

Автоматичне керування ефективністю асинхронного привода з функцією плавного пуску

Частотно-ступеневий спосіб підвищення енергоефективності асинхронного електропривода механізмів тривалого режиму роботи. Ідеологія, схемне рішення та випробування моделі інтегрального керування.

Ковальов^f О. Р., ORCID [0000-0003-2800-5746](https://orcid.org/0000-0003-2800-5746)

кафедра електроенергетики
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
Дніпро, Україна

Нестерова О. Ю. (перекладач), к.пед.н. доц., ORCID [0000-0002-5952-4664](https://orcid.org/0000-0002-5952-4664)

кафедра перекладу
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
Дніпро, Україна

Бородай^s В. А., к.т.н. доц., ORCID [0000-0002-6788-0562](https://orcid.org/0000-0002-6788-0562)

кафедра електропривода
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
Дніпро, Україна

Анотація—Розроблено та побудовано цифрові моделі системи широтно-імпульсного керування напруги зі ступеневим перемиканням частоти джерела живлення та автомата інтегрального управління асинхронним двигуном, надано рекомендації щодо алгоритму їх управління та схемного рішення задля реалізації режимів плавного пуску, номінальний та частотно-ступеневий регулювання енергоефективності відцентрових механізмів із мало-змінним графіком навантаження.

Новизна роботи полягає в обґрунтовані послідовності та умов управління та оригінальності структури автоматичної системи плавного пуску й увімкнення ефективного режиму асинхронного привода.

Впровадження системи перетворення дозволить створити автоматичну систему асинхронного привода, завдяки якій можливо досягти збереження енергоресурсу на усіх без винятку ланках електромеханічної системи, за умови мінімуму капітальних вкладень.

Ключові слова — тривалий режим роботи; мало-змінний графік навантаження; енергоефективне управління приводом; автомат перемикання режимів; підвищений коефіцієнт потужності.

I. ВСТУП

Серед сучасного промислового обладнання досить широке поширення отримали відцентрові насосно-вентиляційні установки [1], [2]. Такий клас механізмів зазвичай характеризується потужністю приводних двигунів, що може коливатися від одиниць до тисяч кіловат. Як наслідок, наявність суттєвого парку обладнання такого типу передбачає значні об'єми споживання електричної енергії [3]. При цьому практичний досвід їх експлуатації показав, що їм притаманна хаотична зміна навантаження, головним і вагомим чинником, якого є нерівномірність бажаної продуктивності за експлуатації значної кількості абонентів. На жаль, їх одночасно увімкнуте число не має заздалегідь явної закономірності

протягом усього робочого періоду. Очевидно, що у випадку падіння навантаження знижується коефіцієнт корисної дії системи, а значить є імовірність виникнення режимів невиправданих витрат енергії. Тому впровадження у широкий загал автоматичного обладнання, яке забезпечує якості ресурсо- та енергоощадності сьогодні має конче важливе значення. Поряд з цим особливої уваги вимагає питання виникнення труднощів пуску приводу потужних відцентрових механізмів із суттєвим моментом інерції. Як наслідок, не слід зволікати із забезпеченням таких систем автоматикою зниження динаміки, як у пускових так і перехідних режимах регулювання.



II. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Із даних [4] відомо, що досягти максимальної енергоефективності асинхронних приводів із складу відцентрових механізмів тривалого режиму роботи можливо завдяки саме комплексному підходу при вирішенні поставленої мети. Тому має сенс включити до аналізу увесь спектр складових електромеханічних систем такого типу.

Апаратна складова — високоефективні двигуни [5], які поряд із очевидною енергетичною перевагою мають ряд недоліків: суттєві витрати у агрегатах виконання технологічного завдання; справедливості способу ошадності характерна тільки для мало змінного графіку навантаження і за середнього моменту опору близького до номінального; очікувана розрахункова економія приводу можлива у випадку правильно налагодженого силового каналу.

Сучасний підхід до питання енергозбереження в мережних лініях та силових трансформаторах передбачає відсутність циркуляції реактивних струмів, які генеруються споживачами. Наявність саме локальних фільтро-компенсуючих RC кіл, які безпосередньо розташовують поряд з споживачем, забезпечують означені умови експлуатації і одночасно покращують режими комутації керуючих силових ключів [6-8]. Головний недолік таких систем є досить значна початкова вартість керуючого обладнання.

Доступна вартість силових керованих вентилів надає поряд із прийнятною капітальною вартістю статичного перетворювача недопустимі характеристики рівня коефіцієнта потужності [9]-[11], який обумовлений фазовим методом керування.

Методи використання різних модифікацій топології силової частини перетворювачів або використання коректорів коефіцієнта потужності дають позитивний ефект, але за суттєвого зростання початкової капітальної ціни [12], [13]. Таким же недоліком характеризуються методи ефективної стратегії керування перетворювачів, які будуються на принципах простого контролю, модельно-орієнтованого та пошукового управління.

Порівняльна оцінка переваг використання перетворювачів частоти та пристроїв плавного пуску [14], що працюють сумісно з насосними установками, показала співвідношення показників 12 до 3. За очевидної переваги частотних перетворювачів слід підкреслити, що їх вартість приблизно вдвічі перевищує ціну пристроїв плавного пуску, а крім цього обидві системи не враховують питання мережних витрат енергії.

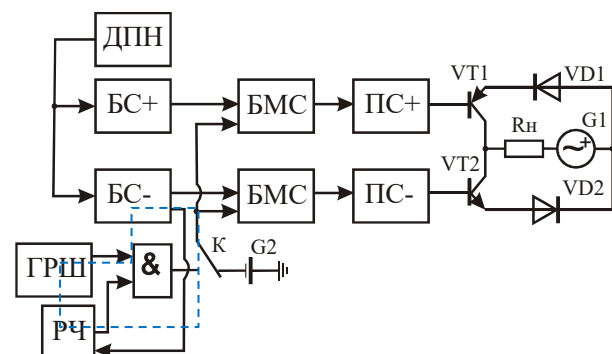
Альтернативою повноцінним перетворювачам частоти можуть бути регулятори напруги [15], які забезпечують підвищення енергоефективності у сталому режимі роботи. Їх основною перевагою є простота та низька собівартість за одночасної підтримки високих значень коефіцієнтів потужності та корисної дії системи, яка забезпечується в тому числі за рахунок використання принципу широтно-імпульсної

модуляції вихідної напруги перетворення. Попередніми дослідженнями встановлено, що ефективне регулювання напруги живлення практично не впливає на швидкість обертання двигуна, а відповідно і робочої машини, що обмежує можливості економічної експлуатації останньої. Проте досвід побудови цифрових моделей систем керування виявив просту можливість вдосконалення регулятора напруги [15] до ступеневого перетворювача частоти. Крім того, частотно-ступенева система керування, що розробляється, на жаль, не містить можливостей щодо компенсації динамічних зусиль у пускових та перехідних режимах, а її схемне рішення не є завершеною інтегральною системою керування, яка реалізує повний комплекс функцій запуску, роботи привода в режимах «номінальний» та «енергоефективний». Таким чином, метою публікації є розробка ідеології інтегрального керування попередньої системи перетворення [15], а також реалізація можливої версії схемного рішення з наданням на базі цифрового моделювання рекомендацій щодо кількісних параметрів окремих компонентів та автомата керування цілком.

III. ОСНОВНА ЧАСТИНА

A. Ідеологія та розробка функціональної схеми

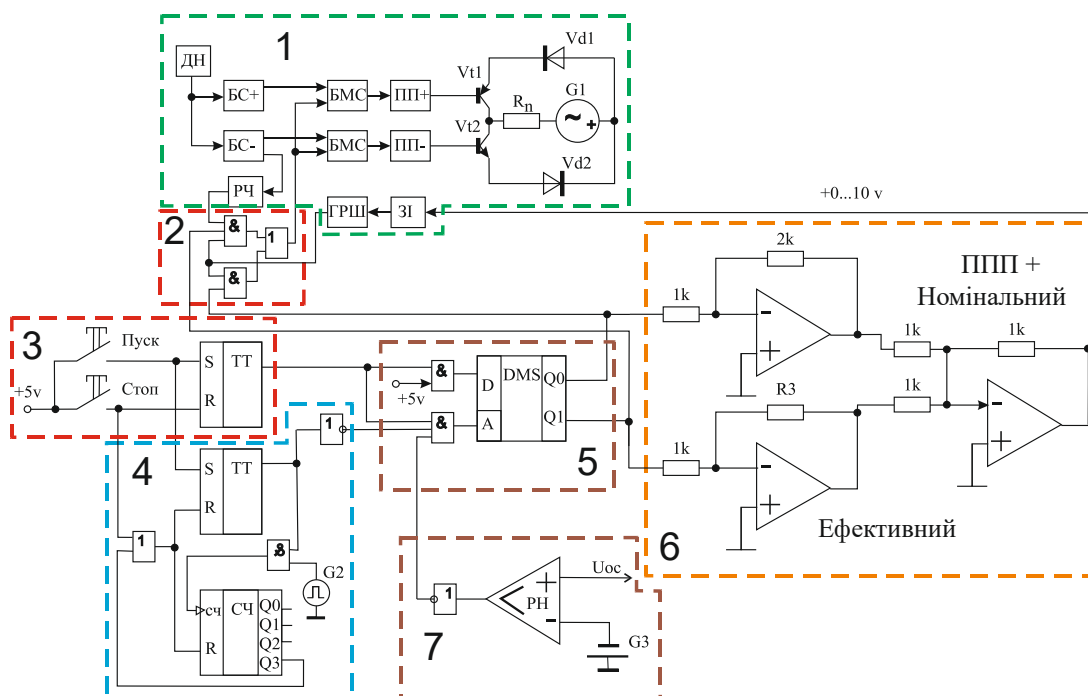
Перший крок вдосконалення це — оснащення системи [15] схемою регулятора частоти керованого імпульсами негативного напівперіоду мережної напруги (рис. 1. виділено пунктиром). Його призначення — послідовне через період живлення двигуна номінальною або нульовою напругою. Такий спосіб регулювання частоти не забезпечує рівень діючої напруги, що відповідає закону частотного керування $U/f = \text{const}$. Для його приведення до бажаного рівня користуються широтно-імпульсним модулятором, який відстроюють для даної схеми однофазово до початку регулювання. Вдосконалена за першим кроком система додатково має релейний регулятор перемикавання режимів «номінал» або «ефективний», де вхідна величина керування регулятора — це поточне навантаження, а повна вартість вдосконаленої системи суттєво не зростає, що є її значною перевагою.



ДПН – давач мережної напруги; БС – блоки синхронізації; ГРШ – генератор ручного регульованої шпаруватості; БМС – блок модуляції сигналу; ПЧ – попередній підсилювач; R_n – навантаження; VT, VD – ключі та вентилялі; PЧ – лічильник регулювання частоти; Елемент „I” – схема дозволу пропуску періоду живлення або заборона живлення; K – релейний регулятор

Рис. 1 Функціональна схема вдосконалення системи [15]





1 — СШК, де ДНН — давач мережної напруги; БС — блоки синхронізації; ГРШ — генератор регульованої шпаруватості; БМС — блок модуляції сигналу; ПП — попередній підсилювач; R_n — навантаження; V_T , V_D — ключі та вентиляції; РЧ — лічильник періодів напруги живлення; 2 — схема дозволу режимів «плавний пуск + номінальний», або «ефективний»; 3 — кнопковий пост зі схемою фіксації; 4 — таймер обмеження часу режиму плавного пуску; 5 — схема вибору поточного режиму; 6 — схема узгодження напруги для кожного режиму; 7 — релейний регулятор, де U_{oc} — напруга зворотного зв'язку виміру поточного навантаження.

Рис. 2 Функціональна схема автомату інтегрованого керування

Крок два — розробка сукупної системи перемикачів режимів. Особливістю алгоритму управління автоматом інтегрального керування є те, що за режиму пуску необхідно блокувати роботу релейного регулятора енергоефективності та забезпечити в цей термін живлення двигуна від перетворювача напруги, який працює в режимі плавного пуску (ПП), а у режимі «ефективний» за умови завершення витримки часу використовувати ступеневий перетворювач частоти. При цьому режим «номінальний» повинен тривати за синусоїдальної форми напруги живлення.

Режим «стоп», крім встановлення нульових сигналів на усьому проміжку від кнопкового поста до керуючих ключів, повинен забезпечити скид задавача інтенсивності на початкові умови, що підготує його до наступного запуску.

Автомат інтегрованого керування, на відміну від попередньої конструкції, вимагає плавного автоматичного регулювання напруги при запуску двигуна. З цією метою в систему широтно-імпульсного керування (СШК) введено генератор регульованої шпаруватості (ГРШ) із функціональною залежністю вихідної величини від напруги на його вході (блок 1 рис. 2). Умова зниження динаміки електромеханічної системи у цьому випадку, досягається установкою на вході ГРШ задавача інтенсивності (ЗІ блок 1 рис. 2). Питання гарантованого запуску передбачає введення в остаточну конструкцію таймера (блок 4 рис. 2) із витримкою часу, яка має більшу тривалість ніж постійна часу ЗІ. Така умова є очевидною і не вимагає

додаткового доказу. За незмінної попередньої схеми частотно-дискретного керування [15] до складу нового автомату введено перемикач режимів 2, 5 із елементами узгодження рівнів напруг 6 між окремими завершеними блоками із своїм функціональним призначенням.

Розглянемо роботу схеми автомату інтегрованого керування на базі функціональної схеми рис. 2. Її запуск починається при натисненні на «пуск» кнопкового поста 3. Результатом дії стане зведення тригерів блоків 3 та 4 в одиничний стан на їх прямому виході. У цьому випадку елемент «І» надає дозвіл на проходження імпульсів тактового генератора G2 на вхід лічильника витримки часу (блок 4). Після його заповнення кодом бажаної уставки витримки часу здійснюється скид тригера та лічильника блоку 4 в початковий стан і надання дозволу роботи регулятора навантаження через елемент «НІ». Одночасно одиниця на виході тригера блоку 3 вмикає високий рівень напруги на інформаційний вхід демультиплектора (блок 5), який на його виході встановлює стан «увімкнуто». Цей сигнал відповідно через блок 6 верхню гілку підсилювачів подає на ЗІ завдання на запуск із одночасним приєднанням через блок 2 виходу ГРШ до модуляторів БМС. Робота задавача інтенсивності плавно виконає зміну швидкості від нуля до номінального рівня. Після закінчення витримки часу таймера (блок 4), здійснюється увімкнення релейного регулятора (блок 7). Сигнал одиниці на адресному вході демультиплектора (блок 5) забезпечить одиничний сигнал на його виході Q1. Якщо

навантаження електромеханічної системи вище за 60 % номінального схема залишається без змін, і навпаки, якщо навантаження менше вказаного, працює нижня гілка підсилення (блок 6), що увімкне режим «ефективний» при одночасному приєднанні РЧ та ГРШ (блок 1, 2) до блоків модуляції БМС. Для зупинки системи відповідно слід натиснути кнопку «сто». Наслідок - усі тригери та лічильник скидаються в нульовий стан, що відповідно подає сигнал нуль на усі виходи демультимплексора, а далі й на усі проміжні елементи керування: підсилювачі, ЗІ, ГРШ, БМС та силові ключі, які у цьому випадку будуть закриватися.

В. Розробка та дослідження моделі.

Модель запропонованої автоматичної системи керування реалізована засобами електронної лабораторії National Instruments складової Multisim, зображена на рис. 3. Схемне рішення вміщує один канал СШК та автомат перемикання режимів керування. Повний комплект СШК містить три однотипних канали із синхронізацією за кожною фазою окремо. Силовий модуль навантажено на схему заміщення асинхронного двигуна 4A100L4U3 потужності 4 кВт швидкості обертання 1000 об/хв і номінальної напруги живлення 220 вольт.

Експериментальна симуляція кожного режиму системи відпрацьовується автоматично і згідно із попередньо описаним алгоритмом. Плавна зміна шпаруватості вихідної напруги перетворювача (рис. 4, а, А) наочно демонструє реалізацію режиму

ПП, а форма напруги (рис. 4, а, Б) входження двигуна у режим «номінальний». При цьому вихід задавача інтенсивності ілюструє відпрацювання відповідних режимів лінійно-зростаючою і горизонтальною частиною напруги максимального рівня. Моделювання процесу зміни навантаження на даному етапі здійснювалась власноруч шляхом перемикання ключа «X» (блок 7 релейного регулятора рис. 3). Його увімкнений стан сигналізує режим навантаження більше ніж 0.6 номінального, а розімкнутий — падіння за вказану межу. У випадку реальної побудови автомату ключ «X» фактично уявляє собою давач струму статорних обмоток приєднаний через гальванічну розв'язку, наприклад оптичну. Перехід системи із режиму «номінал» «Б» у режим відпрацювання раціонального живлення «В» ілюструється осцилограмою (рис.4, а). Як і згадувалось, у цьому випадку система працює із зниженням вдвічі напруги та частоти, що на діаграмі ЗІ показано падінням вихідної напруги нижче за попередню (рис. 4, б). Особливістю режиму зупинки електромеханічної системи є те, що задавач інтенсивності може залишатися у стані попередньо фіксованого рівня напруги. Уникнути аварійної ситуації при наступному запуску можливо у випадку скиду ЗІ у початкові умови. Цю функцію виконує транзисторний ключ, який приєднано у паралель до конденсатора зворотного зв'язку інтегратора ЗІ. Управління ним здійснюється оператором через RS -тригер блоку 3. На діаграмі вихідної напруги задавача інтенсивності ця ланка показана вертикальною лінією, яка миттєво спадає до нуля.

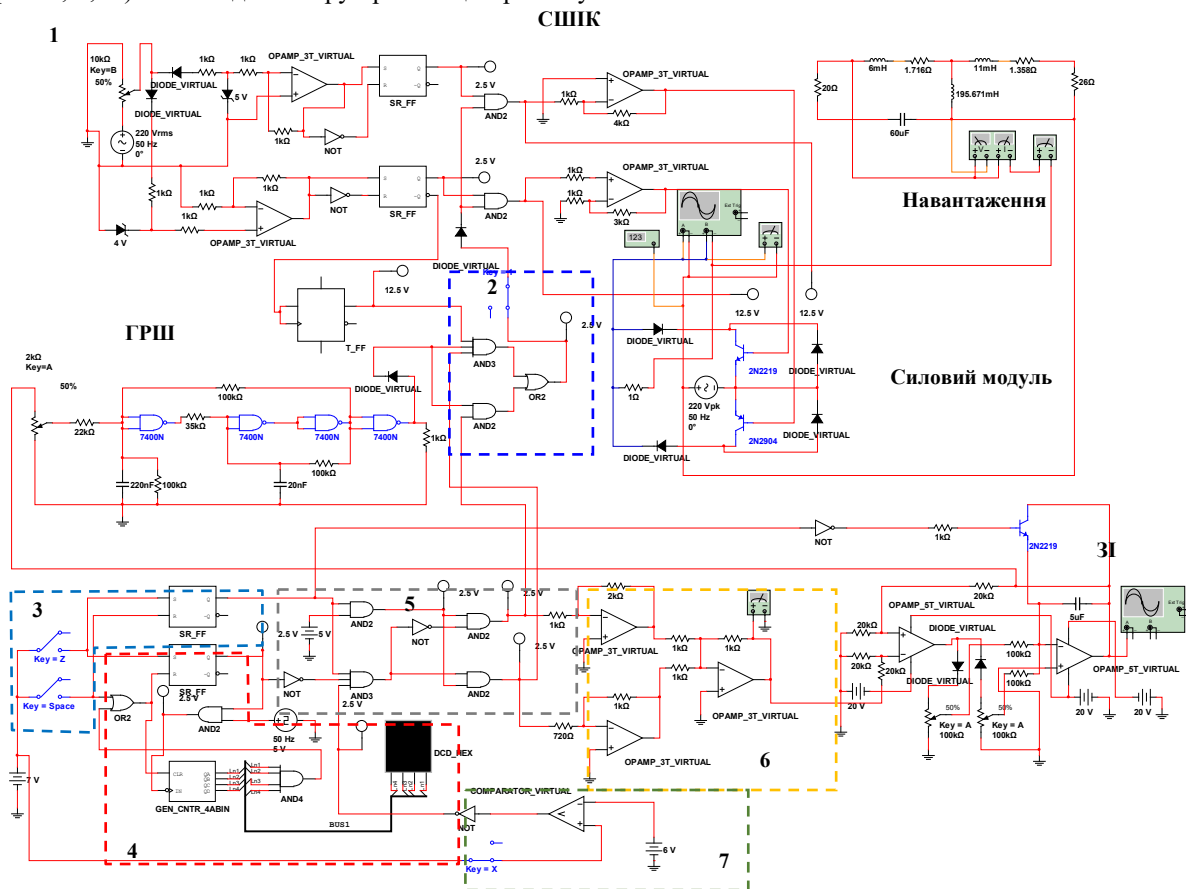
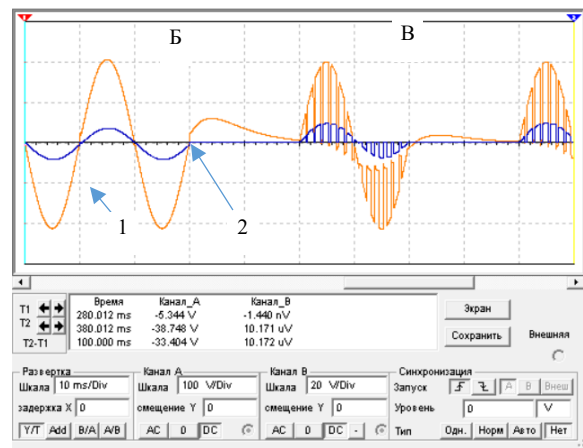
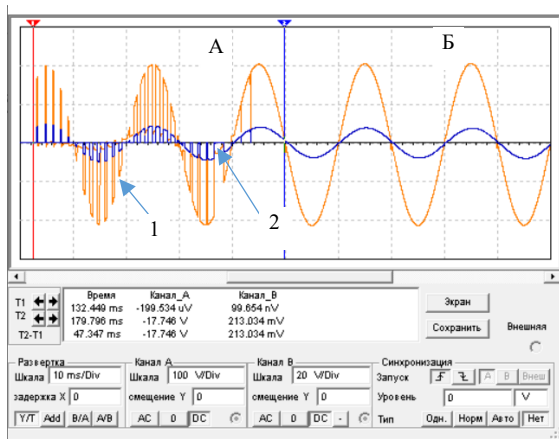


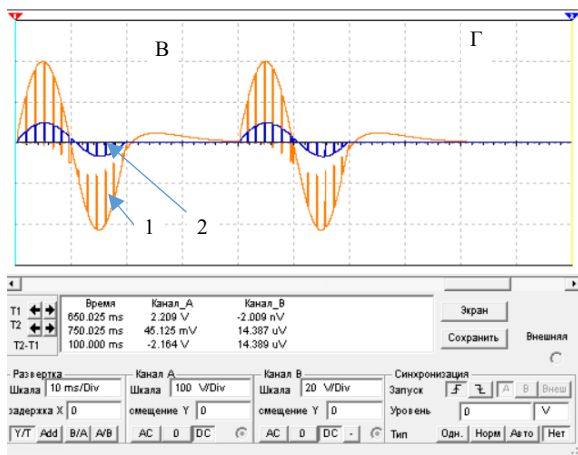
Рис. 3 Multisim модель інтегрованої системи керування



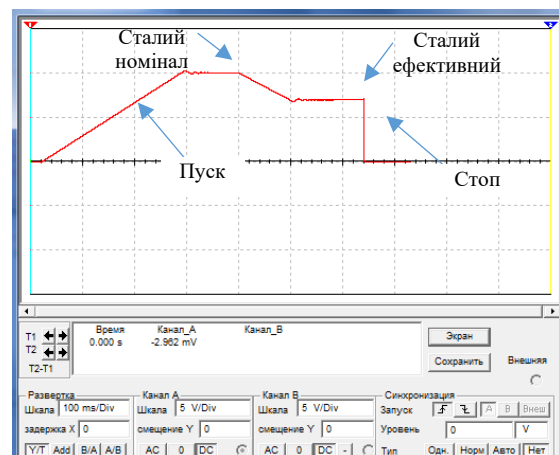


А — плавний пуск; Б — номінальний

Б — номінальний; В — ефективний



В — ефективний; Г — режим стоп



Вихід задавача інтенсивності

1 - напруга (масштаб 100 В/діл); 2 — струм (масштаб 20 А/діл)

Рис. 4 Моделювання режимів: а) пуск, номінальний та ефективний; б) вимкнено.

С. Кількісні рекомендації щодо налагодження системи.

Базовим розрахунком слід вважати визначення постійної часу задавача інтенсивності. Зазвичай її розраховують користуючись паспортними даними конкретного двигуна та рівнянням руху.

$$t = J(\omega_n / M_{дин}), \tag{1}$$

де $M_{дин} = M_{д.н.} - M_{навант.}$ — динамічний момент, Н·м, $M_{д.н.}$, $M_{навант.}$ — відповідно моменти двигуна та навантаження; J — момент інерції системи, $кг \cdot м^2$; ω_n — кутова швидкість, $с^{-1}$; t — постійна часу, с.

У нашому випадку раціональним слід вважати прискорення системи від номінального моменту двигуна і до максимальної швидкості, що є загальноприйнятою практикою у електромеханіці.

Наступний крок — розрахунок витримки часу таймеру блокування регулятора енергоефективності.

Основними його параметрами є число розрядів лічильника та частота роботи тактового генератора. Для схемного рішення, що пропонується, прийнято чотирирозрядний лічильник, а частота генерування визначається за рівнянням

$$f = n/t, \tag{2}$$

де n — максимальне десяткове число, яке завантажують у лічильник; t — постійна часу ЗІ.

Крок три — визначення опорної напруги релеяного регулятора ефективності. Межа його перемикавання залежить від наперед відомого інтервалу раціонального навантаження привода [15], а розрахункове рівняння має вигляд



$$U_{on} = 0,6 \cdot I_n \cdot k, \quad (3)$$

де I_n — номінальний струм статора; k - коефіцієнт підсилення давача струму.

D. Умови узгодження між функціонально завершеними блоками.

Виходячи з того, що блок перемикання режимів оперує сигналами рівня 5, а задавач інтенсивності ± 10 В між ними встановлено підсилювачі, де коефіцієнт підсилення режиму «номінальний» визначено на рівні двох. Для забезпечення режиму «ефективний» напруга керування повинна знизитись на половину, що задовольняє вимогам закону частотного керування. Тобто коефіцієнт підсилення на цьому напрямку повинен становити 1. Зважаючи на те, що обидва сигнали керування інвертуються першим каскадом підсилення, у запропонованій схемі передбачений другий каскад, який реалізує функцію «АБО» та повторне інвертування результуючого сигналу. Не оптимальність такого схемного рішення зрозуміла, але на даному етапі є цілком придатною для використання.

Останній вузол узгодження - з'єднання вхід-вихід ЗІ і ГРШ. Достатній рівень сигналу на вході ГРШ забезпечує дільник напруги, де бажана позиція повзунка змінного резистора відповідає 60 % від номіналу, а параметр пошуку, у цьому випадку, визначений експериментально.

ВИСНОВКИ

За результатами цифрового моделювання встановлено, що запропонований автомат інтегрального керування працює стабільно та відповідно до задекларованого алгоритму, а рекомендації щодо кількісних параметрів його окремих елементів базуються на наступних особливостях:

- забезпечити раціональний рівень зниження динаміки електромеханічної системи можливо за рівня постійної часу задавача інтенсивності, що визначається номінальним моментом прискорення;
- є очевидним, що час уставки цифрового таймера повинен бути не меншим за постійну часу задавача інтенсивності, аби гарантовано прискорити двигун до максимальної швидкості з одночасним блокуванням регулятора енергоефективності і живленням приводу від перетворювача напруги, який працює у режимі пристрою плавного пуску;
- режим «ефективний» реалізує закон частотного керування для зменшених вдвічі від номінальних частоти і напруги джерела живлення, що забезпечить раціональне живлення приводу за умови ощадності на усіх ланках електромеханічної системи без винятку;
- опорна напруга релейного регулятора ефективності визначається на рівні його спрацювання при зниженні навантаження менше за 60 % від номінального.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] B. S. Leznov, Chastotno-reguliruemij jelektroprivod nasosnyh ustanovok [Variable Frequency Electric Pumping Units]. Moscow: Mashynostrojenije, 2013.
- [2] B. S. Leznov, Energoberezhenie i reguliruemij privod v nasosnyh i vozdušnyh ustanovkah [Energy saving and controlled drive in pump and air units]. Moscow: Energoatomizdat, 2006.
- [3] O. S. Beshta, G. G. Pivnyak, Eds., Ekonomichni j ekologichni aspekty kompleksnoi generacii ta utylizacii energii v umovah urbanizovanyh terytorij. Monografija [Economic and environmental aspects of integrated generation and utilization of energy in urbanized areas. Monograph]. Dnipropetrovsk, NMU, 2013.
- [4] A. E. Kozjaruk, B. Ju. Vasil'ev, "Metody i sredstva povyshenija jenergoeffektivnosti mashin i tehnologij s asinhronnimi elektroprivodami. [Methods and means of increasing the energy efficiency of machines and technologies with asynchronous electric drives]." Bulletin of SUSU. Series "Energy", vol 15, no 1, pp. 47–53. 2015. DOI: [10.14529/power150106](https://doi.org/10.14529/power150106).
- [5] V. Ja. Bepalov "Novaja vysokoeffektivnaja serija asinhronnyh dvigatelej 7AVE, ee modifikacii i specializirovannye ispolnenija [New high-performance series of 7AVE asynchronous motors, its modifications and specialized versions]." In Trudy VIII Mezhdunar. (HIH Vseros.) nauch.-tehn. konf. po avtomatizir. elektroprivodu. 2014, pp. 239-243.
- [6] R. G. Mugalimov, A. R. Mugalimova. "Modelirovanie pokazatelej jenergoeffektivnosti variantov jelektroprivodov promyshlennyh ustanovok na osnove primenenija tradicijnyh i kompensirovannyh asinhronnyh dvigatelej [Modeling of energy efficiency indicators of electric drive options of industrial plants based on the use of traditional and compensated asynchronous motors]." Bulletin of MSTU. G. I. Nosova, vol 2 (34), pp. 59-64, 2011. URL: <http://vestnik.magtu.ru/content/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%9C%D0%93%D0%A2%D0%A3%20%D0%B7%D0%B0%202011%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4,%20%D0%9D%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%80%202.pdf>
- [7] O. A. Kapitonov, A.S. Tret'jakov, G.S. Lenevskij, "Ustrojstvo pлавного пуска s impul'snym regulirovanijem naprjazhenija i kompensaciej reaktivnoj moshhnosti [Soft starter with pulse voltage regulation and ompensated reactive power]". Vestnik Belorussko-Rossijskogo Universiteta, vol 4(61), pp. 39-48, 2018.
- [8] O. N. Parfenovich, O. A. Kapitonov, "Tranzistornyj shirotno-impul'snyj reguljator naprjazhenija dlja asinhronnyh jelektrodvigatelej [Transistor pulse-width voltage regulator for asynchronous electric motors]". Vestnik Belorussko-Rossijskogo Universiteta, vol 3(28), pp.119-127, 2010. URL: http://cdn.bru.by/cache/science/bulletin/2018/vestnik_2018_4_1.pdf
- [9] A. I. Braslavsky, Z. Sh. Ishmatov, V. N. Polyakov Energoberegajushhij asinhronnyj jelektroprivod [Energy saving asynchronous electric drive]. Moscow: Academy, 2004.
- [10] B. Vasilev, "Structure and three-level inverter control algorithm electric power facilities transportation of hydrocarbons". Electrotechnic and computer systems, vol 15(91), pp. 220-223, 2014.
- [11] N. N. Kazachkovsky, "Sopostavlenie zakonov chastotnogo upravlenija na primere preobrazovatelja chastoty Altivar 21 [Comparison of the laws of frequency control. Case study of the frequency converter Altivar 21]". Girmicha elektromehanika ta avtomatyka, vol 100, pp. 69-72, 2018. URL: <https://gea.nmu.org.ua/ua/ntz/archive/100.pdf>
- [12] A. S. Ushkov, A. R. Kolganov, "Analiz jenergoeffektivnosti asinhronnogo jelektroprivoda s korektorom koeficienta moshhnosti [Energy efficiency analysis of an asynchronous electric drive with a power factor corrector]." Vestnik IGJeU, vol 6, pp.1-5, 2013. URL: <http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/publications/str.74-79.pdf>
- [13] A. S. Ushkov, A. R. Kolganov, "Issledovanie sovremennyh metodov jenergosberegajushhego upravlenija asinhronnym jelektroprivodom [Research of modern methods of energy-saving control of asynchronous electric drive]". Vestnik IGJeU, vol 2, pp. 56-62, 2012. URL: <http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/publications/56-62.pdf>



- [14] V. Yu Belousov, Ye. V. Nedorezova, "Jenergosberezhenie i primeneniye chastotnykh preobrazovatelej i ustrojstv pлавного puskа [Energy saving and application of frequency converters and soft start devices]". Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki, vol 6, no. 1, pp. 148-151, 2011.
- [15] V. A. Borodaj, "Parametrychne keruvannja efektyvnistju asynhronogo pryvodu zasobamy peretvorjuvacha z pidvyshhenym

koeficijentom potuzhnosti [Parametric control of asynchronous drive efficiency by means of the converter with the increased power factor]." Elektrotehnika ta elektroenergetyka, vol 2, pp. 8-16, 2020. DOI: [10.15588/1607-6761-2020-2-1](https://doi.org/10.15588/1607-6761-2020-2-1).

Надійшла до редакції 30 червня 2021 р.
Прийнята до друку 13 серпня 2021 р.

UDC 621-926

Automatic Asynchronous Drive Efficiency Control with Soft-Starter Function

Frequency-Step Method of Increasing the Energy Efficiency of Asynchronous Electric Drive Mechanisms of Long-Term Operation. Ideology, Circuit Solution and Testing of Integrated Control Model.

O. R. Kovalov^f, ORCID [0000-0003-2800-5746](https://orcid.org/0000-0003-2800-5746)

Department of Power Engineering
Dnipro University of Technology
Dnipro, Ukraine

O. Yu. Nesterova (translator), PhD(Pedag.) Assoc.Prof., ORCID [0000-0002-5952-4664](https://orcid.org/0000-0002-5952-4664)

Department of Translation
Dnipro University of Technology
Dnipro, Ukraine

V. A. Borodaj^s, PhD Assoc.Prof., ORCID [0000-0002-6788-0562](https://orcid.org/0000-0002-6788-0562)

Department of Electric Drive
Dnipro University of Technology
Dnipro, Ukraine

Abstract—Digital models of pulse-width voltage control system with step switching of power supply frequency and automatic control of induction motor are developed and built, the recommendations on the algorithm of their control and circuit solution for the implementation of smooth start modes, nominal and frequency-step control from low-power -variable load schedule are provided.

The novelty of the work lies in the substantiated sequence and conditions of control and originality of the structure of the automatic system of smooth start-up and activation of the effective mode of the asynchronous drive.

The introduction of the conversion system will create an automatic system of asynchronous drive, due to which it is possible to achieve energy conservation at all levels of the electromechanical system, with minimum capital investment.

Keywords — long mode of operation; low-variable load schedule; energy-efficient drive control; automatic mode switching control; increased power factor.

