

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ім. адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра Суднових електроенергетичних систем

«Допущений до захисту»

в.о. зав. кафедри СЕЕС

 Обрубов А.В.

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему РОЗРОБКА СИНХРОННОГО
НЕЯВНОПОЛЮСНОГО ГЕНЕРАТОРА

Виконав: здобувач вищої освіти IV курсу,
групи 4361

спеціальності 141 – Електроенергетика,
(шифр і назва спеціальності)

електротехніка та електромеханіка

спеціалізації Електромеханіка та
(назва ОП)

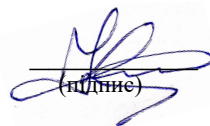
електроенергетика

Кривцов Д.О.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

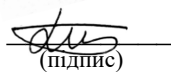
Керівник

Кімстач О.Ю.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент

Білюк І.С.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Миколаїв – 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра Суднових електроенергетичних систем

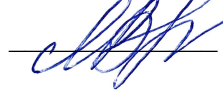
Ступень вищої освіти бакалавр

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми Електромеханіка та електроенергетика
(назва ОП)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Волянська Я.Б.

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Здобувачу вищої освіти Кривцову Дмитру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка синхронного неявнополюсного генератора

Керівник роботи Кімстач Олег Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом НУК від «22» квітня 2026 р. № 286-УЧ

2. Термін подання роботи «10» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Розробити синхронний неявнополіусний генератор, котрий має наступні данні напруга 400/230В, номінальна потужність 25 кВт і синхронна частота обертання 1500 об/хв.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)
Опис і аналіз СГ; синтез синхронного неявнополіусного генератора; розрахунок його характеристик; розгляд питань охорони праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів

1. Конструктивна схема СГ; 2. Схема статорної обмотки;

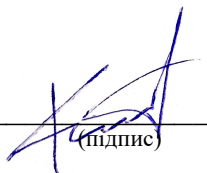
3, 4. Характеристики СГ.

6. Дата видачі завдання «18» березня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Виконання огляду і аналізу СГ і систем збудження.	30.03.2026	Виконано
2.	Розробка синхронного неявнополюсного генератора.	10.04.2026	Виконано
3.	Розрахунок характеристик синхронного неявнополюсного генератора.	20.04.2026	Виконано
4.	Виконання розділу з охорони праці.	01.05.2026	Виконано
5.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки.	15.05.2026	Виконано
6.	Оформлення графічної частини.	10.06.2026	Виконано

Здобувач вищої освіти


(підпис)

Кривцов Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник


(підпис)

Кімстач О.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській роботі розроблено синхронний неявнополіусний генератор. Виконано опис конструктивних схем і принципу дії синхронних генераторів, їх систем збудження.

Розрахункова частина складається з проектування синхронного неявнополіусного генератора та визначення його характеристик. Крім того виконано розгляд питань охорони праці.

Ключові слова: збудження, конструкція, обмотка, синхронний генератор, характеристика.

SUMMARY

In the bachelor's thesis, a synchronous non-salient pole generator was designed. The construction and the action of synchronous generators and their excitation systems were described.

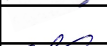
The calculation part consists of the design of a synchronous non-salient pole generator and the determination of its characteristics. In addition, occupational safety issues were considered.

Keywords: excitation, construction, winding, synchronous generator, characteristics.

					141. 4361. БР. ПЗ.	Лист
Змін.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

<i>ВСТУП</i>	6
<i>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ І ЇХ СИСТЕМ ЗБУДЖЕННЯ</i>	9
1.1. Суднові синхронні генератори.....	10
1.2. Системи збудження СГ	13
<i>РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИНХРОННОГО НЕЯВНОПОЛЮСНОГО ГЕНЕРАТОРА.</i>	18
2.1. Розробка і обґрунтування конструктивної схеми СГ	19
2.2. Розрахунок синхронного генератора.....	20
<i>РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА</i>	37
3.1. Регульовальна характеристика.....	38
3.2. Зовнішня характеристика	39
3.3. Кутові характеристики	40
3.4. U-подібні характеристики	42
<i>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	44
Вступ	45
4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час роботи СЕЕС	46
4.2. Електробезпека встановлення електроустановок	49
4.3. Безпека при експлуатації синхронних генераторів і компенсаторів	52
4.4. Розробка заходів для забезпечення безпеки на судні	54
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	59

					141. 4361. БР. ПЗ. В.		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кривцов Д.О.			ВСТУП		
Керівник		Кімстач О.Ю.					
							
Н. контр.							
В.о. зав. каф.		Обрубов А.В.			НУК		
					Лім.	Лист	Листів
						6	3

ВСТУП

Синхронні машини можуть працювати як генератори, так і електродвигунами. Основна область застосування синхронних машин – енергетика, де вони використовуються як генератори електричної енергії. Залежно від типу привода синхронні генератори поділяються на турбогенератори, гідрогенератори й дизельні генератори.

Турбогенератор – це генератор, що приводиться в рух паровою турбіною, гідрогенератор обертає водяне колесо, а дизель-генератор механічно пов'язаний із двигуном внутрішнього згоряння.

Синхронний генератор – це синхронна машина, що працює в режимі генератора в якій частота обертання магнітного поля статора дорівнює частоті обертання ротора. Ротор з магнітними полюсами створює обертове магнітне поле, яке перетинаючи обмотку статора, наводить у ній ЕРС.

У синхронному генераторі ротор виконується к вигляді постійного магніту або електромагніту. Число полюсів ротора може бути два, чотири й т.д, але кратне двом.

Ротор, при запуску електростанції, створює слабе магнітне поле, але зі збільшенням обертів, збільшується й ЕРС в обмотці збудження. Напруга із цієї обмотки через блок автоматичного регулювання (AVR) надходить на ротор, контролюючи вихідну напругу за рахунок зміни магнітного поля. Наприклад, підключене індуктивне навантаження розмагнічує генератор і знижує напругу, а при підключенні ємнісного навантаження відбувається підмагнічування генератора й підвищення напруги. Це називається «реакцією якоря». Для забезпечення стабільності вихідної напруги необхідно змінювати магнітне поле ротора шляхом регулювання струму в його обмотці, що й забезпечується блоком AVR.

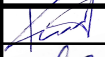
Синхронні генератори можуть бути однофазні, трифазні або багатofазні.

Перевагою синхронних генераторів є висока стабільність вихідної на-

					141. 4361. БР. ПЗ. В.	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

пруги, а також можливість генерування реактивної потужності. До недоліків синхронного генератора можна віднести наявність щіткового вузла. Хоча відомі безконтактні синхронні генератори, які отримуються шляхом агрегації генератора, випрямляча і збудника, що також є синхронним генератором, але оберненої конструкції. Вони відрізняються більшою вартістю.

					141. 4361. БР. ПЗ. В.	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

					141. 4361. БР. ПЗ. Р1			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кривцов Д.О.			ОГЛЯД СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ І ЇХ СИСТЕМ ЗБУДЖЕННЯ	Лім.	Лист	Листів
Керівник		Кімстач О.Ю.					9	9
						НУК		
Н. контр.								
В.о. зав. каф.		Обрубов А.В.						

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ І ЇХ СИСТЕМ ЗБУДЖЕННЯ

1.1. Суднові синхронні генератори.

Генератори синхронні серії БГ суднового виконання призначені для використання як джерела трифазного електричного струму частотою 50 напругою 230 або 400 В у складі енергоустановок, судових електростанцій на судах морського і річкового флотів з необмеженим районом плавання.

Режим одиночної і паралельної роботи тривалий S1. Точність підтримки напруги при зміні навантаження від 0 до 100% становить не більше 1%. Коефіцієнт перекручування синусоїдальної кривої напруги не більше 5% номінального. Генератори витримують трифазне коротке замикання протягом 5 с., а 50% перевантаження протягом 2 хвилин. У режимі холостого ходу генератор забезпечує прямий пуск асинхронного електродвигуна потужністю до 70% номінальної потужності. Клас нагрівостійкості від F до H.

Всі генератори мають сучасну безконтактну систему збудження, автоматичне регулювання напруги. Генератори комплектуються убудованим або виносним блоком керування, комутаційною апаратурою, сполучною муфтою і перехідним фланцем для сполучення із двигуном. Генератори виготовляються в різному кліматичному виконанні, у т.ч. тропіки і північ.

Компанія **Marelli Generators** виготовляє широкий набір трифазних синхронних генераторів для промислового і суднового застосування. Висока ефективність, тривалий термін служби, надійність і відповідність останнім міжнародним стандартам дають компанії **Marelli Generators** право бути світовим лідером.

Генератори можуть бути виготовлені з урахуванням наступних вимог:

- З номінальною напругою від 380 до 6600 В.
- Зі ступенем захисту - до IP 55 (з установкою теплообмінника).
- З розподільними коробками допоміжної і нейтральної точки.
- Можуть бути використані кулькові підшипники, роликові підшипники

					141. 4361. БР. ПЗ. Р1	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

або підшипники ковзання.

- З можливістю для монтування датчиків вібрацій.
- Наявність трьох бортових трансформаторів струму нейтральної точки (ТТ), як з одинарним, так і з подвійним сердечником.

Генератори серії МСК призначені для живлення електричною енергією силових і освітлювальних установок і розраховані для тривалої автономної роботи, паралельної роботи з іншими генераторами, а також

для паралельної роботи з мережею великої потужності. Режим роботи - S1 за ДСТ 183-74. Кліматичне виконання і категорія розміщення - OM4 за ДСТ 15150-69.

Генератори забезпечують надійну роботу при номінальній потужності в наступних умовах:

- при температурі навколишнього повітря від 5 до 45 °С, відносної вологості навколишнього повітря до 98%, температурі охолодної води до 30 °С;
- при тривалому крені і диференті до 10°, короткочасному крені до 45° і диференті до 15°.

Серія синхронних генераторів МСК (табл. 1.1) містить у собі шість машин на частоту обертання 1000 об/хв і шість машин на частоту обертання 1500 об/хв. Генератори допускають епізодичну (5...7 разів за термін служби) короткочасну (до 2 год.) роботу з номінальною потужністю при температурі навколишнього середовища до 60 °С. Частота напруги 50 Гц, $\cos \varphi = 0,8$.

Генератори мають систему самозбудження, що забезпечує самозбудження генераторів при роботі на холостому ході із частотою обертання не менш 95 % номінальної в тому випадку, якщо залишкова ЕРС генератора становить не менш 1 % номінальної напруги.

Генератори витримують без ушкоджень аварійне коротке замикання протягом 10 с у режимах будь-якого навантаження від холостого ходу до номінальної при автоматичному регулюванні напруги. Генератори із уста-

					141.4361. БР. ПЗ. Р1	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

новленими на них блоками самозбудження мають загальну систему охолодження як по замкнутому циклу вентиляції через повітроохолоджувач, так і по розімкнутому без надходження води в повітроохолоджувач.

Таблиця 1.1. Технічні дані генераторів серії МСК

Тип генератора	Номінальна потужність, кВт	Напруга В	ККД, %	Частота обертання, об/хв	З'єднання фаз статора
МСК 625-1500	500	400 або 200	92	1500	Зірка або трикутник
МСК 750-1500	600	400	92,5	1500	Зірка
МСК 940-1500	750	400	93	1500	»
МСК 1250-1500	1000	400	93	1500	»
МСК 1560-1500	1250	400	93,5	1500	»
МСК 1875-1500	1500	400	93,5	1500	»
МСК 500-1000	400	400	90,2	1000	»
МСК 500-1000	400	230	90,2	1000	Трикутник
МСК 625-1000	500	400	90,6	1000	Зірка
МСК 625-1000	500	230	90,6	1000	Трикутник
МСК 790-1000	630	400	91,2	1000	Зірка
МСК 1000-1000	800	400	92	1000	»
МСК 375-1000	300	400	92	1000	»
МСК 375-1000	300	230	92	1000	Трикутник

Примітка. Значення ККД наведені для 75%-ого номінального навантаження.

Корпус генератора – зварений з листової сталі з поздовжніми і поперечними ребрами жорсткості, з вікнами для входу охолодного і виходу нагрітого повітря. Статор – з відкритими прямокутними пазами, зі скосом пазів на один полюсний розподіл. Обмотка статора – двошарова. Лобові частини обмотки закриті повітря-напрямними щитами. Ост явнopolюсного ротора виконаний з кування як одне ціле з валом. У шихтованих полюсах розміщується демпферна обмотка із круглих мідних стрижнів. Обмотка збудження виконана з неізолюваної стрічкової міді. Контактні кільця перебувають із боку, протилежної приводу.

По обох сторін полюсів ротора на валу встановлені вентилятори. У спеціальному кожусі в нижній частині корпусу передбачається установка повітроохолоджувача.

Апаратура системи збудження виконана у вигляді окремих блоків. Силова частина системи збудження, що здійснює зміну струму збудження в залежності від навантаження і її характеру, містить у собі трансформатор компаундування і кремнієвий випрямляч. Для початкового збудження застосовується резонансний контур, настроєний на резонанс при частоті, близької до номінальної.

Генератори серії МСК повинні розміщатися у вентильованому приміщенні з можливістю доступу повітря до щіткового апарата і контактних кілець, а також до коробки виводів. Повинна бути передбачена також можливість огляду елементів системи збудження.

1.2. Системи збудження СГ.

Автоматичний регулятор збудження AVR для синхронних безщіткових генераторів. Призначення. Мікропроцесорний автоматичний регулятор збудження хх-BR-Q1X, виробництва ЗАТ «Енергокомплект», призначений для живлення автоматично регульованим струмом обмотки збудження безщіткового збудника синхронного генератора типу ГСБ, ГСД для дизель-електростанцій до 3МВт у всіх його експлуатаційних режимах. Регулятор виконує також функції керування, захистів і сигналізації про стан системи збудження. Регулятори AVR можуть також використовуватися для комплектації систем збудження генераторів інших серій і типів, а також при реконструкції електромашинних, високочастотних і безщіткових систем збудження генераторів, що мають у своєму складі апаратуру керування і регулювання (рис.1.2).

Регулятор виготовляється в кліматичному виконанні:

- температура навколишнього середовища від +1 до +40 град. З;
- висота над рівнем моря до 3000 м;
- відносна вологість не більше 80% при температурі +25 град. С.
- навколишнє середовище: невибухонебезпечна, не утримуючого струмопровідного пилу в концентраціях, що знижують рівень ізоляції до неприпустимих меж.

					141. 4361. БР. ПЗ. Р1	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Таблиця 1.2. Основні технічні дані.

Найменування параметра	Значення
Номинальний випрямлений струм, А	6,3...8
Номинальна випрямлена напруга, В	75
Гранична випрямлена напруга, В	180
Кратність форсування по струму і напрузі збудження збудника, в.о., не менш	2,4
Тривалість перевантаження при двократному струмі, с	60
Номинальна напруга живлення кіл змінного струму (від додаткової обмотки), В	190
Припустимий діапазон зміни напруги живлення кіл змінного струму, В	85...265
Припустимий діапазон зміни частоти напруги живлення кіл змінного струму, Гц	25...440
Номинальна напруга живлення кіл постійного струму (від акумуляторної батареї), В	24
Припустимий діапазон зміни напруги живлення кіл постійного струму, В	18...36
Припустимий рівень пульсацій напруги живлення кіл постійного струму, %	20
Споживання потужності по колам змінного струму, Вт, не більше у номінальному режимі у режимі форсування	450 3000
Споживання потужності по колам постійного струму, Вт, не більше	30
Номинальна напруга по колам виміру напруги статора генератора, В	105
Номинальний струм по колам виміру струму статора генератора, А	5
Споживання потужності від вимірювальних трансформаторів струму і напруги на фазу, ВА, не більше	1

Статичні тиристорні системи збудження. Статичні тиристорні системи збудження серії xxx-xxxx-ухл4 призначені для живлення автоматично регульованим випрямленим струмом обмоток збудження генераторів середньої потужності. Системи збудження можуть застосовуватися як для комплектації знову розроблювальних, так і модернізованих генераторів.

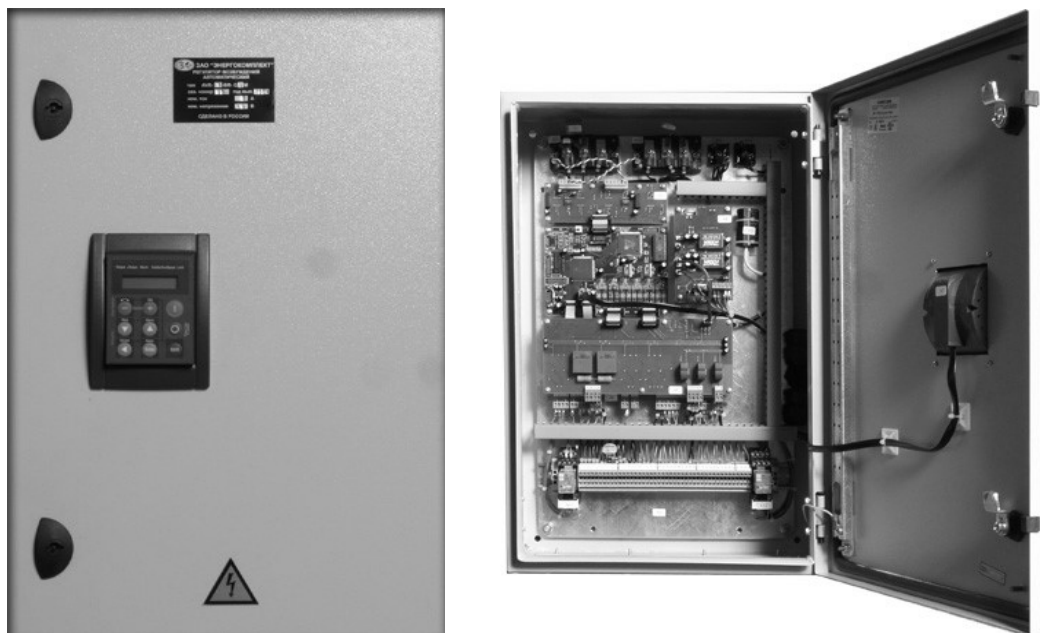


Рис.1.2. Автоматичний регулятор збудження AVR-8-BR-Q1M
для дизель-генератора.

Структура умовної позначки: СТС - система збудження тиристорна, за схемою самозбудження; Х – число перетворюючо-регулюючих каналів; П – із процесорним керуванням; ХХХ – номінальна напруга збудження, В; ХХХХ – номінальний струм збудження, А; УХЛ – кліматичне виконання; 4 – категорія розміщення.

Режими роботи і параметри збудження:

- початкове збудження повинне здійснюватися від мережі власних потреб станції 380 В або від джерела оперативного живлення постійного струму 220 В (аккумуляторної батареї). Включення на мережу постійного струму повинне вироблятися автоматично при відсутності живлення змінного струму;
- холостий хід;
- включення в мережу методом точної (автоматичної і ручний) синхронізації;
- включення в мережу методом самосинхронізації (при ковзанні не більше 5%);
- робота в об'єднаній і автономній енергосистемах з навантаженнями від холостого ходу до номінальної, а також з перевантаженнями;

- стійке регулювання збудження при резкозмінних навантаженнях, аж до окремих накидів навантаження, викликаних одночасним включенням асинхронним двигунів з короткозамкненим ротором загальною потужністю до 30% номінальної потужності генератора;
- зупинка агрегату в нормальних і аварійних режимах;
- роззбудження (гасіння поля) при нормальному стопі генератора перекладом тиристорного перетворювача (надалі перетворювач) в інверторний режим;
- гасіння поля в аварійних режимах при дії захистів перекладом перетворювача в інверторний режим і відключенням автомата гасіння поля;
- пропорційно-інтегральне регулювання напруги статора по його відхиленню від заданого значення з компаундуванням по реактивному струму генератора. Для розширення областей стійкості при роботі в мережі під навантаженням і підвищення показників якості перехідних процесів здійснюється стабілізація по похідних напруги статора і струму ротора генератора;
- підтримка напруги на виводах генератора відповідно до заданого уставкою з точністю 1 % щодо заданої статичної характеристики. При цьому величина статизму регулювання може вибиратися в межах від 0 до 10 % у режимах видачі реактивної потужності і від 0 до 10 % у режимах споживання реактивної потужності;
- стійкий розподіл реактивної потужності між генераторами порівнянної потужності, об'єднаними на рівні генераторної напруги, без використання групового регулювання або поперечних зрівняльних зв'язків;
- розвантаження генератора по реактивній потужності з точністю 5% від номінального значення при його відключенні;
- програмне початкове збудження до 95,5 % номінальної напруги генератора і роззбудження при плановому стопі;
- місцева і дистанційна зміна уставки регулятора напруги в діапазоні від 80 до 110 % номінальної напруги генератора;

					141. 4361. БР. ПЗ. Р1	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

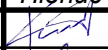
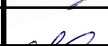
- обмеження струму збудження дворазовою величиною стосовно номінального струму збудження генератора без витримки часу, а також обмеження перевантаження ротора по часо-залежній характеристиці відповідно до даних генератора;

- обмеження мінімального струму збудження величиною, що не допускає перехід генератора в режим глибокого споживання реактивної потужності;

- робота із пристроями групового регулювання напруги;

- незалежність напруги на виводах генератора від частоти в діапазоні від 45 Гц і вище, із пропорційним зменшенням напруги при зниженні частоти нижче 45 Гц.

					141. 4361. БР. ПЗ. Р1	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

					141. 4361. БР. ПЗ. Р2		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРАХУНОК СИНХРОННОГО НЕЯВНОПОЛЮСНОГО ГЕНЕРАТОРА		
Розроб.		Кривцов Д.О.					
Керівник		Кімстач О.Ю.					
Н. контр.							
В.о. зав. каф.		Обрубов А.В.					
					Лім.	Лист	Листів
						18	19
					НУК		

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СИНХРОННОГО НЕЯВНОПОЛЮСНОГО ГЕНЕРАТОРА

2.1. Розробка і обґрунтування конструктивної схеми СГ

Синхронний генератор виконано з неявнополюсним індуктором 7, обмотка котрого живиться від щіткового контакту 1. Використання неявно полюсного індуктора дозволяє отримати поліпшені масо-габаритні показники, що для умов судна корисно. З'єднання цих елементів виконано провідниками, що закріплені на валу генератора.

Керування генератором виконується за рахунок зміни напруги живлення обмотки індуктора.

Для підключення генератора маються клемні коробки 2 і 4. Охолодження генератора – повітряне примусове, досягається за рахунок вентилятора 8, якій розташовано на валу 9.

Крім цього СГ має наступні конструктивні елементи: підшипникові щити 3 і рим-болт 5.

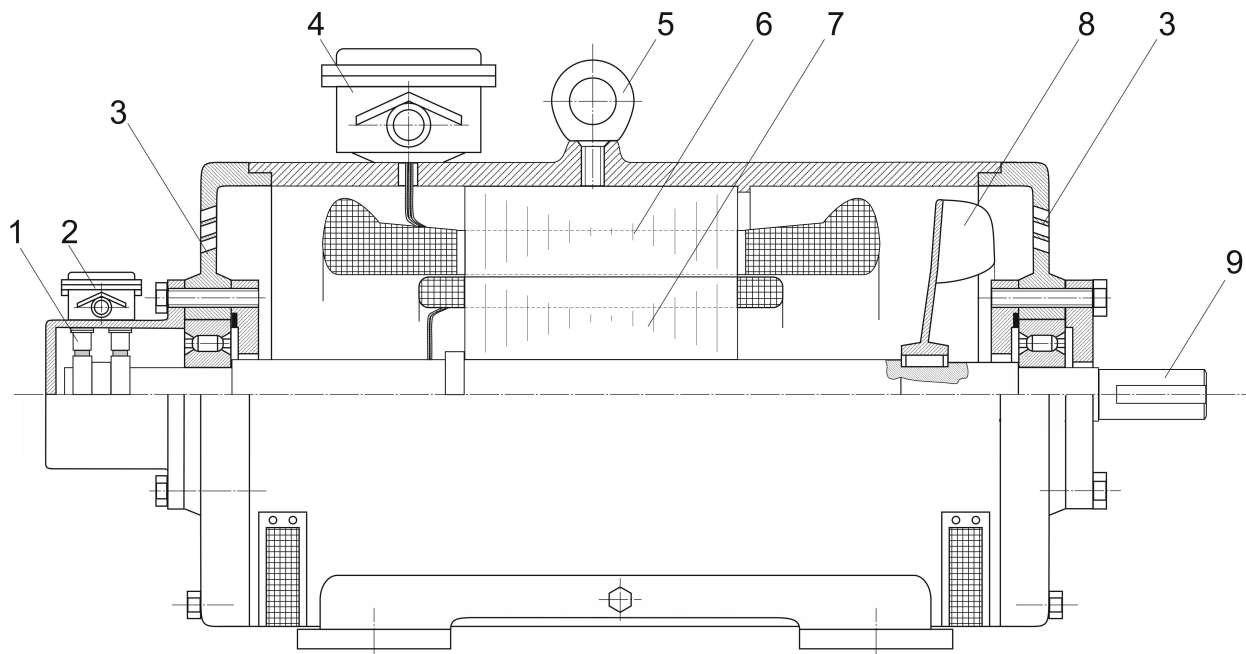


Рис.2.1. Конструктивна схема СГ:

1 – щітковий контакт; 2 – клемна коробка обмотки збудження; 3 – підшипникові щити;
4 – клемна коробка обмотки статора; 5 – рим-болт; 6 – якор генератора;
7 – індуктор генератора; 8 – вентилятор; 9 – вал генератора.

2.2. Розрахунок синхронного генератора

Вихідні дані для розрахунку:

- напруга	$U_1 = 230 \text{ В.}$
- частота напруги	$f = 50 \text{ Гц.}$
- кількість фаз	$m_1 = 3.$
- потужність	$P_{2H} = 25 \text{ кВт.}$
- кількість пар полюсів	$p = 2.$

РОЗРАХУНОК ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ

Синхронна частота обертання полю статора

$$n_1 = f \cdot \frac{60}{p} = 50 \cdot \frac{60}{2} = 1.5 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Індуктивний опір розсіювання статора [11]

$$x_{\sigma} = 0.08 \text{ во.}$$

Коефіцієнт потужності [11]

$$\cos \phi = 0.8.$$

Коефіцієнт ЕРС

$$k_H = \sqrt{\cos^2 \phi + \left(\sqrt{1 - \cos^2 \phi} + x_{\sigma} \right)^2} = \sqrt{0.8^2 + \left(\sqrt{1 - 0.8^2} + 0.08 \right)^2} = 1.05.$$

Розрахункове значення ККД [11]

$$\eta = 0.92.$$

Розрахункове значення потужності

$$P_p = \frac{k_H \cdot P_{2H}}{\cos \phi} = \frac{1.05 \cdot 25}{0.8} = 32.8 \text{ кВт.}$$

Висота обертання ротора [11]

$$h = 132 \text{ мм.}$$

Висота від корпусу до опорної поверхні [11]

$$h_1 = 6 \text{ мм.}$$

Товщина корпусу [11]

$$h_2 = 9.5 \text{ мм} .$$

Діаметр магнітопроводу статора

$$D_{1n} = 230 \text{ мм} .$$

Діаметр корпусу

$$D_k = 2 \cdot h_2 + D_{1n} = 2 \cdot 9.5 + 230 = 249 \text{ мм} .$$

Діаметр активної частини статора

$$D_{1pa} = 0.61 \cdot D_{1n} = 0.61 \cdot 230 = 140.3 \text{ мм} .$$

Приймається $D_1 = 140 \text{ мм} .$

Лінійне навантаження [11]

$$A_1 = 250 \frac{\text{А}}{\text{см}} .$$

Індукція у повітряному зазорі [11]

$$B_\delta = 0.85 \text{ Тл} .$$

Індукція у повітряному зазорі у неробочому режимі

$$B_{\delta 0} = \frac{B_\delta}{k_H} = \frac{0.85}{1.05} = 0.81 \text{ Тл} .$$

Полосне ділення

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_1}{2p} = \frac{\pi \cdot 140}{2 \cdot 2} = 110 \text{ мм} .$$

Опір по подовжній осі [11]

$$x_d = 1.7 \text{ в.о.}$$

Опір реакції якорю

$$x_{ad} = x_d - x_\sigma = 1.7 - 0.08 = 1.62 \text{ в.о.}$$

Коефіцієнт зазорів у магнітопроводі ротору

$$k = 1.0 .$$

Повітряний зазор

$$\delta' = \frac{36 \cdot 10^{-6} \cdot \tau \cdot A_1}{x_{ad} \cdot B_{\delta 0} \cdot k} = \frac{36 \cdot 10^{-6} \cdot 110 \cdot 250}{1.62 \cdot 0.81 \cdot 1} = 0.754 \text{ мм} .$$

Приймається $\delta = 0.75$ мм .

Коефіцієнт магнітного опору

$$\alpha = 0.64 .$$

Коефіцієнт форми полю збудження

$$k_B = 1.15 .$$

Коефіцієнт обмотки статора

$$k_{o1} = 0.95 .$$

Довжина активної частини

$$l'_\delta = \frac{6.1 \cdot 10^{10} \cdot P_p}{D_1^2 \cdot n_1 \cdot A_1 \cdot B_\delta \cdot k_{o1}} = \frac{6.1 \cdot 10^{10} \cdot 32.8}{140^2 \cdot 1.5 \times 10^3 \cdot 250 \cdot 0.85 \cdot 0.95} = 337.1 \text{ мм} .$$

Приймається $l_\delta = 335$ мм .

Кількість пазів на полюс і фазу

$$q_1 = 4 .$$

Кількість зубців статора

$$z_1 = 2p \cdot m_1 \cdot q_1 = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 = 48 .$$

Діаметр магнітопроводу ротора

$$D_2 = D_1 - 2\delta = 140 - 2 \cdot 0.75 = 138.5 \text{ мм} .$$

Кількість пазів на полюс і фазу

$$q_2 = 7 .$$

Кількість зубців ротора

$$z_2 = 2p \cdot (q_2 - 1) = 2 \cdot 2 \cdot (7 - 1) = 24 .$$

Розрахунковий момент на валу генератора

$$M_p = \frac{P_p \cdot 60 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{32.8 \cdot 60 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot 1.5 \times 10^3} = 208.8 \text{ Нм} .$$

Розміри вала генератора (рис.2.2):

$$l_1 = 110 \text{ мм} .$$

$$d_1 = 55 \text{ мм} .$$

$$d_2 = 60 \text{ мм} .$$

$$d_3 = 72 \text{ мм} .$$

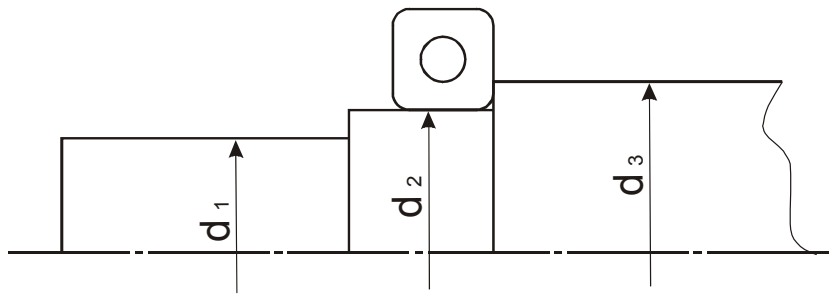


Рис.2.2. Вал генератора

Внутрішній діаметр магнітопроводу ротора

$$D_{2B} = d_3 = 72 \text{ мм} .$$

Магнітний потік

$$\Phi = \frac{B_{\delta} \cdot D_1 \cdot l_{\delta} \cdot 10^{-6}}{p} = \frac{0.85 \cdot 140 \cdot 335 \cdot 10^{-6}}{2} = 0.02 \text{ Вб} .$$

Коефіцієнт заповнення сталі

$$k_c = 0.97 .$$

Індукція у спинці ротора

$$B_{c2} = 0.9 \text{ Тл} .$$

Розрахункове значення висоти спинки ротора

$$h_{c2p} = \frac{\Phi \cdot 10^6}{2B_{c2} \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{0.02 \cdot 10^6}{2 \cdot 0.9 \cdot 335 \cdot 0.97} = 34 \text{ мм} .$$

Висота спинки ротора

$$h_{c2} = h_{c2p} - 0.35 \cdot D_{2B} = 34 - 0.35 \cdot 72 = 8.8 \text{ мм} .$$

Діаметр зубцевої зони ротора

$$D_z = D_{2B} + 2 \cdot h_{c2} = 72 + 2 \cdot 8.8 = 89.6 \text{ мм} .$$

Висота зубців ротора

$$h_{z2} = \frac{D_2 - D_z}{2} = \frac{138.5 - 89.6}{2} = 24.5 \text{ мм} .$$

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Зубцеве ділення ротора у основі зубців

$$t_{22} = \frac{\pi \cdot D_z}{z_2 + 2p} = \frac{\pi \cdot 89.6}{24 + 2 \cdot 2} = 10.1 \text{ мм} .$$

Зубцеве ділення ротора

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{z_2 + 2p} = \frac{\pi \cdot 138.5}{24 + 2 \cdot 2} = 15.5 \text{ мм} .$$

Максимальна індукція у зубцях ротора

$$B_{z\max} = 1.5 \text{ Тл} .$$

Мінімальна ширина зубців ротора

$$b_{z\min} = \frac{\Phi}{5B_{z\max} \cdot k_c \cdot l_\delta \cdot 10^{-6}} - \frac{t_{22}}{5} = \frac{0.02}{5 \cdot 1.5 \cdot 0.97 \cdot 335 \cdot 10^{-6}} - \frac{10.1}{5} = 6.15 \text{ мм} .$$

Ширина паза ротора

$$b_p = t_{22} - b_{z\min} = 10.1 - 6.15 = 3.95 \text{ мм} .$$

Максимальна ширина зубця ротора

$$b_{z\max} = t_2 - b_p = 15.5 - 3.95 = 11.6 \text{ мм} .$$

Мінімальна індукція у зубцях ротора

$$B_{z\min} = B_{z\max} \cdot \frac{b_{z\min}}{b_{z\max}} = 1.5 \cdot \frac{6.15}{11.6} = 0.795 \text{ Тл} .$$

Середня індукція у зубцях ротора

$$B_{z2c} = \frac{B_{z\min} + B_{z\max}}{2} = \frac{0.795 + 1.5}{2} = 1.147 \text{ Тл} .$$

ОБМОТКА СТАТОРА

Струм статора

$$I_{1n} = \frac{P_{2H} \cdot 10^3}{\cos \phi \cdot U_1 \cdot m_1} = \frac{25 \cdot 10^3}{0.8 \cdot 230 \cdot 3} = 45.3 \text{ А} .$$

Щільність струму у обмотці статора

$$\Delta_1 = 5.5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} .$$

					141. 2367ст. БР. ПЗ. Р2	Лист
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість витків у одношаровій обмотці статора (рис.2.3)

$$w'_1 = \frac{U_1}{k_H \cdot 4.44 \cdot \Phi \cdot f \cdot k_{o1}} = \frac{230}{1.05 \cdot 4.44 \cdot 0.02 \cdot 50 \cdot 0.95} = 52.2 .$$

Приймається $w_1 = 52$.

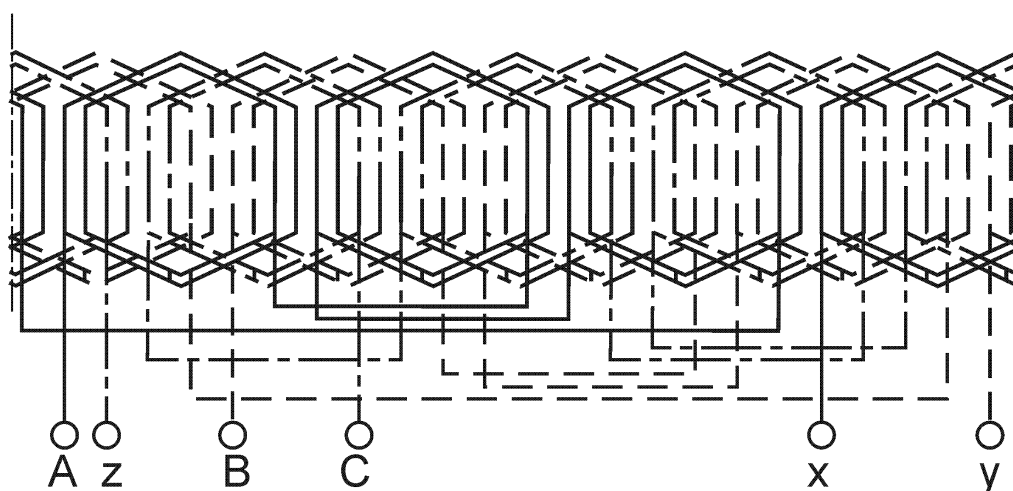


Рис.2.3. Одношарова обмотка статора генератора

Перетин ефективного провідника обмотки статора

$$q_{ef1} = \frac{I_{1n}}{\Delta_1} = \frac{45.3}{5.5} = 8.24 \text{ мм}^2 .$$

Кількість елементарних провідників

$$N_{e1} = 8 .$$

Перетин елементарного провідника обмотки статора

$$q'_{e1} = \frac{q_{ef1}}{N_{e1}} = \frac{8.24}{8} = 1.03 \text{ мм}^2 .$$

Обирається провідник ПЕТ-155 [11] з перетином $q_{e1} = 1.057 \text{ мм}^2$.

Кількість елементарних провідників обмотки статора в пазу

$$u_1 = \frac{w_1 \cdot N_{e1}}{p \cdot q_1} = \frac{52 \cdot 8}{2 \cdot 4} = 52 .$$

Коефіцієнт заповнення паза

$$k_z = 0.65 .$$

Площина паза статора

$$S_{p1} = q_{e1} \cdot \frac{u_1}{k_z} = 1.057 \cdot \frac{52}{0.65} = 84.56 \text{ мм}^2 .$$

Індукція у спинці статора

$$B_{c1} = 1.45 \text{ Тл} .$$

Висота спинці статора

$$h_{c1} = \frac{\Phi \cdot 10^6}{B_{c1} \cdot 2 \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{0.02 \cdot 10^6}{1.45 \cdot 2 \cdot 335 \cdot 0.97} = 21.1 \text{ мм} .$$

Діаметр зубцевої зони статора

$$D_{1z} = D_{1n} - 2 \cdot h_{c1} = 230 - 2 \cdot 21.1 = 187.8 \text{ мм} .$$

Висота паза статора

$$h_{z1} = \frac{D_{1z} - D_1}{2} = \frac{187.8 - 140}{2} = 23.9 \text{ мм} .$$

Ширина паза статора

$$b_{p1} = \frac{S_{p1}}{h_{z1}} = \frac{84.56}{23.9} = 3.538 \text{ мм} .$$

Висота і ширина шліца, відповідно:

- статора

$$h_{k1} = 2 \text{ мм} . \quad b_{h1} = 2 \text{ мм} .$$

-ротора

$$h_{k2} = 2 \text{ мм} . \quad b_{h2} = 2 \text{ мм} .$$

Зубцеве ділення статора

$$t_1 = \frac{\pi D_1}{z_1} = \frac{\pi \cdot 140}{48} = 9.163 \text{ мм} .$$

Мінімальна ширина зубців статора

$$b_{z1\min} = t_1 - b_{p1} = 9.163 - 3.538 = 5.62 \text{ мм} .$$

Максимальна індукція у зубцах статора

$$B_{z1\max} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1}{b_{z1\min} \cdot k_c} = \frac{0.85 \cdot 9.163}{5.62 \cdot 0.97} = 1.43 \text{ Тл} .$$

Максимальна ширина зубця статора

$$b_{z1\max} = \frac{\pi \cdot (D_1 + 2 \cdot h_{z1})}{z_1} - b_{p1} = \frac{\pi \cdot (140 + 2 \cdot 23.9)}{48} - 3.538 = 8.753 \text{ мм}.$$

Мінімальна індукція у зубцях статора

$$B_{z1\min} = \frac{2 \cdot p \Phi \cdot 10^6}{b_{z1\max} \cdot k_c \cdot l_\delta \cdot z_1} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0.02 \cdot 10^6}{8.753 \cdot 0.97 \cdot 335 \cdot 48} = 0.583 \text{ Тл}.$$

Середня індукція у зубцях статора

$$B_{zc1} = \frac{B_{z1\max} + B_{z1\min}}{2} = \frac{1.43 + 0.583}{2} = 1.01 \text{ Тл}.$$

РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО КОЛА

Коефіцієнт зубчасті статора

$$K_{\delta 1} = 1 + \frac{b_{h1}^2}{b_{h1} \cdot t_1 - b_{h1}^2 + 5 \cdot t_1 \cdot \delta} = 1 + \frac{2^2}{2 \cdot 9.163 - 2^2 + 5 \cdot 9.163 \cdot 0.75} = 1.08.$$

Коефіцієнт зубчасті ротора

$$K_{\delta 2} = 1 + \frac{b_{h2}^2}{b_{h2} \cdot t_2 - b_{h2}^2 + 5 \cdot t_2 \cdot \delta} = 1 + \frac{2^2}{2 \cdot 15.5 - 2^2 + 5 \cdot 15.5 \cdot 0.75} = 1.05.$$

Загальний коефіцієнт зубчасті

$$K_\delta = K_{\delta 1} \cdot K_{\delta 2} = 1.08 \cdot 1.05 = 1.13.$$

МРС повітряного зазору

$$F_\delta = 0.8 \cdot \delta \cdot K_\delta \cdot B_\delta \cdot 10^3 = 0.8 \cdot 0.75 \cdot 1.13 \cdot 0.85 \cdot 10^3 = 576 \text{ А}.$$

Напруженість у зубцях статора

$$H_{z1} = 3.29 \frac{\text{А}}{\text{см}}.$$

МРС зубців статора

$$F_{z1} = 0.1 \cdot H_{z1} \cdot h_{z1} = 0.1 \cdot 3.29 \cdot 23.9 = 7.86 \text{ А}.$$

Напруженість у зубцях ротора

$$H_{z2} = 3.94 \frac{A}{cm}.$$

МРС зубців ротора

$$F_{z2} = 0.1 \cdot H_{z2} \cdot h_{z2} = 0.1 \cdot 3.94 \cdot 24.5 = 9.65 \text{ A}.$$

Напруженість у спинці статора

$$H_{c1} = 4.5 \frac{A}{cm}.$$

Напруженість у спинці ротора

$$H_{c2} = 1.52 \frac{A}{cm}.$$

Середня довжина силової лінії у спинці статора

$$L_{c1} = \frac{\pi \cdot (D_{1n} - h_{c1})}{4 \cdot p} = \frac{\pi \cdot (230 - 21.1)}{4 \cdot 2} = 82 \text{ мм}.$$

МРС у спинці статора

$$F_{c1} = 0.1 \cdot H_{c1} \cdot L_{c1} = 0.1 \cdot 4.5 \cdot 82 = 36.9 \text{ A}.$$

Середня довжина силової лінії у спинці ротора

$$L_{c2} = \frac{\pi \cdot (D_{2B} + h_{c2})}{4 \cdot p} + \frac{h_{c2}p}{2} = \frac{\pi \cdot (72 + 8.8)}{4 \cdot 2} + \frac{34}{2} = 48.7 \text{ мм}.$$

МРС у спинці ротора

$$F_{c2} = 0.1 \cdot H_{c2} \cdot L_{c2} = 0.1 \cdot 1.52 \cdot 48.7 = 7.4 \text{ A}.$$

Загальна МРС

$$F_{\Sigma} = F_{\delta} + F_{c1} + F_{z1} + F_{z2} + F_{c2} = 576 + 36.9 + 7.86 + 9.65 + 7.4 = 637.8 \text{ A}.$$

Кофіцієнт намагнічування

$$k_{\mu} = \frac{F_{\Sigma}}{F_{\delta}} = \frac{637.8}{576} = 1.11.$$

РОЗРАХУНОК КРИВОЇ ХОЛОСТОГО РЕЖИМУ

Задається ряд значень потоку у в.о.

$$\Phi_x = (0 \ 0.5 \ 0.75 \ 1 \ 1.15 \ 1.25 \ 1.4 \ 1.55) .$$

Індукція у повітряному зазорі

$$B_{\delta x} = B_{\delta} \cdot \Phi_x .$$

$$B_{\delta x} = (0 \ 0.425 \ 0.638 \ 0.85 \ 0.977 \ 1.063 \ 1.19 \ 1.317) .$$

МРС повітряного зазору

$$F_{\delta x} = 0.8 \cdot \delta \cdot K_{\delta} \cdot B_{\delta x} \cdot 10^3 .$$

$$F_{\delta x} = (0 \ 288.15 \ 432.225 \ 576.3 \ 662.745 \ 720.375 \ 806.82 \ 893.265) .$$

Середня індукція у зубцях статора

$$B_{zclx} = B_{zc1} \cdot \Phi_x .$$

$$B_{zclx} = (0 \ 0.505 \ 0.758 \ 1.01 \ 1.161 \ 1.262 \ 1.414 \ 1.566) .$$

Напруженість у зубцях статора

$$H_{z1x} = (0 \ 1.55 \ 2.41 \ 3.26 \ 4 \ 4.6 \ 5.98 \ 7.92) .$$

МРС зубців статора

$$F_{z1x} = 0.1 \cdot H_{z1x} \cdot h_{z1} .$$

$$F_{z1x} = (0 \ 3.705 \ 5.76 \ 7.791 \ 9.56 \ 10.994 \ 14.292 \ 18.929) .$$

Середня індукція у зубцях ротора

$$B_{z2cx} = B_{z2c} \cdot \Phi_x .$$

$$B_{z2cx} = (0 \ 0.574 \ 0.86 \ 1.147 \ 1.319 \ 1.434 \ 1.606 \ 1.778) .$$

Напруженість у зубцях ротора

$$H_{z2x} = (0 \ 1.79 \ 2.76 \ 3.94 \ 5.04 \ 6.27 \ 8.75 \ 14.3) .$$

МРС зубців ротора

$$F_{z2x} = 0.1 \cdot H_{z2x} \cdot h_{z2} .$$

$$F_{z2x} = (0 \ 4.386 \ 6.762 \ 9.653 \ 12.348 \ 15.361 \ 21.438 \ 35.035) .$$

Індукція у спінці статора

$$B_{c1x} = \Phi_x \cdot B_{c1}.$$

$$B_{c1x} = (0 \ 0.725 \ 1.087 \ 1.45 \ 1.667 \ 1.813 \ 2.03 \ 2.248).$$

Напруженість у спінці статора

$$H_{c1x} = (0 \ 1.05 \ 2.15 \ 4.5 \ 9.96 \ 22.2 \ 66 \ 200).$$

Індукція у спінці ротора

$$B_{c2x} = B_{c2} \cdot \Phi_x.$$

$$B_{c2x} = (0 \ 0.45 \ 0.675 \ 0.9 \ 1.035 \ 1.125 \ 1.26 \ 1.395).$$

Напруженість у спінці ротора

$$H_{c2x} = (0 \ 0.58 \ 0.94 \ 1.52 \ 1.97 \ 2.31 \ 2.95 \ 3.95).$$

МРС у спінці статора

$$F_{c1x} = 0.1 \cdot H_{c1x} \cdot L_{c1}.$$

$$F_{c1x} = (0 \ 8.61 \ 17.63 \ 36.9 \ 81.672 \ 182.04 \ 541.2 \ 1.64 \times 10^3).$$

МРС у спінці ротора

$$F_{c2x} = 0.1 \cdot H_{c2x} \cdot L_{c2}.$$

$$F_{c2x} = (0 \ 2.825 \ 4.578 \ 7.402 \ 9.594 \ 11.25 \ 14.367 \ 19.237).$$

Загальна МРС

$$F_{\Sigma x} = \frac{F_{\delta x} + F_{c1x} + F_{z1x} + F_{z2x} + F_{c2x}}{F_{\Sigma}}.$$

$$F_{\Sigma x} = (0 \ 0.482 \ 0.732 \ 1 \ 1.217 \ 1.474 \ 2.192 \ 4.087).$$

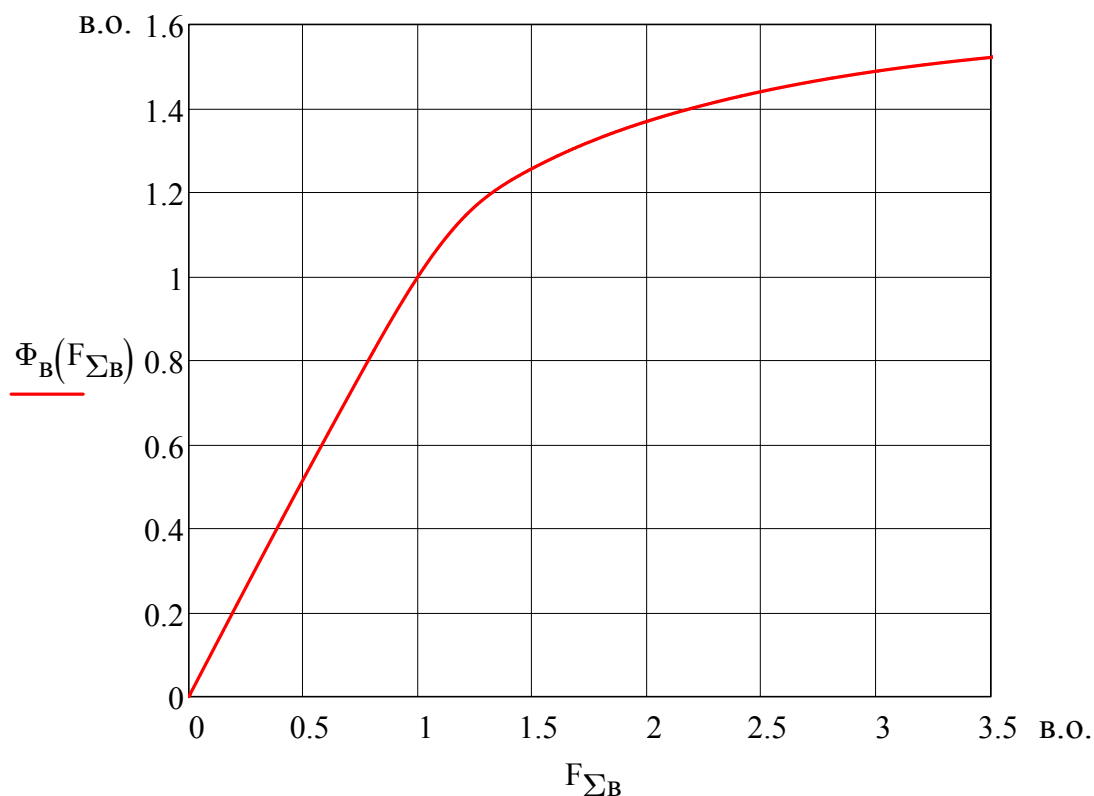


Рис.2.4. Характеристика холостого режиму

РОЗРАХУНОК ОПОРІВ ОБМОТКИ СТАТОРА

Середнє пазове ділення статора

$$t_{cp1} = \frac{\pi \cdot (D_1 + h_{z1})}{z_1} = \frac{\pi \cdot (140 + 23.9)}{48} = 10.7 \text{ мм} .$$

Шаг обмотки

$$y_1 = 9.5 .$$

Середня ширина витка обмотки

$$b_{c1} = t_{cp1} \cdot y_1 = 10.7 \cdot 9.5 = 102 \text{ мм} .$$

Довжина лобової частини обмотки

$$l_{л1} = b_{c1} + 8 \cdot h_{z1} = 102 + 8 \cdot 23.9 = 293 \text{ мм} .$$

Середня довжина витка обмотки

$$l_{cp1} = 2 \cdot l_{\delta} + 2 \cdot l_{л1} = 2 \cdot 335 + 2 \cdot 293 = 1.256 \times 10^3 \text{ мм} .$$

Коефіцієнт пазового розсіювання обмотки статора

$$\lambda_{п1} = \frac{3h_{k1}}{b_{p1} + 2 \cdot b_{h1}} + \frac{h_{z1}}{3 \cdot b_{p1}} = \frac{3 \cdot 2}{3.538 + 2 \cdot 2} + \frac{23.9}{3 \cdot 3.538} = 3.05 .$$

Коефіцієнт лобового розсіювання обмотки статора

$$\lambda_{л1} = \frac{0.34 \cdot q_1 \cdot (l_{л1} - 0.64 \cdot \tau)}{l_{\delta}} = \frac{0.34 \cdot 4 \cdot (293 - 0.64 \cdot 110)}{335} = 0.904 .$$

Коефіцієнт динамічного розсіювання статорної обмотки

$$\lambda_{д1} = \frac{t_1 (q_1 \cdot k_{o1})^2 \cdot 0.0054}{\delta \cdot K_{\delta}} = \frac{9.163 \cdot (4 \cdot 0.95)^2 \cdot 5.4 \times 10^{-3}}{0.75 \cdot 1.13} = 0.843 .$$

Повне розсіювання обмотки статора

$$\lambda_1 = \lambda_{п1} + \lambda_{л1} + \lambda_{д1} = 3.05 + 0.904 + 0.843 = 4.8 .$$

Індуктивний опір обмотки статора

$$X_{\sigma} = \frac{1.58 \cdot f \cdot l_{\delta} \cdot w_1^2 \cdot \lambda_1}{p \cdot q_1 \cdot 10^8} = \frac{1.58 \cdot 50 \cdot 335 \cdot 52^2 \cdot 4.8}{2 \cdot 4 \cdot 10^8} = 0.429 \text{ Ом} .$$

Питомий опір для міді

$$\rho_M = 24.4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{мм} .$$

Активний опір статорної обмотки

$$R_1 = \rho_M \cdot \frac{w_1 \cdot l_{cp1}}{N_{e1} \cdot q_{e1}} = 24.4 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{52 \cdot 1.256 \times 10^3}{8 \cdot 1.057} = 0.188 \text{ Ом} .$$

РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО КОЛА ПРИ НАВАНТАЖЕННІ

Складові ЕРС при навантаженні:

$$E_d = U_1 \cdot \cos \phi + I_{1n} \cdot R_1 = 230 \cdot 0.8 + 45.3 \cdot 0.188 = 193 \text{ В} .$$

$$E_q = I_{1n} \cdot X_{\sigma} + U_1 \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \phi} = 45.3 \cdot 0.429 + 230 \cdot \sqrt{1 - 0.8^2} = 157 \text{ В} .$$

ЕРС при навантаженні

$$E = \sqrt{E_d^2 + E_q^2} = \sqrt{193^2 + 157^2} = 249 \text{ В} .$$

					141. 2367ст. БР. ПЗ. Р2	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

ЕРС при навантаженні у відносних одиницях

$$E_x = \frac{E}{U_1} = \frac{249}{230} = 1.08 \text{ в.о.}$$

Результуюча МРС при навантаженні у відносних одиницях

$$F_{рез} = F_{xx}(E_x) \quad F_{рез} = 1.096 \text{ в.о.}$$

МРС реакції якорю при навантаженні

$$F_a = 0.45 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot k_{o1} \cdot \frac{I_{1n}}{p} = 0.45 \cdot 3 \cdot 52 \cdot 0.95 \cdot \frac{45.3}{2} = 1.511 \times 10^3 \text{ А.}$$

МРС реакції якорю при навантаженні у відносних одиницях

$$F_{ax} = \frac{F_a}{F_{\Sigma}} = \frac{1.511 \times 10^3}{637.8} = 2.37 \text{ в.о.}$$

Кут у трикутнику МРС

$$\beta = \pi - \arccos\left(\frac{E_q}{E}\right) = \pi - \arccos\left(\frac{157}{249}\right) = 2.25 \text{ .}$$

Складові МРС збудження при навантаженні у відносних одиницях:

$$F_{31} = F_{рез}^2 + F_{ax}^2 = 1.096^2 + 2.37^2 = 6.82 \text{ в.о.}$$

$$F_{32} = 2 \cdot F_{рез} \cdot F_{ax} \cdot \cos(\beta) = 2 \cdot 1.096 \cdot 2.37 \cdot \cos(2.25) = -3.26 \text{ в.о.}$$

МРС збудження при навантаженні у відносних одиницях

$$F_3 = \sqrt{F_{31} - F_{32}} = \sqrt{6.82 - (-3.26)} = 3.17 \text{ в.о.}$$

ЕРС неробочого режиму у відносних одиницях

$$E_0 = \Phi_B(F_3) \quad E_0 = 1.501 \text{ в.о.}$$

Складова індуктивного опору реакції якорю

$$X_{af} = E_0 \cdot E_x \cdot \frac{F_3^2 + F_{рез}^2 - F_{ax}^2}{2 \cdot F_{рез} \cdot F_3} = 1.501 \cdot 1.08 \cdot \frac{3.17^2 + 1.096^2 - 2.37^2}{2 \cdot 1.096 \cdot 3.17} = 1.314 \text{ .}$$

Індуктивний опір реакції якорю

$$X_a = \frac{U_1 \cdot \sqrt{E_0^2 + E_x^2 - 2 \cdot X_{af}}}{I_{1n}} = \frac{230 \cdot \sqrt{1.501^2 + 1.08^2 - 2 \cdot 1.314}}{45.3} = 4.52 \text{ Ом .}$$

РОЗРАХУНОК ОБМОТКИ ЗБУДЖЕННЯ

Коефіцієнт заповнення пазів ротору

$$k_{z2} = 0.62 \text{ .}$$

Площина обмотки збудження (рис.2.5) на полюс

$$S_{o2} = b_p \cdot h_{z2} \cdot k_{z2} \cdot \frac{z_2}{2p} = 3.95 \cdot 24.5 \cdot 0.62 \cdot \frac{24}{2 \cdot 2} = 360 \text{ мм}^2 \text{ .}$$

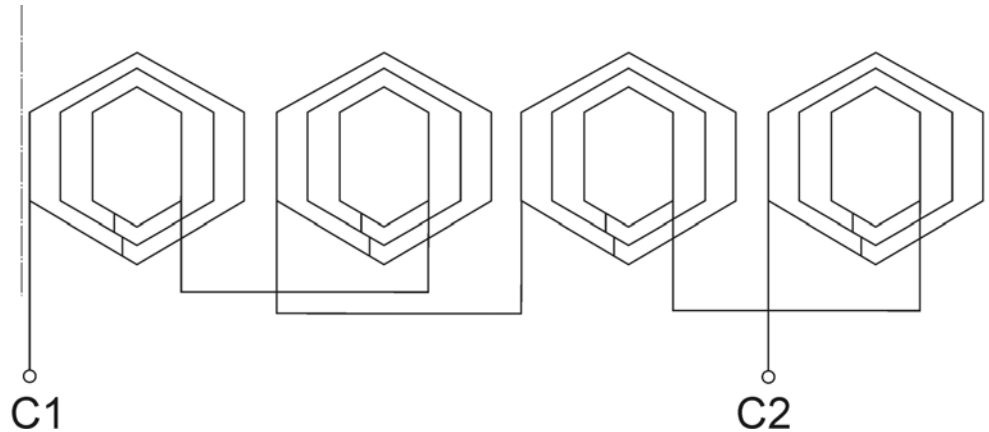


Рис.2.5. Схема обмотки збудження генератора

Щільність струму у обмотці ротора

$$\Delta_2 = \frac{F_3 \cdot F_\Sigma}{S_{o2}} = \frac{3.17 \cdot 637.8}{360} = 5.62 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \text{ .}$$

Площина елементарного провідника ротора марки ПЕТ-155 [11]

$$q_{e2} = 0.353 \text{ мм}^2 \text{ .}$$

Кількість витків у обмотці збудження

$$w'_2 = \frac{S_{o2}}{q_{e2}} = \frac{360}{0.353} = 1.019 \times 10^3 \text{ .}$$

Приймається $w_2 = 988$.

Струм у обмотці ротора

$$I_3 = \frac{F_3 \cdot F_\Sigma}{w_2} = \frac{3.17 \cdot 637.8}{988} = 2.05 \text{ А} \text{ .}$$

Середній діаметр пазової зони ротора

$$D_{c2} = D_2 - h_{z2} = 138.5 - 24.5 = 114 \text{ мм} \text{ .}$$

Середня довжина лобової частини обмотки ротора

$$l_{л2} = 4 \cdot \frac{1.15 \cdot \pi \cdot D_{с2}}{z_2 + 2p} = 4 \cdot \frac{1.15 \cdot \pi \cdot 114}{24 + 2 \cdot 2} = 58.8 \text{ мм}.$$

Середній довжина витка обмотки ротора

$$l_{ср2} = 2 \cdot (l_{\delta} + l_{л2}) = 2 \cdot (335 + 58.8) = 788 \text{ мм}.$$

Активний опір обмотки ротора

$$R_3 = \rho_m \cdot \frac{w_2 \cdot l_{ср2}}{q_{e2}} = 24.4 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{988 \cdot 788}{0.353} = 53.8 \text{ Ом}.$$

Напруга обмотки збудження

$$U'_3 = R_3 \cdot I_3 = 53.8 \cdot 2.05 = 110.3 \text{ В}.$$

Приймається $U_3 = 110 \text{ В}.$

РОЗРАХУНОК ККД

Площина зубцевої зони статора

$$S_{z11} = \pi \cdot (D_1 \cdot h_{z1} + h_{z1}^2) = \pi \cdot (140 \cdot 23.9 + 23.9^2) = 1.231 \times 10^4 \text{ мм}^2.$$

Площина зубців статора

$$S_{z12} = z_1 \cdot h_{z1} \cdot b_{p1} = 48 \cdot 23.9 \cdot 3.538 = 4.058 \times 10^3 \text{ мм}^2.$$

Об'єм зубців статора

$$V_{z1} = (S_{z11} - S_{z12}) \cdot l_{\delta} = (1.231 \times 10^4 - 4.058 \times 10^3) \cdot 335 = 2.76 \times 10^6 \text{ мм}^3.$$

Маса зубців статора

$$m_{z1} = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot k_c \cdot V_{z1} = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot 0.97 \cdot 2.76 \times 10^6 = 20.9 \text{ кг}.$$

Площина спинки статора

$$S_{с1} = \frac{\pi}{4} \cdot [D_{1н}^2 - (D_1 + 2 \cdot h_{z1})^2] = \frac{\pi}{4} \cdot [230^2 - (140 + 2 \cdot 23.9)^2] = 1.385 \times 10^4 \text{ мм}^2$$

Маса спілки статора

$$m_{с1} = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot S_{с1} \cdot l_{\delta} \cdot k_c = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1.385 \times 10^4 \cdot 335 \cdot 0.97 = 35.1 \text{ кг}.$$

					141. 2367ст. БР. ПЗ. Р2	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

Втрати потужності у зубцях статора

$$P_{z1} = 4.4 \cdot B_{zc1}^2 \cdot m_{z1} = 4.4 \cdot 1.01^2 \cdot 20.9 = 93.8 \text{ Вт} .$$

Втрати потужності у спинці статора

$$P_{c1} = 4.4 \cdot B_{c1}^2 \cdot m_{c1} = 4.4 \cdot 1.45^2 \cdot 35.1 = 325 \text{ Вт} .$$

Загальні втрати потужності у сталі

$$P_{ст} = P_{z1} + P_{c1} = 93.8 + 325 = 419 \text{ Вт} .$$

Втрати потужності:

- у обмотці статора

$$P_{e1} = m_1 \cdot I_{1n}^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 45.3^2 \cdot 0.188 = 1.157 \times 10^3 \text{ Вт} .$$

- у обмотці ротора

$$P_{e2} = p \cdot I_3^2 \cdot R_3 = 2 \cdot 2.05^2 \cdot 53.8 = 452 \text{ Вт} .$$

- загальні електричні

$$P_e = P_{e1} + P_{e2} = 1.157 \times 10^3 + 452 = 1.609 \times 10^3 \text{ Вт} .$$

- механічні

$$P_{mex} = 8 \cdot \left(\frac{n_1}{1000} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_1}{100} \right)^3 = 8 \cdot \left(\frac{1.5 \times 10^3}{1 \times 10^3} \right)^2 \cdot \left(\frac{140}{100} \right)^3 = 49.4 \text{ Вт} .$$

- додаткові

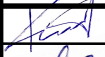
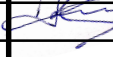
$$P_{dob} = 5 \cdot P_{2H} = 5 \cdot 25 = 125 \text{ Вт} .$$

- загальні

$$P_s = P_e + P_{ст} + P_{mex} + P_{dob} = 1.609 \times 10^3 + 419 + 49.4 + 125 = 2.202 \times 10^3 \text{ Вт} .$$

ККД

$$\eta = 1 - \frac{P_s}{10^3 P_{2H} + P_s} = 1 - \frac{2.202 \times 10^3}{10^3 \cdot 25 + 2.202 \times 10^3} = 0.919 .$$

					141. 4361. БР. ПЗ. РЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА		
Розроб.		Кривцов Д.О.					
Керівник		Кімстач О.Ю.					
Н. контр.							
В.о. зав. каф.		Обрубов А.В.					
					Лім.	Лист	Листів
						37	7
					НУК		

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

3.1. Розрахунок характеристик генератора

Регулювальна характеристика

Задаючись рядом значень струму статора у відносних одиницях I_{10} від

0 до 1,2 розраховується регулювальна характеристика.

Струм статора у абсолютних одиницях

$$I_1(I_{10}) = I_{10} \cdot I_{1n} \cdot$$

ЕРС

$$E(I_{10}) = \sqrt{(U_1 \cdot \cos\phi + I_1(I_{10}) \cdot R_1)^2 + (I_1(I_{10}) \cdot X_\sigma + U_1 \cdot \sin\phi)^2} \cdot$$

ЕРС у відносних одиницях

$$E_x(I_{10}) = \frac{E(I_{10})}{U_1} \cdot$$

Результуюча МРС у відносних одиницях

$$F_{рез}(I_{10}) = F_{xx}(E_x(I_{10})) \cdot$$

МРС реакції якорю

$$F_a(I_{10}) = 0.45 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot k_{o1} \cdot \frac{I_1(I_{10})}{p} \cdot$$

МРС реакції якорю у відносних одиницях

$$F_{ax}(I_{10}) = \frac{F_a(I_{10})}{F_\Sigma} \cdot$$

Кут у трикутнику МРС

$$\beta(I_{10}) = \pi - \arccos\left(\frac{I_1(I_{10}) \cdot X_\sigma + U_1 \cdot \sin\phi}{E(I_{10})}\right) \cdot$$

МРС збудження у відносних одиницях

$$F_3(I_{10}) = \sqrt{F_{рез}(I_{10})^2 + F_{ax}(I_{10})^2 - 2 \cdot F_{рез}(I_{10}) \cdot F_{ax}(I_{10}) \cdot \cos(\beta(I_{10}))} \cdot$$

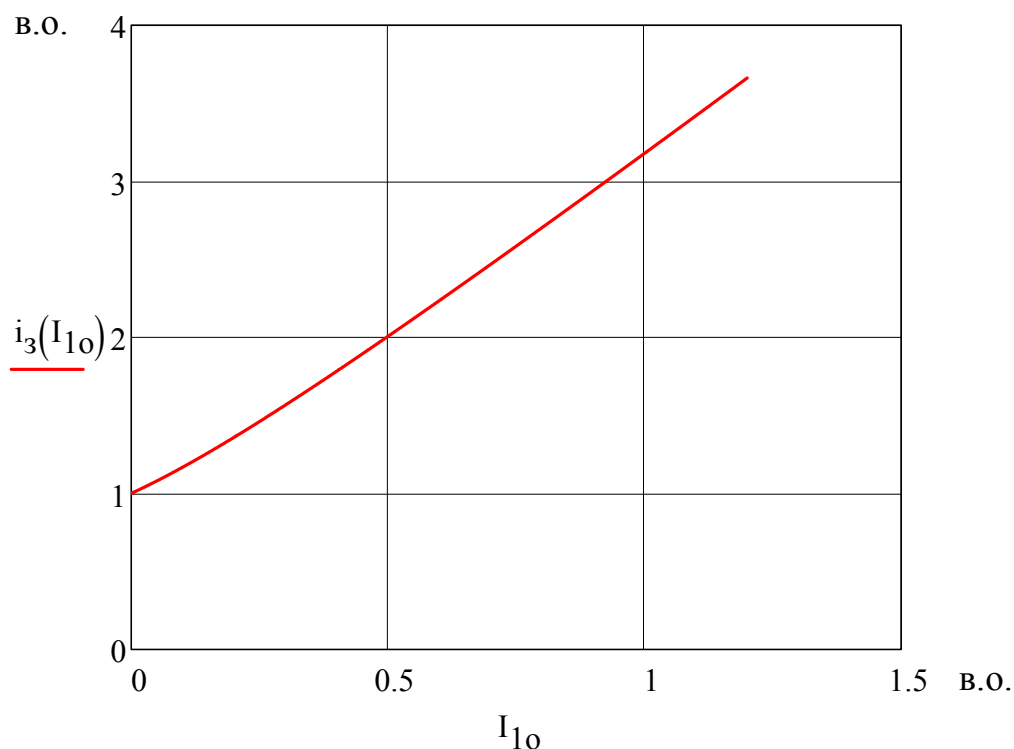


Рис.3.1. Регулювальна характеристика у відносних одиницях

Зовнішня характеристика

Задаючись рядом значень струму статора у відносних одиницях I_{10} від 0 до 2 розраховується зовнішня характеристика.

Струм статора

$$I_1(I_{10}) = I_{10} \cdot I_{1n}.$$

Коефіцієнт

$$D(I_{10}) = I_1(I_{10})^2 \cdot (X_\sigma \cdot \sin\phi + R_1 \cdot \cos\phi)^2 - \left[(I_1(I_{10}) \cdot X_\sigma)^2 + (I_1(I_{10}) \cdot R_1)^2 - E^2 \right].$$

Напруга статора у відносних одиницях

$$U(I_{10}) = \frac{-I_1(I_{10}) \cdot (X_\sigma \cdot \sin\phi + R_1 \cdot \cos\phi) + \sqrt{D(I_{10})}}{U_1}.$$

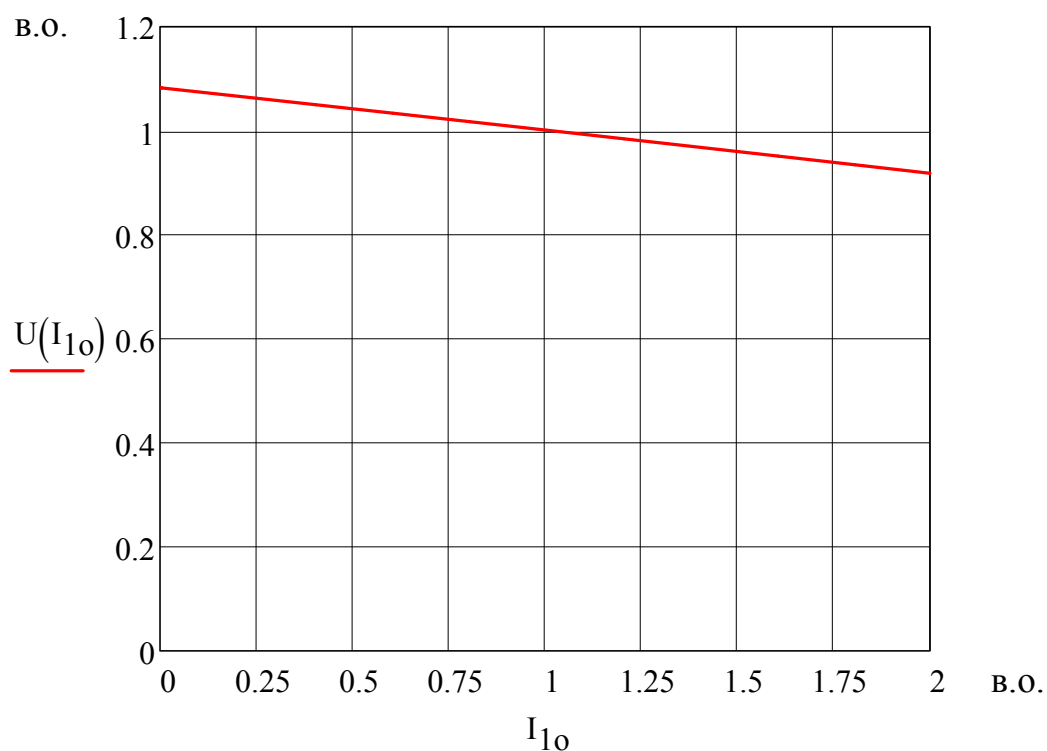


Рис.3.2. Зовнішня характеристика у відносних одиницях

Кутові характеристики

Задаючись рядом значень кута навантаження θ від 0 до π при постійному значенні ЕРС розраховуються кутові характеристики.

Активна потужність

$$P(\theta) = \frac{m_1 \cdot U_1 \cdot E_0}{(X_a + X_\sigma) \cdot P_{2H} \cdot 10^3} \cdot \sin(\theta) .$$

Момент

$$M(\theta) = \frac{m_1 \cdot U_1 \cdot E_0 \cdot p}{(X_a + X_\sigma) \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sin(\theta) .$$

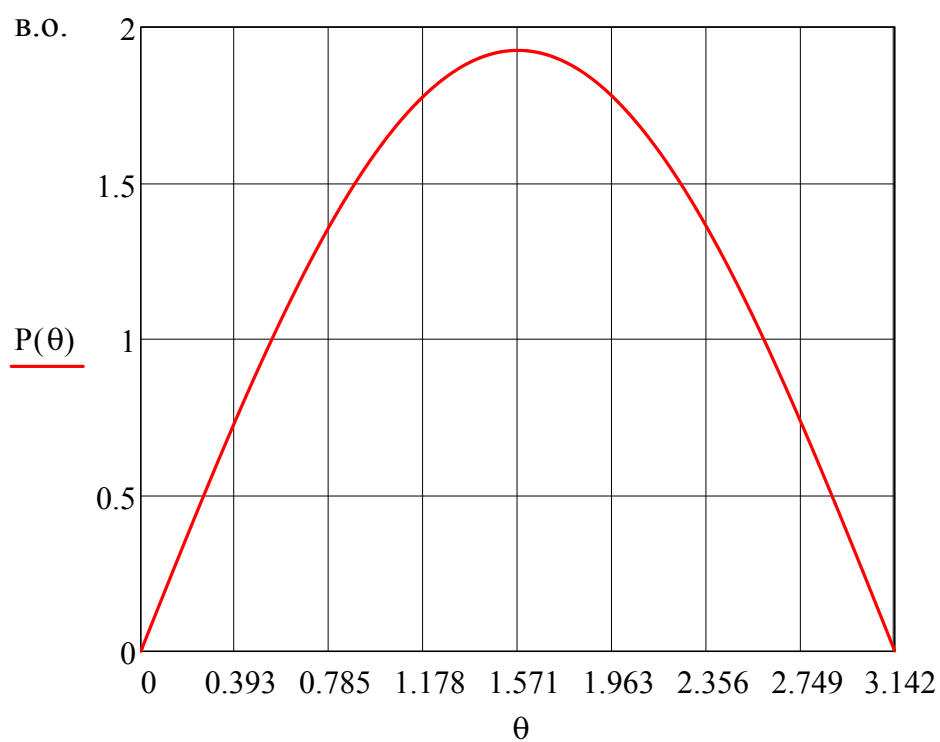


Рис.3.3. Кутова характеристика у відносних одиницях

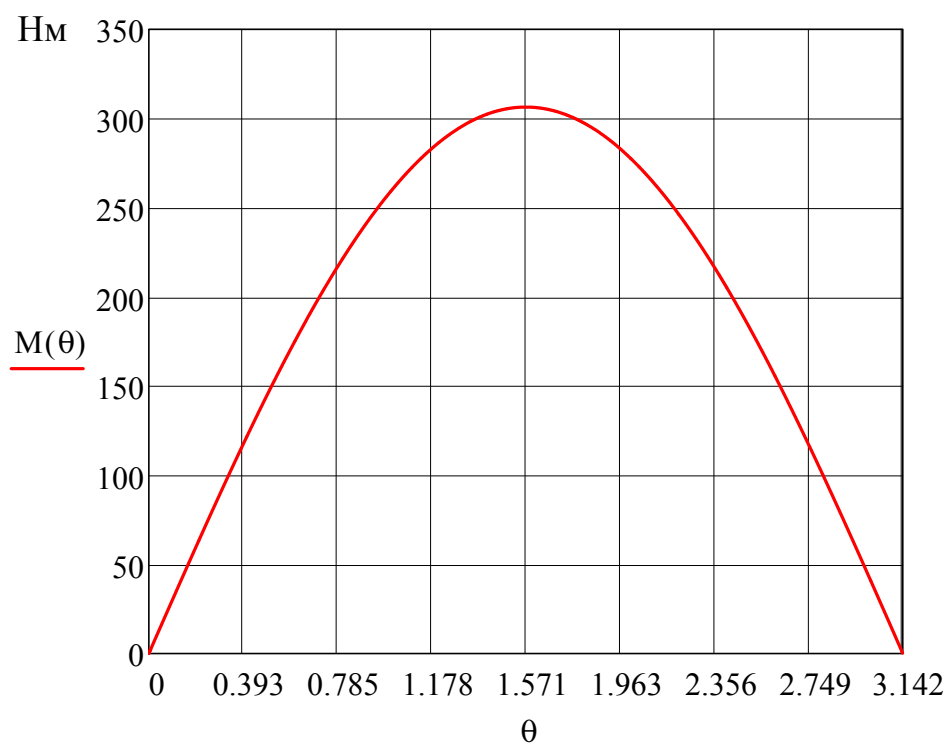


Рис.3.4. Кутова характеристика M(θ) у абсолютних одиницях

U-подібні характеристики

Задаючись рядом значень струму збудження від 0 до 3 у в.о. при різноманітних активних потужностях P_1 , розраховуються U-подібні характеристики.

ЕРС х.х.

$$E_0(i_f) := U_1 \cdot \Phi_B(i_f) .$$

Квадрат опору

$$Z := R_1^2 + (X_\sigma + X_a)^2 .$$

Розрахункові коефіцієнти

$$a := Z^2 ;$$

$$E(i_f, P) := (E_0(i_f))^2 - \frac{2P \cdot (P_{2H} \cdot 10^3) \cdot R_1}{m_1} - U_1^2 ;$$

$$b(i_f, P) := 2 \cdot E(i_f, P) \cdot Z + 4 \cdot U_1^2 \cdot (X_\sigma + X_a)^2 ;$$

$$c(i_f, P) := (E(i_f, P))^2 + 4 \cdot \frac{(X_\sigma + X_a)^2 \cdot [P \cdot (P_{2H} \cdot 10^3)]^2}{m_1^2} .$$

Струм статора у відносних одиницях

$$I_a(i_f, P) := \frac{1}{I_{1n}} \cdot \sqrt{\frac{b(i_f, P) - \sqrt{(b(i_f, P))^2 - 4a \cdot c(i_f, P)}}{2 \cdot a}} .$$

На рис.3.5 наведено U-подібні характеристики, що розраховано за вказаним алгоритмом для трьох різних значень активної потужності.

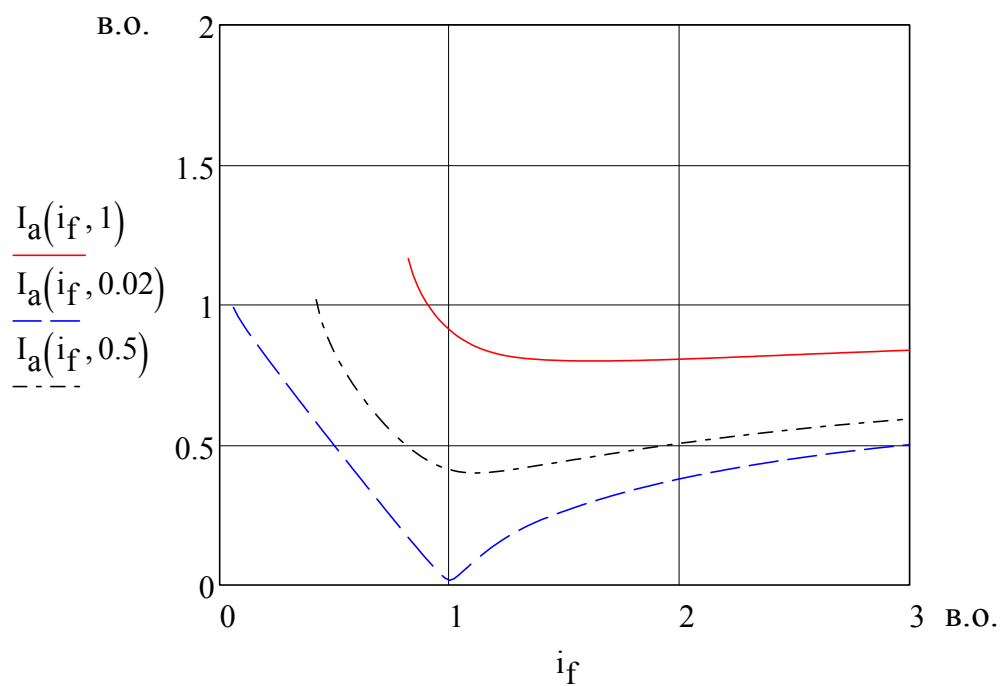
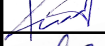


Рис.3.5. U-подібні характеристики при холостому режимі,
половинній і повній потужності

					141. 4361. БР. ПЗ. Р4			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кривцов Д.О.			ОХОРОНА ПРАЦІ	Лім.	Лист	Листів
Керівник		Кімстач О.Ю.					44	14
Консульт.						НУК		
Н. контр.								
В.о. зав. каф.		Обрубов А.В.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступ

Під визначенням «Охорона праці» приймається система правових соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних дій та засобів, що спрямовані на підвищення безпеки праці, застереження травматизму та професійних захворювань і отруєнь, пожеж і вибухів на виробництві.

Охорона праці в Україні забезпечується Законом «Про охорону праці», прийнятим 14 жовтня 1992 року Верховною Радою України, а також відповідними положеннями та нормами.

Охорона праці включає в себе виробничу санітарію, техніку безпеки, а також законодавство з охорони праці. Недотримання норм і вимог з охорони праці, а також специфіка деяких виробництв призводить до виникнення шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Небезпечним виробничим фактором називається такий вплив на працюючого, який в визначених умовах призводить до травми та іншого раптового погіршення здоров'я.

Результат впливу небезпечного виробничого фактору називається нещасним випадком. До таких належать: ураження електричним струмом, механічна травма внаслідок несправного обладнання і т.д. Вплив шкідливого виробничого фактору призводить до професійних захворювань або зниженню працездатності. До шкідливих факторів належать шуми, вібрації, шкідливі випромінювання, гази, пил і т.д.

В залежності від можливих видів небезпечних або шкідливих впливів на людину обладнання що проектується забезпечується захисними пристроями і пристосуваннями, що забезпечують безпечну трудову діяльність людини. При проектуванні будь-якого обладнання або судна необхідно призвести аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що характерні для них і розробити заходи для їх усунення.

					141. 4361. БР. ПЗ. Р4	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час роботи СЕЕС.

Пристрої і агрегати СЕЕС розташовані у машинному відділенні судна. Тут знаходяться дизель – генератори і обслуговуючі пристрої, які за допомогою трас кабелів з'єднуються з ГРЩ. Потім за допомогою фідерів ГРЩ з'єднуються з місцевими розподільними щитами, розташованими, за необхідністю, в будь-якій частині судна. Крім цього, в окремому приміщенні розташовується аварійний дизель-генератор, який має свій аварійний розподільний щит.

Для машинного відділення характерна наявність таких шкідливих виробничих факторів, як шуми та вібрації внаслідок руху деталей механізмів, вихлопу газів і т.д., загазованість та запилення повітря через наявність парів палива, масел, внаслідок замкнутості приміщення, погане освітлення, так як машинне відділення знаходиться всередині корпусу судна.

Небезпеку в машинному відділенні можуть представляти балони пускового повітря, що знаходяться під надлишковим тиском, неприкриті рухомі частини механізмів, струмопровідні поверхні, що контактують з корпусами генераторів, паливні системи і резервуари і т.д.

Крім цього, для ЦПК характерні шуми що створюються струмопровідними частинами ГРЩ, кабелями, небезпеку становить висока напруга на шинах, можливість вибуху обладнання ГРЩ при впливі ударних навантажень струму.

Приміщення машинного відділення, як суднове, піддане впливу хвильової хитанина, кренів, диферентів. Повітря машинного відділення насичено вологою, частками солі. Також психологічний вплив може надати обмеження простору судових приміщень.

Машинне відділення на судні, де розташовані синхронні дизель-генератори, відноситься до категорії приміщень підвищеної небезпеки, тому збереження здоров'я обслуговуючого персоналу здобуває особливо важливе

значення, оскільки зниження працездатності членів екіпажу може призвести до аварійних ситуацій з тяжкими наслідками.

Під час роботи синхронних дизель-генераторів до кількості небезпечних та шкідливих факторів відносяться:

а) Ураження електричним струмом сотні А в статорному колі; система АРЗ підключена до роторного кола і впливає на струми як статорного кола так і роторного кола, тому теж є відповідальною ділянкою до якої потрібно виявляти обережність). Проходячи через організм, електричний струм призводить термічну, електролітичну і біологічну дію.

Випадки ураження людини струмом можливі лише у разі замикання електричного кола через тіло людини або, інакше кажучи, при дотику людини не менш ніж до двох точок кола, між якими існує деяка напруга. Небезпека такого дотику, що оцінюється величиною струму, що проходить через тіло людини, або напругою дотику, залежить від низки факторів: схеми включення людини у коло, напруги кола, схеми самого кола, режиму її нейтралу, ступеня ізоляції струмопровідних частин відносно землі і т.д. Найбільш характерними є дві схеми включення: між двома проводами і між одним проводом і землею.

б) Підвищена температура поверхонь дизель-генераторів.

В виробничій обстановці працівники, знаходячись поблизу нагрітого металу, полум'я, гарячих поверхонь, піддаються дії тепла, що випромінюють ці джерела. Як наслідок підвищується температура шкіри та глибше лежачих тканин на ділянці що опромінюється. Під впливом випромінювання в організмі відбуваються біохімічні зрушення, настають порушення серцево-судинної та нервової систем. Крім цього, променисте тепло підігріває оточуючі конструкції (підлогу, стіни, перекриття, обладнання), в результаті чого температура повітря всередині приміщення підвищується, що також погіршує умови праці.

в) Підвищений рівень статичної напруги.

г) Підвищений рівень шуму. Шум, навіть якщо він невеликий (при рівні 50...60 дБ), спричиняє значне навантаження на нервову систему людини, піддаючи його психологічному впливу. Відсутність необхідної тиші призводить до передчасної втоми, а і часто до захворювань. Слуховий аналізатор через центральну нервову систему пов'язаний з різними органами життєдіяльності людини, тому шум впливає на весь організм. Під впливом сильного шуму (90...100дБ) притупляється гострота зору, з'являються головний біль і запаморочення, змінюються ритм дихання та серцевої діяльності, підвищується кров'яний внутрішньочерепний тиск, порушується процес травлення.

Впливаючи на кору головного мозку, шум оказує дратівливу дію, прискорює процес стомлення, послаблює увагу та сповільнює психічні реакції. З цих причин сильний шум в умовах виробництва може сприяти виникненню травматизму. Рівень шуму судового високо обертового дизель-генератора складає 110дБ; шум є найбільш важко усунувний шкідливим виробничим фактором.

д) Підвищений рівень вібрації. Причиною виникнення вібрації є виникаючі під час роботи машин та агрегатів невідношені силові впливи.

Ступінь шкідливості вібрації визначається інтенсивністю впливу на людину; даний фактор може стати причиною розладу серцево-судинної та нервової систем, ушкодження слуху, виникнення вібраційної хвороби; крім цього, вібрація може призвести до ушкодження елементів системи, що може послужити причиною аварійної ситуації.

е) Електромагнітні випромінювання. Вплив електромагнітних полів на людину залежить від напруженості електричного та магнітного полів, інтенсивності потоку енергії, частоти коливань, локалізації випромінювань на поверхні тіла та індивідуальних особливостей організму.

Механізм такого впливу полягає в тому, що в електричному полі атоми та молекули, з яких складається тіло людини, поляризуються, а полярні молекули (наприклад, води), крім цього, орієнтуються за напрямком розпов-

слюдження електромагнітного поля. Перемінне електричне поле викликає нагрів тканин тіла людини, як за рахунок перемінної поляризації діелектриків, так і за рахунок виникнення струмів провідності. Електромагнітні поля також впливають на тканини як на біологічні об'єкти. Вони впливають на нервову систему, змінюють орієнтацію клітин, біохімічну активність білкових молекул і склад крові. Спостерігається зміна вуглеводного, білкового та мінерального обміну речовин.

ж) Забруднення повітряного середовища в виробничих умовах. На виробництві повітря рідко має природний склад, так як багато технологічних процесів супроводжуються виділенням в повітря виробничих приміщень шкідливих речовин – пару, газів, пилу. Шкідливі речовини потрапляють до організму людини через дихальні шляхи, а також через шкіру та з їжею.

За дією на людину вони поділяються на дві групи: неотрутні та отрутні (токсичні). Для неотрутного пилу характерне подразнення і навіть поранення порошинами слизових оболонок дихальних шляхів, що приводить до їх запалення, а при проникненні до легень – до виникнення специфічних захворювань. До такого полу відносяться металевий (чавунний, залізний, мідний, алюмінієвий), пластмасовий, наждаковий, карборундовий, деревний, пил скляного та мінерального волокна. Отрутними є свинцевий, цинковий пил та т.д.

В результаті впливу шкідливих речовин можуть виникати професійні захворювання.

Усі ці фактори необхідно усувати або зводити до мінімуму, щоб створити необхідні умови праці для членів екіпажу.

4.2. Електробезпека встановлення електроустановок

У суднобудуванні, як правило, використовують трифазний змінний струм напругою 380/220 В.

При встановленні електроустановок на суднах необхідно строго дотримувати Правил встановлення електроустановок і вимоги інших нормативних документів.

Електробезпека у суднобудуванні багато в чому визначається правильним виконанням електричних мереж, способами розподілу електричної енергії й підключення переносних електроприймачів.

Щит живлення з берега рекомендується виконувати в кормовій частині головної палуби водозахисного виконання з автоматом підключення через запобіжники.

Відстань від струмоведучих частин щита живлення з берега до палуби повинне бути не менш 1,75 метра, а між проводами введення не менш 200 мм.

При установці енергоспоживачів на судні необхідно передбачати можливість відключення електроустановок у межах окремих об'єктів. Це повинне враховуватися в проекті судна, де визначається черговість підключення й відключення споживачів.

Повинні виконуватися роботи електротехнічним персоналом, пов'язані із приєднанням або від'єднанням проводів, ремонтом, налагодженням, профілактикою й випробуванням електроустановок, що мають певну групу по електробезпечності. Приєднання до електричного кола пересувних електроустановок, ручних електричних машин і переносних електричних світильників за допомогою з'єднань, що задовольняють вимогам електробезпечності, дозволяється виконувати персоналу, допущеному до роботи з ними, навіть прибиральниця повинна мати другу електрогрупу допуску при вбиранні приміщень, які обладнані розетками й вимикачами електромережі, що перебувають під напругою.

Установка запобіжників, електричних ламп повинні виконуватися електромонтером, що застосовують засоби індивідуального захисту. Монтажні й ремонтні роботи на електричних мережах і електроустановках по-

винні проводитися після повного зняття з них напруги й при здійсненні заходів щодо забезпечення безпечного виконання робіт.

Експлуатація й монтаж електромереж і електротехнічних виробів повинні виключати можливість теплових проявів електричного струму, які можуть призвести до загоряння ізоляції або горючих матеріалів.

Захист електроустановок і електричних мереж відтоків, що виникають між фазами короткого замикання на корпус, повинна бути забезпечена за допомогою установки запобіжників з каліброваними плавкими вставками або застосуванням автоматичних вимикачів.

Здійснюється живлення електроприймачив від розподільних щитів, а також через допоміжні щити аварійного підключення.

Керування окремими електроприймачами проводиться за допомогою пускових пристроїв, що містять апарати захисту.

Пускові, вступні й розподільні пристрої вибираються із урахуванням умов роботи, кількості й потужності споживачів. Їх установлюють у легко доступні для обслуговуючого персоналу місця. Для цього передбачений захист від атмосферних опадів: заливання, бризів і снігопадів.

Слід застосовувати інвентарні пристрої для дотримання технічних і організаційних заходів безпеки, передбачених чинними правилами щоб уникнути електротравматизму, необхідних для виконання ремонтних робіт, дотримувати правил допуску до роботи з електроустановками й здійснювати нагляд за працюючими.

Електроустановки на ремонтному майданчику повинні мати маркування, написи, цифрові й літерні позначення, що вказують призначення розподільних, пускових пристроїв і іншого встаткування, а також кабелів живлення. Струмоведачі шини повинні бути пофарбовані у відповідні кольори: при змінному струмі фаза А – у жовтий колір, фаза В – у зелений колір, фаза С – у червоний колір; при постійному струмі позитивна шина (+) – у червоний колір, а негативна шина (–) – у синій колір.

4.3. Безпека при експлуатація синхронних генераторів і компенсаторів.

При експлуатації генераторів і синхронних компенсаторів (СК) забезпечується їх безперебійна робота в припустимих режимах, надійна дія систем збудження, охолодження, маслопостачання, пристроїв контролю, захисту, автоматики й діагностики.

Генератори повинні вводитися в роботу на основному збудженні, а автоматичні регулятори збудження (АРЗ) постійно включені в роботу.

Автоматичні регулятори збудження та пристрою форсування робочого збудження настраюються так, щоб при заданому зниженні напруги в мережі забезпечувалося:

- гранична напруга, що встановилася, збудження не нижче дворазового в робочому режимі, за винятком окремих типів машин;
- номінальна швидкість наростання напруги збудження;
- автоматичне обмеження заданої тривалості форсування.

Пристрої пожежогасіння генераторів повинні перебувати в постійній готовності, що забезпечує можливість їх швидкого приведення в дію.

При пуску й під час експлуатації генераторів і СК повинен здійснюватися контроль:

- електричних параметрів статора, ротора й системи збудження;
- температури обмотки й стали статора середовищ, що охолоджують (у тому числі й устаткування системи збудження), ущільнень вала, підшипників і підп'ятників;
- тиску, включаючи перепад тисків на фільтрах, питомого опору й витрати дистилляту через обмотки й інші активні і конструктивні частини;
- тиску й чистоти водню;
- тиску й температури масла, а також перепаду тисків масло-водень в ущільненнях вала; герметичності систем рідинного охолодження; вологості газового середовища, що заповнює корпус турбогенераторів;

- рівня масла в демпферних баках і поплавкових гідрозатворах турбогенераторів, у масляних ваннах підшипників і підп'ятників гідрогенераторів.

- вібрації підшипників і контактних кілець турбогенераторів, хрестовин і підшипників гідрогенераторів.

Генератори, як правило, повинні включатися в мережу способом точної синхронізації.

Швидкість підвищення напруги на генераторах і синхронних компенсаторах не обмежується.

Швидкість набору й зміни активного навантаження для всіх генераторів визначається умовами роботи первинного двигуна.

Швидкість зміни реактивного навантаження генераторів і синхронних компенсаторів з непрямым охолодженням обмоток не обмежується.

На турбогенераторах з безпосереднім охолодженням обмоток ця швидкість у нормальних режимах не повинна перевищувати швидкість набору активного навантаження, а в аварійних умовах не обмежується;

Номінальна потужність генераторів при номінальному коефіцієнті потужності і номінальна потужність синхронних компенсаторів зберігається при одночасних відхиленнях напруги до $\pm 5\%$ і частоти до $\pm 2,5\%$ номінальних значень за умови, що при роботі з підвищеною напругою й зниженою частотою сума абсолютних значень відхилень напруги й частоти не перевищує 6 %, якщо в заводській документації на окремі типи машин не застережені інші умови по відхиленню напруги й частоти.

Найбільший струм ротора, отриманий при роботі з номінальною потужністю й при відхиленнях напруги в межах $\pm 5\%$, довгостроково допустимо при роботі з номінальними параметрами охолодних середовищ.

У випадку роботи із тривалою максимальною потужністю найбільший струм ротора при відхиленні напруги до $\pm 5\%$ довгостроково допустимо тільки при відповідних параметрах охолодження.

4.4. Розробка заходів для забезпечення безпеки на судні.

Зниження ймовірності впливу на людину різноманітних шкідливих та небезпечних факторів може виконуватись за допомогою проведення наступних заходів:

- 1) Установка звукоізоляційних перегородок, пристроїв амортизації.
- 2) Установка такої кількості світильників, яка б забезпечувала нормальне освітлення робочих місць, застосування місцевого освітлення.
- 3) Вентиляція і фільтрація повітря приміщень.
- 4) Надійне закріплення обладнання.
- 5) Закриття кожухами обертаючих частин механізмів, пристроїв що знаходяться під тиском.
- 6) Застосування фільтруючих та звукоізоляційних пристроїв індивідуального використання.
- 7) Проведення своєчасних оглядів і ремонтів обладнання.
- 8) Вивчення правил користування і техніки безпеки персоналу.
- 9) Обладнання місць психологічного відпочинку членів команди.

Розробка заходів по забезпеченню електробезпеки обладнання СЕЕС.

Дія електричного струму на організм людини може викликати електричні травми – це зовнішні ушкодження тканин: опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні ушкодження, осліплення електричною дугою.

Характер і наслідки ураження людини електричним струмом залежать від ряду факторів: сили струму, тривалості його дії, шляху струму через тіло людини, частоти та напруги струму, опору тіла людини, стану навколишнього середовища і ізоляції струмопровідних частин електрообладнання. Основними причинами нещасних випадків від дії електричного струму є: дотик або наближення на небезпечну відстань до неізованих струмопровідних частин електрообладнання (на корпусах електромашин, станків і т.д.) як наслідок провал ізоляції, ушкодження мережі що заземлює, з струмопровідними частинами з якими працюють люди; виникнення крокової напруги

на поверхні землі в зоні розтікання струму; зниження опору ізоляції струмопровідних частин, своєчасно не виявлених внаслідок незадовільного контролю технічного стану; низька трудова дисципліна та порушення техніки безпеки. Таким чином, для уникнення нещасних випадків необхідно усувати усі перераховані вище причини або звести їх до мінімуму.

До основних заходів що знижують небезпеку ураження електричним струмом відносяться:

1) Технічний контроль надійності ізоляції струмопровідних частин електрообладнання та забезпечення їх недоступності для випадкового дотику.

2) Захист заземлення, занулення та захисне автоматичне відключення обладнання при виникаючій небезпеці ураження струмом.

3) Використання малих напруг (12...36 В) для живлення переносних електроінструментів та світильників, і застосування непровідних матеріалів для виготовлення їх корпусів.

4) Електрообладнання виконується таким чином, щоб повністю виключити можливість зіткнення зі струмопровідними частинами.

5) Використання плавких запобіжників та автоматичних вимикачів на кожному відгалуженні (захист від струмів короткого замикання).

6) Використання засобів індивідуального захисту.

7) Організація безпечної експлуатації електрообладнання, пристроїв та проведення періодичного інструктажу по техніці безпеки.

8) Застосування звуків та світової сигналізації, попереджуючої про аварійний стан електричних кіл і обладнання.

Згідно з правилами Регістру, в цілях поліпшення умов електробезпеки на морських судах передбачається обов'язкове захисне заземлення стаціонарного, пересувного та переносного електрообладнання. Захисним заземленням називають навмисне електричне з'єднання металевим провідником будь-якого електричного пристрою з землею або її еквівалентом (металевим

корпусом судна). Його призначення – знизити напругу обумовлену “замиканням на корпус”, до безпечного рівня та попередити ураження людини електричним струмом.

Заземленню підлягають корпуси електричних машин, їх пускова та регулювальна апаратура, корпуса трансформаторів, кожухи рубильників, комутаційна та захисна апаратура, вимірювальна апаратура, металеві оболонки кабелів.

В цілях попередження уражень шаговою напругою необхідно виконати слідуючи рекомендації: без діелектричного взуття (резинові боти, калоші) не можна проходити близько (8...10 метрів) до лежачих на ґрунті проводів, що знаходяться під напругою; з небезпечної зони розтікання струму необхідно виходити боком з зімкнутими ступнями, переступаючи з носків на п’ятки.

Зануленням називається приєднання корпусів та інших механічних частин обладнання, що звичайно не знаходяться під напругою, до неодноразово заземленому нульовому проводу живильної мережі. Однак згідно з правилами Регістру забороняється застосування на судах систем перемінного трифазного струму з заземленою нейтралю, тому занулення застосовується тільки на берегових підприємствах морського транспорту.

Захисний автоматичний пристрій відключення забезпечує швидко (не більш 0,1 с) автоматичне відключення аварійної ділянки або взагалі при виникненні небезпеки ураження людини електричним струмом. Він використовується у випадках, якщо пристрій заземлення представляє певні труднощі.

Для запобігання електротравматизації та аварії застосовуються різні огороження (кришки, кожухи, решітки), блокуючи пристрої, кінцеві вимикачі.

Електричне блокування застосовується для автоматичного відключення електричних пристроїв у випадку помилкових дій персоналу, при знятті

огорож, кришок, та люків, що дозволяють проникати в небезпечну для життя зону.

Кінцеві вимикачі електроструму застосовуються в конструктивних схемах пристроїв, де в уникнення аварійних ситуацій вимагається обмеження руху їх елементів.

Для забезпечення безпомилкового визначення роду струму та фази, кабелю та проводу електричних фаз маркіруються, а шини фарбують в відповідні кольори.

Як висновок слід зазначити, що ефективним заходом по усуненню небезпечних та шкідливих виробничих факторів (що означає і електротравматизму) є наглядна агітація, а також велике значення має галузевий стандарт, що встановлює сигнально-попереджаючи кольори та знаки безпеки для судів морського флоту.

					141. 4361. БР. ПЗ. Р4	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВКИ

1. Розроблений синхронний неявнополюсний генератор відповідає технічному завданню і спроможний виконувати відповідні функціональні задачі.
2. Головний показник ефективності роботи СГ (ККД) має номінальне значення 91,9 %.
3. Генератор має високий статизм зовнішньої характеристики, так при двократному підвищенні струму статора напруга знижується приблизно на 8 %.
4. Відповідно до кутових характеристик генератора номінальний кут навантаження $\theta = 0,546$, а перевантажувальна здатність 1,93.

					141. 4361. БР. ПЗ.	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Белікова Л. Я. Електричні машини: Навчальний посібник для студ. вищ. навч. закладів /Л. Я. Белікова, В. П. Шевченко. – О.: Наука і техніка, 2012.– 480 с.
2. Кімстач О.Ю. Індивідуальний комплект навчально-методичних матеріалів з дисципліни „Основи автоматизованого проектування електромеханічних пристроїв та електромеханічних систем”: Методичні вказівки. – Миколаїв: ІЗДО НУК, 2007. – 52 с.
3. Кімстач О.Ю. Індивідуальний комплект навчально-методичних матеріалів з дисципліни „Спеціальні електричні машини”: Методичні вказівки. – Миколаїв: ІЗДО НУК, 2008. – 40 с.
4. Кімстач О.Ю. Проектування асинхронних двигунів малої і середньої потужності загального призначення з короткозамкненим ротором: навчальний посібник. – Миколаїв; НУК, 2015. – 188 с.
5. Кімстач О.Ю., Гусін Є.Ю. Вплив закону регулювання автоматичного регулятора збудження на перехідні процеси у синхронних генераторах // Сборник публикаций мультидисциплинарного научного журнала «Архивариус» по материалам XXXXIV международной научно-практической конференции: «Наука в современном мире». – К.: Мультидисциплинарный научный журнал «Архивариус», 2019. – С. 63-67.
6. Кімстач О.Ю., Лупашку І.О. Ефект застосування багатозазних електроенергетичних систем на судах // Актуальные научные исследования в современном мире // Журнал – Переяслав-Хмельницький, 2019. – Вып. 9(53), ч. 1 – С. 93-97.
7. Метельський В.П. Електричні машини та мікромашини / В.П. Метельський. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2001. – 600 с.
8. Новогрецький С.М., Кімстач О.Ю. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з курсу «Електроматеріалознавство». – Миколаїв: НУК,

2007. – 46 с.

9. Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори: навч. посіб. / за ред. В. І. Мілих. Київ: Каравела, 2018. - 452 с.

10. Півняк Г.Г., Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 327 с.

11. Проектування електричних машин: Навчальний посібник / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2020. – 408 с.

12. Ткачук В. Електромеханотроніка: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2001. – 404 с.

13. Юр'єва О.Ю. Проектування синхронних явнополюсних машин: навчально-методичний посібник з курсового проектування для студентів електротехнічних спеціальностей / О.Ю. Юр'єва, Л.В. Шилкова, Д.В. Потоцький. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – 76 с.

14. Яцун М.А. Електричні машини. Навч. посібник. – Львів, Видавн. Державного університету “Львівська політехніка”, 1999, – 427 с.

					141. 4361. БР. ПЗ.	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60