

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

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

## **ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни «Основи авіаційної радіоелектроніки та автоматики»  
вибіркових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

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

**за темою № 8 - Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів, шляхи  
підвищення завадостійкості обміну інформацією**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.23 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.23 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.23 № 7

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

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного  
обладнання, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист  
Стущанський Ю.В.

**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. Особливості поводження з частинами, чутливими до електростатичних розрядів.
2. Методи боротьби зі статичними розрядами.
3. Заземлення і види заземлення.
4. Електромагнітне середовище.
5. Блискавка / захист від блискавок.

### Рекомендована література:

#### Основна

1. В.П. Харченко, І.В. Остроумов. Авіоніка. Навчальний посібник. К.: НАУ, 2013. - 272с.
2. О.О. Чужа. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О. Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.: НАУ, 2017. – 264с.;
3. В.О. Рогожин. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синєглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с
4. В.П. Харченко. Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І. Чепіженко, А.А. Тунік, С.В. Павлова. – К.: ТОВ «Абрис-принт», 2012. – 464 с.
5. А.В. Скрипець. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.: НАУ, 2003. – 396с.;
6. А.П. Бамбуркін, В.Н. Неделько, М.И. Рубец. Аеронавігаційні радіотехнічні системи. Навчальний посібник/ Під.ред. М.И. Рубця — Кіровоград. Вид-во ГЛАУ, 2002.- 520с.
7. Ю.В. Стуцанський. Комп'ютерні інтегровані системи авіоніки. Навчальний посібник. КЛК НАУ. 2011. – 182 с.

#### Допоміжна

1. В.П. Бабак. Безпека авіації / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін. – К. : Техніка, 2004. – 584 с.;
2. Харченко В.П. Радіомаячні системи ближньої аеронавігації: навч. посіб. / В.П. Харченко, В.Г. Мелкумян, О.П. Сушич. – К. : НАУ, 2011. – 208 с.;
3. Харченко В.П. Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І. Чепіженко, А.А. Тунік, С.В. Павлова]; за ред. В.П. Харченка. – К. : ТОВ «Абрис-принт», 2012. – 464с.;
4. Конспекти лекцій з базової підготовки технічного персоналу згідно вимог Part-66, Part-147 ( Модуль 3, 4, 5, 13, 14)

#### Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Системи індикації ПС. <https://studfiles.net/preview/6810198/page:28/>
2. Бортова система попередження зіткнень  
[http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/TM058196.htm](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM058196.htm)

3. HELLI — TAWS [http://www.fcs-modification.com/?go=news&n=6&new\\_language=0](http://www.fcs-modification.com/?go=news&n=6&new_language=0)

## Текст лекції

### 1. Особливості поводження з частинами, чутливими до електростатичних розрядів.

Статична електрика - це сукупність явищ, пов'язаних з виникненням, збереженням і релаксацією вільного електричного заряду на поверхні або в об'ємі діелектриків або в обсязі діелектриків, або на ізольованих провідниках. Так звучить визначення за ГОСТ 12.1.018-93 "Пожежовибухобезпека статичної електрики".

Як виникає заряд

В основному статична електрика генерується при терті об'єктів - ефект трибоелектризації. Трибоелектрика (від грец. Τριβος тертя) - явище виникнення електричних зарядів при терті і наступному поділі матеріалів. Прикладами утворення можуть послужити найелементарніші речі: ходьба є одним з найбільших джерел трибоелектричного заряду. При ходьбі відбувається контакт підошви взуття з покриттям підлоги, а потім їх подальше розділення. При цьому дана дія відбувається багаторазово. Людське тіло є хорошим провідником, що дозволяє йому проводити і накопичувати заряди, які утворюються в ході поділу двох матеріалів. При ходінні по килимовому покриттю на людині може утворюватися потенціал до 15000 В.

Як боротися з електростатикою.

Засоби захисту від статичної електрики за принципом дії поділяються на такі види:

- заземлюючі пристрої;
- нейтралізатори,
- зволожуючі пристрої,
- анти електростатичні речовини;
- екрануючі пристрої.

Насамперед обладнання ОПС повинно бути якісно заземлено. Ланцюг витоків на землю працює задовільно, якщо її опір не перевищує  $10^6$  Ом. Заземлення ефективно тільки для матеріалів, що мають питомий опір не більше  $10^{10}$  Ом • м. Таким чином, якщо поверхня приладів пластикова, заземлення може бути не завжди ефективно. У цьому випадку потрібно використовувати інші методи боротьби зі статикою.

Для розрядки діелектричних поверхонь застосовують іонізатори повітря, здатні генерувати іони обох полярностей. Такі іонізатори використовуються для локальної нейтралізації зарядів безпосередньо на робочих місцях або ж ними доповнюють вентиляційні системи, щоб потік відфільтрованого повітря

іонізувати і відбувалася нейтралізація зарядів на стінах стелях, поверхнях обладнання та інше.

Електризація діелектричних матеріалів різко знижується при збільшенні вологості повітря, однак при цьому погіршуються умови роботи устаткування. Тому, як правило, вологість не повинна перевищувати 40%. Крім того, для виключення електризації при ходьбі, а також для організації додаткового шляху "стікання" електростатичних зарядів приміщення, де знаходиться приймально-контрольне обладнання, слід оснастити підлоговим антистатичним покриттям. Найпростіше - настелити спеціальний електропровідний лінолеум, який має по відношенню до землі опір порядку  $10^7$  Ом, при якому заряди на ньому зменшуються до безпечних значень протягом 0,02 с.

Для захисту від високочастотних перешкод і статичних наведень застосовують екранну землю, яка полягає в заземленні екранів кабелів, що екранують перегорожок, корпусів приладів;

Вкрай бажано захистити і саме робоче місце оператора, якщо таке є. Столи повинні мати проводити покриття з просоченого вугіллям пластику, який проводить дивин або антистатичного матеріалу. Ці покриття зазвичай заземляються за допомогою шин, прокладаються на столах під покриттям. Аналогічні покриття можуть мати і стільці. При дотриманні всіх вище перелічених умов ми отримуємо гарантований захист обладнання ОПС від поразки електростатичним розрядом. А втрати від одного такого удару можуть багаторазово перевищити всі витрати на профілактичні заходи.

Захист.

В принципі є три способи захисту напівпровідникових виробів від пошкодження і перешкод при впливі розрядів: взагалі попередити виникнення електростатичного заряду, не допустити потрапляння заряду на пристрої і збільшити стійкість апаратури і її комплектуючих до впливу розряду.

Перші два способи віднесемо до колективних заходів захисту від впливу розряду.

## **2. Методи боротьби зі статичними розрядами.**

Неправильне заземлення електронних блоків на повітряних судах призводить до підвищення похибки вимірювань параметрів пошкодження чутливих елементів, помилок у каналах обробки і передачі даних.

Методи захисту від статичної електрики, застосовувані в радіоелектронній промисловості, поділяються на хімічні, фізико-механічні та конструктивно-технологічні. Перші та другі намагаються запобігти виникненню статичних зарядів і прискорити їх стікання, треті - тільки захищають прилади від небезпечних впливів заряду, але не роблять впливу на витік зарядів. Сприяти витоку можуть коронний розряд, об'ємна і поверхнева провідність матеріалу, на якому накопичується заряд. Отже,

найбільш загальне рішення проблеми - іонізація повітря плюс збільшення поверхневої та об'ємної провідності матеріалів. Практичні методи зазвичай полягають у створенні організованих шляхів витоку зарядів, щоб не допустити потрапляння небезпечних потенціалів на прилади.

Насамперед, це метод заземлення. Ланцюг витоків на землю працює задовільно, якщо її опір не перевищує  $10^6$  Ом. Заземлення ефективно тільки для матеріалів, що мають питомий опір не більше  $10^{10}$  Ом • м. Ізолятор з питомим опором понад  $10^{14}$  Ом • м здатний зберігати високий заряд, що може призвести до розряду при його зв'язку з землею. Такий ізолятор слід захищати іншими способами. Необхідно дуже ретельно продумувати ефективність електростатичного захисту всіх деталей оснащення робочого місця оператора.

Наступний метод полягає в придушенні статичної електрики, так як заземлення не дозволяє ефективно знімати заряди з поверхні діелектриків, які широко застосовуються в так званих чистих кімнатах. Електризація подібних матеріалів різко знижується при збільшенні вологості повітря, однак при цьому погіршуються умови роботи. Тому вологість встановлюється рівною 40%. Для розрядки діелектричних поверхонь застосовують іонізатори повітря, здатні генерувати іони обох полярностей. Такі іонізатори використовуються для локальної нейтралізації зарядів безпосередньо на робочих місцях або ж ними доповнюють вентиляційні системи чистих кімнат, щоб потік відфільтрованого повітря іонізувати і відбувалася нейтралізація зарядів на стінах, стелях, поверхнях обладнання та ін.

Ще один шлях зменшити електростатичну небезпеку - застосовувати в приміщенні струмопровідні матеріали, що містять металеві або вуглецеві частинки. Стіни, стеля та підлога чистих кімнат запропоновано облицьовувати електропровідними покриттями, що мають по відношенню до землі електроопір порядку  $10^7$  Ом, при якому заряди на них зменшуються до безпечних значень протягом 0.02 с. У приміщеннях, де розташована апаратура з чутливими до заряду компонентами, підлоги повинні бути покриті провідними килимами, призначеними насамперед для розсіювання зарядів з входять туди осіб. Килими також створюють "заземлений" фон у всьому приміщенні. Вони виготовляються з пластмас, насичених вугіллям, або з провідного вінілового матеріалу і приєднуються до заземлення. Столи, робочі місця також повинні мати провідні покриття з просоченого вугіллям пластику, який проводить дивинила або антистатичного матеріалу. Ці покриття зазвичай заземляються за допомогою шин, прокладаються на столах під покриттям. Аналогічні покриття повинні мати і стільці.

Транспортування напівпровідникових приладів та друкованих плат слід проводити в електропровідній тарі. При цьому контейнери для транспортування захищають вироби від трьох видів електричних впливів: від трибоелектрика; від наведень, що викликаються іскровий розряд; від електричних полів; при цьому сам матеріал контейнерів не повинен

накопичувати заряди. Для упаковки друкованих плат і чутливих до заряду пристроїв слід застосовувати проводити пінопласт.

Нарешті, потрібно прагнути зменшити заряд тіла людини. Для цього використовуються заземлення і антистатична одяг. Один з найефективніших засобів розсіювання накопичувального заряду - провідні браслети. Вони створюють електропровідний шлях, по якому заряд може стікати на землю. Браслет складається з провідної лінії, що зміцнюється на зап'ясті, і пряжки, якій браслет з'єднується із заземленим проводом. Для створення безпечних умов роботи провід повинен мати послідовно з'єднане опір величиною від 1 до 100 МОм, щоб протікає через людський організм струм не перевищував 1 мА. На людину струми статичної електрики впливають так: струми силою 0-1 мА створюють незначні відчуття; 1-10 мА заподіюють біль; 10 мА викликають шок; 100 мА можуть привести до летального результату.

Через розряди статичної електрики виникають неполадки в електронних блоках - вихід з ладу мікросхем, втрата даних на носіях інформації.

Проблема статичної електрики полягає у тому, що з часом у радіо майстрів виробляється зневага, особливо, якщо він ні разу не зіпсував радіоелемент через неправильне поводження. Статистично є малоімовірним, щоб конкретний радіоелемент був «пробитий» електростатичним розрядом (ЕСР).

Будь-яка ефективна програма контролю за ЕСР має свої особливості і специфічна за природою. Але її основоположні концепції можуть бути зведені до наступних правил:

- Завжди зберігати і перевозити радіоелементи в закритих провідних контейнерах.
- Виймати радіоелементи з контейнерів тільки після заземлення на робочій станції контролю від статичної електрики.
- Персонал, який працює з радіоелементами, повинен носити верхній одяг, розсіюючи статичну електрику, і бути завжди заземленим.
- Підлоги повинні мати заземлення, розсіюючи статичну електрику покриття або обробку.
- Столи повинні мати заземлення, розсіюючи статичну електрику покриття.
- Уникати ізолюючих матеріалів будь-якого виду.
- При установці радіоелементів користуватися тільки заземленим обладнанням.

### **3. Заземлення і види заземлення.**

Під заземленням розуміють як з'єднання з ґрунтом Землі, так і з'єднання з деяким "загальним проводом" електричної системи, щодо якого вимірюють електричний потенціал.

Потенціал землі в електричній системі не завжди дорівнює нулю щодо ґрунту Землі. Наприклад, в летить літаку за рахунок генерації

електростатичного заряду потенціал землі (корпусу) літака може становити сотні і тисячі вольт відносно поверхні Землі. "Плаваюча" земля - НЕ поєднана з ґрунтом Землі система провідників, щодо якої відраховується потенціал в електричній підсистемі або поєднана через опір 20 МОм

Під захисним заземленням розуміють електричне з'єднання провідних частин обладнання з ґрунтом Землі через заземлюючих пристроїв з метою захисту персоналу від ураження електричним струмом.

Сигнальним заземленням називають з'єднання з землею загального проводу ланцюгів передачі сигналу. Сигнальна земля ділиться на цифрову землю і аналогову. Сигнальну аналогову землю іноді ділять на землю аналогових входів і землю аналогових виходів.

Силовий землею будемо називати загальний провід в системі, з'єднаний із захисною землею, по якому протікає великий струм (великий у порівнянні з струмом для передачі сигналу).

#### 4. Електромагнітне середовище

**Електромагнітні наведення** з'являються внаслідок явища електромагнітної індукції: у провідному контурі, що знаходиться в електромагнітному полі, виникає едс індукції, якщо контур розімкнений, або індукційний струм, якщо контур замкнений. Джерелами електромагнітного поля перешкоди можуть бути радіомодем, радіотелефон, радіоретранслятор, радіостанція, стільниковий передавач на даху будівлі, двигун з іскристими щітками, електрозварювальний апарат, трамвай, люмінесцентні лампи, тиристорний регулятор, комп'ютер, телевізійні і радіостанції, стільникові телефони, цифрова частина вимірювальної системи, реле регулятора, космічне короткохвильове випромінювання, удар блискавки та ін.

Джерелом електромагнітної перешкоди може бути також і цифрова (дискретна) підсистема системи автоматизації, наприклад, комп'ютер, реле, тиристори, потужні виходи дискретних модулів. Сильними джерелами електромагнітних перешкод є й оптоволоконні передавачі, оскільки вони споживають великий струм і працюють на високих частотах. Випромінюються перешкоди за допомогою випадкових провідників, що утворюють дипольні або рамкову антену. Дипольна антена є джерелом переважно електричного поля, рамкова - джерелом магнітного поля. Далеко від таких джерел домінуючого поля немає, є поперечна електромагнітна хвиля. Реальні системи утворюють безліч випромінюючих антен, що складаються з провідників, кабелів і різних металевих поверхонь.

Наводяться електромагнітні перешкоди на всіх провідних предметах, які в розглянутому випадку відіграють роль антен. Потужність наведеної перешкоди залежить від площі контура, охопленого провідником, або від довжини проводу. Перешкода, наведена в такий антені, кондуктивним шляхом може передаватися в сигнальні ланцюги або ланцюги заземлення,



викликаючи потік помилок в цифрових схемах або похибки передачі сигналу в аналогових.

Найбільш поширеними приймачами електромагнітних перешкод є довгі дроти: кола заземлення, промислові мережі (польові шини), кабелі, що з'єднують датчики та модулі аналогового введення, кабелі інформаційних комунікацій. Детальніше про захист кабелів систем автоматики від електромагнітних перешкод. "Замаскований" приймачами електромагнітних перешкод є металеві конструкції в будівлях: металеві стелажі, вікна з металевою рамою, труби водопостачання і опалення будівлі, захисне контурне заземлення будівлі та т.п.

Основними методами боротьби з електромагнітними наведеннями є зменшення площі контуру, що приймає перешкоду, і застосування диференціального способу передачі сигналу в поєднанні з крученими парами.

## **5. Блискавка / захист від блискавок.**

### **Блискавка і атмосферна електрика**

Блискавки є одними з найпоширеніших причин небажаних перенапруг, збоїв і відмов у системах автоматизації. Заряд, що накопичується в хмарах, має потенціал величиною близько декількох мільйонів вольт відносно поверхні Землі і є негативним. Тривалість розряду блискавки становить у середньому 0,2 с, рідко до 1... 1,5 с, тривалість переднього фронту імпульсу - від 3 до 20 мкс, струм становить кілька тисяч ампер і навіть до 100 кА (рис. 14), температура в каналі досягає 20 000 ° С, з'являється потужне магнітне поле і радіохвилі. Блискавки можуть утворюватися також при пилових бурях, завірюхах, виверженнях вулканів. Частота ураження блискавкою будівель заввишки 20 м і розмірами в плані 100x100 м становить 1 раз на 5 років, а для будинків з розмірами порядку 10x10 м - 1 попадання за 50 років (РД 34.21.122-87).

Кількість прямих ударів блискавки в Останкінську телевежу заввишки 540 м становить 30 ударів на рік. Для захисту від прямого удару блискавки використовують громовідводи, які складаються з штиря (блискавкоприймача), що знаходиться над будівлею, заземлювача і з'єднує їх провідника. Система блискавковідводу утворює низькоімпедансний шлях для проходження струму блискавки на землю, минаючи структури будівлі. Блискавковідвід повинен знаходитися якомога далі від будівлі, щоб послабити ефект взаємної індукції, і в той же час досить близько, щоб захистити будівлю від прямого попадання блискавки. Для будинків з великою площею даху громовідводи встановлюють на даху і з'єднують між собою і з заземлювачем сталевими смугами.

Заземлювач блискавковідводу виконують окремо від захисного заземлення будинку, але електрично з'єднують з ним з метою вирівнювання потенціалів і усунення можливих іскрінь (РД 34.21.122-87).

Струм блискавки, проходячи по землі, створює в ній падіння напруги, яка може вивести з ладу драйвери інтерфейсів, якщо вони не мають

гальванічної розв'язки і розташовані в різних будівлях (з різними заземлювачами).

У лініях електропередачі розряд блискавки приймається на екрануючий провід, який відводить блискавку в землю через заземлювач. Екрануючий провід простягають над фазовими проводами, однак на фазових проводах наводиться імпульс ЕРС внаслідок явища електромагнітної індукції. Цей імпульс проходить на трансформаторну підстанцію, де послаблюється іскровими розрядниками. Остаточний імпульс проходить в споживчу лінію (рис. 10 а) і через силовий трансформатор - у колі заземлення систем автоматизації (рис. 12).

На системи автоматизації блискавки впливають через електромагнітний імпульс, який може вивести з ладу пристрої гальванічної розв'язки і перепалити дроти малого поперечного перерізу струмом, який генерується внаслідок явища електромагнітної індукції. Другим природним явищем, пов'язаним з грозою, є атмосферна електрика. Електричний потенціал грозової хмари під час дощу може становити десятки мільйонів і навіть до 1 мільярда вольт. Коли напруга електричного поля між хмарою і поверхнею землі досягає 500... 1000 В / м, починається електричний розряд з гострих предметів (щогли, труби, дерева і т.п.).

Висока напруженість поля, викликана атмосферним електрикою, може наводити заряди в "плаваючих" ланцюгах з високим опором ізоляції відносно землі в кілька тисяч вольт і приводити до пробію оптронів в модулях гальванічної розв'язки. Для захисту від атмосферної електрики гальванічно ізольовані ланцюги, що не мають низькоомного шляху на землю, повинні бути поміщені в заземлений електростатичний екран. Зокрема, атмосферна електрика є однією з причин, по яких промислові мережі прокладають екранованою крученою парою. Екран кабелю потрібно заземлювати тільки в одній точці (див. підрозділ "Заземлення екранів сигнальних кабелів").

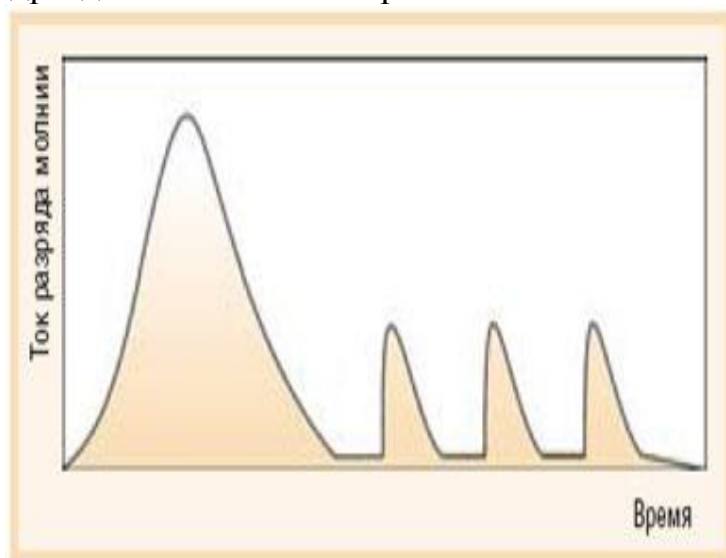


Рис. 14. Типова форма імпульсу струму при розряді блискавки

Слід зазначити, що громовідводи, які служать для захисту від прямого удару блискавки, не можуть суттєво зменшити напруженість електричного поля атмосферних зарядів і ніяк не захищають апаратуру від потужного електромагнітного імпульсу під час грози.

### Перешкоди з мережі електропостачання

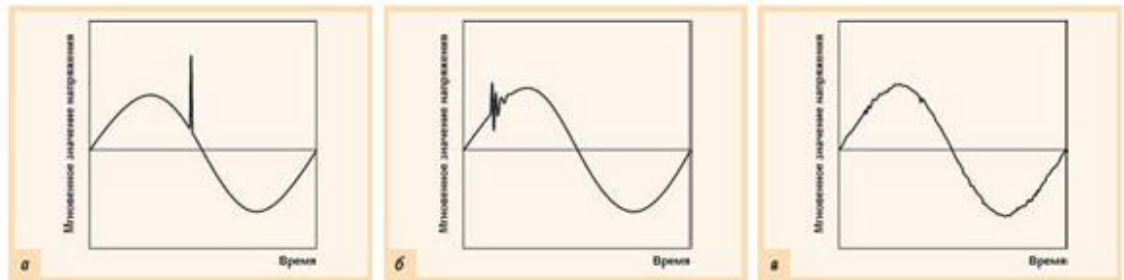


Рис. 10. Види перешкод, що проникають з мережі живлення:  
а - від розряду блискавки; б - при перемиканні індуктивного навантаження; в - від радіостанцій