

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 631.371.621.31

ПОГОДЖЕНО

Директор ІНІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри
електротехніки,
електромеханіки
та електротехнологій

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./

вчене звання, науковий ступінь

підпис

доц., к.т.н. /ОКУШКО О.В./

вчене звання, науковий ступінь

підпис

„ ” 2023 р.
число місяць рік

„ ” 2023 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему: „ВЛИВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН”

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Криворосов В.Є.

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Савченко В.В.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Кабанов Д.В.

(ПІБ)

КИЇВ – 2023

НУБІП України

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій

НУБІП України

к.т.н., доцент

/ОКУШКО О.В./

« 9 » грудня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ

Кабанову Дмитру Володимировичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: „Вплив якості електроенергії на технологічні характеристики сільськогосподарських машин”
затверджена наказом ректора НУБІП України від 8.12.2021 № 2066 ”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.05.2023

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

«Правила удешевлення електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Провести аналіз стану якості електричної енергії та її вплив на споживачів.

2. Провести аналіз впливу якості електроенергії на асинхронні двигуни.

3. Провести аналіз впливу якості електроенергії на перехідні процеси в електроприводах робочих машин

4. Дослідити вплив відключень електроенергії на приводні характеристики виробничих машин.

5. Дослідити вплив відхилення показників якості електроенергії на технологічні характеристики виробничих машин.

6. Розробити пристрій контролю напруги (і обліку перерв) в електропостачанні.

7. Розробити методикау визначення збитку від відхилень показників якості електроенергії.

Дата видачі завдання 09.12.2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Савченко В.В.

Завдання прийняв до виконання

Кабанов Д.В.

(підпис)

(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота, 107 сторінок, 24 рисунки, 28 таблиць, 29 джерел.

Предмет дослідження – електромеханічні процеси в електроприводах робочих машин при відхиленні показників якості електроенергії.

Предмет дослідження - правомірність зміни технологічних властивостей робочих машин при відхиленнях показників якості електроенергії.

Методи дослідження та обладнання: При розв'язуванні завдань проводились як теоретичні, так і експериментальні дослідження з використанням сучасного метрологічного обладнання: Цифровий мультиметр ДМК-32, портативний електроаналізатор AR5, цифровий осцилограф Vellman. Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних положеннях теорії електроприводу.

Аналіз зроблено рівень надійності електропостачання та дотримання показників якості електроенергії в сільських електромережах. Встановлено вплив відхилення ПАЕ на роботу трифазних асинхронних електродвигунів.

Теоретично та експериментально визначено вплив девіації напруги, несиметрії напруги та частоти струму на кутову швидкість асинхронних електродвигунів.

Проведено дослідження впливу відключень електроенергії на електроприводи сільськогосподарських машин. Встановлено, що відхилення ПАЕ впливають на технологічні властивості сільськогосподарської техніки. Це зумовлює зміну продуктивності робочої машини та якості продукції, що переробляється.

Розроблено пристрій для автоматичного регулювання напруги та фіксації відключень електроенергії та способи визначення пошкоджень через неякісне електропостачання.

Сфера використання - Сільське господарство.

Ключові слова: технологічні характеристики робочої машини, кутова швидкість, відхилення напруги, несиметрія напруги, частота струму.

ЗМІСТ

НУБІП України

Вступ.....5

1 Якість електроенергії в сільських електричних мережах та її вплив на асинхронні двигуни6

НУБІП України

1.1. Аналіз ситуації проблеми якості електроенергії в сільських електричних мережах.....6

1.2 Вплив відхилення показників якості електроенергії на асинхронні електродвигуни.....7

НУБІП України

2 Вплив відхилення напруги та частоти струму на кутову швидкість двигуна.....10

2.1 Вплив відхилення напруги на кутову швидкість асинхронного двигуна.....10

НУБІП України

2.2 Вплив асиметрії напруги на кутову швидкість асинхронного двигуна.....11

2.3 Вплив девіації частоти струму на кутову швидкість асинхронного двигуна.....12

НУБІП України

3 Вплив відхилень якісних показників та відключень електроенергії на ходові характеристики сільськогосподарських машин.....4

3.1 Вплив відключень електроенергії на електроприводи сільськогосподарських машин.....14

3.2 Вплив відхилення показників якості електроенергії на ходові характеристики сільськогосподарських машин.....15

НУБІП України

4 Розробка приладу контролю напруги та врахування переривань електропуску.....24

Висновки.....30

Список літератури.....31

НУБІП України

Додатки.....34

СПИСОК УМОВНИХ НАЗВ

ω – кутлова швидкість;
 s – буксування двигуна;

УКРАЇНИ

J – момент інерції;

T_e – електромагнітний графік;
 T_m – електромеханічний час;

УКРАЇНИ

n – частота обертання;

P – потужність двигуна;
 μ – кратність моменту;

УКРАЇНИ

M – момент;

R – активний опір;
 X – реактивний опір;
 t – час;

УКРАЇНИ

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності.

УКРАЇНИ

УКРАЇНИ

УКРАЇНИ

УКРАЇНИ

УКРАЇНИ

УКРАЇНИ

ВСТУП

НУВІП України

В останні роки проблема якості електроенергії стає все більш актуальною і активно досліджується в багатьох країнах. Це, з одного боку, результат створення енергетичного ринку, на якому електроенергія є товаром, а з іншого боку, підвищення вимог до якості електроенергії у зв'язку з поширенням новітніх технологій і пристроїв, що вимагають якісне та надійне джерело живлення.

НУВІП України

За прогнозними даними, споживання електроенергії на виробничі потреби в сільському господарстві в 2030 році зросте до 10 095 млн. кВт*год. Розподільні електричні мережі, що забезпечують споживачів електроенергією сільської місцевості, складаються з близько 1 млн. км повітряних і кабельних ліній електропередачі, близько 200 тис. трансформаторних підстанцій.

НУВІП України

Відсутність фінансових ресурсів перешкоджає відновленню, модернізації та реконструкції існуючих електричних мереж усіх класів напруги та будівництву нових ліній електропередачі. Незадовільний стан розподільних електромереж є причиною аварійних ситуацій в регіонах країни. Перебої в подачі електроенергії досягають до 10% від загального часу технологічних процесів.

НУВІП України

Відключення сільських споживачів електроенергії від електропостачання та відхилення показників якості електроенергії (ПЯЕ) від нормативних значень призводить до негативних наслідків – виникають збитки через порушення нормального перебігу технологічних процесів, тривалі відключення підприємств та випуск бракованої продукції, скорочується термін служби електрообладнання та побутової техніки, але зростають витрати та виникають втрати електроенергії, виникають аварійні ситуації. Особливо важливим є вплив ПЯЕ на сільськогосподарські машини з електроприводом, де вони викликають зміну кутової швидкості, що впливає на хід технологічного процесу.

НУВІП України

Мета дослідження полягає у визначенні впливу відхилень якісних показників та відключень електроенергії на технологічні властивості робочих машин.

Предмет дослідження – електромеханічні процеси в електроприводах робочих машин при відхиленні показників якості електроенергії.

Предмет дослідження – правомірність зміни технологічних властивостей робочих машин при відхиленнях показників якості електроенергії.

Методи дослідження та обладнання. При вирішенні завдань проводяться як теоретичні, так і експериментальні дослідження з використанням сучасного метрологічного обладнання: Цифровий мультиметр ДМК-32, портативний електроаналізатор AR5, цифровий осцилограф Vellman. Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних положеннях теорії електроприводу.

Теоретична цінність отриманих результатів полягає у визначенні залежності продуктивності та кутової швидкості робочої машини від напруги, несиметрії напруги та частоти струму.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому складається з визначення технологічної складової втрат при відхиленні ПАЕ від нормованих значень і розвитку пристрій для автоматичний контроль напруги та фіксація перебоїв живлення.

Магістерську роботу захищає:

1. Аналіз ситуації проблеми якості електроенергії в сільських електромережах.
2. Результати дослідження впливу відхилення напруги, несиметрії напруги та частоти струму на кутову швидкість трифазних асинхронних електродвигунів.
3. Результати дослідження впливу показників якості електроенергії та відключень електроенергії на технологічні характеристики сільськогосподарської техніки.
4. Розроблено пристрій для автоматичний контроль напруги та фіксація перебоїв живлення.

5. Методика визначення втрат при відхиленні

Аналіз проведено в даній магістерській роботі рівень надійності електропостачання та дотримання показників якості електроенергії в сільських електромережах. Встановлено вплив відхилення ПАЕ на роботу трифазних асинхронних електродвигунів.

Теоретично та експериментально визначено вплив девіації напруги, несиметрії напруги та частоти струму на кутову швидкість асинхронних електродвигунів.

Проведено дослідження впливу відключень електроенергії на електродвигони сільськогосподарських машин. Встановлено, що відхилення ПАЕ впливають на технологічні, механічні та енергетичні властивості сільськогосподарської техніки. Це зумовлює зміну продуктивності робочої машини та якості продукції, що переробляється.

Розроблено пристрій для автоматичне регулювання напруги та фіксація відключень електроенергії та способи визначення пошкоджень через неякісне електропостачання.

Публікації: 1. Синявський О.Ю., Савченко В.В., Кабанов Д.В. Вплив відключень електроенергії на електродвигони виробничих машин і механізмів. Енергетика та автоматика. 2022. № 2. стор. 33-38.

2. Кабанов Д.В., Савченко В.В. Вплив якості електроенергії на технологічні характеристики сільськогосподарської техніки. Тези доповідей студентської науково-практичної конференції, м. Київ, 23 квітня 2022 р.

РОЗДІЛ 1

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ
ТА ЇЇ ВПЛИВ НА СПОЖИВАЧІВ

1.1 Показники якості електроенергії

Електроенергія як товар використовується в усіх сферах життєдіяльності людини, має комплекс специфічних властивостей і бере безпосередню участь у створенні інших видів продукції, що впливає на її якість. Поняття якості електроенергії відрізняється від поняття якості інших видів продукції. Кожен електроприймач призначений для роботи при певних параметрах електроенергії: номінальній частоті, напрузі, силі струму тощо, тому для його нормальної роботи має бути забезпечена необхідна якість електроенергії. Таким чином, якість електроенергії визначається набором її характеристик, за яких електроприймачі можуть нормально працювати і виконувати свої функції.

Якість електроенергії в місці виробництва не гарантує її якості в місці споживання. Якість електроенергії до і після ввімкнення електроприймача він може відрізнятися в місці його підключення до електричної мережі. Якість електроенергії також характеризується терміном «електромагнітна сумісність».

Електромагнітна сумісність означає здатність приймача нормально працювати в електромагнітному середовищі (в електричній мережі, до якої він підключений), не створюючи неприйнятних електромагнітних перешкод для інших електричних приймачів, що працюють у такому ж середовищі.

Проблема електромагнітної сумісності промислових електроприймачів фідерів мережа мережа гостро виникла у зв'язку з широким застосуванням потужних вентильних перетворювачів, дугових печей для плавки сталі, зварювальних апаратів, які, незважаючи на всю свою економічність і технологічність, викликають негативний вплив на якість електроенергії.

Побутові електроприймачі, як і промислові, також повинні мати електромагнітну сумісність з іншими електроприймачами, що входять до

загальної спільної електромережі, щоб не знизити ефективність їх роботи і не погіршити ПЕ.

Якість електроенергії в промисловості оцінюють за техніко-економічними показниками, що враховують збиток, в результаті внаслідок знос матеріалів і обладнання, порушення технологічного процесу, погіршення якості виготовленої продукції, зниження продуктивності праці - так звані технологічні збитки. Крім того, виникає електромагнітне ураження через неякісну електроенергію, що характеризується збільшенням втрат електроенергії, виходом із ісправності електрообладнання, несправності автоматики, телемеханіки, зв'язку, електронного обладнання тощо.

Якість електроенергії тісно пов'язана з надійністю електропостачання, оскільки це нормальний спосіб електропостачання споживачів такий спосіб, у який споживачі отримують електроенергії без перешкод, у кількості, наперед погоджено організації енергопостачання та нормована якість.

Норми якості електроенергії визначаються ГОСТ 13109-97, який визначає нормальні та гранично допустимі значення показників якості електроенергії (ПЯЕ) [1]:

- постійне відхилення напруги δU_y ; - діапазон зміни напруги δU_t ; - доза мерехтіння P_t ; - коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U ; - коефіцієнт n-ї гармонічної складової напруги $K_U(n)$; - коефіцієнт несиметрії напруги відносно зворотної послідовності K_{2U} ; - коефіцієнт асиметрії напруги нульової послідовності K_{0U} ; - девіація частоти Δf ; - тривалість падіння напруги t_p ; - імпульсна напруга U_{imp} ; - коефіцієнт тимчасової перенапруги $K_{перU}$.

При визначенні значення деякої ПЯЕ стандарт вводить такий наступний допоміжні параметри електроенергії:

- інтервал між змінами напруги;
- глибина падіння напруги;
- частота перепадів напруги;

- тривалість імпульсу на рівні 0,5 його амплітуди;

- тривалість тимчасової перенапруги.

Стандарт не встановлює вимоги до якості електроенергії в електричних мережах спеціального призначення (контактних, тягових, зв'язку), мобільних пристроїв (літаків, поїздів, суден) тощо.

Стандарт не визначає стандартів якості електроенергії для індукованих режимів форс-мажорних обставин (екстремальні погодні умови, стихійні лиха тощо).

У частині ПЕ зазначаються постійні режими роботи електрообладнання енергопостачальної організації та споживачів електричної енергії та дається кількісна оцінка якості електричної енергії для технологічного процесу виробництва, передачі, розподілу та споживання електроенергії. Ці ПАЕ включають: постійне відхилення напруги, коефіцієнт синусоїдального спотворення кривої напруги, коефіцієнт напруги n -ї гармонічної складової, коефіцієнт несиметрії напруги зворотної послідовності, коефіцієнт несиметрії напруги нульової послідовності, відхилення частоти, область зміни напруги.

Для характеристики вищезазначених показників у стандарті вказуються чисельні нормальні та гранично допустимі значення або норми ПАЕ.

Друга частина вказує на короточасні збої, що виникають в електричній мережі в результаті внаслідок комутаційні процеси, грозові атмосферні явища, робота активів захисту та автоматики та в погоді аварійні процедури.

До них відносяться провали і імпульси напруги, короточасні перенапруги.

Стандарт не визначає допустимих числових значень для цих ПНЕУ. Для кількісної оцінки цих ПАЕ необхідно виміряти амплітуду, тривалість, частоту їх появи та інші характеристики, визначити з'ясувати, але ці не регламентується стандартом. Статистична обробка цих даних дозволяє розрахувати загальні показники, що характеризують ту чи іншу електричну мережу з точки зору ймовірності появи короточасних перешкод.

Для оцінки відповідності зазначеним стандартам (за винятком тривалості падіння напруги, імпульсної напруги та коефіцієнта тимчасової перенапруги) стандарт визначає мінімальний період розрахунку, що дорівнює 24 годинам.

Через випадковий характер випадкових змін електричних навантажень вимога постійного дотримання стандартів якості електроенергії практично нереальна, тому в стандарті вказується ймовірність ймовірність перевищувати стандарти якості електроенергії. Виміряти виміряти не повинна перевищувати нормально допустимі значення Z_{iz} ймовірність ймовірність 0,95 за встановлений установлений стандартом є розрахунковий період часу (це означає, що окремі перевищення нормованих значень можна ігнорувати, якщо їх очікувана загальна тривалість становить менше 5% за встановлений період часу).

Іншими словами, якість електроенергії, виміряна індикатором, відповідає вимогам стандарту, якщо загальна тривалість часу виходу при нормально допустимих значеннях становить не більше 5% від заданої заданої період часу, тобто 1 год 12 хв, а для максимально допустимих значень - 0% цього періоду часу.

Загальні загальні тривалість вимірювань вимірів Рекомендований PNEU слід вибирати з увагою обов'язкове включення підключення будні та вихідні дні і становить 7 днів.

Стандарт визначає ймовірні причини погіршення КЕ. Відхилення частоти регулюється системою живлення і залежить тільки тільки від неї. Індивідуальні електроприймачі на промислових підприємствах (а тим більше вдома) не можуть вплинути на цей показник, оскільки оскільки їх потужність непропорційно мала порівняно із загальною потужністю генераторів ЕЕС електростанції. Коливання напруги, несиметрія та несинусоїдальність напруга напруга вони в основному є результатом роботи окремих потужних електроприймачів на промислових підприємствах, і тільки розмір цих ПАО залежить від потужності системи електропостачання в даній точці підключення споживача. Відхилення напруги напруги залежить як від рівня напруги, що

подається електричною системою на промислові підприємства, так і від роботи окремих промислових електроприймачів, особливо від із великі витрати витрат реактивна потужність. Тому питання якості електроенергії необхідно розглядати в безпосередньому зв'язку з і питання компенсації реактивної потужності. Тривалість падіння напруги, імпульсної напруги, коефіцієнта тимчасової перенапруги, як уже зазначалося, визначає режими роботи енергосистеми. є певні режими роботи енергетичної системи. є певні режими роботи енергетичної системи. Тривалість падіння напруги, імпульсної напруги, коефіцієнта тимчасової перенапруги, як уже зазначалося, визначає режими роботи енергосистеми. є певні режими роботи енергетичної системи. є певні режими роботи енергетичної системи. Тривалість падіння напруги, імпульсна напруга, коефіцієнт тимчасової перенапруги, як уже зазначалося, визначає режими роботи енергосистеми. є певні режими роботи енергетичної системи. є певні режими роботи енергетичної системи.

Неякісна електроенергія спричиняє економічні втрати [2, 3, 4], які мають дві складові: електромагнітну та технологічну. Електромагнітна складова в основному визначається втратою робочої потужності та зміною терміну служби електрообладнання. Технологічна складова втрат визначається впливом якості електроенергії на продуктивність технологічних пристроїв і собівартість продукції, що випускається [5, 6].

Електроприводи найбільше страждають від відхилень і асиметрій напруги та відключень електроенергії.

Під час досліджень під час обробки даних понад 170 вимірювань виявлено, що у 32% випадків значення показників якості електроенергії не відповідають необхідним нормам. Встановлено, що показниками якості електроенергії, які найчастіше перевищують допустимі межі, є відхилення напруги (68%) та коефіцієнт несиметрії нульової послідовності (38%) [7].

В Україні відхилення напруги також значно нижчі (170-190 В в окремих населених пунктах) і значно перевищують норму (до 300 В) [8].

Зараз в Україні перебої в електропостачаннях досягають 10% від загального часу технологічних процесів на рік. Відключення електроенергії спричиняє часті пуски та зупинки електродвигуна, що спричиняє його перегрів [9]. Непередбачені ситуації можуть виникнути, коли машина раптово зупиниться. Наприклад, при зупинці насоса може статися гідравлічний удар, що спричинить руйнування трубопроводів і арматури [10].

У таблиці 1.1. наведено властивості електрики, описано їх показники та найбільш вірогідних винуватців погіршення якості електрики.

Таблиця 1.1. Характеристики електроенергії, показники та ймовірні винуватці погіршення якості електроенергії

Властивості електрики	Показник якості електроенергії	Швидше за все, причиною є погіршення якості електроенергії
Відхилення напруги	Постійне відхилення напруги	Організація енергопостачання
Коливання напруги	Зона зміни напруги Доза мерехтіння	Споживач змінного навантаження
Несинусоїдальна напруга	Коефіцієнт синусоїдального спотворення напруги Коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги	Споживач 3-ім гармонічним навантаженням
Несиметрія трифазної системи напруги	Коефіцієнт несиметрії напруги / у зворотному порядку Коефіцієнт асиметрії напруги нульової послідовності	Споживач 3-ім несиметричним навантаженням
Відхилення частоти	Відхилення частоти	Організація енергопостачання
Падіння напруги	Тривалість падіння напруги	Організація енергопостачання

Імпульс напруги	Імпульсна напруга	Організація енергопостачання
Тимчасова перенапруга	Коефіцієнт перенапруги	Організація енергопостачання

Стандарт встановлює методи розрахунків і методи визначення ПКЕ і допоміжних параметрів, вимоги до похибок вимірювань, вимірів та інтервалів усереднення ПАЕ, які повинні бути реалізовані в приладах контролю якості електроенергії під час вимірювань/вимірів показники та їх обробка.

1.2. Вплив якості електроенергії на роботу електроприймачів

Крім того/крім того Надійність електропостачання є однією з найважливіших характеристик електромереж для споживачів. Має значний/істотний вплив як на ефективність електроприймачів, так і на техніко-економічні показники електричних мереж/мереж. Забезпечення якості електроенергії в сільських розподільних мережах - актуальна проблема, яка не вирішена/яка потребує вирішення в повному обсязі на сьогоднішній день.

Забезпечення якісною електроенергією є адресним про зниження електромагнітних завад до певного мінімуму, при якому їх вплив на електрообладнання/електрообладнання система електропостачання не порушує умов її нормальної роботи. /напруги/Погіршення якості електроенергії, або іншими словами підвищення рівня електромагнітних перешкод у системі електропостачання, може бути результатом технологічних процесів виробництва, передачі, розподілу та споживання/використання електроенергії, тобто процесів її функціонування.

Зменшення напруги/напруги має/має істотний/суттєвий вплив на роботу асинхронних двигунів. Наприклад, у комплексі для відгодівлі 10 тис. голів великої рогатої худоби кількість електродвигунів потужністю від 0,3 до 100 кВт перевищує 800. При значному зниженні напруги/напруги погіршуються умови їх запуску, двигун може перекинутися. Активні втрати

також збільшуються, скорочуючи його ресурс, а підвищена напруга збільшує реактивну потужність двигуна і створює додаткові втрати потужності [11].

В результаті внаслідок нерівномірне навантаження фаз і неодночасне включення/підключення електроприймачі в різних фазах, є несиметрія напруги і струмів в трифазній мережі. Асиметрія характеризується коефіцієнтами несиметрії напруги відповідно до напруги зворотної та нульової послідовності напруги. Значення коефіцієнта зворотної послідовності допускається в межах 2% для будь-якого трифазного симетричного електроприймача. Значення коефіцієнта нульової послідовності не повинно перевищувати значення, при якому значення робочої напруги перевищують допустимі межі [11].

Асиметрія напруги найбільше впливає на однофазні електроприймачі. Асиметрія виявляється як зміна прикладеної до них напруги. Особливо негативно він позначається на роботі асинхронних двигунів. Виникнення струмів нульової послідовності призводить/веде до додаткового підігріву двигуна, причини/причини помітне зниження ефективності, скорочується термін його служби. При асиметрії напруги, що дорівнює 4%, час життя повністю/повністю навантаженого двигуна зменшується на два [12].

Відхилення напруги/напруги має/має помітний вплив на роботу освітлювальних приладів: зміна світлового потоку, освітленості, енергоспоживання, ефективності та терміну служби. Підвищення напруги/напруги поперек/поперек номінальний рівень на лампах розжарювання та люмінесцентних лампах збільшує енергоспоживання, світловий потік, скорочує термін служби [11].

Коливання напруги на освітлювальних установках/встановках ведуть/ведуть до різкої зміни світлового потоку, що сприймається як «мерехтіння» ламп і призводить до швидкої стомлюваності обслуговуючого персоналу.

Відхилення показників якості напруги від окремих параметрів відзначається не тільки/не тільки до їх електротехнічних показників, а й до технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. За інших рівних

умов продуктивність тварин залежить від відносної вологості і температури в приміщенні, концентрації шкідливих газів у повітрі, режиму освітлення і спектрального складу випромінювання, що безпосередньо залежить від якості електроенергії, подається до установок.

У таблиці 1.2 наведено наслідки зміни показників якості електроенергії для сільськогосподарських споживачів.

Таблиця 1.2. Наслідки результуючих змін показників якості електроенергії для сільськогосподарських споживачів

Показники якості напруги	Електроприймачі	Вплив на роботу електроприймачів	Наслідки для сільського господарства
Відхилення напруги	Асинхронні двигуни	Нестабільний запуск і робота, зміна витрати енергії та ефективності.	Порушення технологічного режиму, додаткові витрати за понаднормове споживання електроенергії та заміну двигунів
Лампи освітлення	Лампи освітлення опромінення	Для включення освітлення спектрального складу випромінювання, енергоспоживання і терміну служби	Зниження продуктивності тварин, додаткові витрати на перевитрату електроенергії та заміну ламп
Асиметрія напруги	Асинхронні двигуни	Додатковий обігрів, зниження терміну експлуатації та ефективності	Додаткові витрати на заміну двигуна

Лампи освітлення опромінення	Для цієї категорії	сприймається відхилення напруги	Зниження продуктивності тварин, додаткові витрати на перевитрату електроенергії та заміну ламп
Коливання напруги	Асинхронні двигуни	Погіршення умов пуску асинхронних двигунів	Порушення технологічного режиму
Лампи освітлення	Для «Миготливі вогні»		Швидка стомлюваність, дискомфорт
Несинусоїдальний трансформери		Скорочення терміну служби, споживання енергії	Додаткові витрати на заміну електрообладнання, на перевитрати електроенергії

1.3. Контроль якості електроенергії

Основні завдання контролю якості електроенергії з'являються:	
1. Перевірка виконання вимог стандарту в частині оперативний контроль ПЯЕ в електричних мережах загальний призначення;	
2. Перевірка збігу дійсних значень РМЄУ на кордоні мережі розділ мережі за балансовою вартістю, зафіксованою в договорі енергопостачання;	

3. Розробка технічних умов на часткове включення споживача частини якості електроенергії;

4. Перевірка виконання договірних умов частина частина якості електроенергії від і з визначення допустимих розрахункових і фактичних внесків внесків споживачем у погіршенні якості електроенергії;

5. Розробка технічних та організаційних заходів щодо забезпечення якості електричної енергії;

6. Визначення знижок (надбавок) до тарифів на електроенергію за її якість;

7. Сертифікація електроенергії;

8. Пошук "винуватця" спотворень.

Відповідно до цілей, які ми вирішуємо при контролі та аналізі якості електроенергії, вимірювання вимірювання може мати чотири форми:

- діагностичний контроль;
- інспекційний контроль;
- оперативний контроль;
- комерційний облік облік.

Діагностичний контроль якості електроенергії - Основною метою діагностичного контролю на стикі електричних мереж споживача та енергопостачальної організації є виявлення «винуватця» погіршення якості електроенергії, визначення допустимого внеску порушника нормативних вимог до кожного ПУЕ, включити в договір енергопостачання та нормалізувати якість електроенергії.

Діагностичний контроль необхідно проводити при видачі та перевірці виконання технічних умов на приєднання споживача до електричної мережі, при контролі договірних умов постачання електричної енергії, а також у випадках, коли необхідно визначити частку поздовжній внесок внесок у погіршенні якості електроенергії групи споживачів, підключених до загальної загальної центр харчування. Діагностичний контроль повинен бути періодичним і включати короточасні (не більше тижня) вимірювання заміри

ПЯЕ Під час діагностичного контролю вимірюють|вимірюють| нормовані і ненормовані ПАЕ, а також струми|струми| їх гармонічні та симетричні компоненти та відповідні потоки потужності

Якщо результати діагностичної перевірки якості електроенергії підтвердять «винного|винного|» споживача, який порушує стандарти якості електроенергії, то основне завдання|задача енергопостачальними організаціями разом з|від споживач з'являється|з'являється| розроблення та оцінка можливостей і термінів виконання заходів щодо нормалізації якості електроенергії. За час до здійснення цих заходів на кордоні|кордоні| ділянка електричних мереж|мереж| між споживачем та енергопостачальною організацією має бути застосовано оперативний контроль та комерційний облік якості електроенергії.

На наступному|такому| етапи діагностичних вимірювань|вимірів| пункти контролю якості електроенергії|пункти| повинні бути автобуси районних станцій, до яких приєднані споживчі кабельні лінії. Ці точки|точки| представляти|представляти| а також інтерес до контролю за правильною роботою пристроїв|пристроїв| Трансформатори комутаційні, для збору|збору| статистика та фіксація перепадів напруги і тимчасові стрибки напруги. Таким чином контролюється робота вже наявних засобів, що забезпечують якість електроенергії синхронних компенсаторів, батарей статичних конденсаторів і трансформаторних пристроїв|пристроїв| перетворювачі під навантаженням, що забезпечують окремі ділянки відхилень напруги, а також роботу захисних і автоматизованих засобів в електричній мережі|мережі|.

NE інспекційний контроль здійснюється органами сертифікації для отримання інформації про перехід сертифікованої електричної енергії в електричні мережі енергопостачальної організації, про дотримання умов і правил використання сертифіката, з метою підтвердження того, що якість електричної енергії продовжує відповідати встановлені вимоги протягом терміну дії сертифіката.

Оперативний контроль КЕ -необхідні в умовах експлуатації в місцях

електричної мережі, де спотворення напруги існують і не можуть бути усунені найближчим часом. Оперативний контроль необхідний у вузлах приєднання тягових станцій залізничного та міського електрифікованого транспорту, станцій підприємств з нелінійною характеристикою. Результати оперативного контролю повинні надсилатися по каналах зв'язку на диспетчерські пункти енергомережі енергопостачальної організації та системи електропостачання промислового підприємства.

Комерційний облік -має здійснюватися на стику електричних мереж

споживача та енергопостачальної організації, і за його наслідками визначаються знижки (надбавки) до тарифів на електричну енергію за її якість.

Комерційний розрахунок якості електроенергії повинен здійснюватися постійно в точках обліку спожитої електроенергії як активу|вартості| господарського стягнення з винуватця за погіршення якості електроенергії. Для цих цілей необхідно поєднати прилади, які самі по собі використовують функції обліку електроенергії та вимірювання|вимірювання| його властивості. Наявність функцій обліку в єдиному приладі електроенергії та контролю ПЕЕ дозволить об'єднати|поєднати| оперативний контроль і комерційний облік якості електроенергії, а загальний|загальний| можуть бути використані канали зв'язку та ресурси|витрати| обробка, відображення та документування інформації АСКУЕ.

Прилади комерційного обліку якості електричної енергії повинні фіксувати відносний час перевищення нормальних і гранично допустимих значень ПІАЕ на пункті регулювання електроенергії за обліковий період, що визначає надбавки до тарифів на погіршувачі якості електрика.

Контроль за дотриманням вимог стандарту енергопостачальними організаціями та споживачами електроенергії повинні здійснювати органи нагляду та акредитовані випробувальні лабораторії якості електроенергії.

Контроль якості електроенергії в точках загального|загального| приєднання споживачів електроенергії до загальних систем призначення

здійснюються енергопостачальними організаціями (пункти контролю вибираються відповідно до нормативних документів). Періодичність вимірювань/вимірів:

- за постійне відхилення напруги/напруги - не рідше двох разів на рік

залежно від сезонних змін навантажень в розподільній мережі енергоцентру, а

за наявності автоматичного зворотного регулювання напруги в харчоблоку не рідше одного разу на рік;

- для інших ПЧЕ - не рідше одного разу на два роки за умови незмінної

схеми мережі. і його елементів і незначна зміна природи електричні

навантаження споживача, погіршення якості електроенергії.

Споживачі електричної енергії, які погіршують якість електричної енергії, повинні здійснювати контроль у точках власної мережі, які є

найближчими до точок загальної мережі. підключення зазначених

мереж/мереж до електричної мережі/мережі загальний/загальний мети, а також

про висновки/висновки електроприймачі, що створюють якість електроенергії.

Періодичність контролю якості електричної енергії визначається

споживачем електричної енергії за погодженням з енергопостачальною

організацією.

Контроль якості електроенергії, що відпускається трансформаторними підстанціями змінного струму в електричних мережах/мережах|

напруга|напруга| 6 – 35 кВ|, необхідно здійснити:

- для електричних мереж/мереж| 6 – 35 кВ|, які розташовані в управлінні енергосистем, у точках приєднання цих мереж/мереж до буксирних станцій;

- для електричних мереж/мереж| 6 – 35 кВ|, які не перебувають в управлінні енергосистем, у точках, визначених за погодженням між тяговими підстанціями та споживачами електроенергії, а для тягових підстанцій, що будуються та реконструюються (із заміною

трансформаторів), - до приєднання. точки електроенергії споживачів
енергії до цих мереж. мережі.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2

ВПЛИВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА АСИНХРОННІ ДВИГУНИ

2.1 Вплив відхилення показників якості електроенергії на момент асинхронного електродвигуна

На роботу трифазних асинхронних електродвигунів суттєво впливають відхилення та несиметрії напруги [13, 14].

Результати експериментальних досліджень впливу відхилення та несиметрії напруги на роботу трифазних асинхронних електродвигунів наведено на рис. 1.1.

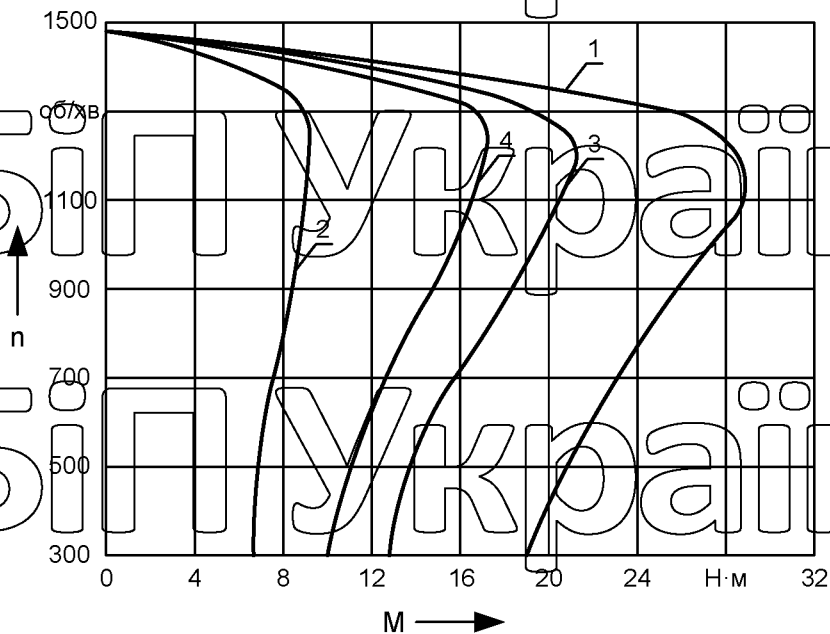


Рисунок 2.1 – Механічна характеристика трифазного асинхронного електродвигуна: 1 – природний; 2 – при зниженні напруги в $\sqrt{3}$ рази; 3 – з коефіцієнтом асиметрії напруги 0,86; 4 – з коефіцієнтом асиметрії напруги 0,8

При відхиленні напруги критичне ковзання не змінюється, але момент двигуна змінюється пропорційно квадрату прикладеної напруги [15]:

$$M = M_{\text{пр}} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2, \quad (2.1)$$

де M – крутний момент двигуна, Н·м; $M_{пр}$ – крутний момент двигуна до природної механічної характеристики, Н·м; U – напруга двигуна, В; U_n – номінальна напруга, В.

Коли напруга падає на 5%, крутний момент двигуна падає на 10%. В результаті двигун перевантажується, так як двигун споживає більше струму, що призводить до зниження його ресурсу. При зниженні напруги на 25% максимальний крутний момент двигуна зменшується майже вдвічі, що призводить до «перекидання» двигуна. Зниження напруги на 10% скорочує ресурс електродвигунів у 2 рази.

Зменшення пускового моменту двигуна зі зниженням напруги призводить до того, що двигун, можливо, не запускається. Коли напруга падає на 10%, крутний момент двигуна падає на 20%. Якщо кратний пусковий момент двигуна при номінальній напрузі дорівнює 1,6, то в цьому випадку момент руху механізму динамічного моменту буде більше пускового моменту двигуна, тобто двигун не запуститься.

При зниженні напруги кутова швидкість двигуна зменшується, що призводить до зниження продуктивності механізмів і збільшення втрат енергії, оскільки втрати прямо пропорційні ковзанню двигуна.

Було встановлено, що як зменшення, так і збільшення напруги від номінального значення призводить до зменшення коефіцієнта потужності.

Зі збільшенням напруги від номінального значення споживана реактивна потужність, струм, температура двигуна, старіння та знос ізоляції зростають.

При цьому знижується коефіцієнт потужності, що спричиняє втрати енергії в мережі. Кутова швидкість двигуна і споживана робоча потужність змінюються незначно.

Як збільшення, так і зменшення напруги двигуна призводить до збільшення втрат енергії, зменшення ресурсу двигуна, відхилення кутової швидкості та зміни продуктивності робочої машини.

Проведені експериментальні дослідження показали, що асиметрія напруги викликає зниження моменту двигуна (рисунок 2.1) і його

перевантаження. Тому необхідно знизити допустиме навантаження електродвигунів. Наприклад, при асиметрії 2% допустиме навантаження зменшується на 2%, а при асиметрії 5% - на 13%.

Поява несиметрії напруги в мережі призводить до зростання струму, збільшення втрат активної потужності в обмотках двигуна. Це призводить до додаткового нагрівання статора і ротора і старіння ізоляції, внаслідок чого скорочується термін служби електродвигуна. При коефіцієнті асиметрії напруги 2% ресурс двигуна скорочується на 10,8%, при коефіцієнті асиметрії 4% термін служби скорочується в 2 рази. Дослідження показують, що відхилення та асиметрія трифазної мережі призводить до виходу з ладу 30...40% електродвигунів [1, 17].

При зміні частоти струму змінюються критичне ковзання і максимальний крутний момент двигуна, при цьому жорсткість механічних характеристик в робочому діапазоні не змінюється. Збільшення частоти струму призводить до збільшення кутової швидкості і зменшення максимального моменту і критичного ковзання двигуна. Коли частота струму зменшується, кутова швидкість зменшується, а критичне ковзання та піковий крутний момент двигуна збільшуються.

2.2 Вплив відхилення напруги на кутову швидкість асинхронного двигуна

Внаслідок відхилення напруги або частоти струму змінюється кутова швидкість двигуна, що в свою чергу викликає зміну технологічних властивостей робочих машин. Тому були проведені дослідження зміни кутової швидкості асинхронних двигунів при відхиленнях напруги та частоти струму.

У разі відхилення напруги двигун працює в робочому діапазоні механічної характеристики, обмеженому ковзанням 0 і критичним s_k . Водночас можна вважати, що механічні характеристики двигуна на цій ділянці є лінійними [18], тобто.

$$M_d = \beta_d (\omega_0 - \omega), \quad (2,2)$$

де M_d – момент двигуна; β_d – жорсткість механічних характеристик електродвигуна; ω_0 – синхронна кутова швидкість; ω – задана кутова швидкість.

Механічні властивості робочих машин описуються рівнянням [19, 20]:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (2,3)$$

де M_c – момент статичного опору робочої машини при певній кутовій швидкості; M_0 – початковий момент; $M_{сн}$ – момент статичного опору при номінальній кутовій швидкості; ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості; x – показник степеня.

У разі відхилення напруги механічні властивості електродвигуна в робочому діапазоні будуть описуватися рівнянням:

$$M_d = \beta_d U_*^2 (\omega_0 - \omega), \quad (2,4)$$

де $U_* = U/U_n$ – напруга у відносних одиницях.
У стаціонарному режимі

$$\beta_d U_*^2 (\omega_0 - \omega) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (2,5)$$

або

$$\beta_d U_*^2 (\omega_0 - \omega_n \omega^*) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega^x, \quad (2,6)$$

де $\omega^* = \omega/\omega_n$ – кутова швидкість у відносних одиницях.

Після перетворень отримуємо:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega^x}{\beta_d (\omega_0 - \omega_n \omega^*)}}. \quad (2,7)$$

Як впливає з виразу (2.7), кутова швидкість двигуна змінюється за складним алгоритмом.

Для робочих машин, де момент статичного опору не залежить від кутової швидкості ($x=0$), рівняння (2.7) матиме вигляд:

де

$$U_* = \sqrt{\frac{M_{сн}}{\beta_o(\omega_o - \omega_n \omega_*)}}, \quad (2,8)$$

$$\beta_o(\omega_o - \omega_n \omega_*) = \frac{M_{сн}}{U_*^2} \quad (2,9)$$

або

$$\omega_* = \frac{\omega_o}{\omega_n} - \frac{M_{сн}}{\beta_o \omega_n U_*^2} \quad (2,10)$$

Так, у машинах з постійним моментом статичного опору зміна кутової швидкості обернено пропорційна квадрату напруги.

Для робочих машин, де момент статичного опору лінійно залежить від кутової швидкості ($\chi=1$), рівняння (2.7) матиме вигляд:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_o + (M_{сн} - M_o)\omega_*}{\beta_o(\omega_o - \omega_n \omega_*)}} \quad (2.11)$$

Для робочих машин з механічними властивостями вентилятора ($\chi=2$) запишемо рівняння (2.7) у вигляді:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_o + (M_{сн} - M_o)\omega_*^2}{\beta_o(\omega_o - \omega_n \omega_*)}} \quad (2.12)$$

Для робочих машин, де момент статичного опору гіперболічно залежить від кутової швидкості ($\chi=-1$), рівняння (2.7) має вигляд:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_o + (M_{сн} - M_o)/\omega_*}{\beta_o(\omega_o - \omega_n \omega_*)}} = \sqrt{\frac{M_{сн} - M_o(1 - \omega_*)}{\beta_o(\omega_o \omega_* - \omega_n \omega_*^2)}} \quad (2,13)$$

Нехтуючи початковим моментом $M_o=0$, отримуємо

$$U_* = \sqrt{\frac{M_{сн} \omega_*}{\beta_o(\omega_o - \omega_n \omega_*)}} \quad (2,14)$$

Оскільки

$$M_{сн} = K_z M_{сн}^*, \quad (2.15)$$

де K_z — коефіцієнт навантаження двигуна,

$$\beta_{\delta} = \frac{M_{\text{дн}}}{\omega_0 \omega_n} = \frac{M_{\text{дн}}}{\omega_0 s_n}, \quad (2,16)$$

де s_n — номінальне ковзання двигуна,
то вираз (2.14) можна записати у вигляді:

$$U_* = \sqrt{\frac{K_3 M_{\text{дн}} \omega_*^x \omega_0 s_n}{M_{\text{дн}} (\omega_0 - \omega_n \omega_*)}} = \sqrt{\frac{K_3 s_n \omega_*^x}{\omega_n (1 - s_n)}}. \quad (2,17)$$

Вираз (2.17) також можна представити ковзанням у вигляді:

$$U_* = \sqrt{\frac{K_3 \omega_*^x s_n}{s}}. \quad (2,18)$$

Тоді для робочих машин, у яких момент статичного опору не залежить від куткової швидкості ($x=0$), рівняння (2.18) набуде вигляду:

$$U_* = \sqrt{\frac{K_3 s_n}{s}}, \quad (2,19)$$

де

$$s = \frac{K_3 s_n}{U_*^2}. \quad (2,20)$$

Так, у робочих машинах, у яких момент статичного опору не залежить від куткової швидкості, ковзання обернено пропорційне квадрату напруженості.

Для робочих машин, де момент статичного опору лінійно залежить від куткової швидкості ($x=1$), запишемо рівняння (2.18) у вигляді:

$$U_* = \sqrt{\frac{K_3 (1-s) s_n}{(1-s_n) s}}, \quad (2,21)$$

де

$$s = \frac{K_3 s_n}{K_3 s_n + U_*^2 (1-s_n)}. \quad (2,22)$$

У випадку електродвигунів із жорсткою механічною характеристикою номінальне ковзання, отже, мало

Для робочих машин із вентиляторними механічними властивостями (рис. 2.23) рівняння (2.18) матиме вигляд:

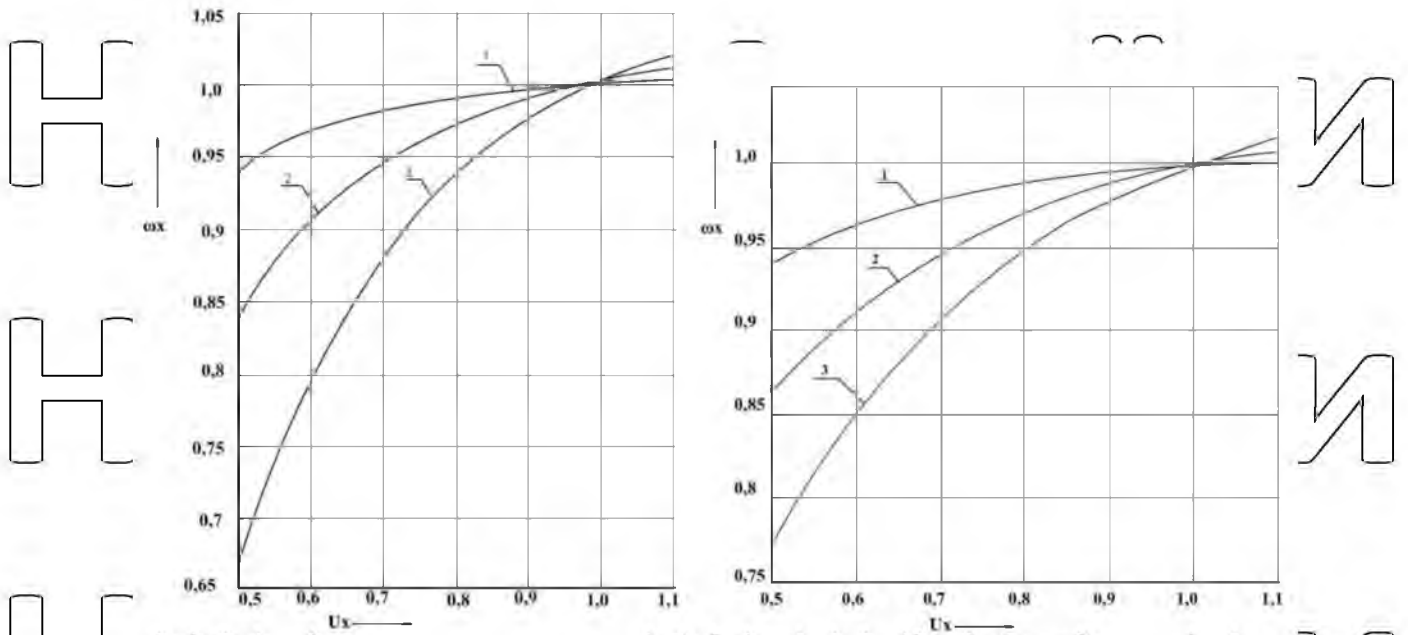
$$U_* = \sqrt{\frac{K_3 \omega_*^2 s_n}{s}} = \frac{1-s}{\Theta \omega_n} \sqrt{\frac{K_3 s_n}{s}} \quad (2.24)$$

Для робочих машин, у яких момент статичного опору зменшується зі збільшенням кутової швидкості ($\chi = -1$), запишемо рівняння (2.18) у вигляді:

$$U_* = \sqrt{\frac{K_3 s_n}{s \omega_*}} = \sqrt{\frac{K_3 s_n (1-s_n)}{\Theta \omega_n^2 (1-s)}} \quad (2.25)$$

Для робочих машин з вентиляторною або гіперболічною механічною характеристикою алгоритм зміни ковзання при зміні напруги ускладнюється.

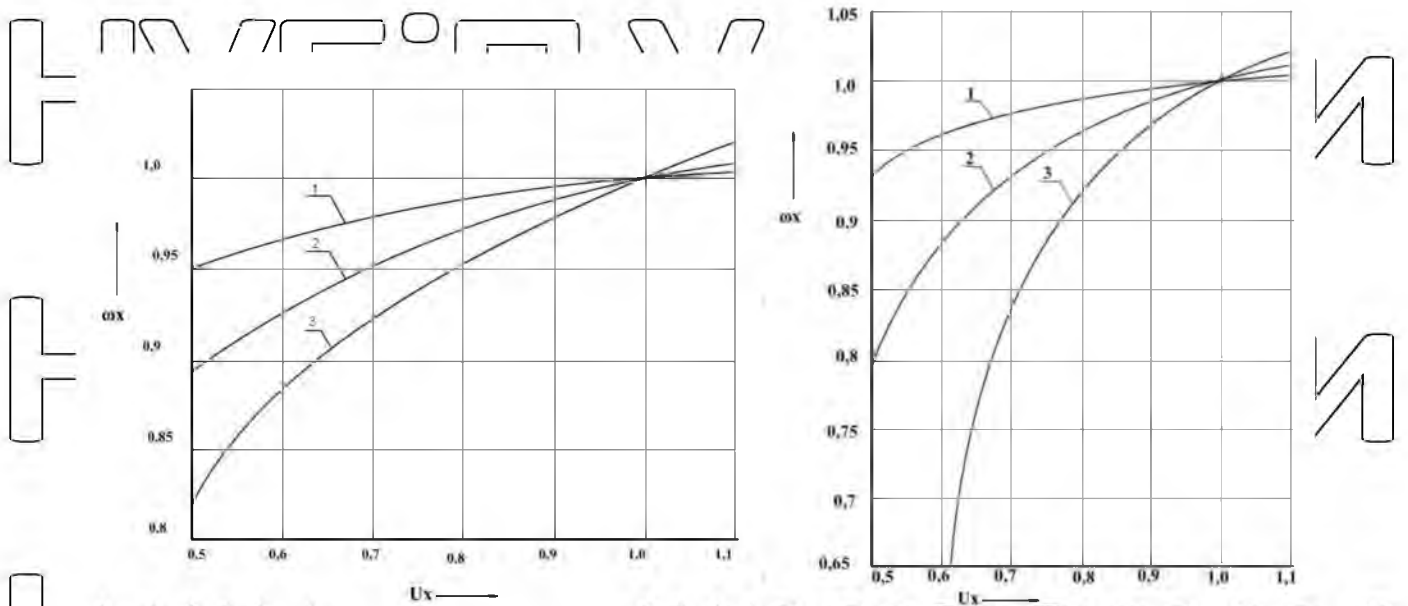
Залежності зміни кутової швидкості електродвигунів з номінальними ковзаннями 0,02; 0,05 і 0,1 у відхиленні напруги, що використовується для приводу робочих машин із статичним моментом опору, незалежним від кутової швидкості, показано на рис. 2.2, а з моментом статичного опору, який лінійно залежить від кутової швидкості, на рис. 2.2, б, з механічною характеристикою вентилятора - на рис. 2.3, а, з гіперболічною механічною характеристикою - на рис. 2.3, б.



Малюнок 2.2. Зміна кутової швидкості від напруги в електроприводах

робочих машин з незалежним від кутової швидкості (а) і лінійно залежним від кутової швидкості (б) моментом статичного опору при номінальному ковзанні двигуна:

1 – 0,02; 2 – 0,05; 3 – 0,1



1 – 0,02; 2 – 0,05; 3 – 0,1

Малюнок 2.3. Зміна кутової швидкості від напруги в електроприводах робочих машин з вентиляторними (а) і гіперболічними (б) механічними властивостями при номінальному ковзанні двигуна:

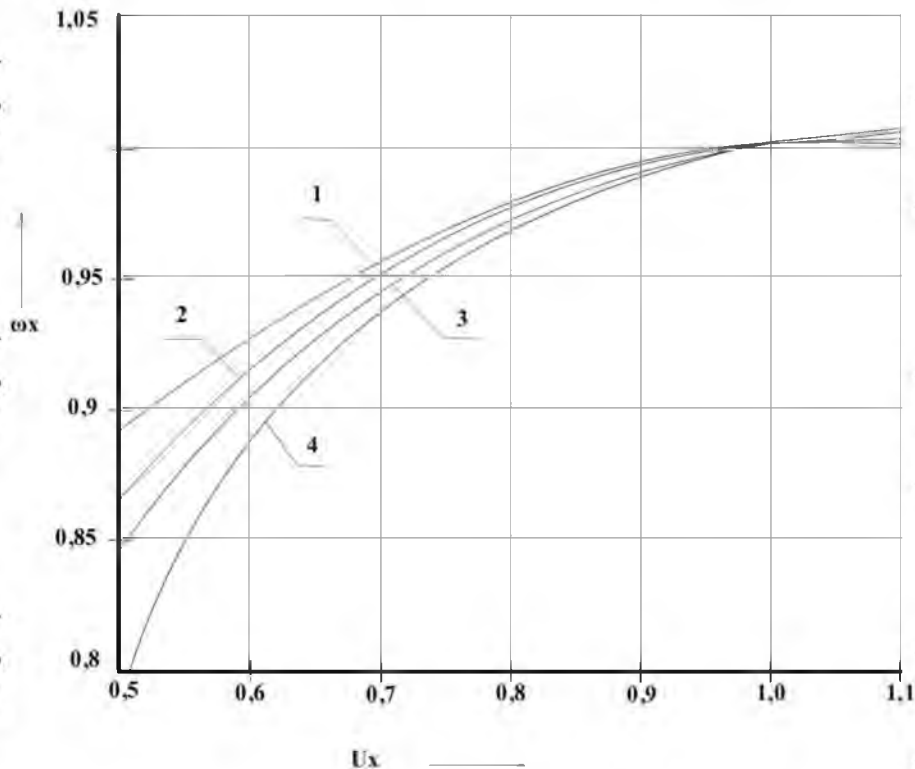
1 – 0,02; 2 – 0,05; 3 – 0,1

Як випливає з наведених залежностей, кутова швидкість приводних двигунів з жорсткою механічною характеристикою змінюється менш істотно порівняно з двигунами з м'якою механічною характеристикою.

На рис. 2.4 наведено залежності зміни кутової швидкості приводного двигуна з номінальним ковзанням 0,05 при відхиленні напруги для робочих машин з різними видами механічних характеристик. З наведених залежностей

випливає, що більш помітно змінюється кутова швидкість двигуна для робочих

машин, які мають менший показник потужності x у рівнянні механічних характеристик



Малюнок 2.4. Зміна кутової швидкості електродвигуна з номінальним ковзанням 0,05 при зміні напруги, що використовується для приводу робочих машин із коефіцієнтом потужності в рівнянні механічної характеристики:

1 – $x=2$; 2 – $x=1$; 3 – $x=0$; 4 – $x=-1$

2.3 Вплив несиметрії напруги на кутову швидкість асинхронного двигуна

У разі несиметрії напруги через роботу напруги зворотної послідовності обертальний момент електродвигуна і жорсткість механічних характеристик знижуються.

Механічні властивості асинхронного електродвигуна з несиметрією напруги в робочому діапазоні описуються рівнянням:

$$M_d = \beta_{днс} (\omega_0 - \omega), \quad (2.26)$$

де $\beta_{днс}$ – жорсткість механічних характеристик електродвигуна з несиметрією напруги, Н·м·с.

У стаціонарному режимі

$$\beta_{днс} (\omega_0 - \omega) = M_0 + (M_{ст} - M_0) \frac{\omega}{\omega_n}, \quad (2.27)$$

Для робочих машин із незалежним від кутової швидкості моментом статичного опору ($x = 0$) з рівняння (2.27) отримуємо:

$$\omega_* = \frac{\omega_0}{\omega_n} \frac{M_{ст}}{\beta_{днс} \omega_n}, \quad (2.28)$$

Для робочих машин з лінійною механічною характеристикою ($x = 1$)

$$\omega_* = \frac{\beta_{да} \omega_0 - M_0}{(\beta_c + \beta_{днс}) \omega_n}. \quad (2.29)$$

При дослідженні впливу несиметрії напруги на механічні властивості асинхронного електродвигуна в одній із фаз статора вмикали реостат і вимірювали частоту обертання та момент двигуна (рисунк 2.1).

Залежності кутової швидкості від коефіцієнта асиметрії напружень у

зворотній послідовності показують, що найбільший вплив асиметрія напружень на зміну кута має у машинах з гіперболічними механічними властивостями, меншою – у машинах з віяловими механічними властивостями (рисунок 2.5).

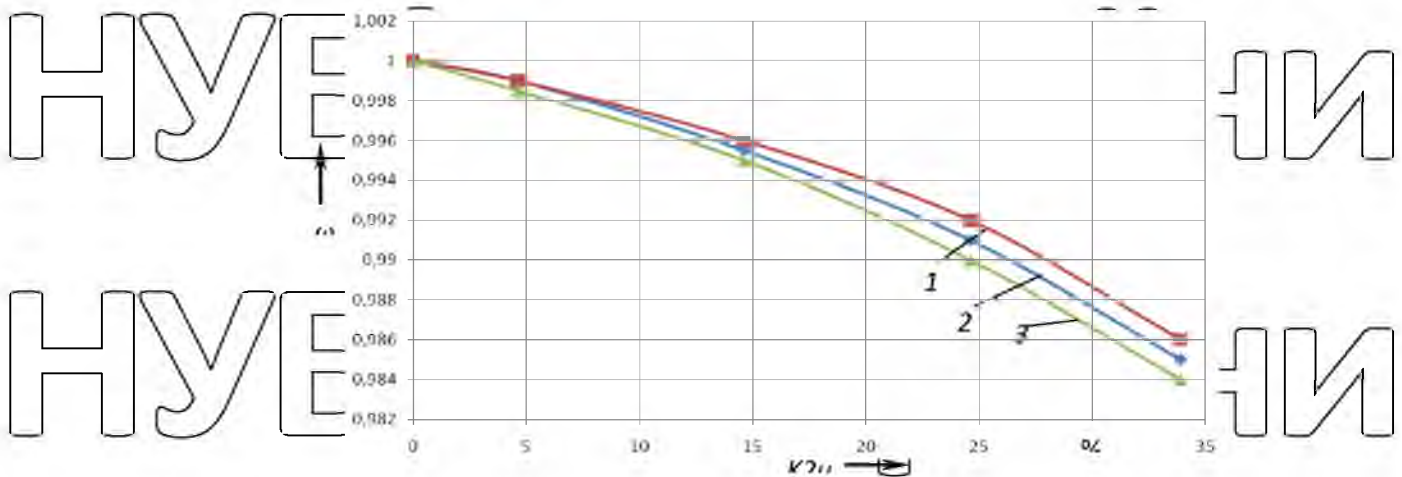


Рисунок 2.5 – Залежності кутової швидкості від коефіцієнта несиметрії напруги у зворотній послідовності для робочих машин з вентилятором механічні властивості (1), незалежні від кутової швидкості (2), гіперболічні (3)

2.4 Вплив відхилення частоти струму на кутову швидкість асинхронного двигуна

При зміні частоти струму асинхронний електродвигун працює за робочою частиною механічної характеристики, яку можна вважати лінійною. [18], тобто

$$M_d = \beta_d (\omega_0 + \omega), \quad (2.16)$$

де M_d – момент двигуна; β_d – жорсткість механічних характеристик електродвигуна; ω_0 – синхронна кутова швидкість; ω – задана кутова швидкість.

Механічні властивості робочих машин описуються (рівнянням [19]):

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (2,17)$$

де M_c – момент статичного опору робочої машини при певній кутовій швидкості; M_0 – початковий момент; $M_{сн}$ – момент статичного опору при номінальній кутовій швидкості; ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості; x – показник степеня.

При зміні частоти струму механічні властивості асинхронного електродвигуна в робочому діапазоні описуються рівнянням:

$$M_0 = \beta_0 \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right), \quad (2,18)$$

де f – частота струму; p – кількість пар полюсів.

У стаціонарному режимі

$$\beta_0 \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x, \quad (2,19)$$

або

$$\beta_0 \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega_n \omega_* \right) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^x, \quad (2,20)$$

Синхронна кутова швидкість електродвигуна при номінальній частоті

струму f_n

$$\omega_{0n} = \frac{2\pi f_n}{p}, \quad (2,21)$$

Тоді рівняння (2.20) запишемо у вигляді:

$$\beta_0 (\omega_{0n} f_* - \omega_n \omega_*) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^x, \quad (2,22)$$

куди ми потрапимо

$$f_* = \frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^x + \beta_0 \omega_n \omega_*}{\beta_0 \omega_{0n}}, \quad (2,23)$$

Для робочих машин, де момент статичного опору не залежить від кутової швидкості ($x=0$), рівняння (2.23) має вигляд:

$$f_* = \frac{M_{сн} + \beta_0 \omega_n \omega_*}{\beta_0 \omega_{0n}}, \quad (2,24)$$

де

$$\omega_* = \frac{\omega_{0н}}{\omega_n} f_* = \frac{M_{сн}}{\beta_o \omega_n} \quad (2,25)$$

Так, у машинах з постійним моментом статичного опору кутова швидкість лінійно залежить від частоти струму.

Для робочих машин, у яких момент статичного опору лінійно залежить від кутової швидкості ($\chi=1$), рівняння (2.23) матиме вигляд:

$$f_* = \frac{M_0 + (M_{сн} + \beta_o \omega_n - M_0) \omega_*}{\beta_o \omega_{0н}}, \quad (2,26)$$

де

$$\omega_* = \frac{\beta_o \omega_{0н} f_* - M_0}{M_{сн} + \beta_o \omega_n + M_0} \quad (2,27)$$

Так, у машинах з моментом статичного опору, що лінійно залежить від кутової швидкості, кутова швидкість лінійно залежить від частоти струму.

Для робочих машин з механічними властивостями вентилятора ($\chi=2$) рівняння (2.23) має вигляд:

$$f_* = \frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^2 + \beta_o \omega_n \omega_*}{\beta_o \omega_{0н}}. \quad (2,28)$$

Для робочих машин з гіперболічною механічною характеристикою ($\chi=-1$) рівняння (2.23) має вигляд:

$$f_* = \frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) / \omega_* + \beta_o \omega_n \omega_*}{\beta_o \omega_{0н}}. \quad (2,29)$$

Так, у робочих машинах з віяловими та гіперболічними механічними властивостями кутова швидкість змінюється за складним алгоритмом при відхиленні частоти струму.

Якщо знехтувати початковим моментом $M_0=0$, то отримаємо:

Оскільки

$$f_* = \frac{M_{сн} \omega_*^2 + \beta_o \omega_n \omega_*}{\beta_o \omega_{0н}} \quad (2,30)$$

$$M_{ch} = K_3 M_{дн}, \quad (2,31)$$

де K_3 – коефіцієнт навантаження двигуна,

$$\beta_0 = \frac{M_{дн}}{\omega_0 - \omega_n} - \frac{M_{дн}}{\omega_0 s_n}, \quad (2,32)$$

де s_n – номінальне ковзання двигуна, тобто

$$f_* = K_3 s_n \omega_*^x + \frac{\omega_n}{\omega_{0н}} \omega_*, \quad (2,33)$$

Для робочих машин, де момент статичного опору не залежить від кутової швидкості ($x=0$), рівняння (2.33) матиме вигляд:

$$f_* = K_3 \omega_* + \frac{\omega_n}{\omega_{0н}} \omega_*, \quad (2,34)$$

де

$$\omega_* = \frac{\omega_{0н}}{\omega_n} (f_* - K_3 s_n). \quad (2,35)$$

Для робочих машин, де момент статичного опору лінійно залежить від кутової швидкості ($x=1$), рівняння (2.33) має вигляд:

$$f_* = (K_3 s_n + \frac{\omega_n}{\omega_{0н}}) \omega_*, \quad (2,36)$$

де

$$\omega_* = \frac{f_*}{K_3 s_n + \frac{\omega_n}{\omega_{0н}}}. \quad (2,37)$$

Так, у машинах з незалежним і лінійно залежним від кутової швидкості моментом статичного опору кутова швидкість лінійно залежить від частоти струму

Для робочих машин з механічними властивостями вентилятора ($x=2$)

запишемо рівняння (2.33) у вигляді:

$$f_* = K_3 s_n \omega_*^2 + \frac{\omega_n}{\omega_{0н}} \omega_*. \quad (2,38)$$

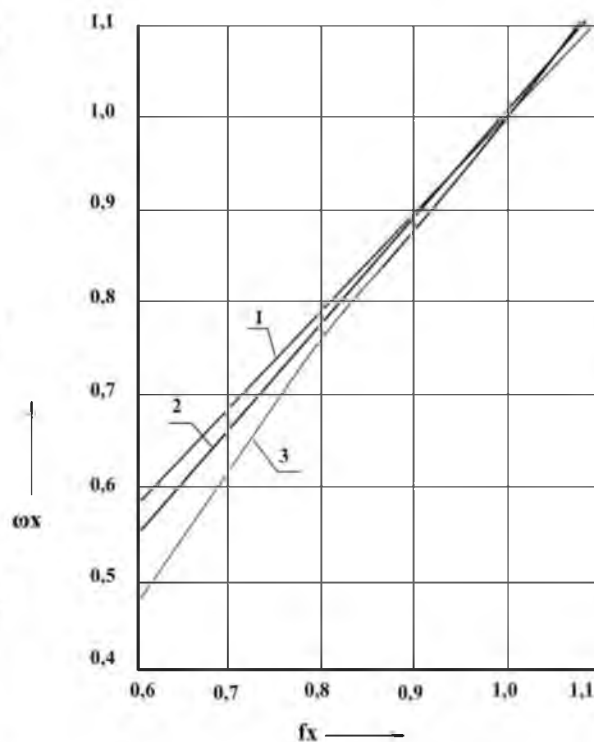
Для робочих машин, у яких момент статичного опору зменшується зі збільшенням кутової швидкості ($x < -1$), рівняння (2.33) має вигляд:

$$f_* = \frac{K_{\Sigma} s_n}{\omega_*} + \frac{\omega_n}{\omega_{0n}} \omega_* \quad (2,39)$$

У двигунах з жорсткою механічною характеристикою номінальне ковзання мале і $\omega_n \approx \omega_{0n}$, тому першим доданком у виразі (2.33) можна знехтувати. Тоді отримуємо:

$$f_* \approx \omega_* \quad (2,40)$$

На рис. 2.6 наведено залежність зміни кутової швидкості від частоти струму для робочих машин з різними видами механічних характеристик. Як випливає з наведених залежностей, вони близькі до лінійних, за винятком робочих машин з гіперболічною механічною характеристикою ($x = -1$).



Малюнок 2.6. Зміна кутової швидкості асинхронного електродвигуна при

зміні частоти струму, що використовується для приводу робочої машини з механічними властивостями:

1 – $x=2$; 2 – $x=1$; $x=0$; 3 – $x=-1$.

3 ВПЛИВ ЯКОСТІ ЕНЕРГІЇ НА ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В РОБОЧИХ МАШИНАХ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ

3.1 Вплив відхилення напруги на перехідні процеси в асинхронному електроприводі

Розглянемо вплив відхилення напруги на перехідні процеси в асинхроні електропривод при зміні навантаження. При цьому двигун працює в робочому діапазоні механічної характеристики, яку можна вважати лінійною [15]:

$$M_d = \beta_d (\omega_0 - \omega), \quad (3.1)$$

де M_d – момент двигуна; β_d – жорсткість механічних характеристик електродвигуна; ω_0 – синхронна кутова швидкість; ω – задана кутова швидкість.

При відхиленні напруги крутний момент асинхронного двигуна становить:

$$M_d = \beta_d U_*^2 (\omega_0 - \omega), \quad (3.2)$$

де $U_* = U/U_n$ — напруга у відносних одиницях.

У більшості сільськогосподарських машин електромагнітні переходи не впливають на хід механічних [1]. Тоді ви можете написати:

$$\frac{dM_d}{dt} = -\beta_d \cdot U_*^2 \frac{d\omega}{dt}. \quad (3.3)$$

Вихідним для розгляду перехідних процесів є рівняння руху електропривода:

$$M_d - M_s = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (3.4)$$

де M_s – момент статичного опору робочої машини, J – повний момент інерції електропривода.

Зверніть увагу на перехідний процес в електроприводі при постійній момент статичного опору робочої машини ($M_s = \text{const}$).

Якщо підставити вираз (3.3) в рівняння руху електропривода (3.4), то отримаємо:

$$M_d - M_c = -J \frac{d\omega}{dt} = -\frac{J}{\beta_d \cdot U_*} \cdot \frac{dM_d}{dt} \quad (3,5)$$

Рівняння (3,5) можна записати у вигляді:

$$T_m \frac{dM_d}{dt} + M_d = M_c, \quad (3,6)$$

де T_m – електромеханічна постійна часу

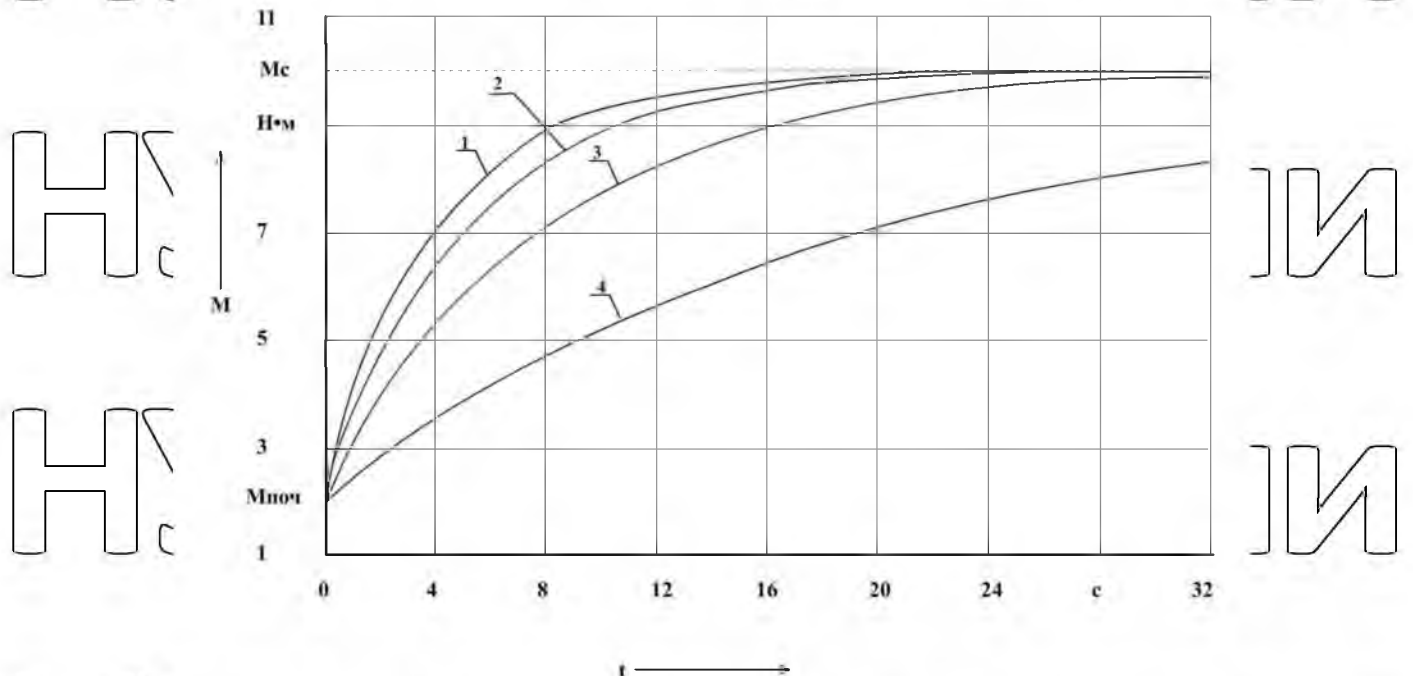
$$T_m = \frac{J}{\beta_d \cdot U_*^2} \quad (3,7)$$

Як випливає з формули (3,7), зменшення напруги викликає збільшення електромеханічної сталої часу

За початкових умов, коли $t = 0$ і $M_d = M_{\text{стат}}$, це диференціальне рівняння має розв'язок:

$$M_d = M_c (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + M_{\text{поч}} \cdot e^{-\frac{t}{T_m}} \quad (3,8)$$

Криві перехідного процесу $M_d = f(t)$ при постійному моменті статичних опорів робочої машини наведено на рисунку 3.1.



Малюнок 3.1. Зміна крутного моменту двигуна в часі з $M_s = \text{const}$ і напругою:

1 – 1,1; 2 – 1,0; 3 – 0,8; 4 – 0,5 номіналу

НУБІП України

Закон зміни кутової швидкості в часі згідно (3.2) і (3.8) матиме вигляд:

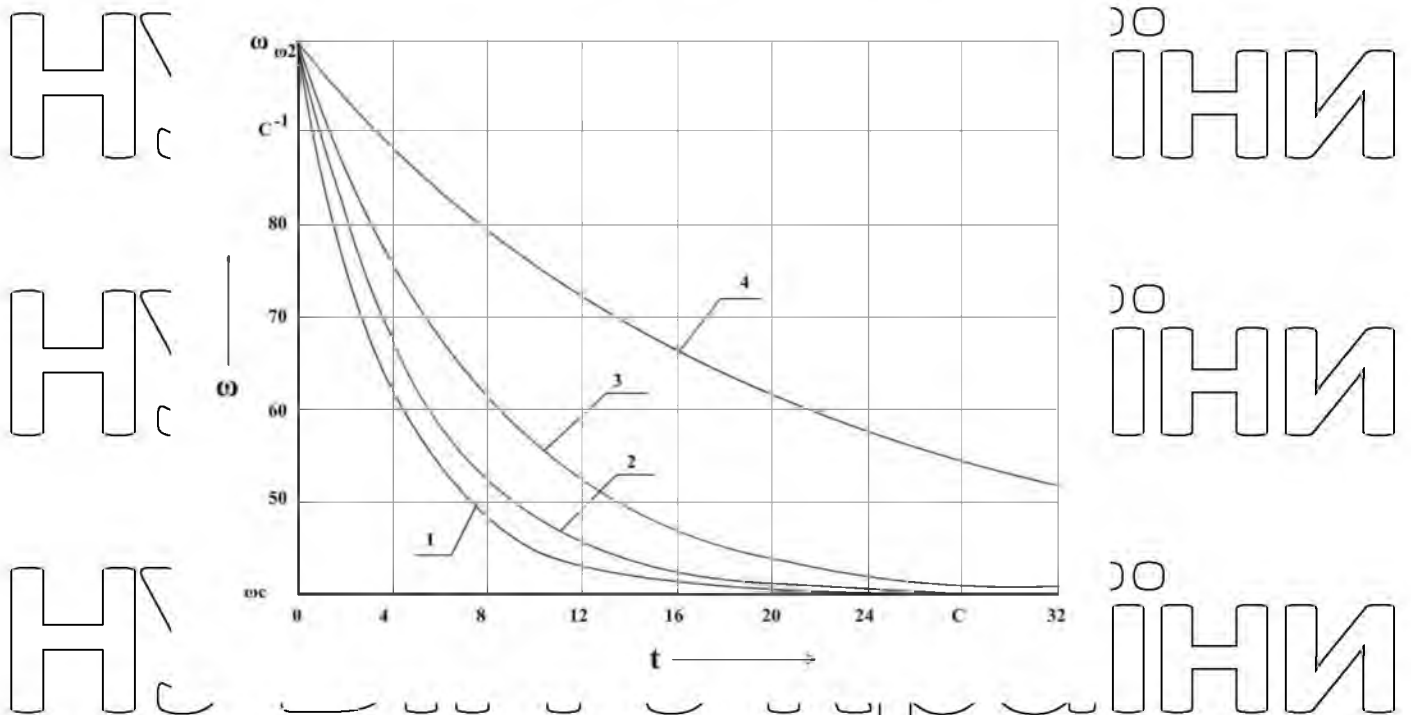
$$\omega = \omega_c (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + \omega_{\text{поч}} \cdot e^{-\frac{t}{T_m}}, \quad (3,9)$$

де ω_c – рівномірна кутова швидкість при заданій напрузі:

НУБІП України

$$\omega_c = \omega_n \frac{M_c}{C \cdot U_*^2} \quad (3,10)$$

Криві перехідного процесу $\omega = f(t)$ наведено на рисунку 3.2.



Малюнок 3.2. Зміна кутової швидкості двигуна з часом при $M_c = \text{const}$ і

напрузі:

1 – 1,1; 2 – 1,0; 3 – 0,8; 4 – 0,5 номіналу

НУБІП України

Так, в електроприводах робочих машин із незалежним від кутової швидкості моментом статичного опору зменшення напруги викликає збільшення часу перехідного процесу, а збільшення напруги — його зменшення.

НУБІП України

Розглянемо перехідний процес в електроприводі робочої машини, який момент статичного опору змінюється з часом за лінійним законом.

$$M_c(t) = M_{0поч} + \mu t, (3.11)$$

де $M_{0старт}$ — початкове значення крутного моменту робочої машини; μ — швидкість зміни імпульсу.

Підставляючи (3.11) у рівняння руху електропривода (3.5), отримуємо:

$$M_\delta - M_{0поч} - \mu t = J \frac{d\omega}{dt} = -\frac{J}{\beta_\delta \cdot U_*^2} \frac{dM_\delta}{dt}. (3.12)$$

У цьому випадку електромеханічна постійна часу обернено пропорційна квадрату напруги:

$$T_M = \frac{J}{\beta_\delta \cdot U_*^2}. (3.13)$$

Тоді вираз (3.12) запишемо у вигляді:

$$M_\delta - M_{0поч} - \mu t = -T_M \frac{dM_\delta}{dt}, (3.14)$$

або

$$T_M \frac{dM_\delta}{dt} + M_\delta = M_{0поч} + \mu t. (3.15)$$

Частковий розв'язок диференціального рівняння (3.15) з правою частиною, лінійно залежною від часу, можна знайти у вигляді:

$$M_\delta = a + bt, (3.16)$$

де a і b — невизначені коефіцієнти.

Підставляючи (3.16) у (3.15), отримуємо:

$$bT_M + a + bt = M_{0поч} + \mu t, (3.17)$$

де

$$a = M_{0поч} - \mu T_M; (3.18)$$

$$b = \mu. (3.19)$$

Загальний розв'язок рівняння (3.15) можна знайти у вигляді ($k = -\frac{1}{T_M}$):

$$M_\delta = M_{0поч} - \mu T_M + \mu t + A e^{-\frac{t}{T_M}}. (3.20)$$

Коефіцієнт A визначається з початкових умов при $t=0, M_{\delta} = M_{\text{поч}}$. В

результаті отримуємо

$$A = M_{\text{поч}} - M_{0\text{поч}} - \mu T_m \quad (3,21)$$

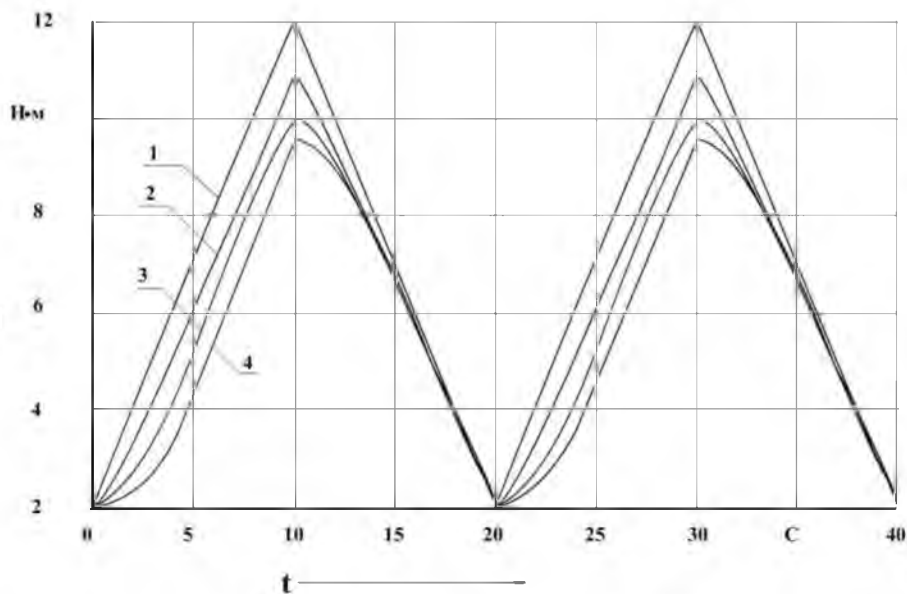
Тоді закон зміни моменту двигуна запишемо у вигляді:

$$M_{\delta} = \mu t + (M_{0\text{поч}} - \mu T_m)(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + M_{\text{поч}} e^{-\frac{t}{T_m}} \quad (3,22)$$

Коли $M_{0\text{поч}} = M_{\text{поч}}$, рівняння (3.22) має вигляд:

$$M_{\delta} = \mu t + M_{0\text{поч}} - \mu T_m + \mu T_m e^{-\frac{t}{T_m}} \quad (3,23)$$

Криві перехідного процесу $M_{\delta} = f(t)$ з лінійним законом зміни в часі моменту робочої машини наведено на рис. 3.3. Як випливає з наведених залежностей, діаграми навантажень електродвигуна відрізняються одна від одної при різних значеннях напруги.



Малюнок 3.3. Зміна моменту двигуна в електродвигунах з лінійним законом зміни моменту статичного опору робочої машини в часі (1) і напрузі:

2 – 0,8; 3 – 1,0; 4 – 1,1 від номінального

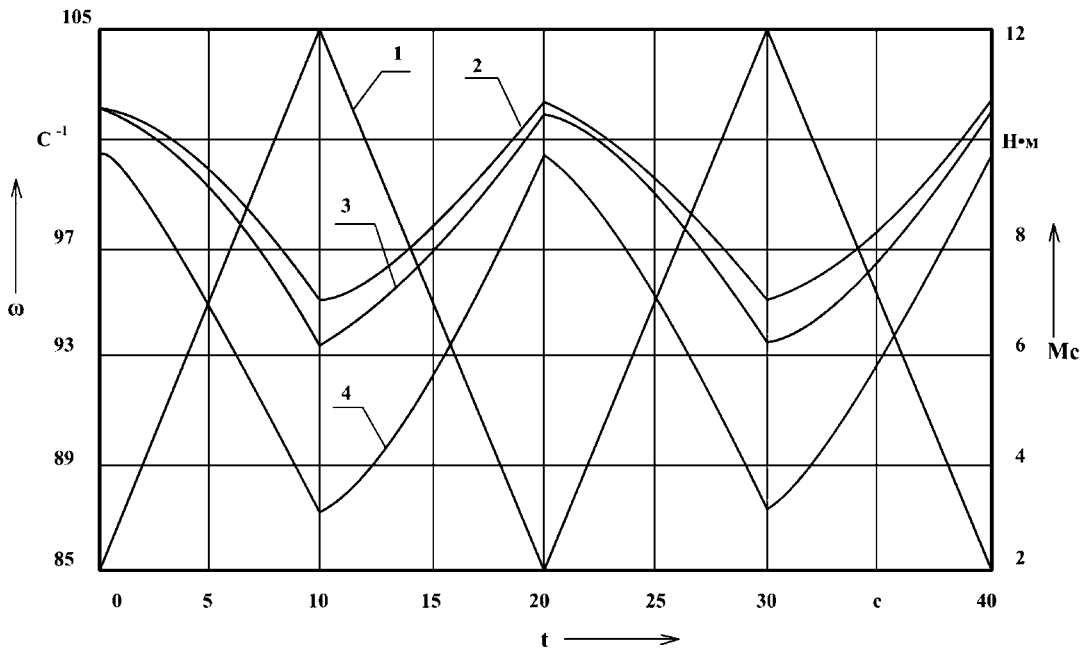
Закон зміни кутової швидкості відповідно до (3.2) і (3.22) матиме вигляд:

$$\omega = \omega_0 + \frac{M_{0\text{поч}}}{\beta_0} + \frac{\mu T_m}{\beta_0} (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) - \omega_{\text{поч}} e^{-\frac{t}{T_m}} - \frac{\mu}{\beta_0} t \quad (3,24)$$

Коли $M_{0роч} = M_{роч}$, рівняння (24) буде записано у вигляді:

$$\omega = \omega_{поч} + \frac{\mu T_{\mu}}{\beta_{\delta}} (1 - e^{-\frac{t}{T_{\mu}}}) - \frac{\mu}{\beta_{\delta}} t. \quad (3,25)$$

Криві перехідного процесу $\omega = f(t)$ з лінійним законом зміни в часі моменту робочої машини наведено на рис. 3.4. Як впливає з наведених залежностей, при підвищенні напруги кутова швидкість двигуна змінюється менше, ніж при падінні напруги.



Малюнок 3.4. Зміна кутової швидкості двигуна в електроприводах з лінійним законом зміни моменту статичного навантаження робочої машини в часі (t) і напругі.

2 – 0,8; 3 – 1,0; 4 – 1,1 від номінального

Дуже цікавим є аналіз перехідних процесів в електродвигунах з трифазними асинхронними електродвигунами з урахуванням кривизни механічної характеристики, яка описується спрощеним рівнянням [18]:

$$M_{\delta} = \frac{2M_{\kappa}}{s + s_{\kappa}}, \quad (3,26)$$

де M_{κ} – максимальний крутний момент двигуна; s_{κ} – критичне ковзання.

При відхиленні напруги механічні властивості двигуна будуть записуватися у вигляді:

$$M_{\omega} = \frac{2M_{\kappa} \cdot U_*^2}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s}} \quad (3,27)$$

Електромагнітними перехідними процесами, які відбуваються набагато швидше механічних, можна знехтувати.

Розглянемо перехідні процеси за умови $M_s = 0$. На практиці такі випадки мають місце, наприклад, при холостому ході потужних дробарок з великим моментом інерції, приведеним до валу електродвигуна, і відносно малим моментом статичного опору.

За допомогою рівняння механічної характеристики електродвигуна запишемо рівняння руху електродвигуна в спрощеному вигляді:

$$\frac{2M_{\kappa} \cdot U_*^2}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s}} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3,28)$$

Після завершення заміни

$$d\omega = -\omega_0 ds, \quad (3,29)$$

ми отримаємо:

$$\frac{2M_{\kappa} \cdot U_*^2}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s}} = -J\omega_0 \frac{ds}{dt} \quad (3,30)$$

Звідси:

$$dt = -\frac{J\omega_0}{2M_{\kappa} \cdot U_*^2} \left(\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s} \right) ds \quad (3,31)$$

Інтегруючи вираз (3.31), можна знайти час перехідних процесів приводу при зміні ковзання від початку до шкіри:

$$t_{no} = \frac{J\omega_0}{2M_{\kappa} \cdot U_*^2} \int_{s_{кін}}^{s_{поч}} \left(\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s} \right) ds = \frac{J\omega_0}{2M_{\kappa} \cdot U_*^2} \left(\frac{s_{поч}^2 - s_{кін}^2}{2s_{\kappa}} + s_{\kappa} \ln \frac{s_{поч}}{s_{кін}} \right) \quad (3,32)$$

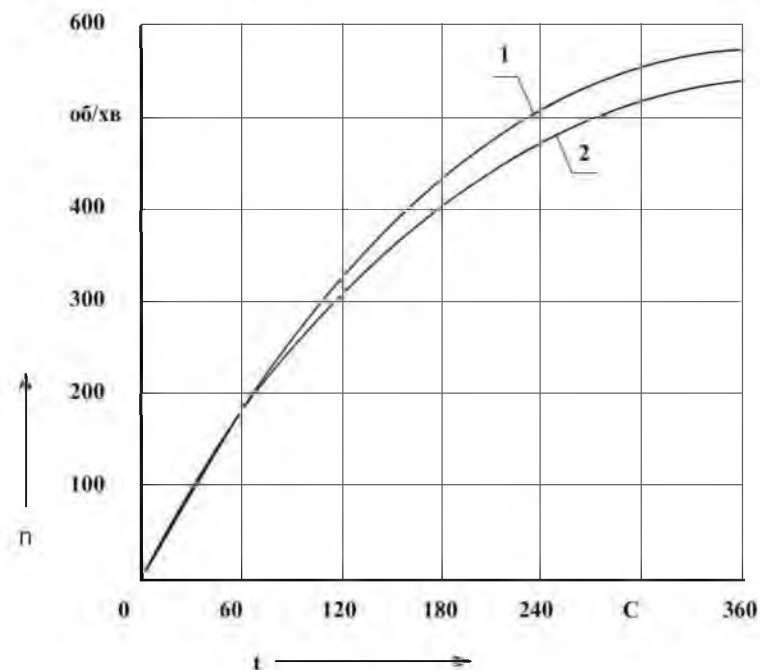
або

$$t_{no} = \frac{T_M}{2} \left(\frac{s_{пoc}^2 - s_{кин}^2}{2s_k} + s_k \ln \frac{s_{пoc}}{s_{кин}} \right), \quad (3,33)$$

де $T_M = \frac{J\omega_0}{M_k \cdot U_*^2}$ - графік електромеханічний.

Таким чином, при зниженні напруги час перехідного процесу пуску двигуна і електромеханічна постійна часу збільшуються обернено пропорційно квадрат напруги. Цю обставину необхідно враховувати для машин, які мають тривалий час запуску, наприклад, молоковіддільники.

Експериментальні криві перехідного процесу $n=f(t)$ пуску молокосепаратора СОМ-3-1000М [20], який має механічну характеристику вентилятора при номінальній і зниженій напрузі, показані на рис. 3.5. Як випливає з наведених залежностей, зниження напруги викликає незначне зниження частоти обертання, але значно збільшує час пуску, внаслідок чого двигун може перегріватися і виходити з ладу.



Малюнок 3.5. Криві розгону молокосепаратора СОМ-3-1000М при номінальній (1) і напруга зменшена в $\sqrt{3}$ рази (2)

3.2 Вплив несиметрії напруги на перехідні процеси в асинхронному

електроприводі

Розглянемо вплив несиметрії напруги на перехідні процеси в асинхронному електроприводі при зміні навантаження. Асиметрія напруги призводить до зниження жорсткості механічних властивостей електродвигуна.

У цьому випадку робоча частина механічної характеристики електродвигуна описується рівнянням:

$$M_o = \beta_{\text{днс}} (\omega_0 - \omega), \quad (3,34)$$

де $\beta_{\text{днс}}$ – жорсткість механічних характеристик електродвигуна з несиметрією напруги живлення.

Зверніть увагу на перехідний процес в електроприводі при постійній момент статичного опору робочої машини ($M_s = \text{const}$).

З виразу (3.34) і рівняння руху електропривода (3.4) отримуємо:

$$M_o - M_c = -J \frac{d\omega}{dt} = -\frac{J}{\beta_{\text{днс}}} \frac{dM_o}{dt} \quad (3,35)$$

Рівняння (3.35) можна записати у вигляді:

$$T_m \frac{dM_o}{dt} + M_o = M_c, \quad (3,36)$$

де T_m – електромеханічна постійна часу:

$$T_m = \frac{J}{\beta_{\text{днс}}}. \quad (3,37)$$

Як випливає з формули (3.37), асиметрія напруги викликає збільшення електромеханічної сталої часу.

За початкових умов, коли $t = 0$ і $M_o = M_{\text{start}}$, це диференціальне рівняння має розв'язок:

$$M_o = M_c (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + M_{\text{поч}} \cdot e^{-\frac{t}{T_m}}, \quad (3,38)$$

і закон зміни куткової швидкості з часом матиме вигляд:

$$\omega = \omega_c (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + \omega_{\text{поч}} \cdot e^{-\frac{t}{T_m}}, \quad (3,39)$$

де ω_c – рівномірна кутова швидкість при заданій напрузі:

$$\omega_c = \omega_0 - \frac{M_c}{\beta_{\text{дмс}}} \quad (3,40)$$

Так, в електроприводах робочих машин з незалежним від кутової швидкості моментом статичного опору криві перехідного процесу з несиметрією напруги повторюють криві перехідного процесу при зменшенні напруги (див. рис. 3.2). Асиметрія напруги викликає збільшення часу перехідного процесу.

Для робочої машини, яка має момент статичного опору змінюється з часом за лінійним законом (3.11), співняння руху електропривода (3.5), отримуємо:

$$M_{\text{д}} - M_{\text{опрч}} - \mu t = J \frac{d\omega}{dt} = \beta_{\text{дмс}} \frac{dM_{\text{д}}}{dt} \quad (3,41)$$

У цьому випадку електромеханічна постійна часу зменшується в порівнянні з симетричною напругою живлення:

$$T_{\text{м}} = \frac{J}{\beta_{\text{дмс}}} \quad (3,42)$$

Тоді диференціальне рівняння, що описує перехідний процес, запишемо у вигляді:

$$T_{\text{м}} \frac{dM_{\text{д}}}{dt} + M_{\text{д}} = M_{\text{опрч}} + \mu t \quad (3,43)$$

Розв'язавши рівняння (3.43), отримаємо закон зміни моменту двигуна:

$$M_{\text{д}} = \mu t + (M_{\text{опрч}} - \mu T_{\text{м}})(1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{м}}}}) + M_{\text{опрч}} e^{-\frac{t}{T_{\text{м}}}} \quad (3,43)$$

Закон зміни кутової швидкості буде мати такий вигляд:

$$\omega = \left(\omega_0 - \frac{M_{\text{опрч}} + \mu T_{\text{м}}}{\beta_{\text{дмс}}} \right) (1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{м}}}}) + \omega_{\text{опрч}} e^{-\frac{t}{T_{\text{м}}}} + \frac{\mu}{\beta_{\text{дмс}}} t \quad (3,44)$$

Криві перехідного процесу в асинхронному електроприводі з лінійним законом зміни моменту статичних опорів робочої машини і несиметрії напруги повторюють криві, отримані при зниженні напруги (див. рис. 3.3, 3.4). Із збільшенням асиметрії напруг кутова швидкість двигуна зменшується.

При несиметрії напруги максимальний крутний момент двигуна знижується, але критичне ковзання не змінюється. У цьому випадку механічна характеристика електродвигуна, яка описується спрощеним рівнянням, має вигляд:

$$M_d = \frac{2M_{ka}}{s_k + \frac{s_k}{s}}, \quad (3,45)$$

де M_{ka} – максимальний момент двигуна при несиметрії напруги, s_k – критичне ковзання.

Якщо знехтувати електромагнітними перехідними процесами, то розглядатимемо перехідні процеси за умови, що $M_c = 0$. Використовуючи рівняння механічних характеристик електродвигуна, залишимо рівняння руху електропривода у спрощеному вигляді:

$$\frac{2M_{ka}}{s_k + \frac{s_k}{s}} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (3,46)$$

або:

$$\frac{2M_{ka}}{s_k + \frac{s_k}{s}} = -J\omega_0 \frac{ds}{dt}. \quad (3,47)$$

Тут ви можете знайти час перехідних процесів запуску диска під час зміни слайда від початку до оболонки:

$$t_{no} = \frac{J\omega_0}{2M_{ka}} \int_{s_{кін}}^{s_{поч}} \left(\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} \right) ds = \frac{J\omega_0}{2M_{ka}} \left(\frac{s_{поч}^2 - s_{кін}^2}{2s_k} + s_k \ln \frac{s_{поч}}{s_{кін}} \right) \quad (3,48)$$

або

$$t_{no} = \frac{T_{ма}}{2} \left(\frac{s_{поч}^2 - s_{кін}^2}{2s_k} + s_k \ln \frac{s_{поч}}{s_{кін}} \right), \quad (3,49)$$

де $T_{ма} = \frac{J\omega_0}{M_{ka}}$ - графік електромеханічний.

Отже, наасиметрія напруги, перехідний час процесу запуску двигуна та електромеханічна постійна часу збільшуються, оскільки максимальний крутний момент двигуна зменшується.

3.2 Вплив девіації частоти струму на перехідні процеси в асинхронному електродвигуні

При зміні частоти струму або навантаження двигун працює в робочому діапазоні механічної характеристики, яка описується лінійною залежністю [18]:

$$M_d = \beta_d (\omega_0 - \omega), \quad (3,50)$$

де M_d – момент двигуна; β_d – жорсткість механічних характеристик електродвигуна; ω_0 – синхронна кутова швидкість; ω – задана кутова швидкість.

Залежність (3.50) можна представити у вигляді:

$$M_d = \beta_d \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right), \quad (3,51)$$

де f - частота струму; p – кількість пар полюсів.

Електромагнітний перехідний процес в робочому діапазоні природних механічних характеристик асинхронного електродвигуна описується рівнянням[3]:

$$T_e \frac{dM_d}{dt} + M_d = \beta_d (\omega_0 - \omega), \quad (3,52)$$

де T_e – електромагнітна постійна часу.

Відповідно до (3.52) це рівняння запишемо у вигляді:

$$T_e \frac{dM_d}{dt} + M_d = \beta_d \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right), \quad (3,54)$$

де

$$M_d = \beta_d \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right) - T_e \frac{dM_d}{dt} \quad (3,55)$$

При дослідженні електромеханічних перехідних процесів в електроприводах вихідним пунктом є рівняння руху електроприводу:

$$M_d - M_c = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (3,56)$$

де M_c – момент статичного опору робочої машини; J – повний момент інерції електропривода.

З рівняння руху електропривода отримуємо:

$$M_\delta = M_c + J \frac{d\omega}{dt} \quad (3,57)$$

Підставляючи вираз (3.57) у рівняння (3.55), отримуємо:

$$M_c + J \frac{d\omega}{dt} = \beta_\delta \left(\frac{2\pi f}{p} \omega \right) - T_e \frac{dM_c}{dt} + J \frac{d^2\omega}{dt^2} \quad (3,58)$$

Зверніть увагу на перехідний процес в електроприводі при постійній момент статичного опору робочої машини ($M_s = \text{const}$).

Диференціальне рівняння, що описує перехідний процес, для цього випадку має вигляд:

$$T_e \frac{J}{\beta_\delta} \frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{J}{\beta_\delta} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{2\pi f}{p} \frac{M_c}{\beta_\delta}, \quad (3,59)$$

або

$$T_e T_m \frac{d^2\omega}{dt^2} + T_m \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{2\pi f}{p} \frac{M_c}{\beta_\delta}, \quad (3,60)$$

де T_m – електромеханічна постійна часу:

$$T_m = \frac{J}{\beta_\delta}. \quad (3,61)$$

Коли $T_m < 4T_e$, корені характеристичного рівняння визначаються за формулою:

$$k_{1,2} = -(1/2T_e) \pm j\sqrt{(1/T_e T_m) - (1/2T_e)^2} = -\alpha \pm j\gamma. \quad (3,62)$$

Частота струму не впливає на корені характеристичного рівняння.

При початкових умовах $t = 0$, $\omega = \omega_{\text{старт}}$,

$$\left(\frac{d\omega}{dt} \right)_0 = (M_{\text{поч}} - M_c) / J \quad (3,63)$$

диференціальне рівняння (3.70) має комунікацій:

$$\omega = \omega_c + e^{-\alpha t} \left[(\omega_{\text{поч}} - \omega_c) \cos \gamma t + \frac{M_{\text{поч}} - M_c + J\alpha(\omega_{\text{поч}} - \omega_c)}{J\gamma} \sin \gamma t \right] \quad (3,64)$$

Якщо початковий режим роботи стабільний, рівняння (3.64) набуде

вигляду:

$$\omega = \omega_c + (\omega_{нов} - \omega_c) e^{-\frac{t}{T_M}} \left(\cos \gamma t + \frac{\alpha T_M - 1}{T_M \gamma} \sin \gamma t \right) \quad (3,65)$$

Оскільки стійке значення кутової швидкості пов'язане з частотою струму

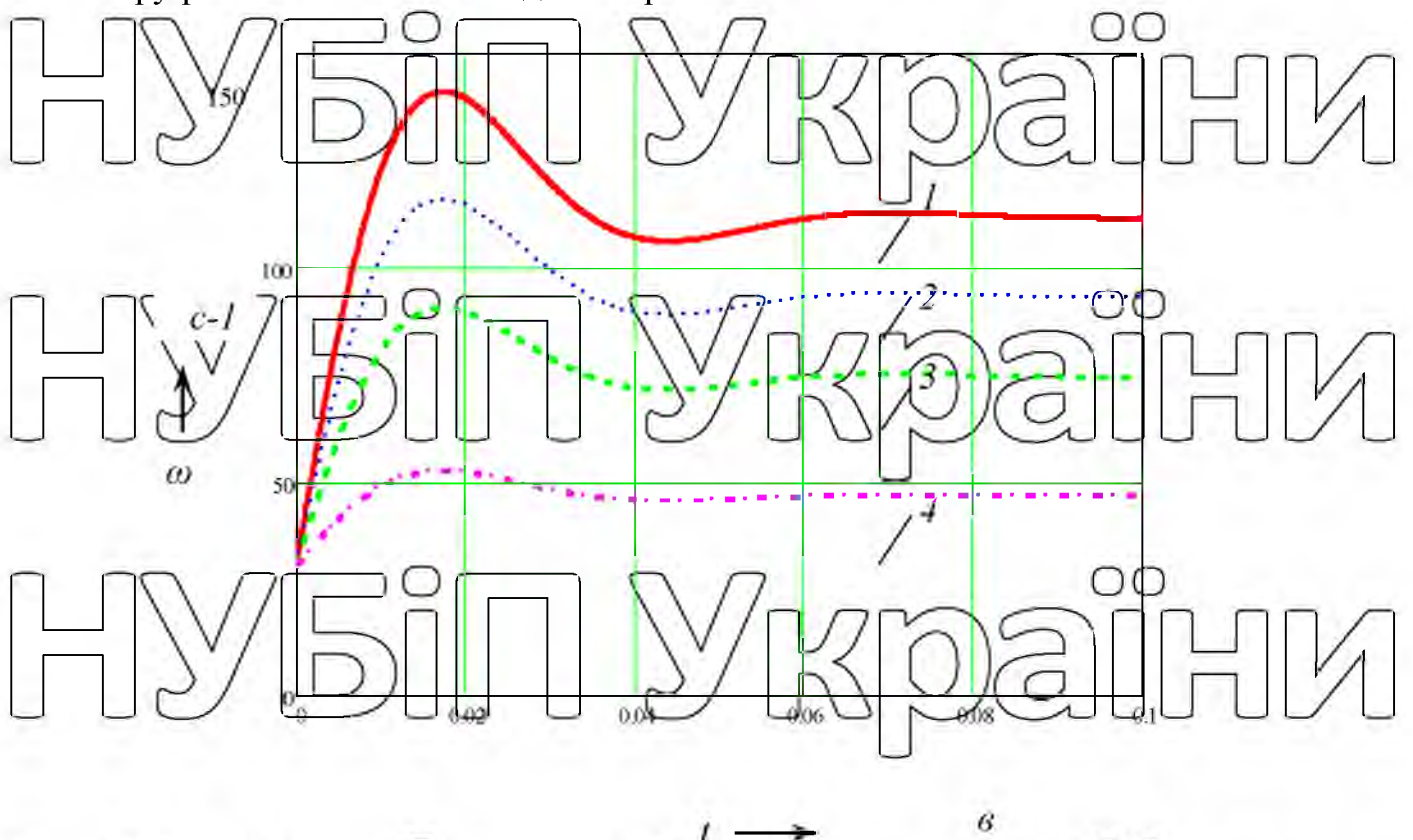
залежністю:

$$\omega_n = \omega_m f^* \quad (3,66)$$

де ω_n – рівномірна кутова швидкість на номінальній частоті струму; f^* – частота струму у відносних одиницях, тобто

$$\omega = \omega_m f^* + (\omega_n - \omega_m f^*) e^{-\frac{t}{T_M}} \left(\cos \gamma t + \frac{\alpha T_M - 1}{T_M \gamma} \sin \gamma t \right) \quad (3,67)$$

Криві перехідного процесу $\omega=f(t)$ при постійному моменті статичного опору робочої машини наведені на рис. 3.6.



Малюнок 3.6. Зміна кутової швидкості електродвигуна за час при $T_M < 4T_{ei}$
 частота струму: 1 – 60 Гц; 2 – 50 Гц; 3 – 40 Гц; 4 – 25 Гц

Як випливає з наведених залежностей, частота струму не впливає на частоту коливань, але впливає на максимальне динамічне відхилення швидкості, яке зростає зі збільшенням частоти струму. У деяких випадках таке відхилення кутової швидкості може мати негативне значення для технологічного процесу.

Якщо $T_m > 4T_e$, то корені характеристичного рівняння

$$k_{1,2} = -(1/2T_e) \pm \sqrt{(1/2T_e)^2 - (1/T_e T_m)}. \quad (3.68)$$

Тоді розв'язком диференціального рівняння (3.60) при початкових умовах (3.63) буде вираз:

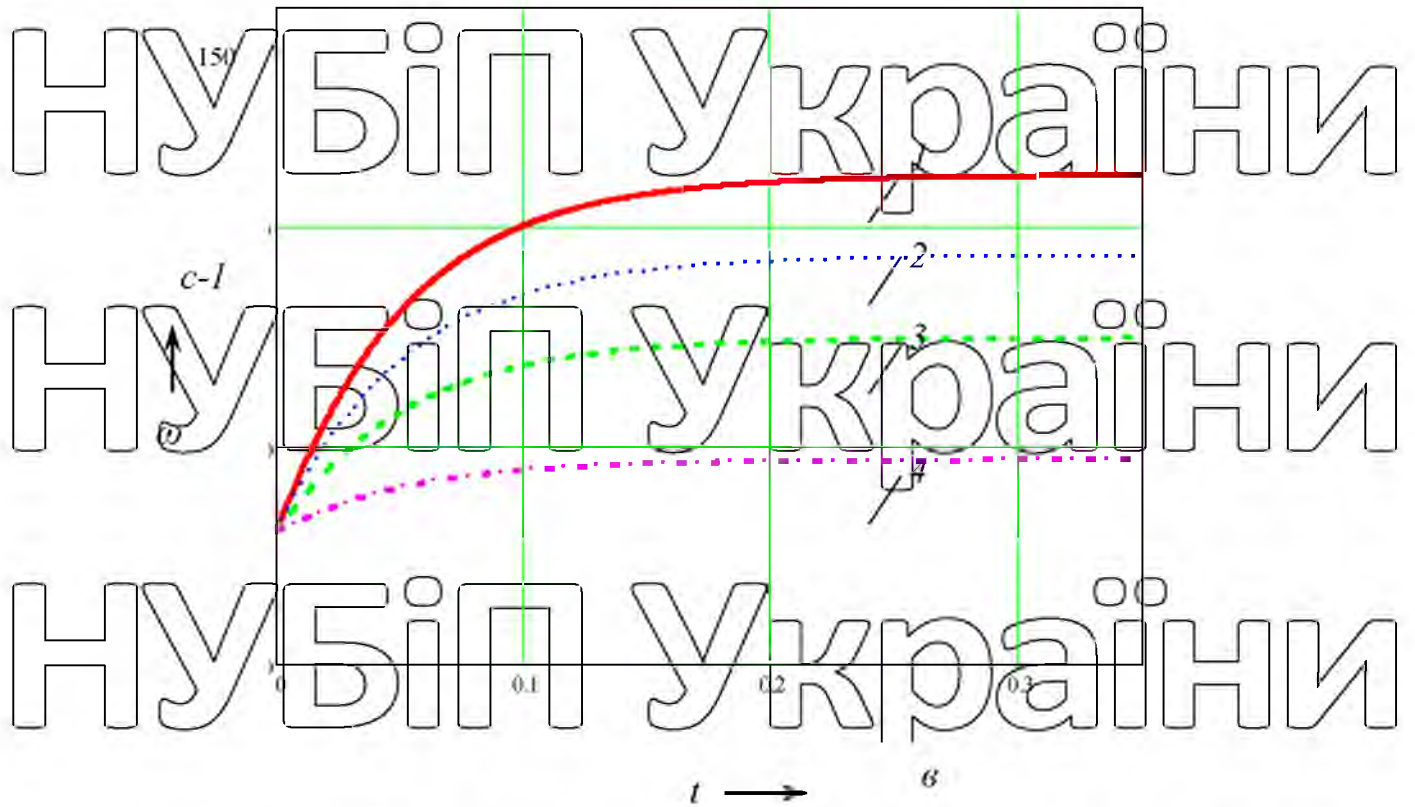
$$\omega = \omega_c + \frac{Jk_2(\omega_{поч} - \omega_c) - (M_{пч} - M_c)}{J(k_2 - k_1)} e^{k_1 t} + \frac{(M_{пч} - M_c) - Jk_1(\omega_{пч} - \omega_c)}{J(k_2 - k_1)} e^{k_2 t}. \quad (3.69)$$

Якщо вихідний режим роботи стабільний, рівняння (3.69) з урахуванням (3.66) матиме вигляд:

$$\omega = \omega_c + \frac{\omega_{пч} - \omega_c}{\tau_i} \left[\frac{1}{k_2 - k_1} \left[(Q_2 k_2 + 1) a^{k_2 t} - (Q_1 k_1 + 1) a^{k_1 t} \right] \right]. \quad (3.70)$$

Криві перехідного процесу $\omega=f(t)$ наведено на рисунку 3.7.

У цьому випадку частота обертання двигуна змінюється за експоненціальним законом. Фіксоване значення кутової швидкості визначається частотою струму, а час перехідного процесу від неї не залежить.



Малюнок 3.7. Зміна кутової швидкості електродвигуна за час при $T_m > 4T_e$

частота струму:

1 – 60 Гц; 2 – 50 Гц; 3 – 40 Гц; 4 – 25 Гц

Якщо $T_m = 4T_e$, характеристичне рівняння має один корінь:

$$k = 1/2T_e \quad (3.71)$$

Тоді диференціальне рівняння (3.60) за початкових умов (3.63) має

розв'язок:

$$\omega = \omega_c + e^{-\omega t} (\omega_{нов} - \omega_c + \frac{M_{нов} - M_c - J(\omega_{нов} - \omega_c)}{J}) \quad (3.72)$$

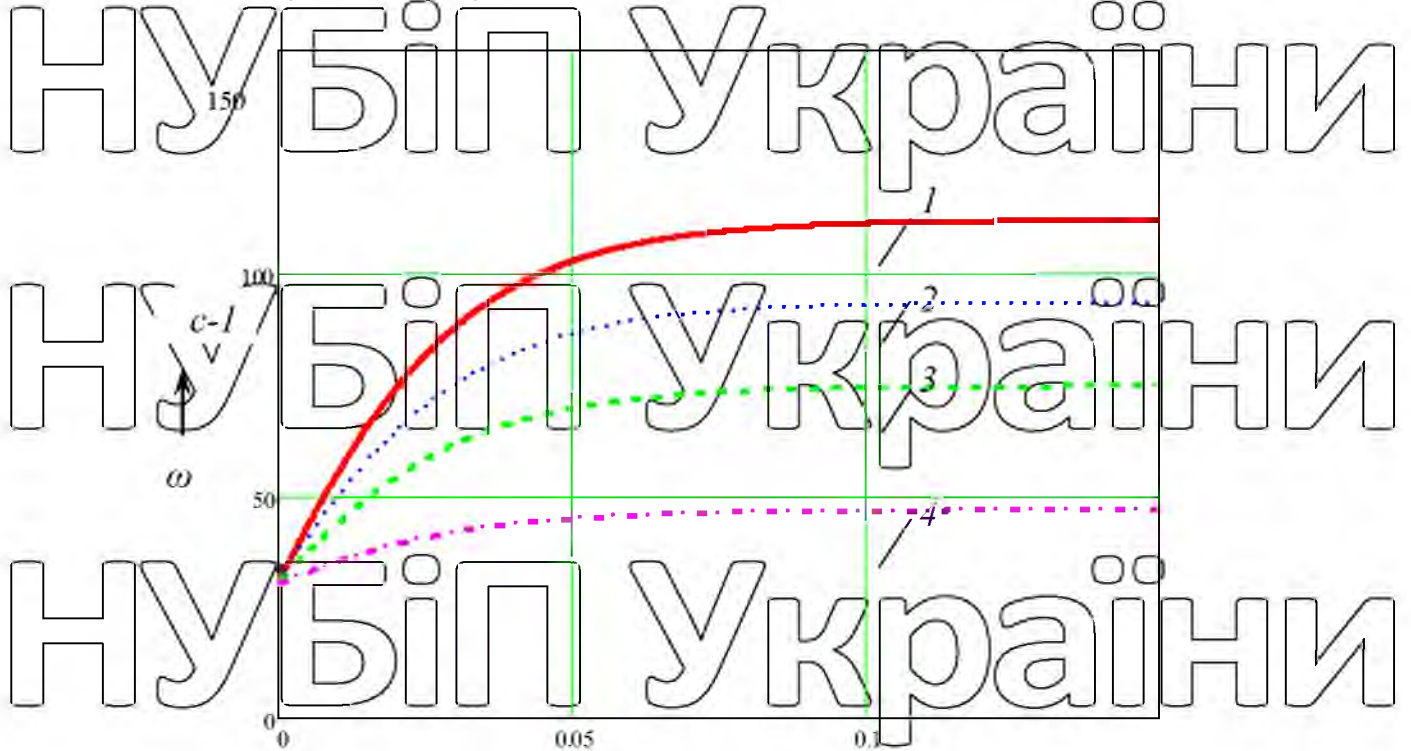
Якщо вихідний режим роботи стабільний, то рівняння (3.72) з

урахуванням (3.66) матиме вигляд:

$$\omega = \omega_{н} f_* + (\omega_{д*} - \omega_{н} f_* e^{-\omega t}) \frac{1}{k + \frac{1}{\theta}} \quad (3.73)$$

Криві перехідного процесу $\omega=f(t)$ наведені на рис.3.

У цьому випадку кутова швидкість змінюється за нелінійним законом.



Малюнок 3.8. Зміна кутової швидкості електродвигуна за час при $T_m = 4T_e$ частота струму:

1 – 60 Гц; 2 – 50 Гц; 3 – 40 Гц; 4 – 25 Гц

Зміна частоти струму викликає лише зміну стаціонарної кутової швидкості, а тривалість перехідного процесу не змінюється.

Якщо момент статичного опору робочої машини лінійно залежить від кутової швидкості, то

$$M_c = M_0 + \beta_c \omega, \quad (3,74)$$

де β_c – жорсткість механічних властивостей робочої машини.

Вставивши в рівняння (3.68) підставити значення моменту статичного опору робочої машини, то отримаємо:

$$M_0 + \beta_c \omega + J \frac{d\omega}{dt} = \beta_c \left(\frac{2\pi f}{p} - \omega \right) - T_e \left(\beta_c \frac{d\omega}{dt} + J \frac{d^2 \omega}{dt^2} \right), \quad (3,75)$$

звідки диференціальне рівняння, що описує перехідний процес в електроприводі, має вигляд:

$$T_e \frac{J}{\beta_o + \beta_c} \frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{J + \beta_c T_e}{\beta_o + \beta_c} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{\beta_o \cdot 2\pi f / p - M_o}{\beta_o + \beta_c}. \quad (3,76)$$

вирази $\frac{J}{\beta_o + \beta_c} = T'_m$ і $\frac{J}{\beta_c} = T''_m$ електромеханічні постійні часу. Тоді

диференціальне рівняння (3.76) запишемо у вигляді:

$$T_e T'_m \frac{d^2 \omega}{dt^2} + T'_m (1 + T_e / T''_m) \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_c, \quad (3,77)$$

де ω_c – постійне значення кутової швидкості:

$$\omega_c = \frac{\beta_o \cdot 2\pi f / p - M_o}{\beta_o + \beta_c}. \quad (3,78)$$

Коли $T'_m < \frac{4T_e}{1 + T_e / T''_m}$, корені характеристичного рівняння визначаються за

формулою:

$$k_{1,2} = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{T_e} + \frac{1}{T''_m} \right) \pm j \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T''_m} \right)^2 - \frac{1}{T_e T''_m}} = -\alpha \pm j\gamma. \quad (3,79)$$

При початкових умовах $t = 0$, $\omega = \omega_{\text{старт}}$,

має диференціальне рівняння (3.76), комунікацій:

$$\omega = \omega_c + e^{-\alpha t} \left[(\omega_{\text{поч}} - \omega_c) \cos \gamma t + \frac{M_{\text{поч}} - M_c + J\alpha(\omega_{\text{поч}} - \omega_c)}{J\gamma} \sin \gamma t \right]. \quad (3,81)$$

Якщо вихідний режим роботи стабільний, рівняння (3.81) матиме вигляд:

$$\omega = \omega_c + (\omega_{\text{поч}} - \omega_c) e^{-\alpha t} \cos \gamma t + \frac{T'_m \alpha}{T''_m \gamma} (1 - \cos \gamma t). \quad (3,82)$$

Коли $T'_m > \frac{4T_e}{1 + T_e / T''_m}$, корені характеристичного рівняння визначаються за

формулою:

$$k_{1,2} = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{T_e} + \frac{1}{T''_m} \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T''_m} \right)^2 - \frac{1}{T_e T''_m}}. \quad (3,83)$$

Тоді розв'язком диференціального рівняння (3.76) при початкових умовах

(30) буде вираз:

$$\omega = \omega_c + \frac{Jk_2(\omega_{поч} - \omega_c) - (M_{поч} - M_c)}{J(k_2 - k_1)} e^{k_1 t} + \frac{(M_{поч} - M_c) - Jk_1(\omega_{поч} - \omega_c)}{J(k_2 - k_1)} e^{k_2 t}. \quad (3,84)$$

Якщо вихідний режим роботи стабільний, рівняння (3.84) має вигляд:

$$\omega = \omega_c + \frac{\omega_{поч} - \omega_c}{T_m(k_2 - k_1)} [(T_m k_2 + 1)e^{k_1 t} - (T_m k_1 + 1)e^{k_2 t}]. \quad (3,85)$$

Коли $T_m = \frac{4T_e}{1 + T_e/T_m}$, корені характеристичного рівняння визначаються за

формулою:

$$k_{1,2} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{T_e} + \frac{1}{T_m} \right). \quad (3,86)$$

Тоді диференціальне рівняння (3.76) за початкових умов (3.80) має

розв'язок:

$$\omega = \omega_c + e^{kt} \left(\omega_{поч} - \omega_c + \frac{M_{поч} - M_c - Jk(\omega_{поч} - \omega_c)}{J} t \right). \quad (3,87)$$

Якщо початковий режим роботи стабільний, рівняння (3.88) має вигляд.

$$\omega = \omega_c + (\omega_{поч} - \omega_c) e^{kt} \left(1 - \left(k + \frac{1}{T_m} \right) t \right). \quad (3,88)$$

Тому рівняння перехідного процесу зміни кутової швидкості двигуна в момент статичного опору робочої машини, які лінійно залежать від кутової швидкості, подібні до відповідних рівнянь, отриманих для випадку, коли в момент опору робочої машини лінійно залежать від кутової швидкості.

Статичний опір робочої машини становить опір робочої машини не залежить від кутової швидкості.

У робочих машинах, де момент статичного опору нелінійно залежить від кутової швидкості, можна проводити лінеаризацію механічної характеристики в діапазоні зміни кутової швидкості при зміні частоти струму. При цьому лінеаризована механічна характеристика робочої машини достатньо точно описує реальну механічну характеристику, тому можна використовувати

відповідні рівняння для зміни кутової швидкості, отримані для випадку, коли момент статичного опору робочої машини дорівнює лінійно залежить від кутової швидкості.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ ПОМИЛКОВОГО ВИЛУЧЕННЯ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРОБНИЧИХ МАШИН

Відключення електроенергії призводить до зниження продуктивності
робочої машини:

$$\Delta Q = Q_n t_v + t_r, \quad (4.1)$$

де t_v – тривалість відключення, с; t_r – тривалість роботи машини, с.

Крім того, збільшуються втрати в двигуні при пуску і гальмуванні. Для
розрахунку дозвільної кількості запусків електродвигуна за годину при
відключенні електроенергії будемо використовувати метод середніх втрат як
найбільш точний метод аналізу теплових процесів в електродвигуні. Кількість
запусків електродвигуна за годину, при яких середня температура підвищується
за час, вважається прийнятною $t > 4T_{н}$ з початку експлуатації допускається те
саме, тобто електродвигун повністю використовує тепловий опір.

Для визначення допустимої кількості включень за годину прийmemo
(рисунок), що тривалість робочого циклу складається з тривалості пуску t_p ,
усталеного режиму t_y , гальмування t_g і паузи t_0 , тобто:

$$t = t_p + t_y + t_g + t_0, \quad (4.2)$$

або:

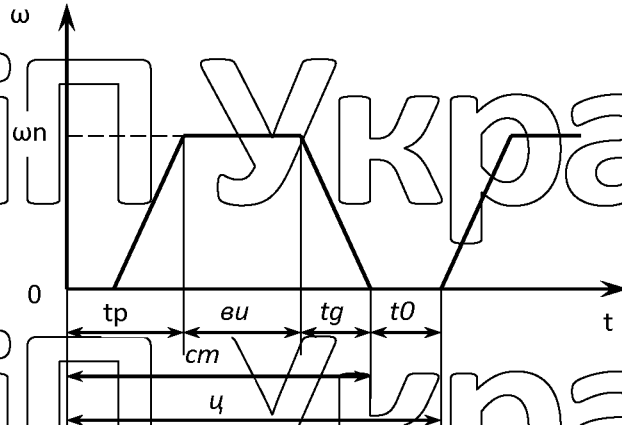
$$t_y = \frac{3600}{h}, \quad (4.3)$$

де h – фактична кількість активацій за годину.

Втрати енергії в асинхронному двигуні за цикл складаються з пускових
втрат ΔA_p , втрат на гальмування ΔA_g та усталених втрат при i -му

навантаженні. $\Delta A_y = \Delta P_i t_y$ (Малюнок 4/Г). Віддача енергії в навколишнє
середовище протягом циклу складається з втрат під час усталеної роботи при
номінальному навантаженні $\Delta P_{ном} t_y$, під час перерви $\beta_0 \Delta P_{ном} t_0$ а також під час

старту та гальмування $\Delta P_{\text{ном}} (t_n + t_m) \left(\frac{1 + \beta_0}{2} \right)$. Останньою складовою втрат енергії можна знехтувати, оскільки вона становить (2-4)% від суми ΔA_n і ΔA_g [13].



Малюнок 4.1. Зміна частоти обертання двигуна протягом робочого циклу в повторюваному короткочасному режимі роботи

Якщо асинхронний двигун працює при номінальному навантаженні в усталеному режимі, рівняння теплового балансу двигуна буде записано у вигляді:

$$\Delta A_n + \Delta A_z = \Delta P_{\text{ном}} \beta_0 t_0. \quad (4,4)$$

Під час відключень збільшується кількість пусків і зупинок двигуна, внаслідок чого збільшуються втрати на перехідних режимах, що призводить до перегріву двигуна та його виходу з ладу.

При кількості відключень n та тривалості t рівняння теплового балансу (3.2) набуде вигляду:

$$n(\Delta A_n + \Delta A_z) = \Delta P_{\text{ном}} \beta_0 (t_0 + t_e). \quad (4.5)$$

Тоді допускається частота вмикань при відключенні електроенергії:

$$h'_{\text{дон}} = h_{\text{дон}} \frac{(t_0 + t_e)}{nt_0}. \quad (4.6)$$

Якщо час зупинки малий ($t_e < t_0$), (4.6) запишемо у вигляді:

$k'_{доп} = \frac{h_{доп}}{n}$ (4.7)
 Таким чином, допустима частота перемикаць асинхронного
 електродвигуна обернено пропорційна кількості відключень.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5

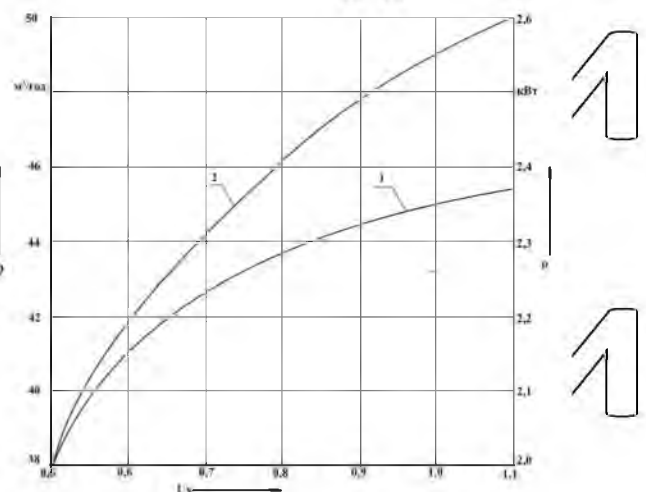
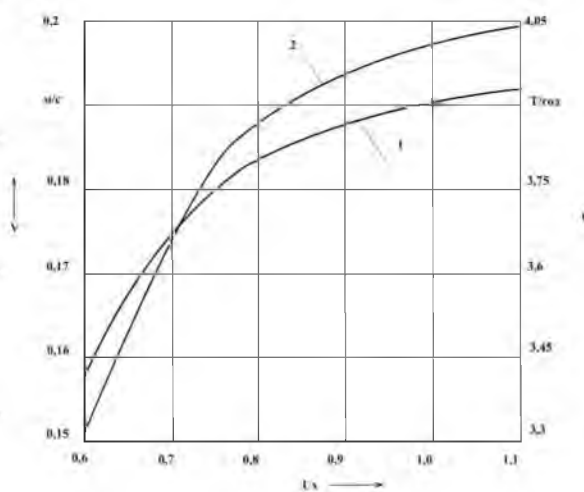
ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИРОБНИЧИХ МАШИН

У стрічкових і скребкових транспортерів, гноєприбиральних конвеєрів і вакуумних насосів момент статичного опору не залежить від кутової швидкості ($\chi = 0$), а продуктивність прямо пропорційна кутовій швидкості [19], тому

$$Q_* = \omega_* = \frac{\omega_0}{\omega_n} - \frac{M_{сн}}{\beta_0 \omega_n U_*^2}. \quad (5.1)$$

Так, у машинах, де момент статичного опору не залежить від кутової швидкості, продуктивність змінюється обернено пропорційно квадрату напруженості та жорсткості механічних властивостей електродвигуна (рис. 5.1,

5.2).



Малюнок 5.1. Залежності швидкості скребка (1) і продуктивності (2) конвеєра гноєприбирального ТСН-2.0Б від напруги.

Малюнок 5.2. Залежності продуктивності (1) та потужності (2) вакуумного насоса приладу УВУ60/45 від напруги при вакуумі 53,32

Встановлено, що зі збільшенням

напруги продуктивність гноєвидільного конвеєра та вакуум-насоса зростає нелінійно. Закон зміни цих величин визначається законом зміни кутової швидкості двигуна при зміні напруги.

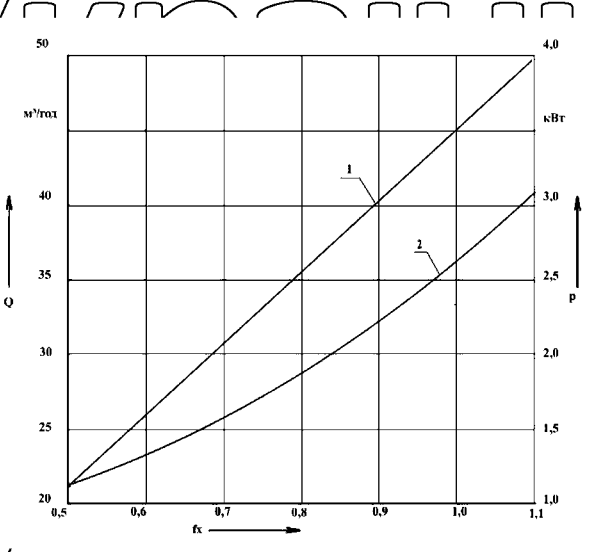
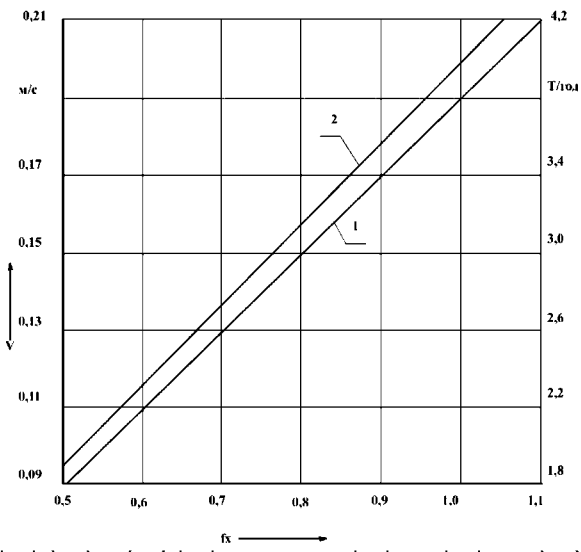
На основі проведених досліджень встановлено, що при зниженні напруги на 20 % продуктивність гноєприбиральних конвеєрів і вакуум-насосів знижується до 3 %.

Для машин, у яких момент статичного опору не залежить від кутової швидкості, закон зміни продуктивності по частоті струму запишемо у вигляді:

$$Q_* = \omega_* = f_* . \tag{5.2}$$

При відхиленні частоти струму продуктивність стрічкового конвеєра гноєвиділення та вакуум-насоса змінюється за лінійним законом (рис. 5.3, 5.4), а потужність із збільшенням частоти струму зростає нелінійно.

Встановлено, що при зменшенні частоти потоку на 2 % продуктивність гноєприбиральних конвеєрів і вакуум-насосів знижується до 2 %.



Малюнок 5.3. Залежності швидкості скрепера (1) і продуктивності (2) конвеєра гноєприбирального ТСН-2.0Б від частоти струму.

Малюнок 5.4. Залежності продуктивності (1) та потужності (2) вакуумного насоса апарату УВУ60/45 від частоти струму при розрідженні 53,32 кПа.

властивості насосів і вентиляторів є вентиляторними [18, 19]:

$$M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \quad (5,3)$$

Для насосів і вентиляторів пусковий момент не важливий [20] і ним можна знехтувати. Тоді після перетворень отримаємо:

$$U_* = \sqrt{\frac{K_3 M_{сн} \omega_*^2 \omega_0 s_n}{M_{сн} (\omega_0 - \omega_n \omega_*)}} = \omega_* \sqrt{\frac{K_3 s_n}{1 - \omega_n (1 - s_n)}} \quad (5,4)$$

Для насосів і вентиляторів продуктивність прямо пропорційна кутовій швидкості, тиск – квадрату кутової швидкості, потужність – кубу кутової швидкості [19, 20]. Отже, закони зміни деяких величин запишемо у вигляді:

для продуктивності -

$$U_* = \omega_* \sqrt{\frac{K_3 s_n}{1 - \omega_n (1 - s_n)}} \quad (5,5)$$

Тиск -

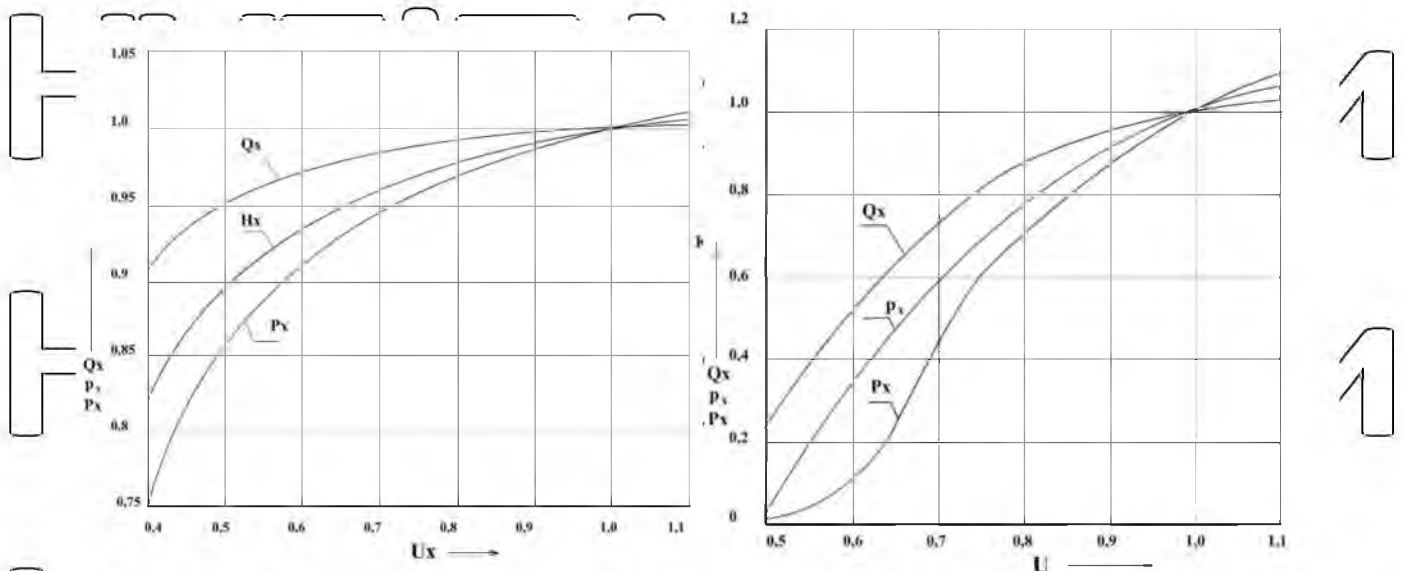
$$U_* = \omega_* \sqrt{\frac{K_3 s_n p_*}{1 - \omega_n (1 - s_n)}} \quad (5,6)$$

місткість -

$$U_* = \sqrt[3]{P_*} \sqrt{\frac{K_3 s_n}{1 - \omega_n (1 - s_n)}} \quad (5,7)$$

Проведено експериментальні дослідження зміни продуктивності, тиску та потужності відцентрового насоса К8/18 та осьового вентилятора ВО-7.1М при відхиленнях напруги та частоти струму. Під час досліджень змінювали напругу на двигуні автотрансформатором, частоту струму – перетворювачем частоти фірми «Мицубісі», визначали кутову швидкість, продуктивність, тиск і потужність робочих машин.

Як впливає з наведених залежностей (рис. 5.5), при відхиленні напруги продуктивність, тиск і потужність насосів і вентиляторів змінюються за складними алгоритмами, причому відхилення цих параметрів є більш важливим для осьових вентиляторів ВО-7.1М. з асинхронним двигуном AIRP80A6U2



Малюнок 5.5. Залежності продуктивності (Q), висоти (H), тиску (p) і потужності (P) від напруги у відносних одиницях для насоса K8/18 (а) і вентилятора ВО-Ф-7.1М.

Для продуктивності, тиску, потужності насосів і вентиляторів при зміні частоти струму діють такі залежності (рис. 5.6):

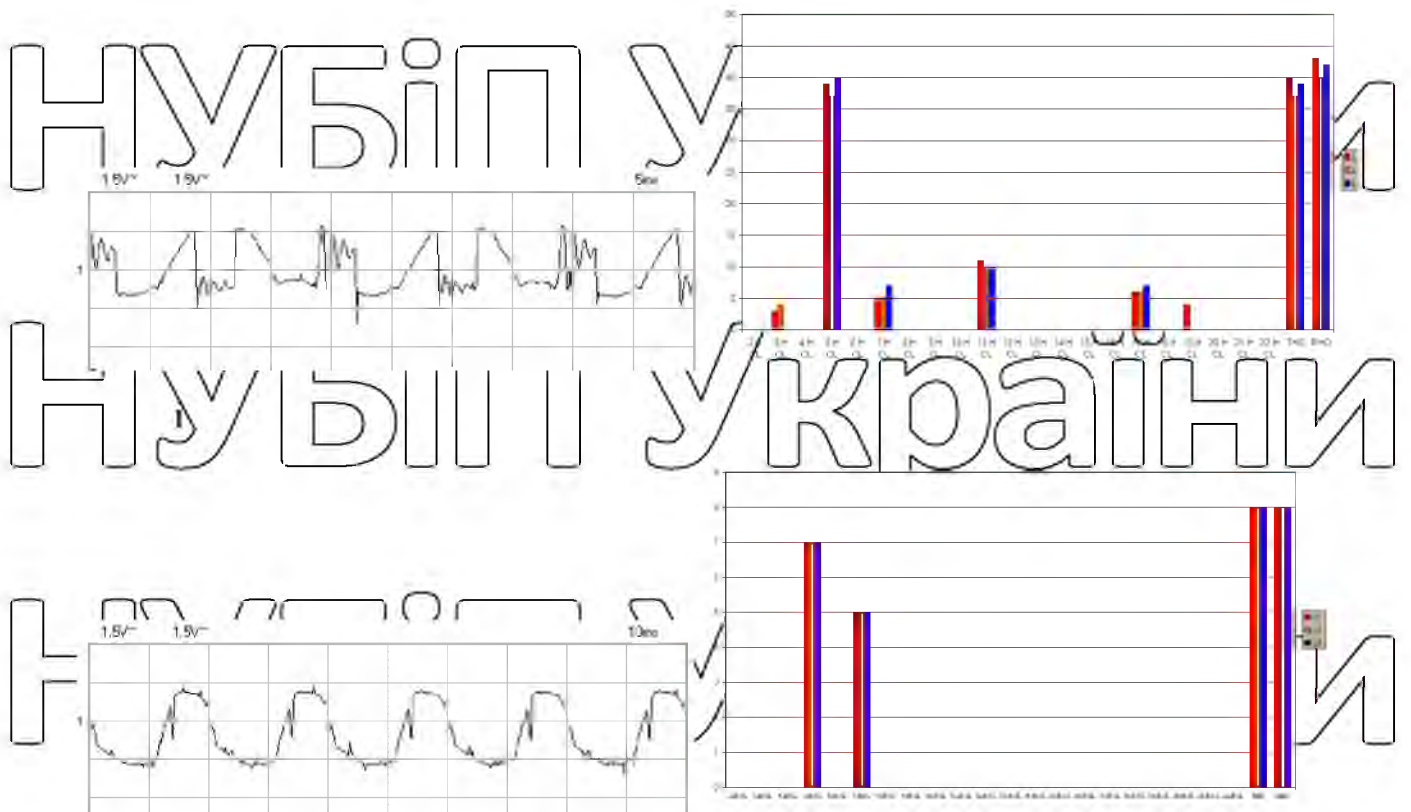
$$Q_* = f_*, p_* = j_*, P_* = j_*^3 \quad (5,8)$$

$$p_* = f_*^2, \quad (5,9)$$

$$P_* = f_*^3 \quad (5,10)$$

Вентиляційні установки «Клімат-4М» отримують живлення від тиристорного перетворювача напруги ППУ «Кліматика-5» або перетворювача частоти струму, напруга на виході якого несинусоїдальна.

Крива струму в мережі та результати спектрального аналізу струму (рис. 5.6) показали, що при нарузі до 200 В присутні п'ята, сьома, одинадцята, тринадцята, сімнадцята і дев'ятнадцята гармоніки від 200 до 300 В. У - п'ята, сьома, одинадцята і тринадцята гармоніка, понад 300 В - п'ята і сьома гармоніки. Отже, чим вище напруга, тим менше вищих гармонік у струмі.

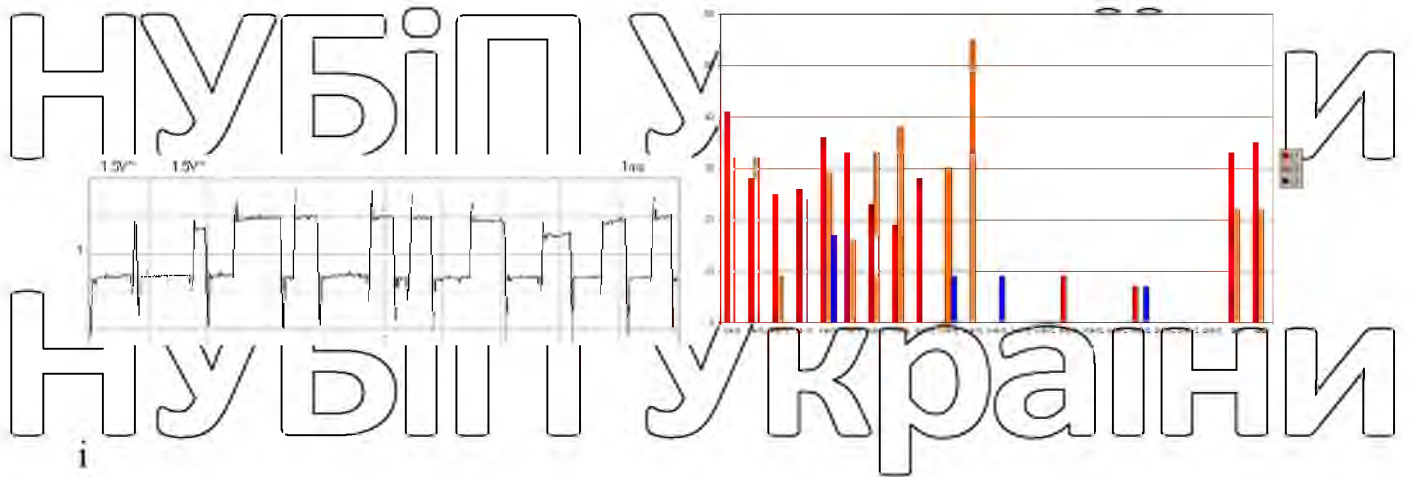


Малюнок 5.6. Крива струму та результати спектрального аналізу при живленні асинхронного електродвигуна від тиристорного перетворювача напруги:

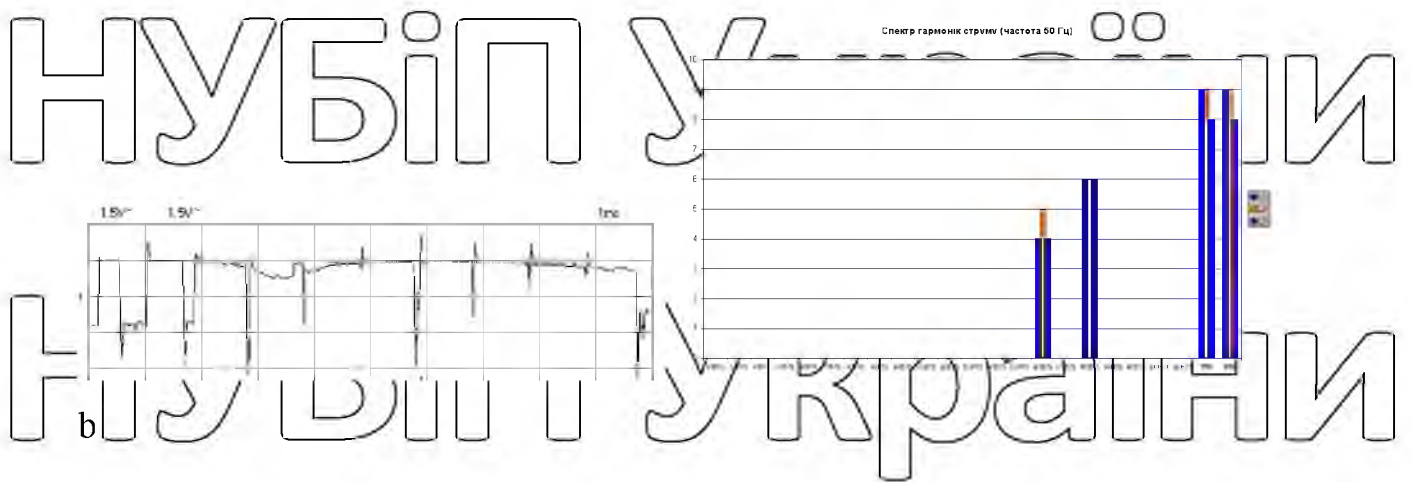
i – 160 В; b – 380 В

Крива струму в мережі при живленні двигуна від перетворювача частоти струму та результати спектрального аналізу (рисунок 5.7) показали, що при частоті струму до 20 Гц присутні друга-дванадцята гармоніки, від 20 до 35 Гц - від третьої до вісімнадцятої і двадцять першої гармонік, понад 35 Гц - шістнадцятої і вісімнадцятої гармонік. Отже, чим вища частота струму, тим менше він містить вищих гармонік.

Спектр гармонік струму (частота 10 Гц)



Спектр гармонік струму (частота 60 Гц)



Малюнок 5.7. Криві струка при живленні асинхронного електродвигуна від перетворювача частоти

а – 10 Гц; б – 60 Гц

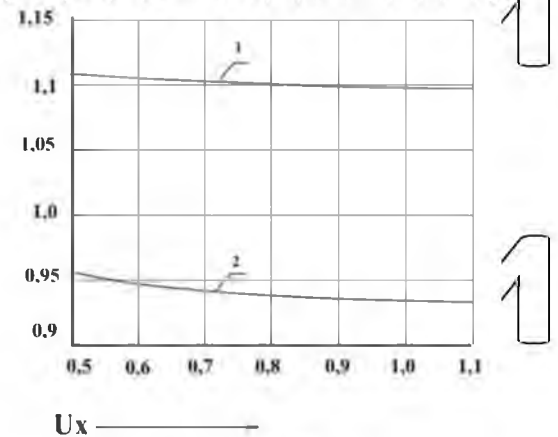
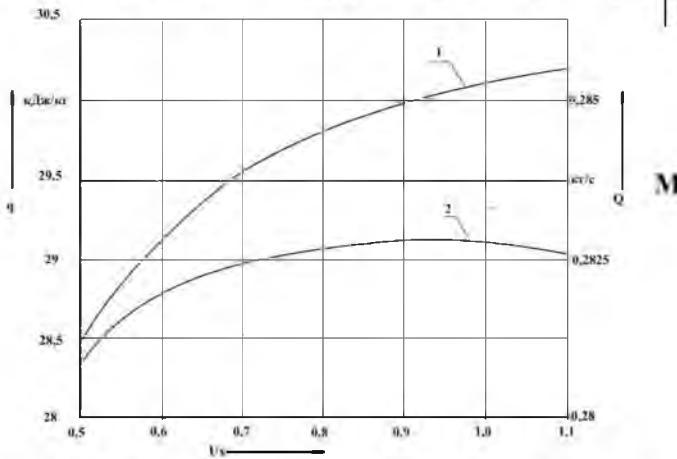
Встановлено, що при зниженні напруги на 20 % продуктивність насосів і вентиляторів зменшується до 3 %, тиск – до 5, потужність – до 9 %, а при зменшенні частоти струму на 2 % їхня насосна продуктивність, а вентилятори змінюються на 2%, тиск - на 4, потужність - на 6%.

Деякі машини (наприклад, подрібнювачі та кормозмішувачі) мають нелінійну технологічну характеристику.

Проведено експериментальні дослідження зміни продуктивності, питомої енерговитрати та подрібнювального модуля ударної дробарки КДУ-2 з перерахунком напруги та відхилення частоти струму.

Встановлено, що продуктивність дробарки зменшується як при збільшенні напруги, так і при зниженні напруги від номінального (рис. 5.8).

При зниженні напруги питома енерговитрата зменшується, одночасно збільшується модуль помелу. При підвищенні напруги зростає питома енерговитрата, що не призводить до збільшення продуктивності дробарки, а лише створює надмірне подрібнення продукту (рисунок 5.9).



Малюнок 5.8. Залежності питомої енерговитрати (1) і продуктивності (2) подрібнювача КДУ-2 від напруги для сіна конюшини.

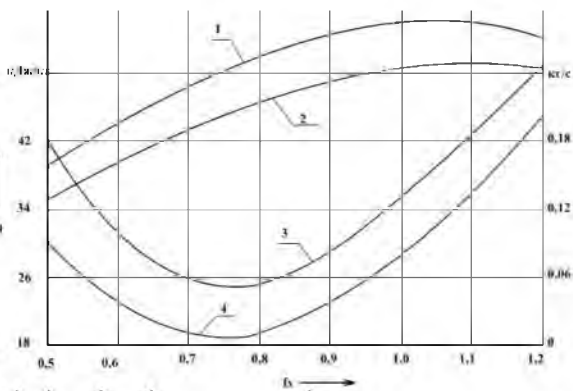
Малюнок 5.9. Залежності подрібнювального модуля дробарки від напруги: 1 – сіно люпину; 2 – сіно

Збільшення частоти струму до 0,75 від номінального призводить до майже лінійного збільшення продуктивності дробарки (рисунок 5.10). При цьому зменшується питома енерговитрата і модуль подрібнення (рисунок 5.11).

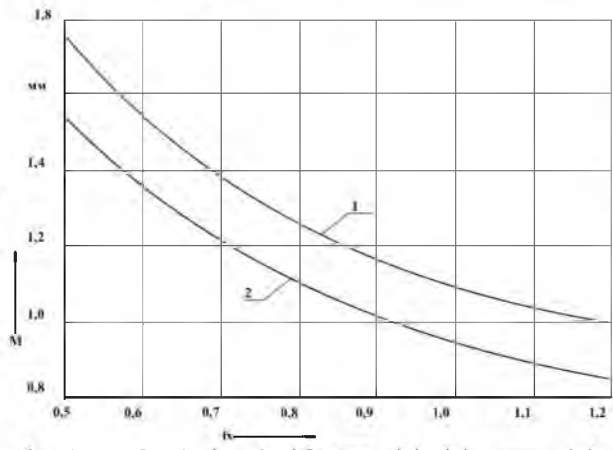
При подальшому збільшенні частоти струму в межах 0,75 - 1,0 від номінального значення продуктивність дробарки зростає нелінійно, але меншою швидкістю, ніж у попередній період. При цьому питома енерговитрати зростають, а модуль помелу нелінійно зменшується. Збільшення частоти

струму вище номінального призводить до зниження продуктивності дробарки, збільшення питомих енерговитрат і погіршення якості помелу.

Так, на основі проведених досліджень встановлено, що при зниженні напруги на 20 % і частоти струму на 2 % продуктивність дробарок знижується до 2 %. При цьому знижується питома енерговитрата і збільшується модуль помелу. Використання частотно-регульованих приводів дозволяє підтримувати найбільш сприятливий для робочого процесу режим роботи дробарки.



Малюнок 5.10. Залежності продуктивності подрібнювача КДУ-2 (1.2) та питомої енерговитрати (3.4) від частоти струму: 1.4 – сіно люпину; 2,3 – сіно конюшини



Малюнок 5.11. Залежності подрібнювального модуля дробарки від напруги: 1 – сіно люпину; 2 - сіно конюшини

У скажених і шнекових конвеєрах момент статичного опору зменшується зі збільшенням кутової швидкості ($\alpha = -1$) [19]. Тоді рівняння (4) має вигляд:

$$v_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{сн} - M_0)\omega_*}{B_0(\omega_0 - \omega_n\omega_*)}} = \sqrt{\frac{M_{сн} - M_0(1 - \omega_*)}{B_0(\omega_0\omega_* - \omega_n\omega_*^2)}} \quad (5.11)$$

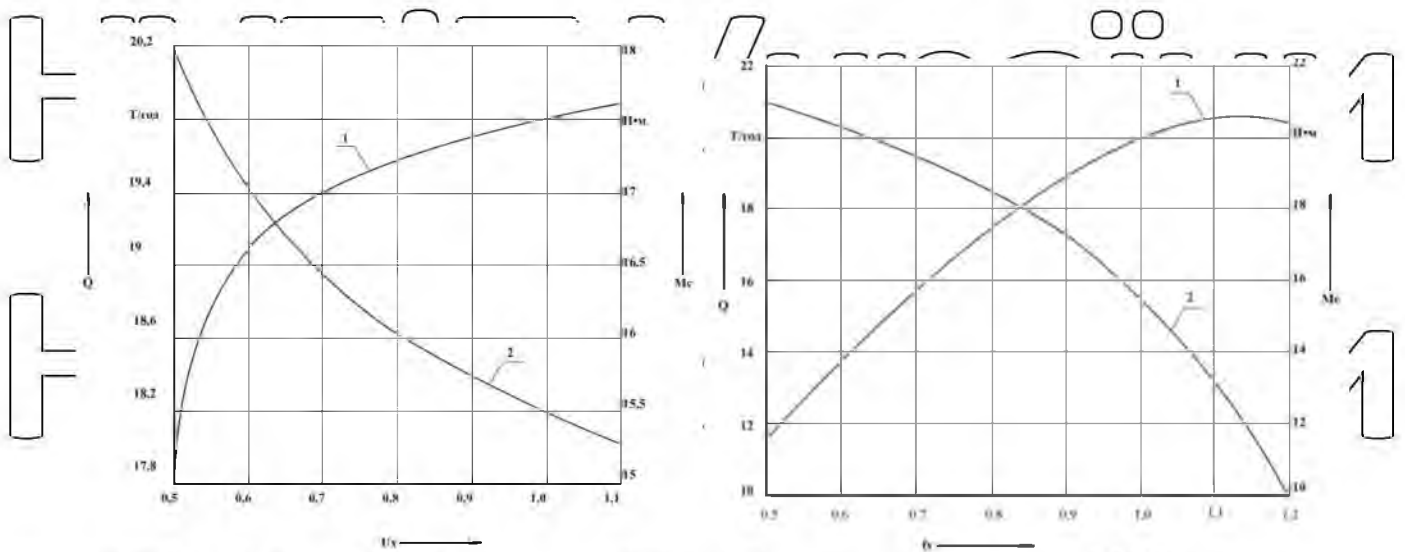
Якщо знехтувати початковим моментом ($M_0 \approx 0$), то отримаємо:

$$v_* = \sqrt{\frac{K_3 s_n}{s \omega_*}} = \sqrt{\frac{K_3 s_n (1 - s_n)}{s(1 - s)}} \quad (5.12)$$

Як впливає з виразу (5.12), кутова швидкість машин з гіперболічними механічними властивостями змінюється за складним алгоритмом при зміні напруги. Зі зменшенням напруги в норії продуктивність зменшується, а момент статичного опору збільшується за рахунок збільшення коефіцієнта наповнення ковшів (рисунок 5.12).

При збільшенні частоти струму до частоти струму, що перевищує номінальну на 10% ємність норії зростає нелінійно (рисунок 5.13). При подальшому збільшенні частоти струму він починає зменшуватися за рахунок зменшення коефіцієнта наповнення ковшів. Момент статичного опору норії нелінійно зменшується зі збільшенням частоти струму.

Так, на основі проведених досліджень встановлено, що при зниженні напруги на 20% продуктивність норії знижується до 2%. Коли частота струму зменшується на 2%, здатність до безумства знижується до 2%.



Малюнок 5.12. Залежності продуктивності (1) і моменту статичного опору (2) норії НЗ-20 від напруги

Малюнок 5.13. Залежності ємності (1) і моменту статичного опору (2) приводу ГЗ-20 від частоти струму

РОЗДІЛ 6

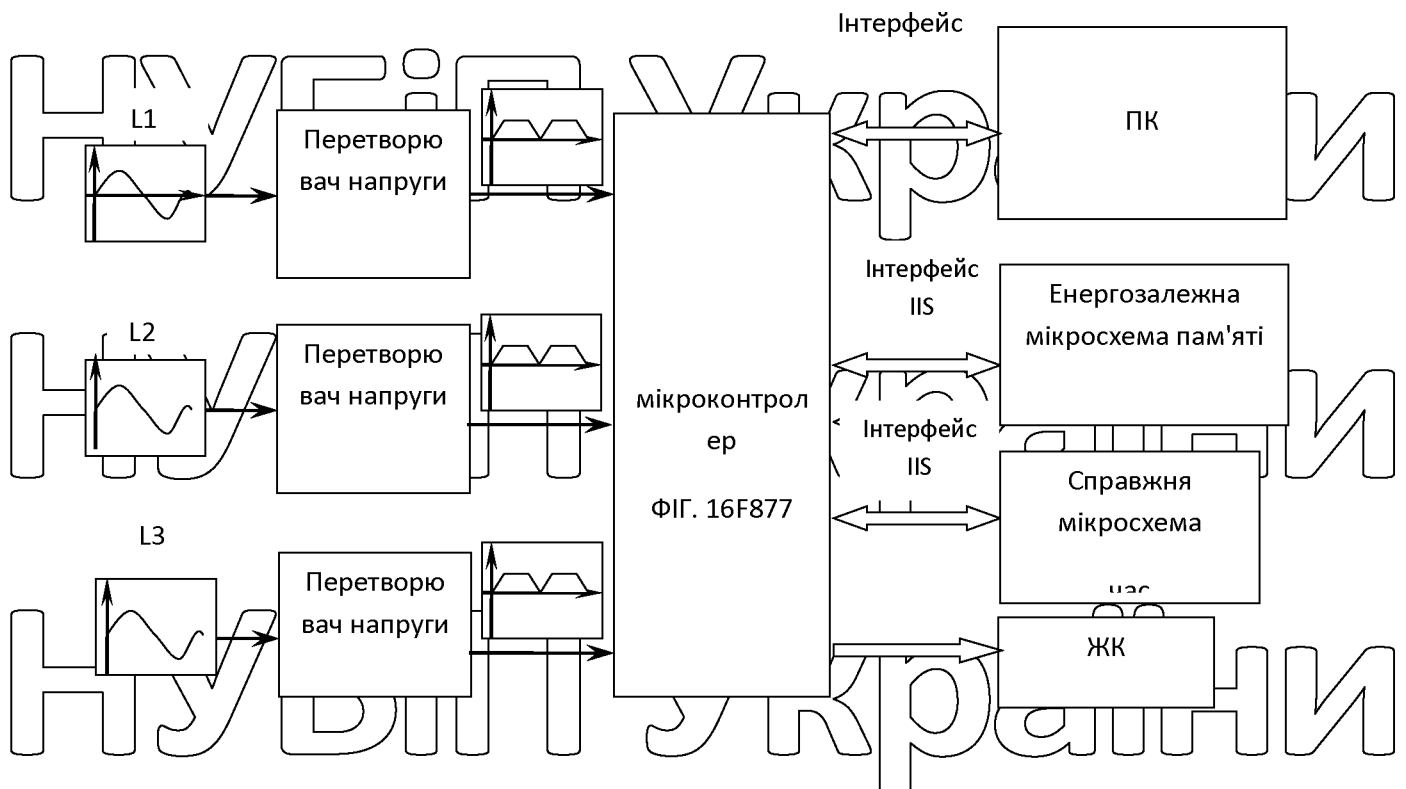
РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ НАПРУГИ ТА РОЗРАХУНКУ ПЕРЕБИВ ПРИ ЕЛЕКТРОПУСКІ

Спеціалізованими приладами для моніторингу та реєстрації перебоїв у електропостачанні є універсальні лічильники, реєстратори, аналізатори якості електроенергії з відповідною функцією [41].

Для повнообслуговуваних малих підприємств рекомендується встановити недорогий і надійний прилад для контролю напруги та обліку перебоїв з електропостачанням.

Пристрій контролю напруги та обліку перебоїв в електроустановці повинен забезпечувати виконання таких основних функцій. Контролювати рівень робочої напруги в мережі в режимі реального часу. При зникненні напруги прилад повинен зафіксувати час і дату цих подій, а після досягнення певного порогового значення зафіксувати час і дату появи напруги. На підставі цих подинних показань потім визначається тривалість відключень електроенергії та їх кількість.

Структурна схема пристрою наведена на рисунку 6.1.



Малюнок 6.1. Структурна схема приладу для контролю напруги та

врахування переривань в електроустановках

Для перевірки регулювання напруги та розрахунку напруги в електричному колі доцільно використовувати PIC-мікроконтролер.

Вхідним сигналом принтера є фазна напруга, виміряна в цих фазах. Для аналого-цифрового перетворення вхідного сигналу необхідно його виміряти і забезпечити діапазон зміни в межах від 0 до 5 В. Між граничним і замикаючим ланцюгом трансформатора напруги ТПП238 чується гальванічний зв'язок. Його внутрішня обмотка підключена до входу діодного джерела живлення (DF08M), який здійснює двополуперіодне посилення сигналу напруги.

Позитивний дільник напруги ($R2=56 \text{ кОм}$, $R4=8,8 \text{ кОм}$) масштабує сигнал вихідної потужності діода в межах 0...5 В.

Напруга живлення мікросхеми $5\text{В} \pm 5\%$ забезпечується блоком живлення.

Акумулятор (4,5 В) залишається включеним при вимкненому живленні МК.

Для визначення часу серцевини, необхідного для інтерпретації моментів зникнення та появи напруги на межі мікропористої мікроструктури серцевини сердечника МК41Т56. Для обліку відключень електроенергії створена енергозалежна пам'ять - мікросхема EEPROM.

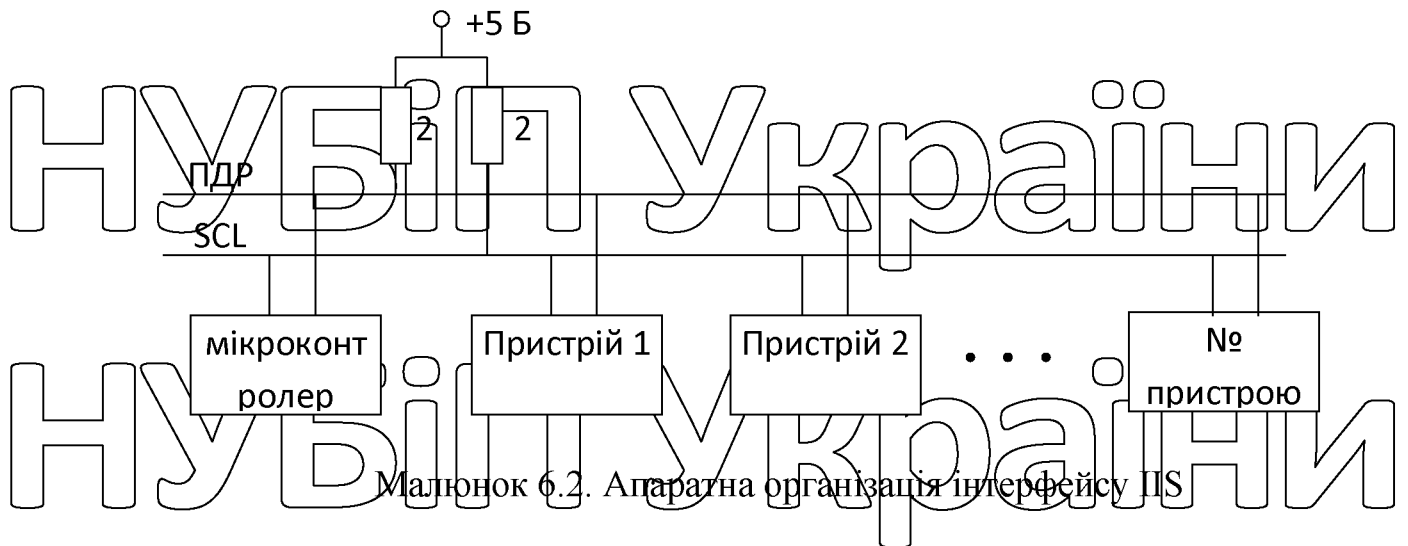
Так звані мікрофони мають вбудований комунікаційний інтерфейс ІС (Inter Interchange Circuit). Насправді він представлений у вигляді двох ліній (рис. 4.2): SCL — це тактовий сигнал (синхронізація), а SDA — лінія даних.

Обидві лінії підключаються до напруги живлення за допомогою перемичок.

Пристрій, який генерує тактові сигнали на шині SCL є головним, а пристрій, який їх приймає, є підлеглим. Пристроєм, який передає дані по шині SDA, є передавач, а пристроєм, що їх приймає, є приймач.

Мікроконтролер має вбудований модуль MSSP, який забезпечує обмін режимами ІС. Його використання значно полегшує проведення обмінних операцій, оскільки значна частина операцій виконується автоматично (без участі програм).

Мікросхема пам'яті являє собою оперативну пам'ять з 64 однобайтними комітками RAM. Її перші цифри мають спеціальну позначку для відліку повної години, другі цифри можна копіювати як завгодно.



Малюнок 6.2. Апаратна організація інтерфейсу PS

Мікросхема пам'яті являє собою оперативну пам'ять з 64 однобайтними комітками RAM. Її перші цифри мають спеціальну позначку для відліку повної години, другі цифри можна копіювати як завгодно.

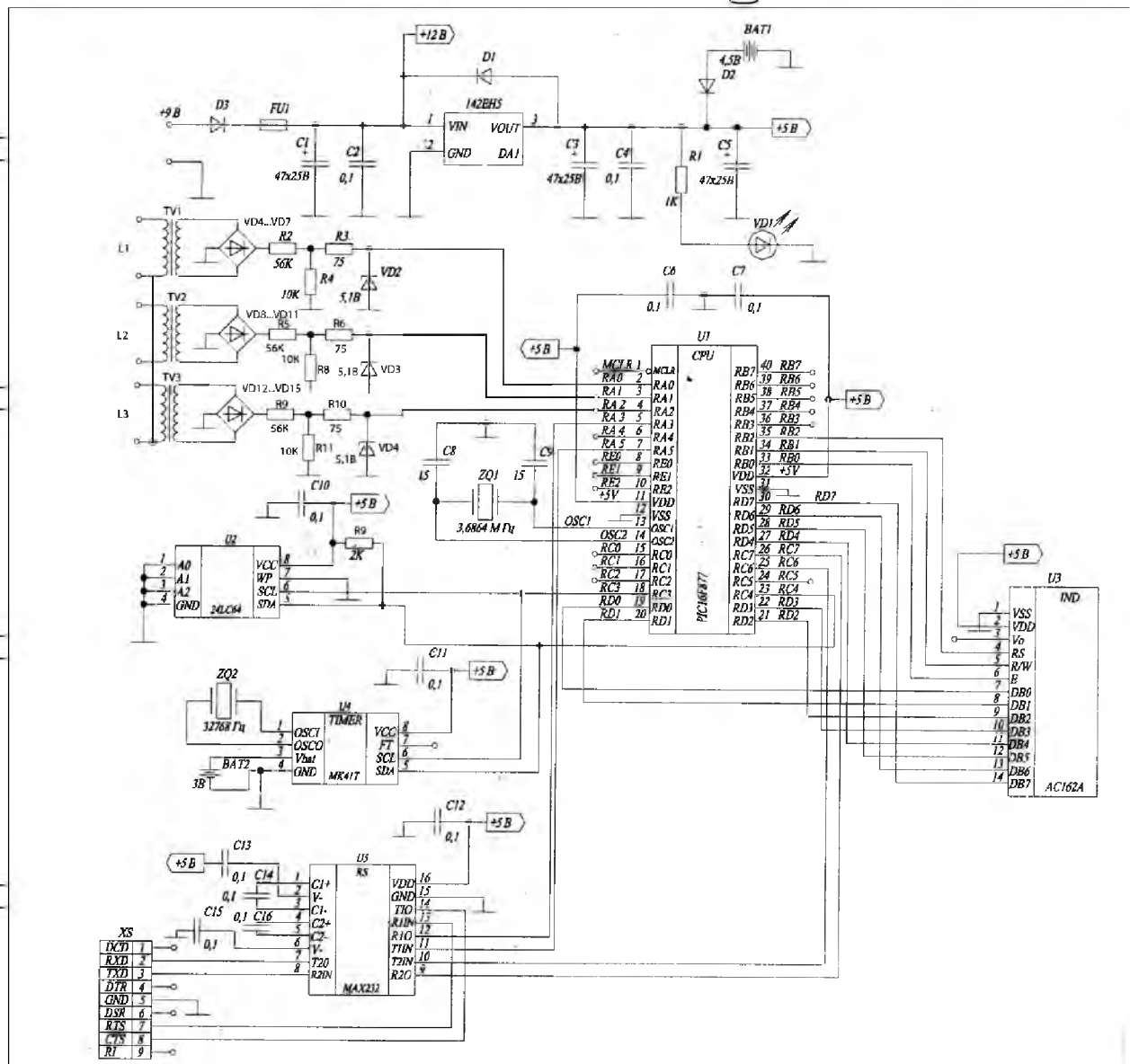
Мікросхема пам'яті типу EEPROM 24LC64, що залежить від живлення, має 8 кбайт енергонезалежної пам'яті. Якщо вимкнено, дані про живлення відповідають набору на 200 сторінок і можуть бути перезаписані для 1 мільйона сторінок. Мікросхема пам'яті EEPROM обмінюється даними з інтерфейсом ІС як по дроту. Мікросхема пам'яті 24LC64 має 7-розрядну адресу 1010000.

Індикація поточного часу, рівня поточної напруги на межі і кількості відключень електроенергії в поточний момент здійснюється кварцевим індикатором. Індикатор Amptek AC162AUJLU-H оптимальний за продуктивністю (2 рядки по 16 символів), сумісності мікросхем (напруга живлення 5 В) і ціною.

Послідовний інтерфейс RS-232C використовується для обміну даними між мікрокомп'ютером і персональним комп'ютером (ПК). Обмін через RS-232C здійснюється за допомогою спеціально призначених для цього повідомлень COM1, COM2, COM3, COM4. Є спеціальний модуль USART і спеціальний

мікрочіп ST232BN для асинхронно-асинхронної передачі або передачі даних в полі мікрокомп'ютера. Роботу модуля забезпечує спеціальний рег TXSTA, RCSTA, SPBRG. Вони задають спосіб і швидкість обміну даними. Дані, що передаються на персональний комп'ютер, повинні бути записані в реєстр TXREG. Інформація, яка приймається, знаходиться на сторінці RCREG.

Спрощена головна електрична схема з контролем відхилення напруги та розрахунком похибок електричного струму наведена на рисунку 6.3.



Малюнок 6.3. Основна електрична схема, що показує контроль відхилення напруги та облік несправностей в електротехніці

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) мікроконтролера генерує цифровий код, який відповідає всьому аналоговому сигналу в усіх трьох фазах.

Мікроконтролер наповнює його певним головним напруженням. Кількість опитувань за півциклу (10 м) – двадцять сторінок.

Якщо напруга на всіх цих фазах менше критичного значення (відповідного події відключення напруги), то мікроконтролер сповіщає мікросхему повного годинника (МК41Т56), визначає час і дату події та видає інформацію про час і дату відключення живлення мікросхеми енергозалежної пам'яті (мікросхема EPROM типу 24LC64). Обмін даними з мікрокомп'ютером відбувається через інтерфейс ІІС. При появі напруги живлення мікроконтролер знову опитує АЦП. Коли сигнал досягає встановленого значення, цикл починається знову і з'являється напруга живлення.

Програма для мікрокомп'ютера написана на мові програмування Assembler низького рівня на платформі MPLAB IDE for Windows/16.5.70.40 (рис. 6.4).

Зчитування даних реєстратора з електронно-залежної пам'яті PCORE здійснюється за допомогою комп'ютерних програм, написаних на мові Borland C++ Builder 6 високого рівня.

```

MPLAB IDE
File Project Edit Debug PICSTART Plus Options Tools Window Help

c:\1work\myipl\pasm
list p=16F877
#include p16F877.inc

__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _XT_OSC & _LUP_OFF & _BODEN_

BANK0 MACRO
    BCF STATUS,5
    BCF STATUS,6
ENDM

BANK1 MACRO
    BSF STATUS,5
    BCF STATUS,6
ENDM

BANK2 MACRO
    BCF STATUS,5
    BSF STATUS,6
ENDM

BANK3 MACRO
    BSF STATUS,5
    BSF STATUS,6
ENDM

HI_INP MACRO
    BANK1
    MOVLW B'11111111'
    MOVWF TRISD
    BANK0

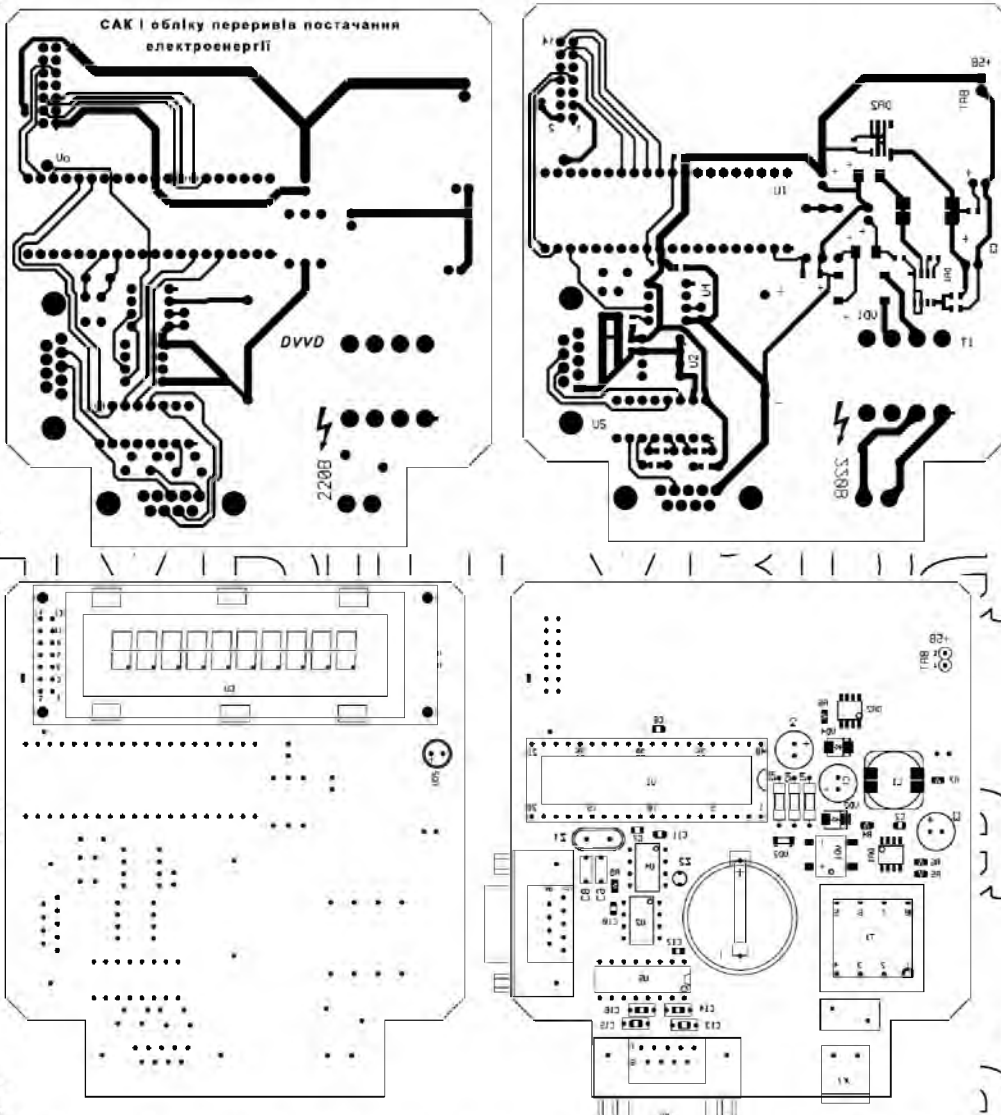
```

Address	Symbol	Value
64	adr_h	H' 00'
65	adr_l	H' 00'
1E	ADDRESS	H' 00'
69	AdrLC_L	H' 00'
68	AdrLC_H	H' 00'
3C	AMOUNT	H' 00'
3D	amount_temp	H' 00'
21	COUNT	H' 00'
22	COUNT1	H' 00'
23	COUNT3	H' 00'
24	COUNT4	H' 00'
25	COUNT9	H' 00'
66	digit_ten	H' 00'
67	digit_unit	H' 00'
4A	FLAG	H' 00'
0A	FlagSetTime Cannot Locate Sy	
04	fsr	H' 00'
55	HI_int	H' 00'
5D	HI_vo1	H' 00'
61	HSD	H' 00'
0A	INTCON	H' 00'
56	LOW_int	H' 00'

Status: CheckCommPort<FFFB>:cmd<0:0>
COM1 = 1520C = Minimum & Watch windo
Reconnect Program Options...

Малюнок 6.4. Вікно інтерфейсу програмного забезпечення MPLAB IDE

для Windows/16 5.70.40



малюнок 6.5. Друковані схеми для контролю відхилень напруги та обліку

електронного друку

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 7

ВИЗНАЧЕННЯ ЗБИТКУ ЗА ВІДХИЛЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Відхилення показників якості електроенергії від нормованих значень призводить до негативних наслідків - виникають пошкодження через порушення нормального перебігу технологічних процесів, скорочується термін служби електрообладнання, збільшуються витрати і втрати електроенергії, виникають аварійні ситуації. .

Найчастіше використовуються оцінки вартості якості електропостачання. У літературі та методичних рекомендаціях розглядаються різні підходи до розрахунку збитків. Нормативними документами визначено відшкодування втрат у вигляді знижок – надбавок до тарифу за зниження надійності електропостачання та якості електроенергії. а такого відшкодування збитків немає відповідає реальним збиткам і не враховує різноманіття галузей, продукції, що випускається, та інших факторів, які впливають на рівень втрат.

Найбільшою проблемою є представлення розрахунок збитку споживача тому щов цьому випадку необхідно враховувати технологічні особливості виробництва. Збиток споживача складається з двох частин: електротехнічна та технологічна складова. Електрична складова базується на функціональному описі показників системи та може бути розрахована. Показники технологічної складової визначено шляхом апроксимаційних залежностей за емпіричними даними. Інші порушення в роботі партнерів викликають або продовження тривалості припинення електропостачання або до погіршення якості електроенергії або не впливають на економічні показники діяльності споживача.

У загальній величині втрат сільського споживача 96 ... 100% складають втрати за рахунок втрат продукції, а менше 4% - витрати праці при ручному виконанні технологічних операцій [21]. Крім того, зменшується частка ручної роботи [11], відповідно зменшуються витрати на виконання ручних операцій

під час відключень електроенергії та збільшуються збитки через втрати продукції. Тому найважливішим є визначення шкоди через втрати продукції.

За словами А.І. Коршунова, неприпустимо оцінювати втрати споживачів у вигляді спеціального показника на одиницю недовідпущеної електроенергії, «розмір штрафів має залежати від втрат споживачів». «...Найнадійніший спосіб оцінити пошкодження – безпосереднє вимірювання при кожному зламі на окремому об'єкті». [22].

Навіть у методичних рекомендаціях щодо визначення збитків у сільськогосподарському виробництві від збоїв у електропостачанні, виданих VIESG (1974), наголошується, що збитки від збоїв у електропостачанні повинні визначатися для конкретних умов кожного господарства. Збиток складається з двох складових: основної, зумовленої недовикористанням основних фондів підприємства, а також зниженням продуктивності тварин, та додаткової, спричиненої псуванням сировини, готової продукції. і обладнання, зменшені на вартість недопоставленої електроенергії [23].

У роботі [24] збитки від перебоїв у електропостачанні сільських споживачів оцінені у вигляді некомплектної продукції. Водночас слід зазначити, що при розрахунку збитку споживача через припинення електропостачання суму недоотриманої продукції необхідно додати до вартості життя тварини.

Результати фізіологічних досліджень, дані про зміну параметрів мікроклімату дозволили визначити реакцію тварин і рослин на зміни навколишнього середовища під час перебоїв у електропостачанні. Вони знайшли своє відображення в методичних рекомендаціях щодо оцінки збитків при виході з ладу електрообладнання [25], де наведені типомі втрати продукції при відключенні електроенергії в окремих технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. Конкретні показники виражаються як частка середньодобового обсягу виробництва і можуть бути використані в будь-якій моделі для розрахунку втрат виробництва від тривалості відключення електроенергії.

Таким чином, на основі питомих втрат продукції при відключенні електроенергії в окремих технологічних процесах та з урахуванням ймовірності ймовірності збіг розриву з із питомий збиток підприємства визначається технологічним процесом і розрахунковими виробничими втратами в натуральних одиницях. Знаючи відпускну ціну готової продукції, не важко підрахувати збитки у вартісному виразі.

Ще складніше порахувати втрати через зниження якості електроенергії. В інструкції Главдерженергонагляду пропонуються методичні рекомендації щодо оцінки збитків від зниження якості електроенергії, призначені для енергопостачальних організацій і промислових споживачів. Одним з основних показників якості напруги є відхилення напруги. У методичних рекомендаціях показано порядок розрахунку втрат при відхиленні напруги внаслідок збільшення споживання електроенергії, втрат потужності в лініях і трансформаторах, внаслідок збільшення споживання реактивної потужності, скорочення ресурсу трансформаторів, асинхронних двигунів і ламп розжарювання. Але всі міркування орієнтовані на промислового споживача і не враховують специфіку сільськогосподарського виробництва.

Найбільш детально особливості розрахунку втрат сільськогосподарських споживачів від відхилень напруги розглянуто в працях С. П. Кучера [26]. Школа, заподіяна тваринницьким комплексом при нарузі, відмінній від номінальної, враховується у вигляді суми прямого і додаткового збитку. Пряма складова визначається як сума втрат від надмірного споживання активної та реактивної потужності та втрат, пов'язаних зі скороченням ресурсу електроприймачів. Додаткова складова виражається в зниженні продуктивності тварин і втрат продукції за рахунок зміни продуктивності окремих технологічних ліній і апаратів.

Результати досліджень С. П. Кучера знайшли відображення в методичних рекомендаціях VIESG [23], де наведено залежність технологічних показників від технічних характеристик електроприймачів. Ця інформація дає можливість отримати залежність зміни технологічних показників при відхиленнях напруги.

На другому етапі за підсумками|за результатами| аналіз технологічних прийомів, кількісного та якісного складу електрообладнання типових компаніях вивчається технічна інформація про способи її функціонування, розраховуються абсолютні значення різних складових збитків для кожного типу компанії. На основі матриці абсолютних значень складових втрат за цими параметрами змодельовано узагальнені залежності основних втрат типових сільськогосподарських підприємств.

Моделі, наведені в рекомендаціях VIESG, призначені для установок і електрообладнання, які були вироблені в 70-х роках минулого століття і сьогодні практично не використовуються. Вони вказуються тільки для великих тваринницьких і птахівничих ферм і комплексів. Дослідження пошкоджень проводилися лише для ефекту відхилення напруги. Крім того, деякі з наведених залежностей неадекватно відображають реальні процеси, що відбуваються в електроприводах сільськогосподарських машин. Тому цей метод зараз не можна використовувати.

Тому необхідно розробити нову методіку визначення втрат через відхилення показників якості електроенергії, яка б відповідала реаліям сучасного сільськогосподарського виробництва, сучасній системі машин та результатам наукових досліджень, проведених останніми роками, з урахуванням усіх цінностей попередніх досліджень.

При цьому слід враховувати, що державний стандарт якості напруги допускає його відхилення на затискачах електроприймачів у межах 5 % номіналу. Фактичне відхилення напруги може значно|суттєво| перевищує це значення, тому це викликає|уявляє| інтерес до вивчення впливу девіації напруги для роботи електроприймачів в 15-20%.

Компоненти шкоди для споживача є складними моделями, які залежать від багатьох факторів. Кожен з компонентів пошкодження може бути виражений у вигляді більш простої моделі, що описується невеликою кількістю параметрів. показники

Економічні втрати від неякісної електроенергії мають дві складові: електромагнітну та технологічну. Електромагнітна складова в основному визначається втратою робочої потужності та відповідною зміною терміну служби ізоляції електрообладнання. Технологічна складова втрат визначається

впливом якості електроенергії на продуктивність технологічних апаратів, тварин, урожайність сільськогосподарських рослин і собівартість виробленої продукції.

Розмір шкоди, завданої сільськогосподарським посівам раптовими перебоями в електропостачанні, залежить від часу і тривалості відключення, стадії виробничого циклу, кліматичних умов, а також від прийнятої технології та продуктивності тварин і рослин.

Технологічна складова втрат від живлення електродвигунів неякісною електроенергією включає втрати:

- від зниження продуктивності робочих машин;
- від зниження продуктивності тварин і птиці;
- проти хвороб, загибелі тварин і птиці та їх передчасної ліквідації;
- через зниження продуктивності і загибелі кімнатних рослин;
- через зростання втрат при зберіганні продукції;
- внаслідок псування сировини та готової продукції;
- через випуск продукції низької якості.

Залежно від поставлених цілей і методу розрахунку розрізняють фактичні збитки та математичне очікування збитків. Фактичні збитки підраховуються на підприємстві за наявності даних про розмір втрат продукції. Математичне сподівання втрат розраховується за відсутності такої інформації, тобто у разі неможливості точного вимірювання кількості недоотриманої продукції, а також при виборі схеми електропостачання з урахуванням надійності.

Величину фактичних втрат від живлення електроприводів сільськогосподарських машин неякісною електроенергією Зел. пост. грн з урахуванням рекомендацій [24, 25] можна визначити за формулою:

Зелене оголошення = продаж целюлози+ $Zs.g.prod + Zvtr + Zzagyb + Ill + Zakt +$

$Zreak + Zsluzh + Do - Zw$ (7.1)
де реалізація целюлози - втрати через зниження продуктивності робочої машини;

$Ss.g.prod$ -втрати через брак продукції;

Відповідь -втрати внаслідок псування та безповоротних втрат сировини, напівфабрикатів, готової продукції та виготовлення продукції зниженої якості, *втрачений* -збитки внаслідок загибелі тварин або рослин;

Захворювання - втрати внаслідок хвороб і передчасного вибуття тварин;

Закт -втрати внаслідок зміни енергоємності праці;
Zreak -втрати внаслідок зміни споживаної реактивної потужності;
обслуговування -втрати через зміну ресурсу електродвигуна;

Оплата праці - витрати на доплату основних і тимчасово зайнятих працівників;

Zw -зменшення втрат на суму вартості невикористаної електроенергії при припиненні електропостачання.
Пошкодження внаслідок зниження продуктивності робочої машини

Продається Маши, розраховуються за формулою:

$$Zprod\ маш = Qn(1 - Q^*) Ts \cdot t, \quad (7,2)$$

де Qn - номінальна продуктивність робочої машини;
 Q^* - продуктивність робочої машини за відхиленням показника якості електроенергії у відносних одиницях;

C -ціна одиниці продукції, виробленої за цим механізмом;

t - час, за який визначаються втрати
Збитки від недовиробництва продукції $Zs.g.prod$ розраховуються, виходячи з обсягу фактично недоотриманої продукції.

$$Zs.g.prod = C \cdot \Delta P, \quad (7.3)$$

де C - закупівельна ціна одиниці продукту (м'яса, молока, овочів тощо);
 ΔP - обсяг фактично недоотриманої продукції.

При надходженні продукції зниженої якості, яку можна реалізувати за нижчою ціною, виникають збитки внаслідок зниження закупівельних цін:

$$Z_{vtr} = Pz(C - Cz),$$

де Pz – кількість вивільненої неповноцінної продукції, натуральних одиниць;
 Tz – закупівельна ціна неякісної продукції.

Збитки від вибракування тварин включають недоотриманий прибуток від реалізації продукції майбутніх періодів.

$$Z_{zmvap} = \sum (C' - C) \cdot Pni2, \quad (7.5)$$

а в разі їх смерті збитки складаються з вартості фактично втраченої продукції та неотриманої продукції майбутніх періодів

$$Z_{zagib tv} = \sum Tsi Pni1 + (C - C') Pni2, \quad (7.6)$$

де $Pni1$ – обсяг продукції, отриманої до загибелі тварини i -ї вікової групи (маса тварини), натуральної одиниці;

$Pni2$ – обсяг неотриманої продукції майбутніх періодів від загиблих або вибутих тварин i -ї вікової групи, натуральної одиниці;

ti – ціна продукції, отриманої від тварин i вікової групи, грн.;

C – собівартість виробництва повноцінної продукції, грн.

Втрати внаслідок загибелі рослин втрачаються дорівнюють вартості незавершеної продукції

$$P_{ri smertnosti} = \sum Ck \cdot Pnk \cdot Sk, \quad (7.7)$$

де Ck – ціна повного врожаю, грн.;

Pnk – обсяг незавершеної продукції з k м² внаслідок загибелі культури, природних од.;

Sk – площа, що звільнилася внаслідок загибелі культури, м².

Втрати від зміни споживаної електроприводом робочої потужності Z_{ekt} визначаються за формулою:

$$\Delta P_{ekt} = (\Delta P - \Delta P_{н}) \cdot t, \quad (7.8)$$

де ΔP – втрата робочої потужності в електродвигуні при відхиленні показника якості електроенергії від номінального значення;

$\Delta P_{н}$ – втрата робочої потужності в електродвигуні при номінальному значенні показника якості електроенергії;

t – тариф на електроенергію, грн./кВт*год

Формули для визначення втрат потужності в електродвигунах наведено в

розділі

Додаткові втрати потужності за рахунок струмів вищої гармонічної складової I_v визначаються за формулою:

$$\Delta P_v = 3I_v^2(R_1 + R_2'), \quad (7.9)$$

де R_1 - активний опір обмотки статора, R_2' - активний опір обмотки ротора, зменшений обмоткою статора на $f_2 \approx n f_1$.

Додатковий струм, створений гармонічною складовою, буде: напругою

$$I_v = \frac{U_v}{U_{1n}} \frac{I_{1кз}}{v}, \quad (7.10)$$

де U_v - v -та гармоніка напруги, $I_{1кз}$ - струм короткого замикання:

$$I_{1кз} \approx \frac{U_{1n}}{x_k}, \quad (7.11)$$

де $x_k = x_1 + x_2'$.

Загальні додаткові електричні втрати в обмотках машини отримують підсумовуванням втрат ΔP_v від усіх гармонік струму

Втрати від зміни споживаної електроприводом реактивної потужності

$Z_{реак}$

$$P_{реактивна} = (Q - Q_n) \cdot c \cdot t \cdot k_{zv}, \quad (7.12)$$

де Q - реактивна потужність, споживана електродвигуном при відхиленні показника якості електроенергії від номінального;

Q_n - реактивна потужність, споживана електродвигуном при номінальному значенні показника якості електроенергії;

c - тариф на електроенергію, грн./кВт·год;

vi - коефіцієнт зміни втрат, кВт/кВАр.

При розрахунку можна прийняти, що кожен відсоток збільшення напруги споживання електроенергії супроводжується збільшенням реактивної потужності двигуна на 3%.

Втрати від зміни ресурсу електродвигуна $Z_{слух}$ визначають за формулою:

$$Z_{слух} = 1,2 k_p T_{sd}(R-I), \quad (7.13)$$

де $1,2$ – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати на монтаж і демонтаж обладнання; k_p – коефіцієнт перерахунку преїскурантів у поточні ціни; $Цд$ – ціна електродвигуна за преїскурантом; R – коефіцієнт, що залежить від величини і знака відхилення напруги і коефіцієнта завантаження електродвигуна:

$$R = (1 + 47\delta U^2 - 7,55 \delta U) m^2 \text{ при } -0,2 \leq \delta U < 0, \quad (7.14)$$

$$R = m^2 \text{ при } 0 < \delta U \leq 0,2, \quad (7.15)$$

де m – коефіцієнт навантаження двигуна.

Вартість невикористаної електроенергії під час перерви $3W$, грн

$$3W = b_e W \tau, \quad (7.16)$$

де W – середньогодинна витрата електроенергії, кВт*год;

τ – тривалість припинення електропостачання, год.

Зміна технічних характеристик електроприймачів, коли показники якості електроенергії відхиляються від номінальних значень, викликають зміну факторів|чинників| зовнішнього середовища, утвореного електроприймачами.

Такі фактори|чинники| зовнішнього середовища, які безпосередньо впливають на організм тварини, є освітлення, температура і вологість повітря у тваринницьких приміщеннях|приміщенні| у теплицях температуру питної води, освітленість приміщень, дозу ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання та електрообігрів. Біологічні дослідження, проведені різними

авторами, показали, що зовнішні фактори|чинники| залежить від зміни їх фізіологічного стану тварин і рослин|достатності|. Погіршення зоотехнічних і агротехнічних показників продукції,

Технологічна складова втрат при відхиленні показників якості електроенергії містить дві складові: за рахунок зниження продуктивності тварин і за рахунок перевитрати кормів.

$$Z_{с.з.прод} = Z_{прод} + Z_{корм}. \quad (7.17)$$

де $Z_{\text{прод}}$ - втрати внаслідок зниження продуктивності тварин або врожайності рослин; $K_{\text{корм}}$ - втрати внаслідок зміни споживання кормів тваринами при відхиленні показників якості електроенергії на затискачах технологічного обладнання.

Обидві складові технологічної складової втрат визначаються кількістю недозбутої продукції, зміною коефіцієнта збереження та зміною споживання кормів тваринами. Шкода внаслідок зниження продуктивності тварин або врожайності рослин у разі відхилення показників якості електроенергії на кінцевих технологічних устаткуваннях|обладнанні| визначаються за формулою (3), а втрати від перевитрати корму при порушенні технологічного режиму визначають аналогічно:

$$Z_{\text{корм}} = C_{\text{к}} \cdot \Delta K, \quad (7,18)$$

де $T_{\text{ск}}$ – ціна 1 т кормової одиниці, грн/т; ΔK - наднормативне споживання корму тваринами при порушенні технологічного процесу вирощування та відгодівлі тварин при відхиленні показника якості електроенергії, ц/к

При визначенні технологічної складової втрат необхідно знати аналітичний вираз залежності продуктивності тварин або врожайності сільськогосподарських культур від показників якості електроенергії для окремих технологічних виробництв. З цією метою ВІЕСГ С. Н. Кучер проаналізував та узагальнив результати біологічних досліджень і отримав усереднені криві зміни зоотехнічних показників виробництва за впливом зовнішніх факторів, які апроксимуються поліномами виду [4]:

$$H(\Phi) = a_0 \Phi^2 + a_1 \Phi + a_2, \quad (7,19)$$

де Φ – зовнішній фактор, що залежить від якості роботи електрифікованого технологічного обладнання.

Зміна зоотехнічного показника або врожайності сільськогосподарських культур пов'язана зі зміною зовнішніх факторів, залежно від:

$$\Delta H(\Phi) = a_0 (\Delta \Phi)^2. \quad (7,20)$$

Значення коефіцієнта для деяких технологічних процесів наведено в таблиці.

1. Визначивши залежність зовнішнього фактора від показника якості електроенергії, можна отримати аналітичні залежності зміни продуктивності тварин і врожайності сільськогосподарських культур при відхиленні відповідного показника якості електроенергії від номінального значення та визначити відповідні технологічні втрати.

Головний фактор, що впливає на продуктивність молодняка, птиці є рослиннимікроклімат в приміщеннях.

У зимових теплицях опалення здійснюється трубчастою системою опалення. Теплоносій подається в систему опалення за допомогою насосів. Залежність температури повітря від входу в насос описується рівнянням:

$$\theta_e = \theta_z + \frac{c_m \Delta t}{3600 \cdot KF \eta_{огр} \eta_{инф}} Q, \quad (7,21)$$

де θ_e – температура повітря в теплиці; θ_z – температура зовнішнього повітря; c_m – питома теплоємність води, кДж/кг·°С; Δt – різниця температур теплоносія; K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² °С); F – площа теплиці, м²; $\eta_{огр}$ – коефіцієнт захисту від ризику; $\eta_{инф}$ – коефіцієнт інфільтрації; Q – витрата теплоносія, м³/год.

Зміна роботи насоса призведе до зміни температури в теплиці:

$$\Delta \theta_e = \frac{c_m \Delta t}{KF \eta_{огр} \eta_{инф}} \Delta Q, \quad (7,22)$$

або

$$\Delta \theta_e = \frac{c_m \Delta t Q_n}{KF \eta_{огр} \eta_{инф}} (1 - Q_*). \quad (7,23)$$

У тваринницьких приміщеннях для створення необхідного мікроклімату використовують вентиляційні установки. Залежність температури повітря від роботи вентилятора описується рівнянням:

$$\theta_6 = \theta_3 + \frac{q_m n}{C_v Q + q_0 V}, \quad (7,24)$$

де q_m – кількість вільного тепла, що виділяється однією твариною або птахом середньої маси за певний простір, кДж/год; n – кількість тварин або птиці в приміщенні, голів; C_v – питома об'ємна теплоємність повітря, кДж/(м³·град); Q – продуктивність, м³/год; q_0 – теплова характеристика приміщення, кДж/м³·стоп.·год; V – об'єм будівлі, м³.

Оскільки при зміні показників якості електроенергії потужність вентилятора змінюється в невеликих межах, то можна вважати, що

$$\Delta\theta_6 = \frac{\partial\theta_6}{\partial Q} \Delta Q. \quad (7,25)$$

Потім

$$\Delta\theta_6 = - \frac{C_v q_m n}{(C_v Q + q_0 V)^2} \Delta Q, \quad (7,26)$$

або

$$\Delta\theta_6 = - \frac{C_v Q_n q_m n}{(C_v Q + q_0 V)^2} (1 - Q_*). \quad (7,27)$$

В овочесховищах для підтримки певних технологічних параметрів овочесховища використовують вентиляційні установки. Залежність температури повітря від роботи вентилятора описується рівнянням:

$$\theta_6 = \theta_3 + \frac{q_{np} \cdot m_{np} - Q_{ог}}{C_v Q}, \quad (7,28)$$

де q_{np} – теплова потужність картоплі, кДж/год·т; m_{np} – маса картоплі, т; $Q_{ог}$ – витрати тепла через зовнішні огорожі, кДж/год.

Потім

$$\Delta\theta_6 = \frac{\partial\theta_6}{\partial Q} \Delta Q, \quad (7,29)$$

або

НУБІП УКРАЇНИ

$$\Delta\theta = \frac{Q_{np} \cdot t_{np}}{c \cdot Q_n} = Q_{ог} (1 - Q_*) \cdot (7,30)$$

На підставі отриманих аналітичних залежностей можна зробити висновок, що для пристроїв штучного мікроклімату при відхиленні показників якості електроенергії від номінальних має місце залежність:

НУБІП УКРАЇНИ

$$\Delta\Phi = b\Delta Q_n = bQ_n(1 - Q_*), (7,31)$$

Значення коефіцієнта для деяких сільськогосподарських приміщень, обладнаних пристроями для створення штучного мікроклімату, наведеними в табл. 7.1.

НУБІП УКРАЇНИ

Тоді залежність зміни продуктивності тварин або врожайності сільськогосподарських культур з урахуванням (20) матиме вигляд:

НУБІП УКРАЇНИ

$$\Delta\Pi = a_0 b^2 Q_n^2 (1 - Q_*)^2, (7,32)$$

або

$$\Delta\Pi = a(1 - Q_*)^2. (7,33)$$

Значення коефіцієнта для визначення технологічної складової втрат при відхиленні показників якості електроенергії від номінального значення наведено в табл. 7.1.

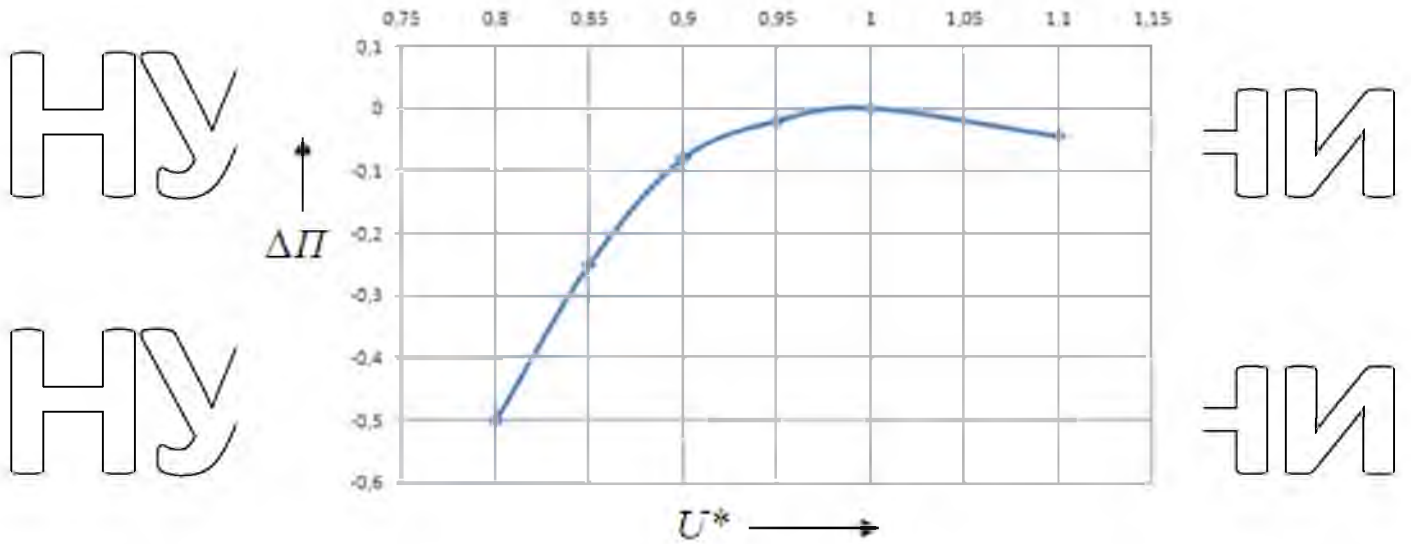
НУБІП УКРАЇНИ

Використовуючи залежність зміни продуктивності робочої машини від відхилення показника якості електроенергії та формулу (7.33), отримали залежність зміни продуктивності сільськогосподарських тварин, які наведені на рис. 7.1 і 7.2.

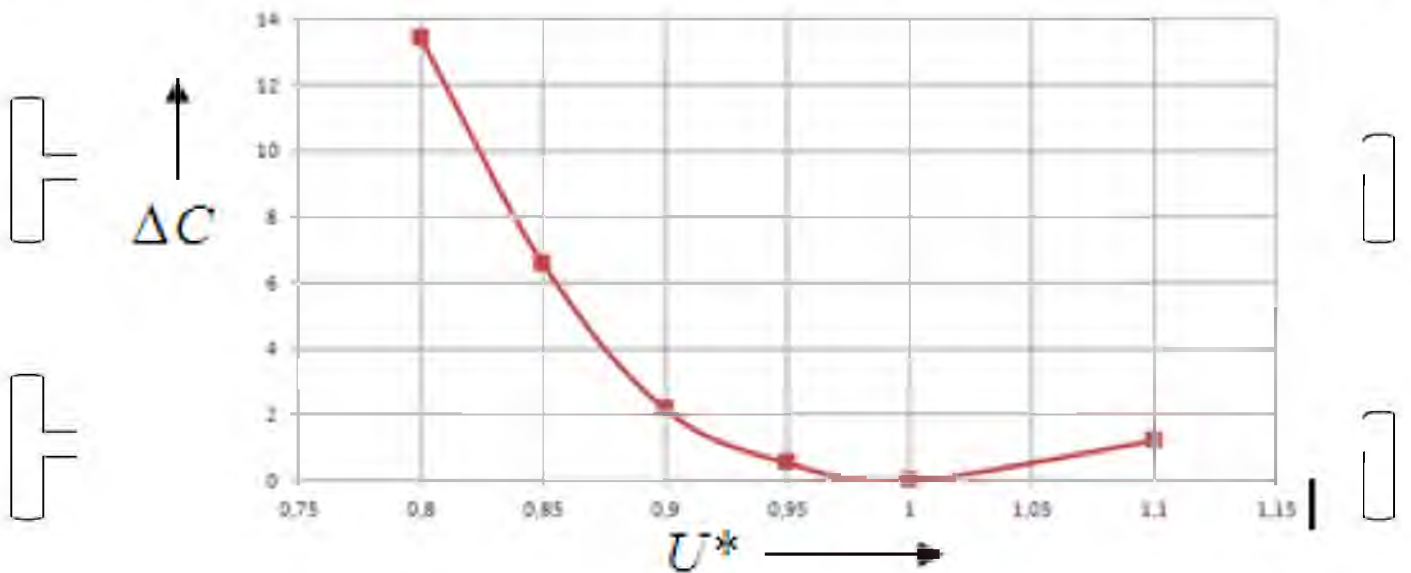
НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 7.1. Значення коефіцієнтів для розрахунку технологічної складової втрат при відхиленні показників якості електроенергії від номінального значення

Технологічна характеристика виробництва	Коефіцієнт a_0	Виробничі приміщення з пристроями для штучного мікроклімату	Коефіцієнт b	Коефіцієнт i
Молочна продуктивність корів	-0,03	Стійла для корів 400 голів	1.4	-50,18
Збільшення ваги телят	-0,3	Телятина домашня	0,9	-207,5
Приріст ваги свиней	-0,3	Свині на відгодівлі	1.5	-575,5
Кури-несучки	-0,12	Пташник на 10000 голів	0,8	-65,7
Споживання корму свинями	0,7	Свині на відгодівлі	1.5	1342,9
Споживання корму телятами	0,7	Телятина домашня	0,9	484,2
Овочеві культури [24]	-1,17	Озима телиця площею 1 га	1.05	-46286,6
Зберігання овочів в овочесховищі	-0,89	Картонплесховище на 5 тис. тонн	4.72	-107,6



Малюнок 7.1. Зміна продуктивності корів ($\Delta\Pi$) при відхиленні напруги в апаратах штучного мікроклімату



Малюнок 7.2. Зміна споживання корму (ΔC) у корів при відхиленні напруги в апаратах зі штучним мікрокліматом.

Встановлено, що при зниженні напруги на затискачах електродвигунів пристроїв штучного мікроклімату на 20 % приріст маси свиней зменшується на

5,8 %, телят – на 2,1 %, молочної продуктивності корів – на 0,5 %, яєць вирощування курей – на 0,65% при збільшенні споживання корму телятам на 4,8% та свинями на 13,4%. При цьому врожайність овочів у зимових теплицях

знижується на 4,6%, а збереження картоплі у картоплсховищах – на 1,1%. При підвищенні напруги технологічні втрати менші, ніж при зниженні. Існуюче відхилення частоти струму в мережі не викликає значних технологічних втрат (вони не перевищують 0,2%).

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

НУБІП Україна

ВИСНОВКИ

1. Відхилення показників якості електроенергії від нормованих значень і перебої в електропостачанні призводять до втрат внаслідок зниження продуктивності робочих машин, зменшення терміну служби електрообладнання, збільшення витрат і втрат електроенергії.

2. Відхилення показників якості електроенергії впливають на крутний момент, частоту обертання, коефіцієнт потужності, старіння та знос ізоляції асинхронного двигуна.

3. Відхилення ПАЕ в електроприводах викликають зміну кутової швидкості електродвигунів, внаслідок чого змінюється продуктивність робочої машини.

Зміна кутової швидкості електроприводу при відхиленні ПАЕ визначається жорсткістю механічних характеристик електродвигуна та рівнем механічних характеристик робочої машини.

Зміна кутової швидкості електроприводу при відхиленні напруги відбувається за складним алгоритмом. В електродвигунах, що використовуються для приводу робочих машин з моментом статичного опору, що не залежить від кутової швидкості, ковзання обернено пропорційне квадрату напруги.

Зміна кутової швидкості електропривода при відхиленні частоти струму для робочих машин з моментом статичного опору, який не залежить або лінійно залежить від кутової швидкості, відбувається за лінійним законом, а для інших типів машин, за більш складним алгоритмом.

4. Відхилення та несиметрії напруги впливають на перехідні процеси в асинхронному електродвигуні. Тривалість перехідного процесу і електромеханічна постійна часу обернено пропорційні квадрату напруги. При зниженні і асиметрії напруги час пуску двигуна збільшується, як наслідок, збільшуються втрати енергії.

Зміна частоти струму не впливає на електромагнітні та електромеханічні постійні часу, а викликає лише зміну рівномірної кутової швидкості.

4. Відключення електроенергії сприяють збільшенню втрат енергії під час перехідних процесів в електроприводах. При цьому дозволена частота вмикань зменшується пропорційно кількості відключень.

5. Тиристорні перетворювачі напруги і перетворювачі частоти, які використовуються в регульованих електроприводах, спотворюють форму кривої напруги мережі.

6. При відхиленні ЛАЕ змінюється потужність робочої машини, закон її зміни визначається механічними властивостями робочої машини та жорсткістю механічних характеристик електродвигуна.

7. Визначено технологічну складову втрат при відбракуванні ПН Е. При зниженні напруги на 20 % продуктивність дробарок і будок падає до 2 %, вакуум-насосів і гноєприбиральних конвеєрів - до 3 %, насосів і вентиляторів - до 3 %. При зниженні частоти струму на 2 % продуктивність дробарок, будок, вакуум-насосів і транспортерів гноєприбирання знижується до 2 %, насосів і вентиляторів - до 2 %. При цьому питома енергоємність дробарки знижується до 5%, а модуль подрібнення збільшується до 2%.

8. Розроблено мікропроцесорний пристрій моніторингу напруги та реєстрації перебоїв у електроживленні та програмне забезпечення для нього.

9. Запропонована методика визначення шкоди внаслідок неякісного електропостачання. Його використання дозволило визначити, що при зниженні напруги на затискачах електродвигунів пристроїв штучного мікроклімату на 20 % приріст маси свиней зменшується на 5,8 %, телят - на 2,1 %, молочної продуктивності корів - на 0,5%, несучості курей - на 0,65% при збільшенні споживання корму телятам на 4,8% і свинями на 13,4%. При цьому врожайність овочів у зимових теплицях знижується на 4,6%, а збереження картоплі у картоплеховинах - на 1,1%. При підвищенні напруги технологічні втрати менші, ніж при зниженні. Існуюче відхилення частоти струму в мережі не викликає значних технологічних втрат (вони не перевищують 0,2%).

НУБІП України

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 13109-97 Норми якості електроенергії в системах електропостачання загального призначення. К.: Держстандарт України, 1999.

2. Войтюк Д. Г., Лисенко В. П., Мартиненко І. І. [та ін.]. Вплив якості електроенергії на продуктивність споживачів у сільському господарстві.

Електрифікація та автоматизація сільського господарства. 2004. № 1(6). стор. 3–12.

3. Харитонов Ю.С., Бебихов Ю.В., Єгоров А.М. Порівняння та аналіз результатів контролю якості електроенергії в системах електропостачання гірничих підприємств. Міжнародний журнал прикладних і фундаментальних досліджень, 2019, № 4, стор. 54-59.

4. Непомнячий В. А. Економічні втрати від перебоїв у електропостачанні. М.: Вид. Дім МЕІ, 2010. 187 с.

5. Аванесов В.М., Садков Є.В. Аналіз структури втрат електроенергії в електроустановках при відхиленні напруги від оптимального значення.

Енергетична безпека в документах і фактах. 2005. № 4. стор. 19–21.

6. Деніел О. Джонсон, Кабіру А. Хассан. Питання якості електроенергії в електричних системах. Міжнародний журнал енергетики та енергетики, 2016, том. 5, № 4, стор. 148-154.

7. Дред А. В., Сикорський С. П., Смирнов П. С. Результати вимірювань показників якості електроенергії в системах електропостачання підприємств і організацій. Омський науковий журнал. 2018. № 2 (158). стор. 60 - 63.

8. Рибалко А. Висока напруга та перепади в мережах? Захистіть права споживачів! Спосіб доступу: <https://www.pravoconsult.com.ua/perepady-vysokoe-napryazhenia-v-seti-zashchiti-prava-potrebitelya/>

9. Мирошевич М., Малькович З., Гаспаган Я. Наслідки припинення живлення асинхронних двигунів в ізолюванні електричній мережі. Міжнародна Егейська

конференція з електричних машин і силової електроніки та електроруку, спільна конференція 2011 р., с. 732 - 735.

10. Льюшин Д.Б., Квашнин Д.Г., Семенов А.Ю., Борно О.І. Вплив показників якості електроенергії на промислову безпеку на небезпечних виробничих об'єктах. Нафтогазові операції. 3, стор. 782 - 793.

11. Лерова М. Якість сільського електропостачання: комплексний підхід. Вологда, ВоДТУ. 1999. 73 с.

12. Кузнецов В. Г., Ніколаєнко В. Г. Оцінка економічного збитку від несиметрії та несинусоїдності напруги в промислових системах електропостачання. Технічна електродинаміка. 1980. немає. 1. стор. 33-37.

13. Синявський О., Савченко В., Дудник А. Методи розробки та аналізу електроприводу конвеєра для електротехнологічного комплексу посіву насіння сільськогосподарських культур з електромагнітним полем, 20 Міжнародна конференція IEEE з обчислювальних проблем електротехніки (СРЕЕ), 2019, стор. 1-6 (Scopus).

14. Синявський О. Ю., Савченко В. В. Вплив відхилення напруги та частоти струму на технологічні характеристики молокосепараторів. Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету, 2013, 13, том 2, стор. 63-68.

15. Синявський О.Ю., Савченко В.В. Основи електроприводу. К.: КП «Компринт», 2017. 598 с.

16. Pakkawe Nuyamin, Chaiyapon Thongchaisuratkrul. Ефекти асинхронного двигуна з використанням незбалансованої напруги. International Journal of the Computer, the Internet and Management, 2018, том. 26, вип. 3, стор. 98-103.

17. Патіл Р.У., Чаудхарі Х.Б. Поведінка асинхронного двигуна під незбалансованою напругою. Міжнародний журнал інженерних досліджень і технологій (IJERT), 2015. Том. 4, випуск 05, стор. 1344 - 1348 роки.

18. Синявський О.Ю., Савченко В.В., Лавріненко Ю.М., Войтюк Д.Г., Бунько В.Я., Рамш В.Ю. Електропривод виробничих машин і механізмів. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2020. 444 с.

19. Синявський О.Ю., Савченко В.В., Соломко Н.О. Електропривод сільськогосподарських машин. Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2018. 572 с.

20. Механізація та автоматизація у тваринництві та птицеводстві. [Марченко О.С., Дацишин О.В., Лавріненко Ю.М. тощо]; ред. О.С. Марченко К.: Урожай, 1995. 416 с.

21. Островський В. А. Методика вибору оптимальної надійності електропостачання великих сільськогосподарських підприємств на прикладі молочно-виробничого комплексу. автореф. дис. на студентській конкурс етеп. Докторантура: МПСП, 1973.

22. Коршунов А.П. Методика розрахунку збитків і пені при перервах електропостачання споживачів / Методика в сільському господарстві. 1992. № 5-6. Сторінки 8-10.

23. Методичні рекомендації щодо визначення шкоди від деформованого натягу в тваринницьких підприємствах. М.: ВІЕСХ, 1985. 99 с.

24. Будзько І. А., Зудь Н. М. Шкода від перебоїв у електропостачанні споживачів у сільській місцевості. Механізація та електрифікації села 1984. немає. 12. стор. 39-40.

25. Рекомендації щодо економічної оцінки шкоди сільськогосподарському виробництву від несправностей електрообладнання. М.: ВІЕСХ, 1987. 33 с.

26. Кучер С. П. Визначення пошкоджень тваринницьких комплексів внаслідок деформації напруги в електроприймачах. Науково-технічний вісник з електрифікації села. Збірник статей. М.: ВІЕСХ. Номер 3(33), 1977. С.53-57.

27. Теплиці і парники. Довідник / П. Г. Шипко, В. О. Потапов, Л. Т. Суліма, Л. С. Чебанов; ред. Н.Г. Кокус. К.: Урожай, 1993. 424 с.

28. Корчемний М. О., Федорейко В. С., Щербань В. П. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 984 с.

29. Карташев І. І. Якість електроенергії в системах електропостачання. Методи контролю та підтримки його. М.: Из-во МЕТ, 2001. 120 с.

30. Шидловський А.К., Кузнєцов В.Г. Підвищення якості енергії в електричних мережах. К.: Наукова думка, 1985. 268 с.

31. Овчаренко А.С., Розинський Д. І. Підвищення ефективності електропостачання промислових підприємств. К.: Техніка, 1989. 288 с.

32. Суднова В.В. Якість електроенергії. М.: Енергосервіс, 2000.

33. Каргашев І. І. Якість електропостачання в системах розподілу. електро. 2003. № 5. стор. 49-51.

34. Аналіз енергозбереження трансформатора гармонік. MIRUS International Inc. Жовтень 1999 року.

35. Обробка гармонік у системах розподілу електроенергії, Віктор А. Рамос молодший. Computer Power & Consulting, січень 1999 р.

36. Європейський стандарт EN 50160 «Характеристики напруги електроенергії, що постачається з громадських розподільних систем / ISC 29.020. Листопад 1999. 19 с.

37. Лисенко В. П., Козирський В. В., Гладкий А. М., Скрипник А. М. Стан електричних мереж та надійність електропостачання сільськогосподарського виробництва. Електрифікація та автоматизація сільського господарства. 2005. № 2(11). стор. 3-12.

38. Соколов В. С., Єрмилов М. А., Серков А. В. та ін. Проблеми визначення розміру відповідальності за погіршення якості електроенергії та шляхи їх вирішення. Промислова енергетика. 2000. немає. 8.

39. Зикін Ф. А. Визначення ступеня участі навантажень у снах-підвищення якості електроенергії. Електрика 1992, № 11.

40. V Гармонійний тренд у Сполучених Штатах: попереднє дослідження. IM Nejdawi, AE Emanuel, DJ Pileggi, MJ Corridor, RD Archambeault IEEE Transactions on Power Delivery. т. 14, I. 1999, стор. 1488-1494 роки. (Скопус).

41. Козирський В.В., Сіньков В.М., Баранецький В.С., Галюк А.С. Пристрій контролю перебоїв у електроживленні. Як ні. 903921. Заява 10.04.80. опубл. 07.02.82 Бюд. немає. 5.

Додаток А. Порівняльна характеристика стандартів EN50160:1999 і ГОСТ 13109-97

Показники якості електроенергії згідно EN-50160

Показники якості електроенергії за ГОСТ-13109

1	<p>Промислова частота</p> <p>Номінальна частота напруги 50 Гц.</p> <p>- для пристроїв із синхронним зв'язком у комбінованій ЕЕС $50 \text{ Гц} \pm 1\%$ (49,5...50,5 Гц) в 99,5% року, $50 \text{ Гц} + 4\%-6\%$ (47...52 Гц) за 100% часу.</p> <p>- для пристроїв без синхронного зв'язку в суміщених ЕЕС $50 \text{ Гц} \pm 2\%$ (49...51 Гц) в 99,5% року, $50 \text{ Гц} \pm 15\%$ (42,5...57,5 Гц) 100% часу.</p>	<p>Промислова частота</p> <p>Номінальна частота напруги 50 Гц.</p> <p>Зазвичай допускається відхилення частоти $\pm 0,2\%$.</p> <p>Максимально допустиме відхилення частоти становить $\pm 0,4\%$.</p>
2	<p>Величина напруги</p> <p>Стандартна номінальна напруга $U_{н}$:</p> <p>Для чотирипровідних трифазних пристроїв:</p> <p>- $U_{н} = 230 \text{ В}$ між фазою і нейтраллю,</p>	<p>Напруга живлення</p> <p>Стандартна номінальна напруга $U_{ном}$:</p> <p>Для чотирипровідних трифазних пристроїв:</p> <p>- $U_{ном} = 220 \text{ В}$ між фазою і нейтраллю,</p>

	<p>Для трипровідних трифазних пристроїв:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $U_n = 400$ В між фазами. 	<p>Для трипровідних трифазних пристроїв:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $U_{ном} = 380$ В між фазами.
3	<p>Відхилення напруги</p> <p>У нормальних умовах експлуатації, за винятком випадків збою електроживлення:</p> <ul style="list-style-type: none"> - протягом тижня, 95% часу протягом 10 хвилин, RMS має бути в межах $\pm 10\%$ - кожні 10 хвилин ефективне значення має бути в межах $+10\% - 15\%$. 	<p>Відхилення напруги</p> <p>Звичайне допустиме відхилення напруги становить $\pm 5\%$.</p> <p>Максимально допустиме відхилення напруги становить $\pm 10\%$.</p>
4	<p>Коливання напруги</p> <p>Коливання напруги в нормальних умовах експлуатації не перевищують 5%, але іноді можуть досягати 10%.</p>	<p>Типовими є коливання напруги</p> <ul style="list-style-type: none"> - ступінь зміни напруги; - доза мерехтіння.
5	<p>Доза мерехтіння</p> <p>За нормальних умов експлуатації протягом тижня доза мерехтіння через коливання напруги становить $< 1\%$ у 95% випадків.</p>	<p>Доза мерехтіння</p> <p>Гранично допустиме значення короточасної та тривалої дози мерехтіння при коливанні напруги з різною формою меандру становить 1,38 за 10 хвилин. і 1,0 протягом 2 год.</p>

6	<p>Напруга спадає</p> <p>Значення індикатора: від кількох десятків до кількох тисяч із тривалістю менше 1 секунди та глибиною менше 60%. У деяких областях напруга падає з глибиною від 10% до 15% U_n.</p>	
7	<p>Напруга спадає</p> <p>За нормальних умов експлуатації щорічна частота короткочасних перерв коливається від кількох десятків до кількох тисяч. 70% з них тривають менше 1 с.</p>	<p>Напруга спадає</p> <p>Він дорівнює 0,9U. тривалість 30 с.</p>
8	<p>Асиметрія напруги</p> <p>При нормальних умовах експлуатації протягом тижня, 95% часу протягом 10 хвилин, ефективні значення негативної складової послідовності фаз живлення повинні бути в діапазоні від 0 до 2% позитивної складової фази. послідовність. У деяких районах з частково однофазним або двофазним підключенням споживчого обладнання асиметрія сягає до 3% для трифазного живлення на затискачах.</p>	<p>Характерна асиметрія напруги</p> <p>Коефіцієнт асиметрії напруги з:</p> <ul style="list-style-type: none"> - у зворотному порядку нормально допустимі 2,0% і максимально допустимі 4,0%; - нормально допустима нульова послідовність 2,0% і максимально допустима 4,0% при номінальній напрузі 0,38 кВ.
9	<p>Несинусоїдальна напруга</p> <p>У нормальній роботі протягом одного тижня, 95% часу протягом 10 хвилин, середньоквадратичне значення кожної окремої гармонічної напруги буде</p>	<p>Характерна несинусоїдальна напруга</p> <p>- коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги;</p>

	менше або дорівнюватиме значенню, наведеному в таблиці 1. (Стандарт EN)	- коефіцієнт n-ї гармонічної складової напруги Таблиці 1.2 ГОСТ; - коефіцієнт спотворення синусоїдальної напруги Таблиця 1, ГОСТ 13109
10	Тривалі відключення електроенергії За звичайних умов експлуатації річна частота перебоїв у електропостачанні тривалістю більше 3 хвилин може становити від 10 до 50% в залежності від регіону.	
11	Тимчасові перенапруги високої частоти між контактами та землею Такі перенапруги зазвичай не перевищують середньоквадратичне значення 1,5 кВ.	
12	Тимчасова перенапруга між контактами та землею Тимчасові перенапруги зазвичай не перевищують 6 кВ, але іноді можуть виникати більш високі значення. Час наростання становить від кількох мілісекунд до мікросекунд.	Тимчасова перенапруга Він дорівнює $1,1U$. тривалість 10 с.
13	Міжгармонійна напруга За нормальних умов експлуатації протягом тижня мерехтіння через коливання напруги становить $< 1\%$ у 95% випадків.	

14

Величина зміни напруги

Межі допустимих норм, крива 1, 2, ГОСТ 13109

НУБІП України

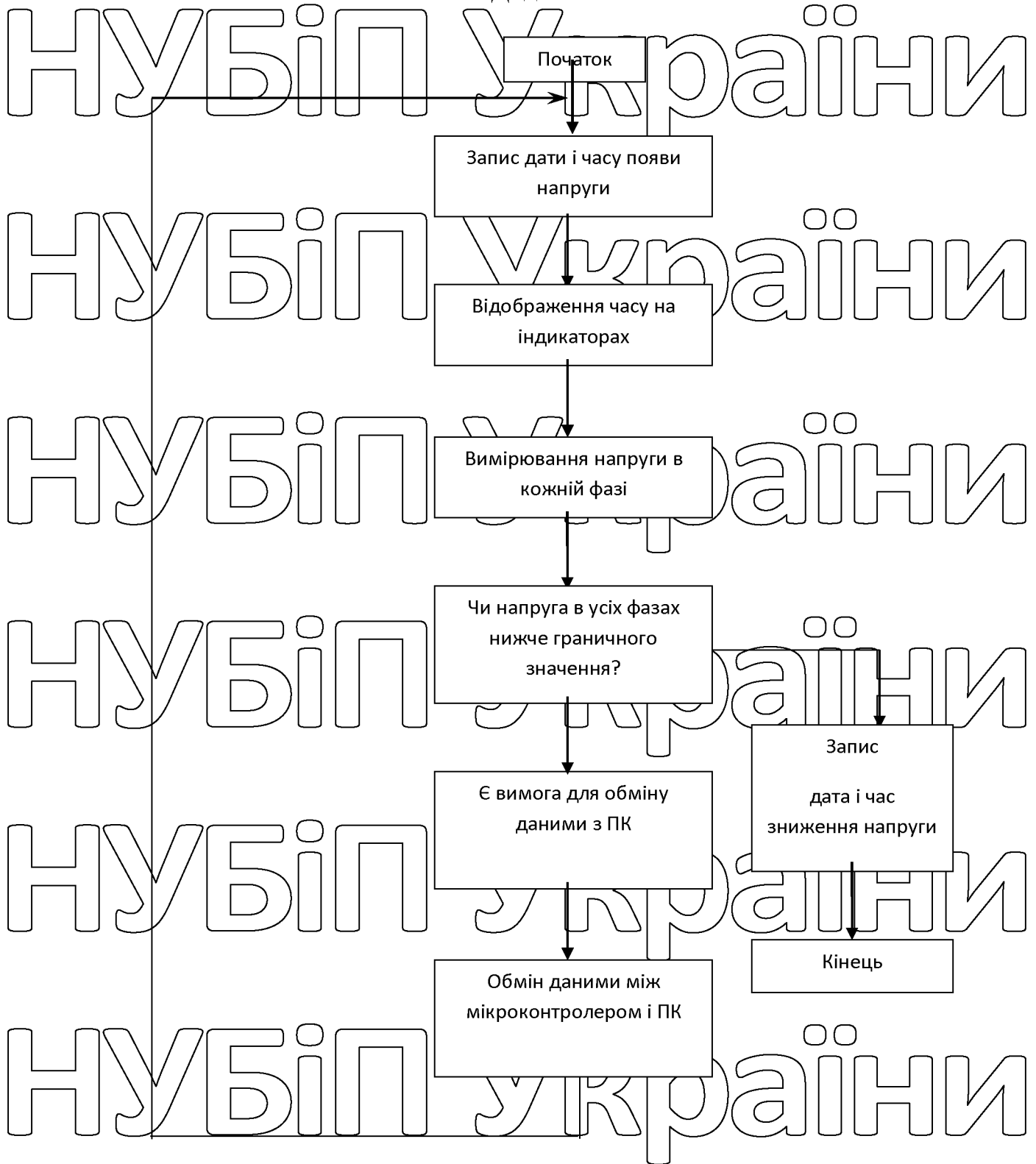
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Додаток Б



фiг. Алгоритм роботи пристрою контролю відхилення напруги та врахування перебоїв живлення

Додаток Б

Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
<u>Батареї</u>			
BAT1	AA 1,5В	3	
BAT2	CELL3V 3В	1	
<u>Діоди</u>			
D1,D3,D4	FR157	3	
D2	1N5817	1	
D5...D8	Діодний міст 1-фазний DF08M 800В 1А D-70	1	
VD1	Світловий діод LED	1	
U3	Індикатор LCD AC162A XJQY-H	1	
<u>Кварцові резонатори</u>			
ZQ1	3,6864М Гц	1	
ZQ2	32768 Гц	1	
<u>Конденсатори</u>			
C1,C3,C5	CAP25V 47x25В	3	
C2,C4	CAP1206 0,1	2	
C6,C7,C10-C16	CAP805 0,1	9	
C8,C9	CAP805 15	2	
<u>Мікросхеми</u>			
U1	Мікропроцесор PIC16F877	1	
U2	EEPROM 24LC64	1	
U4	Мікросхема реального часу МК41Т	1	
U5	Мікросхема USART MAX232	1	
<u>Резистори</u>			
R1	RES805 1K	1	
R2	RES805 56K	1	
R3	RES805 75	1	
R4	RES805 10K	1	
R5	RES805 2K	1	
XS	Роз'єм DB-9F	1	
VD2	Стабілітрон 1N4733A 5,1В 1 Вт	1	
TV	Трансформатор ТПП238	1	