

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра авіоніки

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Павлова С.В.
“ _____ ” _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
“МАГІСТР”**

Тема: «Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148»

Виконавець: Олійник Олег Григорович

Керівник: доц. Лужбін Віктор Миколайович

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

З охорони праці доц. Занько С. М.

З охорони навколишнього середовища проф. Фролов В. Ф.

Нормоконтролер: Левківський В.В

Київ 2020

ЗМІСТ

Вступ

Список прийнятих скорочень

РОЗДІЛ 1. Аналіз існуючої системи електропостачання літака ан-148 та обґрунтування необхідності її вдосконалення. розробка структурної схеми удосконаленої СЕП

- 1.1. Призначення системи електропостачання літака
- 1.2. Структурна схема СЕП літака. Основні, резервні та аварійні джерела електроенергії
- 1.3. Система електропостачання змінного струму
 - 1.3.1 Призначення й технічні характеристики агрегатів системи електропостачання змінного струму постійної частоти
- 1.4. Призначення та технічні характеристики агрегатів системи електропостачання постійного струму
- 1.5. Засоби аеродромного електроживлення
- 1.6. Функціональне призначення органів управління, контролю й сигналізації системи електропостачання та їх розміщення на приладових дошках і щитках пультів управління
- 1.7. Обґрунтування необхідності вдосконалення існуючої СЕП

РОЗДІЛ 2. Розробка принципової електричної схеми, принцип дії та розрахунок основних параметрів ПГА

- 2.1. Принципова схема привод-генераторного агрегату
- 2.2. Розрахунок параметрів ПГА

РОЗДІЛ 3. Електромагнітний розрахунок трифазної електромагнітної муфти ковзання та її збуджувальної машини

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

- 3.1. Розрахунок веденого ротора ЕМК
- 3.1.1. Розрахунок веденого ротора ЕМК
- 3.1.2. Розрахунок ведучого ротора ЕМК
- 3.1.3. Розрахунок магнітного ланцюга ЕМК
- 3.1.4. Розрахунок потужності ЕМК

3.2. Електромагнітний розрахунок АП

- 3.2.1. Розрахунок фазного ротора АП

3.3. Розрахунок масових та енергетичних характеристик АП

3.4. Масово-енергетичні показники ПГА

РОЗДІЛ 4. Обґрунтування вибору елементів системи автоматичного управління, регулювання та захисту

4.1. Вибір елементів системи автоматичного управління ПГА

4.2. Вибір елементів системи захисту, управління і регулювання для СГ

РОЗДІЛ 5. Порівняльна характеристика показників надійності існуючої і вдосконаленої СЕП

5.1. Кількісні показники надійності

5.2. Розрахунок надійності існуючої СЕП

5.3. Розрахунок надійності вдосконаленої СЕП

РОЗДІЛ 6. Розробка інструкції по технічній експлуатації спроектованого ПГА

РОДІЛ 7. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях

7.1. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори при експлуатації ПГА

7.2. Організаційні і технічні заходи по виключенню чи зменшенню рівня небезпечних і шкідливих факторів

7.3. Розрахунок захисного заземлення

7.4. Забезпечення пожежної і вибухової безпеки в при експлуатації ПГА

7.5. Інструкція з техніки безпеки і пожежної безпеки при експлуатації ПГА

РОЗДІЛ 8. Охорона навколишнього середовища

8.1. Аеропорт — як джерело комплексного забруднення навколишнього середовища

8.1.1. Забруднення атмосфери

8.1.2. Авіаційний шум, як джерело забруднення

8.1.3. Електромагнітні випромінювання, та їх шкідливий вплив на НПС

8.2. Екологічні наслідки авіаційних катастроф

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ



ВСТУП

На сучасному етапі розвитку авіації, вона характеризується з широким використанням в літакобудуванні новітніх досягнень науки і техніки, використання на літальних апаратах (ЛА) автоматичних систем управління і навігації, радіоелектронного та іншого обладнання, яке забезпечує можливість виконання завдання в будь-яких метеорологічних умовах, вдень і вночі, на над малих та великих висотах з дозвуковою та надзвуковою швидкістю польоту. Своєчасне і якісне виконання завдання багато в чому залежить від надійності роботи системи електропостачання (СЕР) ЛА.

На деяких літаках та вертольотах застосовуються змішані СЕР, що складаються з низьковольтних ланцюгів постійного струму напругою 27 В та ланцюгів змінного струму постійної частоти 400 Гц напругою 200, 115 В.

Вагомими недоліками змішаних СЕР являються: складність змішаної системи, наявність великої кількості колекторних машин, велика відносна маса і низький ККД, недостатня надійність у роботі та великі трудовитрати на обслуговування.

Вказані недоліки можна усунути шляхом встановлення на ЛА в якості основної СЕР трьохфазної системи змінного струму напругою 200/115 В з частотою 400 Гц. Доцільність використання на ЛА СЕР змінного струму постійної частоти підтверджується її більш високою надійністю, висотністю, теплостійкістю обладнання змінного струму, а також можливістю переводу на живлення змінним струмом постійної частоти близько 90% всіх споживачів ЛА. Тому проблемі розробки і створення нових, високо надійних і простих в експлуатації систем генерування змінного струму постійної частоти в даний час приділяється велика увага. Завдання створення більш досконалих СЕР зводиться також до створення найбільш раціональних приводів постійної частоти

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

обертання (ППЧО), які являються основним елементом привод-генераторних агрегатів (ПГА) змінного струму постійної частоти. Практичне застосування на ЛА знайшли ППЧО гідромеханічного та турбомеханічного типів. Однак низька якість електроенергії і невисокий ККД в СЕП з турбомеханічним ППЧО, конструктивна складність, висока вартість виробництва і обслуговування, малий ресурс і недостатньо висока надійність у роботі гідромеханічних ППЧО вимагає створення СЕП з застосуванням ППЧО інших типів. До таких приводів можна віднести електромеханічні ППЧО. Дослідження показали, що електромеханічні ППЧО можуть забезпечити якість електроенергії не гірше, ніж ПГА з турбомеханічним ППЧО, а по надійності в роботі, простоті виготовлення і обслуговування значно перевершують їх.

Все це підтверджує необхідність створення ПГА з електромеханічним приводом, які за своїми основними показниками не поступаються турбомеханічним приводам.

Метою даного проекту являється розробка принципової схеми і конструкції електромеханічного багатоступінчатого ПГА, що складається з електромеханічної муфти ковзання, асинхронного перетворювача, синхронного генератора та апаратури регулювання і управління, розрахунок основних частотних та енергетичних співвідношень цього ПГА, а також електромагнітний розрахунок електричних машин ПГА.

РОЗДІЛ 1

Аналіз існуючої СЕП літака ан-148 та обґрунтування необхідності її вдосконалення. розробка структурної схеми вдосконаленої СЕП

1.1. Призначення системи електропостачання літака

Система електропостачання призначена для забезпечення живлення бортових систем літака електроенергією й складається з:

- первинної змінного трифазного струму напругою 115/200 В частотою 400 Гц;
- вторинної постійного струму напругою 27 В.

Джерелами первинної системи є два генератори змінного трифазного струму ГТ30НЖЧ12 потужністю по 30 кВт, які встановлені на двигунах Д-436, і генератор ДСУ 30030-140 потужністю 40 кВт, або від аеродромного джерела змінного струму В нормальних умовах кожний генератор двигуна забезпечує свій незалежний канал СЕП.

Джерелами енергії вторинній системі постійного струму є три випрямні пристрої F11RB4140 потужністю 6 кВт кожне призначені для перетворення змінного трифазного струму напругою 200 В частотою 400 Гц в постійний струм напругою 27 В та живлення їм споживачів постійного струму, а також три акумуляторні батареї 20FP25H1CT-R ємністю 25 ампер-годин кожна.

Акумуляторні батареї є електрохімічними джерелами струму й призначені для:

- живлення обмеженої кількості споживачів при перевірках на землі – якщо відсутнє аеродромне джерело та не запущений двигун ДСУ;
- запуску двигуна ДСУ;
- заправлення паливом при відсутності аеродромного джерела й при

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

непрацюючому двигуні ДСУ.

– живлення споживачів І категорії в польоті при переході на аварійне живлення.

Вторинна система складається із двох незалежних каналів – лівого та правого бортів.

До каналу лівого борту входять:

- випрямний пристрій F11RB4140;
- диференційно-мінімальне реле ДМР-200ВУ;
- акумуляторна батарея 20FP25H1CT-R;

До каналу правого борту входять:

- два випрямні пристрої F11RB4140;
- два диференційно-мінімальні реле ДМР-200ВУ;
- дві акумуляторні батареї 20FP25H1CT-R

Системи електропостачання автоматизовані, що, у більшості випадків, не вимагає застосування ручних операцій для перемикання джерел при виникненні несправностей.

Система електропостачання літака (СЕП) забезпечує:

– двоканальне електроживлення бортового обладнання при роботі всіх основних джерел електроенергії;

– нормальне електроживлення всіх споживачів при відмові одного генератора й випрямного пристрою

– резервне електроживлення всіх споживачів від генератора допоміжної силової установки (у діапазоні її висотності) та у випадку відмови основних генераторів - без обмеження тривалості польоту, а також аварійне живлення споживачів І категорії (необхідних для завершення польоту) від акумуляторних батарей, протягом обмеженого часу з урахуванням дворазової спроби запуску ДСУ (запуск – холодне прокручування – запуск);

– автономний запуск двигунів;

– наземне електроживлення всього бортового обладнання при непрацюючих двигунах від аеродромного джерела електроенергії або від генератора ДСУ.

До складу цих систем входять:

а) джерела й перетворювачі електроенергії:

- два привод-генератора ГП21 з генераторами ГТ30НЖЧ12;
- генератор 30030-140 допоміжної силової установки;
- три випрямні пристрої F11RB4140;
- перетворювач ПТС-800БМВ;
- три акумуляторні батареї 20FP25H1CT-R;

б) блоки керування, контролю, регулювання й захисту:

- два блоки регулювання, захисту й керування БРЗК115В-2с;
- блок регулювання, захисту й керування 2438-140;
- два блоки трансформаторів струму БТС30БТА
- блок трансформаторів струму 20736-140;
- апарат АПП-1М-5;
- два апарати АПШ-3Р-2з;
- апарат АПШ-3М;
- блок контролю БКНА115В;
- чотири трансформатори ТТА1-115-400;
- три диференційно-мінімальні реле ДМР-200ВУ;

в) розподільні пристрої, щиток керування:

- ЦРП 115/200 В;
- ЦРП 27 В;
- РП 115/200 В;
- РП 115/200 В аеродромного джерела;
- ліве РП 27 В;
- праве РП 27 В;
- РП 27 В акумулятора 1;
- РП 27 В акумуляторів 2, 3;
- РП керування БРЗК;
- щиток СЕП;

г) захисна, комутуюча й світлосигнальна апаратура - автомати захисту, запобіжники, кнопки-табло, перемикач, реле, контактори.

Розміщення обладнання СЕП на літаку, показана на рис. 1.1 та наведено в таблиці № 1.

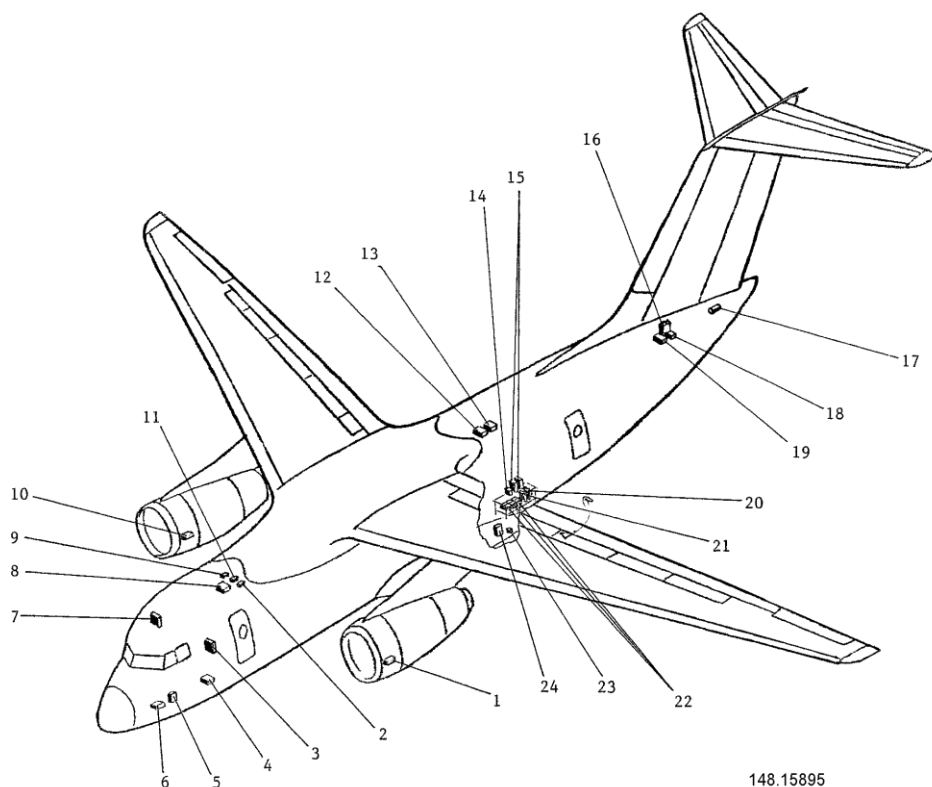


Рис. 1.1

Таблиця № 1.1

1,10	Привод-генератори ГП21	14	РК керування БРЗК
2	АПП-1М-5	15	БРЗК115В-2з
3	ліве РП 27 В	16	РП акумуляторів 2, 3
4	ПТС-800 БМВ	17	генератор 30030-140
5	РП акумулятора 1	18	акумуляторна батарея № 3
6	акумуляторна батарея № 1	19	акумуляторна батарея № 2
7	праве РП 27 В	20	блок 2438-140
8	РП 115/200 В	21	БКНА115В
9	АПШ-3Р-2с	22	випрямні пристрої F11RB4140
11	АПШ-3Р-2с	23	РАЖ 340с
12	ЦРП 115/200 В	24	РП 115/200 В аеродромного джерела
13	ЦРП 27 В		

1.2. Структурна схема СЕП літака. Основні, резервні та аварійні джерела електроенергії

На структурній схемі системи електропостачання (Рис.1.2) у спрощеному вигляді показані джерела й перетворювачі електроенергії, а також силова розподільна мережа із частиною комутуючої та захисної апаратури. Наведені на схемі позначення відповідають:

- АКК, АКК, АКК3 – акумуляторні батареї 20FP25H1CT-R;
- Г1, Г2 – генератори ГТ30НЖЧ12 змінного трифазного струму напругою 115/200 В частотою 400 Гц, що входять до складу привод-генераторів ГП21;
- ГДСУ – генератор 30030-140 змінного трифазного струму напругою 115/200В частотою 400 Гц із приводом від двигуна допоміжної силової установки;
- ВП1, ВП2, ВП3 – випрямні пристрої F11RB4140, що перетворюють електроенергію змінного трифазного струму напругою 200 В частотою 400 Гц в електроенергію постійного струму напругою 27 В;
- ПТав – трифазний статичний перетворювач ПТС-800БМВ, що перетворює електроенергію постійного струму в електроенергію змінного трифазного струму напругою 115/200 В частотою 400 Гц;
- БРЗК1, БРЗК2 – блоки регулювання, захисту й керування БРЗУ115В-2з основних генераторів;
- БРЗК 3 – блок регулювання, захисту й керування 2438-140 генератора ВСУ;
- БТС1, БТС2 – блоки трансформаторів струму БТТ30БТА (диференціальний захист основних генераторів);
- БТМ3 – блок трансформаторів струму 20736-140 (диференціальний захист генератора ДСУ);
- БКНА – блок контролю аеродромного джерела БКНА115В;
- АПШ1, АПШ2 – апарати АПШ-3Р-2з;
- АПШ3 – апарат АПШ-3М;
- АПП – апарат АПП-1М-5;
- ДМР, ДМР, ДМР3 – диференційно-мінімальні реле ДМР-200ВП;

- ЦРП – центральні розподільні пристрої;
- РП – розподільні пристрої;
- РАЖ – роз'єднання аеродромного живлення 340с.

Система електропостачання змінним струмом напругою 115/200 В частотою 400 Гц, включає в себе генератори Г1 і Г2, що входять до складу привод-генераторів ГП21 (встановлених по одному на кожний двигун силової установки), з апаратурою регулювання, захисту, керування й комутації, а також генератор $\Gamma_{\text{ДСУ}}$, встановлений на двигуні ДСУ й працюючий з аналогічною апаратурою, є первинною, тому що її генератори перетворюють механічну енергію двигунів безпосередньо в електричну. При цьому генератори Г1 і Г2 є основними джерелами, а генератор ДСУ - резервним. У системі передбачене живлення споживачів від аеродромного джерела змінного струму напругою 115/200 В частотою 400 Гц, а також споживачів I категорії від перетворювача Птав.

Система електропостачання постійним струмом напругою 27 В, включає в себе випрямні пристрої ВП1, ВП2, ВП3, комутуючу захисну апаратуру, є вторинною, перетворюючи електроенергію змінного трифазного струму генераторів (або аеродромного джерела) в електроенергію постійного струму напругою 27 В. Акумуляторні батареї АКК1, АКК2, АКК3, що входять у цю систему, є аварійними джерелами електроенергії.

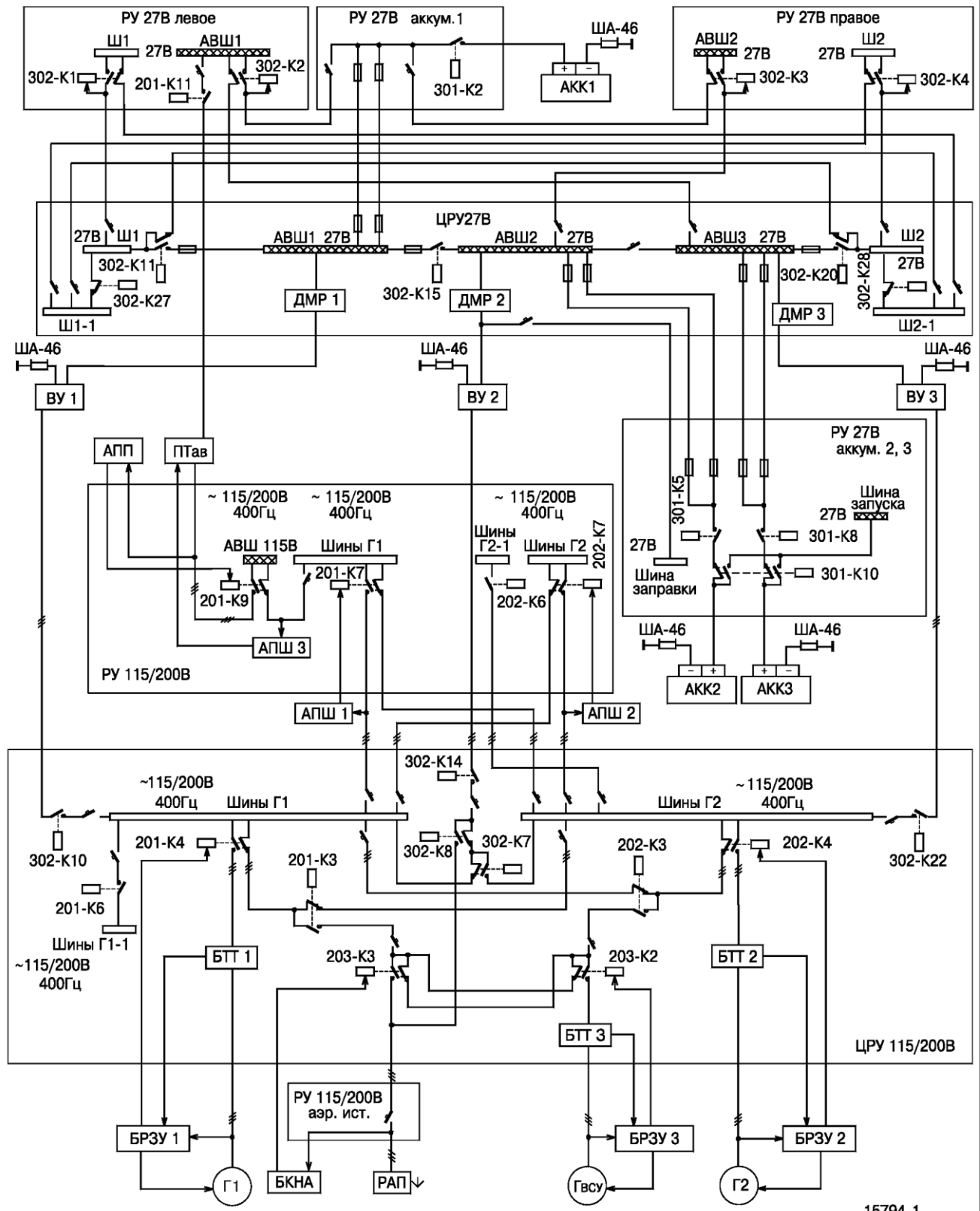


Рис. 1.2.

1.3. Основна (первинна) система електропостачання літака

Система електропостачання змінним трифазним струмом напругою 115/200 В частотою 400 Гц призначена для централізованого електропостачання споживачів змінним трьохфазним струмом напругою 200 В

частотою 400 Гц і змінним однофазним струмом напругою 200 і 115 В частотою 400 Гц.

Система складається із двох незалежних каналів - лівого та правого. В кожний канал входить привод генератор ГП21, встановлений на двигуні Д436-148, а також апаратура регулювання, захисту, керування та комутації. Вхідний до складу ГП21 генератор ГТ30НЖЧ12 являє собою безконтактну синхронну електричну машину потужністю 30 кВт, частота, обертання ротора якої підтримується постійної гідромеханічним приводом, незалежно від частоти обертання ротора двигуна. У системі також передбачене електроживлення всього бортового встаткування від генератора 30030-140 потужністю 40 кВт, встановленого на двигуні ДСУ, або від аеродромного джерела змінного струму. Споживачі, підключені до аварійних шин 115/200 В, при відмові (відключенні) генераторів живляться від трифазного статичного перетворювача ПТС-800БМВ, потужність 800 В·А.

В системі автоматично забезпечується:

– приєднання шин Г1 ЦРП 115/200 В до працюючого генератора Г1 через замикаючі контакти контактора 201- К4, шин Г1-1 до шин Г1 через замикаючі контакти контактора 201- К6; шин Г2 ЦРП 115/200 В до працюючого генератора Г2 через замикаючі контакти контактора 202- К4 шин Г2-1 до шин Г2 через замикаючі контакти контактора 202- К6. При цьому шини Г1 РП 115/200 В та з'єднані з ними замкнені контактами контактора 201- К9 аварійні шини 115/200 В замикаючими контактами контактора 201- К7 приєднують до шин Г1 ЦРП 115/200 В, шини Г2 РП 115/200 В замикаючими контактами контактора 202- К7 до шин Г2 ЦРП 115/200 В;

– приєднання шин Г1 ЦРП 115/200В відключеного генератора Г1 до шин Г2 працюючого генератора Г2 через замкнені контакти контакторів 201- К4 і 201- К3. Шини Г1-1 при цьому відключаються від шин Г1, шини Г2-1 – від шин Г2;

– приєднання шин Г2 відключеного генератора Г2 до шин Г1 працюючого генератора Г1 через замкнені контакти контакторів 202- К4 і 202- К3. Шини Г1-1 відключаються від шин Г1, шини Г2-1 – від шин Г2;

– приєднання шин Г1 ЦРП 115/200 В до працюючого генератора ДСУ через замикаючі контакти контактора 203- К2, замкнені контактори контактора 203- К3 контакти, що замикають, контактора 201- К3 і замкнені контакти контактора 201- К4 - якщо відключений генератор Г1; приєднання шин Г2 до генератора ДСУ через замикаючі контакти контакторів 203- К2, 202- К3 і замкнені контактори контактора 202- К4 - якщо відключений генератор Г2. Шини Г1-1 відключаються від шин Г1, шини Г2-1 – від шин Г2;

– приєднання шин Г1 ЦРП 115/200 В до аеродромного джерела через замикаючі контакти контакторів 203- К3, 201- К3 і замкнені контакти контактора 201- К4 - якщо відключений генератор Г1; приєднання шин Г2 до аеродромного джерела через замикаючі контакти контактора 203- К3, замкнені контакти контактора 203- К2 контакти, що замикають, контактора 202- К3 і замкнені контакти контактора 202- К4 - якщо відключений генератор Г2. Якщо працюють одночасно генератор ДСУ та аеродромне джерело, Г_{дсу} підключається на шини Г2, аеродромне джерело - на шини Г1. Шини Г1-1 у всіх цих випадках підключені до шин Г1, шини Г2-1 – до шин Г2;

– включення Птав замикаючими контактами контактора 201- К11 і підключення його на АВШ 115/200 В замикаючими контактами контактора 201- К9 при знеструмленні по різних причинах (відмова генераторів, обрив живлення й ін.) шин Г1 РП 115/200 В - якщо перемикач "ПС АВАР" установлений у положення "АВТ";

– підключення аеродромного джерела до випрямного пристрою ВП2 при заправленні паливом (без включення джерела на бормережі) через замикаючі контакти контакторів 302- К8 і 302- К14. До шини заправлення ВП2 підключається безпосередньо через автомат захисту.

Блоки керування й контролю, що працюють у комплекті із джерелами, забезпечують необхідний контроль справності каналів і - при позитивних результатах цього контролю – включення джерел у мережу.

У ланцюгах системи встановлені теплові біметалічні автомати захисту й плавкі вставки, що забезпечують розмикання ланцюгів при граничних струмових перевантаженнях і коротких замиканнях.

Система виконана трипровідною з використанням корпусу літака як нульового проведення, що дозволяє житись від цієї системи як трифазні споживачі напругою 200 В, так і однофазні напругою 115 або 200 В підключенням їх на фазне або лінійну напругу.

Силові шини, до яких підключаються споживачі електроенергії, встановлені:

- в ЦРП 115/200 В – шини Г1, Г1-1, Г2;
- в РП 115/200 В – шини Г1, Г2, Г2-1, АВШ 115/200 В (аварійні шини).

До складу системи входять:

- два привод-генератора ГП21 з генераторами ГТ30НЖЧ12;
- генератор 30030-140;
- перетворювач ПТС-800БМВ;
- два блоки регулювання, захисту й керування БРЗК115В-2з;
- блок регулювання, захисту й керування 2438-140;
- два блоки трансформаторів струму БТС30БТА;
- блок трансформаторів струму 20736-140;
- апарат АПП-1М-5;
- два апарати АПШ-3Р-2з;
- апарат АПШ-3М;
- блок контролю БКНА115В;
- трансформатор ТТА1-115-400;
- захисна, комутуюча й світлосигнальна апаратура.

1.3.1 Призначення й технічні характеристики агрегатів системи електропостачання змінного струму постійної частоти

Генератор ГТ30НЖЧ12 призначений для перетворення механічної енергії двигуна в електроенергію змінного трифазного струму напругою 115/200 В, стабілізованою частотою 400 Гц.

Генератор приводиться в обертання гідроприводом постійних обертів і утворює разом з ним єдиний агрегат - інтегральний привод-генератор ГП21. Генератор являє собою чотирьополосну синхронну безщіточну машину із

вбудованим збудником змінного струму й блоком обертових випрямлячів, призначених для живлення постійним струмом обмотки збудження генератора. Для забезпечення автономності генератора і його ланцюгів захисту й керування на одному валу з генератором і збудником розташований підзбудник із порушенням від постійного магніту. При обертанні ротора генератора постійний магніт підзбудника наводить у своїй нерухливій обмотці статора напруга частотою 800 Гц, яке через блок регулювання захисту й керування подається на обмотку порушенні збудника. Цим в обмотці якоря збудника наводиться напруга змінного струму, яке через блок обертових випрямлячів подається на обмотку збудження генератора. У трифазній нерухливій обмотці статора генератора наводиться основна напруга змінного трифазного струму. Корпус генератора стикується з корпусом привода й утворює із внутрішнім обсягом привода загальну порожнину. Генератор має тільки один підшипник з боку, протилежної приводу. Кінець його вала з боку привода опирається на підшипник, що входить у конструкцію привода. Для охолодження генератора й змащення підшипників в маслосистемі привод-генератора подається масло, що є робочою рідиною привода. Для охолодження лобових частин обмоток ротора й статора масло подається безпосередньо з порожнього вала генератора. На інші внутрішні елементи генератора для їхнього охолодження подається повітряно-масляно суміш.

Таблиця 1.2 Основні технічні дані генератора ГТ30НЖЧ12.

Номінальна потужність	30 кВа
Номінальна напруга	115/200 В
Число фаз	3
Частота	400 Гц

Блок БРЗК115ВО-2С призначений для підтримки напруги генератора ГТ30НЖЧ12 у заданих межах, захисту й керування каналом генератора

Блок виконує наступні функції:

1) керування:

а) включення (відключення) при порушенні генератора при наступних

умов:

- наявність сигналу включення вимикача генератора;
- частота перебуває в межах $(385 \pm 5 - 415 \pm 5)$ Гц;
- відсутність спрацьовування кожної із захистів;

б) включення (відключення) контактора навантаження генератора при виконанні (невиконанні) наступних умов:

- наявність порушення генератора;
- напруга генератора перебуває в межах $(111 \pm 3 - 126 \pm 3)$ В;
- позитивний результат самоконтролю;

2) захисту:

а) від короткого замикання в межах диференціального захисту без витримки часу;

б) від підвищення напруги більш (126 ± 3) В зі зворотно залежною вольт-секундною характеристикою наступними значеннями витримки часу:

- 132 В – 5-6 с;
- 140 В – 0,2-1,4 с;
- 150 В – 0,1-0,8 с;

в) від зниження напруги нижче (104 ± 3) В з витримкою часу $(6 \pm 0,9)$ з;

г) від відхилення частоти нижче (375 ± 5) Гц або вище (425 ± 5) Гц із витримкою часу $(6 \pm 0,9)$ с;

д) від сильного підвищення частоти (вище 465-480 Гц) без витримки часу;

е) від роботи при повністю відкритому регуляторі напруги й від нульової послідовності в напрузі генератора більш $(3 \pm 1,5)$ В с витримкою часу $(6 \pm 0,9)$ с;

є) від сильного зниження частоти (нижче 320-335 Гц) без витримки часу.

3) контролю:

- а) якості електроенергії;
- б) справності захисних систем блоку;
- в) справності регулятора напруги

Блок трансформаторів струму БТС 30БТА є датчиком диференціального захисту й призначений для захисту генератора ГТ30НЖЧ12 і його силових проводів від короткого замкнення.

В основу диференціального захисту кожного генератора покладений принцип компенсації напруг двох зустрічно включених трансформаторів, одним з яких є трансформатор струму, вбудований у генератор ГТ30НЖЧ12, іншим – блок БТТ30БТА, що полягає їх трьох трансформаторів струму, первинними обмотками яких є три силові проведення генератора, що проходять через спеціальні отвори в блоці. Вторинні обмотки підключені до БРЗК115В-2с.

При відсутності короткого замкнення в середині зони захисту по обмотках трансформаторів протікають рівні по величині струми фаз генератора й створювані трансформаторами однакові по величині й зустрічно спрямовані напруги взаємно компенсуються. При короткому замкненні в зоні диференціального захисту баланс напруг порушується й результуючу напругу надходить у БРЗК для відключення генератора. Блоки БТТ30БТА встановлені в ЦРП 115/200 В.

Генератор 30030-140 призначений для живлення споживачів електроенергії шляхом перетворення механічної енергії двигуна ДСУ в електроенергію змінного трифазного струму напругою 115/200 В частотою 400 Гц. Генератор являє собою чотиріполюсну трифазну синхронну безщіточну машину із вбудованими:

- генератором трьохфазного струму з порушенням від постійних магнітів;
- що задає генератором трифазного струму з обмоткою збудження, що харчується від ГМП;
- діодним випрямлячем;
- основним генератором трифазного струму, обмотка збудження якого живиться через діодний випрямляч;
- трансформатором струму диференціального захисту.

Трифазні обмотки, і з'єднані "зіркою". Постійні магніти, трифазна обмотка, діодний випрямляч, обмотка збудження розташовані на роторі, трифазна обмотка, обмотка збудження, трифазна обмотка, трансформатор струму - на статорі.

При обертанні ротора постійні магніти наводять в обмотці напруга змінного струму із частотою, пропорційної швидкості обертання ротора. Ця

напруга надходить у БРЗК 2438-140, випрямлюється, фільтрується, регулюється й видається на обмотку збудження. При цьому в трьохфазній обмотці наводиться напруга змінного струму, яке через діодний випрямляч подається на обмотку збудження.

Таблиця 1.3. Основні технічні дані генератора 30030-140

Номінальна потужність	40 кВа
Номінальна напруга	115/200 В
Число фаз	3
Частота	400 Гц

Блок 2438-140 призначений для підтримки напруги генератора 30030-140 в заданих межах, захисту й керування каналом генератора.

Блок забезпечує:

а) включення генератора на бортмережі, якщо виконані умови:

- вимикач генератора включений;
- напруга генератора перебуває в межах $(103,5 \pm 2 - 135 \pm 2)$ В;
- частота перевищує (320 ± 5) Гц;
- диференціальний захист справний;
- відсутній обрив фази;

б) відключення генератора від бортмережі й відключення порушення генератора при:

- напрузі кожної з фаз (135 ± 2) В – з витримкою часу 0,7-1,1 с; 210В – с витримкою часу 60 мс; $(103,5 \pm 2)$ В – з витримкою часу (6 ± 1) с;
- обриві фази – з витримкою часу до 3 з;
- несправних діодах – з витримкою часу 2-3 з;
- короткому замиканні в межах диференціального захисту – без витримки часу;

в) відключення генератора від борт сітки при частоті:

- (320 ± 5) Гц – з витримкою часу (6 ± 1) с;
- (310 ± 5) Гц – без витримки часу;

г) підтримка напруги генератора в межах 113,6 - 118,4 В.

Блок складається з наступних основних функціональних вузлів, розміщених у прямокутному корпусі:

- обслуговування;
- регулювання напруги;
- виявлення несправності;
- логіки;
- живлення.

Блок трансформаторів струму 20736-140 є датчиком диференціального захисту й призначений для захисту генератора 30030-140 і його силових проводів від коротких замкнень.

В основу диференціального захисту кожного генератора покладений принцип компенсації напруг двох зустрічно включених трансформаторів, одним з яких є блок 20736-140, іншим - трансформатор струму, вбудований у генератор 30030-140. Напруги в трансформаторах струму наводяться електромагнітним полем, створюваним змінним струмом силових проводів генератора, які проходять через спеціальні отвори в блоці 20736-14.

Трифазний статичний перетворювач ПТС-800БМВ, що перетворює постійний струм ,напругою 27 В змінною напругою 115/200 В, призначений для живлення аварійних шин 115/200 В, в деяких ситуаціях. Перетворювач встановлений під підлогою між шпангоутами № 7 і 8 по лівому борту.

Таблиця 1.4. Основні технічні дані

Вхідна напруга	27 В
Вихідна напруга (фазне)	115 В
Потужність	800 В·А

Апарат АПП-1М-5 призначений для автоматичного відключення перетворювача ПТС-800БМВ при виникненні наступних несправностей:

- обрив однієї, двох або трьох фаз живлення аварійних шин АВШ 115/200 В від перетворювача ПТС-800БМВ
- короткого замкнення ;

- підвищення напруги перетворювача ПТС-800БМВ вище заданого рівня;
- зниження напруги перетворювача ПТС-800БМВ нижче заданого рівня.

В апараті передбачений вбудований контроль, що імітує всередині нього перераховані вище несправності без створення ненормальних режимів у зовнішніх ланцюгах. Перемикач "КОНТРОЛЬ АПП", розташований на РП 115/200 В, забезпечує керування елементами апарата, що імітують ці несправності. Перемичка між клемми 1 і 2 на клемній колодці, розташованої на передній стінці апарата, відповідає витримці часу на спрацьовування 4 із при обриві фаз, короткім замиканні або зниженні напруги. Апарат установлений на стелі між шпангоутами № 11 і 12.

Таблиця 1.5. Основні технічні дані

Контрольована напруга (лінійне)	200 В
Напруга спрацьовування:	
- знижене	150-166 В
- підвищене	228-244 В
Витримка часу спрацьовування:	
- при підвищенні напруги до 250 В	0,2-1 с
- при обривах фаз, зниженні напруги до 166-150 В	4 с

Апарати перемикання АПШ-3Р-2с, АПШ-3М

Апарат АПШ-3Р-2с призначений для:

- підключення шин Г1 РП 115/200 В до однойменних шин ЦРП 115/200 В у нормальному режимі;
- перемикання шин Г1 РП 115/200 В на шини Г2 ЦРП 115/200 В при неприпустимій напрузі в контрольованих апаратом ланцюгах.

АПШ-3Р-2с у каналі правого борту комутирує шини Г2 РП 115/200 В аналогічно. Апарат АПШ-3М призначений для включення перетворювача ПТС-800БМВ і перемикання живлення аварійних шин АВШ 115/200 В з шин Г1 на живлення від цього перетворювача при неприпустимій напрузі в контрольованих апаратом ланцюгах.

Таблиця 1.6. Основні технічні дані

Лінійна напруга (контрольоване)	200 В
Час спрацьовування:	
- АПШ-3М	0,15-0,4 с
- АПШ-3Р-2	0,65-1 с

1.4 Призначення та технічні характеристики агрегатів системи електропостачання постійного струму

Система електропостачання постійним струмом призначена для централізованого електропостачання споживачів постійним струмом напругою 27В.

До складу системи входять:

- три випрямні пристрої F11RB4140
- три диференційно-мінімальні реле ДМР-200ВП;
- три трансформатори ТТА1-115-400;
- три акумуляторні батареї 20FP25Н1СТ-R;
- захисна, комутуюча й світлосигнальна апаратура.

Випрямний пристрій F11RB4140 призначене для електроживлення споживачів постійним струмом напругою 27 В. Конструктивно воно являє собою статичний перетворювач, у який входять понижувальний трансформатор, випрямний блок, блок фільтрації вихідної напруги, електронний пристрій контролю й керування, яке аналізує вхідне й вихідне напруги й видає сигнал дозволу на включення ВП, і вентилятора обдування. При вступі на вхід трифазного струму напругою 115/200 В аналізатор перевіряє його характеристики й включає вентилятор обдування. Після виходу вентилятора на режим підключається трансформаторно-випрямний пристрій. При досягненні напруги на виході рівня включення (24 В и вище) аналізатор включає ланцюг видачі розв'язного сигналу на підключення випрямного пристрою до бортової мережі. Сигнал видається у вигляді напруги +27 В и зберігається у всіх випадках до зняття керуючого сигналу на включення ВП, який надходить із літакової мережі від вимикача ВП. Таким чином,

забезпечується можливість відновлення ВП при випадкових збоях протягом часу, обумовленого затримкою реле часу в схемі відключення, яке спрацьовує через 2 секунди. Блок фільтрів забезпечує згладжування пульсацій вихідної напруги, що забезпечує висока якість електроживлення.

Таблиця 1.7. Основні технічні дані:

Номінальна потужність	6 кВт
Номінальна напруга В	від 27 до 29
Номінальний струм навантаження	200 А
Напруга без навантаження (XX) В	від 29 до 30

Диференційно-мінімальне реле ДМР-200ВУ призначене для:

- включення на бортмережі і відключення від неї випрямного пристрою;
- автоматичного відключення від бортмережі випрямного пристрою при протіканні через ДМР зворотного струму, викликаного несправністю випрямного пристрою або коротким замиканням силової проводки на ділянці від ВП до ДМР. У цьому випадку для повернення ДМР у вихідне положення(після усунення дефекту, що викликав несправність) необхідно подати 27 В на контакт "Г"(короткочасно, не більш 1 хв.).

Таблиця 1.8. Основні технічні дані:

Напруга живлення	24-30 В
Струм навантаження	200 А
Напруга спрацьовування:	
- на включення (при відсутності напруги в мережі)	24 В
- на включення (при наявності напруги в мережі не менш 24 В) 0,2-1В	
- на відключення	не більш 9,5 В
Струм (зворотний) при яким відбувається відключення ВП. . . .	15-60 А

Акумуляторна батарея 20FP25НІСТ-R є вторинним джерелом електроенергії постійного струму, у якій електрична енергія при заряді



перетворюється в хімічну, а хімічна енергія при розряді – в електричну. Умовна позначка акумуляторної батареї розшифровується в такий спосіб:

- **20** – кількість послідовно з'єднаних акумуляторів;
- **FP** – тип електродів акумулятора (спічної, плівковий);
- **25** – номінальна ємність в ампер-годинах (при годинному режимі розряду);
- **НІС**– тип акумулятора (безпека плюс надійність);
- **Т** – наявність термодатчика;
- **Р** – модифікація в контейнері виробництва СНД.

Основні технічні дані:

- ємність при годинному режимі розряду – **25 А·год**;
- напруга:
 - при холостому ході – **25,5 В**;
 - при навантаженні від 85 до 100 А – **23 В**;
- температура спрацьовування термодатчика – **(70 ± 2,8) °С**;
- маса – **24,5 кг**.

Акумуляторна батарея 20FP25НІСТ-Р складається з 20 послідовно з'єднаних акумуляторів (елементів) FP25НІС. Кожний акумулятор складається з позитивних (нікелевих) і негативних (кадмієвих) пластин, сепаратора, електроліту, посудини й клапана. Блок пластин, розділених сепараторами, поміщений у корпус, виготовлений з термостійкої пластмаси. У корпус залитий електроліт – розчин їдкого калію, який у реакції не бере участь, а тільки служить провідником струму між позитивними й негативними пластинами. Тому щільність електроліту критерієм ступені заряду акумулятора не є. Верхня кришка корпусу має три отвори: два – для силових виводів і одне – для клапана. Клапан забезпечує видалення газів, що утворюються в процесі роботи, при тиску $(0,35 \pm 0,2)$ кГс/см², а також запобігає витоків електроліту при еволюціях літака. На між елементному з'єднанні 10 і 11 акумуляторів установлений біметалічний термодатчик. Якщо в процесі роботи температура між елементного з'єднання досягне $(70 (2,8))$ °С, контакти термодатчика замкнуться і включать табло сигналізації про перегрів акумуляторної батареї. Батарею в

цьому випадку слід відключити від бортмережі. Табло згасне при зменшенні температури нижче (70 (2,8) °С. Батареї розташовані у відсіку, що перебуває в лівому обтічнику між 23 і 24 шпангоутами.

1.5 Засоби аеродромного електроживлення

Електрична розподільна мережа забезпечує підключення до літака аеродромного джерела змінного трифазного струму напругою 115/200 В частотою 400 Гц через роз'єднання аеродромного живлення 340з (РАЖ), встановлений зовні лівого обтічника між шпангоутами № 29-30, у спеціальному поглибленні, закритому кришкою. Аеродромне джерело має наступні особливості підключення на бортмережі:

1) Аеродромне джерело підключається на всю борт сітку змінного струму при відключених основних генераторах і генераторі ДСУ.

2) При працюючому одному з основних генераторів аеродромне джерело підключається на той борт, де немає працюючого генератора.

3) При включенні обох основних генераторів аеродромне джерело автоматично відключається від усіх шин і переводиться в резерв на випадок відключення одного або обох генераторів.

4) При включенні генератора ДСУ аеродромне джерело автоматично відключається від шин правого борту (шин Г2), куди підключається генератор ДСУ, і залишається підключеним до шин лівого борту (шинам Г1).

5) Передбачене включення аеродромного джерела тільки для живлення ВП2, яке, у свою чергу, підключається тільки на шину заправлення паливом.

Блок контролю наземних джерел БКНА115В

БКНА115В призначений для запобігання підключення на бортмережі аеродромного джерела змінного струму з неприпустимою якістю електроенергії, а також для відключення цього джерела, якщо в процесі роботи якість енергії вийшла за припустимі межі. Блок виконаний на елементах радіоелектроніки. На передній панелі блоку є ручка для зручності установки й перенесення блоку, упори для закріплення його на монтажній рамі, вивід металізації, технологічне електричне рознімання. На задній панелі розташоване

електричне рознімання для стикування з бортмережою та дві втулки, що служать для фіксації блоку на монтажній рамі РМ-БКНА115В, яка встановлена на амортизаторах під підлогою між шпангоутами № 27-29 ліворуч, на етажерці.

Основні дані

Блок забезпечує наступні види захистів бортмережі:

- від підключення джерела з напругою в кожній з фаз нижче 108-114 В и від зниження напруги в кожній з фаз до 101-107 В с витримкою часу $(6,0 \pm 0,9)$ с;
- від підключення джерела з напругою в кожній з фаз вище 123-129 В та від підвищення напруги в кожній з фаз більш ніж на 123-129 В с зворотньою залежною вольт-секундною характеристикою;
- від підключення до джерела змінного струму частотою нижче (385 ± 5) Гц і від зниження частоти до (375 ± 5) Гц із витримкою часу $(6,0 \pm 0,9)$ з, а до 335-320 Гц - без витримки часу;
- від підключення до джерела змінного струму частотою вище (415 ± 5) Гц і від підвищення частоти до (425 ± 5) Гц із витримкою часу $(6,0 \pm 0,9)$ з, до 465-480 Гц - без витримки часу;
- від обривів фідера й нульового проведення;
- від підключення джерела з неправильним чергуванням фаз.

Усі види захистів, забезпечених блоком, необоротні. Повторне підключення аеродромного джерела забезпечується відключенням і включенням кнопки-табло "АЕР 115 В".

Система розподілу електроенергії

Система здійснює розподіл електроенергії на літаку й, будучи сполучної між джерелами й споживачами електроенергії, виконує наступні функції:

- передачу електроенергії від джерел до розподільних пристроїв і далі – до споживачів електроенергії, забезпечуючи на клеммах споживачів задані параметри електропостачання;
- захист електричних проводів від струмів короткого замикання;
- необхідне резервування електроживлення шин розподільних пристроїв при відмовах джерел електроенергії або інших елементів системи.

До складу системи входять:



- електричні проведення, що забезпечують передачу електроенергії від джерел до споживачів;
- апарати захисту джерел і проводів від струмів перевантаження й коротких замикань;
- комутаційна апаратура, що забезпечує підключення джерел електроенергії до шин розподільних пристроїв;
- розподільні пристрої, призначені для приймання й розподілу електроенергії;
- елементи, що забезпечують монтаж системи.

Розподільні пристрої

Центральні розподільні пристрої (ЦРП) і розподільні пристрої (РП) виконані у вигляді коробок прямокутної форми, усередині яких розміщені елементи системи розподілу електроенергії: реле, контактори, запобіжники, автомати захисту, шини, клемні колодки, діоди, електропроводи. Автомати захисту розташовані як на підставі коробок, так і на їхніх нерухливих стінках або на поворотних кришках, виконаних у вигляді панелей. Кришки коробок, вільні від елементів системи розподілу, виконані знімними. Знімні кришки й поворотні панелі кріпляться до коробок за допомогою поворотних замків. Всі встановлені в коробках елементи системи постачені написами, відповідними до позицій на принципових схемах і схемах електричних з'єднань. Електричний зв'язок коробок з електричною мережею здійснюється через електричні з'єднувачі або через шпильки силових уведень. Внутрішні ділянки силової електропроводки коробка, до кожного з яких підключена група апаратів захисту, умовно становлять силові шини розподільної мережі. Ці шини утворюють дві групи:

- основні шини, які забезпечуються живленням від основних джерел електроенергії;
- аварійні шини, які в нормальному режимі забезпечуються живленням від основних джерел електроенергії, а в аварійному – від аварійних.

1.6 Функціональне призначення органів управління, контролю й сигналізації системи електропостачання та їх розміщення на приладових дошках і щитках пультів управління

До органів керування, контролю й сигналізації СЕП літака відносяться різні вимикачі, кнопки, перемикачі, сигнальні табло, вимірювальні прилади і т.д., які розміщуються на приладових дошках і щитках пультів керування, як у кабіні літака, так і поза кабіною

На рис. 1.3 показаний план загального виду кабіни літака, на якому виділені щитки пультів керування та табло приладових дощок з органами керування, контролю й сигналізації СЕП літака.

Контроль СЕП здійснюється:

- системою керування загальнолітаковим обладнанням(СУОСО);
- комплексною системою електронної індикації й сигналізації (КСЕИС);
- бортовою системою технічного обслуговування (БСТО);
- бортовим пристроєм реєстрації (БУР).



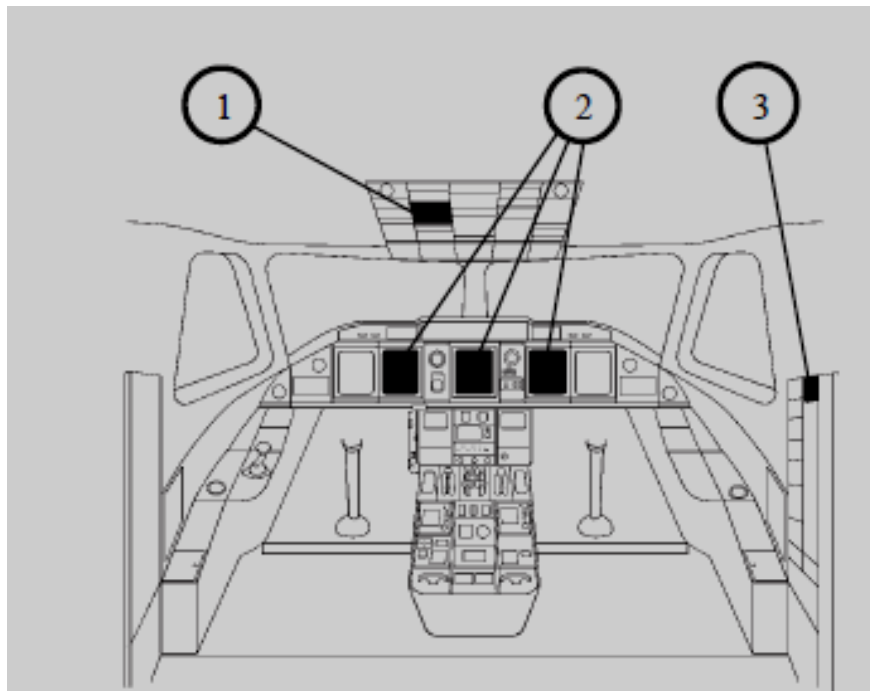


Рис.1.3

1.7. Обґрунтування необхідності вдосконалення існуючої СЕП

Система електропостачання літака АН-148, являється типовим представником змішаної системи електропостачання, яка складається з каналів генерування постійного та змінного струму. Тому їй притаманні суттєві недоліки.

На літаку АН -148 в якості привода постійної частоти обертання генератора ГТ-30НЖЧ12 встановлюється гідромеханічний привод ГП-21, який знаходиться разом в одному корпусі з генератором і має назву інтегрований привод-генератор.

Основними елементами гідромеханічного приводу є гідронасос, приведений в рух від авіадвигуна і гідродвигун, пов'язаний з приведеним генератором. Стабілізація частоти обертання валу синхронного генератора при частоті обертання авіадвигуна, що змінюється, здійснюється за рахунок зміни продуктивності гідронасоса. При цьому гідронасос і гідродвигун утворюють гідравлічну передачу, в якій механічна енергія, що підводиться до ротора гідронасоса, перетворюється в гідравлічну, а потім гідравлічна енергія перетворюється гідродвигуном в механічну енергію обертання ротора гідродвигуна і приведенного генератора.

У гідравлічній передачі гідромашини пов'язані між собою магістраллю високого і низького тиску.

Механізм відключення дозволяє від'єднувати привід від авіадвигуна при виникненні аварійних ситуацій: надмірного збільшення частоти обертання вихідного валу приводу і тиску масла нижче за допустимий рівень.

Залежно від частоти обертання валу авіадвигуна привід може працювати в режимах:

- докручування (допомагає авіадвигуну підтримувати номінальну частоту обертання генератора),
- номінальному (режим прямої передачі)
- реверсу.

До загальних недоліків гідравлічних ППЧО відносять складність конструкції, що містить велике число деталей, що труться, і вузлів, працюючих при високій механічній напрузі і вимагаючи високої точності при виготовленні, жорсткі вимоги до герметичності системи. Для забезпечення робочого діапазону температур гідросуміші 150 - 350 ° С використовують спеціальні агресивні рідини, що ускладнює процес експлуатації.

Гідромеханічним приводам, крім загальних недоліків, притаманний ряд інших недоліків, а саме:

- інтегрований привод-генератор (ГП-21+ГТ-30НЖЧ12Л) складається з гідравлічних і електричних частин, елементів механічної та масляної систем, що робить агрегат великої конструктивної складності, високої вартості і недостатньої надійності роботи;

- виробництво механічної частини ИПГ вимагає високої міри точності обробки складових частин привода і високої кваліфікації працівників які виготовляють ці частини;

- масло, яке забезпечує роботу привода, проходячи через ИПГ піниться, в нього потрапляє стружка, воно вимагає охолодження і фільтрації. У зв'язку з цим в гідроприводі ГП-21 потрібна система фільтрації і охолодження масла;

- в трубопроводах гідропривода ГП-21 можлива поява тріщин, руйнувань, заломів і зім'яття труб;

- в місцях герметизації гідропривода можливе протікання назовні масла з трубопроводів, в з'єднаннях трубопроводів між собою або агрегатами;
- токсичність масла впливає на обслуговуючий персонал, а також на навколишнє середовище;
- механічні характеристики гідроприводу (залежність частоти обертання гідродвигуна від навантаження на валу гідродвигуна) мають дуже малий кут нахилу, тобто являються дуже жорсткими, тому важко забезпечити високу чутливість надійність підтримання постійної частоти обертання генератора при змінах навантаження та обертів авіадвигуна;
- особливістю роботи гідромеханічного привода є те, що в випадку його відмови в польоті або на землі повернення привода в зачеплення з двигуном літака можливе тільки на землі.

Досвід експлуатації ГП-21 на літаках цивільної авіації показав, що при початковій вартості ГП-21 приблизно 86% вартості усіх агрегатів системи генерування на його ремонт надалі доводилося 80% витрат часу і засобів, що йдуть на обслуговування усієї системи електропостачання.

Виконаний аналіз системи електропостачання літака, а в першу чергу СЕП змінного струму постійної частоти дозволяє зробити висновки про необхідність вдосконалення існуючої системи електропостачання на даному літаку. В якості первинної системи електропостачання на літаку АН-148 пропонується залишити СЕП змінного струму постійної частоти, але в якості привода постійної частоти обертання синхронного генератора ГТ-30НЖЧ12Л використати більш простий і однорідний з конструкції, більш дешевший, надійний, зручний і безпечний в експлуатації електромеханічний привод постійної частоти обертання .

В якості такого приводу в системі електропостачання літака АН-148 пропонується використовувати електромеханічний привод, який складається з електромагнітної муфти ковзання (ЕМК), збудженої змінним струмом та асинхронного перетворювача частоти і напруги (АП). Каскадне з'єднання АП і ЕМК виконує роль приводу постійної частоти обертання (ППЧО) синхронного генератора.

Дослідження показало, що ЕМК і АП забезпечують точність стабілізації частоти обертання СГ, при частоті обертання АД, що змінюється в широких межах:

- у встановленому режимі $\pm 2\% f_n$;
- у перехідному режимі $\pm 8\% f_n$.

ППЧО і генератор виконуються в одному корпусі, утворюючи єдиний привод-генераторний агрегат (ПГА).

РОЗДІЛ 2

Розробка принципової електричної схеми, принцип дії та розрахунок основних параметрів ПГА

2.1. Принципова схема привод-генераторного агрегату

Принципова електрична схема привод-генераторного агрегату (ПГА) змінного струму постійної частоти з приводом від АД представлена на рис.2.1. На цьому ж рисунку управління (САУ), схема системи автоматичного управління роботою ПГА при широкій зміні частоти обертання авіадвигуна $n_{ад}$. В склад ПГА входять:

СГ – безконтактний трьохфазний синхронний генератор, що приводиться з постійною частотою обертання $n_{сг}$;

ЕМК – електромагнітна муфта ковзання, що збуджується змінним струмом;

АП – асинхронний перетворювач частоти та напруги, що живить трьохфазну обмотку ведучого ротора ЕМК;

ЕСУУ – електрична схема управління та підсилення, що забезпечує перемикання ЕМК та АП з одного ступеня на інший, в залежності від частоти обертання АД;

ВЧ – вимірювач частоти синхронного генератора (резонансний контур);

БТТ – блок трансформаторів струму, що видає сигнал, пропорційний величині струму навантаження СГ;

РН – регулятор напруги системи стабілізації частоти СГ;

Тр – трьохфазний трансформатор системи стабілізації частоти СГ;

ВП 1 – випрямний прилад в системі автоматичного управління роботою ПГА;

ВП 2, ВП 3 – випрямні прилади системи стабілізації частоти СГ;

К 1 – реле в ланцюзі живлення обмотки електромагнітного чи

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

тиристорного перемикача К 2, що обертається та змінює послідовність чергування фаз ЕМК;

К 3 – реле в ланцюзі живлення обмотки електромагнітного чи тиристорного перемикача К 4, що обертається та змінює послідовність чергування фаз АП;

К 5 – реле в ланцюзі живлення перемикача К 6, що змінює послідовність напруги живлення обмотки збудження АП зі змінної трьохфазної на постійну та назад, в залежності від робочого ступеня ПГА;

С – пускова кнопка;

ТГ – тахогенератор на вхідному валу АП.

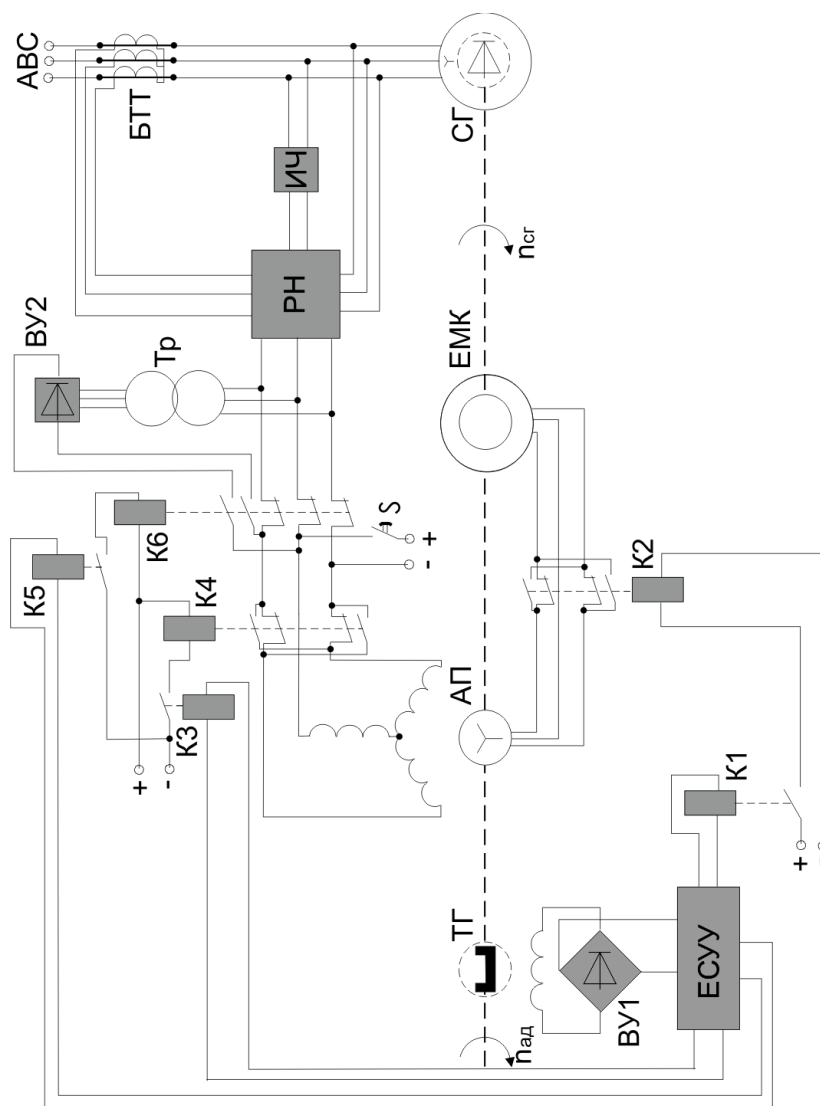


Рис.2.1. Принципова електрична схема привод-генераторного агрегату (ПГА)

Стабілізація частоти обертання синхронного генератора $n_{ср}$, при частоті обертання авіадвигуна $n_{ад}$, що широко змінюється, в ПГА досягається:

1. Ступінчастою зміною частоти і напруги, що підводиться до ЕМК, за допомогою перемикачів контакторів К 4 та К 6.
2. Зміною напрямку обертання електромагнітного поля ЕМК, за допомогою перемикачів фаз ЕМК К 2, що обертаються.
3. Плавного зміну ковзання веденого ротору ЕМК відносно магнітного потоку, що обертається, її ведучого ротору шляхом автоматичного регулювання напруги за допомогою РН.

Завдяки ступінчатій зміні частоти та напруги, що підводиться до ЕМК від роторної обмотки АП, а також зміні напрямку оберту магнітного потоку ЕМК частота ковзання її ведучого ротору відносно магнітного потоку, який обертається, при широкому діапазоні зміни частоти оберту АД виходить на всіх ступенях відносно невеликою. Це суттєво обмежує втрати ковзання, підвищує ККД та забезпечує виконання завдання охолодження ЕМК.

ПГА, який складається з АП, ЕМК та СГ, може мати шість робочих ступенів і забезпечує стабілізацію частоти струму СГ при зміні частоти обертання приводу (без застосування перемикаючого редуктора) у діапазоні 5 : 1. Запуск ПГА здійснюється короткочасним натисненням на кнопку S. При цьому напруга постійного струму поступає на обмотку збудження АП, створюючи нерухоме магнітне поле, яке наводить ЕРС у обмотці ротора АП, яка обертається, що викликає появу струмів у трьохфазній обмотці ЕМК. Трьохфазні струми, протікаючи у обмотці ЕМК, створюють обертове магнітне поле, яке захоплює за собою ведений ротор ЕМК, з'єднаний з ротором СГ. При певній частоті обертання ротора, СГ самозбуджується, і на його виході з'являється напруга і починається робота системи стабілізації частоти.

2.2. Розрахунок параметрів ПГА

Авіадвигун має діапазон зміни частоти обертання який дорівнює 3,12. В залежності від режиму роботи частота обертання вала АД змінюється наступним чином:

Таблиця 2.1.

Режим роботи	Земний малий газ	Крейсерський режим	Номинальний режим	Злітний режим
Частота обертання (об/хв.)	2920	3717	4248	5310
Час роботи (хв.)	необмежено	необмежено	необмежено	не більше 5 хвилин

Як вище доведено, що параметри привод-генераторного агрегату суттєвим чином залежать від відношення чисел пар полюсів АП і ЕМК, а це у свою чергу визначається величиною діапазону зміни частоти обертання та особливостей роботи АД.

На основі попередніх розрахунків, а також з урахуванням особливостей роботи авіадвигуна, встановлено, що найбільш прийнятним відношенням чисел пар полюсів АП і ЕМК, являється відношення $P_{АП} : P_{ЕМК} = 1 : 10$. Для обраного значення $P_{АП}$ і $P_{ЕМК}$ виконаємо розрахунок частотних співвідношень ПГА для всіх шести ступіней.

На першій ступіні АП збуджується змінним струмом постійної частоти $f_{сг}$, причому електромагнітне поле статора обертається навпроти напрямку обертання ротора АП. Тобто на першій ступіні АП працює у режимі електромагнітного гальма, перетворюючи частину напруги, що підводиться до ЕМК.

Частота обертання поля статора АП:

$$n_{п.ап} = (60 \cdot f_{сг}) / P_{АП} = (60 \cdot 400) / 1 = 24000 \text{ об/хв.},$$

Мінімальна частота обертання АД на першій ступені при якій забезпечується мінімальна частота обертання СГ ($n_{сг}$):

$$n_{АД.МІН.} = n_{АД.ІМІН.} = \frac{n_{сг} - \left[n_{п.ап} \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right] + n_{кМ}}{1 + \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}} = 8955 \text{ об./хв.}$$

$$n_{AD1-2} = n_{AD1 \max} = n_{AD2 \min} \frac{n_{cr} + n_{Kmin} - n_{пап} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right)}{1 - \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}} = 10944 \text{ об/хв}$$

$$f_{2ап1} = f_{cr} \cdot S_{ап1} = 400 \cdot 1,37 = 548 \text{ Гц}$$

$$S_{АП1} = \frac{n_{п.АП} + n_{AD.1AD.MIH.}}{n_{п.АП}} = 1,37 - \text{ковзання АП на початку першої ступіні.}$$

Частота обертання електромагнітного поля відносно нерухомого простору (в ЕМК):

$$n_{п.abc1} = n_{AD1min} + n_{п.відн1} = 8955 + 3288 = 12243 \text{ об/хв.}$$

$$\text{де, } n_{п.відн1} = (60 \cdot f_{2АП1}) / P_{ЕМК} = (60 \cdot 548) / 10 = 3288 \text{ об/хв.}$$

Частота ковзання і ковзання веденого ротора ЕМК відносно електромагнітного поля, що обертається, муфти на початку першої ступіні визначається за формулою:

$$n_{к1} = n_{п.abc1} - n_{cr} = 12243 - 12000 = 243 \text{ об/хв.}$$

$$S_1 = (n_{п.abc1} - n_{cr}) / n_{п.abc1} = (12243 - 12000) / 12243 = 0.01$$

Якщо $n_{п.ап} > n_{AD1}$ то при досягненні частоти обертання АД значення:

$$n_{AD1-2} = n_{AD1 \max} = n_{AD2 \min} \frac{n_{cr} + n_{Kmin} - n_{пап} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right)}{1 - \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}} = 10944 \text{ об/хв}$$

ЕСУП видає сигнал на спрацювання реле К3 і контактора К4, яке змінює порядок слідування фаз обмотки статора АП. Електромагнітне поле АП змінює напрямок свого обертання на протилежний і обертається згідно з ротором АП, тобто АП працює одночасно у режимі асинхронного двигуна і перетворювача частоти. Оскільки при зміні чередування фаз статорної обмотки АП відбувається зміна чередування фаз і роторної обмотки АП, то для синхронізації попередньої частоти обертання електромагнітного поля ЕМК одночасно з контактором К4 спрацьовує і перемикач фаз ЕМК К2. ПГА переходить на другу ступінь роботи. Раніше ніж розглянути співвідношення ПГА на другій ступіні його роботи, визначимо частотні співвідношення наприкінці першої ступені:

$$(f_{2АП1})^x = f_{cr} \cdot (S_{АП1})^x = 400 \cdot 1,4 = 560$$

$$(S_{АП1})^x = \frac{n_{ПАП} + n_{АД1 \max}}{n_{ПАП}} = \frac{24000 + 10944}{24000} = 1,4$$

$(S_{АП1})^x$ – ковзання АП наприкінці першої ступіні.

$$(n_{п.абс1})^x = n_{АД1 \max} + (n_{п.відн1})^x = 10944 + 3388 = 14332 \text{ об/хв.}$$

$$(n_{п.відн1})^x = (60 \cdot (f_{2АП1})^x) / P_{ЕМК} = (60 \cdot 560) / 10 = 3360 \text{ об/хв.}$$

$$(n_{к1})^x = (n_{п.абс1})^x - n_{ср} = 14332 - 12000 = 2332 \text{ об/хв.}$$

Ковзання наприкінці першої ступіні $(S_1)^x$ визначаємо по формулі:

$$(S_1)^x = S_{1 \max} = ((n_{п.абс1})^x - n_{ср}) / (n_{п.абс1})^x = (14332 - 12000) / 14332 = 0,16$$

Частота струму ротора АП і ЕМК на другій ступіні:

$$(f_{2АП2})^x = f_{сг} \cdot (S_{АП2})^x = 400 \cdot 0,54 = 216$$

$$(S_{АП2})^x = \frac{n_{ПАП} - n_{АД2 \min}}{n_{ПАП}} = \frac{24000 - 10944}{24000} = 0,54$$

Оскільки напрям обертання електромагнітного поля ЕМК, залишилось колишнім, то:

$$n_{п.абс2} = n_{АД2 \min} (1 - (P_{АП} / P_{ЕМК})) + n_{ПАП} (P_{АП} / P_{ЕМК}) = 12249 \text{ об/хв.}$$

$$n_{п.відн2} = 60 \cdot (f_{сг} / P_{ЕМК}) - n_{АД2 \min} (P_{АП} / P_{ЕМК}) = 1306 \text{ об/хв.}$$

Ковзання на початку другої ступіні дорівнює:

$$S_2 = 1 - \frac{n_{ср}}{n_{АД2 \min} \cdot \left(1 - \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right) + n_{ПАП} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right)} = 0,03$$

При збільшенні частоти обертання АД до $n_{2-3} = n_{АД2 \max}$ контактор К6 перемикає статорну обмотку АП на живлення випрямленим струмом з виходу ВУ2, а К2 одночасно змінює чергування фаз ЕМК, з метою збереження попереднього напрямку обертання електромагнітного поля муфти відносно її ведучого ротора. На другій і третій ступінях, як і на першій ЕМК працює у режимі асинхронного двигуна і муфти ковзання. При спрацюванні К6 АП переводиться з режиму асинхронного двигуна у режим синхронного генератора.

Перемикування ПГА з другої ступіні на третю відбувається при:

$$n_{АД2-3} = n_{АД2 \max} = n_{АД3 \min} \frac{n_{ср} + n_{К \min}}{1 + \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}} = 11136 \text{ об/хв}$$

Визначимо частотні співвідношення ПГА наприкінці другої ступіні:

$$(f_{2АП2})^x = f_{сг} \cdot (S_{АП2})^x = 400 \cdot 0,5 = 200$$

$$(S_{АП2})^x = \frac{n_{ПАП} - n_{АД2 \max}}{n_{ПАП}} = \frac{24000 - 11136}{24000} = 0,5$$

$$(n_{п.абс2})^x = n_{АД2 \max} (1 - (P_{АП}/P_{ЕМК}) + n_{п.АП} (P_{АП}/P_{ЕМК})) = 12242 \text{ об/хв}$$

$$(n_{п.відн2})^x = 60 \cdot (f_{сг}/P_{ЕМК}) - n_{АД2 \max} (P_{АП}/P_{ЕМК}) = 1287 \text{ об/хв.}$$

$$(S_2)^x = 1 - \frac{n_{сг}}{n_{АД2 \max} \cdot \left(1 - \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right) + n_{ПАП} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right)} = 0,03$$

$$(n_{к2})^x = (n_{п.абс2})^x - n_{сг} = 12422 - 12000 = 422 \text{ об/хв.}$$

Оскільки на третій ступіні АП збуджується випрямленим струмом, і електромагнітне поле ЕМК обертається згідно з її ведучим ротором, то:

$$f_{2ап3} = n_{АД3 \min} (P_{АП}/60) = 11136 \cdot (1/60) = 185 \text{ Гц}$$

$$n_{п.абс3} = n_{АД3 \min} (1 + (P_{АП}/P_{ЕМК})) = 11136 \cdot 1,125 = 12249 \text{ об/хв.}$$

$$n_{п.відн3} = n_{АД3 \min} (P_{АП}/P_{ЕМК}) = 11136 \cdot (1/10) = 1113 \text{ об/хв.}$$

$$S_3 = 1 - \frac{n_{сг}}{n_{АД3 \min} \cdot \left(1 + \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right)} = 0,03$$

Перемикання ПГА з третьої ступіні на четверту відбувається у результаті спрацювання перемикача фаз ЕМК К2 при:

$$n_{АД3-4} = n_{АД3 \max} = n_{АД4 \min} \frac{n_{сг} + n_{к \min}}{1 - \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}} = 13611 \text{ об/хв}$$

Визначимо частотні співвідношення ПГА наприкінці третьої ступіні:

$$(f_{2АП3})^x = n_{АД3 \max} \cdot \frac{P_{АП}}{60} = 226$$

$$(n_{п.абс3})^x = n_{АД3 \max} (1 + (P_{АП}/P_{ЕМК})) = 14972 \text{ об/хв.}$$

$$(S_3)^x = 1 - \frac{n_{сг}}{n_{АД3 \min} \cdot \left(1 + \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right)} = 0,2$$

При підвищенні частоти обертання АД до:

$$n_{AD3-4} = \frac{n_{сг} + n_{кmin} + n_{пап} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right)}{1 + \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}} = 13611 \text{ об/хв}$$

Спрацьовує К6 і ПГА перемикається на п'яту ступінь роботи. Закінчення четвертої ступіні роботи ПГА характеризується наступними значеннями частотних характеристик:

$$(f_{2АП3})^x = n_{AD3MAX} \cdot \frac{P_{АП}}{60} = 13611 \cdot \frac{1}{60} = 226 \text{ Гц}$$

$$(n_{п.абс3})^x = n_{AD3max} (1 + (P_{АП}/P_{ЕМК})) = 14972 \text{ об/хв.}$$

$$(S_3)^x = 1 - \frac{n_{сг}}{n_{AD3max} \cdot \left(1 + \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right) - n_{пап} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right)} = 0.20$$

$$(n_{к3})^x = (n_{п.абс3})^x - n_{сг} = 14972 - 12000 = 2972 \text{ об/хв.}$$

З початком четвертої ступені роботи ПГА статорна обмотка АП знов підключається до регулятора напруги з таким порядком чергування фаз, що електромагнітне поле статора обертається згідно з ротором АП (як на другій ступені). Тому:

$$f_{2АП4} = f_{сг} - n_{AD4MIN} \cdot \frac{P_{АП}}{60} = 400 - 16277 \cdot \frac{1}{60} = 129 \text{ Гц}$$

$$n_{п.відн4} = 60 \cdot (f_{сг}/P_{ЕМК}) - n_{AD4MIN} \cdot (P_{АП}/P_{ЕМК}) = 60 \cdot (400/10) - 16277 \cdot (1/10) = 1371 \text{ об/хв.}$$

Оскільки на четвертій ступені поле ведучого ротора ЕМК обертається назустріч ведучому ротору, то:

$$S_4 = 1 - \frac{n_{сг}}{n_{AD4min} \cdot \left(1 + \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right) - n_{пап} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right)} = 0.23$$

Якщо частота обертання АД, n_{AD} , досягає значення:

$$n_{AD4-5} = n_{AD4MAX} = n_{AD5MAX} = \frac{n_{сг} + n_{кmin} + n_{п.АП} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right)}{1 - \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}} = 16277 \text{ об./хв.}$$

то відбувається відпускання реле К3 і перемикання контактора К4, що призводить до зміни чергування фаз статорної обмотки АП (воно стає таким, як на першій ступені) і ПГА переходить на п'яту ступінь роботи.

Значення частотних співвідношень наприкінці четвертої ступені:

$$(f_{2АП4})^x = f_{СГ} - n_{АД,4МАКС} \cdot \frac{P_{АП}}{60} = 400 - 16277 \cdot \frac{1}{60} = 129 \text{ Гц}$$

$$(n_{п.відн4})^x = 60 \cdot (f_{СГ}/P_{ЕМК}) - n_{АД4макс}(P_{АП}/P_{ЕМК}) = 773 \text{ об/хв.}$$

$$(n_{п.абс4})^x = n_{АД4макс} - (n_{п.відн4})^x = 16277 - 773 = 15504 \text{ об/хв.}$$

$$(S_4)^x = 1 - \frac{n_{СГ}}{n_{АД,4МАКС} \cdot \left(1 + \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right) - n_{п.АП} \cdot \frac{P_{АП}}{P_{ЭМС}}} = 1 - \frac{12000}{11504} = 0,23$$

Оскільки на п'ятій ступені роботи ПГА електромагнітне поле АП обертається назустріч ведучому ротору, то для початку п'ятої ступені частотні співвідношення визначаються наступним чином:

$$f_{2АП5} = f_{СГ} + n_{АД,5МІН} \cdot \frac{P_{АП}}{60} = 400 + 16277 \cdot \frac{1}{60} = 671 \text{ Гц}$$

$$n_{п.відн5} = 60 \cdot (f_{СГ}/P_{ЕМК}) + n_{АД5 \text{ мін.}}(P_{АП}/P_{ЕМК}) = 60 \cdot (400/10) + 16277 \cdot (1/10) = 4027 \text{ об/хв.}$$

$$n_{п.абс5} = n_{АД5 \text{ мін.}} (1 - (P_{АП}/P_{ЕМК}) - n_{п.АП}(P_{АП}/P_{ЕМК})) = 16277 \cdot 0,9 - 2400 = 12249 \text{ об/хв.}$$

$$S_5 = 1 - \frac{n_{СГ}}{n_{АД,5} \cdot \left(1 - \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right) - n_{п.АП} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right)} = 1 - \frac{12000}{12249} = 0,03$$

Якщо максимальне значення частоти обертання АД на п'ятій ступені прийняти рівним 18000 об/хв., то:

$$(f_{2АП5})^x = f_{СГ} + n_{АД5 \text{ макс.}} \cdot \frac{P_{АП}}{60} = 700$$

$$(n_{п.відн5})^x = 60 \cdot (f_{СГ}/P_{ЕМК}) + n_{АД6 \text{ макс.}}(P_{АП}/P_{ЕМК}) = 60 \cdot (400/10) + 16000(1/10) = 4200 \text{ об/хв.}$$

$$(n_{п.абс5})^x = n_{АД6 \text{ макс.}} (1 - (P_{АП}/P_{ЕМК}) - n_{п.АП}(P_{АП}/P_{ЕМК})) = 16000 \cdot 0,9 - 2400 = 13800 \text{ об/хв.}$$

$$(n_{к5})^x = n_{АД6 \text{ макс.}} - n_{СГ} = 13800 - 12000 = 1800 \text{ об/хв.}$$

$$(S_6)^x = 1 - \frac{n_{СГ}}{n_{АД,5МАКС} \cdot \left(1 - \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right) - n_{п.АП} \cdot \left(\frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}}\right)} = 1 - \frac{12000}{12249} = 0,03$$

Стабілізація частоти обертання СГ ($n_{СГ}$) на кожній ступені роботи ПГА при збільшенні $n_{АД}$ забезпечується за рахунок збільшення ковзання від $n_{кmin}$ до

$(n_{ki})^x$, де i - номер ступіні. У випадку пониження частоти обертання АД від $n_{АДбmax}$ до $n_{АД1min}$ розглянута вище черговість спрацювання контакторів і обертаючого перемикача відбувається у зворотній послідовності, що призводить до почергового переходу агрегату з шостої на п'яту, з п'ятої на четверту, і т.д. аж до першої ступіні. Основні енергетичні співвідношення на всіх ступінях роботи ПГА розглянемо для випадку постійного навантаження СГ. При цьому момент на валу СГ:

$$M_{СГ} = \frac{S_{СГ} \cdot \cos(\varphi_{СГ})}{n_{СГ} \cdot \omega_{СГ}} = \frac{30000 \cdot 0.8}{0.85 \cdot 1257} = 22 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де, $S_{СГ}$, $\cos(\varphi_{СГ})$, $\eta_{СГ}$ – повна електрична потужність, коефіцієнт потужності та ККД СГ, відповідно.

$$\omega_{СГ} = \frac{n_{СГ}}{9.55} = 1257$$

$\omega_{СГ}$ – кутова частота обертання СГ (рад/с).

Момент на веденому валу ЕМК, у встановленому режимі роботи дорівнює моменту навантаження СГ, тобто $M_{ЕМК} = M_{СГ} = M$. На першій ступіні роботи ПГА до АП, який працює в режимі електромагнітного гальма та перетворювача частоти, підводиться, як електрична так і механічна потужності.

Механічна потужність, що підводиться до ротора АП від АД, $P_{2АП1мех}$, перетворюється у електричну (як у генераторі) $P_{2АП1ел}$ і передається у обмотку ведучого ротора ЕМК.

$$P_{2АП1ел} = P_{2АП1мех} \cdot \eta_{АП} = M_{АП1} \cdot \omega_{АД1min} \cdot \eta_{АП} = 6659 \cdot 0,9 = 5993 \text{ Вт}$$

$$M_{АП} = \frac{M \cdot \omega_{ВІД1} \cdot f_{СГ}}{\omega_{ПАП} \cdot \eta_{АП} \cdot \eta_{ЕМК} \cdot f_{2АП1}} = \frac{22 \cdot 344 \cdot 400}{2513 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 560} = 2,65 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_{АД1min} = \frac{n_{АД1min}}{9.55} = \frac{8955}{9.55} = 937.7$$

$$\omega_{ПВІД1} = \frac{n_{ПВІД1}}{9.55} = \frac{3288}{9.55} = 344$$

$$\omega_{ПАП} = \frac{n_{ПАП}}{9.55} = \frac{24000}{9.55} = 2513$$

$\eta_{АП} = \eta_{ЕМК} = 0,9$ – ККД АП та ЕМК.

Електрична потужність, яка підводиться до статора АП від приводи мого СГ $P_{1АП\text{ел}}$, також перетворюється у АП (передається зі статора на ротор, як у (трансформаторі) і поступає у обмотку ЕМК:

$$P_{1АП\text{ел}}' = P_{1АП\text{ел}} \cdot \eta_{АП} = 6659 \cdot 0,9 = 5993 \text{ Вт}$$

$$\text{де, } P_{1АП\text{ел}} = M_{АП1} \cdot \omega_{П.АП} = 2,6 \cdot 2513 = 6659 \text{ Вт}$$

Отже активна електрична потужність, яку віддає ротор АП і яку споживає ЕМК, працюючи на першій ступіні у режимі асинхронного двигуна дорівнює:

$$P_{2АП\text{ел}} = P_{1АП\text{ел}}' + P_{2АП\text{ел}}' = 5993 + 2234 = 8227 \text{ Вт}$$

Активна електрична потужність яку споживає ЕМК на першій ступіні, виражається через момент на валу ЕМК:

$$P_{ЕМК1\text{ел}} = \frac{M \cdot \omega_{ПВІД1}}{\eta_{ЕМК}} = \frac{22 \cdot 344}{0,9} = 8408$$

Механічна потужність, яку відбирає агрегат від АД на початку першої ступіні:

$$P_{АД1} = (M + M_{АП1}) \cdot \omega_{АД1\text{min}} = (22 + 2,65) \cdot 937 = 23097 \text{ Вт}$$

Активна електрична потужність, що віддається споживачам та ККД ПГА на початку першої ступіні:

$$P_{Е1} = P_{СГ} - P_{1АП\text{ел}1} = 13466$$

$$\eta_1 = \frac{P_{СГ}}{P_{АД1}} = \frac{13466}{23097} = 0,58$$

Енергетичні характеристики ПГА наприкінці першої ступіні:

$$P_{2'АП\text{ел}}^x = M_{АП1}^x \cdot \omega_{АД1\text{max}} \cdot \eta_{АП} = 2,65 \cdot 1146 \cdot 0,9 = 2732 \text{ Вт}$$

$$\text{де, } \omega_{АД1\text{max}} = 1146 \text{ рад/с}$$

$$P_{1'АП\text{ел}}^x = P_{1АП\text{ел}}^x \cdot \eta_{АП} = 6659 \cdot 0,9 = 5993 \text{ Вт}$$

$$P_{2'АП\text{ел}}^x = P_{1'АП\text{ел}}^x + P_{2'АП\text{ел}}^x = 5393 \text{ Вт}$$

$$P_{ЕМК1\text{ел}}^x = (M \cdot \omega_{ВІД1\text{max}}) / \eta_{ЕМК} = (22 \cdot 344) / 0,9 = 8408 \text{ Вт}$$

$$\text{де, } \omega_{ВІД1\text{max}} = 344 \text{ рад/с}$$

$$P_{АД1}^x = (M + M_{АП1}^x) \cdot \omega_{АД1\text{max}} = (22 + 2,65) \cdot 1146 = 28246 \text{ Вт}$$

$$P_{Е1}^x = P_{СГ} - P_{1'АП\text{ел}}^x = 12629 - 5993 = 6636 \text{ Вт}$$

$$\eta_1^x = P_{Е1}^x / P_{АД1}^x = 6636 / 28246 = 0,23$$

$$\text{де, } \omega_{АД1\text{max}} = 616 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{МВІД1}^x = 373 \text{ рад/с}$$

Активна електрична потужність, яка підводиться до ЕМК, що працює на другій ступіні у режимі асинхронного двигуна:

$$P_{\text{ЕМК2ел}} = (M \cdot \omega_{\text{Пвід2}}) / \eta_{\text{ЕМК}} = (22 \cdot 137) / 0.9 = 3344 \text{ Вт}$$

$$\text{де, } \omega_{\text{Пвід2}} = 137 \text{ рад/с}$$

АП на другій ступіні працює у режимі асинхронного двигуна. При цьому електрична потужність, яка споживається перетворювачем:

$$P_{1\text{АП2ел}} = M_{\text{АП2}} \cdot \omega_{\text{П.АП}} = 2513 \cdot 2,65 = 6659 \text{ Вт}$$

де,

$$M_{\text{АП2}} = \frac{M \cdot \omega_{\text{Від2}} \cdot f_{\text{сГ}}}{\omega_{\text{П.АП}} \cdot \eta_{\text{АП}} \cdot \eta_{\text{ЕМК}} \cdot f_{2\text{АП2}}} = \frac{22 \cdot 137 \cdot 400}{2513 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 216} = 2,73 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

трансформується на його ротор і поступає на обмотку ведучого ротора ЕМК. Ротор АП віддає на вал механічну потужність:

$$P_{2\text{АП2мех}} = M_{\text{АП1}} \cdot \omega_{\text{АД2min}} = 2,73 \cdot 1146 = 3128,3 \text{ Вт}$$

$$\text{де, } \omega_{\text{АД2min}} = 1146 \text{ рад/с}$$

Значення механічної потужності, яка відбирається агрегатом від АД, електричної потужності, яка віддається споживачам та ККД агрегату на початку другої ступіні:

$$P_{\text{АД2}} = (M + M_{\text{АП2}}) \cdot \omega_{\text{АД2min}} = (22 + 2,73) \cdot 1146 = 22081 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{Е2}} = M \cdot \left(\frac{\omega_{\text{сГ}} \cdot f_{2\text{АП2}} \cdot \eta_{\text{АП}} \cdot \eta_{\text{сГ}} \cdot \eta_{\text{ЕМК}} - \omega_{\text{Пвід2}} \cdot f_{\text{сГ}}}{f_{2\text{АП2}} \cdot \eta_{\text{ЕМК}} \cdot \eta_{\text{АП}}} \right) = 2349,1$$

$$\eta_2 = P_{\text{Е2}} / P_{\text{АД2}} = 2349 / 22081 = 0,10$$

Активна електрична потужність ЕМК та механічна потужність АП наприкінці другої ступіні:

$$P_{\text{ЕМК2ел}}^x = (M \cdot \omega_{\text{від2}}^x) / \eta_{\text{ЕМК}} = (22 \cdot 135) / 0.9 = 3292 \text{ Вт}$$

$$P_{2\text{АП2мех}}^x = M_{\text{АП1}}^x \cdot \omega_{\text{АД2max}} = 3183 \text{ Вт}$$

$$\text{де, } \omega_{\text{від2}}^x = 135 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{\text{АД2max}} = 116,6 \text{ рад/с}$$

Значення механічної потужності, яка відбирається агрегатом від АД та ККД агрегату наприкінці другої ступіні:

$$P_{\text{АД2}}^x = (M - M_{\text{АП2}}^x) \cdot \omega_{\text{АД2max}} = (22 - 2,90) \cdot 1166 = 22270 \text{ Вт}$$

$$\eta_2^x = P_{\text{Е2}} / P_{\text{АД2}}^x = 16187 / 22270 = 0,72$$

Оскільки на третій ступені АП збуджується постійним струмом, то він працює в режимі СГ, віддаючи електричну потужність ЕМК, що працює у режимі асинхронного двигуна. Електрична потужність, яку споживає ЕМК, потужність збудження, що підводиться до статора АП і момент АП на початку третьої ступіні:

$$P_{\text{ЕМК3ел}} = (M \cdot \omega_{\text{п.від3}}) / \eta_{\text{ЕМК}} = (22 \cdot 116,6) / 0,9 = 2850 \text{ Вт}$$

$$P_{1\text{ЕМК3ел}} = (0,05 \cdot P_{\text{ЕМК3ел}}) / \eta_{\text{АП}} = (0,05 \cdot 2820) / 0,9 = 158,3 \text{ Вт}$$

$$M_{\text{АП3}} = \frac{M \cdot \omega_{\text{від3}}}{\omega_{\text{АД3min}} \cdot \eta_{\text{АП}} \cdot \eta_{\text{ЕМК}}} = \frac{22 \cdot 166,6}{1166 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 2,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{де, } \omega_{\text{п.від3}} = 166,6 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{\text{АД3}} = 1166 \text{ рад/с}$$

Механічна потужності, яка відбирається агрегатом від АД, електрична потужність яку видає ПГА споживачам та ККД агрегату на початку третьої ступені:

$$P_{\text{АД3}} = (M + M_{\text{АП3}}) \cdot \omega_{\text{АД3min}} = (22 + 2,7) \cdot 1166 = 28800 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{Е3}} = M \cdot \left(\frac{\omega_{\text{сг}} \cdot \eta_{\text{АП}} \cdot \eta_{\text{сг}} \cdot \eta_{\text{ЕМК}} - \omega_{\text{ПВІД3max}} \cdot 0,05}{\eta_{\text{ЕМК}} \cdot \eta_{\text{АП}}} \right) = 2333,5$$

$$\eta_3 = \frac{(\omega_{\text{сг}} \cdot \eta_{\text{АП}} \cdot \eta_{\text{сг}} \cdot \eta_{\text{ЕМК}} - \omega_{\text{ПВІД3max}} \cdot 0,05)}{\omega_{\text{АД3}} \cdot \eta_{\text{АП}} \cdot \eta_{\text{ЕМК}} + \omega_{\text{ПВІД3}}} = 0,81$$

Наприкінці третьої ступені енергетичні характеристики ПГА дорівнюють:

$$P_{\text{ЕМК3ел}}^x = (M \cdot \omega_{\text{п.від3}}^x) / \eta_{\text{ЕМК}} = (22 \cdot 142,5) / 0,9 = 3483 \text{ Вт}$$

$$P_{1\text{ЕМК3ел}}^x = (0,05 \cdot P_{\text{ЕМК3ел}}^x) / \eta_{\text{АП}} = (0,05 \cdot 3483) / 0,9 = 193,5 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{АД3}}^x = (M + M_{\text{АП3}}^x) \cdot \omega_{\text{АД3max}} = (22 + 2,71) \cdot 1425,2 = 35216 \text{ Вт}$$

$$\eta_3^x = P_{\text{Е3}} / P_{\text{АД3}}^x = 1,51$$

Активна електрична потужність, яка генерується ЕМК та віддається на ротор АП, на четвертій ступені:

$$P_{\text{ЕМК4ел}} = P_{2\text{АП4ел}} = M \cdot \omega_{\text{п.від4}} \cdot \eta_{\text{ЕМК}} = 22 \cdot 0,9 \cdot 111,8 = 2830,5 \text{ Вт}$$

$$\text{де, } \omega_{\text{п.від4}} = 111,8 \text{ рад/с}$$

Активна електрична потужність, яка віддається споживачам зі статора АП дорівнює:

$$P_{1\text{АП4ел}} = (P_{2\text{АП4ел}} \cdot \eta_{\text{АП}} \cdot f_{\text{сг}}) / f_{2\text{АП4}} = 4475 \text{ Вт}$$

Механічна потужність і момент на валу АП:

$$P_{2АП4мех} = (P_{1АП4ел} / \eta_{АП}) - P_{2АП4ел} \cdot \eta_{АП} = 2514 \text{ Вт}$$

$$M_{АП4} = P_{2АП4мех} / \omega_{АД4min} = 1,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Механічна потужність, яка відбирається агрегатом від АД, електрична потужність, яка віддається споживачам та ККД ПГА на початку п'ятої ступіні:

$$P_{АД4} = (M + M_{АП4}) \cdot \omega_{АД4min} = (22 + 1,8) \cdot 1394,5 = 33177 \text{ Вт}$$

$$P_{Е4} = M \cdot \left(\omega_{сг} + \eta_{сг} + \omega_{ПВД4} - \eta_{АП} \cdot \eta_{ЕМК} \cdot \left(\frac{f_{сг}}{f_{2АП4}} \right) \right) = 25916$$

$$H_4 = P_{Е4} / P_{АД4} = 25916 / 33177 = 0,78$$

Наприкінці четвертої ступені ПГА має наступні енергетичні характеристики:

$$P_{ЕМК4ел}^x = P_{2АП4ел}^x = M \cdot \omega_{п.від4}^x \cdot \eta_{ЕМК} = 22 \cdot 0,9 \cdot 80,8 = 1599 \text{ Вт}$$

$$P_{2АП4мех}^x = (P_{1АП4ел}^x / \eta_{АП}) - P_{2АП4ел}^x \cdot \eta_{АП} = 7203 \text{ Вт}$$

$$P_{АД4}^x = (M + M_{АП4}) \cdot \omega_{АД4max} = (22 + 4,22) \cdot 1704 = 44678 \text{ Вт}$$

$$\eta_4^x = P_{Е4} / P_{АД4}^x = 25234 / 44678 = 0,56$$

$$\text{де, } \omega_{п.від4}^x = 80,8 \text{ рад/с}$$

На п'ятій ступені ЕМК працює, віддаючи активну електричну потужність на ротор АП. Асинхронний перетворювач перетворює частину цієї потужності у механічну потужність на валу, а частину яка залишилась, віддає зі статора споживачам.

Величина цих потужностей на початку п'ятої ступені:

$$P_{ЕМК5ел} = M \cdot \omega_{п.від5} \cdot \eta_{ЕМК} = 22 \cdot 0,9 \cdot 422 = 8335 \text{ Вт}$$

$$P_{1АП5ел} = M_{АП5} \cdot \omega_{ПАП} \cdot \eta_{АП} = 0,9 \cdot 2513 \cdot 1,9 = 4297,2 \text{ Вт}$$

$$P_{2АП5мех} = M_{АП5} \cdot \omega_{АД5min} = 1885 \cdot 1,9 = 3581 \text{ Вт}$$

Визначимо момент АП на п'ятій ступені:

$$M_{АП5} = \left(\frac{\omega_{ПВД5} \cdot \eta_{АП} \cdot \eta_{ЕМК}}{\omega_{АД5min} \cdot \omega_{ПАП} \cdot \eta_{АП}} \right) \cdot M = 1,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Механічна потужність, яка відбирається агрегатом від АД, активна електрична потужність, яка віддається споживачам та ККД ПГА на початку і наприкінці ступені:

$$P_{АД5} = (\omega_{АД5min} + \omega_{П.АП} - \eta_{АП} - \omega_{п.від5} \cdot \eta_{АП} \cdot \eta_{ЕМК} \cdot M \cdot \omega_{АД5min}) / \omega_{АД5min} + \omega_{П.АП} \cdot \eta_{АП}$$

$$= 34264 \text{ Вт}$$

$$P_{Е5} = M \cdot (\omega_{СТ} \cdot \eta_{СТ} + (\omega_{П.АП} \cdot \omega_{п.від5} \cdot \eta_{АП}^2 \cdot \eta_{ЕМК}) / \omega_{АД5 \max} + \omega_{П.АП} \cdot \eta_{АП}) = 27779 \text{ Вт}$$

$$\eta_5 = P_{Е5} / P_{АД5} = 27779 / 34264 = 0,81$$

$$P_{АД5}^x = (\omega_{АД5min} + \omega_{П.АП} - \eta_{АП} - \omega_{п.від5}^x \cdot \eta_{АП} \cdot \eta_{ЕМК} \cdot M \cdot \omega_{АД5min}) / \omega_{АД5min} + \omega_{П.АП} \cdot \eta_{АП}$$

$$= 37883 \text{ Вт}$$

$$\eta_5^x = P_{Е5} / P_{АД5}^x = 27779 / 37883 = 0,73$$

Як видно з рис.2.2. – 2.7. економічне отримання електричної енергії змінного струму постійної частоти на літаку, діапазон частоти обертання авіадвигуна якого складає 3,12, може бути забезпечене п'ятиступінчатим ПГА (відкидається четверта ступінь). Причому найтриваліше ПГА буде працювати з мінімальними втратами ковзання ЕМК та максимальним ККД (на початку шостої ступіні). Тому електромагнітний розрахунок електричних машин ПГА і систем управління його роботою необхідно виконувати виходячи з цієї початкової умови. Частотні діаграми привод-генераторного агрегату зображені на рис.2.8.

де :

- 1) діаграма зміни ККД;
- 2) діаграма зміни обертів двигуна;
- 3) діаграма зміни відносної потужності втрат ковзання.

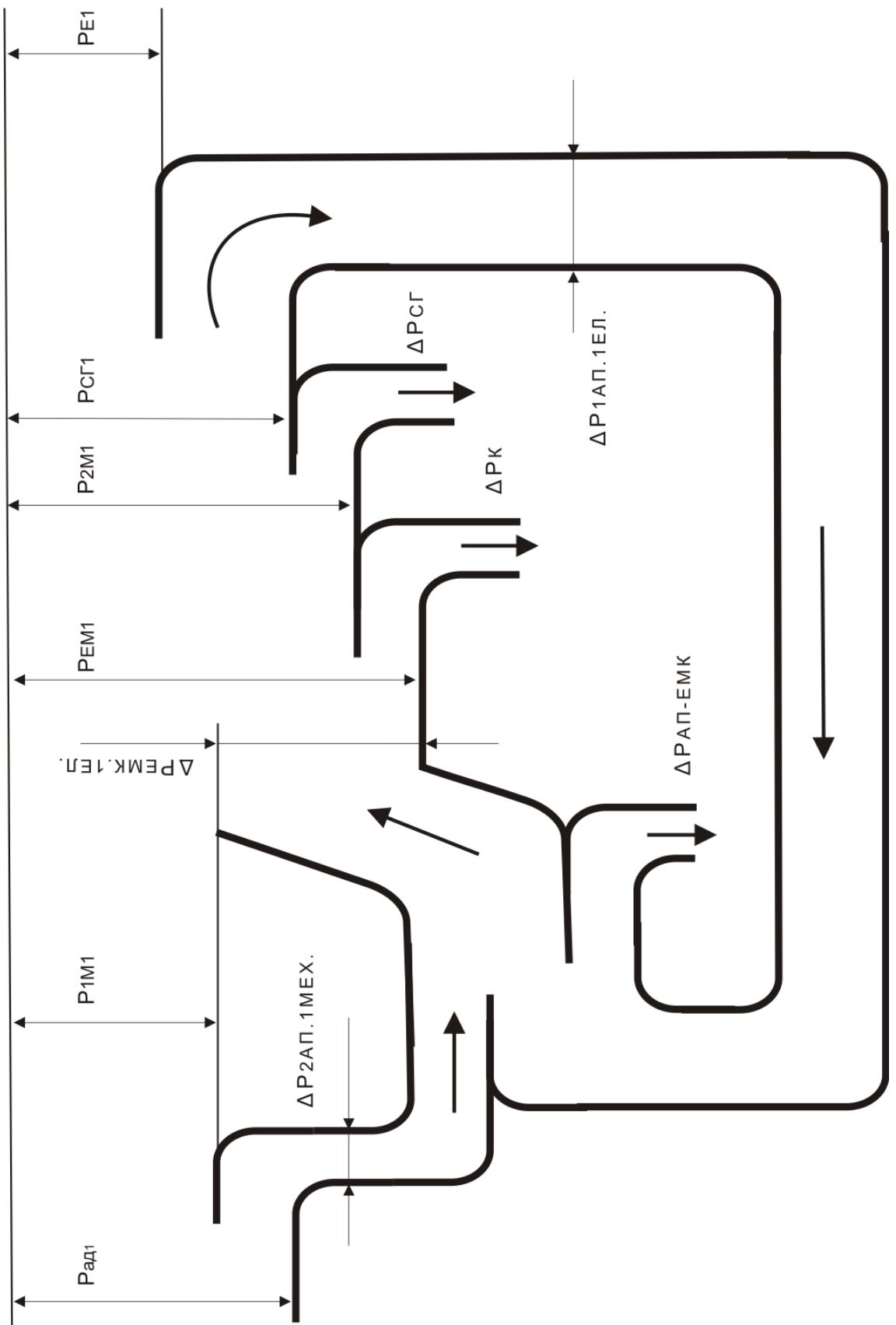


Рис 2.2. Перша ступінь

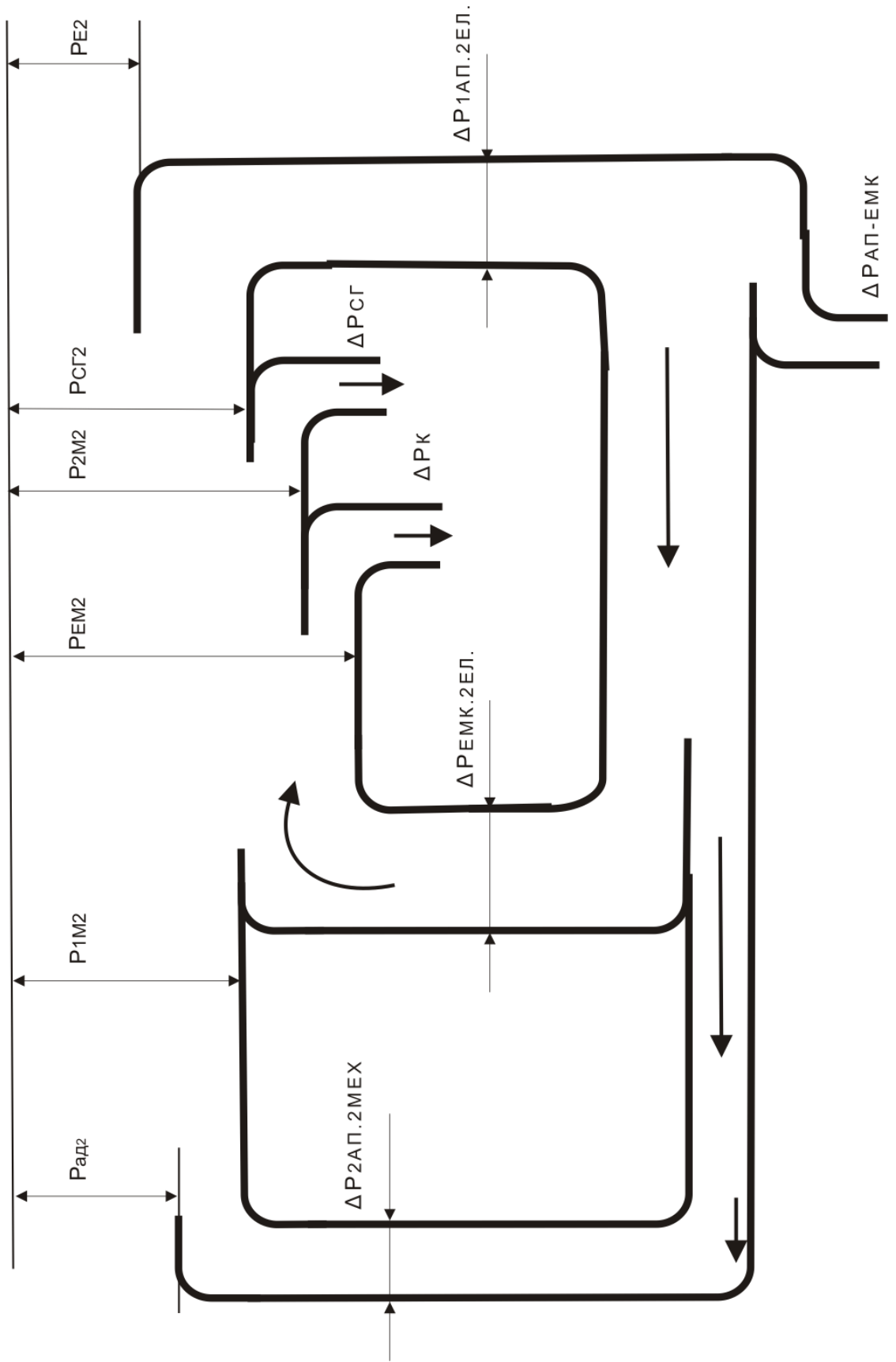


Рис 2.3. Друга ступінь

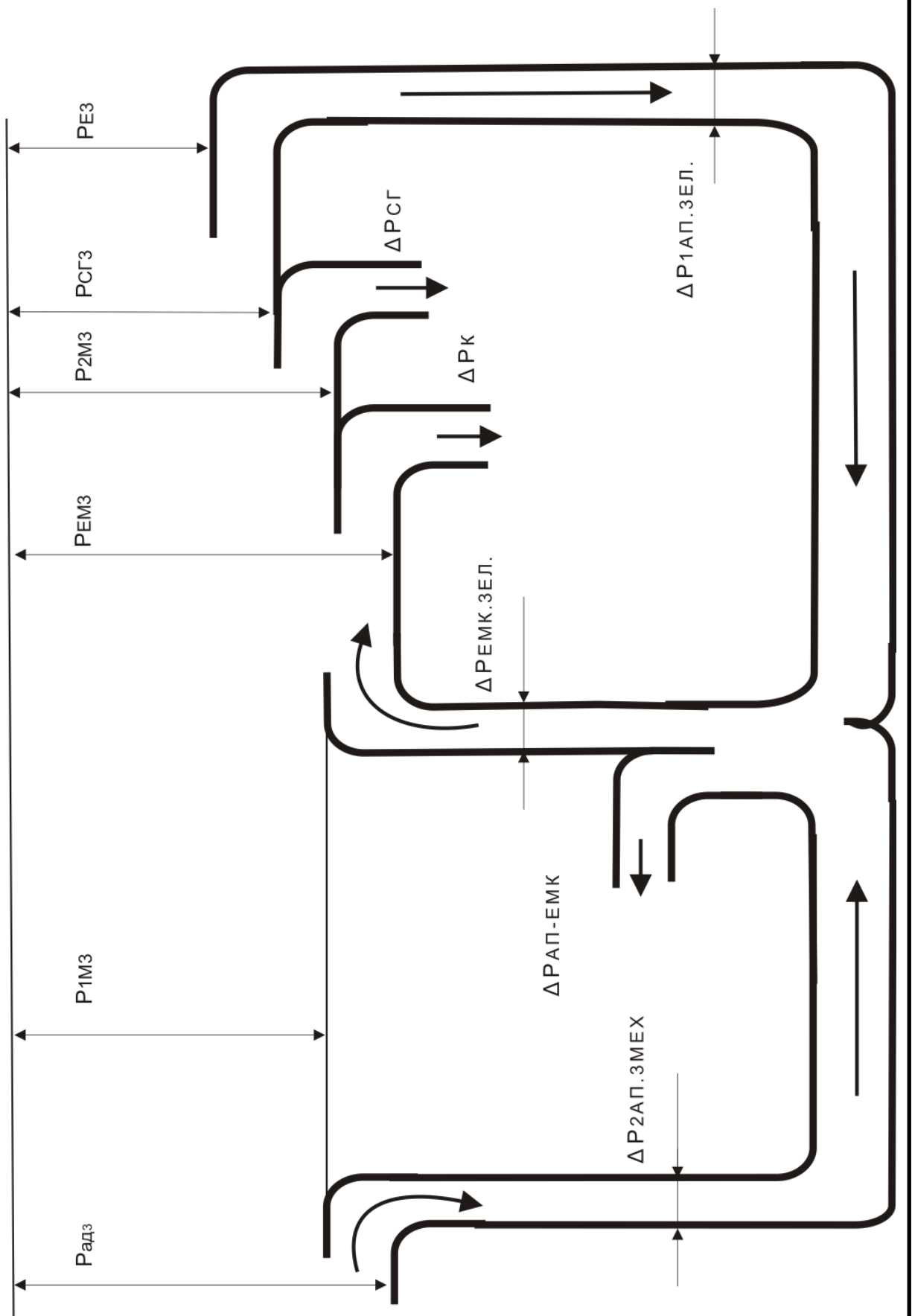


Рис 2.4. Третя ступінь

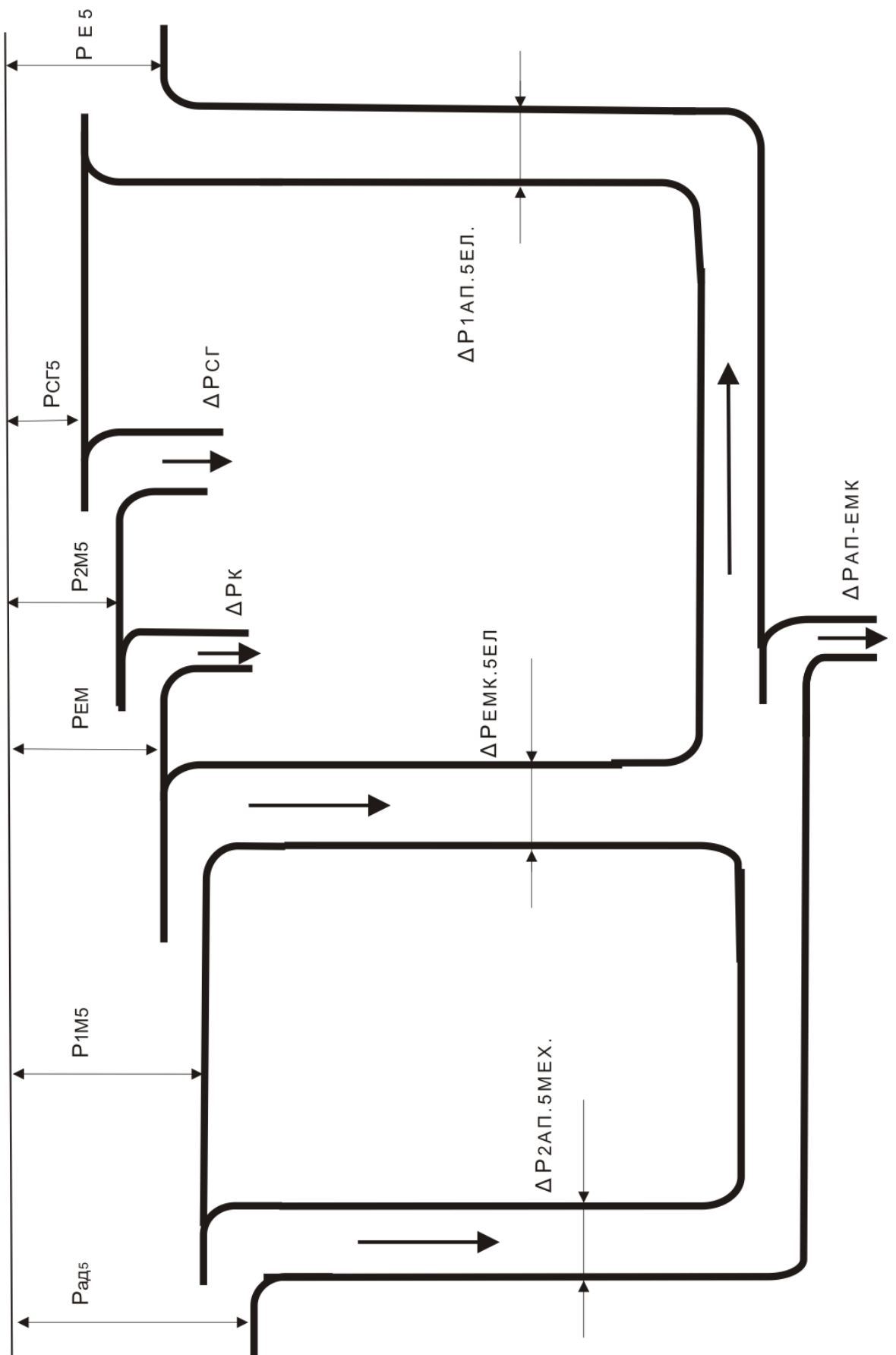


Рис 2.5. Четверта ступінь

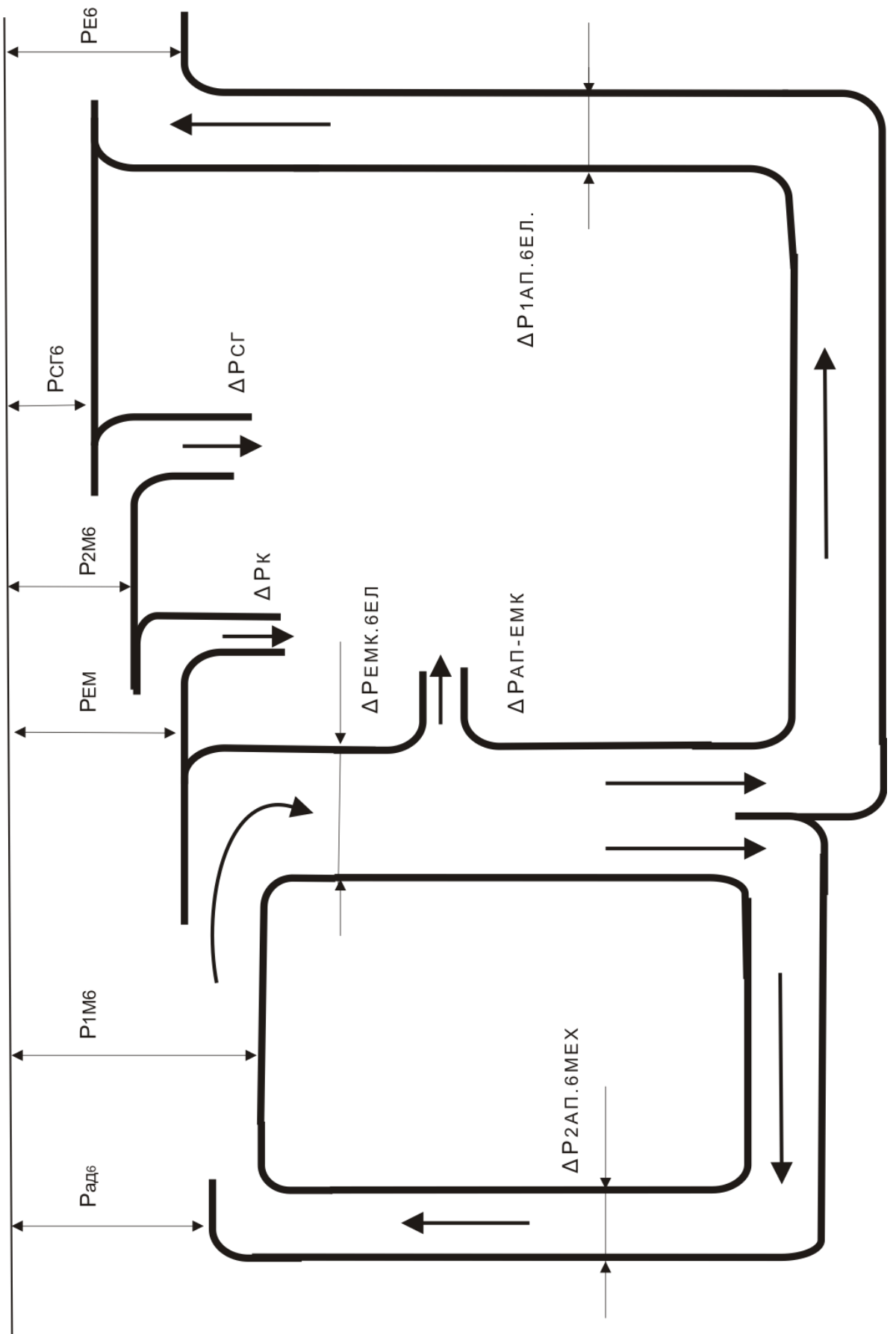


Рис 2.6.П'ята ступінь

РОЗДІЛ 3

Електромагнітний розрахунок трифазної електромагнітної муфти ковзання та її збуджувальної машини

3.1. Розрахунок веденого ротора ЕМК

Розрахунок ЕМК виконаємо для режиму роботи, що відповідає п'ятій ступені роботи ПГА, $n_{ад5 \min} = 13611$ об/хв. Деякі дані для розрахунку ЕМК будемо використовувати з попередньої частини. Вибір п'ятої ступені для електро-магнітного розрахунку ЕМК обумовлений тим, що розробляемий ПГА, як видно з рис. 2.2. – 2.7. найбільш тривалий час буде працювати на 5-ій ступені. Енергетичні показники електромагнітних машин ПГА на цій ступені максимальні. Тому розрахована на цій ступені ЕМК забезпечує необхідну величину електро-магнітного моменту на інших чотирьох ступенях роботи ПГА, оскільки величина моменту навантаження для всіх ступеней однакова. Розрахунок виконаємо за методикою, що представлена нижче.

Зовнішній діаметр та довжина сталевого пакету веденого ротора ЕМК визначається по формулі:

$$D^2 l = \frac{6.1 \cdot P_m \cdot 10^7}{\alpha \cdot K_v \cdot B_g \cdot A \cdot n \cdot \cos(\varphi)} = \frac{6.1 \cdot 7.8 \cdot 10^7}{0.69 \cdot 1.09 \cdot 250 \cdot 12000 \cdot 0.8} = 267 \text{ см}^3$$

де, $\alpha = 0,69$ – коефіцієнт полюсного перекриття;

$P_m = 7,8$ кВт – максимальна механічна потужність веденого ротора ПГА (ЕМК);

$K_v = 1.09$ – коефіцієнт форми кривої поля;

$B_g = 0,9$ – максимальна індукція у повітряному зазорі;

$A = 250$ А/см – лінійне навантаження веденого ротора при максимальній механічній потужності і мінімальному ковзанні;

$n = 12\,000$ об/хв. – частота обертання веденого ротора;

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

$\cos \varphi = 0.8$ – коефіцієнт потужності веденого ротора.

У даному випадку при $2P_{\text{EMK}}=20$, приймаємо $L/D=0,5$.

Тоді $D=16$ см; $L=8$ см.

$$B\delta = \frac{\Phi}{\alpha \cdot \tau \cdot l} = 0.22 \text{ Тл}$$

Кількість пазів ведучого і веденого ротора:

$$z_1 = 2P_{\text{EMK}} \cdot m \cdot q_1 = 20 \cdot 2 \cdot 3 = 120, z_2 = 70$$

3.1.1. Розрахунок веденого ротора ЕМК

1. Для забезпечення стійкої роботи ЕМК при широкій зміні її ковзання на веденому роторі укладемо дві коротко замкнуті обмотки, з'єднані між собою вузькими косими щілинами з метою забезпечення найбільшого ефекту витіснення струму з нижніх стержнів при великому ковзанні, без завищення радіального розміру зубцевого спаю.

2. Зубцеве ділення веденого ротора і величина повітряного зазору:

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D}{z_1} = \frac{3,14 \cdot 16}{70} = 0.41 \text{ см}$$

Обираємо величину повітряного зазору $b=0,03$ см.

3. Величина загального еквівалентного струму верхнього і нижнього стержнів:

$$I_2 = A \frac{\pi \cdot D}{z_2} = 250 \frac{3,14 \cdot 16}{70} = 179 \text{ А}$$

4. Величина загального еквівалентного активного опору верхнього і нижнього стержнів:

$$R_e = \frac{P_m \cdot S_{\min} \cdot 10^3}{z_2 \cdot (I_2)^2 \cdot (1 - S_{\min})} = \frac{8 \cdot 0.02 \cdot 10^3}{70 \cdot (179)^2 \cdot (1 - 0.02)} = 7.24 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

5. Частота струмів в стержнях веденого ротора при розрахунковому ковзанні:

$$f_2 = \frac{\left[n_{\text{ад.5.min}} \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{АП}}}{P_{\text{EMK}}} \right) - \left(n_{\text{п.ан}} \cdot \frac{P_{\text{АП}}}{P_{\text{EMK}}} \right) - n_{\text{cr}} \right] \cdot P_{\text{EMK}}}{60} = 455 \text{ Гц}$$

6. Індуктивний опір розсіяння нижнього пазу і щілини між пазами:

$$X_{HS} = 7.9 \cdot f_2 \cdot (\lambda_{HP} + n_{щ}/b_{щ}) L \cdot 10^{-8} = 5.9 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

7. Активний опір верхнього R_B і нижнього R_H стержнів з урахуванням опору замикаючих кілець:

$$\frac{R_B (R_B R_H + R_H^2 + X_{HS}^2)}{(R_B + R_H)^2 + (X_{HS})^2} = R_e = 5.5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

Прийнявши співвідношення 3 R_H та підставивши X_{HS} отримаємо кубічне рівняння:

$$R_H^3 - 6, 59 \cdot 10^{-4} R_H^2 + 1, 69 \cdot 10^{-8} R_H - 3, 23 \cdot 10^{-2} = 0$$

вирішуючи яке визначаємо співвідношення нижнього стержня

$$R_H = 6, 36 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

$$R_B = 19, 1 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

9. Необхідні опори стержнів у даному випадку отримується при виконанні верхніх стержнів з латуні з питомим опором $\rho_B = 0,14 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^3/\text{м}$, а з міді з питомим опором $\rho_H = 0,07 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^3/\text{м}$.

Перевіз і діаметр стержнів:

$S_{BC} = 2, 78 \text{ мм}^2$ – це найближчий стандартний провідник для

$$S_{HC} = \frac{\rho_B \cdot l_{BC} \cdot K_T}{R_{BC}} = \frac{0,07 \cdot 0,81,4}{17,17 \cdot 10^{-4}} = 45 \text{ мм}^2$$

$$d_{BC} = 1,98 \text{ мм}^2$$

$$S_{BC} = \frac{\rho_H \cdot l_{HC} \cdot K_T}{R_{HC}} = \frac{0,14 \cdot 0,81,4}{5,73 \cdot 10^{-4}} = 2,7 \text{ мм}^2$$

Найближчий стандартний провідник:

$$S_{HC} = 7, 3 \text{ мм}^2$$

$$d_{HC} = 3,05 \text{ мм}^2$$

10. Співвідношення струмів верхнього і нижнього стержнів при розрахунковому ковзанні:

$$\frac{I_H}{I_B} = \frac{R_B}{\sqrt{(R_H)^2 + (X_{HS})^2}} = \frac{19.1}{8.7} = 2.2$$

Втрати потужності в стержнях обумовлені їх дійсними струмами, можливо виразити через еквівалентне значення струму та опору:

$$I_H^2 R_H + I_B^2 R_B = I_e^2 R_e$$

Використовуючи отримати опір можливо знайти величину струму у верхньому і нижньому стержнях:

$$I_B = \sqrt{\frac{(I_2)^2 \cdot R_e}{2.75^2 \cdot R_H + R_B}} = \sqrt{\frac{32041.99}{2.75^2 \cdot 6.36 + 19.1}} = 73 \text{ A}$$

$$I_H = 2,75 I_B = 2,75 \cdot 73 = 200 \text{ A}$$

11. Щільності струму в стержнях при розрахунковому ковзанні і максимальній потужності:

$$j_H = I_c / S_{HC} = 200 / 7,31 = 27,3 \text{ A/мм}^2$$

$$j_B = I_{Bc} / S_{Bc} = 73 / 2,78 = 26,2 \text{ A/мм}^2$$

12. Струми в замикаючих кільцях веденого ротора ЕМК:

$$I_{BK} = \frac{I_B}{2 \cdot \sin \left[\frac{P_{EMK} \cdot 180}{z_2} \right]} = \frac{73}{2 \cdot \sin \left[\frac{10 \cdot 180}{70} \right]} = 85 \text{ A}$$

$$I_{HK} = \frac{I_H}{2 \cdot \sin \left[\frac{P_{EMK} \cdot 180}{z_2} \right]} = \frac{200}{2 \cdot \sin \left[\frac{10 \cdot 180}{70} \right]} = 232 \text{ A}$$

13. Переріз верхнього і нижнього кілець приймаємо однаковим.

Приймаючи щільність струму в кільцях: $j_k = 15 \text{ A/мм}^2$

$$S_{HK} = S_{BK} = 232 / 15 = 15,4 \text{ мм}^2$$

14. Еквівалентний індуктивний опір розсіювання і косинус кута між векторами струму та ЕРС ведучого ротора:

$$X_e = \frac{(R_B)^2 \cdot X_{HS}}{(R_B + R_H)^2 + (X_{HS})^2} = \frac{(19.1 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 5.9 \cdot 10^{-4}}{(19.1 + 6.36)^2 + (5.9 \cdot 10^{-4})^2} = 3.5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

$$\cos(\varphi_2) = \frac{R_e}{\sqrt{(R_e)^2 + (X_e)^2}} = \frac{7.24}{\sqrt{(7.24)^2 + (3.5)^2}} = 0.9$$

$$\sin \varphi_2 = 0.3$$

15. Величина ЕРС, що наводиться в стержнях веденого ротора:

$$E_2 = I_2 \cdot \sqrt{(R_e)^2 + (X_e)^2} = 179 \cdot \sqrt{(7.24)^2 + (3.5)^2} = 0.14 \text{ В}$$

16. Максимальне значення магнітного потоку і магнітної індукції у повітряному зазорі:

$$\Phi = E_2 / 2K_v f_2 = 0.14 / 2 \cdot 1.09 \cdot 455 = 14 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$Bb = \Phi / \alpha \cdot \tau \cdot L = 14 \cdot 10^{-4} / 0.69 \cdot 2.5 \cdot 8 = 1.01 \text{ Тл}$$

Отримані величини $\cos \varphi_2$ і Bb майже не відрізняються від прийнятих при визначенні основних розмірів ЕМК, тому уточнення не потрібне.

17. Діаметр верхнього і нижнього пазів:

$$d_{ВП} = 1.05 \cdot d_{BC} = 2 \text{ мм}$$

$$d_{НП} = 1.05 \cdot d_{HC} = 3.2 \text{ мм}$$

Мінімальна ширина зубця:

$$b''_{z(\frac{1}{3})} = \frac{\pi \left[D - (h_{z2}) + \frac{3}{4} \cdot d_{НП} \right]}{z_2} - 0.94 \cdot d_{НП} = 3.6$$

Максимальна ширина зубця:

$$b'_{z(\frac{1}{3})} = \frac{\pi \left[D - \frac{2}{3} \cdot d_{ВП} - 2h_y \right]}{z_2} - 0.94 \cdot d_{ВП} = 4.2$$

$$b_{cp} = \frac{b''_{z(\frac{1}{3})} + b'_{z(\frac{1}{3})}}{2} = \frac{3.6 + 4.2}{2} = 3.9 \text{ мм}$$

18. Середня величина магнітної індукції в зубцях:

$$B_{z2} = Bb \cdot t_2 / b_{cp} \cdot K_3 = 1.8 \text{ Тл}$$

19. Висота ярма веденого ротора, приймаємо індукцію в ярмі веденого ротора $BP = 1.6 \text{ Тл}$.

Тоді висота ярма:

$$f'_2 = \frac{\left[n_1 \cdot \left(1 + \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right) - \left(n_{п.ап} \cdot \frac{P_{АП}}{P_{ЕМК}} \right) - n_{сг} \right] \cdot P_{ЕМК}}{60} = 954 \text{ Гц}$$

20. Внутрішній діаметр пакета веденого ротора:

$$D_{ВН} = D - 2h_{z2} - 2h_p = 16 - 2 \cdot 1.62 - 2 \cdot 0.6 = 11.56 \text{ см}$$

21. Розрахункова довжина ділянки магнітної силової лінії ярма:

$$b_p = \frac{\pi \cdot (D - 2h_{z2} - h_p)}{2 \cdot P_{ЕМК}} = \frac{3.14 \cdot (16 - 2 \cdot 1.62 - 0.6)}{20} = 1.9 \text{ см}$$

3.1.2. Розрахунок ведучого ротора ЕМК

1. Зубцеве ділення ведучого ротора:

$$t_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2\delta)}{z_1} = \frac{3,14 \cdot (16 + 0,6)}{120} = 4,2 \text{ см}$$

2. Частота ЕРС фази ведучого ротора:

$$f_1 = f_{cr} + n_{ад.5.min} \cdot \frac{P_{АП}}{60} = 400 + 13611 \cdot \frac{1}{60} = 625 \text{ Гц}$$

3. Число ефективних провідників на паз $n_{п} = 4$. Число послідовно з'єднаних витків обмотки фази ведучого ротора:

$$W_1 = n_{п} \cdot q_1 \cdot P_{ЕМК} = 4 \cdot 2 \cdot 10 = 80$$

4. Полосне ділення:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2P_{ЕМК}} = \frac{3,14 \cdot 16}{20} = 2,5$$

Переріз проводка і активний опір фази прийmemo $j = 14 \text{ А/мм}^2$

$$S_1 = \frac{I_1}{j_1} = \frac{40}{14} = 2,8 \text{ мм}^2$$

$$F_p = \xi \cdot \ell_p \cdot H_p = 2,5 \text{ А}$$

$$W_1 = W_c \frac{z_1}{m} \quad W_c = 2$$

5. Розміри паза на ведучому роторі виконаємо напівзакриті пази з паралельними стінками:

$$h_y = 0,3 \text{ мм}$$

$$\Delta_{кл} = 1 \text{ мм}$$

Ширина пазу і щілини:

$$b_{п} = 2 \cdot (b + \Delta_1) + 2 \cdot \Delta_2 + \Delta_3 = 2 \cdot (1 + 0,1) + 2 \cdot 0,3 + 0,5 = 3,3 \text{ мм}$$

$$b_{щ} = b + 2 \cdot \Delta_2 + \Delta_3 = 1 + 0,6 + 0,5 = 2,1 \text{ мм}$$

Глибина пазу:

$$h_{п} = 2 \cdot (a + \Delta_1) + 3 \cdot \Delta_2 + \Delta_{кл} + h_y + 0,5 = 2 \cdot (3,05 + 0,5) + 0,9 + 1,1 + 0,9 + 0,5 = 13,4 \text{ мм}$$

6. Ширина зубця у найбільш вузькій частині:

$$b_{z3} = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2h_y + 2\Delta_{KJ})}{z_1} \right] \cdot b_{III} = 2.3 \text{ мм}$$

$$b_{z1} = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2h_{III})}{z_1} \right] \cdot b_{III} = 2.8 \text{ мм}$$

$$b_{zcp} = 2,55 \text{ мм}$$

7. Висота ярма ведучого ротора:

$$h_c = \frac{1.03\Phi}{2 \cdot K_c \cdot l \cdot B_c} = 0,74 \text{ см}$$

8. Зовнішній діаметр ведучого ротора:

$$D_H = D + 2b + 2h_{III} + 2h_c = 16 + 2 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,134 + 2 \cdot 0,74 = 13 \text{ см}$$

9. Величина повітряного зазору:

$$\delta = K \frac{\tau \cdot A}{B\delta} = 0.5 \frac{2.5 \cdot 2.5 \cdot 10^{-3}}{0.9} = 0.3 \text{ мм} = 0.03 \text{ см}$$

10. Середня довжина силової лінії ярма ведучого ротора:

$$l_c = \frac{\pi \cdot (D_H - h_c)}{2 \cdot P_{EMK}} = \frac{3.14 \cdot (13 - 0.74)}{20} = 1.9 \text{ см}$$

3.1.3 Розрахунок магнітного ланцюга ЕМК

1. МРС повітряного зазору:

$$F\delta = 1.6 \cdot K\delta \cdot \delta \cdot B\delta = 1.6 \cdot 0.9 \cdot 0.03 \cdot 2 = 8.64 \cdot 10^{-2} \text{ А}$$

$$K\delta = 2$$

2. Величина магнітної індукції у зубцях ведучого і веденого роторів:

$$b_{z1\text{макс}} = B\delta \frac{t_1}{b_{z3} \cdot K_c} = 0.9 \frac{4.2}{2.3 \cdot 0.93} = 1.8 \text{ Тл}$$

$$b_{z1\text{мін}} = B\delta \frac{t_1}{b_{z1} \cdot K_c} = 0.9 \frac{4.3}{2.8 \cdot 0.9} = 1.5 \text{ Тл}$$

$$b_{z1cp} = 1,65 \text{ Тл}$$

$$b_{z2\text{макс}} = B\delta \frac{t_2}{b_{z(\frac{1}{3})} \cdot K_c} = 0.9 \frac{4,3}{4,2 \cdot 0,93} = 1,1 \text{ Тл}$$

$$b_{z2min} = B\delta \frac{t_2}{b'_{z(\frac{1}{3})} \cdot K_c} = 0.9 \frac{4.3}{3.6 \cdot 0.93} = 1.2 \text{ Тл}$$

$$b_{z2cp} = 1, 15 \text{ Тл}$$

3. МРС зубцевої зони ведучого і веденого роторів. Для ведучого і веденого роторів обираємо листову холоднокатану електротехсталь 27КХ. Для обраної сталі, при знайденій магнітній індукції, напруженість поля дорівнює:

$$H_{z1max} = 42 \text{ А/см};$$

$$H_{z2max} = 40 \text{ А/см};$$

$$H_{z1cp} = 19 \text{ А/см};$$

$$H_{z2cp} = 10 \text{ А/см};$$

$$H_{z1min} = 8,5 \text{ А/см};$$

$$H_{z2min} = 3.7 \text{ А/см}.$$

Тоді:

$$F_{z1} = 2h_{z1} \cdot \frac{H_{z1max} + H_{z1cp} + H_{z1min}}{6} = \frac{2 \cdot 1.61 \cdot 42 \cdot 4 \cdot 19 \cdot 8.5}{6} = 68 \text{ А}$$

$$F_{z2} = 2h_{z2} \cdot \frac{H_{z2max} + H_{z2cp} + H_{z2min}}{6} = \frac{2 \cdot 0.9 \cdot 40 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 3.7}{6} = 25 \text{ А}$$

$$H_p = 8,5 \text{ А/м}$$

Тоді:

$$F_c = \xi \cdot l_c \cdot H_p = 0.31 \cdot 1.9 \cdot 0.7 = 4.1 \text{ А}$$

$$F_p = \xi \cdot l_p \cdot H_p = 0.31 \cdot 0.5 \cdot 1.9 = 2.9 \text{ А}$$

6. МРС магнітної системи ЕМК:

$$F_0 = P_{EMK} (F\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_c + F_p) = 10(0.08 + 68 + 25 + 4.1 + 2.9) = 1008 \text{ А}$$

7. Намагнічуючий струм:

$$I_\mu = \frac{F_0}{0.9 \cdot m_1 \cdot W_1 + K_{об}} = \frac{1008}{0.9 \cdot 380 \cdot 0.96} = 5 \text{ А}$$

8. Приведена величина струму веденого ротора:

$$I'_2 = I_2 \frac{0.5 \cdot z_2}{m_1 \cdot W_1 + K_{об}} = 179 \frac{0.5 \cdot 70}{380 \cdot 0.96} = 27 \text{ А}$$

9. Орієнтовна вхідна величина активної складової струму холостого ходу:

$$I_{oa} = \frac{P_{cr} + 3I_\mu^2 \cdot R_1}{3U_1} = 3 \text{ А}$$

10. Уточнена величина струму у фазі ведучого ротора в розрахунковому режимі:

$$I_1 = \sqrt{(I_2' \cdot \cos(\varphi_2) + I_{oa})^2 + (I_\mu + I_2' \cdot \sin(\varphi_2))^2} = \sqrt{(27 \cdot 0.8 + 3)^2 + (5 + 27 \cdot 0.3)^2} = 26.4 \text{ A}$$

11. Величина коефіцієнту потужності ведучого ротора:

$$\cos(\varphi_2) = \frac{I_2' \cdot \cos(\varphi_2) + I_{oa}}{I_1} = \frac{27 \cdot 0.8 + 3}{26.4} = 0.9$$

12. Питома магнітна провідність і величина індуктивного опору розсіяної фази:

$$\lambda_{\text{III}} = \frac{1}{4} \left\{ (1.53b + 1.17) \frac{a_1}{b_{\text{III}}} + \frac{a_2}{b_{\text{II}}} + (3\beta + 1) \left[\frac{a_3}{b_{\text{III}}} + \frac{2h_{\text{K}}}{b_{\text{III}} + b_{\text{ш}}} + \frac{0.2}{b_{\text{ш}}} \right] \right\} = 1.2$$

Провідність подвійного розсіювання:

$$\lambda_{\text{д}} = \frac{t_1 \cdot \kappa_{\text{об}}^2}{11.9\delta \cdot \kappa_{\delta}} = \frac{4.2 \cdot 0.96^2}{11.9 \cdot 0.3 \cdot 2} = 0.5$$

Провідність розсіювання лобових частин:

$$\lambda_{\text{л}} = 0.67 \cdot L_{\text{срл}} - 0.43\tau = 0.67 \cdot 3.5 - 0.43 \cdot 2.5 = 1.2$$

де, $L_{\text{срл}} = 1.4 \tau = 1.4 \cdot 2.5 = 3.5$ мм

$$X_1 = \left(15.8 \cdot \frac{f_1 \cdot W_1^2}{P_{\text{ЕМК}}} \right) (\lambda_{\text{III}} + \lambda_{\text{д}} + \lambda_{\text{л}}) \cdot 10^{-8} = \left(15.8 \cdot \frac{625 \cdot 80^2}{10} \right) (1.2 + 0.5 + 1.2) \cdot 10^{-8} = 0.06 \text{ Ом} \quad 13.$$

Падіння напруги у фазі:

$$I_1 R_1 = 26.4 \cdot 0.18 = 4.75 \text{ В}$$

$$I_1 X_1 = 26.4 \cdot 0.06 = 1.5 \text{ В}$$

$$I_1 Z_1 = 26.4 \cdot 0.23 = 6.07 \text{ В}$$

14. Уточнена величина фазної напруги, яка підводиться до ЕМК в розрахунковому режимі:

$$U = \sqrt{\frac{M_e \omega_{\text{відн.}}}{m_1 \frac{R_e' \cdot C_1^2}{S_{\text{ЕМК}}} \left[(R_1 C_1 + \frac{R_e' \cdot C_1^2}{S_{\text{ЕМК}}})^2 + (X_1 C_1 + X_e' C_1^2)^2 \right]}} = 18 \text{ В}$$

де,

$$C_1 = \frac{U - I_\mu x}{I_\mu} = 1.07$$

$$S_{EMK} = S \cdot \left(1 + \frac{P_{EMK}}{P_{АП}} \right) = 0.02 \cdot 11 = 0.22$$

$$\omega_{OTH} = 150 \text{ рад/с}$$

$$M_e = \frac{P_M}{\omega_{CT}} = 6.21 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$R'_e = R_e \cdot \frac{12W_1^2 \cdot K_{об}^2}{z_2} = 5.5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{12 \cdot 80^2 \cdot 0.96^2}{70} = 0.5 \text{ Ом}$$

$$X'_e = X_e \cdot \frac{12W_1^2 \cdot K_{об}^2}{z_2} = 3.5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{12 \cdot 80^2 \cdot 0.96^2}{70} = 0.3 \text{ Ом}$$

15. Уточнена величина вдаваної електричної потужності в ЕМК:

$$P_{ел\ EMK} = m \cdot U \cdot I_1 = 3 \cdot 18 \cdot 26.4 = 1426 \text{ В} \cdot \text{А}$$

16. Маса сталі ведучого і веденого роторів ЕМК:

$$G_1 = (0.785 \cdot (D_H^2 - D_B^2) - b_{пл} \cdot h_{пл} \cdot z_1) \cdot 0.93 \cdot L \cdot 7.8 \cdot 10^{-3} = 3,1 \text{ кг}$$

$$G_2 = (0.785 \cdot (D_H^2 - D_B^2) - (d_B + d_H) \cdot z_2) \cdot 0.93 \cdot L \cdot 7.8 \cdot 10^{-3} = 3,15 \text{ кг}$$

17. Маса міді трьохфазної обмотки:

$$G_{M1} = S_1 \cdot L_B \cdot W_1 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 0,02 \cdot 21 \cdot 80 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 0,39 \text{ кг}$$

18. Маса двох кліток веденого ротора:

$$G_{л2} = ((+ S_H) \cdot L_{CT} \cdot z_2 + 2 \cdot 3,14 \cdot (D_{BK} \cdot S_{BK} + D_{HK} \cdot S_{HK})) \cdot 8,8 \cdot 10^{-3} = 0,41 \text{ кг}$$

19. Загальна вага активних матеріалів ЕМК:

$$G_{EMK} = G_1 + G_2 + G_{M1} + G_{л2} = 0,41 + 0,39 + 3,15 + 3,1 = 7,04 \text{ кг}$$

20. Втрати у сталі ведучого ротора:

$$P_{CT} = 2P_{уд} \cdot (f_1/50)^{1.3} \cdot G_1 = 2 \cdot 1.1 \cdot (626/50)^{1.3} \cdot 3.1 = 177 \text{ Вт}$$

21. Уточнена величина активної складової струму холостого ходу:

$$I_{oa} = \frac{P_{CT} + 3I_{\mu}^2 \cdot R_1}{3U_1} = 10,6 \text{ А}$$

22. Втрати потужності у трьохфазній ЕМК:

$$P_{M1} = 3I_1^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 26.4 \cdot 0.18 = 142 \text{ Вт}$$

23. Втрати обумовлені ковзанням веденого ротора:

$$P_K = P_M \cdot \frac{S}{1-S} = 320$$

24. Сумарні втрати потужності в ЕМК у розрахунковому режимі без урахування механічних втрат:

$$\Sigma P_{\text{ЕМК}} = P_{\text{к}} + P_{\text{м1}} + P_{\text{ст}} = 290 + 142 + 177 = 0,6 \text{ кВт}$$

3.1.4. Розрахунок потужності ЕМК

Розрахуємо потужність ЕМК при роботі ПГА на частоті обертання $n_1 = 18298$ об/хв. При частоті обертання АД $n_1 = 13611$ об/хв. ЕМК працює у режимі асинхронного генератора, віддаючи активну потужність АП і отримуючи від нього реактивну потужність, необхідну для створення магнітного поля. При $n_1 = 12743$ об/хв. Для генераторного режиму роботи ЕМК отримуємо наступні значення ковзання, частоти, відносної частоти обертання поля і параметрів ведучого та веденого роторів:

1. Ковзання ПГА:

$$S = 1 - \frac{n_{\text{сг}}}{n_1 \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{АП}}}{P_{\text{ЕМК}}}\right) - n_{\text{п.ап}} \cdot \frac{P_{\text{АП}}}{P_{\text{ЕМК}}}} = 1 - \frac{12000}{18298 \cdot 1.143 - 3432} = 0.31$$

2. Ковзання ЕМК:

$$S_{\text{ЕМК}} = S \cdot \left(1 - \frac{P_{\text{АП}}}{P_{\text{ЕМК}}}\right) = 0.31 \cdot (1 - 10) = -2,1$$

3. Частота струму в обмотці ведучого ротора:

$$f_1' = f_{\text{сг}} + n_1 \cdot \frac{P_{\text{АП}}}{60} = 400 + 18298 \cdot \frac{1}{60} = 705 \text{ Гц}$$

4. Частота струму в обмотці ведомого ротора:

$$f_2' = \frac{\left[n_1 \cdot \left(1 + \frac{P_{\text{АП}}}{P_{\text{ЕМК}}}\right) - \left(n_{\text{п.ап}} \cdot \frac{P_{\text{АП}}}{P_{\text{ЕМК}}} \right) - n_{\text{сг}} \right] \cdot P_{\text{ЕМК}}}{60} = 954 \text{ Гц}$$

5. Частота обертання поля відносно ведучого ротора:

$$\omega_{\text{відн.}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1'}{P_{\text{ЕМК}}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 705}{10} = 442 \text{ Рад/с}$$

6. Опір фази ведучого ротора:

$$R_1 = 0.18 \text{ Ом}$$

$$x_1^x = x_1 \cdot (f_1' / f_1) = 0.06 \cdot (705/455) = 0.09 \text{ Ом}$$

$$Z_1^* = \sqrt{R_1^2 + X_1^{*2}} = \sqrt{0.18^2 + 0.09^2} = 0.20 \text{ Ом}$$

7. Індуктивний опір розсіювання нижнього пазу і щілини між пазами:

$$X_{щ} = 7.9 \cdot f_2' \cdot \left(0.62 \cdot \frac{10}{0.5} \right) \cdot l \cdot 10^{-8} = 74 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}$$

8. Величина загального еквівалентного активного опору еквівалентного індуктивного опору розсіювання веденого ротора:

$$R_e = \frac{R_B (R_B R_H + R_H^2 + X_{щ}^2)}{(R_B + R_H)^2 + (X_{щ})^2} = 17.1 \cdot 10^{-4}$$

$$X_e = \frac{R_B^2 \cdot X_{щ}^2}{(R_B + R_H)^2 + (X_{щ})^2} = \frac{19.1^2}{(19.1 + 6.36)^2 + (74)^2} = 5.4 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

9. Приведені еквівалентні опори веденого ротора:

$$R_e' = R_e \cdot \frac{12W_1^2 \cdot \kappa_{об}^2}{z_2} = 17.1 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{12 \cdot 80^2 \cdot 0.96^2}{70} = 1.7 \text{ Ом}$$

10. Напруга, яка підводиться до фази ЕМК:

$$U_1 = \sqrt{\frac{M_e \omega_{відн.}}{m_1 \frac{R_e' \cdot C_1^2}{S_{ЕМК}}} \cdot \left[(R_1 C_1 + \frac{R_e' \cdot C_1^2}{S_{ЕМК}})^2 + (X_1 C_1 + X_e' C_1^2)^2 \right]} = 48.1 \text{ В}$$

$$M_e = 33,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$C_1 = 1,04$$

11. Приведена величина еквівалентного струму веденого ротора:

$$I_2' = \frac{\sigma \cdot U_1}{\sqrt{(R_1 C_1 + \frac{R_e' \cdot C_1^2}{S_{ЕМК}})^2 + (X_1 C_1 + X_e' C_1^2)^2}} = 65 \text{ А}$$

12. ЕРС, яка наводиться в стержнях ротора:

$$E_2 = I_2 \sqrt{R_e^2 + X_e^2} = 179 \sqrt{17.1^2 \cdot 5.4^2 \cdot 10^{-4}} = 0.32 \text{ В}$$

13. Значення магнітного потоку і магнітної індукції у зазорі:

$$\Phi = \frac{E_2}{2K_{об} \cdot f_2'} = \frac{0.32}{2 \cdot 1.09 \cdot 954} = 15 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$B_{\delta} = \frac{\Phi}{\alpha \cdot \tau \cdot l} = 0.22 \text{ Тл}$$

14. Магнітна індукція в зубцях і стиках ЕМК:

$$B_b = 1.1 \text{ Тл}$$

$$B_c = 1.2 \text{ Тл}$$

$$B_{z1\max} = 1.2 \text{ Тл}$$

$$B_{z1\min} = 1.1 \text{ Тл}$$

$$B_{z1\text{cp}} = 1.15 \text{ Тл}$$

$$B_{z2\max} = 0.85 \text{ Тл}$$

$$B_{z2\min} = 0.5 \text{ Тл}$$

$$B_{z2\text{cp}} = 0.65 \text{ Тл}$$

15. МРС зубцевої зони ведучого і веденого роторів. Сталь 27КХ.

$$H_{z1\max} = 3.7 \text{ А/см}$$

$$H_{z1\min} = 2.8 \text{ А/см}$$

$$H_{z1\text{cp}} = 3.25 \text{ А/см}$$

$$F_{z1} = 2h_{z1} \cdot \frac{H_{z1\max} + 4H_{z1\text{cp}} + H_{z1\min}}{6} = 2 \cdot 1.61 \cdot \frac{3.7 + 4 \cdot 3.25 + 2.8}{6} = 10.5 \text{ А}$$

$$H_{z2\max} = 3.43 \text{ А/см}$$

$$H_{z2\min} = 1.7 \text{ А/см}$$

$$H_{z2\text{cp}} = 1.5 \text{ А/см}$$

$$F_{z2} = 2h_{z2} \cdot \frac{H_{z2\max} + 4H_{z2\text{cp}} + H_{z2\min}}{6} = 2 \cdot 0.9 \cdot \frac{3.43 + 4 \cdot 1.7 + 1.5}{6} = 3.4 \text{ А}$$

16. МРС ярма ведучого ротора. При індукції $B_c = 1.2$ Тл, напруженості

$$H_c = 2.8 \text{ А/см.}$$

17. МРС ярма веденого ротора. При індукції $B_{\text{cp}} = 1.1$ Тл, напруженості

$$H_p = 2.2 \text{ А/см.}$$

$$F_c = \xi \cdot \ell_c \cdot H_p = 4.1 \text{ А}$$

$$F_p = \xi \cdot \ell_p \cdot H_p = 2.5 \text{ А}$$

18. МРС магнітної системи та струм намагнічування ЕМК:

$$F_0 = P_{\text{ЕМК}} (F_{\delta} + F_{z1} + F_{z2} + F_c + F_p) = 10(561 + 10.5 + 3.6 + 4.1 + 2.5) = 5817 \text{ А}$$

$$\text{де, } F_b = 1.6 \cdot K_b \cdot b \cdot B_b = 1.6 \cdot 0.9 \cdot 3 \cdot 1.3 \cdot 10^{-4} = 561 \text{ А}$$

19. Повний струм фази і $\cos(\varphi_1)$ ведучого ротора ЕМК:

$$I_1 = \sqrt{(I_\mu + I_2' \cdot \sin(\varphi_2))^2 + (I_2' \cdot \cos(\varphi_2) + I_{о\mu})^2} = \sqrt{(5 + 65 \cdot 0.3)^2 + (65 \cdot 0.93 - 1)^2} = 62.5 \text{ A}$$

$$\cos(\varphi_2) = \frac{R_e}{\sqrt{R_e^2 + X_e^2}} = \frac{17.1}{\sqrt{17.1^2 + 5.4^2}} = 0.9$$

$$\sin(\varphi_2) = 0.36$$

$$I_{о\mu} = 1 \text{ A}$$

$$\cos(\varphi_1) = \frac{I_2' \cdot \cos(\varphi_2) + I_{о\mu}}{I_1} = \frac{65 \cdot 0.93 - 1}{62.5} = 0.95$$

20. Повна електрична потужність ЕМК:

$$S_{ел} = m_1 \cdot U_1 \cdot I_1 = 3 \cdot 48,1 \cdot 62,5 = 9018,75 \text{ В} \cdot \text{А}$$

21. Втрати потужності у трьохфазній обмотці:

$$P_{M1} = m_1 \cdot I_1^2 \cdot R_1 = 62,5^2 \cdot 3 \cdot 0.18 = 2109 \text{ Вт}$$

22. Втрати у сталі:

$$P_{ст} = 2P_{уд}(f_1/50)^{1.3} \cdot G_1 = 2 \cdot 1.1 \cdot (705/50)^{1.3} \cdot 4.7 = 320 \text{ Вт}$$

23. Загальні втрати в ЕМК при $n_1 = 12743$ об/хв. та $S = 0.32$:

$$\Sigma P_{ЕМК} = P_{ск} + P_{M1} + P_{ст} = 2,1 + 0,3 + 2,1 = 4,5 \text{ кВт}$$

3.2. Електромагнітний розрахунок АП

1. Для розрахунку АП приймемо вихідні дані:

$A = 300$ А/см – лінійне навантаження

$B_b = 0.7$ Тл – індукція у повітряному зазорі

$K_{об} = 0.96$ – обмоточний коефіцієнт

$K_\phi = 1,09$ – коефіцієнт форми поля

$\alpha = 0,69$ – коефіцієнт полюсного перекриття

$\eta_{АП} = 0,9$

$\cos(\varphi_{АП}) = 0,8$

$f_1 = 400$ Гц – частота струму

$U_H = 200$ В – лінійна напруга

$P_H = 6,659$ кВт

$S_{ел.розр.} = 8,323$ кВт – розрахункова потужність

2. Основні розміри якоря АП:

$$D^2 l = \frac{6.1 \cdot \left(\frac{E}{U}\right) \cdot P_H \cdot 10^7}{\alpha \cdot K_\Phi \cdot K_{o6} \cdot B_6 \cdot A \cdot n_1} = \frac{6.1 \cdot 6.6 \cdot 1.12 \cdot 10^7}{0.69 \cdot 1.09 \cdot 0.96 \cdot 0.78 \cdot 300 \cdot 16277} = 344 \text{ см}^3$$

3. Головні розміри машини дочитаються таким чином:

$$\lambda = \frac{l}{D} = 0.7$$

Отже, діаметр АП дорівнює:

$$D = \sqrt[3]{\frac{344}{0.5}} = 8 \text{ см}$$

Довжина статора АП:

$$l = \lambda \cdot D = 0.5 \cdot 8 = 4 \text{ см}$$

4. Повітряний зазор приймемо рівним:

$$b = 0.03 \text{ см}$$

5. Число пар полюсів:

$$P_{АП} = 1$$

6. Для статора обираємо петльову двохслойну обмотку з вкороченим кроком $y = 5/6\tau$, з числом пазів на полюсах та фазу $q_1 = 6$.

Тоді число пазів статора:

$$z_1 = 2P_{АП} \cdot 2m_1 \cdot q_1 = 2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 6 = 36$$

Обмоточний коефіцієнт:

$$K_{w1} = K_{y1} \cdot K_{p1} = 0.83 \cdot 1.1 = 0.9$$

де, $K_{y1} = \sin(\pi/2) \cdot y_1 = \sin 90^\circ \cdot 0.83 = 0.83$

$$K_{p1} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m_1}\right)}{q_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2m_1 \cdot q_1}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{3.14}{2 \cdot 3}\right)}{6 \cdot \sin\left(\frac{3.14}{2 \cdot 3 \cdot 6}\right)} = 1.1$$

7. Зубцеве ділення статора:

$$t_1 = \frac{\pi D}{z_1} = \frac{3.14 \cdot 8}{36} = 0.7$$

8. Номінальний фазний струм і активний опір фази:

$$I_1 = \frac{P_H \cdot 10^3}{m_1 \cdot U_1 \cdot \eta_{АП} \cdot \cos(\varphi_{АП})} = \frac{S_{АП} \cdot 10^3}{m_1 \cdot U_1} = \frac{8.3 \cdot 10^3}{3 \cdot 115} = 24.05 \text{ A}$$

де, $U_1 = U_{л} / \sqrt{3} = 200 / 1,7 = 115,3 \text{ В}$ – номінальна фазна напруга;

$$R_1 = \frac{2l_B \cdot W_1 \cdot \rho}{S_1} = \frac{2 \cdot 0.05 \cdot 72 \cdot 0.017}{1.7} = 0.07 \text{ Ом}$$

9. Число ефективних провідників на паз:

$$u_1 = \frac{A \cdot t_1 \cdot a_1}{I_1} = \frac{300 \cdot 0.97 \cdot 1}{24} = 12.1$$

де, $a_1 = 1$ – число паралельних гілок обмотки статора.

Тоді число послідовно з'єднаних витків обмотки фази статора:

$$W_1 = u_1 \cdot P_{АП} \cdot q_1 = 12 \cdot 1 \cdot 6 = 72$$

10. Полосне ділення:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2P_{АП}} = \frac{3,14 \cdot 8}{2} = 12.5 \text{ см}$$

11. Магнітний потік у повітряному зазорі:

$$\Phi = \frac{U_1}{4\Phi \cdot f \cdot W_1 \cdot K_{об}} = \frac{115}{4 \cdot 1.09 \cdot 400 \cdot 72 \cdot 0.96} = 0.9 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

12. Приймаємо щільність струму у провідниках обмоток статора

$$j_1 = 14 \text{ А/мм}^2.$$

Переріз провідника:

$$S_1 = \frac{I_1}{j_1} = \frac{24}{14} = 1.7 \text{ мм}^2$$

13. Розміри паза статора. Обираємо прямокутний напівзакритий паз.

Приймаємо:

$$n_y = 0.3 \text{ мм}$$

$$\Delta_{кл} = 1 \text{ мм}$$

$$\Delta_{щ} = 0,3 \text{ мм}$$

$$K_c = 0,92$$

Ширина паза і щілини:

$$b_{пл} = 3(b + \Delta_1) + 2 \Delta_2 + \Delta_3 = 3(1,16 + 0,15) + 0,6 + 0,5 = 5,03 \text{ мм}$$

$$b_{щ} = b + \Delta_1 + 2 \Delta_2 + \Delta_3 = 1,16 + 0,15 + 0,6 + 0,5 = 2,41 \text{ мм}$$

Глибина паза:

$$h_{\text{п1}} = 21(a + \Delta_1) + 3 \Delta_2 + \Delta_{\text{кл}} + h_y + 0,5 = 2(3,53 + 0,15) + 0,9 + 1 + 0,3 + 0,5 = 12,06 \text{ мм}$$

Мінімальна ширина зубця:

$$b_{z1} = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2h_y + 2\Delta_{\text{кл}})}{z_1} \right] - b_{\text{п1}} = \left[\frac{3,14 \cdot (80 + 0,5 + 2)}{36} \right] - 5,03 = 2,16 \text{ мм}$$

Максимальна ширина зубця:

$$b_{z3} = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2h_{\text{п1}})}{z_1} \right] - b_{\text{п1}} = \left[\frac{3,14 \cdot (80 + 14,4)}{36} \right] - 5,03 = 4,2 \text{ мм}$$

14. Висота ярма статора. Приймаємо індукцію у ярмі статора $B_c = 1,6$ Тл.

Тоді висота ярма статора:

$$h_c = \frac{1,03\Phi}{2 \cdot K_c \cdot l \cdot B_c} = \frac{1,03 \cdot 0,9}{2 \cdot 0,95 \cdot 4 \cdot 1,6} = 0,3 \text{ см} = 3 \text{ мм}$$

15. Зовнішній діаметр статора:

$$D_3 = D + 2h_{\text{п1}} + 2h_c = 8 + 3,01 + 0,3 = 11,31 \text{ см}$$

3.2.1. Розрахунок фазного ротора АП

1. Для ротора обираємо двохслойну обмотку з не вкороченим кроком $y = 1$, з числом пазів на полюс і фазу $q_2 = 5$.

Тоді число пазів ротора:

$$z_2 = 2P_{\text{АП}} \cdot m_2 \cdot q_2 = 2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5 = 30,$$

де, $m_2 = m_1 = 3$

2. Зубцеве ділення ротора:

$$t_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2\delta)}{z_2} = \frac{3,14 \cdot (8 + 0,03)}{30} = 0,85 \text{ см}$$

3. Число витків ротора і число ефективних провідників у пазу:

$$W_2 = \frac{z_2 \cdot S_{\text{п2}}}{2 \cdot m_2 \cdot a_1} = \frac{30 \cdot 13,4}{2 \cdot 3 \cdot 1} = 67$$

$$S_{\text{п2}} = \left(\frac{2 \cdot m_1 \cdot W_1}{z_2} \right) - \frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{2 \cdot 3 \cdot 72}{30} \right) - \frac{110}{115} = 13,44$$

Обираємо $U_2 = 110$ В, $a_2 = 1$

$$u_2 = 2 \cdot W_c = 2 \cdot \frac{W_2 \cdot m_2}{z_2} = 2 \cdot \frac{67 \cdot 3}{30} = 14$$

Обираємо обмоточні коефіцієнти:

$$K_{W2} = K_{y2} \cdot K_{p2} = 1 \cdot 0.96 = 0.96$$

$$K_{y2} = \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot y_2 = \sin(90) \cdot 1 = 1$$

$$K_{p2} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot m_2}\right)}{q_2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot m_2 \cdot q_2}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{180}{6}\right)}{5 \cdot \sin\left(\frac{180}{6 \cdot 5}\right)} = 0.96$$

5. ЕРС на фазу ротора:

$$E_2 = E_1 \cdot \frac{W_2 \cdot K_{W2}}{W_1 \cdot K_{W1}} = 108 \cdot \frac{67 \cdot 0.96}{72 \cdot 0.9} = 107 \text{ В}$$

де, $E_1 = 0.95 \cdot U_1 = 0.95 \cdot 115 = 108 \text{ В}$

Тоді $U_2 = E_2 = 81 \text{ В}$

6. Фазний струм при навантаженні та активний опір фази:

$$I_2 = \frac{P_H \cdot (1 + 0.015)}{m_2 \cdot E_2 \cdot (1 - 0.02)} = \frac{6659 \cdot 1.015}{3 \cdot 107 \cdot 0.98} = 21.5 \text{ А}$$

$$R_2 = \frac{2l_B \cdot W_2 \cdot \rho}{S_2} = \frac{2 \cdot 0.05 \cdot 67 \cdot 0.017}{1.5} = 0.07 \text{ Ом}$$

де, S_2 – переріз фазного проводу.

7. Переріз фазного проводу. Приймаємо щільність струму в провідниках обмотки ротора: $j_2 = 14 \text{ А/мм}^2$

$$\text{Тоді: } S_2 = I_2 / j_2 = 21 / 14 = 1.5 \text{ мм}^2$$

$$[a \times b] = [3.53 \times 1.16]$$

8. Розмір паза:

Обираємо прямокутний закритий паз $n_y = 0.3 \text{ мм}$

$$\Delta_M = 1 \text{ мм}$$

$$\Delta_{ш} = 0.6 \text{ мм}$$

Тоді ширина паза і щілини:

$$b_{п2} = 3(b + \Delta_1) + 2 \Delta_2 + \Delta_3 = 3(1.16 + 0.15) + 0.6 + 0.4 = 4.9 \text{ мм}$$

$$b_{ш} = b + \Delta_1 + 2 \Delta_2 + \Delta_3 = 1.16 + 0.15 + 0.6 + 0.4 = 2.3 \text{ мм}$$

Глибина паза:

$$h_{\Pi 2} = 21(a + \Delta_1) + 3 \Delta_2 + \Delta_{\text{кл}} + h_y + 0,5 = 2(3,53 + 0,15) + 0,9 + 1 + 0,3 + 0,5 = 10,06 \text{ мм}$$

Мінімальна ширина зубця:

$$b_{z3} = \left[\frac{\pi \cdot (D - 2h_{\Pi 2} - 2\delta - 2h_y)}{z_2} \right] - b_{\Pi 2} = \left[\frac{3,14 \cdot (80 - 0,6 - 0,6 - 20)}{30} \right] - 4,9 = 1,25 \text{ мм}$$

Максимальна ширина зубця:

$$b_{z1} = \left[\frac{\pi \cdot (D - 2\delta - 2h_y)}{z_2} \right] - b_{\Pi 2} = \left[\frac{3,14 \cdot (80 - 0,6 - 0,6)}{30} \right] - 4,9 = 3,34 \text{ мм}$$

9. Висота ярма ротора. Приймаємо індукцію у ярмі ротора $B_p = 1,55 \text{ Тл}$.

Тоді висота ярма ротора:

$$h_p = \frac{\Phi}{2 \cdot K_c \cdot \ell \cdot B_p} = \frac{0,9}{2 \cdot 0,95 \cdot 4 \cdot 1,6} = 0,3 \text{ см} = 3 \text{ мм}$$

$$D_{\text{вн}} = D - 2b - 2h_{\Pi 2} - 2h_p = 8 - 0,06 - 1,6 - 0,2 = 0,14 \text{ см}$$

3.3. Розрахунок масових та енергетичних характеристик АП

1. Маса сталі статора АП:

$$G_1 = \left[0,785 \cdot (D_H^2 - D_{\text{вн}}^2) - b_{\Pi 1} \cdot h_{p1} \cdot z_1 \right] \cdot 0,93 \cdot l \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ кг}$$

2. Маса сталі ротора АП:

$$G_2 = \left[0,785 \cdot (D_H^2 - D_{\text{вн}}^2) - b_{\Pi 2} \cdot h_{p2} \cdot z_2 \right] \cdot 0,93 \cdot l \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 1,20 \text{ кг}$$

3. Маса міді обмотки статора:

$$G_{M1} = S_1 \cdot \ell_{B1} \cdot W_1 \cdot m_1 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 0,9 \text{ кг}$$

4. Маса міді обмотки ротора:

$$G_{M2} = S_2 \cdot \ell_{B2} \cdot W_2 \cdot m_2 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 0,9 \text{ кг}$$

5. Загальна вага активних матеріалів АП:

$$G_{\text{АП}} = G_1 + G_2 + G_{M1} + G_{M2} = 3,8 \text{ кг}$$

6. Втрати в сталі статора АП:

$$P_{\text{ст1}} = 2 \cdot P_{\text{уд}} (f_1/50)^{1,3} \cdot G_1 = 2 \cdot 1,1 \cdot (705/50)^{1,3} \cdot 0,8 = 70 \text{ Вт}$$

7. Втрати в сталі ротора АП:

$$P_{ст2} = 2 \cdot P_{уд} \cdot (f_2/50)^{1.3} \cdot G_2 = 2 \cdot 1.1 \cdot (954/50)^{1.3} \cdot 1.20 = 154 \text{ Вт}$$

8. Втрати потужності в трьохфазній обмотці статора і ротора АП:

$$P_{M1} = m_1 \cdot I_1^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 24^2 \cdot 0.07 = 120 \text{ Вт}$$

$$P_{M2} = m_2 \cdot I_2^2 \cdot R_2 = 3 \cdot 21^2 \cdot 0.07 = 92 \text{ Вт}$$

9. Втрати обумовлені ковзанням ротора АП:

$$P_k = P_{ел} \cdot (S/(1-S)) = 30000 \cdot (0.02/0.98) = 612.4 \text{ Вт}$$

10. Сумарні втрати потужності АП без урахування механічних втрат:

$$\Sigma P_{АП} = P_{ст1} + P_{ст2} + P_k + P_{M1} + P_{M2} = 70 + 154 + 92 + 120 + 326 = 0.7 \text{ кВт}$$

3.4 Масово-енергетичні показники ПГА

1. Загальна маса активних металів ПГА (включаючи частину корпусу ПГА):

$$G_{ПГА} = G_{ЕМК} + G_{АП} = 7.04 + 3.8 = 10.84 \text{ кг}$$

Орієнтовна маса ПГА (з урахуванням маси алюмінієвої частини корпусу, щитів, валів та інших деталей), призначеного для привода літакового синхронного генератора ГТ-30НЖЧ12 потужністю 30 кВА, при $\cos(\varphi) = 0.85$ та $n_c = 12000$ об/хв. дорівнюватиме 35 кг.

1. ККД

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + \Sigma P_{АП} + \Sigma P_{ЕМК}} = \frac{7.8}{7.8 + 0.7 + 0.6} = 0.85$$

РОЗДІЛ 4

Обґрунтування вибору елементів системи автоматичного управління, регулювання і захисту

4.1. Вибір елементів системи автоматичного управління ПГА

У ПГА стабілізація частоти обертання синхронного генератора при зміні частоти обертання валу авіадвигуна або при зміні навантаження мережі здійснюється:

- ступінчастою зміною частоти і напруги, що підводить до ЕМК, за допомогою перемикаючих контакторів К4 і К6;
- зміною напрямку обертання магнітного поля ЕМК за допомогою перемикача фаз, що обертається, ЕМК (К2);
- плавною зміною ковзання веденого ротора ЕМК, щодо магнітного потоку її ведучого ротора, що обертається, шляхом автоматичного регулювання напруги за допомогою РН.

Для забезпечення перемикання ППЧО з однієї ступіні на іншу по сигналах тахогенератора (ТГ), тобто для забезпечення постійної частоти обертання СГ, використовується електронна схема управління і підсилення (ЕСУП).

Дана електронна схема управління зможе бути виконана на тригерах з емітерним зв'язком (тригерах Шмітта).

Тригер Шмітта є двокаскадним підсилювачем постійного струму з позитивним зворотним зв'язком, здійснюваним через резистор R3, включений в загальний емітерний ланцюг обох транзисторів. Тригер з емітерним зв'язком має два стійкі стани. Переведення його з одного стійкого стану в інший здійснюється

за допомогою напруги, що повільно змінюється, що подається на базу транзистора V1. При цьому транзистор V1 переходить в режим насичення, а транзистор V2 виявляється закритим.

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

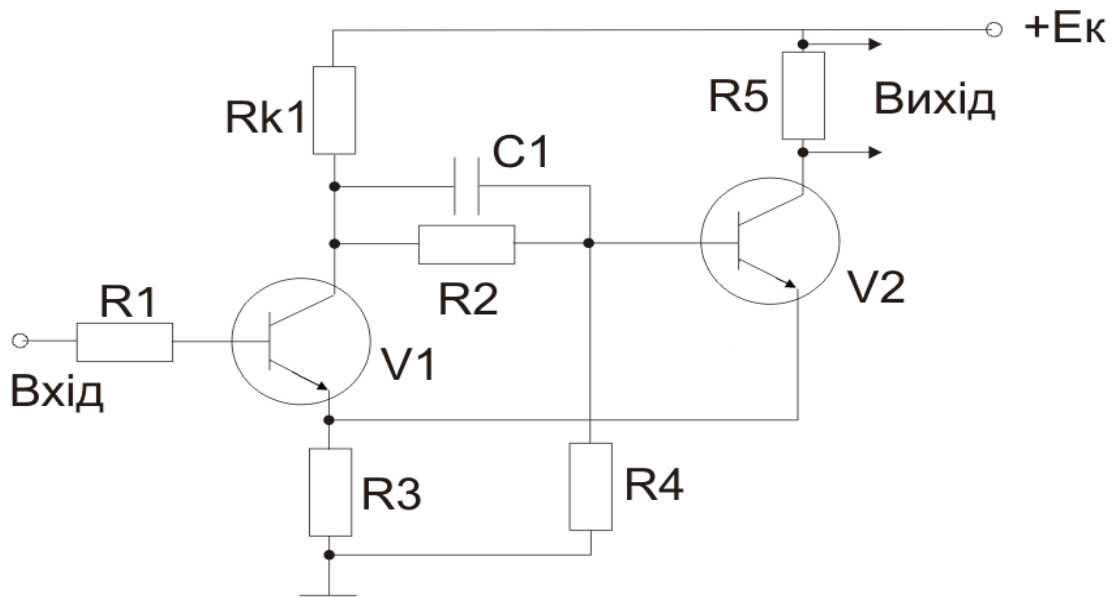


Рис.4.1.

Напруга на виході тригера стрибком зростає до напруги джерела живлення E_k . При зменшенні вхідного сигналу відбувається зворотний процес тобто транзистор $V1$ закривається, а транзистор $V2$ відкривається і напруга на виході тригера стрибком зменшується. Схема несиметричного тригера з емітерним зв'язком представлена на рис.4.1.

Підбираючи певним чином напругу спрацьовування несиметричних тригерів, на яких побудована ЕСУП, можна домогтися чіткого перемикання ППЧО за допомогою реле і контакторів з одної ступіні на іншу.

Для плавної зміни ковзання веденого ротора ЕМК, щодо магнітного потоку, що обертається, її ведучого ротора, може бути використаний автоматичний регулятор напруги, виконаний на магнітних підсилювачах або напівпровідниках.

Особливістю даного ППЧО є те, що як перемикач фаз каскадного з'єднання АП і ЕМК (К2) контактного типу можуть бути застосовані тиристорні перемикачі, що є істотною перевагою даного ППЧО.

Для стабілізації частоти струму СГ при зміні його навантаження і частоти обертання авіадвигуна в схемі ПГА передбачені канали регулювання частоти по відхиленню (вимірювач частоти - звичайний резонансний контур) і збуренню (блок трансформаторів струму). Сигнали від чутливих елементів поступають на регулятор напруги, робота якого розглянута вище. Канал регулювання частоти

по відхиленню може бути використаний, як розподільник активної потужності між синхронними генераторами.

4.2. Вибір елементів захисту, управління і регулювання для СГ

В процесі експлуатації електрообладнання літака можливо виникнення аварійних режимів роботи генераторів і інших елементів СЕП літального апарату. Для своєчасного і швидкого відключення генератора від мережі при появі аварійних режимів, застосовується апаратура захисту і управління. Існують наступні види захисту:

- захист від пониження напруги;
- захист від підвищення напруги;
- захист від пониження частоти;
- захист від підвищення частоти;
- захист від коротких замикань;
- захист при обриві фаз та інші.

До апаратів захисту і управління пред'являються наступні основні вимоги:

- надійність і довговічність апаратів захисту і управління;
- стабільність роботи елементів захисту при дії таких чинників як температура, вологість, механічні дії;
- збільшення видів захисту залежно від призначення, тобто поєднання максимальне такого захисту із захистом від обриву фаз і т.д.;
- можливість регулювання параметрів і характеристик захисту, що необхідне для здійснення підстроювання захисту в процесі експлуатації і управлінні калібрування в процесі виготовлення.

В даний час застосовуються розроблені нашою промисловістю надійні апарати захисту і управління. Прикладом такого апарату може служити БЗУ-376 СП, який забезпечує:

- дистанційне включення і виключення генератора;
- автоматичне включення генератора на навантаження при напрузі більше 175-185 В і частоті 372-380 Гц з видачею сигналу;

- захист генераторів і споживачів з необоротним відключенням генератора при підвищенні напруги в межах 220-230 В з витримкою часу $0,5 \pm 0,15$ с і при пониженні напруги в межах 175-185 В з витримкою часу $4 \pm 0,6$ с;
- необоротне відключення генератора при зниженні частоти в межах 420-428 Гц, витримкою часу $6 \pm 0,9$ с;
- захист від усіх видів коротких замикань усередині генератора або на його фідерах;
- живлення всіх елементів захисту і управління генератора і пристрою управління приводу напругою 24-28 В при аварії мережі постійного струму через ТВУ.

Як апарат захисту і управління вибираємо БРЗУ115ВО-2С.

Для забезпечення регулювання напруги генератора ГТ30НЖЧ12 використовуються автоматичний регулятор напруги БТТ 30БТА, який виконаний на магнітних підсилювачах. Блок регулювання напруги забезпечує точність регулювання напруги генератора в межах $208 \text{ В} \pm 2\%$ при зміні симетричного навантаження від 0 до 83,5 А і частоти обертання генератора 12000 об/хв. $\pm 2\%$.

Для захисту від відключення джерела живлення трифазного змінного струму (бортового або наземного) при неправильному чергуванні фаз може бути використаний блок чергування фаз БЧФ-208. Блок БЧФ-208 випускається у відрегульованому стані і додаткового налагодження в процесі експлуатації не вимагає. При відмові якого-небудь елемента блок замінюється новим.

Після вибору елементів захисту, управління і регулювання структурна схема вдосконаленої СЕП може бути представлена у вигляді рис 4.2.

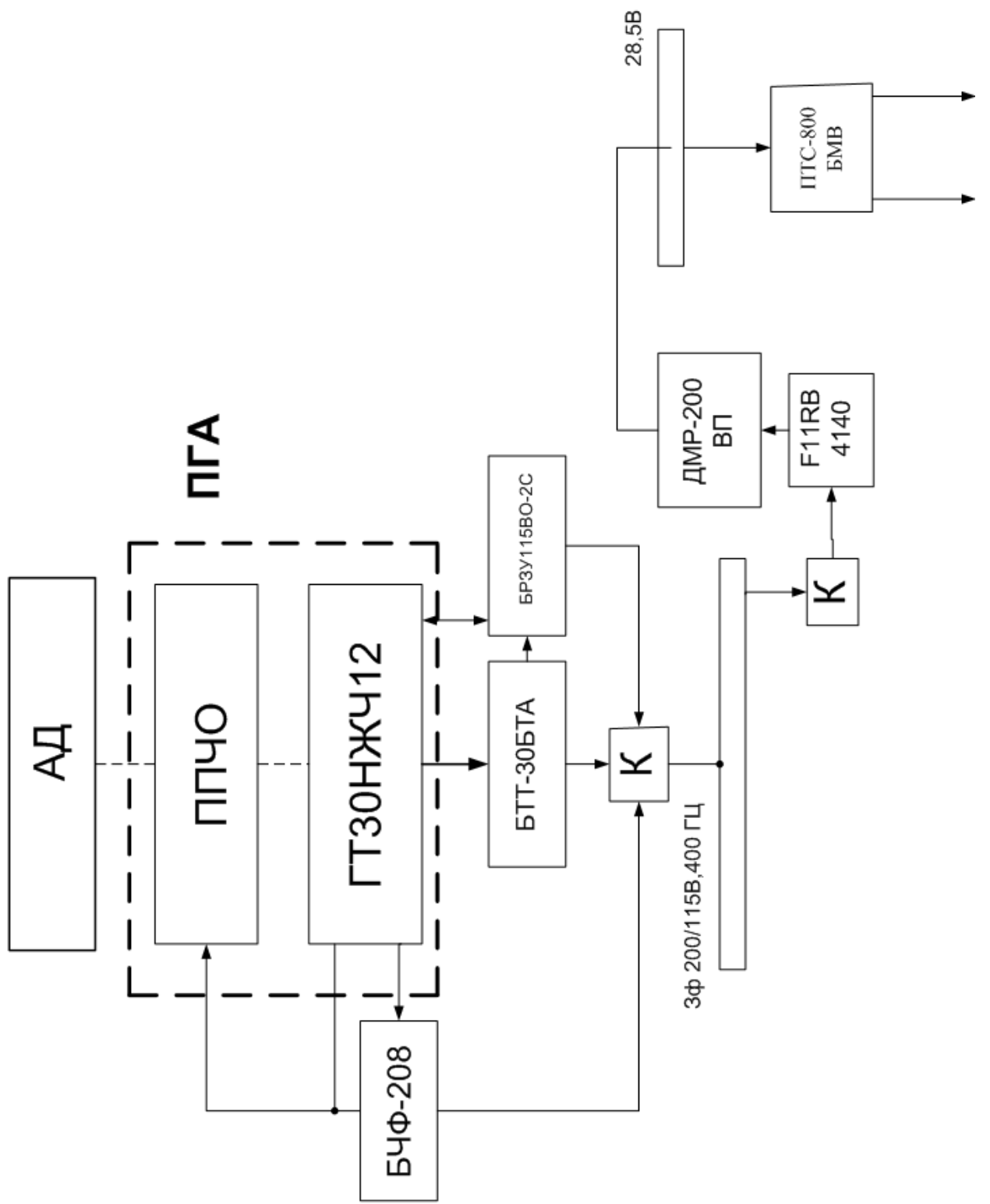


Рис.4.2.

РОЗДІЛ 5

Порівняльна характеристика показників надійності існуючої і вдосконаленої системи електропостачання

5.1. Кількісні показники надійності

Висока надійність авіаційної техніки є одним з основних умов її безпеки польотів. Під надійністю авіаційної техніки розуміють її здатність виконувати задані функції протягом встановленого напрацювання і зберігати значення своїх льотно-технічних характеристик в заданих межах протягом необхідного проміжку часу.

Розрахунок надійності, що існують та вдосконаленою СЕП розрахуємо середні значення інтенсивності відмов елементів. Як початкову величину використовуємо інтенсивність відмов $\lambda(t)$.

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ є кількісним показником надійності виробів, що не ремонтуються, та дозволяють оцінювати надійність заданий проміжок часу.

Наступним показником надійності є вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$ - вірогідність того, що в заданий інтервал часу або в межах заданого напрацювання не виникає відмова виробу.

До основних показників, що характеризують надійність виробу, відноситься середнє напрацювання до відмови (T_{cp}), це є середнє значення напрацювання виробів в партії до першої відмови.

Надійність всіх систем, у тому числі і авіаційних, визначається надійністю складових елементів, кількістю і структурною схемою з'єднання елементів. Для аналізу надійності використовуємо статистичні дані про інтенсивність відмов окремих елементів, зібрані і оброблені на використанні досвіду експлуатації авіаційної техніки.

Розрахунок надійності рекомендується вести на час однієї льотної зміни, оскільки перед кожною льотною зміною всі системи перевіряються, відмови,

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

що виникають за час проміжних польотів, усуваються і отже, у момент включення система справна.

5.2. Розрахунок надійності існуючої СЕП.

Представлена система електропостачання складається з ряду елементів, вихід яких з ладу приводить до відмови системи в цілому.

5.2.1. Розрахунок системи генерування змінного струму існуючої системи СЕП

Таблица 5.1.

№	Найменування елементу каналу системи генерування	Інтенсивність відмов 1/год.
1.	Генератор ГТ30НЖЧ12	$0,07 \cdot 10^{-4}$
2.	Фідер генератора довжиною	$0,005 \cdot 10^{-4}$
3.	Блок регулювання, захисту та управління	$2,65 \cdot 10^{-4}$
4.	Трансформатори струму	$0,45 \cdot 10^{-4}$
5.	Електричний провід між блочних з'єднань каналу системи генерування	$0,04 \cdot 10^{-4}$

Загальна інтенсивність відмови:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 = (0,07 + 0,005 + 2,65 + 0,45 + 0,04) 10^{-4} = 3,21 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Структурна схема надійності даної СЕП може бути представлена у вигляді:

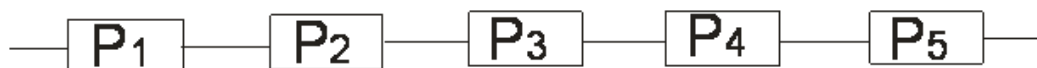


Рис.5.1.

Де $P_1 - P_5$ - вірогідність безвідмовної роботи елементів СЕП.

Вірогідність безвідмовної роботи системи дорівнює:

$$P_{\text{сеп. змін. струму}} = \prod P_i(t) \quad (5.1)$$

$$P_i(t) = e^{-t\lambda} \quad (5.2), \text{ тоді}$$

$$P_c(t) = e^{-t\sum n_i \cdot \lambda_{\text{ср}}} \quad (5.3)$$

t - час роботи, $\lambda_{\text{ср}}$ - середня інтенсивність відмов i -го елементу, n_i - кількість елементів i -го типу.

Час вибираємо сумірним з часом роботи АД літака.

Підставимо значення $\sum \lambda_{\text{ср}} \cdot n_i$ в формулу (5.3) одержимо вірогідність безвідмовної роботи СЕП змінного струму протягом часу її експлуатації.

Таблиця 5.2.

t, год.	0	100	200	300	400
P_c(t)	1	0,961	0,936	0,915	0,862

5.3. Розрахунок системи генерування вдосконаленої СЕП

Початкові дані для розрахунку показників надійності приведені в таблиці:

Таблиця 5.3.

№	Найменування елементу каналу системи генерування	Інтенсивність відмов 1/год.
1.	Привод постійної частоти обертання	$0,9 \cdot 10^{-4}$
2.	Генератор ГТ30НЖЧ12	$0,07 \cdot 10^{-4}$
3.	Фідер генератора	$0,01 \cdot 10^{-4}$
4.	Регулятор напруги БРН-120ТБА	$0,61 \cdot 10^{-4}$
5.	Блок трансформаторів струму БТТ30БТА	$0,3 \cdot 10^{-4}$
6.	Блок регулювання, захисту й керування БРЗУ115ВО-2С	$0,30 \cdot 10^{-4}$
7.	Блок чергування фаз БЧФ-208	$0,003 \cdot 10^{-4}$
8.	Контактор	$0,28 \cdot 10^{-4}$
9.	Випрямний пристрій F11RB4140	$0,62 \cdot 10^{-4}$
10.	Перетворювачі ПТС-800БМВ	$2,30 \cdot 10^{-4}$
11.	Акумуляторні батареї 20FP25НІСТ-R	$0,2 \cdot 10^{-4}$

Проводимо розрахунок $\lambda_{\text{ср}}$ по методиці викладеною вище і обчислюємо підставляючи у формулу (5.3) значення $\lambda_{\text{ср}}$ значення $P_c(t)$. Результати розрахунку зведені в таблицю.

Таблиця 5.4.

t, год.	0	100	200	300	400
P_c(t)	1	0,931	0,917	0,904	0,859

За наслідками виконаних розрахунків побудуємо графіки вірогідності безвідмовної роботи існуючої і вдосконаленої систем електропостачання літака.

Аналіз графіків, приведених на рис.5.1. показує, що вірогідність безвідмовної роботи розробленої СЕП перевищує вірогідність безвідмовної

роботи існуючої СЕП. Це досягається надійнішою елементною базою на основі якої можливо використання електричних машин і апаратури управління пропонованої СЕП.

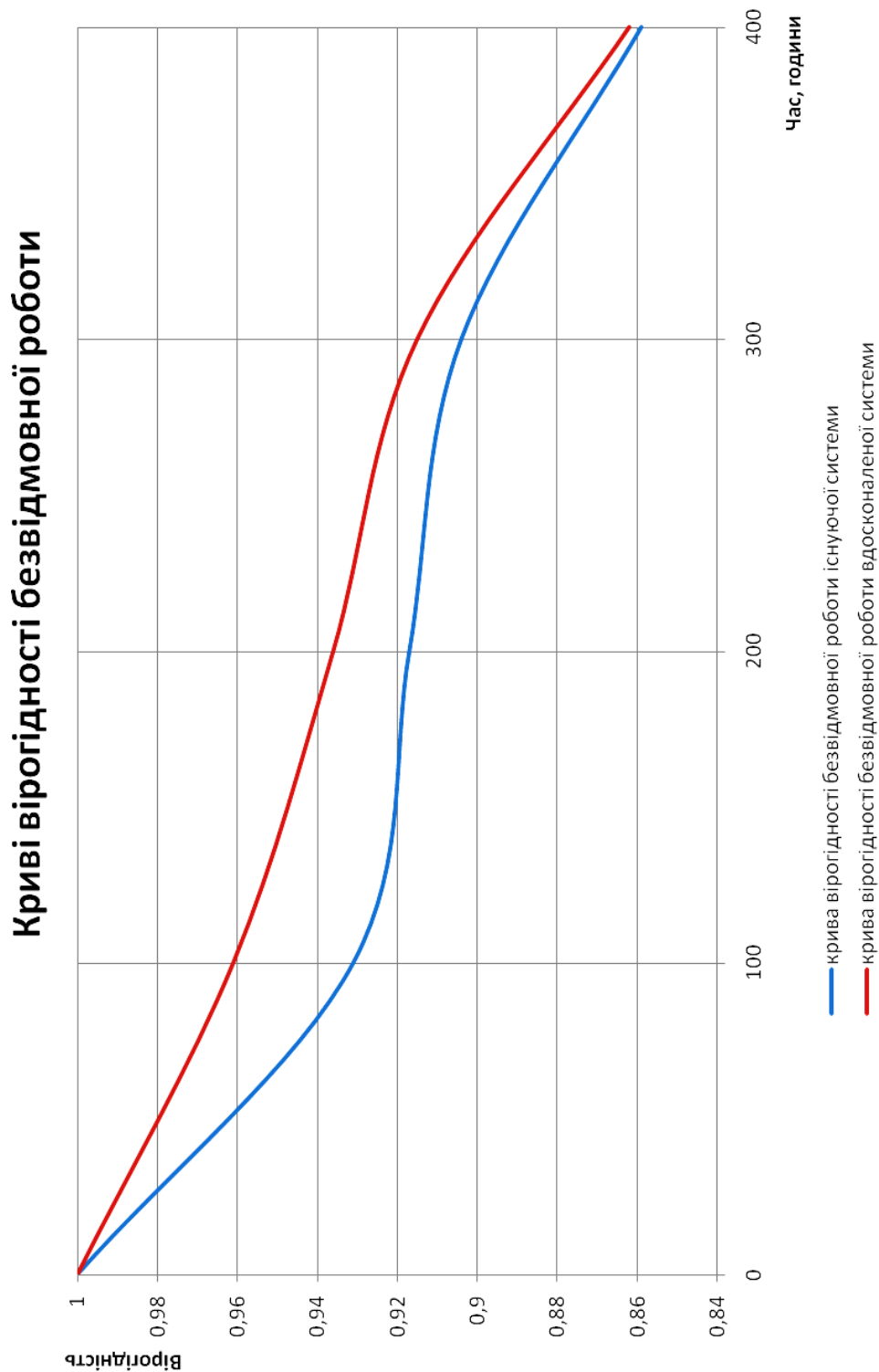


Рис.5.2.

РОЗДІЛ 6

Розробка інструкцій по технічній експлуатації спроектованого ПГА

Система генерування змінного струму володіє високою експлуатаційною надійністю, оскільки на літаку, як джерела електричної енергії встановлені безконтактні синхронні генератори.

Застосування на даному літаку апаратури захисту, управління і регулювання, зосередженою в окремих блоках (БТС30БТА, БРЗК115В-2с), блокова побудова системи електропостачання дає можливість автоматизованого перед польотного контролю несправностей системами вбудованого контролю, дозволяє забезпечити максимум зручностей і скоротити час на підготовку системи до мінімуму.

Перевірка працездатності і справності ПГА полягає в перевірці відповідності переходу генераторного агрегату з одного режиму роботи на інший, тобто з однієї ступіні на іншу.

Про перехід з одного режиму на інший складно судити по стрибкоподібній зміні струму АГ (або додатковій сигналізації або спільно).

Необхідно мати таблицю перемикання ступенів ПГА. А перевірку переходу на різні ступені роботи ПГА слід проводити при зміні режиму роботи авіадвигуна від малого земного газу до крейсерського режиму і назад. Розкид частоти обертання веденого ротора ЕМК, при перемиканні, не повинен перевищувати ± 50 об/хв., інакше погіршуються теплові умови роботи ПГА.

У системі автоматичного управління роботою ПГА повинне бути передбачене під регулювання частоти перемикання в невеликих межах.

При експлуатації системи необхідно пам'ятати, що на літаку підвищена небезпека поразки електричним струмом, в наслідку високої напруги 208 В 400 Гц.

Тому всі роботи по огляду, демонтажу електричних агрегатів повинні

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

проводитися при знеструмленій мережі.

Необхідно дотримувати заходи по техніці безпеки. При відмові агрегатів необхідно переконатися:

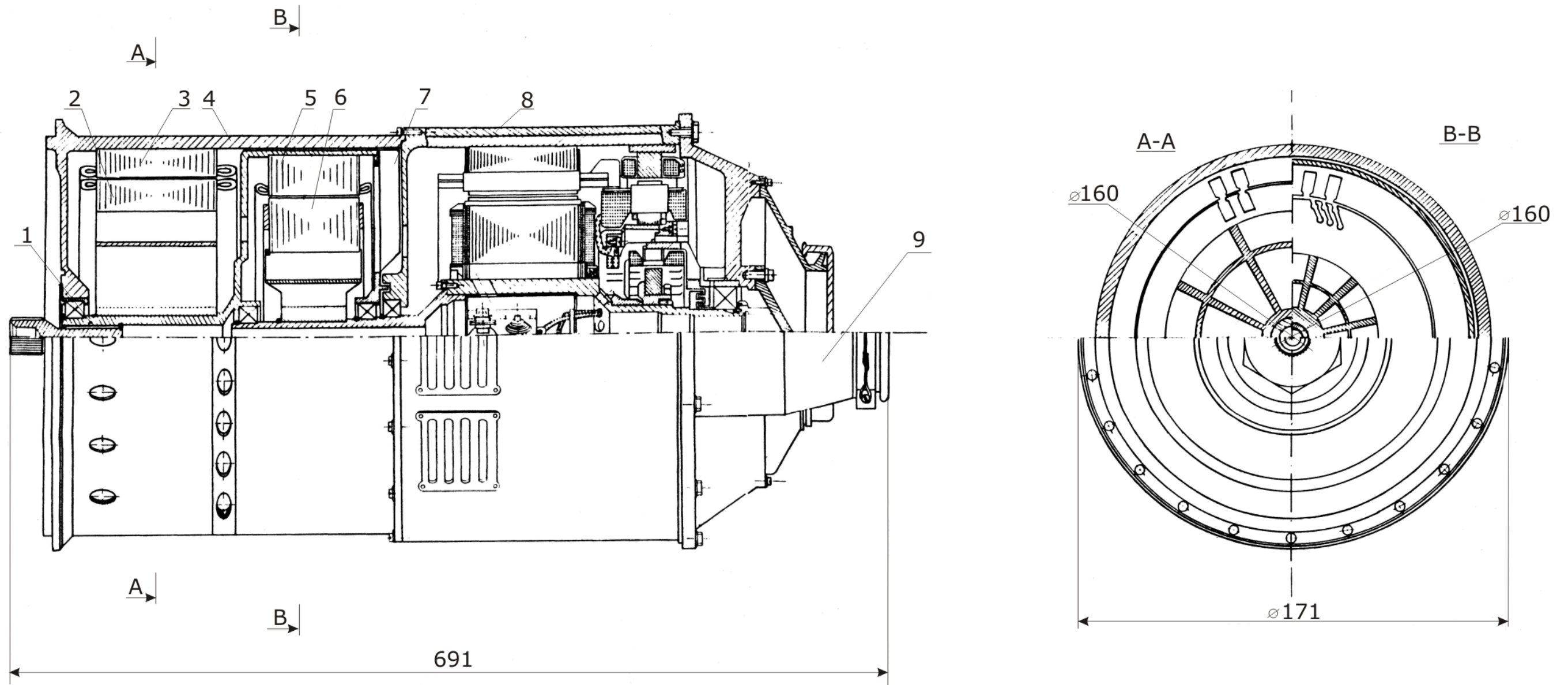
- у відсутності зовнішніх пошкоджень, деформацій, підгарів, перегрівів на поверхнях машин і монтажних проводах;
- у надійності кріплення генераторного агрегату, проводів, патрубків охолодження, стиковки і контування штепсельних роз'ємів.

Синхронний генератор ГТ30НЖЧ12 - безконтактна машина, його термін служби практично рівний терміну служби підшипників, які вимагають виконання регламентних робіт через 400 годин роботи. Параметри: U_n , f_n , I_n контролюються контрольно-вимірювальними приладами і табло, розміщеними на щиті контролю енергетики.

АП і ЕМК виконані безконтактними, а ЕМК має коротко замкнутий ведений ротор, що збільшує надійність роботи ПГА, і у перевірці і огляді мають потребу тільки підшипники. Особлива увага при експлуатації ПГА необхідно звернути на своєчасне і якісне змащування підшипників, інакше можливо їх руйнування і вихід з ладу ПГА.

Таким чином пропонований ПГА має деякі переваги в експлуатації:

- простота конструкції;
- вимагає малу кількість трудовитрат на експлуатацію;
- надійність;
- обслуговується фахівцем з АТ і в цілому забезпечує підвищення бойової готовності літака.



Форм	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
		1		Ведений вал ППЧО		
		2		Ротор АП		
		3		Статор АП		
		4		Корпус ППЧО		
		5		Ведучий ротор ЕМК		
		6		Ведомий ротор ЕМК		
		7		Вентиляторні лопаті		
		8		Корпус СГ		
		9		Патрубок для підводу повітря		

Рис. 6.1. Зовнішній вигляд привод-генераторного агрегату Формат А3

РОЗДІЛ 7

Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека праці на сучасному етапі розвитку виробництва набуває все більш важливе значення. З одного боку необхідно підвищувати ефективність виробництва, впроваджуючи механізми і машини у сферу діяльності людини. З іншого боку ефективність і інтенсивність виробництва ведуть до травматизму і виробничих захворювань працюючих.

Поняття охорони праці фактично розкриває головні напрямки, які створюють систему забезпечення безпеки життя і здоров'я працівників в процесі їх трудової діяльності, тобто ця система вміщує в собі заходи, які поодиночі або в сукупності спрямовані на створення умов праці, що відповідають вимогам збереження життя та здоров'я працівників в процесі трудової діяльності.

Охорона праці спирається на комплекс державних законодавчих актів.

Законодавство України про охорону праці складається з :

1. Закон України “ Про охорону праці “ Постанова Верховної Ради України від 14.10.1994р.

2. Закон України “ Про внесення змін і доповнень що стосується охорони праці, до Кодексу законів про працю України“.

3. Типове положення про службу охорони праці. Затверджено наказом Державного комітету України від 3.06.93р. №73.

4. Положення про Національну раду з питань безпечної життєдіяльності людини. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 15.09.93р. №733.

5. Перелік робіт з підвищеною небезпекою. Затверджений постановою Кабінету Міністрів України. Державним комітетом з питань по нагляду за охороною праці від 30.11.93р. №123.

Кафедра авіоніки			НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.		Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушіє
Керівник	Лужбін В.М.					
Рецензент	Левківський В.В.					
Н-контр.						
Зав.каф.	Павлова С.В.					

У державному стандарті України ДСТУ 2293-99 “Охорона праці. Терміни та визначення основних понять” встановлені терміни і визначення основних понять з охорони праці. Ці терміни повинні використовуватися як обов’язкові у всіх видах літератури.

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, гігієнічних або лікувально-профілактичних заходів і засобів,

спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Виробнича санітарія – система організаційних, гігієнічних і санітарно-технічних заходів та засобів, що запобігають впливу на працівників шкідливих виробничих факторів.

Гігієна праці – комплекс заходів і засобів щодо збереження здоров'я працівників, профілактики несприятливого впливу виробничого середовища і виробничого процесу.

Небезпечний (виробничий) фактор – виробничий фактор, вплив якого в певних умовах може призвести до травми або іншого раптового погіршення здоров'я працівника.

Шкідливий (виробничий) фактор – виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності працівника.

Законодавство про охорону праці України складається із Закону "Про охорону праці", "Кодексу законів про працю України" та інших нормативних актів, котрі регулюють взаємовідносини між різними суб'єктами права у сфері охорони праці.

Закон України про охорону праці визначає положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їхнього життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи й організації або уповноваженим ним органом (далі – власник) і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

7.1. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори при експлуатації ПГА

У даному розділі приведений аналіз розробленого у нашому дипломному проєкті ПГА з боку питань охорони праці, виконання вимог, забезпечення безпеки і надійної роботи системи.

При виконанні перевірки привод-генераторного агрегату на працюючих можуть впливати наступні фактори (небезпечні на виробництві):

Рухливі незахищені елементи (закрилки, рульові поверхні, передкрилки).

Виступаючі елементи (антени, датчики, приймачі повітряного тиску і температури зовнішнього повітря).

Відсутність чи недолік природного висвітлення при виконанні робіт у технічних відсіках.

Підвищене значення рівня постійного і змінного струму (~220В) в електричних ланцюгах, замикання яких може відбутися через тіло людини.

Для усунення всіх цих факторів повинний бути проведений ряд заходів.

7.2. Організаційні і технічні заходи з виключенню чи зменшенню рівня небезпечних і шкідливих факторів

Перелічимо заходи, забезпечуючи усунення (зменшення) небезпечних і шкідливих виробничих факторів, конкретно по кожному з перерахованих вище.

Передбачений маршрут обходу літака при огляді А і РЕО з землі повинний виключити можливість зіткнення інженерно-технічного складу з виступаючими чи рухливими частинами літака.

Розраховане штучне висвітлення (при роботі в технічному відсіку) повинне відповідати вимогам стандарту ОСТ54 72 003.82, а саме: освітлювальні прилади для загального і місцевого висвітлення повинні забезпечувати плановані якісні і кількісні характеристики освітлювальних установок. Їхній вибір варто робити відповідно до вимог СН і ПШ-4-79. Світильники місцевого висвітлення повинні бути оснащені світлорегуляторами. Повинні дотримуватися норми висвітлення: при загальному висвітленні 300 лк; при лабораторному – 750 лк. Робити виміри не рідше одного разу на рік. При

проведенні робіт у технічних відсіках для висвітлення робочої зони, варто використовувати головні світильники. Здійснювати регулярне чищення освітлювальних приладів.

КТО А і РЕО зроблено за умови вимог ОСТ 5471001-82 і після приєднання корпусу літака до стаціонарного пристрою, що заземлює, на стоянці літаків. Підключення джерела електроенергії виконувати при ТО тільки з дозволу посадової особи, відповідального за ТО А і РЕО літака.

Для виключення дотику до струмоведучих частин ПГА необхідно:

- пристрій розміщено у корпусі з діелектричного матеріалу;
- використано в монтажі проводи марки МБШВ багатодротові з ізольованою обмоткою, робочою напругою 250В і припустимою робочою температурою рівною $-50 +70$ °. Пробивна напруга проводу 700В, перетин $0,35 \text{ мм}^2$

7.3. Розрахунок захисного заземлення

Розрізняють заземлювачі – штучні, спеціально призначені тільки для заземлення електроустановок, і природні – металеві предмети і конструкції в землі.

Розрахунок заземлювального пристрою виконують для визначення кількості вертикальних заземлювачів, довжини з'єднувальної смуги і їх розміщення. При цьому враховують можливість використання природних заземлювачів.

Залежно від призначення заземлювального пристрою визначають норму опору.

Штучне заземлення виконують з вертикальних та горизонтальних заземлювачів. Для вертикальних заземлювачів використовують сталеві прутки довжиною 2,5...3 м, для горизонтальних заземлювачів використовують смугову сталь та прутки. При розрахунку визначають кількість вертикальних заземлювачів, довжину з'єднувальної смуги, та розташування цих елементів. Відповідно до ПУЕ-86 і вимог ГОСТ 12.1.030-81 для приладів, що живляться

напругою менше 1000 В з малим струмом замикання на землю (не більше 5А) опір пристрою заземлення має бути не більше $r_3=4$ Ом.

Вертикальні заземлювачі забивають за допомогою механізмів у попередньо вириті траншеї глибиною 0,7-0,8 м. Сталеві прутки діаметром 10-12 мм, довжиною 4-4,5 м вкручують за допомогою спеціальних пристосувань.

Занурені в землю вертикальні заземлювачі з'єднують смуговою сталлю, приварюючи її до верхнього кінця стрижня ребром нагору для кращого контакту з землею. Як самостійні заземлювачі при використанні смуги її укладають у таку ж траншею ребром нагору і засипають землею з наступним ретельним трамбуванням для поліпшення її контакту з землею.

Заземлювачі розташовують у місцях, де немає підсушування землі від прокладених трубопроводів та інших джерел тепла. Горизонтальні заземлювачі прокладають у траншеях з однорідним ґрунтом, без щебеню і будівельного сміття.

При існуванні небезпеки корозії заземлювачів збільшують переріз одиночних заземлювачів, застосовують оцинковані заземлювачі, використовують електричний захист заземлювачів проти корозії.

Допускається застосовувати як штучні заземлювачі, бетон, що проводить електрику. Для заземлювачів можна застосовувати метали, що були уживані, але вони не повинні мати сильних ознак корозії, повинні бути очищені від фарби, олії й ізолюючих речовин.

При спорудженні штучних пристроїв, що заземлюють, у районах з великим питомим опором ґрунту рекомендується:

застосовувати вертикальні заземлювачі більшої довжини (більше 3 м), якщо на глибині питомий опір ґрунту менше, ніж ближче до поверхні;

розташовувати виносні заземлювачі в місцях (до 2 км) з меншим питомим опором ґрунту;

укладати вологий глинистий ґрунт, який трамбують і засипають щебенем у траншеї навколо заземлювачів, прокладених горизонтально;

обробляти ґрунт для зниження його питомого опору, коли застосування інших заходів неефективне.

Природні заземлювачі – це металеві конструкції будинків, споруд та інших об'єктів чи предметів, що мають добрий електричний контакт з землею. Як природні заземлювачі можуть використовуватися: трубопроводи, прокладені в землі (крім трубопроводів для паливних рідин і вибухових газів); обсадні труби артезіанських колодязів і шпар; арматура залізобетонних конструкцій будинків і споруджень, що мають зв'язок з землею; свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі; заземлювачі опор, повітряні лінії електропередач (ЛЕП), з'єднані з заземлюючим пристроєм електроустановки за допомогою горизонтального троса, якщо він не ізолюваний від опору лінії; нульові проводи повітряних ЛЕП напругою до 1000 В з повторними заземлювачами при кількості ліній не менш двох; рейкові шляхи магістральних не електрифікованих залізниць і під'їзні колії при наявності допоміжного пристрою перемичок між рейками.

Природні заземлювачі приєднуються до магістралі заземлення не менше ніж у двох місцях.

Природні заземлювачі мають малий опір відносно розтікання електричного струму, а тому їхнє використання зумовлює дає економію металу. Природні заземлювачі використовують без штучних, якщо вони забезпечують встановлену в ПУЕ-86 норму опору, яка залишається незмінною від сезону до сезону.

Питомий опір ґрунту є найважливішим параметром, який впливає на опір заземлювача. Питомий опір ґрунту залежить від його складу, вологості та пори року.

Питомий опір ґрунту залежить і від часу року. Для зменшення сезонних коливань опору заземлювачі забивають (закладають) якомога глибше. Питомий опір ґрунту є найважливішим параметром, що визначає величину опору заземлювального пристрою. Тому при укладанні заземлювачів в піщаних, кам'янистих ґрунтах і в районах вічної мерзлоти необхідно застосовувати заходи, що знижують питомий опір ґрунтів.

Електропровідність ґрунту можна збільшити, якщо навколо заземлювача в радіусі більше 0,5 м замінити ґрунт дрібнозернистим, більш гігроскопічним

(глиною, жирним чорноземом, суглинком) чи додати до ґрунту кам'яновугільний шлак, деревне вугілля, золу, сажу, сіль. Крім того, місце установки заземлювача можна поливати водою чи розчинами солей хлористого натрію чи кальцію, розчинами мідного або залізного купоросу.

Для розрахунку прийнято питомий опір ґрунту $\rho=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Опір одиночного вертикального заземлювача у вигляді стержня:

$$R_{\text{ст}}=0,366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{d}+\frac{1}{2}\lg\frac{4H+1}{4H-1}\right),$$

де ρ – питомий опір ґрунту, $\text{Ом}\cdot\text{м}$; d – діаметр стержня, м; H – відстань від поверхні землі до половини довжини стержня, м; l – довжина стержня.

Для вертикального заземлювача вибрано трубу з такими розмірами:

довжина $l=2,7 \text{ м}$

діаметр $d=0,04 \text{ м}$

товщина стінки $t=0,003 \text{ м}$

Глибина закладення труби $H=2,05 \text{ м}$. Вертикальні заземлювачі розташовані в ряд на відстані між ними $a=3 \text{ м}$.

Для таких початкових даних опір одиночного вертикального заземлювача

$$R_{\text{ст}} = 0,366\frac{100}{2,7}\left(\lg\frac{2\cdot 2,7}{0,04}+\frac{1}{2}\lg\frac{4\cdot 2,05+2,7}{4\cdot 2,05-2,7}\right)=39,01 \text{ Ом}$$

Для розрахунку групового контурного заземлювача визначають коефіцієнт використання одиночного заземлювача. Цей коефіцієнт залежить від кількості заземлювачів, відстані між ними в групі, форми та розмірів. Попередньо можна прийняти кількість заземлювачів $n=20$. Відповідний коефіцієнт при $a/l=1$ і заданої кількості заземлювачів має значення $\eta_{\text{ст}}=0,50$.

Кількість заземлювачів у заземленні визначають за формулою:

$$n=\frac{R_{\text{ст}}}{r_3\eta_{\text{ст}}}$$

В такому разі:

$$n=\frac{R_{\text{ст}}}{r_3\eta_{\text{ст}}}=\frac{39,01}{4\cdot 0,5}=20,7\approx 21$$

Таким чином, в заземлювачі має бути не менше 21-го стержня. Тепер можна визначити довжину смуги, що з'єднує вертикальні стержні заземлювача:

$$L = a \cdot (n - 1) = 3 \cdot 20 = 60 \text{ м}$$

В якості з'єднувальної смуги заземлювача використовується смугова сталь. Опір розтікання струму в землі від з'єднувальної смуги шириною товщиною 4 мм, що закладена в землю на глибині $H=0,7$ м, визначають за формулою:

$$R_{\text{см}} = 0,366 \frac{\rho}{L} \lg \frac{2L^2}{bH}, \quad \text{де } b \text{ – ширина смуги. Для сталюї смуги}$$

шириною $b=0,04$ м та довжиною $L=60$ м опір:

$$R_{\text{см}} = 0,366 \frac{100}{60} \lg \frac{2 \cdot 60^2}{0,04 \cdot 0,7} = 2,9 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт використання смугового заземлювача $\eta_{\text{см}}=0,25$.

Опір всього заземлювача визначають за формулою:

$$R = \frac{R_{\text{ст}} R_{\text{см}}}{R_{\text{ст}} \eta_{\text{см}} + n R_{\text{см}} \eta_{\text{ст}}}$$

Після підстановки даних:

$$R = \frac{39,01 \cdot 2,9}{39,01 \cdot 0,25 + 21 \cdot 2,9 \cdot 0,5} = 2,84 \text{ Ом}$$

Розраховане заземлення має опір менше $r_3=4$ Ом, що відповідає чинним нормам безпеки.

7.4 Забезпечення пожежної і вибухової безпеки при експлуатації ПГА

Пожежна безпека об'єкта забезпечується ГОСТ12.1.004-91:

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Основними причинами виникнення пожежі при проведенні перевірки

ПГА є:

- коротке замикання елементів ланцюгів;
- неправильний вибір проводів у схемі підключення ПГА;

- переплутування штепсельних рознімачів;
- встановлення не відповідних номіналу запобіжників чи замикання їх дротом.

Перетин обраних проводів вибирають, виходячи із припустимої щільності струму.

Для запобігання переплутування штепсельних рознімачів використовуємо спосіб «захисту від дурня» — використовуємо різні ШР.

Установлені запобіжники, що відповідають номіналу струму.

7.5. Інструкція з техніки безпеки і пожежної безпеки при експлуатації ПГА

Інструкція розробляється відповідно до ДНАОП 0.00-4.15-98:

1. Загальні положення:

— До роботи з ПГА допускаються люди, що вивчили інструкцію, пройшли інструктаж і здали залік по техніці безпеки.

2. Перед початком роботи необхідно перевірити:

— Попередній запис у журналі здачі (приймання) приладу по зміні, звернути увагу на записи про технічний стан приладу;

— Перевірити справність обладнання, інструменту, захисних пристроїв небезпечних зон механізмів, систем блокування та сигналізації, знаків безпеки, первинних засобів пожежегасіння, виявлення видимих пошкоджень захисного заземлення (занулення).

3. Під час роботи з ПГА:

— Не допускається встановлювати запобіжники не відповідують номіналу, а також замикати їх дротом;

— При виконанні робіт суворо керуватися інструкцією і технологією по тій чи іншій перевірці;

— Забороняється підключати і відключати ШР при включеному електричному живленні;

— Забороняється застосовувати паяльник з напругою живлення понад 36В;

— Усі роботи, пов'язані з ремонтом ПГА, робити тільки справним інструментом;

— При виникненні пожежі гасити його за допомогою вуглекислотних вогнегасників ВУ-2.

4. Після закінчення робіт:

— Усі перемикачі поставити у вихідне положення, знеструмити мережу;

— Перевірити комплектацію приладів та інструменту.

5. У випадку виникнення пожежі необхідно прийняти міри:

— викликати пожежну команду;

— ужити заходів по евакуації людей, що знаходяться в зоні пожежі;

— застосувати засоби пожежегасіння, де вогнегасячими засобами є інертний чи вуглекислий газ, а також порошкові вогнегасники. Такими є вогнегасники типу ВУ-2; ВУ-5; ВУ-8; ВП-3; ВП-5; ВП-9.

РОЗДІЛ 8.

Охорона навколишнього середовища

Ріст обсягу перевезень на повітряному транспорті привів до значного збільшення шуму поблизу аеропортів і забруднення атмосфери вихлопними газами авіаційних двигунів. Положення збільшується ще й тим, що житлові квартали все ближче підступають до аеропортів. А це загрожує жителям явними незручностями від несприятливого впливу авіатехніки.

Вплив екологічних вимог став настільки велике, що часом доводиться відмовлятися від технічних рішень, досить привабливих, але, що приводять до значних негативних наслідків в екології.. Сьогодні (та й завтра теж) екологічні аспекти стають для світового співтовариства визначальними, а слова Гіппократа “ не нашкодь ” стали важливі не тільки для лікаря, але й для інженера.

8.1. Аеропорт — як джерело комплексного забруднення навколишнього середовища

На певних територіях визначальними джерелами комплексного хімічного і фізичного забруднення довкілля в сучасних умовах є аеропорти. Швидке зростання об'єму повітряних пасажирських перевезень, що спостерігається в світі, що збільшився за півстоліттям в 160 разів, привів до істотного збільшення витрати вуглеводневого палива, і як наслідок, об'єму викидів продуктів згорання в атмосферу на 3,5-4,5% щорічно. Такі ж темпи зростання зберуться в першому десятилітті ХХІ століття. Якщо транспорт світу нині споживає 20-25% всього спалюваного палива в рік, доля авіації в цьому вжитку складає близько 13%.

У населених пунктах провідним фізичним чинником, що впливає на населення, є шум.

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

Аеропорти також є джерелами генерації інтенсивного електромагнітного випромінювання, небезпечного для здоров'я.

Проблема емісії шкідливих речовин авіації – зараз одна з найважливіших проблем. Останніми роками викиди шкідливих газів в атмосферу лише зростають, що викликає занепокоєння екологів. На викиди забруднюючих речовин від авіації доводиться близько 3% загального об'єму викидів газів, що викликають парниковий ефект в Європі, проте їх рівень підвищується швидкими темпами, оскільки перельоти стають дешевшими, а витрати, пов'язані з охороною довкілля, при цьому не враховуються.

Проблема забруднення авіаційної техніки виникла не відразу. Перші норми були прийняті в 1971 році, а вводити їх потрібно було, коли почалося широкомасштабне використання літаків (десь в 60-і роки).

Шкідливі впливи на довкілля у авіаційній галузі:

1. Забруднення повітря.
2. Шумові забруднення.
3. Електромагнітні випромінювання.
4. Температурні зміни в районах аеродромів.
5. Геоекологічні забруднення в районах аеропортів.
6. Будівництво нових доріг.

8.1.1. Забруднення атмосфери

У зв'язку з тим що авіація активно сприяє глобальному потеплінню, однією з основних, якщо не найважливішою, є проблема емісії шкідливих речовин від авіаційних викидів.

Проблема емісії шкідливих речовин:

- емісія незгорілих вуглеводнів (HC);
- емісія оксиду вуглецю (CO);
- емісія оксидів азоту (NO_x);
- емісія диму (SN).

В даний час нормується емісія незгорілих вуглеводнів (C_nH_m), оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO_x), диму (SN) від турбореактивних і

турбовентиляторів двигунів цивільних літаків в зоні аеропортів, а також забороняється навмисний викид палива після зупинки двигуна.

Найбільше забруднення довкілля відбувається в зоні аеропортів під час посадки і зльоту літаків, а також під час прогрівання їх двигунів. Підраховано, що при 300 зльотах і посадках трансконтинентальних авіалайнерів на добу, шкідливі речовини потрапляють в атмосферу не рівномірно, а залежно від графіка роботи аеропорту. При роботі двигунів на злеті і посадці в довкілля поступає найбільша кількість оксиду вуглецю і вуглеводневих з'єднань, а в процесі польоту – максимальна кількість оксидів азоту. Оцінка сумарної кількості основних забрудників, що поступають в повітряне середовище контрольованої зони аеропорту цивільної авіації в результаті його виробничої діяльності (без врахування забруднення повітря спецавтотранспортом і іншими наземними джерелами), показує, що на площі близько 4 км² виділяється в атмосферу за 1 добу від 1000 до 1500 кг оксиду вуглецю, 300 – 500 кг вуглеводневих з'єднань і 50 – 8- кг оксидів азоту. Така кількість шкідливих речовин, що виділяються, при несприятливому поєднанні метеорологічних умов може наводити до підвищення їх концентрацій до значних величин.

При надзвичайних і аварійних ситуаціях літаки вимушені зливати в повітрі зайве паливо для зменшення посадочної маси. Кількість палива, що зливається літаком за 1 раз коливається від 1 до 25 тис. літрів. Частина палива, що випарувалася, розсіюється в атмосфері без небезпечних наслідків, проте, частина, що не випарувалася, досягає поверхні землі і водоймищ і може викликати сильні місцеві забруднення. Доля палива, що не випарувалося, досягає поверхні землі у вигляді крапель, залежить від температури повітря і висоти зливу. Навіть при температурі більш 20°C на землю може випадати до декількох відсотків палива, що зливається, особливо при зливі на малих висотах.

Але небезпечніше інше. При польоті в нижніх шарах стратосфери двигуни надзвукових літаків виділяють оксиди азоту, що веде до окислення озону. У стратосфері відбувається інтенсивна взаємодія сонячних променів з

молекулами кисню. В результаті молекули розпадаються на окремі атоми, а ті, приєднуючись до молекул кисню, що збереглися, утворюють озон. Область підвищеної концентрації озону, так звана озоносфера, яка доводиться на висоти 20 – 25 км, грає дуже важливу роль для Землі. Поглинаючи майже всю ультрафіолетову радіацію, озон, тим самим, оберігає живі організми від загибелі.

Хоча сумарний викид забруднюючих речовин двигунами літаків порівняно невеликий (для міста, країни), в районі аеропорту ці викиди вносять визначальний вклад до забруднення середовища. До того ж турбореактивні двигуни (так само як дизельні) при посадці і зльоті викидають добре помітний на око шлейф диму. Значну кількість домішок в аеропорту викидають і наземні пересувні засоби, від'їжджаючи і від'їжджаючи автомобілі.

Емісія шкідливих речовин від літаків і наземних засобів у аеропорту Лос-Анджелеса в 1990р. представлена в табл. 8.2.

Емісія шкідливих речовин від літаків фірми Боїнг. Таблиця 8.2.

Речовина	CO, т	C _m H _n , т	NO _x , т	Аерозоль
Літаки	3025	3500	4500	3820
Наземні засоби	2080	735	750	80

Згідно отриманим оцінкам, в середньому близько 42% загальної витрати палива витрачається на вирулювання літака до злітно-посадкової смуги (ЗПС) перед зльотом і на зарулювання з ЗПС після посадки (за часом в середньому близько 22 хв.). При цьому доля незгорілого і викинутого в атмосферу палива при пілотуванні набагато більша, ніж у польоті. Окрім поліпшення роботи двигунів (розпилення палива, збагачення суміші в зоні горіння, використання присадок до палива, вприскування води та інше), істотного зменшення викидів можна добитися шляхом скорочення часу роботи двигунів на землі і числа працюючих двигунів при рулюванні (лише за рахунок останнього досягається зниження викидів в 3-8 разів).

8.1.2. Авіаційний шум, як джерело забруднення



В даний час приблизно 2% населення України піддаються дії авіаційного шуму, що перевищують нормативні вимоги.

Експлуатація літаків великого тоннажу з потужними турбореактивними і турбогвинтовими двигунами, збільшення інтенсивності їх польотів, зростання парку і розширення сфери вживання цивільних вертольотів приводять до значної “зашумленості” околиць аеропортів і територій під повітряними трасами.

Авіаційний шум робить істотний вплив на шумовий режим території в околицях аеропортів, який залежить від напряму злітно-посадочних смуг і трас прольотів літаків, інтенсивності польотів протягом доби, сезонів року, від типів літаків, що базуються на даному аеродромі, і інших чинників. При цілодобовій інтенсивній експлуатації аеропортів рівні звуку на житловій території досягають в денний час 80 дБ і в нічний час – 78 дБ, максимальні рівні коливаються від 92 до 108 дБ.

У деяких містах за рівнем створюваного шуму і загальної площі зашумленості території одне з основних місць серед всіх джерел шуму займає повітряний транспорт.

Для авіаційного шуму, як ні для якого іншого, характерний дратівливий ефект. Шум літаків при раптовому виникненні на тихому шумовому фоні викликає у людей почуття страху, особливо в нічний час.

Найбільше занепокоєння відчувають люди, страждаючі захворюваннями нервової і серцево – судинної систем, шлунково-кишкового тракту тощо. Відсоток скарг від цієї частини населення (64 – 90%) набагато більший, ніж від здорових людей (39 – 52%).

8.1.3. Електромагнітні випромінювання, та їх шкідливий вплив на НПС

У аеропортах цивільної авіації електромагнітна обстановка визначається в основному випромінюванням потужних станцій радіолокацій, призначених для навігації повітряних судів. До них в першу чергу відносяться наземні оглядові станції радіолокацій, що працюють в діапазонах ультрависоких і надвисоких частот. Дія електромагнітного поля на людину в районах

розміщення цих станцій носить переривистий характер, який обумовлений періодом обертання електромагнітного випромінювання. Дослідження підтвердили можливість вживання розрахункових методів для попередньої оцінки електромагнітної обстановки довкола станцій радіолокацій. Результати обстеження електромагнітної обстановки в районі ряду аеропортів країни показали, що в 60% випадків в біля розташованих населених пунктах були потрібні спеціальні заходи щодо захисту населення, які і були здійснені.

8.2. Екологічні наслідки авіаційних катастроф

Аварія — це небезпечна подія техногенного характеру, що створює на об'єкті, території або акваторії загрозу для життя і здоров'я людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого процесу та завдає шкоди довкіллю.

Катастрофа — це великомасштабна аварія, яка призводить до важких наслідків для людини, тваринного й рослинного світу, змінюючи умови середовища існування.

Необхідність транспорту в наш час не викликає жодного сумніву. Транспортні засоби мають великий позитивний вплив на економіку країни, створюють зручність і комфорт для людей. Розвиток транспорту, підвищення його ролі у житті людей супроводжується не тільки позитивним ефектом, а й негативними наслідками, зокрема, високим рівнем аварійності транспортних засобів.

Будь-який транспортний засіб — це джерело підвищеної небезпеки. Людина, що скористалась послугами транспортного засобу, знаходиться в зоні підвищеної небезпеки. Це зумовлюється можливістю ДТП, катастрофами та аваріями поїздів, літаків, морських та річкових транспортних засобів, травмами при посадці чи виході з транспортних засобів або під час їх руху.

Повітряний транспорт. З моменту виникнення авіації виникла проблема забезпечення безпеки авіа польотів. На відміну від інших видів транспорту

відмови двигунів у польотах практично завжди призводять до неминучих катастрофічних наслідків. У середньому щорічно в світі стається близько 60 авіаційних катастроф, в 35 з яких гинуть усі пасажери та екіпаж. Близько двох тисяч людських життів щорічно забирають авіаційні катастрофи, а на дорогах світу, щорічно гине понад 250 тисяч чоловік. Отже, ризик потрапити під колеса машин в 10-15 разів вищий від ризику загинути в авіакатастрофі.

Аналіз авіаційних катастроф у світовому масштабі показує, що загальний шанс на спасіння в авіакатастрофах при польотах на великих реактивних авіалайнерах значно вищий, порівняно з невеликими літаками.

Наслідки при авіакатастрофах для пасажирів можуть бути: від слабого невротичного шоку до тяжких чисельних травм. Це можуть бути ушкодження тазових органів, органів черевної порожнини, грудної клітки, поранення голови, шії, опіки, переломи, особливо нижніх кінцівок, асфіксія, яка настає внаслідок дихання парами синильної кислоти, що виділяється при горінні пластикових матеріалів корпусу літака. При катастрофах деяких травм можна уникнути, якщо дотримуватись певних рекомендацій. Ці рекомендації збільшують шанси пасажирів на спасіння в будь-якій ситуації.

Окрім, людських жертв з числа авіапасажирів масштабні авіакатастрофи приводять до серйозних екологічних наслідків:

- виникнення пожеж та вибухів в місцях, де відбулася авіакатастрофа;
- виливання паливо-мастильних речовин, що призведе до забруднення навколишнього середовища.

Наслідком таким пожеж є значне вигорання ділянок лісу, знищення флори і фауни в місцях загорання, виникнення димової завіси, що може негативно відобразитися на здоров'ї людей та тварин, що живуть поблизу. Також у випадку падіння літаків, авіалайнерів у водоймища може відбутися виливання нафтопродуктів і утворення плівки на поверхні води, що призведе до гибелі значної кількості водної живності через не потрапляння повітря у середину водоймища.

Висновок:



Шляхи скорочення екологічних авіаційних забруднень різноманітні. Ряд з них застосуємо тільки на стадії проектування повітряних судів, частина застосовна на діючій. Наприклад, розглянутому перевізникові можна порекомендувати підвищувати коефіцієнт завантаження рейсів шляхом регулювання тарифів на перевезення. Здобуття додаткової енергії на борту завжди зв'язане з використанням генераторних пристроїв, що володіють низькими екологічними характеристиками. Малі габарити і маса конструкцій приладів, помітно понизить навантаження на механічну частину літальних апаратів. Тривалий термін роботи і високі ремонтні якості ВОГ також можуть сприятливо позначитися на їх використанні.

ВИСНОВОКИ

На основі аналізу технічних характеристик літака Ан-148 та його існуючої системи електропостачання, вказані недоліки даної СЕП в цілому. На основі цих недоліків у даному проекті надане обґрунтування необхідності вдосконалення СЕП шляхом її заміни на СЕП змінного струму постійної частоти, встановивши на літаку привод-генераторний агрегат, що складається з електромеханічного перетворювача (привод постійної частоти обертання) та синхронного генератора, розміщених у одному корпусі.

Розроблена принципова схема та конструкція каскадного з'єднання асинхронного перетворювача та електромагнітної муфти ковзання безконтактного багатоступінчатого ППЧО.

Виконаний розрахунок відносної потужності втрат ковзання ЕМК агрегату і частот перемикання ППЧО з однієї ступіні на іншу в залежності від відношення чисел пар полюсів АП і ЕМК. Середнє розрахункове значення ККД для ППЧО складає 0,7.

На основі аналізу режимів роботи авіадвигуна і розрахунку відносної потужності втрат ковзання ЕМК встановлено, що на даному ЛА немає необхідності використовувати всі шість ступіней роботи ППЧО, а достатньо п'яти.

Проведений електромагнітний розрахунок АП та ЕМК у результаті чого визначені основні розміри та масові показники цих машин.

Як слідує з розрахункових даних, розроблений ППЧО за своїми масово-енергетичними показниками не поступається гідролопаточним ППЧО, що підтверджує доцільність застосування розробленого ППЧО, який сумісно з СГ може являтися основним джерелом змінного струму постійної частоти на даному літаку, а також на перспективних ЛА.

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левківський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						

Дана оцінка надійності існуючої і розробленої СЕП. Порівняльний аналіз надійності показав ряд переваг розробленої СЕП над існуючою.

Крім того запропонована СЕП володіє кращими експлуатаційними показниками з точки зору можливості обслуговування агрегату спеціалістами по АО і РЕО, зменшення обсягу та часу виконання різних видів робіт, ремонтпридатності (заміна, того що відмовив на справний) та інших видів обслуговування.

Запропонована СЕП відповідає вимогам, які висуваються до систем електропостачання і може бути використана на літаку Ан-148 та на інших літаках.



Список використаних джерел

1. Свириденко П.А., Красношапка М.М., Винокуров В.А. "Расчёт электрических машин переменного тока повышенной частоты" ВВИА им. Н.Э.Жуковского
2. Красношапка М.М. "Теория и расчет электро-динамических редукторов с регулируемым передаточным отношением" КВИАВУ ВВС, 1976
3. Лужбин В.Н. "Теория и расчёт авиационных электромеханических привод-генераторных агрегатов переменного тока постоянной частоты" ХВВАИКУ 1981
4. Руководство по технической эксплуатации самолёта Ан-148-100
5. Куприн Б.В., Рулов К.Д., Сиднев И.И. "Системы электроснабжения ЛА" ВВИА им. Н.Э.Жуковского
6. Власов С.Г. "Проектирование систем электроснабжения ЛА" Москва 1967
7. Красношапка М.М. "Электроснабжение и энергетические системы ЛА" КВИАВУ ВВС, 1976
8. Красношапка М.М. "Электроснабжение ЛА" Москва 1973
9. Лужбин В.Н "Анализ авиационных привод-генераторных агрегатов переменного тока постоянной частоты" ХВВАИКУ 1982
10. Протоерейский А.С. "Электробезопасность при технической эксплуатации ВС и аэропортов ГА". – К.: КИИГА, 1985 г.
11. Пупырев Е.И., Корецкий В.Е., Мирный А.Н., Скворцов Л.С., Холодков В.В. "Инженерная экология", 2009

Кафедра авіоніки				НАУ 20 06 81 000 ПЗ			
Розробив	Олійник О.Г.			Електромеханічний привід постійної частоти обертання синхронного генератора літака Ан-148	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Лужбін В.М.						
Рецензент	Левкієвський В.В.						
Н-контр.							
Зав.каф.	Павлова С.В.						