

УДК 621.391

А.В. Шишацький

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, Київ

МЕТОДИКА ВИБОРУ РОБОЧИХ ЧАСТОТ В СКЛАДНІЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІЙ ОБСТАНОВЦІ

У статті наведена методика вибору робочих частот, для роботи засобів зв'язку в складній електромагнітній обстановці, що обумовлена взаємними завадами та впливом навмисних завад. Зазначену методику доцільно використовувати при дефіциті радіочастотного ресурсу та активному радіоелектронному подавленні.

Ключові слова: радіозавади, комбінаційні завади, радіоелектронне подавлення, навмисні завади.

Вступ

У роботах [1, 2] проведено розробку методик вибору робочих та резервних частот для передавачів, що працюють в умовах активного радіоелектронного подавлення з застосуванням різноманітних типів навмисних завад та різній стратегії комплексів радіоелектронного подавлення. Проте, передавачі можуть утворювати ненавмисні завади приймачам що розміщені поблизу.

Ненавмисні завади від передавачів як правило проникають до індикатору приймача через комбінаційні канали прийому, що формуються в першому змішувачі приймача [3, 4]. Для боротьби з такими завадами використовують взаємне екранування передавачів та приймачів, що поєднане з надійною частотною фільтрацією сигналів у високочастотних (ВЧ) трактах або вирішується задача оптимізації вибору робочих частот приймача та передавача. Також хотілося б відмітити те, що оптимізація вибору робочих частот забезпечує найбільш високу ефективність в боротьбі з ненавмисними завадами при найменших матеріальних витратах.

Виникає актуальне наукове завдання, яке полягає у необхідності врахуванні взаємного впливу передавачів один на одного.

Тому *метою статті* є розробка методики вибору робочих частот для засобів зв'язку, що працюють в складній електромагнітній обстановці та дефіциті радіочастотного ресурсу, з метою забезпечення електромагнітної сумісності та підвищення ефективності використанні наявного радіочастотного ресурсу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для обґрунтування вибору робочих частот засобів зв'язку, при яких не створюються недопустимі завади прийому радіосигналів, нижче розглянуто взаємодію на першому змішувачі приймача першого

гетеродина та гармонік п'яти зовнішніх завад, що надходять від сусідніх передавачів, які працюють на частотах $f_{п1} \div f_{п5}$ (рис. 1).

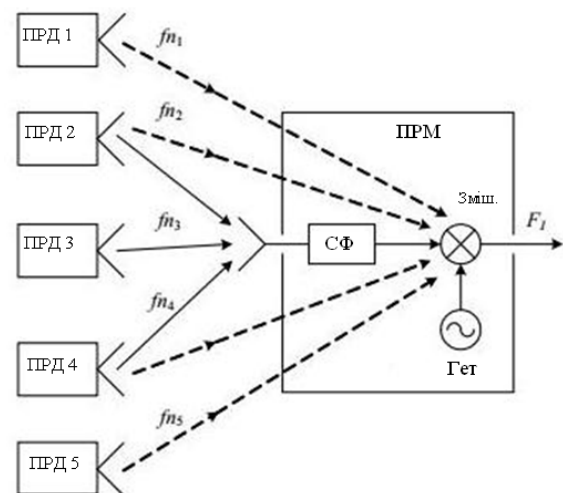


Рис. 1. Схема проникнення завад від передавачів в приймач (Зміш. – перший змішувач, Гет – перший гетеродин, СФ – смуговий фільтр, F_1 – перша проміжна частота)

Завади, що проникають до індикатору приймача через комбінаційні канали прийому, які утворилися в результаті взаємодії в першому змішувачі гармонік корисного сигналу f_c з гармоніками зовнішніх завадових сигналів f_3 , не розглядаються, оскільки рівень таких завад в індикаторі завад значно менше рівня корисного сигналу, що приймається через основний канал прийому. Якщо накласти обмеження, $f_c > F_1 < f_{п1}$, $f_{п2} > F_1 < f_{п3}$, $f_{п4} > F_1 < f_{п5}$, а також позначити як "n" та "p" номери взаємодіючих у змішувачі гармонік першого гетеродина та гармонік сигналів передавача відповідно, то з самих загальних міркувань [3-5] умови для утворення комбінаційних каналів прийому можна записати у вигляді системи рівнянь, що наведені нижче.

При прийомі однієї завади:

1. $p_1 f_{n1} - n f_r = \pm F_1$
2. $p_2 f_{n2} - n f_r = \pm F_1$
3. $p_3 f_{n3} - n f_r = \pm F_1$
4. $p_4 f_{n4} - n f_r = \pm F_1$
5. $p_5 f_{n5} - n f_r = \pm F_1$

При прийомі двох завад:

6. $p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} = \pm F_1$
- 6a. $|p_1 f_{n1} \pm p_2 f_{n2}| - n f_r = \pm F_1$
7. $p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} = \pm F_1$
- 7a. $|p_1 f_{n1} \pm p_3 f_{n3}| - n f_r = \pm F_1$
8. $p_1 f_{n1} - p_4 f_{n4} = \pm F_1$
- 8a. $|p_1 f_{n1} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$
9. $p_1 f_{n1} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$
- 9a. $|p_1 f_{n1} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$
10. $p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} = \pm F_1$
- 10a. $|p_2 f_{n2} \pm p_3 f_{n3}| - n f_r = \pm F_1$
11. $p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} = \pm F_1$
- 11a. $|p_2 f_{n2} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$
12. $p_2 f_{n2} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$
- 12a. $|p_2 f_{n2} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$
13. $p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} = \pm F_1$
- 13a. $|p_3 f_{n3} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$
14. $p_3 f_{n3} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$
- 14a. $|p_3 f_{n3} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$
15. $p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$
- 15a. $|p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$

При прийомі трьох завад:

16. $p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} \pm p_3 f_{n3} = \pm F_1$
- 16a. $|p_1 f_{n1} \pm p_2 f_{n2} \pm p_3 f_{n3}| - n f_r = \pm F_1$
17. $p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} = \pm F_1$
- 17a. $|p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} \pm p_3 f_{n3}| - n f_r = \pm F_1$
18. $p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} \pm p_4 f_{n4} = \pm F_1$
- 18a. $|p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$
19. $p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} = \pm F_1$
- 19a. $|p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$
20. $p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} \pm p_5 f_{n5} = \pm F_1$
- 20a. $|p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$
21. $p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$
- 21a. $|p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$
22. $p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} \pm p_4 f_{n4} = \pm F_1$
- 22a. $|p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$
23. $p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} = \pm F_1$
- 23a. $|p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$
24. $p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} \pm p_5 f_{n5} = \pm F_1$
- 24a. $|p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$
25. $p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$
- 25a. $|p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$
26. $p_1 f_{n1} - p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5} = \pm F_1$

$$26a. |p_1 f_{n1} - p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$27. p_1 f_{n1} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$27a. |p_1 f_{n1} + p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$28. p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} \pm p_4 f_{n4} = \pm F_1$$

$$28a. |p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$$

$$29. p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} = \pm F_1$$

$$29a. |p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$$

$$30. p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} \pm p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$30a. |p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$31. p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$31a. |p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$32. p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$32a. |p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$33. p_2 f_{n2} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$33a. |p_2 f_{n2} + p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$34. p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$34a. |p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$35. p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$35a. |p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

При прийомі чотирьох завад:

$$36. p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} = \pm F_1$$

$$36a. \pm |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$$

$$37. p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} = \pm F_1$$

$$37a. |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$$

$$38. p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} = \pm F_1$$

$$38a. |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$$

$$39. p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} = \pm F_1$$

$$39a. |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} \pm p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$$

$$40. p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} = \pm F_1$$

$$40a. |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$$

$$41. p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} = \pm F_1$$

$$41a. |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$$

$$42. p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} = \pm F_1$$

$$42a. |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4}| - n f_r = \pm F_1$$

$$43. p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$43a. |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$44a. p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$45. |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$45a. p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$46. |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$46a. p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$47. |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} \pm p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$47a. p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$48. p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$48a. |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$49. p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$49a. |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_5 f_{n5}| - n f_r = \pm F_1$$

$$50. p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1$$

$$\begin{aligned}
50a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
51. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
51a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
52. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
52a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
53. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
53a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
54. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
54a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
55. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
55a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
56. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
56a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
57. & p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
57a. & |p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
58. & p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
58a. & |p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
59. & p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
59a. & |p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
60. & p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
60a. & |p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
61. & p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
61a. & |p_1 f_{n1} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
62. & p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
62a. & |p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
63. & p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
63a. & |p_1 f_{n1} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
64. & p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
64a. & |p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
65. & p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
65a. & |p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
66. & p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
66a. & |p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
67. & p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
67a. & |p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
68. & p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
68a. & |p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
69. & p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
69a. & |p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
70. & p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
70a. & |p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
\end{aligned}$$

При прийманні п'яти завод:

$$\begin{aligned}
71. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
71a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} \pm p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
72. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
72a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
73. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
73a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
74. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
74a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
75. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
75a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
76. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
76a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
77. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
77a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
78. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
78a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
79. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
79a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
80. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
80a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
81. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
81a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} - p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
82. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
82a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
83. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
83a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} - p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
84. & p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
84a. & |p_1 f_{n1} - p_2 f_{n2} + p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1 \\
85. & p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5} = \pm F_1 \\
85a. & |p_1 f_{n1} + p_2 f_{n2} - p_3 f_{n3} + p_4 f_{n4} + p_5 f_{n5}| - nf_r = \pm F_1
\end{aligned}$$

Аналіз цієї системи рівнянь дозволяє припустити наступну послідовність розрахунку уражених завадами частот на вході приймача та порядок вибору робочих частот передавача, при яких не створюються недопустимі завади для прийому сигналів:

1. З рівняння №1 визначається уражені частоти, на яких завади від передавача №1 можуть проникнути в приймач:

$$f_{n1}^* = 1/p \times (nf_r \pm F_1), \quad (1)$$

та призначається найбільш прийнятна частота передавачу №1, $f_{n1} \neq f_{n1}^*$.

2. З рівняння №2, 6 та 6а розраховуються уражені частоти, на яких завади від передавача №2 можуть проникнути в приймач:

$$\begin{aligned}
f_{n2}^* &= 1/p_2 \times (nf_r \pm F_1); \\
f_{n2}^* &= 1/p_2 \times (p_1 nf_{n1} \pm F_1); \quad (2)
\end{aligned}$$

$$f_{n2}^* = 1/p_2 \times |p_1 nf_{n1} \pm (nf_{n1} \pm F_1)|.$$

У вільному від завод інтервалі частот визначається робоча частота передавача №2, $f_{n2} \neq f_{n2}^*$.

3. З рівнянь №3, 7, 7а, 10, 10а, 16, 16а, 17, 17а розраховуються уражені частоти, на які завади від передавача №3 можуть проникати в приймач.

$$\begin{aligned}
f_{n3}^* &= 1/p_3 \times (nf_r \pm F_1); \\
f_{n3}^* &= 1/p_3 \times (p_1 f_{n1} \pm F_1); \\
f_{n3}^* &= 1/p_3 \times |p_1 f_{n1} - nf_r \pm F_1|;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{п3}^* &= 1/p_3 \times (p_2 f_{п2} \pm F_1); \\
 f_{п3}^* &= 1/p_3 \times |p_2 f_{п2} - n f_r \pm F_1|; \\
 f_{п3}^* &= 1/p_3 \times |p_1 f_{п1} - p_2 f_{п2} \pm F_1|; \\
 f_{п3}^* &= 1/p_3 \times |p_1 f_{п1} - p_2 f_{п2} \pm (n f_r \pm F_1)|; \\
 f_{п3}^* &= 1/p_3 \times (p_1 f_{п1} + p_2 f_{п2} \pm F_1); \\
 f_{п3}^* &= 1/p_3 \times |p_1 f_{п1} + p_2 f_{п2} \pm (n f_r \pm F_1)|.
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

Робоча частота передавача №3 обирається у вільному від завад інтервалі $f_{п3} \neq f_{п3}^*$.

4. З рівнянь №4, 8, 8а, 11, 11а, 13, 13а, 18, 18а, 19, 19а, 22-23а, 28-29а, 36-42а розраховується уражені частоти $f_{п4}^*$, на яких в приймач може проникнути завада від передавача №4. Робоча частота обирається при $f_{п4} \neq f_{п4}^*$.

5. З рівнянь №5, 9, 9а, 12, 12а, 14-15а, 20-21а, 24-27а, 30-35а, 43-85а розраховуються уражені частоти $f_{п5}^*$ для передавача №5. Робоча частота обирається при $f_{п5} \neq f_{п5}^*$.

Якщо кількість одночасно працюючих передавачів, що здатні створювати заваду приймачу, більше п'яти, то система рівнянь, що наведена вище, повинна бути розширена. При наявності в системі зв'язку декількох приймачів, на які впливають завади від, розрахунки уражених частот $f_{п}^*$ необхідно виконувати для кожного приймача окремо та обирати робочі частоти передавачів, що не створюють завад ні одному з приймачів. Розрахунки були обмежені тільки аналізом найбільш уразливим до завад комбінаційних каналів прийому, що утворюються:

а) при впливі в змішувачі гармонік однієї завади та гармонік гетеродина:

$$p_1 + n \leq 8, p_2 + n \leq 8; p_3 + n \leq 8;$$

б) при впливі в змішувачі гармонік двох завад:

$$p_1 + p_1 \leq 7, p_1 + p_3 \leq 7; p_2 + p_3 \leq 7;$$

в) при впливі в змішувачі гармонік двох завад та гармонік гетеродина:

$$p_1 + p_2 + n \leq 6, p_1 + p_3 + n \leq 6; p_2 + p_3 + n \leq 6;$$

г) при впливі у змішувачі гармонік трьох завад:

$$p_1 + p_2 + p_3 \leq 5;$$

д) при впливі у змішувачі гармонік трьох завад та гармонік гетеродина:

$$p_1 + p_2 + p_3 + n \leq 4.$$

Висновки

В статті розроблена методика, що дозволяє врахувати взаємний вплив передавачів один на одного та розрахувати вільні від завад інтервали частот прийому при великій кількості різноманітних засобів випромінювання, що створюють завади. Значена методика дозволяє підвищити електромагнітну сумісність засобів зв'язку та підвищити ефективність використання радіочастотного ресурсу.

Було проведено аналітичне моделювання з використанням розробленої у статті методики, що показало підвищення електромагнітної сумісності засобів зв'язку на 13-17%.

Напрямок подальших досліджень є розробка удосконаленої методики вибору робочих частот для зі зменшеною обчислювальною складністю.

Список літератури

1. Шишацький А.В. Алгоритм вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад / А.В. Шишацький, В.В. Ольшанський, Р.М. Животовський // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2. – С. 62-66.

2. Шишацький А.В. Методика вибору резервних робочих частот в системах радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / А.В. Шишацький, О.В.Кувшинов // 12-та наук. конф. "Новітні технології - для захисту повітряного простору", тези доповідей, 13-14 квітня 2016 року. –Х.:ХУПС, – 2016. – С. 214.

3. Царьков Н.М. Электромагнитная совместимость РЭС и систем / Н.М. Царьков. – М.: Радио и связь, 1985.

4. Сивоконь И.П. Ограничение динамического диапазона радиоприёмника связи из-за влияния комбинационных каналов приёма / И.П. Сивоконь, А.И. Мушенко // Сб. науч. докл. IV Межд. симпозиума "ЭМС-2001" / Санкт-Петербургский электротехнический ун-т, 2001. – 428 с.

5. Сивоконь И.П. Ограничение динамического диапазона анализатора спектра из-за нелинейных процессов в смесителе / И.П. Сивоконь, С.А. Синельников // Измерительная техника. – 2008. – № 7. – С. 57-59.

Надійшла до редколегії 25.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.О. Романенко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.

МЕТОДИКА ВЫБОРА РАБОЧИХ ЧАСТОТ В СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКЕ

А.В. Шишацкий

В статье приведена методика выбора рабочих частот, для работы средств связи в сложной электромагнитной обстановке, обусловленная взаимными помехами и влиянием преднамеренных помех. Указанную методику целесообразно использовать при дефиците радиочастотного ресурса и активном радиоэлектронном подавлении.

Ключевые слова: радиопомехи, комбинационные помехи, радиоэлектронное подавление, умышленные помехи.

THE METHOD OF CHOOSING WORKING FREQUENCIES IN HARD ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT

A.V. Shishatskyi

In the article give method of choosing working frequencies for working communications in hard electromagnetic environment, due to the mutual interference and the influence of intentional interference. This method is useful when the shortage of radio frequency resource and active electronic suppression.

Keywords: radio interference matching the interference, electronic jamming, intentional interference.