

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІПСЬКИЙ 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 № 5 – Системи передачі і розподілу електричної енергії**

**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. Системи передачі і розподілу електричної енергії.
2. Класифікація електричних мереж.
3. Елементи системи передачі і розподілу електроенергії.
4. Монтажне і установче обладнання.
5. Коммутирующая апаратура.
6. Захисна апаратура.
7. Захист мережі, обладнання та ПС від атмосферної електрики.

**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. Системи передачі і розподілу електричної енергії

Система передачі і розподілу - це сукупність пристроїв, призначених для передачі, управління і захисту ділянок мережі. До неї відносяться: дроти, розподільні пристрої (РУ), комутуюча і захисна апаратура.

### 2. Класифікація електричних мереж

Електричні мережі класифікуються з точки зору розв'язуваної задачі за способом і системі розподілу електричної енергії, призначенням, технічним виконанням - конфігурації, захист, каналний, електричним параметрам (родом струму і напруги), системи передачі електроенергії і т. П.

Класифікація за призначенням. Мережа від джерел електроенергії до центрального розподільного пристрою (ЦРУ) називається живильним. Мережа від ЦРУ до розподільних пристроїв (РУ) називається первинної розподільною мережею, а від РУ або ЦРУ до споживачів - вторинної розподільною мережею.

Класифікація за системою розподілу. Електричні мережі можуть класифікуватися по системі розподілу. Це: централізована мережа (рис.1), роздільна (б), децентралізована (в), змішана (г).

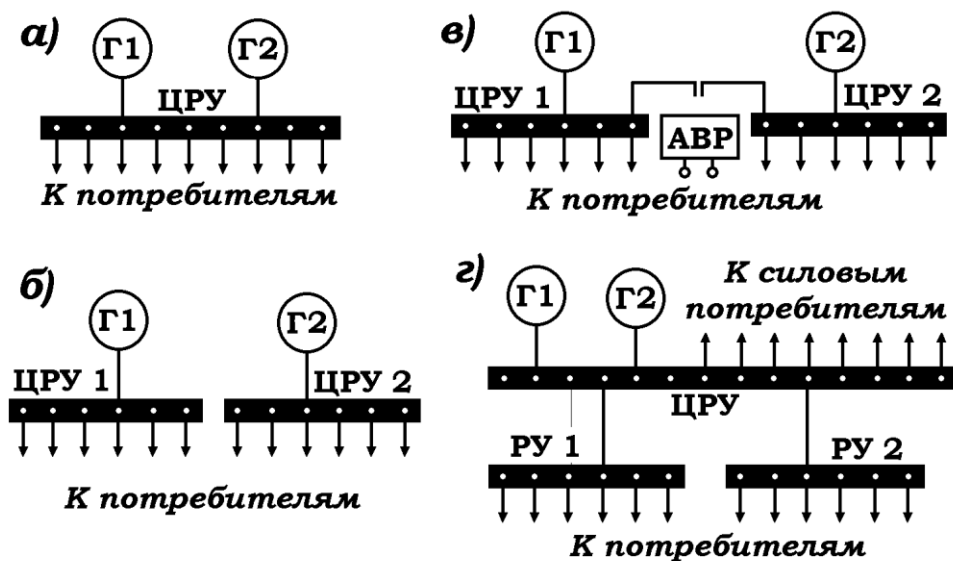


Рисунок 1 - Класифікація мереж по системі розподілу

У централізованій на ЦРУ підключають всі джерела, в децентралізованій кожне джерело підключається на свій ЦРУ, а при відмовах джерел ЦРУ об'єднуються автоматом включення резерву (АВР).

У змішаній системі споживачі підключаються як до РУ, так і до ЦРУ. У роздільній кожне джерело має свій ЦРУ, але при відмовах об'єднання не відбувається з якихось причин.

Класифікація по конфігурації. По конфігурації мережі розрізняють розімкнуті, замкнуті і одночасно радіальними або магістральними.

На Рис. 2 а- мережу разомкнутая магістральна, е - разомкнутая радіальна, ж - замкнута радіальна, з - замкнута магістральна.

Розімкнутої мережею називають мережу, в якій кожне РУ отримує живлення від одного ЦРУ. Замкнутої мережею називають мережу, в якій кожне РУ отримує живлення від двох ЦРУ. Якщо РУ підключені з ЦРУ паралельно, то мережу називається радіальною, якщо РУ підключені до ЦРУ послідовно між собою, то мережу називається магістральною.

Замкнені мережі в порівнянні з роз'єднаними володіють великою безотказністю. Є так само змішані мережі, де РУ підключається з ЦРУ як паралельно, так і послідовно. РУ зі споживачами великою потужністю, що впливають на безпеку польоту з'єднують по радіальній схемою, а менш важливих споживачів по магістральній.

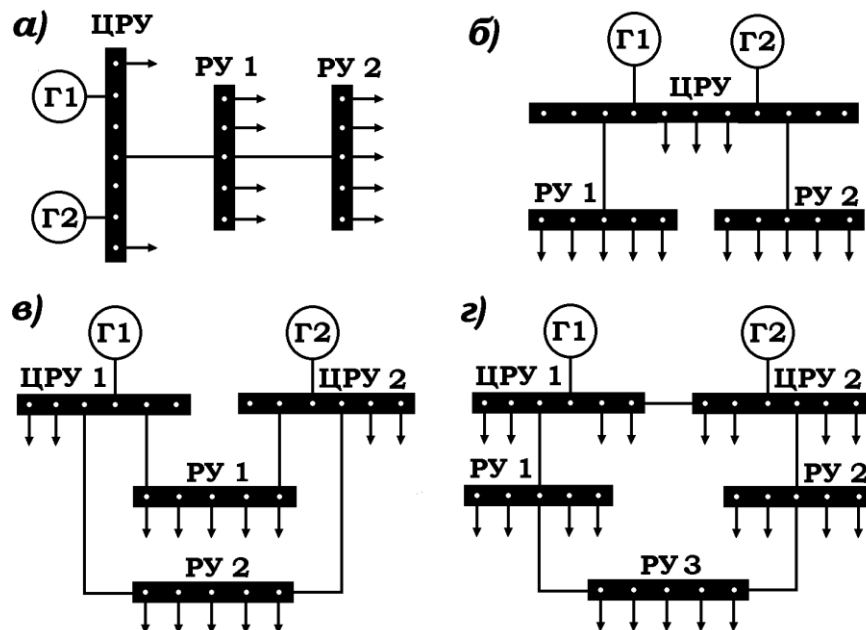


Рисунок 2 - Класифікація мереж по конфігурації.

Класифікація по виконанню. За виконання класифікують за кількістю проводів між двох РУ - однопровідні, двопровідні, трипровідні і чотирипровідні. Збільшення кількості проводів робиться для підвищення надійності мережі. Класифікація за електричними параметрами. За електричним пара-метрам (рід струму і напруга) мережі класифікуються відповідно до класифікації СЕ. Первинні СЕ і мережі мають напругу = 27 В, ~ 115 В, 400 Гц і трифазну напругу ~ 200/115 В, 400 Гц. Вторинні СЕ і їх мережі мають напруги перемінна 36 В 400 Гц, ~ 115 В, 400 Гц і = 27 В.

### 3. Елементи системи передачі і розподілу електроенергії

Вимірювальні прилади Для регулювань генераторів і контролю навантаження і напруги в мережі використовуються вимірювальні прилади.

Це вольтметри, амперметри, частотоміри або комбінація в одному приладі - вольтамперметри. Вимірювальні прилади досить уніфіковані і виконані на магнітоелектричної і електродинамічної системах в вібростійкого виконанні. Амперметри для вимірювання постійного струму генераторів і акумуляторів мають дві несиметричні шкали з нульовою точкою для вимірювання прямих і зворотних струмів. Ці амперметри працюють з шунтом. авіаційні дроти Для монтажу електричних мереж використовуються багатожильні мідні і

алюмінієві дроти. Мідні жили проводів покриті оловом. На ПС використовуються мідні дроти марок БПВЛ, БПДО, БІФ, ПТЛ.

Провід БПВЛ має поливинилхлоридную ізоляцію в лакованої бавовняної оплетке, яка допускає нагрів при тривалій на-вивантаження до 70 ° С.

Провід БПВЛА - алюмінієвий. Для запобігання перешкод від мережі на радіоустаткування дроти поміщаються в мідну оплетку (в маркуванні додається буква Е).

Провід БПДО (бортовий провід з подвійною ізоляцією, полегшений) в якості ізоляції має термостабілізовані поліетилен в оплетке з фторопласту. Допустима температура нагріву 105 ° С.

Провід БІФ (бортовий провід з поліаміднофторопластовою ізоляцією) в якості ізоляції має поліамідную плівку з фторопластовим покриттям. Допустима температура нагріву 200 ° С.

Провід ПТЛ-200 і ПТЛ-250 з теплостійкою ізоляцією із фторопласта в оплетке зі скловолокна, просоченої лаком, допускають нагрів до 200 ÷ 250 ° С.

#### **4. Монтажне і установче обладнання**

До монтажно-установчого обладнання належать розподільні пристрої (РУ), щити, пульти, клемні колодки, роз'єми. Розподільні пристрої не стандартизовані і тому вони позначаються по різному: ЦРУ - центральне розподільний пристрій, РУ - розподільний пристрій, ЕЩ - електрощиток, РК - розподільна коробка, або без скорочення пульт, щиток, панель. У розподільних пристроях, одним з основних елементів, знаходяться шини. Шини - це елемент конструкції, через який здійснюється розподіл електроенергії. Конструкція шин буває різна і залежить від величини струму. Якщо струм великої, то шина, як правило, являє собою мідну пластину, закріплену на ізоляторах. Якщо струм малий, то це може бути клеми монтажних колодок або контакти захисної апаратури. Крім шин в РУ можуть перебувати запобіжники, роз'єми, колодки, контактори, реле.

#### **5. Коммутирующая апаратура**

Коммутирующая апаратура ділиться на апаратуру прямої дії і дистанційної дії. До апаратурі прямої дії відносяться прилади, які включаються рукою, ногою або механізмом літака. До цієї групи належать кнопки, перемикачі, вимикачі, кінцеві вимикачі. За конструкцією вони

бувають різноманітні, причому вимикачі бувають натискні, тобто після натискання на ручку, вона повертається у вихідне положення. За кількістю комутованих ланцюгів вони бувають одно-, двох-, триполюсні. Кінцеві вимикачі включаються механізмами літака і сигналізують про їхнє становище (наприклад положення шасі, закрилків, заслінок і т.д.).

До апаратури дистанційної дії відносяться реле і контактори, які управляються електричним струмом.

Контактори і реле поділяються умовно по комутованого струму, зазвичай до 25 А прилади називаються реле. Вони мають корпус, на якому знаходяться клеми або пелюстки для пайки проводів, маркування та електрична схема. У корпусі знаходяться електромагніт і ярів, механічно пов'язаний з групою контактів. Електромагніти в залежності від напруги мережі бувають на  $= 27 \text{ В}$ ,  $\sim 115 \text{ В}$  і  $\sim 200 \text{ В}$ . При подачі напруги на ярів, він притягується до сердечника, стискаючи пружину, і перемикає контакти. При відключенні напруги пружина відводить ярів в початкове положення, а він в свою чергу повертає контакти в початкове положення. Контактори бувають тимчасового і тривалого включення (в маркуванні присутні букви В або Д). На рис. 3 представлена схема контактора типу км-тривалого включення.

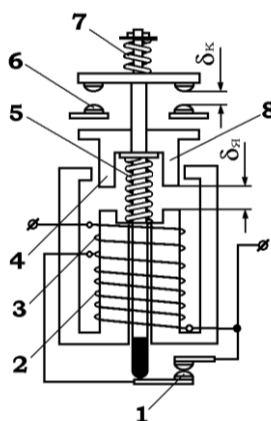


Рисунок 3 - Контактор типу КМ.

Електромагніт має дві обмотки 2 і 3. Обмотка 3 струмовий, вона виконана з товстого дроту, обмотка 2 - звичайна, вона виконана з тонкого дроту. Точка з'єднання обмоток через контакти 1 підключена до мережі. Контакт 1 розмикається стрижнем, коли ярів 4 притулиться до електромагніту. В позначенні 5 - пружина, 6 - контакти, 7 - підтисковий пружинний механізм. У момент включення напруги обмотка 2 шунтується контактом 1 і в цьому випадку працює струмовий обмотка 3. Коли ярів 4 притискається до електромагніту, контакт 1 розімкнеться і обмотка включаться послідовно, при цьому струм різко зменшується, що забезпечує мінімальний нагрів обмотки і економію електроенергії. У контакторах тимчасового включення одна силова обмотка і відсутні контакти 1 і стрижень.

Маркування контакторів має дві системи. За першою контактори маркуються так: КМ-200Д, КМ-100В, КП-100, К-50, де К - контактор, М -

малогабаритний, П - перемикає, цифри - комутований струм в амперах, Д - тривалий режим, В - тимчасової режим.

За другою маркуються так: ТКД5, ТКЕ2 ..., ТКС6 ...; СКД5 ..., ДКД5 ..., і т.д., де перша буква позначає напруга живлення контактора (Т - тридцять, на = 27 В, С - сто, на ~ 115В, Д - двісті, на ~ 200 В) , друга буква К позначає контактор, комутуюче реле, третя буква позначає розряд (Е - одиниці, Д - десятки, С - сотні); перша цифра кількість розрядів, далі йдуть цифри і букви позначають число контактів, тип реле по каталогу. Таким чином струм комутації обчислюється множенням розряду на його кількість (С6-600А, Д5-50А, Е2 - 2А і т.д.).

## 6. Захисна апаратура

Захисна апаратура призначена для відключення ділянок мережі і споживачів при виникненні в них неприпустимих перевантажень і коротких замикань. Захист реагує на величину струму в пошкодженій ланцюга і відключає її з певною затримкою. Такий вид захисту називається максимально-струмового захистом. Захист, що працює без затримки спрацьовування, називається струмового відсіченням. У деяких типах апаратів захисту (АЗ) вони об'єднані. До апаратів максимально-струмового захисту відносяться запобіжники і теплові автомати (автомати захисту мережі - АЗС).

Основною характеристикою, по якій вибирають апарат максимально - токової захисту є ампер - секундна характеристика апарату захисту (АСХАЗ), т.е. залежність часу спрацьовування апарата від величини струму. Щоб правильно вибрати АЗ для конкретного об'єкта захисту, треба мати АСХ об'єкта захисту (АСХОЗ), тобто залежність часу нагріву об'єкта захисту до допустимої температури від струму. АСХОЗ отримують експериментальним шляхом. АСХ мають форму кривої. По осі ординат відкладено час, по осі абсцис струм. При розрахунках їх будують на загальному графіку. АЗ буде ідеально підібраний, якщо АСХАЗ і АСХОЗ збігаються, або коли вони перетинаються так, щоб при малих токах АСХАЗ була трохи вище АСХОЗ, а при великих нижче. АСХАЗ при продовженні наближається до прямої паралельної осі ординат, перетин цієї прямої з віссю абсцис дає точку критичного струму. При токах менших критичного АЗ не відключати об'єкт захисту. Номінальні струми АЗ вибирають меншими в 1,2-1,7 разів, щоб виключити помилкове спрацьовування при зміні температури навколишнього середовища. Номінальні струми вказані в маркуванні АЗ. Запобіжники є короткий провідник (плавку вставку), укладену в арматуру, який плавиться і розриває ланцюг при струмі, що перевищує критичне значення.

Запобіжники - це АЗ одноразової дії. Застосовуються на ПС наступні запобіжники:

СП - скляний запобіжник,

ПЗ - плавкахвставка,



ТП - тугоплавкий запобіжник,  
ІП - інерційний запобіжник.

Маркуються вони аналогічним чином із зазначенням номінального струму, наприклад, СП-2, ПВ-20, ТП-600, ІР-250. Запобіжники типу ПВ і СП випускаються на струми до 40 А і в них використовується мідна, срібна або цинкова дрiт. Запобіжники типу ТП випускаються на струм 200, 400, 600 і 700 А. Вони мають асбоцементний корпус, в якому знаходиться мідна смуга в якості плавкою вставки. Запобіжники типу ІП випускаються на струми від 5 до 250 А, вони мають значно більшу витримкою часу спрацьовування при невеликих перевантаженнях. Велика витримка досягається застосуванням двох плавких вставок послідовно. Схема ІП представлена на рис. 4,

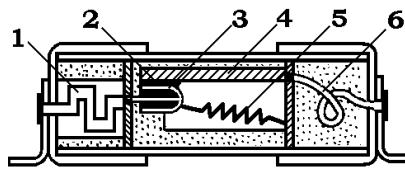


Рисунок 4 - Запобіжник типу ІП

де 1 - тугоплавка вставка, 2 - припій, 3 - ковпачок, 4 - мідна пластина, 5 - пружина, 6 - нагрівальний елемент. Якщо йде струм перевантаження не дуже великий, то нагрівається елемент 6, який розігріває пластину 4. При досягненні температури пластини рівня плавлення припою, він плавиться, а пружина зриває ковпачок і роз'єднує ланцюг. При великих токах, перевантаженнях і к.з. вставка 1 перегорає, а пластина не встигає нагрітися, такий запобіжник встановлюється в мережах, де є великі пускові струми. Теплові автомати захисту мережі є апаратами багаторазової дії, крім функції захисту вони можуть виконувати одночасно і функцію вимикача. Принцип дії АЗС заснований на деформації при нагріванні біметалічного елемента, що складається з двох зварених пластин металів з різними температурними коефіцієнтами лінійного розширення. Елемент нагрівається протікає по ньому струмом перевантаження. За кінематичній схемі автомати захисту мережі діляться на АЗ без сво-Бодня розчеплення ручки з контактною системою - АЗС і з вільним розчеплення - АЗР. До цих аббревіатур додаються цифри, що позначають номінальний струм. На базі АЗ типу АЗР виконуються АЗ типу АЗЗ-К на трифазний струм і АЗФ1 на однофазний струм. В експлуатації АЗ типу АЗС відрізняються від АЗР тим, що за ручки АЗС можна утримувати контакти замкнутими при К.З., а за ручки АЗР немає, тому що вони будуть автоматично розмикатися. У першому випадку виходять з ладу або АЗС, або споживач. У другому випадку все захищено. Тому автомати типу АЗС не застосовують в мережах, що живлять пожежонебезпечні споживачі. На со-тимчасових ПС застосовуються, як правило, АЗ типу АЗРГ в герметизированном виконанні. Для запобігання теплового елемента від руйнування при К.З. в деяких типах АЗР застосовується електромагнітна відсічення. В позначенні таких АЗ

з'являється буква К. В них послідовно з навантаженням і тепловим елементом включається котушка з декількох витків з сердечником всередині. При К.З. сердечник, рухаючись, згинає теплової елемент, який за короткий час не встигає нагрітися. На рис. 9.1 представлена схема АЗС,

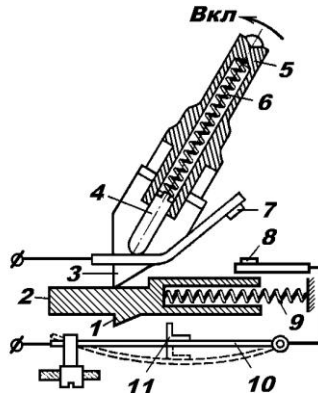


Рисунок 1 - Автомат захисту типу АЗС

де 1 - виступ, 2 - каретка, 3 - носик, 4-поршень, 5 -ручка, 6 - пружина, 7, 8 - контакти, 9 - пружина, 10 - тепловий елемент, 11 - дужка.

На малюнку показано виключене положення АЗС, коли ручка внизу. При перекладі ручки 5 вгору (ліворуч), носик за виступ каретки пересуває її вправо, стискаючи пружину 8, виступ 1 зайде за скобу 11, а поршень 4, наїхавши на контакт, його замкне. У цьому положенні АЗС залишиться включеним за допомогою виступу 1. При К.З. тепловий елемент деформується вниз і каретка з допомогою пружини поверне все в початковий стан. На рис. 9.2 показана схема АЗР: а - включений стан, б - вимкнений, де 1 - контакти, 2 - рухома вісь, 3 - ручка, 4 - качалка, 5 - важіль, 6 - важіль, 7 - пружина, 8 - тепловий елемент, 9 - пружина.

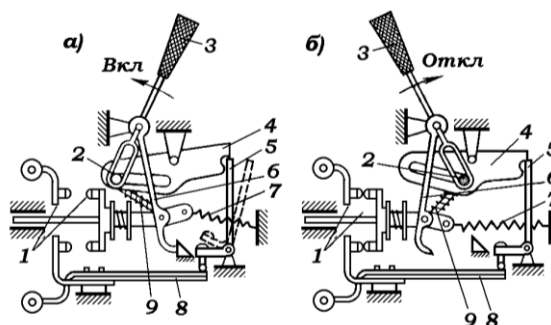


Рисунок 2 - Автомат захисту типу АЗР: а - виключене положення, б - включене положення

Контакти замкнуться, якщо будуть в зачепленні качалка 4 і важіль 5. При К.З. тепловий елемент правим кінцем піднімається вгору, натискаючи на важіль, який, відхиляючись вправо, виходить із зачеплення з гойдалкою. У цій позиції пружина відводить контакт. Коли тепловий елемент холодний, важіль і качалка приходять а зачеплення, в цьому випадку АЗР можна включити. Якщо утримувати АЗР та ручку у включеному положенні при К.З.,

то контакти будуть розімкнуті. Якщо після охолодження елемента ручку опустити і знову включити, то елемент нагріється знову і контакти розімкнуться. У трифазних АЗЗ спрацював один автомат відключає інші.

## **7. Захист мережі, обладнання та ПС від атмосферної електрики**

ПС піддається впливу атмосферної електрики у вигляді зарядки його статичним електрикою або ударом блискавки. Якщо ПС пролітає області атмосфери, що несуть на собі електричні заряди, то ці заряди переходять на ПС і піднімають його потенціал щодо навколишнього простору. Згідно із законом Фарадея заряди накопичуються на зовнішній поверхні провідного тіла, а всередині потенціалу немає. Заряди течуть з передніх кромek ПС на задні і стікають в атмосферу на частинки повітря. Щоб ці струми не викликали радіоперешкод приймається ряд заходів при виготовленні і конструюванні ПС. Основна міра - це металізація, тобто з'єднання всіх частин фюзеляжу так, що б між ним було опір менше 500 мкОм, а рухомі частини з'єднуються мідної плетінкою. Корпус літака покривається проводить фарбою, а передні кромки металеві. Мережа радіоблабднання виконується екранованим проводом, а в самому обладнанні застосовуються фільтри. Для поліпшення стоку зарядів застосовуються статичні розрядники, уста-новлені на консолях крила, рулях і хвостовому оперенні. Конструкцій статичних розрядників багато, а найбільш поширений має металевий стрижень, закріплені на ПС із пластмасовою чайкою на кінці, в якій знаходиться металева мітелочкою. Що б статичний заряд стікав при приземленні ПС на ЗПС, на шасі є заземлюючі троси. На Л410 використовується проводить гума шин. Для захисту на стоянках від атмосферної електрики і статичного заряду при заправці паливом ПС заземляється спеціальним тросом на землю або контур заземлення стоянки. Удари блискавки вражають ПС на кордонах і всередині хмарності зазвичай при зльоті або заході на посадку, найчастіше за статистикою в зимовий час. Наявні радіолокаційні засоби ПС і аеропорту не реєструють при цьому наявність зарядів і грозової діяльності. Імовірність поразки зростає зі збільшенням габаритів ПС і використанням реактивних двигунів. Вплив блискавки різноманітне: теплове і механічне (оплавлення і прогорання обшивки, руйнування антен), електромагнітна наводка на мережі і обладнанні; біологічне (осліплення), помпаж двигунів. Заряд блискавки, який не проглядається локаторами, набагато менше заряду блискавки в грозової діяльності, проте, ступінь ураження буває різною і залежить дуже сильно від точки прикладання і виходу блискавки. Причому точка докладання може переміщатися по фюзеляжу, як би збираючи назад. Найбільш важкий випадок удару блискавки, які знає статистика, це удар в баки з по-наступним їх вибухом. Зазвичай спостерігаються оплавлення і отвори в місцях прикладання, і оплавлення і руйнування в місці виходу, найчастіше через статичні розрядники. Оскільки з фюзеляжу виступають антени, ПВД, шини Новосе обтічника, то вони піддаються руйнувань з відмовою відповідного

обладнання. Крім руйнувань наводяться електромагнітна і статична наведення на антенах і електричній мережі. Якщо блискавка не потрапляє в антени, то на них наводиться місткість наводка в сотні тисяч вольт, яка шунтирується газовими розрядниками, включеними паралельно антени. У мережі наводиться в основному електромагнітна наводка в десятки і сотні вольт, яка гаситься вхідними фільтрами. Лампова радіоапаратура має гарну стійкість до наведенням, а напівпровідникова апаратура та обчислювальна техніка набагато меншою. Носовий обтічник локатора за-захищеності поздовжніми металевими шинами. Паливні баки ховають в центр крила, з передньої частини вони захищені обтекателями або предкрилки з задньої частини рулями, закрилками, консоллю і т.д.

Таким чином ступінь ураження ПС блискавкою визначається випадком, а захищеність ПС від блискавки закладена всією конструкцією.