

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
КАФЕДРА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

«До захисту допущено»:

Завідувач кафедри

_____ д.т.н.Будько В.І.
(підпис)

“ ___ ” _____ 2021 р.

**Дипломний проект
освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»**

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
на тему: Режими роботи електроприймачів власних потреб
теплоелектроцентралі потужністю 520 МВт при змінюванні напруги і
частоти

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-71

Бабенко Антон Юрійович

_____ (підпис)

Керівник

к.т.н., доцент Бардик Є.І.

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
Спеціалізація «Електричні станції»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ д.т.н.Будько В.І.
(підпис)
«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
БАБЕНКО АНТОНУ ЮРІЙОВИЧУ

1. Тема проекту: Режими роботи електроприймачів власних потреб теплоелектроцентралі потужністю 520 МВт при змінюванні напруги і частоти
керівник проекту: Бардик Є.І. доцент, к.т.н.
затверджені наказом по університету від “___” _____ 2021 року № _____
2. Строк подання студентом проекту 11 червня 2021 року.
3. Вихідні дані до проекту 1) Сумарна потужність електричної станції 520 МВт; 2) Потужність генераторів збірних шин 120 МВт; 3) Напруга РП збірних шин – 10,5 кВ; 4) Потужність місцевого навантаження 90,7 МВт; 5) Потужність розрахункового відгалуження 6,42 МВт; 6) Кількість відгалужень лінії місцевого навантаження 32; 7) Потужність, що видається в мережу 110 кВ – 98,2 МВт 8) Граничний струм КЗ на шинах приєднання 32,3 кА; 9) напруга енергосистеми – 330 кВ;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)
 - 1) вибір головної схеми електричних з'єднань станції: виконати техніко-економічне обґрунтування структурної схеми електростанції та вибрати генератори і трансформатори; вибрати схеми електричних з'єднань розподільчих пристроїв; вибрати трансформатори та схему електропостачання власних потреб електро станції;
 - 2) дослідження характеристики режимів роботи електроприймачів власних потреб при змінненні напруги і частоти в мережі: дослідити вплив зниження напруги і частоти на роботу електроприймачів і технологічної частини електростанції, дослідити основні навантажувальні властивості синхронних двигунів власних потреб і визначення основних параметрів усталеного режиму при різних значеннях навантаження на валу, напруги і частоти;
 - 3) Розрахунок основних режимних параметрів асинхронних двигунів власних потреб при змінненні напруги і частоти.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1- однолінійна головна схема електричних з'єднань ТЕЦ; 2 – Алгоритм розрахунку основних режимних параметрів асинхронних двигунів власних потреб; 3- Результати розрахунку основних режимних параметрів асинхронних двигунів власних потреб

6. Дата видачі завдання 10 лютого 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Техніко-економічне обґрунтування структурної схеми ТЕЦ	<i>26.04.21р</i>	
2.	Розрахунок струмів к.з. та вибір комутаційних апаратів.	<i>10.05.21р</i>	
3.	Дослідження характеристики режимів роботи електроприймачів власних потреб при зміні напруги і частоти в мережі.	<i>20.05.21р</i>	
4.	Розрахунок основних режимних параметрів асинхронних двигунів власних потреб при зміні напруги і частоти	<i>31.06.21р</i>	
5.	Представлення закінченої та оформленої роботи керівнику	<i>11.06.21р</i>	

Студент

(підпис)

Бабенко А.Ю.

Викладач

(підпис)

Бардик Є.І.

Зміст

Вступ	10
1. Вибір структурної схем електричної станції. Техніко-економічне порівняння варіантів.....	12
1.1. Вибір структурних схем електричної станції.....	13
1.2. Вибір основного електрообладнання ТЕЦ	17
1.2.1. Вибір турбогенераторів	17
1.2.2. Вибір трансформаторів зв'язку.....	18
1.2.3. Вибір блочних трансформаторів	21
1.2.4. Вибір автотрансформаторів зв'язку	23
1.2.5. Вибір секційного реактору	26
1.3. Техніко - економічне порівняння варіантів.....	27
1.4. Вибір схем електричних з'єднань електричних пристроїв	34
1.4.1. Вибір електричної схеми ВРП 330кВ.....	34
1.4.2. Вибір електричної схеми ВРП 110кВ.....	35
1.4.3. Вибір електричної схеми ГРП 10.5кВ.....	36
1.4.4 Вибір електричної схеми електропостачання ВП.....	34
1.5. Розрахунок струмів КЗ методом розрахункових кривих.....	40
1.5.1. Визначення опору системи.....	40
1.6. Розрахунок струму короткого замикання на ГРП 10.5кВ.....	45
1.7. Вибір і перевірка обладнання розрахункового відгалуження.....	53
1.7.1. Вибір лінійного реактора на розрахунковому відгалуженні.....	53
1.7.2. Вибір вимикача та роз'єднувача на лінії місцевого навантаження...	58
1.8. Вибір вимикачів та роз'єднувачів на ГРП 10.5кВ.....	61
Висновки до розділу 1	65
2. Характеристика режимів роботи електроприймачів власних потреб електростанції при змінній напруги і частоти в мережі.....	66
2.1. Вплив зниження напруги і частоти на роботу електроприймачів і технологічної частини електростанції	67
2.2. Основні навантажувальні властивості асинхронних двигунів власних потреб.....	72

2.3. Визначення основних параметрів усталеного режиму при різних значеннях навантаження на валу напруги і частоти мережі.....	77
Висновок до розділу 2.....	89
3. Розрахунок основних режимних параметрів асинхронних двигунів власних потреб при змінній напруги і частоти.....	90
3.1 Змінні напруги на шинах власних потреб при заданій частоті.....	91
3.1.1. Вплив зміни напруги при заданій частоті.....	91
3.1.2. Визначення закону зміни напруги при заданій частоті.....	97
3.2 Змінення частоти при номінальній напрузі.....	102
Висновки розділу 3.....	109
Загальні висновки.....	110
Література.....	112

ВСТУП

Електрична станція - сукупність установок, обладнання і апаратури, які використовуються безпосередньо для виробництва електричної або електричної і теплової енергії, а також необхідні для цього споруди та будівлі, розташовані на певній території. Важливим функціональним вузлом електростанції є система електропостачання власних потреб .

Власні потреби електростанції - це комплекс допоміжного електричного обладнання електростанції, що забезпечує безперебійну роботу її основних агрегатів (парових котлів, турбогенераторів, ядерних реакторів або гідротурбін). До складу власних потреб електростанції входять: силова і освітлювальна електромережі станції, акумуляторні установки, аварійні джерела електроживлення, електродвигуни всіх механізмів - насосів , вентиляторів, а на найбільш поширених теплових електростанціях - також механізмів розвантаження залізничних вагонів, подачі палива, вугледробіння і пилоприготування.

При проектуванні теплових електростанцій, як конденсаційних (КЕС), так і теплофікаційних (ТЕЦ), значне місце займає розробка системи власних потреб (в.п.) . Виробничий процес на сучасних теплових електростанціях повністю механізований. Численні механізми обслуговують роботу їх основних агрегатів (парових котлів, турбін, синхронних генераторів) і допоміжних пристроїв (хімводоочищення, електролізної, масляного господарства і т.д.). Разом з приводами, джерелами живлення, внутростанційними електромережами та розподільними пристроями (РП) напругою 6 і 0,4 кВ вони утворюють комплекс, який називається системою власних потреб електростанції.

Для приводу механізмів власних потреб застосовують в основному асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, що пов'язано з їх високою надійністю, економічністю, порівняно невисокою ціною і простотою в експлуатації.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для приводу найбільш потужних механізмів в.п. (кулькові млини, в деяких випадках циркуляційні і мережеві насоси) застосовуються синхронні двигуни. Однак, з огляду на цілий ряд труднощів при їх експлуатації, доцільність застосування синхронних двигунів в кожному конкретному випадку обґрунтовують техніко-економічним аналізом. Двигуни постійного струму з паралельним або змішаним збудженням встановлюються тільки на механізмах, які необхідно зберегти в роботі при аварійному зникненні напруги на шинах в.п. щоб уникнути пошкодження основного обладнання. До таких механізмів відносяться: резервні маслonaсоси мастила і регулювання турбін, аварійні маслonaсоси ущільнення валу електрогенератора і т.д. Їх використовують, коли необхідно отримати широкий діапазон регулювання швидкості з метою зміни продуктивності механізмів (подачі пилу в котел, шнекові живильники кулькових млинів, механізми руху візків грейферних мостових кранів - перевантажувачів).

В любых експлуатаційних режимах необхідно забезпечити надійну і безпечну роботу електроприймачів і робочих машин системи власних потреб електростанції. Разом з цим практика експлуатації показує, що імовірність суттєвого відхилення напруги і частоти в системі (в тому числі і на шинах власних потреб) внаслідок небалансу активної і реактивної потужності повністю не виключена. Це може призвести до порушення технологічного процесу на електричній станції, зниженню її потужності (або навіть погашення енергоблоків), що сприяє розвитку аварії.

Тому актуальними є задачі моделювання і дослідження режимів роботи електродвигунів власних потреб електростанцій при змінненні напруги і частоти.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

ТИТУЛЬНИЙ ЛИСТ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Вихідні данні:

№	Сумарна потужність електричної станції, МВт	$P_{ст}$	520
1	Потужність генераторів збірних шин, МВт	$P_{Г.з.ш.}$	120
2	Потужність блочного генератора, МВт	$P_{Б.Г.}$	100
3	Потужність блочного генератора, МВт	$P_{Б.Г.}$	300
4	Напруга РП збірних шин, кВ	$U_{Г}$	10.5
5	Потужність місцевого навантаження, МВт	$P_{М.Н.}$	90.7
6	Потужність розрахункового відгалуження, МВт	$P_{Р.В.}$	6.42
7	Кількість відгалужень ліній місцевого навантаження	n	32
8	Потужність, що видається в мережу 110кВ, МВт	P_{110}	98.2
9	Граничний струм КЗ на шинах приєднання електричної станції до системи, кА	$I_{кз}$	32.3

1.1 Вибір структурних схем електричної станції

Електрична частина сучасних електростанції являє собою сукупність зв'язаних між собою головної схеми електричних з'єднань електростанції і електричної схеми власних потреб. яка впливає на такі показники електростанції як економічність, надійність, ремонтпридатність і т.д. Генератори електричної станції безпосередньо зв'язані з енергосистемою через підвищувальні трансформатори, та ЛЕП.

Головні схеми електричних з'єднань електростанцій представляють собою сукупність основного електроустаткування (генератори, трансформатори), збірних шин, комутаційної, вимірювальної та іншої первинної апаратури певним чином з'єданого між собою для спільної роботи.

При проектуванні електричної частини станцій і підстанцій визначальним є розробка головної схеми, оскільки визначає склад елементів, зв'язок між ними і є також основною при складанні принципових схем електричних з'єднань схем власних потреб, схем вторинних з'єднань і монтажних схем.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

До головних схем станцій і підстанцій електричних з'єднань електростанцій (підстанцій) і конструкцій розподільних пристроїв висуваються такі вимоги: надійність енергозабезпечення споживачів, економічність головної схеми, маневреність головної схеми, оперативна гнучкість, безпека обслуговування, можливість розширення. [1], [2]

Головна схема електричних з'єднань проектованої електричної станції повинна в сукупності мати якість для безперебійного живлення споживачів, безпеку обслуговування та економічність встановлення. Гнучкість схеми визначає можливість проводити різні перемикання для ревізії або ремонту окремого устаткування без перерви живлення споживачів. Головна схема електричних з'єднань повинна бути спроектована так, щоб отримати оптимальний варіант за надійністю, гнучкістю та вартістю. Важливим етапом при проектуванні електростанції і формуванні головної схеми є вибір структурної схеми станції.

Структурна схема електричної частини електростанції задає розподіл генераторів між РП різних напруг, визначає електромагнітні зв'язки (трансформаторні та автотрансформаторні) між РП та склад блоків генератор-трансформатор. Структурні схеми складаються на стадії проектування, до розробки головної схеми і слугують для загального ознайомлення з роботою електроустановки і для подальшої розробки більш складних принципових схем. Проведемо вибір структурної схеми електростанції потужністю 520 МВт. [5]

Електрична потужність згенерована на ТЕЦ, розподіляється на трьох напругах: $U_1 = 330$ кВ, $U_2 = 110$ кВ та $U_3 = 10.5$ кВ. Шини 110 кВ і 330 кВ зв'язані через автотрансформатори а шини 10.5 кВ і 110 кВ зв'язані між собою через 2 трансформатори зв'язку. Потужність в одній з систем перетікає з іншої системи через автотрансформатор у разі дефіциту потужності.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

Структурні схеми трьох можливих варіантів дані на рисунку 1.1, рисунку 1.2 та рисунку 1.3, де показані генератори, розподільчі установки вищої напруги РП і генераторної напруги ГРП, місцеве навантаження Рмн, навантаження власних потреб станції Рвп трансформатори зв'язку Т1 і Т2, блокові трансформатори Т3, Т4, а також автотрансформатори АТ1 та АТ2. У першому варіанті два генератора по 60 МВт приєднані кожен до своєї секції ГРП, один генератора 100 МВт – до РП 110 кВ за блоковим принципом, один генератор 300 МВт приєднаний до РП 330 кВ за блоковим принципом. У другому варіанті два генератора по 60 МВт приєднані кожен до своєї секції ГРП, а генератори потужністю 100 МВт і 300 МВт за блоковим принципом приєднані до РП 110 кВ. У третьому варіанті два генератори приєднані кожен до своєї секції ГРП, генератори потужністю 100 МВт і 300 МВт приєднані за блоковим принципом до РП 330 кВ.[3], [4]

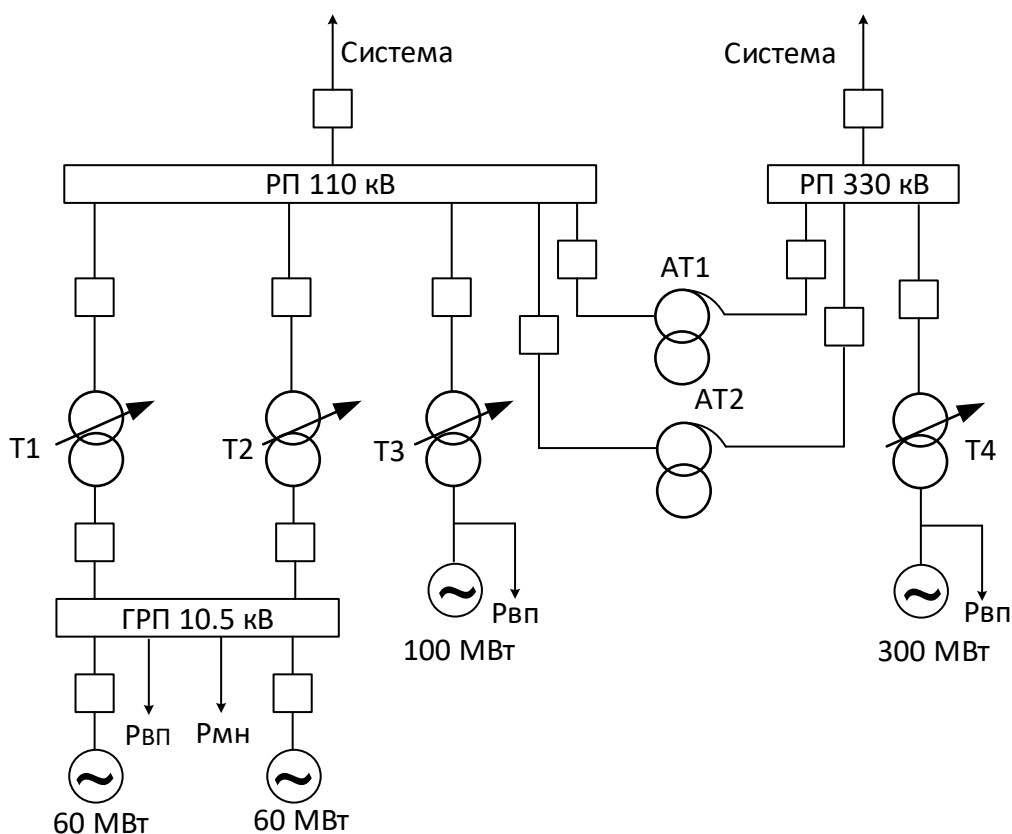


Рисунок 1.1 - Структурна схема (варіант №1)

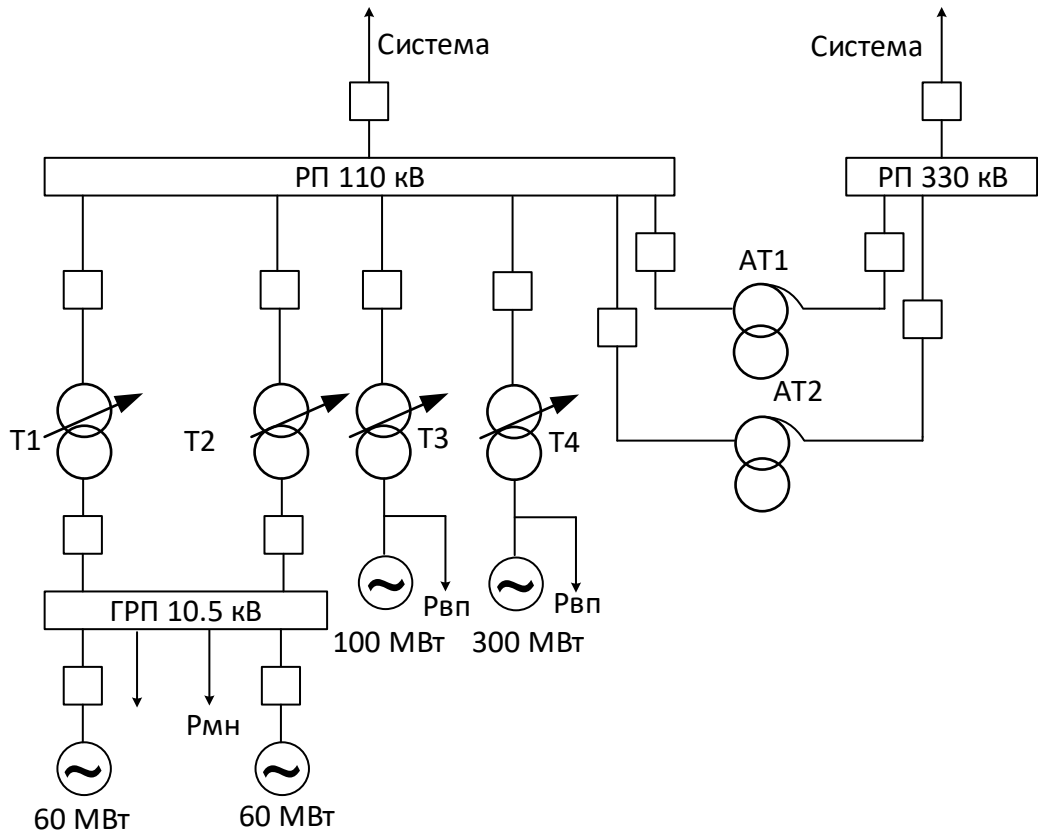


Рисунок 1.1 - Структурна схема (варіант №2)

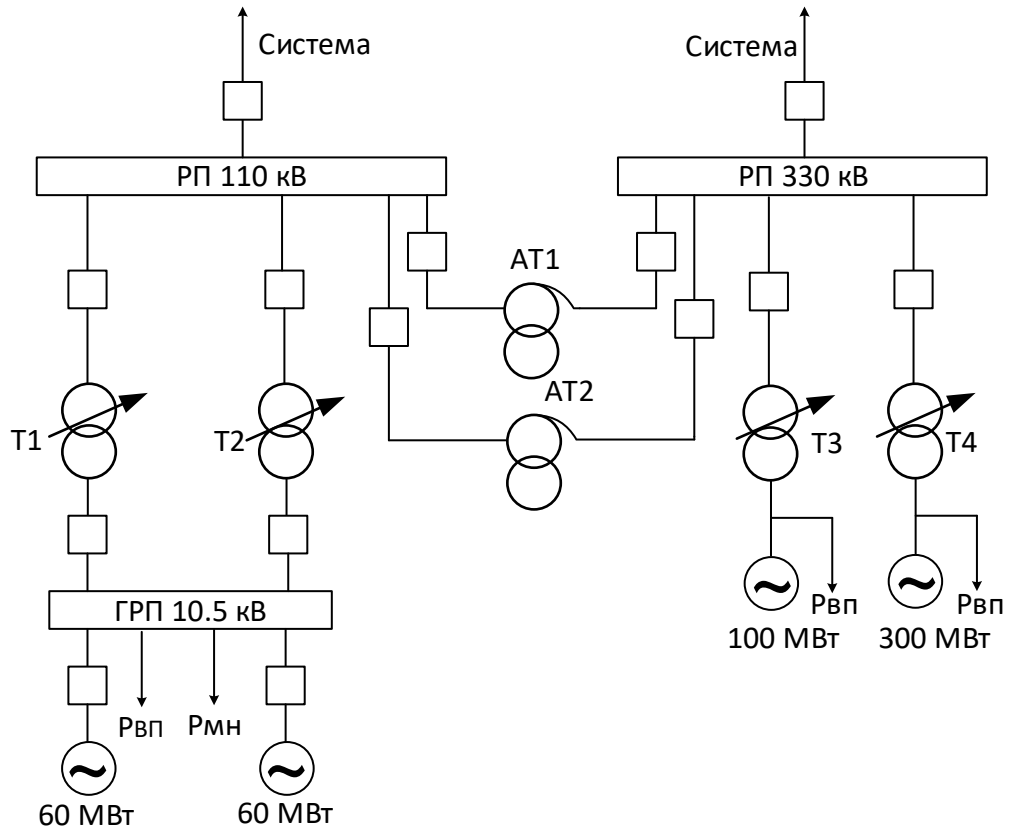


Рисунок 1.3 - Структурна схема (варіант №3)

1.2 Вибір основного обладнання ТЕЦ

1.2.1. Вибір турбогенераторів

Встановлена сумарна електрична потужність генераторів станції складає 520 МВт. З 520 МВт на ГРП 10.5 кВ розподіляється 120 МВт, а на РП 110 та 330 кВ - 400 МВт потужності станції.

Найбільш доцільно встановити два генератори потужністю по 60 МВт до ГРП 10.5 кВ, а на РП 110 кВ та 330 кВ встановити за блоковим принципом один генератор потужністю 100 МВт і один генератор потужністю 300 МВт. [1], [10]

Обираємо генератори, які під'єднані до ГРП 10.5 кВ ТВФ-63-2УЗ, генератори, які працюють за блоковим принцип типу ТВФ-120-2УЗ та ТГВ-300-2УУЗ відповідно. Основні параметри вибраних генераторів та їх характеристики наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Параметри генераторів ТЕЦ

№ п/п	Параметри	ТВФ-63-2УЗ	ТВФ-120-2УЗ	ТГВ-300-2УЗ
1	$n_{\text{НОМ}}$, об/хв	3000	3000	3000
2	$S_{\text{НОМ}}$, МВ · А	78.75	125	353
3	$P_{\text{НОМ}}$, МВт	60	100	300
4	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	10.5	10.5	20
5	$\cos(\varphi)_{\text{НОМ}}$	0.8	0.8	0.85
6	I , кА	4.33	6.875	10.2
7	Схема обмоток статора	У	У У	У У
8	x_d'' , в. о.	0.153	0.192	0.195
9	Ціна, тис. грн.	4604.418	6198.255	15938.37

Ціна вказана з врахування курсу долара станом на 18.09.2020 року, 1 американський долар=28.11 гривень.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

1.2.2. Вибір трансформаторів зв'язку

Електроенергія, яка генерується на електростанції, передається через трансформатори зв'язку в систему і залежить від добового графіку навантаження ЕЕС.

Якщо графіки навантаження ЕЕС відсутні, потужність, яка передається через трансформатори зв'язку, визначають виходячи з розглядання наступних трьох основних режимів:

- а) Знаходять $S_{розр.1}$ в режимі мінімальних навантажень;
- б) Знаходять $S_{розр.2}$ в режимі максимальних навантажень;
- в) Визначають $S_{розр.3}$ в аварійному режимі (відключення одного самого потужного генератора ГРУ).

Трансформатори зв'язку можуть працювати як підвищувальні, віддаючи потужність в систему і як знижувальні, передаючи електроенергію з системи. Робота в другому режимі можлива, якщо вийшов з ладу один або більше генераторів електростанції. Реалізація таких режимів можлива у разі використання трансформаторів з пристроями РПН. [6], [8]

Трансформатори зв'язку можуть мати три обмотки, якщо на ТЕЦ крім навантажень на напрузі 6-10 кВ є навантаження на напрузі 35 кВ (тобто є РУ середньої напруги 35 кВ), а зв'язок з енергосистемою здійснюється через РУ ВН. Потужність для трансформатора, який має три обмотки потужність визначається за навантаженням обмоток з генераторною напругою.[8]

Будемо вважати, що навантаження власних потреб (ВП) складає 10% від установленної генерованої потужності на збірних шинах (120 МВт).

Надлишкова потужність трансформаторів зв'язку ТЕЦ за умови, коли коефіцієнти потужності $\cos \varphi$ генераторів, , споживачів власних потреб

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

однакова у режимі максимального навантаження, розраховується за формулою:

$$S_{\text{надл}}^{\text{max}} = \frac{P_{\text{уст}} - P_{\text{ВП}} - P_{\text{нmax}}}{\cos \varphi},$$

$P_{\text{уст}}$ - встановлена потужність станції відносно ГРУ, яка визначається за формулою

$$P_{\text{уст}} = 2 \cdot P_{\text{НГ}} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ МВт};$$

$P_{\text{НГ}}$ - номінальна потужність генератора станції;

$P_{\text{ВП}}$ - потужність власних потреб;

$$P_{\text{ВП}} = 10 \cdot P_{\text{уст}} = 10 \cdot 120 = 12 \text{ МВт},$$

$P_{\text{нmax}}$ — максимальне навантаження промислового підприємства. $P_{\text{нmax}} = 90.7 \text{ МВт}$.

В режимі максимальних навантажень:

$$S_{\text{надл}}^{\text{max}} = \frac{P_{\text{уст}} - P_{\text{ВП}} - P_{\text{нmax}}}{\cos \varphi} = \frac{120 - 12 - 90.7}{0.8} = 21.625 \text{ МВт};$$

Надлишкову потужність в режимі мінімальних навантажень:

$$S_{\text{надл}}^{\text{min}} = \frac{P_{\text{уст}} - P_{\text{ВП}} - P_{\text{нmin}}}{\cos \varphi} = \frac{120 - 12 - 77.095}{0.8} = 38.631 \text{ МВт};$$

де $P_{\text{нmin}}$ - мінімальне навантаження підприємства.

$$P_{\text{нmin}} = 0.85 \cdot 90.7 = 77.095 \text{ МВт};$$

Надлишкова потужність в аварійному режимі. Припустимо, що в даному режимі вимкнений один генератор:

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$S_{\text{надл ав}} = \frac{P_{\text{ав}} - P_{\text{вп}} - P_{\text{н.мах}}}{\cos\varphi} = \frac{60 - 12 - 90.7}{0.8} = -53.375 \text{ МВт.}$$

Отримані данні занесемо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Перетоки потужності через трансформатори зв'язку

	Навантаження в різних режимах, МВт		
	Максимальне	Мінімальне	Аварійний
Виробництво	120	120	60
Власні потреби	12	12	12
Місцеве навантаження	90.7	77.095	90.7
Перетік	21.625	38.631	-53.375

З урахуванням можливого перевантаження за найбільшим отриманим навантаженням визначаємо потужність кожного з двох трансформаторів зв'язку.

$$S_{\text{н.т.}} \geq \frac{S_{\text{макс.перет.}}}{1.4} \geq \frac{53.375}{1.4} \geq 38.125 \text{ МВА.}$$

Обираємо два трансформатора зв'язку з пристроями РПН типу ТДН - 40000/110. Основні паспортні параметри даного типу трансформатора наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики трансформатора зв'язку

$S_{\text{н}}$, МВА	$U_{\text{к}}$, %	$I_{\text{хх}}$, %	$U_{\text{вн}}$, кВ	$U_{\text{нн}}$, кВ	$\Delta P_{\text{хх}}$, кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$, кВт	Ціна, тис. грн.
40	10.5	0.55	115	10.5	34	170	1257,6

За результатами розрахунків для усіх трьох варіантів обираємо однакові трансформатор зв'язку.

1.2.3. Вибір блочних трансформаторів

Прийmemo, що потужність власних потреб становить 10% від установленної потужності блоку:

1) Для блоку з генератором потужністю 100 МВт:

$$P_{\text{вп}} = 0.1 \cdot P_{\text{Г}} = 0.1 \cdot 100 = 10 \text{ МВт};$$

2) Для блоку з генератором потужністю 300 МВт:

$$P_{\text{вп}} = 0.1 \cdot P_{\text{Г}} = 0.1 \cdot 300 = 30 \text{ МВт};$$

Розрахунок активної потужності, яка передається через блочні трансформатори:

1) Блок з генератором потужністю 100 МВт:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{Г}} - P_{\text{вп}} = 100 - 10 = 90 \text{ МВт};$$

2) Блок з генератором потужністю 300 МВт:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{Г}} - P_{\text{вп}} = 300 - 30 = 270 \text{ МВт};$$

Визначення повної потужності трансформаторів:

1) Блоку з генератором потужністю 100 МВт:

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{Т}}}{\cos(\varphi)} = \frac{90}{0.85} = 105.882 \text{ МВт};$$

2) Блоку з генератором потужністю 300 МВт:

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{Т}}}{\cos(\varphi)} = \frac{270}{0.85} = 317.647 \text{ МВт}.$$

Отже, обираємо блочні трансформатори типу ТДЦ-125000/110, ТДЦ-125000/330, ТДЦ-400000/330 та ТДЦ-400000/110. Параметри вибраних трансформаторів представлені в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 - Параметри блокових трансформаторів

Тип трансформатора	S_N , МВА	ΔP_{XX} , кВт	ΔP_{K3} , кВт	$U_{K(VH)}$, %	Група з'єднань	Ціна, тис. грн.
ТДЦ - 125000/110	125	120	400	10.5	УН/D-11	2479.302
ТДЦ -125000/330	125	125	380	11	УН/D-11	4873,2
ТДЦ - 400000/330	400	300	790	11.5	УН/D-11	5411,962
ТДЦ - 400000/110	400	320	900	10.5	УН/D-11	6605.569

Для варіанту №1 структурної схеми вибираємо ТДЦ-125000/110 і ТДЦ-400000/330.

Для варіанту №2 структурної схеми вибираємо ТДЦ-125000/110 і ТДЦ - 400000/110.

Для варіанту №3 структурної схеми вибираємо ТДЦ -125000/330 і ТДЦ - 400000/330.

1.2.4. Вибір автотрансформаторів зв'язку

Вибір автотрансформаторів проводиться згідно перетоку потужності через них в таких можливих режимах роботи:

- 1) Режим максимального навантаження шин 10 та 110 кВ;
- 2) Режим мінімального навантаження шин 10 та 110 кВ;
- 3) Аварійний режим (вихід з ладу одного турбогенератора на напрузі 10 чи 110 кВ). [10]

Визначення потужностей автотрансформаторів зв'язку для першого варіанту структурної схеми.

1. Режим максимальних навантажень:

$$S_{max} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{н.мах} + P_{ВП}}{\cos\varphi_{Нав}} = \frac{220}{0.8} - \frac{98.2 + 90.7 + 22}{0.85} = 26.882 \text{ МВт};$$

2. Режим мінімальних навантажень:

$$S_{min} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{н.мін} + P_{ВП}}{\cos\varphi_{Нав}} = \frac{220}{0.8} - \frac{83.47 + 77.095 + 22}{0.85} = 60.218 \text{ МВт};$$

3. Аварійний режим:

$$S_{ав} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{н.мах} + P_{ВП}}{\cos\varphi_{Нав}} = \frac{120}{0.8} - \frac{98.2 + 90.7 + 22}{0.85} = -98.118 \text{ МВт}.$$

Визначення потужностей автотрансформаторів зв'язку для другого варіанту структурної схеми.

1. Режим максимальних навантажень:

$$S_{max} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{н.мах} + P_{ВП}}{\cos\varphi_{Нав}} = \frac{520}{0.8} - \frac{98.2 + 90.7 + 52}{0.85} = 366.588 \text{ МВт};$$

2. Режим мінімальних навантажень:

$$S_{min} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{н.min} + P_{ВП}}{\cos\varphi_{Нав}} = \frac{520}{0.8} - \frac{83.47 + 77.095 + 52}{0.85} = 399.924 \text{ МВт};$$

3. Аварійний режим:

$$S_{ав} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{н.max} + P_{ВП}}{\cos\varphi_{Нав}} = \frac{220}{0.8} - \frac{98.2 + 90.7 + 52}{0.85} = -8.412 \text{ МВт}.$$

Визначення потужностей автотрансформаторів зв'язку для третього варіанту структурної схеми.

1. Режим максимальних навантажень:

$$S_{max} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{н.max} + P_{ВП}}{\cos\varphi_{Нав}} = \frac{120}{0.8} - \frac{98.2 + 90.7 + 12}{0.85} = -86.353 \text{ МВт};$$

2. Режим мінімальних навантажень:

$$S_{min} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{н.min} + P_{ВП}}{\cos\varphi_{Нав}} = \frac{120}{0.8} - \frac{83.47 + 77.095 + 12}{0.85} = -53.018 \text{ МВт};$$

3. Аварійний режим:

$$S_{ав} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{н.max} + P_{ВП}}{\cos\varphi_{Нав}} = \frac{60}{0.8} - \frac{98.2 + 90.7 + 12}{0.85} = -161.353 \text{ МВт}.$$

Найбільший перетік потужності через автотрансформатор для першого варіанту складає 98.118 МВт. Обираємо автотрансформатор типу АТДЦТН-125000/330/110-У1, з параметрами даного автотрансформатору ,які показані в таблиці 1.5.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таблиця 1.5 - Параметри автотрансформатора зв'язку типу АТДЦТН-125000/330/110-У1 для першого варіанту структурної схеми

$S_{\text{НОМ}}$ МВа	$U_{\text{ВН}}$ кВ	$U_{\text{СН}}$ кВ	$U_{\text{НН}}$ кВ	$\Delta P_{\text{ХХ}}$ кВт	$\Delta P_{\text{КЗ}}$ кВт	$I_{\text{ХХ}}$ %	$U_{\text{К(ВС)}}$ %	$U_{\text{К(ВН)}}$ %	$U_{\text{К(СН)}}$ %	Група з'єднання	Ціна, тис. грн.
125	330	115	10.5	100	345	0.45	10	35	24	УН/УН/Д	5109

Найбільший перетік потужності через автотрансформатор для другого варіанту складає 435.218 МВт. Не існує автотрансформаторів необхідної потужності для даних класів напруги. Отже, через неможливість вибору автотрансформатора зв'язку і недоцільністю встановлення генератора потужність 300 МВт на стороні 110 кВ, подальші розрахунки для другого варіанту структурної схеми не виконуються.

Найбільший перетік потужності через автотрансформатор для третього варіанту складає 161.353 МВт . Обираємо автотрансформатор типу АТДЦТН-200000/330/110-У1, параметри якого представлені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Параметри автотрансформатора зв'язку типу АТДЦТН-200000/330/110-У1 для третього варіанту структурної схеми

$S_{\text{НОМ}}$ МВа	$U_{\text{ВН}}$ кВ	$U_{\text{СН}}$ кВ	$U_{\text{НН}}$ кВ	$\Delta P_{\text{ХХ}}$ кВт	$\Delta P_{\text{КЗ}}$ кВт	$I_{\text{ХХ}}$ %	$U_{\text{К(ВС)}}$ %	$U_{\text{К(ВН)}}$ %	$U_{\text{К(СН)}}$ %	Група з'єднання	Ціна, тис. грн.
200	330	115	10.5	155	560	0.45	10.5	38	25	УН/УН/ Д	8646

1.2.5. Вибір секційного реактору

Розрахунок реактору за струмом секції:

$$I_c = 0.6 \cdot \frac{P_c}{\cos(\varphi) \cdot \sqrt{3} \cdot U_r} = 0.6 \cdot \frac{60}{0.8 \cdot \sqrt{3} \cdot 10.5} = 2.474 \text{ кА};$$

Обираємо реактор типу РБГ 10-2500-0.35У1 з номінальними параметрами, які наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 - Номінальні параметри секційного реактору

$U_{\text{НОМ}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ТРИВ}}, \text{А}$	$x_{\text{НОМ}}, \text{Ом}$	Номінальні втрати на фазу, кВт	$I_{\text{дин}}, \text{кА}$	$I_{\text{терм}}, \text{кА}$	$t_{\text{терм}}, \text{с}$	Ціна, тис.грн.
10	2500	0.35	23.9	37	14.6	8	68.8

Секційний реактор даного типу буде прийнятий для встановлення першого і третього варіантів структурних схем.[10]

1.3. Техніко-економічне порівняння варіантів

Техніко-економічне порівняння варіантів проведемо в табличній формі.[6]

$$\text{Час роботи: } t_p = 8760 \frac{\text{год}}{\text{рік}};$$

$$\text{Час найбільших втрат: } \tau = 3500 \frac{\text{год}}{\text{рік}}.$$

Визначення втрат енергії в трансформаторах

Варіант №1 структурної схеми.

Два трансформатори типу ТДН - 40000/110:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{втрат}} &= \Delta P_{\text{хх}} \cdot t_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 \cdot \tau \\ &= 34 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 170 \cdot \left(\frac{38.125}{40}\right)^2 \cdot 3500 \\ &= 0.568 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)}; \end{aligned}$$

Трансформатор типу ТДЦ-125000/110:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{втрат}} &= \Delta P_{\text{хх}} \cdot t_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 \cdot \tau \\ &= 120 \cdot 8760 + \frac{1}{1} \cdot 400 \cdot \left(\frac{105.882}{125}\right)^2 \cdot 3500 \\ &= 2.056 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)}; \end{aligned}$$

Трансформатор типу ТДЦ-400000/330:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{втрат}} &= \Delta P_{\text{хх}} \cdot t_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 \cdot \tau \\ &= 300 \cdot 8760 + \frac{1}{1} \cdot 790 \cdot \left(\frac{317.647}{400}\right)^2 \cdot 3500 \\ &= 4.372 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)}; \end{aligned}$$

Два автотрансформатора типу АТДЦТН-125000/330/110:

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{втрат}} &= \Delta P_{\text{хх}} \cdot t_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 \cdot \tau \\ &= 100 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 345 \cdot \left(\frac{98.118}{125}\right)^2 \cdot 3500 \\ &= 1.248 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)};\end{aligned}$$

Варіант №3 структурної схеми.

Два трансформатор типу ТДН - 40000/110: втрати такі ж самі як і у варіанті №1.

Трансформатор типу ТДЦ -125000/330:

$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{втрат}} &= \Delta P_{\text{хх}} \cdot t_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 \cdot \tau \\ &= 125 \cdot 8760 + \frac{1}{1} \cdot 380 \cdot \left(\frac{105.882}{125}\right)^2 \cdot 3500 \\ &= 2.049 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)};\end{aligned}$$

Трансформатор типу ТДЦ-400000/330: втрати такі ж самі як і в варіанті №1.

Два автотрансформатора типу АТДЦТН-200000/330/110:

$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{втрат}} &= \Delta P_{\text{хх}} \cdot t_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 \cdot \tau \\ &= 65 \cdot 8760 + \frac{1}{2} \cdot 315 \cdot \left(\frac{98.118}{125}\right)^2 \cdot 3500 \\ &= 1.996 \text{ (млн. кВт} \cdot \text{год)};\end{aligned}$$

Отримані значення занесемо в таблицю 1.8

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

Таблиця 1.8 - Втрати енергії в трансформаторах

Тип трансформатора	Втрати, млн.кВт*год	
	Варіант №1	Варіант №3
2хТДН - 40000/110	0.568	0.568
ТДЦ-125000/110	2.056	-
ТДЦ-400000/330	4.372	4.372
2х АТДЦТН-125000/330/110	1.248	-
ТДЦ -125000/330	-	2.049
2х АТДЦТН-200000/330/110	-	1.996

Річні витрати V складаються з 3 складових: $V=V_a+V_0+V_{втр}$.

V_a - амортизаційні відрахування: $V_a=a \cdot K$, де a - норма амортизаційних відрахувань, $a=9.4\%$ для $U_H \leq 150кВ$ і $a=8.4\%$ для $U_H \geq 220кВ$.

V_0 - витрати на обслуговування ЕС (ремонт і заробітну платню персоналу): $V_0=b \cdot K$, де $b=3\%$ для $U_H \leq 150кВ$ і $b=2\%$ для $U_H \geq 220кВ$.

$V_{втр}$ - витрати, обумовленні втратами енергії: $V_{втр}=\beta \cdot \Delta W_{втр}$, де β - вартість 1 кВт·год втраченої енергії станом на 2020 рік $\beta=1.515 \left(\frac{\text{грн}}{\text{кВт*год}} \right)$ (собівартість електроенергії на ТЕЦ складає $5.39 \frac{\text{центів}}{\text{кВт*год}}$).

Таблиця 1.9 - Витрати варіанту №1 структурної схеми

Найменування обладнання	Кількість, штук	Витрати на амортизацію, тис.грн.	Витрати на обслуговування, тис.грн.
ТДН - 40000/110	2	236.428	75.456
ТДЦ-125000/110	1	233.054	74.379
ТДЦ - 400000/330	1	454.604	108.239
АТДЦТН- 125000/330/110	2	858.312	204.36
РБГ 10-2500-0.35У1	1	6.467	2.064
Разом		1788.856	464.486

Таблиця 1.10 - Витрати варіанту №3 структурної схеми

Найменування обладнання	Кількість, штук	Витрати на амортизацію, тис.грн.	Витрати на обслуговування, тис.грн.
ТДН - 40000/110	2	236.428	75.456
ТДЦ -125000/330	1	409.348	97.464
ТДЦ - 400000/330	1	454.604	108.239
АТДЦТН- 200000/330/110	2	1452.528	345.84
РБГ 10-2500-0.35У1	1	6.467	2.064
Разом		2559.375	629.093

Таблиця 1.11 - Вартість обладнання для двох варіантів структурних

схем

Вибране обладнання	Ціна за 1 одиницю, тис. грн.	Варіант №1		Варіант №3	
		n	Вартість, тис.грн.	n	Вартість, тис.грн.
Турбогенератор типу ТВФ-63-2У3	4604.418	2	9208.836	2	9208.836
Турбогенератор типу ТВФ-120-2У3	6198.255	1	6198.255	1	6198.255
Турбогенератор типу ТГВ-300-2У3	14938.37	1	14938.37	1	14938.37
Трансформатор зв'язку типу ТДН - 40000/110	1257.6	2	2515.2	2	2515.2
Блочний трансформатор типу ТДЦ-125000/110	2479.302	1	2479.302	-	-
Блочний трансформатор типу ТДЦ -125000/330	4873.2	-	-	1	4873.2
Блочний трансформатор типу ТДЦ - 400000/330	5411.962	1	5411.962	1	5411.962
Автотрансформатор типу АТДЦТН-125000/330/110	5109	2	10218	-	-
Автотрансформатор типу АТДЦТН-200000/330/110	8646	-	-	2	17292

141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

Секційний реактор типу РБГ 10-2500-0.35У1	68.8	1	68.8	1	68.8
Комірка 10.5 кВ	34.06	2	68.12	2	68.12
Комірка 110 кВ	1797.32	5	8989.6	4	7189.28
Комірка 330 кВ	5390.2	3	16170.6	4	21560.8
Сума, тис.грн.		76267.045		89324.823	

Варіант №1 структурної схеми:

Прибуток:

$$D_t = P_{\max} \cdot T_{\max} \cdot C_{\text{вих}} = 520000 \cdot 4500 \cdot 1.515 = 3.545 \text{ (млрд. грн);}$$

Балансовий прибуток:

$$P_{\text{бт}} = D_t - V_{\text{ет}} - V_{\text{втрат}} - A_{\text{пт}} = 3545 - 0.464 - 12.544 - 1.788 = 3530 \text{ (млн. грн);}$$

Податок на прибуток:

$$H_{nt} = \rho \cdot P_{\text{бт}} = 0.21 \cdot 3530 = 741.343 \text{ (млн. грн);}$$

Поточний річний чистий прибуток:

$$P_{\text{пт}} = P_{\text{бт}} - H_{nt} = 3530 - 741.343 = 2789 \text{ (млн. грн);}$$

Інтегральний ефект:

$$P_{\text{дс}} = \frac{P_{\text{пт}} + A_{\text{пт}}}{E} - K = \frac{2789 + 1.788}{0.1} - 20.693 = 27890 \text{ (млн. грн);}$$

Рентабельність інвестицій:

$$R_t = \frac{P_{\text{пт}} + A_{\text{пт}}}{K} = \frac{2789 + 1.788}{53.1} = 52,557;$$

Строк окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{R_t} = 0.019.$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

Аналогічно проведемо розрахунок для третього варіанту структурної схеми.
Отримані данні занесемо до таблиці 1.9.

Таблиця 1.12 - Показники ефективності варіантів

Показник	Варіант №1	Варіант №3
Прибуток	3.545	3.545
Балансовий прибуток	3530	3528
Податок на прибуток	741.343	740.922
Поточний річний чистий прибуток	2789	2787
Інтегральний ефект	27890	27880
Рентабельність інвестицій	52,557	52.534
Строк окупності	0.019	0.019

Обираючи між першим і третім варіантом слід орієнтуватися на інтегральний ефект і рентабельність інвестицій. Очевидно, що варіант №1 має кращі показники. Таким чином, обираємо варіант №1 структурної схеми в якості основної структурної схеми ТЕЦ.

1.4. Вибір схем електричних з'єднань розподільчих пристроїв

1.4.1. Вибір електричної схеми ВРП 330 кВ

На ВРП 330 кВ застосуємо схему з трьома вимикачами на два приєднання , яка має такі переваги:

- 1) Ремонт та обслуговування будь-якого вимикача здійснюється без перерви живлення та з мінімальним числом комутаційних операцій при виведенні в ремонт елементів схеми;
- 2) Роз'єднувачі використовуються у відповідності зі своїм призначенням (для створення видимого розриву в схемі);
- 3) Відключення двох систем шин при виникненні аварії не призведе до порушення електропостачання споживачів;
- 4) Схема 3/2 містить переваги схеми зі збірними шинами та схеми багатокутника;

Недоліки схеми 3/2:

- 1) Операції комутацій при відключенні КЗ виконується двома вимикачами;
- 2) Кола релейного захисту та автоматики мають складну конфігурацію;
- 3) Значна кількість вимикачів;
- 4) Кількість вимикачів відрізняється від кількості приєднань;[8], [4]

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

1.4.2. Вибір електричної схеми ВРП 110 кВ

Для ВРП 110 кВ застосуємо схему з двома системами збірних шин і обхідною системою шин при одному вимикачі на приєднання. Схема з двома системами збірних шин і обхідною системою шин має такі переваги [8], [4]:

- 1) На одне приєднання - один вимикач;
- 2) Можливість ремонту обладнання без перерви живлення;
- 3) Поділ схеми системи на дві частини, що підвищує надійність електропостачання споживачів і обмежує струми КЗ;
- 4) Можливість оперативних переключень в залежності від режиму установки.

Недоліки схеми з двома системами збірних шин і обхідною системою шин:

- 1) Застосування роз'єднувача для оперативних перемикачів;
- 2) Значне ускладнення схеми у випадку великої кількості приєднань;
- 3) При використанні ШЗВ обидві системи шин виводять з роботи.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

1.4.3. Вибір електричної схеми ГРП 10.5 кВ

На ГРП 10.5 кВ застосуємо подвійну секціоновану систему збірних шин. В такій схемі при відключенні однієї з секцій збірних шин не виникає відключення найважливіших споживачів. До переваг системи збірних слід віднести [8], [4]:

- 1) Ремонт будь-якої системи збірних шин не викликає відключення споживачів від живлення .
- 2) Споживачі втрачають живлення лише на час переведення приєднань на резервну систему шин ;
- 3) В схемі наявний ШЗВ, під час оперативних перемикачів не відбувається відключення від живлення відповідальних споживачів (споживачі 1 групи згідно ПУЕ);

Основними недоліками схеми є:

- 1) Значна кількість електричного устаткування такого як роз'єднувачі, ізолятори, струмоведучі частин та вимикачі;
- 2) Ускладнення конструкції РП порівняно з одинарною секціонованою системою збірних шин;
- 3) Оперативні перемикачів в схемі можливі лише з використанням роз'єднувачів.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

1.4.4. Вибір електричної схеми електропостачання ВП

Система власних потреб (ВП) електричної станції містить низку різнорідних за своїми властивостями елементів, зокрема, електропривод, відповідальне електроустаткування, система управління, джерела резервного живлення, розподільчі пристрої і т.д.. Разом все обладнання і устаткування забезпечує умови для економічної та надійної та безпечної роботи електричної станції.

Для живлення споживачів ВП застосуємо джерела з двома класами напруги:

$U_1 = 6 \text{ кВ}$ – для живлення двигунів потужність яких $P \geq 200 \text{ кВт}$

$U_2 = 0.4 \text{ кВ}$ – для живлення двигунів з меншою потужністю, освітлення і інших приймачів ВП .

Для розподільчих пристроїв ВП застосуємо одиночну секціоновану системою збірних шин з одним вимикачем на приєднання.

Споживачі ВП на ГРП напругою 10.5 кВ, одержують живлення безпосередньо від шин ГРП через знижувальний трансформатор. На РП 110 кВ та 330 кВ живлення споживачів ВП здійснюється відпайкою від блоку.

Резервне живлення споживачі ВП 1 та 2 категорій (згідно ПУЕ) забезпечується завдяки встановленні резервних ТВП до шин 110 кВ та через резервний АТ до шин 330 кВ.

Електроприймачі ВП напругою 0.4 кВ приєднуються до секції 0.4 кВ, яка живиться від знижувальних трансформаторів. Трансформатори другого зазвичай ступеня зазвичай встановлюються поблизу розміщення груп електроприймачів.

Для підвищення надійності живлення електроприймачів ВП збірні шини 0.4 кВ секціонуються. В зв'язку з цим найбільш відповідальні

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

споживачі отримують живлення не тільки від РТВП, але і від дизель-генератора. [8], [4]

Схема ВП проектованої ТЕЦ приведена нижче на Рис.1.3.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

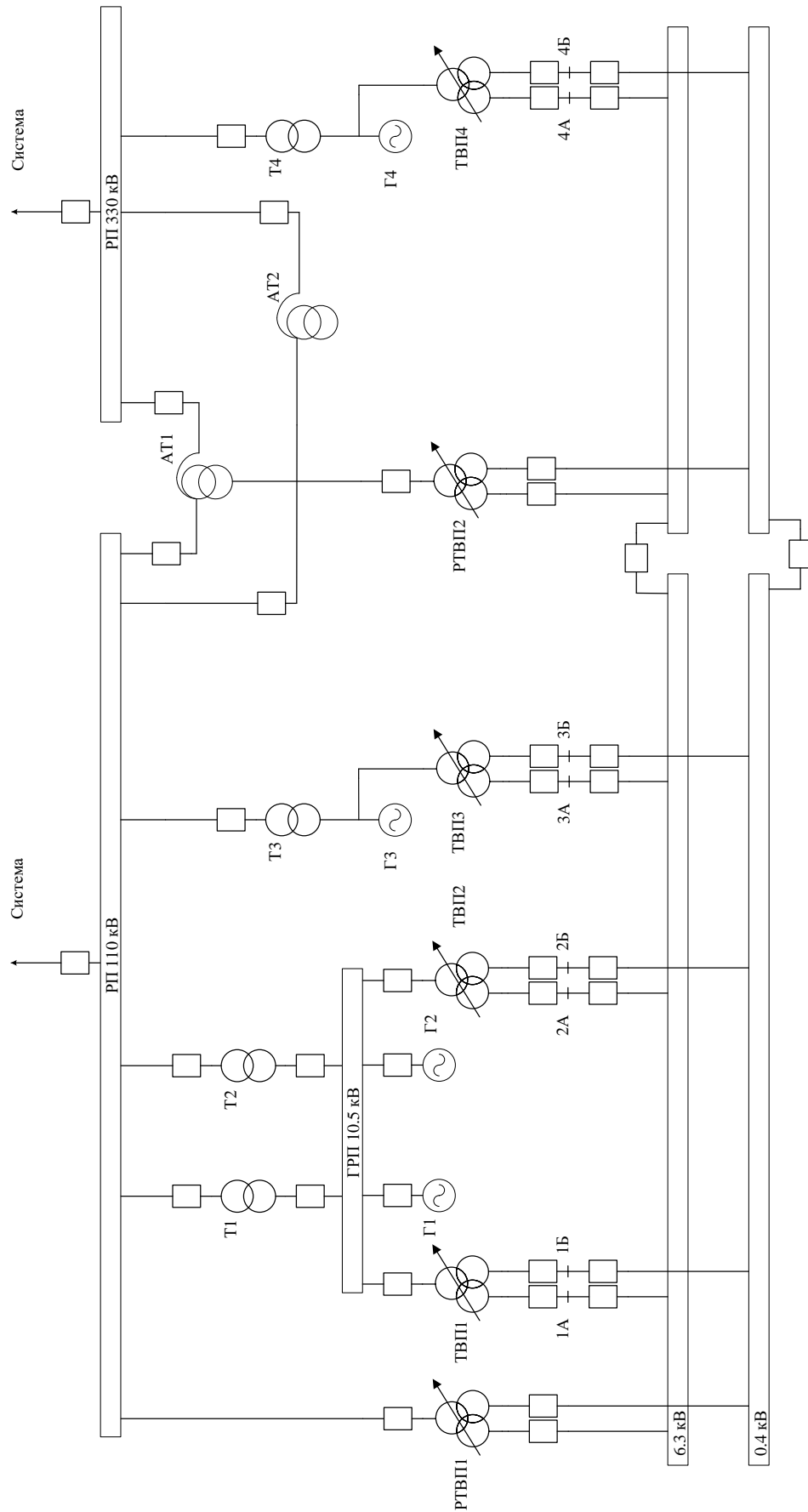


Рис. 1.3. Електрична схема власних потреб ТЕЦ 520 МВт

1.5. Розрахунок струмів КЗ методом розрахункових кривих

1.5.1 Визначення опору системи

За вибраною розрахунковою схемою (рисунок 2.1) складаємо заступну схему (рисунок 2.2), замінюючи електромагнітні зв'язки електричними. Синхронні генератори вводимо в заступну схему заміщення ЕРС, яка прикладена за відповідним опором, інші елементи представляємо як опори. Розрахунок струмів КЗ будемо вести у відносних одиницях.[7]

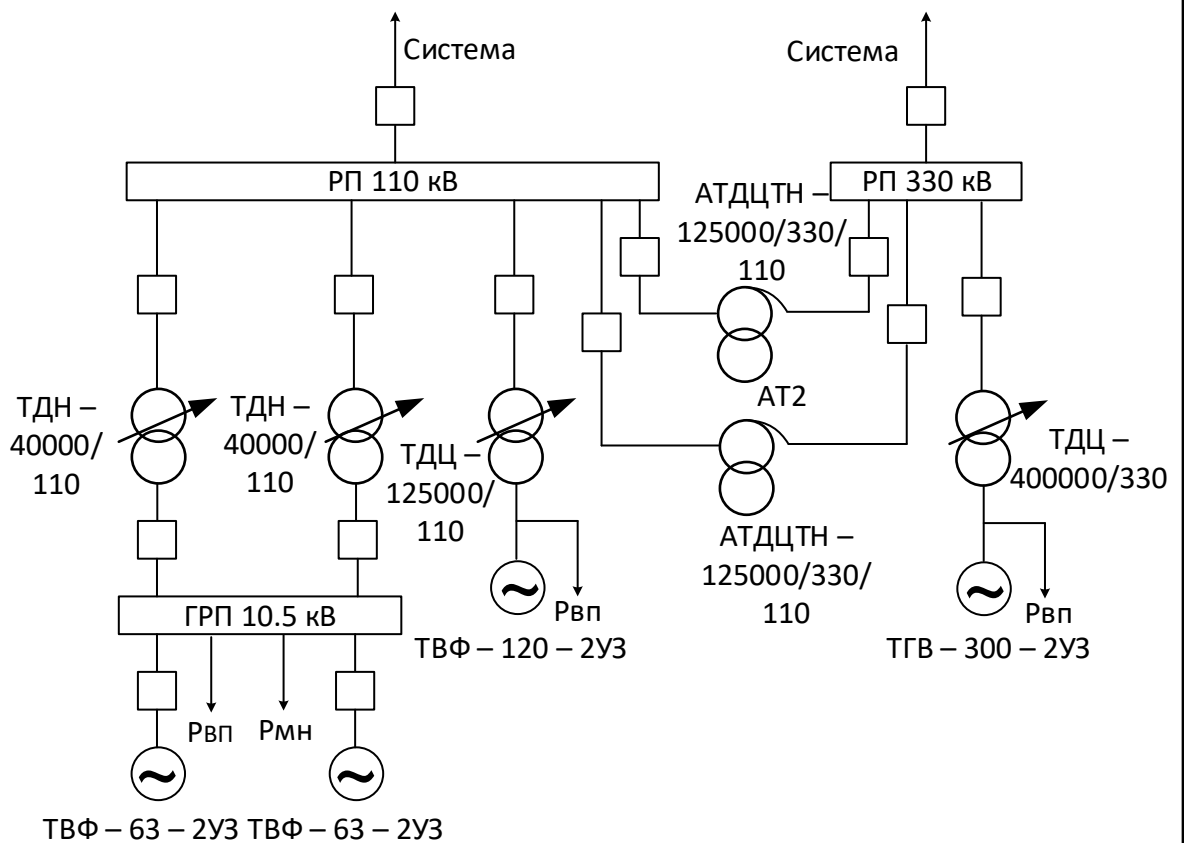


Рисунок 1.5 - Вибрана розрахункова схема ТЕЦ .

У якості базисних величин приймаємо: базисна потужність $S_6 = S_{Г1 \text{ ном}} = 78.75 \text{ МВА}$, базисна напруга $U_6 = 10.5 \text{ кВ}$.

Розрахуємо параметри схеми заміщення:

Опори генераторів Г1, Г2:

$$\overline{X}_{Г1}^* = X_d'' \cdot \frac{S_6}{S_{Н.Г.}} = 0.153 \cdot \frac{78.75}{78.75} = 0.153 \text{ в. о.};$$

$$\overline{X_{\Gamma 2}^*} = \overline{X_{\Gamma 1}^*} = 0.153 \text{ в.о.};$$

Опір генератора Г3:

$$\overline{X_{\Gamma 3}^*} = X_d'' \cdot \frac{S_6}{S_{\text{Н.Г.}}} = 0.192 \cdot \frac{78.75}{125} = 0.121 \text{ в.о.};$$

Опір генератора Г4:

$$\overline{X_{\Gamma 4}^*} = X_d'' \cdot \frac{S_6}{S_{\text{Н.Г.}}} = 0.195 \cdot \frac{78.75}{353} = 0.044 \text{ в.о.};$$

Опори трансформаторів Т1, Т2:

$$\overline{X_{T1}^*} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T1 \text{ ном}}} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{78.75}{40} = 0.207 \text{ в.о.};$$

$$\overline{X_{T2}^*} = \overline{X_{T1}^*} = 0.207 \text{ в.о.};$$

Опір трансформатора Т3:

$$\overline{X_{T3}^*} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T1 \text{ ном}}} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{78.75}{125} = 0.066 \text{ в.о.};$$

Опір трансформатора Т4:

$$\overline{X_{T4}^*} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{T1 \text{ ном}}} = \frac{11.5}{100} \cdot \frac{78.75}{400} = 0.023 \text{ в.о.};$$

Опір секційного реактору Р:

$$\overline{X_P^*} = X_P \cdot \frac{S_6}{U_{\text{Н.Р.}}^2} = 0.35 \cdot \frac{37.5}{10^2} = 0.276 \text{ в.о.};$$

Опір автотрансформаторів АТ1, АТ2:

$$\overline{X_{AT1}^*} = \frac{U_{\text{к(В-С)}}\%}{100\%} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{Н.АТ.}}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{78.75}{125} = 0.063 \text{ в.о.};$$

$$\overline{X_{AT2}^*} = \overline{X_{AT1}^*} = 0.063 \text{ в.о.};$$

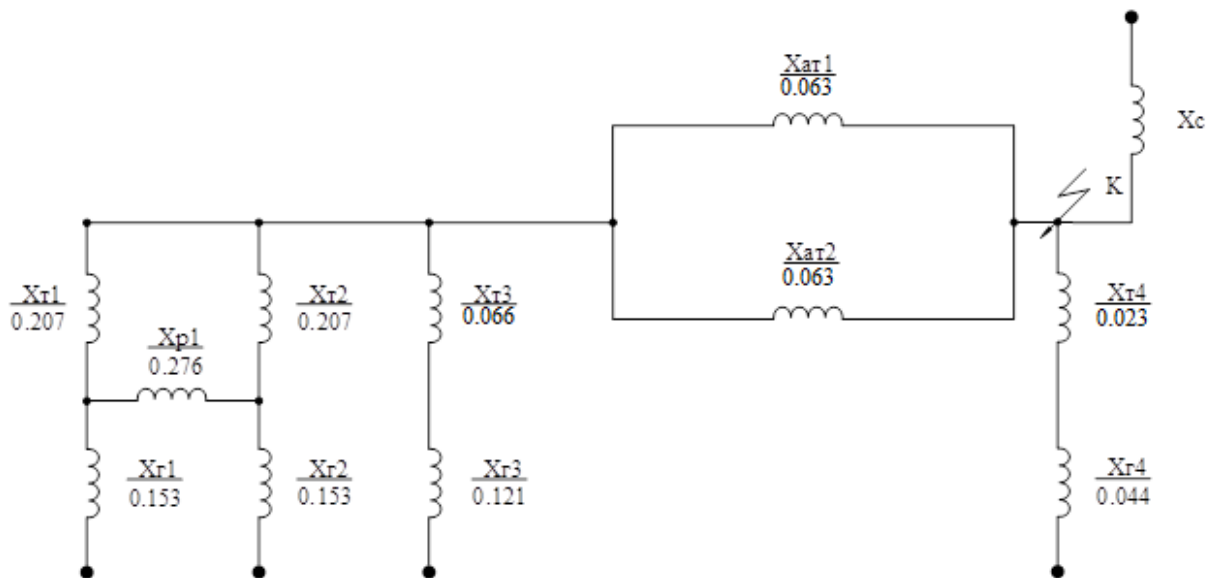


Рисунок 1.6 - Заступна схема ТЕЦ

Для розрахунку струмів короткого замикання необхідно визначити опір системи X_C . Тому згортаємо схему відносно точки K , яка знаходиться на виході в систему. Таким чином буде розраховано X_C .

Перетворимо еквівалентний трикутник з опорами $\overline{X_{\Gamma 1}^*}$, $\overline{X_{\Gamma 2}^*}$, $\overline{X_P^*}$ в еквівалентну зірку:

$$\overline{X_1^*} = \frac{\overline{X_{\Gamma 1}^*} \cdot \overline{X_{\Gamma 2}^*}}{\overline{X_{\Gamma 1}^*} + \overline{X_{\Gamma 2}^*} + \overline{X_P^*}} = \frac{0.153 \cdot 0.153}{0.153 + 0.153 + 0.276} = 0.04 \text{ в. о.};$$

$$\overline{X_2^*} = \frac{\overline{X_{\Gamma 2}^*} \cdot \overline{X_P^*}}{\overline{X_{\Gamma 1}^*} + \overline{X_{\Gamma 2}^*} + \overline{X_P^*}} = \frac{0.153 \cdot 0.153}{0.153 + 0.153 + 0.276} = 0.073 \text{ в. о.};$$

$$\overline{X_3^*} = \frac{\overline{X_{\Gamma 1}^*} \cdot \overline{X_P^*}}{\overline{X_{\Gamma 1}^*} + \overline{X_{\Gamma 2}^*} + \overline{X_P^*}} = \frac{0.153 \cdot 0.153}{0.153 + 0.153 + 0.276} = 0.073 \text{ в. о.};$$

Еквівалентуємо усі послідовні елементи:

$$\overline{X_4^*} = \overline{X_{\Gamma 3}^*} + \overline{X_{\Gamma 3}^*} = 0.121 + 0.066 = 0.187 \text{ в. о.};$$

$$\overline{X_5^*} = \overline{X_{\Gamma 4}^*} + \overline{X_{\Gamma 4}^*} = 0.044 + 0.023 = 0.066 \text{ в. о.};$$

Опір двох паралельно працюючих автотрансформаторів АТ1 і АТ2:

$$\overline{X_6^*} = \frac{\overline{X_{\text{АТ1}}^*}}{2} = \frac{0.063}{2} = 0.032 \text{ в. о.};$$

Складаємо опори \overline{X}_{T1}^* , \overline{X}_{T2}^* , \overline{X}_1^* , \overline{X}_2^* , \overline{X}_3^* в один еквівалентний опір \overline{X}_7^* :

$$\begin{aligned}\overline{X}_7^* &= \overline{X}_1^* + \frac{(\overline{X}_2^* + \overline{X}_{T2}^*) \cdot (\overline{X}_3^* + \overline{X}_{T1}^*)}{\overline{X}_2^* + \overline{X}_{T2}^* + \overline{X}_3^* + \overline{X}_{T1}^*} = \\ &= 0.04 + \frac{(0.073 + 0.207) \cdot (0.073 + 0.207)}{0.073 + 0.207 + 0.073 + 0.207} = 0.18 \text{ в. о.};\end{aligned}$$

Схема заміщення приймає наступний вигляд, який показаний на рисунку 1.7.

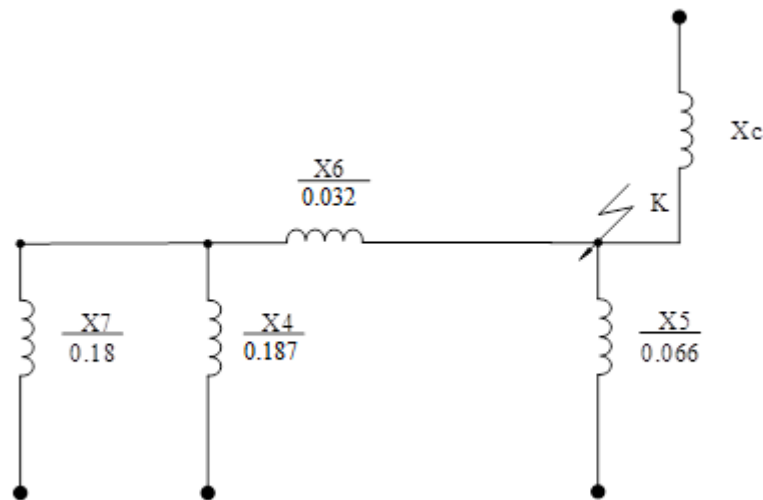


Рисунок 1.7 - Спрощена заступна схема ТЕЦ

Складаємо опори \overline{X}_4^* , \overline{X}_6^* , \overline{X}_7^* в один еквівалентний опір \overline{X}_8^* :

$$\overline{X}_8^* = \frac{\overline{X}_7^* \cdot \overline{X}_4^*}{\overline{X}_7^* + \overline{X}_4^*} + \overline{X}_6^* = \frac{0.18 \cdot 0.187}{0.18 + 0.187} + 0.032 = 0.123 \text{ в. о.};$$

Еквівалентуємо паралельні елементи:

$$\overline{X}_9^* = \frac{\overline{X}_8^* \cdot \overline{X}_5^*}{\overline{X}_8^* + \overline{X}_5^*} = \frac{0.123 \cdot 0.066}{0.123 + 0.066} = 0.043 \text{ в. о.};$$

Розрахунок опору системи:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{78,75}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 4,33 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к.з.}(сист)} = \frac{U_{330}}{U_6} \cdot I_{\text{к.з.}(сист)} = \frac{330}{10,5} \cdot 32,3 = 1015 \text{ кА};$$

$$\overline{X_E^*} = \frac{I_6}{I_{\text{к.з. (сист)}}} = \frac{4,33}{1015} = 0,0043 \text{ в. о.};$$

Отже, опір системи:

$$\overline{X_C^*} = \frac{\overline{X_E^*} \cdot \overline{X_9^*}}{\overline{X_9^*} - \overline{X_E^*}} = \frac{0,0043 \cdot 0,043}{0,043 - 0,0043} = 0,0047 \text{ в. о.}$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

1.6 Розрахунок струму короткого замикання на ГРП 10.5 кВ

Складаємо схему справа наліво відносно точки К₁.

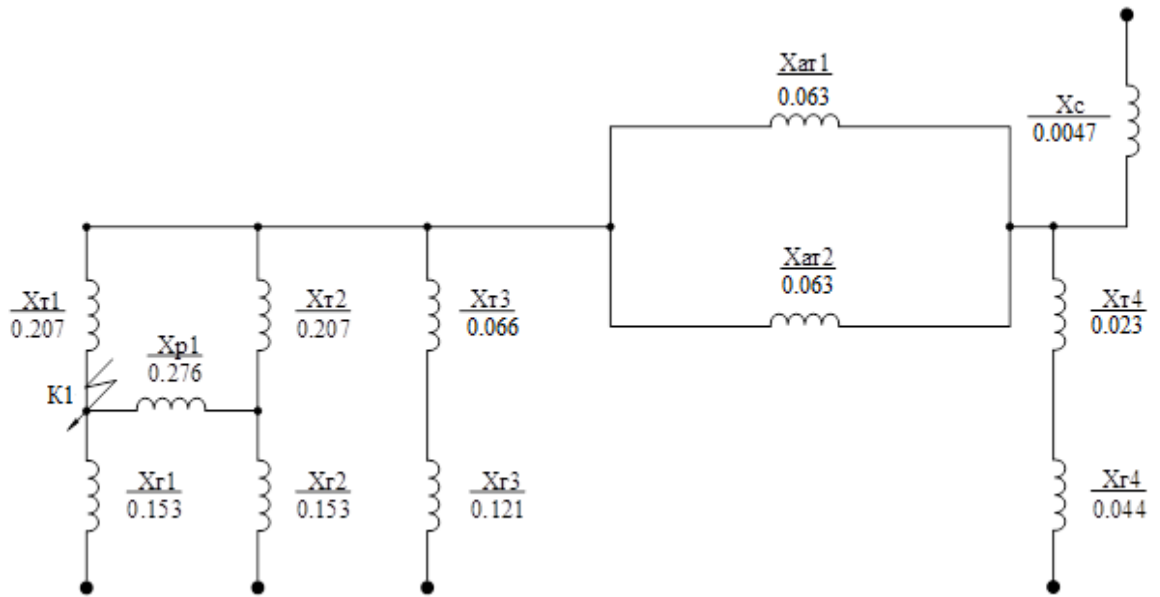


Рисунок 1.8 - Заступна схема ТЕЦ для розрахунку КЗ на ГРП 10.5кВ

Еквівалентуємо послідовні елементи схеми заміщення:

$$\overline{X}_1^* = \overline{X}_{Г3}^* + \overline{X}_{Т3}^* = 0.121 + 0.066 = 0.187 \text{ в. о.};$$

$$\overline{X}_2^* = \overline{X}_{Г4}^* + \overline{X}_{Т4}^* = 0.044 + 0.023 = 0.066 \text{ в. о.};$$

Еквівалентний опір двох автотрансформаторів АТ1, АТ2:

$$\overline{X}_3^* = \frac{\overline{X}_{АТ1}^*}{2} = \frac{0.063}{2} = 0.032 \text{ в. о.};$$

Еквівалентуємо паралельні елементи схеми заміщення:

$$\overline{X}_4^* = \frac{\overline{X}_2^* \cdot \overline{X}_C^*}{\overline{X}_2^* + \overline{X}_C^*} + \overline{X}_3^* = \frac{0.066 \cdot 0.0047}{0.066 + 0.0047} + 0.032 = 0.036 \text{ в. о.};$$

$$\overline{X}_5^* = \frac{\overline{X}_1^* \cdot \overline{X}_4^*}{\overline{X}_1^* + \overline{X}_4^*} = \frac{0.187 \cdot 0.036}{0.187 + 0.036} = 0.03 \text{ в. о.};$$

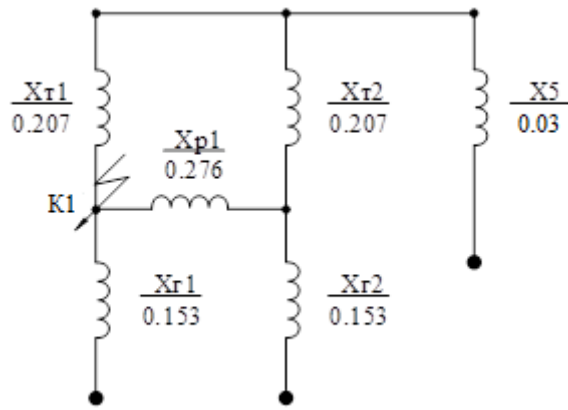


Рисунок 1.9 - Спрощена заступна схема ТЕЦ

Перетворимо еквівалентний трикутник з опорами $\overline{X_{T1}^*}$, $\overline{X_{T2}^*}$, $\overline{X_P^*}$ в еквівалентну зірку:

$$\overline{X_6^*} = \frac{\overline{X_{T1}^*} \cdot \overline{X_P^*}}{\overline{X_{T1}^*} + \overline{X_P^*} + \overline{X_{T2}^*}} = \frac{0.207 \cdot 0.276}{0.207 + 0.276 + 0.207} = 0.083 \text{ в. о.};$$

$$\overline{X_7^*} = \frac{\overline{X_{T2}^*} \cdot \overline{X_P^*}}{\overline{X_{T1}^*} + \overline{X_P^*} + \overline{X_{T2}^*}} = \frac{0.207 \cdot 0.276}{0.207 + 0.276 + 0.207} = 0.083 \text{ в. о.};$$

$$\overline{X_8^*} = \frac{\overline{X_{T2}^*} \cdot \overline{X_{T1}^*}}{\overline{X_{T1}^*} + \overline{X_P^*} + \overline{X_{T2}^*}} = \frac{0.207 \cdot 0.207}{0.207 + 0.276 + 0.207} = 0.062 \text{ в. о.};$$

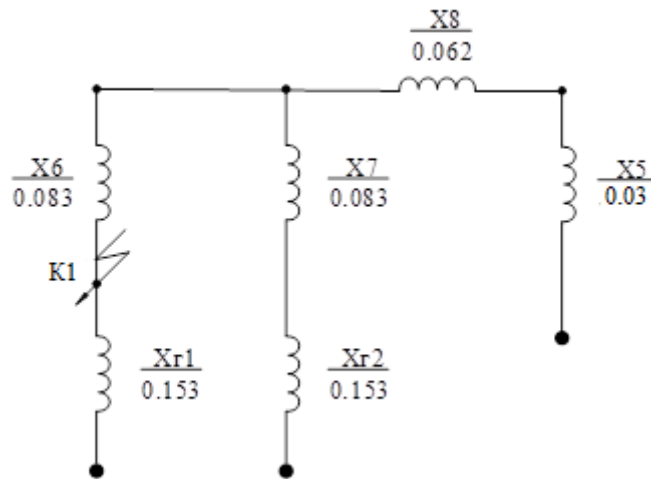


Рисунок 1.10 - Спрощена заступна схема ТЕЦ

Еквівалентний опір заступної схеми:

$$\overline{X_9^*} = \frac{(\overline{X_8^*} + \overline{X_5^*}) \cdot (\overline{X_7^*} + \overline{X_{T2}^*})}{\overline{X_8^*} + \overline{X_5^*} + \overline{X_7^*} + \overline{X_{T2}^*}} + \overline{X_6^*} = \frac{(0.062 + 0.03) \cdot (0.083 + 0.153)}{0.062 + 0.03 + 0.083 + 0.153} + 0.083 = 0.149 \text{ в. о.};$$

$$\overline{X_e^*} = \frac{\overline{X_{\Gamma 1}^*} \cdot \overline{X_9^*}}{\overline{X_{\Gamma 1}^*} + \overline{X_9^*}} = \frac{0.153 \cdot 0.083}{0.153 + 0.083} = 0.075 \text{ в. о.};$$

Розрахунок коефіцієнтів струморозподілу по ділянкам схеми:

$$C = 1;$$

$$C_1 = C \cdot \frac{\overline{X_9^*}}{\overline{X_{\Gamma 1}^*} + \overline{X_9^*}} = 1 \cdot \frac{0.149}{0.153 + 0.149} = 0.493 \text{ в. о.};$$

$$C_2 = C \cdot \frac{\overline{X_{\Gamma 1}^*}}{\overline{X_{\Gamma 1}^*} + \overline{X_9^*}} = 1 \cdot \frac{0.153}{0.153 + 0.149} = 0.507 \text{ в. о.};$$

$$C_3 = C_2 \cdot \frac{(\overline{X_8^*} + \overline{X_5^*})}{\overline{X_8^*} + \overline{X_5^*} + \overline{X_7^*} + \overline{X_{\Gamma 2}^*}} = 0.45 \cdot \frac{(0.062 + 0.03)}{0.062 + 0.03 + 0.083 + 0.153} = 0.142 \text{ в. о.};$$

$$C_4 = C_2 \cdot \frac{(\overline{X_7^*} + \overline{X_{\Gamma 2}^*})}{\overline{X_8^*} + \overline{X_5^*} + \overline{X_7^*} + \overline{X_{\Gamma 2}^*}} = 0.45 \cdot \frac{(0.083 + 0.153)}{0.062 + 0.03 + 0.083 + 0.153} = 0.364 \text{ в. о.};$$

$$C_5 = C_4 \cdot \frac{\overline{X_1^*}}{\overline{X_1^*} + \overline{X_4^*}} = 0.364 \cdot \frac{0.187}{0.187 + 0.036} = 0.306 \text{ в. о.};$$

$$C_6 = C_4 \cdot \frac{\overline{X_4^*}}{\overline{X_1^*} + \overline{X_4^*}} = 0.364 \cdot \frac{0.036}{0.187 + 0.036} = 0.059 \text{ в. о.};$$

$$C_7 = C_5 \cdot \frac{\overline{X_C^*}}{\overline{X_2^*} + \overline{X_C^*}} = 0.306 \cdot \frac{0.0047}{0.066 + 0.0047} = 0.02 \text{ в. о.};$$

$$C_8 = C_5 \cdot \frac{\overline{X_2^*}}{\overline{X_2^*} + \overline{X_C^*}} = 0.306 \cdot \frac{0.066}{0.066 + 0.0047} = 0.285 \text{ в. о.};$$

$$C_{\Gamma 1} = C_1 = 0.493 \text{ в. о.};$$

$$C_{\Gamma 2} = C_3 = 0.142 \text{ в. о.};$$

$$C_{\Gamma 3} = C_6 = 0.059 \text{ в. о.};$$

$$C_{\Gamma 4} = C_7 = 0.02 \text{ в. о.};$$

$$C_{\text{сист.}} = C_8 = 0.285 \text{ в. о.};$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

Перевірка:

$$C_{Г1} + C_{Г2} + C_{Г3} + C_{Г4} + C_{\text{сист.}} = 0.493 + 0.142 + 0.059 + 0.02 + 0.285 = 1$$

Коефіцієнти струморозподілу розраховано правильно.

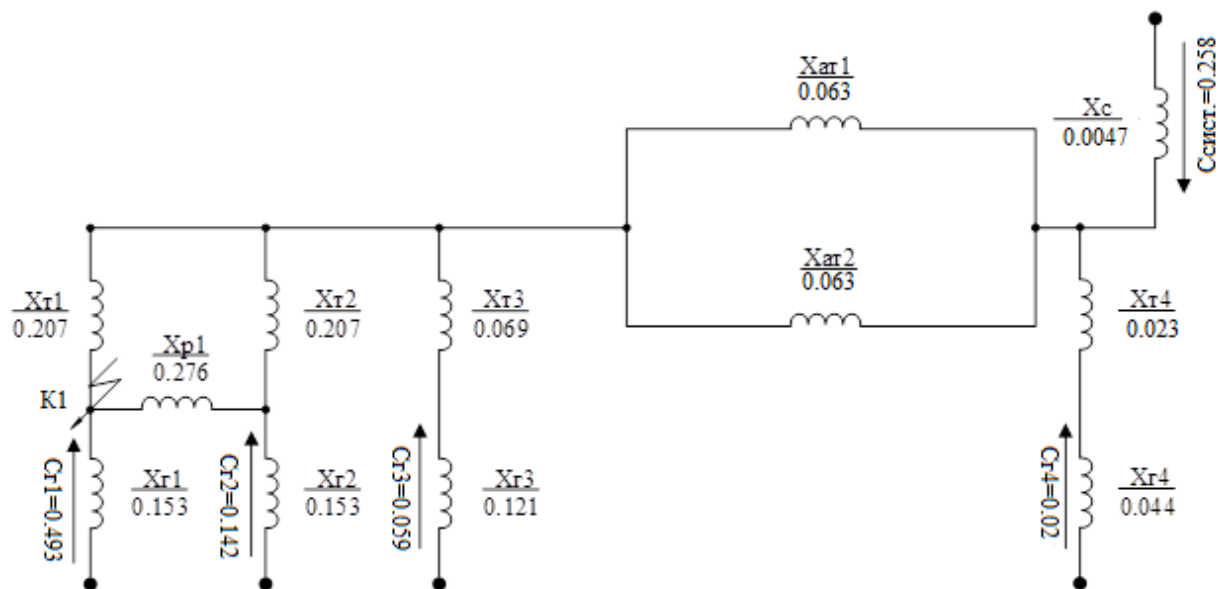


Рисунок 1.11 - Заступна схема ТЕЦ з наведеними коефіцієнтами струморозподілу

Таблиця 1.13 - Параметри променів ТЕЦ

Назва променя	№ променя	$S_{п}$, МВА	C
Г ₁	1	78.75	0.493
Система	2	78.75	0.285
Г ₂ , Г ₃ , Г ₄ ,	3	556.75	0.221
Сума		714.25	1

Для променя №1:

Номінальний струм променя:

$$I_{н.п.1} = \frac{S_{п1}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{78.75}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 4.33 \text{ кА};$$

Розрахунковий опір променя при 3-фазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.3КЗ}} = \frac{X_e \cdot S_{\text{п1}}}{C_{\text{п1}} \cdot S_6} = \frac{0.075 \cdot 78.75}{0.493 \cdot 78.75} = 0.152 \text{ Ом};$$

Розрахунковий опір променя при 2-фазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.2КЗ}} = \frac{2 \cdot X_e \cdot S_{\text{п1}}}{C_{\text{п1}} \cdot S_6} = \frac{2 \cdot 0.075 \cdot 78.75}{0.493 \cdot 78.75} = 0.304 \text{ Ом};$$

Для променя №2:

Номінальний струм променя:

$$I_{\text{н.п.2}} = \frac{S_{\text{п2}}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{78.75}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 4.33 \text{ кА};$$

Розрахунковий опір променя при 3-фазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.3КЗ}} = \frac{X_e \cdot S_{\text{п2}}}{C_{\text{п2}} \cdot S_6} = \frac{0.075 \cdot 78.75}{0.285 \cdot 78.75} = 0.263 \text{ Ом};$$

Розрахунковий опір променя при 2-фазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.2КЗ}} = \frac{2 \cdot X_e \cdot S_{\text{п2}}}{C_{\text{п2}} \cdot S_6} = \frac{2 \cdot 0.075 \cdot 78.75}{0.285 \cdot 78.75} = 0.526 \text{ Ом};$$

Для променя №3:

Номінальний струм променя:

$$I_{\text{н.п.3}} = \frac{S_{\text{п3}}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{556.75}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 30.613 \text{ кА};$$

Розрахунковий опір променя при 3-фазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.3КЗ}} = \frac{X_e \cdot S_{\text{п3}}}{C_{\text{п3}} \cdot S_6} = \frac{0.075 \cdot 556.75}{0.221 \cdot 78.75} = 2.399 \text{ Ом};$$

Розрахунковий опір променя при 2-фазному КЗ:

$$X_{\text{розрах.2КЗ}} = \frac{2 \cdot X_e \cdot S_{\text{п3}}}{C_{\text{п3}} \cdot S_6} = \frac{2 \cdot 0.075 \cdot 556.75}{0.221 \cdot 78.75} = 4.799 \text{ Ом};$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

За розрахунковими кривими визначимо відносне значення періодичної складової струму короткого замикання кожного з променів схеми, а також порахуємо значення струмів, які діють і ударний струм для кожного виду короткого замикання:

1) Трифазне коротке замикання, промінь 1 ($m = 1$):

$$I'_{0.0л13}=6.6;$$

$$I'_{0.1л13}=4.9;$$

$$I'_{\infty л13}=2.7;$$

Струми в кА:

$$I_{л13_0.0}=I'_{0.0л13} \cdot m \cdot I_{н.п.1}=6.6 \cdot 1 \cdot 4.33=28.579 \text{ кА};$$

$$I_{л13_0.1}=I'_{0.1л13} \cdot m \cdot I_{н.п.1}=4.9 \cdot 1 \cdot 4.33=21.218 \text{ кА};$$

$$I_{л13_ \infty}=I'_{\infty л13} \cdot m \cdot I_{н.п.1}=2.7 \cdot 1 \cdot 4.33=11.691 \text{ кА};$$

2) Трифазне КЗ, промінь 2 ($m = 1$):

$$I'_{0.0л23} = I'_{0.1л23} = I'_{\infty л23} = \frac{1}{X_{розр}} = \frac{1}{0.263} = 3.802 \text{ кА};$$

Струми в кА:

$$I_{л23_0.0}=I'_{0.0л23} \cdot m \cdot I_{н.п.2}=3.802 \cdot 1 \cdot 4.33=16.464 \text{ кА};$$

$$I_{л23_0.1}=I'_{0.1л23} \cdot m \cdot I_{н.п.2}=3.802 \cdot 1 \cdot 4.33=16.464 \text{ кА};$$

$$I_{л23_ \infty}=I'_{\infty л23} \cdot m \cdot I_{н.п.2}=3.802 \cdot 1 \cdot 4.33=16.464 \text{ кА};$$

3) Трифазне КЗ, промінь 3 ($m = 1$):

$$I'_{0.0л33} = I'_{0.1л33} = I'_{\infty л33} = \frac{1}{X_{розр}} = \frac{1}{2.399} = 0.417 \text{ кА};$$

Струми в кА:

$$I_{л33_0.0}=I'_{0.0л33} \cdot m \cdot I_{н.п.3}=0.417 \cdot 1 \cdot 30.613=12.761 \text{ кА};$$

$$I_{л33_0.1}=I'_{0.1л33} \cdot m \cdot I_{н.п.3}=0.417 \cdot 1 \cdot 30.613=12.761 \text{ кА};$$

$$I_{л33_ \infty}=I'_{\infty л33} \cdot m \cdot I_{н.п.3}=0.417 \cdot 1 \cdot 30.613=12.761 \text{ кА};$$

Ударний струм:

$$i_{уд_0.0}=\sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\Sigma 30.0}=\sqrt{2} \cdot 1.95 \cdot 57.804=159.407 \text{ кА};$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

1) Двофазне КЗ, промінь 1 ($m_2=\sqrt{3}$):

$$I'_{0.0л12}=3.3;$$

$$I'_{0.1л12}=2.8;$$

$$I'_{\infty л12}=2.3;$$

Струми в кА:

$$I_{л12_0.0}=I'_{0.0л12}\cdot m_2\cdot I_{н.п.1}=3.3\cdot\sqrt{3}\cdot 4.33=24.75 \text{ кА};$$

$$I_{л12_0.1}=I'_{0.1л12}\cdot m_2\cdot I_{н.п.1}=2.8\cdot\sqrt{3}\cdot 4.33=21 \text{ кА};$$

$$I_{л12_ \infty}=I'_{\infty л12}\cdot m_2\cdot I_{н.п.1}=2.3\cdot\sqrt{3}\cdot 4.33=17.25 \text{ кА};$$

2) Двофазне КЗ, промінь 2 ($m_2=\sqrt{3}$):

$$I'_{0.0л22} = I'_{0.1л22} = I'_{\infty л22} = \frac{1}{X_{розр}} = \frac{1}{0.526} = 1.901 \text{ кА};$$

Струми в кА:

$$I_{л22_0.0}=I'_{0.0л22}\cdot m_2\cdot I_{н.п.2}=1.901\cdot\sqrt{3}\cdot 4.33=14.259 \text{ кА};$$

$$I_{л22_0.1}=I'_{0.1л22}\cdot m_2\cdot I_{н.п.2}=1.901\cdot\sqrt{3}\cdot 4.33=14.259 \text{ кА};$$

$$I_{л22_ \infty}=I'_{\infty л22}\cdot m_2\cdot I_{н.п.2}=1.901\cdot\sqrt{3}\cdot 4.33=14.259 \text{ кА};$$

3) Двофазне КЗ, промінь 3 ($m_2=\sqrt{3}$):

$$I'_{0.0л32} = I'_{0.1л32} = I'_{\infty л32} = \frac{1}{X_{розр}} = \frac{1}{4.799} = 0.208 \text{ кА};$$

Струми в кА:

$$I_{л32_0.0}=I'_{0.0л32}\cdot m_2\cdot I_{н.п.3}=0.208\cdot\sqrt{3}\cdot 30.613=11.049 \text{ кА};$$

$$I_{л32_0.1}=I'_{0.1л32}\cdot m_2\cdot I_{н.п.3}=0.208\cdot\sqrt{3}\cdot 30.613=11.049 \text{ кА};$$

$$I_{л32_ \infty}=I'_{\infty л32}\cdot m_2\cdot I_{н.п.3}=0.208\cdot\sqrt{3}\cdot 30.613=11.049 \text{ кА};$$

Результати розрахунків занесемо до таблиці 1.14.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

1.7 Вибір і перевірка обладнання розрахункового відгалуження

1.7.1. Вибір лінійного реактора на розрахунковому відгалуженні

Через економічний фактор собівартості електричного устаткування та за необхідності забезпечити якість електроенергії, на розрахунковому відгалуженні треба встановлювати лінійний реактор. [10]

Кількість приєднань до однієї секції на ГРП 10.5 кВ визначається:

$$n_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{відг}}}{n_c} = \frac{32}{2} = 16 \text{ шт};$$

Якщо від лінійного реактора відходить 4 відгалуження, то потрібна кількість лінійних реакторів:

$$n_p = \frac{n_{\text{пр}}}{4} = \frac{16}{4} = 4 \text{ шт};$$

Вибір потрібного реактору виконаємо з використанням значення струму вимикання за реактором елегазового вимикача серії VF. Номінальний струм відключення даного вимикача складає 31.5 кА.

Розрахунок необхідного опору лінійного реактора у відносних одиницях:

$$X_{E1*} = \frac{I_b}{I_{\text{відкл}}} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_b} \cdot \frac{1}{I_{\text{відкл}}} = \frac{78.75}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \frac{1}{31.5} = 0.144 \text{ в. о.};$$

$$X_{\text{баж*}} = X_{E1} - X_{E1*} = 0.144 - 0.075 = 0.069 \text{ в. о.};$$

Розрахунок необхідного опору реактора в іменованих одиницях:

$$X_{\text{баж}} = X_{\text{баж*}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_b} = 0.069 \cdot \frac{10^2}{78.75} = 0.088 \text{ Ом};$$

Струм тривалого режиму:

$$I_{\text{норм}} = \frac{4 \cdot P_{\text{від}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{4 \cdot 6.42}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.85} = 1744 \text{ А};$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

Розрахунок струму обтяжливого режиму:

$$I_{\text{утяж}} = 1.05 \cdot \frac{4 \cdot P_{\text{від}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = 1.05 \cdot \frac{4 \cdot 6.42}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.85} = 1831 \text{ А};$$

За заданими значеннями опор, струму і напруги обираємо:

Реактор одинарний для внутрішньої установки РБГ 10 – 2000 – 0.14У3

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Довгостроково допустимий струм, А	2000
Номінальний індуктивний опір, Ом	0.14
Струм електродинамічної стійкості, кА	79
Струм термічної стійкості, кА	31.1
Допустимий час дії струму термічної стійкості, с	8

Перевірку обраного реактора виконуємо в табличній формі (таблиця 1.16), для $\tau = t_{\text{с.в}} + t_{\text{зmin}} = 0.08 + 5 = 5.08 \text{ с.}$

Розрахунок струмів короткого замикання по лінійному реактору:

Потужність променя: $S_{\text{п}} = 714.25 \text{ МВА};$

Номінальний струм променя:

$$I_{\text{н.п.}} = \frac{S_{\text{п}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б}}} = \frac{714.25}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 39.274 \text{ кА};$$

$$\overline{X}_{\text{лр}}^* = X_{\text{ном.р.}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ном.р.}}^2} = 0.14 \cdot \frac{78.75}{10^2} = 0.11 \text{ в. о.};$$

$$X_{E1} = \overline{X}_{\text{лр}}^* + X_E = 0.11 + 0.075 = 0.185 \text{ в. о.};$$

$$X_{\text{розрах.}} = X_{E1} \cdot \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{б}}} = 0.185 \cdot \frac{714.25}{78.75} = 1.68 \text{ в. о.};$$

$$X_{\text{розрах.2}} = X_{E1} \cdot 2 \cdot \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{б}}} = 0.185 \cdot 2 \cdot \frac{714.25}{78.75} = 3.36 \text{ в. о.};$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

Визначення струмів трифазного і двофазного короткого замикання за лінійним реактором.

1) Для трифазного короткого замикання за розрахунковими кривими знаходимо:

$$I'_{0.0Л}=0.58;$$

$$I'_{0.1Л}=0.56;$$

$$I'_{\inftyЛ}=0.64;$$

Струми в кА:

$$I_{рм_0.0} = I'_{0.0Л} \cdot I_{н.п.} = 0.58 \cdot 39.274 = 22.779 \text{ кА};$$

$$I_{рм_0.1} = I'_{0.1Л} \cdot I_{н.п.} = 0.56 \cdot 39.274 = 21.993 \text{ кА};$$

$$I_{рм_∞} = I'_{∞Л} \cdot I_{н.п.} = 0.64 \cdot 39.274 = 25.135 \text{ кА};$$

Ударний струм:

$$i_{уд_0.0} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{рм_0.0} = \sqrt{2} \cdot 1.95 \cdot 22.779 = 62.817 \text{ кА};$$

2) Для двофазного короткого замикання за розрахунковими кривими знаходимо:

$$I'_{рд0.0} = I'_{рд0.1} = I'_{рд∞} = \frac{1}{X_{розрах.2}} = \frac{1}{3.36} = 0.298 \text{ кА};$$

Струми в кА:

$$I_{рм_0.0} = I'_{рд0.0} \cdot I_{н.п.} = 0.298 \cdot 39.274 = 16.528 \text{ кА};$$

$$I_{рм_0.1} = I'_{рд0.1} \cdot I_{н.п.} = 0.298 \cdot 39.274 = 16.528 \text{ кА};$$

$$I_{рм_∞} = I'_{рд∞} \cdot I_{н.п.} = 0.298 \cdot 39.274 = 16.528 \text{ кА};$$

Отримані значення показані в табл.1.16.

Таблиця 1.16 – Результати розрахунку струму КЗ за лінійним реактором

№ п/п	Місце к.з.	Вид к.з.	U _б	X _{e1}	X _{e2}	X _{e0}	X _e ^(^o)	Параметри променів			
								S _п	C _п	I _{нп}	X _{розр.}
1	K ₂	(3)	10.5	0.185	–	–	0.185	714.25	1	39.274	1.68
2	K ₂	(2)	10.5	0.185	0.185	–	0.37	714.25	1	39.274	3.36

Продовження табл.1.16.

№ п/п	m^0	$I_{*0.0}$	$I_{*0.1}$	$I_{*\infty}$	$I_{0.0}$	$I_{0.1}$	I_{∞}	$i_{уд}$
1	1	0.58	0.56	0.64	22.779	21.993	25.135	62.817
2	$\sqrt{3}$	0.298	0.298	0.298	16.528	16.528	16.528	-

Через те, що струми трифазного короткого замикання більші за струми двофазного, перевірку реактора виконуємо за струмами трифазного к.з..

Перевірка вибраного реактору:

- за тривалим робочим струмом максимального режиму:

$$I_{\text{трив.макс}} = 1831 \text{ A} \leq I_{\text{ном}} = 2000 \text{ A};$$

- за напругою установки:

$$U_{\text{вст}} = 10 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ};$$

Перевірка реактора на динамічну стійкість струму к.з.:

$$i_{уд} = 62.814 \text{ кА} \leq I_{\text{пр.скв}} = 79 \text{ кА};$$

Перевірка реактора на термічну стійкість: $B_k \leq I_t^2 \cdot t_t$,

де $B_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_a)$ - тепловий імпульс квадратичного початкового струму к.з..

$t_{\text{вимк}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{с.в.}}$ - час вимкнення.

З номінальних параметрів:

$$B_k = I_t^2 \cdot t_t = 31.1^2 \cdot 8 = 7738 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Розрахунковий імпульс квадратичного струму:

$$B_k = 22.779^2 \cdot (5.08 + 0.1) = 1415 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$B_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_a)$ - умова виконується.

Перевірка за залишковою напругою:

$$U_{\text{зал}\%} = x_p \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{п0}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = 0.14 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 22.779}{10} \cdot 100\% = 40.079 \%;$$

$U_{\text{зал}\%} = 40.079 (\%) \geq 65 (\%) \dots 70 (\%)$ - умова виконується.

Перевірка за втратою напруги в робочому режимі:

$$\Delta U_{\text{p}\%} = x_p \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{утяж}}}{U_{\text{ном}}} \cdot \sin(\varphi) \cdot 100\% = 0.14 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1.831}{10} \cdot 0.6 \cdot 100\% = 33 \%;$$

$\Delta U_{\text{p}\%} = 2.665 (\%) \leq 5 (\%) \dots 6(\%)$ - умова виконується.

Таблиця 1.17 - Перевірка реактора РБГ 10 – 2000 – 0.14УЗ

Розраховані дані	Умова вибору	Паспортні дані
		Реактор РБГ 10 – 2000 – 0.25УЗ
$U_{\text{вст}} = 10 \text{ (кВ)}$	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}}$	10 (кВ)
$I_{\text{норм}} = 1744 \text{ (А)}$ $I_{\text{утяж}} = 1831 \text{ (А)}$	$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{ном}}$	2000 (А)
$i_{\text{уд}} = 62.814 \text{ (кА)}$	$i_{\text{y}} \leq I_{\text{пр.скв}}$	79 (кА)
$B_{\text{к}} = 1415 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}}$	7738 (кА ² · с)
$U_{\text{зал}\%} = 40.079(\%)$ $\Delta U_{\text{p}\%} = 2.665 (\%)$	$U_{\text{зал}\%} \geq 65 (\%) \dots 70 (\%)$ $\Delta U_{\text{p}\%} \leq 2.665 (\%) \dots 6(\%)$	-

З таблиці видно, що реактор РБГ 10 – 2000 – 0.25УЗ проходить перевірку за всіма умовами.

1.7.2. Вибір вимикача та роз'єднувача на лінії місцевого навантаження

Розрахунок струму тривалого режиму:

$$I_{\text{норм}} = \frac{P_{\text{від}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{6.42}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.85} = 436 \text{ А};$$

Розрахунок утяжливого струму:

$$I_{\text{утяж}} = 1.05 \cdot \frac{P_{\text{від}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = 1.05 \cdot \frac{6.42}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.85} = 458 \text{ А};$$

Для заданих значень струму та напруги заделегідь обираємо:

Елегазовий вимикач VF12.08.31

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	630
Номінальний струм відключення, кА	31.5
Нормована наявність аперіодичної складової, %	40
Струм електродинамічної стійкості, кА	80
Струм термічної стійкості, кА	31.5
Допустимий час дії струму термічної стійкості, с	3
Власний час відключення, с	0.06
Повний час відключення, с	0.08

Роз'єднувач РВ – 10/630 УЗ

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	630
Граничний наскрізний струм (гол. ножі), кА	52
Струм термічної стійкості (гол. ножі), кА	20
Допустимий час дії струму термічної стійкості (гол.ножі), с	4

Перевірка обраного вимикача та роз'єднувача проводиться в табличній формі (таблиця 1.18), для $\tau = t_{\text{с.в}} + t_{\text{зmin}} = 0.08 + 5 = 5.08 \text{ с.}$

Перевірка вибраного обладнання

Вимикач:

- по тривалому робочому струму максимального режиму:

$$I_{\text{утяж}} = 458 \text{ (A)} \leq I_{\text{ном}} = 630 \text{ A};$$

- за напругою установки:

$$U_{\text{вст}} = 10 \text{ (кВ)} = U_{\text{ном}} = 10 \text{ (кВ)};$$

- за мінімальним струмом вимкнення

$$I_{\text{пт}} = 22.779 \text{ (кА)} \leq I_{\text{ном.вимк.}} = 31.5 \text{ (кА)};$$

Перевірка вимикача на динамічну стійкість струму к.з.:

$$I_{\text{по}} = 22.779 \text{ (кА)} \leq I_{\text{пр.скв}}^{\text{по}} = 31.5 \text{ (кА)};$$

$$i_{\text{ат}} = 3.941 \text{ (кА)} \leq I_{\text{а ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном.вимк.}} = \sqrt{2} \cdot 0.4 \cdot 31.5 = 17.819 \text{ (кА)};$$

Перевірка за повним струмом к.з.:

$$i_{\text{т}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot 22.779 + 3.941 = 36.155 \text{ кА};$$

$$i_{\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.вимк.}} \cdot t_{\text{т}} = \sqrt{2} \cdot 31.5 \cdot (1 + 0.4) = 62.367 \text{ кА};$$

$i_{\text{т}} \leq i_{\text{ном}}$ – умова виконується;

$$i_{\text{у}} = 62.817 \text{ (кА)} \leq I_{\text{пр.скв}} = 80 \text{ (кА)};$$

Перевірка на вміст аперіодичної складової струму к.з.:

$$\beta = \frac{i_{\text{ат}}}{i_{\text{т}}} \cdot 100\% = \frac{3.941}{35.069} \cdot 100\% = 11.238 (\%) \leq \beta_{\text{ном}} = 40 (\%)$$

Перевірка на термічну стійкість вимикача та роз'єднувача: $B_{\text{к}} \leq I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}}$,

де $B_{\text{к}} \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_{\text{а}})$ – тепловий імпульс квадратичного початкового струму к.з.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$t_{\text{вимк}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{с.в.}} \text{ - час вимкнення;}$$

Для вимикача з номінальних параметрів:

$$B_k = I_t^2 \cdot t_t = 31.5^2 \cdot 5 = 4961 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Для роз'єднувача з номінальних параметрів (гол. ножі):

$$B_k = I_t^2 \cdot t_t = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Імпульс квадратичного струму:

$$B_k = 22.779^2 \cdot (5.08 + 0.1) = 2688 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_a) \text{ - умова виконується.}$$

Таблиця 1.18 - Перевірка вимикача та роз'єднувача

Розраховані дані	Умова вибору	Паспортні дані	
		Вимикач VF12.08.31	Роз'єднувач РВ – 10/630 УЗ
$U_{\text{вст}} = 10 \text{ (кВ)}$	$U_{\text{вст}} \leq U_{\text{ном}}$	10 (кВ)	10 (кВ)
$I_{\text{НОРМ}} = 436 \text{ (А)}$ $I_{\text{УТЯЖ}} = 458 \text{ (А)}$	$I_{\text{макс}} \leq I_{\text{НОМ}}$	630 (А)	630 (А)
$I_{\text{пт}} = 22.779 \text{ (кА)}$ $i_{\text{ат}} = 3.941 \text{ (кА)}$	$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{НОМ.ВИМК.}}$ $i_{\text{ат}} \leq I_{\text{а НОМ}}$	31.5 (кА) 17.819 (кА)	- -
$I_{\text{по}} = 22.779 \text{ (кА)}$ $i_y = 62.817 \text{ (кА)}$	$I_{\text{по}} \leq I_{\text{пр.СКВ}}^{\text{по}}$ $i_y \leq I_{\text{пр.СКВ}}$	31.5 (кА) 80 (кА)	52 (кА) - гол.ножі
$\beta = 11.238 \text{ (\%)}$	$\beta \leq \beta_{\text{НОМ}}$	40 (%)	-
$B_k = 2688 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$	$B_k \leq I_t^2 \cdot t_t$	4961 (кА ² · с)	1600 (кА ² · с) - гол. ножі

З таблиці видно, що вимикач VF12.08.31 та роз'єднувач РВ – 10/630 УЗ проходять по всім умовам.[10]

1.8 Вибір вимикачів та роз'єднувачів на ГРП 10.5 кВ

Струм тривалого режиму:

$$I_{\text{норм}} = \frac{P_{\Gamma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.8} = 4330 \text{ А};$$

Струм обтяжливого режиму:

$$I_{\text{утяж}} = 1.05 \cdot \frac{P_{\Gamma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{уст}} \cdot \cos(\varphi)} = 1.05 \cdot \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.8} = 4547 \text{ А};$$

За відомими значеннями струму та напруги обираємо:

Вакуумний вимикач ВВГ-10-5000-63 У1

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	5000
Номінальний струм відключення, кА	80
Нормована наявність аперіодичної складової, %	50
Струм електродинамічної стійкості, кА	161
Струм термічної стійкості, кА	63
Допустимий час дії струму термічної стійкості, с	3
Власний час відключення, с	0.05
Повний час відключення, с	0.08

Роз'єднувач РВРЗ - 1 – 10/6300УЗ

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	6300
Граничний наскрізний струм (гол. ножі), кА	180
Струм термічної стійкості (гол. ножі), кА	71
Допустимий час дії струму термічної стійкості (гол.ножі), с	4
Граничний наскрізний струм (зезем. ножі), кА	180
Струм термічної стійкості (зезем. ножі), кА	71
Допустимий час дії струму термічної стійкості (зезем. ножі), с	1

Перевірка обраного вимикача та роз'єднувача виконується в табличній формі (таблиця 1.19), для $\tau = t_{c.v} + t_{zmin} = 0.05 + 0.01 = 0.06$ с.

Умова установки:

- за напругою установки:

$$U_{вст} = 10 \text{ кВ};$$

- за тривалим робочим струмом максимального режиму:

$$I_{трив.макс} = 1.1 \cdot I_{роб.} = 1.1 \cdot \frac{P'_Г}{\sqrt{3} \cdot U_{уст} \cdot \cos(\varphi)} = 1.1 \cdot \frac{54}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0.8} = 4287 \text{ А};$$

Перевірка обраного обладнання:

Вимикач:

- за тривалим робочим струмом максимального режиму:

$$I_{трив.макс} = 4287 \text{ (А)} \leq I_{ном} = 5000 \text{ А};$$

- за напругою установки:

$$U_{вст} = 10 \text{ кВ} = U_{ном} = 10 \text{ кВ};$$

- за мінімальним струмом вимкнення

$$I_{пт} = 57.804 \text{ кА} \leq I_{ном.вимк.} = 80 \text{ кА};$$

Перевіримо вимикач на динамічну стійкість струму к.з.:

$$I_{п0} = 57.804 \text{ кА} \leq I_{пр.скв}^{по} = 80 \text{ кА};$$

$$i_{ат} = 55.051 \text{ кА} \leq I_{а ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{ном.вимк.} = \sqrt{2} \cdot 0.5 \cdot 80 = 56.569 \text{ кА};$$

Перевіряємо по повному струму к.з.:

$$i_{т} = \sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 57.804 + 55.051 = 136.798 \text{ кА};$$

$$i_{ном} = \sqrt{2} \cdot I_{ном.вимк.} \cdot t_{т} = \sqrt{2} \cdot 80 \cdot (1 + 0.5) = 169.706 \text{ кА};$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

$i_{\tau} \leq i_{\text{НОМ}}$ – умова виконується.

$$i_y = 159.407 \text{ кА} \leq I_{\text{пр.скв}} = 161 \text{ кА};$$

Перевірка на вміст аперіодичної складової струму к.з.:

$$\beta = \frac{i_{a\tau}}{i_{\tau}} \cdot 100\% = \frac{55.051}{136.798} \cdot 100\% = 40.242 (\%) \leq \beta_{\text{НОМ}} = 50 (\%);$$

Перевірка на термічну стійкість вимикач та роз'єднувач: $V_k \leq I_{\tau}^2 \cdot t_{\tau}$,

де $V_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_a)$ - тепловий імпульс квадратичного початкового струму к.з.

$t_{\text{вимк}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{с.в.}}$ - час вимкнення.

Для вимикача з номінальних параметрів:

$$V_k = I_{\tau}^2 \cdot t_{\tau} = 63^2 \cdot 3 = 11910 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Для роз'єднувача з номінальних параметрів (гол. ножі):

$$V_k = I_{\tau}^2 \cdot t_{\tau} = 71^2 \cdot 4 = 20160 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Для роз'єднувача з номінальних параметрів (зазем. ножі):

$$V_k = I_{\tau}^2 \cdot t_{\tau} = 71^2 \cdot 1 = 5041 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Імпульс квадратичного струму:

$$V_k = 57.804^2 \cdot (0.06 + 0.02) = 267.304 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$V_k \leq I_{\text{по}}^2 \cdot (t_{\text{вимк}} + T_a)$ - умова виконується.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

Висновок розділу 1

У даному розділі було проаналізовано 3 можливих варіанти структурних схем ТЕЦ. Для кожного варіанту було обрано основне обладнання: турбогенератори, трансформатори зв'язку, блочні трансформатори, автотрансформатори зв'язку, секційний реактор. На основі проведеного техніко-економічного порівняння варіантів з визначенням інтегрального ефекту і рентабельності інвестицій обґрунтована доцільність використання варіант №1 структурної схеми .

В розділі було обґрунтовано і вибрано схеми електричних з'єднань розподільчих пристроїв для різних класів напруг. Для ВРП 330кВ було вибрано схему з трьома вимикачами на два приєднання, для ВРП 110кВ – схему з двома системами збірних шин і обхідною системою шин. Для електричної схеми ГРП 10.5кВ було вибрано подвійну секціоновану систему збірних шин. Також було представлено електричну схему електропостачання власних потреб.

Наступним етапом був розрахунок струмів короткого замикання методом розрахункових кривих, зокрема було розраховано опір системи, після проведено розрахунок струму короткого замикання на ГРП 10.5кВ.

В якості лінійного реактора на розрахунковому відгалуженні було вибрано одинарний реактор для внутрішньої установки РБГ 10 – 2000 – 0.14УЗ. В якості вимикача на лінії місцевого навантаження було вибрано елегазовий вимикач типу *VF12.08.31*, а в якості роз'єднувача - *PB – 10/630 УЗ*.

В якості вимикача на на ГРП 10.5кВ було вибрано вакуумний вимикач типу *ВВГ-10-5000-63 У1*, а в якості роз'єднувача *PBP3 - 1 – 10/6300УЗ*.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

ТИТУЛКА ДЛЯ РОЗДІЛУ 2

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		66

2.1 Вплив зниження напруги і частоти на роботу електроприймачів і технологічної частини електростанції.

Відхилення параметрів електроенергії від номінальних значень погіршують умови експлуатації електрообладнання та різних споживачів електроенергії, можуть призвести до значних збитків, які обумовлюються, технологічними і електромагнітними збитками. Найбільш характерними типами електроприймачів, які широко використовуються на електричних станціях є асинхронні електродвигуни, синхронні, постійного струму та установки електричного освітлення.

Споживачі електроенергії розраховані на тривалу роботу з номінальними електричними параметрами режиму (f_n , U_n , I_n і i_n), при яких вони мають найбільші техніко-економічні показники. Однак при передачі електроенергії до споживачів якість її погіршується, так як має місце втрата напруги в провідниках, несиметрія навантаження фаз викликає несиметрію напруг, наявність перетворювальних пристроїв призводить до несинусоїдальності напруг, а поштовхи навантаження при відключенні і підключенні споживачів викликають коливання частоти і напруги.

Зазначені причини, а також ряд інших факторів призводять до відхилення параметрів якості електричної енергії від номінальних значень, що впливає на роботу електроприймачів.

Якість електроенергії безпосередньо пов'язана з економічністю виробництва, оскільки відхилення показників якості від номінальних призводять до зниження ККД, коефіцієнта потужності, продуктивності, терміну служби та інших показників споживачів електроенергії.

Іншим відображенням якості електроенергії є його вплив на сам предмет виробництва, на якість виробленої і відпущеної електроенергії. Відхилення показників якості електроенергії від номінальних призводить безпосередньо до порушення технологічних процесів (погіршується продуктивність різних механізмів, зокрема тих, що беруть участь у

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

підготовці палива, циркуляції теплоносія, відводу газів після згорання палива, вентиляції, освітленні і т.д.).

Відхилення і коливання напруги в мережах, що викликаються безперервною зміною електричних навантажень, призводять до зміни освітленості, підвищенню питомої витрати енергії, зміни технологічних процесів, збільшення собівартості відпущеної електроенергії та інших негативних наслідків, що знижує економічну ефективність виробництва.

Найбільш чутливі до відхилень напруги асинхронні двигуни, момент на валу яких пропорційний квадрату підведеної напруги, тому при великих відхиленнях напруги може наступити так званий «скид» двигуна, тобто гальмування його до повної зупинки, так як момент опору перевищить обертовий момент.

Момент синхронних двигунів пропорційний напрузі. Зміни підведеної напруги викликають відповідні зміни моменту на валу, впливають на статичну стійкість роботи таких двигунів і на значення їх розташовується реактивної потужності.

Споживачі, які мають перетворюючі установки (керовані випрямлячі, перетворювачі частоти і т.п.), на відхилення напруги реагують зміною кута регулювання і відповідно зміною коефіцієнта потужності установки.

Відхилення напруги в освітлювальних мережах впливають на весь виробничий процес, оскільки ці відхилення призводять до зміни освітленості, що в свою чергу викликає підвищену стомлюваність органів зору, зниження продуктивності людини і збільшення травматизму.

Відхилення частоти найбільш чутливо впливають на синхронні двигуни, кутова швидкість яких лінійно залежить від частоти живлячої мережі. Практично лінійно від частоти залежить і кутова швидкість асинхронних двигунів. При зменшенні частоти порушується робота механізмів власних потреб електростанцій (дуттеві вентилятори, димососи, циркуляційні насоси та ін.), що може призвести до зупинки станції і навіть до виходу з роботи енергосистеми. Коливання частоти в системі викликаються

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

великими збуджуючими впливами: короткими замиканнями, підключенням і відключенням споживачів, періодичними навантаженнями великої потужності. Коливання частоти можуть викликати «коливання» двигунів і навіть генераторів.

Вплив зниження напруги.

На режим роботи асинхронних двигунів відхилення напруги від номінальних значень мають значний вплив. Як змінюється обертовий момент M асинхронного двигуна від ковзання при змінюванні напруги показує механічна характеристика (рис.2.1). Можна зробити висновок, що обертовий момент асинхронного двигуна пропорційний до квадрату напруги. Зниження обертового моменту M відбувається через зниження напруги, що в свою чергу призводить відповідно і до зниження частоти обертання ротора двигуна і як наслідок збільшується ковзання.

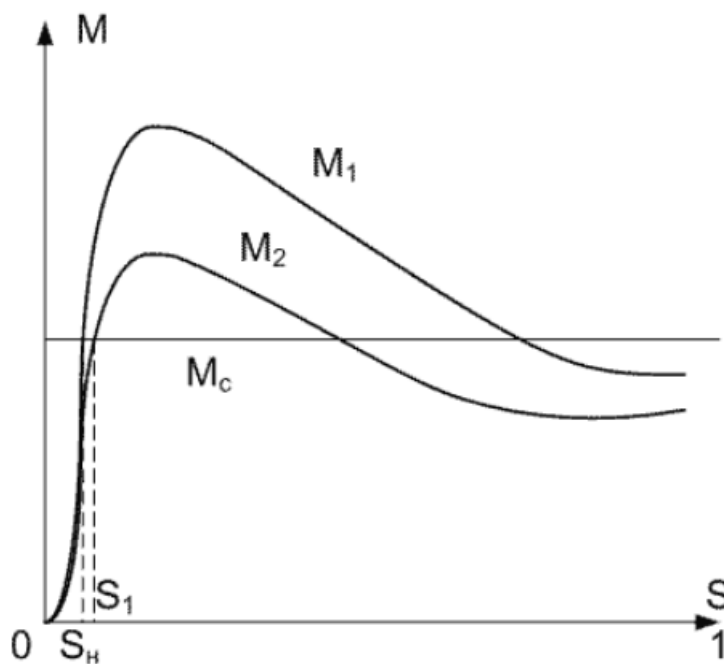


Рисунок 2.1 - Механічна характеристика асинхронного двигуна: M_1 - при номінальній напрузі, M_2 - при зниженій напрузі

На виводи двигунів треба подавати напругу в межах номінальної через те, що продуктивність установок залежить від швидкості обертання асинхронного двигуна, отже у випадку зниження напруги на двигуні з максимальним завантаженням нижче за допустимі межі момент опору механізму електроприводу може бути більшим за обертовий момент, в такому випадку цілком можливий «скид» двигуна, іншими словами, його повна зупинка. У такому випадку двигун треба вимкнути, інакше можливі важкі наслідки.

Умови пуску двигуна погіршуються, якщо під час пуску на виводи двигуна подається напруга менше за номінальну через те, що в такому випадку відбувається зменшення пускового моменту.

Реактивна потужність намагнічування під час зниження напруги зменшується, але збільшується струм статора, що призводить до нагріву ізоляції.

Швидке старіння ізоляції відбувається при зниженні напруги, що призводить до зменшення терміну роботи двигуна. Термін служби двигуна приблизно визначається наступним чином

$$T = \frac{T_{ном}}{R}$$

Вплив зниження частоти.

Жорсткі вимоги стандарту до відхилень частоти напруги живлення обумовлені значним впливом частоти на режими роботи електрообладнання, хід технологічних процесів виробництва електроенергії і, як наслідок, техніко-економічні показники роботи електростанції.

Електромагнітна складова збитку обумовлена збільшенням втрат активної потужності в електричних мережах і зростанням споживання активної та реактивної потужностей. Відомо, що зниження частоти на 1% збільшує втрати в електричних мережах на 2%.

Електростанція – це підприємство з безперервним циклом виробництва показав, отже більшість основних технологічних ліній обладнано

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		70

механізмами з постійним і вентиляторним моментами опорів, а їх приводами служать асинхронні двигуни. Частота обертання роторів двигунів пропорційна зміні частоти мережі, а продуктивність технологічних ліній залежить від частоти обертання двигуна.

Як відомо, найбільш чутливі до зниження частоти двигуни власних потреб електростанцій. Зниження частоти призводить до зменшення їх продуктивності, що супроводжується зниженням потужності генераторів і подальшим дефіцитом активної потужності і зниженням частоти (має місце лавина частоти).

Освітлення, зокрема лампи розжарювання, практично не реагують на зміну частоти.

Підтримка нормальної частоти, що відповідає вимогам стандарту є технічною задачею, основний шлях вирішення якої - введення генеруючих потужностей з метою створення резервів потужності.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	71
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Основні навантажувальні властивості асинхронних двигунів власних потреб.

Асинхронні двигуни в процесі експлуатації працюють з навантаженнями на валу від холостого ходу до номінального. Напруга і частота мережі можуть зберігати номінальні значення або довгий час змінюватися в залежності від режиму роботи енергосистеми. Під навантажувальними властивостями асинхронного двигуна при відхиленнях напруги і частоти будемо розуміти зміну основних параметрів, які характеризують його встановлений режим, – ЕДС магнітного потоку, обертового моменту, ковзання і частоти ротора, модуля і фази струму ротора, намагнічуючого струму, модуля і фази струму статора.

Зустрічається необхідність використання двигуна для роботи в мережі з напругою і частотою, які відрізняються від номінальних значень, у випадках: а) застосування двигунів розрахованих на частоту 60 Гц в мережі з частотою 50 Гц; б) робота двигунів з нормальним з'єднанням обмотки статора в зірку, в мережі іншої номінальної напруги – при з'єднанні обмотки статора в трикутник; в) переключення обмотки статора на зірку замість нормального з'єднання трикутником для зменшення втрат активної потужності і споживання реактивної потужності незвантажених двигунів.

Розглянемо спочатку в загальних межах явища, які відбуваються в двигунах при відхиленнях від номінальних значень навантаження на валу (момент опору приведенного двигуном механізму), напруги і частоти живлячої мережі.

По основним параметрам режиму визначаються такі важливі фактори, як нагрівання активних частин двигуна, зміна втрат і ККД, споживання з мережі активної і реактивної потужності, зміна початкового обертового моменту при нерухомому роторі (для оцінки можливості пуску двигуна при відхиленнях напруги і частоти).

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		72

Визначимо загальний характер зміни перерахованих вище величин, виходячи з основних співвідношень, приймаючи для спрощення момент опору механізму, який не залежить від кутової швидкості ротора.

Зміна навантаження на валу двигуна при номінальній напрузі і частоті живлячої мережі. Розглянемо вплив збільшення навантаження на валу на основні параметри встановленого режиму. Внаслідок збільшення навантаження кутова швидкість ротора дещо зменшується, а відповідно, ковзання збільшується до такого значення, при якому обертовий момент двигуна врівноважує збільшений момент опору. Оскільки при ковзаннях менше критичного опору статора складає незначну частку загального опору двигуна, то ЕДС, магнітний потік і намагнічуючий струм практично не змінюються, при змінах навантаження. Збільшення обертового моменту двигуна супроводжується відповідним збільшенням струму ротора. Зі збільшенням ковзання збільшується фазний кут приведенного струму ротора, що призводить до збільшення реактивного струму двигуна, практично рівного сумі індуктивного намагнічуючого струму і реактивної складової приведенного струму ротора. У зв'язку з ростом активної і реактивної складових струму статора останній також збільшується при збільшенні навантаження на валу. Збільшення струмів ротора і статора обумовлює збільшення втрат в міді обмоток.

У двигунів нормального виконання з короткозамкнутим і з фазним роторами при нормальній роботі з закороченим реостатом кутова швидкість ротора при зміні навантаження в межах номінального змінюється незначно і тому потужність на валу збільшується практично пропорціонально моменту опору.

У зв'язку з збільшенням реактивного струму двигуна при збільшенні навантаження збільшується реактивна потужність, яка споживається з мережі.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		73

При зменшенні навантаження на валу ковзання, струм ротора і його фаза а також струм статора зменшуються, що призводить до зниження споживання двигуном з мережі активної і реактивної потужностей.

При визначенні корисної потужності на валу двигуна з підвищеним ковзанням, а також двигунів з фазним ротором, які працюють нормально з регульованим реостатом, слід враховувати зміну кутової швидкості ротора.

Зміна напруги при номінальній частоті. Припустимо, що напруга, яка підводиться до обмотки статора двигуна, який працює з постійним моментом опору, зменшилась. Внаслідок зменшення напруги зменшується ЕДС двигуна і магнітний потік.

Обертовий момент двигуна, пропорційний квадрату напруги, виявиться при попередньому ковзанні менше, ніж момент опору, і ковзання двигуна збільшиться до такого значення, при якому знову настане рівність між вказаними моментами.

Збільшення ковзання призведе до збільшення струму ротора і збільшення кута здвигу між приведеним струмом ротора і напруги мережі.

При зменшенні напруги намагнічуючий струм зменшується, і струм статора, рівний геометричній сумі приведенного струму ротора і струму холостого ходу, в залежності від завантаження і відношення між намагнічуючим струмом I_0 і струмом ротора I'_2 може збільшитися або зменшитися.

При збільшенні напруги збільшенні напруги збільшаться ЕДС і магнітний потік, а ковзання і струм ротора зменшаться. Намагнічуючий струм збільшиться, а струм статора може збільшитися або зменшитися в залежності від завантаження двигуна і вказаного вище співвідношення між I_0 і I'_2 .

Таким чином, зниження напруги завжди викликає збільшення струму ротора, а збільшення напруги – зменшення струму ротора.

Робота з напругою, зниженою більш ніж на 5% номінальної, допустима згідно ГОСТ 183-74 тільки при умові, що навантаження двигуна менше номінального. При недотриманні цієї обставини можливий перегрів обмотки ротора і, як висновок, її передчасний знос. Потужність, яка розвивається двигуном, залишається практично без змін, так як кутова швидкість ротора змінюється незначно.

Зміна частоти при номінальній напрузі. Розглянемо випадок, коли двигун з постійним моментом опору на валу живиться при номінальній напрузі від мережі з частотою меншою за номінальну. Зменшення частоти викличе збільшення магнітного потоку і зменшення обертового моменту. Оскільки момент опору залишається постійним, ковзання зменшиться так, щоб зберіглася рівновага між обертовим моментом двигуна при зниженій частоті і моментом опору.

Внаслідок збільшення потоку зменшиться струм ротора, а струм холостого ходу збільшиться. Струм статора може збільшитися або зменшитися, так же як для випадку збільшення напруги.

Таким чином, зниження частоти практично рівнозначне збільшенню напруги. Отже, якщо при зниженні частоти відповідно зменшиться напруга, то магнітний потік, а отже, і струми холостого ходу, ротора і статора залишаться такими ж, як і при нормальній роботі. При цьому буде мати місце деяка зміна втрат в сталі, а отже, і активної складової струму холостого ходу. Ці зміни практично не позначаються на струмі статора.

Однак суттєвою відмінністю від розглянутих вище двох режимів буде значна зміна кутової швидкості ротора, практично пропорційній частоті статора. Наприклад, для двигуна, який має кратність максимального моменту $b_{\text{ном}} = 2,0$, критичне ковзання $s_{\text{кр}} = 0,1$ і який працює з постійним моментом

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		75

опору, рівним номінальному, відхилення частоти від номінальної на 10% призводить до зміни кутової швидкості ротора приблизно на 9,8%. При цьому зниження напруги на 10% кутова швидкість ротора зменшується всього на 1%, а при збільшенні напруги на 10% збільшується не більше ніж на 0,4%.

Слід помітити, що за умови збереження сталого режиму ($d(M - M_c)/ds \geq 0$) при ковзаннях менше критичного зниження напруги чи збільшення частоти у порівнянні з номінальними значеннями не повинні виходити за межі, які визначаються рівністю між максимальним моментом двигуна і моментом опору механізму (M_{c*}) $S_{крf}$ при критичному ковзанні $S_{крf}$:

$$b_{ном} \frac{k_u^2}{k_f^2} \geq (M_{c*})_{скрf},$$

тобто

$$\frac{k_u}{k_f} \geq \sqrt{\frac{(M_{c*})_{скрf}}{b_{ном}}},$$

де M_{c*} в загальному випадку залежить від кутової швидкості ротора, а отже, і від частоти мережі. Порушення даної умови означає, що момент опору оказується більшим обертового моменту двигуна, а це призводить до гальмування двигуна аж до повної зупинки ротора («скид» двигуна).

У всіх випадках, коли має зміна кутової швидкості ротора двигуна, відбувається зміна корисної потужності на валу і продуктивність механізму. Корисна потужність на валу змінюється пропорційно відношенню моменту опору на кутову швидкість. Тому для розгляду режиму роботи двигунів при будь-яких значеннях навантаження на валу, напруги і частоти живлячої мережі необхідно знати характеристики моментів опору механізмів.[9]

2.3 Визначення основних параметрів усталеного режиму при різних значеннях навантаження на валу, напруги і частоти мережі.

Для практичних розрахунків зручно виразити окремі параметри через момент опору на валу, кратність максимального моменту і відповідні значення параметрів при номінальному режимі ($k_u = k_f = M_{c*} = 1,0$).

Електрорушійна сила і магнітний потік. Нехтуючи при малих ковзаннях ($s < s_{кр}$) в активному і реактивному опорах статора, отримуємо

$$U_1 \approx E_1 = 4,44k_{об1}f_{1ном}\omega_1\Phi_{ном}k_f \frac{\Phi}{\Phi_{ном}} = E_{1ном}k_f \frac{\Phi}{\Phi_{ном}},$$

звідки

$$\frac{\Phi}{\Phi_{ном}} = \frac{k_u}{k_f},$$

так як

$$U_1 = k_u U_{1ном} \approx k_u E_{1ном}.$$

Обертвий момент. Обертвий момент асинхронного двигуна визначається критичним ковзанням і максимальним моментом.

Якщо знехтувати активним опором обмотки статора, то критичне ковзання буде змінюватися обернено пропорційно до частоти.

Кратність максимального моменту b змінюється пропорційно квадрату напруги і обернено пропорційно квадрату частоти.

Відношення максимального моменту до моменту опору на валу b_c визначається рівністю, в якій M_{c*} – постійна величина, якщо момент опору не залежить від кутової швидкості ротора, а при вентиляторному моменті опору у випадку відносно невеликого статичного протитиску, тобто при роботі без протитиску, в першому наближенні можна прийняти 2

$$M_{c*} = M_{0*} k_f^2$$

і, відповідно

$$b_c = \frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{0*} k_f^4},$$

де M_{0*} – момент опору при номінальній кутовій швидкості ротора у випадку роботи двигуна з нормальною частотою.

Якщо знехтувати впливом насичення на індуктивні опори розсіювання двигуна, то критичне ковзання не буде залежати від напруги мережі, а тому, дійсна крива обертового моменту двигуна (при будь-якому виконанні ротора) при будь-якій нарузі і номінальній частоті може бути побудована в результаті множення на k_u^2 ординат кривої моменту, яка відповідає номінальним умовам.

При зміні частоті відбувається не тільки зміна ординат дійсної кривої обертового моменту, але і зміщення її максимуму завдяки зміні критичного ковзання.

Ковзання і кутова швидкість. При встановленому режимі ($M_* = M_{c*}$) і постійному моменті опору ковзання

$$s = \frac{s_{\text{кр}}}{k_f (b_c + \sqrt{b_c^2 - 1})} = \frac{s_{\text{кр}}}{k_f \left[\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \right)^2 - 1} \right]}$$

і при вентиляторному моменті опору, який змінюється за законом

$$M_{c*} = M_{0*} k_f^2, b_c = \frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{0*} k_f^4},$$

а тому

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		78

$$s = \frac{s_{кр}}{k_f \left[\frac{b_{НОМ} k_u^2}{M_{0*} k_f^4} + \sqrt{\left(\frac{b_{НОМ} k_u^2}{M_{0*} k_f^4} \right)^2 - 1} \right]}$$

Відношення ковзання до номінального (при $k_u = k_f = M_{c*} = 1,0$),

$$\frac{s}{s_{НОМ}} = \frac{b_{НОМ} + \sqrt{b_{НОМ}^2 - 1}}{k_f \left[\frac{b_{НОМ} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{НОМ} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \right)^2 - 1} \right]}$$

Якщо значення $b_c \geq 1,6$, то з достатньою точністю (похибка менше 10% при $b_c = 1,6$) ковзання можна визначити за спрощеною формулою

$$s = \frac{s_{кр}}{2k_f b_c} = \frac{s_{кр} M_{c*} k_f}{2b_{НОМ} k_u^2}$$

і, відповідно,

$$\frac{s}{s_{НОМ}} \approx \frac{M_{c*} k_f}{k_u^2},$$

якщо прийняти $s_{НОМ} \approx s_{кр}/2b_{НОМ}$ при $b_{НОМ} > 1,6$.

При роботі з постійним значенням магнітного потоку, тобто при дотриманні умови $U/U_{НОМ} = f/f_{НОМ}$ або $k_u = k_f$, і постійним моментом опору $b_c = b_{НОМ}/M_{c*}$ отримаємо

$$s = \frac{s_{кр}}{k_f \left[\frac{b_{НОМ}}{M_{0*}} + \sqrt{\left(\frac{b_{НОМ}}{M_{0*}} \right)^2 - 1} \right]}$$

тобто ковзання двигуна при роботі з постійним значенням магнітного потоку і моменту опору буде змінюватися обернено пропорційно до частоти. При

цьому різниця між кутовою швидкістю магнітного потоку статора і кутовою швидкістю ротора (кутова швидкість ковзання) залишиться незмінною.

Дійсно при частоті f кутова швидкість ковзання

$$\omega_{sf} = \omega_{0f}s = \frac{2\pi f}{\rho} s,$$

або при заміні $s = s_{\text{НОМ}}/k_f$ і $f = k_f f_{\text{НОМ}}$ отримаємо

$$\omega_{sf} = \frac{2\pi f_{\text{НОМ}} s_{\text{НОМ}} k_f}{k_f \rho} = \frac{2\pi f_{\text{НОМ}} s_{\text{НОМ}}}{\rho} = \omega_0 s_{\text{НОМ}},$$

де ω_0 – синхронна кутова швидкість при номінальній частоті мережі.

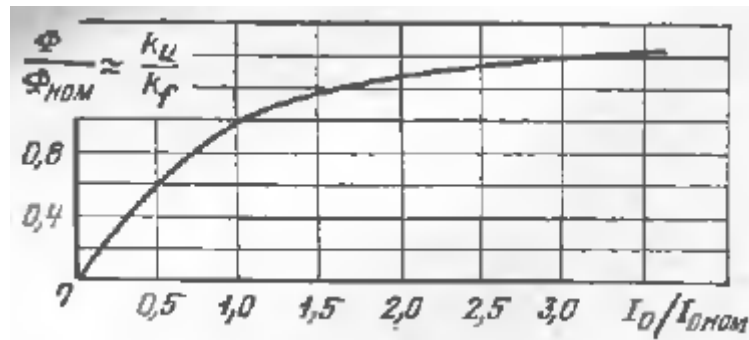


Рис. 2.2. Характеристика холостого ходу асинхронного двигуна

$I_{0\text{НОМ}}$ – намагнічуючий струм при номінальній напрузі і частоті

Для визначення змін продуктивності механізму треба знати кутову швидкість ротора.

У відповідності з визначенням ковзання і з врахуванням рівнянням для s знаходимо кутову швидкість ротора:

$$\omega_2 = \omega_1(1 - s) = k_f \omega_0 \left[1 - \frac{s_{\text{кр}}}{k_f (b_c + \sqrt{b_c^2 - 1})} \right],$$

або при $b_c \geq 1,6$

$$\omega_2 \approx k_f \omega_0 \left(1 - \frac{S_{кр}}{2k_f b_c} \right),$$

або

$$n_2 \approx k_f n_0 \left(1 - \frac{S_{кр}}{2k_f b_c} \right).$$

Намагнічуючий струм. Значення струму визначається з достатньою точністю по кривій намагнічування (характеристиці холостого ходу), яка дає залежність між струмом і магнітним потоком (рис. 3.1).

Використовуючи рівність $\Phi/\Phi_{ном} = k_u/k_f$, легко знайти значення намагнічуючого струму I_0 при будь-якій напрузі і частоті графічним шляхом.

Струм ротора і його фаза. Абсолютне значення приведенного струму ротора визначається наступним чином:

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{c_1 r'_2}{S_{ном}}\right)^2 + k_f^2 (x_1 + c_1 r'_2)^2}}$$

(без врахування впливу частоти живлячої мережі на x'_2 і r'_2) і за нормальних умов

$$I'_{2ном} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{c_1 r'_2}{S_{ном}}\right)^2 + (x_1 + c_1 r'_2)^2}}$$

Нехтуючи впливом активного опору статора і при малих ковзаннях, а також впливом r_1 на критичне ковзання, знаходимо з врахуванням $S_{кр}$ відношення струму ротора до його номінального значення:

$$\frac{I'_2}{I'_{2\text{НОМ}}} = \frac{k_u}{k_f} \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{НОМ}}}\right)^2}{1 + \left(\frac{S_{\text{кр}}}{k_f S}\right)^2}};$$

$$1 + \left(\frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{НОМ}}}\right)^2 = 2b_{\text{НОМ}} \left(b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}\right);$$

$$1 + \left(\frac{S_{\text{кр}}}{k_f S}\right)^2 = 2b_c \left(b_c + \sqrt{b_c^2 - 1}\right),$$

а також враховуючи, що

$$\frac{b_{\text{НОМ}}}{b_c} = M_{\text{С}^*} \frac{k_u^2}{k_f^2},$$

знаходимо

$$\frac{I'_2}{I'_{2\text{НОМ}}} = \sqrt{M_{\text{С}^*} \frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{b_c + \sqrt{b_c^2 - 1}}}$$

і при підстановці значення кратності моменту b_c

$$\frac{I'_2}{I'_{2\text{НОМ}}} = \sqrt{M_{\text{С}^*} \frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{\text{С}^*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{\text{С}^*} k_f^2}\right)^2 - 1}}}$$

При вентиляторному моменті опору, який змінюється за законом $M_{\text{С}^*} = M_{\text{С}0} k_f^2$, отримаємо

$$\frac{I'_2}{I'_{2\text{НОМ}}} = k_f \sqrt{M_{0^*} \frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{\text{С}^*} k_f^4} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{0^*} k_f^4}\right)^2 - 1}}}$$

Якщо розділити обидві частини рівняння на $\sqrt{M_{\text{С}^*}}$, то тримаємо

$$\frac{I'_2}{\sqrt{M_{c*} I'_{2\text{НОМ}}}} = k_f \sqrt{M_{0*} \frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2}\right)^2 - 1}}}$$

На рисунку 3.2 дані криві

$$\frac{I'_2}{\sqrt{M_{c*} I'_{2\text{НОМ}}}} = \varphi \left(\frac{M_{c*} k_f^2}{k_u^2} \right)$$

для різних значень $b_{\text{НОМ}}$, побудовані за рівнянням $I'_2 / \sqrt{M_{c*} I'_{2\text{НОМ}}}$.

При застосуванні формули $I'_2 / \sqrt{M_{c*} I'_{2\text{НОМ}}}$ або кривих рисунку 3.2 слід в загальному випадку користуватися відповідною залежністю M_{c*} від частоти $f = k_f f_{\text{НОМ}}$.

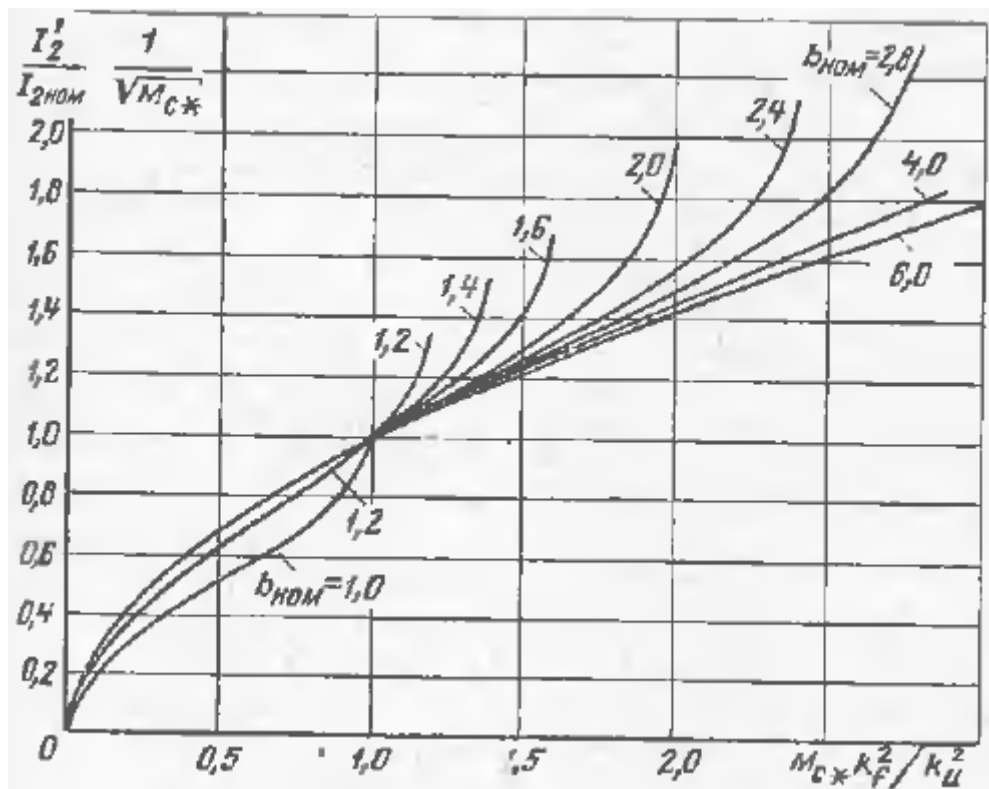


Рис. 2.3 Криві кратності струму ротора

Знайдемо необхідне зниження навантаження для того, щоб при зниженні напруги струм ротора залишився рівномірним номінальному при номінальній частоті.

Приймаючи $I'_2 = I'_{2\text{НОМ}}$, при $k_f = 1$ отримуємо

$$M_{c*} = \frac{\sqrt{2b_{\text{НОМ}} k_u^2 (b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}) - 1}}{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}.$$

Під час роботи з номінальним моментом опору і незмінним значенням магнітного потоку при дотриманні рівності $k_u = k_f$ струм ротора буде зберігатися рівним номінальному струму.

Для визначення струму статора і споживаних з мережі активної і реактивної потужностей необхідно знати зміну фази приведенного струму ротора по відношенню до напруги мережі.

Нехтуючи активним опором статора, знаходимо

$$\text{tg } \varphi' \approx \frac{1}{b_c + \sqrt{b_c^2 - 1}} = \frac{1}{\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2}\right)^2 - 1}}.$$

За відомими тригонометричними співвідношеннями знаходимо з останнього рівняння

$$\sin \varphi' = \frac{1}{\sqrt{2b_c (b_c + \sqrt{b_c^2 - 1})}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{2b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \left[\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2}\right)^2 - 1 \right]}};$$

$$\cos \varphi' = \sqrt{\frac{b_c + \sqrt{b_c^2 - 1}}{2b_c}}.$$

При роботі з номінальним моментом опору і незмінним значенням магнітного потоку кут зсуву між напругою мережі і приведеним струмом ротора рівний номінальному.

Для визначення активної потужності і реактивної потужності розсіювання споживаних двигуном з мережі, знайдемо активну I'_{2a} і реактивну I'_{2p} складові струму ротора. На основі рівнянь для $I'_2/I'_{2\text{НОМ}}$, $\sin \varphi'$ і $\cos \varphi'$ отримаємо

$$\frac{I'_{2a}}{I'_{2\text{НОМ}}} = \frac{I'_2}{I'_{2\text{НОМ}}} \cos \varphi' = \frac{M_{c*} k_f}{k_u} \times \sqrt{\frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{2b_{\text{НОМ}}}};$$

$$\frac{I'_{2p}}{I'_{2\text{НОМ}}} = \frac{I'_2}{I'_{2\text{НОМ}}} \sin \varphi' = \frac{M_{c*} k_f}{k_u} \times \frac{\sqrt{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}}{\sqrt{2b_{\text{НОМ}} \left[\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \right)^2 - 1} \right]}}$$

і при $b_{\text{НОМ}} \geq 1,6$, $b_c \geq 1,6$

$$\frac{I'_{2p}}{I'_{2\text{НОМ}}} \approx \frac{M_{c*}^2 k_f^3}{2b_{\text{НОМ}} k_u^3}$$

Струм статора і його фаза. Струм статора можна представити у вигляді геометричної суми активної і реактивної складових:

$$\begin{cases} I_{1a} = I_0 \cos \varphi_0 + I'_2 \cos \varphi'; \\ I_{1p} = I_0 \sin \varphi_0 + I'_2 \sin \varphi', \end{cases}$$

тобто

$$I_1 = \sqrt{I_{1p}^2 + I_{1a}^2} = \sqrt{(I_0 \sin \varphi_0 + I'_2 \sin \varphi')^2 + (I_0 \cos \varphi_0 + I'_2 \cos \varphi')^2},$$

або без врахування активних втрат холостого ходу ($\sin \varphi_0 \approx 1,0$)

$$I_1 = \sqrt{(I_0 + I'_2 \sin \varphi')^2 + (I'_2 \cos \varphi')^2}.$$

Активна і реактивна потужності, які споживаються з мережі.

Активна потужність визначається при підстановці значень активного струму статора $I_{1a} = I_1 \cos \varphi$ і активної складової струму ротора:

$$P_1 = \sqrt{3} U_{1\text{НОМ}} k_u \left(I_0 \cos \varphi_0 + \frac{I'_{2\text{НОМ}} M_{c*} k_f}{k_u} \sqrt{\frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{2b_{\text{НОМ}}}} \right),$$

звідки при номінальному режимі

$$P_{1\text{НОМ}} = \sqrt{3} U_{1\text{НОМ}} \left(I_{0\text{НОМ}} \cos \varphi_{0\text{НОМ}} + I'_{2\text{НОМ}} \sqrt{\frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{2b_{\text{НОМ}}}} \right),$$

де $U_{1\text{НОМ}}$ – номінальна лінійна напруга.

Споживана з мережі активна потужність більш точно визначається по навантаженню на валу і втратами в роторі і статорі при заданих k_u і k_f .

Для приблизного визначення номінального ковзання по заміряним в навантажувальному досліді потужності P_1 , ковзанню s і відомій потужності $P_{\text{НОМ}}$ візьмемо співвідношення для P_1 і для $P_{1\text{НОМ}}$, при $k_u = k_f = 1,0$, нехтуючи втратами в сталі:

$$P_1 / P_{1\text{НОМ}} \approx M_{c*},$$

$$s_{\text{НОМ}} \approx s \frac{P_{1\text{НОМ}}}{P_1} = s \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}} P_1}.$$

Реактивна потужність двигуна визначається реактивною потужністю намагнічування Q_0 і реактивною потужністю розсіювання Q_p .

Реактивна потужність намагнічування $Q_0 = \sqrt{3} U_1 I_0 (\sin \varphi_0 \approx 1,0)$ практично не залежить від навантаження двигуна.

При номінальному режимі $Q_{0\text{НОМ}} \approx \sqrt{3} U_{1\text{НОМ}} I_{0\text{НОМ}}$.

Співвідношення реактивних потужностей

$$\frac{Q_0}{Q_{0\text{НОМ}}} \approx k_u \frac{I_0}{I_{0\text{НОМ}}},$$

або, застосована в першому наближенні $I_0 \approx I_{0\text{НОМ}} k_u/k_f$,

$$\frac{Q_0}{Q_{0\text{НОМ}}} \approx \frac{k_u^2}{k_f}.$$

Оскільки в дійсності намагнічуючий струм при підвищенні напруги більше за номінальну або зниженні частоти збільшується більш різко, реактивна потужність при цьому збільшується в більшій степені, чим пропорційно квадрату напруги і обернено пропорційно до частоти.[9]

Реактивна потужність розсіювання

$$Q_p = \sqrt{3} U_1 I'_2 \sin \varphi' = \sqrt{3} U_1 I'_{2p} = \sqrt{3} k_u U_{1\text{НОМ}} I'_{2p}.$$

При заміні тут I'_{2p} отримаємо

$$Q_p = \sqrt{3} U_{1\text{НОМ}} I'_{2\text{НОМ}} M_{c*} k_f \times \frac{\sqrt{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}}{\sqrt{2b_{\text{НОМ}} \left[\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \right)^2 - 1} \right]}}.$$

При номінальному режимі

$$Q_{p,\text{НОМ}} = \sqrt{3} U_{1\text{НОМ}} I'_{2\text{НОМ}} \times \frac{1}{\sqrt{2b_{\text{НОМ}} (b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1})}}.$$

При критичному ковзанні

$$\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} = 1 \text{ і } M_{c*} = \frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{k_f^2};$$

$$Q_{p,kr} = \frac{\sqrt{3} U_{1НОМ} I'_{2НОМ} b_{НОМ} k_u^2 \times \sqrt{b_{НОМ} + \sqrt{b_{НОМ}^2 - 1}}}{k_f \sqrt{2b_{НОМ}}}$$

При $k_u = k_f = 1,0$ і $\sqrt{b_{НОМ} + \sqrt{b_{НОМ}^2 - 1}} \approx \sqrt{2b_{НОМ}}$

$$Q_{p,kr} \approx \sqrt{3} U_{1НОМ} I'_{2НОМ} b_{НОМ} \cos \varphi_{НОМ} \approx P_{НОМ} b_{НОМ}$$

Відношення реактивних потужностей

$$\frac{Q_p}{Q_{p,НОМ}} = M_{C*} k_f \times \frac{b_{НОМ} + \sqrt{b_{НОМ}^2 - 1}}{\frac{b_{НОМ} k_u^2}{M_{C*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{НОМ} k_u^2}{M_{C*} k_f^2}\right)^2 - 1}};$$

$$\frac{Q_{p,kr}}{Q_{p,НОМ}} = \frac{k_u^2}{k_f} b_{НОМ} (b_{НОМ} + \sqrt{b_{НОМ}^2 - 1}) \approx 2b_{НОМ}^2 \frac{k_u^2}{k_f}$$

Висновок розділу 2

В даному розділі проаналізовані умови споживачів електроенергії, зокрема, системи власних потреб електростанцій при відхиленні напруги і частоти мережі від номінальних значень .

Встановлено, що зниження напруги і частоти має негативний вплив на роботу електроприймачів і технологічної частини електростанції, оскільки відхилення цих параметрів від номінальних значень призводить до значних збитків, зменшенню продуктивності, ККД, терміну служби обладнання і т.д.

На ТЕЦ найбільш чутливими до змін напруги і частоти є асинхронні двигуни, оскільки зміна цих параметрів суттєво впливає на його продуктивність. Особливо небезпечним є зниження напруги, адже при значному спаді напруги можливий «скид» двигуна. Зниження частоти також є дуже небезпечним явищем, адже виникає можливість виникнення лавини частоти.

Також в даному розділі було розглянуто основні навантажувальні властивості асинхронних двигунів власних потреб, а саме робота асинхронних двигунів при змінюванні навантаження на валу, напруги і частоти живильної мережі.

Наведено формули, які необхідні для розрахунку таких режимних параметрів асинхронних двигунів як електрорушійна сила і магнітний потік, обертовий момент, ковзання і кутова швидкість, намагнічуючий струм, струм ротора і його фаза, струм статора і його фаза, активна і реактивна потужності споживані з мережі.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		89

ТИТУЛКА РОЗДІЛУ 3

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		90

Ковзання при постійному навантаженні при підвищенні напруги буде змінюватися практично обернено пропорційно квадрату напруги. При зменшенні напруги ковзання буде змінюватися в більшій степені. На рис. 3.1 і рис.3.2 дані криві залежності ковзання від напруги при номінальному навантаженні і частоті.

Струм ротора при підвищенні напруги змінюється обернено пропорційно напрузі. Дійсно, при підвищеній напрузі $\frac{b_{\text{ном}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} > 1,6$, то при $b_{\text{ном}} \geq 1,6$

$$\frac{I'_2}{I'_{2\text{ном}}} \approx M_{c*} \frac{k_f}{k_u},$$

а отже, при $k_f = 1,0$

$$I'_2 \approx \frac{M_{c*} I'_{2\text{ном}}}{k_u}.$$

При зменшенні напруги ця зміна буде відбуватися в більшій мірі. Для ілюстрації на рис.3.3 і рис.3.4 дані криві зміни струмів ротора в залежності від напруги при номінальних навантаженнях і частоті.

Відношення струмів статора $I_1/I_{1\text{ном}}$ при зміні напруги буде залежати не тільки від намагнічуючого струму, але і від кратності максимального моменту. Так, наприклад, при $b_{\text{ном}} = 1,6$ і напрузі 0,8 номінальної кратність струму статора при струмі холостого ходу, рівному 0,3 від номінального, складає 1,43. Відповідно при $b_{\text{ном}} = 3$ і таких же умовах кратність струму статора буде рівна 1,25. При підвищенні напруги кратність струму статора практично не залежить від $b_{\text{ном}}$. В якості ілюстрації на рис.3.5 – рис.3.8 дані криві зміни струму статора в залежності від напруги для різних значень струму холостого ходу при номінальному моменті опору для двигуна, який має $b_{\text{ном}} = 2,8$.

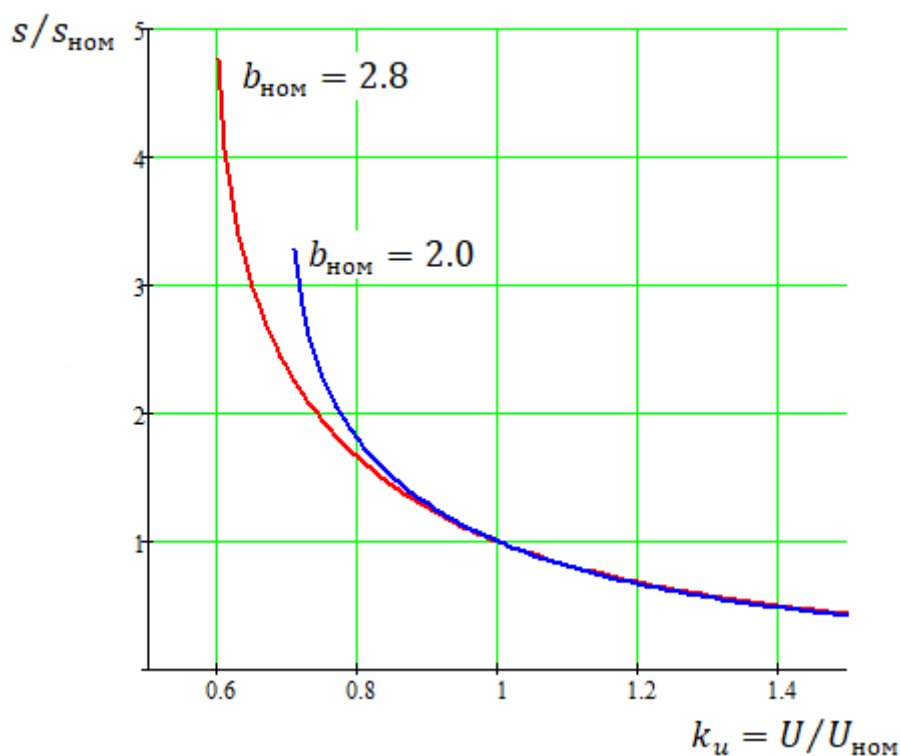


Рис. 3.1. Зміна ковзання двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{HOM}} = 2.8$ і циркуляційного насосу $b_{\text{HOM}} = 2.0$ в залежності від напруги при номінальних частоті і навантаженні

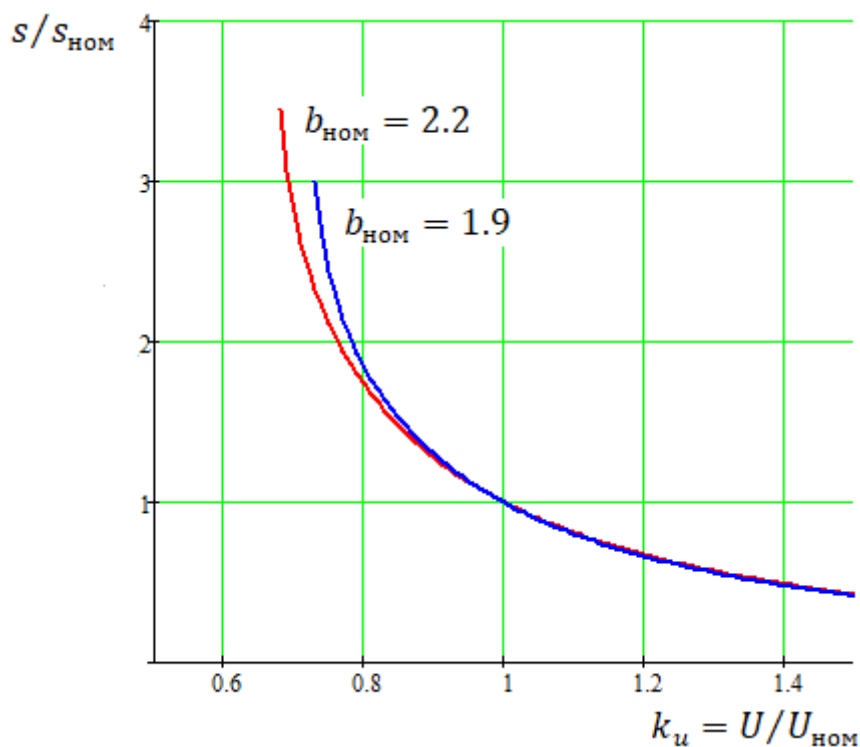


Рис. 3.2. Зміна ковзання двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{HOM}} = 2.2$ і дуттєвого вентилятора $b_{\text{HOM}} = 1.9$ в залежності від напруги при номінальних частоті і навантаженні

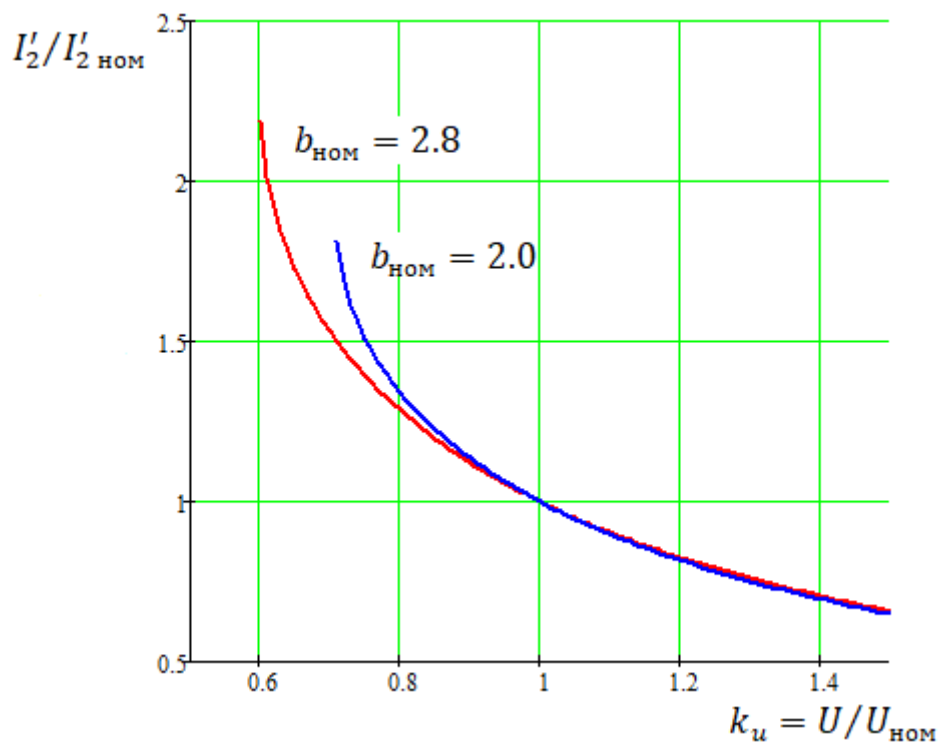


Рис. 3.3. Зміна струму ротора двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 2.8$ і циркуляційного насосу $b_{\text{ном}} = 2.0$ в залежності від напруги при роботі двигуна з номінальними частотою і навантаженням

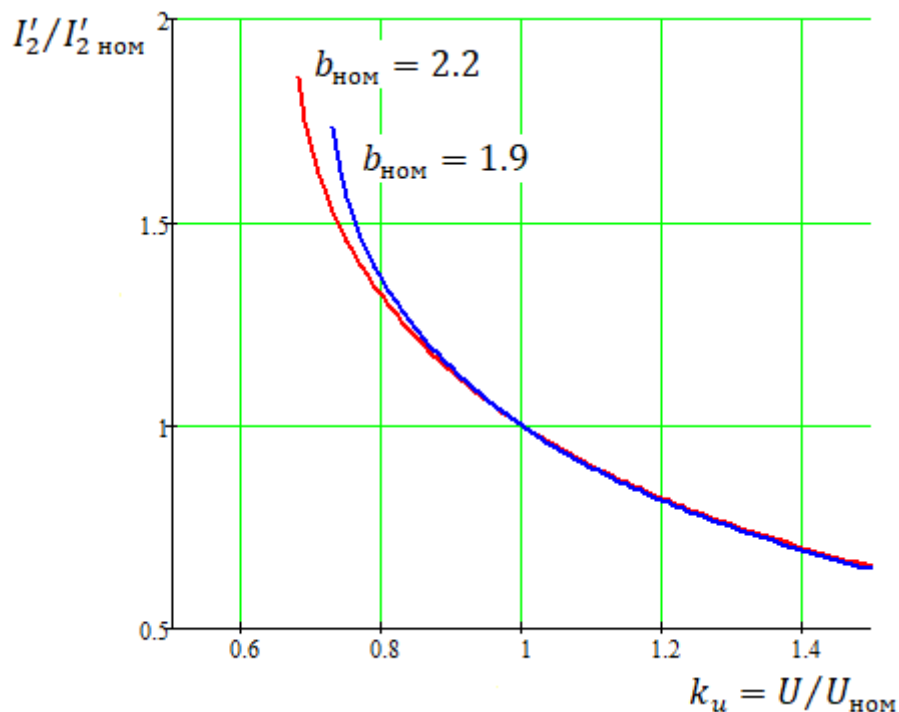


Рис. 3.4. Зміна струму ротора двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 2.2$ і дуттєвого вентилятора $b_{\text{ном}} = 1.9$ в залежності від напруги при роботі двигуна з номінальними частотою і навантаженням

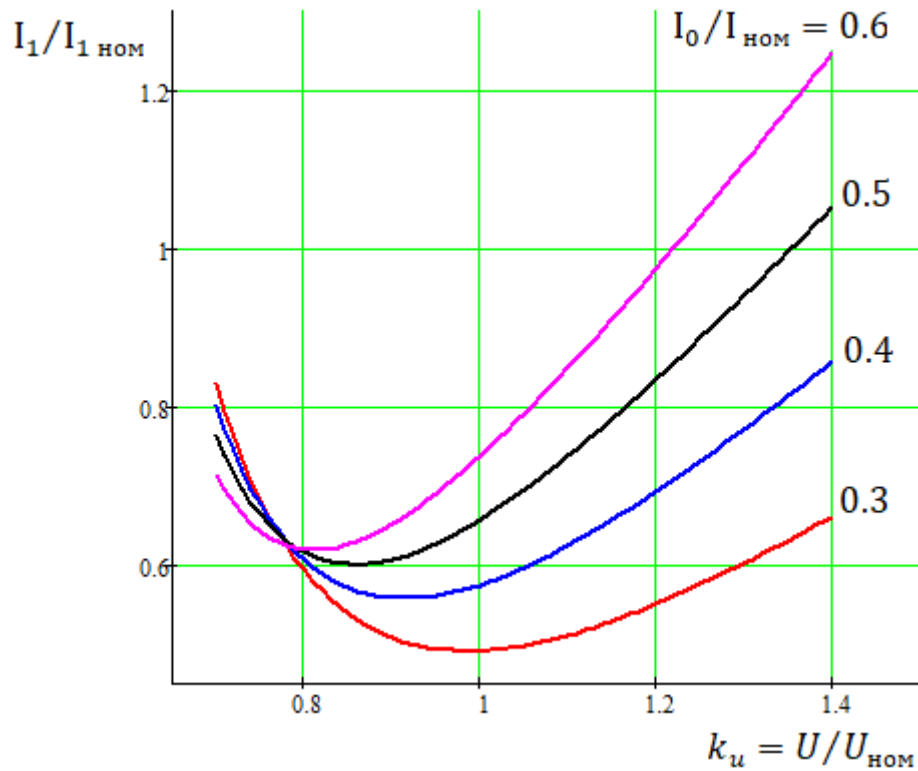


Рис. 3.5. Зміна струму статора двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 2.8$ в залежності від напруги при роботі з номінальною частотою і номінальним навантаженням

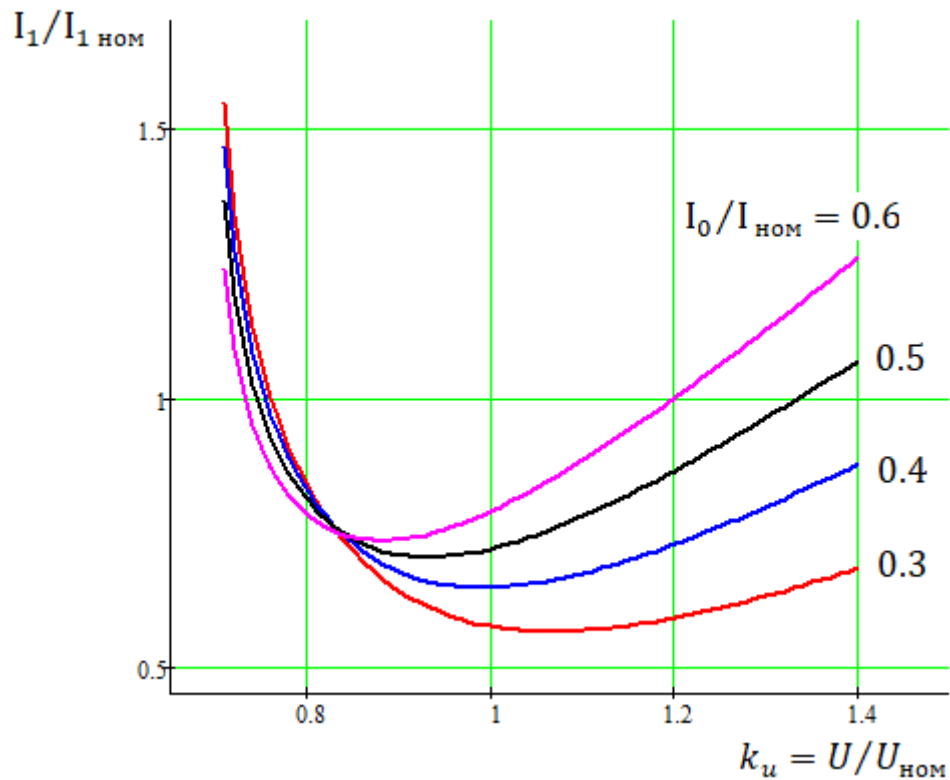


Рис. 3.6. Зміна струму статора двигуна циркуляційного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 2.0$ в залежності від напруги при роботі з номінальною частотою і номінальним навантаженням

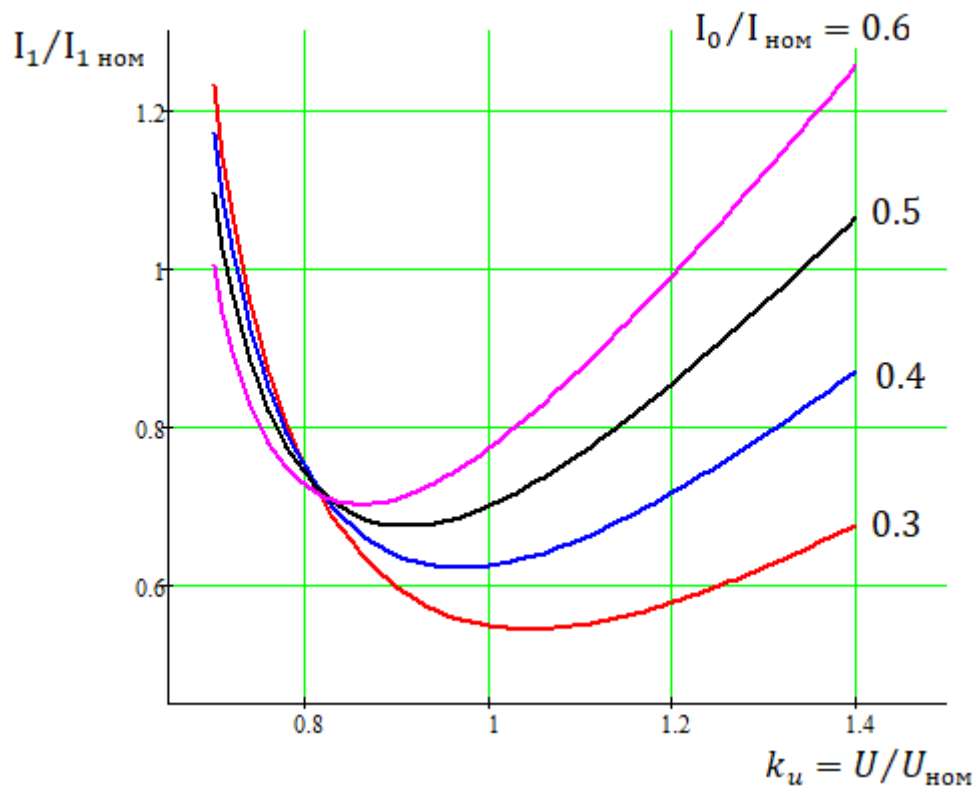


Рис. 3.7. Зміна струму статора двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 2.2$ в залежності від напруги при роботі з номінальною частотою і номінальним навантаженням

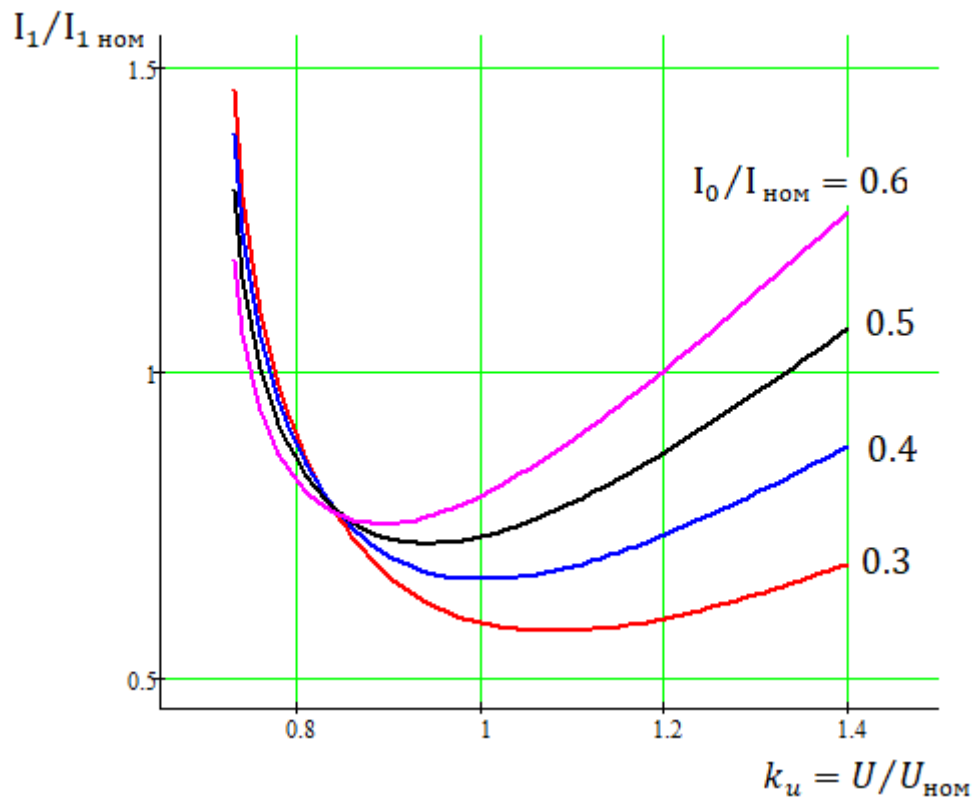


Рис. 3.8. Зміна струму статора двигуна дуттєвого вентилятора з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 1.9$ в залежності від напруги при роботі з номінальною частотою і номінальним навантаженням

На рис.3.9 - рис.3.12 дана крива I зміни реактивної потужності намагнічування $Q_0/Q_{0,ном}$ в залежності від напруги, побудована на характеристиці холостого ходу (рис. 2.2).

Реактивна потужність розсіювання зі збільшенням напруги змінюється обернено пропорційно квадрату напруги, а при зниженні напруги збільшується в більшій степені. На тих же рис.3.9 - рис.3.12 приведені криві зміни реактивної потужності розсіювання $Q_p/Q_{p,ном}$ і повної реактивної потужності $Q/Q_{ном}$ для двигунів з різними $b_{ном}$ і $\cos \varphi_{ном} = 0,88$ при роботі з постійним моментом опору, рівним номінальному, де для даних двигунів $I_{0,ном}/I_{1,ном} = 0,3$. [9]

3.1.2 Визначення закону зміни напруги при зміні частоти. Доволі важливим для практики питанням являється визначення бажаного закону зміни напруги при змінюванні частоти з точки зору впливу зміни напруги на основні параметри режиму роботи двигуна при заданій частоті $f = k_f f_{ном}$, яка відрізняється від номінальної.

Таблиця 3.1

Закон изменения напряжения	Определяемые величины и их общие выражения						
	$b_c = \frac{b_{ном} k_u^2}{M_{с*} k_f^2}$	$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{ном}} = \frac{M_{с*} k_f}{k_u^2}$	$\frac{I_2'}{I_{2,ном}'} = \frac{M_{с*} k_f}{k_u}$	$\frac{\Phi}{\Phi_{ном}} = \frac{k_u}{k_f}$	$\frac{Q_0}{Q_{0,ном}} = \frac{k_u^2}{k_f}$	$\frac{Q_p}{Q_{p,ном}} = \frac{M_{с*}^2 k_f^3}{k_u^2}$	$\frac{Q}{Q_{ном}} = c \frac{Q_0}{Q_{0,ном}} + (1-c) \frac{Q_p}{Q_{p,ном}}$
$k_u = k_f = 1$	$\frac{b_{ном}}{M_{с*}}$	$M_{с*}$	$M_{с*}$	1	1	$M_{с*}^2$	$c + (1-c) M_{с*}^2$
$k_u = k_f \sqrt{M_{с*}}$	$b_{ном}$	$\frac{1}{k_f}$	$\sqrt{M_{с*}}$	$\sqrt{M_{с*}}$	$k_f M_{с*}$	$k_f M_{с*}$	$k_f M_{с*}$
$k_u = k_f$	$\frac{b_{ном}}{M_{с*}}$	$\frac{M_{с*}}{k_f}$	$M_{с*}$	1	k_f	$M_{с*}^2 k_f$	$k_f [c + (1-c) M_{с*}^2]$

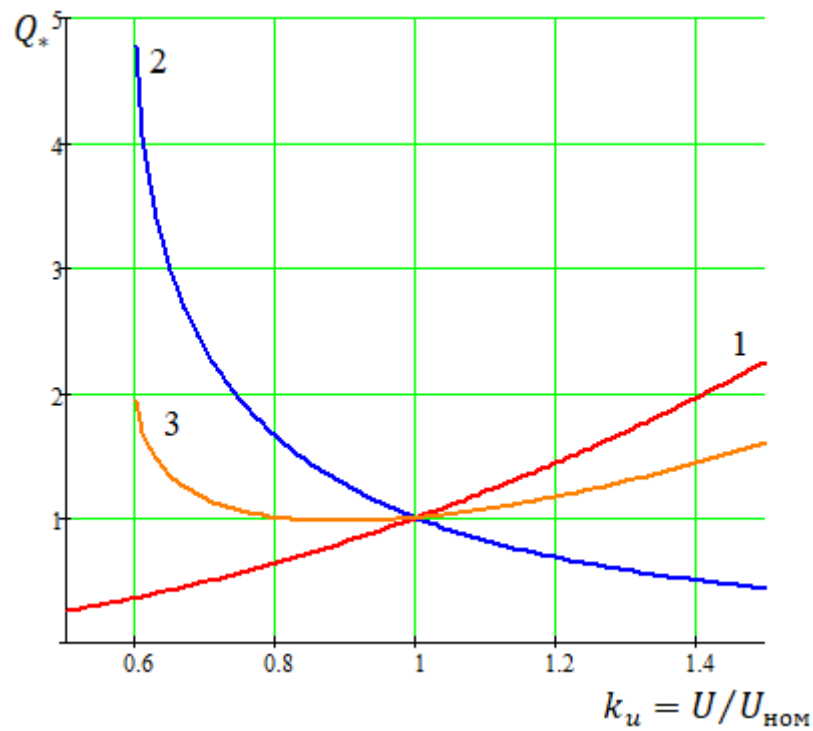


Рис. 3.9. Зміна відносних реактивних потужностей двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.8$ при номінальній частоті в залежності від напруги: 1- реактивна потужність намагнічування; 2- реактивна потужність розсіювання; 3-повна реактивна потужність

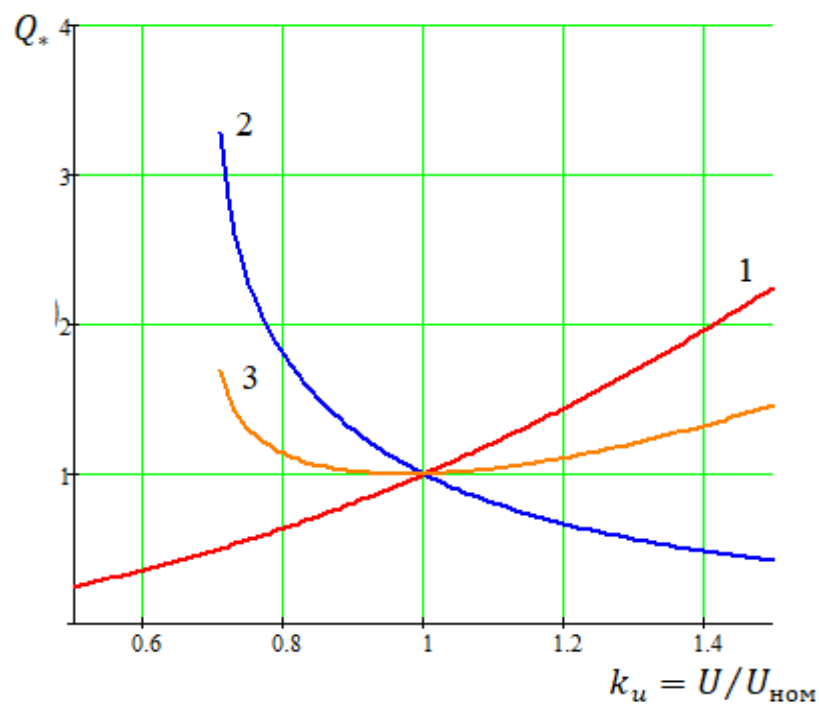


Рис. 3.10. Зміна відносних реактивних потужностей двигуна циркуляційного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.0$ при номінальній частоті в залежності від напруги: 1- реактивна потужність намагнічування; 2- реактивна потужність розсіювання; 3-повна реактивна потужність

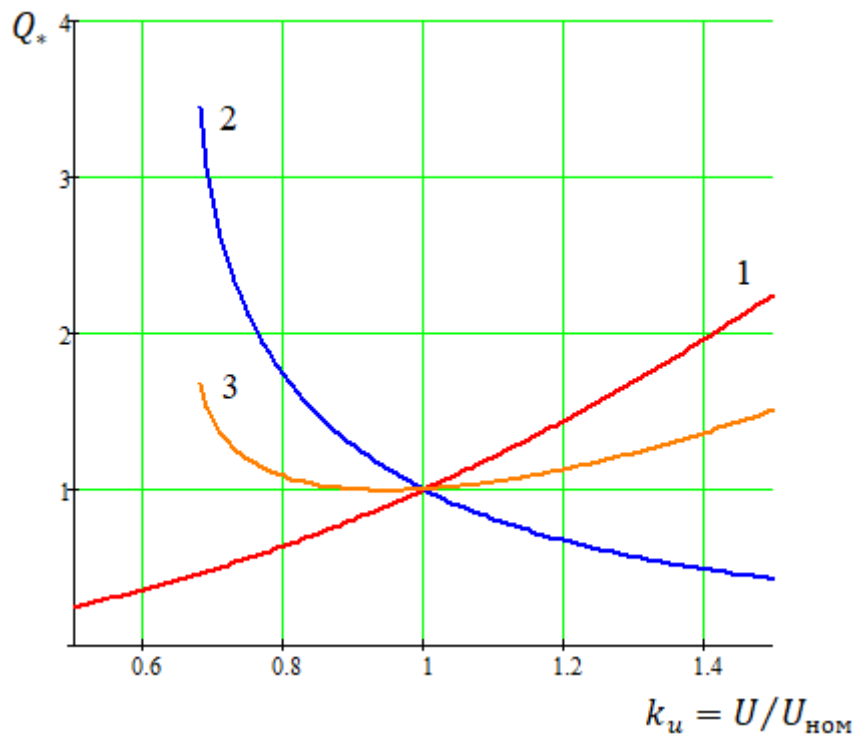


Рис. 3.11. Зміна відносних реактивних потужностей двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 2.2$ при номінальній частоті в залежності від напруги: 1- реактивна потужність намагнічування; 2- реактивна потужність розсіювання; 3-повна реактивна потужність

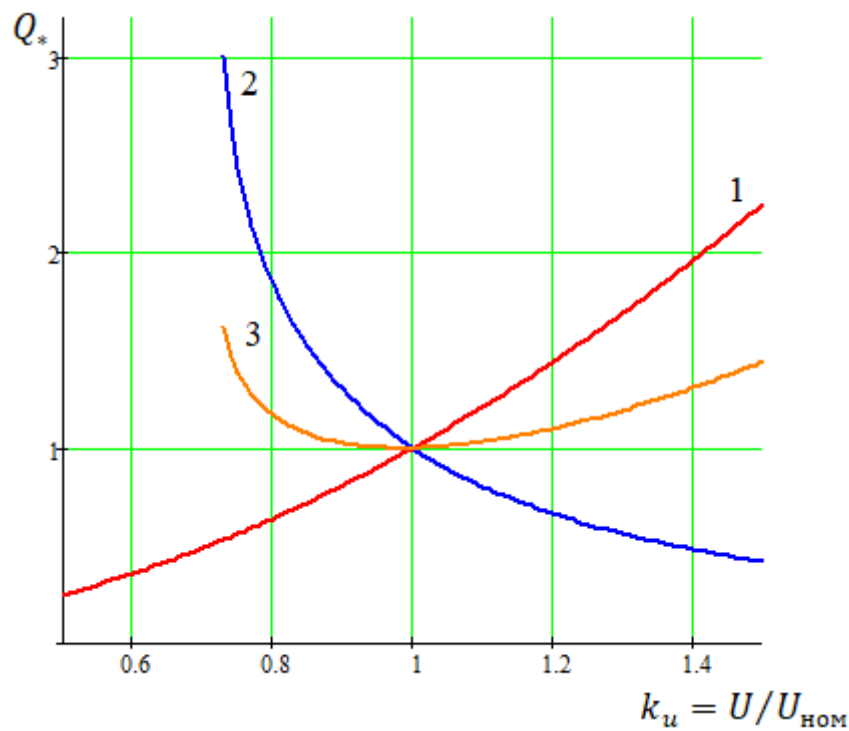


Рис. 3.12. Зміна відносних реактивних потужностей двигуна дуттєвого вентилятора з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 1.9$ при номінальній

частоті в залежності від напруги: 1- реактивна потужність намагнічування; 2- реактивна потужність розсіювання; 3-повна реактивна потужність

Порівняємо між собою наступні способи зміни напруги:

а) за умовою збереження постійної перевантажувальної здатності двигуна, рівній кратності максимального моменту,

$$k_u = k_f \sqrt{M_{c*}};$$

б) за умовою збереження постійного значення магнітного потоку

$$k_u = k_f.$$

В таблиці 3.1 дані приближенні вирази основних параметрів двигуна для випадку, коли $b_c \geq 1,6$.

З розглянутих даних, приведених в таблиці, слідує, що при номінальному моменті опору обидва закони зміни напруги від частоти приводять до однакових результатів. Але при моменті опору, меншим за номінальний, більш сприятливий являється зміна напруги пропорційно частоті (при цьому менше ковзання і струм ротора, чим при першому способі).

Порівняння повних реактивних потужностей при обох законах зміни напруги показує, що при $c > 0,5$ зміна напруги по закону $k_u = k_f$ призводить до підвищення споживання реактивної потужності у всьому діапазоні навантажень від $M_{c*} = 0$ до $M_{c*} = 1,0$ у порівнянні зі зміною по закону $k_u = k_f \sqrt{M_{c*}}$. Якщо $c < 0,5$, то при $1 > M_{c*} > M_{c1*}$ споживана реактивна потужність дещо менша у випадку зміни напруги по закону $k_u = k_f$, чим при $k_u = k_f \sqrt{M_{c*}}$, а при $M_{c*} < M_{c1*}$ або $M_{c*} > 1,0$ менші значення Q мають місце у другому випадку. [9]

Доцільно визначити закон зміни напруги, при якому споживана реактивна потужність при даних значеннях частоти і навантаження на валу

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

мінімальна. Для цього знайдемо похідну по k_u від $Q/Q_{\text{ном}}$ при заданому значенні k_f і прирівняємо її до нуля:

$$ck_u^4 - M_{c^*}^2(1 - c)k_f^4 = 0,$$

звідки

$$k_u \approx k_f \sqrt{M_{c^*}}^4 \sqrt{\frac{Q_{p,\text{ном}}}{Q_{0\text{ном}}}} \approx k_f \sqrt{M_{c^*}}^4 \sqrt{\frac{I'_{2\text{ном}}}{2b_{\text{ном}}I_{0\text{ном}}}},$$

оскільки

$$\frac{1 - c}{c} = \frac{Q_{p,\text{ном}}}{Q_{0\text{ном}}} \approx \frac{I'_{2\text{ном}}}{2b_{\text{ном}}I_{0\text{ном}}}.$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Змінення частоти при номінальній напрузі.

При зміні частоти і номінальній напрузі індукція в сталі буде змінюватися обернено пропорційно до частоти і відповідно (по характеристиці холостого ходу, наприклад, по рис. 2.2) буде змінюватися намагнічуючий струм.

Ковзання з пониженням частоти при роботі з постійним навантаженням буде змінюватися пропорційно зміні частоти, а при підвищенні частоти ковзання буде змінюватися в більшій мірі. На рис. 3.13 і рис.3.14 дані криві залежності ковзання від частоти при роботі з номінальним моментом, побудовані по формулі для ковзання при $k_u = 1,0$.

Струм ротора при зменшенні частоти і при номінальних напрузі і навантаженні буде змінюватися пропорційно до частоти, а при збільшенні частоти ця зміна буде відбуватися у більшій степені. Для ілюстрації на рис.3.15 і рис.3.16 дані криві кратності струму ротора двигуна в залежності від частоти при номінальних напрузі і моменті.

Струм статора при збільшенні частоти і номінальних напрузі і моменті буде збільшуватися, при чому це збільшення буде тим більше, чим менше струм холостого ходу. При зменшенні ж частоти струм статора при невеликих значеннях струму холостого ходу буде на початку зменшуватися, а потім збільшуватися, а при великих значеннях струму холостого ходу він буде весь час збільшуватися завдяки різкому збільшенню намагнічуючого струму зі зменшенням частоти. Для ілюстрації на рис.3.17 - рис.3.20 дані криві зміни кратності струму статора в залежності від частоти при постійному моменті, рівному номінальному, а на рис.3.21 - рис.3.24 – для моменту опору вентиляторного типу, який змінюється пропорційно квадрату частоти.[9]

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

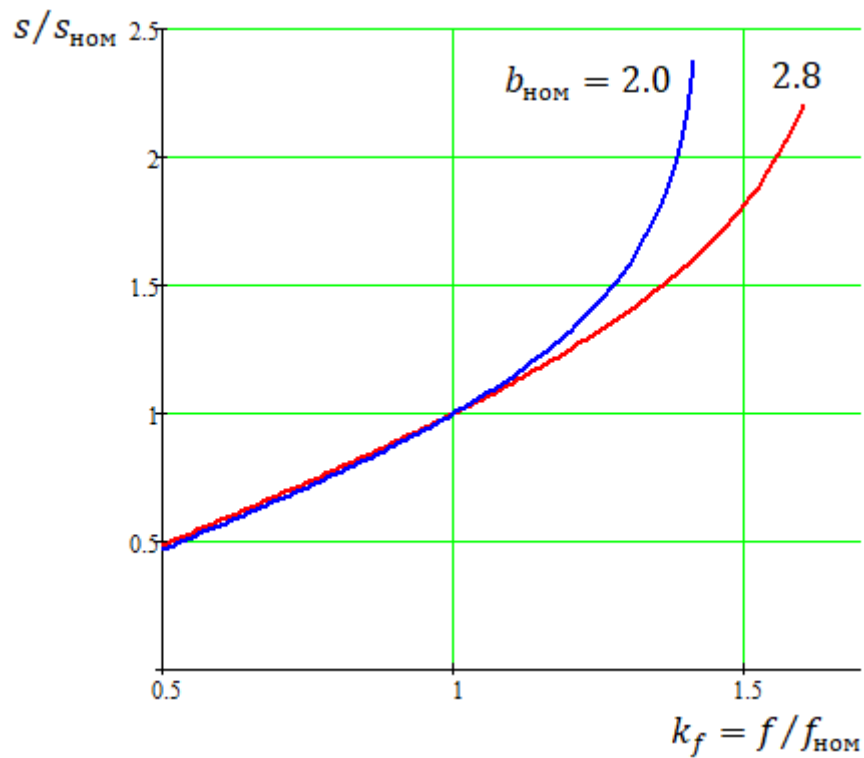


Рис. 3.13. Залежність ковзання від частоти двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{НОМ}} = 2.8$ і циркуляційного насосу $b_{\text{НОМ}} = 2.0$ при роботі двигуна з номінальною напругою і моментом

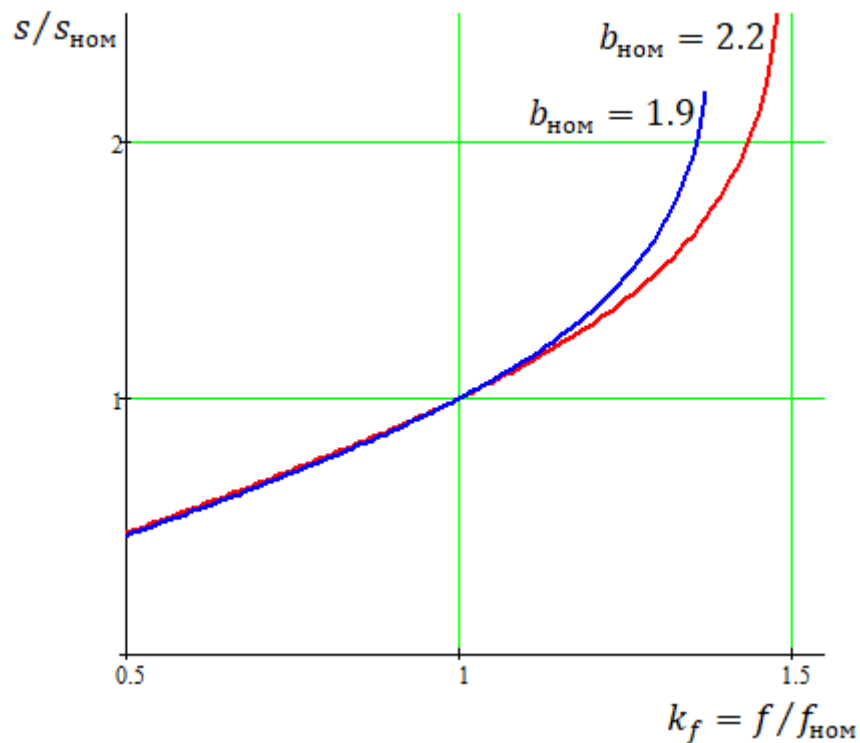


Рис. 3.14. Залежність ковзання від частоти двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{НОМ}} = 2.2$ і дуттєвого вентилятора $b_{\text{НОМ}} = 1.9$ при роботі двигуна з номінальною напругою і моментом

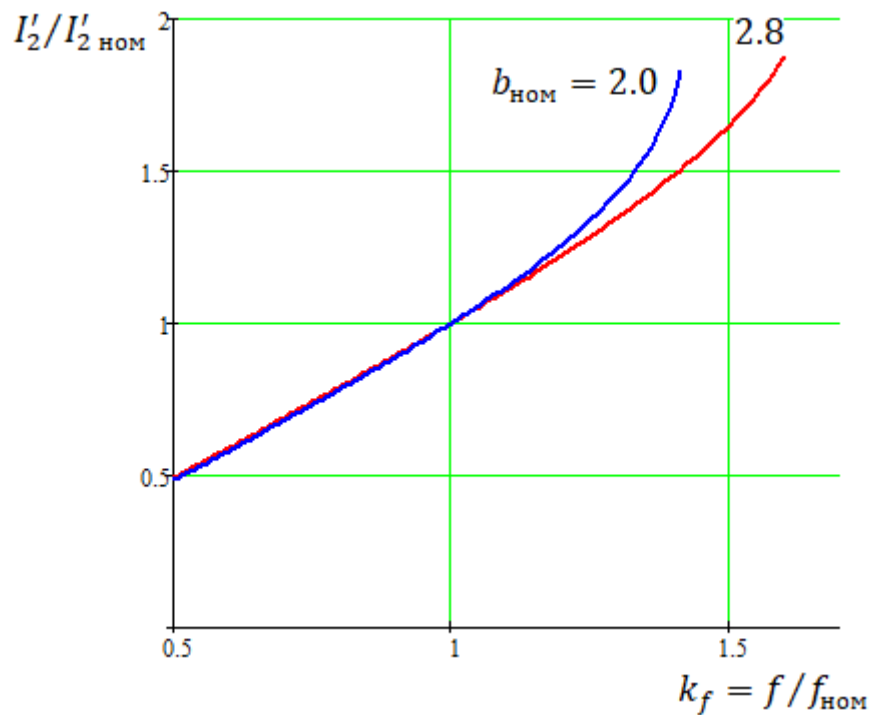


Рис. 3.15. Залежність кратності струму ротора двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{НОМ}} = 2.8$ і циркуляційного насосу $b_{\text{НОМ}} = 2.0$ від частоти при роботі двигуна з номінальною напругою і моментом

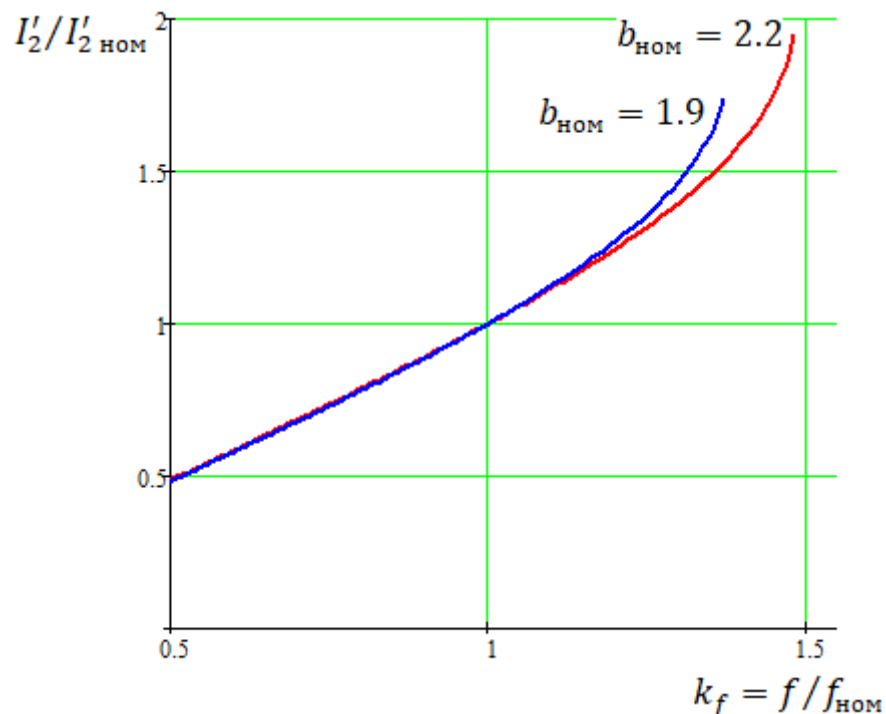


Рис. 3.16. Залежність кратності струму ротора двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{НОМ}} = 2.2$ і дуттєвого вентилятора $b_{\text{НОМ}} = 1.9$ від частоти при роботі двигуна з номінальною напругою і моментом

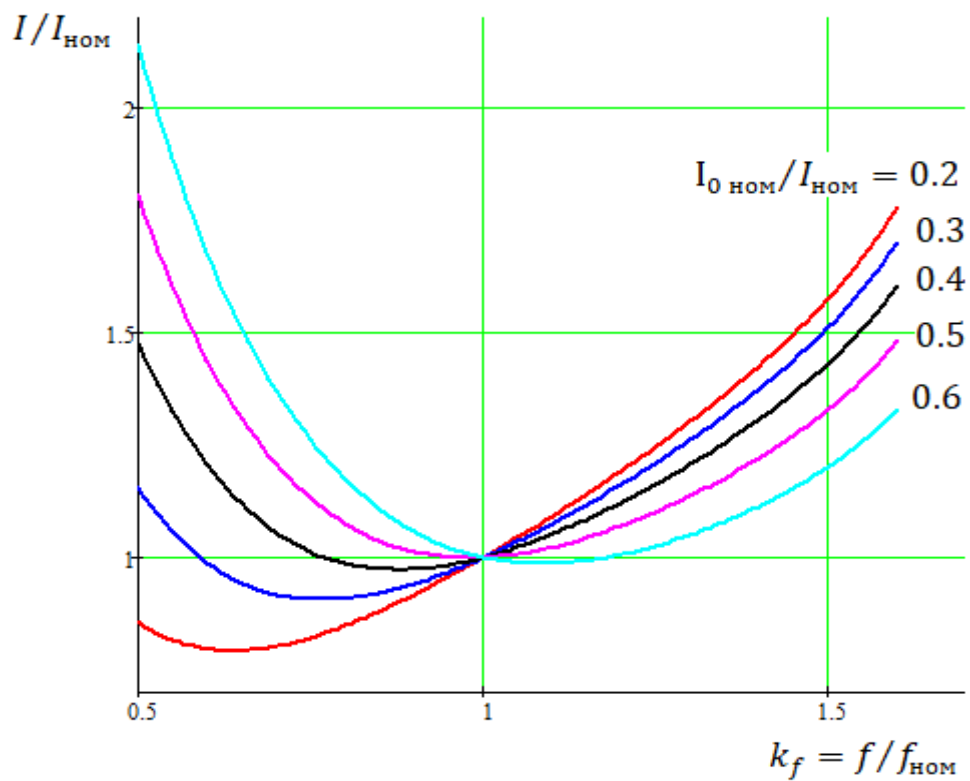


Рис. 3.17. Залежність струму статора двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{НОМ}} = 2.8$ від частоти при роботі з номінальним моментом

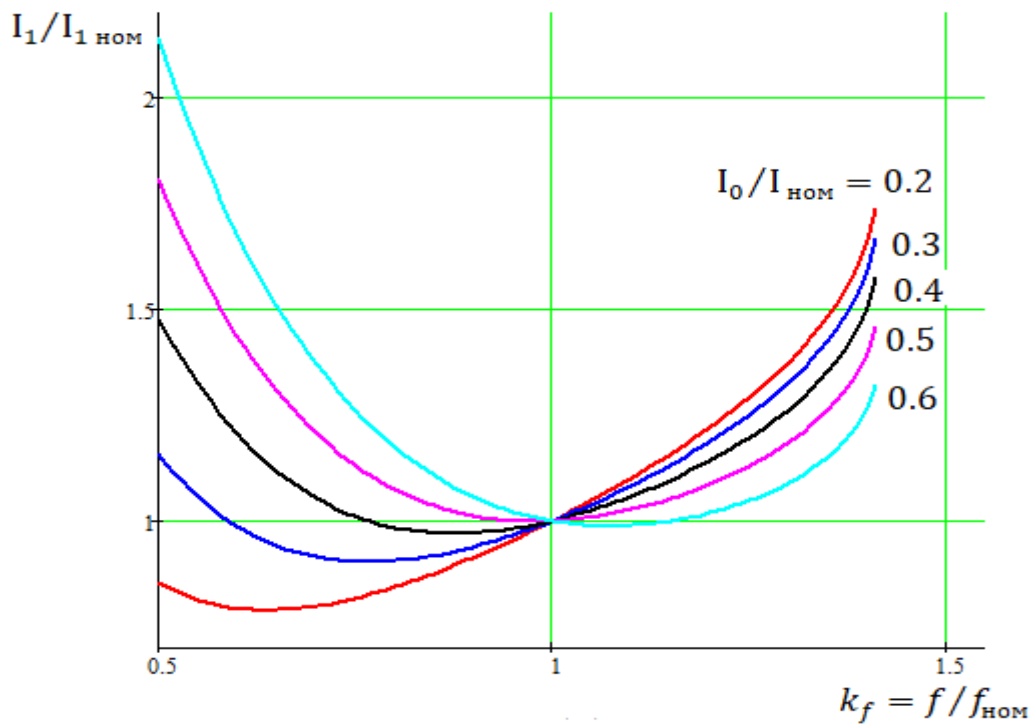


Рис. 3.18. Залежність струму статора двигуна циркуляційного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{НОМ}} = 2.0$ від частоти при роботі з номінальним моментом

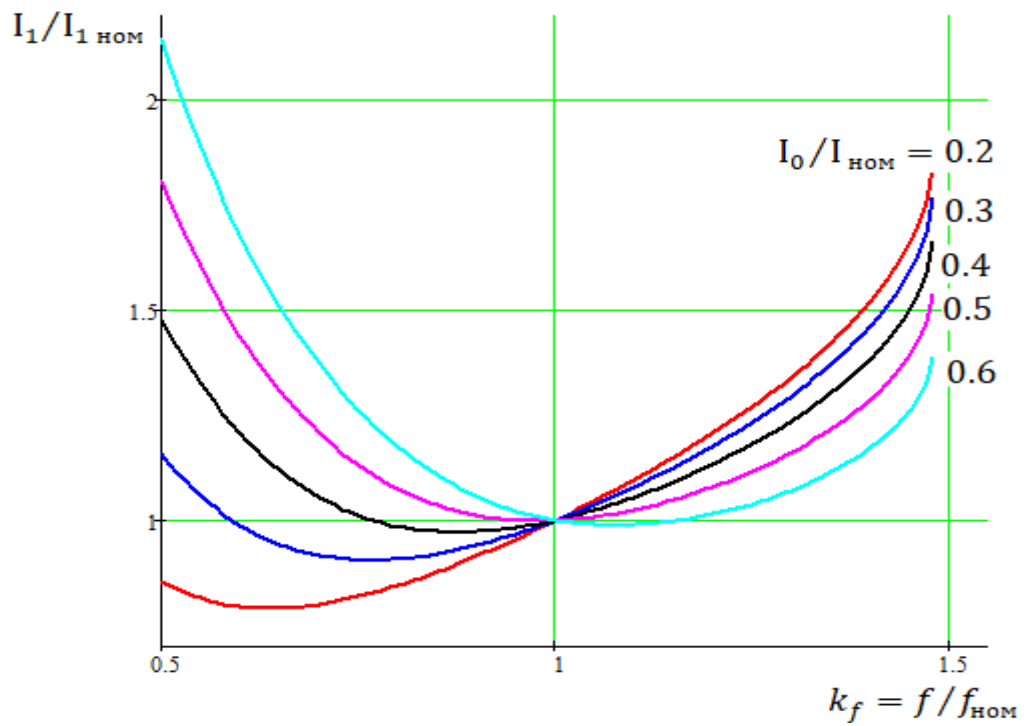


Рис. 3.19. Залежність струму статора двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 2.2$ від частоти при роботі з номінальним моментом

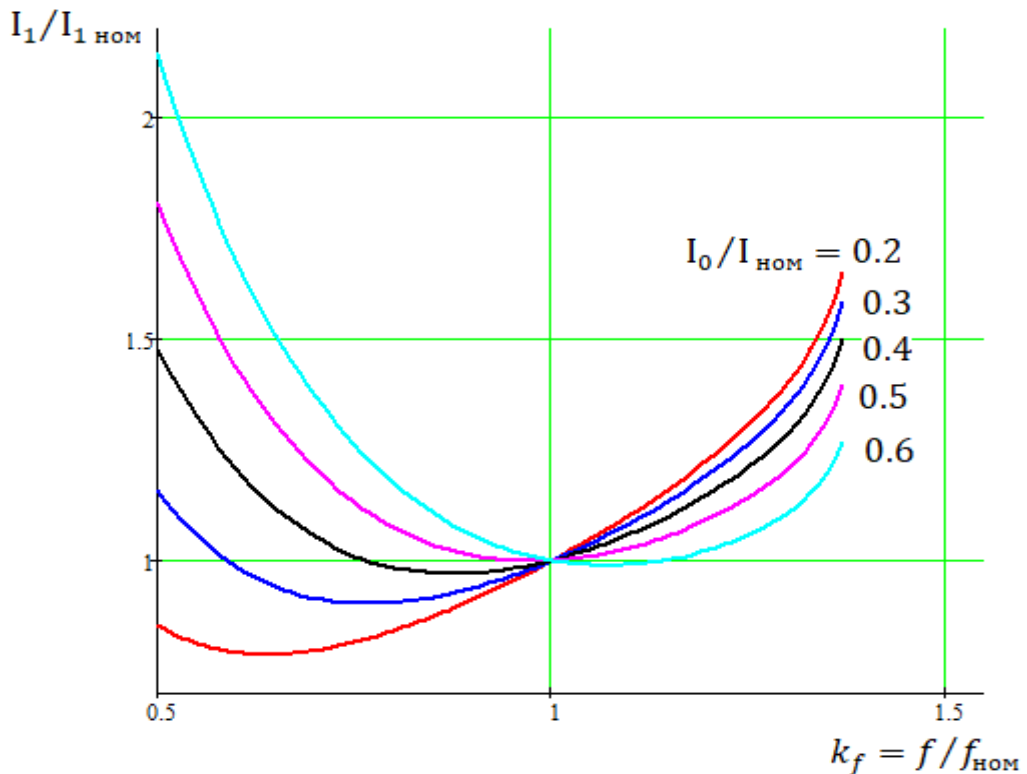


Рис. 3.20. Залежність струму статора двигуна дуттєвого вентилятора з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 1.9$ від частоти при роботі з номінальним моментом

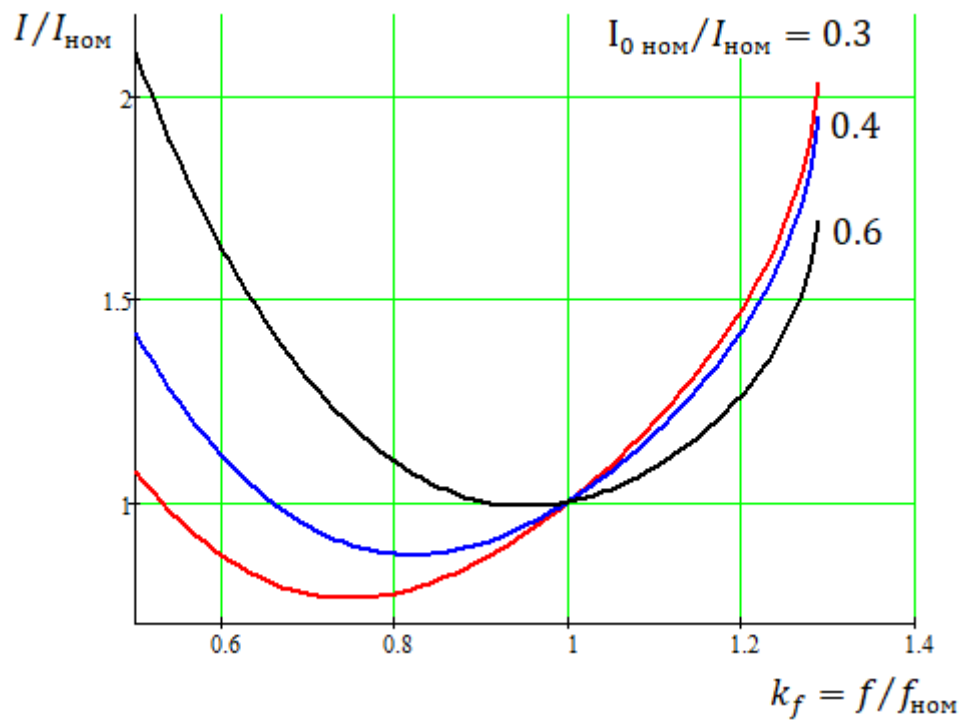


Рис. 3.21. Залежність струму статора двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{НОМ}} = 2.8$ від частоти при роботі з номінальною напругою і моментом вентиляторного типу

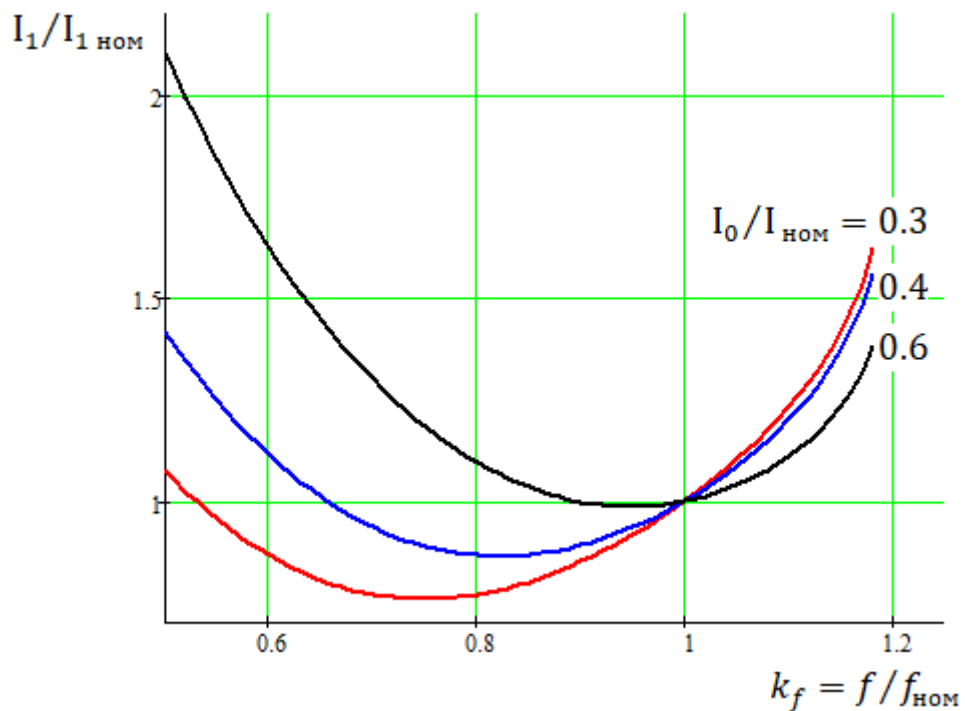


Рис. 3.22. Залежність струму статора двигуна циркуляційного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{НОМ}} = 2.0$ від частоти при роботі з номінальною напругою і моментом вентиляторного типу

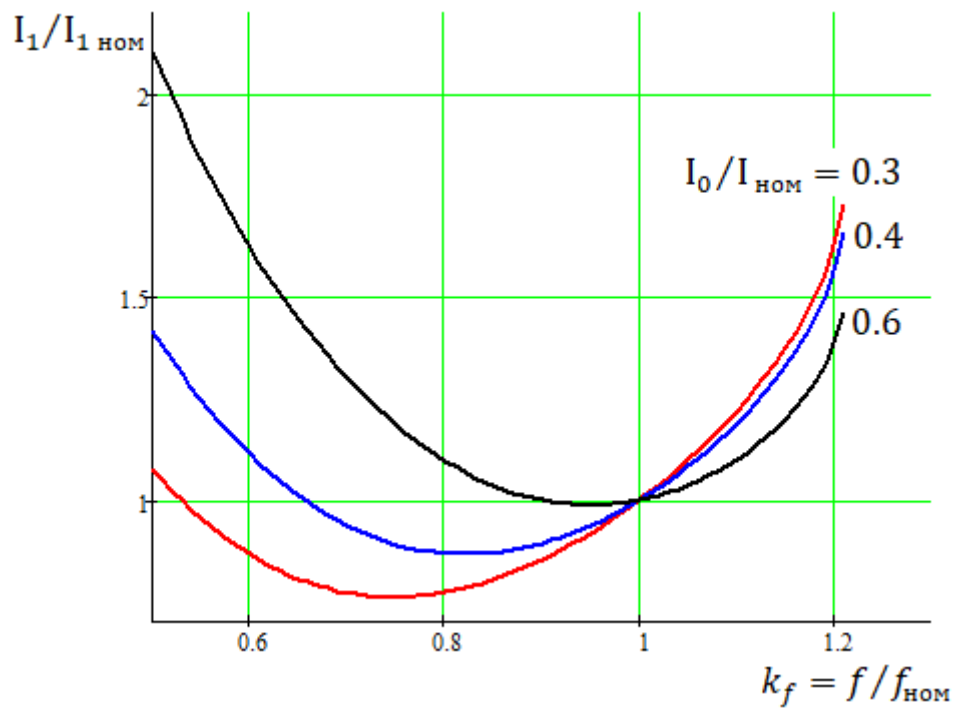


Рис. 3.23. Залежність струму статора двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 2.2$ від частоти при роботі з номінальною напругою і моментом вентиляторного типу

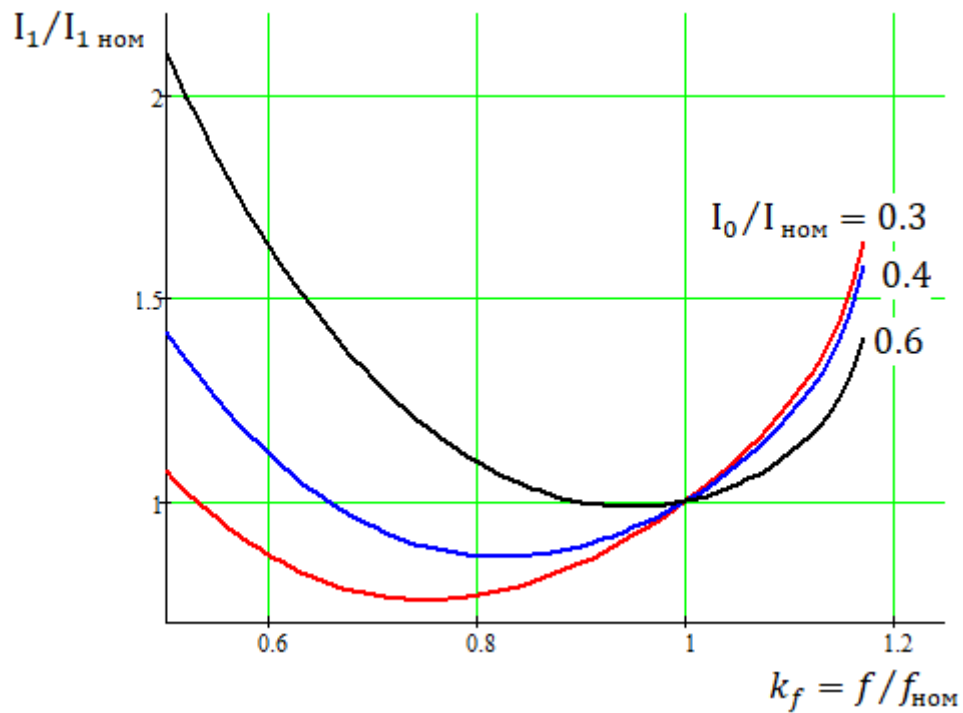


Рис. 3.24. Залежність струму статора двигуна дуттєвого вентилятора з кратністю максимального моменту $b_{\text{ном}} = 1.9$ від частоти при роботі з номінальною напругою і моментом вентиляторного типу

Висновок розділу 3

В якості об'єкту дослідження було розглянуто чотири асинхронних двигуни механізмів власних потреб ТЕЦ таких як конденсатний насос, циркуляційний насос, живильний насос, дуттєвий вентилятор.

З використанням відповідних співвідношень було розглянуто змінення ковзання, струму ротора ,струму статора і зміну відносних реактивних потужностей асинхронних двигунів при змінюванні напруги мережі. За результатами розрахунків, наведених в даному розділі встановлено, що зі зменшенням напруги ковзання збільшується, при цьому ковзання залежить також від кратності максимального моменту двигуна: чим більша кратність, тим більше збільшується ковзання. Аналогічна ситуація відбувається у випадку з залежністю струму ротора асинхронного двигуна від частоти.

Аналіз залежності струму статора двигуна від напруги живлення показує, що діапазон зміни струму статора залежить не тільки від кратності максимального моменту, але і від значення намагнічуючого струму двигуна.

Розглядаючи графіки для реактивних потужностей можна бачити, що найбільш чутлива до змінення напруги реактивна потужність розсіювання, яка збільшується в більших межах при збільшенні кратності максимального моменту.

Ковзання двигуна в залежності від частоти при номінальній напрузі збільшується в більшій мірі, при збільшенні кратності максимального моменту. Аналогічна ситуація зі струмом ротора. Як для випадку номінальної частоти і змінювання напруги струм статора при змінюванні частоти і номінальній напрузі залежить не тільки від кратності максимального моменту, а і від намагнічуючого струму двигуна.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

Загальні висновки

У даному дипломному проекті було розглянуто питання аналізу режимів роботи споживачів власних потреб теплоелектроцентралі потужністю 520 МВт.

1. На основі проведеного техніко-економічного порівняння 3-ох можливих варіантів структурних схем ТЕЦ з визначенням інтегрального ефекту і рентабельності інвестицій обґрунтовано і вибрано структурну схему електростанції. Обґрунтовано і вибрано схеми електричних з'єднань розподільчих пристроїв для різних класів напруг- 330кВ ; 110кВ та 10.5кВ , а також електричну схему електропостачання власних потреб. З використанням результатів розрахунку струмів короткого замикання було вибрано основне силове і комутаційне обладнання теплоелектроцентралі .

2. Проаналізовано умови роботи споживачів електроенергії ,зокрема,системи власних потреб електростанцій при відхиленні напруги і частоти мережі від номінальних значень .Встановлено,що зниження напруги і частоти має негативний вплив на роботу електроприймачів і технологічної частини електростанції, оскільки відхилення цих параметрів від номінальних значень призводить до значних збитків, зменшенню продуктивності, ККД, терміну служби обладнання і т.д. Але і збільшення частоти і напруги має негативний вплив на роботу двигуна, адже збільшення цих параметрів призводить до нагріву ізоляції, що призводить до зменшення строку служби двигуна.На ТЕЦ найбільш чутливими до змін напруги і частоти є асинхронні двигуни, оскільки зміна цих параметрів суттєво впливає на його продуктивність.

3. Виконано вибір співвідношень , які необхідні для розрахунку таких режимних параметрів асинхронних двигунів як електрорушійна сила і магнітний потік, обертовий момент, ковзання і кутова швидкість, намагнічуючий струм, струм ротора і його фаза, струм статора і його фаза, активна і реактивна потужності споживані з мережі.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

4. Для асинхронних двигунів механізмів власних потреб ТЕЦ (конденсатний насос, циркуляційний насос, живильний насос, дуттєвий вентилятор) з використанням відповідних співвідношень було розраховано змінення ковзання, струму ротора, струму статора і реактивних потужностей асинхронних двигунів при змінюванні напруги і частоти мережі. За результатами розрахунків, встановлено, що зі зменшенням напруги ковзання збільшується, при цьому ковзання залежить також від кратності максимального моменту двигуна: чим більша кратність, тим більше збільшується ковзання. Аналогічна ситуація відбувається у випадку з залежністю струму ротора асинхронного двигуна від частоти. Характер змінення струму статора суттєво залежить від струму намагнічування.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій: Навчальний посібник/ Укл.: Є.І. Бардик, П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв./ – К.: НТУУ «КПІ», 2011 – 105 с.

2. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Частина 2: Навчальний посібник/ Укл.: Є.І. Бардик, П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 82 с.

3. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Частина 3: Навчальний посібник/ Укл.: П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв, О.Г. Філатов./ – К.: НТУУ «КПІ», 2014 – 103 с.

4. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций. - М.: «Энергия», 1976. – 552 с.

5. Проектування електричних станцій, ч.1/ Методичні вказівки до виконання курсового проекту/ Укл.: П.Л. Денисюк./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 73 с.

6. Проектування електричних станцій, ч.2/ Методичні вказівки до виконання курсового проекту/ Укл.: П.Л. Денисюк./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 74 с.

7. Проектування електричних станцій, ч.3/ Методичні вказівки до виконання курсового проекту/ Укл.: П.Л. Денисюк, Г.М. Гаєвська./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 61 с.

8. Основи проектування теплових та гідравлічних електростанцій: Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи/ Укл.: П.Л. Денисюк, Є.І. Бардик, Р.В. Вожаков./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 66 с.

9. Сиромятніков І.А. Режимы работы асинхронных і синхронных двигунів/Під ред. Л.Г. Магіконяця. – 4 видання, перероб. і доп. – М.:Енергоатоміздат, 1984. – 240с., іл.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

10. БардикЄ.І. Електрична частина електричних станцій та підстанцій.
Основне електрообладнання [Текст] :навч. Посібн. /Є.І. Бардик, М.П. Лукаш
.-К.: НТУУ КПІ ,2011 .-220 с.

					141.ЕТ-7102.001.БР.ПЗ	11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Пояснювальна записка
до дипломного проекту

на тему: Режими роботи електроприймачів власних потреб
теплоелектроцентралі потужністю 520 МВт при змінюванні напруги і частоти

Київ – 2021 рік

Реферат

Даний бакалаврський проект представлений на 109 аркушах і складається з 3 розділів. Проект містить 21 таблицю, 27 графіків, 3 листи з кресленнями формату А1, висновки до кожного розділу, загальні висновки та список використаної літератури, який містить 9 джерел.

У бакалаврському проекті представлено спроектовану теплоелектроцентрально з встановленою потужністю 520МВт. Для даної електростанції було вибрано найбільш доцільну та економічно вигідну схему електричних з'єднань, також було вибрано основне обладнання та схеми електричних з'єднань усіх розподільчих пристроїв, зокрема схема живлення власних потреб. Також було розраховано струми короткого замикання на ГРП 10.5кВ методом розрахункових кривих і за отриманими даними було вибрано основне комутаційне устаткування на генераторній напрузі.

Після того було розглянуто характеристики режимів роботи електроприймачів власних потреб при зміні напруги і частоти електричної мережі. Зокрема було проаналізовано вплив зниження напруги і частоти на роботу електроприймачів і технологічну частину станції, основні навантажувальні властивості асинхронних двигунів та представлено формули для розрахунку основних параметрів усталеного режиму для різних значень навантаження на валу, напруги і частоти мережі.

В роботі було досліджено режими роботи електроприймачів власних потреб при змінюванні напруги і частоти електричної мережі. Об'єктом дослідження представлено 4 різних асинхронних двигуни, які слугують приводом для механізмів власних потреб теплоелектроцентралі для яких побудовані характеристики зміни струму статора і ротора, ковзання, реактивних потужностей при зміні напруги і частоти мережі. Сформульовано висновки за отриманими результатами.

Abstract

This bachelor's project is presented on 109 sheets and consists of 3 sections. The project contains 21 tables, 27 graphs, 3 sheets with drawings in A1 format, conclusions for each section, general conclusions and a list of references, which contains 9 sources.

The bachelor's project presents a designed thermal power plant with an installed capacity of 520 MW. The most expedient and cost-effective wiring diagram was selected for this power plant, the basic equipment and wiring diagrams of all switchgear were also selected, in particular the scheme of power supply of own needs. Also, short-circuit currents on 10.5 kV were calculated by the method of calculated curves and according to the obtained data the main switching equipment at generator voltage was selected.

After that, the characteristics of the modes of operation of electric receivers of their own needs when changing the voltage and frequency of the electrical network were considered. In particular, the impact of voltage and frequency reduction on the operation of electrical receivers and the technological part of the station was considered, basic load properties of induction motors and formulas for calculating the basic parameters of the steady state for different values of the load on the shaft, voltage and frequency of the network.

The modes of operation of electric receivers of own needs at change of voltage and frequency of an electric network were investigated in work. The object of the study is 4 different asynchronous motors, which serve as a drive for the mechanisms of the thermal power plant's own needs, for which the characteristics of stator and rotor current change, slip, reactive power when changing the voltage and frequency of the network are built. The conclusions based on the obtained results are formulated.

					141.ET-7104.004.БР.ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1. Вибір структурної схеми електричної станції. Техніко-економічне порівняння варіантів.

					141.ЕТ-7102.001.БР. ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробник	Бабенко А.Ю.				Режими роботи електроприймачів власних потреб теплоелектроцентралі потужністю 520 МВт при змінюванні напруги і частоти	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Бардик Є.І.						12	113
Н. контр.	Матєєнко Ю.П.				Вибір головної схеми електричних з'єднань станції	НТУУ «КПІ ім. Сікорського» кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕТ-71		
Зав. Каф.	Будько В.І.							

2. Характеристика режимів роботи електроприймачів власних потреб електростанції при змінній напруги і частоти в мережі

					141.ЕТ-7104.004.БР. ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробник.		Бабенко А.Ю.			Режими роботи електроприймачів власних потреб теплоелектроцентралі потужністю 520 МВт при змінюванні напруги і частоти. Характеристика режимів роботи електроприймачів власних потреб електростанції при змінній напруги і частоти в мережі			Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевір.		Бардик Є.І.								66	113	
Н.Контр.		Матесенко Ю.П.						НТУУ «КПІ ім. Сікорського»				
Затверд.		Будько В.І.						кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕТ-71				

3. Розрахунок основних режимних параметрів асинхронних двигунів власних потреб при змінній напруги і частоти

					141.ЕТ-7104.004.БР. ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробник	Бабенко А.Ю.				Режими роботи електроприймачів власних потреб теплоелектроцентралі потужністю 520 МВт при змінюванні напруги і частоти. Розрахунок основних режимних параметрів асинхронних двигунів власних потреб при змінній напруги і частоти	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Бардик Є.І.						90	113
Н. контр.	Матєєнко Ю.П.					НТУУ «КПІ ім. Сікорського» кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕТ-71		
Зав. Каф.	Будько В.І.							

Ковзання

$$\frac{s}{s_{\text{НОМ}}} = \frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{k_f \left[\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \right)^2 - 1} \right]}$$

Струм ротора

$$\frac{I'_2}{I'_{2\text{НОМ}}} = \frac{M_{c*} \frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \right)^2 - 1}}}{M_{c*}}$$

Струм ротора при вентиляторному моменті опору

$$\frac{I'_2}{I'_{2\text{НОМ}}} = k_f \frac{M_{0*} \frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^4} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{0*} k_f^4} \right)^2 - 1}}}{M_{0*}}$$

$$\text{tg } \varphi' \approx \frac{1}{b_c + \sqrt{b_c^2 - 1}} = \frac{1}{\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \right)^2 - 1}}$$

$$\sin \varphi' = \frac{1}{\sqrt{2b_c(b_c + \sqrt{b_c^2 - 1})}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{2b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \left[\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \right)^2 - 1 \right]}}$$

$$\cos \varphi' = \frac{b_c + \sqrt{b_c^2 - 1}}{2b_c}$$

Відношення кратності максимального моменту до моменту опору

$$b_c = \frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2}$$

Струм статора

$$\frac{I_1}{I_{1\text{Н}}} = \sqrt{\left(I_{0*} \frac{I_{0\text{Н}}}{I_{1\text{Н}}} + I'_{2*} \frac{I'_{2\text{Н}}}{I_{1\text{Н}}} \sin \varphi' \right)^2 + \left(I'_{2*} \frac{I'_{2\text{Н}}}{I_{1\text{Н}}} \cos \varphi' \right)^2}$$

Реактивна потужність намагнічування

$$\frac{Q_0}{Q_{0\text{НОМ}}} \approx \frac{k_u^2}{k_f}$$

Реактивна потужність розсіювання

$$\frac{Q_p}{Q_{p,\text{НОМ}}} = M_{c*} k_f \times \frac{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}{\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} + \sqrt{\left(\frac{b_{\text{НОМ}} k_u^2}{M_{c*} k_f^2} \right)^2 - 1}}$$

Повна реактивна потужність

$$\frac{Q}{Q_{\text{НОМ}}} = \frac{Q_{0\text{НОМ}}}{Q_{\text{НОМ}}} \frac{Q_0}{Q_{0\text{НОМ}}} + \frac{Q_{p,\text{НОМ}}}{Q_{\text{НОМ}}} \frac{Q_p}{Q_{p,\text{НОМ}}} = c \frac{Q_0}{Q_{0\text{НОМ}}} + (1 - c) \frac{Q_p}{Q_{p,\text{НОМ}}}$$

$$c \approx 1 - \frac{1}{(b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}) \text{tg } \varphi_{\text{НОМ}}}$$

					141.ЕТ-7102.001.БР.ТК2		
					Режими роботи електроприймачів власних потреб		
					теплоелектроцентрالی потужністю 520 МВт при змінній напрузі і частоті		
					Алгоритм розрахунку основних режимних параметрів асинхронних двигунів власних потреб		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лит.	Маса	Масштаб
Розробив	Барбенко А.Ю.						
Перевірив	Бардик Є.І.						
Т.контроль					Аркуш 2		Аркуш 3
Н.контроль	Матвейко Ю.П.				НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕТ-71		
Зат.	Будько В.І.						

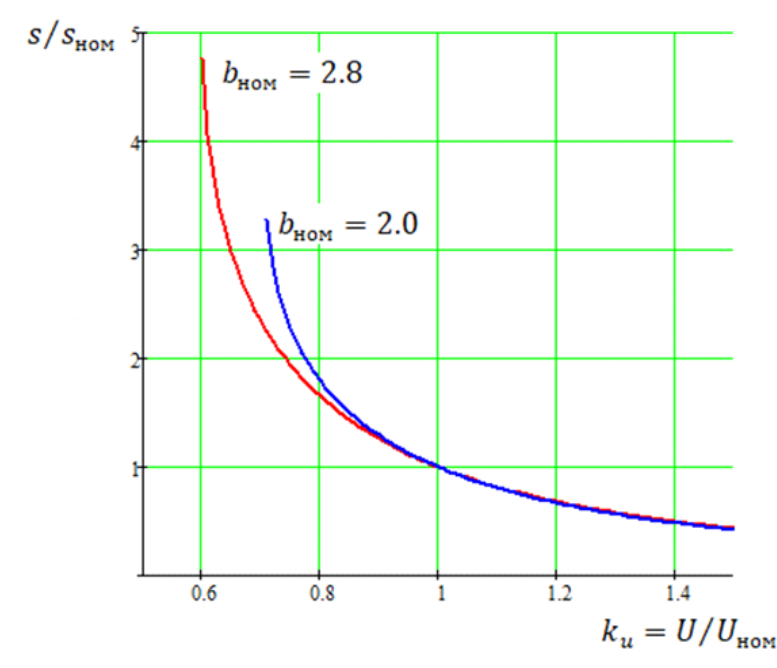


Рис. 3.1. Зміна ковзання двигуна конденсатного насосу і циркуляційного насосу в залежності від напруги при номінальних частоті і навантаженні

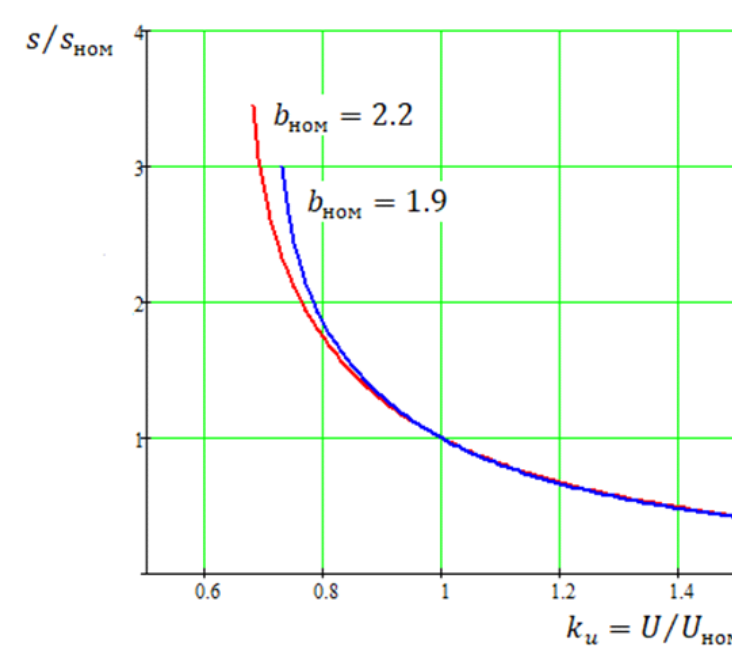


Рис. 3.2. Зміна ковзання двигуна живильного насосу і дуттєвого вентилятора в залежності від напруги при номінальних частоті і навантаженні

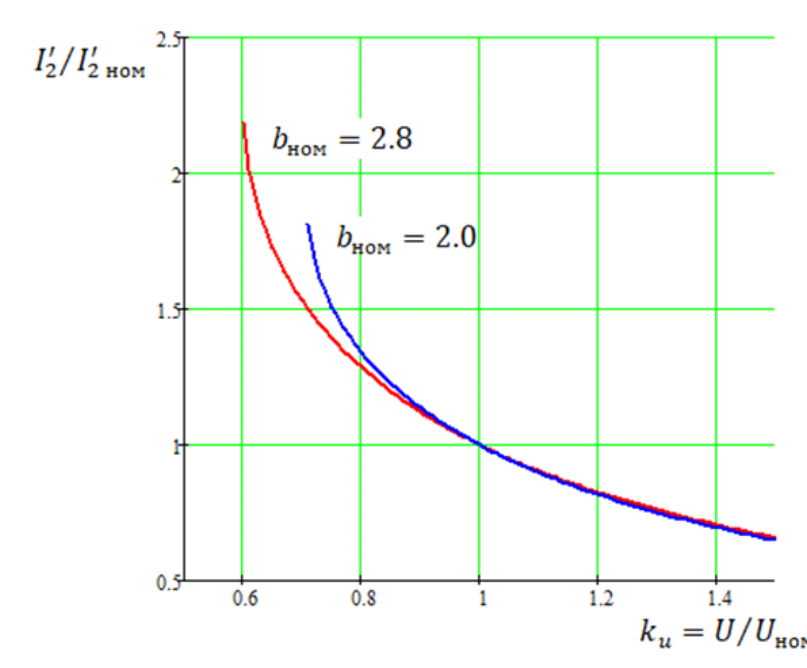


Рис. 3.3. Зміна струму ротора двигуна конденсатного насосу і циркуляційного насосу в залежності від напруги при роботі двигуна з номінальними частотою і навантаженням

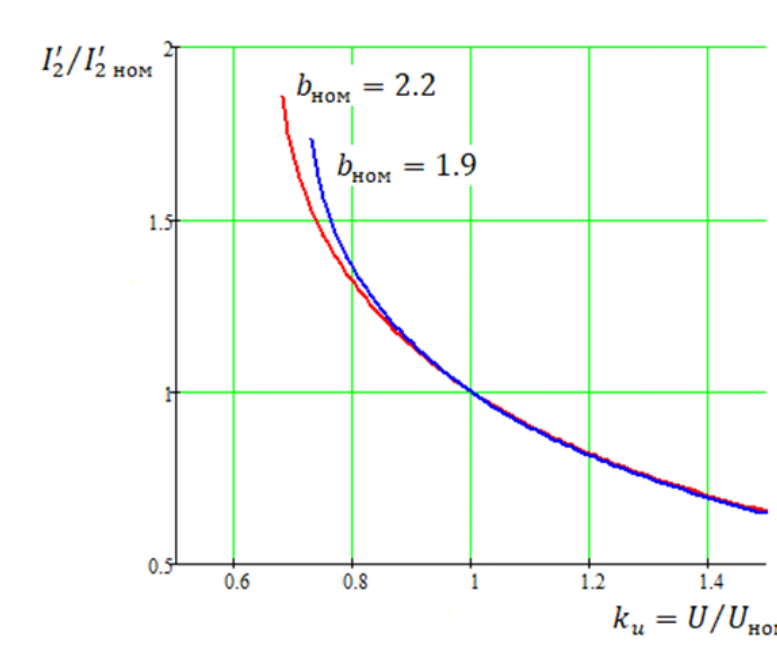


Рис. 3.4. Зміна струму ротора двигуна живильного насосу і дуттєвого вентилятора в залежності від напруги при роботі двигуна з номінальними частотою і навантаженням

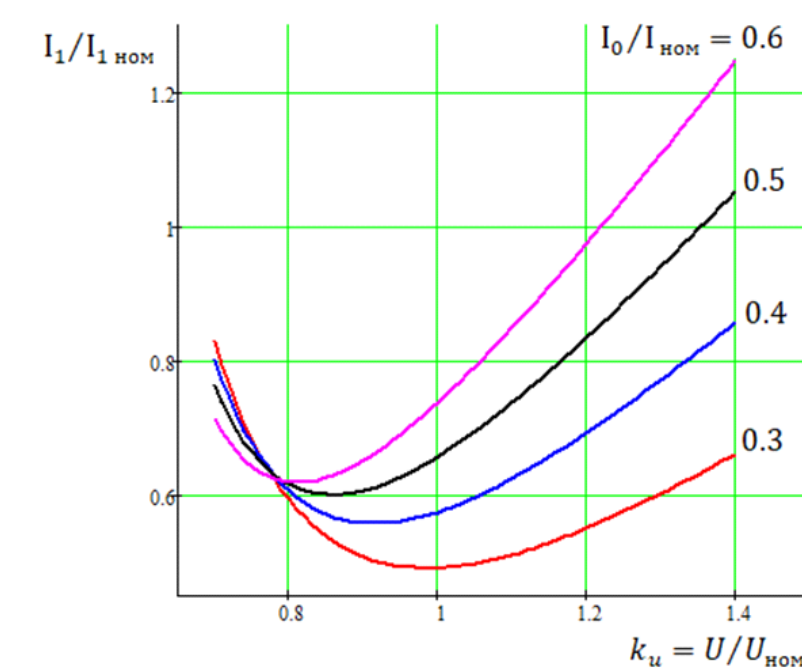


Рис. 3.5. Зміна струму статора двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.8$ в залежності від напруги при роботі з номінальною частотою і номінальним навантаженням

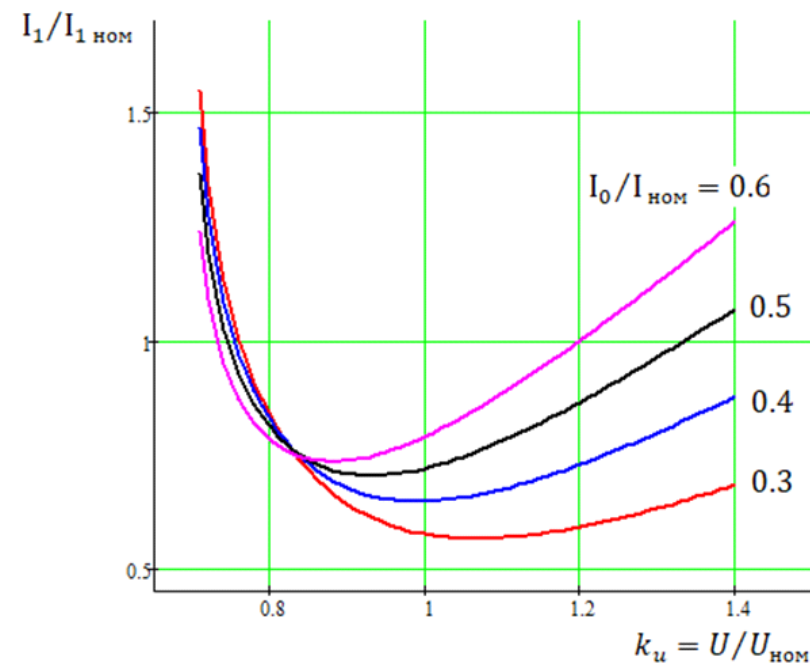


Рис. 3.6. Зміна струму статора двигуна циркуляційного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.0$ в залежності від напруги при роботі з номінальною частотою і номінальним навантаженням

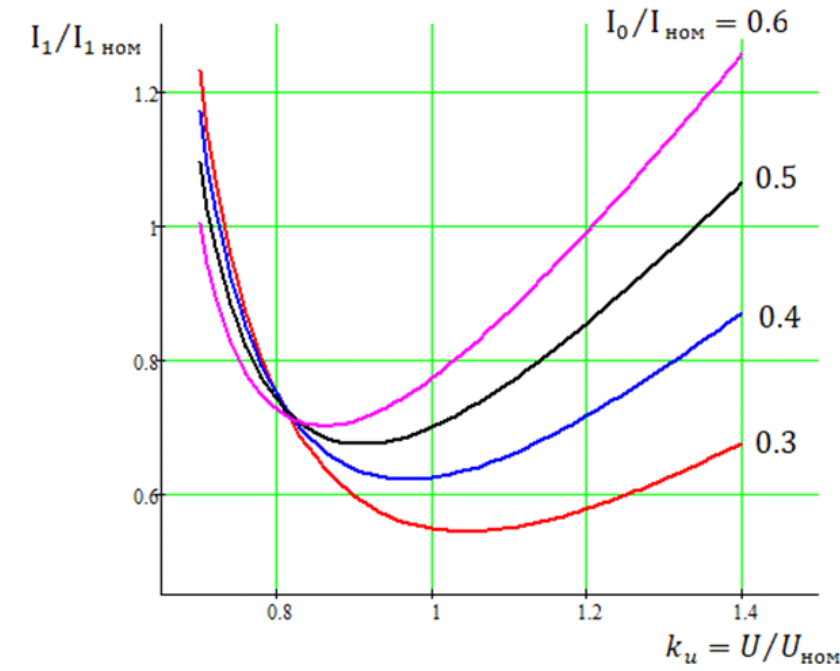


Рис. 3.7. Зміна струму статора двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.2$ в залежності від напруги при роботі з номінальною частотою і номінальним навантаженням

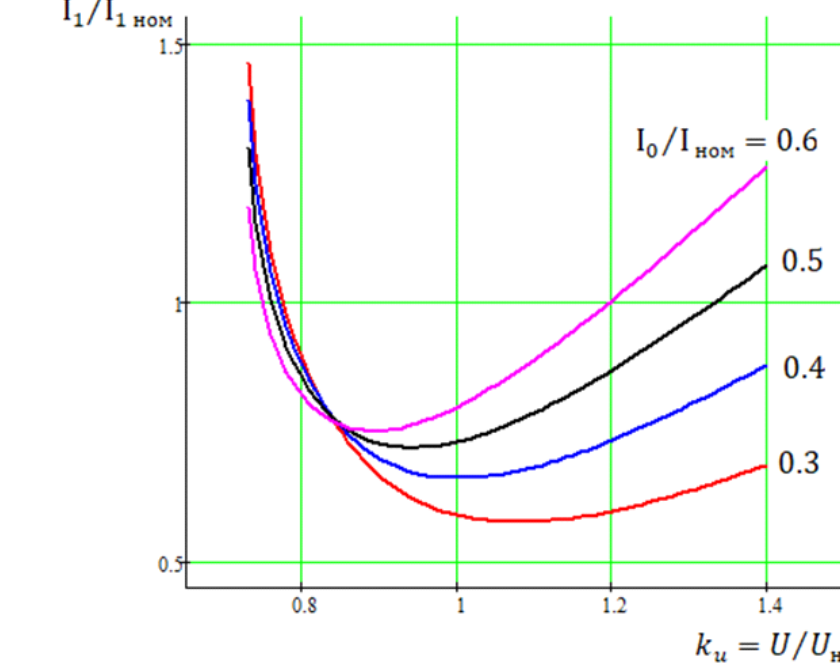


Рис. 3.8. Зміна струму статора двигуна дуттєвого вентилятора з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 1.9$ в залежності від напруги при роботі з номінальною частотою і номінальним навантаженням

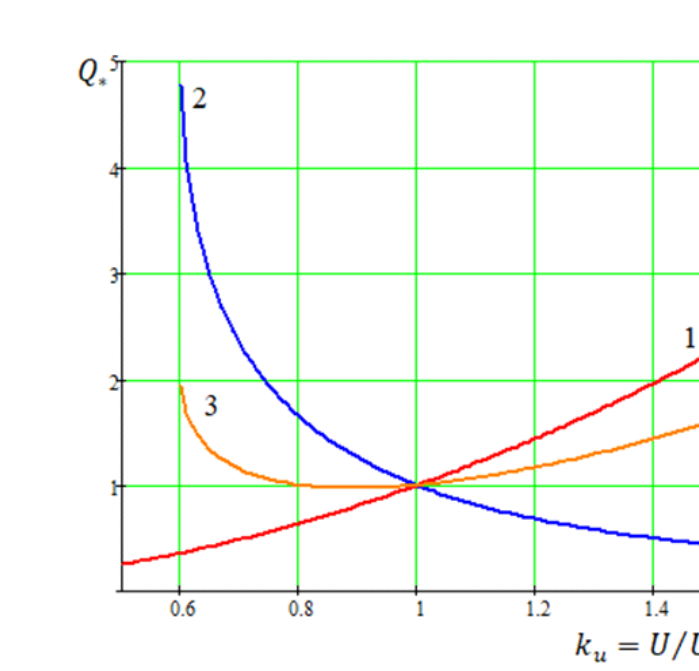


Рис. 3.9. Зміна відносних реактивних потужностей двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.8$ при номінальній частоті в залежності від напруги: 1- реактивна потужність намагнічування; 2- реактивна потужність розсіювання; 3- повна реактивна потужність

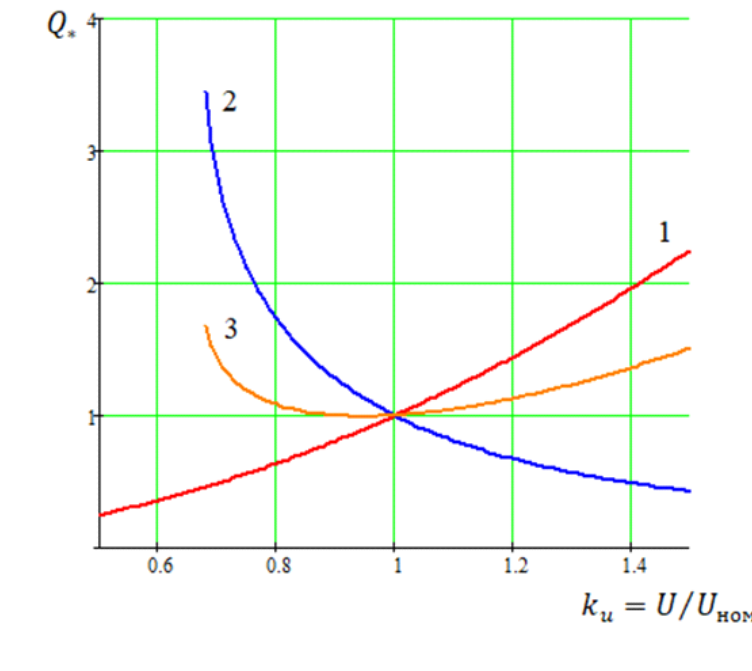


Рис. 3.10. Зміна відносних реактивних потужностей двигуна циркуляційного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.0$ при номінальній частоті в залежності від напруги: 1- реактивна потужність намагнічування; 2- реактивна потужність розсіювання; 3- повна реактивна потужність

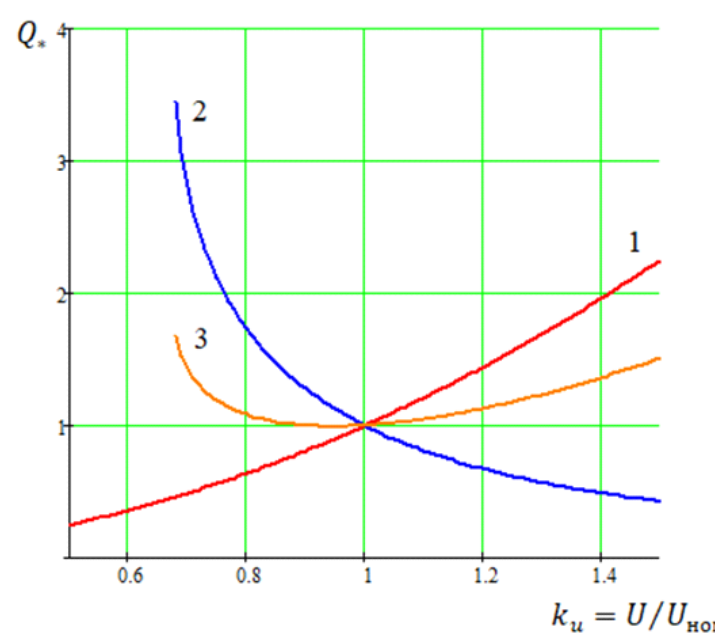


Рис. 3.11. Зміна відносних реактивних потужностей двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.2$ при номінальній частоті в залежності від напруги: 1- реактивна потужність намагнічування; 2- реактивна потужність розсіювання; 3- повна реактивна потужність

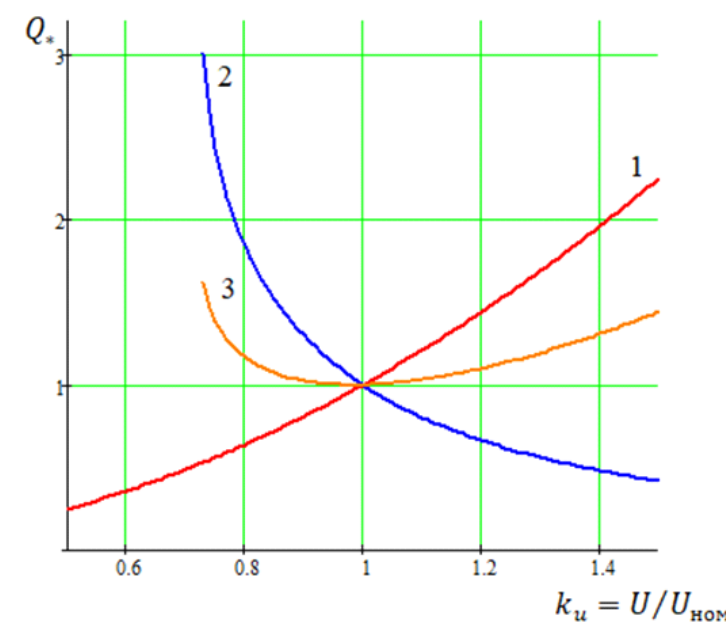


Рис. 3.12. Зміна відносних реактивних потужностей двигуна дуттєвого вентилятора з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 1.9$ при номінальній частоті в залежності від напруги: 1- реактивна потужність намагнічування; 2- реактивна потужність розсіювання; 3- повна реактивна потужність

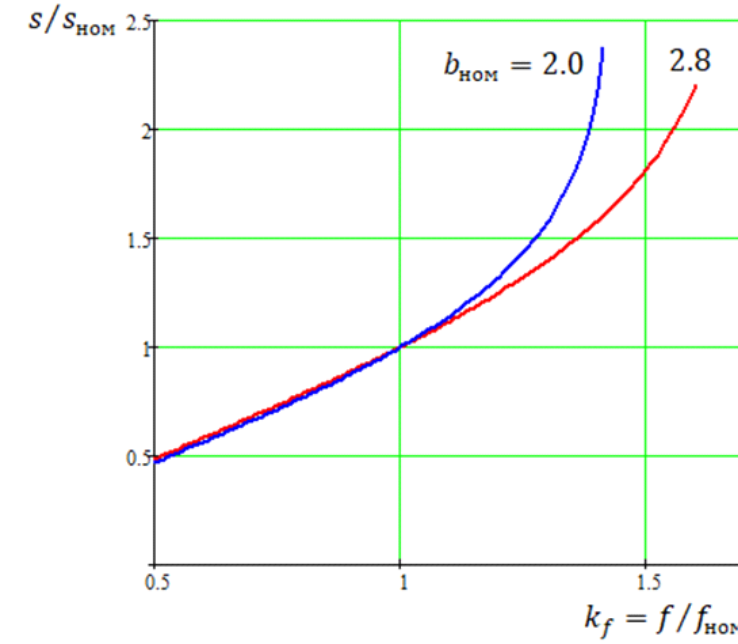


Рис. 3.13. Залежність ковзання від частоти двигуна конденсатного насосу і циркуляційного насосу при роботі двигуна з номінальною напругою і моментом

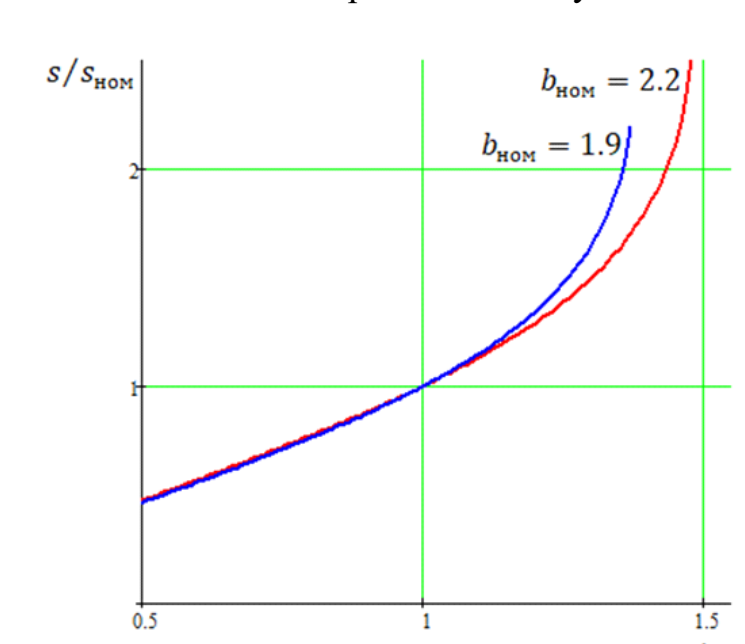


Рис. 3.14. Залежність ковзання від частоти двигуна живильного насосу і дуттєвого вентилятора при роботі двигуна з номінальною напругою і моментом

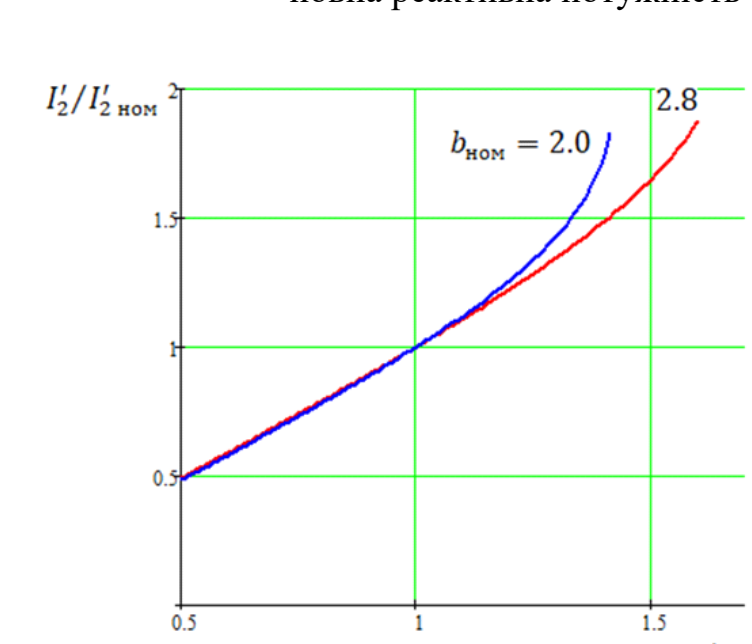


Рис. 3.15. Залежність кратності струму ротора двигуна конденсатного насосу і циркуляційного насосу від частоти при роботі двигуна з номінальною напругою і моментом

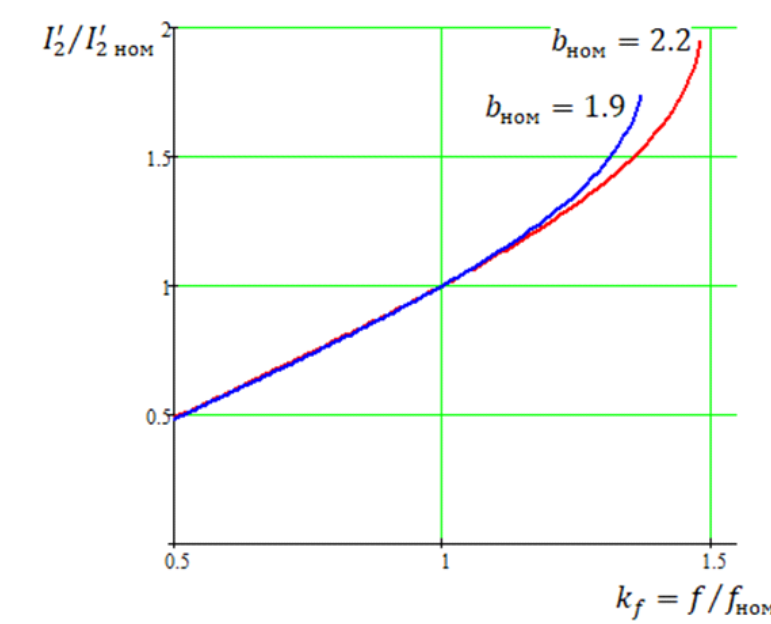


Рис. 3.16. Залежність кратності струму ротора двигуна живильного насосу і дуттєвого вентилятора від частоти при роботі двигуна з номінальною напругою і моментом

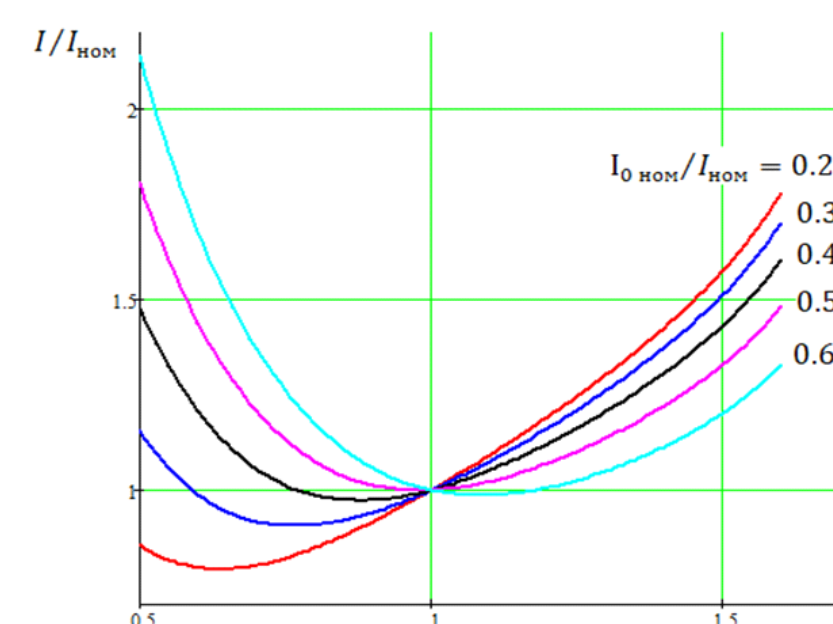


Рис. 3.17. Залежність струму статора двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.8$ від частоти при роботі з номінальним моментом

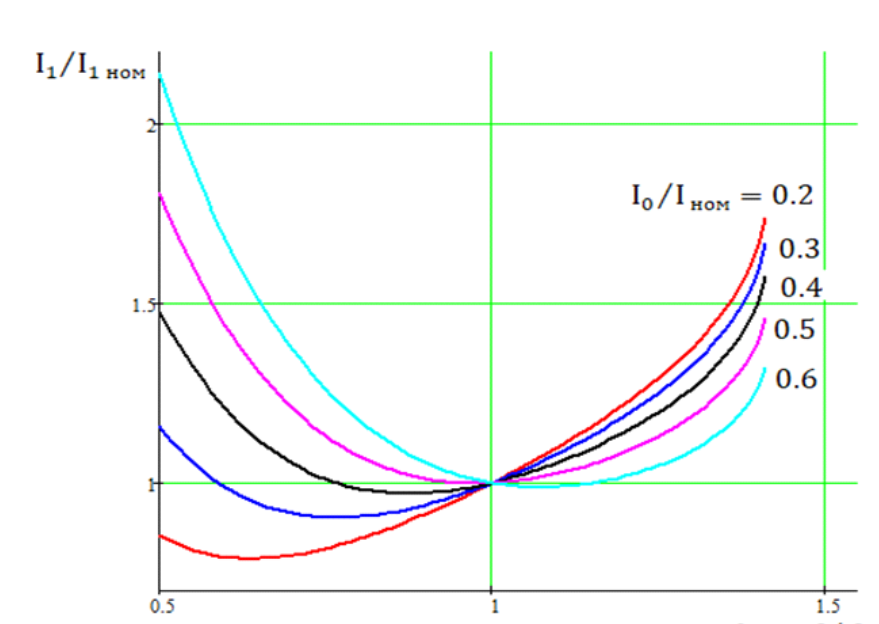


Рис. 3.18. Залежність струму статора двигуна циркуляційного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.0$ від частоти при роботі з номінальним моментом

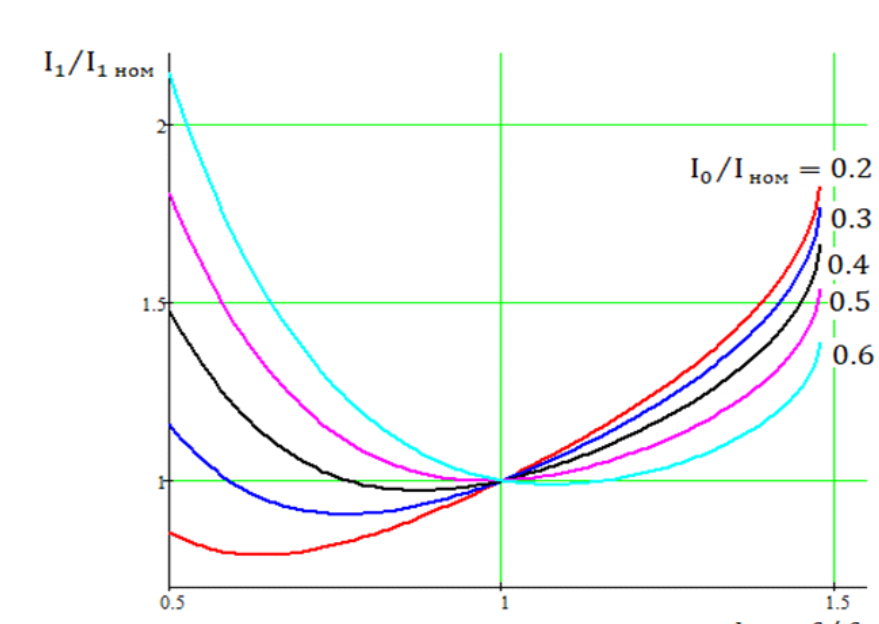


Рис. 3.19. Залежність струму статора двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.2$ від частоти при роботі з номінальним моментом

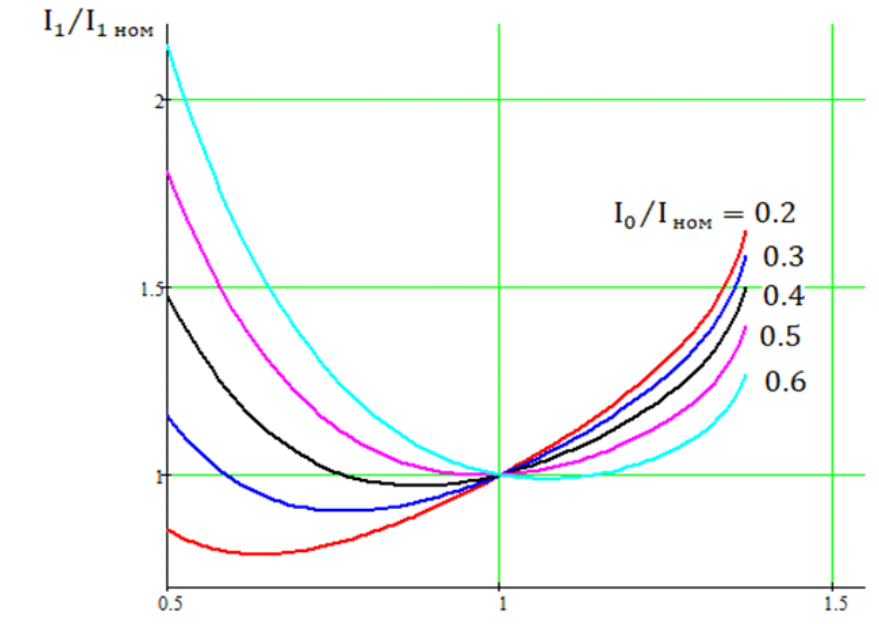


Рис. 3.20. Залежність струму статора двигуна дуттєвого вентилятора з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 1.9$ від частоти при роботі з номінальним моментом

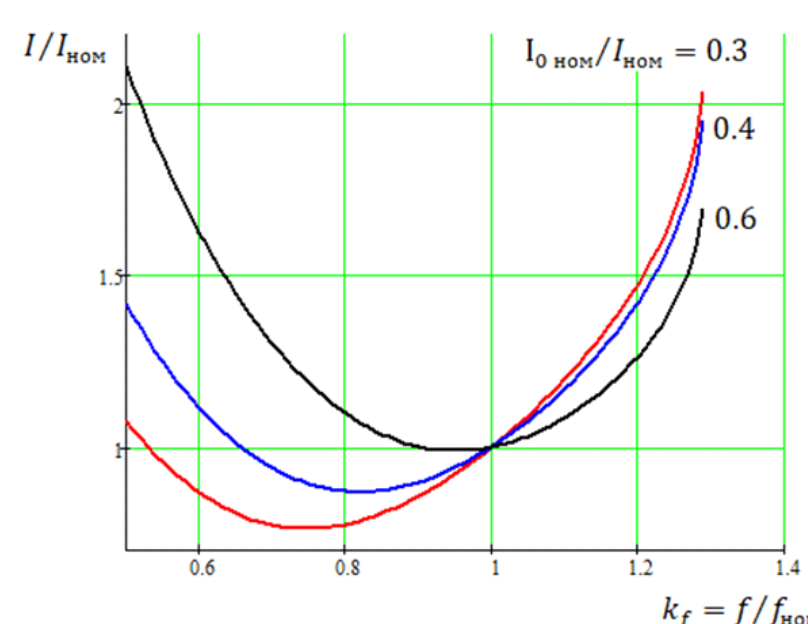


Рис. 3.21. Залежність струму статора двигуна конденсатного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.8$ від частоти при роботі з номінальною напругою і моментом вентиляторного типу

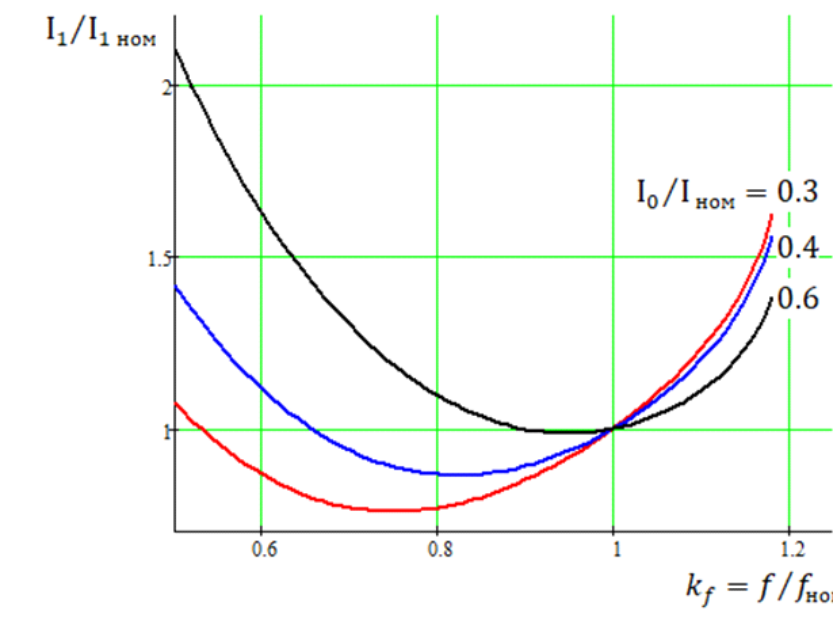


Рис. 3.22. Залежність струму статора двигуна циркуляційного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.0$ від частоти при роботі з номінальною напругою і моментом вентиляторного типу

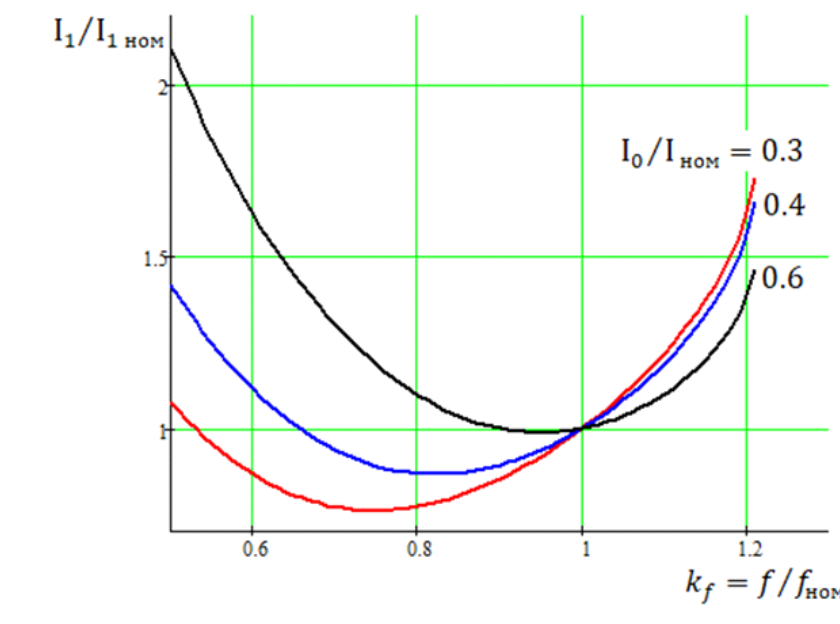


Рис. 3.23. Залежність струму статора двигуна живильного насосу з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 2.2$ від частоти при роботі з номінальною напругою і моментом вентиляторного типу

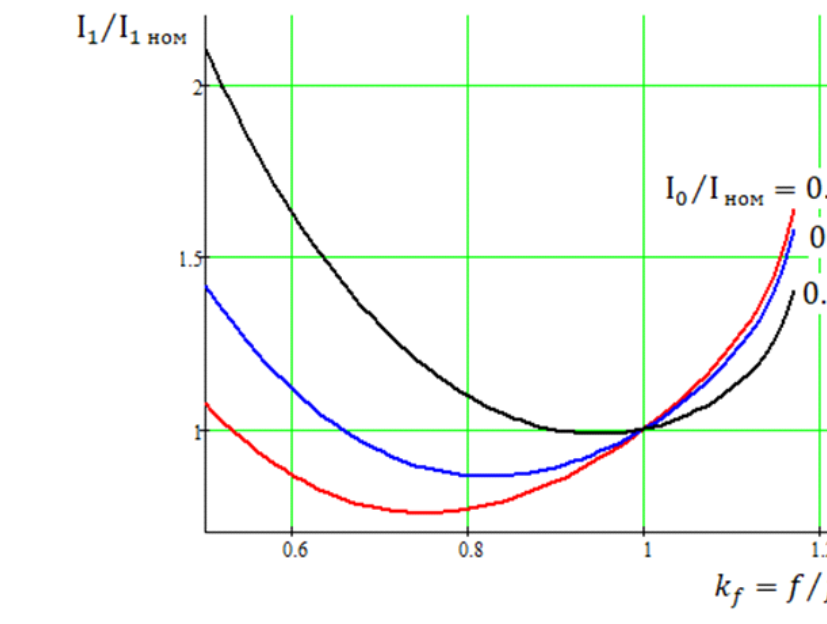


Рис. 3.24. Залежність струму статора двигуна дуттєвого вентилятора з кратністю максимального моменту $b_{ном} = 1.9$ від частоти при роботі з номінальною напругою і моментом вентиляторного типу

141.ЕТ-7102.001.БР.ТКЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Бабенко А.Ю.			
Перевірив	Бардик Є.І.			
Т.контроль				
Н.контроль	Матвейко Ю.П.			
Зат.	Будько В.І.			
Режими роботи електроприймачів власних потреб теплоелектроцентралу потужністю 520 МВт при змінванні напруги і частоті				
Результати розрахунку основних режимних параметрів асинхронних двигунів власних потреб				
Лит.	Маса	Масштаб		
Аркуш 3	Аркуш 3			
НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» кафедра ВДЕ, ФЕА, гр. ЕТ-71				

