

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

**КУЦИК**

**Андрій Степанович**

УДК 62-83::621.313.3

**ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНИЙ ЗАПУСК  
СИНХРОННИХ МАШИН**

Спеціальність 05.09.03 - Електротехнічні системи та комплекси,  
включаючи їх управління і регулювання

**Автореферат**

**дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Львів - 1997**



621.3-1  
Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному університеті

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Плахтина Омелян Григорович.**

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Герасимяк Ростислав Павлович.**  
(Одеський державний політехнічний університет);  
кандидат технічних наук, доцент  
**Ткачук Василь Іванович**  
(Державний університет "Львівська політехніка").

Провідна організація: Український науково-дослідний інститут  
силової електроніки "Перетворювач",  
м.Запоріжжя.

Захист відбудеться " 28 " листопада 1997 р. о 14 год 00 хв. на  
засіданні спеціалізованої Ради Д3505202 при Державному університеті  
"Львівська політехніка" (290646, м.Львів, вул. С.Бандери, 12)

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці  
Державного університету "Львівська політехніка"  
(290646, м.Львів, вул. Професорська, 1)

Автореферат розіслано "23" 10 1997 р.

Учений секретар спеціалізованої Ради  
кандидат технічних наук, доцент

Шегедин О.І.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В сучасній промисловості помітна тенденція до розширення області застосування синхронних машин, зокрема синхронних машин середніх та великих потужностей. Так, у металургійній промисловості синхронні двигуни використовують для приводів аглоекстаустерів, перетворювальних агрегатів системи завантажування доменних печей і рудних перевантажувачів, димотягів, котлів-утилізаторів, повітродувок та ін. Внаслідок високої перевантажувальної здатності синхронних двигунів, особливо при регулюванні збудження, синхронні електроприводи великих потужностей ( $P_n$  до 2.5 МВт) широко застосовують у приводах прокатних станів з ударним навантаженням. У хімічній промисловості для приводу поршневих компресорів високого тиску, турбокомпресорів, аміачних компресорів використовують синхронні машини потужністю до 8 Мвт. На підприємствах кольорової металургії синхронні двигуни ( $P_n$  до 2 МВт) застосовують для приводу млинів, подрібнювачів, насосів та компресорів. Потужні синхронні машини ( $P_n$  до 10 МВт), зокрема частотно-керовані, впроваджені в електроприводах екскаваторів та млинів цементної та гірничодобувної промисловостей, а в нафтодобувній промисловості - для приводів багатьох механізмів використовують синхронні двигуни з живленням як від мережі, так і від статичних перетворювачів частоти.

Таким чином, для сучасної промисловості характерним є розширення області застосування синхронних машин та істотне підвищення їх номінальної потужності. Використання таких машин з одного боку забезпечує досить високі техніко-економічні показники, а з іншого - вимагає застосування нових рішень для їх запуску, оскільки використання, у даному випадку, традиційних методів запуску пов'язане з істотним погіршенням пускових режимів машини, або неможливе взагалі. Так, значні термічні, струмові та електродинамічні перевантаження статорної та пускової обмоток роблять недоцільним, а в деяких випадках і неможливим, використання для потужних синхронних машин асинхронного способу запуску. Частотні способи запуску забезпечують найкращі, з погляду впливів на синхронну машину пускових режимів та керованості процесом запуску, пускові характеристики, однак для їх реалізації необхідні складні статичні перетворювачі частоти з ланкою постійного струму, які вимагають значних капітальних та експлуатаційних витрат. У 1986р. Овчинниковим І.Е., Давидяном Ж.Д. та Рябовим В.М.

запропонована ідея частотно-імпульсного запуску, згідно з якою синхронна машина запускається від тиристорного регулятора напруги, керованого давачем положення ротора. Така ідея є цікавою і вимагає детального дослідження.

Таким чином, розробка й дослідження нових систем запуску потужних синхронних машин, зокрема системи частотно-імпульсного запуску, які були б достатньо простими й надійними і забезпечували б керований запуск синхронних машин з допустимими електричними, електродинамічними та тепловими навантаженнями, є актуальною задачею, розв'язання якої має наукову і практичну цінність.

**Мета роботи та задачі дослідження.** Метою роботи є проведення досліджень систем частотно-імпульсного запуску синхронних машин у різних можливих варіантах, їх вдосконалення та вироблення рекомендацій щодо використання вказаних систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- створити математичні моделі систем частотно-імпульсного запуску і регулювання синхронної машини від трифазної та однофазної мережі змінного струму;
- побудувати алгоритми й створити цифрові моделі систем частотно-імпульсного запуску і регулювання синхронної машини від трифазної та однофазної мережі змінного струму;
- створити фізичну модель (експериментальну установку) системи частотно-імпульсного запуску синхронної машини для перевірки адекватності математичної моделі;
- виконати дослідження системи частотно-імпульсного запуску синхронної машини від трифазної мережі й системи частотно-імпульсного запуску та регулювання швидкості синхронної машини від однофазної мережі змінного струму, провести аналіз отриманих результатів і зробити висновки щодо використання даних систем;
- розробити можливі варіанти вдосконалення систем частотно-імпульсного запуску і регулювання синхронної машини.

#### **Наукова новизна роботи.**

- Досліджено систему частотно-імпульсного запуску та регулювання синхронної машини від трифазної мережі. Як варіант, запропоновано системи частотно-імпульсного запуску та регулювання швидкості синхронної машини від однофазної мережі

змінного струму, з нелінійним елементом в обмотці збудження а також замкнену систему з використанням регулятора струму.

- Запропоновано алгоритм керування частотно-імпульсним перетворювачем у схемі частотно-імпульсного запуску й регулювання синхронної машини від трифазної та однофазної мережі та способи проведення синхронізації у системі частотно-імпульсного запуску синхронної машини.

- Розроблено математичну і цифрову моделі систем частотно-імпульсного запуску синхронної машини від трифазної та однофазної мережі змінного струму.

- Доведено на експериментальній установці адекватність математичної моделі системи частотно-імпульсного запуску синхронної машини.

- В результаті математичного моделювання отримані характеристики систем частотно-імпульсного запуску синхронної машини, які представляють наукову новизну.

**Методи досліджень:** теорія моделювання електромашинно-вентильних систем, чисельні методи розв'язування систем диференціальних рівнянь, методи розв'язування систем алгебраїчних рівнянь, проведення фізичного експерименту.

**На захист виводиться:**

- замкнена система частотно-імпульсного запуску та регулювання синхронної машини з використанням регулятора струму, система з нелінійним елементом в обмотці збудження та система частотно-імпульсного запуску й регулювання синхронної машини від однофазної мережі змінного струму;

- алгоритм керування частотно-імпульсним перетворювачем в схемі частотно-імпульсного запуску й регулювання синхронної машини від трифазної і однофазної мережі та способи проведення синхронізації в системі частотно-імпульсного запуску синхронної машини;

- спосіб дослідження процесів у системах частотно-імпульсного запуску синхронної машини від трифазної та однофазної мережі змінного струму методами математичного моделювання, з використанням теорії математичного моделювання електромашинно-вентильних систем;

- цифрові моделі системи частотно-імпульсного запуску синхронної машини від трифазної мережі й системи частотно-

імпульсного запуску та регулювання швидкості синхронної машини від однофазної мережі змінного струму;

- результати експериментальних досліджень на фізичній моделі процесів у системі частотно-імпульсного запуску синхронної машини і обґрунтування адекватності математичної моделі даної системи;

- результати досліджень систем частотно-імпульсного запуску синхронної машини від трифазної та однофазної мереж змінного струму.

#### **Практична цінність роботи:**

- система частотно-імпульсного запуску синхронних машин, порівняно з традиційними схемами асинхронного запуску, дає змогу покращити пускові характеристики синхронної машини, з погляду забезпечення керованості процесом розгону та зменшення її пускових теплових, електричних і електродинамічних навантажень. У порівнянні зі схемами частотного запуску синхронних машин, дана система є простішою і вимагає менших капітальних та експлуатаційних витрат.

- Створені математичні (цифрові) та фізична моделі систем частотно-імпульсного запуску синхронної машини від трифазної та однофазної мереж змінного струму дозволяють проводити дослідження динамічних та статичних характеристик вказаних систем у різних режимах роботи.

- Запропонована система частотно-імпульсного запуску та регулювання швидкості синхронної машини від однофазної мережі змінного струму може бути використана як керований однофазний електропривід змінного струму із синхронним двигуном.

- Створені цифрові моделі систем частотно-імпульсного запуску синхронної машини можуть використовуватись спеціалістами у галузі електроприводу, які не володіють основами програмування, оскільки закладена технологія проведення цифрового експерименту вимагає лише формування файлів початкової інформації.

**Апробація роботи.** Основні результати дисертаційної роботи були оприлюднені, обговорені та отримали позитивний відгук на наступних національних та міжнародних конференціях:

- Всеукраїнська наукова конференція “Застосування обчислювальної техніки, математичного моделювання та математичних методів у наукових дослідженнях”, Львів, 1995.

- 1-а Міжнародна науково-технічна конференція “Математичне моделювання в електротехніці та електроенергетиці”, Львів, 1995.

- Науково-технічна конференція з міжнародною участю, присвячена 100-річчю від дня народження Тихона Губенка, "Електромеханіка. Теорія і практика", Львів, 1996.
- 2-а Міжнародна науково-практична конференція "Управління енерговикористанням", Львів, 1997.
- 4-а Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми автоматизованого електроприводу", Харків, 1997.

Основні результати роботи були представлені і на 2-ій міжнародній науково-технічній конференції "Unconventional electromechanical and electrotechnical systems", Szczecin, 1996 та на 4-ій міжнародній конференції "Electrical power quality and utilisation", Cracow, 1997. За результатами роботи подана та зареєстрована Держпатентом України заявка на винахід ("Пристрій для запуску синхронної машини", реєстраційний № 95083699).

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 7 наукових праць та 3 тези доповідей.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури у кількості 121 найменувань і двох додатків. Основний текст роботи займає 182 сторінки, та містить 120 рисунків на 62 сторінках і 9 таблиць на 8 сторінках.

### **Основний зміст роботи**

**У вступі** обґрунтовано актуальність, наукову новизну та практичну цінність роботи, сформульовано мету досліджень та положення, які виносяться на захист.

**У першому розділі** описано систему частотно-імпульсного запуску синхронних машин від трифазної мережі (рис.1) та систему частотно-імпульсного запуску й регулювання швидкості синхронної машини від однофазної мережі змінного струму (рис.2). В даних системах живлення синхронної машини здійснюється від частотно-імпульсного перетворювача, за схемою, керованого давачем положення ротора, трифазного тиристорного регулятора напруги. Згідно з принципом частотно-імпульсного керування, відкриваючі імпульси подаються на вентилі частотно-імпульсного перетворювача лише протягом інтервалів керування, які формуються давачем положення ротора окремо для кожного вентиля. Просторове розміщення секторів, які відповідають інтервалам керування для вентилів додатнього (1) і від'ємного (2) напрямку пропускання струму, а також діаграму формування інтервалів керування показано на рис.3.

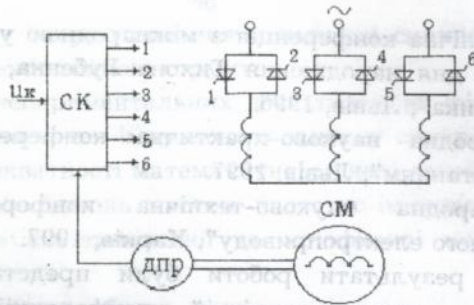


рис.1. Система частотно-імпульсного запуску синхронних машин від трифазної мережі.

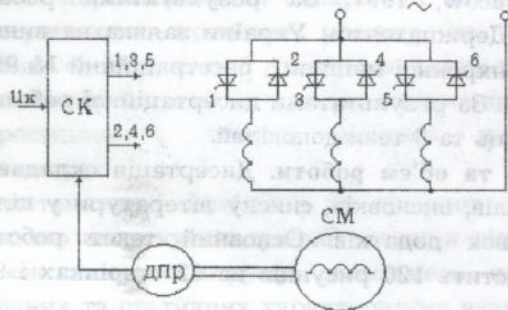


рис.2. Схема частотно-імпульсного запуску синхронної машини від однофазної мережі змінного струму.

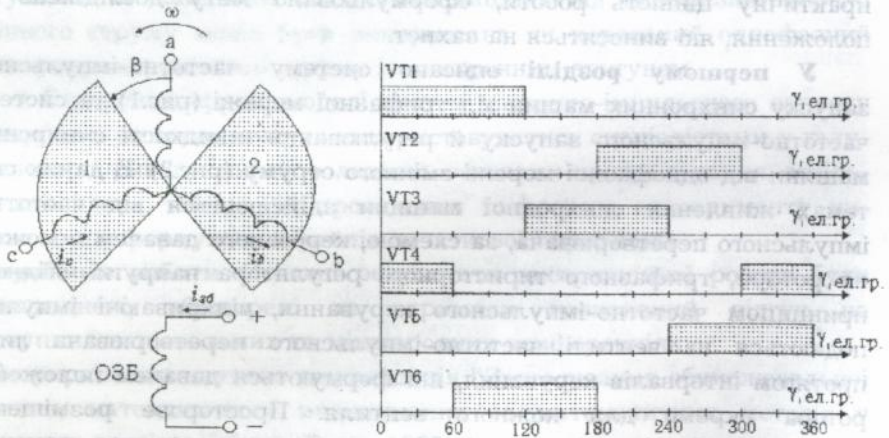


рис.3. Діаграма формування інтервалів керування для тиристорів частотно-імпульсного перетворювача.

Закривання вентилів відбувається природнім способом, внаслідок дії змінної різниці напруги мережі та ерс синхронної машини. У даному розділі проведено огляд і порівняльний аналіз існуючих систем та способів запуску синхронних машин із системою частотно-імпульсного запуску.

У другому розділі наведено математичні моделі складових елементів системи частотно-імпульсного запуску синхронних машин, описано математичну модель системи в цілому. В основу створення математичної моделі системи у фазних координатах покладено теорію моделювання електромашинно-вентильних систем (ЕМВС). Математична модель є замкнутою системою диференціальних рівнянь, що утворюється з рівнянь, які описують структурні елементи та рівнянь для визначення потенціалів вузлів ЕМВС. Кожний структурний елемент представляється у вигляді багатополюсника і описується зовнішніми та внутрішніми рівняннями. Зовнішнє вузлове векторне рівняння електричного багатополюсника має вигляд:

$$p\vec{i}_e + \vec{G}_e \cdot \vec{\varphi}_e + \vec{C}_e = 0, \quad (1)$$

де  $\vec{i}_e = (i_1, \dots, i_n)_t$ ;  $\vec{\varphi}_e = (\varphi_1, \dots, \varphi_n)_t$  - вектори струмів зовнішніх віток та потенціалів зовнішніх вузлів електричного багатополюсника;  $\vec{G}_e, \vec{C}_e$  - відповідно матриця ( $n \times n$ ) і вектор розмірністю  $n$ , які визначаються параметрами структурного елемента.

Для утворення моделі ЕМВС зовнішні вітки багатополюсників з'єднуються між собою у відповідних вузлах при допомозі матриць під'єднання структурних елементів  $\vec{P}_j$ . Співвідношення між потенціалами вузлів структурних елементів і потенціалами вузлів системи є наступним:

$$\vec{\varphi}_e = \vec{P}_j^T \cdot \vec{\varphi}_c, \quad (2)$$

де  $\vec{\varphi}_c$  - вектор потенціалів вузлів ЕМВС.

Векторне рівняння для визначення потенціалів вузлів ЕМВС має вигляд:

$$\vec{G}_c \cdot \vec{\varphi}_c + \vec{C}_c = 0, \quad (3)$$

де  $\vec{G}_c = \sum_{j=1}^m \vec{P}_j \cdot \vec{G}_{ej} \cdot \vec{P}_j^T$ ;  $\vec{C}_c = \sum_{j=1}^m \vec{P}_j \cdot \vec{C}_{ej}$ ,  $m$  - кількість структурних елементів.

Таким чином, модель системи частотно-імпульсного запуску (рис. 4) формується з моделей її окремих структурних елементів (мережі, частотно-імпульсного перетворювача, синхронної машини та

джерела живлення її обмотки збудження). Математична модель частотно-імпульсного перетворювача, силова схема якого аналогічна схемі трифазного тиристорного регулятора напруги, складається з системи диференційних рівнянь, які описують електричну силову частину (вентилі перетворювача еквівалентуються ланкою з послідовно-з'єднаних активного та індуктивного опорів) та системи логічних рівнянь, які описують схему керування. В цьому випадку, відкривання вентилів частотно-імпульсного перетворювача відбувається при одночасному виконанні наступних умов:  $\epsilon$  дозвіл на відкривання за кутом запалювання  $\alpha$  ( $\alpha \leq \omega t \leq \alpha + \Delta\alpha$ );  $\epsilon$  дозвіл на відкривання за кутом повороту ротора  $\gamma$  ( $\beta \leq \gamma \leq \beta + \Delta\beta$ ); напруга на вентилі  $\epsilon$  додатною; вентиль знаходиться в закритому стані.

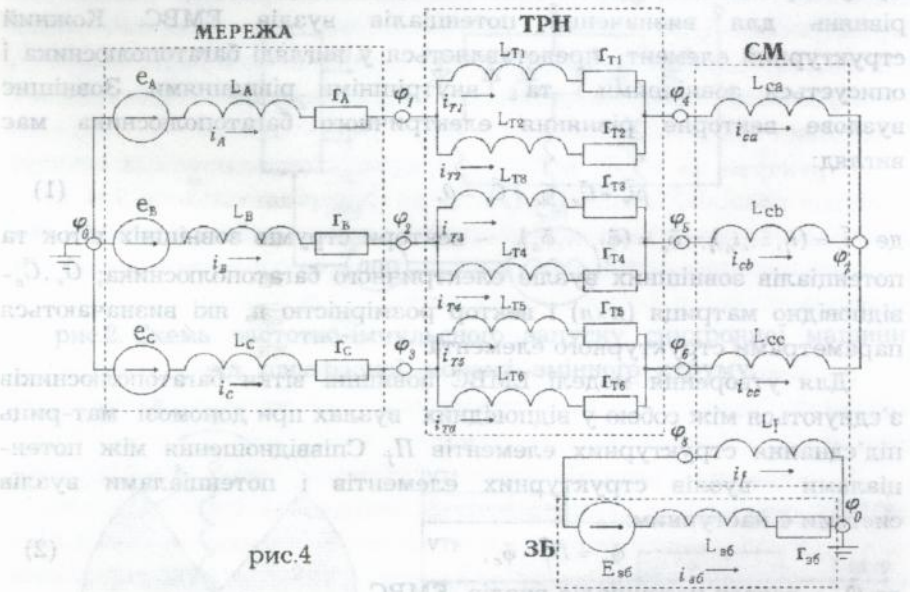


рис.4

На рис.5 наведено, отримані при проведенні цифрового експерименту часові залежності струму статора (миттєве  $i$  та еквівалентне  $I_e$  значення), електромагнітного моменту, моменту навантаження та швидкості синхронної машини при її частотно-імпульсному запуску з вентиляторним навантаженням із проведенням точної синхронізації з мережею. Для формування постійного динамічного моменту (прискорення) синхронної машини, протягом її розгону, використано замкнену систему з регулятором струму. Сигнал завдання струму статора в цьому випадку змінюється за законом  $I_s = I_{sн} + k\omega^2$ . Зроблено висновки за результатами проведених досліджень.

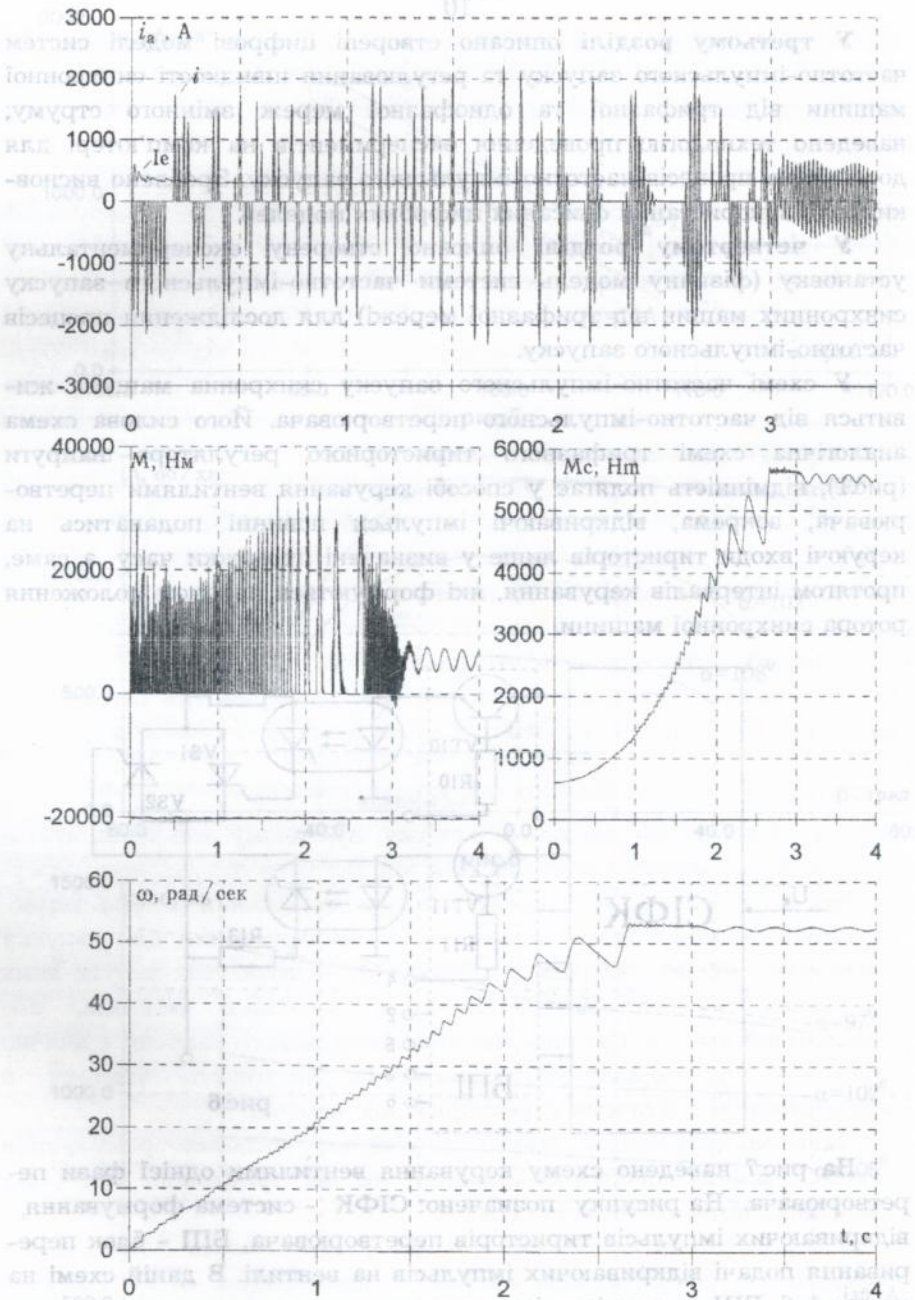


рис.5

У третьому розділі описано створені цифрові моделі систем частотно-імпульсного запуску та регулювання швидкості синхронної машини від трифазної та однофазної мереж змінного струму; наведено технологію проведення експериментів на комп'ютері для досліджень процесів частотно-імпульсного запуску. Зроблено висновки щодо використання описаних цифрових моделей.

У четвертому розділі описано створену експериментальну установку (фізичну модель системи частотно-імпульсного запуску синхронних машин від трифазної мережі) для дослідження процесів частотно-імпульсного запуску.

У схемі частотно-імпульсного запуску синхронна машина живиться від частотно-імпульсного перетворювача. Його силова схема аналогічна схемі трифазного тиристорного регулятора напруги (рис.1), відмінність полягає у способі керування вентилями перетворювача, зокрема, відкриваючі імпульси повинні подаватись на керуючі входи тиристорів лише у визначені проміжки часу, а саме, протягом інтервалів керування, які формуються давачем положення ротора синхронної машини.

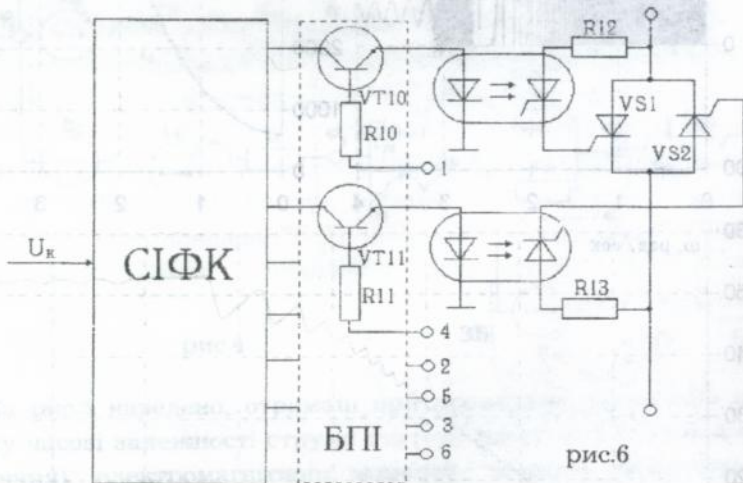


рис.6

На рис.7 наведено схему керування вентилями однієї фази перетворювача. На рисунку позначено: СІФК - система формування відкриваючих імпульсів тиристорів перетворювача, БПІ - блок переривання подачі відкриваючих імпульсів на вентилі. В даній схемі на входи 1-6 БПІ з магнітно-індуктивного давача положення ротора подаються сигнали, що відповідають інтервалам керування

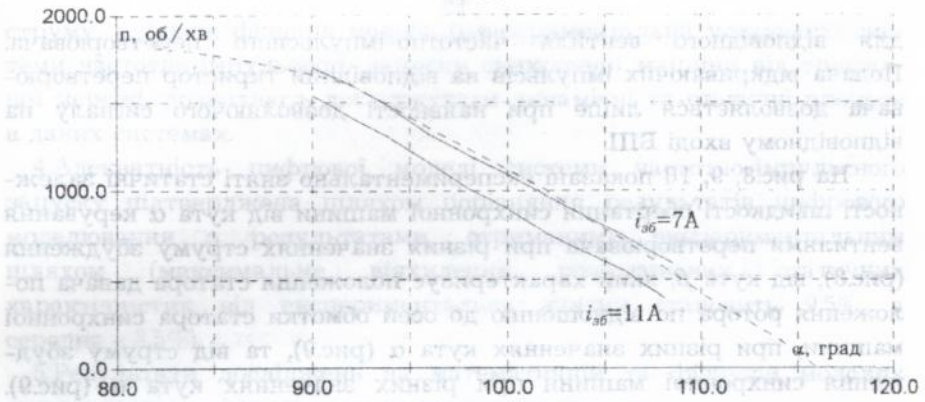


рис.7

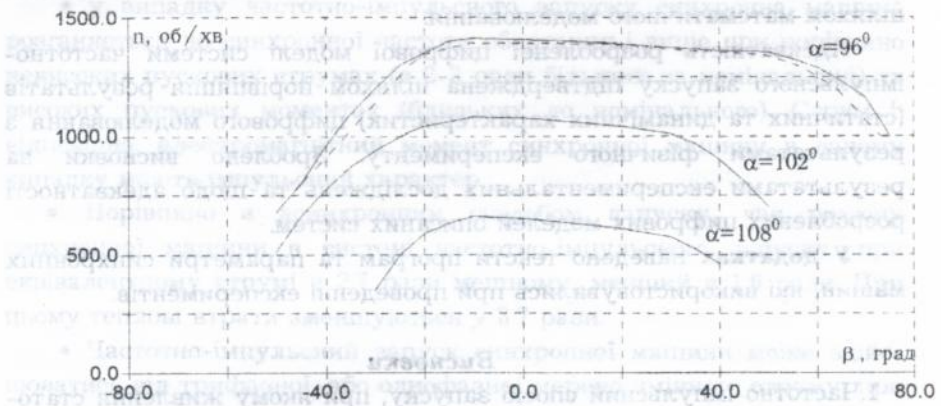


рис.8

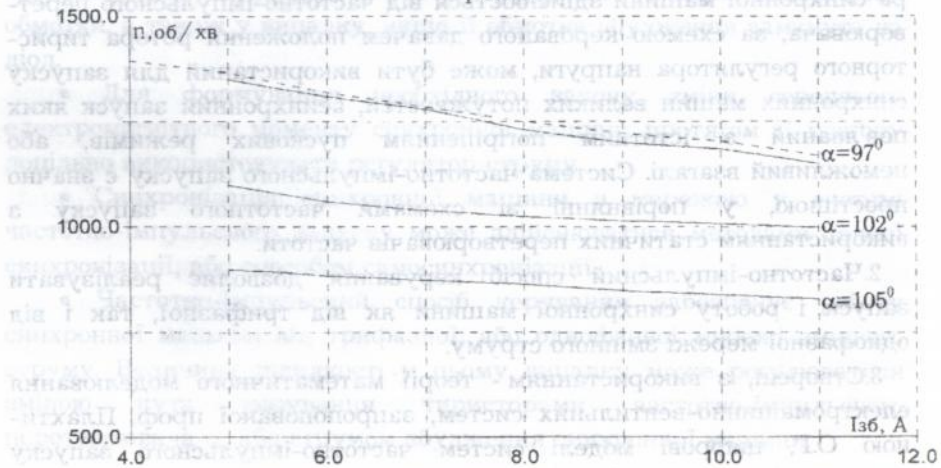


рис.9

для відповідного вентиля частотно-імпульсного перетворювача. Подача відкриваючих імпульсів на відповідний тиристор перетворювача дозволяється лише при наявності дозволяючого сигналу на відповідному вході БПІ.

На рис.8, 9, 10 показані експериментально зняті статичні залежності швидкості обертання синхронної машини від кута  $\alpha$  керування вентилями перетворювача при різних значеннях струму збудження (рис.8), від кута  $\beta$ , який характеризує положення статора давача положення ротора по відношенню до осей обмотки статора синхронної машини, при різних значеннях кута  $\alpha$  (рис.9), та від струму збудження синхронної машини при різних значеннях кута  $\alpha$  (рис.9). Пунктирними лініями показані статичні характеристики, отримані шляхом математичного моделювання.

Адекватність розробленої цифрової моделі системи частотно-імпульсного запуску підтверджена шляхом порівняння результатів (статичних та динамічних характеристик) цифрового моделювання з результатами фізичного експерименту. Зроблено висновки за результатами експериментальних досліджень та щодо адекватності розроблених цифрових моделей описаних систем.

У додатках наведено тексти програм та параметри синхронних машин, які використовувались при проведенні експериментів.

### Висновки

1.Частотно-імпульсний спосіб запуску, при якому живлення статора синхронної машини здійснюється від частотно-імпульсного перетворювача, за схемою керованого давачем положення ротора тиристорного регулятора напруги, може бути використаний для запуску синхронних машин великих потужностей, асинхронний запуск яких пов'язаний з істотним погіршенням пускових режимів, або неможливий взагалі. Система частотно-імпульсного запуску є значно простішою, у порівнянні зі схемами частотного запуску з використанням статичних перетворювачів частоти.

2.Частотно-імпульсний спосіб керування дозволяє реалізувати запуск і роботу синхронної машини як від трифазної, так і від однофазної мережі змінного струму.

3.Створені, з використанням теорії математичного моделювання електромашинно-вентильних систем, запропонованої проф. Плахтиною О.Г., цифрові моделі систем частотно-імпульсного запуску синхронної машини від трифазної та однофазної мереж змінного

струму, а також фізична модель (експериментальна установка) системи частотно-імпульсного запуску синхронної машини від трифазної мережі, дозволяють досліджувати динамічні та статичні процеси в даних системах.

4. Адекватність цифрової моделі системи частотно-імпульсного запуску підтверджена шляхом порівняння результатів цифрового моделювання з результатами, отриманими експериментальним шляхом (максимальне відхилення розрахованих статичних характеристик від експериментально знятих становить 9.5%, а середнє - 3.5%).

5. Результати досліджень на математичній та фізичній моделях систем частотно-імпульсного запуску свідчать, що:

- у випадку частотно-імпульсного запуску синхронна машина розганяється до синхронної частоти обертання і вище при порівняно невисоких пускових струмах (в 2-3 рази більших за номінальний) та високих пускових моментах (близьких до номінального). Струм і, відповідно, електромагнітний момент синхронної машини в даному випадку мають імпульсний характер.

- Порівняно з асинхронним способом запуску, час розгону синхронної машини в системі частотно-імпульсного запуску, при еквівалентному струмі в 2.7 рази меншому, менший в 1.6 рази. При цьому теплові втрати зменшуються у 3.7 рази.

- Частотно-імпульсний запуск синхронної машини може здійснюватись від трифазної, або однофазної мережі змінного струму, при наявності, або відсутності в роторі синхронної машини демпферної обмотки, а також у випадку, якщо її обмотка збудження замкнута на діод.

- Для формування необхідного закону зміни середнього електромагнітного моменту синхронної машини протягом її розгону доцільно використовувати регулятор струму.

- Синхронізація синхронної машини з мережею у системі частотно-імпульсного запуску може здійснюватись методами точної синхронізації, або способом самосинхронізації.

- Частотно-імпульсний спосіб керування забезпечує роботу синхронної машини від трифазної, або однофазної мережі змінного струму. Величина швидкості у цьому випадку може регулюватись зміною кута керування тиристорами частотно-імпульсного перетворювача  $\alpha$ , або струмом збудження синхронної машини.

Основні положення дисертації висвітлено в роботах:

1. Куцик А.С. Система частотно-імпульсного запуску синхронних машин // Вісник ДУ "Львівська політехніка" "Електромеханічні та електроенергетичні системи" N301 - Львів, 1997, с.27-33.

2. Куцик А.С. Особливості точної синхронізації в системі частотно-імпульсного запуску синхронних машин // Вісник ДУ "Львівська політехніка" "Електромеханічні та електроенергетичні системи" N301 - Львів, 1997, с.22-26.

3. Куцик А.С. Замкнута система частотно-імпульсного запуску синхронних машин // Вісник ДУ "Львівська політехніка" "Електромеханічні та електроенергетичні системи" N301 - Львів, 1997, с.147-149.

4. О.Плахтина, А.Лозинський, А.Куцик. Математичне моделювання електромеханічних систем на прикладі частотно-регульованого синхронного та частотно-імпульсного синхронного електроприводів. // Праці науково-технічної конференції присвяченої 100-річчю від дня народження Тихона Губенка, Львів, 1996, с.161-164.

5. О.Плахтина, А.Куцик. Частотно-імпульсний запуск та регулювання швидкості синхронної машини з нелінійним елементом в обмотці збудження // Проблеми автоматизованого електропривода. Теория и практика. Труды конференции. (Алуцита, 1997), Харків, Основа, 1997р., с.207-208.

6. Plakhtyna O., Lozynskiy A., Kutsyk A. The research of a.c. electric drives with thyristor voltages converter // Proceeding of the 2nd Int. scientific and technical conference on Unconventional electro-mechanical and electrotechnical systems, (Szczecin, 15-17 December 1996), Technical University Press, Szczecin, 1996, pp. 563 - 568.

7. Plakhtyna O., Lozynskiy A., Kutsyk A. The electromachine insertion in the excavators a.c. electric drive with cycloconverter // Proceeding of the 4nd International conference "Electrical power quality and utilisation", September 23-25, 1997, Cracow, Poland, pp.417-421.

8. Куцик А.С. Частотно-імпульсний запуск синхронних машин // Тези доповідей міжнародної конференції "Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці", Львів, ДУ"ЛП", 19-22 вересня 1995 р., с. 108-109.

9. Куцик А.С. Пускові та енергетичні характеристики системи частотно-імпульсного запуску синхронних машин // Тези доповідей

2-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Управління енерговикористанням", Львів, 1997, с.81.

10. Попова Н.Ю. Куцик А.С. Програмне середовище для наукових досліджень процесів в електромеханічних системах з напівпровідниковими перетворювачами // Тези доповідей Всеукраїнської конференції "Застосування обчислювальної техніки, математичного моделювання та математичних методів у наукових дослідженнях", Львів, ЛДУ, 19-21 вересня 1995 р., с.68.

**Особистий внесок автора.** В публікаціях, написаних у співавторстві, автору належать: в [4-6] - створення математичної та фізичної моделі системи частотно-імпульсного запуску синхронної машини та виконання математичних і фізичних експериментів; в [7] - застосування системи частотно-імпульсного запуску для запуску синхронного двигуна електромашинного перетворювача частоти; в [10] - створення цифрової моделі системи частотно-імпульсного запуску синхронних машин.

## АНОТАЦІЯ

Куцик А.С. Частотно-імпульсний запуск синхронних машин. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.03, - Електротехнічні системи і комплекси, включаючи їх управління і регулювання. Державний університет "Львівська політехніка". Львів, 1997.

В дисертації описані спосіб і система частотно-імпульсного запуску синхронних машин від трифазної мережі, а також система частотно-імпульсного запуску і регулювання швидкості синхронної машини від однофазної мережі змінного струму, їх математичні та цифрові моделі. За допомогою розроблених математичних моделей, а також створеної експериментальної установки, проведено дослідження процесів в системі частотно-імпульсного запуску синхронних машин. Зроблено висновки за результатами проведених досліджень.

**Ключові слова:** синхронна машина, моделювання, електромашинно-вентильна система, перехідні процеси, алгоритм, програма.

## АННОТАЦИЯ

Куцик А.С. Частотно-импульсный пуск синхронных машин. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03. - Электротехнические системы и комплексы, включая их управление и регулирование. Государственный университет "Львівська політехніка". Львов, 1997.

В диссертации описаны способ и система частотно-импульсного пуска синхронных машин от трехфазной сети, а также система частотно-импульсного пуска и регулирования скорости синхронной машины от однофазной сети переменного тока, созданы их математические и цифровые модели. С помощью разработанных математических моделей, а также созданной экспериментальной установки, проведены исследования процессов в системе частотно-импульсного пуска синхронных машин. Сделаны выводы по результатам проведенных исследований.

**Ключевые слова:** синхронная машина, моделирование, электромашино-вентильная система, переходные процессы, алгоритм, программа.

## ABSTRACT

A. Kutsyk. Frequency-pulse starting of synchronous motors. The thesis for the candidate of science degree. Speciality 05.09.03 - Electro-technical systems and complexes, including their control and regulation.

The manner and system of frequency-pulse starting of synchronous motors from 3-phase network and the system of frequency-pulse starting and speed regulation of synchronous motors from 1-phase network are described. By means of developed mathematical models and created experimental plant, the processes in the system of frequency-pulse starting of synchronous motors have been carried out. The conclusions about the research results have been drawn.

**Key words:** synchronous machine, modeling, electromachine system, algorithm, program.

Ab 88.84

434726

AB 38.711

### ABSTRACT

A. Kalyay, Frequency-pulse starting of synchronous motors.  
The thesis for the candidate of science degree. Specialty 05.02.01 -  
Electric-based systems and complexes including their control and  
regulation.

The theoretical aspects of the process of starting of synchronous  
motors by means of frequency-pulse  
starting are investigated. The  
starting process is analyzed from 1-phase  
starting and 2-phase starting. The  
starting process is analyzed from the  
point of view of the starting of  
the motor. The starting process is  
analyzed from the point of view of  
the starting of the motor. The  
starting process is analyzed from  
the point of view of the starting  
of the motor. The starting process  
is analyzed from the point of view  
of the starting of the motor.