

# УНІФІКОВАНИЙ КОНТРОЛЕР НА БАЗІ STM32F401 ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

Пушніцин Д. С., магістрант, Пересада С. М., д.т.н., проф., Ковбаса С. М., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

**Вступ.** Сучасні технологічні процеси мають високі вимоги до якості регулювання моменту, швидкості чи положення. Для задоволення цих вимог створюються нові алгоритми керування двигунами змінного струму, які є нелінійними і вимагають високої потужності керуючого пристрою [1].

Сьогодні на ринку електроніки наявний широкий спектр спеціалізованих рішень для електромеханічних систем (ЕМС) та електроприводів (ЕП) від таких компаній як NXP, Texas Instruments, STMicroelectronics, Infineon і т.д. [2]-[5]. За допомогою спеціалізованих мікросхем і мікроконтролерів вирішуються більшість задач керування координатами ЕМС, при цьому ціна на таку електроніку має тенденцію знижуватися кожен рік.

Тому розробка нових керуючих контролерів на основі сучасних мікроконтролерів та цифрових сигнальних процесорів для побудови системи керування ЕП є актуальною.

**Мета роботи.** Метою даної роботи є розробка сучасного контролера для систем керування електроприводами змінного струму на базі 32 бітного ARM-мікроконтролера STM32F401, що має високі техніко-економічні показники і здатний задовольнити більшість вимог до контролера ЕП.

**Матеріали дослідження.** На рисунку 1 показано стандартну функціональну схему електроприводу змінного струму.

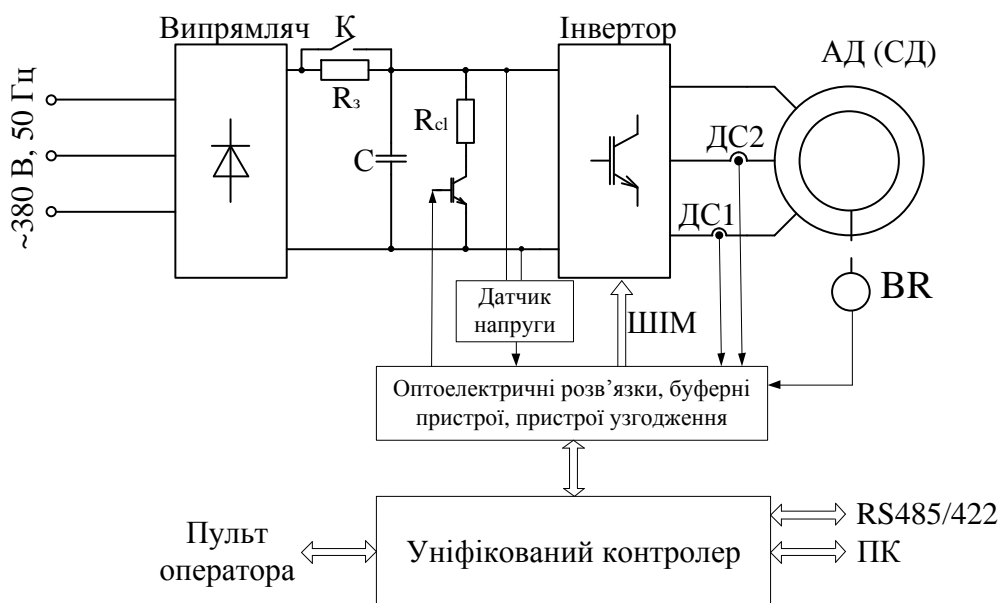


Рисунок 1 – Функціональна схема асинхронного електроприводу

Як більш загальний випадок, розглянемо вимоги, які ставляться до контролера асинхронного ЕП [2]-[5]:

1. Регулювання частоти вихідної напруги в діапазоні від 0 до 400 Гц з кроком 0,01 Гц.
2. Алгоритми керування, які реалізує контролер:
  - частотне регулювання (закони  $U/f$ ,  $U/f^2$  і т.д.) з можливістю компенсації падіння напруги на низьких частотах (IR-компенсація) та компенсація ковзання;
  - векторне керування швидкістю з давачем;
  - бездавачеве векторне керування швидкістю;
  - керування кутовим положенням.

До основних задач контролера відносяться: обробка сигналів зворотних зв'язків, розрахунок на основі заданих алгоритмів керування керуючих дій та видача їх за допомогою ШІМ на драйвери силових ключів (генерування векторної ШІМ на апаратному рівні). Необхідна полярність вихідного сигналу (пряма або інверсна логіка) має задаватись в залежності від потреб силової частини. Додатково на контролер покладено функції реалізації людино-машинного інтерфейсу, комунікації з іншими пристроями, в тому числі і ПК, обробки аварійних режимів, тощо.

Функціональна схема розробленого контролера показана на рисунку 2.

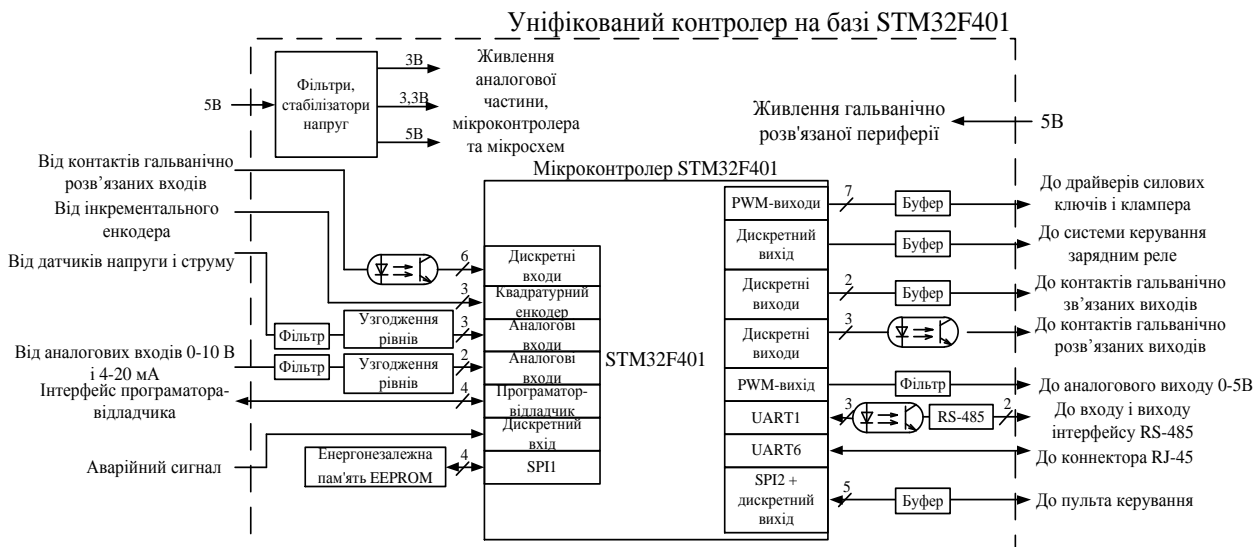


Рисунок 2 – Функціональна схема уніфікованого контролера

Розроблений контролер забезпечує керування як асинхронними двигунами (АД), так і синхронними двигунами (СД), а також двигунами постійного струму (ДПС). Завдяки наявності розвиненої периферії (дискретних та аналогових входів та виходів, інтерфейсів зв'язку і т.д.), контролер може бути легко інтегрований в складні системи автоматизації, керування якими відбувається із застосуванням систем високого рівня. Характеристики розробленого контролера наведено в таблиці 1.

Центральною мікросхемою контролера є ARM-мікроконтролер STM32F401. Вибір даного мікроконтролера обумовлений його низькою

вартістю при високій обчислювальній потужності та наявності спеціалізованої для ЕП периферії. В його основі лежить 32 бітне ядро ARM Cortex-M4, що має високу продуктивність (до 105 MIPS при максимальній частоті процесора 84МГц), 64 кілобайти SRAM, вбудований модуль виконання операцій з дійсними числами (Floating point unit). Для швидкого обчислення математичних операцій ядро підтримує ЦСП-інструкції і має апаратні можливості оптимізації циклів реального часу (ART Accelerator). Для зручності використання контролера в ЕП, в ньому реалізовано апаратне завдання мертвого часу транзисторів, підтримку до 4 фотоімпульсних квадратурних (інкрементальних) датчиків швидкості/положення. Мікроконтролер має 5В-толерантні дискретні входи, що відкидає необхідність узгодження рівнів дискретних сигналів, модулі прямого доступу до пам'яті (Direct Memory Access - DMA), а також розвинену периферію і велику кількість підтримуваних комунікаційних інтерфейсів [6].

Таблиця 1 – Характеристики розробленого уніфікованого контролера

Тактова частота, розрядність ядра	84 МГц, 32 біта
Пам'ять	128Kbyte Flash, 64Kbyte SRAM, 1k x 8 Serial EEPROM (on-board).
Швидкодія АЦП і його розрядність	42 нс, 12 біт
Кількість аналогових входів 0-10В/4-20мА	1/1
Аналогових входів з датчиків струму та напруги	3
Керування силовим перетворювачем	7 ШІМ виходів, що можуть бути конфігуровані, 1 вхід аварійного сигналу драйверів ключів
Кількість аналогових виходів 0-5 В	1
Кількість гальванічно розв'язаних входів/виходів	6/3
Кількість підтримуваних фотоімпульсних квадратурних (інкрементальних) еncoderів	1
Комунікаційний інтерфейс	RS-485/422
	Опціональний пульт для реалізації людино-машинного інтерфейсу
Програмування і відладка	SWD-інтерфейс, 2 відладочних світлодіода
Розмір плати і живлення мікроконтролера/плати	100x100, 3,3В/5В

Програмування і відладка контролера здійснюється через Serial Wire Debug (SWD) інтерфейс, що є модифікацією JTAG для STM і використовує меншу кількість провідників.

Для спрощення налаштування апаратної частини мікроконтролера використовується спеціальне безкоштовне програмне забезпечення компанії STMicroelectronics – STM32CubeMX – що має графічний інтерфейс і генерує файл ініціалізації на мові програмування C, який далі включається до основної

програми [7]. Завантаження проекту в контролер, а також програмна відладка здійснюється з використанням інтегрованого середовища розробки програмного забезпечення Keil  $\mu$ Vision5 [8].

Програма контролера працює в режимі реального часу, що реалізований за допомогою переривань системного таймера SysTick. Для зменшення навантаження на процесор дані з АЦП і енкодера автоматично оновлюються за допомогою модуля прямого доступу до пам'яті (DMA). Модуль вимірювання аналогових сигналів синхронізовано з процесами генерування вихідної напруги інвертора. Таким чином досягається зниження рівня комутаційних пульсацій у вимірюваних сигналах струму. Спеціальний регістр-лічильник обробляє імпульси з енкодера і, в залежності від роздільної здатності енкодера, перетворює дані в реальне кутове положення. Дані про кутову швидкість отримуються шляхом диференціювання кутового положення валу двигуна з подальшою фільтрацією.

Зв'язок контролера з ПК виконується за допомогою UART/USB перетворювача, що під'єднується до контролера за допомогою конектора RJ-45. Таким чином, можна в режимі реального часу відслідковувати до 16 внутрішніх змінних контролера для тестування алгоритмів керування, а також візуалізації перехідних процесів. За рахунок цього, розроблений контролер можна використовувати не тільки в промисловості, але й при виконанні наукових досліджень та при навчанні студентів.

**Висновки.** Представлено результати розробки високопродуктивного керуючого контролера на базі STM32F401, який на відміну від аналогів має низьку вартість при збереженні високої обчислювальної потужності та набору периферійних пристроїв. Розроблений контролер може бути використаний для побудови систем керування двигунами різного типу, а також використовуватися в навчальних цілях та для виконання наукових досліджень.

#### Перелік посилань

1. Bose B. Modern Power Electronics and AC Drives / Bimal K. Bose. – Knoxville, 2001. – 738 с.
2. NXP. Automotive Motor Control Development Solutions [Електронний ресурс] / NXP – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nxp.com/products/software-and-tools/run-time-software/automotive-software-and-tools/motor-control-development-solutions:AUTOMCDEVKITS>.
3. Texas Instruments. Motor Drive and Control Solutions [Електронний ресурс] / Texas Instruments – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ti.com/lit/sl/slyb165i/slyb165i.pdf>.
4. STMicroelectronics. Motor Control Solutions [Електронний ресурс] / STMicroelectronics. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.st.com/en/evaluation-tools/motor-control-solution-eval-boards.html?querycriteria=productId=SC1077>.
5. Infineon. Motor control and drives. Induction motor [Електронний ресурс] / Infineon – Режим доступу до ресурсу: <http://www.infineon.com/cms/en/applications/motor-control-drives/induction-motor/>.
6. STM32F401 Product Specification [Електронний ресурс] // STMicroelectronics. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/9e/50/b1/5a/5f/ae/4d/c1/DM00086815.pdf/files/DM00086815.pdf/jcr:content/translations/en.DM00086815.pdf>.
7. STM32Cube initialization code generator [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>.
8.  $\mu$ Vision® IDE description [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www2.keil.com/mdk5/uvision/>.