

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ**

«На правах рукопису»  
УДК 621.313

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Вадим ЧУМАК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-науковою програмою «Електричні машини і апарати»**

**зі спеціальності 141**

**«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**на тему: «Стартер-генератор постійного струму підвищеної потужності  
автономної транспортної установки»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕМ-11мп  
Бушуєв Костянтин Олександрович

\_\_\_\_\_

Науковий керівник:

к.т.н. доцент Реуцький Микола Олександрович

\_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н. доцент Пижов Володимир Михайлович

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ**  
**КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-наукова програма «Електричні машини і апарати»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Вадим ЧУМАК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

Бушуєв Костянтин Олександрович

1. Тема дисертації «Стартер-генератор постійного струму підвищеної потужності автономної транспортної установки », науковий керівник дисертації Реуцький Микола Олександрович, доцент к.т.н., затвержені наказом по університету від 01.11. 2022 р. № 4028-с
2. Термін подання студентом дисертації 01.12.2022 р.
3. Об'єкт дослідження: Стартер-генератор постійного струму
4. Предмет дослідження: Підвищення потужностей в стартер-генераторах
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Дослідити принцип дії та актуальність стартер-генераторів; 2) Дослідити області застосування СГ; 3) Знайти закономірності, які можна використати при модернізації СГ; 4) Дослідити основні конструкції двигуна; 5) Дослідити та виявити переваги та недоліки СГ; 6) Провести дослід з СГ-18-1К; 7) Вибрати параметри для модернізації; 8) Узагальнити результати досліджень.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 15 слайдів
7. Орієнтовний перелік публікацій: «Стартер-генератор постійного струму підвищеної потужності автономної транспортної установки » збірник наукових праць «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики» [10]
8. Дата видачі завдання 10.09.2021

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження принципу дії та актуальності стартер-генераторів	14.10.2021	
2	Дослідження області застосування СГ	09.12.2021	
3	Пошук закономірностей, які можна використати при модернізації СГ	14.01.2022	
4	Дослідження основних конструкцій двигуна	25.03.2022	
5	Дослідження та виявлення переваг та недоліків СГ	15.05.2022	
6	Проведення дослідів з СГ-18-1К	20.07.2022	
7	Вибір параметрів для модернізації	26.09.2022	
8	Розрахунок СГ-18-1к	30.10.2022	
9	Розрахунок СГ-22-1к	01.11.2022	

Студент

Бушуєв Костянтин Олександрович

Науковий керівник

Реуцький Микола Олександрович

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить : вступ, чотири розділи, загальний об'єм дисертації 92 сторінку основного тексту, 17 таблиць, 9 рисунки, список використаної літератури з 11 найменувань.

Актуальність теми: на сьогоднішній день, питання енергоефективності є досить актуальним, особливо, якщо взяти до уваги, що на даний момент є велика кількість застарілих двигунів. Але через переваги стартер-генераторів постійного струму є досить актуальними в автономних транспортних установках.

Метою дослідження є дослідження параметрів стартер-генератора, в особливості ротора, а саме вплив зміни параметрів обмотки двигуна при незмінних параметричних характеристиках.

Для досягнення поставленої мети здійснюється постановка і розв'язання наступних задач: визначення особливостей будови стартер-генераторів, розрахунок номінальних даних СГ-18-1К, вибір розміру обмотки ротора для забезпечення номінальних характеристик, аналітичне дослідження вибраної обмотки ротора, створення діаграми намагнічування.

Ключові слова: стартер-генератор, автономний транспортний засіб, параметричні характеристики.

## ABSTRACT

The Master's dissertation contains: 92 pages of the main text, 17 tables, 9 figures, the list of the used writer from 11 names.

Relevance of the topic: today, the issue of energy efficiency is quite relevant, especially if we take into account that at the moment there are a large number of obsolete engines. It is for this reason that synchronous starter generators are quite relevant today in autonomous vehicles.

The research method is to study the parameters of the synchronous starter-generator, in particular the rotor, namely the effect of changing the parameters of the motor winding with constant parametric characteristics.

To achieve this goal, the following tasks are set and solved: determining the structure of synchronous starter-generator, calculating the nominal data SG-18-1K, choosing the size of the rotor winding to provide nominal characteristics, analytical study of the selected rotor winding, creating a magnetization diagram.

Keywords: starter-generator, autonomous vehicle, parametric characteristics.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів .....	8
Вступ.....	9
1 Розділ Основні теоритичні положення .....	10
1.1 Стартер-генератори та їх принцип дії .....	10
1.2 Принцип дії та будова стартер-генератора СГ-18-1к .....	11
1.3 Ротор СГ-18-1К.....	12
1.4 Статор СГ-18-1к.....	14
1.5 Обмотки встановлені в СГ-18-1К .....	19
2 Розділ Процес модернізації стартер-генератора .....	21
2.1 Досліди СГ-18-1К.....	21
2.2 Випробування стартер-генератора .....	23
2.3 Розрахунок СГ-18-1К.....	25
2.4 Зміни внесені для модернізації СГ-22-1К.....	27
3 Розділ розрахунок СГ-22-1к.....	43
3.1 Номінальні дані .....	43
3.2 Розмір і параметри генератора(по кресленню) .....	43
3.3 Розрахунок розміру и параметрів на основі вихідних і справочних даных.....	46
3.4 Розрахунок розміру магнітного кола генератора.....	49
3.5 Розрахунок опору обмоток.....	51
3.6 Розрахунок струму шунтової обмотки збудження, струм якоря і е.р.с. генератора.....	53
3.7 Розрахунок характеристики намагнічування .....	54
3.8 Розрахунок комутації і М.Р.С. обмотки додаткових полюсів при їх половинній кількості [1,2,4]. .....	59
3.9 Розрахунок втрат і К.К.Д. ....	63
3.10 Висновок по розділу 3 .....	65

4	Розділ РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ .....	66
4.1	Опис ідеї стартап-проекту .....	67
4.2	Технологічний аудит стартап-проекту .....	68
4.3	Аналіз ринку та можливість старту проекту .....	68
4.4	Аналіз ринку та можливість старту проекту .....	70
4.5	Висновки до розділу 4.....	71
	Висновки .....	72
	Перелік посилань.....	73
	Додаток А.....	75
	Додаток Б.....	92
	Додаток В .....	93
	Додаток Г .....	94

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

СГ – Старер-генератори

ККД – Коефіцієнт корисної дії

МПС – Машина постійного струму

ЕРС – Електро рушійна сила

МРС – Магніто рушійна сила

КМ – Корисна модель

ГН – Горизонтального наведення

ДП – Додатковий полюс

ГП – Головний полюс

ККД – Коефіцієнт корисної дії

## ВСТУП

На сьогоднішній день через значне підвищення цін на енергоносії питання енергоефективності електрообладнання є досить актуальним. Це повною мірою відноситься і до застарілих стартер-генераторів автономних транспортних установок. В конструкцію стартер-генераторів можна вносити зміни, використовувати сучасні матеріали і технології які не вплинуть на габаритні розміри, але дозволять значно підвищити їх потужність. При цьому з'являється можливість зменшити ціну при виготовленні більш потужних стартер-генераторів, якщо при їх проектуванні і виготовленні використовувати вже відпрацьовані технології та обладнання.

Інтерес суспільства у модернізованих електричних машинах полягає у енергоефективності різних приладів щоб вони були з високим К.К.Д. І в деяких випадках навіть зберегти габаритні стандарти. Тому модернізовані електричні машини повинні відповідати різним класам енергоефективності. Особливо якщо потрібно забезпечити габаритні стандарти при збільшенні потужності, чи зберіганні К.К.Д. І вони допоможуть подолати сучасні проблеми зв'язані з нехваткою енергоресурсів і потужності в автономних транспортних засобах без великого втручання в їх конструкцію. При відповідності загально прийнятих стандартів електричних машин. Користуючись стандартом ІЕС Європейський Парламент намагається регулювати використання енергоефективних електричних машин у автономних транспортних засобах для зменшення споживання електричної енергії при збільшенні потужності, і вдалі модернізовані машини найкраще справляються з цим завданням. Машини постійного струму і колекторні машини не втрачають свою актуальність, тому що дані машини можна використовувються в складних умовах експлуатації. Тому в різноманітних автономних транспортних апаратах використовуються саме колекторні двигуни постійного струму також вони використовуються в морських транспортних засобах а ще в авіації. Тому в даному дипломі буде розглянуто один з варіантів модернізації двигуна постійного струму при умові зберегти габаритні параметри і збільшити потужність даного двигуна.

# 1 РОЗДІЛ

## ОСНОВНІ ТЕОРИТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 1.1 Стартер-генератори та їх принцип дії

Стартер-генератор може працювати як і в стартерному режимі так, і в генераторному. Стартер-генератори побудовані на використанні принципу обертання електричних машин постійного струму. З'єднання вала стартер-генератора з валом дизельного двигуна здійснюється через фрикційну муфту і редуктор з вимірювальним передавальним числом.



Рисунок 1.1 Стартер-генератор

Так як стартер-генератор поєднує в собі як і стартер так і генератор, тому принцип дії буде схожий на стартерний в пусковому режимі і генераторний в режимі генерації електроенергії.

Розглянемо в режимі генератора: генератор – пристрій, апарат або машина, що виробляє будь-які продукти, електроенергію або перетворює один вид енергії в інший. Генератори, зокрема виробляють: електричну енергію, створюють електричні, електромагнітні, світлові або звукові сигнали — коливання, імпульси.

Розглянемо в режимі стартера: принципом роботи стартери поділяються на інерційні, прямої дії і комбіновані. У інерційних стартерах розкручується спочатку маховик, в якому накопичується енергія, що забезпечує прокручування

валу основного двигуна при зчепленні його з валом стартера. Стартер прямої дії розкручує безпосередньо вал основного двигуна. Розрізняють стартери електричні, турбостартери, пневматичні, гідравлічні, бензинові.

Загальна схематична будова стартер-генератора винесена на рис 1.2, на даній схемі виведено основні вузли СГ. Такі як якір 7 який складається з вала 12, сердечника, обмотки і колектору арочного типу 3. Сердечник якоря фіксується на валу шпонкою, а від зсуву утримується з одного боку корпусом обмотки-держателя, а з іншого - корпусом колектора. Обмотка якоря утримується в пазах дротяними бандажами. Станина 6 стартер-генератора циліндричної форми; знизу до неї приварені лапи для кріплення до станини тягового генератора; збоку приварені вушка для транспортування. До станини кріпляться чотири головних 5 і чотири додаткових 8 полюси. Сердечник головного полюса набрано з пластин електротехнічної сталі. Сердечник додаткового полюса суцільнолитий, його обмотка з'єднана послідовно з якорем.

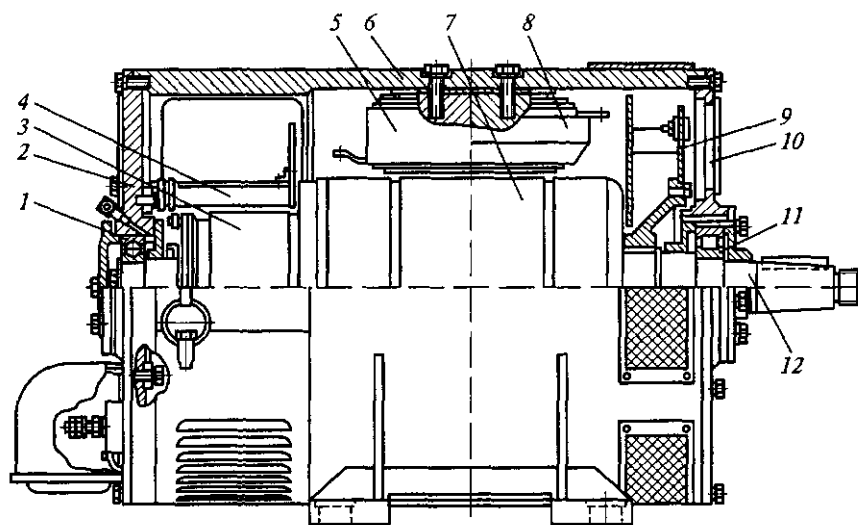


Рисунок 1.2 Схема стартер-генератора: 1,11-підшипники; 2,10-передній і задній підшипникові кришки щити; 3-колектор; 4-траверс; 5-головний полюс; 7-якір; 8-додатковий полюс; 9-вентелятор; 12-вал.

## 1.2 Принцип дії та будова стартер-генератора СГ-18-1к

Так, наприклад, в генераторному режимі потужність, споживана приводом автономного транспортного засобу при розміщенні СГ не в горизонтальній площині а

під кутом 15 град. досягає 16 кВт. Це майже 90% номінальної потужності СГ-18. На інші навантаження автономного транспортного засобу залишається тільки 2 кВт.

Найбільш напруженим в тепловому відношенні є колекторно-щітковий вузол. В режимах з великим струмовим навантаженням при номінальній частоті обертаючись-ня від 3600 об / хв до 6200 об / хв втрати в ковзному контакті становлять 50% і більше тепловиділення в машині. Це призводить до значного перегріву колектору і щіток.

Вольт-амперна характеристика щіток марки МГС-7 в діапазоні щільності струму від 15 А / мм<sup>2</sup> до 35 А / см<sup>2</sup> змінюється досить слабо ( $2\Delta U$  від 1,2 В до 1,8 В). Як наслідок цього електричні втрати при зменшенні числа щіток зростають слабкіше, ніж знижуються втрати на тертя.

У стартерному режимі обмотка якоря, обмотка додаткових полюсів і послідовно підключена (серієсна). Зменшення опору обмотки якоря і обмотки додаткових полюсів приблизно на 25% при незмінному опорі послідовної обмотки дає зменшення опору стартерного кола на 10 ... 12%. Приблизно настільки ж збільшується крутний момент стартера.

Підвищення ефективності тепловідведення через внутрішні повітряні канали в якорі стартер-генератора може забезпечуватися трьома змінами в конструкції.

### **1.3 Ротор СГ-18-1К**

Ротор стартер-генератора складається з заліза якоря з секціями і колектором, встановлених на валу з нержавіючої сталі 40Х, довжиною 580 мм.

Обмотка якоря виконана з 57 одновиткового секцій. Тип обмотки якоря-проста петлева.

Залізо якоря – холоднокатана ізотропна електротехнічна сірчиста сталь 2411, товщиною листа 0,35 мм,  $P_{1,5} / 50 = 3 \text{ Вт} / \text{кг}$ . У СГ-18-1К застосована сталь , ДСТУ 21427.3-75. Число листів в пакеті  $500 \pm 57$ .

Пази напівзакриті, що створює труднощі при вигинанні лобових частин з боку колектора. Застосування відкритих пазів спрощує укладання секцій. Однак

через збільшення немагнітного зазору, при інших рівних умовах, магнітний потік зменшується приблизно на 20%.

Магнітна система стартер-генератора шестиполюсна з трьома додатковими полюсами. Число паралельних гілок обмотки дорівнює шести. Для вирівнювання струмів в паралельних гілках застосовані 19 зрівнювачів першого роду в формі мідних кілець з трьома отворами в кожному.[6] Для з'єднання з колекторними пластинами використовуються відрізки мідного дроту ММ-1,45 діаметром 1,45 мм.

Пазова ізоляція в СГ-18-1К є жорсткою гільзою з стеклолакоткані ЛСК-155/180. На спеціалізованих підприємствах гільзи потрібних розмірів для пазової ізоляції виготовляються на спеціальному оснащенні. При серійному виробництві такий підхід покращує якість і дозволяє зменшити трудомісткість виготовлення обмотки якоря.

Для одновиткового секцій застосований провід ПСДКТ 2,8 × 4,75 ТУ У 31.3-13970259-005-2011. Розміри дроту в ізоляції - (2,98max × 4,96max).

У СГ-18-1К застосована проста за конструкцією гнучка ізоляція з сінтофлекс 828 0,24, яка при установці в паз охоплює верхній і нижній провідники секцій. Між шарами прокладається смужка склотекстоліт СТ-ЕТФ ВС0,5. Процес укладання секцій у пази при цьому виходить більш трудомістким, ніж при серійному виробництві.

Технологія виготовлення одновиткових секцій обмотки якоря з прямокутного мідного дроту перетином 13,3 мм<sup>2</sup> включає виготовлення оснащення і спеціального згинального інструменту. Техпроцес додання секціях необхідної форми передбачає виконання кількох операцій. Перші дві виконуються до укладання секцій у пази.

1. Формування верхніх половин котушок з боку колектору також виконується вручну.
2. Розведення й ізолювання лобових частин секції з боку протилежного колектору.

Потім секції вкладаються в пази пакета заліза якоря, в яких створюється пазова ізоляція, і виконуються ще дві гнучкі операції.

3. Формування нижніх половинок котушок з боку колектору. При цьому і наступних операціях колектор на вал не встановлено. Необхідні вигини мідної шини виконують вручну за допомогою спеціальних згинальних ключів з пазами за розміром шини.
4. Формування головки секції, при якій проводиться загинання шини на ребро.

На лобові частини з обох сторін пакету наноситься бандажний дріт, який після стяжки секцій знімається. Остаточний бандаж виконується сімома шарами склоленти або скловолокна.

У процесі формування лобові частини з боку колектору рихтують ударами молотка. Після рихтування на лобові частини секцій наноситься ізоляція. Для з'єднання обмотки з колектором підготовлені до розпаювання в кінці секцій необхідно підняти над діаметром. Після того, як нагрітий до  $200 \dots 220 \text{ }^\circ \text{C}$  колектор буде посаджений на вал, кінці секцій розкладаються в пази півників і пропаюють в них припоєм ПСР-3КД.

Якір балансується динамічно по ДСТУ 12327-79 за допомогою установки балансирів. У площинах корекції I і II допустимий залишковий дисбаланс для класу точності балансування 2,5 становить  $40 \text{ г*мм}$ . Після приймально-здавальних випробувань -  $60 \text{ г*мм}$ .

З правого боку якоря балансувальні вантажі кріпляться до сталеві шайби під лобовими частинами обмотки. На діаметрі 94 мм в шайбі виконані 12 різьбових отворів М4. Число вантажів - 15.

#### **1.4 Статор СГ-18-1к**

Збірка «Статор» в розглянутій ЕМ являє собою об'єднання на одному кресленні двох збірок.

1. Друга збірка включає всі плюсові висновки стартер генератора. Ці висновки об'єднані на литому алюмінієвому корпусі. Болт вивідний призначений

для подачі живлення від акумуляторів в стартерному режимі, на стінці корпусу позначається «+ ЯС». Два екранованих виведення напруги генератора «+ ЯГ». Вилка штепсельна роз'єму 2РМ22Б4ШЗВ1 позначена «+ Ш» і призначена для живлення через реле-регулятор паралельної обмотки збудження. Два останні позначення на корпусі не показані. Всі позначення є на схемі електричній. Рис.1.3

2. Корпуси з шістьма основними полюсами і трьома додатковими полюсами.

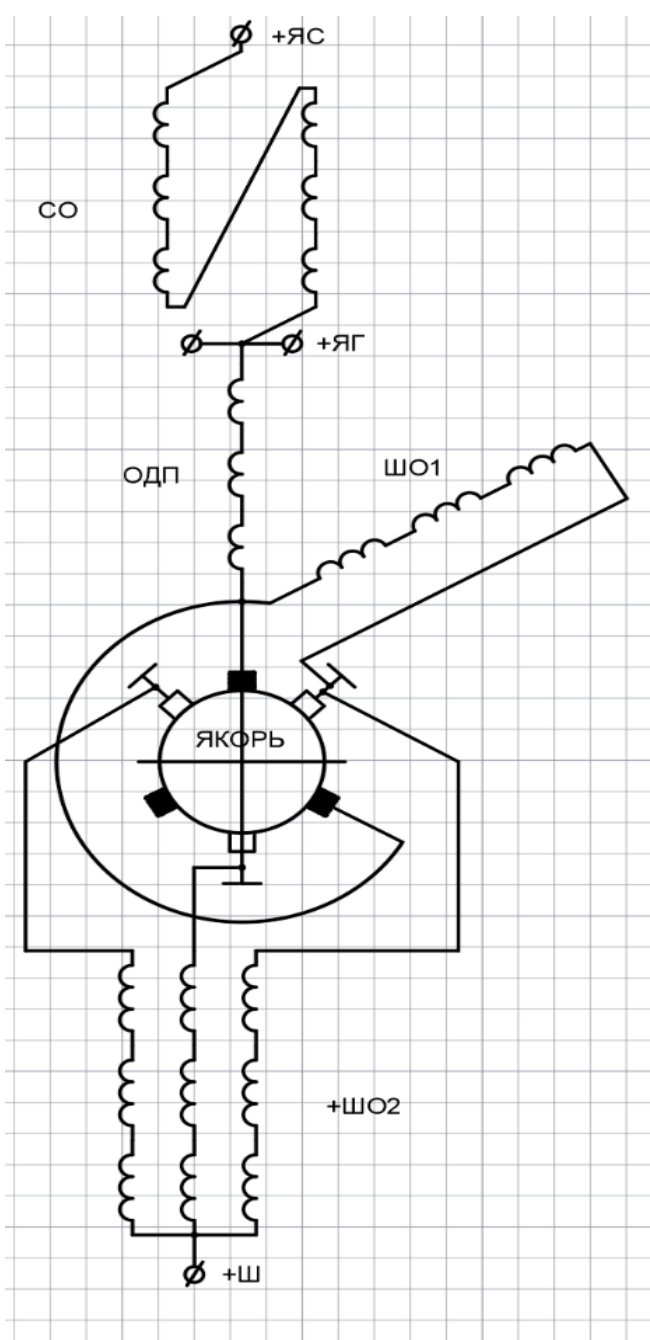


Рисунок.1.3. Схема електрична.

Корпус виконується з Сталі 10. Бажано застосування суцільнотягнутих труб, що знижує відходи матеріалу, спрощує виробництво і збільшує якість корпусу. З'єднання корпусу з щитами (кришками) здійснюється за допомогою внутрішнього замка, при якому станина охоплює щити.

Основні або головні полюси виконані масивними з Сталі 10. Можлива заміна на Сталь 20.

Для зниження додаткових імпульсних втрат на поверхні статора основні полюси можуть бути виконані з листової сталі товщиною 0,5 ... 2,0 мм.

У приводному електродвигуні ЕМУ ІІ-2,0 через застосування відкритих пазів в якорі головні полюси набрані шихтованими. У СГ-18-1К на якорі пази напівзакриті, додаткові втрати невеликі, тому і головні полюси масивні.

Додаткові полюси виконуються зі Сталі 10880 ДСТУ 11036-75. Це електротехнічна сталь типу армко. Вона характеризується вузькою петлею гістерезиса, що необхідно для ефективної реакції додаткових полюсів на комутацію при зміні струму навантаження генератора.

Для отримання високої поверхневої твердості, стійкості до зношування та збільшення питомої міцності застосована цементація гвинтів (h 0,2 ... 0,3; HRA-72-85). Цементация - це хіміко-термічна обробка, яка полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару атомами вуглецю при нагріванні до температури 900 ... 950 ° С. Висока твердість поверхневого шару досягається при зберіганні пластичної серцевини.

Кріплення основних полюсів до корпусу виконується 18 гвинтами М10 зі Сталі 10. Гвинти власного виготовлення. Особливо обговорений допуск осі головки гвинта і шліца щодо стрижня - 0,4 мм, не більше.

Кріплення додаткових полюсів виконується 9 гвинтами М8 зі Сталі 10. Вимоги по осі головки гвинта і шліца щодо осі стрижня і цементації такі ж як до гвинтів основних полюсів.

Між корпусом і сердечниками полюсів розміщуються латунні прокладки товщиною 0,2 мм. При налаштуванні комутації можлива установка однієї або двох прокладок на один полюс. Для ще більшого зменшення впливу додаткових полюсів на комутацію можлива заміна гвинтів із Сталі 10 на гвинти з немагнітного-го матеріалу (нержавіючої сталі або латуні).

Площа вікна між сердечниками головних полюсів при відсутності між ними додаткового полюса - 1023 мм<sup>2</sup>. Площа, що складається з двох вікон, між якими знаходиться додатковий полюс дорівнює  $701 + 685 = 1\,386$  мм<sup>2</sup>. Несиметричне положення наконечників додаткових полюсів пояснюється прагненням зменшити потік розсіювання додаткового полюса.

Установка неповного числа додаткових полюсів призводить до несиметричної форми полюсного наконечника головних полюсів. Відстань між осями головних полюсів, між якими розташований додатковий полюс, більша, ніж між осями головних полюсів, які не мають додаткового полюса. У той же час полюсний розподіл в зазорі (між центрами полюсних наконечників зберігається однаковим і рівним  $\tau = \pi D / 2p$ .

У генераторному режимі додаткові полюси мають полярність «S», при цьому відстань від його наконечника до наконечника основного полюса «S» становить 2 ... 3 мм (магнітні поля відштовхують сердечники один від одного). У той же час до наконечників північного полюса «N» відстань в три рази більша (8 ... 9 мм). Очевидно, що завдяки цьому розсіювання додаткового полюса мало.

У стартерному режимі додатковий полюс має північну полярність «N», Розсіювання зростає, тому що основні полюси зберігають свою полярність як в генераторному режимі. Через велике розсіювання вплив додаткових полюсів на комутацію в стартерному режимі зменшується і іскріння досягає 3 балів. Завдяки малій тривалості стартерного режиму (близько 15 сек.) для щітково-колекторного вузла цей режим не є небезпечним.

Відзначимо, що в стартерному режимі тяжіння між сердечниками додаткових полюсів, що мають північну полярність «N», і південними основними

полюсами істотно зростає, створюючи для міцності кріплення полюсів небезпечне навантаження. Цим пояснюється досить суворе обмеження різниці зазорів між наконечниками - не більше 1 мм, при допустимій нерівномірності зазору по довжині полюса не більше 0,3 мм.

Розташування осей сердечників додаткових полюсів точно збігається з лініями геометричних нейтралей.

## 1.5 Обмотки встановлені в СГ-18-1К

### Послідовна обмотка

Послідовна обмотка складається з шести двовиткових котушок, які з'єднуються послідовно в ланцюжок. Котушки намотані з мідної шини марки ПММ ДСТУ 434-78 перетином  $6 \times 8$  мм 2. Внутрішній виток роблять плазом вузькою стороною до полюса, а зовнішній виток - на ребро. Котушки північних полюсів (два різновиди) і котушки південних полюсів (два різновиди) відрізняються конструкцією висновків.

Стики котушок (п'ять стиків в безперервній ланцюжку) пропаяні тугоплавким мідно-фосфорним припоєм ПМФ-2, що має температуру плавлення від 715 до 730 ° С. Шви виконані цим припоєм відрізняються високою електропровідністю, добре витримують вигини. З цієї причини ПМФ-2 в електротехнічній промисловості частіше за інших тугоплавких припоїв використовується при виробництві електричних машин.

Для надання форми вікна котушки для щільної насадки на полюс використовують склотекстолітові смуги.

На сердечниках основних полюсів котушки послідовної обмотки по висоті розміщені з боку полюсних наконечників.

Обмотка має плюсовий та мінусовий виводи. Плюсовий вивід - наконечник з мідного листа М1 товщиною 4,5 мм, має два прохідних отвори 5,3 мм для з'єднання з стартерним контактами «+ ЯС» (зображено на Рис.1.3.). Наконечник прикріплений через два отвори 3,2 мм і припаяний припоєм ПМФ-2 до початку першої північної котушки. Мінусовий вивід - наконечник з міді М1 товщиною листа 4 мм, має прямокутну форму ( $20 \times 21$ ) мм з чотирма прохідними отворами 6,4 мм. Наконечник прикріплений і припаяний до кінця третьої південної котушки послідовної обмотки і через обмотку додаткових полюсів з'єднаний з полюсним щіткотримачем.[8]

### **Паралельна обмотка**

На сердечниках основних полюсів з боку прилеглої до внутрішньої поверхні корпусу розміщені дев'ять котушок паралельної обмотки.

Північні котушки по 192 витка намотані проводом 0,95 мм. Південні котушки по 144 витка намотані проводом 1,12 мм.

Три котушки по 109 витків намотані проводом 0,63 мм, розміщені на північних полюсах магнітної системи і включені послідовно. Початок котушки, розташованої на третьому північному полюсі, кінець третьої котушки, розташованої на першому північному полюсі, підключені до мінусових щіткотримачів.

Ця частина паралельної обмотки є нерегульованою і призначена для обмеження швидкості обертання якоря в стартерному режимі на холостому ході.

Друга частина паралельної обмотки призначена для збудження генератора і підключена до реле-регулятора. Вона розташована на шести основних полюсах і складається з трьох паралельних гілок. У кожній гілці є дві котушки (північна і південна), з'єднані послідовно. Початки гілок обмотки виведені на клему «+ Ш» (зображено на Рис.1.3.), кінці – на мінусові щіткотримачі.

### **Обмотка додаткових полюсів**

Обмотка додаткових полюсів складається з трьох послідовно з'єднаних котушок. Один кінець, разом з від'ємним кінцем послідовної або стартерної обмотки приєднаний до клеми «+ ЯГ» (зображено на Рис.1.3.). Інший кінець з'єднаний з плюсовим щіткотримачем.

## 2 РОЗДІЛ

### ПРОЦЕС МОДЕРНІЗАЦІЇ СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРА

#### 2.1 Досліди СГ-18-1К

##### Випробування в знеструмленому стані

##### 1. Програма випробувань

1.1. Вимірювання опору ізоляції всіх обмоток СГ у нормальних кліматичних умовах (н. к. у.) і практично холодному стані (п. х. с.).

1.2. Вимірювання опору паралельних обмоток збудження: нерегульованої - ШО1 і регульованої - ШО2 в н. к. у. і п. х. с.

1.3. Розрахунок опору якірного ланцюга в генераторному і стартерному режимах за 20°C . Опір контактів між колектором і щітками не враховується. Вимірювання цих контактів не виконується.

##### 2. Методика випробувань

2.1. Вимірювання опору ізоляції обмоток СГ відносно корпусу в н.к.у. і п.х.л. проводиться мегаомметром на 500 В.

Мегаомметр приєднується до контактів +ЯГ і +Ш і корпусу, а також між контактами +ЯГ і +Ш, водночас мінусові щітки СГ мають бути підняті, а кінці обмотки збудження ШО2 від'єднані від щіткотримачів, що з'єднані з корпусом(зображено на Рис.1.3.).

2.2. Вимірювання опору паралельних обмоток збудження.

Для підключення до подвійного мосту виводи нерегульованої обмотки збудження ШО1: +Щ і -Щ (-Щ1) відключаються від якоря і на них встановлюються тимчасові бирки. Два виходи регульованої обмотки збудження ШО2: -Ш2 і Ш3

також відключаються від якоря і на них встановлюються тимчасові бирки. Загальний вивід ШО1 і ШО2: -Щ (-Ш1) уже має тимчасову бирку. Позитивний вивід ШО2 розташований у штепсельному роз'ємі на його вилці 2PM22B4Ш3В1.

Нерегульована обмотка ШО1 являє собою послідовне з'єднання трьох котушок, розміщених на трьох північних полюсах статора. Відповідно до КД на СГ-18-1С опір трьох котушок ШО1 за  $t=20^{\circ}\text{C}$  дорівнює  $12,9\pm 0,2$  Ом. У СГ-18-1К цей опір дорівнює  $10,62\pm 0,5$  Ом.

Регульована обмотка ШО2 складається з трьох, включених паралельно гілок. У кожній з них дві котушки південного і північного полюса. Опір ШО2 за  $t=20^{\circ}\text{C}$  у

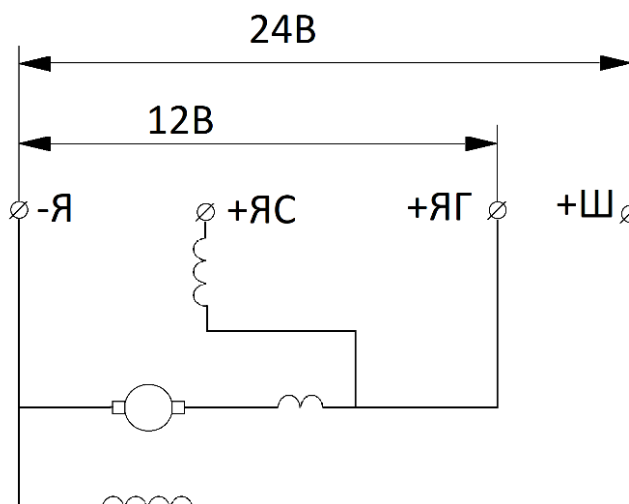


Рисунок 2.1. - Схема випробування

СГ-18-1К дорівнює  $1,3 \pm 0,05$  Ом. У СГ-18-1К опір ШО2 при  $t=20^\circ\text{C}$  дорівнює  $1,17 \pm 0,04$  Ом.

Вимірювання опору ШО1 і ШО2 повинно виконуватися в лабораторії за температури навколишнього повітря  $20^\circ\text{C}$  за методом подвійного моста або методом амперметра-вольтметра.

3. Результати випробувань і розрахунків.

3.1. Опір ізоляції має бути не менше 20 Мом. За результатами вимірювань він більший за 100 Мом.

3.2. Опір ШО1 за  $t=20^\circ\text{C}$  на виводах +Щ і -Щ (-Ш1) дорівнює 13,0 Ом.

Опір ШО2 за  $t=20^\circ\text{C}$  на виводах +Ш і трьох виводах -Ш1, -Ш2 і -Ш3, з'єднаних разом, дорівнює 1,32 Ом (зображено на Рис.1.3.).

3.3. Розрахункові значення опорів якорного ланцюга.

Опір обмотки якоря за  $20^\circ\text{C}$  (проста петльова обмотка, шість паралельних гілок за 57 одновиткових секцій).

Перетин мідної шини –  $2,8 \times 4,75 = 13,3$  мм<sup>2</sup>.

$$R_{\text{оя}} = 0,00125;$$

$$\text{Маса міді} - m_{\text{м}} = 4,4 \text{ кг}$$

Опір обмотки додаткових полюсів при  $20^\circ\text{C}$  (три котушки по два витки послідовно).

Перетин мідної шини –  $7 \times 9,3 = 65,1$  мм<sup>2</sup>.

$$R_{\text{ОДП}} = 0,00079 \text{ Ом.}$$

$$\text{Маса міді} - m_{\text{М}} = 1,53 \text{ кг}$$

Опір послідовної обмотки при 20°C (шість котушок по два витки послідовно).

$$\text{Перетин мідної шини} - 6 \times 8 = 48 \text{ мм}^2.$$

$$R_{\text{ПО}} = 0,0023 \text{ Ом.}$$

$$\text{Маса міді} - m_{\text{М}} = 2,7 \text{ кг}$$

Висновки.

1. Опір ізоляції обмоток СГ відносно корпусу, а також між обмотками якірного кола і регульованою обмоткою збудження ШО2 за результатами вимірювань понад 100 МОм за допустимого 20 МОм, не менше.
2. Вимірювання опору, проведені на паралельній обмотці збудження, засвідчили, що застосований під час виготовлення котушок сортамент емальдроту (ПЕТВ-0,6; ПЕТВ-0,93; ПЕТВ-1,08) наразі знято з виробництва. На підприємствах України, країн СНД і ЄС застосовують емальдроти круглого перерізу, що мають діаметри мідної жили 0,63 мм, 0,95 мм, і 1,12 мм.
3. Розрахунки опору і маси міді обмоток якірного кола: обмотка якоря, обмотки додаткових полюсів і послідовної (стартерної) обмотки збудження показали значне, в 1,5 раза більше значення маси послідовної (стартерної) обмотки, порівняно з КД СГ-18-1К. Маса міді ОЯ і ОДП приблизно відповідають КД.
4. Зроблені зауваження враховано в КД на СГ-18-1К розробки НДІ "Квант".

## 2.2 Випробування стартер-генератора

2. Випробування СГ-18-1К під час роботи на холостому ході в режимі двигуна.

1. Програма випробувань.

1.1. Перевірка правильності складання стартер-генератора випробуванням у режимі електродвигуна.

1.2. Перевірка стартер-генератора під час роботи на холостому ході в режимі електродвигуна.

2. Методика випробувань.

2.1. Для перевірки правильності складання стартер-генератора потрібно приєднати ланцюг якоря і ланцюг збудження до різних джерел (Мал.1);

"мінус" кожного джерела під'єднати до масової шини "-Я" стартер-генератора. Ланцюг збудження під'єднати до клеми "+" джерела живлення №1, а ланцюг якоря під'єднати до клеми "+" джерела живлення №2.

Спочатку живиться ланцюг збудження від джерела живлення №1 напругою 24 В, а потім ланцюг якоря від джерела живлення №2 напругою 12 В. Обертання вала має бути за годинниковою стрілкою з боку приводу, рівномірне, без стороннього.

Вимкнення напруги відбувається у зворотному порядку, тобто спочатку вимикається ланцюг якоря, потім ланцюг збудження.

2.2. Під час роботи стартер-генератора на холостому ходу в режимі електродвигуна за напруги живлення 24 В струм якоря не повинен перевищувати 60 А, за струмом паралельної обмотки збудження не більше ніж 19,5 А та частоти обертання не менше ніж 1500 об/хв.

Перевірка параметрів холостого ходу і напрямку обертання якоря проводиться в практично холодному стані стартер-генератора.

До клеми "+Ш" і мінусової шини "-Я" джерело живлення №1 приєднується безпосередньо (зображено на рис 2.1). Регулювання напруги збудження під час випробувань не проводиться.

Клема "+ЯГ" під'єднується до джерела живлення №2 через регульовальний пристрій: пусковий реостат або регулятор збудження живильного генератора.

"-" джерела живлення приєднується до мінусової шини безпосередньо. Замір частоти обертання, струму якоря і струму обмотки збудження проводять не раніше, ніж через 5 с після припинення регулювання струму якоря.

Визначуваний візуально напрямок обертання якоря має збігатися зі стрілкою на корпусі стартер-генератора.

### 3. Результати випробувань.

#### 3.1. Через 5-10 с після увімкнення:

- напруга збудження  $U_B = 24 \text{ В};$
- струм збудження  $I_B = 14,2 \text{ А};$
- частота обертання  $n = 1050 \text{ об/хв};$
- напруга якірного кола  $U_{\text{я}} = 12 \text{ В};$
- струм якірного кола  $I_{\text{я}} = 34 \text{ А}.$

Правильність складання підтверджується рівномірним, без стороннього шуму обертанням вала за годинниковою стрілкою з боку приводу.

3.2. Перевірка стартер-генератора під час роботи на холостому ходу в режимі електродвигуна.

3.2.1. Визначення напруги рушання.

За напруги збудження від 12 до 30 В визначаємо напругу якоря, за якої вал стартер-генератора починає плавне обертання. Дослід повторюємо за трьох різних початкових положень якоря.

Таблиця 2.1 Напруги рушання

$U_B, В$	12				16				20				24			
$U_{ТР}, В$	1	2	3	ср	1	2	3	ср	1	2	3	ср	1	2	3	ср
	1,5	1,5	1,7		1,7	1,7	1,8		1,8	1,8	1,8		1,7	1,7	1,7	

3.2.2. Перевірка струму холостого ходу і частоти обертання при напрузі збудження 24 В і напругах якорного кола в діапазоні від 12 до 48 В.

Таблиця 2.2 Струму холостого ходу і частоти обертання

Об/хв	$U_{яц}, В$	A	I, A			n, об/хв			P, Вт
1000	12	34	45	46	44	1050	1050	1029	938,4
2200	24	40	52	53	49	2180	2190	2019	1622,6
2720	30	30	56	55	52	2700	2700	2710	2018,4
3140	35	50	57	-	54	3140	-	3170	2341,4

## 2.3 Розрахунок СГ-18-1К

Для компактності магістрської роботи весь розрахунок СГ-18-1К знесений в Додаток(А) а енергобаланс наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.3 Енергобаланс СГ-18-1К

	Назви втрат в стартер генераторі СГ-18-1к	Розрахунко ві значення	Замітки
1	Електричні втрати в обмотці якоря , Вт $\Delta P_{мя} = I_{я}^2 \cdot R_{я20^\circ} \cdot (1 + 0.004 \cdot 100)$	650	$I_{я} = 630 А$ $R_{я20^\circ} = 0.00117 Ом$
2	Електричні втрати в обмотці додаткового полюса, Вт $\Delta P_{мя} = I_{я}^2 \cdot R_{д.п.20^\circ} \cdot (1 + 0.004 \cdot 100)$	437	$I_{я} = 630 А$ $R_{д.п.20^\circ} = 0.000786 Ом$

	Назви втрат в стартер генераторі СГ-18-1к	Розрахунко ві значення	Замітки
3	Електричні втрати в паралельній (шунтовій обмотці збудження), Вт $\Delta P_{\text{мш}} = \Delta P_{\text{мш1}} + \Delta P_{\text{мш2}} = 47.2 + 428.7 = 475.9$	475.9	Розрахунок втрат при частоті обертання $n_{\text{я}} = 3600 \text{ об/хв}$ $I_{\text{ш1}} = 1.8 \dots 2.5 \text{ А}$ $I_{\text{ш1}} = 16.2 \dots 22.6 \text{ А}$
3'	$\Delta P_{\text{мш}} = \Delta P_{\text{мш1}} + \frac{(28.5 \cdot \frac{3600}{6200} - 1.5)^2}{10.62(1 + 0.004 \cdot 100)}$ $= 47.2 + 137.4 = 184.6$	184.6	Розрахунок втрат при частоті обертання $n_{\text{я}} = 6200 \text{ об/хв}$ $I_{\text{ш1}} = 1.8 \text{ А}$ $I_{\text{ш1}} = 9.2 \dots 12.68 \text{ А}$
4	Електричні втрати в щітковому колекторі $\Delta P_{\text{кщ}} = 2\Delta U_{\text{щ}} \cdot I_{\text{я}} = 1260 \text{ Вт}$	1260	Щітка МГС-7 $2\Delta U_{\text{щ}} = 2 \text{ В}$ $I_{\text{я}} = 630 \text{ А}$
5	Магнітні втрати (втрати в сталі) $\Delta P_{\text{ст}} = \Delta P_{\text{ст з}} + \Delta P_{\text{ст я}} = 308 + 31 = 627 \text{ Вт}$	627	Сталь 2411, $\Delta 0.35$ $m_{\text{с.я.}} = 517 \cdot 18.8 = 9720$
6	Механічні втрати на тертя щіток об колектор $\Delta P_{\text{тр.щ}} = k_{\text{тр}} \cdot n_{\text{щ}} \cdot S_{\text{щ}} \cdot f_{\text{щ.к}} \cdot U_{\text{кол}} =$ $= 0.2 \cdot 4.62 \cdot 20.92 \cdot 3.9 \cdot n_{\text{щ}} = 75.4 \cdot n_{\text{щ}}$ $U_{\text{кол}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кол}} \cdot n_{\text{я}}}{60} = 20.92 \text{ м/с}$ $U_{\text{кол}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кол}} \cdot n_{\text{я}}}{60} = 36.015 \text{ м/с}$	1356	$k_{\text{тр}} = 0.2$ $f_{\text{щ.к}} = 3.9 \text{ Н/см}^2$ $S_{\text{щ}} = 4.62 \text{ см}^2$ $D_{\text{кол}} = 0.111 \text{ м}$ $n_{\text{щ}} = 18; n_{\text{я}} = 3600 \text{ об/хв}$
		2336	$n_{\text{щ}} = 18; n_{\text{я}} = 6200 \text{ об/хв}$
		904	$n_{\text{щ}} = 12; n_{\text{я}} = 3600 \text{ об/хв}$
		1558	$n_{\text{щ}} = 12; n_{\text{я}} = 6200 \text{ об/хв}$
7	Механічні втрати на тертя в підшипниках і вентеляції Рис.5.1 по книзі А.Г.Морозов $\Delta P_{\text{тр+в}}, \text{ Вт}$	140	
8	Додаткові втрати $\Delta P_{\text{дод}} = 0.01P_{\text{н}}, \text{ Вт}$	180	
9	Сума втрат в стартер-генераторі $n_{\text{щ}} = 18; n_{\text{я}} = 3600 \text{ об/хв}, \text{ Вт}$	5126	При цьому $\eta = 77.8\%$
10	Сума втрат в стартер-генераторі $n_{\text{щ}} = 18; n_{\text{я}} = 6200 \text{ об/хв}, \text{ Вт}$	5815	При цьому $\eta = 75.6\%$
11	Сума втрат в стартер-генераторі при зменшені числа щіток $n_{\text{щ}} = 12; n_{\text{я}} = 3600 \text{ об/хв}, \text{ Вт}$	4674	При цьому $\eta = 79.4\%$

	Назви втрат в стартер генераторі СГ-18-1к	Розрахунко ві значення	Замітки
12	Сума втрат в стартер-генераторі при зменшені числа щіток $n_{щ} = 12; n_{я} = 6200$ об/хв, ВТ	5037	При цьому $\eta = 78.1\%$

#### 2.4 Зміни внесені для модернізації СГ-22-1К

Корисна модель відноситься до галузі електромашинобудування, а саме до електричних машин, що мають високу питому потужність на одиницю загальної маси та загального об'єму, забезпечену за рахунок ефективної системи тепловідведення та вентиляції, а також зменшення рівня тепловиділень у внутрішньому об'ємі ЕМ.[11]

Пропонована КМ може застосовуватися в різних ЕМ постійного струму, зокрема в електродвигунах, генераторах, стартерах, стартер-генераторах тощо.

Особливо високу актуальність має використання у автономних транспортних установках, розробка і випуск яких в Україні до теперішнього часу не забезпечені. Як відомо, у нашій автономна транспортна установкаовій промисловості застосовують стартер-генератори СГ-10-1К і СГ-18-1К. Їхня потужність у тривалому генераторному режимі не перевищує 10 кВт і 18 кВт за загальної маси 70 кг і 78 кг, відповідно.

Слід зазначити, що в генераторному режимі потужність, необхідна для приводу горизонтального наведення за умови крену 15 кутових градусів, досягає 16 кВт. Таким чином на інші навантаження автономна транспортна установка при цьому залишається тільки 2 кВт, необхідне підвищення потужності генератора. У стартерному режимі для забезпечення надійного запуску автономна транспортна установкаових двигунів, наприклад типу 6ТД-2Е, з урахуванням тенденції збільшення номінальної потужності нових моделей дизелів, крутний момент СГ теж має збільшуватися.

Розроблення і серійний випуск в Україні власних стартер-генераторів з підвищеною потужністю в рамках відомих маси і габаритних характеристик

широко застосовуваних українськими заводами СГ-18-1К (для можливості забезпечення не тільки нових моделей броньованої транспортної установкавої техніки, а й модернізації зразків, що наразі перебувають на озброєнні, без істотних доопрацювань) є актуальним і можливим завдяки одночасному поліпшенню тепловідведення та вентиляції, а також зменшенню тепловиділень у внутрішньому просторі ЕМ.

СГ належить до ЕМ постійного струму, які мають пазовий якір і систему збудження з явно вираженими полюсами, а також систему самовентиляції внутрішнього простору.

Практичним досвідом авторів, підтвердженим відповідними розрахунками та інструментальними дослідженнями, встановлено, що основне тепловиділення в розроблених низьковольтних колекторних ЕМ (у тому числі в стартер-генераторах) розподіляється між двома просторовими зонами, розміщеними вздовж осі якоря.

Перша зона - це зона обмоток, що охоплює якір, де основними складовими теплових втрат є тепловиділення в обмотці якоря і в сталі пакета, а також індуктор, де виділяються втрати в котушках збудження статора.

Друга зона - це зона колектора ЕМ, де основні теплові втрати пов'язані з колектором і щітковим вузлом, що забезпечують електричну і механічну комутацію обмотки якоря.

При цьому тепловиділення в другій з вищеназваних зон перевищують тепловиділення в другій з вищеназваних зон перевищують тепловиділення першої зони в низьковольтних ЕМ середньої потужності в 1,5... 2,5 рази (залежно від типу машини, її потужності, режиму роботи тощо).

У сучасних високовольтних ЕМ основний акцент зроблено на підвищенні ефективності охолодження зони обмоток і зони колекторно-щіткового вузла, тобто активних вузлів ЕМ.

Перше відоме технічне рішення-аналог - ЕМ постійного струму, наведене в АС СРСР №746823 (кл. Н02К9/04), заявка від 22.02.78 р. №2582639/24-07.

Перша відома ЕМ має такі спільні ознаки із запропонованим технічним рішенням: статор з явно вираженими полюсами, на яких розміщено котушки, що

для тепловідведення з'єднані через поверхні зазначених полюсів із поверхнею розточування, та ротор, що має обмотку з лобовими частинами та встановлений у розточці з повітряним зазором, а також вентиляційні зони з відмінним від атмосферного тиском, зовнішні вентиляційні зони, які входять та виходять, що відрізняються від атмосферного тиском, що входять і виходять зовнішні вентиляційні канали, елементи з немагнітного матеріалу, розміщені перпендикулярно осі ротора в зонах його торців, які практично обмежують загальну зону вентиляції, циліндричну поверхню вентиляційного каналу, який охоплює простір між ротором і поверхнею ротора.

Крім того, у названій ЕМ використаний гладкий якір, а кількість пар полюсів конструктивно визначає кількість вентиляційних зон, при цьому кількість пар полюсів обмежена виключно однією парою, в результаті кількість вентиляційних камер (зон) обмежена двома, з яких одна має підвищену, а інша – знижений тиск, при цьому камери (зони) розміщені між бічними поверхнями полюсів і корпусом і мають форму циліндричних сегментів, вхідний та вихідний вентиляційні канали виконані у вигляді щілин, які лежать у центральній площині симетрії ротора виключно в зоні робочих (активних) частин його обмотки та спрямовані радіально, таким чином вентиляційний канал, який охоплює ротор, є єдиним каналом для протікання охолоджуючого повітря, немагнітні елементи (вставки) виконані з одним ідентичним поперечним перерізом і обмежують загальну зону вентиляції відстанню, яка не перевищує робочу (активну) частину обмотки ротора цьому застосовується єдиного немагнітні вставки двох типів: вставка першого типу знаходиться з боку колектора і фактично відокремлює обсяг зони вентиляції від зони колектора, а немагнітні вставки іншого типу мають форму стрижнів необхідного перерізу, які розміщені на скошених поверхнях полюсів і виконані за одне ціле зі вставками першого типу.

До недоліків першої відомої ЕМ можна віднести:

- Неможливість забезпечення достатньої ефективності охолодження всіх частин ротора машини. Конструкція практично не забезпечує охолодження лобових частин обмотки ротора, при цьому колектор та щітковий вузол слабо охоплені вентиляцією;

- система вентиляції неефективна при зменшенні величини робочого зазору, що підвищує аеродинамічний опір через турбулентність охолоджуючого потоку.

Ця проблема вирішена за рахунок розширення робочого зазору, що призводить до збільшення тепловідведення в зоні робочої (активної) частини обмотки ротора;

- обмежений обсяг застосування технічного рішення: неможливо застосування в ЕМ з кількістю пар полюсів більше однієї, а також в низьковольтних ЕМ підвищеної потужності, в яких тепловиділення в зоні колектора та щіткового вузла можуть перевищувати тепловиділення в робочій (активній) зоні обмотки ротора 1,5 ...2,5 разів. Крім того, накладаються обмеження для застосування в ЕМ зі значною довжиною зовнішнього півкола ротора.

Зазначені недоліки першої відомої ЕМ частково покращені в іншій відомій ЕМ.

Інша відома ЕМ має підвищену ефективність вентиляції внутрішнього простору без істотного зменшення магнітного поля збудження та має розширений обсяг застосування у порівнянні з першим відомим технічним рішенням.

Друга відома ЕМ має наступні ознаки, характерні запропонованому технічному рішення: статор з явно вираженими полюсами, система примусової вентиляції, до складу якої входять: вентиляційні входи і виходи (зовнішні вентиляційні канали), виконані в обмежують внутрішній об'єм ЕМ конструктивних елементів, приторцевих зонах, і знаходяться на різній або однаковій відстані від осі. При цьому кількість та/або переріз зовнішніх вентиляційних каналів однакові або відрізняються. Крім того, до складу системи примусової вентиляції входять вентиляторні крильчатки та вентиляційні камери (зони) з відмінним від атмосферного тиску, а також циліндричний вентиляційний канал, який охоплює ротор (канал розточення). ЕМ має систему тепловідводу, яка включає конструкційні елементи, виконані за одне ціле з тепловідвідними функціональними частинами, у тому числі з валом ротора та магнітними елементами системи збудження, а також додаткові радіаторні пристрої, у тому числі немагнітні пристрої, введені у простір між полюсами системи збудження. Робочий зазор між зовнішньою поверхнею ротора та внутрішньою поверхнею

розточування визначається конкретного типу ЕМ експериментально чи розрахунковим шляхом залежно від робочої температури ротора.

Крім того, відома друга ЕМ має наступні ознаки, нехарактерні пропонуваного рішення: Гладкий якір, внутрішній об'єм ЕМ розділений немагнітними вставками з вентиляційними проходами так, що вентиляційна зона обмотки ротора конструктивно відокремлена від вентиляційних камер і відокремлена зони щітково-колекторного вузла. Примусова вентиляція замість самовентиляції.

Довжина зони вентиляції (зони обмотки) ротора обмежена відстанями названих вставок щодо середини робочої (активної) частини обмотки ротора однаковими або різними. При цьому відстань між самими вставками не менша за довжину робочої (активної) частини обмотки ротора, а кількість вентиляційних входів, які виконані на вставці, яка розміщена з боку колектора, менша, наприклад удвічі, ніж кількість щіткотримачів та/або перерізу сусідніх вентиляційних входів відрізняються, наприклад, у кілька разів.

Недоліками другого відомого технічного рішення є:

- Неможливість забезпечення достатньої ефективності охолодження всіх частин ротора ЕМ: практично не охоплена вентиляцією зона лобових частин обмотки ротора з боку, протилежної колектору;

- проблема збільшення поперечного перерізу охоплює ротор вентиляційного каналу (розширення робочого зазору між зовнішньою поверхнею ротора та розточуванням) вирішується за рахунок погіршення інших характеристик ЕМ, а саме: збільшення опору магнітному потоку в магнітному ланцюгу системи збудження, що призводить до зменшення потужності ЕМ. Необхідна компенсація названих втрат за рахунок збільшення маси магнітів системи збудження призводить до збільшення загальної маси ЕМ та її подорожчання;

- Поліпшення тепловідведення від елементів системи збудження ЕМ за рахунок введення немагнітних теплопровідних вставок між полюсами системи збудження призводить до подальшого збільшення загальної маси ЕМ;

- обмеження у застосуванні: неефективне використання технічного рішення в ЕМ з подовженою обмоткою ротора, а також в ЕМ з електромагнітним

збудженням, тому що єдиним вентиляційним каналом є кільцевий канал між зовнішньою поверхнею ротора та розточуванням.

- Третій відомий пристрій-аналог – ЕМ типу стартер-генератор СГ-18-1К великої потужності. Як зазначалося, ця ЕМ розроблена з урахуванням останніх доробок в 1985 р. і до теперішнього часу широко застосовуються в бронеавтономна транспортна установкаовій техніці. За сукупністю загальних ознак третій відомий пристрій-аналог прийнято авторами як прототип.

На рис.1 наведено поперечний розріз пристрою-прототипу стартер-генератора СГ-18-1К, відповідно до графічного матеріалу оригіналу «Технічний опис СГ-18ТО», останній раз оновленого в 1985 році. Авторами для спрощення сприйняття та порівняння із запропонованим технічним рішенням цей креслення був доопрацьований у частині позначення позицій тільки тих складових частин ЕМ, які виступають як основні особливості пристрою і відносяться до запропонованого технічного рішення.

ЕМ - прототип має наступні загальні ознаки з пропонованим технічним рішенням: пазовий якір (ротор) 1, встановлений за допомогою підшипникових вузлів 2а і 2б в корпус 3 з обмотками, який має явно виражені основні полюси 4 з обмотками 2а і 4б (паралельною) послідовної) та додатковими полюсами 5 з обмоткою 5а. Пристрій-прототип також має конструкційні елементи для вентиляції внутрішнього простору, до складу якого входять вентиляційні канали 6а і 6б (далі – канали) зв'язку з навколишнім середовищем (зовнішні) та внутрішні канали циркуляції охолоджуючого повітря в середині ЕМ, які включають канал розточування 7, створений за рахунок робочого зазору між зовнішньою поверхнею ротора і розточуванням, канали 8 на зовнішній поверхні вала 9 і 10 канали в пакеті 11.

Канали, утворені за рахунок проміжків між окремими складовими частинами системи збудження, у тому числі канали між основними полюсами 4 (на фіг. 1 не позначені, тому що не потрапляють у площину наведеного перерізу), а також між складовими елементами щітково-колекторного вузла 13, до складу якого входять щіткотримач 14 зі щітками 15 і колектор 16, колекторні пластини

якого зібрані на сталевий втулці 16а і своїми півнями 16б підключені до висновків обмотки 12 ротора 1.

До складу пристроїв вентиляції входять вентиляторні пристрої 17 і 18 для забезпечення перепаду тиску між внутрішнім об'ємом ЕМ і зовнішнім середовищем, виконані у формі крильчаток, встановлених на валу 9 ротора 1. ЕМ має також пристрої та пристрої для забезпечення тепловідведення, виконані у вигляді окремих радіаторних конструкцій та/або за одне ціле з функціональними складовими частинами ЕМ (у тому числі виконана з матеріалу високої міцності колекторна втулка для посадки пакета колекторних пластин 16а на вал 9 ротора 1, а також конструкційні елементи для зниження теплових втрат (тепловиділень) у внутрішньому обсязі ЕМ ( у тому числі виконані з матеріалу з високою теплопровідністю, електропровідністю та стійкістю до тертя пластини колектора 16).

ЕМ – прототип має такі ознаки не властиві запропонованому технічному рішенню: кількість зовнішніх вентиляційних каналів 6 обмежена виключно двома каналами різного функціонального призначення (один канал – впускний, а інший – випускний); кількість внутрішніх поздовжніх каналів 8 на зовнішній поверхні вала 9 ротора 1 становить виключно шість, за площею поперечного перерізу ці канали однакові, мають виключно гвинтоподібну форму і однакову довжину, обмежену зоною щітково-колекторного вузла. Проміжки між основними 4 і 5 додатковими полюсами ЕМ відносно невеликі, кількість вентиляційних пристроїв 17 і 18 обмежена виключно двома вентиляторами різного функціонального призначення.

При обертанні ротора ЕМ – прототипу через зовнішній вентиляційний канал ба за допомогою нагнітального вентиляційного пристрою 17 повітря переміщається в осьовому напрямку у внутрішній об'єм ЕМ (на фіг. 1 показано стрілками). Далі повітряний потік розділяється і проходить через щітковий вузол (через канали між щітками 15, щіткотримачами 14 між щітками 15 і корпусом 3) в зону обмоток.

Внутрішній осьовий потік повітря формується за допомогою гвинтових аксіальних каналів 8 на зовнішній поверхні валу 9 ротора 1 і також потрапляє в зону обмоток.

У наступній зоні – зоні обмоток повітряні потоки проходять між основними 4, а також між основними 4 і додатковими 5 полюсами системи збудження, через аксіальний канал розточування 7, а також через канали 10 пакета 11. Виходячи із зони обмоток вентиляційні потоки за допомогою вентиляційного пристрою 18 викидаються у навколишнє середовище через зовнішній вихідний канал 6б.

ЕМ – прототип має такі основні недоліки:

- недостатня потужність ЕМ, обумовлена виконанням значної частини її функціональних складових із надмірним запасом, що збільшує їх масу та габарити (а також масу та габарити ЕМ в цілому), зменшує потенційну площу поперечного перерізу вентиляційних каналів, призводить до надлишкових теплових втрат, які значно знижують потенційну потужність ЕМ;

- значні тепловиділення в щітково-колекторному вузлі, більша їх частина складається з тепловиділень у результаті тертя в ковзному щітково-колекторному контакті;

- сумарна вентиляційна здатність каналів на зовнішній поверхні ротора при їх обмеженій кількості та значній довжині (за рахунок гвинтоподібної конструкції) недостатньо ефективна для забезпечення охолодження щітково-колекторної зони внутрішнього об'єму ЕМ, як показали проведені розрахунки та тестування ЕМ прототипу;

- сумарна вентиляційна здатність каналів утворених розточуванням і поверхнею ротора, каналів у пакеті і каналів за рахунок проміжків між окремими елементами системи збудження ЕМ, як підтверджено розрахунками, недостатньо ефективна для вентиляційного охолодження зони обмоток при існуючих теплових втратах, які досягають у цій зоні приблизно 2 .

Завданням пропонованого пристрою є усунення зазначених недоліків та створення ЕМ підвищеної потужності (приблизно на 20-25%) у порівнянні з ЕМ – прототипом при збереженні маси та габаритних характеристик.

Поставлена мета досягається завдяки тому, що до складу ЕМ з підвищеною потужністю, разом з частиною відомих суттєвих особливостей, введено нові особливості, які забезпечують покращене вентиляційне охолодження внутрішнього об'єму ЕМ, за рахунок збільшення кількості та/або загальної площі поперечних перерізів існуючих в ЕМ – прототипі внутрішніх та зовнішніх каналів, зміни їх конструкції, а також введення конструктивно нових додаткових каналів у різних зонах внутрішнього простору ЕМ, а також особливостей, що відносяться до конструктивних змін таких її функціональних складових частин, як щітково-колекторний вузол, система збудження, конструкція пазової частини обмотки ротора та інше.

Поставлена ціль досягається завдяки запропонованій ЕМ підвищеної потужності (далі ЕМ), яка має систему охолодження, в склад якої входить система самовентиляції, яка включає по крайній мірі один вентиляційний пристрій (крильчатка), встановлена на валу ротора, зовнішні вентиляційні канали, які зв'язують внутрішній простір ЕМ з зовнішнім середовищем і виконані в приторцевих зонах її нерухомої частини, наприклад в торцевих кришках, і сітка внутрішніх вентиляційних каналів, виконаних в рухомій та нерухомій частинах ЕМ, в склад яких входять: аксіальний канал робочого зазору між внутрішньою поверхнею ротора та розточкою, канали на внутрішній поверхні пакета ротора і/або на внутрішній поверхні вала ротора, а також аксіальні канали утворені проміжками між основними і/або додатковими полюсами системи збудження і канали між елементами щітково-колекторного вузла, крім того система охолодження має пристрої для зниження виділення тепла. Запропонована ЕМ має збільшену кількість  $p$  ( $p$  – натуральне число  $p \geq 2$ ) зовнішніх вентиляційних каналів, які мають однакові або різні діаметри і розміщені на однакових або на різних радіальних відстанях відносно осі ротора, а також збільшену кількість  $n$  ( $n$  – натуральне число  $n \geq 2$ ) аксіальних каналів, які виконані на зовнішній поверхні вала ротора і/або на поверхні його внутрішньої порожнини, яка проходить вздовж осі вала ротора і має довжину, меншу або рівну його повній довжині, і виконана з постійним чи перемінним, наприклад ступінчасто, діаметром.

Крім того, всі активні вентиляційні канали ЕМ в конструкції вала ротора або їх частина виконані спрямленими, мають однакові і/або різні розміри і форми і проходять через всю зону внутрішнього об'єму ЕМ і/або через її окремі ділянки.

Крім того, ЕМ додані два висмоктуючих повітря вентилятора погодженої продуктивності, розміщених в протилежних приторцевих зонах ЕМ, при цьому для всмоктування повітря у внутрішній простір ЕМ частини внутрішніх вентиляційних каналів, наприклад поздовжнім каналам на зовнішній поверхні вала ротора, забезпечений зв'язок з зовнішнім простором і/або створений по крайній мірі один додатковий зовнішній впускний канал в нерухомій частині ЕМ.

Крім того, в ЕМ зона розміщення нагнітаючих повітря вентиляційних пристроїв пов'язана з зовнішнім середовищем через зовнішні впускні канали безпосередньо або через додаткові просторові фільтруючі камери, наприклад створені за рахунок конструктивно виділеної частини внутрішнього простору ЕМ.

Крім того, система збудження ЕМ має однакову кількість основних та додаткових полюсів, по чергово рівномірно розміщених по колу внутрішнього поперечного перерізу статора, при цьому між полюсами утворені однотипні вентиляційні проміжки (канали).

Крім того, система збудження ЕМ виконана з розміщеними по колу внутрішнього поперечного перерізу статора групами полюсів, кожна з яких складається з двох основних та одного додаткового, розміщеного між ними, при цьому кількість основних полюсів вдвічі перевищує кількість додаткових, а поперечні перерізи вентиляційних проміжків між групами полюсів значно перевищують поперечні перерізи вентиляційних проміжків в середині групи.

Крім того, аксіальні канали системи збудження ЕМ, утворені між групами полюсів, які мають найбільші поперечні перерізи, виконані частково або повністю заглушеними з протилежної колекторній зоні сторони для перенаправлення вентиляційного потоку через канал вздовж розточування і канали між основними та додатковими полюсами, які виконані з значно меншими поперечними перерізами.

Крім того, ЕМ в щітково-колекторному вузлу має зменшену кількість контактних щіток для зменшення теплових втрат на тертя та збільшення

загального поперечного перерізу внутрішніх вентиляційних каналів в зоні колектора.

Крім того, ЕМ виконана так, що на звільнених від контактних щіток місцях в гніздах щіткотримачів і/або на корпусній втулці, на якій вони закріплені, встановлені додаткові радіаторні пристрої з тепловідвідними ребрами, виготовлені із матеріалу з високою теплопровідністю, і/або встановлені додаткові змащуючі щітки на основі дисульфіту молібдену ( $\text{MoS}_2$ ).

Крім того, ЕМ виконана так, що в колекторному вузлу товщина ізоляційного шару між пакетом колекторних пластин і металевій втулці, яка забезпечує посадку колектора на вал ротора, зменшена на величину  $\Delta$ , яка обмежена електричною та механічною міцністю колекторного вузла, при цьому аксіальному вентиляційному каналу в зоні колектора додана додаткова площа поперечного перерізу.

Крім того, ЕМ виконана так, що у вузлі обмотки ротора шар ізоляції між провідниками по крайній мірі однією з  $k$  ( $k$  – натуральне число  $k=1\dots i$ ) обмоток і поверхнею, на яку вона поставлена, має товщину, зменшену на величину  $\Delta_i$ , обмежену електричною та механічною міцністю вузла обмотки ротора, при цьому по крайній мірі одна з вказаних обмоток виконана із провідників з відповідно збільшеним поперечним перерізом.

Крім того, ЕМ виконана, так, що в її системі збудження товщина ізоляції між провідниками всіх або частини обмоток полюсів, наприклад, додаткових, і поверхнею, на яку вони поставлені, мають зменшену товщину, обмежену електричною та механічною міцністю елементів системи збудження, при цьому до вентиляційних каналів між полюсів цієї системи додається площа поперечного перерізу або названі обмотки виконані із провідників відповідно збільшеного перерізу.

Крім того, ЕМ виконана так, що поперечні перерізи аксіальних вентиляційних каналів між основними та додатковими полюсами системи збудження ЕМ мають форму, розширену в зоні, яка віддалена від розточки, і відповідно звужену до ближчої до неї зони за рахунок утоніння віддаленої частини тіла сердечника основного полюса (ніжки сердечника) і відповідно його

розширення в зоні, близької до розточки, за рахунок симетричних відносно осі сердечника доповненої компенсаційного нарощування магнітної маси, наприклад в вигляді циліндричних сегментів, поверхня яких, повернута до осі якоря, виконана як частина поверхні розточки.

Крім того, ЕМ виконана так, що частина каналів, виконаних на зовнішній поверхні вала ротора і/або на поверхні його внутрішньої порожнини, має вставки із матеріалу з високою теплопровідністю, які виконані в вигляді поздовжніх ребер, направлених вздовж каналів і частково утоплених в їх об'ємах.

В запропонованій ЕМ підвищеної потужності відомі суттєві ознаки, які викладені в верхній частині незалежного першого пункту патентної формули ПМ і, які відносяться до відомого пристрою-прототипу, разом з новими суттєвими ознаками, наведеними в нижній частині цього пункту формули і придані пристрою його авторами, створюють необхідну і достатню сукупність природніх ознак, які мають причинно-наслідковий зв'язок, а саме: покращення вентиляції внутрішнього об'єму ЕМ за рахунок змін в конструкції існуючих і введення нових вентиляційних каналів, їх відповідного розміщення, а також використання певного типу вентиляторних пристроїв, стає причиною внаслідок якої можливо використання значної частини функціональних складових ЕМ без надмірних запасів, в тому числі: можливості зменшення кількості контактних щіток в щітково-колекторному вузлу та зміни його конструкції, можливості зменшення товщини шару ізоляції обмотки, що в свою чергу як наслідок забезпечує подальше підвищення ефективності вентиляції і суттєве зменшення втрат на тертя в контактах щітка-колектор, а також можливість збільшення поперечного перерізу провідників обмоток ротора та індуктора, що в свою чергу призводить до подальшого зменшення тепловиділення у внутрішньому об'ємі ЕМ, і внаслідок цього загального зменшення теплових витрат стає можливим збільшення потужності ЕМ.

Як видно із вищепереліченого саме причинно-наслідкова взаємодія необхідної та достатньої сукупності суттєвих ознак запропонованої ЕМ забезпечує нову якість – значне підвищення потужності ЕМ (приблизно до 20-

25%) в порівнянні з пристроєм-прототипом при збереженні маси і габаритних характеристик пристрою.

Оскільки сьогодні авторам і заявникам із офіційних інформаційних джерел не відомі ЕМ, в яких підвищення потужності досягається за рахунок використання необхідної та достатньої сукупності принципів, наведених в незалежному пункті формули ПМ, запропонована ПМ відповідає критеріям «новизна» та «винахідливий крок». Оскільки п. п. 2 – 15 формули ПМ є незалежними і лише розкривають (конкретизують) ознаки, наведені в незалежному пункті 1, то вказаний висновок розповсюджується і на ЕМ по п. п. 2 – 15.

Потрібно відзначити, що додатковою перевагою запропонованого технічного рішення є значне розширення об'єму його використання, підвищення надійності і одночасне здешевлення в експлуатації.

Для пояснення суті запропонованого технічного рішення вибраний конкретний конструктивний варіант ЕМ класу стартер-генераторів змішаного збудження, який базується на основі вибраного пристрою-прототипу. Суть запропонованої ПМ пояснюється за допомогою наступних фігур:

Фіг.1 Поперечний розріз пристрою-прототипу стартер-генератор СГ-18-1С.

Фіг.2 Поперечний розріз конкретного конструктивного варіанту запропонованої ПМ підвищеної потужності.

Зображення, наведене на Фіг.1, було розглянуто вище у процесі порівняльного аналізу запропонованого рішення з пристроєм-прототипом.

На Фіг.2 наведено поперечний переріз запропонованого конкретного конструктивного варіанту ЕМ підвищеної потужності, котра має:

Пазовий ротор (якір) 1, встановлений за допомогою підшипникових вузлів 2 в корпус 3, систему збудження ЕМ, яка включає 6 (для даного варіанту виконання) чітко виражених основних полюсів 4 з обмотками 4а, 4б, 4в (із яких обмотка 4а – стартерна, а обмотки 4б і 4в паралельні) і три додаткові полюси 5 з обмотками. ЕМ також має систему охолодження за рахунок самовентиляції, яка включає: зовнішні вентиляційні канали 6а та 6б, які зв'язують внутрішній об'єм ЕМ з навколишнім середовищем і виконані в приторцевих зонах нерухомої

частини ЕМ, мережа внутрішніх вентиляційних каналів, виконаних в рухомій і нерухомій частинах ЕМ, в склад яких входять: аксіальний канал 7, створений за рахунок робочого зазору між внутрішньою поверхнею ротора та розточкою, канали 8 на зовнішній поверхні вала 9 ротора 1, які виконані випрямленими для зменшення аеродинамічного супротиву за секунду покращення ламінарності протікання повітряних потоків в проходять через зону колектора ЕМ, канали 10 в пакеті 11, який забезпечує розміщення роторної обмотки 12, а також аксіальні канали, утворені за рахунок проміжків між сусідніми основними полюсами 4 і додатковими полюсами 5 (на Фіг.2 ці канали не позначені, оскільки не потрапляють в площину приведенного перерізу). Сітка внутрішніх вентиляційних каналів також включає канали між складовими елементами щітко-колекторного вузла 13, в склад якого входять щіткотримачі 14 з щітками 15 і колектор 16, колекторні пластини якого 16а зібрані на сталевій втулці 16б і своїми тушками 16в підключені до виводів 12а обмотки 12 ротора 1.

В склад системи вентиляції входять також два вентиляційних пристрої – всмоктувальний вентилятор 17 та відсмоктувальний – 18, які забезпечують перепад тиску повітря між внутрішнім об’ємом ЕМ та навколишнім середовищем і встановлені на валу 9 ротора 1.

Ротор 1 виконаний з внутрішнім каналом, який проходить вздовж його осі через зону колектора 16 (напрявлені вентиляційні канали в валу 8) і зону обмотки 12 ротора 1 (аксіальні канали в пакеті 11) і має вхідні отвори в зоні вентилятора 17 і вихідні в зоні відсмоктуючого вентилятора 18.

В аксіальних каналах 8 на зовнішній поверхні вала 9 ротора 1 в зоні колектора встановлені алюмінієві радіатори 20, які збільшують ефективну поверхню відводу тепла в потік охолодженого повітря. Товщина ізоляції між колекторною втулкою 16а і пакетом пластин колектора 16 значно ( в декілька разів) зменшена, що забезпечує більше ефективний тепловідвід від пластин колектора 16 через тіло цієї втулки.

Як згадувалось вище, показана на Фіг.2 ЕМ належить до класу двигунів-генераторів (стартерів-генераторів) змішаного збудження, в процесі запуску СГ працює в режимі електродвигуна, а після закінчення пуску – в режимі генератора.

В режимі електродвигуна послідовну стартерну обмотку 4а, яка забезпечує пускові показники ЕМ в цьому режимі, підключає до відповідного джерела живлення. Коли електродвигун (стартер) розвине повний момент та набере швидкість, достатню для запуску поршневого двигуна, послідовна обмотка збудження 4а автоматично відключається. При цьому для обмеження швидкості обертання стартера на холостому ходу використовується нерегульована паралельна обмотка 4б.

Охолодження ЕМ, яке забезпечує підвищення її потужності виробляється наступним чином. При обертанні ротора 1 через зовнішній вентиляційний канал ба за допомогою всмоктуючого вентиляторного пристрою 17 повітря втягується у внутрішній об'єм ЕМ (на Фіг.2 показано стрілками).

При виході із всмоктуючої крильчатки потік повітря розділяється на дві складові:

Зовнішню, проходячи через щіткотримачі та систему збудження;

І внутрішню, де повітря проходить через канали під колектором і аксіальні канали в пакеті.

Виходячи із зони обмоток вентиляційні потоки об'єднуються і з допомогою висмоктуючого вентиляційного пристрою 18 викидаються в навколишнє середовище через зовнішні вихідні канали 6б.

Запропонований пристрій створений на основі відомих і широко застосовуваних в електротехніці і машинобудівництві технологій, в ньому використані тільки відомі і широко застосовувані в електричних машинах матеріали та елементи (в тому числі і аналогічні застосовувані в наведених пристроях-аналогах). При цьому завдяки запропонованому пристрою забезпечується економія дорогих матеріалів (наприклад, міді при виготовленні колектора), трудовитрат на його виготовлення і т. д.

На сьогоднішній день розроблена ескізно-конструкторська документація на ЕМ класу стартер-генераторів, в якій використана запропонована ПМ, виготовлені макети і проведено тестування окремих складових частин машини.

Експериментально підтверджені працездатність та високий технічний рівень пристрою (значне підвищення потужності ЕМ в порівнянні з пристроєм-

прототипом – приблизно на 20%), забезпечено саме за рахунок використання запропонованого технічного рішення.

### 3 РОЗДІЛ

#### РОЗРАХУНОК СГ-22-1К

#### 3.1 Номінальні дані

1.1 Вихідна потужність

$$P_r = 22000 \text{ Вт}$$

1.2 Напруга

$$U_n = 28 \text{ В}$$

1.3 Частота обертання  $n_n = 3600/6200$  об/хв

#### 3.2 Розмір і параметри генератора(по кресленню)

2.1. Якоря

2.1.1 Зовнішній діаметр

$$D_a = 14.16 \text{ см}$$

2.1.2 Активна довжина

$$l_a = 18.2 \text{ см}$$

2.1.3 Діаметр колектору

$$D_k = 11.1 \text{ см}$$

2.1.4 Довжина колектору

$$l_k = 8.7 \text{ см}$$

2.1.5 Число колекторних пластин

$$K = 57$$

2.1.6 Тип обмотки - проста петльовава

2.1.7 Крок обмотки по колектору

$$y = 1$$

2.1.8 Перший частковий крок по пазу

$$y_1 = 9 \text{ (1-10)}$$

2.1.9 Другий частковий крок по пазу

$$y_2 = 8 \text{ (10-2)}$$

2.1.10 Діаметр внутрішнього якоря

$$d_{\text{я}}=9.4\text{см}$$

2.1.11 Число витків в секції

$$W_{\text{с}}=1$$

2.1.12 Число провідників в пазу

$$n_{\text{н}}=2$$

2.1.13 Провід обмотки якоря ПЭТВП-939

$$b_{\text{н1}} = 0.28 \text{ см}$$

$$h_{\text{н1}} = 0.475 \text{ см}$$

2.1.14 Число активних провідників

$$N = 114$$

2.2 Пази

2.2.1 Число пазів

$$z = 57$$

2.2.2 Глибина паза

$$h_{\text{н}} = 1.28 \text{ см}$$

2.2.3 Ширина паза

$$b_{\text{н}} = 0.41 \text{ см}$$

2.2.4

Форма паза: прямокутна (на-пів закрита)

2.2.5 Число колекторних пластин на паз

$$U_{\text{r}} = \frac{K}{Z} = 1$$

2.3 Головного полюса

2.3.1 Ширина сердечника полюса

$$b_{\text{r}} = 2.4 \text{ см}$$

2.3.2 Висота сердечника полюса

$$h_{\text{r}} = 2.65 \text{ см}$$

2.3.3 Ширина башмака (дуги)

$$b_{\text{br}} = 4.38 \text{ см}$$

### 2.3.4 Число витків обмотки північного полюса

$$W_N = 200$$

### 2.3.5 Провідник обмотки збудження північного полюса

$$d_r = 0.93$$

$$d_{rp} = 1.02$$

$$\frac{d_r}{d_{rp}} = 0.912 \text{ см}$$

### 2.3.6 Число витків обмотки південного полюса

$$W_S = 155$$

### 2.3.7 Провідник обмотки збудження північного полюса

$$d_m = 1.08 \text{ мм}$$

$$d_{kr} = 1.19 \text{ мм}$$

$$\frac{d_m}{d_{kr}} = 0.908$$

### 2.3.8 Матеріал сердечника - Ст10

## 2.4 Додаткового полюса (північного)

### 2.4.1 Ширина сердечника додаткового полюса

$$b_{gr} = 1.1 \text{ см}$$

### 2.4.2 Висота сердечника додаткового полюса

$$h_{gr} = 2.75 \text{ см}$$

### 2.4.3 Провідник обмотки додаткового полюса $b_{gr} * h_{gr}$ 7.0X9.3 мм

### 2.4.5 Матеріал сердечника додаткового полюса -Ст10

## 2.5 Система магнітна (індукційна)

### 2.5.1 Число головних полюсів

$$2p = 6 \quad p = 3$$

### 2.5.2 Число додаткових полюсів-3

### 2.5.3 Діаметр розточки індуктора

$$D_p = 14.34 \text{ см}$$

### 2.5.4 Внутрішній діаметр корпусу

$$D_{kbn} = 14.34 \text{ см}$$

### 2.5.5 Зовнішній діаметр корпусу

$$D_{kn} = 21.5 \text{ см}$$

## 2.5.6 Довжина корпусу (магнітопроводу)

$$l_{\text{кн}} = 26.7 \text{ см}$$

## 2.5.7 Матеріал корпусу -Ст10

## 2.6 Щітки

## 2.6.1 Число щіток на траверсі

$$a_n = 3$$

## 2.6.2 Загальна кількість щіток 18

## 2.6.3 Ширина щітки (однієї)

$$b_{\text{щ}} = 0.8 \text{ см}$$

## 2.6.4 Ширина щітки на колекторі

$$b'_{\text{щ}} = 0.928 \text{ см}$$

## 2.6.7 Марка щітки -МГ7-А

## 2.6.8 Сила надавлювання на щітку 1800г

## 2.6.9 Кут нахилу реактивної щітки

$$\alpha = 60^\circ$$

### 3.3 Розрахунок розміру и параметрів на основі вихідних і справочних даних

Розрахунок виконується по методиці [1] з використанням означень, прийнятих в цьому джерелі.

$$I_1 = \frac{P_H}{U_H} = \frac{2200}{28} = 785.714$$

## 3.1 Струм генератора, А:

$$I_{\text{ш}} = 2.5$$

## 3.2 Струм генератора при паралельному збудженні (1.8.6 [1])

$$I_{\text{я}} = I_1 + I_{\text{ш}}$$

Де  $I_{\text{ш}}$  - струм в паралельній (шунтовій) обмотці, який буде визначений після розрахунку

опору ШОЗ(шунтової обмотки збудження)

## 3.3 Розрахунок збудження (немагнітний) зазор між індуктором і якорем, см:

$$\delta = \frac{D_p - D_a}{2} = \frac{14.34 - 14.16}{2} = 0.09$$

де  $D_p$  - діаметр розточки індуктора  $D_a$  - діаметр якоря.

## 3.4 Розмір полюсного розділу, см:

$$\tau = \frac{\pi \times D_a}{2p} = \frac{\pi \times 14.16}{2 \times 3} = 7.414$$

3.5 Ширина полюсної дуги  $b_{\text{гн}}$  при рівномірному повітряному зазорі

$$b_{\text{гн}} = b_{\text{гн}} - 2\delta$$

## 3.6 Розрахунковий коефіцієнт полюсної дуги (1.3, Рис. 1.22 [1]).

$$\alpha_i = \frac{b_{i\text{п}}}{\tau}$$

По рис 1.22 [1]) для, см:

$$D_{\text{я}} = 14.16$$

$$\alpha_i = 0.6$$

$$b_{i.\text{ГН}} = \alpha_i \times \tau = 0.6 \times 7.414 = 4.448$$

3.7 Розрахунок значення ширини полюсної дуги, мм:

$$b_{\text{ГН}} = b_{i.\text{ГН}} - 2\delta = 4.448 - 2 \times 0.09 = 4.268$$

(по кресленню СГ-18-1К)

$$b_{\text{ГН}} = 43.8 - 4 - 1 = 38.8$$

3.8 Площа головного полюса, см<sup>2</sup>:

$$S_{\delta} = \alpha_i \times \tau \times I_a = 0.6 \times 7.414 \times 18.2 = 80.963$$

3.9 Розмір щіток

3.9.1 Кут нахилу щіткотримача до поверхні колектору ( $\alpha=60^\circ$ )

3.9.2 Площа поверхні дотику щітки (одної з колектором), см<sup>2</sup>:

$$S_{\text{щ}} = b'_{\text{щ}} \times l_{\text{щ}} = 0.924 \times 2.5 = 2.309$$

3.9.3. Площа дотику всіх щіток (дванадцять (3x6) щіток), см<sup>2</sup>:

$$S_{\text{щ.сум}} = 18 \times S_{\text{щ}} = 18 \times 2.309 = 41.571$$

3.10 Розмір секції обмотки якоря (СГ-22)

Загальна довжина показана нижче на малюнку з розмірами заготовки

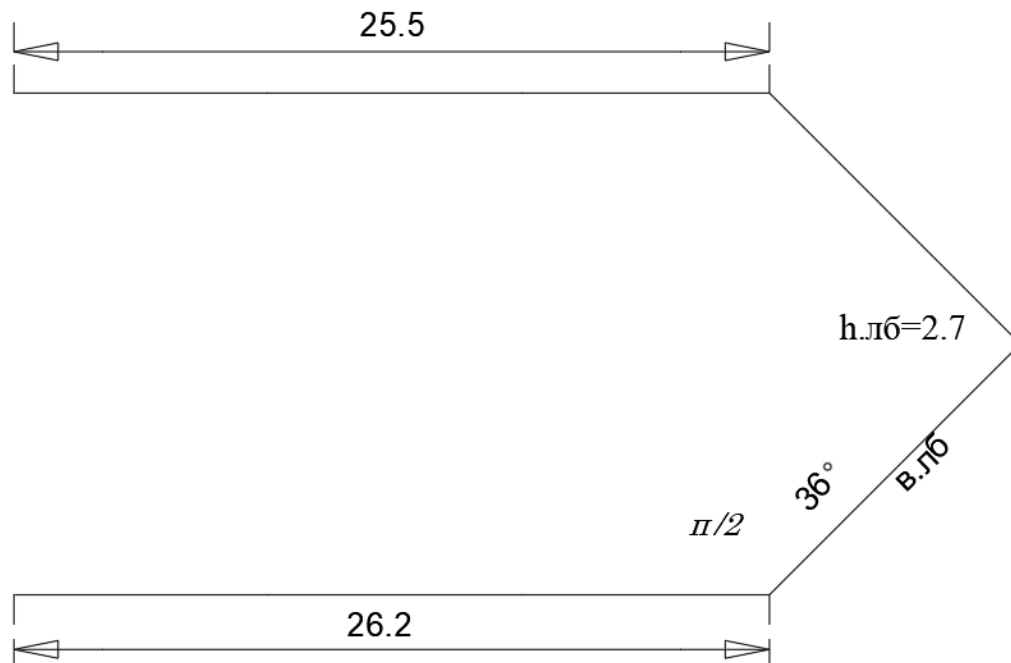


Рисунок. 3.1. До розрахунку розміру секцій

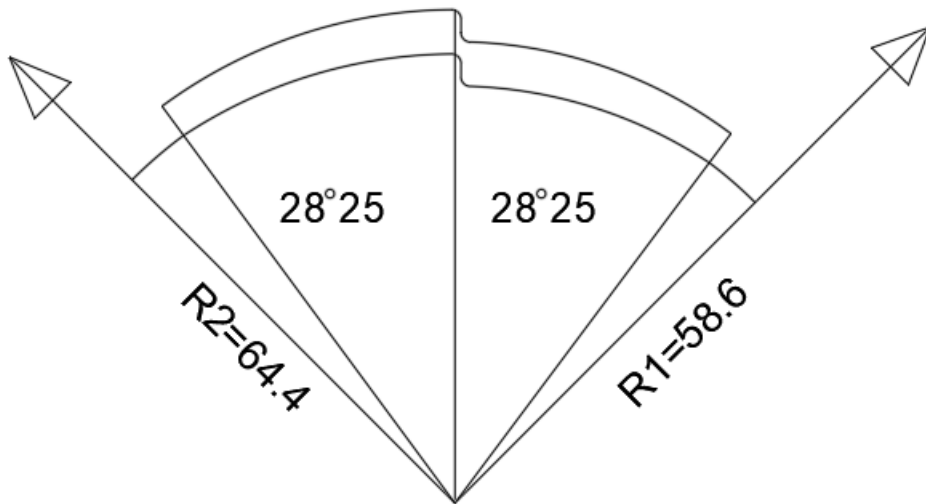


Рисунок. 3.2. Вид з лобової частини

$$I'_c = 56.4$$

3.11 Довжина половини секції, см:

$$I_{\text{ср.я}} = \frac{I'_c}{2} = \frac{56.4}{2} = 28.2$$

3.12 Перевірка довжини лобових частин, см:

$$I_{\text{лб}} = I'_c - 2 \times I_a = 56.4 - 2 \times 18.2 = 20$$

Тоді половина довжини лобових частин рівняється 10

А довжини частин у колекторі, см:

$$I_{\text{лбк}} = 20 - 6.1 = 13.9$$

$$\frac{I_{\text{лбк}}}{2} = 6.95$$

3.13 Перевірка загальної довжини секції, см:

$$\frac{I_{\text{лбк}}}{2} = 0.993 \times 7 = 6.951$$

$$I''_c = 2 \left( I_a + \frac{I_{\text{лбк}}}{2} + \frac{I_{\text{лб}}}{2} \right)$$

$$I''_c = 2 \left( 18.2 + \frac{13.9}{2} + \frac{20}{2} \right) = 70.3$$

Що більше чим  $I'_c = 56.4$  см

$$I'''_c = 2I_a + 2I_{\text{лб}}$$

$$I'''_c = 2I_a + 2I_{\text{лб}} = 2 \times 18.2 + 2 \times 20 = 76.4$$

Сума довжини лобових частин, см:

$$I_{\text{сумлб}} = 2I_{\text{лбк.}} + 2I_{\text{лб.}} = 19.8$$

$$b_{\text{пр}} = 2.8$$

Що близько до 3.12(!)

$$h_{\text{пр}} = 4.75$$

3.14 Переріз мідного провідника обмотки якоря, мм<sup>2</sup>:

$$q_{\text{я}} = b_{\text{пр}} \times h_{\text{пр}} = 13.3$$

$$I_{\text{ср.я}} = 28.2$$

3.15 Повна довжина провідника обмотки якоря, см:

$$L_{\text{мя}} = N_{\text{я}} \times I_{\text{ср.я}} = 3214.8 \sim 3.215 \times 10^3$$

3.16 Розмір обмотки додаткового полюса, мм<sup>2</sup>:

3.16.1 Переріз мідної обмотки додаткового полюса (провід ПММ 7Х9.3мм)

$$q_{\text{gn}} = 7 \cdot 9.3 = 65.1$$

3.16.2 Довжина обмотки додаткового полюса(ДП), мм:

$$\Delta_n = 2$$

$$l_{\text{b.gn.1}} = 2(b'_g + l_g) + \pi \times b'_g$$

Де  $b'_g$ -ширина сердечника додаткового полюса з урахуванням зазору на ізоляції

$$b'_g = b_g + \Delta_n = 13$$

$l_g$ -довжина сердечника додаткового полюсу

$$l_g = 180$$

Тоді

$$l_{\text{b.gn.1}} = 2(13 + 180) + \pi \times 13 = 426.841$$

3.16.3 Довжина котушки (2 витка) обмотки ДП, см:

$$l_{\text{kgn}} = 2 \times l_{\text{b.gn.1}} = 2 \times 42.684 = 85.268$$

3.16.4 Довжина обмотки (трьох котушок) ДП, см:

$$l_{\text{gn}} = 3 \times l_{\text{kgn}} = 3 \times 85.368 = 256.104$$

$$D_c = 19.2$$

3.16.5 Довжина з'єднувача між ДП (двома), см:

$$l_{\text{cgn}} = \frac{\pi \times D_c}{3} = \frac{\pi \times 19.2}{3} = 20.106 \sim 20$$

Де  $D_c$ -діаметр розміщеного з'єднувача (креслення)

3.16.6 Загальна довжина з'єднувача (двох), см:

$$l_{\text{сум.с}} = 2 \times l_{\text{cgn}} = 40$$

3.16.7 Загальна довжина обмоток ДП з урахуванням з'єднувача

$$l_{\text{сум.gn}} = l_{\text{gn}} + l_{\text{сум.с}} = 256.104 + 40 = 296.104$$

3.17 Розмір шунтової обмотки збудження (ШОЗ-південний)

3.17.1 Переріз провідника ШОЗ(південний), мм<sup>2</sup>:

$$q_{\text{шоз.S}} = \frac{\pi \times 1.08^2}{4} = 0.916$$

3.17.2 Середня довжина витка (ШОЗ, південний), мм:

$$l_{\text{ср.шоз.S}} = 2 \times 184 + 25.25 + 2(26.27 + 12.75) = 471.89 \sim 47.2$$

3.18 Розмір ШОЗ (північний)

3.18.1 Переріз провідника ШОЗ (північний), мм<sup>2</sup>:

$$q_{\text{шоз.N}} = \frac{\pi \times 0.93^2}{4} = 0.679$$

3.18.2 Середня довжина витка (ШОЗ, північний)

$$l_{\text{ср.шоз.N}} = l_{\text{ср.шоз.S}} = 47.2$$

### 3.4 Розрахунок розміру магнітного кола генератора

4.1 Зубчаста зона якоря

4.1.1 Зубцеве ділення (крок) по зовнішній поверхності якоря, мм:

$$D_{\text{я}} = D_{\text{а}} \times 10 = 141.6$$

$$t_1 = \frac{\pi \times D_{\text{я}}}{Z} = \frac{\pi \times 141.6}{57} = 7.8$$

$$t_1 = 7.8$$

4.1.2 Крок в розрахунковому перерізі посередині зуба, мм:

$$t_2 = \frac{\pi(D_{\text{я}} - h_{\text{н}} \times 10)}{Z} = \frac{\pi(141.6 - 1.28 \times 10)}{57} = 7.099$$

$$\text{Де } h_{\text{н}} = h'_{\text{н}} + \Delta_{\text{ш}}, (\Delta_{\text{ш}} = \frac{0.1}{0.5} \text{ мм})$$

4.1.3 Зубцевий крок по кругу основи зубців, мм:

$$t_3 = \frac{\pi(D_{\text{я}} - 2h_{\text{н}} \times 10)}{Z} = \frac{\pi(141.6 - 2 \times 1.28 \times 10)}{57} = 6.393$$

4.1.4 Ширина зуба на зовнішній поверхні якоря, мм:

$$b_{z.1} = t_1 - b_{\text{н}} \times 10 = 7.8 - 0.41 \times 10 = 3.7$$

4.1.5 Ширина зуба всередині (розрахунковому) перерізу, см:

$$b_{z.2} = t_2 - b_{\text{н}} \times 10 = 7.099 - 0.41 \times 10 = 2.999 \sim 3$$

4.1.6 Ширина зуба по кругу основи зубців

$$b_{z.3} = t_3 - b_{\text{н}} \times 10 = 6.393 - 0.43 \times 10 = 2.293$$

4.1.7 Довжина магнітної силової лінії зуба якоря, мм:

$$h_z = h_{\text{н}} = 1.28$$

$$L_z = h_z = 1.28$$

4.2 Ярма якоря

4.2.1 Висота спинки якоря, см:

$$h_{\text{я}} = \frac{D_{\text{я}} - (2h_{\text{н}} + d_{\text{я}})}{2} = \frac{141.6 - (2 \times 1.28 + 9.4)}{2} = 1.1$$

Де

$$d_{\text{я}} = 9.4$$

(по кресленню СГ-18-1К)

4.2.2 Переріз спинки якоря, см<sup>2</sup>:

$$S_{\text{я}} = 1.1 \times 18.2 = 20.02$$

4.2.3 Довжина магнітної силової лінії спинки якоря, см:

$$L_{\text{я}} = \frac{\pi(d_{\text{я}} + h_{\text{я}})}{4p} = \frac{\pi(9.4 + 1.1)}{4 \times 3} = 2.749$$

4.3 Головного полюса

4.3.1 Переріз сердечника головного полюса, см<sup>2</sup>:

$$l_{\text{г}} = l_{\text{г}} \times 10^{-1} = 18$$

$$S_{\text{г}} = b_{\text{г}} \times l_{\text{г}} = 2.4 \times 18 = 43.2$$

4.3.2 Довжина магнітної силової лінії по головному полюсу, мм:

$$h_{\text{гн}} = 0.5$$

$$L_{\text{г}} = h_{\text{г}} + h_{\text{гн}} = 2.65$$

Де  $h_{\text{г}}$ ,  $h_{\text{гн}}$ -висота полюса і полюсного наконечника

4.3.3 Переріз станини (корпусу), см<sup>2</sup>:

$$l_{\text{ст}} = 26.7$$

$$D_{\text{ства}} = 19.4$$

$$h_{\text{ст}} = \frac{D_{\text{стн}} - D_{\text{ства}}}{2} = \frac{21.5 - 19.4}{2} = 1.05$$

$$S_{ст} = h_{ст} \times l_{ст} = 1.05 \times 19.4 = 28.035$$

4.3.4 Довжина магнітної силової лінії, см:

$$L_c = \frac{\pi(D_{стн} - h_{ст})}{4p} + \frac{h_{ст}}{2} = \frac{\pi(21.5 - 1.05)}{4 \times 3} + \frac{1.05}{2} = 5.879$$

4.4 Додаткового полюса

4.4.1 Переріз сердечника додаткового полюса,  $см^2$ :

$$S_{ст} = l_{g.} \times l_{g.} = 1.1 \times 18 = 19.8$$

4.4.2 Довжина магнітної силової лінії в додатковому полюсі, см:

$$L_{gn} = 2 \times h_{gn} = 2.7$$

### 3.5 Розрахунок опору обмоток

5.1 Якоря (2.49[1]), Ом:

$$R_{я.20} = \frac{L_{мя}}{5700q_{я} \times (2a)(2a)} = \frac{3214.8}{5700 \times 16.5 \times 2 \times 3 \times 2 \times 3} = 9.495 \times 10^{-4}$$

Це опір при  $t=20^{\circ}C$

Для різних класів ізоляції установлені допустимі перевищення температури частин електричних машин при температурі охолодження  $40^{\circ}C$ . (ДСТУ 183-74).

Допустима температура для класу ізоляції В- $130^{\circ}C$ , для F- $155^{\circ}C$ , для Н- $180^{\circ}C$ .

Розрахункова робоча температура приймається для класу ізоляції В- $75^{\circ}C$ , для класів F,Н- $115^{\circ}C$  [1].

Опір обмотки якоря в нагрітому стані

$$R_{ян} = m \times R_{я}$$

Значення  $m=1+0.004*\theta$ , де  $\theta$ -перевищення температури обмотки на  $20^{\circ}C$ . Тоді  $m$  для

прийнятих розрахункових значень температури буде мати значення: для температури

$75^{\circ}(B)$   $m=1.22$ , а для температури  $115^{\circ}(F,Н)$ - $m=1.38$ , відповідно

$$m_B = 1.22$$

$$m_{F,Н} = 1.38$$

$$R_{я.В} = m_B \times R_{я.20} = 1.22 \times 0.949 \times 10^{-3} = 1.158 \times 10^{-3}$$

$$R_{я.F,Н} = m_{F,Н} \times R_{я.20} = 1.28 \times 0.949 \times 10^{-3} = 1.31 \times 10^{-3}$$

5.2 Опір шунтової обмотки збудження (ШОЗ)

$$I_{ср.шоз.N} = 47.2$$

5.2.1 Котушка південна ШОЗ, Ом:

$$R_{ШОЗ.20.S} = \frac{I_{ср.шоз.S} \times W_S}{5700 \times q_{шоз.S}} = \frac{47.2 \times 155}{5700 \times 10^3 \times 916.088 \times 10^{-3}} = 1.401$$

Опір нагрітої ШОЗ (південної), Ом:

$$R_{ШОЗ.20.B} = m_B \times R_{ШОЗ.20.S} = 1.22 \times 1.401 = 1.709$$

$$R_{ШОЗ.20.F} = m_{F,Н} \times R_{ШОЗ.20.S} = 1.28 \times 1.401 = 1.933$$

5.2.2 Опір котушки північної (ШОЗ), Ом:

$$R_{ШОЗ.20.S} = \frac{I_{ср.шоз.N} \times W_N}{5700 \times q_{шоз.N}} = \frac{47.2 \times 200}{5700 \times 0.67} = 2.438$$

Опір нагрітої ШОЗ (південної), Ом:

$$R_{ШОЗ.N.B} = m_B \times R_{ШОЗ.20.N} = 1.22 \times 2.438 = 2.974$$

$$R_{ШОЗ.N.F} = m_{F.H} \times R_{ШОЗ.20.N} = 1.38 \times 2.438 = 3.364$$

5.2.3 Опір шунтових обмоток (північної і південної), з'єднаних послідовно в кожній з трьох паралельних гілок, як показано на рис.2.1.

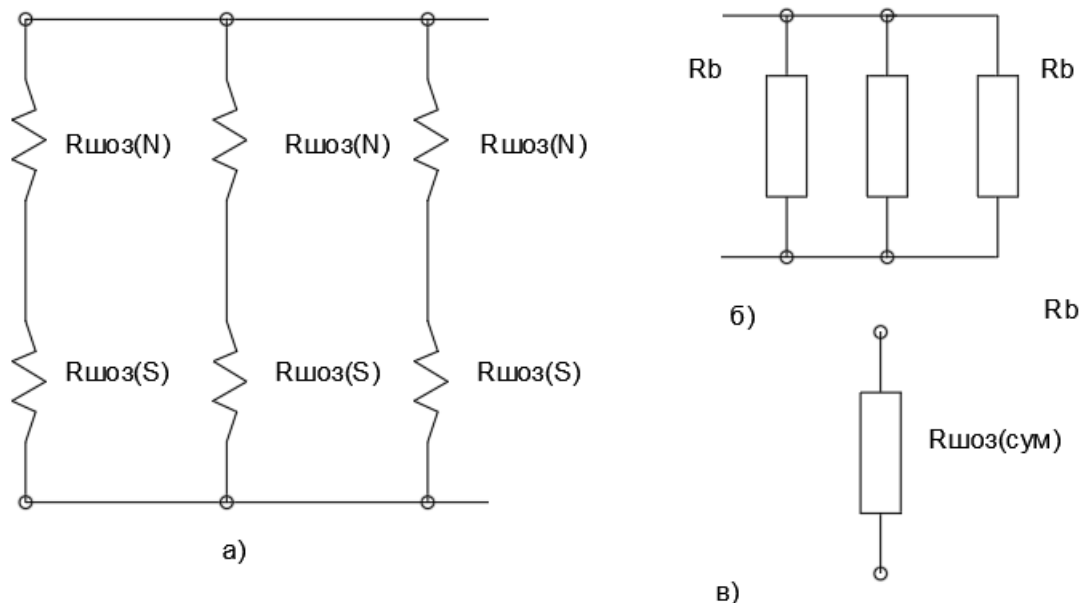


Рисунок.3.3. а) Електрична схема з'єднання шунтів обмоток збудження (ШОЗ), б) Перетворена схема з'єднання віток, в) сумарний опір обмоток збудження.

Де  $R_b$ - опір гілки ШОЗ

$$\frac{1}{R_{ШОЗ.сум}} = \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_b} = \frac{3}{R_b}$$

$$R_{ШОЗ.сум} = \frac{R_b}{3}$$

$$R_{b.20} = R_{ШОЗ.20.S} + R_{ШОЗ.20.N} = 2.438 + 1.401 = 3.839$$

$$R_{b.B} = R_{ШОЗ.B.S} + R_{ШОЗ.B.N} = 2.974 + 1.709 = 4.684$$

$$R_{b.F} = R_{ШОЗ.F.S} + R_{ШОЗ.F.N} = 3.364 + 1.933 = 5.298$$

$$R_{ШОЗ.сум.20} = \frac{R_{b.20}}{3} = \frac{3.839}{3} = 1.28$$

$$R_{ШОЗ.сум.B} = \frac{R_{b.B}}{3} = \frac{4.684}{3} = 1.561$$

$$R_{ШОЗ.сум.F} = \frac{R_{b.F}}{3} = \frac{5.298}{3} = 1.766$$

Таблиця 3.1 Опорів ШОЗ при різних температурах

°C	$R_{шоз(N)}$	$R_{шоз(S)}$	$R_b$	$R_{шоз.сум}$
20	2,44	1,40	3,84	1,28
75(B)	2,98	1,71	4,68	1,56

115(F)	3,37	1,93	5,30	1,77
--------	------	------	------	------

5.3 Опір обмоток додаткових полюсів, Ом:

$$R_{gn} = \frac{L_1}{5700q_{gn}} = \frac{296.2}{5700 \times 65.1} = 7.982 \times 10^{-4}$$

Опір нагрітої обмотки ДП, Ом:

$$R_{qn.B} = m_B \times R_{gn} = 1.22 \times 7.982 \times 10^{-4} = 9.738 \times 10^{-4}$$

$$R_{qn.F} = m_{F.H} \times R_{gn} = 1.28 \times 7.982 \times 10^{-4} = 1.102 \times 10^{-3}$$

5.4 Опір обмотки якоря з додатковими полюсами, Ом:

$$R_{я.qn.20} = R_{я.20} \times R_{gn} = 0.949 \times 10^{-3} + 7.982 \times 10^{-4} = 1748$$

$$R_{я.qn.B} = R_{я.B} \times R_{qn.B} = 1.158 \times 10^{-3} + 9.738 \times 10^{-4} = 2132$$

$$R_{я.qn.F} = R_{я.F.H} \times R_{qn.F} = 1.310 \times 10^{-3} + 1.102 \times 10^{-4} = 2412$$

### 3.6 Розрахунок струму шунтової обмотки збудження, струм якоря і е.р.с. генератора

6.1 Струм збудження (ШОЗ), А

$$I_{ш.20} = \frac{U_r}{R_{ШОЗ.сум.20}} = \frac{28}{1.28} = 21.88$$

$$I_{ш.B} = \frac{U_r}{R_{ШОЗ.сум.B}} = \frac{28}{1.561} = 17.934$$

$$I_{ш.F} = \frac{U_r}{R_{ШОЗ.сум.F}} = \frac{28}{1.766} = 15.855$$

6.2 Струм якоря  $I_{я}$  генератора (1,8 а,б[1]), А

$$I_{я.20} = I_1 + I_{ш.20} = 785.714 + 21.88 = 807.594$$

$$I_{я.B} = I_1 + I_{ш.B} = 785.714 + 17.934 = 803.649$$

$$I_{я.F} = I_1 + I_{ш.F} = 785.714 + 15.855 = 801.569$$

6.3 Е.Р.С генератора

$$E = U_H + \Delta U_H$$

$$(3.39[1])$$

$$\Delta U = I_{ян} \times R_{ян} + \Delta U_{щ}$$

Приблизно

$$\Delta U_{щ} = 2$$

(РД 16302-86)

$$n = 1200$$

Розрахунок значень Е.Р.С. Е для класу теплостійкості F дорівнює  $E=31.796$  В

### 3.7 Розрахунок характеристики намагнічування

7.1 Розрахунок потоку, Вб:

$$\Phi_{\text{я}} = \frac{60 \times a \times E}{n \times p \times N_{\text{я}}} = \frac{60 \times E}{3600 \times 114} = 0.1462 \times 10^{-3} E$$

7.2 Індукція в зазорі  $B_{\text{г}} = \frac{\Phi_{\text{я}}}{S_{\text{г}}}$ : при  $E=31.796\text{В}$ ;  $B_{\text{г}}=0.575\text{ Т}$ .

Розділив магнітне коло на частини: повітряного зазору, зубця, ярмо якоря, головний полюс, ярмо індуктора (корпусу), визначаєм потрібну М.Р.С. для проходження потоку (рис.2.1.).

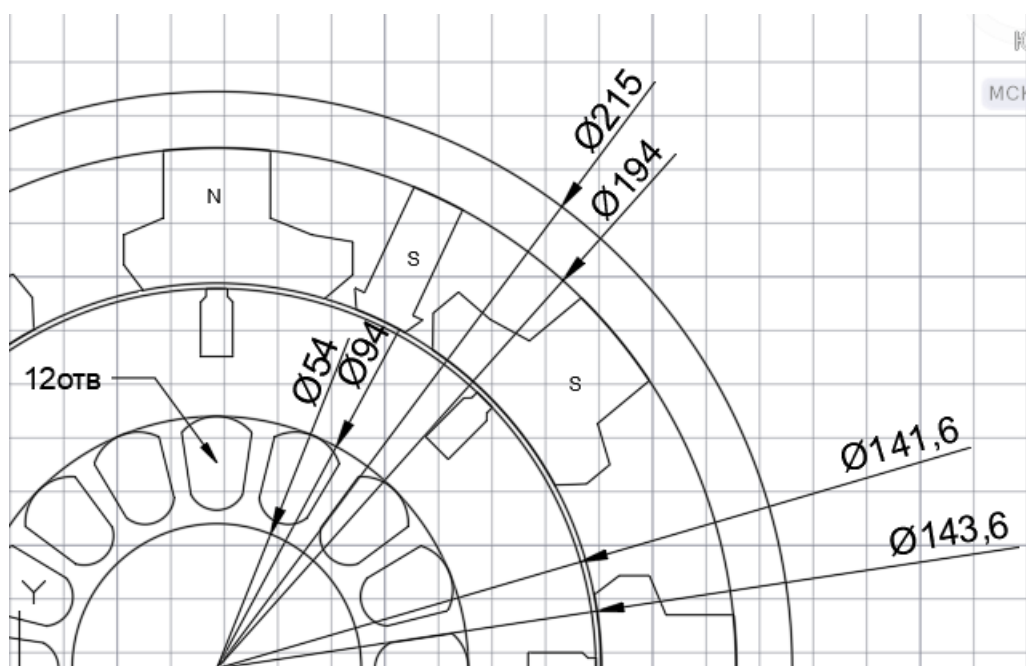


Рис. 3.4. Поперечний переріз магнітної системи стартера-генератора СГ-22

Розрахунок виконуються для 6 значень Е.Р.С:

0,5 Е; 0,8 Е; Е; 1,1 Е; а також 1,22 Е [1]. Результат розрахунків зведений в таб.2.2.

Таблиця 3.2. Характеристики намагнічування

№	Величини	Розрахунок ова форма	значення приймає Загально	0,5 Ен	0,8 Ен	Ен	1,1 Ен	1,15 Ен	1,22 Ен
1	Е.р.с	Е	В	15,92 35	25,4776	31,847	35,0317	36,6240 5	38,8533 4
2	Магнітний потік	Φ <sub>я</sub>	В <sub>г</sub>	0,002 328	0,00372 5	0,00465 6	0,00512 2	0,00535 4	0,00568
3	Індукція в повітряном у зазорі	В <sub>г</sub>	Т	0,287 5	0,46	0,575	0,6325	0,66125	0,7015

№	Величини	Розрахунок ова форма	Загально приймає значення	0,5 Ен	0,8 Ен	Ен	1,1 Ен	1,15 Ен	1,22 Ен
4	М.р.с повітряном у зазорі	$F_{\delta}$	А	230	368	460	506	529	561,2
5	Індукція в зубці	$B_{z1}$	Т	0,672 75	1,0764	1,3455	1,48005	1,54732 5	1,64151
6	Індукція в зубці	$B_{z2}$	Т	0,828	1,3248	1,656	1,8216	1,9044	2,02032
7	Індукція в зубці	$B_{z3}$	Т	1,086 75	1,7388	2,1735	2,39085	2,49952 5	2,65167
8	Напруженн я поля в зубці	$H_{z1}$	А/см	4,71	7,536	9,42	10,362	10,833	11,4924
9	Напруженн я поля в зубці	$H_{z2}$	А/см	36	57,6	72	79,2	82,8	87,84
10	Напруженн я поля в зубці	$H_{z3}$	А/см	275	440	550	605	632,5	671
11	Середнє напруження в полі зубця	$H_{zg}$	А/см	70,62	112,992	141,24	155,364	162,426	172,312 8
12	М.р.с. зубця	$F_z$	А	90,39	144,624	180,78	198,858	207,897	220,551 6
12'	М.р.с. зубця	$F_{\delta}$ + $F_z$	А	320,4	512,64	640,8	704,88	736,92	781,776
13	Індукція в спинці якоря	$B_{я}$	Т	0,645	1,032	1,29	1,419	1,4835	1,5738
14	Напруженн я в спинці якоря	$H_{я}$	А/см	3,74	5,984	7,48	8,228	8,602	9,1256
15	М.р.с. спинки якоря	$F_{я}$	А/см	10,24 5	16,392	20,49	22,539	23,5635	24,9978
16	Магнітний потік в ГП	$F_r$	$B_{\delta}$	0,002 91	0,00465 6	0,00582	0,00640 2	0,00669 3	0,0071
17	Індукція в ГП	$B_r$	Т	0,673 5	1,0776	1,347	1,4817	1,54905	1,64334
18	Напруженн я	$H_r$	А/см	9	14,4	18	19,8	20,7	21,96

№	Величини	Розрахунок ова форма	Загально прийняте значення	0,5 Ен	0,8 Ен	Ен	1,1 Ен	1,15 Ен	1,22 Ен
19	М.р.с. повітряного зазору	$F_r$	A	23,85	38,16	47,7	52,47	54,855	58,194
20	М.р.с. стика	$F_{ст}$		16,16 5	25,864	32,33	35,563	37,1795	39,4426
21	Індукція в станині	$B_c$	T	0,544 15	0,87064	1,0883	1,19713	1,25154 5	1,32772 6
22	Напруженн я поля в станині	$H_c$	A/см	4,9	7,84	9,8	10,78	11,27	11,956
23	М.р.с. в станині	$F_c$	A	28,8	46,08	57,6	63,36	66,24	70,272
24	Сумарні м.р.с.	$\sum F$	A	264,6 5	423,44	529,3	582,23	608,695	645,746
25	М.р.с. кола	$\sum F$ - $F_\delta$ - $F_z$	A	79,06	126,496	158,12	173,932	181,838	192,906 4

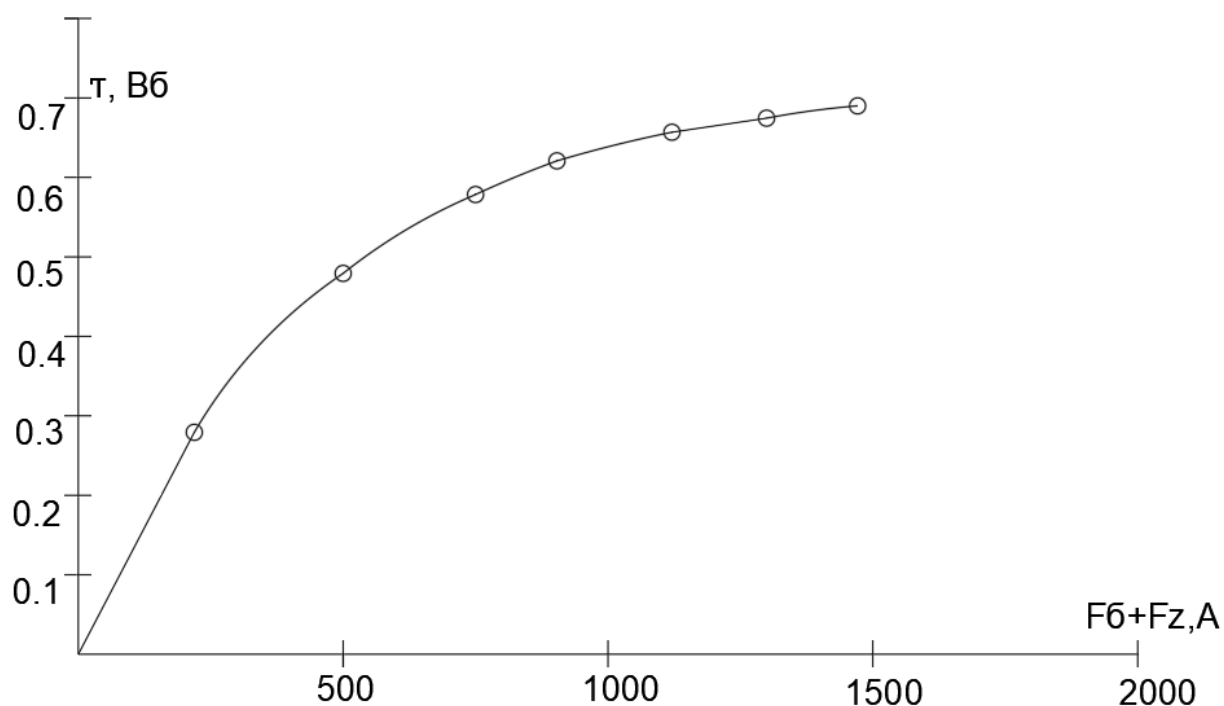


Рис. 3.5. Характеристика намагнічування генератора

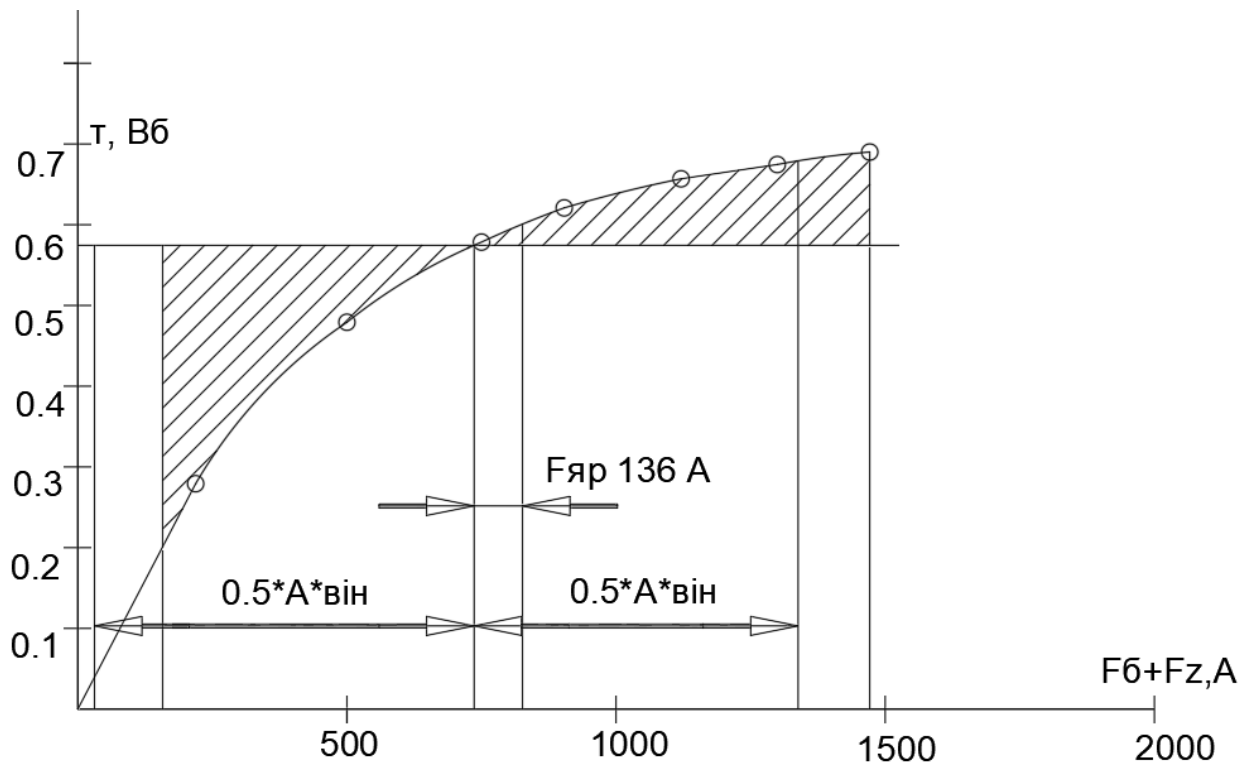


Рис. 3.6. Перехідна характеристика генератора  
 7.3 Розрахункові ампер-витки обмоток збудження  
 7.3.1 Струм збудження ШОЗ, А:

$$I_{ш.F} = \frac{U_r}{R_{ШОЗ.сум.F}} = \frac{28}{1.766} = 15.855$$

$$i_b = \frac{I_{ш.F}}{3} = \frac{15.855}{3} = 5.285$$

7.3.2 Ампер-витки північного полюса, А:

$$F_N = i_b \times W_N = 5.285 \times 200 = 1057$$

7.3.3 Ампер-витки південного полюса, А:

$$F_S = i_b \times W_S = 5.285 \times 155 = 819.18$$

7.3.4 Ампер-витки додаткового полюса (ДП), А:

$$F_{ДП} = I_1 \times W_{ДП} = 785.714 \times 2 = 1571$$

7.3.5 Густина струму в ШОЗ(північний), А/мм<sup>2</sup> :

$$j_{ШОЗ.N} = \frac{i_b}{q_{ШОЗ.N}} = \frac{5.285}{0.679} = 7.78$$

7.3.5 Густина струму в ШОЗ(південний), А/мм<sup>2</sup> :

$$j_{ШОЗ.S} = \frac{i_b}{q_{ШОЗ.S}} = \frac{5.285}{0.679} = 5.769$$

$$q_{ДП} = 65.1$$

7.3.5 Густина струму в обмотці ДП, мм<sup>2</sup>

$$j_{ДП} = \frac{I_1}{q_{ДП}} = \frac{785.714}{65.1} = 9.777$$

7.3.8 Густина струму на поверхні щіток, А:

$$j_{щ.F} = \frac{I_1}{2a} = \frac{785.714}{2 \times 3} = 130.952$$

$$j_{\text{III},1} = \frac{j_{\text{III},F}}{3} = \frac{130.952}{3} = 43.651$$

$$j_{\text{III}} = \frac{j_{\text{III},1}}{S_{\text{III}}} = \frac{35.714}{2.309} = 18.901$$

7.4 Розрахунок коефіцієнту для розрахунку магнітного кола

$$K_{\delta} = \frac{t_1 + 10 \times \delta}{t_1 - b_{\text{III}} + 10 \times \delta} = \frac{7.8 + 10 \times 0.0899}{7.8 - 1.8 + 10 \times 0.0899} = 1.261$$

$$b_{\text{III}} = 1.8$$

$$\delta = 0.09$$

$$A_{\delta} = 0.8 \times \delta \times K_{\delta} = 0.8 \times 0.09 \times 1.261 = 0.091$$

$$F_{\delta} = A_{\delta} \cdot B_{\delta} \cdot 10^4 = 0.091 \cdot B_{\delta} \cdot 10^4$$

$$K_{\text{CT}} = 0.93$$

$$(\Delta=0.35)$$

$$(\Delta=0.5)$$

$$K_{z,1} = \frac{t_1}{b_{z,1} \times K_{\text{CT}}} = \frac{7.8}{3.7 \times 0.9} = 2.342$$

$$K_{z,2} = \frac{t_1}{b_{z,2} \times K_{\text{CT}}} = \frac{7.8}{3 \times 0.9} = 2.889$$

$$K_{z,3} = \frac{t_1}{b_{z,3} \times K_{\text{CT}}} = \frac{7.8}{2.293 \times 0.9} = 3.779$$

$$C_{z,1} = \frac{t_1}{b_{z,1} \times K_{\text{CT}}} = \frac{7.8}{3.7 \times 0.9} = 2.342$$

$$C_{z,2} = \frac{t_2}{b_{z,2} \times K_{\text{CT}}} = \frac{7.099}{3 \times 0.9} = 2.629$$

$$C_{z,3} = \frac{t_3}{b_{z,3} \times K_{\text{CT}}} = \frac{6.393}{2.293 \times 0.9} = 3.097$$

7.5 Розрахунок М.Р.С від поперечної реакції якоря, А/см:

Де

$$A = \frac{N \times I_1}{2 \times a \pi \times D_a} = \frac{114 \times 785.714}{2 \times 3 \times \pi \times 14.16} = 335.587$$

$$F_q = 0.5 \times A \times b_{i,\text{гн}} = 0.5 \times 335.587 \times 4.448 = 746.429$$

Контрольний розрахунок 1.25Е;

$$H_{Z,\text{cp}} = \frac{H_{Z,1} + 4H_{Z,2} + H_{Z,3}}{6} = \frac{82 + 4 \times 450 + 2050}{6} = 655.333$$

$$F_Z = H_{Z,\text{cp}} \times h_Z = 655.333 \times 1.28 \text{ A}$$

$$F_{\delta} + F_Z = 575 + 838.827 = 1414 \text{ A}$$

### 3.8 Розрахунок комутації і М.Р.С. обмотки додаткових полюсів при їх половинній кількості [1,2,4].

8.1 Ширина зони комутації, см:

$$b_{зк} = b'_{щ} \times \frac{D_{я}}{D_r} + (U_n - \frac{a}{p} + \varepsilon) \tau'_k$$

Де

$$b'_{щ} = \frac{b_{щ} \times 10}{\sin(\alpha)} = \frac{0.8 \times 10}{\sin(60)} = 9.242 \text{ см}$$

$$U_n = 1$$

$$a = p = 3$$

$$\tau'_k = \tau_k \times \frac{D_{я}}{D_r} = \frac{\pi \times D_k}{k} \times \frac{D_{я}}{D_r} = 0.78 \text{ см}$$

$$D_r = D_k = 11.1 \text{ см}$$

$$y_k = y = y_1 - y_2 = -1$$

$$y_1 = \frac{K}{2p} - \varepsilon = \frac{57}{6} - \varepsilon = 9$$

$$y_2 = y - y_1 = 8$$

$$\varepsilon = 0.5$$

$$b_{зк} = b'_{щ} \times \frac{D_{я}}{D_r} + (U_n - \frac{a}{p} + \varepsilon) \tau'_k = 9.242 \times \frac{14.16}{11.1} + (1 - \frac{3}{3} + 0.5) \times 0.78 = 12.18 \text{ см}$$

8.2 Поліосний крок, см:

$$\tau = \frac{\pi \times D_a}{2p} = \frac{\pi \times 14.16}{2 \times 3} = 7.414$$

8.3 Розрахункова ширина полюсної дуги ГП, см:

$$b_{im} = a_i \cdot \tau = 4.448$$

8.4 Ширина полюсної дуги ГП, см:

$$b_{ГП} = b_{im} - 2 \times \delta = 4.448 - 2 \times 0.09 = 4.268$$

8.5 Між полюсна відстань, см:

$$\tau - b_{ГП} = 7.414 - 4.269 = 3.146$$

8.6 Відносна ширина зони комутації

$$\frac{b_{зк}}{\tau - b_{ГП}} = \frac{1.218}{7.414 - 4.268} = 0.387$$

Можливо прийняти  $\frac{b_{зк}}{\tau - b_{ГП}} = 0.5$  що допустимо за [1]:

$$b_{зк} = (\frac{0.65}{0.85})(\tau - b_{ГП})$$

8.7 Реактивна Е.Р.С.

$$I_{я.сум} = 56.4 \text{ см:}$$

$$V_{я} = 26.7 \text{ см:}$$

$$I_{я.сум} = 56.4 \text{ W}_{ср} = 1 V_{я} = 26.7 \text{ М/с}$$

$$I_1 = 18.2 \text{ А} = 457.619 \text{ U}_{я} = 26.7 \text{ де } h_n = 1.28 \text{ } b_n = 0.41$$

$$I_{лоб.я} = I_{я.сум} - 2 \times I_a = 20$$

$$\xi = \left(0.6 \cdot \frac{h_n}{b_n} + \frac{l_{\text{лоб.я}}}{l_i}\right) \cdot 10^{-4} + \frac{0.25 \cdot 10^2}{\frac{p}{a} \cdot W_{\text{ся}} \cdot l_i \cdot A \cdot U_{\text{я}}} = \left(0.6 \times \frac{1.28}{0.41} + \frac{20}{18.2}\right) \times 10^{-4} + \frac{0.25 \times 10^2}{\frac{3}{3} \times 18.2 \times 335.59 \times 26.7} = 4.505 \times 10^{-4}$$

$$e_p = 2W_{\text{ся}} \cdot l_i \cdot A \cdot V_{\text{я}} \cdot \xi \cdot 10^{-2}$$

для машин середньої потужності

$$\xi = \left(\frac{5}{6}\right) \times 10^{-4} = 8.333 \times 10^{-5}$$

Тоді реактивна Е.Р.С., В:

$$e_p = 2W_{\text{ся}} \cdot l_i \cdot A \cdot V_{\text{я}} \cdot \xi \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 18.2 \cdot 335.59 \cdot 26.7 \cdot 4.505 \times 10^{-4} \cdot 10^{-2} = 1.469$$

8.8 Розрахунок Е.Р.С., від поперечного поля реакції якоря при половині числа додаткових полюсів (4.11.б[1])

$$e_{\text{яп}} = 2W_{\text{ся}} \cdot l_i \cdot B_{\text{яп}} \cdot V_{\text{я}} \cdot 10^{-2}$$

де  $B_{\text{яп}}$ -магнітна індукція у повітряному зазорі зони комутації, в результаті дії поперечної реакції якоря

$$B_{\text{яп}} = 1.25 \times 10^{-4} \times \frac{A}{1 - a_i} = 1.25 \times 10^{-4} \times \frac{335.59}{1 - 0.6} = 0.105$$

$$e_{\text{яп}} = W_{\text{ся}} \cdot l_i \cdot B_{\text{яп}} \cdot V_{\text{я}} \cdot 10^{-2} = 1.82 \times 10.48 \times 2.67 \times 10^{-2} = 0.51$$

8.9 Сума Е.Р.С., В:

$$e_p + e_{\text{яп}} = 1.979$$

8.10 Середня індукція у повітряному зазорі під додатковим полюсом при половині числа додаткових полюсів (4.10.а[1]), Т:

$$B_d = \frac{e_p + e_{\text{яп}}}{W_{\text{ся}} \cdot l_i \cdot B_{\text{яп}} \cdot V_{\text{я}} \cdot 10^{-2}} = \frac{1.469 + 0.51}{1.85 \times 2.67} = 0.401$$

або (4.20.в[1])

$$B_d = \frac{e_p}{W_{\text{ся}} \cdot l_i \cdot B_{\text{яп}} \cdot V_{\text{я}} \cdot 10^{-2}} + B_{\text{яп}} = \frac{1.469}{1.85 \times 2.67} + 0.105 = 0.402$$

8.11 Магнітний потік в повітряному зазорі під додатковим полюсом,

$$\frac{\delta}{0.135} = 0.667$$

Приблизно  $\delta_d = 0.11$  см

$$b_{i,\text{gn}} = b_{\text{gn}} + \left(\frac{2}{3}\right) \times \delta_d$$

$$b_{i,\text{gn}} = b_{\text{gn}} + 2\delta_d = 1.702$$

$$B_d = B_d \times b_{i,\text{gn}} \times l_{i,\text{gn}} \times 10^{-3} = 0.402 \times 1.702 \times 1.8 \times 10^{-3} = 1.227 \times 10^{-3}$$

8.12 Магнітний потік в сердечнику додаткового полюсу

в  $\delta_d = (1,4:3)$  Приблизно

$$\delta_d = 1.6$$

$$\Phi_{\text{П.д}} = \sigma_{\text{д}} \times 1.08 \times 10^{-3} = 1.6 \times 1.08 \times 10^{-3} = 1.728 \times 10^{-3}$$

8.13 Переріз додаткового полюса,  $\text{см}^2$ :

$$S_{\text{д}} = b_{\text{д}} \times l_{\text{д}} = 1.1 \times 18.5 = 20.35$$

8.14 Визначення М.Р.С. обмотки додаткового полюса

$$F_{\text{д}} = F_{\text{цд}} + F_{\text{яр}}$$

де  $F_{\text{цд}}$  - падіння магнітної напруги в колі додаткового полюса

$F_{\text{яр}}$  - М.Р.С. витрачається на подолання М.Р.С. реакції якоря

8.15 визначення  $F_{\text{цд}}$

8.15.1 Розрахунок М.Р.С. повітряного зазору під додатковим полюсом

$$F_{\text{бд}} = 0.8 \cdot \delta_{\text{д}} \cdot K_{\text{бд}} \cdot B_{\text{д}} \cdot 10^{-4}$$

де  $K_{\text{бд}}$  - коефіцієнт повітряного зазору під додатковим полюсом

$$K_{\text{бд}} = \frac{t_1 + 10 \times b_{\text{д}}}{t_1 - b_{\text{ш}} + 10 \times b_{\text{д}}} = \frac{7.8 + 10 \times 1.1}{7.8 - 1.8 + 10 \times 1.1} = 1.106$$

$$t_1 = \frac{\pi \times B_{\text{я}}}{Z} = \frac{\pi \times 14.16}{57} = 0.78$$

$$\text{тоді } F_{\text{бд}} = 0.8 \cdot \delta_{\text{д}} \cdot K_{\text{бд}} \cdot B_{\text{д}} \cdot 10^4 = 0.8 \cdot 0.11 \cdot 1.105 \cdot 0.4006 \cdot 10^4 = 389.892$$

8.15.2 М.Р.С. зубця під додатковим полюсом, Т:

$$H_{\text{zg1}} = 7 \quad H_{\text{zg2}} = 9.4 \quad H_{\text{zg3}} = 17.2$$

$$B_{\text{zg1}} = H_{\text{z.1}} \times B_{\text{д}} = 2.342 \times 0.4006 = 0.938$$

$$B_{\text{zg2}} = H_{\text{z.2}} \times B_{\text{д}} = 2.889 \times 0.4006 = 1.157$$

$$B_{\text{zg3}} = H_{\text{z.3}} \times B_{\text{д}} = 3.779 \times 0.4006 = 1.514$$

$$H_{\text{zg.ср}} = \frac{H_{\text{zg1}} + 4H_{\text{zg2}} + H_{\text{zg3}}}{6} = \frac{7 + 4 \times 9.4 + 17.2}{6} = 10.3$$

$$F_{\text{zg}} = H_{\text{zg.ср}} \times I_{\text{z}} = 10.3 \times 1.28 = 13.184$$

8.15.3 М.Р.С. сердечник додаткового полюса

$$H_{\text{нд}} = 7.7 \text{ А/см (лита сталь)}$$

$$L_{\text{д}} = h_{\text{r}} + \delta - \delta_{\text{д}} = 2.65 + 0.09 - 0.11 = 2.63$$

$$F_{\text{нд}} = H_{\text{нд}} \times L_{\text{д}} = 7.7 \times 2.63 = 20.251$$

$$B_{\text{пд}} = \frac{\Phi_{\text{П.д}} \times 10^4}{b_{\text{g}} \times l_{\text{g}}} = \frac{1.728 \times 10^{-3} \times 10^4}{1.1 \times 18} = 0.873$$

8.16 М.Д.С. повітряного зазору між станиною і додатковим полюсом, А:

$$F_{\text{ст.г}} = 20 \times B_{\text{пд}} = 20 \times 0.873 = 17.455$$

8.17 Розрахунок М.Р.С. кола головного полюса при загальній дії магнітного потоку головного полюса і додаткового полюса

8.17.1 М.Р.С. зубця під головним полюсом (Б.2(4.46[1])) і індукції в повітряному зазорі під головним полюсом від потоку додаткового полюсу (+0.5 $\Phi_{\text{г}}$ ), Т:

$$B_{\text{д}} = \frac{\Phi_{\text{д}} \times 10^4}{2 \times b_{\text{i.гн}} \times l_{\text{r}}} = \frac{1.227 \times 10^{-3} \times 10^4}{2 \times 4.448 \times 18} = 0.077$$

Індукція в повітряному зазорі під головним полюсом від спільної дії ГП и ДП

$$B'_{\delta} = B_{\delta} + B_{\text{д}} = 0.575 + 0.077 = 0.652$$

Індукція в зубцях, Т:

$$B_{z.1} = K_{z.1} \times B'_\delta = 2.342 \times 0.652 = 1.526 \quad H_{z.1} = 32.4$$

$$B_{z.2} = K_{z.2} \times B'_\delta = 2.889 \times 0.652 = 1.883 \quad C_{z.2} = 2.629 \quad H_{z.2} = 50$$

$$B_{z.3} = K_{z.3} \times B'_\delta = 3.779 \times 0.652 = 2.463 \quad C_{z.3} = 3.097 \quad H_{z.3} = 1200$$

$$H_{z.ср} = \frac{H_{z.1} + 4H_{z.2} + H_{z.3}}{6} = \frac{32.4 + 4 \times 50 + 1200}{6} = 238.733$$

М.Р.С. зубця, А:

$$F_{zr} = H_{z.ср} \times L_z = 238.733 \times 1.28 = 305.579$$

8.15.2 М.Р.С. в повітряний зазор під ГП від суми потоків, А:

$$F_{\delta r} = 0.8 \cdot K_{бд} \cdot \delta \cdot B'_\delta \cdot 10^4 = 0.8 \cdot 1.12 \cdot 0.09 \cdot 0.652 \cdot 10^4 = 525.484$$

8.17.3 М.Р.С. сердечника головного полюсу від двох потоків, Т:

$$B'_r = B_r + \frac{\sigma_d \times \Phi_d \times 10^4}{2 \times b_r \times l_r} = 1.347 + \frac{1.6 \times 1.227 \times 10^{-3} \times 10^4}{2 \times 2.4 \times 18} = 1.574$$

$H_r = 33$  А/см (лита сталь)

$$F'_r = L_r \times H_r = 2.65 \times 33 = 87.45$$

8.17.4 М.Р.С. спинки якоря від суми двох потоків

$$B'_я = B_я + \frac{\Phi_d \times 10^3}{2 \times h_r \times l_i \times K_c} = 1.29 + \frac{1.227 \times 10^{-3} \times 10^3}{2 \times 1.1 \times 1.82 \times 0.9} = 1.631$$

8.17.5 М.Р.С. станини від сум двох потоків

$$F'_c = L_c \times H'_c = 105.818$$

8.17.6 М.Р.С. повітряний зазор (стика) між станиною і головним полюсом від двох потоків, А:

$$F'_{ст.т} = 20 \times B'_r = 20 \times 1.574 = 31.486$$

8.18 Повне падіння М.Р.С. в колі додаткового полюсу на один полюс (4.60[1])

$$\begin{aligned} F_{ц.г} &= F_{бд} + F_{zg} + F_{ng} + F_{zr} + F_r + F'_я + F'_c + F'_{ст.г} + F'_{ст.т} = \\ &= 389.89 + 13.184 + 305.579 + 87.45 + 52.6 + 105.808 + 525.48 \\ &+ 31.48 = 1545 \end{aligned}$$

8.19 М.Р.С. обмотки додаткових полюсів, А:

$$F_g = F_{ц.г} + 0.5\tau \times A - F_b = 1545 + 0.5 \times 0.74 \times 335.58 - 798.92 = 870.413$$

8.20 М.Р.С. сформована обмоткою додаткового полюса, А:

$$F_{gn} = I_{я.ф} \times W_{gn} = 870.413 \times 2 = 1603$$

8.21 В зв'язку з великою різницею розрахункових значень м.р.с. обмотки ДП, можливо необхідно збільшити зазор між станиною і ДП, що рекомендується робити за допомогою немагнітних прокладок.

$$\delta_{д} = (1.0/1.5) \delta = 0.09/0.135$$

Варіант 2. якщо прийняти

$$F_{\delta r2} = 0.8 \times K_{бд} \times \delta_d \times B_\delta \times 10^4 = 0.8 \times 1.106 \times 0.135 \times 0.353 \times 10^4 = 421.607$$

8.22 Перевірка насичення магнітному колі додаткового полюсу, Т.: Умови насичення[1].

$$B_{пр} < 1.3/1.4 \text{ Т} \quad B_{нд} = 0.873$$

$$B'_r < 1.4/1.5 \text{ Т} \quad B'_r = 1.574$$

$$B'_я < 1.6/1.7 \text{ Т} \quad B'_я = 1.631$$

### 3.9 Розрахунок втрат і К.К.Д.

9.1 Електричні втрати в міді обмотки якоря, Вт:

$$\Delta P_{м.я} = I_{я.F}^2 \times R_{я.F.H} = 801.56^2 \times 1.31 \times 10^{-3} = 841.887$$

9.2 Електричні втрати в паралельній (шунтовій) обмотці збудження, Вт:

$$\Delta P_{м.ш} = \frac{U_H^2}{R_{шОЗ.сум.F}} = \frac{28^2}{1.766} = 443.943$$

9.3 Електричні втрати в перехідному контакті щіток на колекторі, Вт:

$$\Delta P_{кщ} = \Delta U_H \times R_{я.F} = 2 \times 801.56 = 1603$$

9.4 Електричні втрати в обмотці додаткових полюсів, Вт:

$$\Delta P_{мд} = I_{я.F}^2 \times R_{qn.F} = 801.56^2 \times 1.102 \times 10^{-3} = 707.767$$

9.5 Магнітні втрати в сталі (5.9[1]), Вт:

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{ст.я} + \Delta P_{ст.z}$$

9.5.1 Втрати від гістерезису і вихрових струмів в спинці якоря, Вт:

$$\Delta P_{ст.я} = K_{яc} \cdot B_{я}^2 \cdot M_{ст.я}$$

$$n = 3600 / 6200$$

$$f = \frac{p \times n}{60} = \frac{3 \times 3600}{60} = 180$$

$$K_{яc} = \frac{f^2 + 200 \times f}{1700} = \frac{180^2 + 200 \times 180}{1700} = 40.235$$

$$M_{ст.я} = 7.8 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_z^2 - d_{я}^2) \cdot l \cdot K_{ст} \cdot 10^2$$

$$D_z = D_{я} - 2 \times h_{п} = 14.16 - 2 \times 1.28 = 11.6$$

$$M_{ст.я} = 7.8 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_z^2 - d_{я}^2) \cdot l \cdot K_{ст} \cdot 10^2 = 7.8 \times \frac{\pi}{4} \times (11.6^2 - 9.4^2) \times 1.82 \times 0.93 \times 10^2 = 4.79$$

$$\Delta P_{ст.я} = K_{яc} \cdot B_{я}^2 \cdot M_{ст.я} = 40.235 \times 1.29^2 \times 4.79 = 320.751$$

9.5.2 Втрати від гістерезису і вихрових струмів в зубцях якоря, Вт:

$$\Delta P_{ст.z} = K_z \cdot B_z^2 \cdot M_{ст.z}$$

$$K_z = \frac{f^2 + 100 \times f}{1300} = \frac{180^2 + 100 \times 180}{1300} = 38.769$$

Відкритий паз (таб.5.1[1]), см:

$$M_{ст.z} = 7.8 \cdot z \cdot b_{z.2} \cdot h_{п} \cdot l \cdot K_{ст} \cdot 10^2 = 7.8 \times 57 \times 3 \times 1.28 \times 18.2 \times 0.93 \times 10^{-4} = 2.89$$

$$\Delta P_{ст.z} = K_z \cdot B_z^2 \cdot M_{ст.z} = 38.769 \times 1.652^2 \times 2.89 = 305.747$$

9.5.3 Сума втрат в сталі, Вт:

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{ст.я} + \Delta P_{ст.z} = 320.751 + 305.747 = 626.498$$

9.5.4 Друга формула для визначення магнітних втрат в сталі (5.14.[1])

$$\Delta P'_{ст} = K_3 \cdot \rho_0 \left( \frac{f}{50} \right) \cdot (B_{я}^2 \cdot M_{z.2} + B_{z.2}^2 \cdot M_{ст.z})$$

При  $K_3$  - коефіцієнт враховуючий збільшення втрат в сталі за рахунок дефектів при механічній обробці і за рахунок нерівномірного розподілу магнітної індукції

Приклад розрахунку  $K_3 = 2.5$  (стр.217[1])

9.5.5 Питомі втрати  $\rho_0$  по таблиці 2.2 для сталей 24.11товщиною  $\Delta=0.5$  мм

Таблиця 3.3

	$B_y$	$B_z$		$\gamma$		$\gamma$
24.11	1,29	1,66	24.11	0,61	24.11	0,49
$\Delta = 0,5$			$\Delta = 0,5$		$\Delta = 0,35$	
$f = 50$ Гц						
$\rho_0$	5,8	9,45				

Сталь 24.11,  $\Delta=0.5$ 

Мінімальні втрати, Вт:

$$\rho'_0 = 5.8 \times 0.61 = 3.538$$

Максимальні втрати, Вт:

$$\rho''_0 = 9.45 \times 0.61 = 5.764$$

$$f_{50} = \frac{f}{50} = 3.6$$

$$\Delta P_{\text{ст.0.5.min}} = K_3 \cdot \rho'_0 \cdot f_{50}^{1.3} \cdot (B_y^2 \cdot M_{\text{ст.я}} + B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}}) =$$

$$= 2.5 \cdot 3.54 \cdot 3.6^{1.3} \cdot (1.29^2 \cdot 4.79 \cdot 1.65^2 \cdot 2.88) = 741.558$$

$$\Delta P_{\text{ст.0.5.max}} = K_3 \cdot \rho''_0 \cdot f_{50}^{1.3} \cdot (B_y^2 \cdot M_{\text{ст.я}} + B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}}) =$$

$$= 2.5 \cdot 5.76 \cdot 3.6^{1.3} \cdot (1.29^2 \cdot 4.79 \cdot 1.65^2 \cdot 2.88) = 1208$$

$$\Delta P_{\text{ст.0.35.min}} = K_3 \cdot \rho'_0 \cdot f_{50}^{1.3} \cdot (B_y^2 \cdot M_{\text{ст.я}} + B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}}) =$$

$$= 2.5 \cdot 2.842 \cdot 3.6^{1.3} \cdot (1.29^2 \cdot 4.79 \cdot 1.65^2 \cdot 2.88) = 595.678$$

$$\Delta P_{\text{ст.0.35.max}} = K_3 \cdot \rho''_0 \cdot f_{50}^{1.3} \cdot (B_y^2 \cdot M_{\text{ст.я}} + B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}}) =$$

$$= 2.5 \cdot 4.63 \cdot 3.6^{1.3} \cdot (1.29^2 \cdot 4.79 \cdot 1.65^2 \cdot 2.88) = 970.544$$

## 9.6 Механічні втрати, Вт:

Втрати при терті щіток об колектор

$$K_T = 0.15 \quad n_{\text{щ}} = 36$$

при

$$V_k = \frac{\pi \times D_k \times n_{\text{щ}}}{60} = \frac{\pi \times 11.1 \times 36}{60} = 20.923$$

$$S_{\text{щ1}} = b'_{\text{щ}} \times l_{\text{щ}} = 0.924 \times 2.5 = 2.309$$

Сила натиску на одну щітку, кг:  $F_{\text{щ}} = 1.8$ 

$$\rho_{\text{щ}} = \frac{9.81 \times F_{\text{щ}}}{S_{\text{щ1}} \times 10^{-4}} = \frac{9.81 \times 1.8}{2.309 \times 10^{-4}} = 7.646 \times 10^4$$

Питомий тиск, Па

$$\Delta P_{\text{тр.щ}} = K_T \cdot \rho_{\text{щ}} \cdot V_k \cdot S_{\text{щ.сум}} \cdot 10^{-4} = 0.15 \cdot 7.646 \cdot 10^4 \cdot 20.923 \cdot 42.571 \cdot 10^{-4} =$$

$$= 956.538$$

## 9.7 Механічні втрати на тертя в підшипниках і вентеляційних, Вт:

$$\Delta P_{\text{тр.в}} = 140$$

## 9.8 Додаткові втрати [1], Вт:

$$\Delta P_{\text{дод}} = 0.01 \times P_{\text{н}} = 220$$

9.9 Сума втрат в генераторі

9.9.1 Електричні втрати в генераторі, Вт:

$$\Delta P_{\text{м}} = \Delta P_{\text{м.я}} + \Delta P_{\text{мщ}} + \Delta P_{\text{м.ш}} + \Delta P_{\text{мд}} = 841.88 + 1216.13 + 443.94 + 707.76 = 3202$$

9.9.2 Механічні і додаткові втрати, Вт:

$$\Delta P_{\text{мех}} = \Delta P_{\text{тр.ш}} + \Delta P_{\text{тр.в}} + \Delta P_{\text{дод}} = 956.538 + 100 + 220 = 1298$$

9.9.3 Втрати в сталі, Вт:

$$\Delta P_{\text{ст}} = 626.498$$

9.9.4 Сума втрат в генераторі, Вт:

$$\Delta P_{\text{сум}} = \Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{мех}} = 3202 + 626.48 + 1216 = 5045$$

9.9.5 Втрати потужності, Вт:

$$P_1 = P_{\text{н}} + P_{\text{сум}} = 22000 + 5045 = 27045$$

9.9.6 Розрахунок корисної дії

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{ст}}} = \frac{22000}{27480} = 0.798$$

### 3.10 Висновок по розділу 3

При модернізації синхронного стартер-генератора СГ-22-1К питання виникають тільки під час проектування ротору так як в роторі було проведено найбільше змін. При впровадженні всіх змін потужність вдалось збільшити на 27% без зміни габаритних характеристик СГ прототипу що є дуже позитивним результатом.

## 4 РОЗДІЛ

### РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

В останні роки таке явище в бізнесі, як стартап, стало не просто популярним, а, мабуть, і модним. Стартап — це тимчасова структура, яка потребує інвестицій для реалізації своєї бізнес-ідеї в готовий унікальний продукт, а також подальшого масштабування, виходу на ринок та трансформації у повноцінний бізнес. Важливо розуміти, що не кожен новий бізнес можна іменувати стартапом. Класичний Startup – це щось нове, унікальне і ексклюзивне; те, що до вас ніхто ще не придумав і не реалізував. У стартапу не дуже міцне положення на ринку і не завжди вистачає капіталу на його запуск, що є слабкою стороною. В Європі подібні проекти створюються і втілюються в життя студентами. Часом такі фірми іменуються «гаражними». В даний час зацікавленість бізнесменів та інвесторів у створенні стартапів продовжує зростати – незважаючи на те, що перспективи компаній-новаторів складно назвати райдужними. Адже не більше 10% всіх проектів отримують гідний розвиток.

До головних етапів розробки стартап-проекту відносять:

- Маркетинговий аналіз, у цьому етапі розробляється ідея стартапу та визначається загальний напрям потенційного товару або послуги, їх відмінність в порівнянні з конкурентом. Аналізуються ринок та можливість реалізації товару на ринку, на базі чого робиться початкова стратегія впровадження товару на ринок;
- Організація стартап-проекту, в межах даного етапу складається графік, який визначає терміни реалізації ступенів проекту. Проводиться розрахунок потреб основних засобів та нематеріальних активів. Визначається обсяг виробництва, на основі якого формується потреба уматеріальних та персональних ресурсах;
- До фінансово-економічного етапу відносять розрахунки початкового бюджету та планові витрати. Розраховуються фінансові показники проекту (обсяг виробництва, собівартість виробництва, ціна реалізації товару, податки та чистий прибуток) та показники привабливості проекту для

інвесторів. Одним із важливих етапів у цій стадії є визначення потенційного ризику проекту, під час якого визначаються основні ризики, фактори їх виникнення та шляхи протидії;

- Останнім етапом є пошук потенційних інвесторів та початок роботи з просування інвестиційних пропозицій. Цей етап починається з аналізу визначення цільової групи інвесторів, складання презентації для стислого ознайомлення з потенційним стартап-проектом. Пошук комунікаційних каналів та площадок для просування стартапу.

#### 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Ідеєю стартапу було обрано: модернізація сартер-генератора постійного струму, для застосування його в автономних транспортних засобах для підвищення їхньої ефективності. При використанні сучасних методів виготовлення обмотки, при зміні колеторного вузла а саме зменшення кількості щіток і встановлення в вільні місця змащувальних щіток на основі дисульфїту також встановлення радіаторів в вільні місця, а також в системі охолодження аксіальні вентиляційні канали розміщені на зовнішній поверхні якоря, встановлено два вентилятора один нагнітальної дії, а інший висмоктувальної дії.

Напрямами стартапу є: автономні транспортні засоби вузького застосування.

До потенційних вигод, у разі реалізації проекту, слід віднести: економічні переваги, економія на матеріалах, модернізування та підвищення ефективності

Таблиця 4. 1 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проекту

	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні концепції конкурентів			Слабка сторона	Нейтральна сторона	Сильна сторона
		Проект	Конкурент 1	Конкурент 2			
1	Потужність	22кВт	18кВт	21кВт	+		
2	Можливість використання в інших галузях	Так	Так	Так		+	

3	Можливість застосування технологій модернізації в інших видах двигунів	Так	Ні	Ні	+		
---	--	-----	----	----	---	--	--

## 4.2 Технологічний аудит стартап-проекту

Таблиця 4. 2 Технологічна реалізація проекту

	Ідея проекту	Технологія реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1		Аналіз Розрахунок Впровадження	Стартер-генератори автономних транспортних засобів	Важкодоступна

## 4.3 Аналіз ринку та можливість старту проекту

Таблиця 4. 3 Характеристика ринку

	Показник стану ринку (найменування)	Характеристики
1	Кількість конкурентів, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	-
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільний
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Стартовий капітал
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	12%

Таблиця 4. 4 Характеристика потенційних клієнтів стартапу

	Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Технологічно застарілі технології стартер-генераорів автономних	Вузько направленні спеціалізовані технічні	Залежність від державного фінансування	Енергоефективність Економічність Надійність

транспортних засобів	підприємства		
----------------------	--------------	--	--

Таблиця 4. 5 Фактори загрози

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Конкуренція	1)Сучасні підприємства, які мають більше фінансування. 2)Виникнення більш кращого продукту, за рахунок розвитку технології.	1) Патентування; 2) збільшення інвесторних груп (які будуть дозволяти створювати конкуренцію за рахунок наймання більш кращих спеціалістів); 3) створення дослідницького відділу, який буде спрямований на поліпшення продукту.

Таблиця 4. 6 Порівняння сильних та слабких сторін

Фактор конкурентоспроможності	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з розробленим						
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Ціна					+		
Якість							+
Впізнаваність	+						

Таблиця 4. 7 SWOT-аналіз

Сильні сторони: Плавний запуск та регулювання потужності двигуна в широких діапазонах. Нижча вага та компактні розміри у порівнянні з конкурентами.	Слабкі сторони: Мала впізнаваність бренду Низький рівень інвестицій.
Можливості: Застосування технологій модернізації в інших видах стартер-генераторів.	Загрози: Збільшення конкуренції у даній сфері.

#### 4.4 Аналіз ринку та можливість старту проекту

Таблиця 4. 8 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є першопрохідником на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	На початковому етапі слід сформулювати список можливих кандидатів з числа студентів та працівників інших підприємств. У подальшому створити систему, яка дозволить забирати найкращих працівників	В режимі технологічної конкуренції між компаніями по виготовленню автономних транспортних засобів якщо це не є корпоративною таємницею, по можливості вкласти договір.	Агресивна конкуренція, максимально швидкий розвиток технологій.

Таблиця 4. 9 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Збільшення енергопостачання автономних транспортних засобів	Висока енергоефективність та низька вартість обслуговування.	Висока стабільність роботи, низькі витрати на обслуговування та ремонт, бартерна основа, онлайн підтримка.

Таблиця 4. 10 Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товарианалоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Ціни власного продукту становить 95% від середньої ринкової вартості	115%	Від 3 млн грн	50000 - 63000 грн

Таблиця 4. 11 Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Державні закупівлі за оптовими цінами	Продаж та обслуговування	Держані канали	Власна

#### 4.5 Висновки до розділу 4

Проведені дослідження щодо реалізації показали високі перспективи модернізованих стартер-генераторів. Аналіз ринку показує необхідність удосконалення автономних транспортних засобів. Через це даний стартап проект є привабливим для вітчизняних та іноземних інвесторів.

Даний стартап-проект є перспективним та комерційно успішним враховуючи потреби в сучасних та більш ефективних автономних транспортних засобах. Але є перешкоди на шляху реалізації і до них слід віднести занадто мале фінансування в даній галузі значну конкуренцію на ринку електроприладів іноземного походження, також відомість торгової марки не є сильною стороною компанії. Слід зазначити що для кожного стартап-проекту перші декілька років є важкими, через конкуренцію яка хоч і не є монополістичною, але у багатьох галузях є великі компанії-монополії, які намагаються винищити/придбати молоді компанії-конкуренти. Саме через це на початковому етапі важливо мати інвесторів які будуть зацікавлені в виготовленні більш ефективних автономних транспортних засобів, які зможуть фінансувати стартап до моменту формування обороту компанії.

## ВИСНОВКИ

При модернізації стартер-генератора СГ-22-1К питання виникають тільки під час проектування ротору, адже статор виконується, як у СГ-18-1К. Ключовим поняттям у випадку ротора є оптимізація його геометрії. Для оптимізації машини потрібно було вибрати тільки ті частини ротора які не будуть значно впливати на його геометрію повинна бути оптимізовано з врахуванням механічних розрахунків. Потрібно було також враховувати втрати в електричній машині і К.К.Д. Однак у даному випадку слід також враховувати і зміни в щіткових групах, тому зміни які були враховані дають можливість не набагато збільшити силу струму на одну щітку, і що не дасть появи електричних іскор під щітками.

У додатках надана зведена таблиця втрати в двох типах розрахунку СГ-18-1К і СГ-22-1К також знесено загальне креслення СГ-18-1К і СГ-22-1К. Так як в розрахунку з новими даними СГ-22-1К не було змінено загальних розмірів то креслення можна залишити як і в СГ-18-1К. Зміняться лише креслення обмотки які були наведені в 3 розділі. З новими параметрами обмотки ротора вдалось досягти трохи більшого К.К.Д. і не змінювати параметри ротору але збільшити потужність генератора. При збільшені потужності в 22 кВт збільшиться і сила струму але втрати не будуть за сильно перевищувати номінальні втрати в СГ. Втрати в обмотці якоря виростуть на 191 Вт. Електричні втрати в обмотці додаткового полюса виростуть на 270 Вт. Електричні втрати в шунтовій обмотці залишаться без змін. Електричні втрати в щітковому колекторі виростуть на 220 Вт. Додаткові втрати також виростуть на 220 Вт. Втрати в сталі також не зміняться. К.К.Д., при 3600 об/хв становитиме 80% що вище ніж при номінальних даних. Тому через специфіки даних стартер-генераторів дані характеристичні зміни можна вважати вдалимими.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1) Морозов А. Г. Розрахунок електричних машин постійного струму. Підручник посібник для електротехнічних спеціальностей. 224 ст.
- 2) Вольдек О. І. Електричні машини. Підруч. для студ. тех. навч. закладів. Вид. 2-е, перероб. и доп. -Л. :Енергія, 1974-840с.
- 3) Постніков І.М. Проектування електричних машин. - Київ: Гостехиздат. УССР, 1960-905с.
- 4) Копилов І.П. та ін. Проектування електричних машин: Навч. посібник для вузів/Під ред. І.П. Копилова. -М.: Енергія, 1980-496с.
- 5) ABB. Synchronous reluctance motor-drive package for industrial use [Електронний ресурс] / ABB. – 2015. – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.baldor.com/mvc/DownloadCenter/Files/3AUA0000132610>.
- 6) Hofer M. Comparative analysis of salient pole and flux barrier rotor for synchronous reluctance machines including flux weakening range [Електронний ресурс] / Matthias Hofer. – 2018. – Режим доступу до ресурсу:  
[https://www.researchgate.net/publication/332783157\\_Comparative\\_analysis\\_of\\_salient\\_pole\\_and\\_flux\\_barrier\\_rotor\\_for\\_synchronous\\_reluctance\\_machines\\_including\\_flux\\_weakening\\_range/fulltext/5cc993ff4585156cd7be5074/Comparative-analysis-of-salient-pole-and-flux-barrier-rotor-for-synchronous-reluctance-machines-including-flux-weakening-range.pdf](https://www.researchgate.net/publication/332783157_Comparative_analysis_of_salient_pole_and_flux_barrier_rotor_for_synchronous_reluctance_machines_including_flux_weakening_range/fulltext/5cc993ff4585156cd7be5074/Comparative-analysis-of-salient-pole-and-flux-barrier-rotor-for-synchronous-reluctance-machines-including-flux-weakening-range.pdf).
- 7) Kumar D. Review of Synchronous Reluctance Motors [Електронний ресурс] / Devesh Kumar. – 2016. – Режим доступу до ресурсу:  
[https://www.researchgate.net/publication/301341254\\_Review\\_on\\_Synchronous\\_reluctance\\_motors](https://www.researchgate.net/publication/301341254_Review_on_Synchronous_reluctance_motors).
- 8) Levkin D. Synchronous reluctance motor [Електронний ресурс] / Dmitry Levkin. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://en.engineering-solutions.ru/motorcontrol/syrm/>.

9) Lavrinovicha L. Metamodels for Optimum Design of Outer-Rotor Synchronous Reluctance Motor [Електронний ресурс] / L. Lavrinovicha, R. Dobriyan, O. Onzevs. – 2014. – Режим доступу до ресурсу:

[https://www.researchgate.net/publication/275994864\\_Metamodels\\_for\\_Optimum\\_Design\\_of\\_Outer-Rotor\\_Synchronous\\_Reluctance\\_Motor](https://www.researchgate.net/publication/275994864_Metamodels_for_Optimum_Design_of_Outer-Rotor_Synchronous_Reluctance_Motor).

10) Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики" <http://jour.fea.kpi.ua>

11) Бази даних та інформаційно-довідкові системи

<https://ukrpatent.org/uk/articles/bases2>

## ДОДАТОК А

Розрахунок розміру и параметрів на основі вихідних і справочних даних

Розрахунок виконується по методі [1] з використанням означень, прийнятих в цьому джерелі.

$$I_1 = \frac{P_H}{U_H} = \frac{1.8 \times 10^4}{28} = 642.857$$

3.1 Струм генератора, А:

$$I_{ш} = 2.5$$

3.2 Струм генератора при паралельному збудженні (1.8.б [1])

$$I_я = I_1 + I_{ш}$$

Де  $I_{ш}$  - струм в паралельній (шунтовій) обмотці, який буде визначений після розрахунку

опору ШОЗ(шунтової обмотки збудження)

3.3 Розрахунок збудження (немагнітний) зазор між індуктором и якорем, см:

$$\delta = \frac{D_p - D_a}{2} = \frac{14.34 - 14.16}{2} = 0.09$$

де  $D_p$ -діаметр розточки індуктора  $D_a$ -діаметр якор.

3.4 Розмір полюсного розділу, см:

$$\tau = \frac{\pi \times D_a}{2p} = \frac{\pi \times 14.16}{2 \times 3} = 7.414$$

3.5 Ширина полюсної дуги  $b_{гн}$  при рівномірному повітряному зазорі

$$b_{гн} = b_{iгн} - 2\delta$$

3.6 Розрахунковий коефіцієнт полюсної дуги (1.3, Рис. 1.22 [1]).

$$\alpha_i = \frac{b_{ш}}{\tau}$$

По рис 1.22 [1]) для, см:

$$D_я = 14.16$$

$$\alpha_i = 0.6$$

$$b_{iгн} = \alpha_i \times \tau = 0.6 \times 7.414 = 4.448$$

3.7 Розрахунок значення ширини полюсної дуги, мм:

$$b_{гн} = b_{iгн} - 2\delta = 4.448 - 2 \times 0.09 = 4.268$$

(по кресленню СГ-18-1К)

$$b_{гн} = 43.8 - 4 - 1 = 38.8$$

3.8 Площа головного полюса, см<sup>2</sup>:

$$S_\delta = \alpha_i \times \tau \times I_a = 0.6 \times 7.414 \times 18.2 = 80.963$$

3.9 Розмір щіток

3.9.1 Кут нахилу щіткотримача до поверхні колектору ( $\alpha=60^\circ$ )

3.9.2 Площа поверхні дотику щітки (одної з колектором), см<sup>2</sup>:

$$S_{щ} = b'_{щ} \times I_{щ} = 0.924 \times 2.5 = 2.309$$

3.9.3. Площа дотику всіх щіток (дванадцять (3x6) щіток), см<sup>2</sup>:

$$S_{щ.сум} = 18 \times S_{щ} = 18 \times 2.309 = 41.571$$

3.10 Розмір секції обмотки якоря (СГ-18-1К)

Загальна довжина показана нижче на малюнку з розмірами заготовки

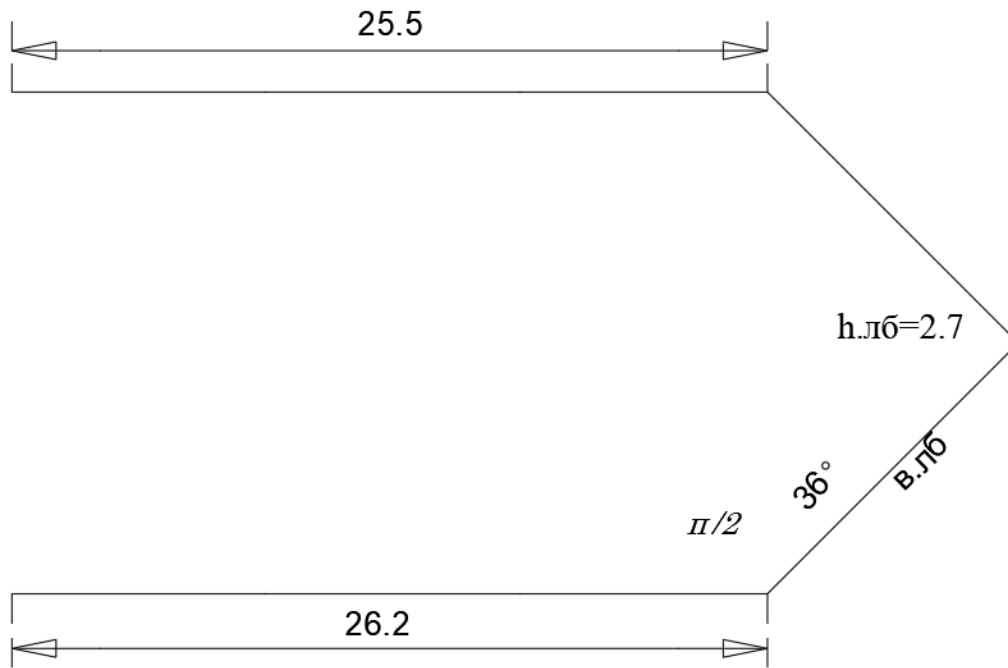


Рис. 2.1. до розрахунку розміру секцій

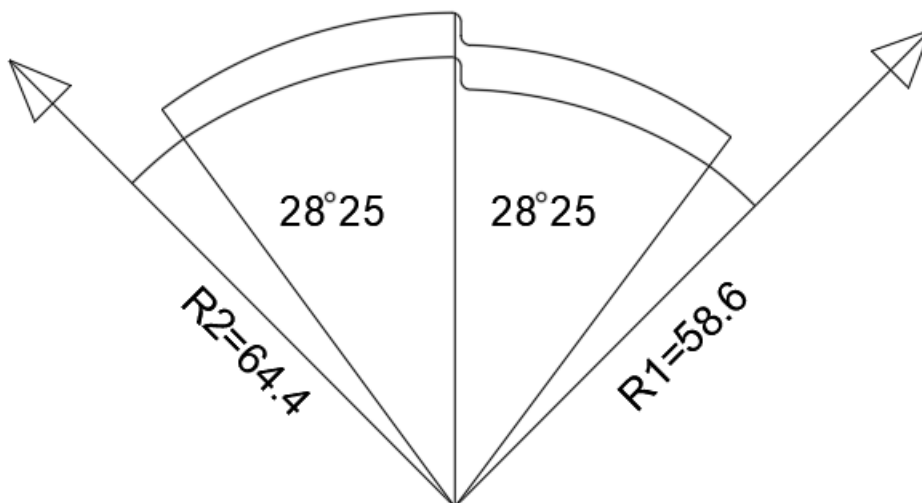


Рис. 2.2. Вид з лобової частини

$$I'_c = 56.4$$

3.11 Довжина половини секції, см:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I'_c}{2} = \frac{56.4}{2} = 28.2$$

3.12 Перевірка довжини лобових частин, см:

$$I_{\text{лб}} = I'_c - 2 \times I_a = 56.4 - 2 \times 18.2 = 20$$

Тоді половина довжини лобових частин рівняється 10

А довжини частин у колекторі, см:

$$I_{\text{лбк}} = 20 - 6.1 = 13.9$$

$$\frac{I_{\text{лбк}}}{2} = 6.95$$

3.13 Перевірка загальної довжини секції, см:

$$\frac{I_{\text{лбк}}}{2} = 0.993 \times 7 = 6.951$$

$$I''_c = 2 \left( I_a + \frac{I_{\text{лбк}}}{2} + \frac{I_{\text{лб}}}{2} \right)$$

$$I''_c = 2 \left( I_a + \frac{I_{\text{лбк}}}{2} + \frac{I_{\text{лб}}}{2} \right) = 2 \left( 18.2 + \frac{13.9}{2} + \frac{20}{2} \right) = 70.3$$

Що більше чим  $I'_c = 56.4$  см

$$I'''_c = 2I_a + 2I_{\text{лб}}$$

$$I'''_c = 2I_a + 2I_{\text{лб}} = 2 \times 18.2 + 2 \times 20 = 76.4$$

Сума довжини лобових частин, см:

$$I_{\text{сумлб}} = 2I_{\text{лбк}} + 2I_{\text{лб}} = 19.8$$

$$b_{\text{пр}} = 2.8$$

Що близько до 3.12(!)

$$h_{\text{пр}} = 4.75$$

3.14 Переріз мідного провідника обмотки якоря, мм<sup>2</sup>:

$$q_{\text{я}} = b_{\text{пр}} \times h_{\text{пр}} = 13.3$$

$$I_{\text{ср.я}} = 28.2$$

3.15 Повна довжина провідника обмотки якоря, см:

$$L_{\text{мя}} = N_{\text{я}} \times I_{\text{ср.я}} = 3214.8 \sim 3.215 \times 10^3$$

3.16 Розмір обмотки додаткового полюса, мм<sup>2</sup>:

3.16.1 Переріз мідної обмотки додаткового полюса (провід ПММ 7X9.3мм)

$$q_{\text{gn}} = 7 \cdot 9.3 = 65.1$$

3.16.2 Довжина обмотки додаткового полюса(ДП), мм:

$$\Delta_n = 2$$

$$l_{\text{b.gn.1}} = 2(b'_g + l_g) + \pi \times b'_g$$

Де  $b'_g$ -ширина сердечника додаткового полюса з урахуванням зазору на ізоляції

$$b'_g = b_g + \Delta_n = 13$$

$l_g$ -довжина сердечника додаткового полюсу

$$l_g = 180$$

Тоді

$$l_{\text{b.gn.1}} = 2(13 + 180) + \pi \times 13 = 426.841$$

3.16.3 Довжина котушки (2 витка) обмотки ДП, см:

$$l_{\text{kgn}} = 2 \times l_{\text{b.gn.1}} = 2 \times 426.841 = 853.682$$

3.16.4 Довжина обмотки (трох котушок) ДП, см:

$$l_{\text{gn}} = 3 \times l_{\text{kgn}} = 3 \times 853.682 = 2561.046$$

$$D_c = 19.2$$

3.16.5 Довжина з'єднувача між ДП (двома), см:

$$l_{\text{сгн}} = \frac{\pi \times D_c}{3} = \frac{\pi \times 19.2}{3} = 20.106 \sim 20$$

Де  $D_c$ -діаметр розміщений з'єднувач (креслення)

3.16.6 загальна довжина з'єднувача (двох), см:

$$I_{\text{сум.с}} = 2 \times l_{\text{сгн}} = 40$$

3.16.7 Загальна довжина обмоток ДП з урахуванням з'єднувача

$$l_{\text{сум.гн}} = l_{\text{гн}} + l_{\text{сум.с}} = 256.104 + 40 = 296.104$$

3.17 Розмір шунтової обмотки збудження (ШОЗ-південний)

3.17.1 Переріз провідника ШОЗ(південний), мм<sup>2</sup>:

$$q_{\text{шоз.S}} = \frac{\pi \times 1.08^2}{4} = 0.916$$

3.17.2 Середня довжина витка (ШОЗ, південний), мм:

$$l_{\text{ср.шоз.S}} = 2 \times 184 + 25.25 + 2(26.27 + 12.75) = 471.89 \sim 47.2$$

3.18 Розмір ШОЗ (північний)

3.18.1 Переріз провідника ШОЗ (північний), мм<sup>2</sup>:

$$q_{\text{шоз.N}} = \frac{\pi \times 0.93^2}{4} = 0.679$$

3.18.2 Середня довжина витка (ШОЗ, північний)

$$l_{\text{ср.шоз.N}} = l_{\text{ср.шоз.S}} = 47.2$$

Розрахунок розміру магнітного кола генератора

4.1 Зубчаста зона якоря

4.1.1 зубцеве ділення (крок) по зовнішній поверхності якоря, мм:

$$D_{\text{я}} = D_{\text{а}} \times 10 = 141.6$$

$$t_1 = \frac{\pi \times D_{\text{я}}}{Z} = \frac{\pi \times 141.6}{57} = 0.78$$

$$t_1 = 7.8$$

4.1.2 Крок в розрахунковому переріз-посередині зуба, мм:

$$t_2 = \frac{\pi(D_{\text{я}} - h_{\text{н}} \times 10)}{Z} = \frac{\pi(141.6 - 1.28 \times 10)}{57} = 7.099$$

$$\text{Де } h_{\text{н}} = h'_{\text{н}} + \Delta_{\text{ш}}, (\Delta_{\text{ш}} = \frac{0.1}{0.5} \text{ мм})$$

4.1.3 Зубцевий крок по кругу основи зубців, мм:

$$t_3 = \frac{\pi(D_{\text{я}} - 2h_{\text{н}} \times 10)}{Z} = \frac{\pi(141.6 - 2 \times 1.28 \times 10)}{57} = 6.393$$

4.1.4 Ширина зуба на зовнішній поверхні якоря, мм:

$$b_{\text{z.1}} = t_1 - b_{\text{н}} \times 10 = 7.8 - 0.41 \times 10 = 3.7$$

4.1.5 Ширина зуба середині (розрахунковому) перерізі, см:

$$b_{\text{z.2}} = t_2 - b_{\text{н}} \times 10 = 7.099 - 0.41 \times 10 = 2.999 \sim 3$$

4.1.6 Ширина зуба по кругу основи зубців

$$b_{\text{z.3}} = t_3 - b_{\text{н}} \times 10 = 6.393 - 0.43 \times 10 = 2.293$$

4.1.7 Довжина магнітної силової лінії зуба якоря, мм:

$$h_{\text{z}} = h_{\text{н}} = 1.28$$

$$L_{\text{z}} = h_{\text{z}} = 1.28$$

4.2 Ярма якоря

4.2.1 Висота спинки якоря, см:

$$h_{\text{я}} = \frac{D_{\text{я}} - (2h_{\text{н}} + d_{\text{я}})}{2} = \frac{141.6 - (2 \times 1.28 + 9.4)}{2} = 1.1$$

Де

$$d_{\text{я}} = 9.4$$

(по кресленню СГ-18-1К)

4.2.2 Переріз спинки якоря, см<sup>2</sup>:

$$S_{я} = 1.1 \times 18.2 = 20.02$$

4.2.3 Довжина магнітної силової лінії спинки якоря, см:

$$L_{я} = \frac{\pi(d_{я} + h_{я})}{4p} = \frac{\pi(9.4 + 1.1)}{4 \times 3} = 2.749$$

4.3 Головного полюса

4.3.1 Переріз сердечника головного полюса, см<sup>2</sup>:

$$l_r = l_g \times 10^{-1} = 18$$

$$S_r = b_r \times l_r = 2.4 \times 18 = 43.2$$

4.3.2 Довжина магнітної силової лінії по головному полюсу, мм:

$$h_{rn} = 0.5$$

$$L_r = h_r + h_{rn} = 2.65$$

Де  $h_r$ ,  $h_{rn}$ -висота полюса і полюсного наконечника

4.3.3 Переріз станини (корпусу), см<sup>2</sup>:

$$l_{ст} = 26.7$$

$$D_{ства} = 19.4$$

$$h_{ст} = \frac{D_{стн} - D_{ства}}{2} = \frac{21.5 - 19.4}{2} = 1.05$$

$$S_{ст} = h_{ст} \times l_{ст} = 1.05 \times 19.4 = 28.035$$

4.3.4 Довжина магнітної силової лінії, см:

$$L_c = \frac{\pi(D_{стн} - h_{ст})}{4p} + \frac{h_{ст}}{2} = \frac{\pi(21.5 - 1.05)}{4 \times 3} + \frac{1.05}{2} = 5.879$$

4.4 Додаткового полюса

4.4.1 Переріз сердечника додаткового полюса, см<sup>2</sup>:

$$S_{ст} = l_{g.} \times l_{g.} = 1.1 \times 18 = 19.8$$

Довжина магнітної силової лінії в додатковому полюсі, см:

$$L_{gn} = 2 \times h_{gn} = 2.7$$

Розрахунок опору обмоток

5.1 Якоря (2.49[1]), Ом:

$$R_{я.20} = \frac{L_{мя}}{5700q_{я} \times (2a)(2a)}$$

Це опір при  $t=20^{\circ}\text{C}$

Для різних класів ізоляції установлені допустимі перевищення температури частин

електричних машин при температурі охолодження  $40^{\circ}\text{C}$ . (ДСТУ 183-74).

Допустима температура для класу ізоляції В- $130^{\circ}\text{C}$ , для F- $155^{\circ}\text{C}$ , для Н- $180^{\circ}\text{C}$ .

Розрахункова робоча температура приймається для касу ізоляції В- $75^{\circ}\text{C}$ , для класів F, Н- $115^{\circ}\text{C}$  [1].

Опір обмотки якоря в нагрітому стані

$$R_{ян} = m \times R_{я}$$

Значення  $m=1+0.004*\theta$ , де  $\theta$ -перевищення температури обмотки на  $20^{\circ}\text{C}$ . Тоді  $m$  для

прийнятих розрахункових значень температури буде мати значення: для температури

$75^{\circ}\text{C}$ (В)  $m=1.22$ , а для температури  $115^{\circ}\text{C}$ (F,Н)- $m=1.38$ , відповідно

$$m_B = 1.22$$

$$m_{F.H} = 1.38$$

$$R_{я.B} = m_B \times R_{я.20} = 1.22 \times 1.178 \times 10^{-3} = 1.437 \times 10^{-3}$$

$$R_{я.F.H} = m_{F.H} \times R_{я.20} = 1.28 \times 1.178 \times 10^{-3} = 1.626 \times 10^{-3}$$

5.2 Опір шунтової обмотки збудження (ШОЗ)

$$I_{ср.шоз.N} = 47.2$$

5.2.1 Котушка південна ШОЗ, Ом:

$$R_{ШОЗ.20.S} = \frac{I_{ср.шоз.S} \times W_S}{5700 \times q_{шоз.S}} = \frac{47.2 \times 155}{5700 \times 10^3 \times 916.088 \times 10^{-3}} = 1.401$$

Опір нагрітої ШОЗ (південної), Ом:

$$R_{ШОЗ.20.B} = m_B \times R_{ШОЗ.20.S} = 1.22 \times 1.401 = 1.709$$

$$R_{ШОЗ.20.F} = m_{F.H} \times R_{ШОЗ.20.S} = 1.28 \times 1.401 = 1.933$$

5.2.2 Опір котушки північної (ШОЗ), Ом:

$$R_{ШОЗ.20.S} = \frac{I_{ср.шоз.N} \times W_N}{5700 \times q_{шоз.N}} = \frac{47.2 \times 200}{5700 \times 0.67} = 2.438$$

Опір нагрітої ШОЗ (південної), Ом:

$$R_{ШОЗ.N.B} = m_B \times R_{ШОЗ.20.N} = 1.22 \times 2.438 = 2.974$$

$$R_{ШОЗ.N.F} = m_{F.H} \times R_{ШОЗ.20.N} = 1.38 \times 2.438 = 3.364$$

5.2.3 Опір шунтових обмоток (північної і південної), з'єднаних послідовно в кожній з трьох паралельних гілок, як показано на рис.2.1.

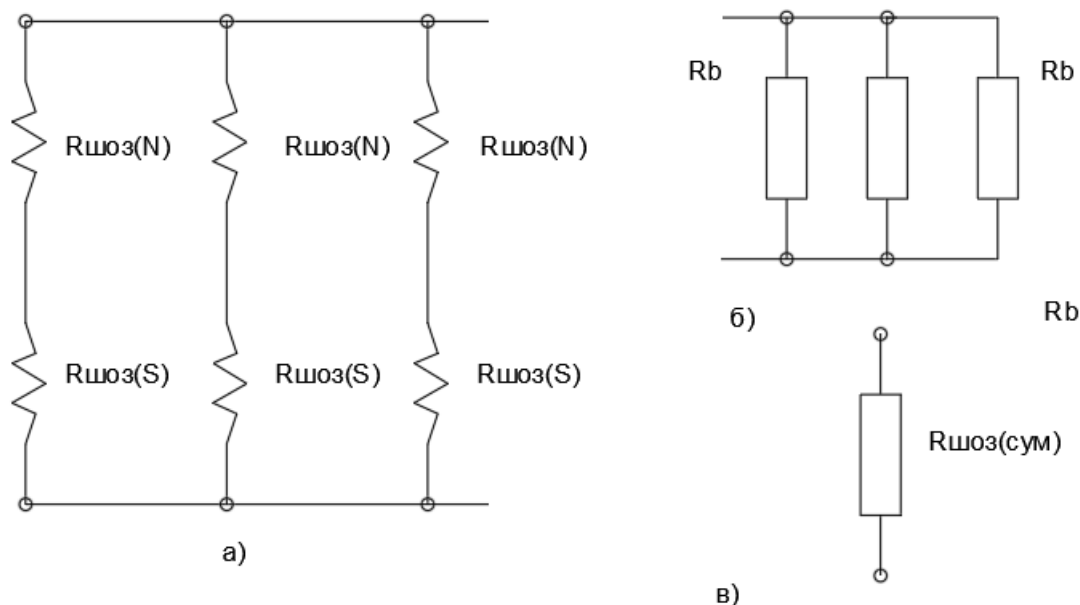


Рис.2.3. а) Електрична схема з'єднання шунтів обмоток збудження (ШОЗ), б) Перетворена схема з'єднання віток, в) сумарний опір обмоток збудження. Де  $R_b$ - опір гілки ШОЗ

$$R_b = R_{ШОЗ.20.S} + R_{ШОЗ.20.N}$$

$$\frac{1}{R_{ШОЗ.сум}} = \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_b} = \frac{3}{R_b}$$

$$R_{ШОЗ.сум} = \frac{R_b}{3}$$

$$R_{b.20} = R_{ШОЗ.20.S} + R_{ШОЗ.20.N} = 2.438 + 1.401 = 3.839$$

$$R_{b.B} = R_{ШОЗ.B.S} + R_{ШОЗ.B.N} = 2.974 + 1.709 = 4.684$$

$$R_{b.F} = R_{ШОЗ.F.S} + R_{ШОЗ.F.N} = 3.364 + 1.933 = 5.298$$

$$R_{ШОЗ.сум.20} = \frac{R_{b.20}}{3} = \frac{3.839}{3} = 1.28$$

$$R_{ШОЗ.сум.B} = \frac{R_{b.B}}{3} = \frac{4.684}{3} = 1.561$$

$$R_{ШОЗ.сум.F} = \frac{R_{b.F}}{3} = \frac{5.298}{3} = 1.766$$

Таблиця 2.1 Опорів ШОЗ при різних температурах

°C\Ом	Rшоз(N)	Rшоз(S)	Rb	Rшоз.сум
20	2,44	1,40	3,84	1,28
75(B)	2,98	1,71	4,68	1,56
115(F)	3,37	1,93	5,30	1,77

5.3 Опір обмоток додаткових полюсів, Ом:

$$R_{gn} = \frac{L_1}{5700q_{gn}} = \frac{296.2}{5700 \times 65.1} = 7.982 \times 10^{-4}$$

Опір нагрітої обмотки ДП, Ом:

$$R_{qn.B} = m_B \times R_{gn} = 1.22 \times 7.982 \times 10^{-4} = 9.738 \times 10^{-4}$$

$$R_{qn.F} = m_{F.H} \times R_{gn} = 1.28 \times 7.982 \times 10^{-4} = 1.102 \times 10^{-3}$$

5.4 Опір обмотки якоря з додатковими полюсами, Ом:

$$R_{я.qn.20} = R_{я.20} \times R_{gn} = 1.178 \times 10^{-3} + 7.982 \times 10^{-4}$$

$$R_{я.qn.B} = R_{я.B} \times R_{qn.B} = 1.437 \times 10^{-3} + 9.738 \times 10^{-4} = 2.411 \times 10^{-3}$$

$$R_{я.qn.F} = R_{я.F.H} \times R_{qn.F} = 1.626 \times 10^{-3} + 1.102 \times 10^{-4} = 2.727 \times 10^{-3}$$

Розрахунок струму шунтової обмотки збудження, струм якоря і е.р.с. генератора

6.1 Струм збудження (ШОЗ), А

$$I_{ш.20} = \frac{U_r}{R_{ШОЗ.сум.20}} = \frac{28}{1.28} = 21.88$$

$$I_{ш.B} = \frac{U_r}{R_{ШОЗ.сум.B}} = \frac{28}{1.561} = 17.934$$

$$I_{ш.F} = \frac{U_r}{R_{ШОЗ.сум.F}} = \frac{28}{1.766} = 15.855$$

6.2 Струм якоря  $I_{я}$  генератора (1,8 а,б[1]), А

$$I_{я.20} = I_1 + I_{ш.20} = 642.857 + 21.88 = 664.737$$

$$I_{я.B} = I_1 + I_{ш.B} = 642.857 + 17.934 = 660.792$$

$$I_{я.F} = I_1 + I_{ш.F} = 642.857 + 15.855 = 658.712$$

6.3 Е.Р.С генератора

$$E = U_H + \Delta U_H$$

$$(3.39[1])$$

$$\Delta U = I_{яH} \times R_{яH} + \Delta U_{Щ}$$

Приблизно

$$\Delta U_{Щ} = 2$$

(РД 16302-86)

$n = 1200$

Розрахунок значень Е.Р.С. Е для класу теплостійкості F дорівнює  $E=31.796$  В

Розрахунок характеристики намагнічування

7.1 Розрахунок потоку, Вб:

$$\Phi_{\text{я}} = \frac{60 \times a \times E}{n \times p \times N_{\text{я}}} = \frac{60 \times E}{3600 \times 114} = 0.1462 \times 10^{-3} E$$

7.2 Індукція в зазорі  $B_{\text{г}} = \frac{\Phi_{\text{я}}}{S_{\text{г}}}$ : при  $E=31.796$ В;  $B_{\text{г}}=0.575$  Т.

Розділив магнітне коло на частини: повітряного зазору, зубця, ярмо якоря, головний полюс, ярмо індуктора (корпусу), визначаєм потрібну М.Р.С. для проходження потоку (рис.2.1.).

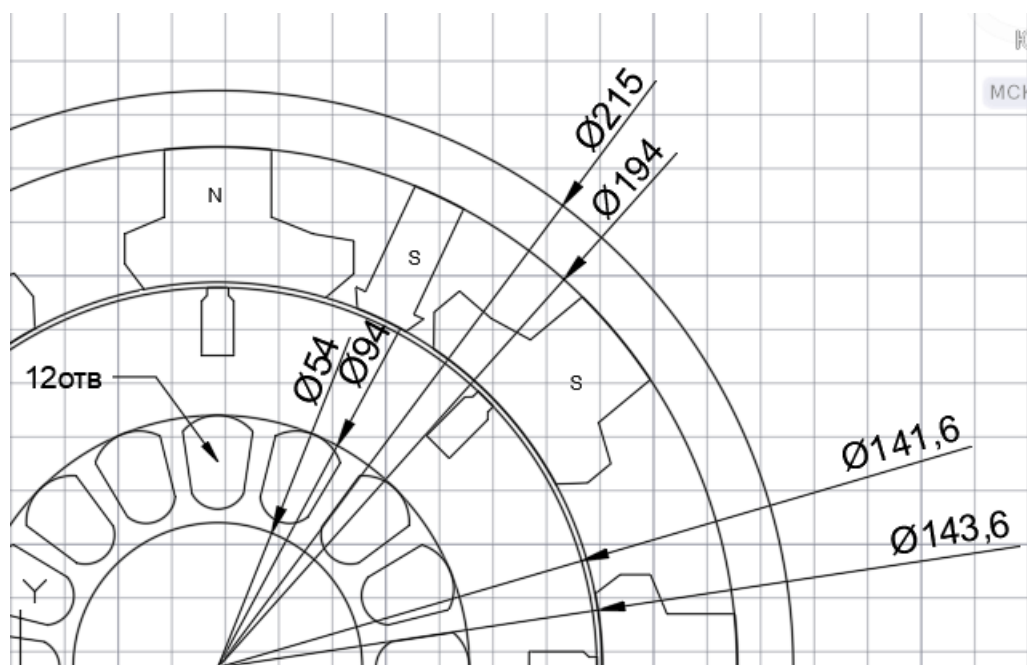


Рис. 2.4. Поперечний переріз магнітної системи стартера-генератора СГ-18-1К

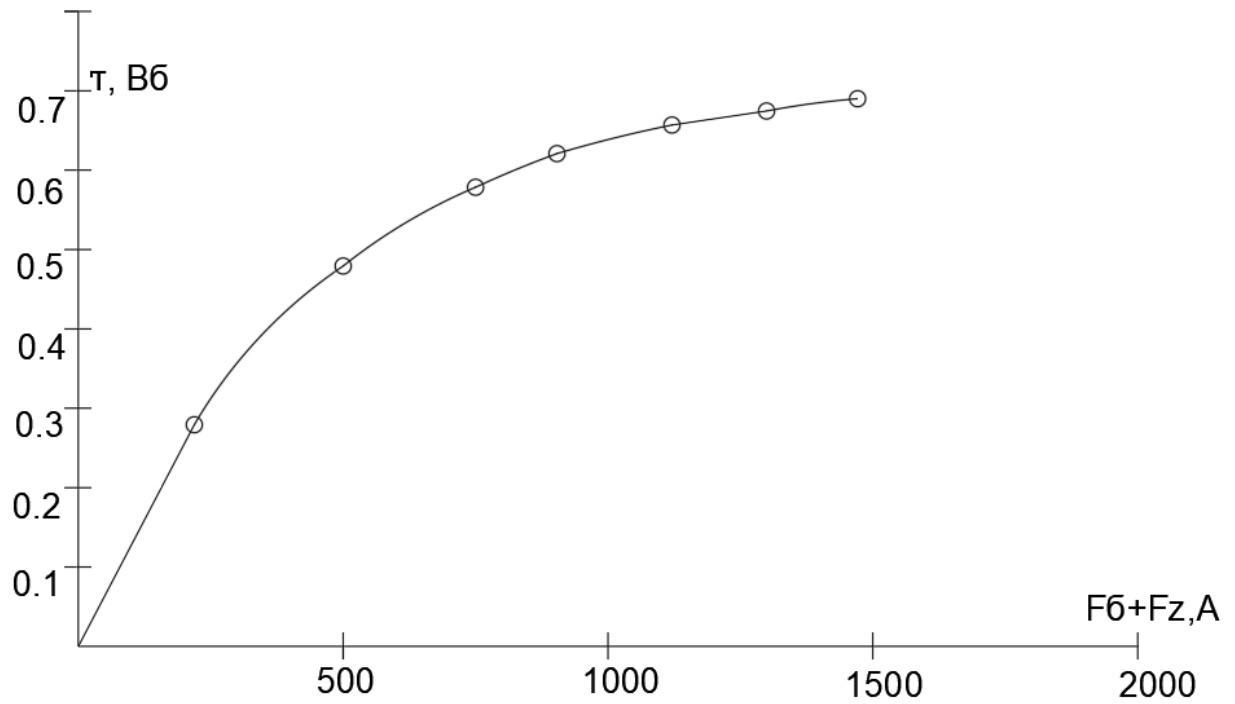


Рис. 2.5. Характеристика намагнічування генератора

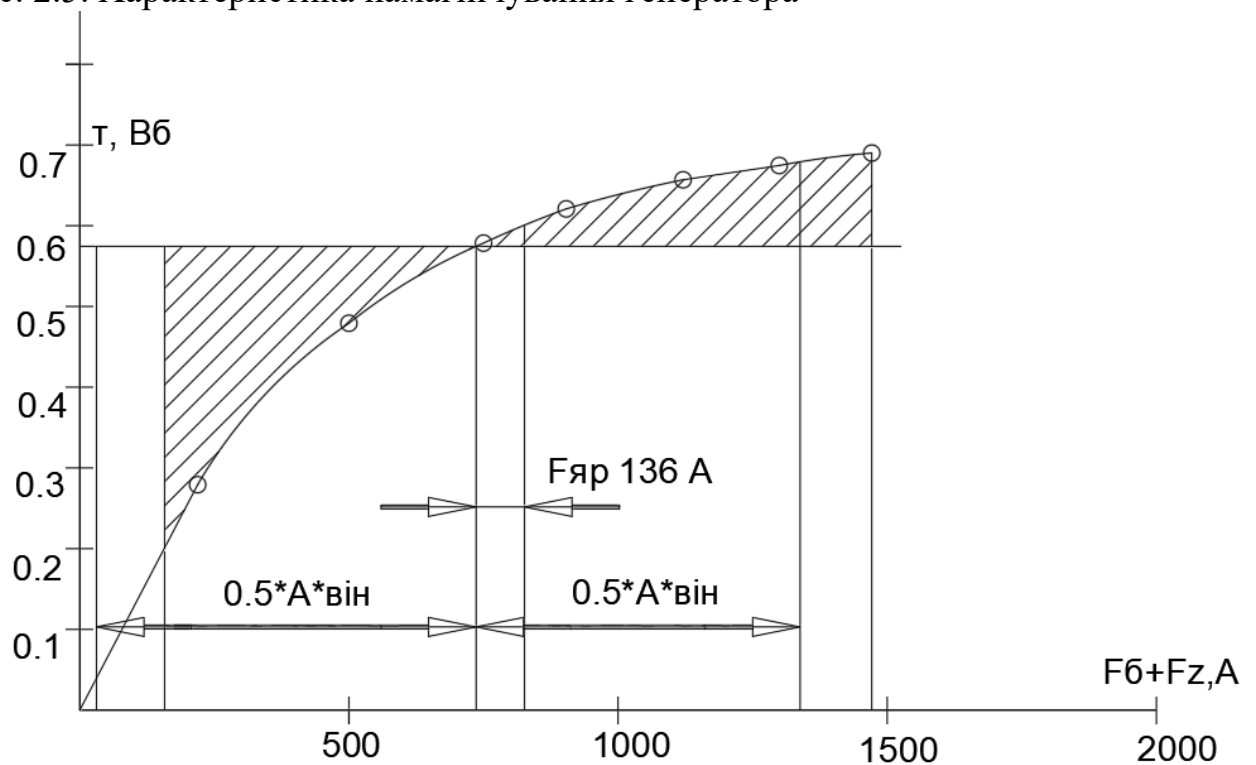


Рис. 2.6. Перехідна характеристика генератора

### 7.3 Розрахункові ампер-витки обмоток збудження

#### 7.3.1 Струм збудження ШОЗ, А:

$$I_{ш.F} = \frac{U_r}{R_{ШОЗ.сум.F}} = \frac{28}{1.766} = 15.855$$

$$i_b = \frac{I_{ш.F}}{3} = \frac{15.855}{3} = 5.285$$

#### 7.3.2 Ампер-витки північного полюса, А:

$$F_N = i_b \times W_N = 5.285 \times 200 = 1057$$

7.3.3 Ампер-витків південного полюса, А:

$$F_S = i_b \times W_S = 5.285 \times 155 = 819.18$$

7.3.4 Ампер-витки додаткового полюса (ДП), А:

$$F_{ДП} = I_1 \times W_{ДП} = 642.875 \times 2 = 1286$$

7.3.5 Густина струму в ШОЗ(північний), А/мм<sup>2</sup> :

$$j_{ШОЗ.N} = \frac{i_b}{q_{ШОЗ.N}} = \frac{5.285}{0.679} = 7.78$$

7.3.5 Густина струму в ШОЗ(південний), А/мм<sup>2</sup> :

$$j_{ШОЗ.S} = \frac{i_b}{q_{ШОЗ.S}} = \frac{5.285}{0.679} = 5.769$$

$$q_{ДП} = 65.1$$

7.3.5 Густина струму в обмотці ДП, мм<sup>2</sup>

$$j_{ДП} = \frac{I_1}{q_{ДП}} = \frac{642.857}{65.1} = 9.875$$

7.3.8 Густина струму на поверхні щіток, А:

$$j_{Щ.F} = \frac{I_1}{2a} = \frac{714.286}{2 \times 2} = 178.571$$

$$j_{Щ.1} = \frac{j_{Щ.F}}{3} = \frac{107.143}{3} = 35.714$$

$$j_{Щ} = \frac{j_{Щ.1}}{S_{Щ}} = \frac{35.714}{2.309} = 15.464$$

7.4 Розрахунок коефіцієнту для розрахунку магнітного кола

$$K_{\delta} = \frac{t_1 + 10 \times \delta}{t_1 - b_{III} + 10 \times \delta}$$

$$b_{III} = 1.8$$

$$\delta = 0.09$$

$$A_{\delta} = 0.8 \times \delta \times K_{\delta} = 0.8 \times 0.09 \times 1.261 = 0.091$$

$$F_{\delta} = A_{\delta} \cdot B_{\delta} \cdot 10^4 = 0.091 \cdot B_{\delta} \cdot 10^4$$

$$K_{СТ} = 0.93$$

$$(\Delta=0.35)$$

$$(\Delta=0.5)$$

$$K_{z.1} = \frac{t_1}{b_{z.1} \times K_{СТ}} = \frac{7.8}{3.7 \times 0.9} = 2.342$$

$$K_{z.2} = \frac{t_1}{b_{z.2} \times K_{СТ}} = \frac{7.8}{3 \times 0.9} = 2.889$$

$$K_{z.3} = \frac{t_1}{b_{z.3} \times K_{СТ}} = \frac{7.8}{2.293 \times 0.9} = 3.779$$

$$C_{z.1} = \frac{t_1}{b_{z.1} \times K_{СТ}} = \frac{7.8}{3.7 \times 0.9} = 2.342$$

$$C_{z.2} = \frac{t_2}{b_{z.2} \times K_{СТ}} = \frac{7.099}{3 \times 0.9} = 2.629$$

$$C_{z.3} = \frac{t_3}{b_{z.3} \times K_{CT}} = \frac{6.393}{2.293 \times 0.9} = 3.097$$

7.5 Розрахунок М.Р.С від поперечної реакції якоря, А/см:

Де

$$A = \frac{N \times I_1}{2 \times a \pi \times D_a} = \frac{114 \times 642.857}{2 \times 3 \times \pi \times 14.16} = 274.571$$

$$F_q = 0.5 \times A \times b_{i.гн} = 0.5 \times 274.571 \times 4.448 = 610.714$$

Контрольний розрахунок 1.25Е;

$$H_{Z.ср} = \frac{H_{Z.1} + 4H_{Z.2} + H_{Z.3}}{6} = \frac{82 + 4 \times 450 + 2050}{6} = 655.333$$

$$F_Z = H_{Z.ср} \times h_Z = 655.333 \times 1.28 \text{ А}$$

$$F_\delta + F_Z = 575 + 838.827 = 1414 \text{ А}$$

Розрахунок комутації і М.Р.С. обмотки додаткових полюсів при їх половинній кількості [1,2,4].

8.1 Ширина зони комутації, см:

$$b_{зк} = b'_{щ} \times \frac{D_a}{D_r} + (U_n - \frac{a}{p} + \varepsilon) \tau'_k$$

Де

$$b'_{щ} = \frac{b_{щ} \times 10}{\sin(\alpha)} = \frac{0.8 \times 10}{\sin(60)} = 9.242 \text{ см}$$

$$U_n = 1$$

$$a = p = 3$$

$$\tau'_k = \tau_k \times \frac{D_a}{D_r} = \frac{\pi \times D_k}{k} \times \frac{D_a}{D_r} = 0.78 \text{ см}$$

$$D_r = D_k = 11.1 \text{ см}$$

$$y_k = y = y_1 - y_2 = -1$$

$$y_1 = \frac{K}{2p} - \varepsilon = \frac{57}{6} - \varepsilon = 9$$

$$y_2 = y - y_1 = 8$$

$$\varepsilon = 0.5$$

$$b_{зк} = b'_{щ} \times \frac{D_a}{D_r} + (U_n - \frac{a}{p} + \varepsilon) \tau'_k = 9.242 \times \frac{14.16}{11.1} + \left(1 - \frac{3}{3} + 0.5\right) \times 0.78 = 12.18 \text{ см}$$

8.2 Полюсний крок, см:

$$\tau = \frac{\pi \times D_a}{2p} = \frac{\pi \times 14.16}{2 \times 3} = 7.414$$

8.3 Розрахункова ширина полюсної дуги ГП, см:

$$b_{im} = a_i \cdot \tau = 4.448$$

8.4 Ширина полюсної дуги ГП, см:

$$b_{ГП} = b_{im} - 2 \times \delta = 4.448 - 2 \times 0.09 = 4.268$$

8.5 Між полюсна відстань, см:

$$\tau - b_{ГП} = 7.414 - 4.269 = 3.146$$

8.6 Відносна ширина зони комутації

$$\frac{b_{3K}}{\tau - b_{ГП}} = \frac{1.218}{7.414 - 4.268} = 0.387$$

Можливо прийняти  $\frac{b_{3K}}{\tau - b_{ГП}} = 0.5$  що допустимо за [1]:

$$b_{3K} = \left(\frac{0.65}{0.85}\right)(\tau - b_{ГП})$$

8.7 Реактивна Е.Р.С.

$$I_{я.сум} = 56.4 \text{ см:}$$

$$V_{я} = 26.7 \text{ см:}$$

$$I_{я.сум} := 56.4 W_{ся} := 1 V_{я} := 26.7 \text{ М/с}$$

$$l_i := 18.2 \text{ А} = 457.619 \text{ У}_{я} := 26.7 \text{ де } h_n = 1.28 \quad b_n = 0.41$$

$$I_{лоб.я} = I_{я.сум} - 2 \times I_a = 20$$

$$\xi = \left(0.6 \cdot \frac{h_n}{b_n} + \frac{I_{лоб.я}}{l_i}\right) \cdot 10^{-4} + \frac{0.25 \cdot 10^2}{\frac{p}{a} \cdot W_{ся} \cdot l_i \cdot A \cdot U_{я}} =$$

$$= \left(0.6 \cdot \frac{1.28}{0.41} + \frac{20}{18.2}\right) \cdot 10^{-4} + \frac{0.25 \cdot 10^2}{\frac{3}{2} \cdot 18.2 \cdot 457.62 \cdot 26.7} = 3.722 \times 10^{-4}$$

$$e_p = 2 W_{ся} \cdot l_i \cdot A \cdot V_{я} \cdot \xi \cdot 10^{-2}$$

для машин середньої потужності

$$\xi = \left(\frac{5}{6}\right) \times 10^{-4} = 8.333 \times 10^{-5}$$

Тоді реактивна Е.Р.С., В:

$$e_p = 2 W_{ся} \cdot l_i \cdot A \cdot V_{я} \cdot \xi \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 18.2 \cdot 274.571 \cdot 26.7 \cdot 4.846 \cdot 10^{-2} = 1.293$$

8.8 Розрахунок Е.Р.С., від поперечного поля реакції якоря при половині числа додаткових полюсів (4.11.б[1])

$$e_p = 2 W_{ся} \cdot l_i \cdot B_{яр} \cdot V_{я} \cdot 10^{-2}$$

де  $B_{яр}$ -магнітна індукція у повітряному зазорі зони комутації, в результаті дії поперечної реакції якоря

$$B_{яр} = 1.25 \times 10^{-4} \times \frac{A}{1 - a_i} = 1.25 \times 10^{-4} \times \frac{274.571}{1 - 6} = 0.086$$

$$e_{яр} = W_{ся} \cdot l_i \cdot B_{яр} \cdot V_{я} \cdot 10^{-2} = 1.82 \times 8.58 \times 2.67 \times 10^{-2} = 0.417$$

8.9 Сума Е.Р.С., В:

$$e_p + e_{яр} = 1.71$$

8.10 Середня індукція у повітряному зазорі під додатковим полюсом при половині числа додаткових полюсів (4.10.а[1]), Т:

$$B_d = \frac{e_p + e_{яр}}{W_{ся} \cdot l_i \cdot B_{яр} \cdot V_{я} \cdot 10^{-2}} = \frac{1.293 + 0.417}{1.85 \times 2.67} = 0.346$$

або (4.20.в[1])

$$B_d = \frac{\epsilon_p}{W_{\text{ся}} \cdot l_i \cdot B_{\text{яр}} \cdot V_{\text{я}} \cdot 10^{-2}} + B_{\text{яр}} = \frac{1.293 + 0.417}{1.85 \times 2.67} + 0.086 = 0.348$$

8.11 Магнітний потік в повітряному зазорі під додатковим полюсом,

$$\frac{\delta}{0.135} = 0.667$$

Приблизно  $\delta_d = 0.11$  см

$$b_{i.gn} = b_{gn} + \left(\frac{2}{3}\right) \times \delta_d$$

$$b_{i.gn} = b_{gn} + 2\delta_d = 1.702$$

$$B_d = B_d \times b_{i.gn} \times l_{i.gn} \times 10^{-3} = 0.346 \times 1.702 \times 1.8 \times 10^{-3} = 1.061 \times 10^{-3}$$

8.12 Магнітний потік в сердечнику додаткового полюсу

в  $\delta_d=(1,4:3)$  Приблизно

$$\delta_d = 1.6$$

$$\Phi_{\text{П.д}} = \sigma_d \times 1.08 \times 10^{-3} = 1.6 \times 1.08 \times 10^{-3} = 1.728 \times 10^{-3}$$

8.13 Переріз додаткового полюса,  $\text{см}^2$ :

$$S_d = b_d \times l_d = 1.1 \times 18.5 = 20.35$$

8.14 Визначення М.Р.С. обмотки додаткового полюса

$$F_d = F_{\text{щд}} + F_{\text{яр}}$$

де  $F_{\text{щд}}$ -падіння магнітної напруги в колі додаткового полюса

$F_{\text{яр}}$ - М.Р.С. витрачається на подолання М.Р.С. реакції якоря

8.15 визначення  $F_{\text{щд}}$

8.15.1 Розрахунок М.Р.С. повітряного зазору під додатковим полюсом

$$F_{\text{бд}} = 0.8 \cdot \delta_d \cdot K_{\text{бд}} \cdot B_d \cdot 10^{-4}$$

де  $K_{\text{бд}}$ -коефіцієнт повітряного зазору під додатковим полюсом

$$K_{\text{бд}} = \frac{t_1 + 10 \times \text{бд}}{t_1 - b_{\text{щ}} + 10 \times \text{бд}} = \frac{7.8 + 10 \times 1.1}{7.8 - 1.8 + 10 \times 1.1} = 1.106$$

$$t_1 = \frac{\pi \times B_{\text{я}}}{Z} = \frac{\pi \times 14.16}{57} = 0.78$$

$$\text{тоді } F_{\text{бд}} = 0.8 \cdot \delta_d \cdot K_{\text{бд}} \cdot B_d \cdot 10^4 = 0.8 \cdot 0.11 \cdot 1.105 \cdot 0.346 \cdot 10^4 = 336.913$$

8.15.2 М.Р.С. зубця під додатковим полюсом, Т:

$$H_{\text{zg1}} = 7 \quad H_{\text{zg2}} = 9.4 \quad H_{\text{zg3}} = 17.2$$

$$B_{\text{zg1}} = H_{\text{z.1}} \times B_d = 2.342 \times 0.346 = 0.811$$

$$B_{\text{zg2}} = H_{\text{z.2}} \times B_d = 2.889 \times 0.346 = 1$$

$$B_{\text{zg3}} = H_{\text{z.3}} \times B_d = 3.779 \times 0.346 = 1.308$$

$$H_{\text{zg.ср}} = \frac{H_{\text{zg1}} + 4H_{\text{zg2}} + H_{\text{zg3}}}{6} = \frac{7 + 4 \times 9.4 + 17.2}{6} = 10.3$$

$$F_{\text{zg}} = H_{\text{zg.ср}} \times I_z = 10.3 \times 1.28 = 13.184$$

8.15.3 М.Р.С. сердечник додаткового полюса

$$H_{\text{нд}} = 7.7 \text{ А/см (лита сталь)}$$

$$L_d = h_r + \delta - \delta_d = 2.65 + 0.09 - 0.11 = 2.63$$

$$F_{\text{нд}} = H_{\text{нд}} \times L_d = 7.7 \times 2.63 = 20.251$$

$$B_{\text{пд}} = \frac{\Phi_{\text{п.д}} \times 10^4}{b_g \times l_g} = \frac{1.728 \times 10^{-3} \times 10^4}{1.1 \times 18} = 0.873$$

8.16 М.Д.С. повітряного зазору між станиною і додатковим полюсом, А:

$$F_{\text{ст.г}} = 20 \times B_{\text{пд}} = 20 \times 0.873 = 17.455$$

8.17 Розрахунок М.Р.С. кола головного полюса при загальній дії магнітного потоку головного полюса і додаткового полюса

8.17.1 М.Р.С. зубця під головним полюсом (Б.2(4.46[1])) і індукції в повітряному зазорі під головним полюсом від потоку додаткового полюсу (+0.5Φ.g), Т:

$$B_{\text{д}} = \frac{\Phi_{\text{д}} \times 10^4}{2 \times b_{\text{i.гн}} \times l_r} = \frac{1.061 \times 10^{-3} \times 10^4}{2 \times 4.448 \times 18} = 0.066$$

Індукція в повітряному зазорі під головним полюсом від спільної дії ГП и ПД

$$B'_{\delta} = B_{\delta} + B_{\text{д}} = 0.574 + 0.066 = 0.641$$

Індукція в зубцях, Т:

$$B_{z.1} = K_{z.1} \times B'_{\delta} = 2.342 \times 0.641 = 1.502 \quad H_{z.1} = 32.4$$

$$B_{z.2} = K_{z.2} \times B'_{\delta} = 2.889 \times 0.641 = 1.852 \quad C_{z.2} = 2.629 \quad H_{z.2} = 50$$

$$B_{z.3} = K_{z.3} \times B'_{\delta} = 3.779 \times 0.641 = 2.423 \quad C_{z.3} = 3.097 \quad H_{z.3} = 1200$$

$$H_{z.\text{ср}} = \frac{H_{z.1} + 4H_{z.2} + H_{z.3}}{6} = \frac{32.4 + 4 \times 50 + 1200}{6} = 238.733$$

М.Р.С. зубця, А:

$$F_{zr} = H_{z.\text{ср}} \times L_z = 238.733 \times 1.28 = 305.579$$

8.15.2 М.Р.С. в повітряний зазор під ГП від суми потоків, А:

$$F_{\delta r} = 0.8 \cdot K_{\text{бд}} \cdot \delta \cdot B'_{\delta} \cdot 10^4 = 0.8 \cdot 1.12 \cdot 0.09 \cdot 0.641 \cdot 10^4 = 517.086$$

8.17.3 М.Р.С. сердечника головного полюсу від двох потоків, Т:

$$B'_{\text{r}} = B_{\text{r}} + \frac{\sigma_{\text{д}} \times \Phi_{\text{д}} \times 10^4}{2 \times b_{\text{r}} \times l_r} = 1.347 + \frac{1.6 \times 1.061 \times 10^{-3} \times 10^4}{2 \times 2.4 \times 18} = 1.543$$

$H_{\text{r}} = 33$  А/см (лита сталь)

$$F'_{\text{r}} = L_{\text{r}} \times H_{\text{r}} = 2.65 \times 33 = 87.45$$

8.17.4 М.Р.С. спинки якоря від суми двох потоків

$$B'_{\text{я}} = B_{\text{я}} + \frac{\Phi_{\text{д}} \times 10^3}{2 \times h_{\text{r}} \times l_{\text{i}} \times K_{\text{с}}} = 1.29 + \frac{1.061 \times 10^{-3} \times 10^3}{2 \times 1.1 \times 1.82 \times 0.9} = 1.584$$

8.17.5 М.Р.С. станини від сум двох потоків

$$F'_{\text{с}} = L_{\text{с}} \times H'_{\text{с}} = 105.818$$

8.17.6 М.Р.С. повітряний зазор (стика) між станиною і головним полюсом від двох потоків, А:

$$F'_{\text{ст.т}} = 20 \times B'_{\text{r}} = 20 \times 1.543 = 30.868$$

8.18 Повне падіння М.Р.С. в колі додаткового полюсу на один полюс (4.60[1])

$$\begin{aligned} F_{\text{ц.г}} &= F_{\text{бд}} + F_{z\text{г}} + F_{\text{нг}} + F_{z\text{r}} + F_{\text{r}} + F'_{\text{я}} + F'_{\text{с}} + F'_{\text{ст.г}} + F'_{\text{ст.т}} = \\ &= 336.913 + 13.184 + 305.579 + 87.45 + 52.6 + 105.808 + 517.08 \\ &\quad + 30.868 = 1483 \end{aligned}$$

8.19 М.Р.С. обмотки додаткових полюсі, А:

$$F_{\text{г}} = F_{\text{ц.г}} + 0.5\tau \times A - F_{\text{б}} = 1483 + 0.5 \times 0.74 \times 274.57 - 798.92 = 785.799$$

8.20 М.Р.С. сформована обмоткою додаткового полюса, А:

$$F_{\text{gn}} = I_{\text{я.Ф}} \times W_{\text{gn}} = 658.712 \times 2 = 1317$$

8.21 В зв'язку з великою різницею розрахункових значень м.р.с. обмотки ДП, можливо необхідно збільшити зазор між станиною і ДП, що рекомендується робити за допомогою немагнітних прокладок.

$$\delta_{\text{д}} = (1.0/1.5) \delta = 0.09/0.135$$

Варіант 2. якщо прийняти

$$F_{\delta r2} = 0.8 \times K_{\text{бд}} \times \delta_{\text{д}} \times B_{\delta} \times 10^4 = 0.8 \times 1.106 \times 0.135 \times 0.353 \times 10^4 = 421.607$$

8.22 Перевірка насичення магнітному колі додаткового полюсу, Т.: Умови насичення[1].

$$B_{\text{пр}} < 1.3/1.4 \text{ Т} \quad B_{\text{пд}} = 0.73$$

$$B'_{\text{г}} < 1.4/1.5 \text{ Т} \quad B'_{\text{г}} = 1.543$$

$$B'_{\text{я}} < 1.6/1.7 \text{ Т} \quad B'_{\text{я}} = 1.584$$

Розрахунок втрат і К.К.Д.

9.1 Електричні втрати в міді обмотки якоря, Вт:

$$\Delta P_{\text{м.я}} = I_{\text{я.Ф}}^2 \times R_{\text{я.Ф.Н}} = 658.712^2 \times 1.62 \times 10^{-3} = 705.335$$

9.2 Електричні втрати в паралельній (шунтовій) обмотці збудження, Вт:

$$\Delta P_{\text{м.ш}} = \frac{U_{\text{Н}}^2}{R_{\text{ШОЗ.сум.Ф}}} = \frac{28^2}{1.766} = 443.943$$

9.3 Електричні втрати в перехідному контактї щіток на колекторі, Вт:

$$\Delta P_{\text{кщ}} = \Delta U_{\text{Н}} \times R_{\text{я.Ф}} = 2 \times 658.712 = 1317$$

9.4 Електричні втрати в обмотці додаткових полюсів, Вт:

$$\Delta P_{\text{мд}} = I_{\text{я.Ф}}^2 \times R_{\text{qn.Ф}} = 658.712^2 \times 1.102 \times 10^{-3} = 477.969$$

9.5 Магнітні втрати в сталі (5.9[1]), Вт:

$$\Delta P_{\text{ст}} = \Delta P_{\text{ст.я}} + \Delta P_{\text{ст.з}}$$

9.5.1 Втрати від гістерезису і вихрових струмів в спинці якоря, Вт:

$$\Delta P_{\text{ст.я}} = K_{\text{яс}} \cdot B_{\text{я}}^2 \cdot M_{\text{ст.я}}$$

$$n = 3600/6200$$

$$f = \frac{p \times n}{60} = \frac{3 \times 3600}{60} = 180$$

$$K_{\text{яс}} = \frac{f^2 + 200 \times f}{1700} = \frac{180^2 + 200 \times 180}{1700} = 40.235$$

$$M_{\text{ст.я}} = 7.8 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_z^2 - d_{\text{я}}^2) \cdot l \cdot K_{\text{СТ}} \cdot 10^2$$

$$D_z = D_{\text{я}} - 2 \times h_{\text{п}} = 14.16 - 2 \times 1.28 = 11.6$$

$$M_{\text{ст.я}} = 7.8 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_z^2 - d_{\text{я}}^2) \cdot l \cdot K_{\text{СТ}} \cdot 10^2 = 7.8 \times \frac{\pi}{4} \times (11.6^2 - 9.4^2) \times 1.82 \times 0.93 \times 10^2 = 4.79$$

$$\Delta P_{\text{ст.я}} = K_{\text{яс}} \cdot B_{\text{я}}^2 \cdot M_{\text{ст.я}} = 40.235 \times 1.29^2 \times 4.79 = 320.751$$

9.5.2 Втрати від гістерезису і вихрових струмів в зубцях якоря, Вт:

$$\Delta P_{\text{ст.з}} = K_z \cdot B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}}$$

$$K_z = \frac{f^2 + 100 \times f}{1300} = \frac{180^2 + 100 \times 180}{1300} = 38.769$$

Відкритий паз (таб.5.1[1]), см:

$$M_{\text{ст.з}} = 7.8 \cdot z \cdot b_{z.2} \cdot h_{\text{п}} \cdot l \cdot K_{\text{ст}} \cdot 10^2 = 7.8 \times 57 \times 3 \times 1.28 \times 18.2 \times 0.93 \times 10^{-4} = 2.89$$

$$\Delta P_{\text{ст.з}} = K_z \cdot B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}} = 38.769 \times 1.652^2 \times 2.89 = 305.747$$

9.5.3 Сума втрат в сталі, Вт:

$$\Delta P_{\text{ст}} = \Delta P_{\text{ст.я}} + \Delta P_{\text{ст.з}} = 320.751 + 305.747 = 626.498$$

9.5.4 Друга формула для визначення магнітних втрат в сталі (5.14.[1])

$$\Delta P'_{\text{ст}} = K_3 \cdot \rho_0 \left(\frac{f}{50}\right) \cdot (B_{\text{я}}^2 \cdot M_{z.2} + B_{z.2}^2 \cdot M_{\text{ст.з}})$$

При  $K_3$  - коефіцієнт враховуючий збільшення втрат в сталі за рахунок дефектів при механічній обробці і за рахунок нерівномірного розподілу магнітної індукції

Приклад розрахунку  $K_3=2.5$ (стр.217[1])

9.5.5 Питомі втрати  $\rho_0$  по таблиці 2.2 для сталей 24.11

товщиною  $\Delta=0.5$  мм

Таблиця 2.3

	$B_{\text{я}}$	$B_z$		$\gamma$		$\gamma$
24.11 $\Delta = 0,5$ $f = 50$ Гц	1,29	1,66	24.11 $\Delta = 0,5$	0,61	24.11 $\Delta = 0,35$	0,49
$\rho_0$	5,8	9,45				

Сталь 24.11,  $\Delta=0.5$

Мінімальні втрати, Вт:

$$\rho'_0 = 5.8 \times 0.61 = 3.538$$

Максимальні втрати, Вт:

$$\rho''_0 = 9.45 \times 0.61 = 5.764$$

$$f_{50} = \frac{f}{50} = 3.6$$

$$\Delta P_{\text{ст.0.5.min}} = K_3 \cdot \rho'_0 \cdot f_{50}^{1.3} \cdot (B_{\text{я}}^2 \cdot M_{\text{ст.я}} + B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}}) = 2.5 \cdot 3.54 \cdot 3.6^{1.3} \cdot (1.29^2 \cdot 4.79 \cdot 1.65^2 \cdot 2.88) = 741.558$$

$$\Delta P_{\text{ст.0.5.max}} = K_3 \cdot \rho''_0 \cdot f_{50}^{1.3} \cdot (B_{\text{я}}^2 \cdot M_{\text{ст.я}} + B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}}) = 2.5 \cdot 5.76 \cdot 3.6^{1.3} \cdot (1.29^2 \cdot 4.79 \cdot 1.65^2 \cdot 2.88) = 1208$$

$$\Delta P_{\text{ст.0.35.min}} = K_3 \cdot \rho'_0 \cdot f_{50}^{1.3} \cdot (B_{\text{я}}^2 \cdot M_{\text{ст.я}} + B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}}) = 2.5 \cdot 2.842 \cdot 3.6^{1.3} \cdot (1.29^2 \cdot 4.79 \cdot 1.65^2 \cdot 2.88) = 595.678$$

$$\Delta P_{\text{ст.0.35.max}} = K_3 \cdot \rho''_0 \cdot f_{50}^{1.3} \cdot (B_{\text{я}}^2 \cdot M_{\text{ст.я}} + B_z^2 \cdot M_{\text{ст.з}}) = 2.5 \cdot 4.63 \cdot 3.6^{1.3} \cdot (1.29^2 \cdot 4.79 \cdot 1.65^2 \cdot 2.88) = 970.544$$

9.6 Механічні втрати, Вт:

Втрати при терті щіток об колектор

$$K_T = 0.15 \quad n_{\text{щ}} = 36$$

при

$$V_k = \frac{\pi \times D_k \times n_{\text{щ}}}{60} = \frac{\pi \times 11.1 \times 36}{60} = 20.923$$

$$S_{\text{щ1}} = b'_{\text{щ}} \times l_{\text{щ}} = 0.924 \times 2.5 = 2.309$$

Сила натиску на одну щітку, кг:  $F_{\text{щ}} = 1.8$

$$p_{\text{щ}} = \frac{9.81 \times F_{\text{щ}}}{S_{\text{щ}1} \times 10^{-4}} = \frac{9.81 \times 1.8}{2.309 \times 10^{-4}} = 7.646 \times 10^4$$

Питомий тиск, Па

$$\Delta P_{\text{тр.щ}} = K_{\text{т}} \cdot p_{\text{щ}} \cdot V_{\text{к}} \cdot S_{\text{щ.сум}} \cdot 10^{-4} = 0.15 \cdot 7.646 \cdot 10^4 \cdot 20.923 \cdot 42.571 \cdot 10^{-4} = 997.538$$

9.7 Механічні втрати на тертя в підшипниках і вентиляційних, Вт:

$$\Delta P_{\text{тр.в}} = 140$$

9.8 Додаткові втрати [1], Вт:

$$\Delta P_{\text{дод}} = 0.01 \times P_{\text{н}} = 180$$

9.9 Сума втрат в генераторі

9.9.1 Електричні втрати в генераторі, Вт:

$$\Delta P_{\text{м}} = \Delta P_{\text{м.я}} + \Delta P_{\text{мщ}} + \Delta P_{\text{м.ш}} + \Delta P_{\text{мд}} = 705.335 + 1317 + 443.94 + 477.969 = 2945$$

9.9.2 Механічні і додаткові втрати, Вт:

$$\Delta P_{\text{мех}} = \Delta P_{\text{тр.щ}} + \Delta P_{\text{тр.в}} + \Delta P_{\text{дод}} = 997.538 + 140 + 180 = 1318$$

9.9.3 Втрати в сталі, Вт:

$$\Delta P_{\text{ст}} = 626.498$$

9.9.4 Сума втрат в генераторі, Вт:

$$\Delta P_{\text{сум}} = \Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{мех}} = 2945 + 626.48 + 1318 = 4889$$

9.9.5 Втрати потужності, Вт:

$$P_1 = P_{\text{н}} + P_{\text{сум}} = 18000 + 4889 = 22890$$

9.9.6 Розрахунок корисної дії

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{ст}}} = \frac{18000}{22890} = 0.786$$





## ДОДАТОК Г

### СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОР ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПІДВИЩЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ АВТОНОМНОЇ УСТАНОВКИ

**Реуцький М.О., к.т.н., доцент, Бушуєв К.О., магістрант**  
*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки*

**Вступ.** На сьогоднішній день через значне підвищення цін на енергоносії питання енергоефективності електрообладнання є досить актуальним. Це повною мірою відноситься і до застарілих синхронних стартер-генераторів автономних транспортних установок. В конструкцію стартер-генераторів можна вносити зміни, використовувати сучасні матеріали і технології які не вплинуть на габаритні розміри, але дозволять значно підвищити їх потужність. При цьому з'являється можливість зменшити ціну при виготовленні більш потужних стартер-генераторів, якщо при їх проектуванні і виготовленні використовувати вже відпрацьовані технології та обладнання.

**Мета роботи.** Проаналізувати конструкцію стартер-генератора СГ-18-1к для визначення параметрів, які впливають на можливість підвищення потужності стартер-генератора без зміни стандартних розмірів. Спроекувати стартер-генератор підвищеної потужності СГ-22-1к без збільшення габаритних розмірів.

**Матеріали і результати досліджень.** Стартер-генератори автономних транспортних установок, це машини постійного струму, які можуть працювати як в режимі стартера, так і режимі генератора. З'єднання вала стартер-генератора з приводним механізмом здійснюється через фрикційну муфту і редуктор з змінним передавальним числом. Для проведення дослідження за основу взято стартер-генератор СГ-18-1к, з такими номінальними даними: вихідна потужність 18 кВт., напруга 28 В., частота обертання 3600/6200 об/хв. Номінальні дані стартер-генератора підвищеної потужності СГ-22-1к: вихідна потужність 22 кВт., напруга 28 В., частота обертання 3600/6200 об/хв. Для того щоб отримати 22 кВт в стартер-генераторі підвищеної потужності потрібно внести зміни в систему охолодження, які будуть покращувати охолодження внутрішнього простору електро-машини, за рахунок збільшення площі поперечного перерізу існуючої в машині-прототипі внутрішніх і зовнішніх вентиляційних каналів, зміни в конструкції, введення конструктивних нових додаткових каналів в різних зонах внутрішнього простору ЕМ, а також особливості, які відносяться до конструктивних змін таких функціональних її збірних частинах як: щітково-колекторна система, система збудження, конструкції пазових частин обмотки ротора і друге. Після проведення попередніх розрахунків СГ-18-1к було прийнято рішення вносити такі зміни в СГ-22-1к:

- В системі охолодження: аксіальні вентиляційні канали розмічені на зовнішній поверхні якоря, встановлено два вентилятора один нагнітальної дії а інший висмоктувальної дії.

- В колекторній системі: зміна кількості щіток з 18 до 12. У звільнені місця встановлені радіатори для охолодження щіток а також додатково встановлені змащувальні щітки на основі дисульфата ( $\text{MoS}_2$ ).
- В системі збудження кількість додаткових і основних полюсів однакові.
- В роторі змінена обмотка: використаний дрiт прямокутний, ізоляція дроту зменшена Рис1, та Рис 2.

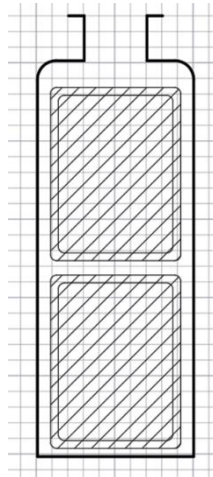


Рисунок 1 - Зміни розміру обмотки  
 В СГ-18-1К  $2.8 \times 4.75 = 13.3 \text{ мм}^2$   
 В СГ-22-1К  $3.3 \times 5.0 = 16.5 \text{ мм}^2$

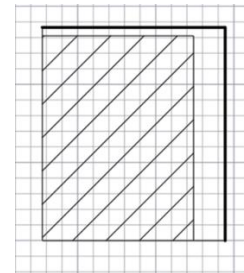


Рисунок 2 - Шина  
 В СГ-18-1К  $7 \times 9.3 = 61.1 \text{ мм}^2$   
 В СГ-22-1К  $8.2 \times 9.8 = 80.36 \text{ мм}^2$

Після проведених процесів модернізації для перевірки характеристик стартер-генератора були проведені досліді СГ-18-1к, а також порівняння з розрахунковими даними СГ-22-1к. Для дослідів і розрахунків використовувалась Рис.3 схема випробування СГ.

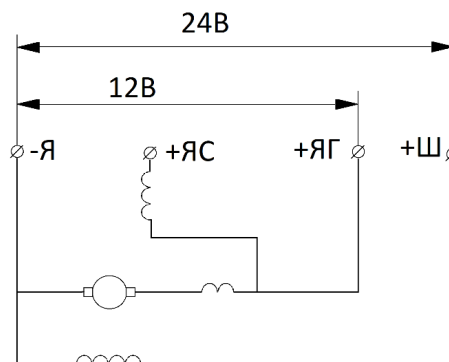


Рисунок 3 - Схема випробування

Після розрахунків за Морозов А. Г. Розрахунок електричних машин постійного току було складено зведену таблицю втрати [1] в двох типах розрахунків.

**Таблиця 1** Порівняння енергобалансів стартер-генераторів

	Назви втрат в стартер генераторі	СГ-18-1К	СГ-22-1К	Різниця втрат, Вт.
1	Електричні втрати в обмотці якоря, Вт	705	842	137
2	Електричні втрати в обмотці додаткового полюса, Вт	443	708	265
3	Електричні втрати в щітково-колекторному вузлі, Вт	1317	1208	109
4	Втрати від гістерезису і вихрових струмів в спинці якоря, Вт:	321	321	0
5	Втрати від гістерезису і вихрових струмів в зубцях якоря, Вт:	306	306	0
6	Механічні втрати, Вт:	997	997	0
7	Додаткові втрати, Вт	180	220	40
8	Втрати в сталі	627	627	0
9	ККД	0.786	0.798	0.012

В СГ-22-1к електричні втрати в щітково-колекторному вузлі становлять 1208 Вт при втратах в СГ-18-1к в 1317 Вт таки результатів вдалось досягти завдяки методам модернізації. Загальні втрати потужності становлять 17556 Вт в СГ-22-1к і 14148 Вт в СГ-18-1к при 22кВт в СГ-22-1к коефіцієнт корисної дії становить 0.798 при 0.786 в СГ-18-1к що є хорошим результатом так як потужність зростає на 6 кВт а габаритні характеристики залишились без змін і ККД близьке до значень прототипу.

**Висновки.** При модернізації синхронного стартер-генератора СГ-22-1К питання виникають тільки під час проектування ротору так як в роторі було проведено найбільше змін. При впровадженні всіх змін потужність вдалось збільшити на 27% без зміни габаритних характеристик СГ прототипу що є дуже позитивним результатом.