

*О. О. ДЕМ'ЯНЕНКО*, студент, НТУ «ХПІ»

## **МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СТІЙКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ**

Проведена класифікація взаємного розташування каналу розряду блискавки та типового формалізованого радіоелектронного обладнання. Розроблена методика оцінки електромагнітної стійкості радіоелектронного обладнання, розташованого у замкнутому просторі, що дозволила на ранніх стадіях проектування об'єктів здійснювати розрахунки кондуктивних завад.

Classification of mutual arrangement of lightning discharge channel and typical formalized radio electronic equipment is accomplished. A stability estimation technique of electronic equipment located in closed space is developed and on its basis the decision support system is developed, it allowed on the early stages planning of objects to carry out the calculations of impact hindrances.

**Постановка проблеми.** Віддалений розряд блискавки є небезпечним джерелом імпульсних завад, що становлять загрозу для електрообладнання. Основним каналом проникнення енергії електромагнітних імпульсів блискавки в екрановані приміщення є кабелі та інші електропроводові елементи.

Багато електричних систем пов'язано безпосередньо або побічно з кабельними комунікаціями або іншими контурами, розташованими поза межами екрану. Прямий розряд блискавки малоймовірний, оскільки металокопункції є природним громовідводом. Проте при розрядах блискавки в безпосередній близькості від металокопункцій виникають потужні електромагнітні поля. Вони є каналом проникнення завад всередину екранованого приміщення, що викликає збої в роботі радіоелектронного обладнання, розташованого всередині замкнутого простору.

Таким чином, імпульсні завади, що виникають під впливом зовнішніх електромагнітних імпульсів, є істотною загрозою для електронного радіотехнічного і електромеханічного обладнання. У зв'язку з цим виникає необхідність в отриманні інформації про рівні завад, що створюються непрямым розрядом блискавки. Тому актуальною стає розробка методики оцінки рівня стійкості електронного обладнання, розташованого в замкнутому просторі.

**Метою статті** є створення методики оцінки стійкості електронного обладнання, розташованого у замкнутому просторі, для її використання на ранніх стадіях проектування об'єктів.

Серед джерел виникнення зовнішніх електронних імпульсів найбільш небезпечним є електромагнітний імпульс віддаленого розряду блискавки (рис. 1). У цьому випадку основним каналом проникнення енергії зовнішніх електромагнітних імпульсів в екрановані приміщення є кабелі та інші електропровідні елементи.

Магнітні поля близьких розрядів блискавки індують у внутрішньосистемних замкнутих і напівзамкнутих контурах будівель і споруд, утворених з

різних протяжних металевих предметів (трубопроводів, електричних проводок та ін.) кондуктивні завади (рис. 2). У незамкнених контурах, в контурах, контакти яких недостатньо надійні в місцях з'єднання або в місцях зближення окремих елементів контуру один з одним, кондуктивні завади викликають вихід з ладу обладнання, що розташоване всередині приміщень та під'єдане до проводових ліній зв'язку та електромереж [1].

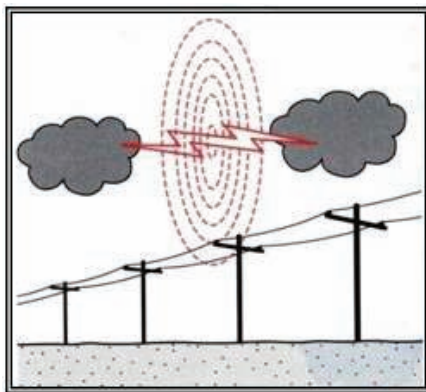


Рисунок 1 – Віддалений розряд блискавки

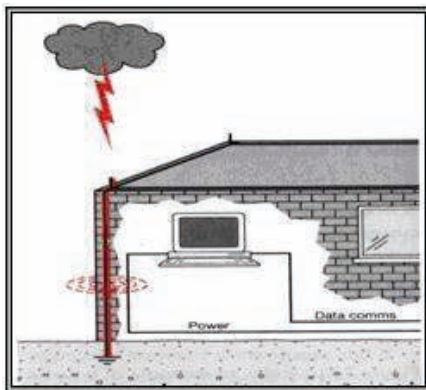


Рисунок 2 – Електромагнітний вплив висотного розряду блискавки на внутрішньосистемні контури будівель і споруд

У зв'язку з цим був проведений експеримент по стійкості елементної бази до впливу кондуктивних завад, в ході якого виявлено, що транзистор виходить з ладу при величині завад 10-65 В.

Для мікросхем результати експерименту наведені в табл. 1. Основною причиною їх відмов при впливі кондуктивних завад є прожог металізації (рис. 3).

Екранування мікросхем не захищає їх від впливу електромагнітного поля, оскільки додаткові напруги прикладаються від зовнішніх елементів і ланцюгів

до виводів мікросхеми, а саме до контактних площадок кристала і інших мікроструктурних елементів. При наявності захисту від електростатичного розряду розміри кристала впливають на стійкість мікросхем. Таким чином, для підвищення стійкості радіоапаратури слід використовувати мікросхеми з невеликими геометричними розмірами кристалів і додатковим захистом в місцях кріплення мікросхем.

Таблиця 1 – Значення критичної і порогової енергії пошкодження мікросхем

Тип мікросхем	Енергія пошкодження, Дж	
	критична при $\tau_{и} \leq 0,1$ мкс	порогова, при $\tau_{и} = 50$ мкс
Інтегральні мікросхеми	$(8...10) 10^{-7}$	$(3...6) 10^{-6}$
Логічні мікросхеми	$(1...5) 10^{-7}$	$(1...4) 10^{-6}$

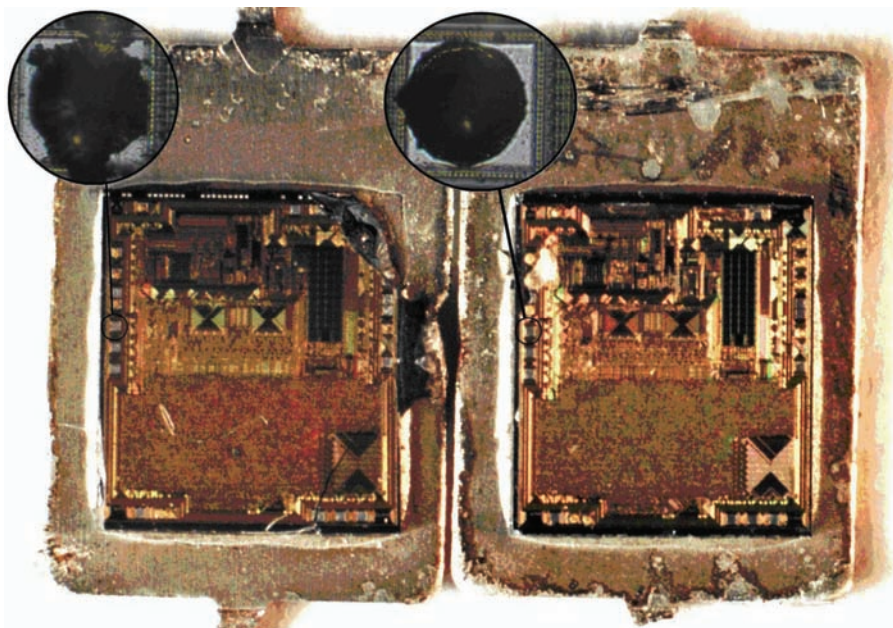


Рисунок 3 – Прожог металізації мікросхеми

Резистори щодо більш стійкі до дії імпульсних завад, ніж інші елементи. Для коротких імпульсів основний механізм пошкодження - це виникнення пробую поза або всередині приладу, що спричиняють зменшення пробивної напруги, зменшення опору і виходу резистора з ладу через перегорання його струмопровідного покриття. Для резисторів результати експерименту наведені в табл. 2.

Під час проведення досліджень було виявлено, що величина 10 В є найменшим з можливих значень напруги пробую для елемента, який може знахо-

дитися на вході пристрою. Оскільки априорі не відомо, який елемент знаходиться на вході, доцільно проводити розрахунки, відштовхуючись від даної величини [2].

Таблиця 2 – Гранично допустимі параметри електромагнітної стійкості резисторів

Тип резистора	Номінальна потужність, Вт	Межі опору, Ом	Гранично допустимі параметри при $\tau_{\text{н}} = 50 \text{ мкс}$	
			Імпульсна електрична стійкість, кВ	Порогова енергія пошкодження, Дж
Дротові	2	$50 \dots 3 \cdot 10^3$	8...20	30...3
	3	$200 \dots 3 \cdot 10^3$	12...16	20...2
	5	$50 \dots 1,2 \cdot 10^3$	10...30	50...1
	10	$50 \dots 7 \cdot 10^3$	10...50	100...1
Плівкові металізовані	0,125	$100 \dots 1,1 \cdot 10^3$	0,2...1,25	$(7,5 \dots 5) \cdot 10^{-2}$
	0,25	$100 \dots 5 \cdot 10^4$	0,15...1,75	$(4 \dots 1) \cdot 10^{-2}$
	0,5	$100 \dots 9,09 \cdot 10^4$	0,4...2,0	$(1 \dots 0,1) \cdot 10^{-4}$
	1,0	$200 \dots 3 \cdot 10^6$	0,2...3,2	$(3 \dots 0,1) \cdot 10^{-4}$
	2,0	$100 \dots 5 \cdot 10^6$	0,3...5,0	$(10 \dots 0,2) \cdot 10^{-4}$
Вуглецеві композиційні	0,25	$51 \dots 1,2 \cdot 10^6$	0,2...2,0	$(4 \dots 0,5) \cdot 10^{-2}$
	0,5	$51 \dots 1 \cdot 10^6$	0,2...2,4	$(1 \dots 0,2) \cdot 10^{-2}$
	1,0	$51 \dots 1,1 \cdot 10^6$	0,1...1,8	$(10 \dots 1) \cdot 10^{-1}$

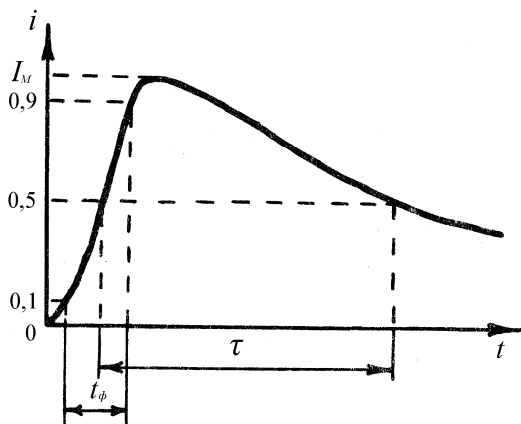

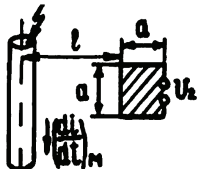
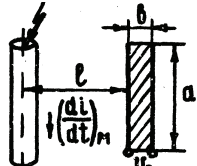
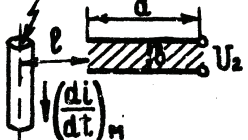
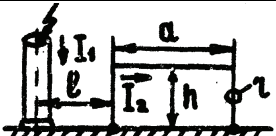
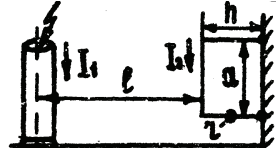
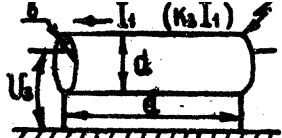


Рисунок 4 – Параметри струму розряду блискавки

Розряд блискавки над поверхнею суші характеризується наступними параметрами (рис. 4):

- максимальний струм в каналі розряду блискавки  $I_M = 80 \dots 200 \text{ кА}$ ;
- час наростання  $t_\phi = 1 \text{ мкс}$  (по рівню  $0,1 \dots 0,9 I_M$ );

Таблиця 3 – Імпульсні напруги, що наводяться розрядом блискавки

Взаємне розташування провідників	Формули для визначення значення напруги
	$U_1 = k_1 \left( \frac{di}{dt} \right)_M$
	$U_2 = k_2 \left( \frac{di}{dt} \right)_M$
	$U_2 = k_2 a \left( \frac{di}{dt} \right)_M$
	$U_2 = k_2 b \left( \frac{di}{dt} \right)_M$
	$U_2 = \frac{k_3}{a} I_{1M} R_{ex}$
	$U_2 = k_3 I_{1M} R_{ex}$
	$U_3 = k_4 a I_{1M}$ $U_3 = k_3 k_4 a I_{1M}$

- тривалість імпульсу  $\tau = 50$  мкс (по рівню  $0,5 I_M$ );
- максимальна швидкість наростання струму  $(di/dt)_{\max} = 80 \dots 100$  кА/мкс.

При розрядах блискавки над морською поверхнею швидкість наростання струму в 3-10 разів більше, а час наростання  $t$  зменшується до 90 нс.

Про протіканні по провіднику струму блискавки максимальну величину імпульсної напруги в обладнанні, розташованому поблизу даного провідника, можна визначити, знаючи величину взаємної індуктивності обладнання і проволу зі струмом блискавки [3]:

$$U = IM(di/dt)_M.$$

Проведена класифікація взаємного розташування каналу розряду блискавки та типового формалізованого радіоелектронного обладнання, на основі якої розроблена методика оцінки стійкості радіоелектронного обладнання, розташованого у замкнутому просторі (табл. 3).

На основі представлених в табл. 1 розрахункових залежностей була розроблена база даних для системи підтримки прийняття рішень для оцінки стійкості електронного обладнання, розташованого у замкнутому просторі. Структурна схема розробленої системи наведена на рис. 5.



Рисунок 5 – Структурна схема системи підтримки прийняття рішень

**Висновки.** Розроблена методика оцінки електромагнітної стійкості радіоелектронного обладнання, розташованого у замкнутому просторі, дозволила на ранніх стадіях проектування об'єктів здійснювати розрахунки кондуктивних завод.

**Список літератури:** 1. Юман М.А. Молния. – М.: Мир, 1972. – 327 с. 2. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001. – 319 с. 3. Кравченко В.И. Молния. Электромагнитные факторы и их поражающее воздействие на технические средства. – Харьков: НТМТ, 2010. – 292 с.

Надійшла до редколегії 31.03.2011.