

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і  
робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістра

(назва ступеня вищої освіти)

на тему «Модернізація та дослідження електропривода  
кутера цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату

Виконав: магістрант 6 курсу,  
групи 601 дМЕ  
спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Таран В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Борщ В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Освітньо-кваліфікаційний рівень Магістр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,  
електроніки та телекомунікацій

\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
“ 3 ” вересня \_\_\_\_\_ 2021 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

### Тарану Валерію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи **«Модернізація та дослідження електропривода кутера цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату»**

Керівник магістерської роботи Борщ Володимир Васильович, к.ф.-м.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від від “25” серпня 2021 року №688

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 05.12.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Продуктивність цеху-436,77 т/д; Потужність електродвигуна кутера-7,5 кВт; Напруга живлення - 380/220 В; Частота мережі - 50 Гц; Межі регулювання кутової швидкості  $\pm 25\%$ ;  $\cos\phi=0.95$ ; Стандарт до вибору продукції ГОСТ 7724-77; ПУЕ; ПТЕЕС.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд літератури, обґрунтування актуальності теми магістерського дослідження. Технологія процесу виготовлення ковбасних виробів. Розрахунок, вибір та дослідження можливостей надійної експлуатації електропривода кутера. Розрахунок електропривода, вибір комплектуючих електропривода, дослідження режимів роботи електропривода. Розроблення та аналіз математичної моделі електропривода. Проектування САК електроприводом кутера та дослідження її можливостей. Проектування мережі електропостачання цеху ковбасних виробів, вибір комплектного обладнання та дослідження електричної мережі на можливості оптимального забезпечення цеху електроенергією. Дослідження та економічне обґрунтування модернізації електроприводу.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Креслення кутера 2. Функціональна схема електроприводу. 3. Блок схема ПЧ. 4. Структурна схема електропривода. 5. Функціональна схема ПЧ. 6. Схема силової частини електропривода. 7. Схема електрична принципова електропривода. 8.Схема електричних з'єднань ПЧ. 9. Функціональна схема витратоміра. 10. Математична модель системи автоматичного керування, 11. Графіки перехідних процесів. 12. Електропостачання цеху. 13. Техніко-економічні показники

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економіка	Григор'єва Олеся Володимирівна		
Електропостачання	Борщ Володимир Васильович		

7. Дата видачі завдання 03.09.2021

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітичний огляд літератури, обґрунтування актуальності теми магістерського дослідження. Технологія процесу виготовлення ковбасних виробів.	27.10.21	30%
2	Розрахунок, вибір та дослідження можливостей надійної експлуатації електропривода кутера. Розрахунок електропривода, вибір комплектуючих електропривода, дослідження режимів роботи електропривода. Розроблення та аналіз математичної моделі електропривода. Проектування САК електроприводом кутера та дослідження її можливостей.	24.11.21	60%
3	Проектування мережі електропостачання цеху ковбасних виробів, вибір комплектного обладнання та дослідження електричної мережі на можливості оптимального забезпечення цеху електроенергією. Дослідження та економічне обґрунтування модернізації електроприводу. Оформлення кваліфікаційної роботи магістра.	15.12.21	100%

Студент

Таран В.О.

( підпис )

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи магістра

Борщ В.В.

( підпис )

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ. КОРОТКИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	14
1.1 Виготовлення ковбасних виробів. Дослідження можливостей керування електроприводом кутера, що забезпечує технологічний процесу приготування фаршу.....	14
1.2 Основні характеристики сировини для виготовлення ковбасних виробів.....	17
1.3 Особливості технологічного процесу приготування фаршу.....	20
1.4 Покращення якості ковбасних виробів.....	24
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ПРОЕКТНО - РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	27
2.1 Розрахунок кількості сировини і готової продукції.....	27
2.2 Дослідження умов роботи електропривода кутера. Розрахунок, обґрунтування та вибір електросилового обладнання.....	29
2.3 Дослідження, моніторинг, розрахунок та вибір окремих вузлів електропривода кутера.....	36
2.3.1 Керування швидкістю обертання ротора асинхронного двигуна.....	36
2.3.2. Дослідження умов роботи блоку живлення електропривода кутера. Розрахунок та вибір трансформатора.....	44
2.3.3 Моніторинг та вибір електричної принципової схеми генератора.....	46
2.3.4. Моніторинг, дослідження та вибір електричної схеми формувача сигналів та силових ключів.....	49
2.4 Вибір витратоміра, як елемента автоматичної системи керування кутером.....	53
2.5. Математичне моделювання та дослідження динаміки САК електроприводом кутера за допомогою ЕОМ.....	56
2.6. Дослідження автоматичної системи керування на стійкість.....	60
3 РОЗРАХУНОК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ.....	64
3.1 Визначення розрахункового силового навантаження на першому рівні електропостачання.....	65
3.2 Дослідження електричної мережі другого рівня електропостачання та визначення силового навантаження.....	68
3.3 Визначення розрахункового силового навантаження на третьому рівні електропостачання.....	69
3.4 Попередній розрахунок навантаження загального електричного освітлення цеху.....	70
3.5 Визначення розрахункового навантаження цехової трансформаторної підстанції.....	72
3.6 Розрахунок пікових струмів.....	73
3.7 Дослідження надійності електромережі та вибір кількості і потужності	

трансформаторів цехових підстанцій з урахуванням компенсації реактивної потужності.....	74
3.8 Дослідження можливостей компенсації реактивної потужності та визначення потужності конденсаторних установок.....	75
3.9 Дослідження надійності електричної мережі, вибір перерізу кабелю.....	76
3.10 Вибір перерізу провідників живильної мережі.....	78
3.11 Вибір перерізу провідників розподільної мережі. Дослідження мережі на втрату напруги.....	80
3.12 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання та ударних струмів.....	82
3.13 Вибір автоматичного вимикача вводу.....	88
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КУТЕРА.....	92
4.1 Визначення затрат на модернізацію системи керування електроприводом пристрою для приготування фаршу.....	92
4.1.1 Визначення затрат на придбання комплектуючих.....	93
4.1.2 Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями.....	93
4.2. Визначення загальної суми затрат на модернізацію.....	94
4.2.1 Розрахунок річного фонду часу роботи пристрою для приготування фаршу-кутера.....	94
4.3 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності.....	95
4.4 Визначення поточних річних затрат в процесі експлуатації кутера.....	96
4.4.1 Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями.....	96
4.4.2 Визначення витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт системи автоматичного керування електроприводом.....	97
4.4.3 Визначення витрат на електроенергію.....	98
4.4.4 Розрахунок загальної суми річних витрат.....	99
4.5 Розрахунок вартості машино–години роботи системи автоматичного керування та електропривода.....	99
4.6 Розрахунок вартості технологічної операції для тони продукції.....	100
4.7 Визначення економічного ефекту від проведення модернізації.....	100
Висновки до розділу.....	102
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	103
ЛІТЕРАТУРА.....	105
ДОДАТКИ.....	108

## ВСТУП

В 2019 році людство зіткнулося з захворювання COVID-19 [1], що призвело до пандемії та світової економічної кризи, яка суттєво вплинула на виробництво промислової продукції, зокрема продукції харчової промисловості. Разом з пандемією на економічні показники підприємств харчової промисловості України вплинула також енергетична криза, що загострилась в останні роки, коли національна енергетика втратила великі об'єми енергоносіїв – кам'яного вугілля, нафти та природного газу.

На сьогодні питання ощадливого використання електричної енергії підприємствами харчової промисловості, м'ясопереробної зокрема, є актуальним [2,3], оскільки їй характерні значні затрати енергоносіїв на вироблену одиницю продукції.

Економія енергоресурсів в усіх галузях промисловості передбачена урядом України. Прийнятий урядом закон України про енергозбереження визначає економічні, правові, соціальні та екологічні основи енергозбереження для всіх підприємств, об'єднань та організацій, розташованих на території України [2]. Стратегія енергозбереження в Україні розроблена науковцями Національної академії наук визначає пріоритетні шляхи суттєвого зменшення енергозатрат на одиницю виробленої продукції [3].

М'ясопереробна промисловість України - це галузь харчової промисловості, підприємства якої здійснюють заготівлю та забій худоби, птахів, кроликів а також виготовляють м'ясо, ковбасні вироби, м'ясні консерви, напівфабрикати для забезпечення потреб населення. За вартістю виробленої продукції ця галузь посідає одне з перших місць в харчовій промисловості [4]. М'ясокомбінати, у яких комплексно переробляють продукцію тваринництва розміщені у великих містах. Останніми роками намітилась тенденція наближення мясопереробних підприємств до районів розвинутого тваринництва, щоб уникнути далеких перевезень живих тварин.

Поряд з виробництвом харчових продуктів м'ясна промисловість виготовляє сухі тваринні корми, цінні медичні препарати (інсулін, гепарин, лідокаїн та інші), а також амінокислоти та перо-пухові вироби. Побічні продукти забою худоби (вони становлять до половини фізичної маси туші тварини) йдуть на харчові, технічні, медичні та інші цілі. Асортимент продукції м'ясопереробної промисловості становить близько 400 найменувань [4].

Запорукою виходу на міжнародний ринок вітчизняної продукції м'ясопереробної промисловості та завоювання впевнених позицій м'ясопереробних підприємств на внутрішньому ринку є суттєве підвищення якості продукції при зменшенні затрат на виробництво. Жорстока конкуренція між виробниками продукції м'ясопереробної промисловості змушує її виробників враховувати обидва фактори, оскільки забезпечення населення високоякісними і разом з тим дешевими продуктами харчування є одним з головних напрямів розвитку будь – якої держави.

Збільшення інвестицій в українську м'ясопереробну промисловість сприяє збільшенню об'ємів виробництва готових виробів із м'яса. Перспективною галуззю для інвестицій є свинарство, оскільки свинина має порівняно короткий цикл виробництва, є основною сировиною для м'ясопереробної промисловості і традиційним продуктом харчування для українського населення. Дане зростання підкріплюється також зростанням доходів міського населення, що є головним споживачем виробів із м'яса і самого м'яса промислового виробництва. Відновлення нормальної роботи підприємств переробної галузі і порівняно низька купівельна спроможність населення спричинили на українському ринку попит на безпечну дешеву м'ясну сировину належної якості в промислових обсягах [4].

Переробкою худоби і птиці на м'ясо в Україні займається більше 500 підприємств. Кількість м'ясокомбінатів, що виробляють понад 1000 т продукції, залишається практично стабільною, як і їх частка в загальному

обсязі виробництва даної продукції. У зв'язку з посиленням ветеринарного контролю і санітарних норм має місце тенденція до скорочення дрібних підприємств.

В асортименті готової м'ясної продукції України переважають ковбасні вироби. Виробництво даних виробів щорічно зростає у зв'язку із збільшенням попиту на даний товар у країні і за кордоном. Так, за перше півріччя поточного року українські м'ясопереробні підприємства виготовили близько 120 тис. тон ковбасних виробів. Найвідчутніше збільшилося виробництво вареної групи продуктів, на які припадає понад дві третини усього виробництва ковбас

Україна має всі необхідні умови для нарощування виробництва якісної продукції м'ясопереробної галузі, зокрема м'яса і готової продукції з нього. До них належать прийнятні кліматичні умови, наявність досвіду ведення великого товарного виробництва м'яса у минулому, відновлення переробної промисловості і зростання попиту на сировину. Також сприятливо відбивається на великому товарному виробництві м'яса зростання платоспроможності населення і збільшення попиту на роздрібному ринку на м'ясо і готову продукцію з нього, стрімкий розвиток мереж роздрібних підприємств торгівлі, удосконалення каналів реалізації продукції, наявність кваліфікованих кадрів і відносно дешевої робочої сили.

Серед перешкод швидкому відновленню виробництва можна назвати слабку сировинну базу внаслідок рекордного скорочення поголів'я за минулі роки, нераціональність структури розподілення поголів'я за категоріями господарств, відсутність чіткого контролю над пересуванням м'ясної сировини всередині країни, поточну високу відсоткову ставку за кредитами на українському ринку за необхідності значного оновлення матеріально-технічної бази і впровадження сучасних технологій виробництва на підприємствах.

Таким чином, досягнення впевнених позицій м'ясопереробних підприємств України, Полтавського м'ясокомбінату зокрема, на внутрішньому та

зовнішньому ринках а думку автора магістерської роботи, можливе при виконанні низки умов, а саме:

- наявності достатньої кількості високоякісної сировини;
- наявності сучасного енергозберігаючого високопродуктивного обладнання для переробки сировини;
- ощадливого використання енергоресурсів;
- наявності дешевої робочої сили

Розв'язок другої та третьої умов, що є актуальними для м'ясопереробної промисловості передбачає низку заходів, серед яких важливими є заміна застарілого обладнання м'ясокомбінатів, або його революційна модернізація. Заміна застарілого обладнання працюючих м'ясокомбінатів у встановлених традиційних технологічних режимах потребує вкладання значних коштів, що відразу вплине на ціну продукції. Інноваційна ж модернізація обладнання дозволяє при відносно незначних матеріальних затратах суттєво підвищити якість продукції при зниженні її собівартості.

В асортименті готової м'ясної продукції України переважають ковбасні вироби. Виробництво даних виробів щорічно зростає у зв'язку із збільшенням попиту на даний товар у країні і за кордоном. Так, за перше півріччя поточного року українські м'ясопереробні підприємства виготовили близько 120 тис. тонн ковбасних виробів. Найвідчутніше збільшилося виробництво вареної групи продуктів, на які припадає понад дві третини усього виробництва ковбас [4,6].

Ковбасні вироби займають особливе місце в раціоні людини. Встановлено, що оптимальним раціоном харчування людини є раціон, згідно якого більша половина білка надходить за рахунок м'яса, яєць та риби, а жиру – за рахунок молока і молочних продуктів [4,5,6]. Висока живильна цінність м'ясопродуктів обумовлена кількістю і якістю білків, жирів, мікро- і макроелементів, екстрактних речовин, що забезпечують в сукупності високі смакові якості, засвоюваність даних продуктів і нормальну фізіологічну життєдіяльність

людини. Білок, що знаходиться в м'ясопродуктах, засвоюється людським організмом на 96-98% [5,6].

Наразі м'ясопереробні підприємства України виготовляють понад 300 найменувань ковбасних виробів. Це варені ковбаси, сосиски, сардельки, сирокочені ковбаси, варено-копчені, напівкопчені і т. ін. Напівкопчені ковбаси – один з найпопулярніших у покупців видів ковбасних виробів [6].

При виробництві ковбасних виробів у промислових умовах важливу роль має процес приготування фаршу, оскільки його якість суттєво впливає на якість ковбасних виробів і, врешті-решт, на їх конкурентну здатність [5,6].

На основі аналізу досвіду експлуатації електромеханічного обладнання цеху виготовлення ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату, легко зробити висновок що його якість не задовольняє вимоги сьогодення. Це і завищене споживання електроенергії, завищені потужності електроприводу, які ведуть до низького коефіцієнту корисної дії та коефіцієнту потужності електроприводу, відсутність можливостей керування швидкістю обертання роторів виконавчих механізмів, досить висока забруднюваність навколишнього середовища, велика кількість обслуговуючого персоналу, тощо.

До енергозберігаючих технологій відноситься використання частотно-регульованого електроприводу на основі трьохфазних асинхронних електродвигунів змінного струму, що вже широко застосовуються в промисловості.

Використання перетворювача частоти як регулюючого пристрою для електропривода розкриває колосальні можливості [8,9]. Він дає можливість при наявності автоматичної системи керування не тільки вдосконалити технологічний процес, але й суттєво заощадити енергетичні ресурси та звести до мінімуму екологічні проблеми. Разом з тим, використання перетворювачів частоти в регульованому електроприводі створює низку переваг за рахунок можливості автоматичної зміни параметрів системи

керування залежно від умов роботи механізму [8,9,10]. Значна ефективність частотно-регульованого електропривода досягається при частих змінних умовах роботи в досить широких межах [8].

Таким чином, експлуатація частотно-регульованого електропривода на основі трьохфазного асинхронного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором дозволяє не тільки суттєво підвищити енергетичну ефективність але й надійність існуючих нерегульованих електроприводів [8,9].

Як показує досвід та аналіз умов первісної обробки сировини для виробництва ковбасних виробів при допомозі фаршоприготувальних пристроїв в ковбасному цеху Полтавського м'ясокомбінату використання подрібнювачів, кутера, зокрема, з регульованою швидкістю обертання ротора виконавчого механізму суттєво покращує якість продукції та дає можливість суттєво заощаджувати енергетичні ресурси [11 - 13]. В м'ясопереробній промисловості вже затвердилась тенденція осучаснення ринку обладнання для переробки м'яса [13]. Слід зазначити, що використання електроприводів на основі трьохфазного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором та використанням частотного перетворювача при впровадженні автоматичної системи керування створює суттєві переваги за рахунок автоматичної зміни параметрів системи залежно від умов роботи механізму [10,11]. Вказані можливості керованого електропривода дають можливість окрім заощадження енергетичних ресурсів суттєво підвищити якість вихідної продукції при переробці вхідної сировини, що має механічні характеристики, які залежать від партій м'яса. Врешті-решт, підвищення якості вихідної продукції Полтавського м'ясокомбінату сприяє його високій конкурентоздатності як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках

Експлуатація традиційного електропривода робочого механізму пристрою для приготування фаршу – кутера на основі трьохфазного

асинхронного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором, що працює в цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату при змінних навантаженнях веде до низького коефіцієнта потужності, низького коефіцієнта корисної дії та неефективного використання електричних мереж, що врешті-решт приводить до суттєвих економічних втрат. Таким чином, модернізація електропривода робочого механізму пристрою для приготування фаршу - кутера на основі трьохфазного асинхронного двигуна змінного струму, що має короткозамкнений ротор з використанням частотного перетворювача та впровадження автоматичної системи керування регульованого електропривода кутера дозволяє значно підвищити якість вихідної сировини для виробництва ковбас, є значним резервом економії електроенергії, дає змогу суттєво підвищити ефективність роботи системи подрібнювач-електродвигун-частотний перетворювач, що без сумніву визначає актуальність магістерського дослідження .

**Об'єктом магістерського дослідження** обрано електропривод кутера для приготування фаршу, що використовується в цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату.

Враховуючи проблеми, які виявились при дослідженні технологічного процесу приготування фаршу, умов роботи кутера в цеху по виробництву ковбасних виробів, аналізі науково-технічної літератури, технологічних рекомендацій та ринкових вимог щодо суттєвого підвищення якості продукції при зниженні її вартості **метою магістерського дослідження** є вирішення кількох завдань.

#### **Завдання магістерського дослідження:**

1. Провести аналіз стану забезпечення технологічного процесу приготування фаршу, виконати розрахунки та дослідити можливості надійного використання електрообладнання кутера, що працює в цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату.

2. Розрахувати, обрати та дослідити на надійність роботи в екстремальних умовах основних елементів частотно-регульованого електропривода кутера на основі трьохфазного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором, що забезпечує технологічний процес приготування фаршу для ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату та автоматичної системи керування регульованого електропривода робочого механізму.

3. Дослідити можливості автоматичної системи керування регульованим електроприводом кутера в екстремальних умовах.

4. Дослідити режими роботи модернізованого електропривода кутера на основі трьохфазного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором при використанні частотного перетворювача та автоматичної системи керування регульованого електропривода робочого механізму що забезпечують технологічний процес приготування фаршу для ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату та автоматичної системи керування регульованого електропривода робочого механізму.

5. Розробити математичну модель автоматичної системи керування регульованим електроприводом кутера для приготування фаршу на основі трьохфазного асинхронного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором.

6. Дослідити стійкість роботи автоматичної системи керування частотно-регульованого електропривода кутера.

7. Дослідити економічну доцільність запропонованої модернізації електропривода кутера та автоматичної системи керування регульованого електропривода робочого механізму, що забезпечують технологічний процес приготування фаршу для ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату.

# **1. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ. КОРОТКИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.**

## **1.1. Виготовлення ковбасних виробів. Дослідження можливостей керування енергоефективністю електропривода кутера, що забезпечує технологічний процес приготування фаршу.**

Виробництво ковбасних виробів на Полтавському м'ясокомбінаті являє технологічний процес, в якому використовуються сучасні автоматичні лінії, що обладнані електроприводом на основі трьохфазних електродвигунів змінного струму з короткозамкненим ротором та засобами автоматизації різного ступеня складності.

Особливості керування енергоефективністю засобами промислового електропривода розглянуті в підручниках [8,9], в яких детально описані енергетичні властивості та теплові режими енергозберігаючого електропривода, а також питання вибору раціональних режимів роботи і експлуатації технологічного обладнання та електропривода. Значна увага приділена питанням експлуатації сучасного електропривода та регулювання якості споживаної електричної енергії за допомогою сучасних засобів силової інверторної техніки, що застосовується для керування промисловим електроприводом.

У посібнику [15] розглянуто питання, пов'язані з експлуатацією електропривода робочих машин. Висвітлення принципу дії та основ електропривода доповнюються аналізом конструкції, особливостей, технічних параметрів електричних апаратів і машин, а також електричних схем ручного та автоматичного керування роботою електропривода робочих машин. Наведені приклади розрахунку характеристик електродвигуна для конкретних робочих машин, що має значну практичну цінність.

Основні данні по теорії автоматизованого електропривода, потрібні для всіх стадій його проектування наведені в довіднику [16]. Це вибір в загальному випадку регульованого електроприводу, розрахунок потужності електродвигуна, вибір його по каталогу, вибір основних елементів схеми автоматичного керування. Частина розділів довідника присвячена типовим електроприводам, що використовуються в різних галузях народного господарства, зокрема в м'ясопереробній промисловості; розглянуто також електроприводи загальнопромислового використання.

Основні положення проектування систем автоматики викладені в посібнику [17], де розглянуто важливі нормативні документи, що використовуються при проектуванні; особливу увагу приділено питанням розробки схем автоматизації, дослідженню об'єктів керування технологічними процесами. Надані методики розрахунку надійності і економічної ефективності систем автоматики.

В довіднику [18] викладені фізичні принципи, методи розробки і варіанти практичного використання широкого спектру датчиків в самих різноманітних галузях застосування.

З короткого аналітичного огляду літератури, в якій висвітлені питання автоматичного керування енергоощадним електроприводом для забезпечення цілого спектру технологічних процесів впливає висновок про перспективність застосування частотно-регульованого електропривода кутера на основі трьохфазного електродвигуна змінного струму з короткозамкненим ротором для приготування фаршу в цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату.

Відомо, що ковбасні вироби — це продукти, виготовлені на м'ясній основі в оболонці або без оболонки. Ковбасні вироби виготовляються з дотриманням параметрів певного технологічного процесу і готові до вживання без додаткової кулінарної обробки [6,7,19].

На кожному м'ясокомбінаті, Полтавському зокрема, асортимент ковбас підбирається з урахуванням попиту населення регіону, країни та

можливостями експорту продукції, найповнішого і найефективнішого використання сировини, наявного технологічного обладнання та отримання максимального прибутку від реалізації продукції конкретного м'ясокомбінату.

Технологічний процес виготовлення ковбасних виробів на будь-якому м'ясокомбінаті має відповідати технічними умовам, технологічним інструкціям і державним стандартам на кожен вид ковбасних виробів [6,7,19, 20].

Поживні властивості ковбасних виробів формуються за рахунок підбирання набору відповідної сировини і дотримання технологічних схем виробництва. Продукцію високої якості одержують із жилуватої яловичини вищого сорту і нежирної свинини нежирної молодих тварин [4,6,19].

Ступінь аналізу сировини суттєво впливає на смак, аромат, консистенцію та вихід готового продукту.

Відомо, що основним способом збільшення виходу готової продукції у м'ясній промисловості є попередження втрат вологи при виробництві і збільшення вологозв'язуючої здатності білків. З цією метою використовуються різні добавки (сіль, фосфати, крохмаль, гідро колоїди, рослинні білки, тощо) [5,6,7,19].

Основною сировиною на м'ясокомбінаті є яловиче, жиловане свиняче м'ясо, шпик і субпродукти першої і другої категорій. Для приготування ковбасних виробів використовується свіже, охолоджене та розморожене м'ясо.

Сорти ковбас високого гатунку виготовляють з високосортної сировини з використанням яловичини вищого і першого гатунку, свинини нежирної, напівжирної та жирної [5,6,7,19].

Виготовлення варених ковбас передбачає внесення різноманітних добавок тваринного і рослинного походження, які сприяють підвищенню їх смакових якостей [4, 5].

## 1.2 Основні характеристики сировини для виготовлення ковбасних виробів

Сировина для виробництва ковбасних виробів надходить із холодильника у вигляді туш, пів туш та четвертин, разом з супровідною документацією. Під час приймання сировини технологічною лабораторією уточнюється відповідність властивостей і стану сировини вимогам стандарту (вгодованість, свіжість м'яса, стан зачищення), після чого визначається маса сировини. Шпик піддається зовнішньому огляду, пожовтілі шари вилучаються. [4,5,6,7].

Якість м'яса як основної сировини, визначає споживчі властивості й асортимент ковбасних виробів. Основною сировиною більшості ковбасних виробів є яловичина та свинина.

Яловичина виконує функції зв'язуючої основи ковбасного фаршу, підсилює забарвлення ковбас, її азотисті екстрактивні речовини поліпшує смак виробів.

Свинина, залежно від рецептури ковбасних виробів підприємства, може бути доповненням до яловичини або основою для фаршу. Використання свинини переважно другої, третьої та четвертої категорій при виготовленні ковбасного фаршу практично не знижує якості ковбасних виробів [4-7].

При виробництві всіх видів ковбасних виробів основною сировиною є охолоджене м'ясо, при доставці якого в цех ковбасних виробів температура в товщі м'язів має лежати в межах 0 – 4°C, реакція повинна бути слабо кисла. Доставлене м'ясо зазнає спеціального термічного оброблення в камері охолодження за температури –1 °C. Використання охолодженого м'яса забезпечує достатній вихід і високу якість готової продукції [4-7].

При використанні замороженого м'яса необхідно його розморозувати у відповідності до вимог технологічного процесу.

При виготовленні ковбасних виробів використовують майже всі субпродукти, які отримують при забої худоби [4-7]. До них відноситься печінка, мозок (для ліверних виробів), язик (для фаршированих ковбас). Використання

субпродуктів суттєво підвищує рентабельність ковбасного виробництва без зниження якості ковбасних виробів та дозволяє м'ясопереробному підприємству підвищувати вихід готової продукції.

Використання крові та молочних продуктів підвищує поживні властивості і засвоюваність ковбасних виробів, поліпшує їх консистенцію і соковитість. Для молочних білків притаманні добрі зв'язуючі і емульгуючі властивості [4-7].

З метою підвищення споживчих властивостей ковбасних виробів та збільшення зв'язаності фаршу в ковбасному виробництві широко використовуються яйця курячі, яєчний порошок та меланж. Заміна до 15% м'ясної сировини у рецептурі варених ковбас на гідратований (1:7) яєчний білок підвищує біологічну цінність виробів, дозволяє збільшити вихід продукції, знизити кількість жиру та підвищити вміст білка у виробках.

При виготовленні ковбасних виробів для покращення якості фаршу використовують: харчовий крохмаль картопляний або кукурудзяний харчовий; крупу ячмінну, перлову або манну.

Борошно пшеничне, гідратовані продукти сої та її похідні, харчові добавки, а також суміші прянощів до складу яких входять харчові добавки можуть використовуватись за умови, що їх загальна кількість на перевищує в м'ясних продуктах I сорту 30% загальної маси сировини включаючи і м'ясо механічного обвалювання, II сорту - 40% і III сорту - 50% [4-7].

Натуральне або текстуроване борошно використовується для повної або часткової заміни круп'яних інгредієнтів у складі ковбасного фаршу, різних видів крохмалю, основної м'ясної сировини, соєвого борошна і концентратів соєвого білка.

Допоміжною сировиною і матеріалами є кухонна сіль і цукор, нітрит натрію, прянощі та підсилювачі смаку, натуральний чорний перець та питна вода питна[4-7].

Оскільки споживачі ковбасних виробів надають перевагу виробам в натуральній оболонці і вважають її безпечнішою, ніж більшість штучних оболонок то виробники велику увагу приділяють зовнішньому вигляду

ковбасних виробів, використовуючи переважно натуральні оболонки .

Оболонка потрібна для захисту ковбасних виробів від дії зовнішніх факторів і забезпечення визначеної форми та розміру. Тому оболонка має бути міцною, щільною, еластичною, негігроскопічною, певною мірою газопроникною і захищати продукт від впливу мікроорганізмів. Важливе значення для механізації й автоматизації виробництва має стандартність розмірів оболонки.

Для кожного виду і сорту ковбасних виробів використовують оболонки певного виду та калібру, натуральні й штучні [4-7].

Натуральні оболонки за своїми фізико-хімічними і біологічними властивостями дуже близькі до ковбасного фаршу і тому добре сприймають та витримують всі стадії технологічної обробки. Дуже важливими є достатня волого - і повітропроникність, які на 20-25% вищі, ніж у штучних оболонках.

Штучні оболонки поділяють на такі основні групи: колагенові, целюлозні, віскозно-армовані (фіброзні), поліамідні, спеціальні типи [4-7, 21,22].

Використання забарвленої білкової ковбасної оболонки дозволяє значно поліпшити товарний вигляд ковбасних виробів та скоротити технологічний цикл виробництва ковбасних виробів.

Целюлозні оболонки належать до групи паро-, волого- і газонепроникних. Для їх виробництва використовують целюлозу різних порід дерев, бавовни з високим ступенем очищення. Ці оболонки можуть витримувати більш високі температури (до 100°C), завдяки чому забезпечується добре проварювання продукту.

Віскозно-армовані (фіброзні) оболонки належать до паро-газопроникного типу і виготовляють із довговолокнистого фіброзного паперу з просочуванням 100 %-ю целюлозою. Вони найбільш міцні із газо-, волого проникних оболонок, характеризуються одночасно високою рівномірністю діаметра по довжині батона і достатньою повітропроникністю.

Поліамідні відносяться до більш широкого класу пластикових бар'єрних оболонок. Вони поділяються на терм усадкові та нетермоусадкові. За останні роки в основному виробляють поліамідні термоусадкові ковбасні оболонки, що

дозволяють подовжити термін реалізації готового продукту від 15 до 90 діб.

Терм усадкові оболонки знижують ризик бульйонно-жирових підтікань, виникнення зморшок та інших дефектів на поверхні готових виробів.

Таким чином, вибір виробником типу оболонки суттєво впливає на товарний вигляд ковбасних виробів, що також визначає рівень рентабельності виробництва [4-7, 21,22]..

### **1.3 Особливості технологічного процесу приготування фаршу.**

Фарш утворюється з суміші певним чином підготованих складових, що входять до нього у кількості, передбаченій рецептурою для кожного виду і сорту ковбасних виробів. Залежно від виду ковбасних виробів фарш може мати тонкоподрібнену макроскопічну однорідну структуру або містити рівномірно розподілені в ній вкраплення часточок м'язових або жирових тканин, які мають незруйновану структуру [4-7] .

Основою складовою фаршу є м'ясний компонент, який визначає функціональні властивості сирого фаршу та монолітність структури, поживну цінність та органолептичні показники готового продукту.

Для подрібнення м'ясопродуктів при приготуванні фаршу використовується низка пристроїв - дзиги, кутери, ротаційні м'ясо різки, відцентрові подрібнювачі, скоро різки, кавітаційні подрібнювачі, колоїдні млини, комбіновані машини та інш.

В ковбасному цеху КП «Полтавський м'ясокомбінат» при виготовленні фаршу варених ковбас застосовують машини для середнього (вовчки) і тонкого (кутери, емульситатори, колоїдні млини) подрібнення [23,24].

М'ясо, попередньо подрібнене на шрот або шматки, після соління подрібнюється за допомогою вовчка. Від діаметра отворів у вихідній решітці вовчка залежить ступінь подрібнення сировини. Сировину, що надходить у приймальну чашу вовчка, захоплюють спіралеподібні шнеки, які обертаються назустріч один одному, і крізь горловину робочого циліндра подають її до

обертового робочого шнека, що переміщує м'ясо для подрібнення в робочу камеру. Під тиском, що розвиває робочий шнек, м'ясо протискується крізь отвори у решітках, перерізається обертовими ножами і виходить із вовчка крізь отвори у вихідній решітці в подрібненому стані [23,24].

Після подрібнення на вовчку подрібнене м'ясо за допомогою пересувних підлогових візків і підіймачів надходить до машин тонкого подрібнення м'яса.

Для тонкого подрібнення м'яса в цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату використовують кутер. Ковбасний цех оснащений шестиножовим кутером Л5-ФКМ з чашею об'ємом 125 літрів.

М'ясна сировина, що надходить в кутер подрібнюється серповидними ножами, що швидко обертаються в об'ємі м'яса, завантаженого в чашу. Подача м'яса під ножі здійснюється шляхом обертання чаші та роботи шнеків.

Основними частинами кутера (рис.1) є станина – 1, на якій змонтовані всі вузли з ножовим приводом, ножового валу, вивантажувача, шафи електроустаткування та пульта керування.

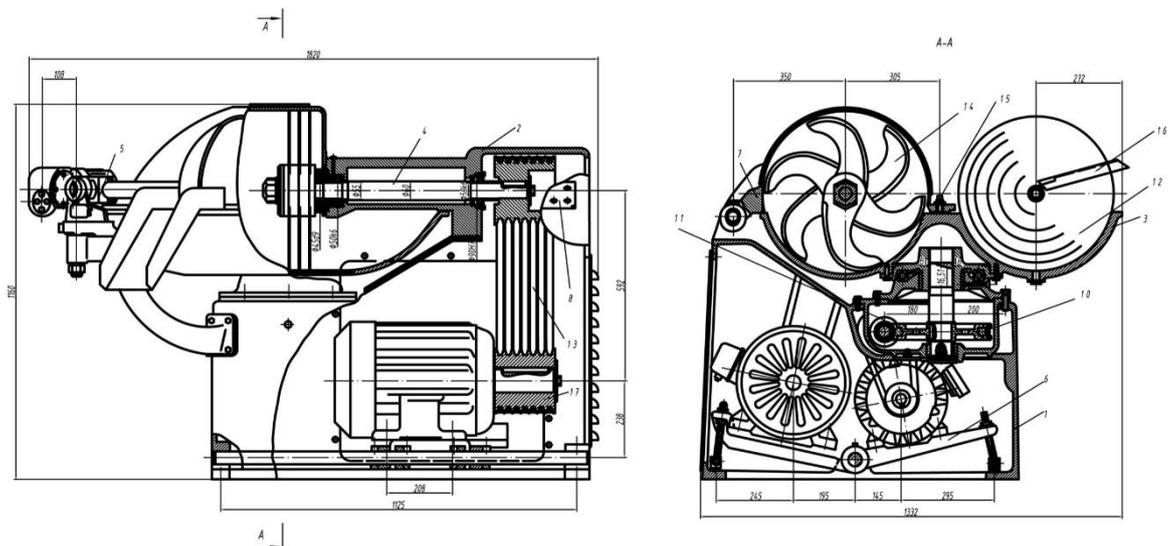


Рисунок 1 – Конструкція кутера Л5-ФКМ

Ножовий вал 4 приводиться в рух за допомогою шківів 17 клинопасовою передачею 13. Ножові головки з ножами 14 прикріплені до ножового валу. Ножова головка складається з 6 серповидних ножів, що встановлені на втулці з кутовим зміщенням, рівним 60 градусів. Ножовий вал встановлюється на двох

підшипникових опорах. Ножова головка приводиться в обертання одношвидкісним двигуном за допомогою клинопасової передачі 18. Двигун встановлений на плиті.

Чашу обертає інший електродвигун, завдяки наявності клинопасової передачі та черв'ячного редуктора. Для натягу пасів двигун встановлений на плиті [5,14,19,24].

Завантаження кутера сировиною здійснюється вручну, розвантаження приготованого фаршу – за допомогою механізму вивантаження.

Технічні характеристики кутера Л5-ФКБ, що застосовується в цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату:

Вмістимось чаші – 0,125 м<sup>3</sup>;

Технічна продуктивність по основній сировині при тривалості циклу не більше 5 хв. – 2250 кг/год;

Коефіцієнт завантаження чаші, кг, не більше

-по основній сировині – 0,6,

-по мороженій сировині – 0,4;

Маса завантаження, кг, не більше

-по основній сировині –150,

-по мороженій сировині –75;

Кількість пар ножів – 3 шт;

Тривалість циклу – 4-7 хв;

Швидкість різання – 80 м/с;

Встановлена потужність електродвигуна – 7,5 кВт;

Коефіцієнт потужності електродвигуна - 0,3 – 0,6;

Коефіцієнт корисної дії електродвигуна - 0,63;

Габаритні розміри: довжина – 3600 мм, ширина – 2150 мм, висота – 2300 мм ;

Маса кутера – 3180 кг.

Основними технологічними вимогами до функціональних властивостей фаршу варених ковбасних виробів є: високий ступінь руйнування первинної

структури компонентів фаршу; забезпечення зв'язаного стану вологи і жиру як під час технологічного оброблення, так і в готовому продукті; забезпечення монолітності структури, соковитості та необхідних органолептичних показників готового продукту (ніжна консистенція, добрий смак, колір та ін.).

Технологічний процес виготовлення фаршу для приготування ковбасних виробів представлений на рисунку 2 [5,7].

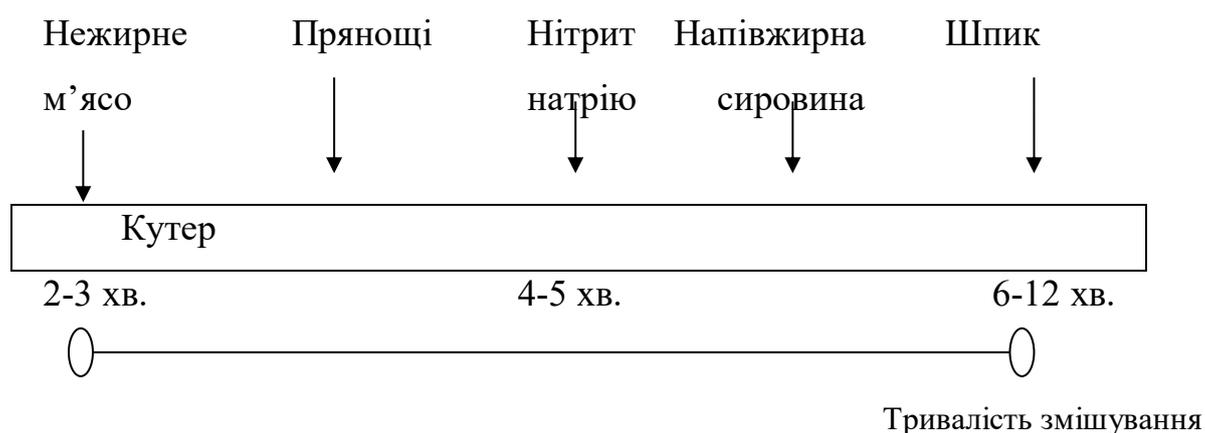


Рисунок 2 - Послідовність приготування фаршу для ковбасних виробів

Технологічний процес подрібнення м'яса під час приготування фаршу можна умовно поділити на три періоди [5,7]. На початку роботи в чашу поступово завантажують нежирне м'ясо.

Під час перерізання та тертя м'яса по бокових поверхнях ножів виділяється теплота і м'ясо нагрівається. Для підтримання температури м'яса близько 0°C до м'яса невеликими порціями додають сніг. Дотримання температури фаршу близько 0 °C шляхом додавання снігу та розчину солі понад 2 % створюють умови для розчинення міофібрилярних і регульовані білків, які виходять у зовнішнє середовище при перерізанні волокон. Перша фаза регульовано триває 3 хв. Основна мета першої фази — подрібнення первинної структури м'яса і розчинення міофібрилярних білків.

Зі збільшенням ступеня подрібнення підвищується частка розчиненого білка в дисперсному середовищі. Впродовж 3 – 6 хв подрібнення утворюється водно-білкова емульсія. До фаршу додають холодну воду, білкові добавки і після підвищення температури до 10°C — спеції, що сприяє поглинанню м'ясом

ефірних олій. Наприкінці другого періоду додають напівжирну або жирну сировину, яка подрібнюється. Температура 10 – 12°C сприяє тонкому подрібненню і емульгуванню жиру. На часточках жиру адсорбуються білки, що зопобігає змиванню жиру при подальшому тепловому обробленні.

Під час останнього періоду (7-10 хв.) подрібнення продовжується утворення вторинної структури фаршу. Наприкінці третього періоду подрібнення до фаршу ковбас нижчих сортів для підвищення вологовмісту додають крохмаль, борошно, карагінан, регульовані натрію, якщо вони передбачені рецептурою ковбас. Тривалість кутерування коливається від 6 (для яловичини вищого сорту і свинини) до 7 – 12 хв (для яловичини II сорту).

В процесі подрібнення м'яса в кутері оператор стежить за тим, щоб температура фаршу не перевищувала 12 – 15°C. Перегрівання позначається на вологозв'язуючій здатності і структурно-механічних властивостях фаршу.

Використання фосфатів (до 0,3%) поліпшує структуру і консистенцію фаршу, колір і смак готового продукту. Фосфати доцільно додавати при виготовленні ковбасних виробів із м'яса II сорту, з телятини, що довго зберігалось, і солоного м'яса. Фосфати сприяють емульгуванню і рівномірному розподіленню жиру у фарші.

Для сосисок і сардельок фарш додатково подрібнюють на машинах тонкого подрібнення (емульситатор, колоїдний млин, АТИМ, мікрокутер).

При виготовленні фаршированих ковбас із складним малюнком використовують шпик. Щоб його отримати, шматки шпику (як правило, хребтового) розрізають вручну або на машині на пластини (шари) потрібної товщини. Шпик, грудинку, яловичий жир вводять у ковбасний фарш шматочками певної форми і розмірів, подрібнюючи перед цим на шпигорізці[5].

#### **1.4 Покращення якості ковбасних виробів**

Якість ковбасних виробів визначається комплексом медико-біологічних вимог і санітарних норм якості продовольчої сировини й харчових продуктів. Якість харчових продуктів, у свою чергу, визначається сукупністю властивостей,

що характеризуються здатністю продуктів задовольняти потреби організму людини в харчових речовинах, органолептичними властивостями продуктів, їх безпекою для здоров'я споживача, стабільністю хімічного складу і збереженням споживчих властивостей [5,7].

Органолептичні властивості продукту — зовнішній вигляд, колір, приємний смак й аромат, консистенція як зовні, так і на перерізі визначаються відповідними стандартами [19,20].

Санітарно-гігієнічні показники визначають нешкідливість продукту й гарантують відсутність патогенної мікрофлори, солей важких металів, нітритів, пестицидів, радіонуклідів і гормональних препаратів.

Показники якості ковбасних виробів залежать від складу і властивостей вихідної сировини, дотримання рецептур і технологій виготовлення продуктів, умов та режимів їх зберігання, дотримання санітарно-гігієнічних вимог щодо якості сировини, стану виробничих приміщень і обладнання, а також тари. Ці вимоги регламентуються технічними умовами та технологічними інструкціями, державними стандартами і відповідними законодавчими документами.

На підприємстві КП «Полтавський м'ясокомбінат» контроль за якістю сировини, дотриманням технологічних режимів, якістю продукції здійснює лабораторія, в якій проводиться ветеринарно-санітарна експертиза, хімічний і бактеріологічний контроль сировини, допоміжних матеріалів і готової продукції.

Кожна партія ковбасних виробів підлягає органолептичному оцінюванню спеціальною комісією підприємства, яка оформляє дозвіл (свідоцтво про якість) на реалізацію продукції [19,20].

Ковбасні вироби з відділу експедиції КП «Полтавський м'ясокомбінат» випускаються свіжими, не містять побічних включень, не мають сторонніх присмаків і запахів. Свіжі вироби мають суху, міцну, еластичну без плісені і слизу оболонку, яка щільно прилягає до фаршу (за виключенням целофанової оболонки). Фарш варених ковбас на розрізі має рожево-червоне забарвлення.

Фізико-хімічні та бактеріологічні показники є гарантованими і визначаються нормативною документацією виробника періодично, але не рідше

ніж один раз на 10 діб, а також на вимогу контролюючої організації або споживача.

За допомогою фізико-хімічною оцінки визначають вміст вологи та масову частку хлористого натрію, наявність крохмалю та [16,17].

Ковбасні вироби, призначені для реалізації згідно з ДСТУ мають бути доброякісними і цілком відповідати вимогам стандартів і технічних умов та санітарно-гігієнічним показникам.

Якість і вихід ковбасних виробів залежать виключно від якості сировини і дотримання параметрів технологічного процесу.

Сировина для приготування ковбасних виробів має різні механічні характеристики, що визначаються видом м'яса, його температурою, умовами годування тварин. Механічні особливості сировини призводять до змінного навантаження електродвигуна кутера, що знижує коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності електродвигуна та збільшує енергозатрати при приготуванні фаршу. Для дотримання високої якості фаршу та мінімальних затрат електроенергії, що суттєво залежать від механічних характеристик сировини необхідно змінювати режим роботи кутера.

Таким чином, аналіз технологічного процесу приготування фаршу та режиму роботи кутера, а саме періодичність дії обладнання та обмежена регульованість електропривода кутерної головки дозволяють зробити висновок про необхідність модернізації електропривода пристрою приготування фаршу – кутера Л5-ФКМ. Для модернізації обраного електропривода кутера передбачено впровадження частотно-регульованого електропривода на основі трьохфазного електродвигуна змінного струму з короткозамкненим ротором, а також розробку та впровадження системи автоматичного керування ним [8,10,17].

## 2 ДОСЛІДНИЦЬКА ПРОЕКТНО – РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок кількості сировини і готової продукції

При виконанні магістерської роботи виконано моніторинг споживацького ринку ковбасної продукції м. Полтава та регіону, в результаті чого встановлений оптимальний її асортимент, що виготовляється за робочу зміну на заплановану потужність 12т ковбасних виробів за зміну в КП «Полтавський м'ясокомбінат». Проведення соціологічних досліджень серед населення Полтавщини та регіону дозволило розробити рекомендації щодо асортименту продукції Полтавського м'ясокомбінату, а саме: ковбаси варені - Здоров'я першого гатунку, Південна 1/г, Лікарська в/г, сосиски Городські 1/г, сардельки 1/г: ковбаси напівкопчені – Горська 1/г, Городська 1/г, Закусочна 2/г; варено-копчена Сервелат в/г; сирокоччені – Армавірська 1/г та Любительська 1/г.

При розробці рецептури варених та напівкопчених ковбас, щі мають великий попит на Полтавщині та в регіоні, КП «Полтавський м'ясокомбінат» використані результати, викладені в джерелах [4-7,19], відповідних стандартах [20] та результати власних пошуків .

Для визначення кількості основної сировини для кожного виду ковбаси скористаємося методикою, запропонованою авторами досліджень [5,6,19]:

$$C = П \times 100/n \quad (2.1)$$

де С – маса основної сировини, т;

П – маса готової продукції, що виробляється за зміну, т/зм;

n – норма виходу готової продукції, % до маси сировини.

Маса основної сировини за видами (жилованого м'яса за гатунками) та іншу сировину, знаходимо із співвідношення, наведеного в роботах [5,6,19] та відповідних стандартах:

$$Ж = C \times Н / 100 \quad (2.2)$$

де Ж – маса жилованого м'яса за зміну, кг;

С – загальна маса сировини, кг;

Н – норма затрат основної сировини за рецептурою, кг на 100 кг загальної маси сировини.

Розрахунок допоміжної сировини та спецій проводять за формулою [5,6,19]:

$$A_e = A_o \times n / 100 \quad (2.3)$$

де  $A_e$  – маса сировини, кг;

$A_o$  – маса основної сировини, кг;

n - норма, кг/100 кг основної сировини.

Для кожного виду ковбасних виробів маса допоміжної сировини та спецій визначається окремо.

Розрахунок кількості м'яса на кістках.

### **1. Визначення маси м'яса яловичини.**

Для розрахунку кількості м'яса яловичини на кістках приймаємо наступне співвідношення категорій вгодованості великої рогатої худоби:

I категорія – 30%, II категорія – 70% від загальної кількості жилованої яловичини без вирізки.

Масу м'яса на кістках по кожній категорії вгодованості з урахуванням виходу жилованого м'яса розраховуємо за формулами [5,6,19]:

$$A_{1к} = A_{я} \times 30/71,5; A_{2к} = A_{я} \times 30/70,0; \quad (2.4)$$

де  $A_{я}$  – загальна маса жилованого м'яса яловичини, кг;

$A_{1к}$  – маса м'яса I категорії вгодованості, кг;

$A_{2к}$  – маса м'яса II категорії вгодованості, кг.

Кількість півтуш розраховуємо за формулою [5,6,19]:

$$П = A / M, \quad (2.5)$$

де: M – маса однієї напівтуші, кг;

A – загальна маса яловичини на кістках, кг.

На підприємстві прийнята середня маса однієї півтуші (яловичини) – 115 кг. Таким чином кількість яловичих пів туш:  $7346,3:115=64$  півтуші.

## **2. Визначення маси м'яса свинини.**

У ковбасному виробництві використовується свинина другої, третьої та четвертої категорії вгодованості. Для розрахунку маси м'яса свинини на кістках приймаємо наступне співвідношення категорій вгодованості: II категорія – 35%, III категорія – 35%, IV категорія – 30% від загальної кількості жилованої свинини.

Маса м'яса на кістках по кожній категорії вгодованості з урахуванням виходів жилованого м'яса розраховуємо за формулами [5,6,19]:

$$\begin{aligned} A_{2к} &= A \times 35/68,7; \\ A_{3к} &= A_c \times 35/65,6; \\ A_{4к} &= A \times c30/62,2; \end{aligned} \quad (2.6)$$

де  $A_c$  – загальна маса жилованого м'яса свинини, кг;

$A_{2к}$ ,  $A_{3к}$ ,  $A_{4к}$  – маса м'яса II, III та IV категорії вгодованості відповідно, кг.

### **2.2 Дослідження умов роботи електропривода кутера. Розрахунок, обґрунтування та вибір електросилового обладнання**

Для забезпечити якісного протікання технологічного процесу при вибраній продуктивності робочої машини необхідно дослідити умови роботи електропривода та підібрати електросилове обладнання. Під час вибору силового електрообладнання враховувалась відповідність електропривода приводним характеристикам робочої машини, відповідність елементів електродвигуна умовам оточуючого середовища [12,15,25,26,27].

До силового електрообладнання ковбасного цеху КП «Полтавський м'ясокомбінат» відносяться приводні електродвигуни механізмів та обладнання, що поставляється разом зі стандартним технологічним

обладнанням. В комплектах поставляються трифазні електродвигуни змінного струму з коротко замкнутим ротором, розраховані на напругу живлення 380/220 В та частоту 50 Гц, серії АИР.

Наведемо перевірочний розрахунок для електропривода пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ.

Скориставшись результатами досліджень [12,15,25,26,27], визначимо потужність основного електродвигуна кутера Л5-ФКМ, необхідну для його роботи.

$$N_{pm} = n \frac{g \times Q}{1000 \times \eta}, \text{ кВт} \quad (2.7)$$

де:  $g$  - питома витрата електроенергії при сталій роботі \кутера Л5-ФКМ

$g=3,5 - 4,5$  кВт/т.

Приймаються  $g=3,9$  кВт/т.

$Q$  - продуктивність кутера Л5-ФКМ ( $Q=1500$  кг/ч).

$\eta$  - ККД приводного механізму кутера Л5-ФКМ

Клинопасова передача має ККД  $\eta_{кл}=0,96$ . Загальний коефіцієнт корисної дії приводу рівний:  $\eta=0,89$ .

$n$ - коефіцієнт запасу потужності приймаємо рівним:  $n=1,2$ .

Розрахункова потужність електродвигуна рівна:

$$N_{pm} = 1,2 \frac{3,9 \times 1500}{1000 \times 0,89} = 7,08 \text{ кВт} \quad (2.8)$$

Вибираємо електродвигун з каталогу [27]. потужністю 7,5 кВт.

Таким чином, для приведення в дію фаршоприготувального пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ необхідний електродвигун потужністю 7,5 кВт.

Основними критеріями при виборі електродвигуна для кутера Л5-ФКМ [12,15,25,26,27].є:

1. режим роботи електропривода;
2. вид електродвигуна;

3. номінальна напруга;
4. номінальна/синхронна частота обертання ротора електродвигуна;
5. конструктивне виконання;
6. номінальна потужність;
7. умови пуску;

При врахуванні вказаних критеріїв виконуються вибір електродвигуна за каталогом та перевірка правильності вибору.

Для кутера Л5-ФКМ характерний тривалий режим роботи, виходячи із співвідношення тривалості роботи і пауз.

Технологічний процес приготування фаршу передбачає роботу кутера Л5-ФКМ протягом 24 години на добу, тому його двигун працює в тривалому режимі (S1) з постійним навантаженням  $P$  і за час роботи температура всіх його частин досягає сталого значення ( $\Theta = \text{const}$ ).

При виборі виду електродвигуна користуються принципом економічності, тобто електродвигун по можливості має бути простим за конструкцією, легким в експлуатації, надійним у роботі, дешевим, мати відносно малі вагу та габаритні розміри.

В результаті дотримання цього принципу, обраний трьох фазний асинхронний електродвигун змінного струму з короткозамкненим ротором, оскільки він має низку переваг, до яких відносяться:

- ✓ Простота конструкції, обслуговування та експлуатації..
- ✓ Надійність у роботі та відносна простота ремонту. Відносно мала вага, габаритні розміри та вартість.

Недоліками асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором є:

- ✓ Великі пускові струми ( $I_{\text{п}} = (5-7) I_{\text{ном}}$ )
- ✓ Складність регулювання кутової швидкості обертання ротора, яка вирішується завдяки впровадженню частотного перетворювача.

В електроприводах робочих машин найбільше часто застосовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором серій 4А, 4АМ та АИ, що мають такі граничні номінальні параметри:

- ✓ номінальна потужність:  
при напругах 220, 380, 660 В від 0,025 до 400 кВт;  
при напругах 6,10 кВ від 500 до 8000 кВт.
- ✓ синхронні частоти обертання ротора: 500, 600, 750, 1000, 1500, 3000 об/хв.

В електродвигунах змінного струму величини номінального та максимального моментів знаходяться у квадратичній залежності від напруги. Оптимальною напругою для невеликих потужностей електроприводу є напруга 380/220 В, що дозволяє вибрати напругу живлення обраного електродвигуна – 380/220 В, що впливає з [12,15,25,26].

При виборі номінальної кутової швидкості обертання ротора необхідно враховувати два суперечливі фактори:

- ✓ Електродвигуни з більшою номінальною швидкістю мають менші габарити, масу та вартість.
- ✓ Більшість робочих машин мають незначні значення номінальних швидкостей виконавчих механізмів. Тому при виборі компактних високошвидкісних двигунів необхідно використовувати в складі електропривода передавальні пристрої, що значно зменшує переваги використання таких двигунів.

Оптимальним рішенням при виборі електродвигуна є той випадок, коли номінальні швидкості виконавчого органа робочої машини і електродвигуна однакові. Якщо ж ця умова не виконується, то вихід знаходять у раціональному співвідношенні маси, габаритів, вартості та надійності роботи двох складових частин електропривода електродвигуна та передавального пристрою [12,15,25,26,27].

Оскільки номінальна кутова швидкість ротора електродвигуна дорівнює швидкості валу кутера Л5-ФКМ, доцільно обрати двигун з синхронною швидкістю 1500 об/хв.

При виборі електродвигуна за конструктивним виконанням враховують такі основні фактори: вплив кліматичних факторів навколишнього

середовища, у якому експлуатується двигун; ступінь захисту; виконання двигуна за способом монтажу.

Оскільки Полтава знаходиться в районі з помірним кліматом, обираємо електродвигун кліматичного виконання У.

Електропривід кутера знаходиться у закритому приміщенні з природною вентиляцією без штучного регулювання кліматичних умов, тому категорії розміщення відповідає цифра 3.

Враховуючи вологі умови роботи електродвигуна кутера обираємо ступінь захисту IP54.

Завдання вибору електродвигуна за потужністю є визначальним, оскільки від правильності вибору за цим параметром значною мірою залежать надійність роботи всього електроприводу і його енергетичні показники в процесі експлуатації.

Вибір електродвигуна із завищеною потужністю спричинює неповне використання технічних можливостей двигуна, зниженні коефіцієнта корисної дії коефіцієнта потужності, що робить використання таких двигунів економічно недоцільним.

Занижена потужність обраного електродвигуна призводить до його перевантаження, що проявляється в недопустимих збільшеннях струму в його обмотках, втраті потужності; наслідком цього є зростання температури складових частин двигуна вище допустимих значень. Останнє спричинює зниження електричної міцності ізоляції та електричні пробіи [8,15,26].

Слід також враховувати той факт що як величина, так і характер навантаження електродвигуна в процесі роботи в складі електроприводу, як правило, не є постійними. В процесі експлуатації двигун може працювати в різних режимах роботи, тому завдання полягає в тому, щоб вибрати найбільш характерний і найважчий із цих режимів.

Розрахунок потужності електродвигуна виконаний в розділі 2.2.

Враховавши особливі умови роботи електропривода фаршоподрібноувального пристрою, з каталогу [27] вибираємо асинхронний

електродвигун з короткозамкненим ротором АИР112М2, оскільки він має низку переваг, основними з яких є простота конструкції, надійність та низька вартість. Основні параметри обраного двигуна наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні параметри електродвигуна

Номінальна потужність	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	7,5
Синхронна частота обертання ротора	$n_{\text{н}}$ , об/хв	1450
Ковзання	$S_{\text{НОМ}}$ , %	8,5
ККД	$\eta$ , %	88
$\cos \varphi$		0,9
$m_{\text{п}}=M_{\text{п}}/M_{\text{НОМ}}$		2
$m_{\text{М}}=M_{\text{мін}}/M_{\text{НОМ}}$		1,2
$m_{\text{К}}=M_{\text{К}}/M_{\text{НОМ}}$		2,2
$i_{\text{п}}=I_{\text{п}}/I_{\text{НОМ}}$		5
Активний опір статора	$R'_{1, \text{о.е.}}$	0,11
Індуктивний опір статора	$X'_{1, \text{о.е.}}$	0,16
Активний опір ротора	$R''_{2, \text{о.е.}}$	0,093
Індуктивний опір ротора	$X''_{2, \text{о.е.}}$	0,32
Момент інерції двигуна	$J_{\text{д,р}}$ , кг · м <sup>2</sup>	0,0009

Від напруги живлення залежить величина струму, що споживається електродвигуном. Зі збільшенням напруги, як правило, пропорційну зменшується сила струму при незмінній потужності, а це дозволяє зменшити витрати міді на виготовлення обмоток двигуна та зменшити переріз провідників, по яких здійснюється його живлення.

В електродвигунах змінного струму величини номінального та максимального моментів знаходяться у квадратичній залежності від напруги.

Тому збільшення номінальної напруги живлення дає суттєве зростання моменту і, як наслідок, підвищення швидкодії та перевантажувальної спроможності електродвигуна.

У випадку електропривода невеликої потужності раціональним є використання електродвигуна з номінальною напругою 380/220 В.

Перевіряємо вибраний електродвигун за умовою пуску [12,15,25,26].

$$M_{нед} \geq M_{пн}, \quad (2.9)$$

де  $M_{пед}$  - пусковий момент електродвигуна, Н·м;

$M_{пн}$  - момент опору пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ, Н·м.

Пусковий момент електродвигуна визначаємо із співвідношення [12,15,25,26]:

$$M_{нед} = \mu_n \cdot M_n \cdot \kappa_U^2, \quad (2.10)$$

де  $\mu_n$  - кратність пускового моменту,  $\mu_n = 2$ ;

$\kappa_U$  - коефіцієнт, що враховує падіння напруги під час пуску,  $\kappa_U = 0,9$ ;

$M_n$  - номінальний момент електродвигуна, Н·м.

Номінальний момент електродвигуна визначаємо за формулою:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (2.11)$$

де  $P_n$  - номінальна потужність електродвигуна, Вт;

$\omega_n$  - номінальна кутова швидкість електродвигуна, рад/сек.

Номінальна кутова швидкість двигуна розраховується за формулою:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}, \quad (2.12)$$

де  $n_n$  - номінальна частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$ ,

$n_n = 1450 \text{ хв}^{-1}$ .

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 2730}{30} = 285,74 \text{ рад/сек} \quad (2.13)$$

$$M_n = \frac{550}{285,74} = 19 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.14)$$

$$M_{нед} = 1,9 \cdot 2 \cdot 0,9^2 = 31 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.15)$$

Момент опору на валу кутера Л5-ФКМ визначається:

$$M_n = \frac{P_{нас}}{\omega_n}, \quad (2.16)$$

$$M_n = \frac{318}{0,105 \cdot 2730} = 1,1 \text{ Нм} \quad (2.17)$$

$$M_{nn} = (0,2 - 0,3) \cdot M_{nn};$$

$$M_{nn} = (0,2 - 0,3) \cdot 1,1 = 0,27 \text{ Нм}$$

$$M_{нед} = 3,1 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{nn} = 0,27 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.18)$$

Перевіримо електродвигун за перевантажувальною здатністю:

$$M_{maxed} > M_{nn}, \quad (2.19)$$

де  $M_{maxed}$  - максимальний момент електродвигуна, Н·м.

Максимальний момент електродвигуна визначаємо за формулою:

$$M_{maxed} = \mu_{max} \cdot M_n \cdot \kappa_U^2, \quad (2.20)$$

де  $\mu_{max}$  - кратність максимального моменту,  $\mu_{max} = 1,2$

$$M_{maxed} = 1,2 \cdot 1,9 \cdot 0,9^2 = 1,9 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.21)$$

$$M_{maxed} = 1,9 \text{ Нм} > M_n = 1,1 \text{ Нм}$$

Проведені вище дослідження та розрахунки показали, що вибраний трьохфазний асинхронний електродвигун змінного струму з короткозамкненим ротором задовольняє всім висунутим експлуатаційним вимогам.

## 2.3 Дослідження, моніторинг, розрахунок та вибір окремих вузлів електропривода кутера.

### 2.3.1 Керування швидкістю обертання ротора асинхронного двигуна.

Різноманітні завдання автоматизації технологічних процесів при ощадному

використанні електроенергії та високій надійності легко вирішуються при заміні традиційного електроприводу робочих машин частотно-регульованим електроприводом на основі трьохфазного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором [8,9].

Наразі частотне керування швидкістю обертання ротора асинхронного асинхронного двигуна є основним. Його перевагою є плавна зміна швидкості обертання ротора практично від нуля до максимальної (номінальної) при незмінній жорсткості механічних характеристик та перевантажувальної здатності двигуна. Діапазон керування складає 5-10 для розімкнутих систем та 1000 і більше для замкнених. Він називається “керування в першій зоні з постійним моментом двигуна”. Недолік полягає у відносній складності та підвищеній вартості перетворювача частоти [8,9].

Задача по керуванню має вигляд, записаний за допомогою координат потокозчеплень статора і струмів ротора [26,27,28]:

$$\begin{aligned}
 \dot{\Psi}_{1d} &= -\alpha_1 \Psi_{1d} + \omega_0 \Psi_{1q} + \alpha_1 L_m \dot{i}_{2d} + u_{1d} \\
 \dot{\Psi}_{1q} &= -\alpha_1 \Psi_{1q} - \omega_0 \Psi_{1d} + \alpha_1 L_m \dot{i}_{2q} + u_{1q} \\
 \dot{i}_{2d} &= -\gamma_1 i_{2d} + \omega_2 i_{2q} + \alpha_1 \beta_1 \Psi_{1d} - \beta_1 p_n \omega \Psi_{1q} - \beta_1 u_{1d} \\
 \dot{i}_{2q} &= -\gamma_1 i_{2q} - \omega_2 i_{2d} + \alpha_1 \beta_1 \Psi_{1q} + \beta_1 p_n \omega \Psi_{1d} - \beta_1 u_{1q} \\
 \dot{\omega} &= \frac{1}{J} \left[ \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_1} p_n (\Psi_{1q} i_{2d} - \Psi_{1d} i_{2q}) - M_c \right] \\
 \dot{\theta}_0 &= \omega_0
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

До першого типу керування частотою змінного струму відноситься система скалярного керування, що часто називають частотним керуванням, основним завданням якої є формування фазних напруги на підставі заданих значень амплітуди й частоти, одержуваних шляхом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) інвертора, які і являють собою трифазну напругу для живлення асинхронного електродвигуна. Даний принцип є найбільш простим способом реалізації частотного керування й завдяки відносно низькій вартості широко використовується для привода механізмів, що не

пред'являють високих вимог до якості регулювання швидкості обертання ротора робочих машин [26,27,28].

Для реалізації даного способу керування найчастіше використовуються перетворювачі частоти з ланкою постійного струму (див. рис.3) [8].

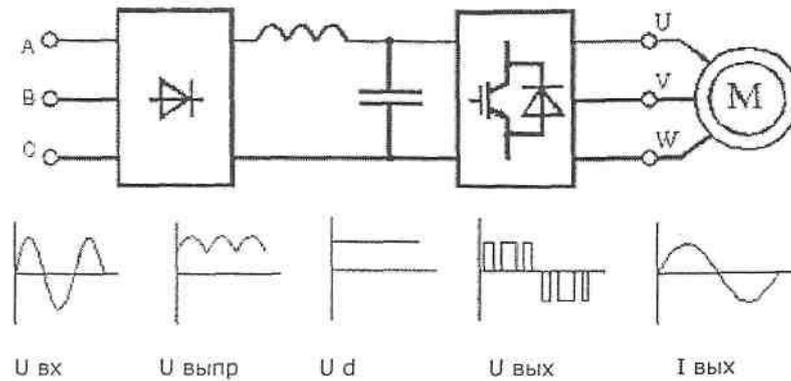


Рисунок 3 - Структурна схема перетворювача частоти із проміжним контуром постійного струму.

Залежно від типу випрямляча та інвертора ПЧ з ЛПС поділяються на ТПЧ з керованим та некерованим випрямлячем, з автономним інвертором струму або напруги. Якщо випрямляч керований, то функцію регулювання напруги на виході тиристорного перетворювача частоти виконує випрямляч, а функцію регулювання частоти – автономний інвертор. У випадку некерованого випрямляча обидві функції виконує автономний інвертор.

У перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму (див. рис.4) є керований тиристорний випрямляч, фільтр і автономний інвертор, на вихід якого підключений двигун змінного струму. Також він містить систему керування випрямлячем СКВ та систему керування автономним інвертором СКАІ. У цьому перетворювачі струм промислової частоти спочатку випрямляється, а потім перетворюється (інвертується) у змінний потрібної регульованої частоти [8,28].

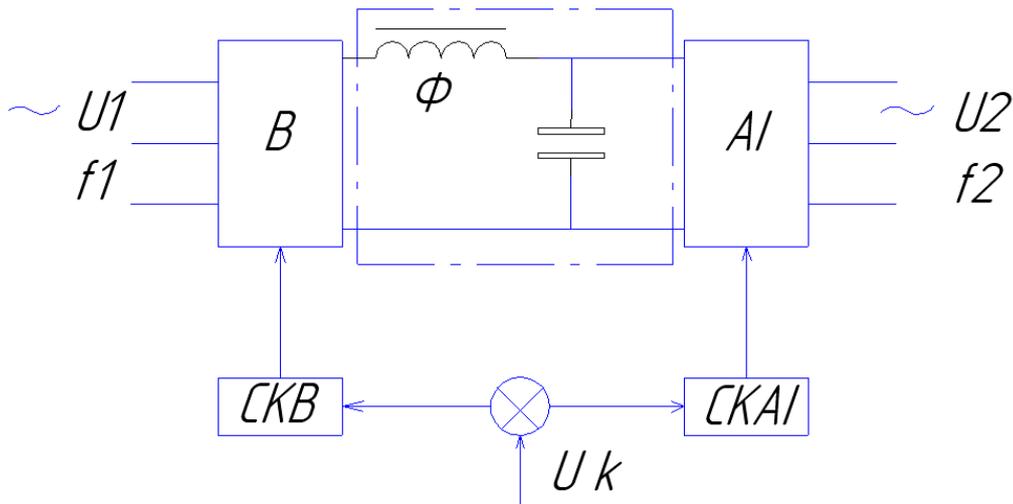


Рисунок 4 - Блок-схема перетворювача частоти з ланкою постійного струму.

При зниженні частоти індуктивні опори статора та ротора зменшуються пропорційно  $f$ , тому струм збільшується, що призводить до перегріву електродвигуна. Таким чином, зі зменшенням частоти струму, необхідно зменшувати і напругу, тобто застосовувати пропорційний закон регулювання ( $U/f = \text{const}$ ). Використання ПЧ з ЛПС дає змогу регулювати вихідну частоту змінного струму в широких межах (як ввєрх, так і вниз від частоти мережі живлення), та значення вихідної напруги від нуля до максимуму.

Суттєвим недоліком перетворювача частоти з ланкою постійного струму є подвійне перетворення електричної енергії, що знижує ККД перетворювача та збільшує його габаритні показники.

До другого типу систем керування відноситься система векторного керування, що забезпечує характеристики асинхронного електропривода, близькі до характеристик привода постійного струму. Ці властивості системи досягаються за рахунок поділу каналів регулювання потокозчеплення й швидкості обертання ротора електродвигуна, недосяжного при використанні скалярного керування.

Система реалізує векторне регулювання швидкості, математичний апарат якого, заснований на диференціальних рівняннях динаміки асинхронного двигуна й векторних співвідношеннях. Метод, застосований у даній системі, однаково коректний, як для перехідних, так і для сталих процесів. Дана обставина істотно підвищує динамічний діапазон роботи системи, що призводить, наприклад, до відсутності провалів швидкості при різкій зміні навантаження.

Суть методу полягає в безпосередньому регулюванні вектора струму. Цей метод мінімізує частоту перемикань інвертора при заданих гармонійних змінах статорного струму. Він використовується в замкнутому контурі керування вектором струму статора  $i_s(t)$  [8,28].

Зображена на рис. 5 діаграма пояснює роботу контуру струму.

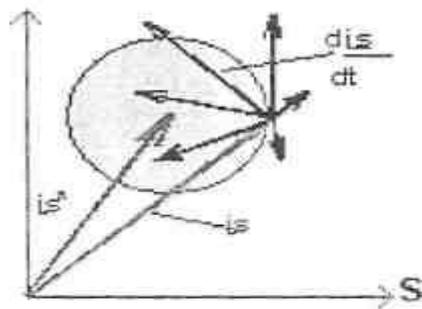


Рисунок 5 - Векторна діаграма струму статора.

Перетворювачі, що використовують даний принцип керування, мають порівняно високу вартість і застосовуються в робочих механізмах з підвищеними вимогами до якості регулювання швидкості обертання їх роторів (приводи у верстатах, ліфтах, кранах). Однак, при наявності гарних датчиків зворотного зв'язку - датчиків положення, швидкості – в багатьох випадках це завдання можна розв'язати при використанні перетворювачів частоти з використанням скалярного принципу керування. Слід також зазначити, що існує чітка тенденція до відмови від датчиків швидкості й розробці алгоритмів визначення стану двигуна по вимірюваних фазних струмах і напругам, що веде до зниження вартості й підвищенню надійності системи [8,28].

Момент перемикання інвертора не прив'язаний до періоду ШІМ, а залежить від реальної помилки вектора струму. Визначальним в роботі контуру є критерій вибору стану інвертора при перемиканнях, що дозволяє:

- мінімізувати частоту перемикань інвертора при малій амплітуді похибки;
- зменшити короткочасно виникаючу більшу струмову похибку за мінімальний час при мінімальній кількості комутацій інвертора.

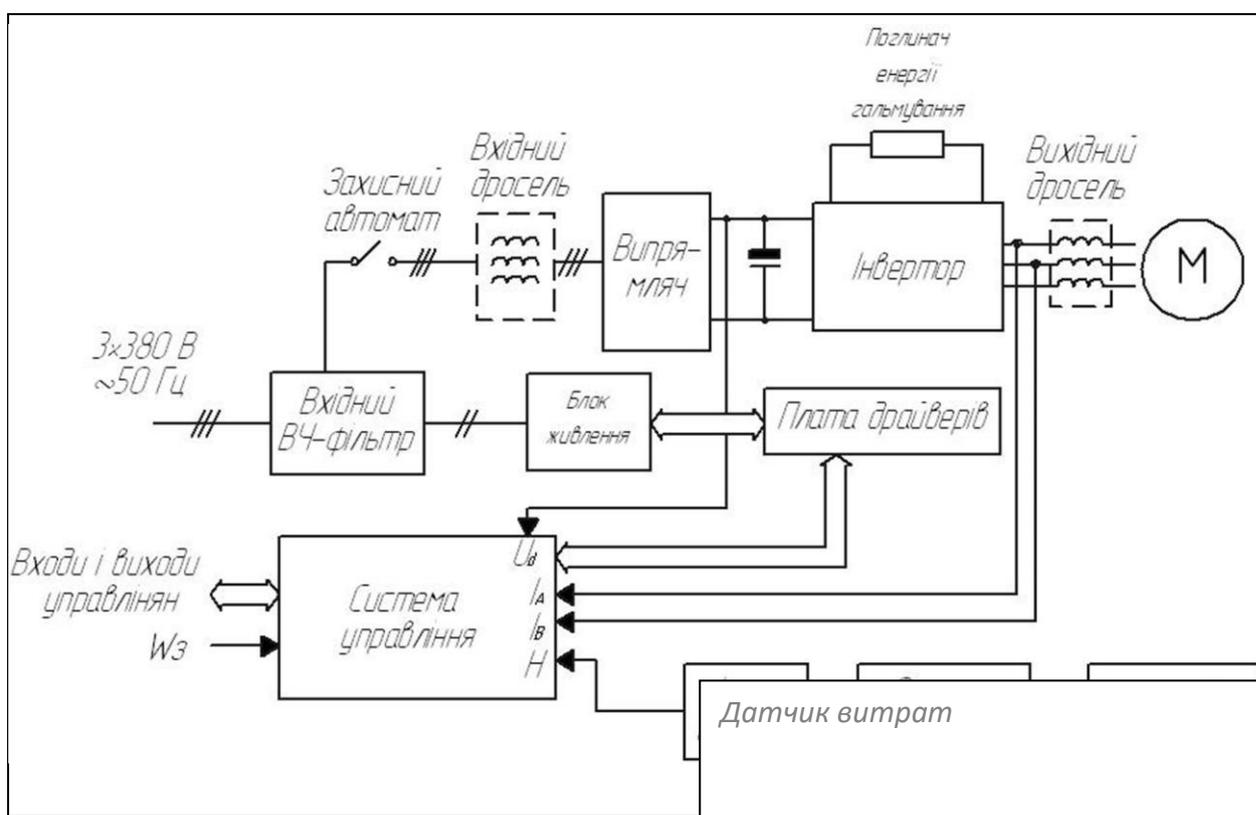


Рисунок 6 - Функціональна схема ПЧ.

Досвід експлуатації частотних перетворювачів показує, що в переважній більшості завдань сьогодення достатньо перетворювача частоти зі скалярним принципом керування й ШІМ - модуляцією інвертора.

Функціональна схема типового перетворювача частоти зі скалярним принципом керування, що здатен виконувати завдання керування

швидкістю обертання ротором кутера виконана за рекомендаціями, наведеними в підручнику [8] та приведена на рисунку 6.

Широке визнання споживачів на світовому ринку частотних перетворювачів на основі IGBT транзисторів отримала компанія Hitachi. Частотні електроприводи під маркою Hitachi охоплюють практично весь можливий спектр електродвигунів потужністю до 1500кВт.

Враховуючи номінальну потужність розрахованого та обраного електродвигуна фаршопріготувального пристрою - кутера, на основі дослідження [18] обираємо частотний перетворювач Hitachi, характеристики якого наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Основні характеристики обраного частотного перетворювача

Номінальна потужність двигуна, кВт	7,5
Номінальна вихідна потужність перетворювача, кВт	13,7
Номінальний вихідний струм, А	18
Система модуляції	ШИМ(1-15 кГц)
Максимальна вихідна напруга, В	~ 0,95 від діючої напруги
Вихідна частота	від 1.0 до 400 Гц
Напруга живлення	3 фази/(342...528)В
Частота	50/60 Гц ±5%
Номінальний вхідний струм	19
Час розгону/гальмування	0.1–600 сек

Обраний частотний перетворювач використовується для плавної зміни частоти обертання короткозамкнених роторів трьохфазних електродвигунів змінного струму, що входять до складу загальнопромислових і спеціальних машин та механізмів і успішно може застосовуватись в складі електропривода кутера. В6-ФСБ, зокрема.

Схема електричних з'єднань основних елементів керованого електропривода кутера В6-ФСБ з використанням обраного перетворювача частоти наведена на рисунку 7 [43].

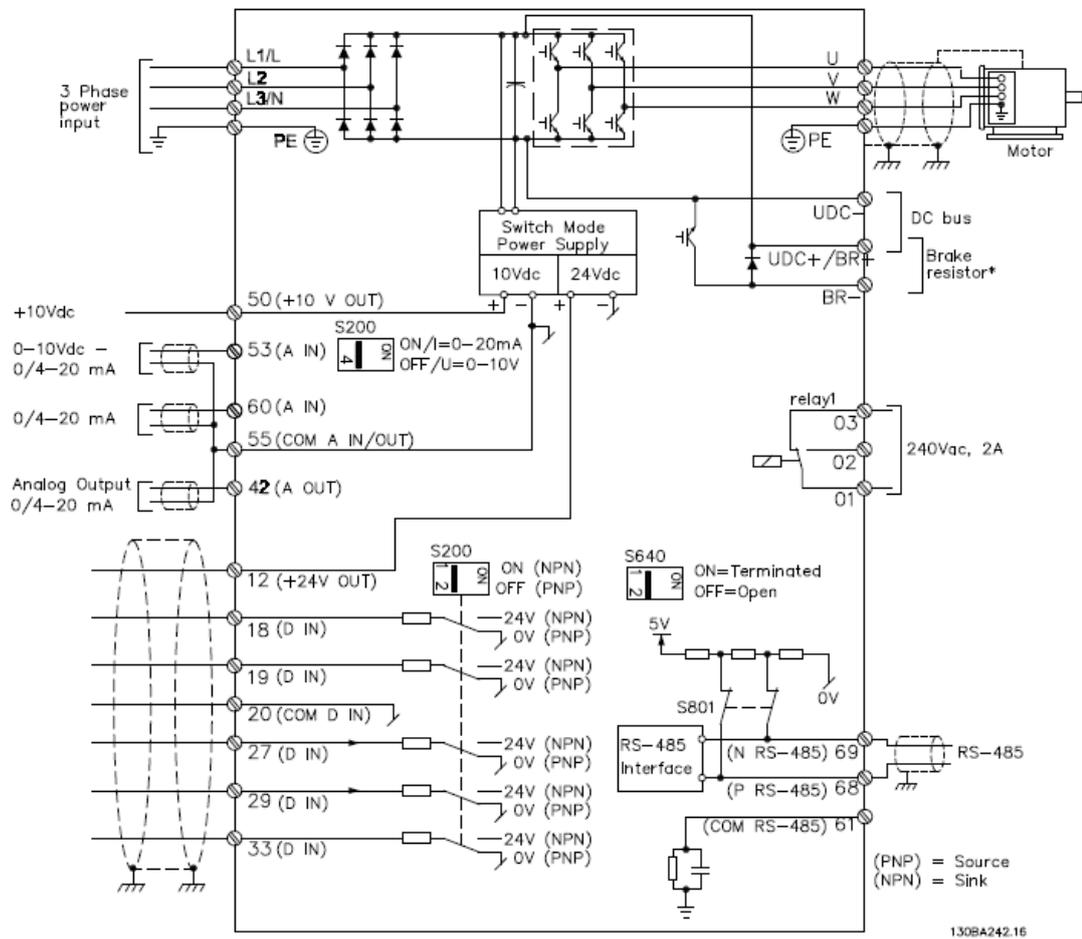


Рисунок 7 - Схема електричних з'єднань основних елементів керованого електропривода кутера

Як видно зі схеми, електродвигун кутера живиться електричною енергією змінного струму, частота якого може плавно змінюватись завдяки зворотному зв'язку, який забезпечує датчик тиску. Тиск спричинює потік сировини з різними механічними властивостями. Таким чином, змінний сигнал датчика керує кутовою швидкістю ротора електродвигуна кутера, забезпечуючи можливість його ножам готувати високоякісний фарш з сировини, що має різні механічні властивості.

### 2.3.2. Дослідження умов роботи блоку живлення електропривода кутера. Розрахунок та вибір трансформатора

Для живлення перетворювача частоти трьохфазним змінним струмом від електричної мережі використовуємо трансформатор. Розрахуємо та оберемо трьохфазний трансформатор за методикою, запропонованою автором довідника [27].

Проведемо розрахунок потужності трансформатора при навантаженні :

$$P_{dn} = U_{dn} \cdot I_{dn} \quad (2.23)$$

$$P_{dn} = 380 \cdot 24 = 9120 \text{ ВА.}$$

Знайдемо габаритну потужність трансформатора без урахування процесу комутації;

$$St = 1,045 \cdot P_{dn} \quad (2.24)$$

$$St = 1,045 \cdot 9120 = 9,5 \text{ кВм}$$

З умови  $Str > St$  попередньо обираємо трансформатор потужністю 9,5 кВА, але після першого етапу розрахунку виявилось, що з урахуванням процесу комутації і 10%-го підвищення напруги, ця потужність не задовільняє розраховану, тому з каталогу [27] виберемо більш потужний трансформатор ТСЗ-10, який має характеристики, наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Характеристики трансформатора ТСЗ-10

$Str, \text{кВ}$	$P_o, \text{кВА}$	$P_k, \text{кВА}$	$U_k, \%$	$m, \text{кг}$
10	0,16	0,56	4,5	95

Для трифазної мостової схеми обираємо коефіцієнт  $B = 0,5$  [27].

Визначимо номінальну фазову напругу вторинної обмотки трансформатора (при куті регулювання  $\alpha = 0$ ).

$$U_{do} = \frac{U_{dn}}{\left(\cos \alpha - B \frac{U_k \%}{100}\right)} \quad (2.25)$$

$$U_{do} = \frac{380}{1 - 0,5 \cdot 0,045} = 388,7 \text{ В.}$$

Визначимо номінальну фазову напругу вторинної обмотки  $U_{2n}$ :

$$U_{do} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_{2n} = 2,34 U_{2n} \quad (2.26)$$

$$U_{2n} = 0,427 \cdot U_{do}$$

$$U_{2n} = 0,427 \cdot 388,7 = 165,975 \text{ В.}$$

Обрахуємо лінійну напругу  $U_{2лн}$ :

$$U_{2лн} = \sqrt{3} \cdot U_{2n} \quad (2.27)$$

$$U_{2лн} = \sqrt{3} \cdot 165,975 = 287,48 \text{ В}$$

Вибираємо лінійну напругу вторинної обмотки потужного трансформатора з номінального ряду 230В, 460В, 660В, 825В.

$$U_{2л} = 460 \text{ В.}$$

Фаза напруга рівна:

$$U_2 = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}} \quad (2.28)$$

$$U_2 = \frac{460}{\sqrt{3}} = 265,6 \text{ В}$$

Знаходимо  $U_{do}$  для вибраного значення фазної напруги вторинної обмотки трансформатора  $U_2$ .

$$U_{do} = 2,34 \cdot U_2 \quad (2.29)$$

$$U_{do} = 2,34 \cdot 265,6 \text{ В} = 621,5 \text{ В.}$$

Потім за значеннями  $U_{1л}$  і  $U_2$ , та приймаючи до уваги 10%-не коливання напруги, визначаємо коефіцієнт трансформації силового трансформатора

$$n_{mp} = \frac{W_1}{W_2} \quad (2.30)$$

$$n_{mp} = 0,9 \cdot \frac{U_{1л}}{3U_2} = 0,9 \cdot \frac{380 \text{ В}}{3 \cdot 265,6} = 0,43.$$

Фазний діючий струм вторинної обмотки трансформатора за умови, що випрямлений струм ідеально згладжений ( $L_n \rightarrow \infty$ ) буде дорівнювати:

$$I_2 = 0,472 \cdot I_{dn} \quad (2.31)$$

$$I_2 = 0,472 \cdot 24 = 11,3 \text{ A.}$$

Після цього визначаємо діючий струм первинної обмотки трансформатора, пов'язаний зі струмом вторинної обмотки коефіцієнтом трансформації із співвідношення:

$$I_1 = \frac{0,817 \cdot I_{dn}}{n} \quad (2.32)$$

$$I_1 = \frac{I_2}{n} = \frac{11,3}{0,43} = 26,28 \text{ A.}$$

Потужність трансформатора для трифазної мостової схеми рівна:

$$St \approx S2 = 17,2 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт використання трансформатора визначаємо за формулою:

$$Kt = P_{dn} / St$$

де  $P_{dn} = U_{dn} \cdot I_{dn}$

$$Kt = 9,5 / 17,2 = 0,55.$$

Таким чином, виконані розрахунки підтверджують правильність вибору трансформатора та його можливість жити обраний частотний перетворювач.

### 2.3.3 Моніторинг та вибір електричної принципової схеми генератора

Основним елементом схеми перетворювача частоти є задаючий генератор тактових імпульсів із широким діапазоном зміни їх частоти. Ці імпульси надходять на формувач 6-фазного сигналу (три прямі сигнали фази й три інверсних), що управляє роботою силового модуля, до якого підключений до електродвигун. Напругу живлення виробляє випрямляч. Випрямлячі потужних

електродвигунів живляться від 3-фазної мережі, для малопотужних електродвигунів достатньо живлення й від однофазної мережі [28,29] .

Діаграма імпульсів керування роботою силового модуля представлена на рис. 8.

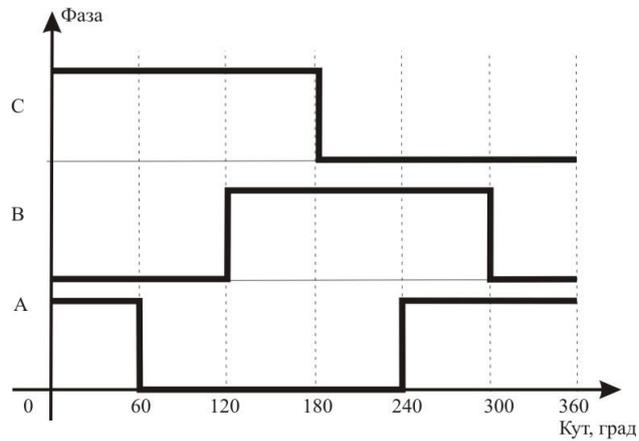


Рисунок 8 - Діаграма імпульсів керування

Електрична принципова схема генератора з можливістю зміни частоти змінного струму наведена на рис. 9.

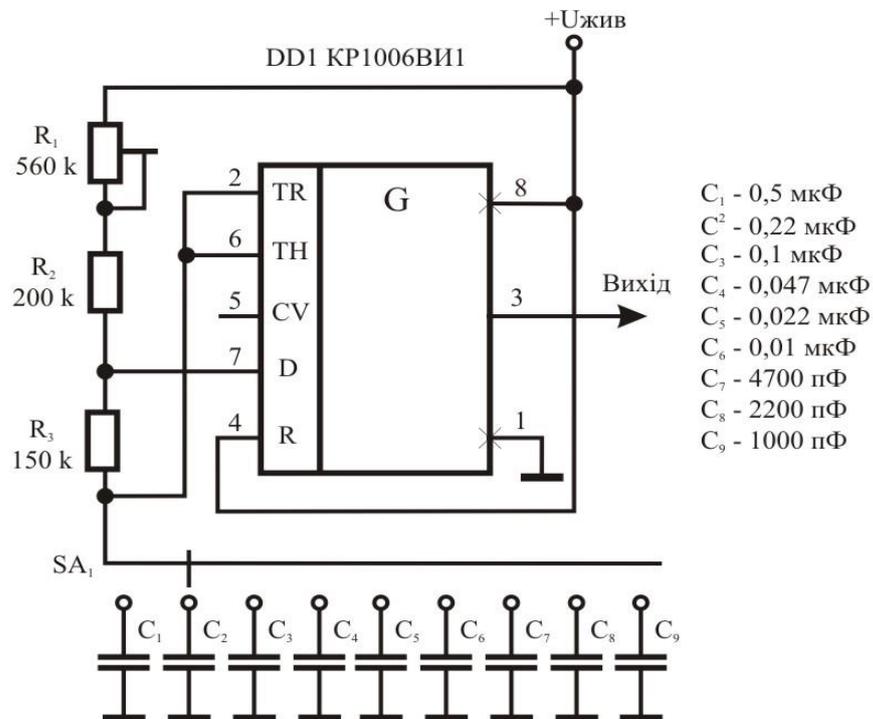


Рисунок 9 - Схема електрична принципова генератора з можливістю зміни частоти змінного струму

Генератор побудований на таймері КР1006ВИ1 . Частота імпульсів, що генеруються, описується виразом:

$$F=1,46/(R_1 + R_2 + 2R_3)C. \quad (2.33)$$

Зміна частоти (від 3 Гц до 3000 Гц) здійснюється вручну підстроюванням потенціометра  $R_1$  (у два рази) і перемиканням позицій перемикача  $SA_1$  (в 500 разів). Оскільки 6 - фазний перетворювач ділить частоту в 6 разів, то на електродвигун можна подати змінний струм, що має частоти від 0,5 Гц до 500 Гц, хоча для електродвигуна кутера при приготуванні фаршу достатньо зміни частоти змінного струму в межах до 40 відсотків

Для розгону двигуна з малих швидкостей на високі, за допомогою перемикача  $SA_1$ , в схемі (рис. 9) змінюється ємність, що дозволяє поступово підвищувати частоту. Недоліком цієї схеми є стрибкоподібне підвищення частоти.

Для плавного підвищення частоти в автоматичному режимі використовують перетворювачі напруга-частота. Вітчизняна промисловість випускає тільки один тип такого перетворювача - мікросхему К1108ПП1. Мікросхема має низку недоліків, основними з яких є - незначний діапазон частот - до 10 кГц, біполярне живлення  $\pm 15$  В, однак для завдань живлення електродвигунів вона цілком підходить. Частота вихідних імпульсів мікросхеми DA1 на схемі рис. 10 визначається виразом:

$$F = U_{BX} / (k I_0 R_2 C_2),$$

де постійні параметри мають значення:  $I_0 = 1$  мА,  $k = 75$ .

При номіналах, зазначених на схемі, частота змінного струму на виході схеми дорівнює  $F = 34 U_{BX}$ , тобто при максимальній вхідній напрузі +15 В частота матиме значення приблизно 500 Гц. Для одержання більш широкого діапазону частот потрібно пропорційно зменшити ємність конденсатора  $C_2$ .

Схема працює таким чином. При включенні живлення, конденсатор  $C_1$  заряджається через резистор  $R_2$ . Постійна часу електричного кола при цих номіналах рівна 20 с, тобто весь процес розгону триває приблизно одну хвилину. Для узгодження високо опірною кола із входом перетворювача встановлено повторювач на польовому транзисторі VT<sub>1</sub>.

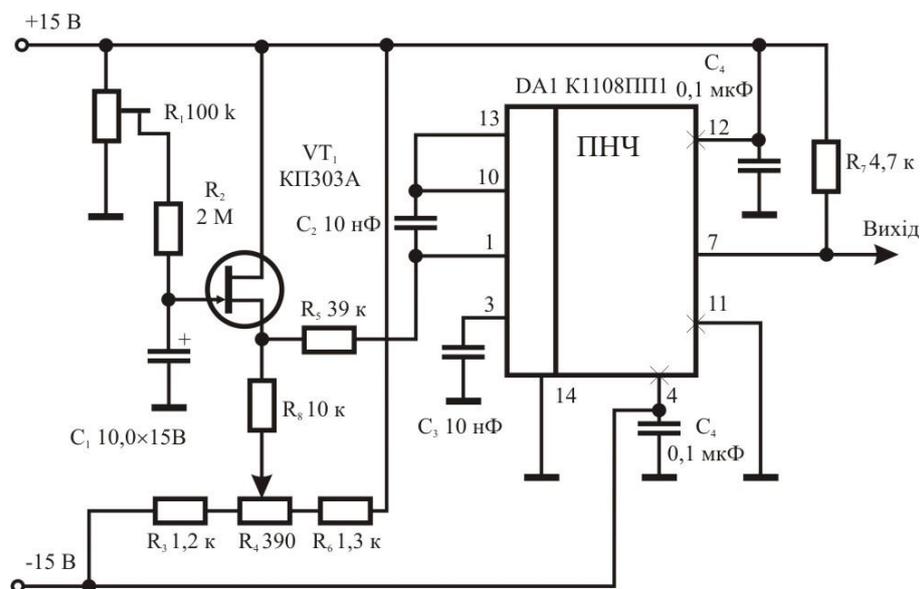


Рисунок 10 - Схема електрична принципова перетворювача частоти

Оскільки вхідні характеристики польових транзисторів мають розкид по напрузі відсічення, передбачене регулювання за допомогою потенціометра  $R_3$ . Для настроювання встановлюється перемикач на конденсаторі  $C_1$ , що дозволяє встановити нульову напругу на елементі схеми, зібраної на транзисторі  $VT_1$ . Потенціометр  $R_1$  призначений для установки максимальної частоти генерації. Для встановлення робочої частоти, що контролюється частотоміром, за допомогою перемикача  $SA_1$ , при відключеному конденсаторі  $C_1$  змінюється опір потенціометра  $R_3$ .

### 2.3.4. Моніторинг, дослідження та вибір електричної схеми формувача сигналів та силових ключів

Моніторинг, аналіз та дослідження розмаїття схем формувачів сигналів [28,29] дозволили обрати оптимальну схему. Обрана схема електрична принципова формувача трифазних керуючих сигналів представлена на рис. 11. Вона складається з лічильника - дешифратора DD1, у якого 6 позицій дешифратора використовуються для формування сигналів, а із сьомої позиції сигнал заведений на скидання лічильника його

коефіцієнт перерахування рівний 6. Як видно з рис. 8, для формування сигналу фази А потрібно об'єднати три перші позиції дешифратора, для фази В - позиції із третьої по п'яту, для фази С - п'яту, шосту й першу.

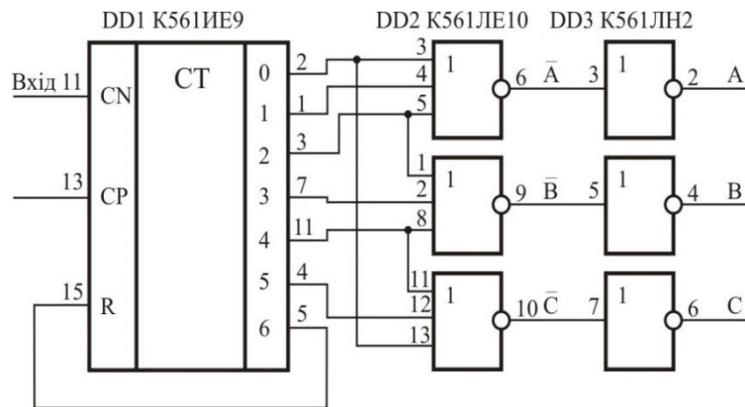


Рисунок 11 - Схема електрична принципова формувача трифазних керуючих сигналів

На рис. 12 наведена схема електрична принципова силових ключів модуля для керування живлення трифазного електродвигуна. Силовий модуль складається з 6 силових ключів  $V_1 \dots V_6$ . Для кожної фази використовується два ключі, наприклад: для фази А ключ верхнього плеча -  $V_1$ , а ключ нижнього плеча -  $V_2$ . На входи силових ключів подаються протифазні сигнали: на верхній - пряме, на нижній - інверсне. От чому потрібний 6 - фазний генератор. На практиці для конструювання силових ключів можна використати як біполярні, так і польові потужні транзистори. Ряд фірм випускають модулі з 6 силовими ключами в одному корпусі. Наприклад, фірма International Red ifief випускає модуль CPV363M4F з такими параметрами: максимальна напруга колектор - емітер 600 В, максимальний імпульсний струм 50 А.

Керування швидкістю обертання ротора електродвигуна імпульсною напругою змінної частоти можливе тільки для малопотужних електродвигунів. Для потужних електродвигунів необхідно формувати напруги, які за формою наближаються до синусоїдальних, тому що напруги прямокутної форми можуть викликати паразитні викиди напруги великої величини, що приведе до пробую ізоляції [28,29].

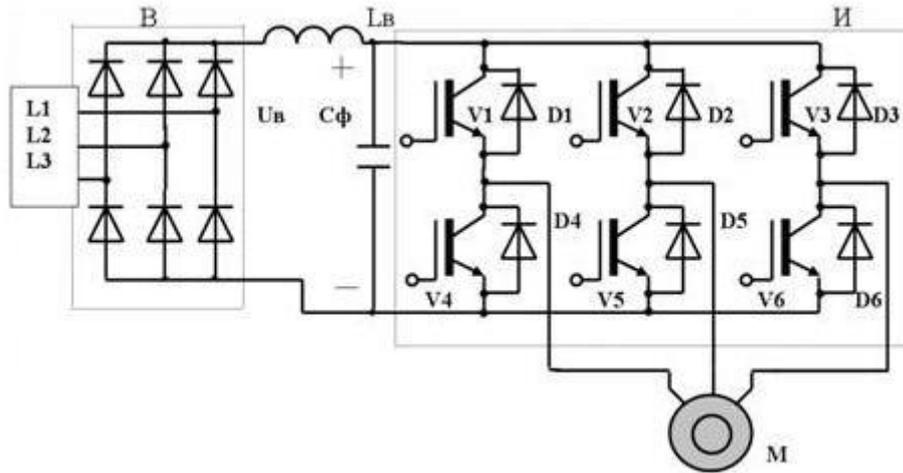


Рисунок 12 - Схема електрична принципова силових ключів керування електродвигуном

У професійних приладах гармонійний сигнал одержують за допомогою пристроїв, структурна схема одного з них наведена на рисунку 13 [28,29]. Тактовий сигнал надходить на лічильник, вихідний код якого є адресою постійного запам'ятовувального пристрою (ПЗП), де зберігаються значення синусів відповідних сигналів.

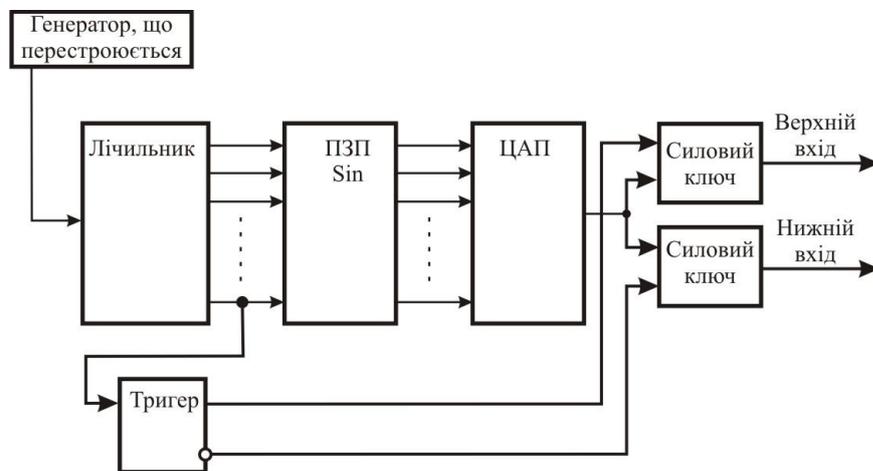


Рисунок 13 - Структурна схема приладу для отримання синусоїдального сигналу

Самі цифрові коди, які пропорційні значенням поточного синуса, надходять на цифроаналоговий перетворювач (ЦАП), де перетворюються в аналогові синусоїдальні сигнали. Для розподілу їх по верхньому й нижньому ключах використовується тригер і два ключі. На першому на півперіоді синусоїдальний сигнал іде на верхній ключ, на другому - на нижній. Для цього

пристрою використовуємо мікросхему K568PE1, у якій записана таблиця синусів, або розроблювач самостійно встановлює таблицю прошивання ПЗП й програмує мікросхему ПЗП.

Для формування напруги, близької до синусоїдальної достатньо перемножити між собою сигнал, що лінійно наростає та лінійно спадає. При цьому отримуємо сигнал параболічної форми, дуже близький до синусоїдального.

Функціональна схема пристрою, що реалізує такий принцип, показане на рисунку 14 [28,29]. Генератор подає тактові імпульси паралельно на два лічильника.

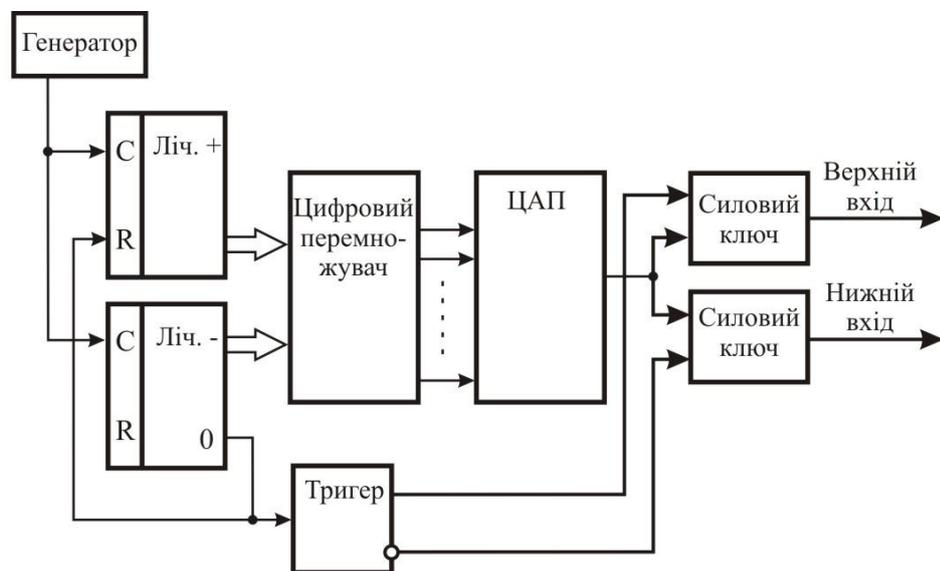


Рисунок 14 - Структурна схема приладу для отримання синусоїдального сигналу на базі лічильників

В цій схемі один лічильник буде працювати на підсумовування, а інший - на вирахування. Коди лічильників погоджені між собою завдяки тому, що сигнал нульового стану лічильника, що віднімає, є скиданням позитивного лічильника. Коди лічильників надходять на цифровий перемножувач, а з нього - на ЦАП. Система перемикання силових ключів та, що й на рисунку 14. Цю схему виготовити простіше, оскільки на електронному ринку достатньо відповідних мікросхем перемножувачів. Наприклад, у КМОП серіях вказану функцію виконує мікросхема K561ИП5. Можна піти іншим шляхом. Наприклад на виходах лічильників поставити ЦАП і їхні виходи підключити до аналогового перемножувача мікросхеми K525ПС2 .

## 2.4. Вибір витратоміра, як елемента автоматичної системи керування кутером

Вимірювання та керування витратами м'ясного фаршу для подачі інформації в автоматичну систему керування кутером здійснюється при включенні в систему автоматичного контролю датчика витрат. При виборі даних апаратів підходять з точки зору економічності, точності та простоти використання і обслуговування. Цим вимогам відповідають витратоміри Овен РМ1 (рис. 15) [18,30]. Прилад РМ1 призначений для вимірювання, індикації, реєстрації та корекції поточних і сумарних витрат м'ясного фаршу в режимі реального часу з урахуванням температури і тиску в фаршевій магістралі. РМ1 видає сигнали витрати шляхом вимірювання перепаду тиску на стандартному звужуючому пристрої або за допомогою здавачів тиску.



Рисунок 15 - Загальний вигляд витратоміра ОВЕН РМ1

Прилад може виконувати наступні функції.

1. Вимірювання поточного та сумарного витрат фаршу.
2. Вимірювання тиску і температури в магістралі.
3. Автоматична корекція масової витрати в залежності від температури і тиску в магістралі.
4. Реєстрація значення витрати.

Загальна функціональна схема витратоміра РМ1 зображена на рисунку 16.

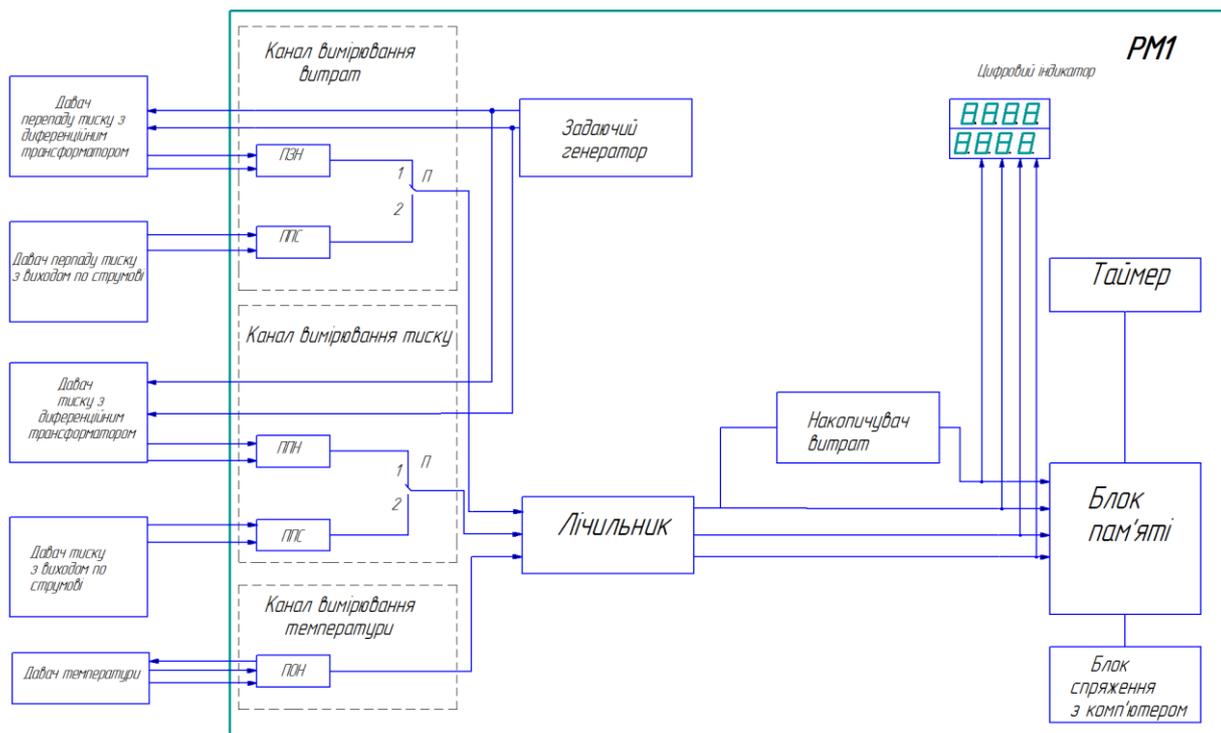


Рисунок 16 - Функціональна схема витратоміра РМ1

Прилад РМ1 має канал вимірювання витрат, канал вимірювання тиску, канал вимірювання температури, що задає генератор, обчислювач, накопичувач витрати, цифровий індикатор, таймер, блок пам'яті, блок живлення з комп'ютером. Канал вимірювання витрати призначений для прийому сигналів від датчиків перепаду тиску і перетворення цих сигналів в постійну напругу. Канал вимірювання витрати містить два перетворювача: ПЗН - перетворювач змінної напруги в постійну, і ППС - перетворювач постійного струму в постійну напругу. До перетворювача змінної напруги в постійну підключаються датчики з диференціальним трансформатором. До перетворювача постійного струму в постійну напругу і підключаються датчики з струмовими виходами. Для вимірювання витрати використовуються пристрої з датчиками перепаду тиску. Канал вимірювання тиску призначений для прийому сигналів від датчиків тиску і перетворення цих сигналів в постійну напругу. Особливості конструкції приладу - прилад містить два перетворювачі: ПЗН - перетворювач змінної напруги в постійну, до нього підключаються датчики з диференціальним трансформатором, і ППС - перетворювач постійного струму в постійну напругу, до нього підключаються

датчики з струмовими виходами. Канал вимірювання температури призначений для прийому сигналів від термоперетворювачів опору і перетворення цих сигналів в постійну напругу за допомогою перетворювача опору в напругу - ПОН. Робота термоперетворювачів опору заснована на залежності електричного опору металів від температури. Схеми підключення датчиків наведені на рисунку 16. Технічні характеристики і параметри витратоміра ОВЕН РМ1 наведені в таблиці 4 [30].

Таблиця 4

Технічні характеристики і параметри витратоміра ОВЕН РМ1

Найменування	Значення характеристики
Діапазон змінної напруги живлення напруга, В	189...245
Частота, Гц	47...63
Споживана потужність, ВА, не більше	6
Границя похибки струмового перетворення вихідного сигналу	±0,1
Температура досліджуваного середовища, °С	-70...260
Тип корпусу	щитовий
Ступінь захисту зі сторони лицевої панелі	IP 20
Температура зовнішнього середовища, °С	+1...65
Атмосферний тиск	86-106 кПа
Напруга живлення	~220 В, 50 Гц
Час запиту датчика витрат	1 сек.
Час запиту датчика тиску	2 сек.
Вага приладу	1 кг.

Схема підключення витратоміра Овен РМ1 зображена на рисунку 17.

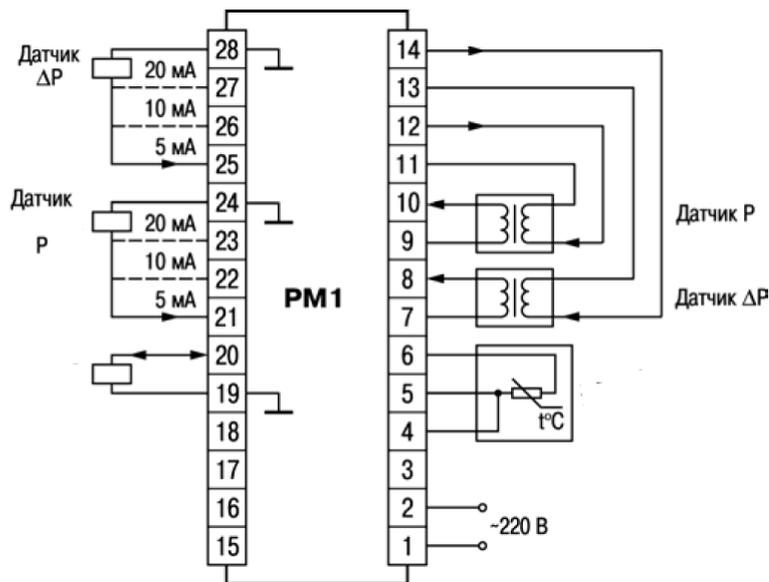


Рисунок 17 - Схема включення витратоміра Овен РМ1

Таким чином, витратомір Овен РМ1 повністю задовольняє вимогам до керування швидкістю обертання ротора кутера для приготування високоякісного фаршу в цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату.

## 2.5. Математичне моделювання та дослідження динаміки САК електроприводом кутера за допомогою ЕОМ

Математичне моделювання системи керування електроприводом пристрою для приготування фаршу – кутера Л5-ФКМ передбачає використання додатку SIMULINK 4.0 пакета прикладного програмного забезпечення MATLAB 6.5 R13. Перехідні процеси доцільно моделювати за допомогою спрощеної (лінеаризованої) моделі АД й ПЧ [31].

Модель складена з окремих блоків. Кожний блок реалізує певний елемент структурної схеми. Модель містить і інші компоненти, призначені для забезпечення працездатності й візуалізації результатів моделювання.

Структурна схема в додатку SIMULINK з лінеаризованою моделлю АД має вигляд, зображений на рис. 18 [31].

Аналіз динаміки й статички буде проведений в режимах: пуск до номінальної швидкості; робота при номінальних параметрах системи; різке збільшення

моменту сили опору фаршованої сировини; різке зменшення моменту сили опору фаршованої сировини.

Слід зазначити той факт, що при реальних умовах роботи пуск електродвигуна кутера, зміна моменту сили опору ножем при фаршуванні сировини, не відбувається стрибкоподібно, а досить плавно протягом деякого часу. Метою даного розділу є дослідження роботи установки в критичних режимах роботи, перевірка правильності вибору компонентів системи.

Моделювання системи керування проводилося на наступному тимчасовому інтервалі:

при  $t = 0.1\text{с}$  був зроблений пуск двигуна кутера без завантаження сировиною, тобто на холостому ході;

при  $t = 0.8\text{с}$  зроблена імітація різкого збільшення моменту сили опору ножем кутера при фаршуванні сировини;

при  $t = 1.4\text{с}$  зроблена імітація різкого зменшення моменту сили опору ножем кутера при фаршуванні сировини;;

при  $t = 2\text{с}$  кінець досліджень.

У результаті проведеного моделювання отримані криві зміни моменту сили опору ножем кутера при фаршуванні сировини і швидкості ротора асинхронного електродвигуна наведені на рисунках 19, 20.

Визначимо деякі показники якості перехідних процесів:

- час перехідного процесу при пуску  $t_{\text{пп.пуск}} = 0,22\text{ с}$ ;

- час перехідного процесу при збільшенні моменту сили опору ножем кутера при фаршуванні сировини;  $t_{\text{пп збіль.т.}} = 0,05\text{ с}$ ;

- час перехідного процесу при зменшенні моменту сили опору ножем кутера при фаршуванні сировини;  $t_{\text{пп.скид.}} = 0,05\text{ с}$ .

Пере регулювання в контурі моменту сили визначається із співвідношення:

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}} - M_N}{M_N} \cdot 100\% \quad (2.35)$$

де  $M_{\max} = 38.9 \text{ Н*м}$  - максимальне значення навантаження (моменту сили) на  
ножі кутера при пуску двигуна.

Тоді:

$$\sigma = \frac{38.9-38}{38} \cdot 100\% = 2.37.$$

Статична помилка в контурі навантаження:

$$\Delta M = M_H - M_{уст} \text{ або } \sigma = \frac{M_{\max} - M_N}{M_N} \cdot 100\% \quad (2.36)$$

де  $M_{уст} = 38 \text{ Н*м}$  - сталі значення напору після скидання або наброса  
навантаження.

$$\text{Тоді } \Delta M = 38 - 38 = 0 \text{ Н*м або } \Delta M_{\%} = \frac{0}{38} \cdot 100\% = 0\%$$

Перерегулювання при збільшенні або зменшенні тиску рівне:

$$\sigma_d = \frac{\Delta M_d}{M_N} \cdot 100\% = \frac{2}{38} \cdot 100\% = 5,26\% \quad (2.37)$$

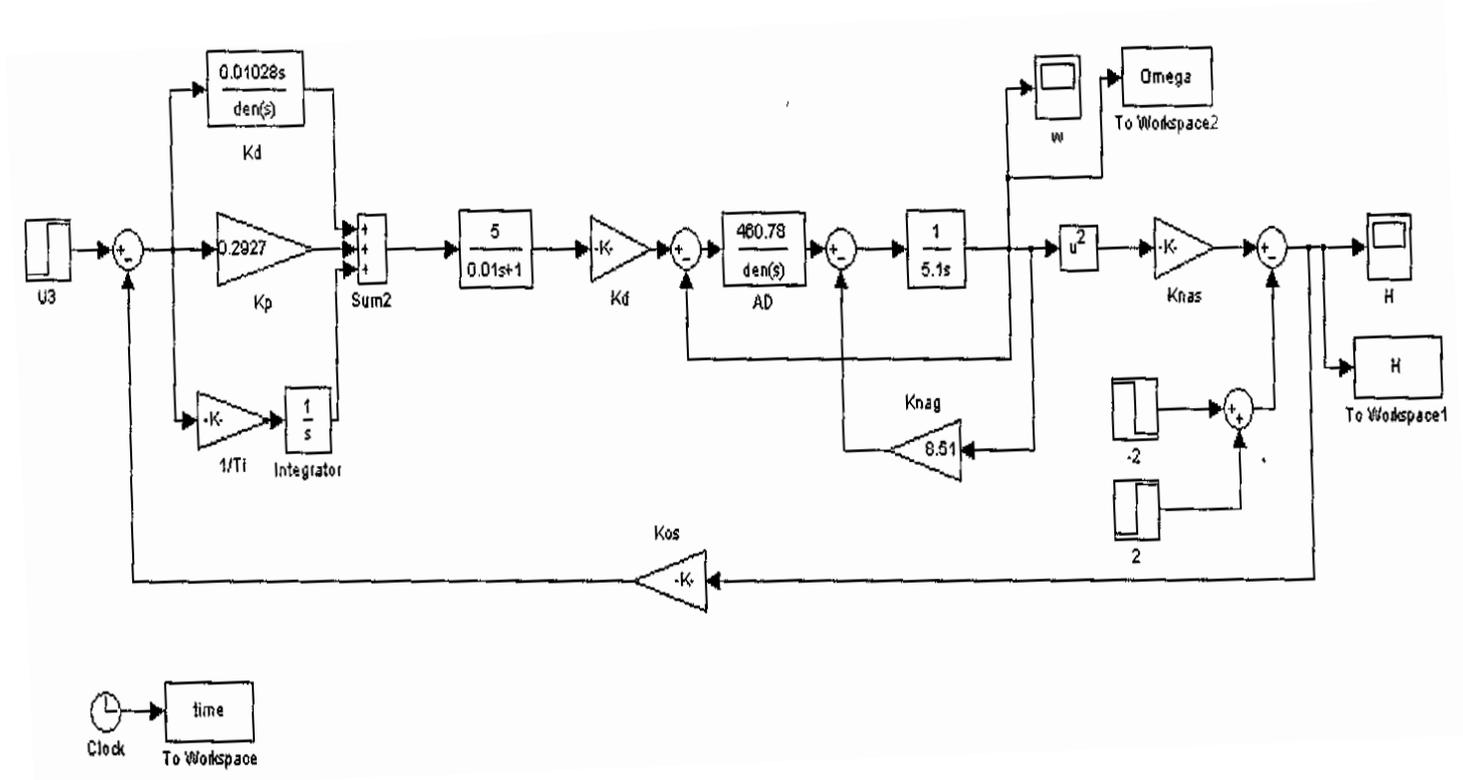


Рисунок 18 – Модель автоматичної системи керування в Simulink.

### Момент опору

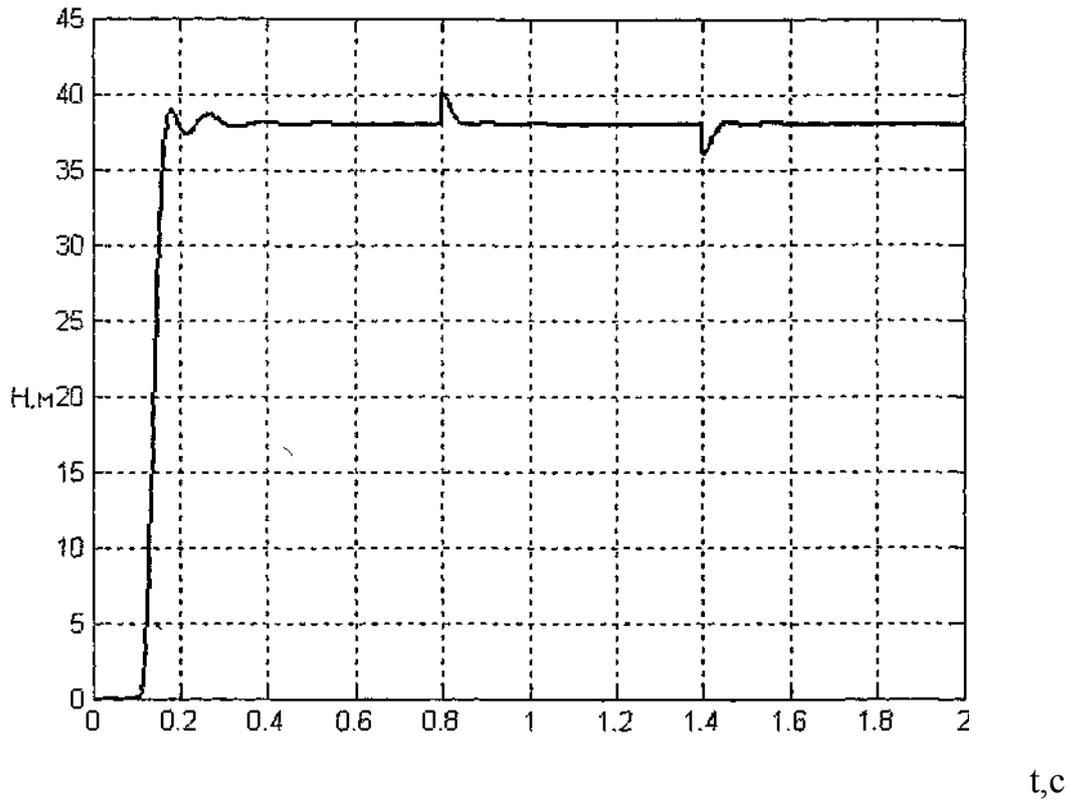


Рисунок 19 - Перехідний процес зміни моменту сили опору кутерованої сировини.

### Кутова швидкість

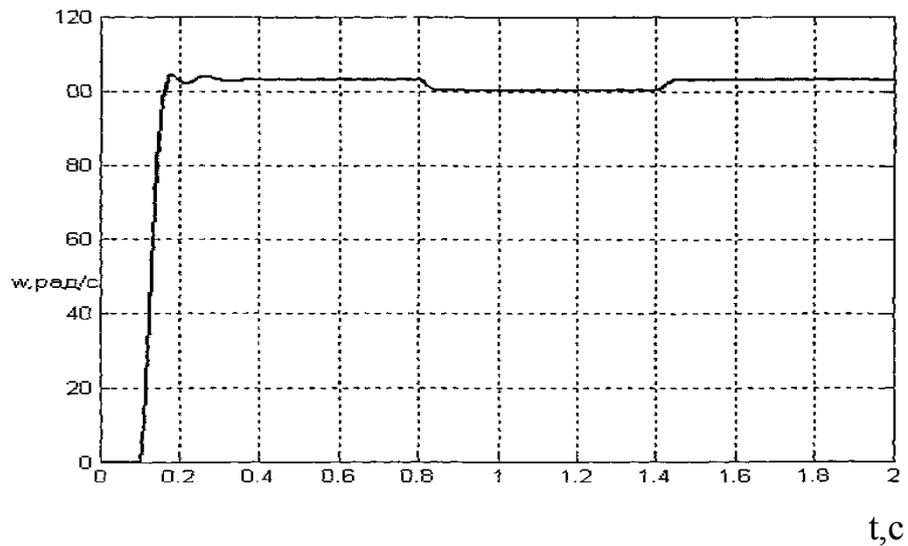


Рисунок 20 - Перехідний процес кутової швидкості ротора АД.

Як показують графіки 19 та 20, при збуренні, викликаному неоднорідністю сировини для приготування фаршу, кутова швидкість ротора

кутера дещо зменшується, однак вже протягом 0,6 с автоматична система керування електроприводом стабілізує роботу робочого механізму.

Як видно з наведених вище розрахунків та графіків перехідних процесів, отриманих в результаті математичного моделювання всі параметри перехідних процесів задовольняють технічним вимогам до електропривода пристрою для приготування фаршу – кутера .

## 2.6. Дослідження автоматичної системи керування на стійкість

Для дослідження якісних показників системи автоматичного керування подачею м'ясного фаршу, а також критеріїв її стійкості спочатку необхідно отримати вираз передатної функції системи, для чого складемо структурно-функціональну схему системи автоматичного керування електроприводом кутера, яка наведена на рисунку 21 [10,17].

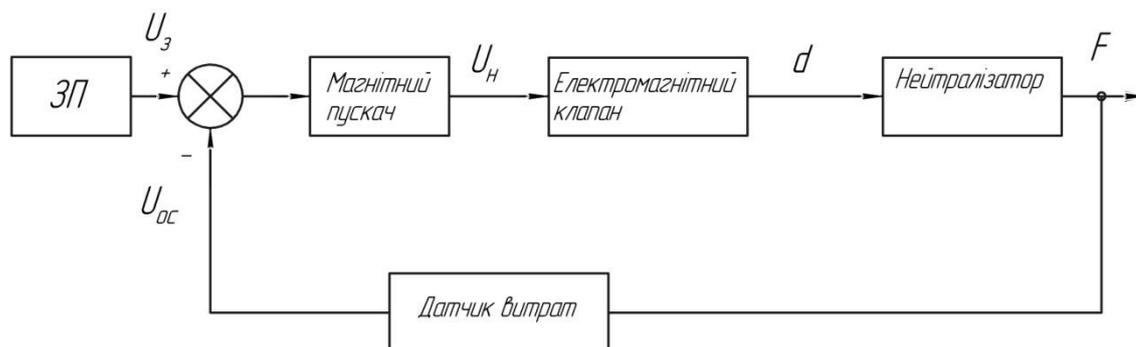


Рисунок 21 - Структурно-функціональна схема САК подачі сировини.

Магнітний пускач має передатну функцію аналогічну нестійкій аперіодичній ланці першого порядку [10,17]:

$$W_1(p) = \frac{k}{T \cdot p - 1}, \quad (2.38)$$

де  $k$  – коефіцієнт передачі,  $k = 0,05$  мм/В;

$T$  – постійна часу,  $T = 1,5$ с [10].

$$W_1(p) = \frac{0,05}{1,5 \cdot p - 1}.$$

Електромагнітний клапан має передатну функцію схожу на

апериодичну функцію 1-го порядку:

$$W_2(p) = \frac{k}{T \cdot p}, \quad (2.39)$$

де  $k$  – коефіцієнт передачі,  $k = 0,45$  мм/В;

$T$  – постійна часу,  $T=3$ с [10].

$$W_2(p) = \frac{0,45}{3 \cdot p}$$

Нейтралізатор як об'єкт керування має передаточну функцію підсилювальної безінерційної ланки :

$$W_3(p) = k, \quad (2.40)$$

де  $k = 400$  мм/(м<sup>3</sup>/год)

$$W_3(p) = 400$$

Датчик витрат має передатну функцію аналогічну реальній диференційній ланці:

$$W_4(p) = \frac{kp}{Tp + 1}, \quad (2.41)$$

де  $k = 0,5$  В/(м<sup>3</sup>/год);

$T = 10$  с

$$W_4(p) = \frac{0,5p}{10p + 1}.$$

Оскільки передатна функція  $W_{1-2}(p)$  замкненої системи складається з послідовно з'єднаних ланок, то згідно [10,17] вона буде мати вигляд:

$$W_{1-2}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p)}, \quad (2.42)$$

Підставляючи числові дані, маємо:

$$W_{1-2}(p) = \frac{\left(\frac{0,05}{1,5p-1}\right) \cdot \left(\frac{0,45}{3p}\right)}{1 + \frac{0,0225}{4,5p-3p}} = \frac{\frac{0,0225}{4,5p^2-3p}}{1 + \frac{0,0225}{4,5p^2-3p}};$$

Оскільки  $W_{1-2}(p)$  та  $W_3(p)$  послідовно з'єднанні тому маємо:

$$W_{1-2-3}(p) = \frac{\frac{0,0225}{4,5p^2 - 3p} \cdot 400}{1 + \frac{0,0225}{4,5p^2 - 3p} \cdot 400} = \frac{\frac{9}{4,5p^2 - 3p}}{1 + \frac{9}{4,5p^2 - 3p}}$$

Враховуючи, що реле витрат виконує позитивний зворотній зв'язок, то передаточну функцію всієї системи можна представити так:

$$W(p) = \frac{W_{1-2-3}(p)}{1 + W_4(p) \cdot W_{1-2-3}(p)} \quad (2.43)$$

Підставляючи числові дані, і зробивши деякі математичні перетворення маємо:

$$W(p) = \frac{4,5p^2 - 3p + 9}{150p^3 + 120p^2 + 3,5p + 2} \quad (2.44)$$

Структурно-алгоритмічна схема САК подачі сировини представлена на рисунку 22.

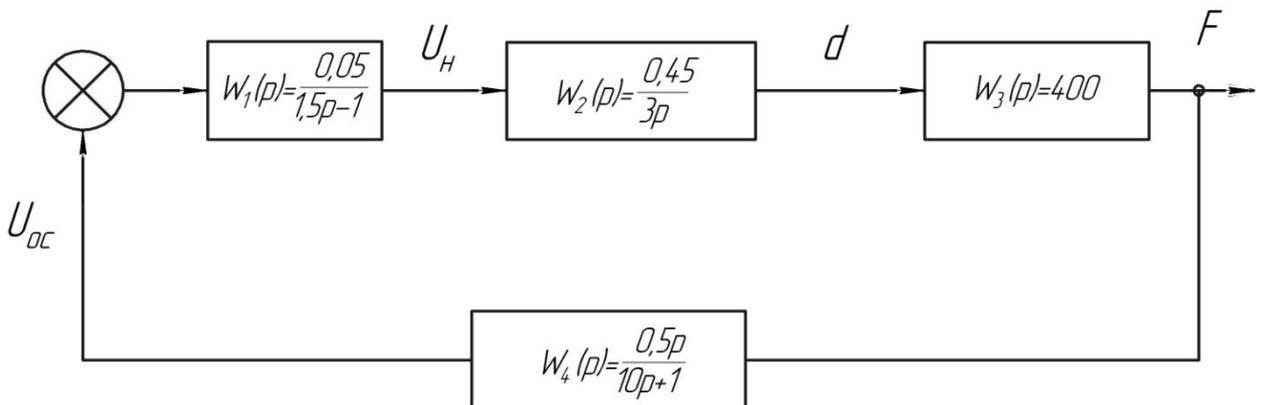


Рисунок 22 - Структурно-алгоритмічна схема САК подачі сировини

Прирівнюючи знаменник формули до нуля, отримаємо характеристичне рівняння системи у вигляді:

$$150p^3 + 120p^2 + 3,5p + 2 = 0$$

Проведемо розрахунок системи автоматичного керування на стійкість за критерієм Михайлова [10,17], для чого підставляємо в характеристичне рівняння  $p = j \cdot \omega$  та, визначаючи дійсну частину від уявної, отримаємо:

$$\begin{aligned} 150(j\omega)^3 + 120(j\omega)^2 + 3,5(j\omega) + 2 = \\ = -120\omega^2 + 2 + j(-150\omega^3 + 3,5\omega) = R(\omega) + jJ(\omega) \end{aligned}$$

Задаючись різноманітними значеннями  $w$ , знаходимо відповідні до них  $R(w)$  та  $J(w)$ , які наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Розрахункові дані для визначення стійкості САК  
за критерієм Михайлова.

w	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18
R(w)	2	1,952	1,808	1,568	1,232	0,8	0,272	-0,352	-1,072	-1,888
J(w)	0	0,0688	0,1304	0,1776	0,2032	0,2	0,1608	0,0784	-0,0544	-0,2448

За результатами розрахунків будемо годограф, що зображений на рис. 23.

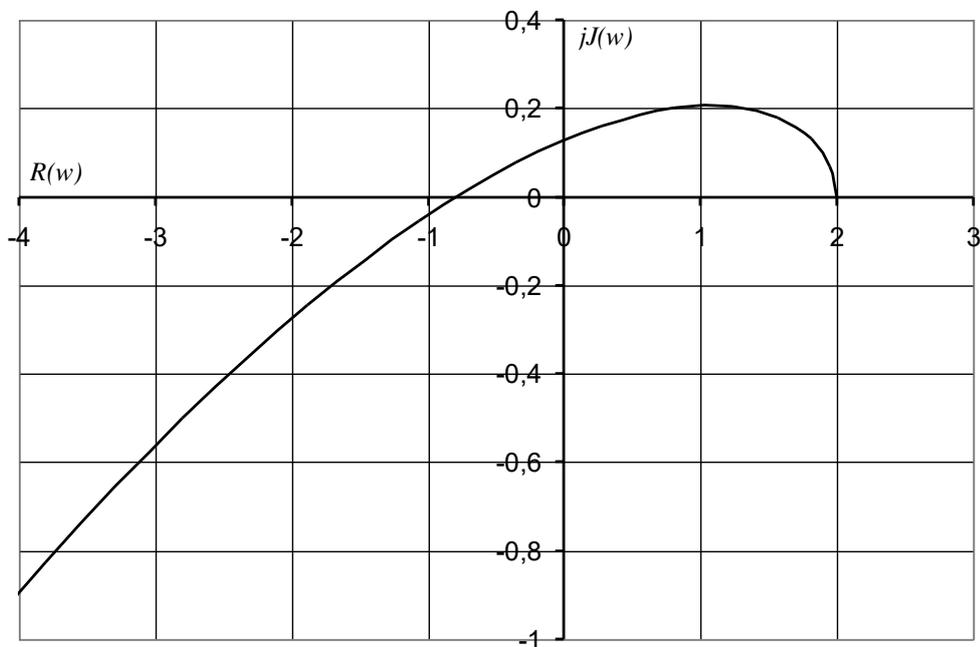


Рисунок 23 - Годограф Михайлова

Оскільки годограф Михайлова, показаний на рисунку 23, при зміні частоти від 0 до  $\infty$ , який починається на дійсній позитивній напівосі, обминає проти годинникової стрілки послідовно кількість квадрантів координатної площини, що дорівнює порядку характеристичного рівняння ( $n=3$ ), то дана системи є стійкою.

### **3. РОЗРАХУНОК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ**

Дослідження особливостей реальної електричної мережі електропостачання цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату вказує на її недосконалість та застарілість, що вимагає її модернізації. Розроблена автором даного дослідження мережа електропостачання цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату передбачає живлення електроприймачів від однієї, окремої трансформаторної підстанції (ТП) (об'єкт належить до третьої категорії надійності). Оскільки особливості технологічного процесу виробництва фаршу та ковбасних виробів унеможливають розміщення ТП в центрі електричних навантажень (ЦЕН) цеху ковбасних виробів, то ТП розміщується за межами цеху на лінії, що з'єднує ЦЕН з розподільним пунктом. Доцільно електропостачання приймачів електричної енергії цеху ковбасних виробів здійснювати від трьох силових розподільних шаф – СРШ1, СРШ2 та СРШ3 а також шино проводу ШРА. Передбачене проектом робоче освітлення забезпечується щитом робочого освітлення ЩРО; аварійне забезпечується сусідньою ТП. Розроблена автором даного дослідження принципова електрична схема електропостачання цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату представлена на рис.24.

Всі приймачі електричної енергії мають захист від перевантажень та коротких замикань, що здійснюється за допомогою автоматичних вимикачів, розміщених у відповідних точка силових розподільних шаф.

Електрична мережа виконана з проводів та кабелів, що забезпечують тривало допустимий тепловий режим їх експлуатації та допустимі падіння напруги на них.

Розрахунки елементів електричної мережі та вибір її комплектуючих, що наведені нижче, виконані методом коефіцієнтів за методикою, викладеною в підручнику [32] з врахуванням вимог Правил улаштування електроустановок [33].



активні та реактивні навантаження визначаються із співвідношень [32,33]:

$$p_{p.1} = K_3 \cdot p_{\text{НОМ}}, \quad (3.1.1)$$

$$q_{p.1} = p_{p.1} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3.1.2)$$

$$s_{p.1} = \sqrt{p_{p.1}^2 + q_{p.1}^2}, \quad (3.1.3)$$

$$I_{p.1} = \frac{s_{p.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (3.1.4)$$

де  $p_{\text{НОМ}}$  - номінальна активна потужність ЕП;

$\operatorname{tg}\varphi$  – розраховується за паспортним значенням коефіцієнта потужності  $\cos\varphi$ , яке характерне для даного ЕП;

$U_{\text{НОМ}}$  - номінальна напруга електричної мережі до 1 кВ.

Приймаємо коефіцієнт завантаження  $k_3$  ЕП рівним:  $k_3 = 1$ . Таким чином, за розрахункове активне навантаження приймається номінальна потужність ЕП при тривалості включення, рівному 1.

Пусковий струм для кожного ЕП рівний:

$$I_{\text{пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{НОМ.ЕП}} \quad (3.1.5)$$

де  $k_{\text{пуск}}$  - коефіцієнт пуску;

$I_{\text{НОМ.ЕП}}$  - номінальний струм ЕП.

Для двигунів автоматів №1, №2 та №3 а також вовчка та кутера за формулою (3.1.1) розрахункове активне навантаження рівне [32]:

$$p_{p.1} = K_3 \cdot p_{\text{НОМ}} = 1 \cdot 7,5 = 7,5 \text{ (кВт)}.$$

При значенні коефіцієнта реактивної потужності, характерному для даного типу ЕП  $\operatorname{tg}\varphi = 0,54$ , що відповідає заданому коефіцієнту активної потужності  $\cos\varphi = 0,87$ , розрахункове реактивне навантаження за формулою (3.1.2) (значення відповідних коефіцієнтів наведені в таблицях [32,33]):

$$q_{p.1} = p_{p.1} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 7,5 \cdot 0,54 = 4,05 \text{ (квар)}.$$

Розрахункове повне навантаження рівне:

$$s_{p.1} = \sqrt{p_{p.1}^2 + q_{p.1}^2} = \sqrt{7,5^2 + 4,05^2} = 8,5 \text{ (кВА)}.$$

Розрахунковий струм відповідно рівний:

$$I_{p.1} = \frac{S_{p.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{8,5}{0,38} = 22,4 \text{ (A)}.$$

Для двигуна автомата, що наповнює оболонки ковбасних виробів коефіцієнт пуску  $k_{пуск} = 2$  і за формулою (3.1.5) визначається пусковий струм:

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном.ЕП} = 2 \cdot 22,4 = 22,6 \text{ (A)}.$$

Аналогічні розрахунки проводимо для двигунів вовчків №3, №4 та кутера №5 і двигунів припливної та витяжної вентиляції.

Отримані за формулами (3.1.1) - (3.1.5) результати розрахунків для споживачів електричної енергії цеху ковбасних виробів м'ясокомбінату (двигунів автоматів що наповнюють оболонки ковбасних виробів - №1 і №2, двигунів вовчків №3, №4, та кутера №5, а також двигунів вентиляції №6 та №7) наводяться в таблиці 6.

Таблица 6

Розрахункове силове навантаження на першому рівні електропостачання.

№ за планом	Найменування ЕП	P <sub>ном</sub> , кВт	$\frac{\cos\varphi}{tg\varphi}$	Розрахункові дані				
				P <sub>p.1</sub> , кВт	Q <sub>p.1</sub> , квар	S <sub>p.1</sub> , кВА	I <sub>p.1</sub> , А	I <sub>пуск</sub> , А
1	Двигун автомата	7,5	0,9/0,54	7,5	4,05	8,5	22,4	44,6
2	Двигун автомата	7,5	0,9/0,54	7,5	4,05	8,5	22,4	44,6
3	Двигун автомата	7,5	0,9/0,54	7,5	4,05	8,5	22,4	44,6
4	Двигун вовчка	7,5	0,87/0,57	7,5	4,03	8,6	22,6	45,2
5	Двигун кутера	7,5	0,87/0,57	7,5	4,03	8,6	22,6	45,2
6	Двигун вентилятора	2,2	0,8/0,67	2,2	1,47	2,64	6,95	13,9
7	Двигун вентилятора	2,2	0,8/0,67	2,2	1,47	2,64	6,95	13,9

### 3.2 Дослідження електричної мережі другого рівня електропостачання та визначення розрахункового силового навантаження

На другому рівні електропостачання цеху ковбасних виробів навантаження на лінію живлення створюється групою ЕП, що приєднані до силової розподільної шафи СРШ 1.

Розрахунки виконаємо за методикою, запропонованою автором підручника [32], що узгоджуються з Правилами улаштування електроустановок [33].

До СРШ 1 приєднано три двигуни автоматів для наповнення оболонок ковбасних виробів, з номінальною потужністю 7,5 кВт кожний.

Сумарна активна номінальна потужність ЕП:

$$P_{ном.СРШ1} = \sum_{i=1}^n P_{ном.i} = 7,5 + 7,5 + 7,5 = 22,5 \text{ (кВт)}, \quad (3.2.1)$$

Коефіцієнт використання активної потужності  $k_B = 0,4$  знаходимо в таблицях [32]. При цьому сумарне середньо змінне активне навантаження для всіх ЕП СРШ1 рівне:

$$P_{см.СРШ1} = \sum_{i=1}^n k_B \cdot P_{ном.i} = 0,4 \cdot 22,5 = 9 \text{ (кВт)}, \quad (3.2.2)$$

Сумарне середньо змінне реактивне навантаження для всіх ЕП СРШ1 з урахуванням  $tg\varphi = 0,54$ , що відповідає значенню коефіцієнта потужності  $\cos\varphi = 0,9$  визначається як:

$$Q_{см.СРШ1} = P_{см.СРШ1} \cdot tg\varphi = 9 \cdot 0,54 = 4,86 \text{ (квар)} \quad (3.2.3)$$

Ефективне число ЕП  $n_e = 4$  шт.

Для наведених вище  $n_e = 4$  шт. і  $K_e = 0,7$  коефіцієнт розрахункового активного навантаження  $K_{p.a} = 1,25$ ; коефіцієнт розрахункового реактивного навантаження  $K_{p.p} = 1,1$ , бо  $n_e = 4$  шт.  $< 10$  шт [32,33].

Розрахункове силове активне навантаження ЕП СРШ1 визначається за формулою:

$$P_{p.2} = K_{p.a} \cdot \sum_{i=1}^n P_{см.i} = 1,25 \cdot 9 = 11,25 \text{ (кВт)}. \quad (3.2.4)$$

Силове реактивне розрахункове навантаження ЕП СРШ1 визначається із

відомого співвідношення:

$$Q_{p.2} = K_{p.p} \cdot \sum_{i=1}^n Q_{см.i} = 1,1 \cdot 4,86 = 5,3 \text{ (квар)}. \quad (3.2.5)$$

Повне силове розрахункове навантаження ЕП СРШ1 визначається за формулою:

$$S_{p.2} = \sqrt{P_{p.2}^2 + Q_{p.2}^2} = \sqrt{11,25^2 + 5,3^2} = 12,4 \text{ (кВА)}. \quad (3.2.6)$$

Величина розрахункового струму, що споживають ЕП СРШ1 визначається за формулою:

$$I_{p.2} = \frac{S_{p.2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{12,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 18,8 \text{ (А)}. \quad (3.2.7)$$

Аналогічні розрахунки проводимо для СРШ2, до якої приєднано три двигуни двох вовчків та одного кутера з номінальною потужністю 7,5 кВт кожний, а також СРШ3, до якої приєднано два двигуна припливного та витяжного вентиляторів потужністю 2,2 кВт кожний.

### 3.3 Визначення розрахункового силового навантаження на третьому рівні електропостачання

Третій рівень електропостачання має більшу кількість ЕП, ніж другий рівень. Результуюче навантаження завжди менше від суми їх номінальних потужностей і буде або більше (у разі малої кількості ЕП), або менше (у разі значної кількості ЕП) середнього навантаження за максимально завантаженою зміну.

Розрахунки третього рівня електропостачання виконаємо також за методикою, запропонованою автором підручника [32], що повністю узгоджуються з Правилами улаштування електроустановок [33].

узгоджуються з Правилами улаштування електроустановок [33].

Ввівши поняття ефективного числа ЕП  $n_e$  визначаємо його значення за спрощеною формулою:

$$n_e = \frac{2 \cdot P_{ном. \Sigma}}{P_{ном. макс}} = \frac{2 \cdot (P_{ном. СРШ1} + P_{ном. СРШ2})}{P_{ном. макс}} = \frac{2 \cdot (22,5 + 15 + 4,4)}{7,5} = 5,58 \text{ (шт)}. \quad (3.3.1)$$

Обираємо найближче менше ціле число  $n_e = 5$  шт.

Середньо виважений коефіцієнт використання активної потужності для всіх ЕП цеху ковбасних виробів розраховується за формулою :

$$K_{в.св} = \frac{(P_{см.СРШ1} + P_{см.СРШ2} + P_{см.СРШ3})}{P_{ном.Σ}} = \frac{9+6+3,3}{22,5+15+4,4} = 0,42, \quad (3.3.2)$$

Коефіцієнт розрахункового активного навантаження для обчислених вище  $n_e = 5$  шт. і  $K_{в.св} = 0,42$  приймається  $K'_{p.a} = 0,98$ .

Розрахункове силове активне навантаження визначається за формулою:

$$P_{p.3} = K'_{p.a} \cdot (9 + 6 + 3,3) = 17,9(\text{кВт}). \quad (3.3.3)$$

Ураховуючи, що  $K'_{p.a} = K'_{p.p} = 0,98$ , розрахункове силове реактивне навантаження визначається за формулою:

$$Q_{p.3} = K'_{p.p} \cdot (4,86 + 3,42 + 2,21) = 10,28(\text{квар}). \quad (3.3.4)$$

Силове повне розрахункове навантаження визначається за формулою:

$$S_{p.3} = \sqrt{P_{p.3}^2 + Q_{p.3}^2} = \sqrt{17,9^2 + 10,28^2} = 20,6 (\text{кВА}). \quad (3.3.5)$$

Розрахунковий струм визначається за формулою:

$$I_{p.3} = \frac{S_{p.3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{20,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 31,3 (\text{А}). \quad (3.3.6)$$

Розраховані значення параметрів потрібні для вибору провідників електричної мережі, відповідних електричних апаратів та трансформатора.

### **3.4 Попередній розрахунок навантаження загального електричного освітлення цеху**

Електричне освітлення виробничих приміщень є загальним рівномірним освітленням і виконується світильниками, які розподіляють рівномірно між окремими фазами трифазної електричної мережі [32,33].

Розрахункове навантаження загального електричного освітлення приміщення, де виготовляється фарш, визначається методом коефіцієнта попиту. Розміри приміщення - 30 м х 15 м. Для освітлення приміщення обираємо лампи типу ДРЛ.

Установлене навантаження загального освітлення приміщення визначається за формулою [32]:

$$P_{уст.о} = k \cdot p_{н.о} \cdot F \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot 12 \cdot 30 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 5,9 \text{ (кВт)}. \quad (3.4.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який враховує потужність пускових приладів залежно від джерела струму;

$p_{н.о}$  – питома установлена потужність загального освітлення цеху, Вт/м<sup>2</sup>;

$F$  – площа цеху, яка підлягає освітленню, м<sup>2</sup>.

Для ламп типу ДРЛ, які використовуються в цеху приймається питома установлена потужність загального освітлення  $p_{н.о} = 12 \text{ Вт/м}^2$ , коефіцієнт

$$k = 1,1 \text{ [32]}.$$

Коефіцієнт попиту загального освітлення приймається для окремих великих прогонів  $K_{н.о} = 0,95$ , оскільки приміщення входить до складу блоку цехів.

Розрахункове активне навантаження загального освітлення приміщення цеху визначається за формулою:

$$P_{р.о} = K_{н.о} \cdot P_{уст.о} = 0,95 \cdot 5,9 = 5,6 \text{ (кВт)}. \quad (3.4.2)$$

Для ламп типу ДРЛ приймається коефіцієнт активної потужності  $\cos\phi_0 = 0,5$ , якому відповідає коефіцієнт реактивної потужності  $\text{tg}\phi_0 = 1,73$ .

Реактивне розрахункове навантаження загального освітлення приміщення цеху визначається за формулою:

$$Q_{р.о} = P_{р.о} \cdot \text{tg}\phi_0 = 5,6 \cdot 1,73 = 9,7 \text{ (квар)}. \quad (3.4.3)$$

Розрахункове повне навантаження загального освітлення приміщення визначається із співвідношення:

$$S_{р.о} = \sqrt{P_{р.о}^2 + Q_{р.о}^2} = \sqrt{5,6^2 + 9,7^2} = 11,2 \text{ (кВА)}. \quad .4)$$

Розрахунковий струм загального освітлення приміщення визначається за формулою:

$$I_{р.о} = \frac{S_{р.о}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{11,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 17 \text{ (А)} \quad (3.4.5)$$

Виконані розрахунки необхідні для вибору елементів освітлювальної мережі цеху ковбасних виробів.

### 3.5 Визначення розрахункового навантаження цехової трансформаторної підстанції

Розрахункове навантаження на третьому рівні електропостачання (шини НН ЦТП) необхідне для вибору номінальної потужності трансформатора і розрахунку потужності пристроїв компенсації реактивної потужності споживача [32].

До значень активного  $P_{p.3}$  і реактивного  $Q_{p.3}$  розрахункових навантажень силових ЕП слід додати активне  $P_{p.o}$  і реактивне  $Q_{p.o}$  розрахункове навантаження загального робочого освітлення та аварійного освітлення ( $P_{p.a.o}$ ,  $Q_{p.a.o}$ ) сусіднього цеху.

При обчисленні загального розрахункового навантаження ЦТП з урахуванням розрахункового навантаження загального електричного освітлення цеху приймається коефіцієнт одночасності збігання максимумів навантаження  $K_0 = 1,0$ .

Загальне розрахункове активне навантаження ЦТП визначається за формулою:

$$P_{p.ЦТП} = P_{p.3} + P_{p.o} + P_{p.a.o} = 17,9 + 5,6 + 0,1 \cdot 5,6 = 26,1 \text{ (кВт)}. \quad (3.5.1)$$

Значення загального розрахункового реактивного навантаження ЦТП визначається із співвідношення:

$$Q_{p.ЦТП} = Q_{p.3} + Q_{p.o} + Q_{p.a.o} = 10,28 + 9,7 + 0,1 \cdot 9,7 = 20,95 \text{ (квар)}. \quad (3.5.2)$$

Загальне розрахункове повне навантаження ЦТП визначається за формулою:

$$S_{p.ЦТП} = \sqrt{P_{p.ЦТП}^2 + Q_{p.ЦТП}^2} = \sqrt{26,1^2 + 20,95^2} = 33,46 \text{ (кВт)}. \quad (3.5.3)$$

Розрахунковий струм з боку НН ЦТП визначається за формулою:

$$I_{p.ЦТП} = \frac{S_{p.ЦТП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{33,46}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 50,89 \text{ (А)}. \quad (3.5.4)$$

Значення розрахункового навантаження на третьому рівні

електропостачання дає можливість вибрати трансформатор номінальної потужності, відповідні електричні апарати, кабель живлення трансформатора та розрахувати потужності пристроїв для компенсації реактивної потужності електроспоживачів [32].

### 3.6 Розрахунок пікових струмів

Розрахунок пікових струмів виконаємо також за методикою повністю узгодженою з Правилами улаштування електроустановок [33] і запропонованою автором підручника [32].

Піковий струм групи ЕП, що приєднані до СРШ1 напругою до 1 кВ визначається як [32]:

$$I_{пik} = I_{пyск.макс} + (I_{p.2} - k_v \cdot I_{ном.макс}), \quad (3.6.1)$$

де  $I_{p.2}$  – розрахунковий струм усіх ЕП групи (розрахунковий струм другого рівня електропостачання);

$k_v$  – коефіцієнт використання ЕД з найбільшим пусковим струмом;

$I_{ном.макс}$  - номінальний струм ЕД з найбільшим пусковим струмом при  $TВ = 1$ .

Номінальний струм ЕД з найбільшим пусковим струмом при  $TВ = 1$  визначається з формули:

$$I_{ном.макс} = \frac{P_{ном.макс}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{7,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,85} = 14,9 (A). \quad (3.6.2)$$

Пусковий струм цього двигуна визначаємо за формулою:

$$I_{пyск.макс} = k_{пyск} \cdot I_{ном.макс} = 5 \cdot 14,9 = 74,5(A) \quad (3.6.3)$$

Піковий струм буде дорівнювати:

$$I_{пik} = I_{пyск.макс} + (I_{p.2} - k_v \cdot I_{ном.макс}) = 74,5 + (18,8 - 0,4 \cdot 14,9) = 87,34(A).$$

Аналогічний розрахунок проводимо для СРШ2 та СРШ3.

Отримані результати наводяться в таблиці 7 і використовуються для вибору уставок розчеплювачів автоматів та плавких вставок запобіжників.

## Результати розрахунків пікових навантажень

Найменування ПРЕ	Дані найпотужнішого ЕП			Розрахунковий струм $I_{p,2}$ , А	Коефіцієнт використання $k_v, v.o$	Піковий струм $I_{пик}$ , А
	Номер	Номінальний струм $I_{ном.макс}$ , А	Пусковий струм $I_{пуск.макс}$ , А			
СРШ1	1	14,9	74,5	18,8	0,4	87,34
СРШ2	4	15,9	79,5	14,4	0,4	87,54
СРШ3	6	4,68	23,4	6,8	0,7	26,9

### 3.7 Дослідження надійності електромережі та вибір кількості і потужності трансформаторів цехових підстанцій з урахуванням компенсації реактивної потужності

Вибір кількості і потужності трансформаторів підстанції цеху ковбасних виробів з урахуванням компенсації реактивної потужності виконаємо за обраною методикою [32], що повністю узгоджуються з Правилами улаштування електроустановок [33].

Враховуючи те, що цех ковбасних виробів належить до 2 категорії надійності достатньо для живлення електроспоживачів цеху встановити одну трансформаторну підстанцію.

Виходячи з цього вибираємо  $\beta_T = 0,8$  (для одно трансформаторних ТП, які живлять переважно ЕП 2-ї категорії надійності);

Потужність трансформаторів ЦТП обираємо за розрахунковим навантаженням і з урахуванням необхідного резервування всіх ЕП 2-ї категорії надійності та основних ЕП 2-ї категорії в результаті роботи автоматичного вмикання резерву (АВР) на секційному автоматі (контакторі) або вмиканні резервної перемички від сусідньої ТП.

Мінімальна потужність трансформаторів буде в тому випадку, коли

реактивна потужність через них не передається, а повністю компенсуються на стороні електричною мережі, напругою до 1 кВ. При обраному базовому варіанті розрахункове реактивне навантаження ЦТП  $Q_{P-ЦТП}$  дорівнює встановленій потужності низьковольтних конденсаторів (НК)  $Q_{н.к.}$

При трьох і менше трансформаторах їх номінальну потужність вибирають за розрахунковим активним навантаженням з урахуванням прийнятого коефіцієнта завантаження трансформатора  $\beta_T$  за емпіричною формулою[32]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{P_{р.ЦТП}}{N \cdot \beta_T} = \frac{26,1}{1 \cdot 0,8} = 24,3 \text{ (кВА).,} \quad (3.7.1)$$

де  $S_{ном.т.р}$  – повна номінальна розрахункова потужність трансформатора;

$P_{р.ЦТП}$  – сумарне розрахункове активне навантаження ЦТП;

$N$  - кількість трансформаторів ТП.

Вибираємо трансформатор з номінальною потужністю  $S_{ном.т} = 25$  кВА типу ТМ-25/10, паспортні дані якого наведені в таблиці 8.

Таблиця 8

Паспортні дані трансформатора

Тип	P, кВА	U <sub>перв.</sub> , кВ	U <sub>втор.</sub> , кВ	U <sub>кз</sub> , %	P <sub>втрат</sub> XX, кВт	P <sub>втрат</sub> КЗ кВт	I <sub>ХХ</sub> від I <sub>ном</sub> , %	Габарити, мм	Маса, т
ТМ- 25/10	25	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,135	0,6	3,2	1120×460 ×1225	0,38

Як бачимо, обраний трансформатор повністю задовольняє вимоги електроспоживачів цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату.

### 3.8 Дослідження можливостей компенсації реактивної потужності та визначення потужності конденсаторних установок

При виборі конденсаторної установки для компенсації реактивної потужності, скористаємось методикою, запропонованою автором підручника [32].

Оскільки в більшості випадків  $S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р}$ , то через вибрані

трансформатори 6-10/0,4 кВ доцільно передавати реактивну потужність від її джерел 6-10 кВ у мережу напругою до 1 кВ для забезпечення бажаного коефіцієнта завантаження  $\beta_T$ . Ця реактивна потужність визначається як [32]:

$$Q_m = \sqrt{(N \cdot \beta_T \cdot S_{ном.т})^2 - P_{р.ЦТП}^2} = \sqrt{(1 \cdot 0,8 \cdot 25)^2 - 26,1^2} = 0 \text{ (квар)}. \quad (3.8.1)$$

Якщо під коренем величина зі знаком мінус, то приймаємо  $Q_m = 0$

Потужність НК з номінальною напругою 0,4 кВ визначається так:

$$Q_{н.к} = Q_{р.ЦТП} - Q_m = 20,95 - 0 = 20,95 \text{ (квар)}. \quad (3.8.2)$$

де  $Q_{р.ЦТП}$  – сумарне розрахункове реактивне навантаження ЦТП.

З каталога [27] знаходимо необхідну конденсаторну компенсаційну установку. Найближча стандартна величина потужності ККУ  $Q_{н.к.ст} = 2 \text{ (квар)}$ .

### 3.9 Дослідження надійності електричної мережі, вибір перерізу кабелю

При виборі площі поперечного перерізу кабелю, який живить ЦТП з трансформатором 6-10/0,4 кВ, як струм нормального робочого режиму  $I_{норм}$  при радіальній схемі незалежно від числа трансформаторів ЦТП приймається номінальний первинний струм трансформатора [32,33]:

$$I_{норм} = I_{ном.т.1} = \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.т.1}} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 6} = 2,4 \text{ (А)}. \quad (3.9.1)$$

де  $S_{ном.т}$  – номінальна потужність трансформатора, кВА;

$U_{ном.т.1}$  – номінальна первинна напруга трансформатора, кВ.

Економічно вигідний переріз кабелів визначається як

$$S_{ек} = \frac{I_{норм}}{J_{ек}} = \frac{2,4}{1,6} = 1,5 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (3.9.2)$$

де  $I_{норм}$  – струм нормального робочого режиму, А;

$J_{ек}$  – нормоване значення економічно вигідної густини струму, А/мм<sup>2</sup>.

Для кабелів із паперовою ізоляцією з алюмінієвими жилами при  $T_{макс} = 2500$  год/рік економічна густина струму  $J_{ек} = 1,6$  А/мм<sup>2</sup>.

Скориставшись таблицями, наведеними в [33] вибираємо стандартний

переріз кабелю  $S_{ст} = 6 \text{ мм}^2$ .

При тривало допустимій температурі кабелю марки ААШв напругою 6 кВ  $T_{ж.н} = 65^\circ\text{C}$ , допустимій температурі середовища  $T_{сер.н} = 25^\circ\text{C}$  і фактичній температурі навколишнього середовища  $T_{сер} = 30^\circ\text{C}$  поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища обраховується за формулою [32]:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{T_{ж.н} - T_{сер}}{T_{ж.н} - T_{сер.н}}} = \sqrt{\frac{65 - 30}{65 - 25}} = 0,94 \quad (3.9.3)$$

Поправковий коефіцієнт на кількість кабелів при прокладці кабелю всередині приміщення цеху приймається  $K_{пр} = 1$ .

Для трижильних кабелів марки ААШв, що розрахований на напругу 6 кВ з перерізом жили  $6 \text{ мм}^2$  при прокладці в повітрі допустимий тривалий струм  $I_{доп} = 38 \text{ А}$  визначачиться за формулою:

$$I'_{доп} = k_{сер} \cdot k_{пр} \cdot I_{доп} = 0,94 \cdot 1 \cdot 38 = 35,72(\text{А}). \quad (3.9.4)$$

Умова перевірки перерізу кабелю в режимі максимального навантаження виконується:

$$k_{пер} \cdot I'_{доп} \geq I_{ф} = k_{рез} \cdot I_{норм} \quad (3.9.4)$$

де  $k_{пер} = 1$ ; – коефіцієнт допустимого перевантаження;

$k_{рез} = 1,4$ ; – коефіцієнт резервування.

$$1 \cdot 35,72 \geq 1,4 \cdot 24 = 33,6 (\text{А}).$$

Термічна здатність може бути оцінена найменшим перерізом кабелю ( $\text{мм}^2$ ), стійким до струмів КЗ, як:

$$S_{min} = \frac{I_k \cdot \sqrt{t}}{C} = \frac{4000 \cdot \sqrt{0,1}}{92} = 13,75 (\text{мм}^2). \quad (3.9.4)$$

де  $C$  – температурний коефіцієнт, який враховує обмеження допустимої температури кабелю;

$I_k = I_{н.о}$  – початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ, А;

$t$  – дійсний час вимикання КЗ, с.

Для кабелів з алюмінієвими суцільними жилами і паперовою ізоляцією при напрузі 6 кВ приймається температурний коефіцієнт  $C = 92 \text{ Ас}^{1/2}/\text{мм}^2$ .

Дійсний час вимикання КЗ приймається  $t = 0,1$  с.

Початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ у максимальному режимі на шинах РП  $I_{n.o} = 4$  кА.

Таким чином розраховане значення площі поперечного перерізу жили кабелю рівне:  $S_{cm} = 6 \text{ мм}^2 < S_{\text{мін}} = 13,75 \text{ мм}^2$ . Для забезпечення безпеки електропостачання приймається нове найближче більше значення стандартного перерізу кабелю  $S'_{cm} = 16 \text{ мм}^2$ . Остаточо обирається кабель ААШВ-10(3х16).

### 3.10 Вибір перерізу провідників живильної мережі

Для дослідження можливостей кабелю, що забезпечує живлення споживачів другого рівня електропостачання для СРШ1 за критеріями тривало допустимого струму та втратою напруги скористаємося відомими методиками [32,33]. Обираємо кабель марки АВВГ з полівінілхлоридною ізоляцією, для якого тривало допустима температура жили  $T_{\text{ж.н}} = 70$  °С [33], нормована температура середовища при прокладці в повітрі  $T_{\text{сер.н}} = 25$  °С. Обрахуємо поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища:

$$K_{\text{сер}} = \sqrt{\frac{70 - 30}{70 - 25}} = 0,94$$

При прокладці кабелю всередині приміщення цеху поправковий коефіцієнт  $K_{np} = 1$ .

Розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання лінії, яка живить СРШ1,  $I_{p.2} = 18,8$  А.

Для трижильного кабелю при прокладенні в повітрі зі стандартним перерізом струмопровідної жили  $S_{cm} = 4 \text{ мм}^2$  тривало допустимий струм  $I_{\text{доп}} = 27$  А [33].

Тривало допустимий струм при  $k_{\text{нонр}} = 0,92$  визначається із співвідношення [32]:

$$I'_{\text{дон}} = k_{\text{сер}} \cdot k_{\text{нр}} \cdot k_{\text{нонр}} \cdot I_{\text{дон}} = 0,94 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 27 = 23,3 \text{ (А)}. \quad (3.10.1)$$

цьому випадку  $I'_{\text{дон}} = 23,3 \text{ А} > I_{p.2} = 18,8 \text{ А}$ . Умова виконується.

За результатами розрахунків, що виконані вище, розрахункове активне навантаження 1-го рівня електропостачання  $P_{p.2} = 11,25 \text{ кВт}$ ; розрахункове реактивне навантаження 1-го рівня електропостачання  $Q_{p.2} = 5,3 \text{ квар}$ .

Для кабелю зі стандартним перерізом струмопровідної жили  $S_{\text{ст}} = 4 \text{ мм}^2$  приймаються такі питомі опори кабелю [33]:  $r_{\text{п}} = 7,81 \text{ мОм/м}$ ,  $x_{\text{п}} = 0,102 \text{ мОм/м}$ .

Довжина кабелю  $l_{\text{кб}} = 10 \text{ м}$ .

Активний і реактивний опори кабелю обчислюються за формулами:

$$R_{\text{кб}} = r_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб}}, \quad (3.10.2)$$

$$X_{\text{кб}} = x_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб}}, \quad (3.10.3)$$

де  $r_{\text{п}}$  і  $x_{\text{п}}$  - активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км;

$l_{\text{кб}}$  - довжина кабелю, км.

$$R_{\text{кб}} = r_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб}} = 7,81 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,0781 \text{ (Ом)}.$$

$$X_{\text{кб}} = x_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб}} = 0,102 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,001 \text{ (Ом)}.$$

Втрата напруги в кабелях у відсотках визначається як:

$$\Delta U_{\text{кб}} = \frac{P_{p.2} \cdot R_{\text{кб}} + Q_{p.2} \cdot X_{\text{кб}}}{10 \cdot U_{\text{ном}}^2} = \frac{11,25 \cdot 0,0781 + 5,3 \cdot 0,001}{6 \cdot 0,38^2} = 1,02 \%. \quad (3.10.3)$$

ЯК ПОКАЗАЛИ РОЗРАХУНКИ, величина втрати напруги в кабелі, завдовжки 10 м не перевищує допустимих 5 %, що підтверджує правильний вибір перерізу кабелю.

Таким чином, в результаті перевірки за двома критеріями обираємо чотирижильний кабель АВВГ(3×2,5+1×1,5).

Результати розрахунків представлені в таблиці 9.

Параметри кабелів живильної мережі цеху.

Кабель до ПРЕ	$S_{ст},$ мм <sup>2</sup>	$I'_{доп},$ А	$I_{р.2},$ А	$\Delta U_{кб},$ %	Тип кабелю
До СРШ1	4	23,3	18,8	1,02	АВВГ(3×4+1×1,5)
До СРШ2	2,5	16,4	14,4	0,02	АВВГ(3×2,5+1×1,5)
До СРШ3	2,5	16,4	6,8	0,02	АВВГ(3×2,5+1×1,5)
До ЩРО	4	21,9	23,35	1	АВВГ(3×4+1×2,5)

### 3.11 Вибір перерізу провідників розподільної мережі. Дослідження мережі на втрату напруги.

Дослідимо можливості проводів, що забезпечують живлення електроприймачів першого рівня електропостачання, тобто ЕП що безпосередньо живляться від СРШ1 за критеріями тривало допустимого струму та втратою напруги згідно методики, запропонованої автором підручника [32].

Переріз проводів розподільних мереж вибирають за умовою нагрівання в нормальному режимі:

$$I'_{доп} \geq I_{ном.д}, \quad (3.11.1)$$

$$I'_{доп} = k_{сер} \cdot k_{пр} \cdot I_{доп}, \quad (3.11.2)$$

Для проводу марки АПВ з полівінілхлоридною ізоляцією тривало допустима температура жили  $T_{ж.н} = 70$  °С, нормована температура середовища при прокладенні в повітрі  $T_{сер.н} = 25$  °С. Тоді поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища  $K_{сер} = 0,94$ .

При прокладенні проводу всередині приміщення цеху в сталевих трубах поправковий коефіцієнт  $k_{пр} = 1$ .

Для трьох одножильних проводів, які прокладені в одній трубі, для стандартного перерізу  $S_{ст} = 4$  мм<sup>2</sup> допустимий струм для стандартних умов  $I_{доп}$

= 27 А.

$$I'_{\text{дон}} = k_{\text{сер}} \cdot k_{\text{нр}} \cdot I_{\text{дон}} = 0,94 \cdot 1 \cdot 27 = 25,38 \text{ (А)}.$$

Номинальний струм ЕД вентиляційної установки визначений в пункті 3.6 і складає  $I_{\text{ном.д}} = 27 \text{ (А)}$ .

$$I'_{\text{дон}} = 17,86 \text{ (А)} > I_{\text{ном.д}} = 4,7 \text{ (А)}.$$

Умова виконується.

Для проводу зі стандартним перерізом струмопровідної жили  $S_{\text{ст}} = 4 \text{ мм}^2$  приймаються такі питомі опори:  $r_{\text{п}} = 7,81 \text{ мОм/м}$ ,  $x_{\text{н}} = 0,102 \text{ мОм/м}$ . Довжина проводу до найбільш віддаленого ЕП  $l_{\text{нр}} = 12 \text{ м}$ .

Активний та реактивний опори проводів обчислюються за формулами:

$$R_{\text{нр}} = r_{\text{н}} \cdot l_{\text{нр}} = 7,81 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,093 \text{ (Ом)}. \quad (3.11.3)$$

$$X_{\text{нр}} = x_{\text{н}} \cdot l_{\text{нр}} = 0,102 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,00122 \text{ (Ом)}. \quad (3.11.4)$$

Вибраний стандартний переріз проводу перевіримо на втрату напруги за формулою:

$$\Delta U_{\text{нр}} = \frac{p_{\text{р.1}} \cdot R_{\text{нр}} + q_{\text{р.1}} \cdot X_{\text{нр}}}{10 \cdot U_{\text{ном}}^2}, \quad (3.11.5)$$

$$\Delta U_{\text{нр}} = \frac{7,5 \cdot 0,093 + 4,05 \cdot 0,00122}{6 \cdot 0,38^2} = 0,81 \text{ \%}.$$

Оскільки величина втрат напруги в проводі не перевищує 5 %, то переріз проводу вибраний правильно.

Для трьох проводів стандартного перерізу  $S_{\text{ст}} = 4 \text{ мм}^2$ , прокладених у сталевій трубі з умовним проходом обраної 15 мм, дозволяє використати вибраний провід АПВЗ(1х2,5) Т15.

Переріз проводів розподільної мережі від СРШ 2 до ЕД решти електроприймачів вибирається аналогічно. Перевірка на втрати напруги, вибір діаметра сталевих труб також здійснюється аналогічно. Результати розрахунків наведені в таблиці 10.

Параметри проводів розподільної мережі

Провід до ЕП	$S_{см}, \text{мм}^2$	$I'_{дон}, \text{А}$	$I_{р.1}, \text{А}$	$\Delta U_{пр}, \%$	Тип проводу
№1	2,5	17,86	4,7	0,44	АПВ3(1x2,5)Т15
№2	2,5	17,86	4,7	0,22	АПВ3(1x2,5)Т15
№3	2	16,92	1,31	0,13	АПВ3(1x2)Т15
№4	2	16,92	1,31	0,09	АПВ3(1x2)Т15
№5	2	16,92	1,31	0,04	АПВ3(1x2)Т15
№6	2	16,92	1,31	0,04	АПВ3(1x2)Т15
№7	2	16,92	1,31	0,04	АПВ3(1x2)Т15

Як показує аналіз параметрів проводів, вони повністю відповідають вимогам критеріїв по нагріванню та втраті напруги.

### 3.12 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання та ударних струмів.

Для розрахунку струмів трифазного короткого замикання та дослідження електричної мережі на надійність скористаємось перевіреною обраною методикою [32], що повністю узгоджуються з Правилами улаштування електроустановок [33].

Вихідні дані для розрахунку струмів трифазного короткого замикання взяті з результатів попередніх розрахунків.

Елементи мережі живлення цеху ковбасних виробів характеризується параметрами:

$$I_{п(0)c} = 6 \text{ кА}, U_{ном.ВН} = 10 \text{ кВ.}$$

$$\text{Трансформатор типу ТМ-25-10: } S_{ном.Т} = 25 \text{ кВА}; U_{ном.ВН} = 6 \text{ кВ};$$

$$U_{ном.НН} = 0,4 \text{ кВ};$$

Автоматичні вимикачі:

QF1 BA51-35:  $I_{НОМ.а} = 100 \text{ A}$ ;

QF2 BA57-31:  $I_{НОМ.а} = 50 \text{ A}$ ;

QF3 BA47-29:  $I_{НОМ.а} = 50 \text{ A}$ ;

Трансформатори струму:

ТА1 з коефіцієнтом трансформації 500/5;

ТА2 з коефіцієнтом трансформації 150/5.

Кабельні лінії:

КБ1: ААШВ-6(3×16);  $l_{кБ1} = 100 \text{ м}$ ;

КБ2: АВВГ(3×2,5+1×1,5);  $l_{кБ2} = 10 \text{ м}$ ;

КБ3: АВВГ(3×2,5+1×1,5);  $l_{кБ2} = 15 \text{ м}$

Провід до ЕП №1: АПВЗ (1×2,5) Т15;  $l_{пр} = 12 \text{ м}$ .

Розрахункова схема і схема заміщення для живлення електроприймачів цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату наведена на рис. 25.

Схема, наведена на рис. 25а дає можливість легко розрахувати струми трифазного короткого замикання.

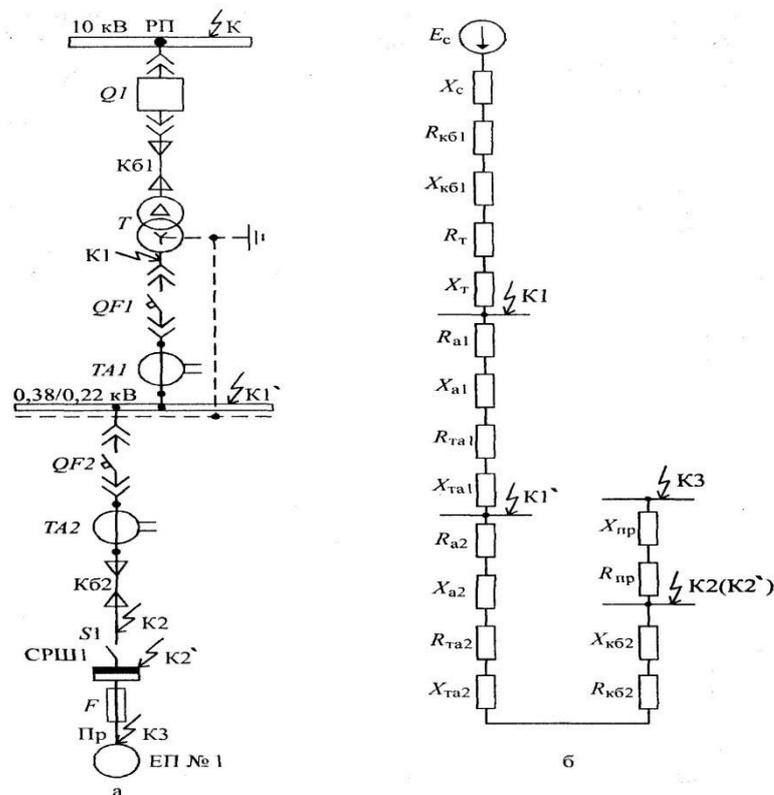


Рисунок 25 - Розрахункова схема (а) і схема заміщення (б) для розрахунку струмів трифазного короткого замикання

Визначимо базисну напругу ступеня в електричній мережі цеху ковбасних виробів напругою до 1 кВ:

$$U_{\bar{o}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном.НН}} = 1,05 \cdot 380 = 400 \text{ (В)}. \quad (3.12.1)$$

Проведемо розрахунок параметрів елементів схеми заміщення (рис.25б) відповідно алгоритма, запропонованого автором підручника [32].

1) Визначаємо індуктивний опір системи, схема якої приведена до ступеня НН за формулою:

$$X_c = \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к.ВН}} \cdot U_{\text{ном.сер.ВН}}} = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 6300} = 3,67 \text{ (МОм)}. \quad (3.12.2)$$

2) Розраховуємо питомі опори кабельної лінії напругою 10 кВ (Кб1):

$r_{\text{л}} = 1,95 \text{ мОм/м}$ ;  $x_{\text{л}} = 0,103 \text{ мОм/м}$ . Активний та індуктивний опори кабельної лінії, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_{\text{кб1}} = r_{\text{л}} \cdot l_{\text{кб1}} \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{U_{\text{ном.сер.ВН}}} = 1,95 \cdot 100 \frac{400}{6300} = 12,38 \text{ (МОм)} \quad (3.12.3)$$

$$X_{\text{кб1}} = x_{\text{л}} \cdot l_{\text{кб1}} \frac{U_{\text{ном.сер.НН}}}{U_{\text{ном.сер.ВН}}} = 0,103 \cdot 100 \frac{400}{6300} = 0,65 \text{ (МОм)}. \quad (3.12.4)$$

3) Приймаємо втрати КЗ  $P_{\text{к.ном}} = 0,6 \text{ кВт}$ , напруга КЗ  $u_{\text{к}} = 4,5 \%$ . Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_T = \frac{P_{\text{к.ном}} \cdot U_{\text{ном.НН}}^2}{S_{\text{ном.т}}^2} \cdot 10^6 = \frac{0,6 \cdot 0,4^2}{25^2} \cdot 10^6 = 153,6 \text{ (МОм)}. \quad (3.12.5)$$

$$X_T = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{к.ном}}}{S_{\text{ном.т}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{ном.НН}}^2}{S_{\text{ном.т}}} \cdot 10^4 = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 0,6}{25}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{25} \cdot 10^4 = 243,2 \text{ (МОм)}. \quad (3.12.6)$$

- ✓ Для автомата QF1(ВА51-35) приймаємо  $R_{a1} = 2,15 \text{ мОм}$ ;  $X_{a1} = 1,2 \text{ мОм}$ .
- ✓ Для ТС (ТА1) з коефіцієнтом трансформації 500/5 для класу точності 1 приймаємо  $R_{\text{та1}} = 0,05 \text{ мОм}$ ;  $X_{\text{та1}} = 0,07 \text{ мОм}$ .
- ✓ Для автомата QF2(ВА52-39) приймаємо  $R_{a2} = 7 \text{ мОм}$ ;  $X_{a2} = 4,5 \text{ мОм}$ .
- ✓ Для ТС (ТА2) з коефіцієнтом трансформації 150/5 для класу точності 2 приймаємо  $R_{\text{та2}} = 0,75 \text{ мОм}$ ;  $X_{\text{та2}} = 1,2 \text{ мОм}$ .
- ✓ Для автомата QF3(ВА47-29) приймаємо  $R_{a2} = 7 \text{ мОм}$ ;  $X_{a2} = 4,5 \text{ мОм}$ .

✓ Для ТС (ТА2) з коефіцієнтом трансформації 150/5 для класу точності 2 приймаємо  $R_{та2} = 0,75 \text{ мОм}$ ;  $X_{та2} = 1,2 \text{ мОм}$ .

✓ Для кабельної лінії КБ2 питомі опори такі:  $\Gamma_{п} = 12,5 \text{ мОм/м}$ ;

$$x_n = 0,12 \text{ мОм/м}.$$

Активний та індуктивний опори кабельної лінії КБ2 визначаються за тривіальними співвідношеннями:

$$R_{кб2} = r_n \cdot l_{кб2} = 12,5 \cdot 10 = 125 \text{ (мОм)}. \quad (3.12.7)$$

$$X_{кб2} = x_n \cdot l_{кб2} = 0,12 \cdot 10 = 1,2 \text{ (мОм)}. \quad (3.12.8)$$

9) Визначаємо активний та індуктивний опори проводів до ЕП, питомі опори яких:  $\Gamma_{п} = 7,81 \text{ мОм/м}$ ;  $x_n = 0,102 \text{ мОм/м}$ .

$$R_{np} = r_n \cdot l_{np} = 7,81 \cdot 12 = 93,7 \text{ (мОм)}. \quad (3.12.9)$$

$$X_{np} = x_n \cdot l_{np} = 0,102 \cdot 12 = 1,224 \text{ (мОм)}. \quad (3.12.10)$$

Розрахунок діючого значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент у різних точках схеми виконаємо у відповідності алгоритма, запропонованого автором підручника [32].

1) Визначаємо струм трифазного КЗ у точці К1.

Сумарні опори щодо точки К1 визначаються так:

$$R_{\Sigma_{к1}} = R_{кб1} + R_m = 12,38 + 153,6 = 165,98 \text{ (мОм)}. \quad (3.12.11)$$

$$X_{\Sigma_{к1}} = X_c + X_{кб1} + X_m = 3,67 + 0,65 + 243,2 = 247,52 \text{ (мОм)}. \quad (3.12.12)$$

$$Z_{\Sigma_{к1}} = \sqrt{R_{\Sigma_{к1}}^2 + X_{\Sigma_{к1}}^2} = \sqrt{165,98^2 + 247,52^2} = 297,97 \text{ (мОм)}; \quad (3.12.13)$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{к1(0)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma_{к1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 297,97} = 0,78 \text{ (А)}. \quad (3.12.14)$$

2) Розраховуємо струм трифазного КЗ у точці К1'. Сумарні опори щодо точки К1' визначаються так:

$$R_{\Sigma_{к1}'} = R_{\Sigma_{к1}} + R_{a1} + R_{ma1} + R_{к1}; \quad (3.12.15)$$

$$R_{\Sigma_{к1}'} = 165,9 + 2,15 + 0,05 + 10 = 178,1 \text{ (мОм)}.$$

$$X_{\Sigma_{к1}'} = X_{\Sigma_{к1}} + X_{a1} + X_{ma1}; \quad (3.12.16)$$

$$X_{\Sigma_{K1}'} = 247,52 + 1,2 + 0,07 = 248,8 \text{ (МОм)}.$$

$$Z_{\Sigma_{K1}'} = \sqrt{R_{\Sigma_{K1}'}^2 + X_{\Sigma_{K1}'}^2} = \sqrt{178,1^2 + 248,8^2} = 305,98 \text{ (МОм)} \quad (3.12.17)$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при КЗ визначається із співвідношення:

$$I_{K1'(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma_{K1}'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 305,98} = 0,75 \text{ (кА)}. \quad (3.12.18)$$

3) Визначаємо струм трифазного КЗ у точці К2. Сумарні опори щодо точки К2 визначаються так:

$$R_{\Sigma_{K2}} = R_{\Sigma_{K1}} + R_{a2} + R_{ma2} + R_{K62} + R_{K2}; \quad (3.12.19)$$

$$R_{\Sigma_{K2}} = 165,9 + 7,5 + 0,75 + 125 + 20 = 319,15 \text{ (МОм)}.$$

$$X_{\Sigma_{K2}} = X_{\Sigma_{K1}} + X_{a2} + X_{ma2} + X_{K62}; \quad (3.12.20)$$

$$X_{\Sigma_{K2}} = 248,8 + 4,5 + 1,2 + 1,2 = 255,7 \text{ (МОм)}.$$

$$Z_{\Sigma_{K2}} = \sqrt{R_{\Sigma_{K2}}^2 + X_{\Sigma_{K2}}^2}; \quad (3.12.21)$$

$$Z_{\Sigma_{K2}} = \sqrt{319,15^2 + 255,7^2} = 408,9 \text{ (МОм)}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при КЗ визначається із співвідношення:

$$I_{K2(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma_{K2}}}; \quad (3.12.22)$$

$$I_{K2(0)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 408,9} = 0,56 \text{ (кА)}.$$

4) Визначаємо струм трифазного КЗ у точці К2' Сумарні опори щодо точки К2' визначаються так:

$$R_{\Sigma_{K2}'} = R_{\Sigma_{K1}} + R_{a2} + R_{ma2} + R_{K62} + R_{K3}; \quad (3.12.23)$$

$$R_{\Sigma_{K2}'} = 165,9 + 7 + 0,75 + 125 + 25 = 325,65 \text{ (МОм)}.$$

$$X_{\Sigma_{K2}'} = X_{\Sigma_{K2}} = 255,2 \text{ (МОм)}.$$

$$Z_{\Sigma_{K2}'} = \sqrt{R_{\Sigma_{K2}'}^2 + X_{\Sigma_{K2}'}^2} = \sqrt{325,65^2 + 255,2^2} = 414,04 \text{ (МОм)} \quad (3.12.24)$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму

при КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2'(0)} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 414,04} = 0,55 \text{ (кА)}. \quad (3.12.25)$$

5) Визначаємо струм трифазного КЗ у точці К3. Сумарні опори щодо точки К3 визначаються так:

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K1} + R_{a2} + R_{ma2} + R_{кб2} + R_{np} + R_{к4}; \quad (3.12.26)$$

$$R_{\Sigma K3} = 165,9 + 7 + 0,75 + 125 + 93,7 + 30 = 422,35 \text{ (МОм)}.$$

$$X_{\Sigma K3} = X_{\Sigma K2} + X_{np} = 255,2 + 1,224 = 256,4 \text{ (МОм)} \quad (3.12.27)$$

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = \sqrt{422,35^2 + 256,4^2} = 494,1 \text{ (МОм)}. \quad (3.12.28)$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначаємо із співвідношення:

$$I_{K3(0)} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 494,1} = 0,46 \text{ (кА)}. \quad (3.12.29)$$

Розрахунок ударних струмів у різних точках схеми виконаємо також у відповідності алгоритма, запропонованого автором підручника [32]:

1) Значення ударного струму у точці К1:

$$i_{yK1} = k_{yK1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1(0)} = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,78 = 1,43 \text{ (кА)}. \quad (3.12.30)$$

У формулі приймається  $k_{yK1} = 1,3$  для номінальної потужності трансформатора ЦТП  $S_{ном\ T} = 25$  кВА.

2) Ударний струм у точці К1' рівний:

$$i_{yK1'} = k_{yK1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1'(0)} = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,75 = 1,38 \text{ (кА)}. \quad (3.12.31)$$

3) Величина ударного струму в точці К2 від енергосистеми рівна:

$$i_{yK2} = k_{yK2} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2(0)} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,56 = 0,83 \text{ (кА)}. \quad (3.12.32)$$

У формулі приймається  $k_{yK2} = 1$ .

До СРШ1 безпосередньо приєднані за допомогою коротких відгалуженню два ЕД з номінальною потужністю 7,5 кВт кожний. Номінальний струм кожного ЕД  $I_{ном.д} = 4,7$  А. Ударний струм, що виникає при КЗ в обмотках двигуна рівний:

$$i_{y.д} = \sqrt{2} \cdot k_{нyск} \cdot I_{ном.д.Σ} = \sqrt{2} \cdot 5 \cdot 2 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ (кА)}. \quad (3.12.33)$$

Результуюче значення ударного струму КЗ визначають як:

$$i_y = i_{y.c} \cdot i_{y.d} = 0,92 \cdot 0,01 = 0,012 \text{ (кА)}. \quad (3.12.34)$$

4) Ударний струм у точці К2' від енергосистеми:

$$i_{yK2'} = k_{yK2'} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2'(0)} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,56 = 0,8 \text{ (кА)}. \quad (3.12.35)$$

У формулі приймається  $k_{yK2'} = 1$ .

Результуюче значення ударного струму КЗ визначають як:

$$i_y = 0,79 + 0,01 = 0,8 \text{ (кА)}.$$

5) Значення ударного струму у точці К3 рівне:

$$i_{yK3} = k_{yK3} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K3(0)} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,4 = 0,57 \text{ (кА)}. \quad (3.12.36)$$

У формулі приймається  $k_{yK3} = 1$ .

Результати розрахунку струмів трифазного КЗ у початковий момент часу та ударних струмів в точках К1, К1', К2, К2' і К3 наведені в таблиці 11.

Таблиця 11

Результати розрахунку струмів трифазного КЗ та ударних струмів

Точка КЗ	Діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент $I_{K(0)}$ , кА	Ударний струм $i_y$ , кА
К1	0,78	1,43
К1'	0,75	1,38
К2	0,56	0,83
К2'	0,55	0,8
К3	0,46	0,57

### 3.13 Вибір автоматичного вимикача вводу

При виборі автоматичного вимикача вводу скористаємось обраною методикою [32], що узгоджуються з Правилами улаштування електроустановок [33].

Для забезпечення роботи електроприймачів цеху ковбасних виробів, розрахована повна потужність яких рівна  $S_{\text{ном.т}} = 25$  кВА, обрана

комплектна трансформаторна підстанція КТП-25/10 [32], яка комплектується шафою вводу типу ШНВ-2УЗ .

Шафа ШНВ-2УЗ має селективний з напівпровідниковим розчеплювачем серії БПР автомат вводу ВА51-35.

Номінальна напруга автомата рівна:

$$U_{ном.а} = 660 \text{ В} \geq U_{ном.м} = 380 \text{ В} \quad (3.13.1)$$

При визначеному вище номінальному вторинному струмові трансформатора  $I_{ном.т.2} = 37,98 \text{ А}$  для однострансформаторної ТП коефіцієнт резервування приймається  $K_{рез} = 1$ . При цьому форсований струм трансформатора має значення:

$$I_{\phi} = k_{рез} \cdot I_{ном.т.2} = 1 \cdot 37,98 = 37,98 \text{ (А)}. \quad (3.13.2)$$

Отже номінальний струм автомата ВА51-31 рівний:

$$I_{ном.а} = 100 \text{ А} > I_{\phi} = 37,98 \text{ А}; \quad (3.13.3)$$

Для автоматичних вимикачів ВА51 відношення  $I_{ном.р} / I_{ном.а}$  становить 0,63.

$$I_{ном.р} = 0,63 \cdot I_{ном.а} = 0,63 \cdot 100 = 63 \text{ (А)};$$

При цьому номінальний струм напівпровідникового розчеплювача дорівнює:

$$I_{ном.р} = 63 \text{ (А)} > I_{\phi} = 37,98 \text{ (А)}; \quad (3.13.4)$$

Для автоматів ВА51 відношення струму спрацьовування перевантаження теплового розчеплювача  $I_{с.п}$  до номінального струму розчеплювача  $I_{ном.р}$  становить 1,35. Струм спрацьовування перевантаження теплового розчеплювача дорівнює:

$$I_{с.п} = 1,35 \cdot I_{ном.р} = 1,35 \cdot 63 = 85,05 \text{ (А)};$$

Уставка струму спрацьовування від перевантаження  $I_{с.н}$  вибирається за умови:

$$I_{с.н} = k \cdot I_{р}; \quad (3.13.5)$$

$k = 1,1$  - для автомата вводу QF1.

$$I_{с.н} = 85,05 \text{ (А)} > 1,1 \cdot 37,98 = 41,78 \text{ (А)}.$$

Для захисту електричної мережі цеху ковбасних виробів обираємо автоматичний вимикач типу ВА51 для якого відношення струму спрацьовування відсічки  $I_{c.в}$  до номінального струму розчеплювача  $I_{ном.р}$  рівне 10.

$$I_{c.в} = 10 \cdot I_{ном.р} = 10 \cdot 63 = 630 (A).$$

Струм спрацьовування відсічки рівний:

$$I_{c.в} \geq (6 - 10) \cdot I_{ном.м}; \quad (3.13.6)$$

$$I_{c.в} = 630 (A) > 10 \cdot 37,98 = 379,8 (A).$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ автоматом вводу береться струм трифазного КЗ у точці К1  $I_{К1(0)} = 0,78$  кА. Для автоматів ВА51 вимикаюча гранична комутаційна здатність при  $I_{ном.а} = 100$  А становить  $I_{ном.в.а} = 6$  кА. Вибір автомата ВА51 перевіряємо за умовою:

$$I_{ном.в.а} = 6 (кА) \geq I_{К1(0)} = 0,78 (кА); \quad (3.13.7)$$

Струм однофазного КЗ на шинах НН КТП  $I_{к}^{(1)} = 0,48$  кА. За умовою чутливості захисту [32,33]:

$$I_{к}^{(1)} \geq 1,4 \cdot I_{c.в}; \quad (3.13.8)$$

$$I_{к}^{(1)} = 0,48 (кА) \geq 1,4 \cdot 0,315 = 0,44 (кА).$$

Виконані розрахунки дають підставу для остаточного вибору автоматичного вимикача ВА51-31 з такими параметрами [32]:

$$U_{ном.а} = 660 \text{ В}; I_{ном.а} = 100 \text{ А}; I_{ном.р} = 63 \text{ А}; I_{с.п} = 85,05 \text{ А}; I_{c.в} = 630 \text{ А};$$

$$I_{ном.в.а} = 6 \text{ кА}.$$

Результати розрахунків та каталожні дані обраного автоматичного вимикача вводу ВА51-31 подані у таблиці 12.

Каталожні та розрахункові дані автомата вводу QF1  
типу ВА55-41

Умови вибору	Каталожні дані автомата ВА51-35	Розрахункові дані
За номінальною напругою $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.а}} = 660 \text{ В}$	$U_{\text{ном.м}} = 380 \text{ В}$
За номінальним струмом автомата $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.а}} = 100\text{А}$	$I_{\phi} = 37,98 \text{ А}$
За номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{ном.р}} \geq I$	$I_{\text{ном.р}} = 63 \text{ А}$	$I_{\phi} = 63,98 \text{ А}$
За номінальним струмом автомата та його розчеплювачів $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	$I_{\text{ном.а}} = 100\text{А}$	$I_{\text{ном.р}} = 63 \text{ А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{\text{с.п}} \geq 1,1 \cdot I_{\phi}$	$I_{\text{с.п}} = 85,05\text{А}$	$1,1 \cdot I_{\phi} = 41,78\text{А}$
За умовою відстройки від пікових струмів $I_{\text{с.в}} \geq (6 - 10)I_{\text{ном.т}}$	$I_{\text{с.в}} = 630\text{А}$	$6 \cdot I_{\text{ном.т}}$ $= 227,88 \text{ А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_{\text{К1(0)}}$	$I_{\text{ном.в.а}} = 6 \text{ кА}$	$I_{\text{К1(0)}} = 0,78 \text{ кА}$
За умовою чутливості $I_{\text{к}}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{\text{с.в}}$	$I_{\text{к}}^{(1)} = 0,48\text{кА}$	$1,4 \cdot I_{\text{с.в}} = 0,44 \text{ кА}$

Таким чином, дослідження та розрахунки елементів розробленої автором електричної мережі показали, що мережа надійна, має надійний захист електричними апаратами та відповідає вимогам ПУЕ [33].

#### **4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КУТЕРА**

Предметом модернізації є електропривод пристрою для приготування фаршу - кутера В6-ФСБ на основі трьохфазного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором. Замість двигуна, яким укомплектований електропривод кутера ставимо асинхронний двигун АИР250S4 та частотний перетворювач серії HYUNDAI N700V-750HF.

Модернізований електропривод пристрою для приготування фаршу - агрегату В6-ФСБ дозволяє привести у відповідність реальні та нормативні характеристики технологічного процесу, а також забезпечує економію засобів, що направляються на фінансування вказаних затрат.

В даній частині економічного обґрунтування проведений розрахунок зміни річних експлуатаційних затрат споживача при використанні ним нових об'єктів. Головними елементами економії в результаті впровадження автоматичної системи керування частотно-регульованим електроприводом є:

- зниження затрат на електроенергію;
- зменшення затрат на заробітну плату робітникам;
- збільшення продуктивності.

##### **4.1 Визначення затрат на модернізацію системи керування електроприводом пристрою для приготування фаршу**

При дослідженні економічної ефективності модернізації електропривода кутера скористаємось методикою, запропонованою автором методичної розробки [34].

#### 4.1.1 Визначення затрат на придбання комплектуючих

Для впроваджуваної системи автоматичного керування частотно-регульованим електроприводом пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ є закуплені комплектуючі, перелік яких та їх ціна зведені у таблицю 13.

Таблиця 13

##### Перелік комплектуючих

Найменування	Кількість	Ціна, грн.
Асинхронний двигун АИР250S4	1	27280
Віскозиметр	1	3720
Перетворювач частоти HYUNDAI	1	40443
Витратомір	1	4630
Усього		76073

Таким чином, затрати на придбання комплектуючих для системи автоматичного керування електроприводом пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ дорівнюють [34]:

$$Z_k = 76073 \text{ (грн.)}$$

#### 4.1.2 Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями

Для використання електрообладнання приводу пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ необхідно виконати роботи по його встановленню, монтажу системи керування, демонтажу старого обладнання, налагодці та пуску системи. Вказані роботи будуть проводити 2 слюсарі 4-го розряду і один 5-го розряду протягом 2 днів.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями визначимо за формулою [34]:

$$S_{ЗПМ} = K_{НЗ} \cdot \lambda \cdot t \cdot \sum_{i=1}^m C_{ti} (1 + H); \quad (4.1)$$

де  $K_{НЗ}$  – коефіцієнт, який враховує накладні витрати на заробітну плату,  $K_{НЗ} = 1,3$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує премії,  $\lambda = 1,25$ ;

$t$  – час виконання робіт, год;

$C_{ti}$  – часова тарифна ставка працівника  $i$ -го розряду;

$H$  – норма нарахування на заробітну плату,  $H = 0,3853$ ;

$m$  – кількість робочих, чол.

$$S_{ЗПМ} = 1,3 * 1,25 * 16(22,45 * 2 + 24,35) * (1 + 0,22) = 2196,61 \text{ (грн)} \quad (4,2)$$

### 4.3 Визначення загальної суми затрат на модернізацію

Витрати на модернізацію системи автоматичного керування електроприводом пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ визначимо як суму витрат на купівлю комплектуючих та витрат на заробітну плату з нарахуваннями робітникам, які проводять модернізацію:

$$Z_M = Z_k + Z_{ном} \quad (4.3)$$

$$Z_M = 76073 + 2196,61 = 78269.61 \text{ (грн.)} \quad (4.4)$$

#### 4.3.1 Розрахунок річного фонду часу роботи пристрою для приготування фаршу --кутнера

Розрахунок річного фонду часу роботи електроприводу пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ проведемо за формулою [34]:

$$T_p = \frac{T_\phi}{\frac{1}{t_{ЗМ} \cdot K_{ЗМ}} + D_p}; \quad (4.5)$$

де  $T_{\Phi}$  – річний фонд робочого часу,  $T_{\Phi} = 251$  (днів);

$t_{\text{см}}$  – тривалість зміни в машиногодинах,  $t_{\text{см}} = 8$ ;

$K_{\text{см}}$  – коефіцієнт змінності роботи устаткування,  $K_{\text{см}} = 1$ ;

$D_p$  – простої в машино-днях у всіх видах технічного обслуговування і ремонту, який приходить на одну машино-годину, визначимо за формулою:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pi} a_i}{T_{\text{ц}}} \quad (4.6)$$

де  $n$  – число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів за міжремонтний період;

$d_{pi}$  – тривалість перебування в  $i$ -му ремонті чи технічному обслуговуванні;

$a_i$  – кількість  $i$ -х ремонтів чи технічних обслуговувань за міжремонтний період;

$T_{\text{ц}}$  – час міжремонтного циклу  $T_{\text{ц}} = 4800$  (год);

$a_{pi}$  – кількість ремонтів або технічних обслуговувань за міжремонтний період – 18.

$$D_p = \frac{1 \cdot 0,5 \cdot 18}{4800} = 0,0019 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}} \quad (4.8)$$

Річний фонд часу роботи до і після модернізації дорівнює:

$$T_p = \frac{251}{\frac{1}{8-1} + 0,0019} = 1978 \text{ (год)}. \quad (4.9)$$

#### 4.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності

Річна експлуатаційна продуктивність пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ визначається за формулою [34]:

$$B = B_{\text{г.п}} \cdot T_p \cdot K_{\text{пр}}; \quad (4.10)$$

де  $B_{\text{г.п}}$  – годинна експлуатаційна продуктивність, (т/год);

$K_{\text{ПР}}$  – коефіцієнт, що враховує простої, не враховані в часовій експлуатаційній продуктивності.

Таким чином, річна експлуатаційна продуктивність пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ до модернізації:

$$V_{\text{д}} = 6.8 \cdot 1978 \cdot 0,9 = 12107.3498(\text{т/рік}) \quad (4.11)$$

після модернізації:

$$V_{\text{д}} = 8.4 \cdot 1978 \cdot 0,9 = 14956.1379(\text{т/рік}). \quad (4.12)$$

#### **4.5 Визначення поточних річних затрат в процесі експлуатації кутра.**

Поточні річні експлуатаційні затрати визначаються для системи автоматичного керування та електроприводу пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ до і після модернізації за методикою, запропонованою в розробці [34].

##### **4.5.1 Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями**

При розрахунку заробітної платні працівникам з нарахуванням використаємо методику, наведену в посібнику [34].

Заробітна плата працівників, що приймають участь в експлуатації пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ визначається за формулою (4.1). До модернізації пристрою для приготування фаршу число працівників становило 3 робітники 4-го розряду і 1 робітник 5-го розряду, але після модернізації даний технічний процес став потребувати втручання меншої кількості людей, тому тепер електроприводи обслуговують 1 робітник 4-го розряду та 2 робітники 5-го розряду. Витрати на заробітну плату до та після модернізації склали:

$$S_{\text{ЗНД}} = 1,3 * 1,25 * 1978(22,45 * 3 + 24,35 * 1) * (1 + 0,22) = 359591 \text{ (грн)} \quad (4.13)$$

$$S_{\text{ЗНП}} = 1,3 * 1,25 * 16(22,45 * 2 + 24,35) * (1 + 0,22) = 274774,9 \text{ (грн)} \quad (4.14)$$

#### 4.5.2 Визначення витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт системи автоматичного керування електроприводом

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт системи автоматичного керування та електропривода визначимо за формулою [34]:

$$S_{\text{ТО}} = S_{\text{ТОЗ}} + S_{\text{ТОМ}}, \quad (4.15)$$

де  $S_{\text{ТОЗ}}$  – витрати на заробітну плату ремонтників з нарахуваннями;

$S_{\text{ТОМ}}$  – витрати на матеріали та запасні частини.

Витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуваннями визначаються за формулою:

$$S_{\text{ТОЗ}} = \frac{T_P}{T_{\text{Ц}}} \cdot K_{\text{НЗ}} \cdot \lambda \cdot C_P \cdot \sum_{i=1}^m a_{pi} \cdot \chi_{pi} \cdot (1 + H), \quad (4.16)$$

де  $C_P$  – середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговує електропривод, грн./год;

$a_{pi}$  – кількість техобслуговувань і поточних ремонтів без капітального ремонту;

$\chi_{pi}$  – праце ємність  $i$  – го технічного обслуговування та поточного ремонту,  $\chi_{pi} = 1,57$ .

Витрати на матеріали та запасні частини визначаються за формулою:

$$S_{\text{ТОМ}} = K_{\text{П}} \cdot \frac{S_{\text{ТОЗ}} \cdot (1 - H)}{K_{\text{НЗ}}} \cdot K_{\text{ЗР}} \quad (4.17)$$

де  $K_{\text{П}}$  – норма накладних витрат по всім видам витрат, крім заробітної плати,  $K_{\text{П}} = 1,1$ ;

$K_{\text{ЗР}}$  – коефіцієнт переходу від витрат на заробітну плату до витрат на матеріали та запасні частини,  $K_{\text{ЗР}} = 1,25$ .

До модернізації ЕП обслуговування пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ проводили 3 робітники 4-го розряду і 1 робітник 5-го розряду, а після обслуговування буде проводити 1 робітник 4-го розряду та 2

робітники 5-го розряду. Таким чином, витрати на заробітну плату ремонтних робітників дорівнюють:

$$S_{\text{ТОЗД}} = \frac{1978}{4800} * 1,3 * 1,25 * 18 * (22,45 * 3 + 24,35 * 1) * (1 + 0,22) = 2852,5 \text{ (грн)} \quad (4.18)$$

після модернізації

$$S_{\text{ТОЗП}} = \frac{1978}{4800} * 1,3 * 1,25 * 18 * (22,45 * 1 + 24,35 * 2) * (1 + 0,22) = 1642,4 \text{ (грн)} \quad (4.19)$$

Відповідно витрати на матеріали та запасні частини:

до модернізації:

$$S_{\text{ТОМД}} = 1,1 * \frac{1020,99(1-0,22)}{1,33} * 1,25 = 842,32 \text{ (грн)} \quad (4.20)$$

після модернізації

$$S_{\text{ТОМП}} = 1,1 * \frac{1978}{4800} * \frac{792,62(1-0,22)}{1,33} * 1,25 = 653,9 \text{ (грн)} \quad (4.21)$$

Таким чином, витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт складають:

до модернізації

$$S'_{\text{ТО}} = 2852,5 + 842,32 = 3694,8. \quad (4.22)$$

після модернізації

$$S'_{\text{ТО}} = 1642,4 + 653,9 = 2296,3 \text{ грн.} \quad (4.23)$$

### 4.5.3 Визначення витрат на електроенергію

Величину витрат на електроенергію визначимо із співвідношення [34]:

$$S_{\text{ЕЛ}} = K_{\text{П}} \cdot W_{\text{ЕЛ}} \cdot C_{\text{ЕЛ}} \cdot T_{\text{Р}} \quad (4.24)$$

де  $C_{\text{ЕЛ}}$  – ціна 1 кВт\*год електроенергії складає 2,68 грн.;

$W_{\text{ЕЛ}}$  – витрата за годину енергії, кВт\*год.

На модернізованому електроприводі було встановлено електродвигун змінного струму, та впроваджена система групового збереження електроенергії у цеху, що дозволяє значно зменшити витрати на

електроенергію шляхом значного підвищення коефіцієнта потужності  $\cos\phi$  майже до 0,95.

Відповідно, витрати на електроенергію до модернізації становлять:

До модернізації витрати на електроенергію складають:

$$S_{\text{ЕЛ1}} = 1,1 * 29 * 2,68 * 1978 = 169103,2 \text{ (грн.)} \quad (4.25)$$

Після модернізації витрати на електроенергію складають:

$$S_{\text{ЕЛ2}} = 1,1 * 25 * 2,68 * 1978 = 145778,6 \text{ (грн.)} \quad (4.25)$$

#### 4.5.4 Розрахунок загальної суми річних витрат

Загальна сума річних витрат на експлуатацію пристрою для приготування фаршу - кутера Л5-ФКМ наведена в таблиці 14

Таблиця 14

Величина річних витрат на експлуатацію пристрою для приготування фаршу

Найменування статті витрат	Величина витрат, грн.	
	до модернізації	після модернізації
ЗП з нарахуваннями	359591	274774,9
ТО і ПР	3694,8	2296,3
Електроенергія	169103,2	145778,6
Всього	532389	422849,8

#### 4.6 Розрахунок вартості машино-години роботи системи автоматичного керування та електропривода

Розрахунок вартості машино-годин системи автоматичного керування та електроприводом пристрою для приготування фаршу розраховуємо за формулою [34]:

$$S_{\text{МГ}} = \frac{S}{T_p} \quad (4.27)$$

До модернізації вартість однієї машино-години складала:

$$S_{\text{МГ1}} = \frac{250831,75}{1978} = 126,79 \left( \frac{\text{грн}}{\text{год}} \right) \quad (4.28)$$

Після модернізації вартість однієї машино-години змінилась і складає:

$$S_{MG2} = \frac{201219.94}{1978} = 101,71 \left(\frac{грн.}{год}\right). \quad (4.29)$$

#### 4.7 Розрахунок вартості технологічної операції для тони продукції

Вартість технологічної операції для тони продукції визначається за формулою [34]:

$$S_{II} = \frac{S}{B}. \quad (4.30)$$

До модернізації вартість складала:

$$S_{II1} = \frac{250831.75}{12107,3498} = 20,72(грн.). \quad (4.31)$$

Після модернізації вартість складає:

$$S_{II2} = \frac{201219.94}{14956,1379} = 13,45(грн.). \quad (4.32)$$

#### 4.8 Визначення економічного ефекту від проведення модернізації

Річний економічний ефект від проведення модернізації визначається за формулою [34]:

$$E = (S_{II1} - S_{II2}) \cdot B \quad (4.33)$$

$$E = (20,72 - 13,45) \cdot 14956,1379 = 108631 \text{ (грн./рік)}. \quad (4.34)$$

Термін окупності витрат по модернізації розрахуємо за формулою:

$$T = \frac{B_M}{E} \quad (4.35)$$

$$T_M = \frac{B_M}{E} = \frac{78269,61}{64014,36} = 1,3 \text{ року} = 14,7 \text{ місяців}. \quad (4.36)$$

## Результати дослідження економічної ефективності.

Показники	Одиниці виміру	Значення		Відхилення
		до	після	
Капітальні витрати на модернізацію	грн.	-	64276	-
Річний фонд робочого часу	год	1978,325	1978,325	0
Річна експлуатаційна продуктивність	т	6,8	8,4	-1,6
Річні експлуатаційні витрати:	грн.	250831,7	201219,9	49611,81
Витрати на ЗП	грн.	173416,7	134627,3	38789,4
Витрати на ТО і ПР	грн.	1684,801	1307,949	376,8521
Витрати на електроенергію	грн.	75730,29	65284,73	10445,56
Вартість однієї машино-години	грн./год	126,79	101,7123	25,07768
Вартість технологічної операції	грн./т	20,71731	13,454	7,26338
Річний економічний ефект	грн.	-	64014,36	-
Термін окупності КВ	місяців	-	14,7	-

Результати дослідження економічної ефективності від модернізації електроприводу кутера наведені в таблиці 15.

## **Висновки до розділу**

Виходячи з проведених розрахунків можна зробити наступні висновки:

1. Витрати на модернізацію склали 76073 грн.
2. Витрати на заробітну плату робітників, які експлуатують установку зменшилися на 27 %.
3. Витрати на ТО і ПР після проведення модернізації зменшилися на 38 %.
4. Витрати на електроенергію після проведення модернізації знижені на 18 %.
5. Вартість машино-години роботи системи після модернізації знижена на 19,7 %.
6. Вартість технологічної операції після модернізації знижена на 36%.
7. Економічний ефект від проведення модернізації склав 108631,04 грн.
8. Термін окупності витрат по модернізації склав 14 місяців.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При виконанні магістерського дослідження одержані результати, які можна сформулювати у вигляді висновків:

1. Проведений аналіз стану забезпечення технологічного процесу приготування фаршу, виконані розрахунки та досліджено можливості надійного використання електрообладнання кутера, що працює в цеху ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату.
2. Розраховано, обрано та досліджено на надійність роботи в екстремальних умовах основні елементи частотно-регульованого електропривода кутера на основі трьохфазного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором, що забезпечує технологічний процес приготування фаршу для ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату та автоматичної системи керування регульованого електропривода робочого механізму.
3. Досліджено можливості автоматичної системи керування регульованим електроприводом кутера в екстремальних умовах.
4. Досліджені режими роботи модернізованого електропривода кутера на основі трьохфазного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором при використанні частотного перетворювача та автоматичної системи керування регульованого електропривода робочого механізму що забезпечують технологічний процес приготування фаршу для ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату та автоматичної системи керування регульованого електропривода робочого механізму.
5. Розроблена математична модель автоматичної системи керування регульованим електроприводом кутера на основі трьохфазного асинхронного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором.
6. Досліджена стійкість роботи автоматичної системи керування частотно-регульованого електропривода кутера.
7. Досліджена економічна доцільність запропонованої модернізації електропривода кутера та автоматичної системи керування регульованого

електропривода робочого механізму, що забезпечують технологічний процес приготування фаршу для ковбасних виробів Полтавського м'ясокомбінату.

8. Результати магістерського дослідження доповідались на науковому семінарі кафедри та Всеукраїнській науково-практичній конференції.

## ЛІТЕРАТУРА

1. COVID Live Update [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.google.com/search>
2. Закон України про енергозберігання. -2019.  
[https://kodeksy.com.ua/pro\\_energozberezhennya.htm](https://kodeksy.com.ua/pro_energozberezhennya.htm)
3. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали. У 2-х томах: Загальні засади енергозбереження. /За ред.. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. - Т.1. – 510 с.
4. Мясна промисловість України  
<https://www.google.com/search>.
5. Віннікова Л.Г. Практика переробки мяса /Л.Г. Віннікова. Ізмаїл. СМІЛ, 2012. – 172 с.
6. Успенская Н.Р. Технология хранения, переработки и стандартизации мяса и мясных продуктов. Н.Р. Успенская. – Киев. ИНКОС, 2016. – 474 с.
7. Власенко В.В., Крамаренко В.В., Гирич С.В. Основи технології та товарознавства ковбас і мясокопченостей. – Вінниця: ТІПАНІС, 2001. – 276 с.
8. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І Енергозбереження засобами промислового електропривода Закладний: Навчальний посібник. - К: Кондор, 2005. -408 с.
9. Плешков С. П., Серебренніков С.В. Енергоефективний електропривод у промисловості та сільськогосподарському виробництві: Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. – 156 с.
10. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні дискретні системи: Навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, 2002. – 454 с.
11. Горин В.М. Современные волчки и м'ясорубки/ В.В. Горин// Техника и оборудование для села. – 2006. - №3. – С. 29-31.
12. П.О. Василега, Д.В. Муріков – «Електропривод робочих машин». Навчальний посібник. Суми 2006р.- 228 с.

13. Онушко В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.

14. Вибухозахищений електродвигун 4ВР 90 LA8 (0,75 кВт 750 об/хв) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [systemax.ua/ua/elektrodivigateli/vzryvozashishennye-elektrodivigateli/4vr/4vr90la8-0-75-kvt-750-ob-min.html](http://systemax.ua/ua/elektrodivigateli/vzryvozashishennye-elektrodivigateli/4vr/4vr90la8-0-75-kvt-750-ob-min.html) (дата звернення 31.10.2021) – Назва з екрана.

15. Безручко В.М. Електричні машини та електропривод: методичні вказівки до практичних занять та розрахунково-графічної роботи для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Безручко. – Чернігів: ЧНТУ, 2014. – 78 с.

16. Датчик тиску WKA 0-10 бар 4..20 мА G1/4 роз'єм M12\*1 тип O-10 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [eta.org.ua/ua/p800377367-datchik-tisku-wika.html](http://eta.org.ua/ua/p800377367-datchik-tisku-wika.html) (дата звернення 07.11.2021) – Назва з екрана.

17. Борщ В.В. Частотно-регульований електропривод насоса дозування гліцерину в потоковому виробництві антисептиків / В.В. Борщ, О.Б. Борщ, В.С. Курило, В.О. Таран // Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика: збірник наукових праць за матеріалами VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 5 листопада, 2021 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – 2021. – С. 54–56.

18. Нелюба Д.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із курсу “Електропривід і автоматизація верстатів автоматів” для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання / Нелюба Д.М., Гонтар М.М. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – 43 с.

19. Лисиченко М. Л. Посібник "Електропривод у питаннях і відповідях" / М. Л. Лисиченко, П. І. Савченко, О. К. Тищенко, В. В. Гузенко — Х: ХНТУСГ; Факт, 2012., 2012. – 500 с.

20. Онушко В. В., Шефер О. В., Скрильник О. М. Асинхронні машини: посібник із модуля «Асинхронні машини»: – Полтава, ПолтНТУ, –2008. – 183 с.

21. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.

22. Півняк Г. Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією / Г. Г. Півняк, О. В. Волков. – Дніпропетровськ, НГУ, 2006. – 470 с.

23. Шебітченко В. Г., Стрижеус Д. Розрахунок статичних параметрів елементів автоматизованого електропривода: навчальний посібник: – Полтава: ПОЛТНТУ, – 2010. - 107 с.

24. Шебітченко В. Г., Шефер О. В., Бороздін М. К. Датчики й регулятори в автоматизованому електроприводі: навчальний посібник: –Полтава: ПОЛТНТУ, – 2011. - 88 с.

25. Шульга О. В. Навчальний посібник із грифом МОН «Автоматизоване керування електроприводами» з дисципліни «Системи керування електроприводами» для студентів вищих навчальних закладів: –Полтава: ПолтНТУ, – 2007. – 352 с.

## ДОДАТКИ

# **Modernization and research of the electric drive of the cutter shop of sausage products of Poltava meat-packing plant**

## **INTRODUCTION**

In 2019, humanity faced the disease COVID-19 [1], which led to a pandemic and global economic crisis, which significantly affected the production of industrial products, including food products. Along with the pandemic, the economic performance of Ukraine's food industry has also been affected by the energy crisis, which has intensified in recent years as the national energy sector has lost large amounts of energy - coal, oil and natural gas.

Today, the issue of economical use of electricity by the food industry, in particular the meat processing industry, is relevant [2,3], as it is characterized by significant energy costs per unit of output.

Energy savings in all industries are provided by the Government of Ukraine. The law of Ukraine on energy saving adopted by the government determines the economic, legal, social and environmental bases of energy saving for all enterprises, associations and organizations located in Ukraine [2]. The strategy of energy saving in Ukraine developed by scientists of the National Academy of Sciences identifies priority ways to significantly reduce energy consumption per unit of output [3].

The meat processing industry of Ukraine is a branch of the food industry, the enterprises of which harvest and slaughter cattle, poultry, rabbits, as well as produce meat, sausages, canned meat, semi-finished products to meet the needs of the population. In terms of cost of production, this industry is one of the first places in the food industry [4]. Meat factories, which comprehensively process livestock products, are located in large cities. In recent years there is a tendency to bring meat processing enterprises closer to areas of developed livestock to avoid long-distance transportation of live animals.

Along with food production, the meat industry produces dry animal feed, valuable medicines (insulin, heparin, lidocaine and others), as well as amino acids and down

products. By-products of cattle slaughter (they make up half of the physical mass of the animal's carcass) are used for food, technical, medical and other purposes. The range of products of the meat processing industry is about 400 items [4].

The key to entering the international market of domestic products of the meat processing industry and gaining a strong position of meat processing enterprises in the domestic market is to significantly improve product quality while reducing production costs. Fierce competition between producers of meat processing industry forces its producers to take into account both factors, as providing the population with high quality and at the same time cheap food is one of the main directions of development of any state.

Increasing investment in the Ukrainian meat processing industry is helping to increase the production of finished meat products. A promising industry for investment is pig farming, as pork has a relatively short production cycle, is the main raw material for the meat processing industry and a traditional food product for the Ukrainian population. This growth is also supported by the growth of income of the urban population, which is the main consumer of meat products and meat of industrial production. Restoration of normal operation of processing enterprises and relatively low purchasing power of the population have caused the Ukrainian market demand for safe cheap raw meat of good quality in industrial volumes [4].

More than 500 enterprises in Ukraine process cattle and poultry into meat. The number of meat plants producing more than 1,000 tons of products remains virtually stable, as does their share in total production. Due to the strengthening of veterinary control and sanitary norms, there is a tendency to reduce small businesses.

The range of finished meat products in Ukraine is dominated by sausages. The production of these products is growing every year due to increasing demand for this product in the country and abroad. So. in the first half of this year, Ukrainian meat processing enterprises produced about 120,000 tons of sausages. The production of cooked products, which account for more than two thirds of the total production of sausages, increased the most.

Ukraine has all the necessary conditions to increase the production of quality meat products, including meat and finished products from it. These include acceptable climatic conditions, experience in the past of large-scale meat production, recovery of the processing industry and growing demand for raw materials. Growing solvency of the population and increasing demand in the retail market for meat and finished products, rapid development of retail chains, improvement of sales channels, availability of qualified personnel and relatively cheap labor also have a positive effect on wholesale meat production.

Obstacles to the rapid resumption of production include a weak raw material base due to a record reduction in livestock in recent years, irrational structure of livestock distribution by category of farms, lack of clear control over the movement of raw meat within the country, the current high interest rate on Ukrainian loans. market in need of significant updating of material and technical base and introduction of modern production technologies at the enterprises.

Thus, achieving a strong position of meat processing enterprises in domestic and foreign markets is possible under a number of conditions, namely:

- availability of sufficient quantities of high-quality raw materials;
- availability of modern energy-saving high-performance equipment for raw material processing;
- economical use of energy resources;
- availability of cheap labor

The solution of the second and third conditions, which are relevant for the meat processing industry, involves a number of measures, among which are important the replacement of obsolete equipment of meat plants, or its revolutionary modernization. Replacement of obsolete equipment of operating meat processing plants in the established traditional technological regimes requires significant investment, which will immediately affect the price of products. Innovative

modernization of equipment allows for significant material costs to significantly improve product quality while reducing its cost.

The range of finished meat products in Ukraine is dominated by sausages. The production of these products is growing every year due to increasing demand for this product in the country and abroad. So, in the first half of this year, Ukrainian meat processing enterprises produced about 120,000 tons of sausages. The production of cooked products, which account for more than two thirds of total sausage production, increased the most [4,6].

Sausages have a special place in the human diet. It has been found that the optimal diet is a diet in which more than half of the protein comes from meat, eggs and fish, and fat - from milk and dairy products [4,5,6]. The high nutritional value of meat products is due to the quantity and quality of proteins, fats, micro- and macronutrients, extracts, which together provide high taste, digestibility of these products and normal physiological life. Protein found in meat products is absorbed by the human body by 96-98% [5,6].

At present, meat processing enterprises of Ukraine produce more than 300 types of sausages. These are boiled sausages, hot dogs, sausages, raw smoked sausages, boiled-smoked, semi-smoked, etc. Semi-smoked sausages are one of the most popular types of sausages among buyers [6].

In the production of sausages in industrial conditions, the process of cooking minced meat plays an important role, as its quality significantly affects the quality of sausages and, ultimately, their competitiveness [5,6].

Based on the analysis of the experience of operation of electromechanical equipment of the sausage factory of Poltava meat-packing plant, it is easy to conclude that its quality does not meet today's requirements. This includes over-consumption of electricity, over-power of the drive, which leads to low efficiency and power-up of the drive, lack of control over the speed of rotation of the actuators, fairly high pollution, a large number of staff, etc.

Energy-saving technologies include the use of frequency-regulated electric drive based on three-phase asynchronous AC motors, which are already widely used in industry.

The use of a frequency converter as a control device for an electric drive opens up enormous possibilities [8,9]. It makes it possible with an automatic control system not only to improve the technological process, but also significantly save energy resources and minimize environmental problems. However, the use of frequency converters in the adjustable electric drive creates a number of advantages due to the possibility of automatically changing the parameters of the control system depending on the operating conditions of the mechanism [8,9,10]. Significant efficiency of the frequency-regulated electric drive is achieved under frequent variable operating conditions in a fairly wide range [8].

Thus, the operation of frequency-regulated electric drive based on a three-phase asynchronous AC motor allows not only to significantly increase energy efficiency but also the reliability of existing unregulated electric drives [8,9].

Experience and analysis of the conditions of initial processing of raw materials for the production of sausages with the help of mince preparation devices in the sausage shop of Poltava Meat Factory. In the meat processing industry, the trend of modernization of the meat processing equipment market has already been established [13]. It should be noted that the use of electric drives based on a three-phase AC motor with short-circuited rotor and the use of a frequency converter in the implementation of automatic control system creates significant advantages by automatically changing system parameters depending on operating conditions [10,11]. These capabilities of the controlled electric drive make it possible, in addition to saving energy resources, to significantly improve the quality of raw materials in the processing of raw materials, which have mechanical characteristics that depend on the batches of meat. After all, improving the quality of raw materials of Poltava Meat Plant contributes to its high competitiveness in both domestic and foreign markets.

Operation of the traditional electric drive of the working mechanism of the device for preparation of forcemeat on the basis of the three-phase asynchronous AC motor with a short-circuited rotor working in shop of sausages of the Poltava meat-packing plant at variable loadings leads to low power factor, low efficiency and inefficient efficiency. ultimately leads to significant economic losses. Thus, the modernization of the electric drive mechanism of the device for preparation of minced meat - cutter based on three-phase asynchronous AC motor with short-circuited rotor using a frequency converter and the introduction of automatic control system of adjustable electric cutter drive can significantly improve the quality of raw materials. energy savings, allows to significantly increase the efficiency of the system shredder-electric motor-frequency converter, which undoubtedly determines the relevance of the master's study.

The object of the master's research is the electric drive of the cutter for preparation of minced meat used in the sausage shop of the Poltava meat-packing plant.

Given the problems identified in the study of the technological process of cooking minced meat, the conditions of the cutter in the shop for the production of sausages, analysis of scientific and technical literature, technological recommendations and market requirements to significantly improve product quality and reduce its cost.

Tasks of master's research:

1. To carry out the analysis of a condition of maintenance of technological process of preparation of forcemeat, to carry out calculations and to investigate possibilities of reliable use of the electric equipment of the cutter working in shop of sausages of the Poltava meat-packing plant.
2. Calculate, select and investigate the reliability of operation in extreme conditions of the main elements of the frequency-regulated electric cutter drive based on three-phase AC motor with short-circuited rotor, which provides the process of preparing

minced meat for sausages Poltava Meat Processing Plant and automatic control system.

3. Investigate the possibilities of an automatic control system with an adjustable electric cutter drive in extreme conditions.

4. Investigate the modes of modernized cutter electric drive based on three-phase AC motor with short-circuited rotor using frequency converter and automatic control system of adjustable electric drive working mechanism providing technological process of minced meat for sausages of Poltava meat-packing plant and automatic electric control system.

5. To develop a mathematical model of the automatic control system of the adjustable electric drive of the cutter for preparation of forcemeat on the basis of the three-phase asynchronous motor of alternating current with a short-circuited rotor.

6. Investigate the stability of the automatic control system of the frequency-controlled electric drive cutter.

7. Investigate the economic feasibility of the proposed modernization of the electric cutter drive and automatic control system of the adjustable electric drive of the working mechanism, providing the technological process of preparation of minced meat for sausages of Poltava meat-packing plant.

Міністерство освіти та науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**Модернізація та дослідження електропривода кутера  
цеху ковбасних виробів  
Полтавського м'ясокомбінату**

*Кваліфікаційна робота магістра*

Виконав:

**Магістрант групи 601ДМЕ      Таран В.О.**

Керівник:

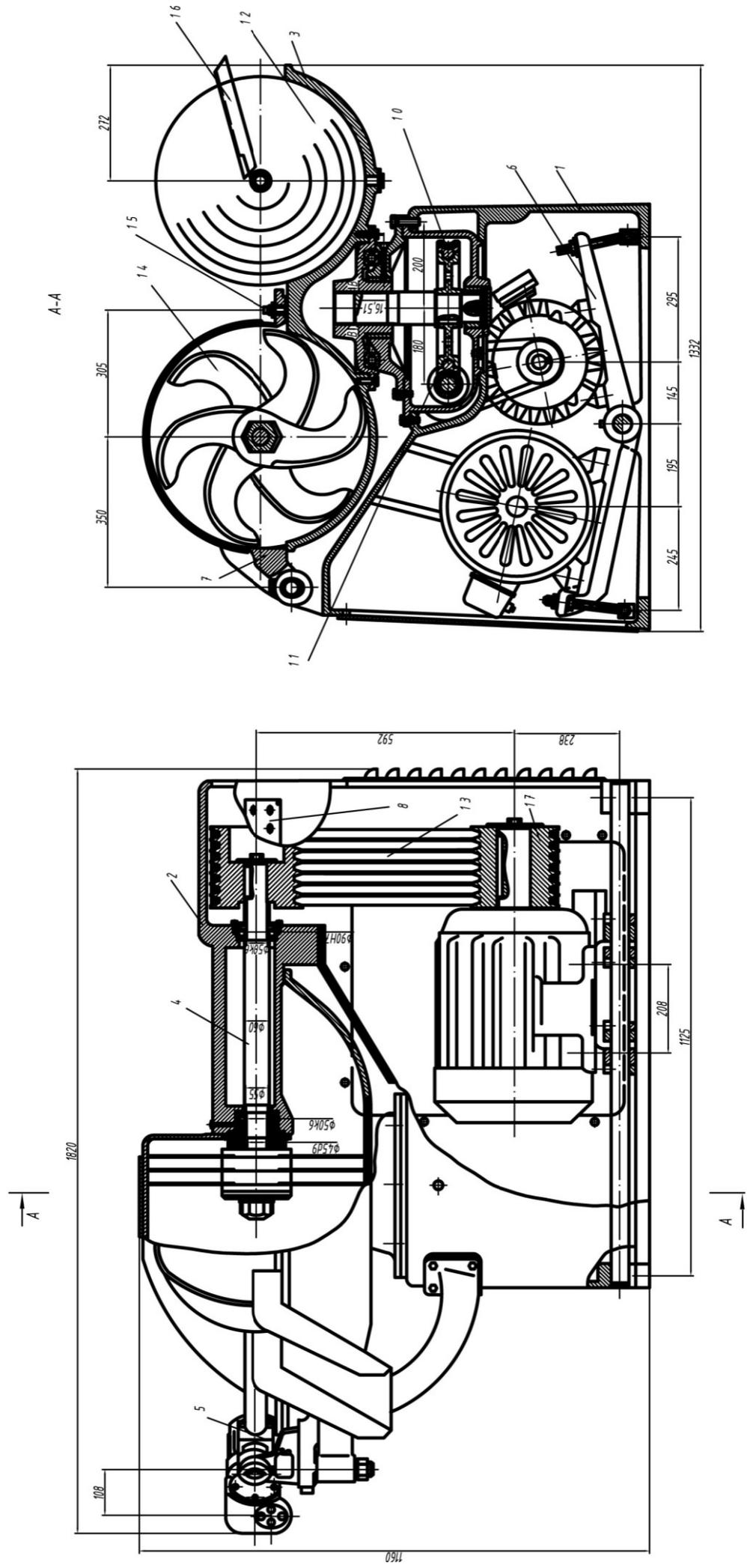
доцент, к.ф.-м.н.

Борщ В.В.

Полтава 2021

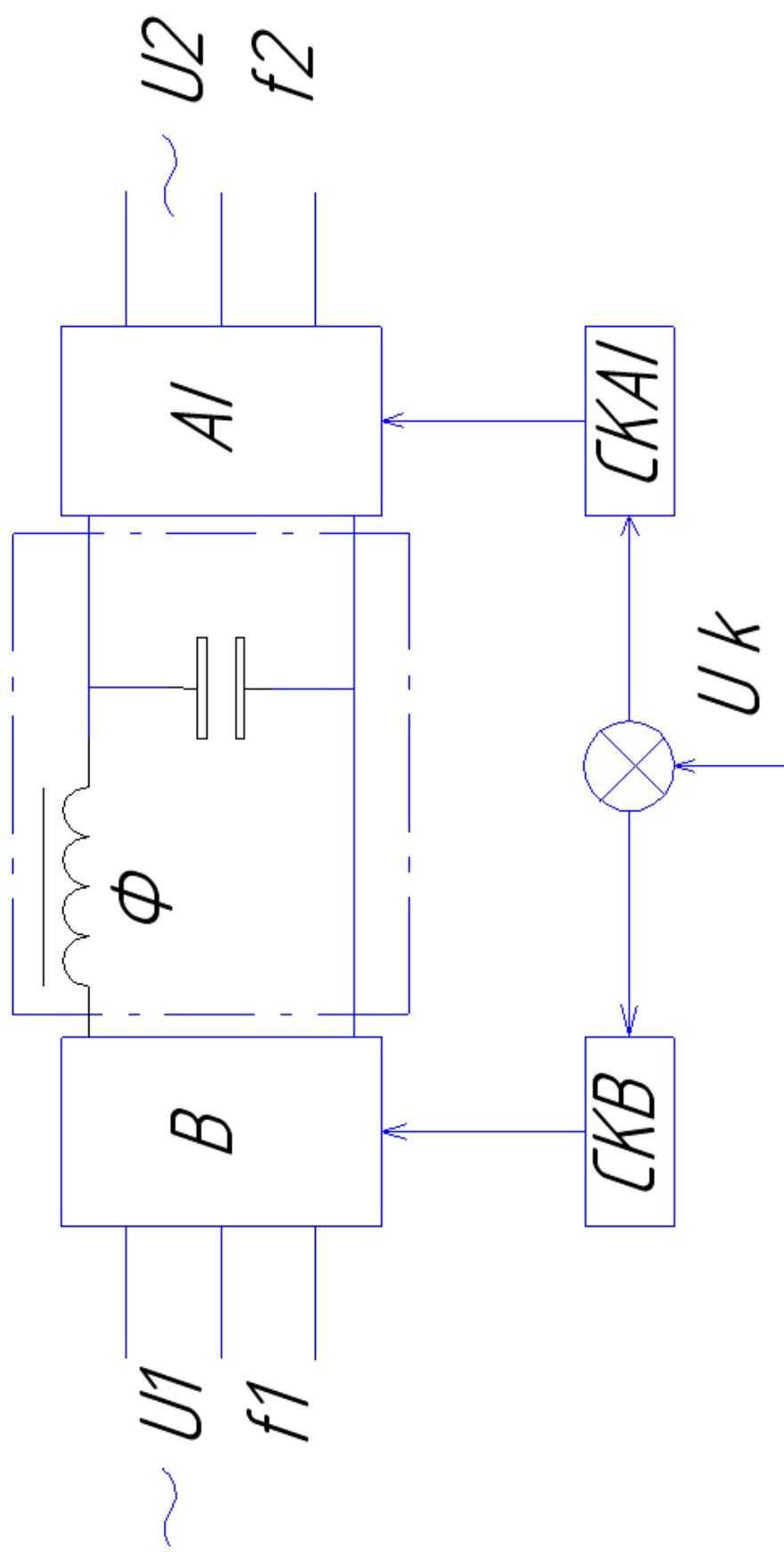
# ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ФАРШУ –

## КУТЕР Л5-ФКМ, ВИД ЗАГАЛЬНИЙ



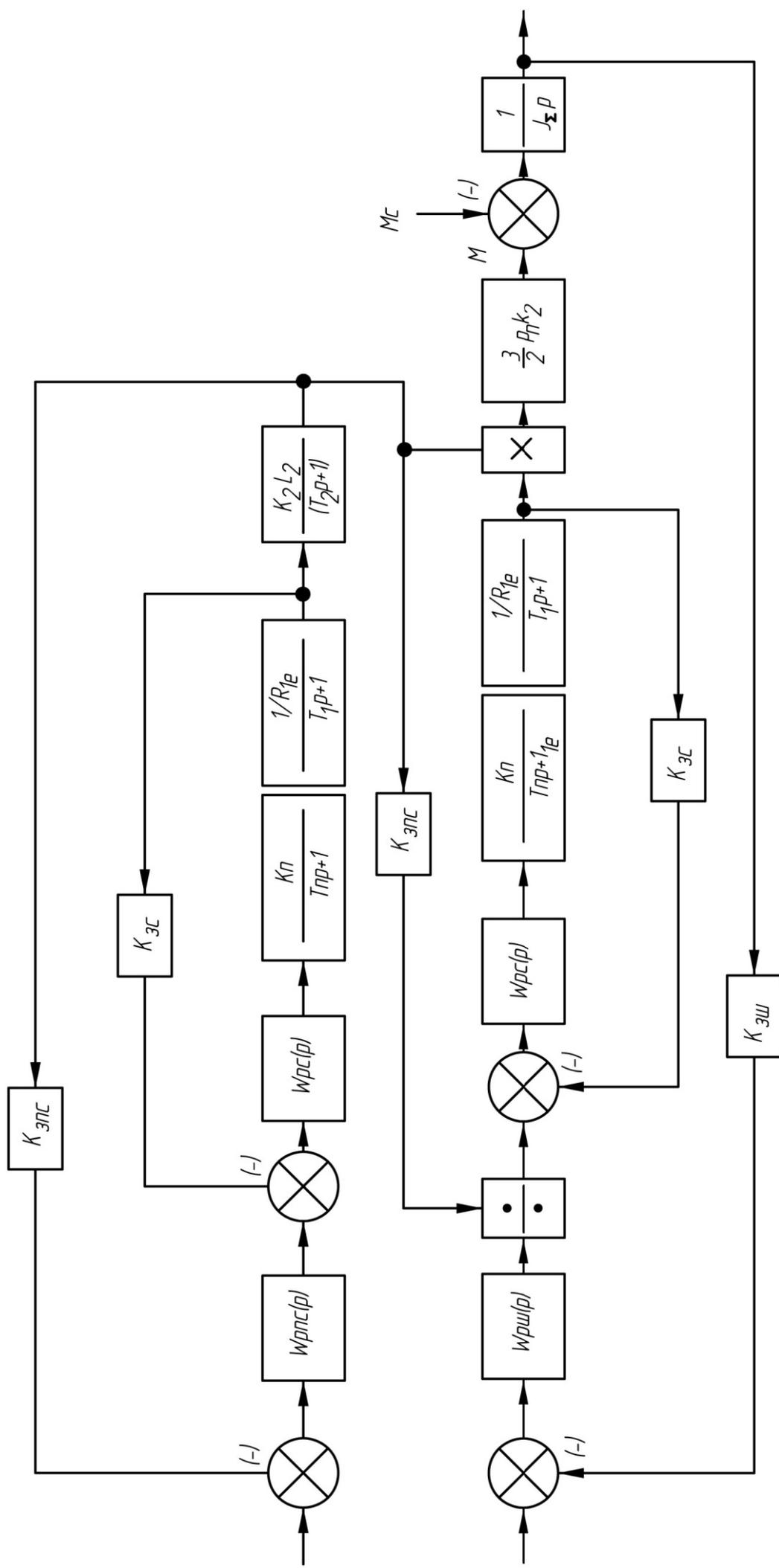


## БЛОК-СХЕМА ПЧ З ЛАНКОЮ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

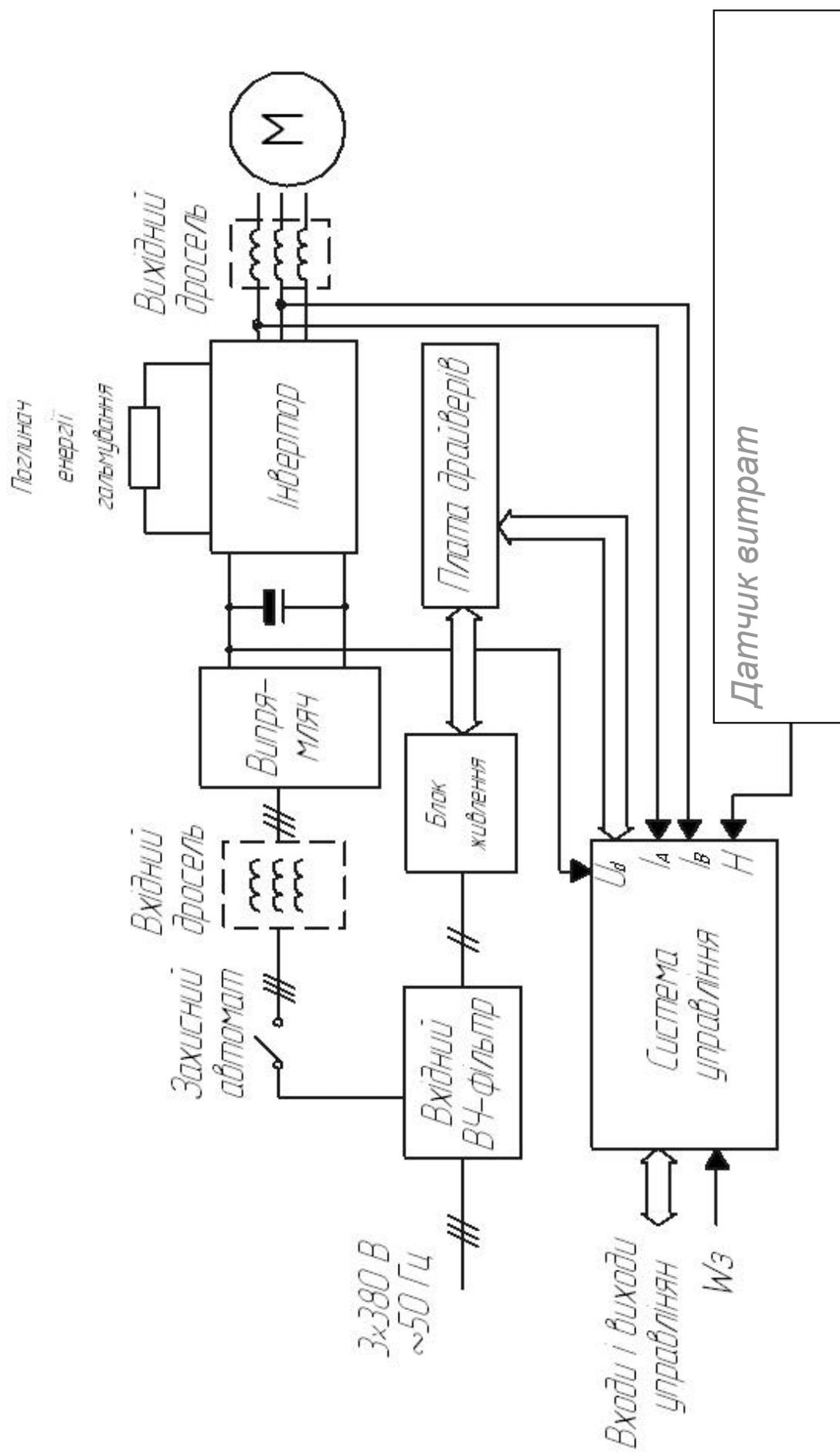


# ЕЛЕКТРОПРИВОД КУТЕРА Л5-ФКМ

## СХЕМА СТРУКТУРНА

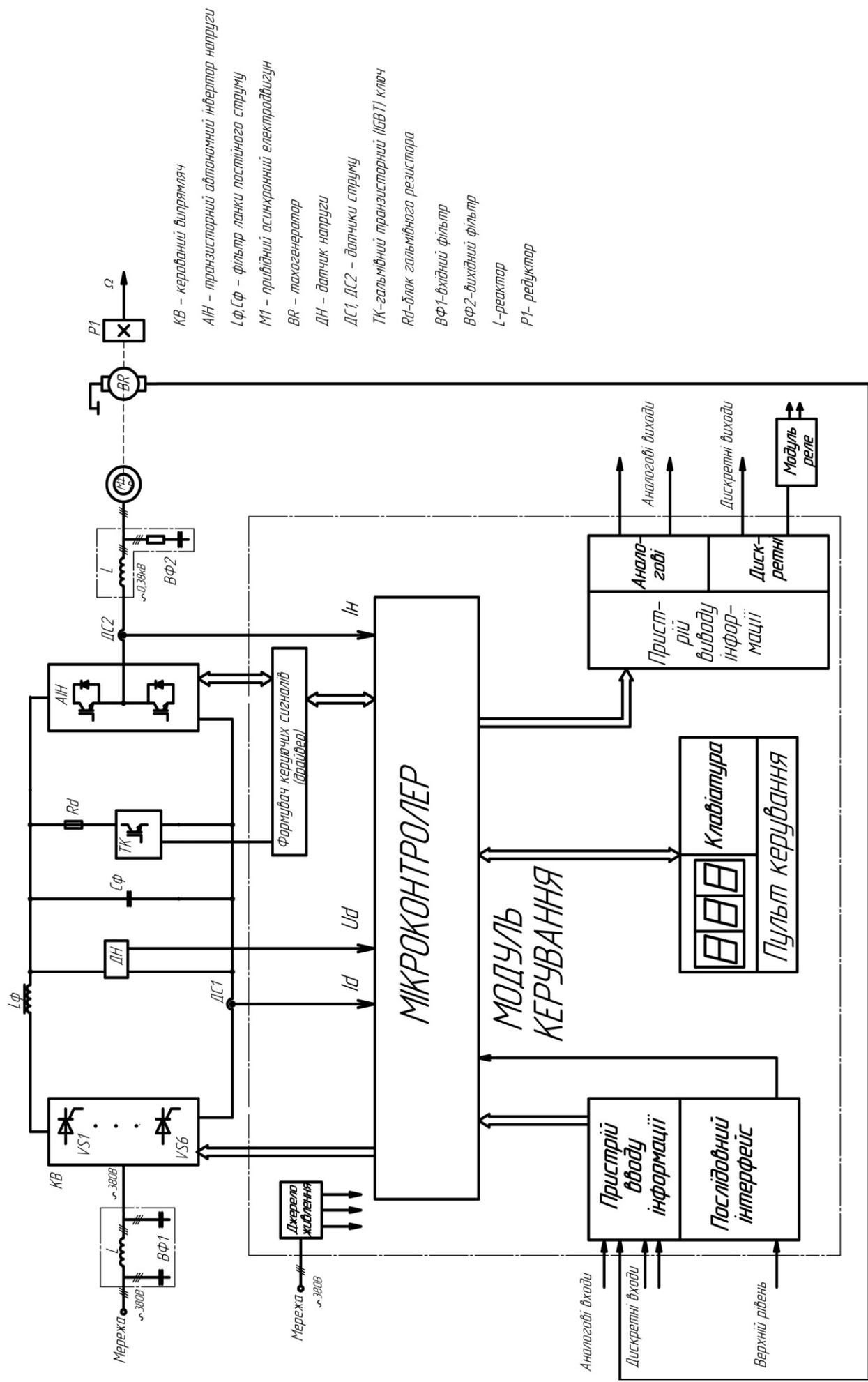


# ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ПЧ

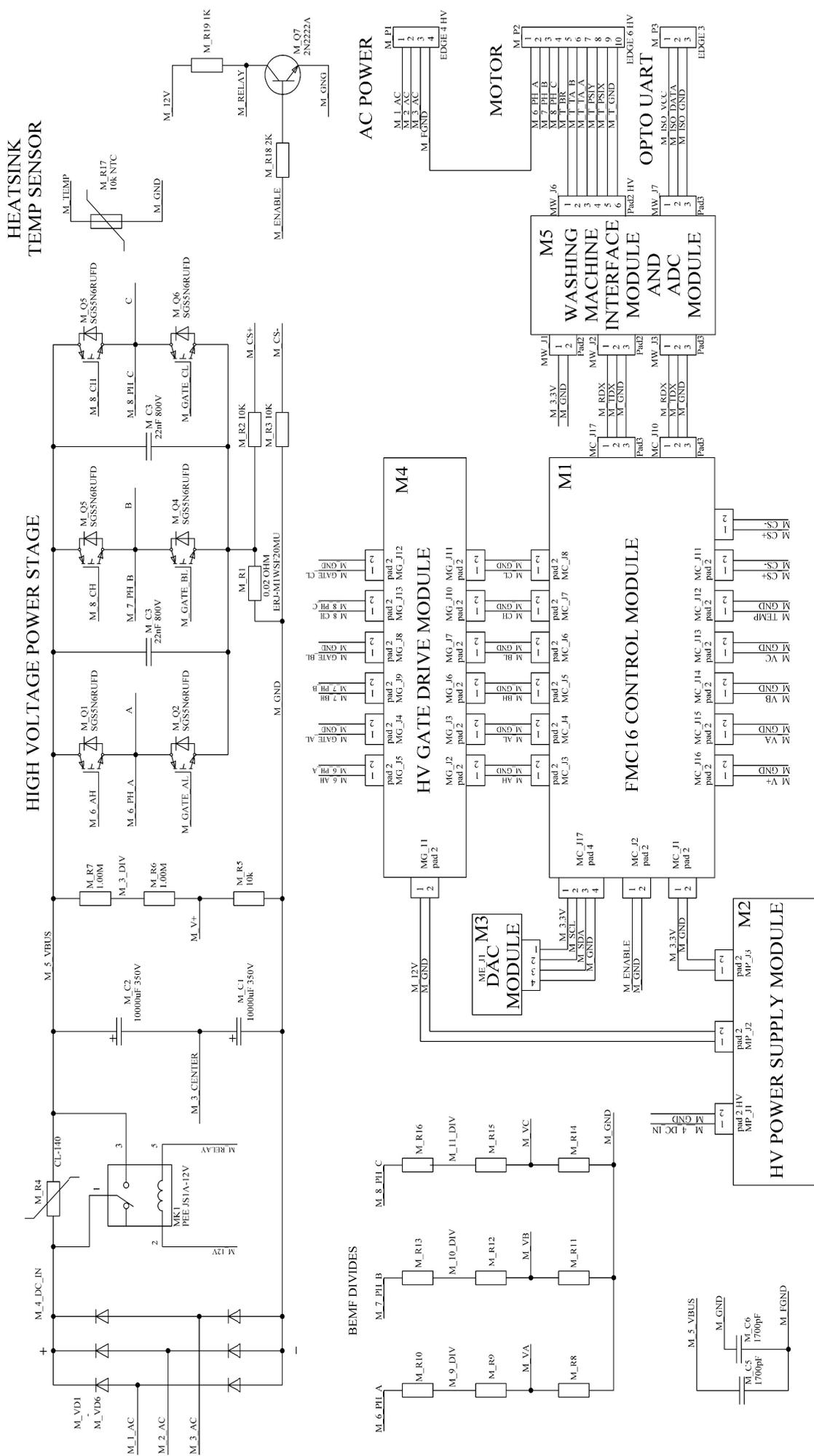


# ЕЛЕКТРОПРИВОД КУТЕРА Л5-ФКМ

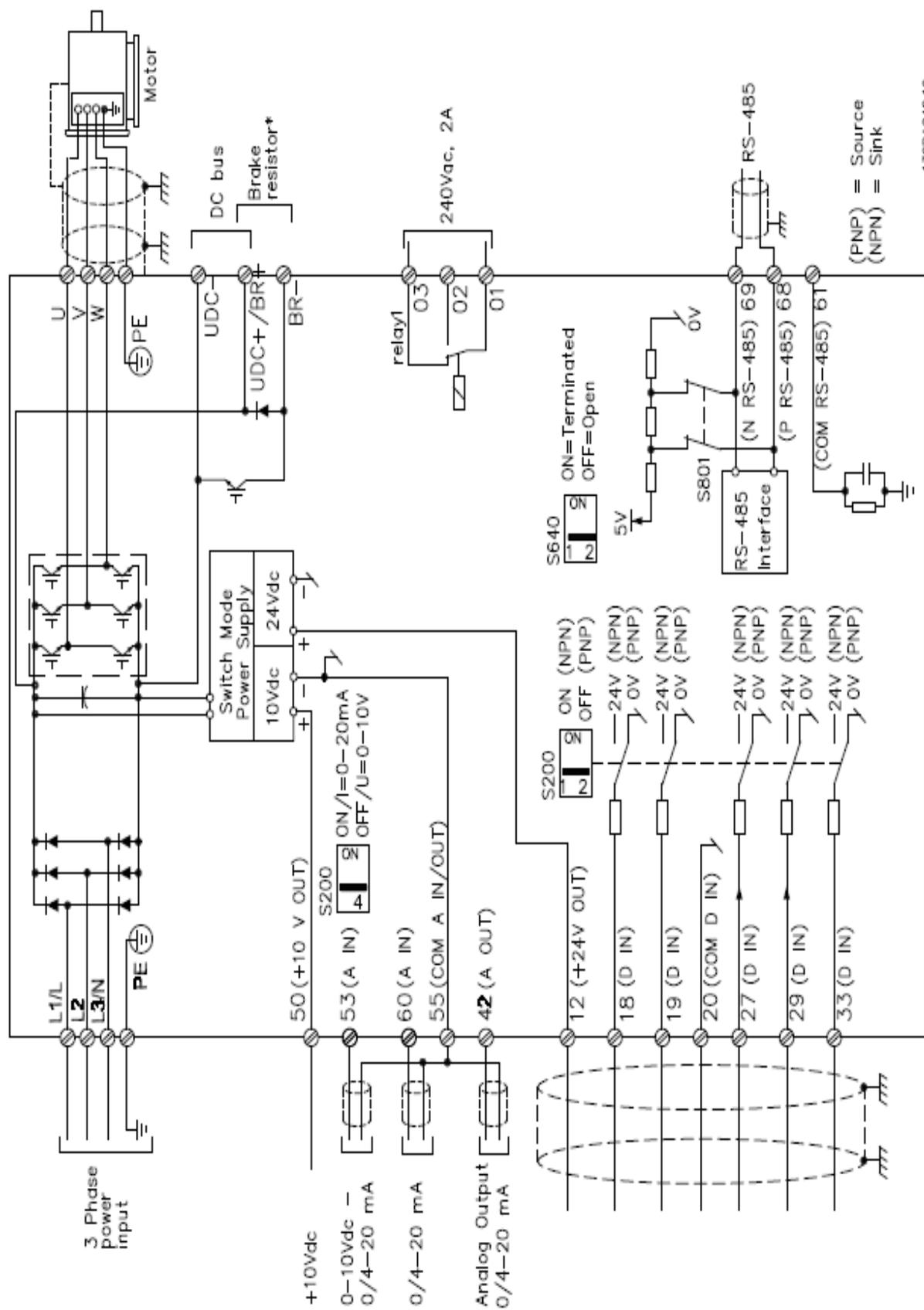
## СХЕМА СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ



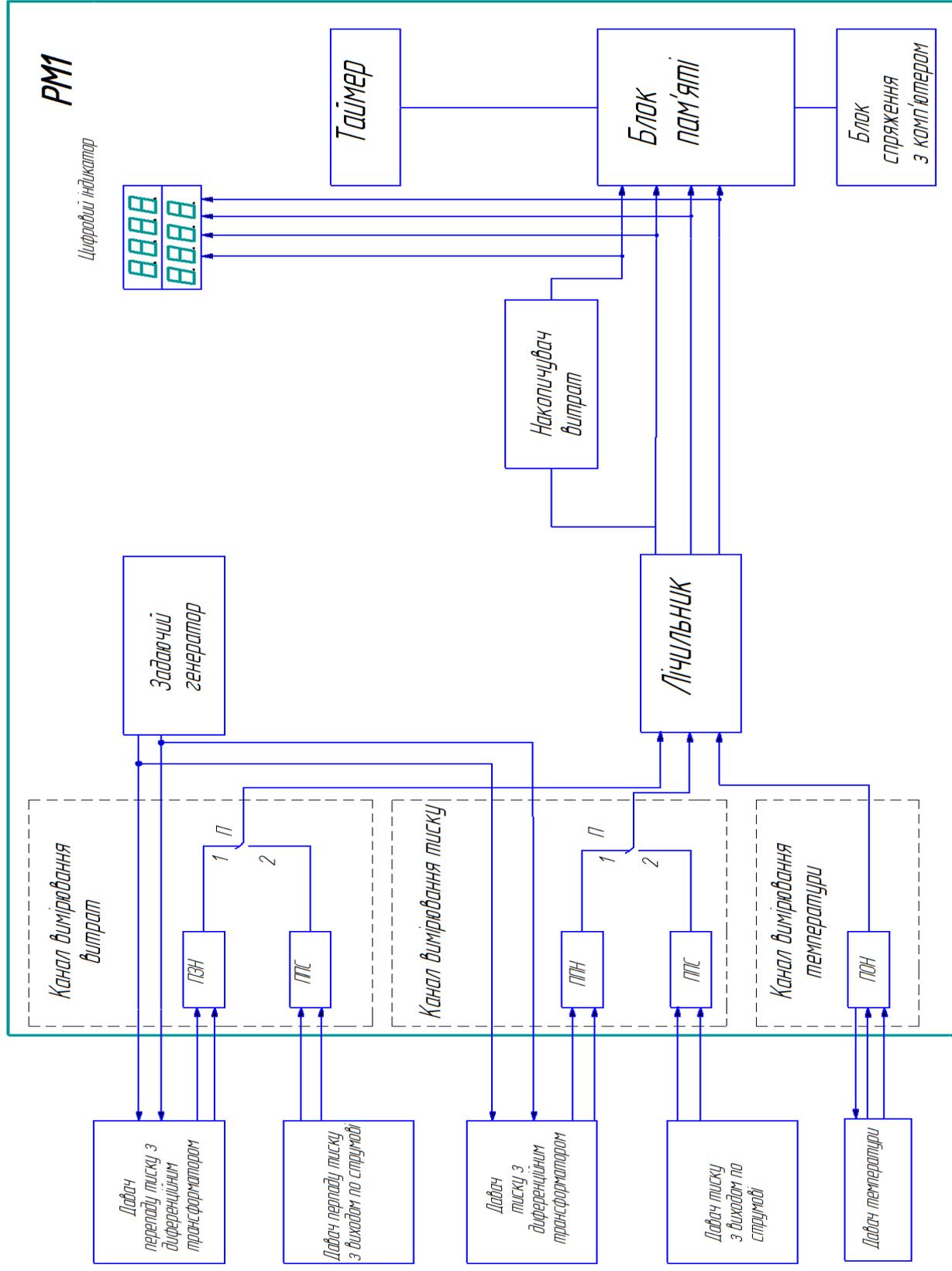
# ЕЛЕКТРОПРИВОД КУТЕРА Л5-ФКМ СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



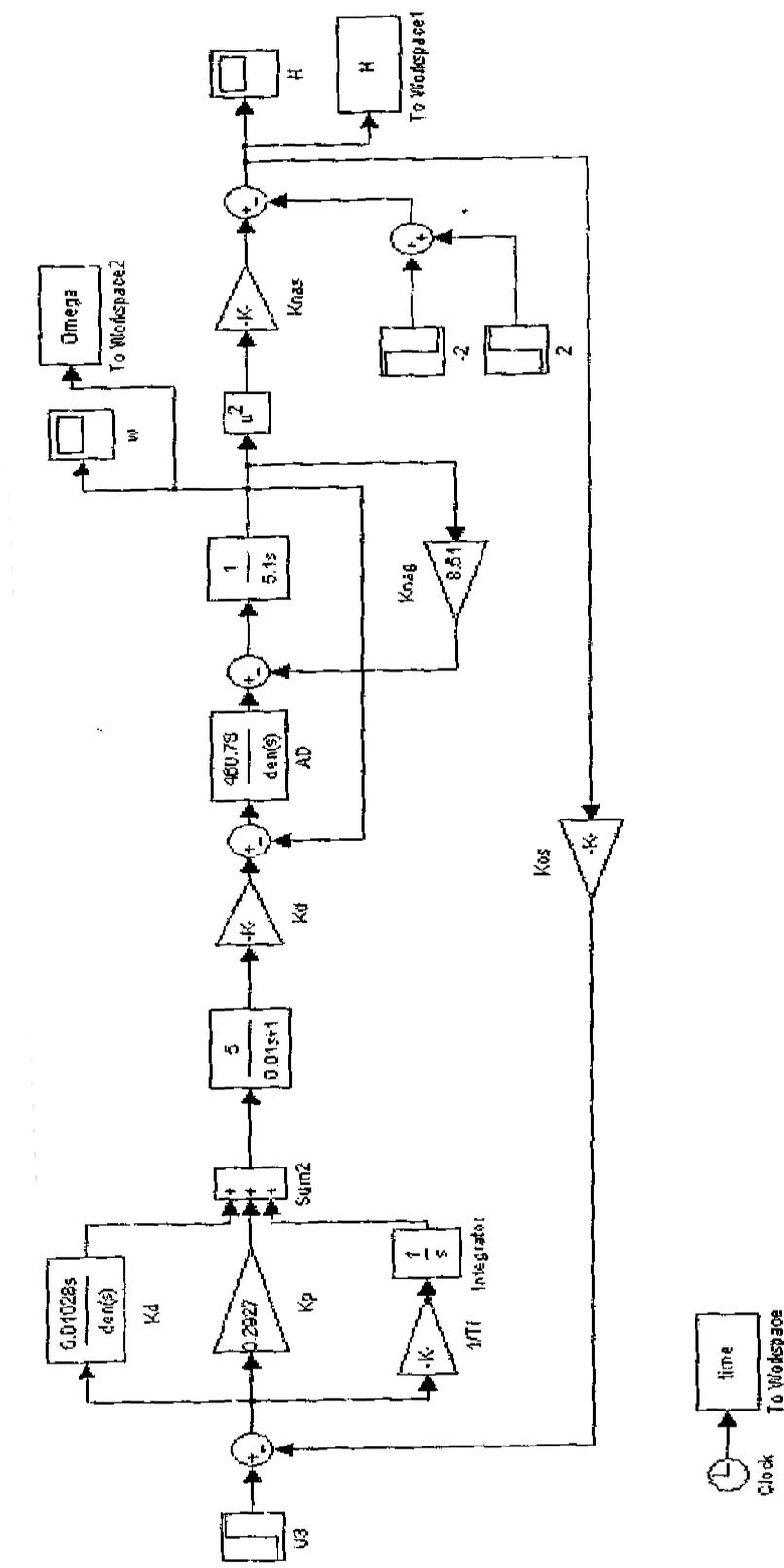
# СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ



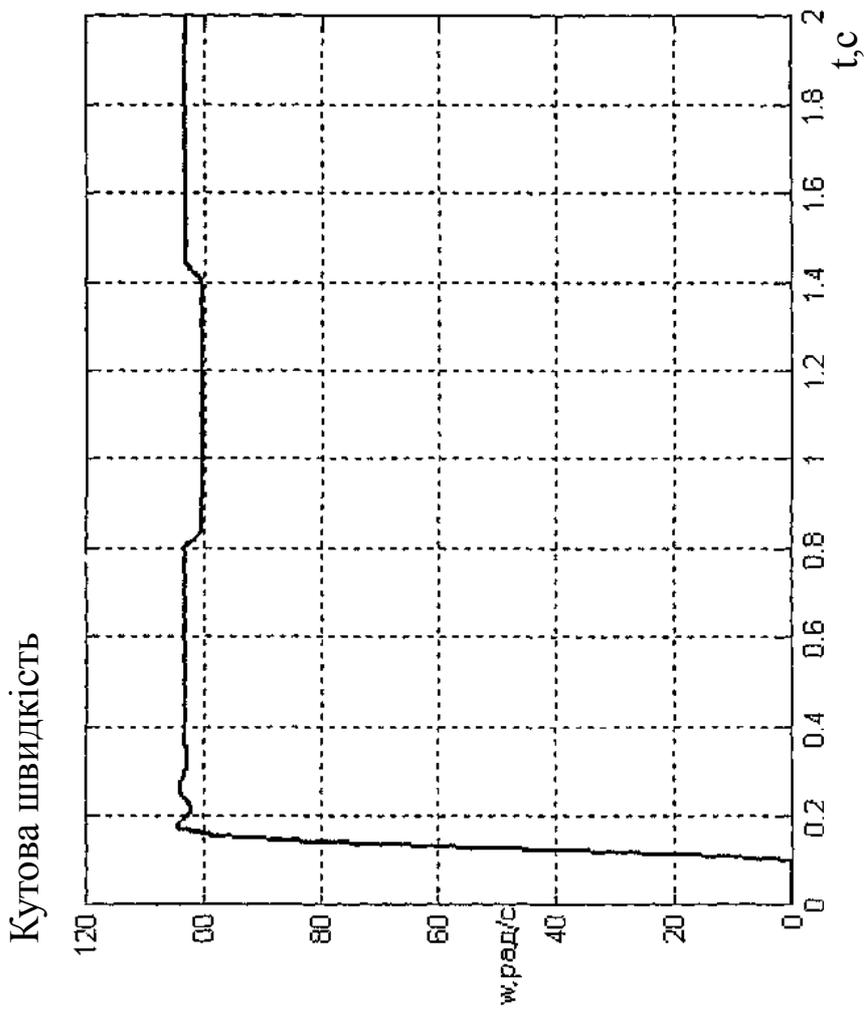
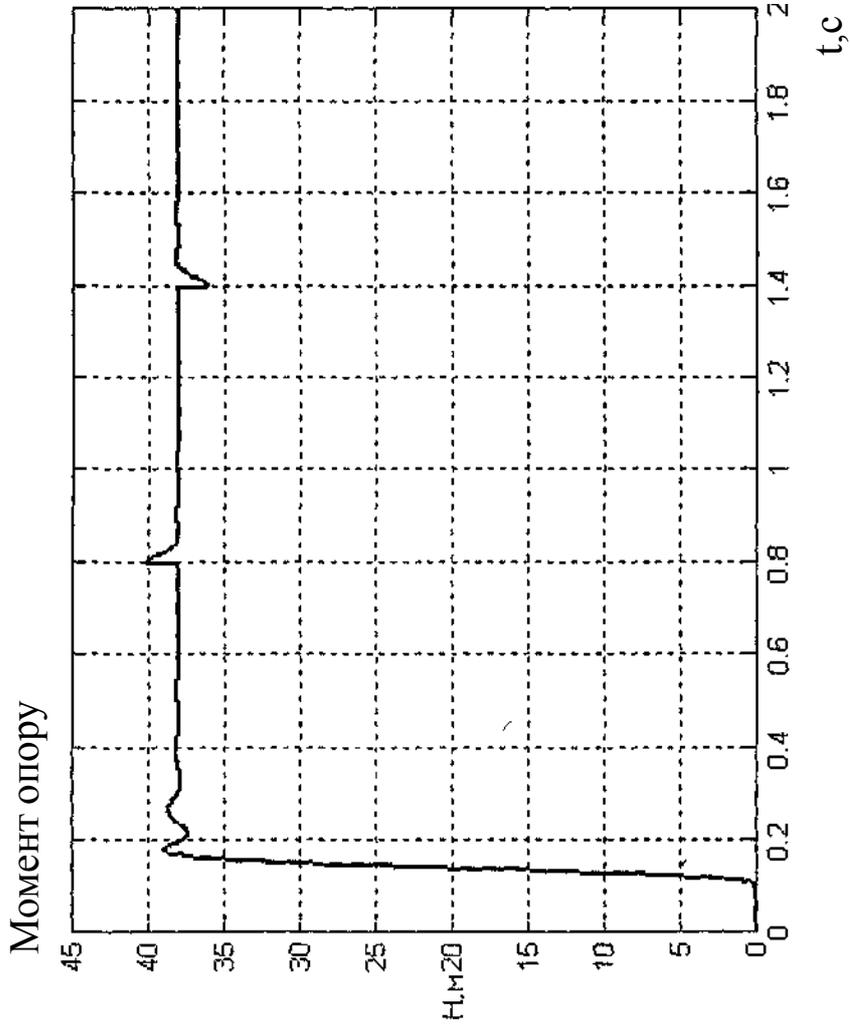
# ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ВИТРАТОМІРА РМ1



# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КУТЕРА В СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ



# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ. ГРАФІКИ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ





# ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КУТЕРА

Показники	Одиниці виміру	Значення		Відхилення
		до	після	
Капітальні витрати на модернізацію	грн.	-	64276	-
Річний фонд робочого часу	год	1978,325	1978,325	0
Річна експлуатаційна продуктивність	т	6,8	8,4	-1,6
Річні експлуатаційні витрати:	грн.	250831,7	201219,9	49611,81
Витрати на ЗП	грн.	173416,7	134627,3	38789,4
Витрати на ТО і ПР	грн.	1684,801	1307,949	376,8521
Витрати на електроенергію	грн.	75730,29	65284,73	10445,56
Вартість однієї машино-години	грн./год	126,79	101,7123	25,07768
Вартість технологічної операції	грн./т	20,71731	13,454	7,26338
Річний економічний ефект	грн.	-	64014,36	-
Термін окупності КВ	місяців	-	14,7	-

**Дякую за увагу!**

**Доповідь закінчено.**