

**МЕТОДИКА ВІДБОРУ ПАР “ДЖЕРЕЛО ЗАВАД – РЕЦЕПТОР ЗА-
ВАД”
З УРАХУВАННЯМ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ ЗАВАД ПРИ ЇХ ПОШИ-
РЕННІ
ДЛЯ КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**

А.В. Гнатов

(подав д.т.н., проф. Б.Ф. Самойленко)

В статті представлена методика відбору пар “джерело завад – рецептор завад”, наведено математичний апарат для здійснення цього відбору. Запропоновані формули для розрахунку втрат потужності завади при прямуюванні від джерела до рецептора завад.

Постановка проблеми. Питання забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) настільки важливе, що щорічно по ньому скликаються міжнародні симпозиуми [1]. На цей час вже зібрано чимало матеріалів по проблемі ЕМС, але ще багато питань залишаються нерозкритими. Особливо це стосується методики забезпечення ЕМС, а саме визначення основних рецепторів та джерел завад, що являється однією з головних задач в проблемі ЕМС. Тобто на цей час ще не існує ні методики забезпечення ЕМС, ні методики відбору пар “джерело завади – рецептор завади” (ДЗ – РЗ) для комплексу (системи) електротехнічних засобів (ЕТЗ). Подальший розвиток науки й техніки приводить до появи нових технічних засобів і, як наслідок, задачі забезпечення ЕМС стають все більш актуальними.

Аналіз літератури. Серед літератури і держстандартів, які присвячені питанню забезпечення ЕМС [2], нажаль, ще не існує детальної класифікації електромагнітних завад (ЕМЗ), не має навіть методики розрахунку ЕМС. Майже вся література й держстанданти (більшість із яких носить рекомендаційний характер) присвячені загальним питанням у галузі ЕМС. В них відображений тільки порядок і деякі правила забезпечення ЕМС [3]. Можна сказати, що весь накопичений матеріал стосовно проблеми ЕМС носить загальний характер, а питання практики забезпечення ЕМС та визначення основних ДЗ – РЗ практично не вирішені.

Мета статі. Ця стаття присвячена розробці методики визначення

основних ДЗ – РЗ для складних електротехнічних комплексів (систем) з урахуванням втрат потужності ЕМЗ при їх поширенні.

Визначення смуг частот та оцінка основних ДЗ і РЗ. В дійсності причиною багатьох ЕМЗ являється вплив випромінювання ДЗ поза робочою смугою частот, який попадає в робочу смугу частот РЗ, або наявність у РЗ побічних каналів, які сприймають заваду, утворену ДЗ в його робочій смузі. При визначенні ЕМЗ слід використовувати попередньо відомі дані або визначити їх за допомогою вимірювань. Якщо такі дані відсутні, то можна використати математичні моделі, що розроблені для ДЗ і РЗ, які близькі до реальних [4]. Інколи можна спрогнозувати побічні смуги частот. Однак, якщо різниця основних частот ДЗ і РЗ перевищує одну декаду (помилки у визначенні рівнів можуть складати 30 – 50 дБ), це не гарантує вірогідність прогнозу, оскільки можливе виникнення паразитних резонансів і гармонік вищих порядків.

Метою оцінки основних джерел і рецепторів завад є відбір декілька найбільш імовірних пар ДЗ – РЗ, а потім лише для них прогнозують наявність ЕМЗ. Такий метод найбільш зручний. Процес відбору заключається у складанні матриці всіх комбінацій ДЗ – РЗ. Потім відбираються пари за амплітудою і відбираються пари за частотою. Далі проводиться оцінка втрат потужності ЕМЗ випромінювання при їх розповсюдженні.

Складання матриці комбінацій ДЗ – РЗ. Складання матриці (табл. 1) включає наступні записи: всіх можливих ДЗ в перший рядок матриці; всіх можливих РЗ в лівий стовпець матриці; різниць рівнів ДЗ і РЗ без урахування смуг частот до стовпців матриці.

Таблиця 1

Різниця в потужності ДЗ і чутливості РЗ, дБ·м

| Можливі РЗ | Можливі ДЗ | | | | | |
|------------|------------|----------|----------|----------|-----|----------|
| | ДЗ – 1 | ДЗ – 2 | ДЗ – 3 | ДЗ – 4 | ... | ДЗ – N |
| РЗ – 1 | a_{11} | a_{12} | a_{13} | a_{14} | ... | a_{1n} |
| РЗ – 2 | a_{21} | a_{22} | a_{23} | a_{24} | ... | a_{2n} |
| РЗ – 3 | a_{31} | a_{32} | a_{33} | a_{33} | ... | a_{1n} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| РЗ – N | a_{n1} | a_{n2} | a_{n3} | a_{n4} | ... | a_{nn} |

В матрицю не заносяться дані про передавачі і приймачі, які призначені для сумісної роботи. В результаті отримуємо матрицю різниць в потужності ДЗ і чутливості РЗ, загальний вигляд якої представлений в табл. 1.

Відбір за амплітудою. Для кожної з пар ДЗ – РЗ імовірні такі комбінації.
1. Завада в основній смузі частот ДЗ і РЗ . Діапазон частот випромін-

нювання ДЗ повністю перекриває діапазон РЗ. Якщо перекриття існує, то до верхньої лівої частини відповідного квадрату табл. 2 записують поправку 0 дБ, до нижньої частини того ж квадрату записують дані з табл. 1.

2, 3. Основні випромінювання ДЗ попадають в побічні канали прийому РЗ і побічне випромінювання ДЗ – в основний канал РЗ. При цьому необхідно визначити, чи існує для кожної пари табл. 1 перекриття за частотою в межах однієї декади від граничних частот ДЗ і РЗ. Якщо рознос частот не перевищує однієї декади, то до верхньої лівої частини відповідного квадрату табл. 2 записується поправка – 60 дБ, до нижньої лівої частини записуються дані з табл. 1 із урахуванням поправки (– 60 дБ).

Таблиця 2

Поправка і результуючий рівень НЕМЗ, дБ

| Можливі РЗ | Можливі ДЗ | | | | | |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----|-----------------------|
| | ДЗ – 1 | ДЗ – 2 | ДЗ – 3 | ДЗ – 4 | ... | ДЗ – N |
| РЗ – 1 | –X В ₁₁ | –X В ₁₂ | –X В ₁₃ | –X В ₁₄ | ... | –X В _{1n} |
| РЗ – 2 | –X В ₂₁ | –X В ₂₂ | –X В ₂₃ | –X В ₂₄ | ... | –X В _{2n} |
| РЗ – 3 | –X В ₃₁ | –X В ₃₂ | –X В ₃₃ | –X В ₃₄ | ... | –X В _{3n} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| РЗ – N | –X В _{n1} | –X В _{n2} | –X В _{n3} | –X В _{n4} | ... | –X В _{nn} |

4. Побічне випромінювання ДЗ попадає в побічний канал прийому РЗ. В цьому випадку для урахування перекриття за частотою смуга ДЗ повинна бути відсунена відносно смуги РЗ на 1 – 2 декади. При відсутності перекриття до верхньої лівої частини відповідного квадрату табл. 2 записується поправка – 120 дБ, а в нижню праву записуються дані з табл. 1 із урахуванням поправки (– 120 дБ).

5. Завади, які випромінюють джерела потужних полів, електромагнітних імпульсів та ін. Якщо при цьому смуги частот ДЗ і РЗ змішені одна відносно однієї більше, чим на 2 декади, то до табл. 2 вноситься поправка (– 150 дБ).

В результаті отримуємо матрицю поправок і результуючий рівень ЕМЗ

$$B_{nn} = a_{nn} - x, \quad (1)$$

де $x = 0$, або 60, або 120, або 150 дБ, в залежності від комбінацій.

Відбір за амплітудою дозволить зменшити кількість можливих пар ДЗ – РЗ. При цьому також будуть зменшені рівні завад для пар, які залишились.

Відбір за частотою. Наступним етапом в процесі відбору є пода-

льше зменшення пар ДЗ – РЗ з урахуванням двох можливих випадків:

- 1) розбіжність між ДЗ і РЗ відсутня (їх смуги суттєво перекриваються);
- 2) розбіжність між ДЗ і РЗ значна, і тому в смугу РЗ попадає невелика частина потужності, яка випромінюється ДЗ.

При відборі пар ДЗ – РЗ за частотою складається матриця (табл. 3).

У випадку 1 смуга частот РЗ може бути:

– більша смуги ДЗ або дорівнює їй ($B_R = B_T$); поправку вносити не потрібно;

– менша смуги ДЗ ($B_R < B_T$); РЗ сприймає тільки частину потужності, яка випромінюється, що враховується поправкою по смугі. Ця поправка для $\Delta f = 0$ залежить від співвідношення смуг

$$Y (\Delta f = 0) = k \lg (B_R/B_T), \text{ дБ} \quad (2)$$

де B_R і B_T – смуги частот РЗ і ДЗ по рівню 3 дБ, Гц; k – постійна для цієї пари ДЗ – РЗ [6].

Отримані результати поправок Y заносяться до табл. 3 у верхню частину відповідного квадрату, а до нижньої частини того ж квадрату записується рівень завади (c_{nn}) з урахуванням поправки. Відбір за частотою дозволяє відібрати ще декілька пар ДЗ – РЗ, а для тих, що залишились, зменшити рівень завод.

Таблиця 3

Поправка і сумарний рівень НЕМЗ, Дб

| Можливі РЗ | Можливі ДЗ | | | | | |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|
| | ДЗ – 1 | ДЗ – 2 | ДЗ – 3 | ДЗ – 4 | ... | ДЗ – N |
| РЗ – 1 | – Y c_{11} | – Y c_{12} | – Y c_{13} | – Y c_{14} | ... | – Y c_{1n} |
| РЗ – 2 | – Y c_{21} | – Y c_{22} | – Y c_{23} | – Y c_{24} | ... | – Y c_{2n} |
| РЗ – 3 | – Y c_{31} | – Y c_{32} | – Y c_{33} | – Y c_{34} | ... | – Y c_{3n} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| РЗ – N | – Y c_{n1} | – Y c_{n2} | – Y c_{n3} | – Y c_{n4} | ... | – Y c_{nn} |

Врахування втрат при поширенні ЕМЗ (перехідного загасання). На попередніх етапах відбору не враховувався вплив просторової ізоляції для відібраних пар ДЗ – РЗ. При цьому передбачалось, що перехідне загасання між ДЗ і РЗ відсутнє, а це не відповідає дійсності [5]. На цьому етапі з початку визначають просторове розташування пар ДЗ – РЗ, а також розташування стін, блоків, відсіків, перегородок, монтажних жмутів, кабелів та ін. Потім виявляють шляхи розповсюдження ЕМЗ для кожної з пар, які залишились. Поле випромінювання завади може бути

ближнім і дальнім. В процесі відбору враховуються також і дальні поля, які в меншій мірі здатні до зміни.

Після визначення величин втрат проводяться розрахунки рівнів завад (вноситься поправка величини втрати) для кожної пари ДЗ – РЗ (табл. 4).

В табл. 4 наведені формули для врахування втрат при розповсюдженні ЕМЗ [5], в яких λ_R – довжина хвилі, яка відповідає найвищій частоті прийому рецептора; d_{ER} – відстань від випромінювача (антени, блока або проводів); A_B – площа поверхні блока РЗ, яка повернута до РЗ (антени, блока або проводів); K – мінімальна ефективність екранування металевого блока, дБ; $K = 10$ або 40 дБ при впливі магнітного і електричного поля (або електромагнітного) відповідно; $a = 2$ при зв'язку між металевими блоками; $a = 1$ якщо випромінювач не є блоком; l_R – довжина кабелю (проводу), який являється РЗ; ω_R – відношення вихідних і вхідних проводів, які являються РЗ.

Таблиця 4

Формули для врахування втрат

| Рецептор завади | Формули для врахування втрат при поширенні ЕМЗ | | |
|-----------------|--|------|------------------|
| | Джерело завади | | |
| | Антенa | Блок | Провід |
| Антенa | $20 \lg (\lambda_R / 4\pi d_{ER})$ | | |
| Блок | $10 \lg (A_B / 4\pi d_{ER}^2) + aK$ | | |
| Провід | $10 \lg \left(\frac{l_R \omega_R}{4\pi d_{ER}^2} \right)$ | | Графік на рис. 1 |

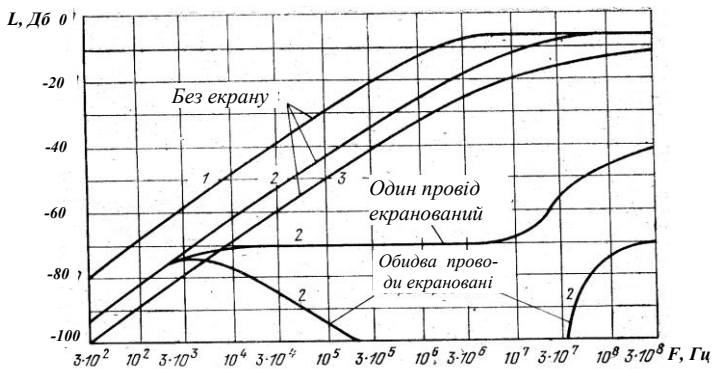


Рис. 1. Втрати при розповсюдженні ЕМЗ для пари паралельних проводів ($R = 50$ Ом):

- 1) $l = 10$ м, $d = 1$ см або $l = 1$ м, $d = 1$ мм;

- 2) $l = 2,2 \text{ м}, d = 1 \text{ см};$
- 3) $l = 1 \text{ м}, d = 1 \text{ см}$ або $l = 0,1 \text{ м}, d = 1 \text{ мм};$

для інших l, d, R крива 3 проведена з врахуванням поправки – 20 lg (50 // dR)

Врахування втрат потужності ЕМЗ при їх розповсюдженні дозволяють зменшити кількість імовірних пар ДЗ – РЗ до найменшого значення, а критеріями відбору являються нормативні документи.

Виходячи з викладеного матеріалу, пропонується наступна методика визначення та відбору основних пар ДЗ – РЗ для складних електротехнічних комплексів (систем) з урахуванням втрат потужності ЕМЗ при їх поширенні:

1. Складається матриця всіх комбінацій ДЗ – РЗ, причому до матриці заносяться відомості про рівні завад і чутливості рецепторів в незалежності від їх діапазону частот.

2. Відбираються пари ДЗ – РЗ за амплітудою (відбір являється неточним, так як при цьому не враховуються частоти);

3. Відбираються пари ДЗ – РЗ за частотою, при цьому враховуються рівні завад в основній і побічній смузі частот.

4. Відбір пар ДЗ – РЗ з урахуванням втрат потужності ЕМЗ випромінювання при їх поширенні.

Висновки. Запропонована методика відбору пар ДЗ – РЗ на комплексі ЕТЗ дозволяє оцінити рівень ЕМЗ, не застосовуючи вимірювальну техніку та визначити основні ДЗ і РЗ, для яких необхідно прийняти відповідні міри захисту. На основі отриманої методики можна визначити (спрогнозувати) ЕМС будь-якого комплексу ЕТЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аполонский С.М., Вилесов Д.В. ЭМС в системах электроснабжения // Электричество. – 1991. – № 4. – С. 91 – 93.
2. Бадалов А.Л., Михайлов А.С. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС. – М.: Радио и связь, 1990. – 216 с.
3. Самойленко Б.Ф., Гнатов А.В. та ін. Проблеми забезпечення ЕМС при розробці та виготовленні вимірювальної та РЕТ для різноманітних комплексів озброєння // Вісник НТУ “ХПІ”. – Х.:НТУ “ХПІ”. – 2002. – № 7. – С. 148 – 153.
4. Кравченко В.І., Болотов Е.А., Летунова Н.И. РЭС и мощные электромагнитные помехи. – М.: Радио и связь, 1987. – 284 с.
5. Дональд Р. Ж. Уайт Электромагнитная совместимость РЭС и непреднамеренные помехи. – М.: Сов. радио, 1978. – В. 2. – 270 с.

Надійшла 5.05.2003

ГНАТОВ Андрій Вікторович, ад'юнкт очної ад'юнктури Харківського військового

університету. В 1998 році закінчив Харківський військовий університет. Область наукових інтересів – електромагнітна сумісність електротехнічних засобів.