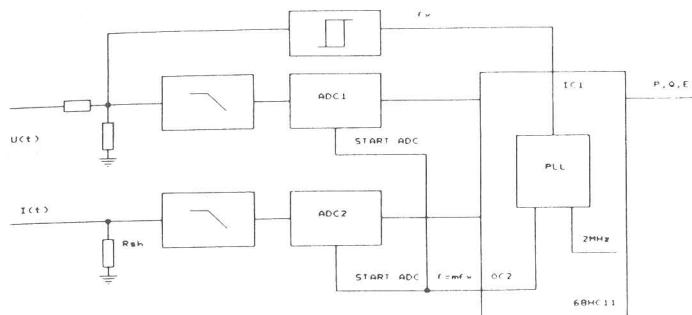
$$0 \leq \Delta\phi \leq 0.01^\circ$$

Ъгловата грешка предизвиква допълнителна грешка при реактивната мощност, която зависи и от $\cos\phi$. Например:

$$\Delta P = 0.01\% \quad \text{при } \cos\phi = 0.86$$

$$\Delta P = 0.03\% \quad \text{при } \cos\phi = 0.5$$

$$\Delta P = 0.07\% \quad \text{при } \cos\phi = 0.25$$



Блокова схема на измерител на активна
и реактивна мощност и енергия

Допълнителна грешка се получава и при измерването на реактивната мощност, поради неточното задаване на дефазирането от 1/4 период на дефазиране между тока и напрежението.

$$\Delta Q = 0.01\% \text{ при } \sin\phi = 0.86$$

$$\Delta Q = 0.03\% \text{ при } \sin\phi = 0.5$$

$$\Delta Q = 0.07\% \text{ при } \sin\phi = 0.25$$

Филтрирането на сигнала преди дискретизирането има някои характерни изисквания. В практиката сигналите от каналите на тока и напрежението имат форма, близка до синусоидалната. Този факт може да се използва при задаване на параметрите на филтрите. Мощностите на хармоничните намаляват много бързо. Например хармонични с ефективна стойност 3% имат мощност под 0.1% от мощността на основните хармоники. Този факт дава възможност да се използват прости филтри. Най-голяма грешка може да се очаква от хармонични на напрежението, които след преименуването си съвпадат с първия хармоник на тока и от хармонични на тока, които след преименуването си съвпадат с първият хармоник на напрежението. При честота на дискретизация $f_{adc} = mf_x$ хармоничните от реда

$$(m-1)f_x, (m+1)f_x, (2m-1)f_x, (2m+1)f_x, \dots$$

са опасни по отношение на възможността да внесат грешки. Те обаче лесно могат да се подтиснат, като за целта са подходящи филтри, имащи режекторни свойства. На базата на изложените принципни решения в кат. "Електронна техника" ТУ София е разработен еталонен електромер за активна и реактивна енергия с клас 0.05% .

Литература:

1. Solid state reference standard meter TVH21 for the measurement of active and reactive energy,
- информационен бюллетин на фирмата *LANDIS & GYR*, 1988