УДК 622.276.012.7

ВИМІРЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДУ ВЕРСТАТІВ-КАЧАЛОК

© Ровінський В. А., 2002
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Описаний спосіб вимірювання потужності електроприводу станків-качалок, а також структурна схема його реалізації. Здійснений метрологічний аналіз такого способу вимірювання потужності, а також оцінка впливу окремих факторів на похибку вимірювання потужності.

Динамічне вимірювання споживаної потужності привідних електродвигунів верстатів-качалок є основним джерелом інформації для ватметричних методів діагностування штангових глибинно-насосних установок (ШГНУ). Такі методи, розвиток яких активно здійснювався наприкінці 60-х і на початку 80-х років XX століття [1], не набули в СНД поширення внаслідок складності їх реалізації. У порівнянні з динамографуванням, точність вимірювання механічного навантаження ватметрографічним методом суттєво не збільшується [1, 2]. Покращення точності вимагає вимірювання та врахування при обчисленнях швидкості обертання ротора електродвигуна. Крім того, діагностування ШГНУ вимагає динамічного вимірювання споживаної потужності (більше, ніж 8 вим./сек.). Тому постає потреба в створенні інтелектуального вимірювача потужності привідного електродвигуна верстата-качалки. Можливі дві основні схеми реалізації вимірювача потужності. Перша і основна – шляхом перемноження миттєвих значень напруг та струмів із одночасним інтегруванням та усередненням цих значень на деякому періоді часу. При цьому форма сигналів робочих напруг та струмів не має суттєвого значення для вимірювання потужності. Для реалізації такої схеми необхідно обчислити (для усередненої потужності за період для однофазної системи)

$$P_T = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} i(t)\cdot u(t)dt\,, \qquad (1)$$

де T - період вимірювання; $i(t), u(t)$ - відповідно функції струму та напруги системи, добуток яких є миттєвою потужністю.

Друга схема вимірювання потужності ґрунтується на припущенні гармонійності робочих напруг та струмів. При цьому слід здійснити точні виміри амплітудних або середньоквадратичних значень напруг та струмів досліджуваної системи а також фази між ними. Усереднена потужність за період для однофазної системи в цьому випадку визначається так [2]:

$$P_T = \frac{1}{T}\cdot I\cdot U\cos(\varphi)\,, \qquad (2)$$

де I та U - середньоквадратичні значення струму та напруги відповідно, φ - фаза між струмом та напругою.

Для цього випадку слід використати точні аналогові детектори середньоквадратичних значень вхідних напруг, що дещо ускладнює схему. Тому нами реалізована перша схема вимірювань споживаної енергії привідного електродвигуна. Метою динамічного вимірювання споживаної привідним електродвигуном електроенергії є розв'язання задачі обчислення динамограми за ватметричними даними з похибкою, не більшою від 2,5 % (рис. 1).

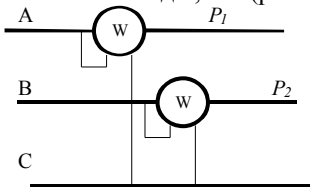


Рис. 1. Вимірювання потужності методом двох ватметрів

Спосіб дозволяє мінімізувати апаратні затрати на виготовлення приладу, оскільки чотириканальний комутатор та АЦП містяться в одному корпусі, як, наприклад, для ADS7841 [3]. Недоліком методу двох ватметрів є його некоректна робота у випадку проходження струму через нейтраль при значному несиметричному навантаженні (для чотирипровідних трифазних систем). Миттєва потужність трифазної системи в цьому випадку визначається таким відомим співвідношенням [2]:

$$p = u_{AC}\cdot i_A + u_{BC}\cdot i_B\,, \qquad (3)$$

де всі параметри є функціями від часу.

Тому, виходячи з (1) та (3), для усередненої за період потужності одержимо, що

$$P_T = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} p(t)dt = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} (u_{AC}(t)i_A + u_{BC}(t)i_B(t))dt\,. \qquad (4)$$

Оскільки дані за допомогою АЦП знімаються дискретно з рівномірними інтервалами часу, операцію інтегрування можна здійснити одним із відомих чисельних методів. Для фізичної реалізації цієї операції у більшості випадків використовують методи

заміни інтегрування – підсумовуванням (еквівалентно до методу прямокутників), або цифровою реалізацією ФНЧ. При цьому АЦП (та засоби цифрової обробки інформації) повинні мати запас по дискретизації ($fd >> fs$) .Для реалізації за допомогою звичайного 8-розрядного мікроконтролера пропонується метод значного зниження частоти дискретизації, враховуючи гладкість досліджуваної гармонійної функції. Для цього використаний метод Симпсона (метод парабол), змінений у відповідності до поставленої задачі. Основне співвідношення для цього методу наближеного інтегрування відоме [4, 11] і є таким:

$$\int_a^b y dx \approx \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + ... + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n), \quad (5)$$

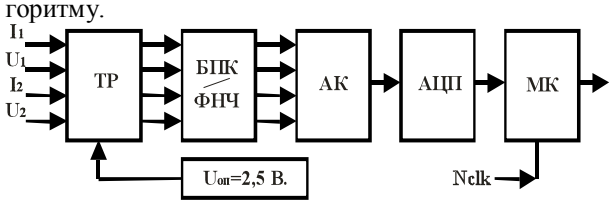
де $h = (b-a)/n$ - крок між окремо взятими відліками функції y_i та y_{i+1} .

Вибір кількості точок n зумовлений наступними чинниками:

- швидкодія обчислювача;
- кратність до частоти промислової мережі 50 Гц. У випадку значного відхилення частоти вибірки даних, внаслідок явищ електромагнітного наведення, похибка перетворення АЦП зростає;
- необхідна точність вимірювання усередненої за період потужності.

Експериментальним шляхом встановлено, що для одного сигналу кількість точок вимірювання на період, зумовлений швидкодією мікроконтролера, може знаходитись в діапазоні $n \in 0 \ldots 100$. Тому прийнято $n = 50$ для збереження ресурсів обчислювача з метою подальшої модернізації алгоритму. Часовий інтервал h для підінтегральної функції миттєвої потужності, при частоті 50 Гц (період $T = 1/50 = 0,02$ с.) в такому випадку дорівнює $h = T/n = 0,02/50 = 4 \cdot 10^{-4}$ с.

Розглянемо пропоновану блок-схему вимірювального перетворювача потужності (рис. 2). Транслятор рівня (ТР) необхідний для перетворення змінного вхідного сигналу в додатній, шляхом додавання деякого відомого постійного зміщення. Окрім цього, він усуває паразитні постійні складові вхідного сигналу. Враховуючи вхідний робочий діапазон вибраного 12 розрядного АЦП ADS7841 $Uвх. \in 0 \ldots 5$ В [3], за постійне зміщення вибране значення 2,5 В, яке створюється за допомогою прецизійного джерела опорної напруги AD780 [5]. Абсолютна похибка AD780 – 1 мВ, яка для 12-розрядної системи спричиняє випадкові коливання додатково 1-го молодшого розряду, що в сумі з правилом "± 1 розряд" АЦП складає 10 бітну систему вимірювання напруги. При цьому вага 1 молодшого розряду АЦП по напрузі приймається $5/2^{12} = 1,22$ мВ. Буферний підсилювальний каскад та фільтр низьких частот (БПК/ФНЧ) призначені для узгодження вихідного опору вимірювальних давачів та тракту ФНЧ – АЦП. Коефіцієнт підсилення для сигналу напруг складає 1, для струмових сигналів – 4. Фільтр низьких частот (ФНЧ) – RC-ланка 1-го порядку з частотою зрізу ≈ 10 кГц – призначений для усунення явища накладання спектрів при аналогово-цифровому перетворенні. Аналоговий комутатор (АК) призначений для послідовної комутації вимірюваних сигналів і міститься в одному корпусі АЦП ADS7841. Дані в послідовному цифровому коді вводяться в мікроконтролер за допомогою шини SPI з частотою тактування 2 МГц і проходять подальшу обробку згідно (4) за допомогою управляючого алгоритму.



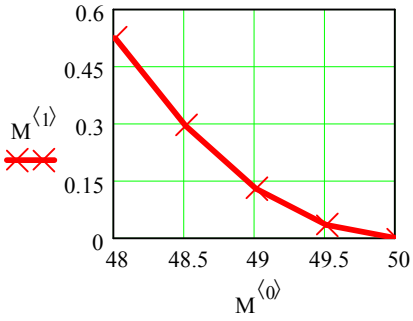
ТР – транслятор рівня; БПК – буферний підсилювальний каскад; АК – аналоговий комутатор; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; МК – мікроконтролер; Uоп – джерело опорної напруги; ФНЧ – фільтр низьких частот (протизавадний фільтр). I1, U1, I2, U2 – сигнали вимірюваних струмів та напруг; Nclk – імпульси з давача обертів електродвигуна

Рис. 2. Блок-схема вимірювального перетворювача потужності

Ввід інформації у первинні давачі виконаний у відповідності до [6, 7, 8]. Дослідний взірець приладу виконаний на макетній платі без врахування вимог електромагнітної сумісності, при вимірюванні тестових синусних сигналів має роздільну здатність, обмежену шумами 8,5 розрядів, що відповідає точності $\delta = 0,276$ % для повної шкали (встановлено експериментально). Додатково похибка виникає внаслідок можливої відмінності частоти мережі живлення від 50 Гц. Ця похибка теоретично може бути досить значна, тому вимагає чисельної оцінки. Для цього здійснене моделювання цифрового обчислювача в середовищі MathCad. В результаті обчислень для деяких можливих частот, відмінних від 50 Гц, одержимо відповідну графічну залежність (рис. 3).

Грунтовних даних щодо ймовірності виникнення частотних відхилень в електромережах живлення привідних двигунів ШГНУ для України немає, проте вибіркові дослідження, проведені на 5 нафтовидобувних свердловинах Західної України протягом 2001-2002 рр. не зареєстрували відхилення робочої частоти нижче 49,9 Гц. Для такого значення

частоти, відносна похибка складає $1,259 \cdot 10^{-3}$ %. Проте дослідження, які були проведені раніше, [9, С. 167] свідчать про можливість зниження частоти до 48,9 Гц (похибка 0,15 %).



$M^{<1>}$- відносна похибка (%), $M^{<0>}$- частота мережі (Гц)

Рис. 3. Залежність відносної похибки вимірювань при зміні промислової частоти

Інше джерело похибок при вимірюванні споживаної потужності привідного електродвигуна ШГНУ запропонованим методом – часовий зсув у вимірюваннях між сигналами $U1$, $I1$, $U2$, $I2$. Результати моделювання доводять, що ця похибка варіюється в залежності від робочого $\cos\phi$ двигуна і може сягати неприпустимих значень (>30 %) в області вимірювання мінімальних потужностей. Оскільки похибка систематична, вона може бути скомпенсована при обчисленнях. Алгоритм роботи програми компенсує цю похибку шляхом параболічної інтерполяції даних по трьом точкам, і забезпечує мінімізацію цієї похибки до рівня 0,4 %. Всі наведені вище міркування стосуються повного температурного діапазону роботи приладу (-40…+50 °С).

Алгоритм вимірювання потужності наведений на рис. 4. Він передбачає тестовий і нормальний режими роботи. В тестовому режимі виміряні значення напруг та струмів безпосередньо передаються на вихід, що дозволяє оцінити форму цих сигналів. В робочому режимі на вихід передається усереднене за період частоти 50 Гц значення споживаної потужності. Програма написана мовою Сі для мікроконтролера AT90S8535.

Лабораторні випробування пристрою підтвердили справедливість вищенаведених міркувань.

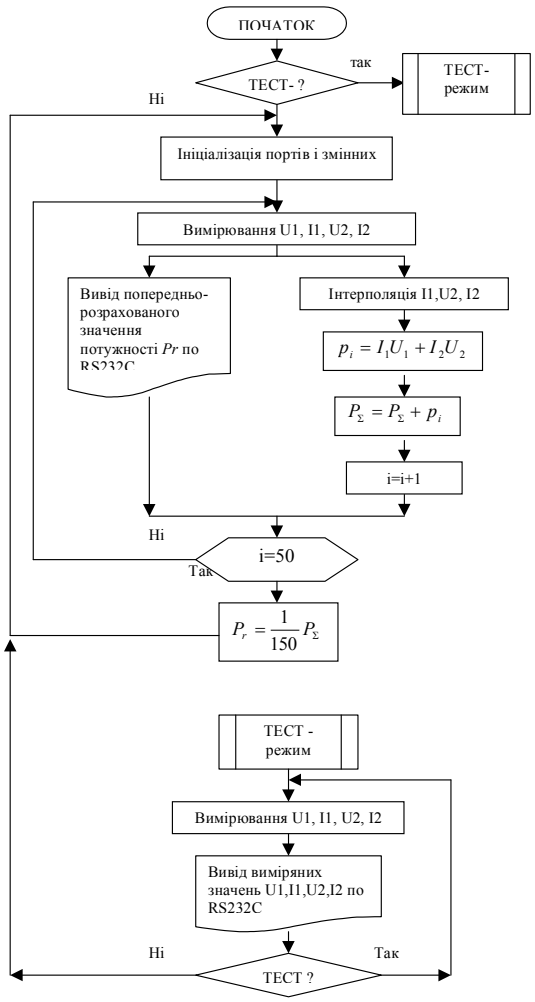


Рис. 4. Блок-схема алгоритму

1. Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А. Автоматический контроль и диагностика скважинных штанговых насосных установок. – М.: Недра, 1988. 2. Касаткин А. С. Электротехника. Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1973. – 560 с. 3. ADS7841. 12 bit, 4-channel serial output sampling analog-to-digital converter. – www.burr-brown.com. 4. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М., Л.,: ОГИЗ, 1948. – 556 с. 5. AD780. 2.5V/3.0V High Precision Reference. – www.analog.com. 6. Three phase energy metering IC with pulse output. ADE7752. Preliminary technical data. – www.analog.com. 7. Three phase multi-function energy metering IC with serial port. ADE7754. Preliminary technical data. – www.analog.com. 8. Energy metering IC with pulse output. ADE7751. – www.analog.com. 9. Котов А. Н. Исследование показателей качества напряжения на нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях // Средства измерений и автоматизации в нефтяной промышленности. – Уфа: Изд. Уфимс. нефт. ин-та, 1985. – 187 с. 10. 8-bit AVR Microcontroller with 4K/8K Bytes In-System Programmable Flash. AT90S4434 / AT90LS4434 // AT90S8535 / AT90LS8535. Preliminary. – www.atmel.com. 11. Фильчаков П. Ф. Справочник по высшей математике. – К.: Наукова думка, 1973. – 729 с.