

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ  
СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ В.П. Квасніков  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)  
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА  
за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»**

**Тема:** Удосконалена система електропостачання аеродромного пересувного агрегату АПА-5Д

**Виконав:** \_\_\_\_\_ Жила Володимир Миколайович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Сірий Дмитро Терентійович

**Консультанти з розділів:**

**Охорона праці**

**Охорона навколишнього середовища:** \_

**Нормоконтролер** \_\_\_\_\_ Катаєва М.О.

Київ 2020

# Національний авіаційний університет

Аерокосмічний факультет

Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач випускової кафедри

В.П. Квасніков

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

**Жили Володимира Миколайовича**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема дипломної роботи:** «Удосконалена система електропостачання аеродромного пересувного агрегату АПА-5Д»

затверджена наказом ректора від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. **Термін виконання роботи:** з \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

3. **Вихідні дані до роботи:** для аеродромного пересувного агрегату АПА-5Д розробити покращену систему електропостачання, що забезпечує запуск всіх літальних апаратів.

4. **Зміст пояснювальної записки:** вступ, аналіз аеродромних пересувних агрегатів, розробка системи електропостачання вдосконаленого аеродромного пересувного агрегату, розрахунки випрямляючого пристрою для вдосконаленої системи електропостачання АПА-5Д, охорона праці, охорона навколишнього середовища, висновки.

5. **Перелік обов'язкового графічного матеріалу:**

1. Таблиця технічних даних АПА,
2. Структурна схема АПА-5Д,
3. Структурна схема удосконаленого АПА-5Д,
4. Принципова електрична схема регулювання напруги,
5. Принципова електрична схема системи корекції напруги,
6. Принципова електрична схема випрямляча,
7. Трансформатор з обертальним магнітним потоком.

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Аналіз вихідних даних. Підбір літератури	24.10–30.10	виконано
2.	Аналіз аеродромних пересувних агрегатів	31.10–15.11	виконано
3.	Розробка системи електропостачання вдосконаленого аеродромного пересувного агрегату	16.11–06.12	виконано
4.	Розрахунки випрямляючого пристрою для вдосконаленої системи електропостачання АПА-5Д,	07.12–10.12	виконано
5.	Охорона праці	11.12–13.12	виконано
6.	Охорона навколишнього середовища	14. 12–16.12	виконано
7.	Висновки	17.12–18.12	виконано
8.	Реферат, оформлення записки, роздаточного графічного матеріалу	19.12–21.12	виконано

## 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	д.т.н., доцент Фролов В.Ф.		
Екологія	асистент Кичата Н.М.		

8. Дата видачі завдання: “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

Керівник дипломного проекту \_\_\_\_\_ Сірий Д.Т. \_\_\_\_\_  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Жила В.М. \_\_\_\_\_  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи “Удосконалена система електропостачання аеродромного пересувного агрегату АПА-5Д” включає: 90 сторінок, 11 рисунків, 5 таблиць, 21 використаних джерел.

АЕРОДРОМ, ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, ЕЛЕКТРОАГРЕГАТ, ВИПРЯМЛЯЧ, ТРАНСФОРМАТОР, ГЕНЕРАТОР, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Об’єкт дослідження – наземні авіаційні джерела електроенергії.

Предмет дослідження – аеродромні пересувні електроагрегати для обслуговування літальних апаратів.

Метою дипломного проекту є розроблення на базі вітчизняного АПА-5Д уніфікованого аеродромного пересувного електроагрегату, здатного обслуговувати всі сучасні літальні апарати.

Методи дослідження – математичне моделювання, теоретичні основи електротехніки, спостереження, порівняння, економічна теорія.

Показано, що АПА з одним первинним джерелом енергії – авіаційним синхронним генератором змінного струму ГТ120ПЧ6А разом з штатним транзисторним регулятором напруги типу БРЗУ-115, та випрямлячем, виконаним на базі керованого трансформатора з обертальним магнітним полем та двома вторинними обмотками з випрямляючими мостами, які можуть перемикатися з паралельної роботи на послідовну, забезпечуючи живлення стартерів авіадвигунів при їх пуску за схемами 24/48 В та 0-70 В, здатний обслуговувати всі сучасні літальні апарати.

Матеріали дипломного проекту рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності фахівців конструкторських бюро.

Прогнозні припущення щодо розвитку об’єкта дослідження – розроблення оптимального аеродромного пересувного електроагрегату, здатного обслуговувати всі сучасні літальні апарати.

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. Аналіз аеродромних пересувних агрегатів, що використовуються в аеропортах України.....	11
1.1. Коротка тактико-технічна характеристика аеродромних пересувних агрегатів (АПА).....	11
1.1.1. Основні технічні характеристики аеродромного пересувного агрегату АПА-5Д.....	15
1.2. Тактико-технічні вимоги до систем електропостачання АПА.....	19
1.2.1. Вимоги до джерел постійного струму.....	19
1.2.2. Вимоги до якості електроенергії джерел змінного струму високої частоти.....	22
1.2.3. Тактичні вимоги до систем електропостачання АПА.....	23
1.3. Експлуатаційна характеристика систем електропостачання АПА.....	24
Розділ 2. Розробка систем електропостачання удосконаленого аеродромного пересувного агрегату АПА-5Д.....	28
2.1. Обґрунтування та розробка структурної схеми пересувного агрегату.....	28
2.2. Основні характеристики та особливості роботи бортових приймачів електроенергії.....	32
2.3. Вибір системи генерування змінного струму.....	36
Розділ 3. Розрахунок випрямляча для вдосконаленої системи електропостачання АПА-5Д.....	40
3.1. Розробка схеми випрямляча уніфікованого АПА.....	40
3.2. Конструкція регулюючого трансформатора.....	45
3.3. Розрахунок геометричних розмірів та параметрів трансформатора.....	48
3.4. Розрахунок первинної обмотки трансформатора.....	49
3.5. Визначення витрат електроенергії у пересувному агрегаті АПА-5Д.....	51
Висновки.....	54



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АПА – аеродромний пересувний електроагрегат;

БЗК – блок захисту та комутації;

БТС – блок трансформаторів струму;

БСЧ – блок стабілізації частоти;

БРЗУ – блок регулювання, захисту та управління;

ГТД – газотурбінний двигун;

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

ДС – датчик струму;

ЕМП – електромагнітне поле;

ЛА – літальний апарат;

НАДЕ – наземні авіаційні джерела електроенергії;

НС – навколишнє середовище;

ПММ – паливно-мастильні матеріали;

ПУ – пульт управління агрегату;

РН – регулятор напруги основного випрямляча;

СГ – синхронний генератор;

СЕП – система електропостачання;

ТОМП – трансформатор з обертальним магнітним полем;

ШРАЖ – штепсельний роз'єм аеродромного живлення;

## ВСТУП

Успішне виконання наземних робіт з експлуатації сучасних літаків, їх силових установок, багаточисельних та складних електрифікованих і автоматизованих систем автоматичного озброєння, радіотехнічного і авіаційного обладнання в теперішній час неможливо без використання спеціальних машин і механізмів перевіркової та контрольно-вимірювальної апаратури і засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів. Одні з таких засобів – наземні авіаційні джерела електроенергії (НАДЕ). Ці джерела при технічному обслуговуванні літальних апаратів зберігають ресурс авіаційних двигунів та бортових джерел електроенергії, скорочують витрати палива та мастильних матеріалів, знижують шум та забруднення навколишнього середовища. Крім розділення за родом струму, НАДЕ поділяються за видом первинного джерела енергії, способу перетворення та мобільності. В ролі первинного джерела енергії використовують двигун внутрішнього згорання чи аеродромну силову електромережу з наругою 380/220 В, частотою 50 Гц.

При використанні двигуна внутрішнього згорання електроенергія виробляється генератором змінного та постійного струму. Джерела з двигуном внутрішнього згорання, зазвичай, самохідні. В їх конструкцію крім генераторів входять додатково електромашинні перетворювачі, трансформатори, випрямлячі та акумуляторні батареї, що в сукупності можуть забезпечити живлення бортової мережі літаків всіма видами електроенергії. Такі джерела повністю автономні і називаються аеродромними пересувними електроагрегатами (АПА). У аеропортах цивільної авіації та авіапідприємствах використовувались такі агрегати як АПА-5Д; АПА-35-2М; АПА-4Г; АПА-50М; АПА-80 та АПА-100.

Наразі випуск агрегатів АПА-50М; АПА-4Г та АПА-35-2М заводами-виробниками та підприємствами припинено. Вдосконалені моделі електроагрегатів АПА-80 та АПА-100 випускаються за межами держави у м. Новосибірськ. Цей факт обумовлює ряд перешкод при укладенні угод, розрахунку та доставки їх з підприємств Росії.



На відміну від них устаткування та обладнання електроагрегату АПА-5Д було розроблене і монтується на підприємствах України.

Таким чином, для обслуговування літальних апаратів, що стоять на озброєнні нашої держави, необхідно брати АПА-5Д, який найкраще підходить за вищевказаними причинами для подальшої уніфікації та використання в Україні.

Об'єкт дослідження – наземні авіаційні джерела електроенергії.

Предмет дослідження – аеродромні пересувні електроагрегати для обслуговування літальних апаратів.

Метою дипломного проекту є розроблення на базі вітчизняного АПА-5Д уніфікованого аеродромного пересувного електроагрегату, здатного обслуговувати всі сучасні літальні апарати.

В роботі приведений аналіз тактико-технічних характеристик АПА, що використовуються на аеродромах України, який дозволяє обґрунтовано вибрати для подальшої уніфікації вітчизняний АПА-5Д. Розроблені вимоги до системи електропостачання удосконаленого АПА-5Д. Запропонована структурна схема удосконаленого АПА-5Д з одним первинним джерелом енергії – авіаційним синхронним генератором змінного струму ГТ120ПЧ6А разом з штатним транзисторним регулятором напруги типу БРЗУ-115.

В якості джерела постійного струму використовується випрямляч.

Випрямляч виконаний на базі керованого трансформатора з обертальним магнітним полем та двома вторинними обмотками з випрямляючими мостами, які можуть перемикатися з паралельної роботи на послідовну, забезпечуючи живлення стартерів авіадвигунів при їх пуску за схемами 24/48В та 0-70В, дозволяючи обслуговувати всі сучасні літальні апарати.

Розроблена конструкція керованого трансформатора з обертальним магнітним полем та розраховані його геометричні розміри та параметри.

В дипломному проекті проведений також аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників, що виникають під час роботи з АПА, та пропоновані методи їх усунення. Розглянуто також пожежну безпеку та правила техніки безпеки.

Виконаний аналіз екологічної небезпеки об'єкту, який проектується, та розроблені заходи для підвищення екологічної безпеки.

Матеріали дипломного проекту рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності фахівців конструкторських бюро.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розроблення оптимального аеродромного пересувного електроагрегату, здатного обслуговувати всі сучасні літальні апарати.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ АЕРОДРОМНИХ ПЕРЕСУВНИХ АГРЕГАТІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В АЕРОПОРТАХ УКРАЇНИ

#### 1.1. Коротка тактико-технічна характеристика аеродромних пересувних агрегатів (АПА)

Аеродромний пересувний електроагрегат призначений для живлення літальних апаратів електричною енергією під час підготовки авіаційної техніки до польотів, її налагоджень та регулювання. Найбільше на підприємствах цивільної авіації використовуються такі АПА: АПА-5Д, АПА-35-2МУ, АПА-35/20-130, АПА-50М, АПА-80, АПА-100. Основні технічні дані цих агрегатів приведені в таблиці 1.1.

Номінальна напруга постійного струму всіх АПА, що використовуються, складає 28,5 В, змінного струму з частотою 400 Гц, 115 В однофазного і 36 В трифазного. АПА-35-2МУ та АПА-80 не передбачені для живлення трифазним змінним струмом частотою 400 Гц та напругою 36 В. На всіх АПА електроагрегат змонтований на шасі вантажного автомобіля з підвищеною прохідністю.

Основними джерелами електричної енергії постійного струму є генератори промислового типу та літакові генератори. З генераторів промислового типу використовуються як одноколекторні генератори ПР 600 та ГАО-36, так і двоколекторні ПР 600×2.

Всі вони мають змішану систему збудження, додаткові полюси і є машинами закритого типу з максимальною самовентиляцією.

В АПА-5Д генератор постійного струму приводиться в рух від двигуна через розподільчу коробку, а стабілізація напруги здійснюється електромашинним регулятором, який діє на дросельну заслінку.

Тип АПА Показники	АПА-5Д	АПА-35-2МУ	АПА-35/20-130	АПА-50М	АПА-80	АПА-100
Тип базового автомобіля	Урал-4320	Зил-130	Зил-130	Зил-131	Зил-131	Урал-4320
Маса, кг.	10600	7100	7200	10550	10250	13230
Привід генераторів	Ходовий двигун через розподільчу коробку	Дизель ЯАЗ-м2-4ГЗ	Дизель ЯАЗ-м2-4ГЗ	Дизель У1Д6-04 через розподільчу коробку.	Дизель КамАЗ-740	Дизель 1Д6ВБ
Сумарна потужність агрегата, кВт.	60	35	35	50	80	100
Постійний струм (тип генератора)	ПР 600×2	ПР600×2	ГАО-36 (2шт)	Випрямляч від БСГ-112-40	ПР600×2М2	Випрямляч від БСГ-175
Номінальна потужність системи постійного струму,	34(2×17)	34	34	50(2×25)	30 (2×15)	30 (2×15)

Таблиця 1.1. Типи АПА, що використовуються на аеродромах, та їх найважливіші показники

1	2	3	4	5	6	7
Акумуляторні батареї, шт		12-АСА- 150	6СТ-140Р (2)	12-АСП-150 (4)	6СТ-132М (4)	6СТ-132ЭМ (4)
Здійснювані режими пуску АД (постійний струм)	24 В. 24/48 В.	24 В., 24/48 В, 70 В.	24 В. 24/48 В.	24 В., 24/48 В., 70 В.	24 В., 24/48 В., 70 В.	24 В., 24/48 В., 70 В.,90 В.
Змінний струм (тип генератора)	ГТ 40ПЧ6	—	ГС-30	ГТ60ПЧ8АТВ	БГС-112-40	БСГ-175
Номінальна потужність системи змінного струму, кВт.	40		25	50	80	100
Трифазний змінний струм 36В: тип трансформатора, потужність. кВт	ТС315СО4Б (2шт) 2×15	—	6ДК-171-065 1,5	ТС315СО4Б 1,5	—	ТСТ50/50- 400 (2 шт.) 2×1,5
Однофазний змінний струм 120 В: джерело струму потужність, кВт	Трансформа тор 200/115 (2 шт.) 2×7	ПО-600 6	ГС-30 в однофазному режимі 7,5	СГО-30У 2088 30 кВа Т-15-115 В. 15	Генератор в однофазно му режимі 12	Генератор в однофазно му режимі 15

Закінчення таблиці 1.1. Типи АПА, що використовуються на аеродромах, та їх найважливіші показники

В АПА-35-2МУ, АПА-35/20-130, АПА-50М привід генераторів постійного струму здійснюється від автономного дизельного двигуна, що має всережимний регулятор швидкості обертання. В комплект комутаційної та захисної апаратури АПА на постійному струмі входять контактори ДМР, АЗП та тугоплавкі запобіжники. В якості додаткового джерела електроенергії на АПА використовуються кислотні акумуляторні батареї типів 12-АСА-150, 6СТ-140Р, 6СТ-132М, 6СТ-132ЭМ.

Джерелами електроенергії змінного струму на АПА є електромашинні перетворювачі а також трифазні та однофазні генератори.

На АПА-35-2МУ джерелом однофазного змінного струму 115 В, 400 Гц є літаковий перетворювач типу ПО-6000.

Система змінного струму АПА-35/20-130 складається з синхронного генератора ГС-30 та трифазного трансформатора 6ДК.171.065. Він же є джерелом однофазного змінного струму 115 В, 400 Гц.

Система трифазного змінного струму АПА-50М складається з трьох окремих систем. Система трифазного змінного струму напругою 208 В та частотою 400 Гц складається з генератора типу ГТ60П48АТВ і комплекту пускорегулюючої та захисної апаратури. Трифазний змінний струм напругою 36 В частотою 400 Гц одержують за допомогою трансформатора ТС 315 СО4Б.

Система однофазного змінного струму з частотою 400 Гц має дві вихідні напруги 208 В та 115 В. Вона складається з синхронного генератора і трансформатора Т-15.

Привід генераторів ГТ60ПЧ6АТВ та СГО-30У здійснюється від розподільчої коробки автономного дизельного двигуна.

В АПА-80 та АПА-100 система змінного струму є первинною. Генераторна установка представляє собою блок синхронних генераторів БГС-112-40 та БСГ-175 відповідно. БГС-112-40 (БСГ-175) складається з двох синхронних генераторів G<sub>1</sub> та G<sub>2</sub>, змонтованих в одному корпусі. Генератор G<sub>1</sub> призначений для живлення трифазного та однофазного навантаження агрегату, генератор G<sub>2</sub> – для живлення випрямлячів, що є джерелами постійного струму.

На відміну від АПА-100, АПА-80 не призначений для живлення навантажень трифазним змінним струмом з напругою 36 В та частотою 400Гц. На АПА-100 живлення таких навантажень здійснюється через трифазний трансформатор ТСТ-50/50-400. Однофазна система типу  $U=120$  В живиться від генератора в однофазному режимі. Потужності однофазних шин для АПА-80 та АПА-100 відповідають відповідно 12 кВА та 15 кВА.

Всі перераховані АПА забезпечують запуск двигунів літальних апаратів як за схемою 24 В так і за схемою 24/48 В. АПА-35-2МУ, АПА-50М, АПА-80 забезпечують також запуск двигунів за схемою 70 В, а в АПА-100 крім цього – за схемою 90 В.

### **1.1.1. Основні технічні характеристики аеродромного пересувного агрегату АПА-5Д**

На відміну від раніше розглянутих типів АПА устаткування та обладнання електроагрегату АПА-5Д було розроблене і монтується на підприємствах України. Головним виробником АПА-5Д є 171 Чернігівський ремонтний завод. Тому для обслуговування літальних апаратів, що стоять на озброєнні нашої держави, необхідно брати АПА-5Д, який найкраще підходить за вищевказаними причинами для подальшої уніфікації та використання в Україні.

Електроагрегат АПА-5Д призначений для одиночного і групового електростартерного запуску авіаційних двигунів повітряних суден і живлення бортової електроапаратури в наземних умовах напругою 208 В і 36 В частотою 400 Гц змінного трифазного струму, напругою 120 В частотою 400 Гц змінного однофазного струму і 28,5 В постійного струму.

На даний момент випускається модернізоване АПА на базі автомобіля УРАЛ-4320-41 (31) з двигуном ЯМЗ-236НЕ3 (відповідність стандарту Євро-3) або ЯМЗ-238, що забезпечує загальну електричну потужність агрегату 60 кВт і стабільну частоту змінного струму  $400 \pm 1$  Гц.

У комплектації АПА-5Д застосовуються в якості первинного джерела енергії генератори змінного трифазного струму ГТ40ПЧ6-2С.

Електроагрегат АПА-5Д забезпечує:

- стабільність роботи по частоті струму;
- одночасне живлення відразу двох бортів повітряних суден;
- можливо додаткове використання для буксирування повітряних суден;
- обслуговуючий персонал 1 людина;
- зручне розташування пульта управління у кабіні водія.

Основні технічні характеристики аеродромного пересувного агрегату АПА-5Д приведені нижче.

### Основні технічні характеристики АПА-5Д

НАЙМЕНУВАННЯ	ЗНАЧЕННЯ
<b>НАВАНТАЖУВАЛЬНІ РЕЖИМИ</b>	
Режим «НАВАНТАЖЕННЯ 3N ~ 400Гц 200В»	
потужність, кВА, не менше / напруга лінійна, В	40/197-205
частота струму, Гц / струм номінальний, А	400±1/111
порядок чергування фаз / кількість каналів, шт.	АВС(прямий)/2
Режим «НАВАНТАЖЕННЯ 3N ~ 400Гц 37В»	
потужність 1 каналу, кВА, не менше / напруга лінійна, В	1,5/36±1
частота струму, Гц / струм номінальний, А	400±1/20
порядок чергування фаз / кількість каналів, шт.	АСВ(обернений)/2
Режим «НАВАНТАЖЕННЯ ~ 400Гц 115 В»	
потужність, кВА, не менше / напруга лінійна, В	7/115-119
частота струму, Гц / струм номінальний, А	400±1/65
Режим «БОРТМЕРЕЖА 24В»	



напруга лінійна, В / струм номінальний, А	28,5/315
кількість каналів, шт. / потужність 1 каналу, кВт	2/15

Режим «ЗАПУСК 24 / 48 В»

Потужність 1 каналу, кВт	15
струм номінальний / максимальний (2 хв.), А	500/1000
кількість каналів, шт. / потужність 1 каналу, кВт	2/15

Режим «ЗАПУСК ЧЕРЕЗ ШРА-250М»

напруга, В, не менше / струм номінальний, А	28,5/250
кількість каналів, шт. / потужність 1 каналу, кВт	2/7,5

### ПЕРВИННІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

- генератор трифазного змінного струму	ГТ40ПЧ6
потужність, кВА / струм номінальний, А	40/111
напруга лінійна, В	208-220
частота обертання, об. / хв.	6000

- джерело постійної напруги (струму)	ГЕНЕРАТОР =І ПР-600×2
потужність, кВт / напруга, В	2-26/28,5
струм номінальний, А / кількість каналів	500/2

### РОЗМІРИ І МАСА

Довжина – ширина – висота по кабіні, мм	7770/2500/2800
повна маса агрегату, кг, не більше	11000

### РЕСУРСИ І ТЕРМІНИ СЛУЖБИ

технічний ресурс до 1 / до 2 кап. ремонту, г	4000/7500
призначений термін служби / термін зберігання, років	15/5

### УМОВИ РОБОТИ

Температура, °С / відносна вологість повітря при +25 °С,%	-45 – +50/98
---	--------------

Структурна схема АПА-5Д приведена на рис. 1.1.

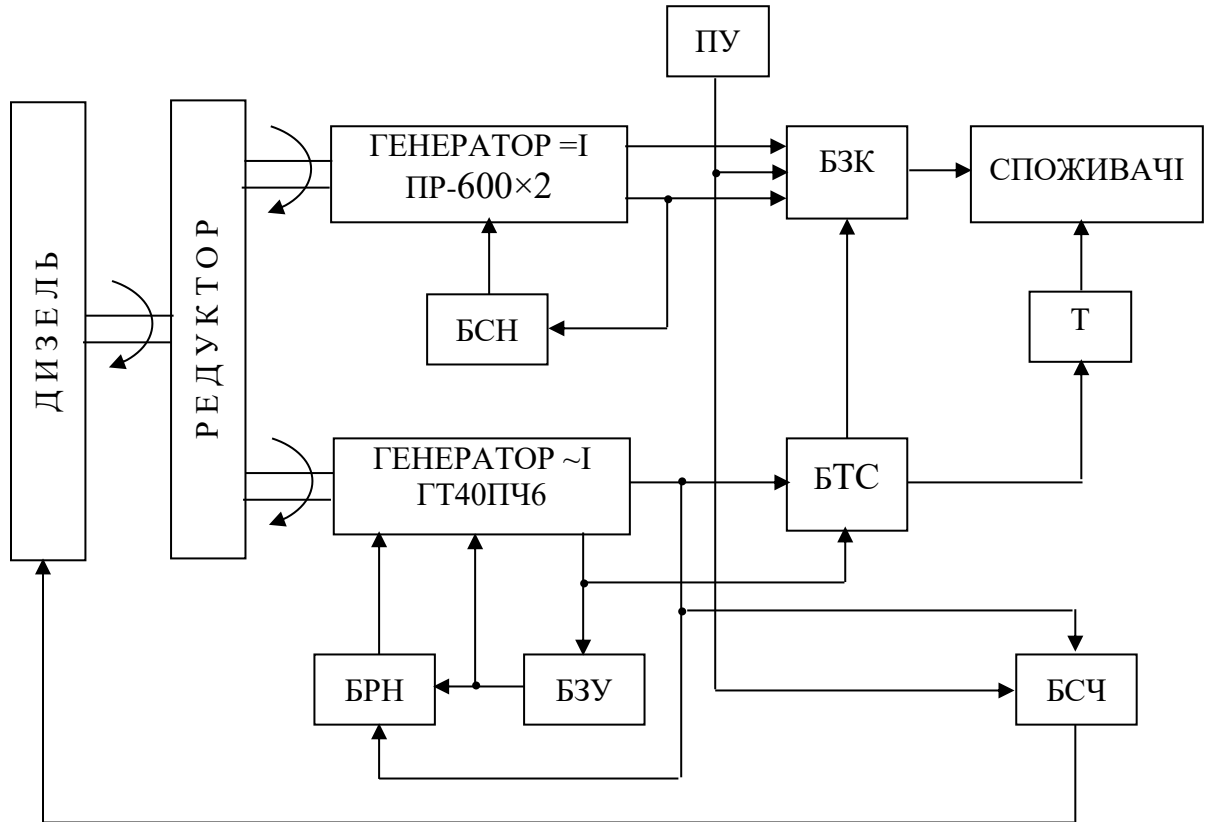


Рис. 1.1. Структурна схема АПА-5Д

На схемі позначено:

- ПУ – пульт управління агрегату;
- БЗН – блок стабілізації напруги;
- БЗК – блок захисту та комутації;
- БТС – блок трансформаторів струму;
- Т – понижувальний трансформатор;
- БСЧ – блок стабілізації частоти;
- БЗУ – блок захисту та управління;
- БРН – блок регулювання напруги.

На АПА-5Д для отримання однофазного змінного струму 115 В, 400 Гц використовують трансформатор Т, який перетворює фазну напругу 208 В на виході генератора ГТ 40ПЧ6 в 120 В. Джерелом трифазного змінного струму напругою 36 В є силовий трифазний трансформатор ТС 315 СО4Б.

## 1.2. Тактико-технічні вимоги до систем електропостачання АПА

Бортові споживачі електричної енергії працюють при відповідних умовах номінальних параметрів напруги, струму, частоти тощо. Тому при електропостачанні бортового обладнання повинна бути забезпечена необхідна якість електроенергії.

Відповідно до ДСТУ та ПУЕ [6, 3] при живленні бортових споживачів НАДЕ нормується ряд показників якості, що відносяться до електроенергії на вхідних клеммах споживачів.

### 1.2.1. Вимоги до джерел постійного струму

Номінальною напругою для НАДЕ та конкретно для АПА є напруга 27 В. Мінусовий вивід повинен бути з'єднаним з корпусом джерела струму.

Врівноважене значення напруги повинно відповідати наступним величинам: на клеммах споживачів: – від 28 до 29,4 В, в точці регулювання (бортової системи роз'єму аеродромного живлення) – від 27 до 29 В.

Пульсація напруги – періодична чи випадкова зміна напруги відносно його середнього рівня під час врівноваженої роботи джерела струму. Максимальне відхилення миттєвого значення пульсуючої напруги постійного струму у врівноваженому режимі при нормальному довгостроковому навантаженні не повинно перевищувати 2 В. Значення пульсацій змінної напруги в залежності від частоти повинні відповідати наступним величинам:

Напруга, В: – 0,9 0,32 0,32 1,0 1,0 0,0015.

Частота, кГц: – 0,01 0,025 0,06 0,25 2,7 6,5 250.

Зміна напруги в перехідному режимі.

Під час включення на борту ЛА потужних електродвигунів чи інших споживачів значної потужності, виникає коливання напруги – швидкоплинна короткострокова зміна напруги, яка негативно впливає на роботу електроспоживачів і, насамперед, на роботу найбільш чутливих до цих змін освітлювальних та радіоприладів.

Згідно з ПУЕ [ 3 ] для аналізу допустимих коливань напруги користуються поняттям приведеної перехідної напруги.

Приведена перехідна напруга – поодинокі прямокутні імпульсні напруги постійного струму (поодинокі скачки синусоїдальних кривих напруги змінного струму з прямокутним огинанням), які за своїм електричним та тепловим впливом на обладнання еквівалентні впливу на споживачі перехідних напруг зі складними формами кривих при постійному струмі (складних форм кривих при змінному струмі).

Як при паралельній роботі системи електропостачання, так і при миттєвій зміні навантаження, приведена перехідна напруга не повинна виходити за певні межі (допустима зона напруги відображена на рис 1.2.(а) і заштрихована похилою вправо), та крім того не перевищувати даних значень:

Час, с.	Навантаження, В.
0,01 0,02	70 (8)
0,05	64 (8)
0,1	56 (10)
0,2	45,6 (15)
0,5	33 (22)
1,0 3,0	29,4 (24)

Примітка. Без дужок показана напруга для верхньої межі, в дужках – для нижньої.

Рівень напруги радіоперешкод, створених джерелом постійного струму в точках підключення її до бортової мережі, не повинні перевищувати наступних значень:

Частота, МГц, від	Межі напруги, В
0,15 до 0,5	50 (64)
0,5 до 2,5	44 (50)
2,5 до 400	36 (44)

Примітка. Без дужок показана межа джерела струму потужністю до 6 кВт, в дужках – 6 кВт і більше.

При нормальній роботі системи електропостачання вказана перехідна напруга не повинна виходити за певні межі (допустима зона перенапружень відображена на рис. 1.2.(б), яка заштрихована похилою до низу вліво).

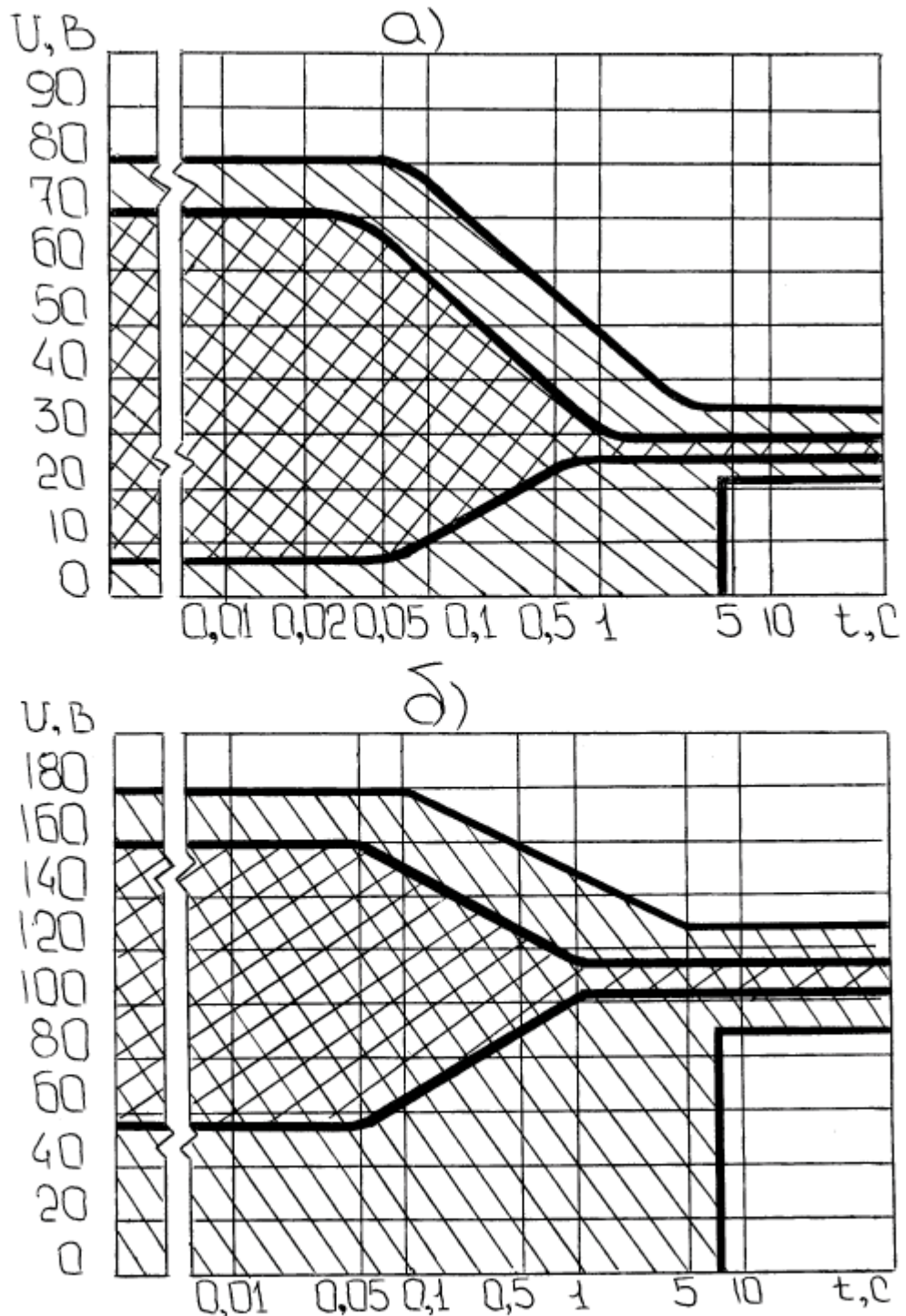


Рис.1.2. Графіки допустимої напруги при перехідних процесах

## 1.2.2. Вимоги до якості електроенергії джерел змінного струму високої частоти

НАДЕ (АПА) змінного трифазного струму високої частоти створюють на номінальне навантаження 200/115 В та номінальну частоту 400 Гц. Фази джерела струму з'єднуються в “зірку” з обов'язковим виводом силової нейтралі. Кут зсуву фаз між векторами напруг любых з'єднань фаз повинен знаходитись в межах  $116^{\circ}$  -  $124^{\circ}$ .

Відхилення напруги згідно ДСТУ та ПУЕ [6, 3] визначене величинами:

- на клеммах споживачів напруга будь-якої фази – від 108 до 120 В;
- в точці регулювання (штепсельний роз'єм аеродромного живлення) середня напруга трьох фаз від 115 до 119 В.

Примітка: Ці данні відносяться до режиму роботи з урівноваженою частотою та нерівномірним навантаження фаз, що не перевищують 10% номінальної потужності джерела струму, і не повинна перевищувати 4 В.

Модуляція фазної напруги у встановленому режимі роботи не повинна перевищувати 3,5 В. Її вимірюють як різницю найбільшого та найменшого значення огинаючої кривої, що побудована за амплітудними значеннями фазної напруги за термін не менше 1с.

Форма кривої напруги у встановленому режимі роботи повинна бути такою, щоб виконувати наступні вимоги:

- загальне діюче значення вищих гармонік не повинно перевищувати 8% діючого значення основної гармоніки;
- діюче значення будь-якої окремої вищої гармоніки не повинно перевищувати 5% діючого значення основної гармоніки;
- коефіцієнт амплітуди повинен дорівнювати  $1,41 \pm 0,15$ .

При зміні напруги системи електропостачання при раптових змінах навантажень від 10 до 160% потужності джерела струму, приведена перехідна напруга не повинна перевищувати певні межі (зона допустимої напруги

відображена на рис. 1.2. (б) та має штрихи з нахилом вправо), крім того не повинна перевищувати значень, приведених в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Межі зміни напруги навантаження

Час , с	Межі напруги, В
0,01; 0,02; 0,05.	160 (58)
0,1	150 (65)
0,2	140 (80)
0,5	124 (102)
1;3	120 (108)

Примітка: Без дужок позначені вихідні верхні межі, в дужках – нижні.

Допустима зона перенапруги відображена на рис. 1.2.(б) штриховою вліво.

Частота. Врівноважене значення частоти змінного струму повинно підтримуватись в діапазоні від 380 до 420 Гц. Швидкість зміни частоти із-за відхилення її в межах допусків встановленого режиму роботи не повинна перевищувати 15 Гц/хв.

Радіозавади. Рівень напруги радіозавад, створених джерелом змінного струму в точках підключення їх до бортової мережі, не повинен перевищувати наступних значень:

Таблиця 1.3

Межі напруги радіозавад

Частота МГц	Напруга радіозавад (в дб.) по відношенню до 1 мкВ.
від 0,15 до 0,5	58
від 0,5 до 2,5	50
від 2,5 до 400	44

### **1.2.3. Тактичні вимоги до систем електропостачання АПА**

Використання АПА встановлює тактичні вимоги до їх систем електропостачання. Місця використання АПА за їх кліматичними умовами вимагають від СЕНЗ АПА здатності працювати в напруженому стані, в умовах високогір'я та в складних кліматичних умовах.

Своєчасне виконання бойової задачі вимагають від АПА простоти обслуговування, доступності та підвищеної прохідності.

Необхідність обслуговування різних типів літальних апаратів вимагає від системи електропостачання АПА уніфікованості.

### **1.3. Експлуатаційна характеристика систем електропостачання АПА**

Кліматичні фактори. Зазвичай, АПА експлуатуються на відкритих площадках в різних кліматичних умовах, при цьому на них впливають кліматичні фактори навколишнього середовища, такі як атмосферний тиск, температура повітря та вологість. Сюди ж можна віднести вплив піску, пилу, а також газових струменів авіаційних двигунів.

Умови роботи електрообладнання при зниженому атмосферному тиску суттєво змінюються головним чином у зв'язку зі зменшенням діелектричної міцності повітря та коефіцієнта віддачі тепла від поверхні обладнання в атмосферу, а також у зв'язку з іонізацією повітря при більш низькій напрузі. Зменшення діелектричної міцності веде до більш інтенсивного створення дуги на контактах вимикачів та на контактах електричних машин. Зменшення коефіцієнта тепловіддачі говорить про те, що охолоджувальна здатність повітря зменшується, у зв'язку з чим може виникати перегрів обладнання.

Негативний вплив пониженого атмосферного тиску буває при роботі АПА в високогірних районах.

Більшість же аеродромів розташована на висотах 100 м. над рівнем моря, тому тиск не здійснює негативного впливу на роботу електроагрегатів. Однак,



при необхідності використання пересувних електроагрегатів в районах зі складними кліматичними умовами, необхідно зменшити навантаження на них і зменшити терміни безперервної роботи.

На роботу АПА негативно впливає як понижена (мінусова) від номінальної температури, так і підвищена (плюсова) температура. Відчутно впливає на роботу АПА вплив низьких температур, тому що вони мають акумуляторні батареї, характеристики яких гіршають при низьких температурах, також в цих умовах затрудняється запуск двигунів внутрішнього згорання. Крім цього під впливом низьких температур характерно зменшується гнучкість кабелів та всіх ізоляційних матеріалів, а в'язкість мастильних матеріалів збільшується.

Високі температури в свою чергу теж негативно впливають на термін служби та стійкість акумуляторних батарей; опір ізоляції зі збільшенням температури зменшується. Під впливом сонячного випромінювання зовнішня поверхня АПА в літній період нагрівається до температур, значення яких перевищують зміни температури навколишнього середовища, і при недостатній циркуляції повітря додатково зростає температура і всередині електроагрегату.

Оскільки зовнішня оболонка та кожух АПА виготовляються негерметичними, то на окремі частини обладнання та електричних схем можливе попадання вологи при атмосферних опадах у вигляді дощу та снігу, при митті літаків, а також при значній відносній вологості повітря. У всіх випадках в результаті поглинання з атмосфери розчинених газів, попадання пилу створюються слабкі кислоти, що інтенсивно корозують метали та нарощують струмопровідні доріжки на ізоляції.

Надійна робота АПА в процесі експлуатації забезпечується своєчасним проведенням обслуговування, виявленням можливих несправностей в роботі та їх усуненням.

Заходи безпеки при обслуговуванні АПА складаються в наступному:

1. До обслуговування АПА допускається персонал тільки після вивчення інструкцій з експлуатації конкретного типу АПА. Обслуговуючий

персонал повинен мати з техніки безпеки кваліфікаційну групу не нижче 3-ї.

2. Замінювати несправні елементи, усувати несправності, проводити огляди та інші роботи всередині агрегату можна тільки після відключення його як від навантаження, так і його самого.
3. Роботи, пов'язані з настройкою та регулюванням електроджерел типу АПА, потрібно проводити тільки з обов'язковим їх заземленням. Велике значення для надійної роботи АПА має їх зовнішній огляд та усунення виявлених несправностей. Під час огляду необхідно перевірити, чи немає зовнішніх пошкоджень обладнання, і чи цілі кабелі та роз'єми. При відключенні електроагрегата перевіряється надійність електричних контактів в болтових з'єднаннях, очищаються від пилу та снігу.

Періодичність по видам обслуговування встановлюється в керівництвах з експлуатації кожного типу АПА. Крім цього в керівництвах з експлуатації вказується також періодичність та об'єм перевірок експлуатаційних характеристик електроагрегатів, а також перевірок після проведення ремонту чи заміні окремих агрегатів. До експлуатаційних характеристик АПА відносяться:

- вихідна напруга при роботі на холостому ході та під навантаженням;
- пульсації вихідної напруги (для постійного струму);
- скривлення форми кривої вихідної напруги (для змінного струму);
- модуляція вихідної напруги (для змінного струму);
- термін перехідних процесів;
- працездатність пристроїв захисту.

Слід мати на увазі, що експлуатаційні параметри електроагрегатів вимірюються лабораторними приладами підвищеної точності, та обов'язково в режимах роботи як при холостому ході, так і при номінальному навантаженні. Термін перехідних процесів є важливою характеристикою всіх електроагрегатів. Перехідні за напругою режими виникають в АПА при включенні потужних споживачів: стартер-генераторів, електромашинних перетворювачів та потужних асинхронних електродвигунів. Термін перехідних процесів залежить від типу

регулятора напруги, що використовується в СЕЗ АПА, потужності джерела струму та його перевантажувальної здатності. Після виконання всіх робіт, пов'язаних з настройкою систем управління, регуляторів напруги, а також при їх заміні, визначається тривалість перехідного процесу. В умовах експлуатації використовують простий спосіб оцінки перехідних процесів за допомогою електричного осцилографа. Потрібно відмітити, що в існуючих АПА тривалість перехідних процесів за частотою становить 8-10 сек. Це пояснюється інерційністю двигуна внутрішнього згорання.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО АЕРОДРОМНОГО ПЕРЕСУВНОГО АГРЕГАТУ АПА-5Д

#### 2.1. Обґрунтування та розробка структурної схеми пересувного агрегату

Проведений аналіз аеродромних пересувних агрегатів показує, що більшість їх за своїми характеристиками та якістю електроенергії не відповідають сучасним вимогам, а їх виконання за багатогенераторними схемами ускладнює виробництво і експлуатацію, знижує надійність роботи. Це пояснюється тим, що в більшості випадків при їх розробці не враховувалися особливості роботи бортових приймачів електроенергії. Підтвердженням цього може слугувати те, що в ряді випадків такі агрегати як АПА-50М, АПА-35-130, АПА-5Д і інші не забезпечують пуск бортових насосних гідравлічних станцій як вітчизняних, так і закордонних ЛА [ 9 ].

Застосування на зазначених агрегатах колекторних генераторів постійного струму, розроблених понад сорок років тому, як уже відзначалося, ускладнює експлуатацію, обмежує термін служби АПА. Застосування на агрегатах АПА-80 і АПА-100 безконтактних генераторів змінного і постійного струму, змонтованих в одному корпусі, підвищує вартість їх виробництва і ремонту і, як показує досвід експлуатації, не є виправданим. Складність систем керування, регулювання і захисту знижує надійність роботи агрегатів, вимагає використання фахівців високої кваліфікації та ускладнює експлуатацію.

Відзначені недоліки вказують на необхідність проведення робіт зі створення більш удосконалених аеродромних пересувних агрегатів для забезпечення живлення бортових систем сучасних ЛА. При цьому розробка повинна

проводитися як в напрямку застосування сучасних систем генерування на агрегатах, так і застосування оптимальних структур генерування.

Як показує аналіз СЕП сучасних ЛА та особливостей роботи їхніх основних приймачів електроенергії, в якості системи генерування електроенергії на агрегатах необхідно встановлювати системи з генераторами змінного струму, що забезпечують пуск асинхронних двигунів великої потужності, живлення нелінійних навантажень (випрямлячів) потужністю до 25% від потужності генераторів. Регулятори напруги і частоти агрегатів повинні мати швидкодію, що забезпечує необхідні показники перехідних процесів, в тому числі і при живленні навантажень імпульсно-періодичної дії [ 6 ].

Привід генераторів повинен здійснюватися з постійною частотою обертання. Однак, при необхідності, в окремих агрегатах повинна бути передбачена можливість роботи генераторів з частотою від 300 до 500 Гц, що необхідно для обслуговування таких літаків як АН-70 і АН-140. Потужність генераторів повинна складати 90-120 кВА.

Найбільш повно зазначені вимоги задовольняють безконтактні літакові генератори серії ГТ. В наш час на ЛА застосовуються такі генератори потужністю 16, 30, 40, 60, 90, 120 кВА як з повітряним так і з рідинним (масляним) охолодженням. Генератори випускаються із синхронними частотами обертання 6000, 8000, 12000 об/хв.

При застосуванні таких генераторів на аеродромних агрегатах значно спрощується вирішення питань узгодження показників якості електроенергії агрегату і СЕП ЛА, однак необхідна установка підвищувального редуктора, що ускладнює конструкцію агрегату. При використанні на агрегатах генераторів з частотами обертання 2400 об/хв. і менше (АПА-80, АПА-100) спрощується привід генераторів але значно збільшується їхня маса і габарити. Крім того, такі генератори повинні бути розраховані на роботу з відзначеними навантаженнями, тобто мати параметри близькі до параметрів генераторів ГТ.

Вибір того чи іншого генератора повинен проводитися при розробці конкретного агрегату. Попередній аналіз показує, що для наземного

обслуговування сучасних ЛА доцільно розробити агрегати потужністю генераторів змінного струму 30, 60 і 120 кВА. Потрібна потужність постійного струму не перевищує (12-15) кВт. Для забезпечення пуску авіаційних двигунів таких літаків як АН-26, АН-30, АН-32 і АН-12, які ще можуть знаходитися в експлуатації тривалий час (5-10 років), потрібна потужність до 80-90 кВт при зміні напруги ступенями 24/48 В, чи плавно від 0 до 70 В.

При наявності джерела змінного струму, як джерело постійного струму на агрегаті доцільно використовувати керований випрямляч, аналогічний випрямлячам, які застосовуються у авіаційних статичних агрегатах типу УАВ-100У1 тощо. Враховуючи, що напруга живлення на агрегаті має частоту 400 Гц, то маса трансформатора випрямляча буде значно меншою, і в цьому простіше вирішуються питання забезпечення необхідної величини пульсації вихідної напруги.

Досвід експлуатації надійних у роботі агрегатів типу АПА-5Д, єдиних, що не мають акумуляторних батарей, які працюють разом із джерелами постійного струму, підтвердив можливість використання таких агрегатів для обслуговування різних ЛА. Разом з тим, в агрегаті не передбачений пуск авіадвигунів за системою «0-70 В», тому що в цьому режимі не забезпечується одночасне живлення бортового обладнання постійного струму напругою 27 В. Це питання може бути просто вирішене застосуванням допоміжного випрямляча обмеженої потужності, що практично підтверджено доробкою агрегату АПА-5Д авіаремонтного заводу № 410. Агрегат АПА-5Д, дороблений фахівцями кафедри електрообладнання КІ ВПС і кафедри електротехнічних систем електроспоживання НАУ, успішно експлуатується, забезпечуючи пуск двигунів літаків АН-32 за системою «0-70 В». Живлення приймачів постійного струму при цьому здійснюється від літакового випрямляча типу ВУ-6Б, потужністю 6 кВт, встановленого на агрегаті.

Таким чином, найбільш доцільно використовувати агрегати з одним первинним джерелом електроенергії – генератором змінного струму, а в якості джерела постійного струму використовувати випрямляч змінного струму в постійний. При цьому випрямляч необхідно виконати по схемі, що забезпечує

живлення бортових приймачів постійного струму напругою 27 В, а також живлення електростартерів авіадвигунів при їх пуску за схемами 24/48 В і (0-70) В. Враховуючи, що при цьому одночасно необхідно забезпечити живлення приймачів постійного струму напругою 27 В, то на агрегаті доцільно установити допоміжний випрямляч невеликої потужності. Це дасть можливість не використовувати на агрегаті акумуляторні батареї.

Структурна схема такого агрегату приведена на рис. 2.1.

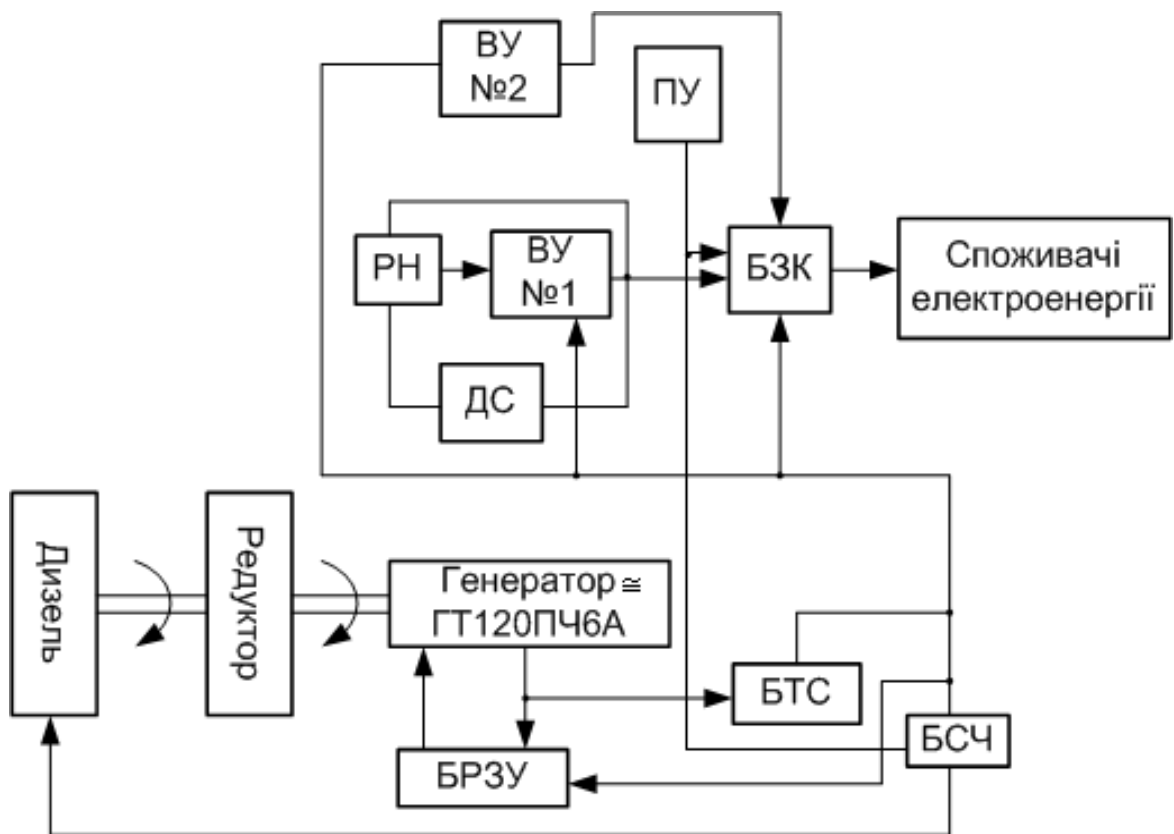


Рис.2.1. Структурна схема удосконаленого АПА

Крім дизеля, редуктора та генератора на схемі показані:

ВУ №1 та ВУ №2 – основний та допоміжний випрямлячі;

ПУ – пульт управління агрегату;

РН – регулятор напруги основного випрямляча;

ДС – датчик струму;

БЗК – блок захисту та комутації;

БТС – блок трансформаторів струму;

БСЧ – блок стабілізації частоти;

БРЗУ – блок регулювання, захисту та управління.

Необхідно відмітити, що практично всі сучасні агрегати закордонного виробництва (Англія, Франція, Німеччина) виконуються з одним первинним джерелом – безконтактним синхронним генератором і випрямлячем. При цьому випрямляч використовується тільки для живлення приймачів постійного струму і не призначений для живлення електростартерів за схемами 24/48 В і (0-70) В, а агрегат розрахований для живлення бортових систем літаків тільки змінним чи постійним струмом.

Для вибору джерел електроенергії агрегату проведено аналіз особливостей роботи бортових приймачів.

## **2.2. Основні характеристики та особливості роботи бортових приймачів електроенергії**

Системи електроспоживання ЛА представляють собою єдине ціле, нерозривно пов'язане з основними характеристиками, призначенням та, відповідно, обладнанням літака. При цьому з усього комплексу обладнання ЛА можна виділити системи (приймачі електроенергії), які по своєму призначенню, особливостям роботи, вимогам до якості електроенергії, надійності та безперебійності живлення практично не залежать від типу ЛА, а також системи, які є специфічними для певних літаків та вертольотів.

До першої групи приймачів електричної енергії можна віднести пілотажно-навігаційні системи, системи автоматичного керування ЛА та авіадвигуна, зв'язкові радіостанції та інше.

До другої групи відносяться:

- радіолокаційні станції великої потужності, застосування яких є характерним для винищувачів-перехоплювачів та літаків дальньої авіації (бомбардувальників);



- асинхронні двигуни приводу паливних та гідравлічних насосів відносно великої сумарної та одиначної потужності, які широко застосовуються на транспортних, пасажирських літаках, танкерах та літаках-бомбардувальниках;

- системи освітлення великої потужності, кондиціонування, холодильники, різноманітне кухонне обладнання, застосування яких є специфічною особливістю пасажирських літаків.

Для літаків місцевих повітряних ліній, які здійснюють багаточисельні рейси з короткотривалими (15-30 хв) стоянками, вимагається застосування автономних електростартерних пускових систем авіадвигунів разом з високо надійними в роботі та простими в експлуатації СЕП.

Бортові системи-приймачі електроенергії по своїй дії на джерела електроенергії можуть бути віднесені до наступних видів:

- в системах змінного струму – активно-індуктивні навантаження: (освітлення, протиобледенінні системи, обігрівачі тощо); випрямлячі та інші напівпровідникові (статичні) перетворювачі (блоки живлення радіолокаційних систем, зв'язкових станцій, обчислювальних комплексів, вторинних систем постійного струму та інші);

- асинхронні двигуни (паливні та гідравлічні насоси, двигуни лебідок, тельферів, систем механізації крила тощо);

- в системах постійного струму – електродвигуни різного призначення та потужності, системи з визначеною сталою часу (електромагніти різних клапанів та кранів, контактори тощо), а також системи електростартерного пуску ГТД.

Крім того, в системах постійного та змінного струму можливе застосування приймачів з імпульсно-періодичним споживанням електроенергії.

Робота джерел змінного струму з активно-індуктивним навантаженням досліджена в повній мірі та в загальному випадку потребує узгодження величин струмів та коефіцієнтів потужності навантаження та джерела.

Випрямлювальне навантаження, як відомо, для синхронних генераторів є нелінійним, що призводить до викривлення форми кривої напруги, це враховується при виборі бортових генераторів. Враховуючи це, авіаційні

генератори виконуються з достатньо потужною демпферною обмоткою (як правило в них регламентується величина індуктивного опору зворотної послідовності, значення якого у відносних величинах не повинно перевищувати 0,2). Крім того, величина такого навантаження не повинна перевищувати 25% потужності генератора. Відповідно і вибір синхронних генераторів наземних джерел повинен проводитись з врахуванням особливостей їх роботи з випрямлювальним навантаженням [ 6, 9 ].

Струм асинхронного двигуна при зміні ковзання визначається виразом [ 2 ]:

$$I_2'' = \frac{U}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right)^2 + (x_1 + x_2)^2}}$$

де  $U$  – напруга двигуна;

$x_1 = \delta_1 x_1'$ ;  $x_2 = \delta_1^2 x_2'$  – уточнені індуктивні опори обмоток статора та ротора;

$R_1 = \delta_1 r_1'$ ;  $R_2 = \delta_1^2 r_2'$  – уточнені активні опори обмоток статора та ротора;

$S$  – ковзання;

$r_1, x_1$  – активний та індуктивний опори статора;

$r_2', x_2'$  – приведені активний та індуктивний опори ротора;

$\delta_1$  – коефіцієнт розсікання первинного ланцюга (для авіаційних асинхронних двигунів дорівнює 1.05...1.2).

При нерухомому роторі ( $S=1$ ) опір двигуна визначається з виразу:

$$z_k = \sqrt{R_k^2 + x_k^2}, \quad \text{де} \quad R_k = R_1 + R_2, \quad x_k = x_1 + x_2.$$

При синхронній швидкості ( $S=0$ ) опір двигуна практично дорівнює опору ланцюга намагнічування, тобто при зміні частоти обертання двигуна від нуля до синхронної його опір змінюється від  $z_k$  до опору ланцюга намагнічування, відповідно змінюється і величина струму, що споживається.

Для синхронного генератора включення асинхронного двигуна аналогічне включенню активно-індуктивного навантаження з малим коефіцієнтом потужності.

В наземних джерелах змінного струму застосовуються як авіаційні синхронні генератори (СГ), які допускають роботу з перенавантаженням до  $1.5I_{ном}$  на протязі 5 хв і до  $2I_{ном}$  на протязі 5 секунд, так і звичайні СГ, допустиме перенавантаження яких не перевищує 5...10%. Швидкодія систем регулювання напруги у всіх випадках перевищує в декілька разів тривалість пуску двигуна, тому можна рахувати  $U=const$  при пуску.

При включенні асинхронних двигунів великої потужності система регулювання напруги аеродромних джерел, їх кабелі живлення повинні бути розраховані таким чином, щоб напруга на клеммах двигуна була не нижче (80-90) В. Включення асинхронного двигуна чинить специфічний вплив на систему регулювання напруги. При цьому, як показують дослідження, в кінці пуску із-за зменшення струму з великою швидкістю можливе недопустиме відхилення перехідної напруги, особливо в системах, регулятори яких мають недостатню швидкодію.

Одним з параметрів, який характеризує швидкодію регуляторів напруги, є швидкість змінення струму збудження генератора. Авіаційні регулятори, виконані на напівпровідникових елементах (типу БРН208Т5Б, БРН120Т5А, регулятор блоку БРЗУ115) при роботі з такими генераторами забезпечують зміну струму збудження зі швидкістю (100-120) А/с.

На систему регулювання частоти та, відповідно, на привідний двигун включення асинхронних двигунів, не дивлячись на великі струми, не спричиняє особливого збудження, так як пуск двигуна відбувається при низьких коефіцієнтах потужності.

Характер зміни параметрів двигунів постійного струму при їх пуску принципово відрізняється від асинхронних двигунів і при аналізі процесів достатньо враховувати максимальний (ударний) струм в момент включення.

На сучасних ЛА до двигунів постійного струму великої потужності в першу чергу слід віднести стартери електричних пускових систем газотурбінних двигунів (ГТД). Аналіз процесів, які відбуваються в даних системах розглянемо нижче.

Наступним видом навантаження авіаційних джерел є приймачі з імпульсно-періодичним споживанням електроенергії. ДСТУ та ПУЕ [6, 3] величину вказаного навантаження обмежує 7% номінального амплітудного значення сили струму каналу (джерела), тобто навіть на ЛА с потужністю каналу 120 кВА (максимальна потужність каналу сучасних ЛА) потужність імпульсно-періодичного навантаження не повинна перевищувати 8 кВА [ 6 ]. В цьому випадку, враховуючи достатньо велику швидкодію регуляторів напруги аеродромних джерел та відносно великі приведені моменти інерції генераторів та приводних двигунів агрегатів живлення, забезпечення потрібної якості електроенергії може бути вирішене без застосування додаткових пристроїв. На спеціальних ЛА, де вказане навантаження може перевищувати приведене значення, питання роботи наземних агрегатів з таким навантаженням повинні розглядатись окремо.

### **2.3. Вибір системи генерування змінного струму**

Як показано вище, в якості генератора змінного струму в агрегатах з одним первинним джерелом електроенергії доцільно використовувати літаковий безконтактний генератор типу ГТ з випрямлячем, що обертається. Це обумовлене тим, що такі генератори розроблені на можливість забезпечення живлення різноманітних напівпровідникових випрямлячів потужністю до 25% від номінальної потужності генератора. Крім того, їх здатність до перевантаження складає 1,5 номінальні потужності на протязі 5 хвилин, 2 номінальні потужності на протязі 5 секунд, струм трифазного замикання може бути не менше 3 номінальних значень. Отже, при живленні як напівпровідникових перетворювачів, так і асинхронних двигунів співрозмірної потужності, значно спрощується

розв'язання питань забезпечення необхідної якості електроенергії (викривлення синусоїдності кривої напруги, параметрів перехідного процесу тощо).

Варто зазначити, що при застосуванні на агрегатах літакових систем генерування спрощується також вирішення питань забезпечення надійності їх роботи, наладка виробництва і експлуатація.

Таким чином, в якості генератора змінного струму на агрегатах можуть встановлюватися, в залежності від необхідної потужності, генератори серії ГТ потужністю 30, 40, 60, 90, 120 кВА (номінальний ряд потужностей, що випускаються промисловістю). Вказані генератори виготовляються на синхронній частоті обертання 6000, 8000, 12000 об/хв. Враховуючи необхідність забезпечення на агрегатах великих строків служби (5000 годин і більше), а також не особливу критичність до маси і габаритів, генератори доцільно вибирати з номінальними частотами обертання 6000 об/хв.

Регулятори напруги в таких системах, як уже було сказано, повинні забезпечувати швидкість вимірювання струму збудження збудників не менше (100-120) А/сек, тобто регулятори мають бути практично безінерційними. До таких регуляторів відносяться літакові транзисторні регулятори типу БРЗУ115.

Принципова електрична схема регулятора напруги типу БРЗУ115 приведена на рис. 2.2. Схема включає такі структурно-функціональні блоки:

- ВО – вимірювальне обладнання, що включає трансформатор Т, діоди VD<sub>1</sub>, VD<sub>2</sub>, VD<sub>3</sub>, резистори R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, конденсатор C<sub>1</sub>, підключене до клем генератора;
- ШІМ – широтно-імпульсний модулятор;
- БПП – блок підсилення потужності;
- СЧ – стабілізатор частоти;
- Г – безконтактний генератор типу ГТ з випрямлячем, що обертається та збуджує магнітне поле.

Однак, при підключенні вимірювального елемента регулятора (трансформатор Т, випрямлячі VD<sub>1</sub>, VD<sub>2</sub>, VD<sub>3</sub>, резистори R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, конденсатор C<sub>1</sub>) до клем генератора, необхідна точність стабілізації напруги буде підтримуватися тільки на виході електроагрегату АПА-5Д. Напруга на клеммах штепсельного

роз'ємну аеродромного живлення (ШРАЖ), тобто на борту ЛА, буде змінюватися в межах, що перевищують допустимі значення. А саме напруга буде зменшуватись на величину падіння напруги в силовому кабелі живлення, що з'єднує АПА з ШРАЖ ЛА. Від цього можна позбавитися, підключивши вимірювальний елемент регулятора ВО не до клем генератора на АПА а за допомогою додаткового 4-х жильного кабеля до клем ШРАЖ, але це ускладнює кабельну мережу агрегату і значно знижує надійність його роботи.

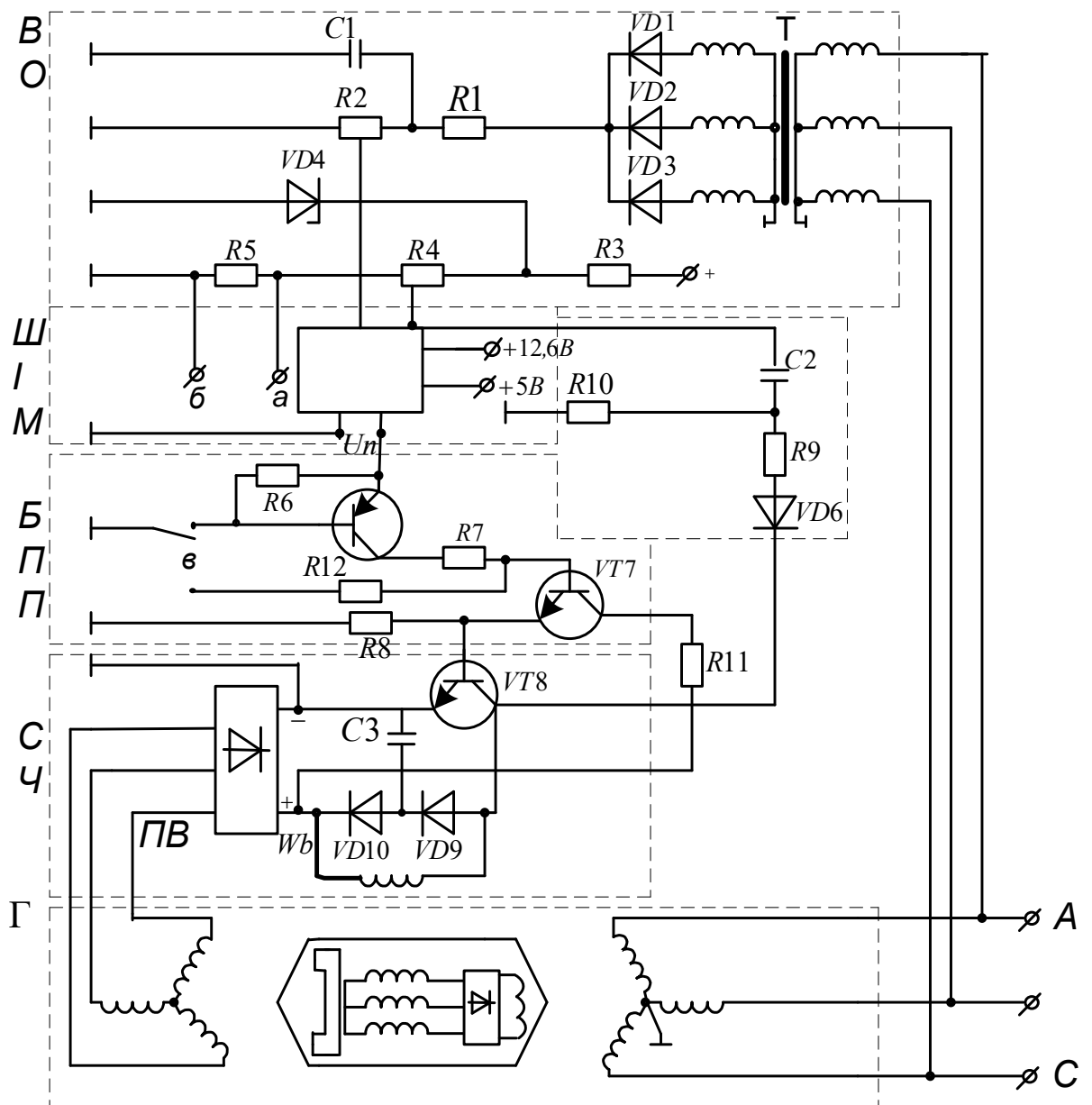


Рис.2.2. Принципова електрична схема регулювання напруги

Тому в роботі запропонована схема корекції напруги (рис. 2.3), що забезпечує потрібну якість електроенергії без застосування допоміжного вимірювального кабелю.

Схема містить трансформатори струму (ТС), діоди  $VD_{11}$ ,  $VD_{12}$ ,  $VD_{13}$ , резистори  $R_{13}$ ,  $R_{14}$ ,  $R_{15}$ . З резистора  $R_{14}$  напруга, що знімається з резистора  $R_5$  регулятора напруги БРЗУ115 (рис. 2.2, вузли *a* та *б*), пропорційна струмові навантаження генератора, подається на резистор  $R_{15}$  регулятора корекції напруги (резистор паралельної роботи). За допомогою резистора  $R_{13}$  забезпечується налаштування системи регулювання напруги таким чином, щоб при збільшенні струму навантаження генератора пропорційно збільшувалася його напруга в межах, достатніх для компенсування падіння напруги на силовому кабелі і ШРАЖ.

Окрім того, до складу системи генерування входить блок регулювання, захисту та управління (БРЗУ) (рис. 2.1), який забезпечує захист від аварійних відключень напруги і частоти, несиметрії напруги, коротких замикань, а також керування генератором.

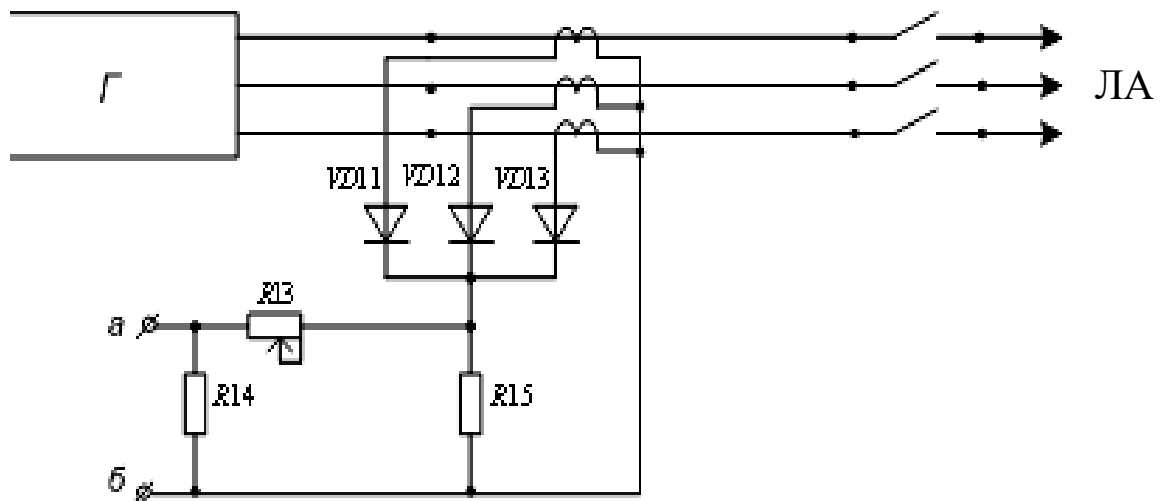


Рис. 2.3. Принципова електрична схема системи корекції напруги

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРАХУНОК ВИПРЯМЛЯЧА ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АПА-5Д

#### 3.1. Розробка схеми випрямляча уніфікованого АПА

Випрямляючий пристрій повинен забезпечувати живлення споживачів електричної енергії напругою 27 В, потужністю постійного струму 2 рази по 60 А з сумарним струмом 120 А, при цьому напруга на розетці живлення повинна змінюватись у відповідності з вимогами ОТТ ВПС та ДСТУ [6], тобто знаходитись в межах 27-29 В [6, 9]. При зміні навантаження від холостого ходу до номінального режиму крім того випрямляч повинен забезпечувати запуск авіаційних двигунів за схемою 24/48 В. та  $0 \div 70$  В. Таким чином в ролі випрямляча повинен використовуватись регулюючий випрямляч.

Існує безліч способів стабілізації напруги випрямляючих пристроїв. Найбільш широке розповсюдження одержали методи стабілізації напруги випрямляючих пристроїв, що основані на:

використанні керуючих випрямлячів;

зміні напруги живлення некеруючих випрямлячів.

В керуючих випрямлячах замість діодів використовуються тиристори. Регулювання випрямленої напруги при цьому досягається зміною кута відчинення тиристорів. Для керуючих випрямлячів справедливе загальне правило комутації вентилів: при подачі управляючих сигналів в катодній групі тиристорів відчиняється тільки той, у якого максимальний потенціал анода, а в анодній – тиристор з мінімальним потенціалами катода. Кут відкривання тиристорів  $d$  відраховується від моментів комутації некеруючих вентилів-діодів. Якщо кут відкривання тиристорів дорівнює нулю, то процеси у керуючих випрямлячах аналогічні процесам в некеруючих випрямлячах на діодах. Нульові кути



відкривання можуть бути одержані при подачі на керуючі електроди тиристорів постійних потенціалів.

При активному навантаженні тиристори залишаються відкритими до тих пір, поки напруга між їхніми анодами та катодами більше нуля. Для управління трифазним випрямлячем при запуску необхідно подавати керуючі імпульси через кожні  $60^\circ$  одночасно на пари тиристорів (по одному з катодної та анодної групи) в такій послідовності, в якій вони повинні відкриватись за правилами комутації вентилів. Попарна подача імпульсів управління доцільна і при нормальній роботі випрямляча. Таке управління забезпечує відкривання наступного тиристора та одного з працюючих раніше, якщо навіть він зачинений при перериваючому режимі проходження струму навантаження. Таким чином, на кожний тиристор за один період напруги живлення сигнал управління подається два рази.

Дросель насичення у випрямляючих пристроях включається послідовно з первинними обмотками трансформатора. Реактивний опір дроселя насичення залежить від ступеня підмагнічування його осердь постійним струмом. Параметри дроселя та струм управління розраховується так, щоб при нормальному навантаженні випрямляючого пристрою осердя було насиченим. У випадку зменшення струму навантаження, ступінь підмагнічування дроселя зменшується, а його опір збільшується. При цьому напруга на первинних обмотках трансформатора зменшується, що обумовлює підтримання випрямленої напруги на заданому рівні. В цій схемі ВУ стабілізація напруги здійснюється за принципом регулювання по збуренню: струм в обмотці управління дроселя пропорційний струму навантаження.

Регулювання напруги авіаційних ВУ з урахуванням зміни напруги живлення повинно здійснюватися за відхиленням чи комбінованим методом. Недоліками даного способу регулювання напруги є значна маса дроселя та низький ККД ВУ, особливо при малих струмах навантаження.

В цьому відношенні більш економічним є спосіб регулювання напруги ВУ, що оснований на введенні додаткової ЕРС.

Нижче (рис. 3.1) зображена схема регулювання напруги випрямляча ВУ, в якій функції вольтододаточного устрою виконує трансформатор Т2. Вторинні обмотки основного Т1 та додаткового Т2 з'єднані послідовно. При цьому результуюча напруга на вході випрямляча  $U_p$  є геометричною сумою напруг трансформаторів Т1 та Т2 (рис. 3.1,б) і дорівнює:

$$U_p = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cdot \cos\delta},$$

де  $\delta$  – кут зсуву фаз між векторами напруг  $U_1$  та  $U_2$ .

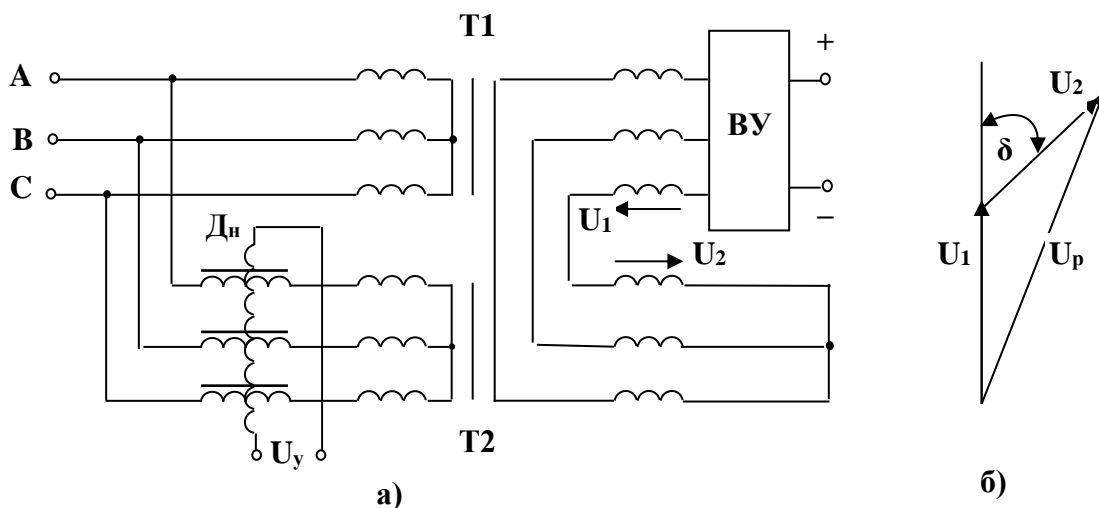


Рис.3.1. Електрична схема регулювання напруги випрямляча ВУ

Вхідна напруга трансформатора Т2 регулюється за допомогою дроселя насичення  $D_n$  (рис. 3.1,а), або може за допомогою спеціальних пристроїв – статистичних фазорегуляторів. При зміні напруги на вході Т2 відповідно змінюється і напруга на вході ВУ. При цьому способі регулювання напруги управлінню підлягає не вся потужність, що підлягає перетворенню у випрямлячі, а тільки частина її, що обумовлює більш високий ККД ВУ.

В таких схемах забезпечується регулювання випрямленої напруги при пульсації практично так же як і у неуправляючих випрямлячах. Однак необхідність використання дроселів насичення значно ускладнює схему, збільшуючи при цьому масу та габарити. У зв'язку з цим необхідно віддати

перевагу використанню випрямляча з керуючим трансформатором. Керуючий трансформатор практично можна розглянути як дросель насичення та трансформатор сумісно.

Аналіз різноманітних керуючих трансформаторів показав, що в ролі такого трансформатора у нашому випадку доцільно вибрати трансформатор з обертальним магнітним полем та витковим магнітопроводом.

Враховуючи, що трансформатор повинен забезпечувати широкий діапазон регулювання напруги (0-70 В в режимі запуску авіадвигуна) та мати високу якість випрямлення при живленні споживачів електроенергією з напругою 27 В, виконуємо випрямляч, що складений з двох випрямляючих мостів, змонтованих за схемою Ларіонова. При цьому в режимі живлення споживачів випрямляючі мости повинні з'єднуватися паралельно.

Для зменшення пульсації живлення випрямляючих мостів від обмоток трансформатора, напруга повинна бути зсунута на  $30^\circ$ . Для забезпечення пуску авіаційних двигунів в режимі 24/48 В, випрямляючі мости повинні перемикатися з паралельної роботи на послідовну.

Таким чином, для встановлення на уніфікований електроагрегат, що розроблюється, вибираємо керуючий випрямляючий устрій на основі трансформатора з двома вторинними обмотками, фазна напруга яких зсунута на  $30^\circ$ .

Необхідність використання двох трифазних обмоток та відповідно двох трифазних випрямлячів обумовлюється:

1. Необхідністю одержання випрямленої напруги, пульсації якої складатимуть не більше 7,4 % (згідно вимог ОТТ ВСП та ДСТУ [6]). Цій вимозі задовольняють випрямлячі, які змонтовані за мостовою трифазною схемою, що складаються в свою чергу з двох мостових схем.
2. Випрямляч повинен забезпечувати живлення стартера літакового двигуна за схемою 24/48 В. Цю вимогу вирішити просто, якщо використати двомостовий випрямляч з перемикачем паралельного включення на послідове та навпаки.

3. Крім вказаних режимів повинен також забезпечуватися режим живлення стартера літакового двигуна за схемою  $0 \div 70$  В.

Для даного режиму напругу простіше забезпечити при послідовному включенні двох мостів.

В цьому випадку розрахунок шунта управління трансформатора можливо проводити з урахуванням необхідності стабілізації напруги при зміні навантаження від холостого ходу до номінального режиму.

Принципова електрична схема такого випрямляча представлена на рис. 3.2.

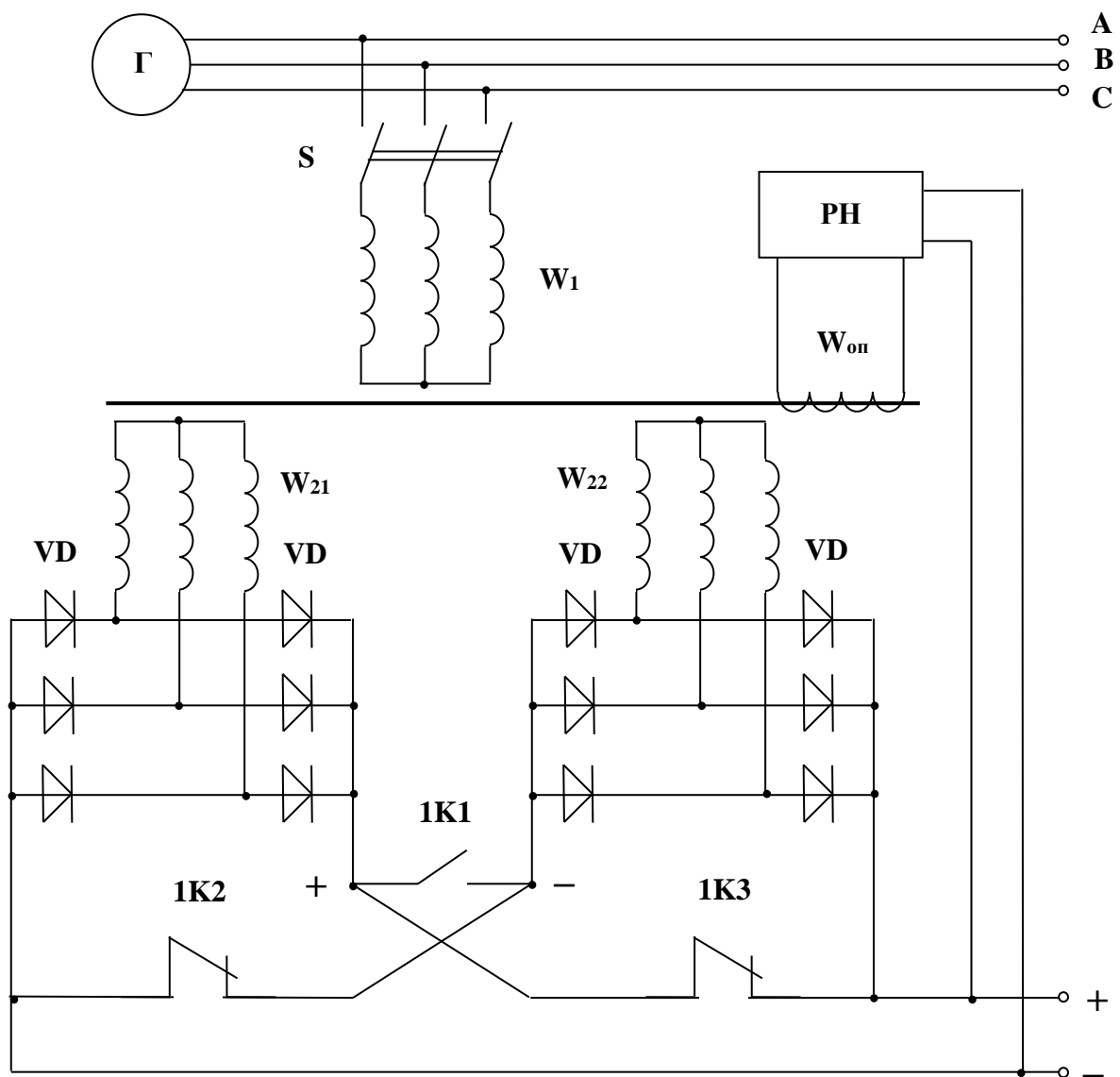


Рис. 3.2. Принципова електрична схема випрямляча

### 3.2. Конструкція регулюючого трансформатора

Конструкція регулюючого трифазного трансформатора з витковим, складеним з трьох частин, циліндричним магнітопроводом зображена на рис. 3.3 у повздовжньому та поперечному розрізах.

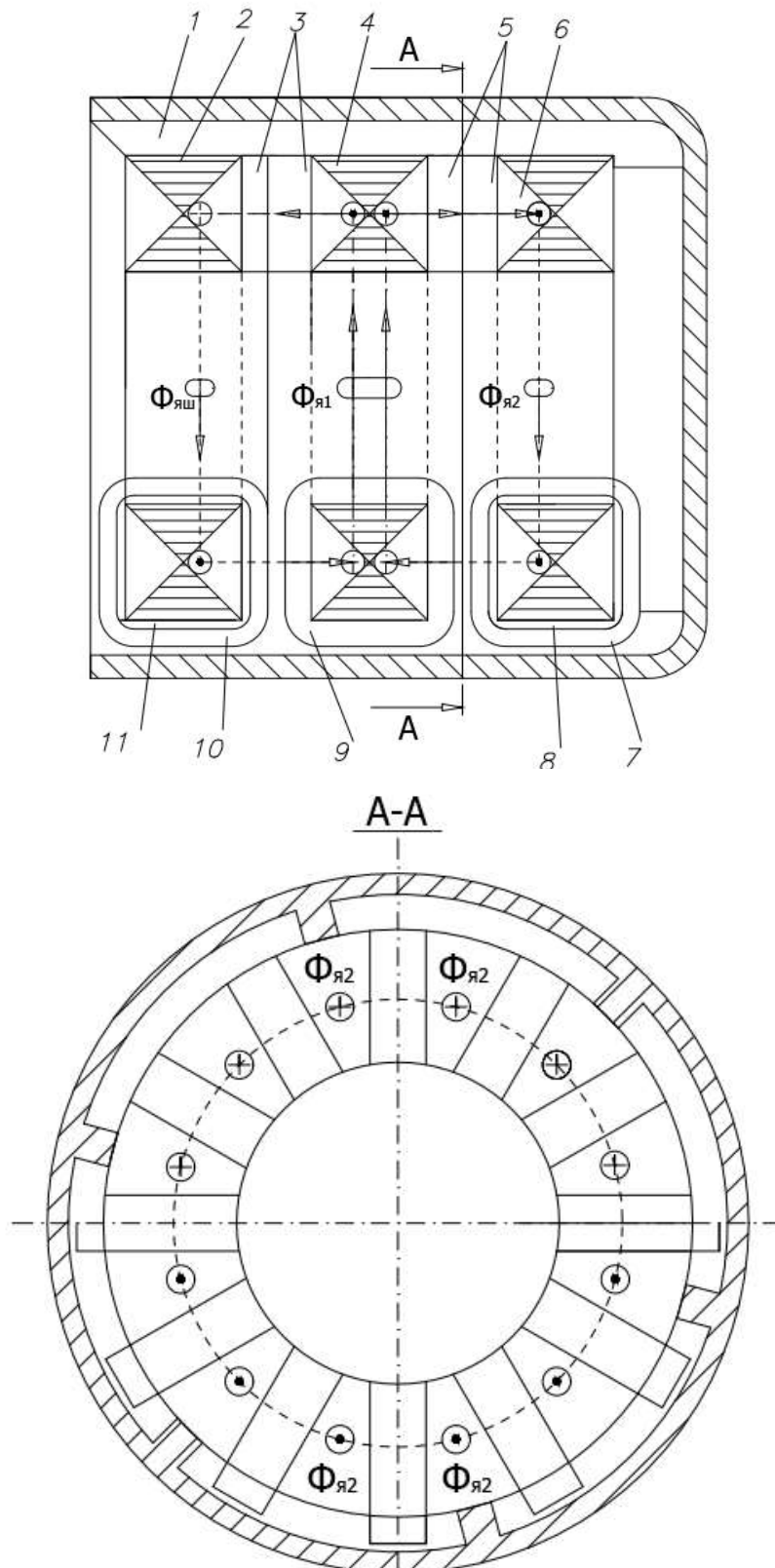


Рис.3.3. Трансформатор з обертаючим магнітним потоком

Позиції позначення:

1. Циліндричний корпус з внутрішніми вісєвими ребрами;
2. Витий пологий циліндр, виготовлений з трансформаторної сталі з радіальними пазами на одному торці, що виконує роль магнітного шунта;
3. Радіальні відкриті пази на доторкаючих торцях крайнього та середнього виткових циліндрів;
4. Ярмо середньої (первинної) частини складового магнітопроводу;
5. Радіально відкриті пази на торцях середнього та крайнього правого виткових циліндрів;
6. Ярмо вторинної частини складового магнітопроводу;
7. Вторинна трифазна обмотка тороїдного типу;
8. Тороїдна обмотка підмагнічування вторинного ярма випрямленим струмом;
9. Первинна трифазна тороїдна обмотка;
10. Обмотка підмагнічування магнітного шунта;
11. Трифазна тороїдна обмотка, що живить через випрямляч обмотку підмагнічування вторинного ярма.

На перерізі А-А показаний вигляд з торця вторинної частини складного магнітопроводу, число радіальних пазів та їх ширина на доторкаючихся торцях всіх частин складного магнітопроводу однакові.

З метою зменшення проміжків в стиках частини складного магнітопроводу, доторкаючі торці достатньо точно оброблюються, а для запобігання зсуву зубів під дією обертового електромагнітного моменту, всі три обмоточні частини вставляються в немагнітний циліндричний корпус та закріплюються в ньому гвинтами.

Економія трансформаторної сталі покращується майже в 3 рази, якщо виконувати магнітопроводи не шихтованими, як звичайно, а витими зі стрічкової трансформаторної сталі, та циліндричні складові магнітопроводи з радіальними відкритими пазами на торцевих доторкаючих поверхнях.

Радіальні пази на торцях пологих виткових циліндрів можна штампувати в процесі навивки полого циліндра. Для цього необхідно лише згодити роботу штампа з роботою навивочного станка так, щоб після кожного повороту вала станка на кут  $\alpha = 360^\circ/z$  штамп вирубав в момент короткострокової зупинки один паз на одній стороні стрічки, чи по одному пазу на обох сторонах, якщо пази повинні бути на обох торцях полого виткового циліндру.

Діаметрально розміщені секції чи групи секцій з'єднуються послідовно так, щоб їх НО були направлені в ярмі за округленням зустрічно, створюючи двополюсну систему НС, що утворює магнітний потік, який проходить через зубці в осьовому напрямку так, що замикається через ярмо суміжної частини магнітопроводу. Шляхи проходження середніх ліній обертального магнітного потоку в складному магнітопроводі, що їх створює НС трифазних обмоток, показані на рис. 3.3 штрихованими лініями зі стрілками, точками та хрестиками.

Двополюсна хвиля магнітного потоку в кожній частині магнітопроводу обертається з частотою 24000 обертів за хвилину.

Магнітний потік середнього (первинного) ярма  $\Phi_{я_1}$  замикається за двома контурами, розділюючись на дві частини:  $\Phi_{я_2}$ , що замикається через вторинне ярмо;  $\Phi_{яш}$ , що замикається через магнітний шунт. При незмінній величині напруги на затискачах первинної обмотки величина магнітного потоку в первинному ярмі  $\Phi_{я_1} = \Phi_{я_2} + \Phi_{яш}$  практично незмінна, так як зміна падіння напруги в фазах первинної обмотки незначна. При відсутності струму в обмотках підмагнічування шунта та вторинного ярма, та однакових зазорах між доторкаючими зубцями суміжних частин магнітопроводу

$$\Phi_{я_2} = \Phi_{я_1} l_{я_2} / (l_{я_2} + l_{яш}) \quad \text{та} \quad \Phi_{яш} = \Phi_{я_1} l_{яш} / (l_{я_2} + l_{яш})$$

При  $l_{яш} = l_{я_2}$  та дуже малій величині струму в обмотці підмагнічування вторинного ярма насичено постійним потоком, тому майже весь обертаючий магнітний потік первинного ярма замикається через шунт. В цьому випадку величина вторинної напруги незначна, так як зчеплений з вторинною обмоткою обертаючий магнітний потік:

$$\Phi_{\text{ш. min}} = (0,03 \dots 0,04)\Phi_{\text{я}_1}, \text{ а } \Phi_{\text{ш. max}} = (0,97 \dots 0,96)\Phi_{\text{я}_1}.$$

При максимальному струмі в обмотці підмагнічування шунта струм в обмотці підмагнічування вторинного ярма значно малий, магнітний шунт сильно насичений постійним струмом, тому майже весь обертаючий потік первинного ярма  $\Phi_{\text{я}_1}$  замикається через вторинне ярмо. В цьому випадку зчеплення з вторинною обмоткою обертаючого магнітного потоку та індуктованої ним ЕДС в фазах вторинної обмотки максимальні:

$$\Phi_{\text{я}_2 \text{ max}} = (0,96 \dots 0,97)\Phi_{\text{я}_1} \text{ а } \Phi_{\text{ш min}} = (0,04 \dots 0,03)\Phi_{\text{я}_1}.$$

### 3.3. Розрахунок геометричних розмірів та параметрів трансформатора

Діаметр середнього округлення полого циліндричного магніторпроводу, що складається з трьох частин, дорівнює

$$D_{\text{ср}} = \sqrt[3]{32S_1 \max Ke_1 \cdot 10^5 / \alpha K_{\text{ф}} K_{\text{об}_1} B_{\text{р}} A_1 \phi f},$$

де  $Ke_1 = 0,9$  – коефіцієнт, що враховує витрати напруги в фазі первинної обмотки;

$$\alpha = 0,69;$$

$K_{\text{ф}} = 1,09$  – коефіцієнт форми магнітного поля;

$K_{\text{об}_1} = 0,96$  – обмотковий коефіцієнт для первинної обмотки;

$B_{\text{р}} = 0,8$  – розрахункова величина магнітної індукції на торцевій поверхні полого циліндричного магнітопроводу;

$A_1 \phi = 300$  – величина розрахункового середнього лінійного навантаження по округленню середнього магнітопроводу.

$$\begin{aligned} D_{\text{ср}} &= \sqrt[3]{32 \cdot 117 \cdot 0,9 \cdot 10^5 / 0,69 \cdot 1,09 \cdot 0,96 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot 400} \\ &= \sqrt[3]{4861,388} = 17(\text{см}) \end{aligned}$$



Зовнішній діаметр магнітопроводу:

$$D_3 = D_{cp}/0,76$$

$$D_3 = 17/0,76 = 22,37;$$

для подальших розрахунків приймаємо  $D_3 = 23$  (см);

Внутрішній діаметр магнітопроводу:

$$D_в = 0,52 D_{cp}$$

$$D_в = 0,52 \cdot 17 = 8,84; \quad \text{приймаємо } D_в = 9 \text{ (см)}.$$

Вісєва довжина ярма кожної частини складового циліндричного магнітопроводу

$$l_{я} = 0,29 \cdot D_{cp}$$

$$l_{я} = 0,29 \cdot 17 = 4,93; \quad \text{приймаємо } l_{я} = 5 \text{ (см)}$$

Радіальний розмір ярма:

$$h_{я} = D_3 - D_в / 2,$$

$$h_{я} = 23 - \frac{9}{2} = 7 \text{ (см)}.$$

### 3.4. Розрахунок первинної обмотки трансформатора

Повна максимальна потужність для живлення трансформатора визначається за формулою:

$$S_1 \text{ max} = \frac{S_2 \text{ max} \cdot \cos \varphi_2}{\eta \cdot \cos \varphi_1}$$

де  $S_2 \text{ max}$  – повна потужність керуючого трансформатора, що віддається, дорівнює  $S_2 \text{ max} = 108$  кВА;

$$\cos \varphi_2 = \cos 30^\circ = 0,866;$$

$$\cos \varphi_1 = 0,85 \text{ – коефіцієнт потужності;}$$

коефіцієнт корисної дії  $\eta = 0,94$ .

$$S_1 \max = 108 \cdot 0,866 / 0,94 \cdot 0,85 = 117 (\text{кВа}).$$

Величина магнітного потоку в ярмі первинної (середньої) частини магнітопроводу:

$$\Phi_{Я_1} = 0,93 \cdot h_{я} \cdot l_{я} \cdot B_{я} \cdot 10^{-4}$$

де  $B_{я} = 1,6$  – величина магнітної індукції якоря;

$$\Phi_{Я_1} = 0,93 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} = 52,08 \cdot 10^{-4} (\text{Вб});$$

Кількість витків в фазі первинної тороїдальної обмотки:

$$W\phi_1 = \frac{Kt_1 \cdot U_1}{4K\phi \cdot Kоб_1 f \Phi_{Я_1}}$$

де  $U_1 = 120 \text{ В};$

$$W\phi_1 = \frac{0,9 \cdot 120}{4 \cdot 1,09 \cdot 0,96 \cdot 400 \cdot 52 \cdot 10^{-4}} = 12,41,$$

приймаємо  $W\phi_1 = 12$  витків.

Кількість радіальних пазів на дотикаючих торцях пологих циліндрів:

$$Z = Z_1 = Z_2 = Z_{uu} = 12$$

Кількість витків в секції первинної обмотки:

$$Wc_1 = W\phi_1 \cdot m_1 / Z,$$

$$Wc_1 = 12 \cdot 3 / 12 = 3 \text{ витка.}$$

Пазовий крок по середній округленості:

$$t_{n.ср.} = 3,14 \cdot D_{ср} / Z,$$

$$t_{n.ср.} = 3,14 \cdot 17 / 12 = 4,45 (\text{см});$$

Ширина пазу:

$$e_n = 0,5 t_{n.ср.}$$

$$e_n = 0,5 \cdot 4,45 = 2,2(\text{см});$$

Струм у фазі первинної обмотки:

$$I_{\phi 1} = 117 \cdot 10^3 / 3 \cdot 120 = 325(\text{А}).$$

Зріз фази:

$$q_{\phi 1} = I_{\phi 1} / j_1$$

де  $j_1 = 7(\text{А/мм}^2)$  – густина струму,

$$q_{\phi 1} = 325 / 7 = 46,4(\text{мм}^2).$$

### 3.5. Визначення витрат електроенергії у пересувному агрегаті АПА-5Д

Загальна формула визначення витрат електроенергії:

$$W = \frac{M * \Phi * K_3 * K_B}{\text{ККД} * \text{КВМ}}$$

де  $M$  – загальні потужності електроприймачів,

$\Phi$  – дійсний фонд часу (який беремо за 1 рік, тобто 8760 годин),

$K_3$  – коефіцієнт завантаження ( $K_3 = 0,75$ ),

$K_B$  – коефіцієнт відновлення ( $K_B = 0,85$ ),

ККД – коефіцієнт корисної дії (ККД = 0,85),

КВМ – коефіцієнт втрат у мережах (КВМ = 0,95).

Втрати електроенергії старого обладнання (фонд часу – 1 рік, потужність споживча 60 кВт):

$$W_1 = 60 \cdot 8760 \cdot 0,75 \cdot 0,85 / 0,85 \cdot 0,95 = 352705 \text{ кВт.г.}$$

Витрати електроенергії нового обладнання (фонд часу 1 рік, потужність споживча 9 кВт):

$$W_2 = 9 \cdot 8760 \cdot 0,75 \cdot 0,85 / 0,85 \cdot 0,95 = 52958 \text{ кВт.г.}$$

Вартість використаної електроенергії визначаємо за формулою:

$$Z = W * C,$$

де  $C$  – вартість 1кВт\*год електроенергії ( $C = 1,03$  грн/кВт\*год, ціна на 2019 рік січня місяця).

$$Z_1 = 352705 \cdot 1,03 = 352750 \text{ грн,}$$

$$Z_2 = 52958 \cdot 1,03 = 52990 \text{ грн.}$$

Економічний ефект складає:

$$Z_1 - Z_2 = 299760 \text{ грн.}$$

Тобто збитки зменшились майже на 300 000 гривень.

Сучасний спосіб життя вимагає покращених технологій, застарілі прилади надають не тільки шкоди навколишньому середовищу, а ще й вимагають більших витрат та людської роботи. Тож розробка, удосконалення вже існуючої техніки, дозволить нам заощадити витрати та час.

## ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі була зроблена спроба створити уніфікований пересувний електроагрегат на базі вітчизняного автомобіля підвищеної прохідності КраЗ-255, прототипом якого є існуючий аеродромний пересувний електроагрегат АПА-5Д, який дозволяє обслуговувати основну частину сучасного літакового парку нашої держави.

Для створення такого пересувного електроагрегату попередньо був проведений аналіз тактико-технічних характеристик аеродромних пересувних електроагрегатів АПА, що використовуються в наш час на підприємствах цивільної авіації та в авіаційних частинах, тактико-технічних вимог до систем електропостачання АПА, експлуатаційних характеристик систем електропостачання АПА, основних напрямків розвитку літакобудування (конкретно, розробки літака з повністю електрифікованим обладнанням, та як витяг з цього – наростаючу електропотребу).

В процесі такого аналізу було встановлено, що не всі існуючі аеродромні пересувні електроагрегати АПА зможуть бути використані для різноманітних типів літаків, тобто бути уніфікованими.

За прототип розробленого АПА був вибраний один з найбільш сучасних аеродромних пересувних електроагрегатів – вітчизняний АПА-5Д. При розробці структурної електричної схеми уніфікованого АПА, були враховані вимоги до нового АПА, особливості його експлуатації, а також досвід експлуатації та ефективного використання існуючих електроагрегатів АПА. Розрахунок надійності АПА виявив напрям його подальшого вдосконалення – це вдосконалення електричної схеми електроагрегату. В результаті цього розроблений агрегат уже структурно виявив переваги перед наявними АПА.

На основі аналізу необхідної потужності для живлення сучасних літальних апаратів та аналізу авіаційних генераторів, що використовуються на сучасних літальних апаратах, проведений вибір потужності генератора та його типу. В

якості генераторного агрегату був використаний синхронний генератор високої потужності ГТ120ПЧ6А, що дозволило вирішити проблему забезпечення живлення на ЛА всіх споживачів електричної енергії.

Проведений аналіз систем регулювання напруги та обґрунтована доцільність використання на уніфікованому електроагрегаті сучасного регулятора на напівпровідникових елементах. Розроблена схема, яка забезпечує корекцію та стабілізацію напруги на борту літака в залежності від навантаження генератора, компенсуючи падіння напруги в кабелі АПА.

Для забезпечення живлення приймачів постійного струму в агрегаті розроблений випрямляч змінного трифазного струму частотою 400 Гц в постійний струм напругою 28 В з двома випрямляючими мостами. При цьому випрямляч розроблений на основі керованого трансформатора з обертальним магнітним полем. Вибір такого трансформатора дозволяє регулювати напругу постійного струму, забезпечуючи необхідну якість електроенергії при різних режимах роботи електроагрегату. А передбачене переключення випрямляючих мостів з паралельної роботи на послідовну забезпечує живлення електростартерів авіадвигунів при їх пуску за схемами 24/48 В і (0-70) В. Для одночасного забезпечення живлення бортових приймачів постійного струму напругою 27 В на агрегаті передбачена установка допоміжного випрямляча невеликої потужності.

Пропонована конструкція регулюючого трансформатора з обертальним магнітним полем, виконаний розрахунок його геометричних розмірів та параметрів.

В дипломному проєкті розглянуті також заходи щодо охорони праці з вдосконаленням АПА-5Д та охорони навколишнього середовища.