

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ ПЕРЕДАЮЧОЇ СТАНЦІЇ НА ВУЗЛУ ЗВ'ЯЗКУ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

к.т.н. А.В. Гнатов
(подав д.т.н., проф. Б.Ф. Самойленко)

У статті на основі рядів Фур'є отримана математична модель електромагнітної обстановки передаючої станції на вузлу зв'язку Збройних Сил України. Поданий стислий огляд проблем контролю і діагностики складних технічних систем за електромагнітною обстановкою.

Постановка проблеми. На теперішній стан розвитку науки і техніки в Україні досить вагомим питанням стає контроль та технічна діагностика складних технічних комплексів та систем. В зв'язку з розвитком, модернізацією та удосконаленням техніки різноманітні технічні комплекси та системи набувають все нових, більш досконалих, технічних засобів. Але із зростанням кількості технічних засобів в системі зростає і ймовірність її відмови.

Це обумовлено ще тим, що значна кількість технічних комплексів відноситься до систем тривалого використання і відрізняються великою складністю, містять десятки і сотні тисяч елементів. Тому навіть при порівняно малій інтенсивності відмов елементів ($10^{-6} - 10^{-8}$ [1]) сумарна інтенсивність відмов систем може бути досить великою, що вимагає розробки і широкого впровадження засобів контролю, діагностування і відновлення.

Для цього необхідно спочатку визначитися із так званим, **інформаційним параметром**. В залежності від того, наскільки достовірно та точно буде знайдено його опис (математична модель), можна досить з великою деталізацією стверджувати, щодо "слабкого" місця (яке вийшло з ладу чи спричинило порушення роботи системи). Тобто, достовірно можна стверджувати про відмову конкретного технічного пристрою чи його блоку.

Тому отримання, а також побудова математичної моделі інформаційного параметру, є актуальною науково-технічною задачею, яка має важливе значення для подальшого розвитку науки і техніки.

Аналіз літератури і мета статті. Цей напрямок науки і техніки тільки починає свій розвиток. Тому більшість праць з цієї тематики носить загальний характер [2 – 4]. В останній час почали з'являтися роботи, в яких надаються вже й конкретні рекомендації і, навіть, деякі математичні

викладки [5]. Але ж, зазвичай, вони носять індивідуальний характер та не можуть бути узагальнені і застосовані на велику кількість технічних засобів. У статті отримана та описана узагальнена математична модель електромагнітної обстановки передаючої станції на вузлу зв'язку Збройних Сил України на основі рядів Фур'є, що має узагальнений характер.

1. Комплексна оцінка системи. Математичне дослідження системи має метою її аналіз і синтез. При цьому, під *аналізом* розуміємо дослідження процесів в системі при заданих (фіксованих) характеристиках цієї системи (структура і передаточні функції її ланок), а під *синтезом* – визначення оптимальних характеристик зовнішнього впливу, умов роботи системи і обмежень, які накладаються на систему.

В розглядаємому випадку маємо складну систему технічних засобів (ССТЗ), яка взята на базі вузла зв'язку військової частини Збройних Сил України (ЗСУ). При цьому відомі всі технічні параметри (початкові умови) технічних засобів, що входять до розглядаємої ССТЗ та їх електромагнітні властивості і характеристики. Тобто, якщо дослідити систему з метою її аналізу за електромагнітною обстановкою (ЕМО), будемо мати інтегральний аналіз ССТЗ в цілому за її електромагнітними властивостями і характеристиками [6].

Проаналізувавши систему, будемо мати конкретні дані, наприклад, інтенсивності випромінювання кожного технічного засобу, частоти випромінювання, значення як магнітної, так і електричної складової електромагнітних полів (завад), їх закони зміни та розподілення тощо.

Знаючи дані, які отримані завдяки аналізу системи, можна робити висновки щодо працездатності системи. Тобто можна сказати, що проведена технічна діагностика на базі аналізу ССТЗ дає конкретні результати, як системи в цілому, так і кожного технічного засобу щодо їх працездатності.

Цілком природно виникає питання, що робити, якщо результати, отримані завдяки проведеному контролю та діагностуванню, не співпали з номінальними, які визначають цілковиту працездатність системи. Відповідь на це питання необхідно шукати за допомогою методів математичних досліджень, які вказують на те, що необхідно провести детальний математичний аналіз отриманих результатів, щоб дізнатися, що саме спричинило виникнення порушень. Тому, якщо казати про технічну діагностику ССТЗ за її ЕМО, то під цим необхідно розуміти і математичний аналіз електромагнітних характеристик системи, бо без його проведення практично неможливо буде достовірно встановити дійсний стан справ в системі (працездатність як системи, так і її елементів, надійність тощо).

Але головне те, що завдяки проведеному аналізу ССТЗ можна, фактично, вийти на *інформаційний параметр*, і вже в залежності від його

конкретних значень, складається уява про дійсний стан справ в системі (вузлі, агрегаті, технічному засобі тощо). Тобто маючи інформаційний параметр і вдало оперуючи їм, можна, конкретно вказати:

- по-перше, на встановлені порушення;
- по-друге, на причини цих порушень;
- по-третє, відповідними діями привести систему до цілком працездатного стану.

Завдяки такій комплексній оцінці можна ще й спрогнозувати технічний стан як системи в цілому, так і кожного її технічного засобу.

Успіх аналізу системи за її електромагнітною обстановкою, крім властивостей самої системи, в значній мірі визначається тим, наскільки вдало вибрана математична модель (математичний опис) повідомлень, сигналів та завад, що діють в системі.

В зв'язку з тим, що зазначена тема досить об'ємна, при її розгляданні може виникнути безліч особистих випадків, тому пропонується лише стислий огляд математичного аналізу електромагнітної обстановки ССТЗ на основі рядів Фур'є.

2. Математична модель сигналів і завад. В сучасній техніці сигнали і завади описуються різними функціями, основним аргументом яких, зазвичай, виступає час. Тут доречно ввести деяку класифікацію. Якщо часовий аргумент змінюється безперервно, будемо казати про функції *безперервного часу*. Коли ж часовий аргумент є дискретним, то будемо розглядати *дискретні* функції.

Іншим важливим параметром класифікації є детермінований (точно заданий) або випадковий (який підпорядковується імовірним законам) характер зміни функції.

Детерміновані функції безперервного часу. Для більшої наочності застосування рядів Фур'є [7] при математичному моделюванні електромагнітних завад та корисних сигналів розглянемо передаючу станцію вузла зв'язку ЗСУ. Прослідкуємо її роботу у всіх штатних режимах передачі інформації. Тоді можна сказати, що досліджуєма функція $f_{\text{сиг}}(t_{\text{сиг}})$, яка відображує зміну корисного сигналу, та функція $\gamma_{\text{зав}}(t_{\text{зав}})$, яка відображує зміну електромагнітних завад, задані на кінцевому інтервалі. А за цих умов її можна розкласти в ряд Фур'є.

Взявши інтеграл на інтервалі $\left(-\frac{T}{2}; +\frac{T}{2}\right)$ отримаємо ряд

$$f_{\text{сиг}}(t_{\text{сиг}}) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{сиг}} + B_n \sin \frac{2\pi n}{T} t_{\text{сиг}} \right], \quad (1)$$

$$\text{де } A_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f_{\text{СИГ}}(t_{\text{СИГ}}) \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{СИГ}} dt \quad \text{та} \quad B_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f_{\text{СИГ}}(t_{\text{СИГ}}) \sin \frac{2\pi n}{T} t_{\text{СИГ}} dt -$$

коефіцієнти розкладання в ряд Фур'є функції зміни корисного сигналу;

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f_{\text{СИГ}}(t_{\text{СИГ}}) dt - \text{постійна складова корисного сигналу (відзна-$$

чимо, що A_0 , A_n , B_n – діючі коефіцієнти, амплітуди гармонік $\omega_0 = \frac{2\pi n}{T}$ корисного сигналу).

Також отримаємо ряд для функції зміни електромагнітних завад:

$$\gamma_{\text{зав}}(t_{\text{зав}}) = K_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[K_n \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{зав}} + C_n \sin \frac{2\pi n}{T} t_{\text{зав}} \right], \quad (2)$$

$$\text{де } K_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \gamma_{\text{завГ}}(t_{\text{зав}}) \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{зав}} dt \quad \text{та} \quad C_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \gamma_{\text{зав}}(t_{\text{зав}}) \sin \frac{2\pi n}{T} t_{\text{зав}} dt -$$

коефіцієнти розкладання в ряд Фур'є функції зміни електромагнітних завад;

$$K_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \gamma_{\text{зав}}(t_{\text{зав}}) dt - \text{постійна складова сигналу завади.}$$

Вирази (1) і (2) можна розглядати як математичну модель електромагнітної обстановки передаючої станції вузла зв'язку ЗСУ, на проміжку часу $\left(-\frac{T}{2}; +\frac{T}{2}\right)$ в конкретному режимі роботи.

В залежності від поставлених задач таких проміжків часу $\left(-\frac{T}{2}; +\frac{T}{2}\right)$ може бути декілька. Тоді для кожного такого інтервалу складається власна математична модель і маємо, відповідно, систему рядів Фур'є.

Для сигналу одержимо:

$$\begin{cases} f_{\text{сиг}1}(t_{\text{сиг}1}) = A_{01} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_{n1} \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{сиг}1} + B_{n1} \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{сиг}1} \right]; \\ \vdots \\ f_{\text{сиг}k}(t_{\text{сиг}k}) = A_{0k} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_{nk} \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{сиг}k} + B_{nk} \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{сиг}k} \right]. \end{cases} \quad (3)$$

Для завади одержимо:

$$\begin{cases} \gamma_{\text{зав}1}(t_{\text{зав}1}) = K_{01} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[K_{n1} \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{зав}1} + C_{n1} \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{зав}1} \right]; \\ \vdots \\ \gamma_{\text{зав}k}(t_{\text{зав}k}) = K_{0k} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[K_{nk} \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{зав}k} + C_{nk} \cos \frac{2\pi n}{T} t_{\text{зав}k} \right]. \end{cases} \quad (4)$$

Вирази (3) і (4) є математичною моделлю системи, представленої на основі рядів Фур'є за ЕМО передаючої станції вузла зв'язку ЗСУ в конкретному режимі роботи. Завдяки знайденій системі можна прослідкувати зміну всіх складових: як корисного сигналу, так і завод в усіх інтервалах часу цього режиму.

Аналогічно можна представити математичну модель за ЕМО роботи передаючої станції в інших режимах. Наприклад, перший режим – амплітудної модуляції; другий – частотної модуляції; третій – амплітудно-частотної модуляції.

Знайшовши та математично описавши моделі ЕМО режимів роботи передаючої станції, можна вивести і загальну математичну модель роботи станції в цілому:

$$\begin{pmatrix} f_{\text{сиг}11}(t_{\text{сиг}11}) & f_{\text{сиг}12}(t_{\text{сиг}12}) & \cdots & f_{\text{сиг}1k}(t_{\text{сиг}1k}) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ f_{\text{сиг}k1}(t_{\text{сиг}k1}) & f_{\text{сиг}k2}(t_{\text{сиг}k2}) & \cdots & f_{\text{сиг}kk}(t_{\text{сиг}kk}) \end{pmatrix}; \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} \gamma_{\text{сиг}11}(t_{\text{сиг}11}) & \gamma_{\text{сиг}12}(t_{\text{сиг}12}) & \cdots & \gamma_{\text{сиг}1k}(t_{\text{сиг}1k}) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \gamma_{\text{сиг}k1}(t_{\text{сиг}k1}) & \gamma_{\text{сиг}k2}(t_{\text{сиг}k2}) & \cdots & \gamma_{\text{сиг}kk}(t_{\text{сиг}kk}) \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Вираз (5) є матрицею корисних сигналів, де по строках відображені режими роботи передаючої станції, а по стовпцях – інтервали часу роботи цих режимів.

Відповідно вираз (6) – матриця електромагнітних завод з аналогічними виразу (5) позначеннями.

Висновок. Підсумувавши вирази (5) і (6) можна зазначити, що ці вирази є загальною математичною моделлю за ЕМО передаючої станції

на вузлу зв'язку ЗСУ, яка дозволяє провести детальний її аналіз та вийти на інформаційний параметр.

Слід зазначити ще один, не менш важливий, фактор: знайдену математичну модель ЕМО передаючої станції на основі рядів Фур'є можна застосовувати і на інших електротехнічних та радіотехнічних засобах вузла зв'язку ЗСУ. Вона не має жорсткої прив'язки до конкретних даних, конкретного інформаційного параметру. Тому її досить легко та зручно використати для опису ЕМО інших технічних засобів вузла зв'язку ЗСУ, але при цьому слід спочатку визначитись з цим інформаційним параметром, що нас цікавить. Тобто може змінитися сам фізичний сенс інформаційного параметру, а як наслідок, і самої функції $f_{\text{сиг}}(t_{\text{сиг}})$ і $\gamma_{\text{зав}}(t_{\text{зав}})$ (наприклад, розглядають не електричну та магнітну складову електромагнітного поля, а наводку від електромагнітних полів у провідних лініях зв'язку та електроживлення тощо).

ЛІТЕРАТУРА

1. Харченко В.С. Основы построения и проектирования АСУ техническим состоянием летательных комплексов. Часть 2. Введение в техническую диагностику систем летательных комплексов: Учебное пособие. – МО СССР, 1991. – 107 с.
2. Горяшко А.П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
3. Марченко В.С., Литвиненко В.Г., Кагановский С.А. Надійність та технічна діагностика. – Х.: МОУ, ХВУ, 1998. – 151 с.
4. Беннеттс Р.Дж. Проектирование тестопригодных логических схем. – М.: Радио и связь, 1990. – 176 с.
5. Согомонян Е.С., Слабаков Е.В. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. – М.: Радио и связь, 1989. – 208 с.
6. Гнатов А.В. Диагностика сложных систем комплексов технических средств по электромагнитной обстановке // Системы обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 10 (38). – С. 16 – 25.
7. Большаков И.А., Гутников Л.С., Левин Б.Р., Стратонович Р.Л. Математические основы современной радиоэлектроники. – М.: Сов. радио, 1968. – 205 с.

Надійшла 20.01.2005

ГНАТОВ Андрій Вікторович, канд. техн. наук, викладач кафедри Харківського університету Повітряних Сил. В 1998 році закінчив Харківський військовий університет. Область наукових досліджень – електромагнітна сумісність електротехнічних засобів.