

ІНЖЕНЕРНІ ПРОБЛЕМИ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 621.316.718.5

С.М. Лісовець, к.т.н., доц.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ ВЕКТОРНОГО ПЧВ101-К75-А

Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, ser_lis@voliacable.com

Проаналізовано дистанційну роботу перетворювача частоти векторного ПЧВ101-К75-А разом із асинхронним електричним двигуном АІР56А2 потужністю 0,18 кВт під керуванням програмованого логічного контролера ПЛК150. Показано, що завдяки дуже розвиненій системі реєстрів ПЧВ101-К75-А забезпечується повний контроль параметрів як самого ПЧВ101-К75-А, так і АІР56А2, за рахунок чого можна оперативно змінювати режими роботи “зв’язки” ПЧВ101-К75-А – АІР56А2 і вибирати з них найбільш енергоефективні.

Ключові слова: асинхронний електричний двигун, векторний принцип керування, лінія зв’язку, перетворювач частоти, програмований логічний контролер, протокол передачі даних.

Вступ

Як відомо, значну частку електричних двигунів в промисловості і сільському господарстві займають асинхронні електричні двигуни з короткозамкненим ротором. Порівняно із двигунами інших типів (наприклад, колекторними) вони мають багато переваг. Але основний недолік застосування таких двигунів – складність керування їх роботою. Тому останнім часом з’явився цілий клас пристроїв для керування асинхронними електричними двигунами, який має назву перетворювачі частоти [1-3]. Одна з переваг застосування таких перетворювачів частоти – енергоефективність. При “правильному” керуванні перетворювачі частоти передають асинхронним електричним двигунам саме стільки електричної енергії, скільки їм потрібно для виконання певної механічної роботи.

В переважній більшості випадків керують такими перетворювачами частоти не вручну, а дистанційно – за допомогою, наприклад, програмованих логічних контролерів або безпосередньо з промислового комп’ютера. Одними з таких перетворювачів частоти є пристрої фірми ОВЕН (м. Харків, Україна) – зокрема, перетворювач частоти векторний ПЧВ101-К75. Це одна з найменш потужних моделей з досить великого модельного ряду цієї фірми, але вона має практично такі ж самі функціональні можливості, як і більш потужні моделі. Інтерес представляє, зокрема, можливість дистанційно (окрім безпосередньо розгону і гальмування асинхронного електричного двигуна) виконувати моніторинг енергоспоживання, здійснювати індикацію портів і параметрів, виконувати пошук частоти обертання, програмувати S-подібну характеристику швидкості, програмувати вбудований ПІ-регулятор, аналізувати лічильник моторних годин, аналізувати журнал відмов і лічильник подій тощо.

Тобто, по суті, аналізується можливість побудови власної автоматизованої системи управління підприємством (АСУП), до складу якої можуть входити промисловий комп’ютер (або програмований логічний контролер) і кілька перетворювачів частоти, без застосування додаткових SCADA-систем (які дорого коштують і мають багато функціональних можливостей, що дуже рідно застосовуються).

Постановка завдання

Ставилося завдання виконати експериментальне оцінювання ефективності застосування перетворювача частоти векторного ПЧВ101-К75-А з точки зору побудови автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСКТП), яка може входити до складу АСУП. Тому основна увага приділялася дослідженню не силової частини ПЧВ101-К75-А, а різних режимів його роботи разом із асинхронним електричним двигуном АІР56А2 потужністю 0,18 кВт.

Для цього необхідно було мати оперативну інформацію про такі основні параметри, як напруга і струм живлення асинхронного електричного двигуна, його частота обертання, потужність, теплове

навантаження і так далі. Тому спочатку необхідно розглянути основні особливості роботи сімейства ПЧВ1 фірми ОВЕН взагалі і ПЧВ101-К75-А зокрема [4-6], а вже далі розглядати можливості побудови АСКТП.

Розв'язок поставленого завдання.

Сімейство ПЧВ1 фірми ОВЕН розраховане на живлення від однофазної або трьохфазної електричної мережі номінальною напругою (200...240)В і частотою (50...60)Гц, причому на виході формується трьохфазна напруга (0...240)В і частотою (0...400)Гц. Діапазон потужностей електричних двигунів, які можна підключити до виходу ПЧВ1, лежить в діапазоні від 0,18. до 4,0 кВт (бажано, щоб потужність електричного двигуна відповідала ГОСТ 12139-84 Машины электрические вращающиеся. Ряды номинальных мощностей, напряжений и частот, тобто становила 0,09 кВт, 0,12 кВт, 0,18 кВт, 0,25 кВт і так далі), і в залежності від цієї потужності ПЧВ1 випускаються в корпусах типорозмірами від 01 до 03. Для першого налагодження параметрів ПЧВ1 необхідна наявність локальної панелі оператора ЛПО1 (з потенціометром) або ЛПО2 (без потенціометра). А вже після налагодження необхідних параметрів керування роботою ПЧВ1 можна здійснювати і без ЛПО1 або ЛПО2.

При роботі ПЧВ1 його інвертор на основі IGBT-модуля SEMIKRON Elektronik GmbH & Co. KG генерує вищі гармоніки струму, які спотворюють як форму, так і симетрію фаз напруг живлення. При збільшенні потужності ПЧВ1 одночасно з цим збільшуються і спотворення, які він вносить в електричну систему живлення, так як вищі гармоніки збільшують втрати в магнітопроводах інших трансформаторів і електричних двигунів та приводять до нестабільної роботи інших електронних приладів. Відповідно, для ПЧВ101-К75-А згідно з рекомендаціями було застосовано зовнішні мережеві дроселі індуктивністю 2,0 мГн, розраховані на струм 12,0 А. ПЧВ101-К75-А має внутрішні радіочастотні фільтри, які задовольняють вимогам класу А1 по ГОСТ Р 51318.11-2006 Совместимость технических средств электромагнитная. Промышленные, научные, медицинские и бытовые (ПНМБ) высокочастотные устройства. Радиопомехи промышленные. Нормы и методы измерений. Такі внутрішні радіочастотні фільтри зменшують вплив радіозавад від роботи ПЧВ101-К75-А на роботу іншої електронної апаратури.

При підключенні до ПЧВ101-К75-А асинхронного електричного двигуна АИР56А2 потужністю 0,18 кВт дуже важливою була так звана автоматична адаптація до електричного двигуна, причому температура АИР56А2 повинна була дорівнювати температурі навколишнього середовища для виключення впливу температурної зміни параметрів АИР56А2 на результат адаптації. Суть адаптації полягала в тому, що ПЧВ101-К75-А вимірював такі параметри АИР56А2, як: активний і реактивний опори статора, втрати в залізі, основний реактивний опір електричного двигуна, реактивний опір ротора і еквівалентний активний опір, який визначає втрати потужності в роторі (втрати в міді). На основі результатів вимірювання будувалася еквівалентна електрична схема АИР56А2 (див. рис. 1), на основі якої ПЧВ101-К75-А на своєму виході формував трьохфазну напругу для керування роботою того ж самого електричного двигуна АИР56А2.

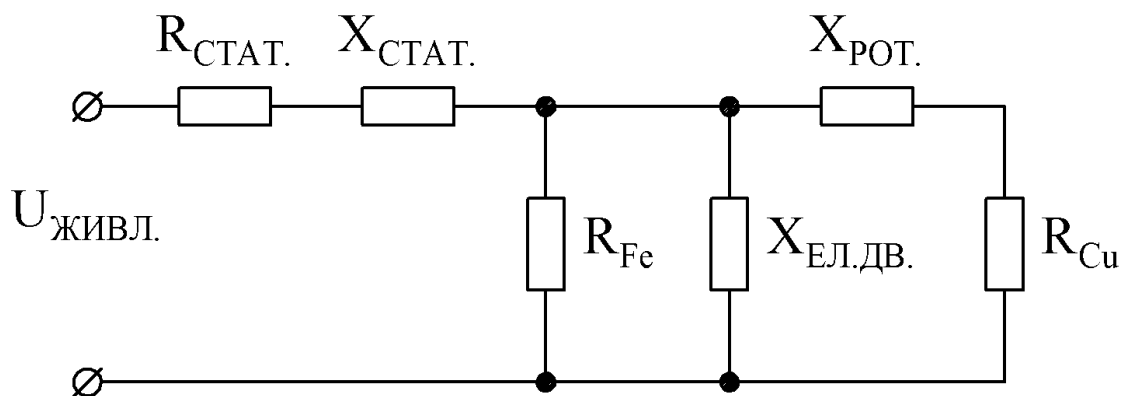


Рис. 1. Еквівалентна електрична схема АИР56А2

На рис. 1 показані: $R_{\text{СТАТ.}}$ – активний опір статора, $X_{\text{СТАТ.}}$ – реактивний опір статора, R_{Fe} – активні втрати в залізі, $X_{\text{ЕЛ.ДВ.}}$ – реактивний опір електричного двигуна (основний), $X_{\text{РОТ.}}$ – реактивний опір ротора, R_{Cu} – активні втрати в міді (в роторі). Успішне проходження адаптації АИР56А2 було запорукою успішного керування ним ПЧВ101-К75-А.

Керування ПЧВ101-К75-А здійснювалося локально (активізацією кнопки “РУЧН” з панелі ЛПО1 або ЛПО2) або дистанційно (активізацією кнопки “АВТО” за допомогою цифрових входів або інтерфейсу RS-485). Кнопка “СТОП/СБРОС” застосовувалася для зупинки АИР56А2 або для перезапуску режимів керування АИР56А2, якщо під час роботи АИР56А2 виникла аварія. ПЧВ101-К75-А підтримував два набори налагодження параметрів “Setup 1” і “Setup 2”, що дозволяло або підключати до нього два різних електричних двигуни (по черзі), або швидко змінювати певні налагодження певних параметрів одного електричного двигуна під час його роботи. Відповідно до цього ПЧВ101-К75-А мав кілька різних режимів роботи. По-перше, це вибір принципу керування електричним двигуном. Зазвичай застосовується векторний принцип керування, який передбачає компенсацію ковзання і навантаження. Але можна встановити і скалярний (вольт-частотний) принцип керування, який передбачає задання 6 пар характерних точок, кожна з яких встановлює залежність між напругою U і частотою f . По-друге, це застосування або не застосування зворотного зв'язку для керування частотою обертів електричного двигуна. Якщо зворотній зв'язок не застосовується, керування частотою здійснюється згідно із встановленими завданнями. Якщо ж зворотній зв'язок застосовується, частота змінюється згідно з ПІ-законом регулювання таким чином, щоб підтримувати певний технологічний параметр в заданих межах (наприклад, тиск повітря в магістралі).

Крім того, ПЧВ101-К75-А мав ряд додаткових можливостей. Наприклад, ПЧВ101-К75-А міг здійснювати компенсацію навантаження окремо на низькій і високій частотах обертання електричного двигуна, а також компенсацію ковзання електричного двигуна в залежності від навантаження. Міг контролювати температуру електричного двигуна як з використанням термістора, так і шляхом вимірювання параметрів електричного двигуна в гарячому стані і порівняння їх із параметрами еквівалентної електричної схеми електричного двигуна в холодному стані (див. рис. 1). Також міг утримувати електричний двигун, здійснювати прогрівання і гальмування електричного двигуна постійним струмом. Або змінювати свою частоту таким чином, щоб максимально швидко обходити діапазон частот технологічного обладнання, в якому міг з'явитися механічний резонанс.

При гальмуванні електричного двигуна АИР56А2 (особливо коли час гальмування достатньо малий) на його контактах виникала підвищена напруга внаслідок надходження енергії рекуперації від механічного навантаження, яке було механічно зв'язане з цим двигуном і мало великий момент інерції. ПЧВ101-К75-А мав засоби контролю цієї напруги з метою запобігання своєму аварійному відключенню. Крім того, ПЧВ101-К75-А мав вбудоване реле, яке могло застосовуватися для керування механічним електромагнітним гальмом (таке гальмо може застосовуватися, наприклад, для швидкого гальмування вантажопідйомного обладнання).

Необхідно також відмітити особливість формування завдання для ПЧВ101-К75-А на підтримання швидкості обертання валу АИР56А2, яка є відносно складною. В спрощеному вигляді це виглядає наступним чином: на швидкість обертання валу АИР56А2 впливає сума завдань, кожне з яких надходить з аналогових входів, з цифрових входів, від ЛПО1 (або ЛПО2) і від інтерфейсу RS-485. Причому кожне з джерел завдань можна як підключати, так і відключати, формуючи різні режими встановлення швидкості обертання валу АИР56А2.

Крім того, ПЧВ101-К75-А мав дуже розвинені засоби діагностики свого внутрішнього стану. Наприклад, він мав вбудовані компаратори, які дозволяли порівнювати значення неперервних параметрів (потужності, напруги, струму або частоти електричного двигуна АИР56А2, напруги на аналогових входах тощо) і фіксованих передвстановлених параметрів, і по результатам порівняння виконувати ті або інші дії. Крім режиму ручного керування, перетворювач частоти ПЧВ101-К75-А підтримував режим дистанційного керування. Таке керування здійснювалося із застосуванням інтерфейсу RS-485, причому згідно з інтерфейсом RS-485, перетворювач частоти ПЧВ101-К75-А виступав в якості веденого пристрою (slave), а в якості ведучого пристрою (master) виступав програмований логічний контролер ПЛК150.

Для передачі даних застосовувався протокол передачі даних Modbus RTU, який передбачав передачу за один раз вісьмох бітів даних (на відміну від протоколу передачі даних Modbus ASCII, який передбачав передачу за один раз сімох бітів даних, але не підтримувався ПЧВ101-К75-А). Перетворювач частоти ПЧВ101-К75-А призначалася адреса (довільне число в діапазоні від 1 до 126).

Загальна форма запиту від ведучого до веденого в мережі RS-485 згідно з протоколом Modbus RTU передбачала передачу адреси перетворювача частоти ПЧВ101-К75-А (вісім біт), коду функції (вісім біт), кількох байт даних (по вісім біт) і контрольної суми (шістнадцять біт). Причому, якщо передача запиту від ПЛК150 до ПЧВ101-К75-А проходила успішно, то ПЧВ101-К75-А давав відповідь, в якій повторювався код функції (вісім біт), кілька байт даних (по вісім біт) і контрольна сума (шістнадцять біт). Для того, щоб забезпечити достовірність передачі даних через довгу лінію зв'язку, можна було застосувати два способи. Перший спосіб полягав у застосуванні перевірки даних, що передаються, на непарність. Але, так як такий спосіб дозволяв лише визначити наявність неправильних бітів (одного, трьох, п'яти або семи) в кожному байті, що передається, то такий спосіб для керування перетворювачем частоти ПЧВ101-К75-А не застосовувався. Другий спосіб полягав у обчисленні контрольної суми CRC-16 (Cyclic Redundancy Check).

Стандартною швидкістю обміну даними між ПЛК150 та ПЧВ101-К75-А була обрана швидкість 9600 бод, а також застосовувався стандартний режим без контролю парності і з одним стоп-бітом. Таким чином, для передачі вісьмох бітів даних необхідно було передавати по лінії зв'язку десять бітів (один старт-біт (завжди лог. 0), вісім бітів даних і один стоп-біт (завжди лог. 1)). При такій швидкості обміну даними період тактового сигналу передавача інтерфейсу RS-485 становив приблизно 0,1042 мс, тобто на передачу кадра даних необхідно було витратити також приблизно 1,042 мс.

Згідно з протоколом Modbus RTU передача повідомлення повинна була починатися із "інтервалу тиші", який повинний був мати тривалість не менше часу передачі 3,5 кадра при даній швидкості обміну даними, тобто 3,646 мс. А завершуватися передача повідомлення повинна була таким же самим інтервалом тиші тривалістю не менше 3,5 кадра, тобто тими ж самими 3,646 мс. Необхідно зауважити, що всі кадри повідомлення повинні були передаватися безперервно. Наявність "інтервалу тиші", тривалість якого була не менше часу передачі 1,5 кадра при даній швидкості обміну даними, приймальний пристрій сприймав як кінець поточного кадра і відповідно наступний прийнятий байт сприймав як початок наступного кадра. Така ситуація приводила, зрозуміло, до появи помилки при передачі даних.

Перетворювач частоти ПЧВ101-К75-А мав дуже розвинену систему реєстрів, які дозволяли віддалено по інтерфейсу RS-485 здійснювати зчитування і запис в нього значень різних параметрів, повністю контролюючи як роботу самого ПЧВ101-К75-А, так і роботу електричного двигуна АИР56А2. Зокрема, для ПЧВ101-К75-А можна було визначити кількість днів і годин його роботи та спожиту при цьому кількість кВт·год, кількість підключень до електричної мережі, кількість перевищень температури радіатора із силовими елементами і перевищень напруги, а також загальний час напрацювання. А для АИР56А2 можна було визначити його потужність (в к.с. і кВт), теплове навантаження, а також частоту (в Гц і %), напругу і струм живлення. В перетворювачі частоти ПЧВ101-К75-А, згідно з протоколом Modbus RTU, застосовувалася власна система адресації реєстрів. Наприклад, для того щоб визначити струм фази електричного двигуна АИР56А2 (вважалося, що струми кожної з трьох фаз приблизно однакові), застосовувався параметр 16–14. Відповідно, цей параметр відповідав реєстру ПЧВ101-К75-А з номером

$$1614 \cdot 10 - 1 = 16139_{10} = 3F0B_{16}. \quad (1)$$

При цьому при визначенні струму фази ще додатково застосовувався коефіцієнт перетворення 0,01. Тобто, наприклад, якщо в реєстрі $3F0B_{16}$ (див. формулу (1)) знаходилося число 37_{16} (або 55_{10}), то це відповідало струму фази електричного двигуна АИР56А2

$$0,01 \cdot 55 = 0,55 \text{ А}. \quad (2)$$

А для того, щоб визначити, наприклад, час гальмування постійним струмом, застосовувався параметр 02 – 02. Відповідно, цей параметр відповідав регістру ПЧВ101-К75-А з номером

$$0202 \cdot 10 - 1 = 2019_{10} = 07E3_{16}. \quad (3)$$

При цьому при визначені часу гальмування постійним струмом також застосовувався коефіцієнт перетворення 0,1.

Програмований логічний контролер ПЛК150 фірми ОВЕН при обміні з ПЧВ101-К75-А по інтерфейсу RS-485 виступав в якості ведучого пристрою (master). Іншими словами, він формував запити до ПЧВ101-К75-А, а ПЧВ101-К75-А тільки відповідав на них.

Програмне забезпечення для програмованого логічного контролера ПЛК150 фірми ОВЕН створювалося за допомогою середовища розробки CoDeSys (Controllers Development System) фірми 3S (Smart Software Solutions). Вбудований в це середовище редактор PLC Configuration (Конфігуратор ПЛК) мав вбудований модуль конфігурації Modbus (Master) [VAR], який дозволяв ПЛК150 (після його програмування) автоматично підтримувати зв'язок з ПЧВ101-К75-А. Для визначення регістрів, значення яких необхідно було зчитувати (наприклад, регістр слова стану приводу (STW)) або записувати (наприклад, регістр командного слова приводу (CTW)), вбудований модуль конфігурації Modbus (Master) [VAR] мав додатковий підмодуль Universal Modbus device [VAR].

Цей підмодуль призначався для задання переліку регістрів ПЧВ101-К75-А, значення з яких будуть зчитуватися або в які будуть записуватися. В свою чергу, підмодуль Universal Modbus device [VAR] мав приблизно 20 додаткових підмодулів, які призначалися для організації зчитування і запису даних певного формату. Наприклад, для зчитування вмісту регістрів застосовувався підмодуль Register input module [VAR], причому для цього можна було застосовувати (на вибір) функцію 03 (Read holding registers) або функцію 04 (Read input registers). А, наприклад, для запису вмісту регістрів застосовувався підмодуль Register output module [VAR], причому для цього можна було застосовувати (також на вибір) функцію 06 (Write single register) або функцію 16 (Write multiple registers).

Однією з особливостей опитування ПЧВ101-К75-А згідно з протоколом Modbus RTU було те, що при зчитуванні або записі регістра слова стану приводу (STW) і регістра командного слова приводу (CTW) об'єм даних становив 2 байта, але при цьому значимими в цих словах були окремі біти. Це створювало певні незручності при організації обміну даними. Тому для перетворення даних між 2 байтами (тип даних DWORD) і одним бітом (тип даних BOOL) застосовувалися два функціональні блоки EXTRACT (див. рис. 2, а) і PUTBIT (див. рис. 2, б) (мова програмування Function Block Diagram (FBD)). Зокрема, блок EXTRACT дозволяв з 2 байт (X), задавши порядковий номер біта (N), отримати значення цього біта (EXTRACT). А блок PUTBIT дозволяв, задавши два байта (X), порядковий номер біта (N) і значення цього біта (B), отримати інші два байта (PUTBIT) із потрібним значенням (B) біта (N).

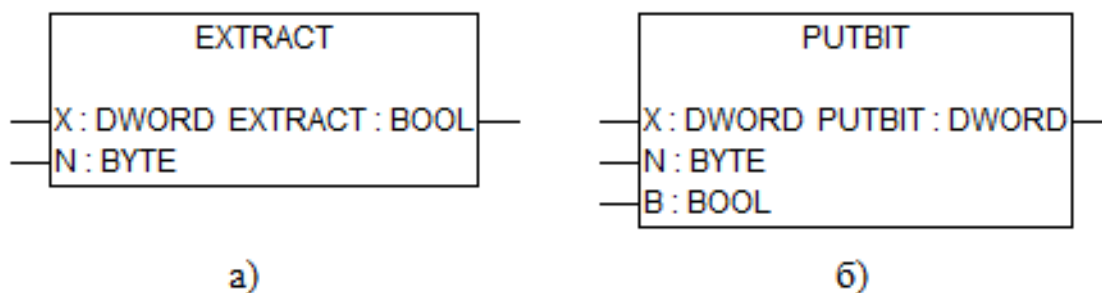


Рис. 2. Функціональні блоки EXTRACT (а) і PUTBIT (б)

Важливою перевагою застосування саме ПЛК150 фірми ОВЕН для керування роботою ПЧВ101-К75-А було також те, що робота по протоколу Modbus RTU в якості ведучого пристрою (master) здійснювалася ПЛК150 практично автоматично. Іншими словами, програмне забезпечення для ПЛК150, коли треба було записати в ПЧВ101-К75-А якийсь певне значення, зверталася тільки до області виведення %Q, а коли треба було зчитати з ПЧВ101-К75-А якийсь певне значення, то до області введення %I.

Висновки

В результаті обґрунтування застосування перетворювачів частоти векторних фірми ОВЕН в якості енергоефективних засобів керування роботою асинхронних електричних двигунів в автоматизованих системах керування технологічними процесами на прикладі “зв’язки” ПЧВ101-К75-А – АИР56А2 було показано, що завдяки дуже розвиненій системі реєстрів ПЧВ101-К75-А забезпечується повний контроль параметрів як самого ПЧВ101-К75-А, так і АИР56А2, за рахунок чого можна оперативно змінювати режими роботи “зв’язки” ПЧВ101-К75-А – АИР56А2 і вибирати з них найбільш енергоефективні.

Список літературних джерел

1. Деменков Н.П. Языки программирования промышленных контроллеров: Учебное пособие / Под. ред. К.А. Пупкова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 172 с.: ил.
2. Петров И.В. Программируемые контроллеры: Стандартные языки и инструменты / Под. ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.: ил.
3. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка: Учебно-практическое пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 стр., 12 ил.
4. Преобразователь частоты векторный ПЧВ1-XX и ПЧВ2-XX. Руководство по эксплуатации КУВФ.421212.004 РЭ.
5. Преобразователь частоты векторный ПЧВXX. Руководство по проектированию.
6. Преобразователь частоты векторный ПЧВXX. Руководство по программированию
КУВФ.421212.004 РП. Версия 04.