

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

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни

**«Електропостачання повітряних суден
та безпілотних літальних апаратів»**

вибіркових компонент

освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Електромеханіка)***

**за темою № 4 – Система електропостачання
змінного трифазного струму**

Кременчук 2023

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.

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист
Волканін Є.Є.

Рецензенти:

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.
2. Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, к.т.н., професор Гаврилюк Ю.М.

План лекції:

1. Система електропостачання змінного трифазного струму напругою 200/115 В, частотою 400 Гц.
2. Енерговузол системи електропостачання змінного трифазного струму напругою 200/115 В частотою 400 Гц.
3. Генератори змінного трифазного струму.
4. Привід трифазних генераторів.
5. Регулювання частоти трифазного генератора.
6. Регулювання напруги трифазного генератора.
7. Захист системи електропостачання змінного трифазного струму.
8. Характеристика СЕ трифазного струму.
9. Електромашинні перетворювачі.
10. Статичні перетворювачі.

Рекомендована література:**Основна література:**

1. Харченко В.П. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов. – К. : НАУ, 2013. – 272 с.
2. CAE Oxford Aviation Academy (UK) Aircraft General Knowledge 2 - Electrics and Electronics - 2014
3. CAE Oxford Aviation Academy (UK) Radio navigation ATPL GROUND TRAINING SERIES - 2014
4. Introduction to Avionics Systems R.P.G. Collinson BScEng(Hons)., CEng., FIET., FRAeS Formerly Manager of the Flight Automation Research Laboratory of GEC Avionics, Rochester, Kent, UK (now part of BAE Systems) Third Edition -2011. – 547 p.
5. UAV Based Remote Sensing Volume 2. Special Issue Editors: Felipe Gonzalez Toro, Antonios Tsourdos. First Edition 2018. – 406 p.

Допоміжна література:

1. Kenzo Nonami, Farid Kendoul, Satoshi Suzuki, Wei Wang, Daisuke Nakazawa. Autonomous Flying Robots. Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles. Springer 2010. – 348 p.
2. Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles. 2017. – 317 p.
3. Unmanned aircraft systems UAVs. Design, development and deployment. Reg Austin aeronautical consultant. 2010. – 365 p.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Avionics>
2. <https://www.geaerospace.com/systems/avionics>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=e9wZstVoP9s>

Текст лекції

1. Система електропостачання змінного трифазного струму напругою 200/115 В, частотою 400 Гц.

Системою електропостачання змінного трифазного струму обладнані сучасні та нові, які готуються до експлуатації літаки.

Система електропостачання АН-74.

Літак АН-74 обладнаний наступними системами електрозабезпечення:

- змінного трифазного струму напругою 200/115 В стабілізованою частотою 400 Гц (200 В - лінійне, 115 В - фазна напруги);
- змінного трифазного струму напругою 36 В стабілізованою частотою 400 Гц;
- постійного струму напругою 27 В.

Поєднана структурна схема системи електропостачання приведена на рис. 1.

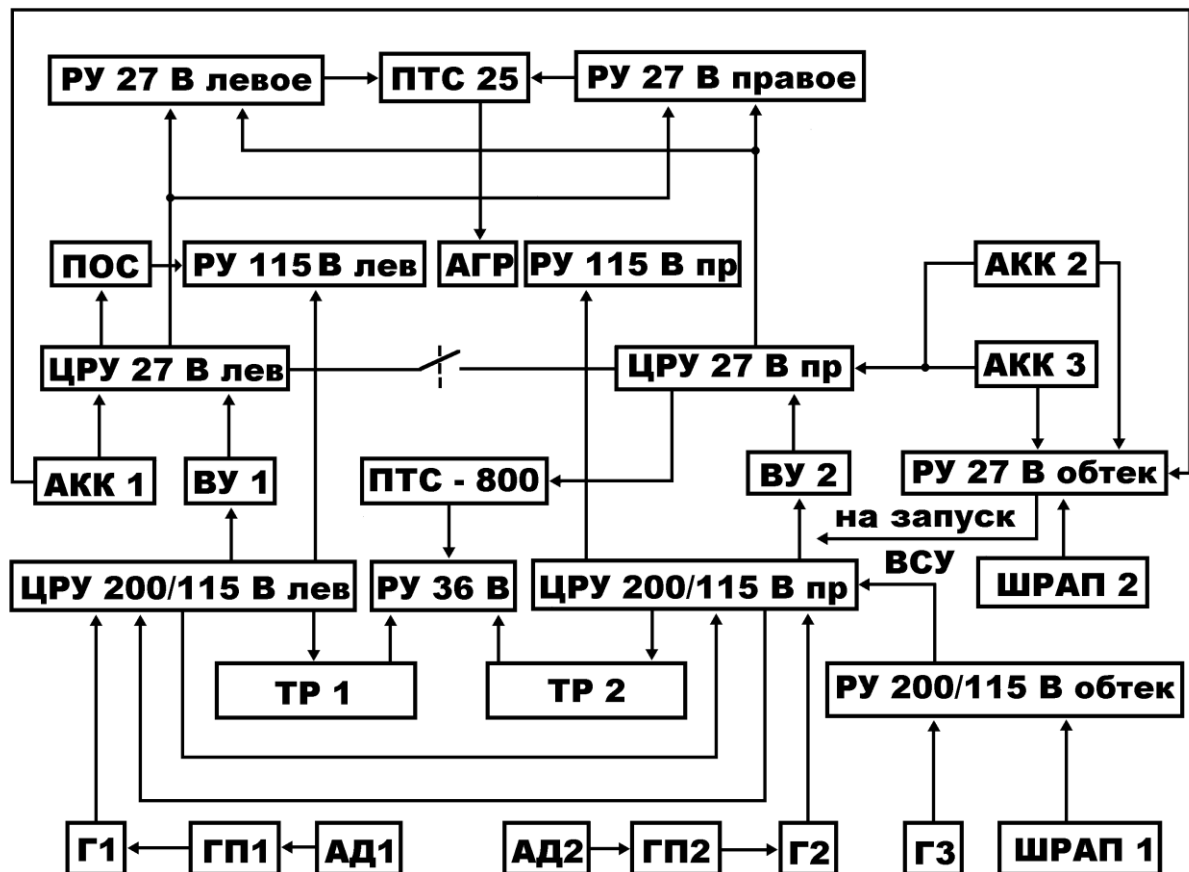


Рисунок 1 - Структурна схема системи електропостачання ВС АН-74

Система електропостачання 200/115 В є первинною. Мережа первинної системи електропостачання виконана по трьохпровідній системі з силової нейтраллю ("нулем") на корпусі літака (Рис. 2). Напруга між фазами називається лінійним і одно 200В. Напруга між будь-фазою і корпусом літака (нейтраллю) називається фазною і одно 115В.

Трифазні споживачі підключаються до трьох фаз одночасно.

Основними джерелами електроенергії системи 200/115 В є два генератора Г1 і Г2 потужністю по 30 кВт • А кожен, встановлені по одному на двигунах АД1 і АД2. (Рис. 1).

Генератор є бесщеточной електричної машиною. Частота вращения вала генератора підтримується постійної за допомогою гідроми-ханических приводу. Конструктивно генератор і привід об'єднані в один агрегат - інтегральний привід-генератор ГП1 і ГП2.

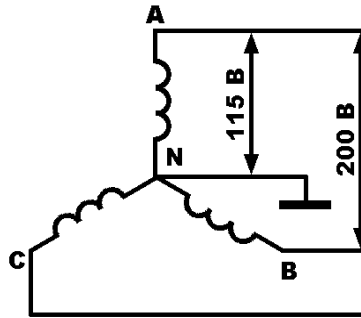


Рисунок 2 - Схема з'єднання джерел первинної системи

Основні генератори при нормальній роботі утворюють два незалежні канали електропостачання - лівого і правого бортів - з автоматичним резервуванням бортів при відмові одного з генераторів. Конструктивно кожен канал складається з ЦРУ 200/115 В лівого (правого) (ЦРУ - центральне розподільний пристрій) і РУ 115 В лівого (правого) (РУ - розподільний пристрій). Ліве і праве ЦРУ 200/115 В знаходяться в пасажирському салоні в місці, розташованому на найближчому відстані від генераторів, а РУ 115В ліве і праве в кабіні екіпажу. Резервним джерелом електроенергії системи 200/115 В може служити генератор Г3 потужністю 40 кВт • А, що приводиться в обертання від ВСУ.

Резервний генератор може бути підключений через РУ 115 В обтічника на один з двох бортів при відмові основного генератора цього борта або на обидва борти - при відмові двох генераторів, забезпечуючи без обмежень електроживлення споживачів.

Аварійним джерелом електроенергії 115 В є статичний перетворювач ПОС потужністю 1000 В • А. перетворює електроенергію постійного струму напругою 27 В у змінний однофазний струм напругою 115 В стабілізованою частотою 400 Гц. Перетворювач запускається автоматично при відмові двох основних генераторів або вручну дистанційно незалежно від роботи основних генераторів. В обох випадках перетворювач підключається тільки на аварійну мережу 115 В, якої на цьому ВС є РУ 115 В ліве.

На землі до системи змінного трифазного струму може бути підключен наземний джерело 200/115 В через роз'єм ШРАП1 (ШРАП - штепсельна розетка аеродромного живлення). Аеродромний джерело може бути

підключений тільки на канали непрацюючих основних генераторів при невиключенні генераторі ВСУ.

Система електропостачання 36 В - вторинна система електропостачання.

Основними джерелами електроенергії системи змінного трифазного струму напругою 36 В частотою 400 Гц. є два понижуючих трифазних трансформатора ТР1 і ТР2 потужністю по 2 кВ • А.

При нормальному стані системи на бортсети працюють обидва трансформатора, кожен на свої шини навантаження, утворюючи два незалежні канали електропостачання. При відмові одного з трансформаторів його шини навантаження автоматично перемикаються на працюючий трансформатор.

Аварійним джерелом системи служить статичний електронний пре-освітню ПТС потужністю 0,8 кВ • А, що перетворює електроенергію постійного струму напругою 27 В у змінний трифазний струм напругою 36 В частотою 400 Гц.

Перетворювач запускається тільки автоматично при відмові обох трансформаторів і забезпечує електроживлення аварійних трифазних споживачів 36 В.

Система електропостачання 27 В також є вторинною.

Основними джерелами електроенергії 27 В є два випрямних пристрої ВУ1 і ВУ2 потужністю по 6 кВт, які перетворюють в постійний струм електроенергію джерел 200/115 В.

Аварійними джерелами системи є три акумуляторні батареї АКК1, АКК2 і АКК3 ємністю по 25 ампер-годин, які на землі забезпечують запуск ВСУ і перевірку обмеженого числа споживачів постійного струму і перетворювачів 36 і 115 В. При відмові основних джерел АКК1, АКК2 і АКК3 використовуються для живлення ава-рійних шин.

Випрямні пристрої та акумуляторні батареї при нормальній роботі системи утворюють два незалежні канали (борта) електроживлення. На канал лівого борту працюють випрямний пристрій ВУ1 і акумуляторна батарея АКК1, на канал правого борта - випрямний пристрій ВУ2 і акумуляторні батареї АБ2 і АБ3. При цьому електроживлення забезпечує випрямний пристрій, а акумуляторна батарея заряджається від нього. Випрямлячі та акумулятори підключаються до ЦРУ 27 В лівому (правому), розташованим в пасажирському салоні і до і РУ 27 В лівому (правому) в кабіні екіпажу. При відмові будь-якого випрямного пристрою відбувається автоматичне об'єднання каналів із забезпеченням живлення всіх споживачів від працюючого випрямного пристрою іншого каналу.

При відмові обох випрямних пристроїв відбувається автоматичне перемикання аварійної мережі 27 В на живлення від акумуляторних батарей.

Аеродромне джерело напругою 27 В підключається через роз'єм ШРАП2 на РУ 27 В обтічника. Він може бути використаний для живлення агрегатів запуску ВСУ (при запуску ВСУ).

2. Енерговузол системи електропостачання змінного трифазного струму напругою 200/115 В частотою 400 Гц.

Розглянемо роботу первинної системи електропостачання ВС змінного струму. На рис. 4 представлена типова блок-схема одного з каналів енерговузла системи електропостачання змінного трифазного струму 200/115 В.

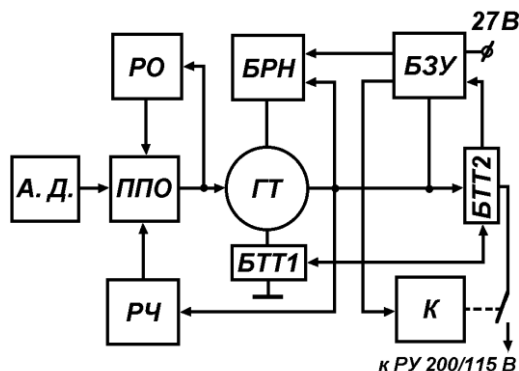


Рисунок 4 Типова блок-схема каналу енерговузла системи електропостачання 200/115 В.

Механічна енергія від вала турбіни надходить на привід постійних оборотів (ППО), який забезпечує сталість частоти обертання ротора генератора. ППО регулюється по двох каналах: регулятором оборотів (РО) і регулятором частоти (РЧ).

У СЕ застосований безконтактний генератор типу ГТ, напруга якого регулюється блоком регулювання напруги (БРН). Блок захисту та управління (БЗУ) призначений для включення і відключення генератора під контролем екіпажу і для відключення генератора при підвищенні і зниженні напруги і частоти генератора, а також при короткому замиканні на генераторі і його фідерів. БЗУ управляє контактором До підключення генератора на бортсети.

На деяких нових ВС замість блоків БЗУ і БРН спільно з генератором працює один блок регулювання захисту і управління БРЗУ, який виконує аналогічні функції.

Блоки трансформаторів струму БТТ 1 і БТТ 2 забезпечує диференціювання альную захист генератора і його фідера (проводки від генератора до ЦРУ) від коротких замикань. Блок БТТ 1 встановлюється на початку зони захисту на генераторі, а БТТ 2 в її кінці, в місці підключення генератора до бортсети.

3. Генератори змінного трифазного струму.

У СЕ літаках ГА застосовуються безконтактні генератори типу ГТ. У цих генераторах відсутні ковзні контакти і щітки, а зв'язок між ротором і статором здійснюється магнітним полем. Схема генера-тора типу ГТ представлена на рис. 5.

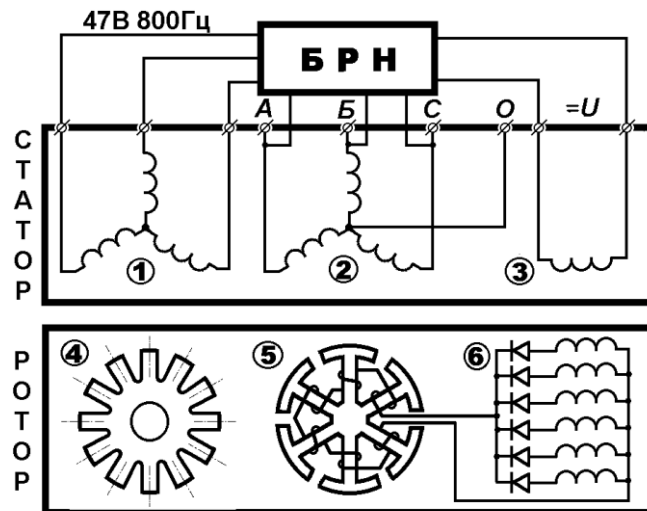


Рисунок 5 - Схема генератора типу ГТ

Він фактично складається з трьох генераторів. Основний генератор утворений робочою обмоткою (2) і електромагнітним індуктором (5) з шістьма або вісьмома полюсами. Живлення електромагнітного індуктора здійснюється через кремнієві діоди від генератора збудження, робоча обмотка (6) якого знаходиться на роторі, а обмотка збудження (3) на статорі. Харчування обмотки збудження (3) здійснюється через БРН від генератора подвозбудження, робоча обмотка (1) якого знаходиться на статорі. На роторі знаходиться магнітний індуктор, виконаний на постійних магнітах. Генератор подвозбудження виробляє напругу 47 В частотою 800 Гц. Регулюється вихідна напруга блоком БРН шляхом зміни струму в обмотці (3). Зовнішня характеристика генератора представлена на рис. 6.

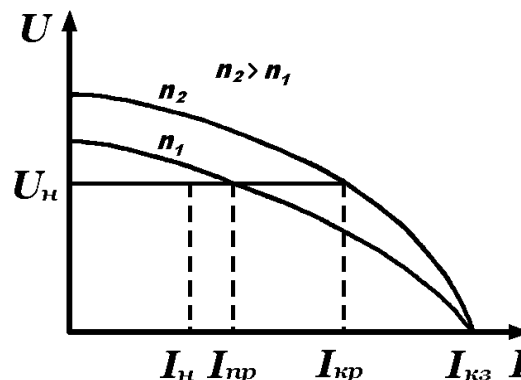


Рисунок 6 - Зовнішня характеристика генератора типу ГТ

При включенні БРН характеристика йде по прямій, паралельної осі струму. Струм короткого замикання в 3 ÷ 4 рази більше номінального, тому від нього передбачений захист. Маркується генератор трифазний, як і однофазний, тільки в позначенні буква Т трифазний. Наприклад, ГТ-40ПЧ6.

4. Привід трифазних генераторів.

Для отримання постійної частоти генератора застосовується ППЧВ. На літаках ГА застосовується диференційний реверсивний привід, закон роботи якого наступний

$$n_{\text{г}} = n_{\text{а.д.}} \pm \Delta n_{\text{прив.}} = \text{const}$$

де $n_{\text{г}}$ - обороти генератора,

$n_{\text{а.д.}}$ - обороти АТ,

$\Delta n_{\text{прив.}}$ - прибавка оборотів від приводу.

Структурна схема приводу представлена на рис. 7.

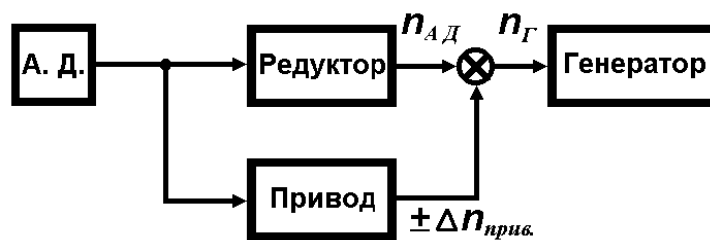


Рисунок 7 - Структурна схема приводу постійної частоти обертання.

Обороти від АТ до генератора надходять через редуктор і через привід, а потім складаються на суммирующем пристрої. В якості приводу використовуються пневмотурбінні і гідравлічні пристрої.

Розглянемо пневмотурбінний привід генератора, представлений на рис 8.

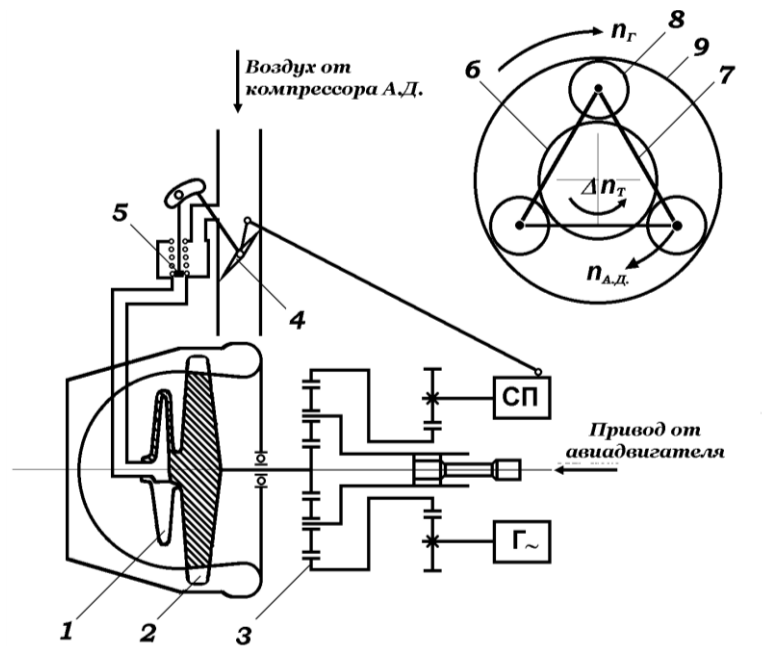


Рисунок 8 - Пневмотурбінний привід постійної частоти обертання.

Пневмотурбінний привід працює на стисненому повітрі, що надходить з компресора АТ. Привід складається з турбіни - 2, сегнерова колеса

(ревессівної турбіни) - 1, клапанного механізму - 5, повітряної заслінки 4, сервопоршня - СП, підсумовує (планетарного) редуктора - 3. У верхньому правому куті рис. 6.5 показаний вид редуктора з торця. Шестерня 6 приводиться в обертання від турбіни, рамка 7 з сателітів 8 приводиться в обертання від АТ, а на внутрішній шестірні 9, з якою пов'язаний генератор, складаються оберти АТ і турбіни. В діапазоні частот обертання АД від мінімальних до середніх (крейсерських) турбіна працює від стисненого повітря, витрата якого регулюється регулятором частоти за допомогою повітряної заслінки.

В цьому випадку

$$n_z = n_{a.d.} + \Delta n_{прив}$$

де $\Delta n_{прив}$ - надбавка оборотів від турбіни. На середніх оборотах АТ, $\Delta n_{прив} = 0$ тобто теоретично турбіна повинна стояти на місці, а $n_z = n_{a.d.}$. Це найекономічніший режим роботи приводу. При оборотах АТ від середовищних до максимальних $n_z = n_{a.d.} - \Delta n_{прив}$ тобто турбіна буде обертатися в об-ратну сторону за рахунок надлишкової потужності, що надходить від АТ. Повітряна заслінка при цьому буде закрыта. Турбіна працює в цьому випадку в режимі гальма. На найбільших оборотах АТ гальмівний момент турбіни стає неефективним т. К. Мало віднімається оборотів від оборотів АТ. Регулятор частоти в цьому випадку впливає на клапан, який відкривається і подає повітря на сегнерова колесо. Сегнерова колесо розкручує турбіну, збільшуючи її обороти. К.к.д. приводу становить 60-70%, питома маса становить 1,7 кг / кВА.

На новіших літаках як ППЧВ використовується гідравлічний привід (рис. 9). Причому, привід об'єднаний з генератором в один блок із загальною олійною порожниною і спільною системою мастила і охолодження. У генераторі масло є охолоджуючим елементом, в приводі - робочим. Такі системи називаються інтегральними.

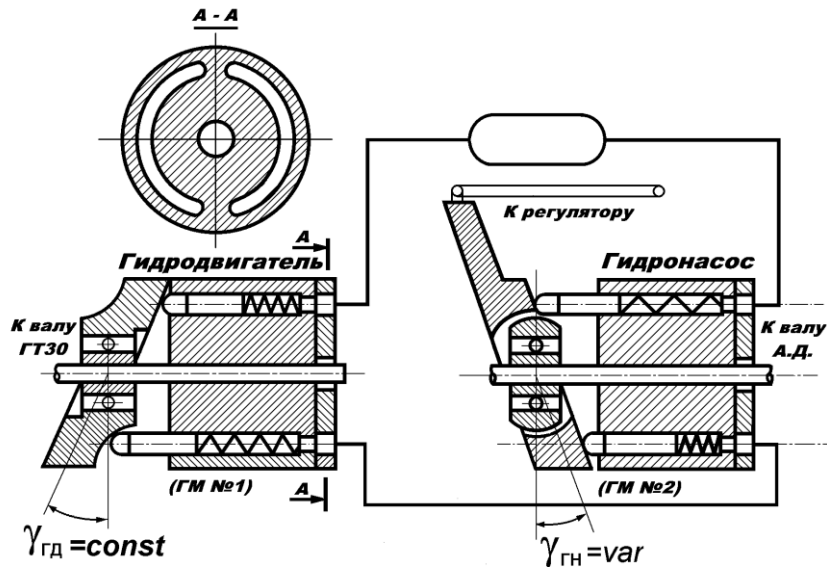


Рисунок 9 - Схема роботи гідравлічного приводу постійних оборотів

Привід являє собою гідравлічну пару, що складається з гідронасоса (ГМ №2) і гідродвигуна (ГМ №1). Гідронасос приєднаний до валу авіадвигуна, гідродвигун до ротора генератора. Залежно від величини швидкості обертання валу генератора, вимірюваного відцентровим тахометром (на малюнку не показаний), змінюється кут нахилу шайби гідромашини №2. Зміна навантаження на генераторі або зміна обертів авіадвигуна викликає зміну моменту на вихідному валу приводу, що призводить до зміни продуктивності гідромашини №2, режиму роботи приводу і відновленню необхідного значення швидкості обертання вихідного вала. Привід може працювати або в режимі прискорює передачі, або в режимі понижувальної передачі або в режимі прямої передачі, забезпечуючи постійну швидкість обертання вихідного вала приводу.

К.к.д. гідравлічних приводів досягають 85-90%, а питома маса 0,8 кг / кВА.

5. Регулювання частоти трифазного генератора.

Регулювання частоти генератора здійснюється по двох каналах. Перший канал називається регулятором оборотів. Це грубий канал, як вимірювального органу в ньому використовується тахометр. Другий канал називається регулятором частоти. Це точний канал, як вимірювального органу в ньому використовується резонансний контур. Перший канал забезпечує регулювання частоти з похибкою $\pm 1 \div 5\%$, а другий, який працює спільно з першим, зменшує похибка до $\pm 0,25\%$. Якщо генератори працюють окремо, то другий канал не встановлюється.

Регулятор оборотів.

Кінематична схема регулятора обертів представлена на рис. 10.

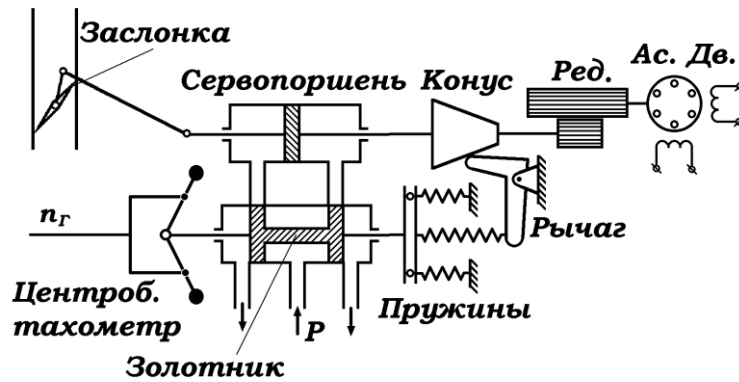


Рисунок 10 - Кінематична схема регулятора обертів

Заслінка приводу управляється сервопоршнем, який має два штока, один пов'язаний із заслінкою, інший з конусом. Лівий і правий обсяг сервопоршня пов'язаний трубками з золотниковим пристроєм. У золотниковому пристрої в циліндрі знаходиться золотник. Золотник має два штока. Лівий шарнірно пов'язаний з відцентровим тахометром, а правий через зав'язаний підшипник упирається в пружини. У центральну частину циліндра золотникового пристрою надходить під тиском рідина, а з бічних трубок вона відводиться. Регулятор налаштований так, що при номінальних оборотах генератора сила відцентрового тахометра, яка спрямована вправо, врівноважується силою стислих пружин. Золотник при цьому не-рекриває отвори в циліндрі сервопоршня, і він не рухається. Припустимо, відбулося збільшення оборотів генератора. Тоді відцентровий тахометр стисне пружини, і золотник зміститься вправо. Область високого тиску рідини з'єднається з правим об'ємом сервопоршня, а область низького тиску з лівим обсягом. Сервопоршень зміститься вліво і прикриє заслінку. Витрата повітря зменшиться, і надбавка Δn_g зменшиться, тому обороти генератора зменшаться, а це призведе до зменшення сили відцентрового тахометра. Пружини зрушать золотник вліво, і він перекриє отвори на номінальних оборотах і зупиниться. Конус, важіль і центральна пружина призначені для створення негативного зворотного зв'язку, яка служить для поліпшення процесу регулювання на перехідних режимах. Сила стиснення бічних пружин є опорною величиною, щодо якої налаштовуються номінальні обороти. Асинхронний двигун (Ас. Дв.), Редуктор (Ред.), Конус і центральна пружина є кінцевим каскадом регулятора частоти.

Регулятор частоти. Блок-схема регулятора частоти представлена на рис. 11.

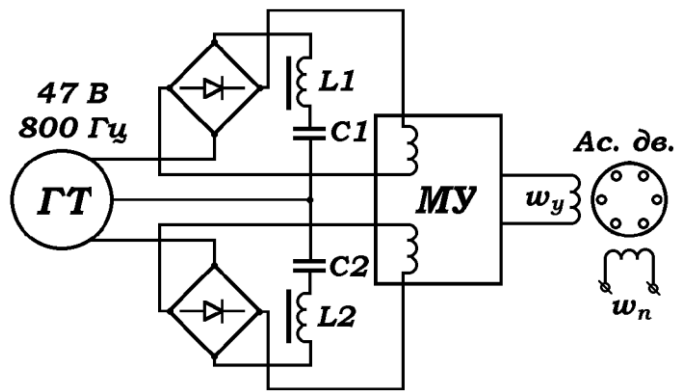


Рисунок 11 - Блок-схема регулятора частоти

Напруга на регулятор частоти знімається з підбудника генератора. Два резонансних контуру, утворених дроселями $L1$, $L2$ і конденсаторами $C1$, $C2$ включені послідовно з обмотками управління магнітного підсилювача (МУ). Токи резонансних контурів показані на рис. 12.

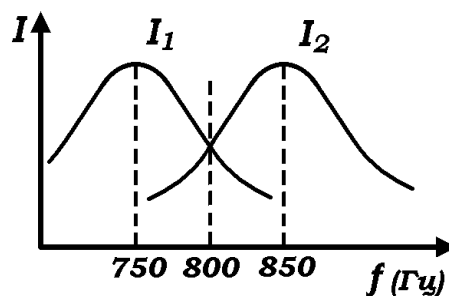


Рисунок 12 - Струми резонансних контурів

На частоті 800 Гц вони рівні. Магнітний підсилювач налаштований так, що при частоті 800 Гц (що відповідає частоті генератора 400 Гц) напруга на обмотці управління асинхронного двигуна (W_y) дорівнює 0. Двофазний асинхронний двигун в цьому випадку буде стояти на місці. На обмотку живлення асинхронного двигуна (W_n) подається змінна напруга постійної величини. При догляді частоти від 800 Гц на W_y з'явиться напруга і чим більше буде догляд, тим ця напруга буде більше, і асинхронний двигун буде обертатися швидше. При переході частоти через 800 Гц в зворотну сторону напруга на W_y змінює фазу на 180° і асинхронний двигун буде обертатися в іншу сторону. Асинхронний двигун через редуктор, конус, важіль і центральну пружину буде впливати на золотник. Таким чином, на золотнику складаються впливу двох регуляторів.

6. Регулювання напруги трифазного генератора.

Регулювання напруги генератора типу ГТ здійснюється за допомогою блоку БРН. Блок-схема БРН представлена на рис. 13

- від коротких замикань,
- від обриву фаз і несиметрії фазних напруг.
- від зворотного чергування фаз

Захист від підвищення і пониження напруги і частоти

Захист від підвищення і пониження напруги і частоти виконує блок захисту і управління БЗУ. В основі схеми захисту використовуються вимірювальні схеми на напівпровідниках і реле. Одна з типових схем вимірювача представлена на рис. 14.

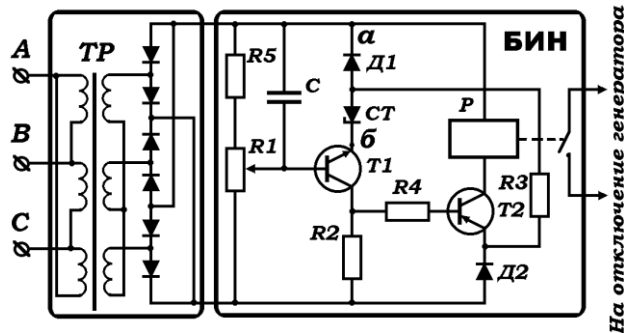


Рисунок 14 - Схема вимірювача напруги в БЗУ

Це схема двокаскадного підсилювача. У БЗУ використовуються два блоку вимірювача напруги БІН для захисту від підвищення і пониження напруги. Застосування транзисторів різної провідності дозволяє отримувати одночасно відкрите або закриті стан транзисторів. У ланцюг транзистора Т2 включено виконавче реле Р. При спрацьовуванні схеми на підвищення напруги вона налаштована так, що при нормальному напрузі обидва транзистора закриті. Якщо напруга генератора підвищується до величини спрацювання захисту, то обидва транзистора відкриваються і спрацьовує реле Р, яке своїми контактами подає сигнал на відключення генератора. Напруга спрацьовування захисту задається пробоем стабілітрона СТ. Цей захист спрацьовує з невеликою затримкою за часом ($\sim 0,4 \div 0,7$ сек). Така ж схема може бути налаштована так, що при нормальному напрузі транзистори Т1 і Т2 відкриті, стабілітрон також у відкритому стані і реле Р включено. При зниженні напруги нижче допустимого стабілітрон і транзистори закриваються, а реле Р відключає ланцюг підключення генератора. З урахуванням селективності захист по зниженню напруги спрацьовує із затримкою за часом ($\sim 4 \div 6$ сек).

Для захисту від підвищення і пониження частоти використовується аналогічна схема, налаштована на відкрите стан транзисторів і стабілітрона. Перед вимірником БІН включається резонансний L, C контур, налаштований в резонанс на номінальну частоту, тому напруга на вході схеми більше в області резонансу. Схема захисту від пониження і підвищення частоти показана на рис 15.

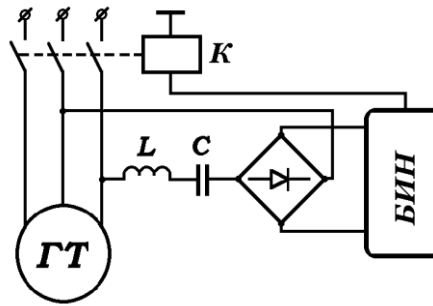


Рисунок 15 - Схема захисту від пониження і підвищення частоти

При догляді частоти в більшу або меншу сторону напруга на вході схеми зменшується, що призводить до закриття транзисторів Т1 і Т2, при цьому реле вимикається, а через його контакти йде сигнал на відключення генератора. У БЗУ частота відключаються з затримкою за часом (~ 6 сек).

В даний час розроблені і інші схеми захисту, в тому числі з використанням інтегральних схем.

Захист генератора і його фідера від коротких замикань

Струми короткого замикання генератора типу ГТ перевищують номінальний в 3 - 4 рази, тому при КЗ генератор повинен відключатися з мінімальною затримкою. Для захисту використовується диференціальна поздовжня струмовий захист. Вона заснована на вимірі струмів на початку і кінці ділянки, що захищається мережі.

Схема захисту представлена на рис. 16.

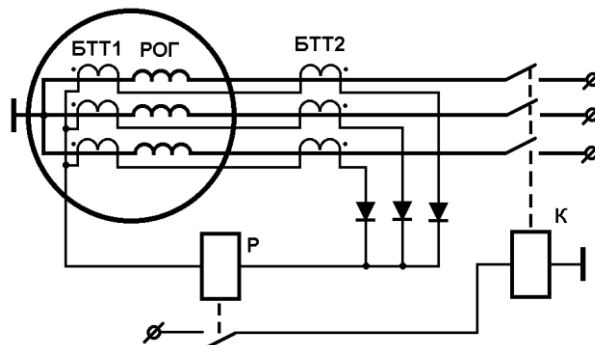


Рисунок 16 - Схема диференціального струмового захисту

На схемі зображено робочі обмотки генератора (РІГ) і блоки трансформаторів струму (БТТ1, БТТ2). Блок БТТ1 знаходиться на генераторі, а БТТ2 в кінці зони захисту, в місці підключення генератора до бортсети. Кожен з блоків БТТ1 і БТТ2 складається з трьох трансформаторів струму, первинні обмотки яких включені послідовно з силовими проводами кожної фази генератора. Таким чином, струм навантаження кожної фази генератора проходить через первинні обмотки двох трансформаторів. Трансформатори струму виробляють напруга на вторинній обмотці пропорційне току в первинній обмотці. Вторинні обмотки відповідних трансформаторів включені зустрічно і через діоди підключені на реле Р. Якщо немає КЗ, то

струми в відповідних первинних обмотках рівні і протікають в одному напрямку, тому сумарна напруга з вторинних обмоток, включених зустрічно, дорівнює нулю. При КЗ в зоні між первинними обмотками, в них будуть протікати різні по напрямку струми, тому що струм, що протікає від генератора через трансформатор БТТ1 до місця КЗ буде спрямований назустріч току, проте-розкаювана від бортсети через трансформатор БТТ2 до місця КЗ.

Тому сума напруг вторинних обмоток прикладається через діоди на реле Р. Реле Р, через БЗУ видасть сигнал на контактор К для відключення генератора від бортсети і для відключення її порушення.

Захист системи електропостачання від несиметрії фазних напруг.

Несиметрія фазних напруг може виникнути в результаті несиметричного навантаження або при обриві фази генератора, якщо станеться від'єднання нульового проводу від корпусу ВС. Одна з найбільш простих схем захисту представлена на рис.17

В якості вимірювального органу використовується фільтр зворотній послідовності. Він виділяє напруга, пропорційне зворотній послідовності U , яке виникає в системі трифазного струму при несиметрії фаз. Для фільтра зворотній послідовності необхідно виконати співвідношення $R_c = \sqrt{3} \cdot X_c$ і $X_a = \sqrt{3} \cdot R_a$. З появою несиметрії фаз з'являється напруга U , яке надходить на управління магнітного підсилювача МУ. При певній несиметрії МУ відкриється і включить сигнал на відключення генератора. Для пояснення роботи фільтра зворотній послідовності представлений трикутник напруги з симетричним навантаженням, з відкладеними на ньому падіннями напруги на елементах фільтра. На векторній діаграмі точки О і О' збігаються, тому між ними немає різниці потенціалів. Якщо трикутник напруг спотвориться, то точки О і О' розійдуться і між ними з'явиться різниця напруги.

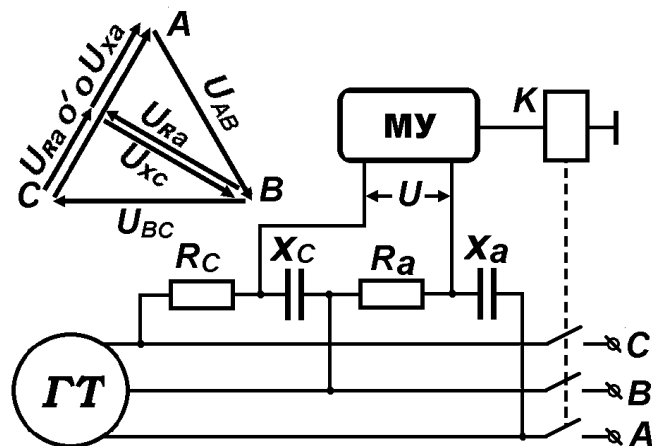


Рисунок 17- Схема захисту від несиметрії фазних напруг

Захист системи електропостачання змінного трифазного струму від зворотного чергування фаз

У ланцюзі підключення аеродромного джерела змінного трифазного струму зазвичай встановлюють БЧФ - блок чергування фаз. Схема БЧФ показана на рис.18

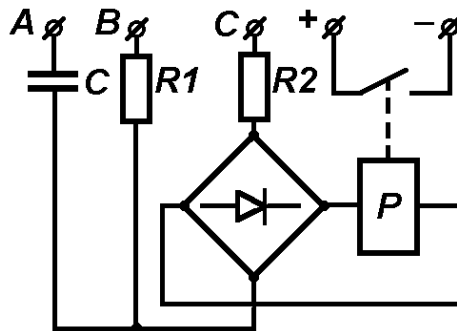


Рисунок 18 - Схема блоку чергування фаз БЧФ

Він призначений для захисту від включення генератора аеродромного джерела при неправильному чергуванні фаз. При включенні блоку в мережу виходить несиметрична зірка напругень за рахунок того, що в одну з фаз блоку - А включений конденсатор С, а в інші - резистори R1 і R2. Якщо чергування фаз підключається генератора і мережі збігаються, найбільше фазна напруга буде в фазі В, в яку через випрямляч включена обмотка реле Р. Реле спрацює і дає дозвіл на включення генератора аеродромного джерела. Якщо чергування фаз не збігаються, найбільше напруження виходить в фазі С. У фазі В утворюється напруга, величина якого недостатня для включення.

8. Характеристика СЕ трифазного струму.

Як джерело електроенергії використовуються безконтактні генератори типу ГТ з ППЧВ. Напруга по класифікації становить 200/115 В, частота мережі дорівнює 400 Гц. Напруга вторинних джерел за класифікацією 27 В постійного струму і 36 В змінного трифазного струму частотою 400 Гц. Напруга джерел постійного струму: резервного генератора і випрямного пристрою одно 28,5 В. Напруга свинцевих АБ дорівнює 24 В, нікель-кадмієвих - 25 В. Мережа змінного струму може бути виконана як однопровідною, так і трехпроводной (по числу проводів в одній фазі) . Корпус ВС є провідником нульового проводу.

СЕ змінного трифазного струму має переваги: меншу вагу літакової мережі, генераторів і електродвигунів в порівнянні з СЕ постійного струму; більший к.к.д. генератора; велика надійність СЕ; легкість трансформації змінної напруги в будь-який рівень напруги і постійний струм. Льотні технічні дані СЕ значно перевищують дані СЕ постійного струму. До недоліків СЕ відносяться: наявність ППЧВ, який має значну вагу і ускладнює СЕ; труднощі в забезпеченні паралельної роботи генераторів; асинхронні двигуни мають малий пусковий момент. Значна перевага СЕ змінного

трифазного струму перед СЕ постійного струму визначило застосування цієї СЕ на сучасних і проєктованих ВС.

9. Електромашинні перетворювачі.

Електромашинні перетворювачі служать джерелами вторинних і аварійних СЕ і виробляють однофазне напругу 115 В або трифазне 36 В, споживаючи постійний струм, напругою 27 В. Електромашинні перетворювачі мають форму циліндра, в якому міститься двигун постійного струму і генератор змінного тону загальному валу з загальними підшипниками і системою вентиляції. На циліндрі зверху закріплена коробка, в якій знаходиться система автоматичного регулювання (САР) напруги і частоти, силовий контактор по постійному струму. На коробці знаходяться клеми для підключення проводів по постійному струму і роз'єм для виведення змінного струму і ланцюгів включення перетворювача. Електромашинні перетворювачі при відносній дешевизні мають значні недоліки, це: низький ККД, менше 50%; великий шум при роботі, малий міжремонтний ресурс роботи.

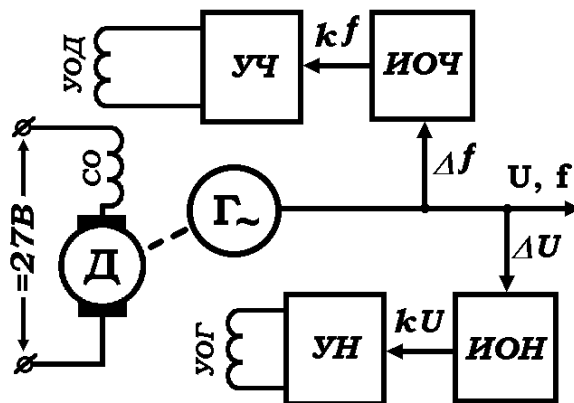


Рисунок 1 - Блок-схема електромашинного перетворювача.

На блок-схемі зображені окремо канали регулювання на-напруги і частоти. На схемі позначені елементи: Д - двигун (якір), Г - генератор (статор), СО - серієсний (послідовна) обмотка, УОД - керуюча обмотка двигуна, УТОГ - керуюча обмотка генератора, УЧ - підсилювач частоти; УН - підсилювач напруги, ІОЧ - вимірювальний орган частоти, ІОН - вимірювальний орган напруги. Канал регулятора частоти УОД-УЧ-УОЧ, канал регулятора напруги УТОГ-УН-ІОН. СО призначена для створення основного магнітного потоку в зазорі двигуна за рахунок енергії мережі = 27 В, тим самим розвантажується регулятор частоти по потужності (зменшує частку магнітного потоку від УОД) і збільшує пусковий момент двигуна. Розглянемо роботу каналу регулятора частоти.

Частота генератора визначається виразом

$$f = P \cdot n / 60,$$

де P - число пар полюсів,

n - обороти генератора в хвилину.

Обороти генератора залежать від оборотів двигуна, тому що знаходяться на одному валу. Обороти двигуна постійного струму описуються виразом

$$n = (U - I_a \cdot R_a) / c \cdot \Phi,$$

де U - напруга живлення,

I_a - струм якоря,

R - опір якоря,

c - коефіцієнт, що зв'язує всі величини і Φ - магнітний потік в зазорі.

У нашому випадку $\Phi = \Phi_{co} + \Phi_{uod}$. З виразу видно, що стабілізують оберти n при мінливих U і I_a можна змінюючи Φ . Отже схема розрахована таким чином, що б у всьому діапазоні змін U і I_a потік Φ регулювався за рахунок Φ_{uod} . Якщо частота впала, то Φ_{uod} зменшується і n зростає і навпаки, якщо частота зростає, то збільшиться Φ_{uod} ІОЧ - аналізує догляд частоти Δf від 400 Гц і виробляє сигнал, пропорційний догляду k_f . УЧ - виробляє постійний струм пропорційний k_f для живлення УОД. Таким чином живлення регулятора частоти здійснюється за рахунок енергії генератора.

Розглянемо роботу каналу регулятора напруги. Напруга генератора визначається виразом

$$U_g = c_1 \cdot n \Phi - I_p \cdot R_p$$

де c_1 - коефіцієнт, n - обороти генератора, Φ - магнітний потік в зазорі генератора, I_p - струм робочої обмотки, R_p - опір робочої обмотки.

З виразу видно, що при зміні I_p U_g можна регулювати оборотами n і магнітним потоком Φ . На нашій схемі застосовується стабілізація напруги магнітним потоком. ІОН вимірює відхилення U_g від 115 В і перетворює відхилення в сигнал kU пропорційний відхиленню. УН виробляє постійний струм пропорційний відхиленню напруги і живить УТОГ. Таким чином, живлення каналу напруги здійснюється також від генератора. Як правило, УТОГ знаходиться на роторі і обертається разом з якорем двигуна.

10. Статичні перетворювачі.

Статичні перетворювачі виконані на напівпровідниковій базі. У порівнянні з електромашинними статичні перетворювачі мають ряд переваг, такі як високий к.к.д., що досягає 70 ÷ 90%, меншу масу, високу надійність, велику стійкість до вібрацій, відсутність шуму в роботі, практична відсутність регламентних робіт. Питома маса їх становить 15 ÷ 20 кг / кВт. Але вони мають меншу максимально допустиму температуру (140 ÷ 200 °) і на порядок дорожче.

Перетворювачі являють собою коробку, стінки якої можуть бути ребристими, тобто служити радіаторами. На потужних перетворювачів встановлені вентилятори. На бічній стінці є клеми для підключення живлення по постійному струму і роз'єм для ланцюгів управління і вихідної напруги.

Статичні перетворювачі є двох типів: постійного струму в змінний і змінного струму в постійний.

Розглянемо перший тип перетворювачів. Вони мають різноманітні електричні схеми, але працюють за загальним принципом: спочатку постійна напруга перетворюється в змінне, потім його підвищують і випрямляють, потім знову перетворюють в змінне потрібної частоти і в кінці фільтрують. При цьому застосовуються схеми стабілізації напруги і частоти. Блок-схема однофазного статичного перетворювача представлена на рис. 3.

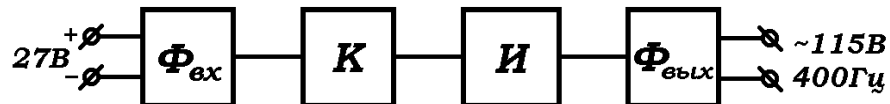


Рисунок 3 - Блок-схема статичного однофазного перетворювача.

Перший елемент $\Phi_{вх}$ - вхідний фільтр, який служить для уменшення пульсацій від роботи перетворювача в мережі живлення. Другий К - конвертор, який служить для перетворення напруги мережі в підвищену постійну напругу. Третій І інвертор, який служить для перетворення постійного струму в змінний ступеневої виду. Чет-верть $\Phi_{вих}$ - вихідний фільтр, який служить для виділення чистої синусоїди частотою 400 Гц з напруги ступінчастою форми. Трифазні статичні перетворювачі мають також різні принципові схеми, але найбільш поширені схеми, в яких знаходяться два канали аналогічні однофаз перетворювача і фазосдвигающие устрою ФСУ (рис.4).

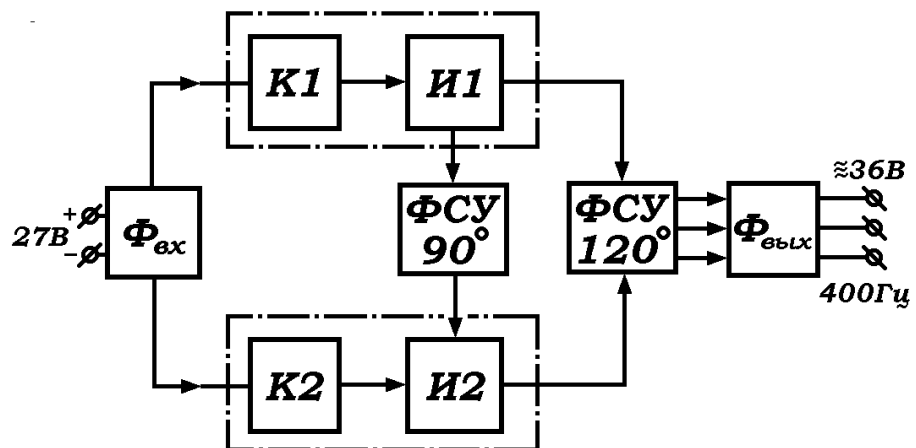


Рисунок 4 - Блок-схема статичного трифазного перетворювача.

Фазосдвигающие устрою часто виконують за схемою Скотта, яка два однофазних напруги перетворює в одне трифазне. Схема Скотта представлена на рис. 5.

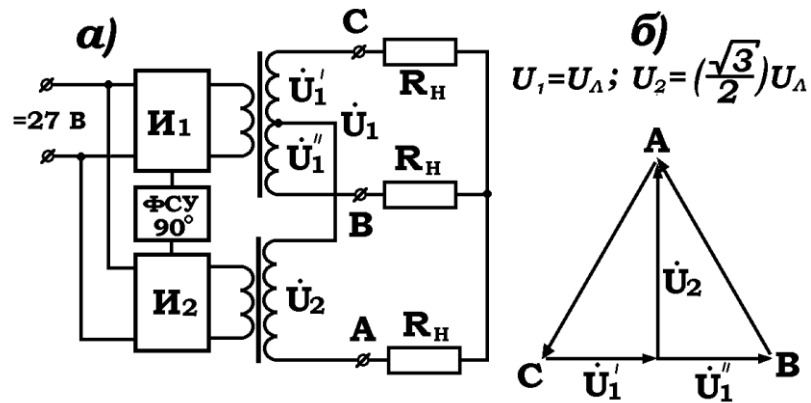


Рисунок 5 - Схема Скотта

На малюнку показана спрощена схема каналів у вигляді інверторів I_1 і I_2 . Напруга другого каналу зрушено по фазі на 90° щодо першого за допомогою фазосдвигающей пристрою, а вторинні обмотки трансформаторів включені по схемі, що додається. Центральний відведення першого трансформатора з'єднаний з обмоткою другого трансформатора. На векторній діаграмі показано освіту трифазної системи. Напруга першого трансформатора прийнято за лінійну напругу U_{CB} . Позначимо його на діаграмі вектором CB . Напруга з першої половини першого трансформатора U_1 збігається за напрямком з U_{CB} , а напруга другого трансформатора U_2 ,

прийняте за амплітудою $U_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{CB}}{2}$ випереджає вектор CB по фазі на 90° .

Поєднуючи точки схеми A , B і C з навантаженням отримаємо систему трифазного струму. Така схема дозволяє економити деталі і матеріали, що знижує її вартість. Маркуються статичні перетворювачі також літерами і цифрами тільки додається буква C - статичні. Наприклад, ПОС-1000, ПТС-800.

Статичні перетворювачі змінного струму в постійний виконуються на напівпровідниковій базі і називаються вони випрямними пристроями ВУ або трансформаторно-випрямними блоками ТВБ. На рис. 6 представлені найпростіші принципові схеми випрямлення змінного струму і криві випрямлених напруг. Схема a називається однофазної однополуперіодной, b - однофазної двонапівперіодною з нульовим виводом, $в$ - однофазної мостової, $г$ - трифазна однонапівперіодна з нульовим виводом. З кривих видно, що ці схеми мають великі пульсації напруги, і в схемах авіаційних джерел живлення вони не використовуються.

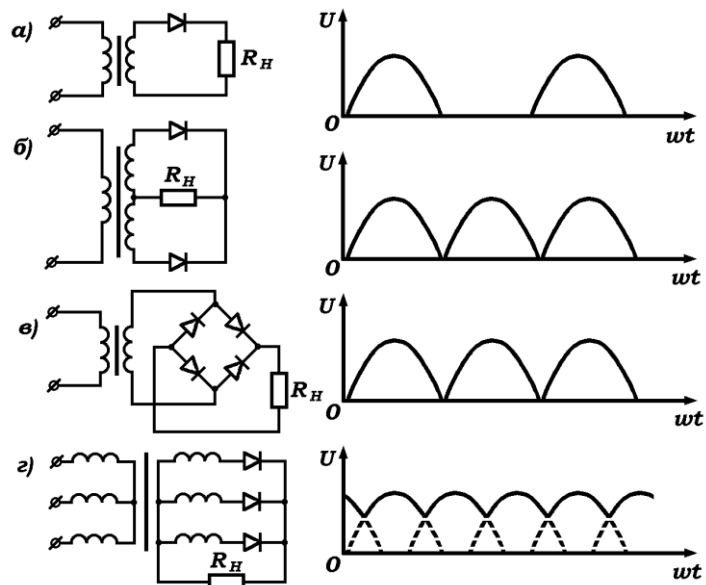


Рисунок 6 - Схеми простих випрямлячів.

Найбільш досконалими є схеми представлені на малюнку 7.7. Схеми 7.7 а) - трифазні двухполуперіодні: з середньою точкою і бруківка (схема Ларіонова). Ця схема використовується в випрямних пристроях ВУ. Таким чином вони складаються з трифазного понижуючого трансформатора напругою 200/115 В в 27 В і мостового випрямляча. У деяких ВУ встановлені вихідні фільтри і вентилятори для охолодження.

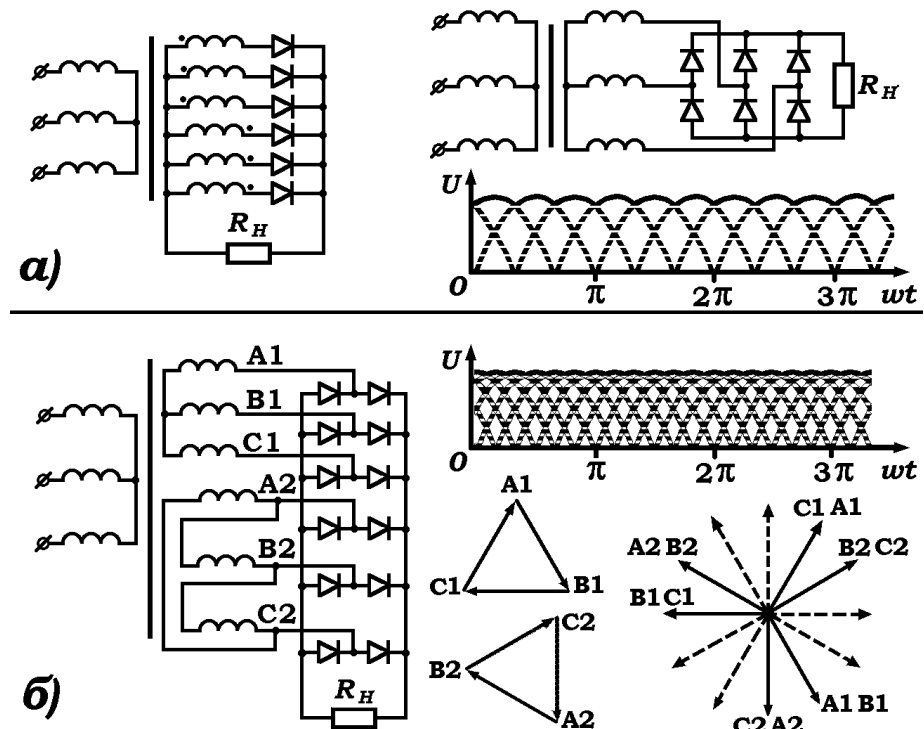


Рисунок 7 - Схеми авіаційних випрямлячів: а) - типу ВУ, б) - типу ТВБ.

На рис. б) представлена схема трансформаторно - випрямного блоку ТВБ. Вона відрізняється від ВУ тим, що є друга вторинна обмотка, з'єднана

трикутником зі своєю бруківці схемою випрямлення. Напруга у вторинних обмотках за рахунок схем з'єднання зрушені один щодо одного на 30° по фазі. Це забезпечує більш якісне випрямлення, тобто амплітуда пульсацій зменшується.

Приклади маркування: ВУ-6, ТВВ-6, де цифра вихідна потужність в кВт.