

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного та радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Загальні знання про ПС: Електропостачання»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Аеронавігація)***

за темою №4 - Авіаційні перетворювачі електроенергії

Кременчук

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р. № 1

Розробники:

- 1. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, спеціаліст вищої категорії Хебда А.С.*
- 2. Викладач циклової комісії авіаційного та радіоелектронного обладнання, спеціаліст Рижик М. М.*

Рецензенти:

- 1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.*
- 2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.*

План лекції:

1. Класифікація перетворювачів
2. Електромашинні перетворювачі постійного струму в змінний
3. Регулювання напруги електромашинних перетворювачів
4. Стабілізація частоти електромашинних перетворювачів
5. Трансформаторно-випрямні блоки
6. Перетворювачі напруги
7. Перетворювачі частоти

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна література:

1. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О.Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.:НАУ, 2017. – 264с.-
2. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов. – К. : НАУ, 2013. – 272 с.
3. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синеглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с.
4. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.:НАУ, 2003. – 396с.

Допоміжна література:

1. Єдині конспекти по АіРЕО Мі-8МТВ на цикловій комісії.
2. Керівництво з льотної експлуатації вертольота Мі-2 - М.: Департамент повітряного транспорту, 1996.
3. Конспекти лекцій з базової підготовки технічного персоналу згідно вимог Part-66, Part-147 (Модуль 3, 13, 14)

Текст лекції

1. Класифікація перетворювачів

Авіаційні перетворювачі електричної енергії служать джерелами живлення вторинних і аварійних систем електропостачання. Вторинні системи електропостачання забезпечують енергією приймачі електроенергії, для яких або рід струму, або напруга, або допустимі відхилення частот або напруг є іншими ніж в основній системі електропостачання. Так, наприклад, системи автоматичного управління, пілотажно -навігаційні прилади вимагають високої точності стабілізації частоти (приблизно 1-2%). Інерціальні системи навігації, астронавігаційні системи, бортові обчислювальні пристрої вимагають прецизійної точності стабілізації частоти джерела живлення ($\pm 0,005-0,05 \%$). Анодні ланцюги ламп радіоелектронного обладнання працюють при напрузі постійного струму, у багато разів більшому напруги первинної системи електропостачання -вання.

Для споживачів з допустимим відхиленням напруги $\pm 3 \%$ і частоти $\pm 1 \%$ необхідно використовувати вторинні джерела електропостачання.

Залежно від виконуваних функцій перетворювачі електроенергії поділяються на такі три групи:

- Перетворювачі роду струму;
- Перетворювачі рівня напруги;
- Перетворювачі частоти.

Найбільш поширені перетворювачі роду струму та перетворювачі рівня напруги. Часто перетворювачі роду струму одночасно виконують і функції перетворювачів рівня напруги.

Перетворювачі електроенергії можна розділити на електро - машинні і статичні.

Перетворювачі частоти використовуються головним чином для регульованого приводу змінного струму. В окрему групу можна виділити статичні перетворювачі нестабільної частоти в стабільну частоту 400 Гц.

При первинній системі електропостачання постійного струму низької напруги знаходять застосування перетворювачі постійного струму в змінний одно- і трифазний струм і перетворювача постійного струму низької напруги в постійний струм підвищеної напруги.

Зважаючи на складність схем і недостатньою їх надійності паралельна робота перетворювачів не знайшла застосування. Надійність забезпечення живлення вторинних енергосистем досягається включенням резервного перетворювача замість основного, що відмовив. Часто для найбільш важливих

приймачів електроенергії (наприклад, для авіагоризонта) встановлюються індивідуальні автономні перетворювачі невеликої потужності.

У системах електропостачання змінного струму стабільної частоти живлення шин вторинної системи в більшості випадків забезпечується перетворювачами змінного струму в постійний іншого рівня напруги. Для цього застосовуються випрямні установки (ВУ) і трансформаторно - випрямні блоки (ТВБ). Для перетворення змінного струму в змінний струм іншої рівня напруги застосовуються трансформатори. На літальному апараті з первинною системою змінного струму потужність вторинних систем значно менша, ніж в системах постійного струму низької напруги, і становить приблизно 5 - загальної потужності системи електропостачання. Це обумовлено великими можливостями по зміні рівня напруги в системах змінного струму за допомогою трансформаторів, що дозволяє використовувати в радіотехнічному обладнанні вбудовані перетворювачі і зменшити потужність вторинних систем електропостачання.

2. Електромашинні перетворювачі постійного струму в змінний

У системах електропостачання постійного струму низької напруги і системах змінного струму нестабільної частоти електромашинні перетворювачі застосовуються як джерела однофазного або трифазного змінного струму стабільної частоти 400, 600, 2000 Гц, що живлять вторинні системи електропостачання.

Електромашинні перетворювачі постійного струму в змінний діляться на однофазні (типу ПО), трифазні (типу ПТ) і комбіновані (типу ПТО).

Перетворювачі найчастіше виконуються як двигун - генераторні агрегати. Агрегат складається з двигуна постійного струму і генератора (або генераторів) змінного струму, розміщених в одному корпусі на загальному валу. Магнітні та електричні ланцюги окремих машин незалежні. Двигун перетворювача має послідовне або змішане збудження. Генератори збуджуються від бортової мережі постійного струму. Генератори малопотужних перетворювачів збуджуються від постійних магнітів. Виконання перетворювачів - захищене. Пристрої управління і регулювання монтуються в окремих блоках, що встановлюються на агрегат або поблизу нього. Охолодження блоків - природне або примусове, двигун - генераторний агрегат в наземних умовах охолоджується вентилятором, встановлюваним на валу агрегату. На деяких серіях перетворювачів в польоті здійснюється примусове охолодження всіх блоків забортним повітрям.

Основними недоліками електромашинних перетворювачів є:

- Наявність контактних кілець і колекторного вузла, що знижують надійність;

- Низький к.к.д. - Не більше 0,55;
- Велика маса - $10 \text{ кг} / \text{кВ} * \text{А}$ і більше;
- Невеликий термін служби - 250-500 ч.

Перетворювачі серії ПО випускаються потужністю 250, 500, 750, 1500, 3000, 4500, 6000 В * А. Вони перетворюють постійний струм напругою 27 В в однофазний змінний струм напругою $115 \text{ В} \pm 3 \%$ частотою $400 \text{ Гц} \pm 5 \%$. У ряді випадків встановлюються перетворювачі з підвищеною точністю стабілізації частоти - до $\pm (0,05 \sim \tau - 0, 1) \%$. Основним навантаженням перетворювачів є радіозв'язкове і радіолокаційне обладнання літального апарату.

Однофазний синхронний генератор перетворювача має на статорі 6 явно виражених полюсів, на яких розташована обмотка збудження генератора (ОВГ), яка отримує живлення від бортової мережі постійного струму. Якір виконаний аналогічно якоря трифазної машини, але з однофазною робочою обмоткою генератора, що займає близько 70 % окружності поверхні якоря. Таким чином, близько 1 / 3 пазів виявляється не заповненими обмоткою. Це пояснюється тим, що при заповненні всіх пазів виходить незначний виграш в Е.Д.С. і потужності при великій витраті міді.

Усі перетворювачі мають пристрої стабілізації частоти. У малопотужних перетворювачах частота стабілізується за допомогою відцентрових регуляторів, а перетворювачі потужністю більше $500 \text{ В} * \text{А}$ мають системи стабілізації частоти і напруги.

Трифазні перетворювачі серії ПТ випускаються потужністю 70, 125, 200, 500, 750, 1000, 3000 і 6000 В- А. Лінійна напруга перетворювачів ПТ дорівнює 37 В. Лінійна напруга потужних перетворювачів ПТ - 3000 Ц і ПТ - 6000 одно 208 В. Генератори трифазних перетворювачів потужністю 70ч - 4-1000 В- А збуджуються від постійних магнітів, а перетворювачі ПТ - 3000 Ц і ПТ - 6000 мають трифазні генератори з електромагнітним збудженням. Основним навантаженням перетворювачів цієї серії є приладове обладнання, в якому є гіроскопічні прилади і датчики.

До цієї ж групи перетворювачів може бути віднесений і перетворювач типу ПАГ- 1Ф - перетворювач авіагоризонту.

Потужність перетворювача 36 У « А. Системи стабілізації частоти і напруги він не має і служить автономним джерелом живлення авіагоризонту.

З метою зниження маси і підвищення к.к.д. застосовують комбіновані перетворювачі серії ПТО. Відмінною особливістю конструктивного виконання

цих перетворювачів є наявність у двигун - генераторному агрегаті двох генераторів.

Прикладом подібного перетворювача може служити перетворювач ПТО-1000/1500. Назва перетворювача означає: перетворювач трифазний - однофазний. Потужність трифазного генератора $1000 \text{ В} \cdot \text{А}$, однофазного - $1500 \text{ В} \cdot \text{А}$. Однофазний генератор перетворювача видає напругу $115 \text{ В} \pm 2 \%$, трифазний - $37 \pm 1,5 \text{ В}$. Точність стабілізації частоти $\pm 1 \%$.

Перетворювач ПТО-ЮОО/ЗООО видає такі ж напруги, але частотою $1000 \pm 30 \text{ Гц}$. Генератори перетворювача виконані по типу « сексін » зі змішаним збудженням.

Перетворювачі потужністю більше $200 \text{ В} \cdot \text{А}$ мають регулятори напруги. Перетворювачі малих потужностей не мають стабілізації напруги і використовуються зазвичай для індивідуального живлення або для аварійного живлення найбільш важливих споживачів.

3. Регулювання напруги електромашинних перетворювачів

Загальні відомості. Для підтримки напруги змінного струму в необхідних межах перетворювачі забезпечуються системами автоматичного регулювання напруги. Застосовуються замкнуті системи регулювання по відхиленню регульованого параметра і комбіновані. Комбіновані системи забезпечують окрім регулювання по відхиленню компенсацію основних обурюючих дій на об'єкт регулювання: струму навантаження генератора і зміни напруги живлення двигуна перетворювача.

Система регулювання напруги перетворювачів аналогічна системі регулювання напруги генераторів і складається з вимірювального, підсилювального і виконавчого органів, а також пристроїв, що коригують.

В якості джерел еталонної напруги в системах регулювання найчастіше використовуються електромагнітні стабілізатори напруги і стабілітрони, що включаються в мостові схеми.

У електромагнітних стабілізаторах напруги використовується конструктивно вони подібні до звичайних трансформаторів напруги. Відмінність їх полягає в те, що первинна обмотка ω_1 розташовується на стержні з великим поперечним перерізом, що не насичується при роботі стабілізатора, а вторинна ω_2 на стержні меншого поперечного перерізу, працюючого в режимі насичення стали.

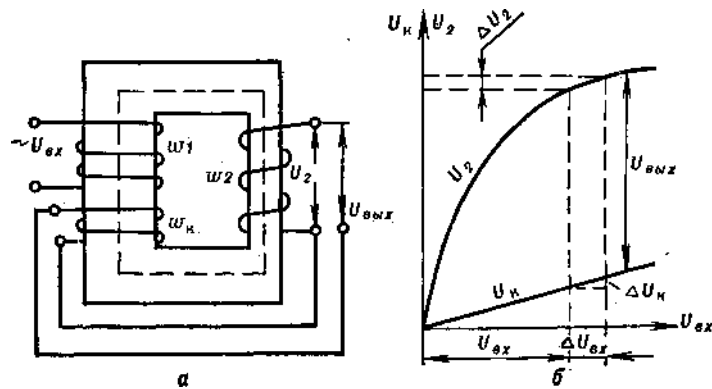


Рисунок 1 - Електромагнітний стабілізатор напруги:
а - схема; б - характеристики

На рис. 1 зображені криві намагнічення електромагнітного стабілізатора напруги (ЕМС), з якої видно, що при відхиленні вхідної напруги на величину $\Delta U_{вх}$ виходить значно менша зміна вторинної напруги ΔU_2 .

Для збільшення ефекту стабілізації напруги вводиться компенсаційна обмотка ω_k , до розташована на частині сердечника, що не насичується. Вона з'єднується послідовно з вторинною обмоткою ω_2 причому відносно невелика її напруга U_k спрямована зустрічно вихідній напрузі.

Число витків компенсаційної обмотки вибирається так, щоб нахил характеристики $U_k = f(U_{вх})$ відповідав нахилу кривої напруги U_2 на ділянці насичення. Різниця $U_2 - U_k$ в значному діапазоні зміни $U_{вх}$ залишається постійною.

Еталонна напруга, що видається еталонними джерелами, алгебра підсумовується з напругою генератора перетворювача або на підсилювальному органі, або на спеціальних схемах порівняння. В якості схем аналогічні схемам, використовуваним в регуляторах напруги генераторів (регулятори типу РНМ і РНУ для генераторів серії СГК).

Найбільш поширеними підсилювальними елементами в системах стабілізації напруги, а також ω частота електромашинних перетворювачів являються магнітні підсилювачі з внутрішнім позитивним зворотним зв'язком. У багатьох випадках до складу підсилюючо-перетворюваного елемента входить вугільний регулятор напруги (УРН).

Виконавським елементом систем стабілізації напруги перетворювачів є обмотка збудження генератора (ОВГ). Генератори з постійними магнітами мають обмотку генератора (УОГ), що управляє, яка підключається на вихід підсилюючо-перетворюваного елемента і служить виконавчим органом системи стабілізації напруги.

Для забезпечення необхідної стійкості і точності регулювання вводяться додаткові елементи - пристрої, що коригують.

Найбільш поширеним видом пристроїв, що коригують, вживаних в системах стабілізації частоти і напруги електромашинних перетворювачів, є ті, що коригують обмотки, гнучкі і жорсткі негативні зворотні зв'язки. Для проратних зв'язків застосовують трансформатори стабілізації, обмотки стабілізації, що включаються через конденсатори, і т. д.

Система регулювання напруги перетворювача серії ПО вимірювальним елементом системи є обмотка магнітного підсилювача $\omega_{yoу}$, що управляє, і електромагнітним стабілізатором напруги ЕМС. Підсилюючо-перетворюваним елементом служить магнітний підсилювач МУ з самопідмагнічуванням і вугільний регулятор напруги УРН. Обмотка підсилювача, що управляє, підключена через випрямний міст В1 на напругу генератора. Компенсаційна обмотка $\omega_{к0}$, що створює регулюючу дію по обуренню, підключена до вторинної обмотки трансформатора струму ТТ через випрямливий міст В3. Сила обмотки $\omega_{к0}$, що намагнічує, $\omega_{оп}$ спрямована силі обмотки, що зустрічно намагнічує, $\omega_{yoу}$.

Обмотка опорного підмагнічування $\omega_{оп}$ створює постійне підмагнічування, оскільки живиться від генератора через стабілізатор напруги і випрямний міст В2. Для згладжування пульсацій випрямленої напруги електромагнітного стабілізатора використовується конденсатор С. що Намагнічує результуюча намагнічуюча сила управління магнітного підсилювача

$$F_y = F_{yoу} - (F_{к0} + F_{оп}) = F_{yoу} - F_{см}$$

Сила зміщення, що намагнічує, створюється ампер-витками обмоток подмагничивания і компенсаційної. Навантаженням магнітного підсилювача МУ служить обмотка електромагніту вугільного регулятора напруги.

Вугільний стовп регулятора включений послідовно з виконавчим органом - обмоткою збудження генератора ОВГ. Робоча точка а характеристики магнітного підсилювача знаходиться приблизно посередині прямолінійної ділянки характеристики при номінальній напрузі, причому $F_{см} > F_{yoу}$.

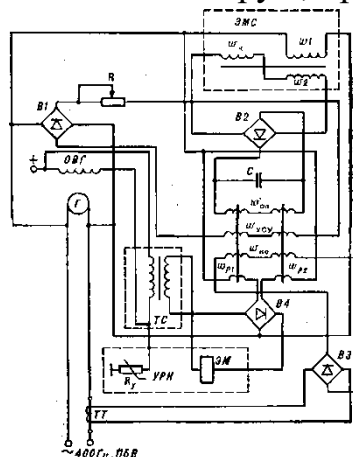


Рисунок 2 - Принципова схема регулювання напруги перетворювач серії ПО

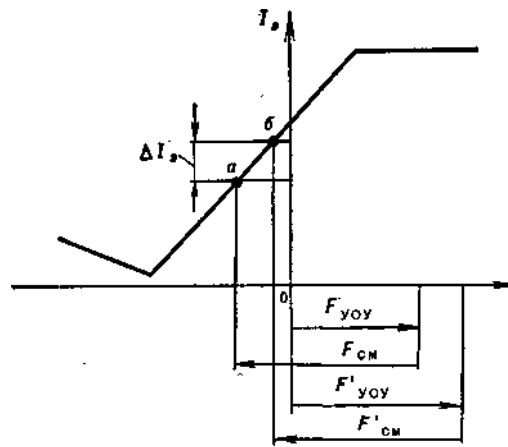


Рисунок 3 - Характеристика магнітного підсилювача

Регулювання напруги перетворювача серії ПТО. Для регулювання напруги однофазного і трифазного генераторів перетворювача ПТО застосовуються два автоматичні регулятори напруги. Обидва регулятори напруги виконані принципово однаково. Відмінність полягає в схемі живлення вимірювального органу і магнітних підсилювачів.

Система регулювання однофазного генератора включає вимірювальний орган з блоками живлення БП, підсилюючо-перетворюваний орган, що складається з магнітного підсилювача МУ і вугільного регулятора напруги УРН, виконавчий орган - обмотку збудження однофазного генератора ОВОГ, стабілізуючий трансформатор Тр1.

Вимірювальний орган є мостом із стабілітроном в одному з плечей. Робочою ділянкою його характеристики може бути тільки ділянка 1-2 завдяки включеному послідовно з обмоткою управління ω_y магнітного підсилювача МУ діоду ДЗ. Діод виключає надмірне зниження напруги генератора при короткому замиканні стабілітрона.

Магнітний підсилювач виконаний з внутрішньою і зовнішньою (обмотка ω_o) позитивними зворотними зв'язками. Обмотка управління підсилювача розмагнічує його сердечника.

Система регулювання працює тільки по відхиленню регульованого параметра. Із зростанням напруги генератора зменшується напруга на виході вимірювального органу і зменшується струм в обмотці управління ту підсилювача. Струм робочих обмоток підсилювача, що протікає по обмотці електромагніту вугільного регулятора, збільшується (Рис. Опір вугільного стовпа УРН росте, що веде до зменшення струму збудження генератора і зниженню його напруги до заданого рівня).

Система регулювання трифазного генератора перетворювача серії ПТО побудована аналогічно системі регулювання напруги однофазного генератора

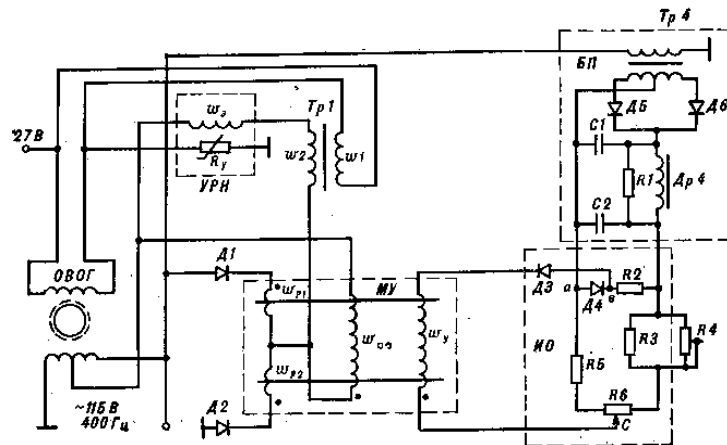


Рисунок 4 - Принципова схема регулювання напруги однофазного генератора перетворювача серії ПТО

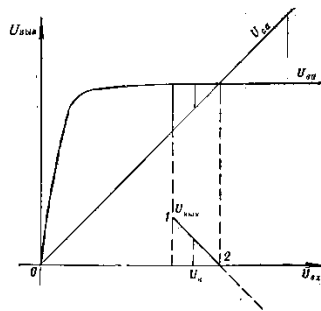


Рисунок 5 - Характеристики вимірювального органу в схемі

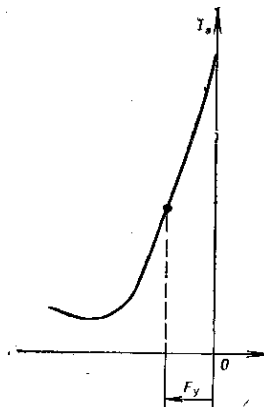


Рисунок 6 - Характеристика магнітного підсилювача стосовно схеми

Відмінність полягає в наступній: магнітний підсилювач живиться через трансформатор $Tr2$ і вимірювальний орган, що підвищує, включений на випрямлену напругу усіх трьох фаз трифазного генератора.

Принцип роботи системи аналогічний вищеописаному для системи регулювання напруги однофазного генератора.

Регулювання напруги перетворювача серії ПТ. Перетворювачі серії ПТ потужністю до $1000 \cdot U \cdot A$ виконуються з синхронними трифазними генераторами зі збудженням від постійних магнітів. Для регулювання

магнітного потоку генератора в повітряному проміжку використовують метод підмагнічування спинки статора, що відповідає регулюванню магнітного опору ділянки магнітопроводу шляхом проходження магнітного потоку машини.

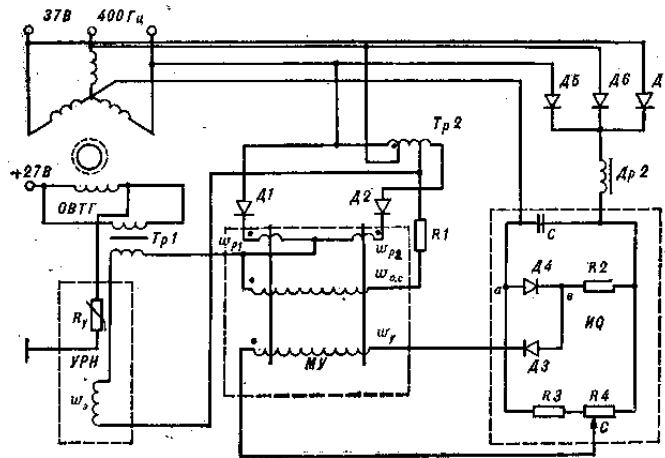


Рисунок 7 - Принципова схема регулювання напруги трифазного генератора перетворювача серії ПТО

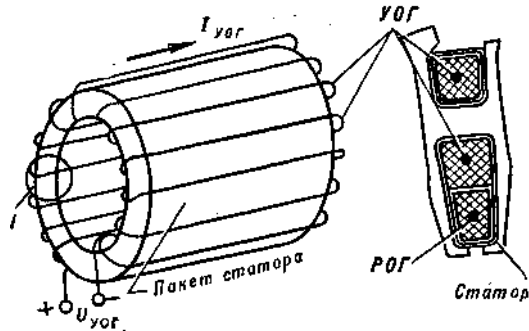


Рисунок 8 - Розміщення тороїдальної обмотки підмагнічування на спинці статора перетворювача з магнітоелектричним збудженням

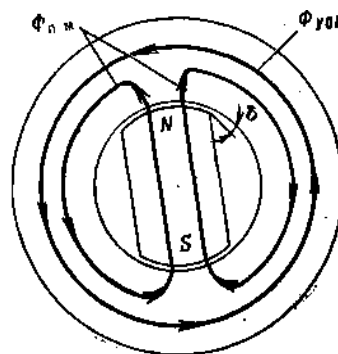


Рисунок 9 - Шляхи проходження магнітних потоків, що створюються обмоткою підмагнічування (Φ_{yog}) і постійним магнітом (Φ_{fm})

Метод регулювання опору магнітопроводу полягає в зміні насичення спинки якоря(статора) керованим зовнішнім магнітним полем, що створюється

тороїдальною обмоткою підмагнічування - обмоткою генератора УОГ, що управляє. Вона розташована в пазах на зовнішній і внутрішній поверхнях сердечника якоря і охоплює спинку статора (Рис. 85). Магнітний потік $\Phi_{уог}$, створюваний УОГ, замикається усередині сталі статора і в повітряний проміжок машини не виходить. Характер проходження потоків по магнітному ланцюгу машини показаний на Рис. 86.

Із зростанням підмагнічування спинки статора (так УОГ збільшується) зростає її магнітний опір, і при постійності сили постійних магнітів, що намагнічує, магнітний потік машини в повітряному проміжку зменшуватиметься.

У генераторі зі збудженням від постійних магнітів на неодруженому ході струм УОГ має бути максимальним. У міру збільшень навантаження і зростання подовжньої реакції якоря струм УОГ необхідно зменшувати щоб забезпечити необхідний магнітний потік машини в повітряному проміжку для підтримки напруги на затисках генератора в заданих межах.

При номінальному навантаженні струм УОГ має бути мінімальним або рівним нулю. Генератор з постійними магнітами не розрахований на перевантаження.

Гідністю генератора зі збудженням від постійних магнітів являються його без контактність і мале споживання потужності на додаткове збудження, необхідне для регулювання напруги. У номінальному робітнику режимі витрата на збудження складає біля 3% номінальної потужності, при неодруженому ході 10%. Генератор з електромагнітним збудженням сумірної потужності витрачає на збудження при номінальному режимі біля 15% номінальної потужності. Але слід зазначити, що маса регульованих генераторів з постійними магнітами на 10-15% більше в порівнянні з масою нерегульованих.

У генераторах з постійними магнітами ротор є постійним магнітом у вигляді зірочки з магнітотвердого сплаву.

Схема регулювання працює при відхиленні напруги перетворювача від номінального. До складу схеми входять: вимірювальний орган - стабілітрони, включені послідовно з обмоткою магнітного підсилювача $\omega_{уоу}$, що управляє, підсилюючо-перетворюваний орган - магнітний підсилювач з внутрішньою і зовнішньою позитивними зворотними зв'язками, зовнішній позитивний зворотний зв'язок здійснюється обмоткою $\omega_{пос}$ виконавчий орган - обмотка генератора, що управляє, $\omega_{уог}$. На сердечнику підсилювача окрім обмотки що управляє, $\omega_{уоу}$ розташовані обмотка позитивного зовнішнього зворотного зв'язку $\omega_{пос}$ обмотка опорного підмагнічування включена паралельно стабілітронам, падіння напруги на яких в широкому діапазоні зміни вхідної напруги залишається постійним.

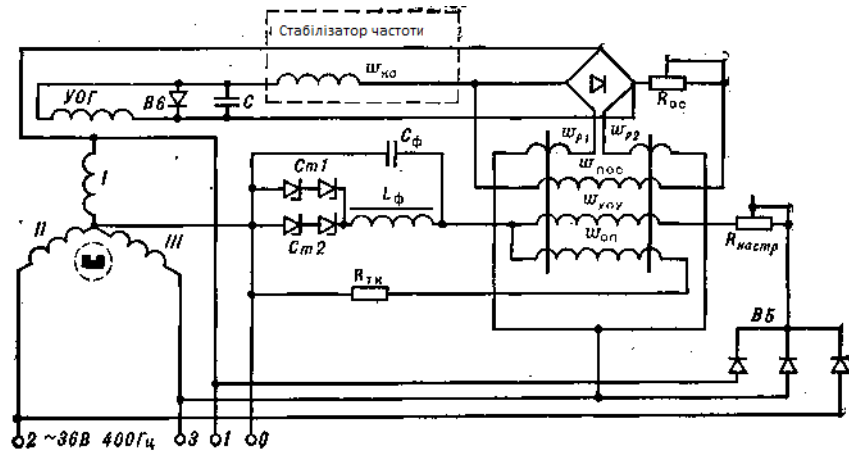


Рисунок 10 - Принципова схема регулювання напруги генератора з магнітоелектричним збудженням перетворювача ПТ

Розглянемо роботу системи регулювання напруги. При збільшенні напруги генератора струм стабілітронів зростає, а падіння напруги на стабілітронах залишається постійним. Струм і сила обмотки, що намагнічує, збільшуються, сила обмотки опорного підмагнічування, що намагнічує, залишається незмінною. Зростання $\omega_{уоу}$ призводить до збільшення струму обмотки генератора, що управляє, $\omega_{уог}$, магнітна проникність стали спинки статора падає і росте її магнітний опір. Потік в повітряному проміжку зменшується, і напруга генератора знижується, прагнучи до заданого значення. При зниженні напруги схема регулювання працює у зворотному напрямі.

4. Стабілізація частоти електромашинних перетворювачів

Загальні відомості. Частота змінного струму синхронного генератора визначається вираженням

$$f = \frac{pn}{60}$$

де p — число пар полюсів;

n — частота обертання ротора генератора, про/хв.

Оскільки ротор генератора розташований на одному валу з якорем електродвигуна, частота змінного струму визначатиметься частотою обертання електродвигуна:

$$n = \frac{U - IR_a}{c(\Phi_{со} + \Phi_{уод})}$$

де U — напруга живлення електродвигуна;

IR_a — падіння напруги на якорі електродвигуна;

c — постійная електродвигуна перетворювача;

$\Phi_{со}$ — магнітний потік, обумовлений струмом, що протікає в послідовній(серієсною) обмотці збудження електродвигуна;

$\Phi_{уод}$ — те ж, для паралельної(що управляє) обмотки збудження електродвигуна.

Потік $\Phi_{с0}$ визначається активною потужністю включених на перетворювач приймачів електроенергії і не регулюється. Автоматична стабілізація частоти здійснюється зміною струму в обмотці електродвигуна, що управляє $\omega_{уод}$.

Зі збільшенням навантаження генератора перетворювача струм якоря І Електродвигуна зростає, це веде до збільшення падіння напруги в ланцюзі якоря і зростання потоку $\Phi_{с0}$. Для збереження постійності частоти обертання послаблюють потік $\Phi_{уод}$ зменшуючи струм $I_{уод}$. При підвищенні напруги живлення і струм $I_{уод}$ збільшують.

Необхідна зміна струму $I_{уод}$ здійснюється системою автоматичного регулювання частоти, яка подібно до системи регулювання напруги складається з вимірювального, підсилюючо-перетворюваного, виконавчого елементів і зворотних зв'язків, що коригують.

В якості вимірювальних елементів застосовують послідовні і паралельні резонансні LC- контури, що мають високу чутливість поблизу резонансної частоти. Вони можуть входити до складу складніших вимірювальних елементів: в диференціальні схеми з двома резонансними контурами або мостові схеми. Резонансний контур по відношенню до зміни частоти безінерційний.

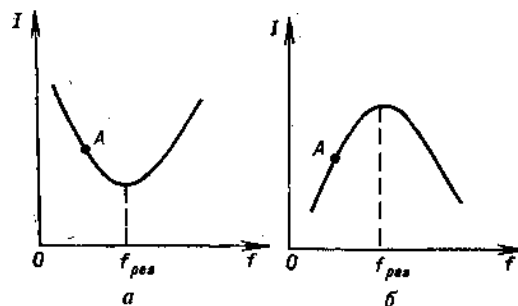


Рисунок 11 - Характеристика резонансних контурів: а- паралельного; б - послідовного

Підсилювальним елементом найчастіше є магнітні підсилювачі з самонасиченням, тобто з внутрішніми позитивними зворотними зв'язками.

Виконавчим органом служить обмотка двигуна(УОД), що управляє, створює магнітний потік $\Phi_{уод}$, що управляє.

Стабілізація частоти перетворювачів серії ПЗ. У перетворювачах цієї серії застосовується комбінована система регулювання частоти. У системі передбачено регулювання по основних обурюючих діях - струмі навантаження і зміні напруги живлення двигуна перетворювача.

Чутливим елементом системи є паралельний резонансний LC- контур з резонансною частотою 480- 520 Гц. Оскільки номінальна частота змінного

підсилювача, пропорційне струму навантаження генератора; обмотка демпферного зворотного зв'язку $\omega_{\text{дос;дос}}$ підключена паралельно послідовній обмотці збудження двигуна З і обмотці додаткових полюсів ДП, призначена для пригнічення низькочастотних автоколивань.

Таким чином, дія на струм в обмотці двигуна, що управляє, по відхиленню частоти здійснюється обмоткою т: по основних обурюючих діях обмотками: $\omega_{\text{оп}}$ — зміні напруги живлення двигуна і $\omega_{\text{ко}}$ — по зміні струму навантаження генератора рівній різниці сили обмотки підсилювача і сили зміщення, що намагнічує, що управляє, що намагнічує.

Характеристика магнітного підсилювача з урахуванням внутрішньої позитивної і зовнішньої негативної зворотних зв'язків зображена на рис, 90. Розглянемо роботу системи регулювання частоти. Припустимо, що в режимі, що встановився, струм в обмотці УОД відповідає точці В на характеристиці магнітного підсилювача. При збільшенні частоти генератора(наприклад, при зменшенні навантаження)струм ланцюга резонансного контуру зменшується, отже, зменшуються струм $I_{\text{уод}}$ і сила $F_{\text{уод}}$.

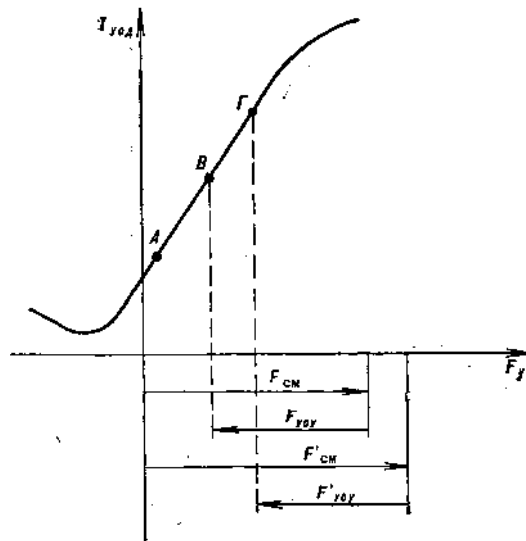


Рисунок 13 - Характеристика магнітного підсилювача стосовно схеми

Сила зміщення, що намагнічує, збільшується внаслідок зменшення $R_{\text{ко}}$. Це призводить до збільшення струму $I_{\text{уод}}$ на виході МУ до значення, що відповідає точці Г. Магнітний потік $\Phi_{\text{уод}}$ збільшується, а частота обертання двигуна знижується і частота генератора перетворювача зменшується, прагнучи до номінального значення.

При збільшенні струму навантаження генератора зростає сила компенсуючої обмотки $R_{\text{ко}}$, що намагнічує, сила $F_{\text{см}}$, що намагнічує, зменшується, робоча точка на характеристиці МУ зміщується у бік точки А, струм МУ - зменшується. Зменшення струму МУ і відповідно $\Phi_{\text{уод}}$ призводить до зростання частоти обертання. Частота генератора відновлюється. Таким

чином, дія компенсуючої обмотки усуває первинне зниження частоти через зростання навантаження генератора. При зростанні напруги живлення ростуть частота збільшується сила зміщення $F_{см}$, що намагнічує, а отже, зростають струм і потік УОД і система компенсує збільшення частоти обертання двигуна і частоти генератора через зростання напруги живлення. При зниженні напруги живлення процеси йдуть у зворотному напрямі.

Демпферний зворотний зв'язок в схемі діє як жорсткий негативний зворотний зв'язок. У перехідних процесах зміна частоти обертання двигуна завжди супроводжується коливаннями струму в якорі електродвигуна через зміну його протиелектрорушійної сили. Якщо збільшується струм якоря, то росте сила $F_{дос}$, що намагнічує, тобто і сила зміщення $F_{см}$, що намагнічує, оскільки $F_{дос}$ і $F_{см}$ мають однаковий напрям; при цьому магнітний потік двигуна збільшується. Внаслідок зростання протиелектрорушійної сили струм якоря знижується, в результаті коливання струму в якорі двигуна зменшуються, а отже, відбувається демпфування коливання частоти.

Обмотка $\omega_{дос}$ вводить статизм в систему регулювання, так Проте дія демпферної обмотки в режимі, що встановився, компенсується обмоткою $\omega_{ко}$, знижуючи помилку регулювання. У динаміці ці обмотки функціонують не одночасно.

Стабілізуюча дія на струм якоря виявляється і послідовною обмоткою двигуна СО. Із зростанням струму якоря(при збільшенні навантаження) збільшується потік $\Phi_{со}$, а отже, збільшується протиелектрорушійна сила двигуна. Це веде до зменшення струму якоря(магнітного потоку), що сприяє стабілізації частоти обертання.

Стабілізація частоти перетворювачів серії ПТ. Схема системи стабілізації частоти перетворювачів серії ПТ виконується аналогічно схемі стабілізації частоти перетворювачів серії ПЗ і також є комбінованою. Основні відмінності першої системи полягають в тому, що в ній використовується послідовний резонансний LC- контур, демпферний зворотний зв'язок виконаний як гнучкий негативний зворотний зв'язок. Сигнал на демпферну обмотку $\omega_{дос}$ знімається з трансформатора стабілізації МС(у трансформаторі МС обмотка розмагнічування служить для кращого використання стали сердечника). Магнітний підсилювач має обмотки: опорного підмагнічування що управляє $\omega_{уоу}$ компенсаційну $\omega_{ко}$ і робітники $\omega_{р..}$ Робочі обмотки живляться від автотрансформатора(АТ).

Обмотка опорного підмагнічування включена на стабілізовану напругу генератора і створює постійне зміщення МУ.

Компенсаційна обмотка включена послідовно з обмоткою генератора УОГ(Рис. 87), що управляє. Зростання навантаження генератора викликає

зниження струму обмотки $\omega_{\text{ко}}$. В результаті цього зменшується струм обмотки управління двигуна УОД відновлюється частота обертання ін. номінальною,

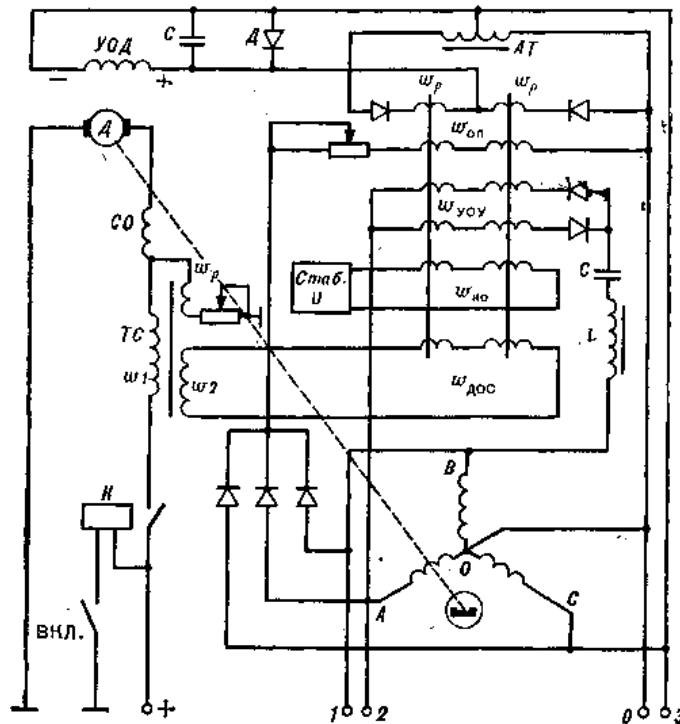


Рисунок 14 - Принципова електрична схема стабілізації частоти перетворювача серії ПТ

При збільшенні частоти генератора зростає струм в резонансному

LC- контурі (резонансний контур налаштований на частоту 450- 470 Гц), а отже, і в обмотці управління $\omega_{\text{уу}}$. Це призводить до збільшення струму в робочих обмотках магнітного підсилювача і в обмотці і тим самим відновлюється частота генератора.

Для інших обмоток аналогічно дії обмоток перетворювача серії ПО.

Стабілізація частоти перетворювачів серії ПТО. Система працює тільки по відхиленню регульованого параметра - частоти генератора перетворювача.

Вимірний елемент системи складається з дроселя L_n і конденсатора C_2 , що утворюють послідовний резонансний контур, що налаштовується на резонансну частоту 440- 470 Гц. Послідовно з контуром включені обмотки управління $\omega_{\text{у1}}$ і $\omega_{\text{у2}}$ магнітного підсилювача. Випрямляч змінного струму на діодах D_1 і D_2 забезпечує по чергові, через напівперіод, підключення обмоток послідовно з резонансним контуром.

Окрім обмотки управління магнітний підсилювач має робочі обмотки $\omega_{\text{р1}}$ і $\omega_{\text{р2}}$ обмотку опорного подмагніччання обмотки стабілізації і обмотку опорного подмагніччання включена на стабілізовану напругу генератора перетворювача і діє силі обмоток управління, що зустрічно намагнічує.

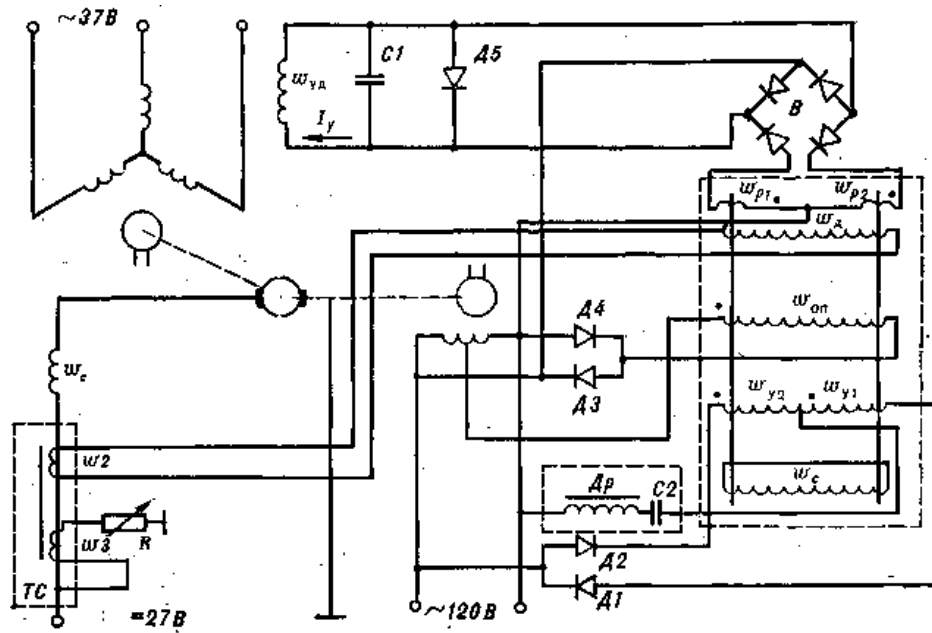


Рисунок 15 - Принципова електрична схема стабілізації частоти перетворювача серії ПТО

Обмотка стабілізації $\omega_{уд}$ включена на вторинну обмотку ω_2 трансформатора стабілізації МС, що має обмотку ω_3 розмагнічування. Короткозамкнута обмотка ω_3 із забезпечує пригнічення високочастотних коливань.

При підвищенні частоти генератора струм обмоток управління збільшується і підмагнічування магнітного підсилювача росте. В результаті цього зростає вихідний струм магнітного підсилювача, а отже, і струм в обмотці управління двигуна $\omega_{уд}$. Це призводить до зниження частоти обертання двигуна, і вона повертається до номінального значення.

Схеми перехресного регулювання частоти і напруги перетворювачів. Системи перехресного регулювання є двозв'язковими, оскільки регулюються одночасно дві взаємозв'язані змінні величини: частота і напруга і перетворювача.

Одночасне регулювання напруги і частоти обертання дозволяє отримати Перехресне регулювання вигідно застосовувати при використанні синхронного генератора, що компаундує. Струм

послідовної обмотки генератора однозначно пов'язаний з частотою обертання двигуна перетворювача і при номінальній частоті може забезпечити номінальну напругу на затисках генератора.

Схема перехресного регулювання, використовувана в перетворювачах ПО-5СЮ, ГЮ- 750 (Рис. 8.16), працює таким чином.

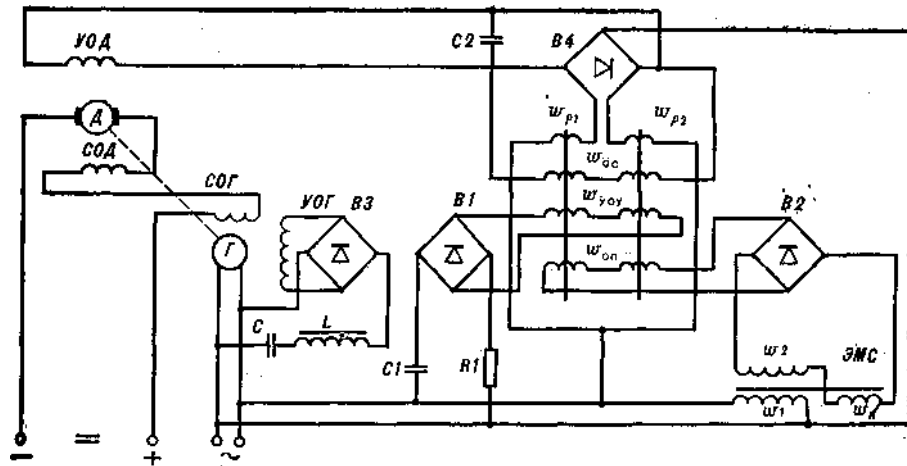


Рисунок 16 - Принципова схема регулювання частоти і напруги перетворювача серії ПО

Регулятор напруги перетворювача має магнітний підсилювач з внутрішньою і зовнішньою позитивними зворотними зв'язками. У ланцюг обмотки підсилювача, що управляє, ω_{y0} включений конденсатор $C1$, що є опором, що змінюється залежно від частоти $x_c = 1/\omega c$. Цей опір забезпечує корекцію регулятора напруги по частоті. При скиданні навантаження або збільшенні напруги живлення двигуна зростають частота і напруга генератора. Струм обмотки ω_{y0y} збільшується як через зростання е. д. с. генератора, так і в результаті зменшення опору ланцюга. Підмагнічування магнітного підсилювача зростає, магнітний потік двигуна збільшується і частота обертання відновлюється. Відновлення частоти обертання двигуна означає, що струм якоря двигуна, а отже, і потік збудження генератора повертаються до номінального значення. Послідовна обмотка збудження генератора СОГ забезпечує і корекцію напруги по обурюючих діях — струмі навантаження генератора і напрузі живлення двигуна перетворювача. Ця ж обмотка виконує і роль жорсткого негативного зворотного зв'язку, як і в звичайній системі регулювання частоти перетворювачів серії ПЗ.

Регулятор частоти виконаний без підсилювального елементу. Сигнал е резонансного LC-контур подається через випрямляч ВЗ безпосередньо на обмотку генератора УОГ, що управляє. Збільшення частоти струму генератора веде до зростання струму і потоку УОГ, що призводить до збільшення напруги. Система регулювання напруги реагує на це, знижуючи частоту обертання і стабілізуючи її біля номінального значення.

Системи перехресного регулювання застосовуються і для потужніших перетворювачів, наприклад ГТО-1500ВТ-2И і ПО-1500ВТ-3И.

Трансформаторно-випрямні блоки

Для перетворення змінного струму в постійний на літальних апаратах застосовуються трансформаторно-випрямні блоки типу ТВБ або випрямні установки типу ВУ. Випрямні установки можуть бути нерегульованими і регульованими (керованими) УВУ. Керовані випрямні установки забезпечують точність підтримки напруги $\pm (2-4) \text{ В}$.

Нерегульовані ВУ забезпечують точність напруги $28 \text{ В} \pm 5\%$ при зміні напруги змінного струму в межах $200 \text{ В} \pm 10\%$ частоти - в діапазоні 380-420 Гц, навантаження - від 10% до номінальної. При роботі з номінальним навантаженням ВУ допускають півторакратне перевантаження в течію не більше 15 мін, мають до. п. д. 0,8-0,85, $\cos \varphi = 0,95 \div 0,98$, пульсацію випрямленої напруги - не більше 8%, питому масу - не більше 2,5 кг/(кВ·А). Випрямна установка містить випрямляч, трансформатор, що знижує напругу змінного струму до необхідного значення і перетворює число фаз, а також допоміжні облаштування захисту від перегрівання і сигналізації.

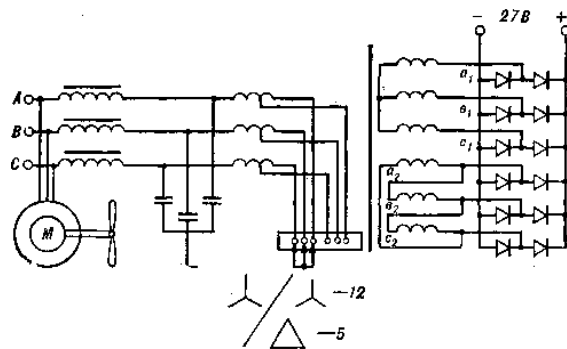


Рисунок 17 - Принципова схема ТВБ

В установках застосовують двонапівперіодні мостові схеми випрямлення, що мають низьку зворотну напругу в порівнянні з іншими схемами випрямлення і порівняно високою частотою пульсацій випрямленої напруги, що дозволяє мати малу масу згладжуючих фільтрів і краще використати трансформатори.

Первинні обмотки трансформаторів з'єднуються в зірку або трикутник залежно від живлячої напруги. Число вторинних фаз трансформаторів вибирається кратним числу первинних. Цим досягаються порівняно висока частота і мала пульсація випрямленої напруги. Найчастіше використовуються схеми з'єднання первинної обмотки в зірку.

Вторинна обмотка складається з двох частин. Одна частина з'єднується в зірку, а інша - в трикутник, тому вихідна напруга трансформатора зрушена один по відношенню до одного на 30° . При такій схемі з'єднання обмоток

виходить випрямлений струм з 4800 пульсаціями в секунду, що еквівалентно двенадцятифазному випрямленню.

В якості випрямних елементів застосовуються в основному кремнієві вентиля. Випрямні установки для живлення вторинних аварійних систем виконуються потужністю від 0,5 кВт (наприклад, установка ВУ- 0,5) і вище.

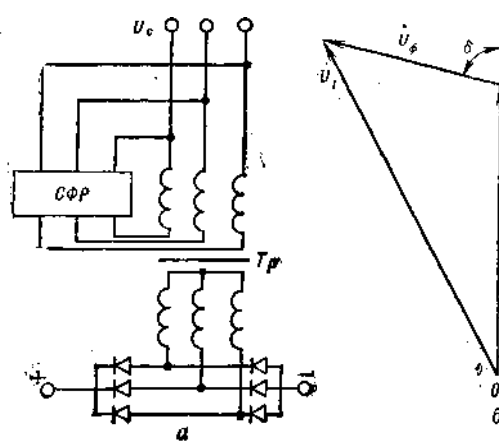


Рисунок 18 - Принципова схема регульованого ТБВ з фазорегулятором

У системах електропостачання, де первинною є мережа змінного струму стабільної частоти, вторинна мережа постійного струму може житися випрямними установками потужністю від 2,5 (ВУ- 2,5) до 12 кВт (УВУ- 12). Випрямна установка УВУ- 12 є регульованою і забезпечує точність стабілізації напруги $28,5 \pm 2$ В. Оскільки вживані напівпровідникові вентиля погано переносять перевантаження, то потужність ВУ вибирається з подвійним запасом для збільшення надійності системи електропостачання. У ТБВ можуть бути застосовані наступні способи регулювання:

- ступінчасте регулювання перемиканням виводів первинної або вторинної обмотки трансформатора;
- використання трансформаторів з регульованими сердечниками;
- введення додаткової регульованою з. д. с. за допомогою статичного фазорегулятора СФР

Ступінчасте регулювання напруги не є раціональним для застосування на літальних апаратах.

Трансформатори з регульованими сердечниками дозволяють забезпечити плавне регулювання напруги, але мають велику інерцію і складну конструкцію.

Використання фазорегулятора, що забезпечує введення додаткової регульованою з. д. с., є ефективнішим в порівнянні з двома першими способами.

Оптимальним є LC- фазорегулятор, що має високий до. п. д. і коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці. Регульованою індуктивністю L у

фазорегуляторі служить магнітний підсилювач з внутрішнім позитивним зворотним зв'язком або дросель з послідовно симетрично включеними тиристорами.

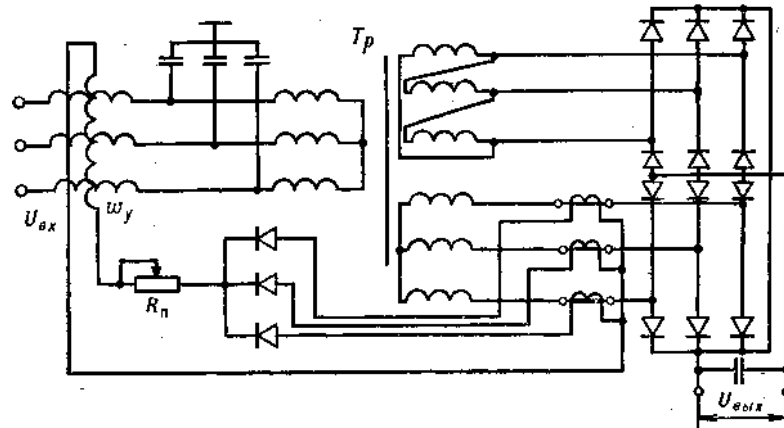


Рисунок 19 - Принципова схема регульованого ТВБ з дроселями насичення

У разі плавної зміни напруги фазорегулятора напруга на первинній обмотці трансформатора змінюється згідно з" вираженням

$$U_1 = \sqrt{U_c^2 + U_\phi^2 - 2U_c U_\phi \cos \delta}$$

де U_c — напруга живлення мережі;

U_ϕ — напруга фазорегулятора;

δ — кут зрушення U_ϕ відносно U_c (Рис. 95,6).

Дроселі насичення в системах регулювання вводяться в первинний ланцюг трансформатора, забезпечуючи регулювання напруги змінного струму в первинній обмотці трансформатора. Реактивні опори дроселів змінюються обмотками управління (підмагнічуванням постійним струмом). Обмотка управління при зростанні струму навантаження збільшує підмагнічування дроселя, що викликає зменшення його реактивного опору і підвищує напругу на первинних обмотках трансформатора. На схемі реалізовано регулювання по обуренню(навантаженню). Можливі також регулювання по відхиленню і комбіноване регулювання.

Випрямні установки з використанням як регулятори дроселів насичення можуть працювати паралельно без великих відхилень в розподілі навантажень між окремими ТВБ. Цього можна досягти введенням зрівняльних обмоток $\omega_{ур}$. Зрівняльні обмотки змінюють підмагнічування дроселів так, щоб навантаження розподілялося рівномірно.

Для сигналізації або автоматичного відключення при перегріванні елементів ТВБ встановлюється декілька термовимикачів. Термовимикач на радіаторах

охолодження вентилів спрацьовує при температурі 150°C , а термовимикач на трансформаторі - при 200°C , при цьому включається сигнальна лампа.

Охолодження ВУ здійснюється повітрям, що забирається із-за борту або з системи кондиціонування. Може використовуватися самовентиляція з приводом вентилятора від асинхронного електродвигуна.

6. Перетворювачі напруги

Розглянуті вище перетворювачі струму у більшості випадків перетворювали одночасно і напруга. У деяких же випадках необхідно перетворювати тільки напругу. Прикладом можуть служити різні радіопристрої, де використовується напруга від 1,2-6,3 В для живлення ланцюгів підігрівання катодів електронних ламп до десятків кіловольт для електроннихпроменевих трубок радіолокаторів.

Зміна рівня напруги здійснюється за допомогою перетворювачів напруги: трансформаторів, автотрансформаторів, радіоумформерів, статичних перетворювачів напруги.

Іноді подібні пристрої входять складовою частиною в деякі агрегати і служать вбудованими джерелами живлення, наприклад в аварійних радіостанціях, літакових переговорних пристроях і т. д.

Перетворювачі постійного струму низької напруги в постійний струм підвищеної напруги. В якості таких перетворювачів на літальних апаратах використовуються статичні напівпровідники і електромашинні одноякірні перетворювачі, звані умформерами.

Як вже відзначалося, статичний перетворювач напруги постійного струму можна отримати, доповнивши перетворювач постійного струму в змінний відповідною схемою випрямлення і фільтром. Доцільно застосовувати схеми випрямлення, що не викликають постійного підмагнічування сердечника трансформатора, оскільки воно призводить до зниження потужності перетворювача. До таких схем відносяться однофазна з нульовим виводом, двонапівперіодна бруківка і схеми подвоєння напруги симетричного типу. Для зменшення пульсацій випрямленої напруги застосовують звичайні згладжувальні фільтри або активні фільтри з використанням транзисторних каскадів. Дія транзисторного фільтру ґрунтована на тому, що опір колектор - емітерного переходу транзистора для змінного струму значно більше, чим для постійного.

Трансформатори і автотрансформатори. Трансформатори можна підрозділити за призначенням на силові, вимірювальні і спеціальні, використовувані в системах автоматичного регулювання.

До вимірювальних трансформаторів відносяться трансформатори струму і напруги, використовувані в системах управління, регулювання і захисту джерел

електричної енергії первинних і вторинних систем електропостачання. До цієї ж групи можна віднести і трансформатори нормалізатори, необхідні для перевірки нормальної роботи перетворювачів постійного струму в змінний і генераторів змінного струму за допомогою наземних систем автоматичного контролю авіаційного устаткування. Вимірювальні трансформатори повинні мати лінійну залежність вихідної величини від вхідної.

Трансформатори стабілізації в системах регулювання напруги і частоти відносяться до групи спеціальних.

Силові трансформатори використовуються для живлення електроприводів, електротермічних і світлотехнічних установок, систем навігаційного устаткування, де є гіроскопічні датчики. Зазвичай застосовуються однофазні і трифазні трансформатори потужністю від 50 до 25 000 В*А з природним або примусовим охолодженням використовуються для живлення груп приймачів електроенергії. Прикладом може служити знижувальний трансформатор 208/37 В для живлення гіроскопічних приладів.

Знаходять застосування однофазні трансформатори для живлення окремих груп приймачів електроенергії. Наприклад, трансформатор Тр35 призначений для регулювання рівня напруги змінного струму живлення ламп освітлення кабіни червоним світлом. Він виконаний з відпаюваннями від вторинної обмотки, сполученими з галетним перемикачем на одинадцять положень. Трансформатор зібраний на тороїдальному сердечнику і монтується в одному корпусі з галетним перемикачем.

На літальних апаратах застосовуються також однофазні автотрансформатори. Наприклад, для живлення плівкового обігріву бронескла використовується автотрансформатор АТ- 7-1,5. Його потужність 1500 В *А. Обмотка низької напруги виконана як частину обмотки високої напруги одним безперервним дротом для полегшення виготовлення і зниження маси. Вхідна напруга 115 або 208 В, вихідне, таке, що знімається з відпаювань, має п'ять значень: 115, 190, 208, 230, 250 В.

Автотрансформатори застосовуються в тих випадках, коли потрібна невелика зміна рівня напруги основної мережі.

Як матеріал магнітопроводу авіаційних трансформаторів і автотрансформаторів використовують листові електротехнічні сталі марок Э310, Э42, Э44 завтовшки 0,35 або 0,2 мм. Сердечники тороїдальних трансформаторів виконуються, як правило, з електротехнічної стрічки завтовшки 0,08 мм. Тороїдальні трансформатори широко використовуються в приладовому устаткуванні, автоматичних облаштуваннях регулювання і управління.

Залежно від потужності до. п. д. трансформаторів складає від 0,8 для однофазних трансформаторів потужністю 0,05 кВ * А до 0,95 для трансформаторів більшої потужності. Питома маса силових трансформаторів відносно мала - 1,1-5,5 кг/ (кВ - А), що пояснюється підвищеною частотою струму (400 Гц), вибором великих електромагнітних навантажень, застосуванням магнітних матеріалів з високими магнітними властивостями і малими питомими втратами.

7. Перетворювачі частоти

В системах електроживлення і автоматики літальних апаратів іноді потрібно отримання змінного струму частотою. До таких приймачів електроенергії відноситься в першу чергу навігаційно-пілотажна апаратура, що вимагає високостабільних по частоті і напрузі джерел живлення підвищеної частоти 1000, 2500 Гц потужністю до 5 кВ * А.

Перетворення частоти і напруги може бути здійснене за допомогою статичних перетворювачів частоти (СПЧ) на напівпровідникових приладах (діодах, транзисторах, тиристорах), що характеризуються високою надійністю, економічністю, малою масою і високою швидкістю.

Одним з перспективних напрямів застосування статичних перетворювачів є перетворення нестабільної частоти генератора в стабільну частоту мережі. На деяких сучасних літальних апаратах первинна електрична енергія виробляється за допомогою безконтактних генераторів змінного струму змінної частоти 1200-3200 Гц. За допомогою СПЧ вона перетворюється в енергію змінного струму постійної частоти.

СПЧ можуть бути розділені на дві великі групи: перетворювачі частоти з е. з безпосереднім зв'язком живлячої мережі і ланцюга навантаження. До складу СПЧ з проміжною ланкою входять випрямляч і інвертор. Для однофазних систем цього типу СПЧ можуть бути побудовані за тими ж схемами, що і транзисторні перетворювачі постійного струму в змінний.

Загальними достоїнствами СПЧ з проміжною ланкою постійного струму є незалежність частоти на виході від частоти на вході, а також можливість виконання схеми з невеликим числом комутуючих елементів і з відносно простими схемами управління.

До недоліків СПЧ з проміжною ланкою відноситься двух-ступінчастість перетворення енергії, оскільки СПЧ складається з двох перетворювачів: випрямляча і інвертора - і, як наслідок, невисокий до. п. д.

Більш високий до. п. д. і меншу масу мають СПЧ без ланки постійного струму і з безпосереднім зв'язком живлячої мережі і ланцюга навантаження.

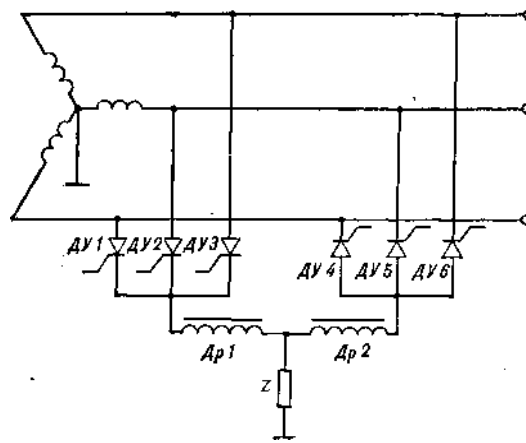


Рисунок 20 - Схема перетворювача змінного струму нестабільної частоти в змінний струм стабільної частоти

Принципова електрична схема перетворювача трьохфазного змінного струму змінної частоти в однофазний змінний струм постійної частоти Керовані тиристири катодної групи ДУ1-ДУ3 служать для формування позитивної півхвилі, а тиристири анодної групи ДУ4-ДУ6 - негативної півхвилі змінного струму.

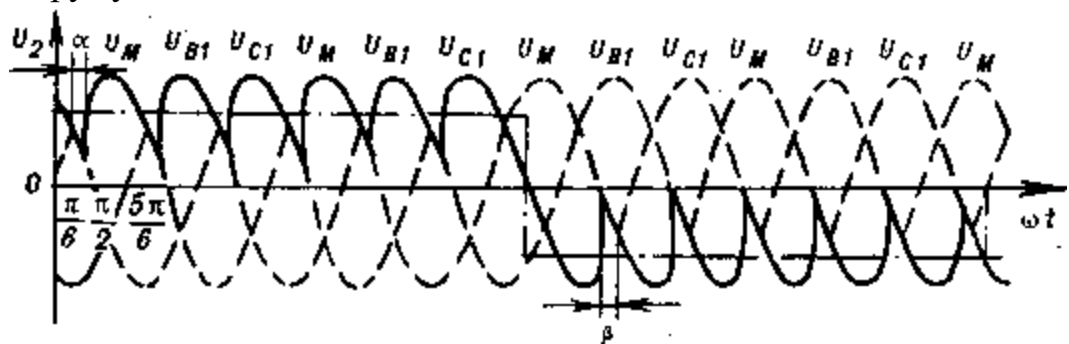


Рисунок 21 - Характер зміни напруги на навантаженні

Якщо управляти за допомогою відкриваючих імпульсів струму катодною групою тиристорів так, щоб впродовж першої півхвилі періоду частоти f_2 ($f_2 = 400$ Гц) кут управління α лежав в межах $0—\pi/2$ і залишався величиною постійною (кут α відлічується від точки перетину синусоїд частоти f_1 у бік запізнювання), а для анодної групи тиристорів відповідно кут управління ρ (кут ρ відлічується від точки перетину синусоїд частоти f_1 у бік випередження), то характер напруги на навантаженні матиме вигляд, показаний на Рис. 8.27. Середнє значення випрямленої напруги за половину періоду частоти f_2 може бути визначено приблизно по формулі

$$U_B = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} U_{A1m} \sin \omega t d\omega t$$

де U_{A1m} - амплітуда фазової напруги

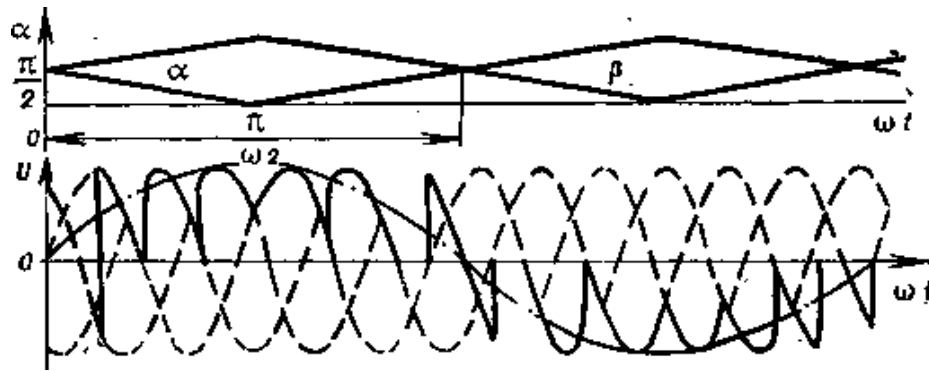


Рисунок 22 - Зміна напруги на навантаженні при лінійному законі управління

Хвиля середньої випрямленої напруги при $\alpha = \text{const}$ має прямокутний характер. Частота струму f_2 буде постійної при постійній частоті зміни відкриваючих імпульсів, що подаються на групи тиристорів. Дроселі $Dp1$ і $Dp2$, що розділяють катодну і анодну групи тиристорів, встановлюються для обмеження зрівняльних струмів, що виникають між фазами джерела струму у зв'язку з неоднаковими миттєвими значеннями напруги фаз при перемиканні тиристорів. Оскільки частота отриманого струму у декілька разів менше частоти струму джерела, то, як видно з Рис. 8.27, кожна півхвиля перетвореної напруги постійної частоти формується з декількох синусоїд первинного струму змінної частоти.

Якщо форму кривої отримуваної напруги постійної частоти вимагається наблизити до синусоїдальної, необхідно кут $\alpha(\beta)$ впродовж напівперіоду, що відповідає щоб середнє значення випрямленої за напівперіод напруги спочатку зростало, а потім зменшувалося.

Схеми СПЧ з безпосереднім зв'язком можуть мати однофазний і трифазний виходи, а також однофазний і трифазний входи. Перетворювачам частоти без ланки постійного струму властиві і деякі недоліки. Зокрема, вони споживають з мережі значну реактивну потужність і мають обмежену верхню межу частоти.

Особливості технічної експлуатації авіаційних перетворювачів

Технічна експлуатація електромашинних перетворювачів аналогічна експлуатації авіаційних генераторів і електродвигунів.

Перед установкою перетворювача на об'єкт необхідно перевірити, чи не має він механічних ушкоджень. Потім має бути проведена розконсервація електромашинного агрегату. Після розконсервації необхідно знову оглянути перетворювач і перевірити його за допомогою наземної установки автоматичного контролю систем об'єкту. Для цього перетворювач треба включити в роботу на неодруженому ході. Щоб уникнути виходу з ладу пускової і регулюючої апаратури перетворювачі треба підключати до джерела

достатньої потужності, забезпеченого автоматичним регулятором напруги. Тривале перенапруження може привести до різкого збільшення частоти обертання, що викличе спрацьовування відцентрового перемикача у перетворювача серії ПО.

Справність роботи включеного перетворювача контролюється з що приводять вихідну напругу трифазних і однофазних перетворювачів до одного рівня. Сигнал на виході нормалізаторів в кожному каналі повинен бути $5,5 \text{ В} \pm 0,5\%$.

Запуск перетворювача при зниженій напрузі або недостатній потужності джерела живлення, неправильна полярність ланцюга живлення можуть вивести перетворювач з ладу.

Електромашинні перетворювачі не розраховані на паралельну роботу з іншими джерелами змінного струму. Якщо відсутнє спеціальне блокування, необхідно переконатися в тому, що не сталося включення перетворювачів одночасно з іншими джерелами, інакше можлива аварія усіх джерел змінного струму.

При виконанні попередньої і передполітної підготовки треба перевіряти роботу основного і резервного перетворювачів за допомогою автоматичної системи контролю. За відсутності такої системи напругу генераторів перетворювачів і споживані ними струми контролюють по бортових приладах. При необхідності слід під регулювати напругу генераторів перетворювачів за допомогою виносних потенціометрів підстроювання напруги, при цьому повзунок не повинен знаходитися в крайньому положенні.

Під час роботи перетворювачів категорично забороняється знімати вугільні регулятори напруги, захисні ковпаки з електромашинного агрегату, фільтропускових коробку і коробку регуляторів. Зняття пломб і кришок з коробок регуляторів для огляду при експлуатації в період гарантійного напруцювання і терміну гарантії забороняється.

Через кожні 100 ч роботи перетворювачів, а при інтенсивних польотах на великих висотах через кожні 50 ч необхідно перевіряти стан колектора і щіткового вузла електродвигуна. При регламентних роботах перевіряються постійність напруги і межі його регулювання виносним потенціометром.

Використати бортовий перетворювач для тривалої перевірки, відладки або налаштування яких-небудь споживачів змінного струму, що живляться від нього, забороняється. Необхідно застосовувати наземне джерело змінного струму.

Постійність частоти при виконанні регламентних робіт необхідно перевіряти в такій послідовності: паралельно бортовому вольтметру змінного струму підключити частотомір з межами вимірів не менше 380-430 Гц; по

бортовому вольтметру переконатися, що напруга аеродромного джерела живлення постійного струму знаходиться в межах 24,0-28,5 В; включити перетворювач і заміряти частоту на неодруженому ході, після чого включити приймачі електроенергії змінного струму і заміряти частоту під навантаженням. Частота має бути $400 \text{ Гц} \pm 1\%$. Якщо перевірка проводиться не на літальному апараті, потрібна, щоб навантаження як за величиною, так і за характером строго відповідала нормам. Недотримання цієї умови може привести до помилкових висновків.

Працездатність коробок перемикання перевіряється через кожні 100 ч нальоту при виконанні чергових регламентних робіт за допомогою автоматів перевірки АП-КПР або АП-АПП. При перевірках використовуються циклограми автоконтролю, видачі сигналів, що управляють, що відбивають послідовність, коробкою при імітованих аварійних режимах в перетворювачах.

Не допускається включення перетворювачів серії СПО при ненадійному електричному контакті блоку перетворювача з корпусом літального апарату або при неправильній полярності джерела живлення. Останній обов'язково повинен мати захист від перенапруження.

Перевірка роботи перетворювачів СПО- 4 проводиться при виконанні 50, 100 і 200-годинних регламентних робіт, а також після кожного випадку перевантаження в живлячій мережі, коли спрацював автомат захисту від перенапруження.

Регламентні роботи на перетворювачі СПО- 9 передбачені через 200 ч роботи. При цьому проводяться зовнішній огляд і перевірка працездатності перетворювача при реальному навантаженні або знімними перевірочними блоками контролю перетворювачів. Перевіряється працездатність при нормальному і аварійному значенні напруги живлення. Напруга контролюється за допомогою вольтметрів зперерахунком Свідчень на прямокутільну форму кривої, для чого показання приладу множаться на 0,9.

Випрямні установки типу ВУ в процесі експлуатації не допускають значних перевантажень. При виконанні регламентних робіт проводяться зовнішній огляд і перевірка напруги постійного струму на виході пристрою по бортових приладах під навантаженням.

Категорично забороняється перевіряти опір ізоляції ланцюгу ВУ з боку постійного струму і її електричну міцність відносно основи ВУ. У разі перевірки опору ізоляції мережі літального апарату випрямний пристрій має бути відключений від цієї мережі, щоб виключити пробій напівпровідникових приладів установки.