

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПУСКУ ТА КЕРУВАННЯ ЗБУДЖЕННЯМ СИНХРОННОГО ДВИГУНА

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

### Анотація

Проаналізовано, від яких параметрів залежить пусковий струм синхронного двигуна й на основі цього аналізу запропоновано шляхи полегшення пускових режимів. Найбільш економічно доцільним визначено введення в роторне коло додаткового резистора, що обмежуватиме пусковий струм. Керування процесом пуску та збудженням синхронного двигуна пропонується на основі контролю параметрів статорного кола за допомогою введення у систему керування спеціальних вимірювальних засобів.

**Ключові слова:** синхронний двигун, електропривод, пусковий струм.

### Abstract

It was analyzed which parameters the starting current of a synchronous motor depends on, and on the basis of this analysis, ways to facilitate starting modes were proposed. It is most economically expedient to introduce an additional resistor into the rotor circuit, which will limit the starting current. Control of the start-up process and excitation of the synchronous motor is offered on the basis of monitoring the parameters of the stator circuit by introducing special measuring devices into the control system.

**Keywords:** synchronous motor, electric drive, starting current.

### Вступ

Синхронні двигуни знаходять широке застосування у різних галузях промисловості, транспорту і технологій через їхні властивості та переваги. Серед яких основними є точність керування швидкістю обертання, висока ефективність та коефіцієнт потужності тощо. Це, а також можливість регулювання реактивної потужності в широких межах, забезпечує їм використання у якості приводів різного насосного та вентиляційного обладнання середньої та високої потужності у різних галузях. Наприклад, у нашому регіоні синхронні двигуни часто використовують у системах електропостачання підприємств цукрової галузі, зокрема для приводу водокільцевих насосів, що створюють розрідження у вапнякових печах, відкачуючи сатураційні гази для технологічних потреб.

Потужність таких приводів зазвичай складає 300-500 кВт й вони живляться напругою 6 кВ. Пуски таких синхронних двигунів, що разом із ротором насоса мають значний момент інерції, можуть бути викликом для усієї системи електропостачання підприємства, яка здебільшого працює автономно від енергосистеми, оскільки супроводжуються значними пусковими струмами. Крім того в процесі різкого пуску елементи передачі крутного моменту від двигуна до ротора насоса зазнає значних механічних перевантажень, що негативно впливає на надійність та довговічність, перш за все, редукторів. Тому постає задача додаткового дослідження пускових режимів синхронних двигунів та пошуку методів й засобів полегшення пускових режимів.

Метою пропонованої роботи є зменшення механічних перевантажень та струмів під час пуску синхронних двигунів шляхом модернізації його системи керування.

### Результати дослідження

Пуск синхронних двигунів різниться в залежності від особливостей технологічного процесу, в якому бере участь електропривод [1-3]. Для двигунів потужністю від 100 до 500 кВт здебільшого використовується асинхронний пуск з безпосереднім включенням на напругу живлення. В такому разі кратність пускового струму складає:

$$k = \frac{I_n}{I_n} = 4 \div 5. \quad (1)$$

Схема асинхронного пуску здебільшого є варіацією схеми, зображеної на рис. 1. При пуску в асинхронному режимі імпульси управління на тиристри VS2 ... VS8 не подаються і напруга керованого випрямляча дорівнює нулю. В обмотці збудження синхронного двигуна індукуються змінна ЕРС ковзання, під дією якої через стабілітрони VD1, VD2 і VD3, VD4 відкриваються допоміжні тиристри VS1 і VS2, підключаючи до обмотки збудження синхронного двигуна замикається на розрядний опір R. Коли двигун досягає швидкості близької до підсинхронної, ЕРС ковзання зменшується, зменшується і напруга на керуючих електродах тиристорів VS1, VS2 і вони перестають включатися. Розрядний опір відключається від обмотки збудження. Після чого в обмотку збудження подається постійний струм від керованого випрямляча KS3 - KS8 й двигун втягується в синхронізм.

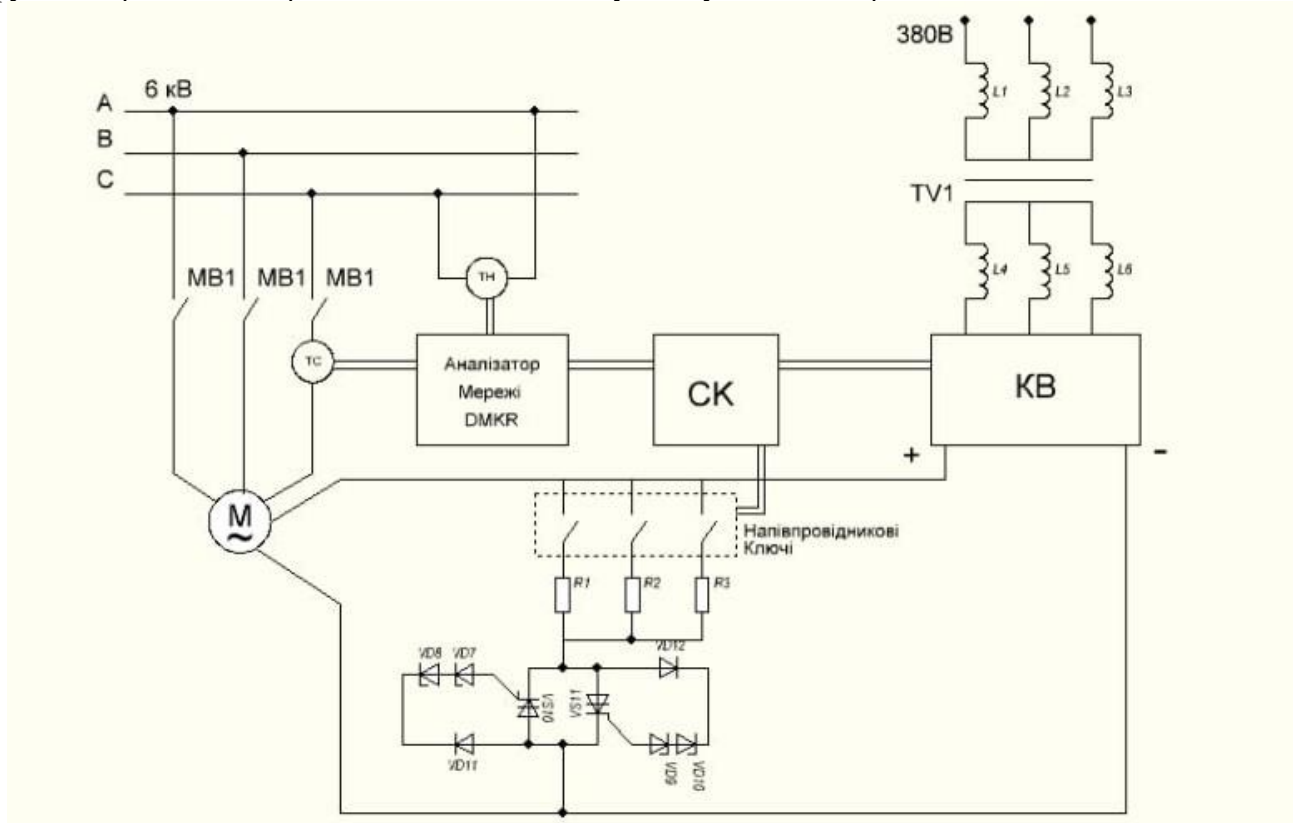


Рисунок 1 Структурна схема системи пуску та керування збудженням синхронного двигуна

Враховуючи вище викладене при пуску синхронних двигунів значної потужності виникає необхідність обмеження пускових струмів. Способи обмеження пускових струмів впливають з рівняння струму короткого замикання асинхронного двигуна:

$$I_{K3} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_{1s} + X_{2s}')^2}}, \quad (2)$$

де  $U_{1\phi}$  - фазна напруга обмотки статора синхронного двигуна в режимі асинхронного пуску;

$R_1, X_{1s}$  - активний і індуктивний опір розсіювання обмотки статора;

$R_2', X_{2s}'$  - активний і індуктивний опір розсіювання обмотки ротора, приведені до обмотці статора.

Аналіз співвідношення (2) дозволяє визначити перелік можливих заходів зі зниження пускових струмів. Першим таким варіантом є застосування струмообмежуючих реакторів, які підключаються між мережею та двигуном під час пуску, що збільшує індуктивний опір статорного кола й таким чином обмежує пусковий струм. Така система має високу вартість і повинна бути обладнана додатковою комутаційною апаратурою, що за умови живлення напругою 6 кВ є економічно недоцільно й не завжди можливо.

Іншим шляхом є введення в ході пуску в роторне коло опорів, різних за значенням. Таким чином у

ході пуску значення опору  $R_2'$  буде покроково змінюватись в залежності від стадії пуску – спочатку це значення буде більшим, а поступово знижуватиметься. Для реалізації описаного способу пуску, а також для регулювання струму збудження, необхідно обладнати систему приводу вимірювальним приладом у статорному колі, що має в динамічному режимі фіксувати параметри споживаної енергії. Основними параметрами, які мають бути контрольованими є напруга живлення статора, статорний струм, коефіцієнт потужності активна та реактивна енергія. Регулювання струму збудження пропонується реалізувати як функція заданого значення реактивної потужності з обмеженням, що визначається номінальними значеннями струму статора та ротора. Регулювання пояснює рис. 2.

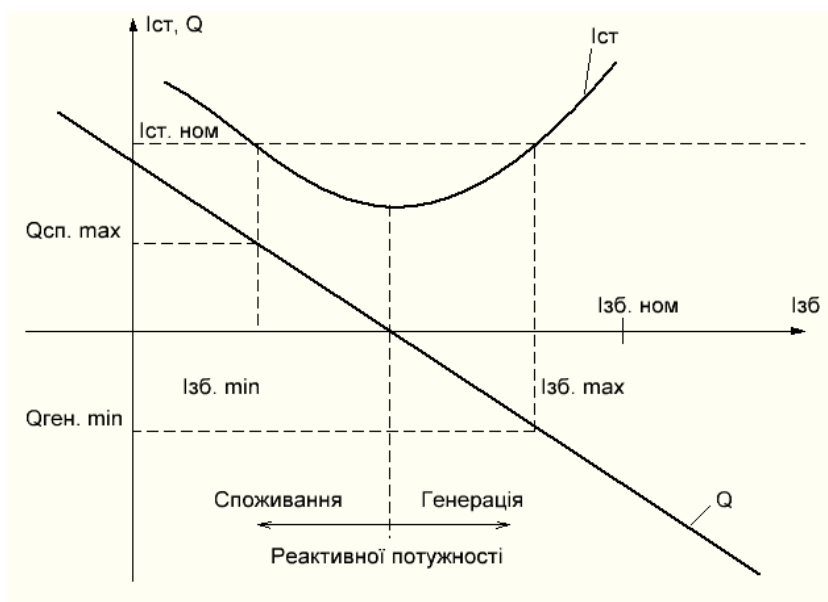


Рисунок 2 Регулювання струму збудження синхронного двигуна

Реалізація описаного способу пуску та керування струмом збудження вимагає додаткових теоретичних та практичних досліджень, що полягають у розрахунку параметрів пускових резисторів роторного кола, а також напівпровідникових ключів, які забезпечуватимуть комутацію цих резисторів, моделюванні процесів пуску синхронного двигуна, розробку системи керування, що забезпечуватиме узгодження параметрів статорного та роторного кіл.

### Висновки

Отже, у роботі показано, що пуски синхронних двигунів значної потужності супроводжуються значними механічними перевантаженнями та пусковими струмами. Проаналізовано, від яких параметрів залежить пусковий струм синхронного двигуна й на основі цього аналізу запропоновано шляхи полегшення пускових режимів. Найбільш економічно доцільним визначено введення в роторне коло додаткового резистора, що обмежуватиме пусковий струм. Керування процесом пуску та збудженням синхронного двигуна пропонується на основі контролю параметрів статорного кола за допомогою введення у систему керування спеціальних вимірювальних засобів. Визначено перелік завдань, що вимагають подальших досліджень.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Електричні машини і трансформатори / Підручник за заг. Ред. В. І. Мілих. – Х.: ХПІ, 2017. – 452 с.
2. Андрієнко В.М., Куєвда В.П. Електричні машини: Навч. Посіб. – К.: НУХТ, 2010. – 366 с. ISBN
3. Теорія електропривода: Підручник/ За ред. М.Г.Поповича. – К.: Вища школа, 1993. – 494 с.

**Коваль Андрій Миколайович** — кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних електромеханічних систем та комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: koval.a.m@vntu.edu.

**Машуков Максим Юрійович** — студент гр. ЕМ-22 мс, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Andriy M. Koval**— Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Computer Electric Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, E-mail: koval.a.m@vntu.edu.

**Maksym Y. Mashukov** - Student of EM-22ms group, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, E-mail: maxmashykov@gmail.com