УДК 517.518:004.421

ПЕРЕТВОРЕННЯ ГАРМОНІЧНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

М. Ю. Базишин
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: bazyshyn.m.y@gmail.com
Д. І. Родькін
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
вул. Політехнічна, 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: dimaro0210@gmail.com

Для апроксимації несинусоїдних сигналів струму й напруги та нелінійних залежностей в енергетичному методі доцільно використовувати тригонометричні ряди. При аналізі енергопроцесів стає необхідною низка математичних операцій над ними, а саме множення та ділення рядів, піднесення до ступеня як самих рядів, так і констант та інших апроксимуючих залежностей. Основною проблемою енергетичного методу є значна кількість елементів в апроксимуючих виразах, що ускладнює роботу при виконанні математичних операцій при складанні системи енергетичного балансу. Питання автоматизації однотипних математичних операцій в енергетичному методі знайшли частковий розв’язок, але активний розвиток цього методу не лишає це питання актуальності. Використання систем комп’ютерної алгебри з можливістю символьних обчислень знімає частину задач, але лишає значну долю ручної праці в процесі складання рівнянь системи енергетичного балансу. Тому для розробки системи автоматичної обробки інформації для енергетичного методу виникла потреба у створенні спеціалізованої системи комп’ютерної алгебри під потреби енергетичного методу. До одних з математичних операцій, що використовуються в енергетичному методі при обробці апроксимуючих виразів нелінійних елементів, належить добуток тригонометричних функцій із різними аргументами. Для знаходження результату добутку був розроблений алгоритм, який засновано на зберіганні інформації щодо типу функцій кількості множників та аргументів у спеціально зарезервованих комірках пам’яті як у числовому, так і символьному вигляді. Були проведені дослідження щодо розподілення знаків функцій та її аргументів після виконання операції добутку при використанні різних шляхів перетворення. На основі встановлених залежностей було розроблено алгоритм, який реалізовує знаходження добутку тригонометричних функцій косинуса та синуса з різними аргументами залежно від кількості добутків та типу функції. Розроблений алгоритм у кінцевому результаті дозволяє отримувати результат добутку n-ної кількості гармонічних функцій як із символьним наданням аргументів, так і числовим.

Ключові слова: добуток тригонометричних функцій, енергетичний метод, системи комп’ютерної алгебри.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ

М. Ю. Базышин
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: bazyshyn.m.y@gmail.com
Д. И. Родькин
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ул. Политехническая, 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: dimaro0210@gmail.com

Для аппроксимации несинусоидальных сигналов тока и напряжения и нелинейных зависимостей в энергетическом методе целесообразно использовать тригонометрические ряды. При анализе энергопроцессов становится необходимым ряд математических операций над ними, а именно умножение и деление рядов, возведение в степень как самих рядов, так и констант и других аппроксимирующих зависимостей. Основной проблемой энергетического метода является громоздкость аппроксимирующих выражений, что затрудняет работу при выполнении математических операций при составлении системы энергетического баланса. Вопросы автоматизации однотипных математических операций в энергетическом методе нашли частичное решение, но активное развитие этого метода введения новых математических конструкций не лишают этот вопрос актуальности. Использование систем компьютерной алгебры с возможностью символьных вычислений снимает часть задач, но и оставляет значительную долю ручного труда в процессе составления уравнений системы энергетического баланса. К одним из математических операций, используемых в энергетическом методе при обработке аппроксимирующих выражений нелинейных элементов, относится произведение тригонометрических функций с различными аргументами. Для разработки системы автоматической обработки информации для энергетического метода возникла потребность в создании специализированной системы компьютерной алгебры под его потребности. Первым шагом для нахождения результата произведения был разработан алгоритм, который основывается на хранении информации о типе функций количества множителей и аргументов в специально зарезервированных ячейках памяти как в числовом, так и символьном виде. Были проведены исследования о распределении знаков функций и ее аргументов после выполнения операции произведения при использовании различных путей преобразования. На основе установленных зависимостей был разработан алгоритм, который реализует нахождение произведения тригонометрических функций косинуса и синуса с различными аргументами в зависимости от количества произведений и типа функции. Разработанный алгоритм в конечном итоге позволяет получать результат произведения n-го количества гармонических функций как с символьным представлением аргументов, так и числовым.

Ключевые слова: произведение тригонометрических функций, энергетический метод, системы компьютерной алгебры.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. З розвитком електроніки, мікропроцесорної та комп'ютерної техніки з'явилася можливість фіксувати та обробляти миттєві значення електричних величин (струм, напруга). Це дало поштовх для розвитку нових теорій дослідження енергопроцесів, основаних на миттєвих значеннях струму й напруги. У сучасних методах дослідження енергопроцесів [1], незалежно від задач, методів компенсації реактивної потужності [2], все частіше використовується поняття миттєвої потужності, яка визначається не інтегральними показниками, а добутком миттєвих сигналів струму та напруги в одну й ту саму дискрету часу. В основу енергетичного методу покладено апарат миттєвої потужності [1–3].

Енергетичний метод (ЕМ) використовується для ідентифікації параметрів електричних машин [1], дослідження типових та нетипових нелінійностей [3, 4], аналізу розподілення, генерації та накопичення електричної енергії. ЕМ є одним із небагатьох методів, що можна ефективно використовувати для дослідження енергетичних процесів у колах із несинусоїдним струмом та напругою з лінійними чи нелінійними елементами. Для апроксимації сигналів струму, напруги, потужності, нелінійних властивостей елементів найчастіше використовуються тригонометричні ряди Фур'є. Апроксимація полігармонічнічних сигналів струму й напруги відбувається на окремо взятому періоді, кратному несучій частоті.

Всі дії в ЕМ поділяються на аналітичні перетворення та чисельні розрахунки. До чисельних розрахунків належать визначення коефіцієнтів рядів Фур'є й розв'язок системи ідентифікаційних рівнянь. Складання системи енергетичного балансу відбувається в символьному вигляді. Особливістю складання системи енергетичного балансу в ЕМ є необхідність розділення виразу миттєвої потужності, що описує її криву на елементі, на гармонічні складові за частотною ознакою. Це дає змогу складати рівняння енергетичного балансу на відповідній частоті. Детально процедура складання системи енергетичного балансу описана в [1].

Оскільки ЕМ активно розвивається, він потребує цілої низки аналітичних перетворень з рядами Фур'є та тригонометричними функціями [1, 3, 5], які раніше не використовувалися в ньому. При знаходженні потужності на нелінійному опорі [5], необхідно ряд, що апроксимує його нелінійність активного опору, помножити на квадрат ряду, що апроксимує криву струму. Звідси з'являється операція добутку трьох тригонометричних функцій. Оскільки в енергетичному методі зазвичай використовувалися операції множення для знаходження миттєвої потужності на елементах, то для знаходження опору, провідності, струму необхідно виконувати операції ділення [5]. З вищесказаного очевидно, що вирази, які описують нелінійні фізичні явища чи процеси, матимуть більше елементів, ніж ті, які описують лінійні процеси, що ускладнює їх обробку, виділення з них гармонічних складових.

Для прискорення виконання математичних операцій можливе використання систем комп'ютерної алгебри, в яких є можливість символьних обчислень [5]. До таких відносяться Wolfram Mathematica, Maple, Maxima. Найбільш часто для символьних обчислень використовується система комп'ютерної алгебри (СКА) Maple [6], яка знайшла своє застосування й в ЕМ. У більшості випадків Maple задовольняє своїми функціональними можливостями, а саме: розкриттям дужок, розкладанням полінома на множники, спрощенням виразів, об'єднанням показників ступеневих функцій, пониженням ступінів тригонометричних функцій, знаходженням добутку двох рядів Фур'є в аналітичній формі, символьним диференціюванням та інтегруванням ряду та ін. Однак у СКА Maple відсутні функції, які б дозволили виділяти гармонічні складові з виразів миттєвої потужності на елементах схеми та прирівняти відповідні складові за частотною ознакою, що необхідно для складення системи енергетичного балансу. Виділення складових та складання системи енергетичного балансу виконуються в ручному режимі. Дане положення можуть дещо виправити вбудовані можливості програмування та використання вбудованих функцій не за прямим призначенням.

Використання Maple є цілком виправдано навіть при зростаючій кількості математичних операцій, громіздкості виразів, однак практичне використання ЕМ, упровадження в промисловість потребує власної інформаційної технології у структурі програмного забезпечення або ідентифікаційно-діагностичного комплексу [7], що потребує автоматизації процедур математичного апарату ЕМ.

Метою дослідження є розробка алгоритму для автоматичного знаходження добутку функцій косинуса та синуса з довільною кількістю множників для інформаційного забезпечення енергетичного методу.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для розробки системи автоматизованої обробки інформації для енергетичного методу раціонально використовувати алгоритми, що використовуються в системах комп'ютерної алгебри [9–12]. Дані алгоритми, які спеціалізуються на розробці та реалізації аналітичних методів розв'язання математичних задач, на комп'ютері сформульовані в аналітичному (символьному) вигляді. Існує декілька бібліотек, реалізованих на різних мовах програмування, які використовують деяку частину алгоритмів комп'ютерної алгебри [9], також існують СКА, що розповсюджуються за ліцензією Open Source, такі як Maxima, Sage, PARI/GP.

У розробці інформаційного забезпечення енергетичного методу важливим є виділення складових з виразу, що описує миттєву потужність на елементі, який заздалегідь необхідно визначити, що призводить до необхідності повторення функцій, аналогічних тим, що присутні в СКА в тому чи іншому вигляді. Розробка аналогів існуючих СКА не є доцільною, але розробка спеціалізованого програмного забезпечення з функціями СКА, які повністю задовольняли б усі специфічні аналітичні перетворення в енергетичному методі, є актуальною потребою.

Другим чинником є автоматизація всіх аналітичних операцій та можливість алгоритмів СКА використовуватися в програмно–апаратному комплексі по післяремонтному випробуванню електричних машин.

Оскільки в ЕМ більшість операцій відбувається з тригонометричними функціями та тригонометричними рядами, які перемножуються між собою, то для початку необхідно розробити алгоритм знаходження добутку тригонометричних функцій косинуса та синуса.

Перед розробкою будь-якого алгоритму відбувається аналіз предметної області, яка була надана у вигляді виразів в аналітичній формі для добутку від трьох до восьми функцій косинусів та від трьох до дев’яти функцій для добутку синусів із різними аргументами. Розглянуто можливі варіанти проведення аналітичних перетворень та їх вплив на вигляд фінального виразу з використанням тригонометричних залежностей виду:

$$cos(\alpha)cos(\beta)=\frac{1}{2}(cos(\alpha+\beta)+cos(\alpha-\beta)); \quad (1)$$

$$sin(\alpha)sin(\beta)=\frac{1}{2}(cos(\alpha-\beta)+cos(\alpha+\beta)); \quad (2)$$

$$sin(\alpha)cos(\beta)=\frac{1}{2}(sin(\alpha+\beta)+sin(\alpha-\beta)); \quad (3)$$

$$cos(\alpha)cos(\beta)cos(\gamma)=\frac{1}{4}(cos(\alpha-\beta-\gamma)+ +cos(\alpha-\beta+\gamma)+cos(\alpha+\beta-\gamma)+cos(\alpha+\beta+\gamma)); \quad (4)$$

$$sin(\alpha)sin(\beta)sin(\gamma)=\frac{1}{4}(-sin(\alpha-\beta-\gamma)+ +sin(\alpha-\beta+\gamma)+sin(\alpha+\beta-\gamma)-sin(\alpha+\beta+\gamma)). \quad (5)$$

З усіх розглянутих варіантів був обраний варіант аналітичних перетворень, у кінцевому виразі якого були виявлені певні закономірності, на основі яких можливо було побудувати алгоритм. З отриманого виразу були встановлені його закономірності: щодо кількості тригонометричних функцій у кінцевому виразі залежно від кількості добутків; число, на яке буде поділена сума тригонометричних функцій; залежності знаків між змінними в аргументі функції та знак функції. Виходячи з тотожностей (1)–(5) й проведеного аналізу, знаки функції у результуючому виразі для добутків функцій косинусів завжди будуть позитивними, як і самі функції будуть завжди косинусами, тобто отримаємо суму функцій косинусів. Для добутку функцій синусів при кількості множників, кратній двом, всі функції будуть косинусами, при непарній – всі функції будуть синусами, знаки цих функцій матимуть непряму залежність.

Символьні обчислення потребують деякої структури збереження інформацій і структурних зв'язків між елементами алгебраїчного виразу, дані яких зберігаються в пам’яті. У кожній СКА є своя структура даних, наприклад, в Maple для виразу $u = (a - b)^3 + cos(x) + b (x + 2)$ [6] вона має деревовидну структуру (рис. 1). При створенні алгоритмів символьних обчислень виникла потреба у створенні деякої структуризації даних виразу в програмі та встановлення зв’язків між функціями, змінними, знаками, операціями тощо (рис. 2).

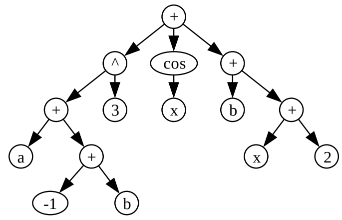

Рисунок 1 – Деревовидна структура об’єктів тригонометричного виразу в системі комп’ютерної алгебри Maple

Для роботи алгоритму тригонометричний вираз, від якого знаходиться добуток, розкладається на інформаційні складові, які заносяться у відповідні змінні (рис. 2). Для ідентифікації типу функції, від яких буде знаходиться добуток, використовується змінна *F*, до якої заноситься нуль, якщо знаходиться добуток косинусів, одиниця – якщо синусів. Кількість множників заноситься до змінної *n*. Аргументи функцій, від яких знаходиться добуток, можна надати як у символьному вигляді, так і в чисельному. Для зберігання символів аргументів функцій (α, β, γ) використовується одномірний символьний масив з назвою *A*. В одномірний числовий масив *B* заносяться числові значення аргументів функцій (α=59, β=21, γ=2). Розмірність символьного та чисельного масиву визначається залежно від кількості множників. Порядковий номер масиву визначає, в якому порядку (відлік починається з нуля) розташовані аргументи функцій, які перемножаются.

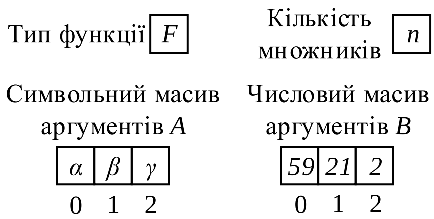

Рисунок 2 – Розміщення інформаційних складових добутку тригонометричних функцій у пам’яті

Структурні зв’язки прописуються в програмному коді (рис. 3) та мають допоміжні елементи, що спрощують ідентифікацію функцій, знаків, операцій:

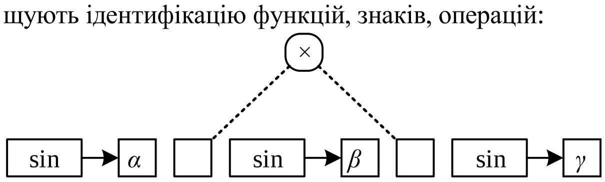

Рисунок 3 – Спрощена структура об’єктів тригонометричного виразу

Кількість функцій після операції добутку визначається залежністю $a=2^{n-1}$, де a – кількість функцій, отриманих у результаті добутку; n – кількість функцій, які перемножуються. Змінна a–m також визначає й знаменник спільного дільника.

Виявлену залежність знаків між змінними в аргументі функції можна закодувати бінарним кодом, прийнявши знак мінус за нуль, а плюс – за одиницю.

Починаючи відлік функцій з нуля, порядковий номер функції у десятковій системі числення буде відповідати бінарному кодові у двійковій системі числення. Розрядність двійкового коду буде дорівнювати n-1. Для зберігання коду знаків між змінними аргументу i-тої функції використовується двомірна бінарна матриця – масив Z. Розмір масиву визначається залежностями: $a=2^{n-1}$ для кількості рядків та n-1 – для довжини рядка, розмір масиву є фіксованим протягом усього часу функціонування алгоритму. Порядковий номер рядка масиву відповідає номеру функції (відлік починається з нуля), а стовпці – порядковому номеру розряду двійкового коду між змінними аргументу функції. Масив після його ініціалізації необхідно заповнити нулями. Заповнення масиву бінарним кодом відбувається в циклі (рис. 4), де лічильником виступає змінна k, яка відповідає порядковому номеру функції та збільшується на одиницю на кожній ітерації. Значення кожної ітерації циклу перетворюється у двійковий код і заноситься у відповідний рядок масиву. Цикл завершується при виконанні умови $k \geq a-1$.

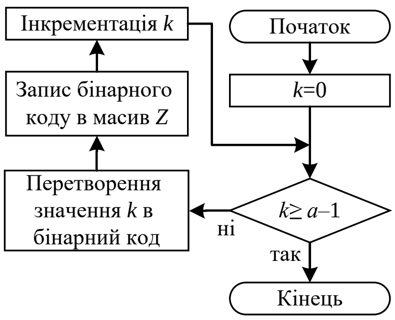

Рисунок 4 – Формування знаків між змінними в аргументі функції

Для збереження числового значення аргументів функцій зарезервовано одномірний масив $O[i]$ розмірністю a. Згідно із залежностями (1)–(5) та табл. 1, для визначення числового значення аргументу i-тої функції необхідно провести низку бінарних операцій над змінними аргументу функції, які зберігаються в масиві $Z[i][j]$ (рис. 5). Під час розрахунку числового значення аргументів функцій у масиві O зберігаються проміжні значення, які замінюються наступними проміжними значеннями, доки в масив не запишеться останнє значення, яке буде числовим значенням аргументу функції. Для розрахунку числового значення аргументу i-тої функції перший елемент масиву B заноситься до кожної комірки масиву O, що є першим проміжним значенням у масиві. Далі в масив O заноситься значення, яке є результатом бінарної операції над $O[i]$ $B[j]$. Дія над змінними визначається умовою: якщо в комірці $Z[i][j]$ знаходиться одиниця, то змінні складаються, якщо ні – знаходиться їх різниця. Цикл виконується доти, доки не буде проведено операції з кожним елементом масиву $B[j]$, перехід до розрахунку аргументу наступної функції відбувається за умови $i \geq a$.

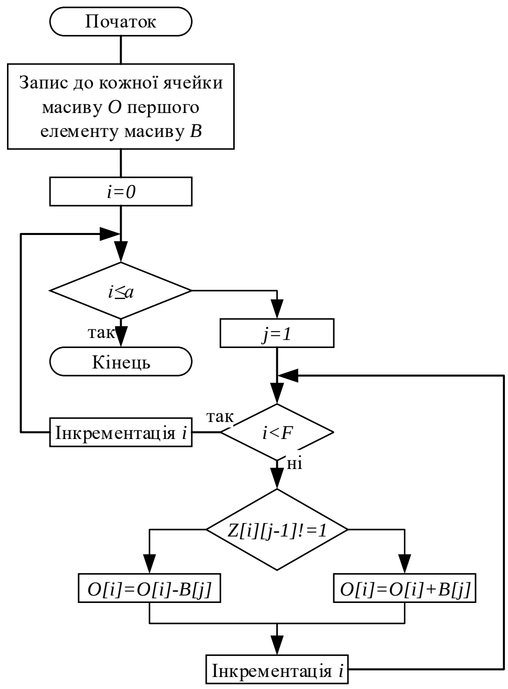

Рисунок 5 – Розрахунок числового значення аргументу функції

Таблиця 1 – Залежність знаків між змінними в аргументі функцій

Порядковий номер функції	Аргумент функції	Знак між змінними в аргументі функції		Бінарний код знаків в аргументі	Десятковий еквівалент коду
		Першою та другою	Другою та третьою	bin	dec
0	α–β–γ	–	–	00	0
1	α–β+γ	–	+	01	1
2	α+β–γ	+	–	10	2
3	α+β+γ	+	+	11	3

Таблиця 2 – Залежність знаків функцій від порядкового номеру

Кількість множників	Кількість функцій	Знак перед функцією залежно від її порядкового номеру															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	2	+	–														
3	4	–	+	+	–												
4	8	–	+	+	–	+	–	–	+								
5	16	+	–	–	+	–	+	+	–	–	+	+	–	+	–	–	+

Для визначення знаків перед функціями використовується алгоритм, побудований на основі встановлених залежностей (табл. 2), для функціонування якого використовуються одномірні масиви K та Y розмірністю a. Масив K використовується для збереження знаків функцій. При ініціалізації всіх змінних у програмі до перших двох комірок масиву K заноситься значення {1,0}. Масив Y є буферним і потрібен для зберігання проміжкових результатів виконуваних операцій (рис. 6). Перехід до виконання алгоритму виконується при умові $n \geq 3$. При невиконанні умови до K вже занесені знаки функцій.

Як видно з табл. 2, при збільшенні кількості множників на один елемент кількість функцій, відповідно й знаків перед функціями, збільшується удвічі. Генерації коду знаків перед функціями відбувається поступово, оскільки наступне значення визначається на основі попереднього й базується на занесеній залежності для добутку двох синусів.

Оскільки кількість функцій у кінцевому виразі визначається залежністю $a=2^{n-1}$, то місце в пам'яті для масивів резервується заздалегідь і при добуткові п'яти синусів матиме шістнадцять комірок до перших із двох будуть занесені {1,0}. Відповідно для визначення знаків усіх функцій необхідно визначити знаки для всіх добутків меншого порядку. Для цього до першої половини масиву Y заноситься код з масиву K молодшими бітами вперед, у другу половину Y заноситься інвертований код з K. Після закінчення кожної ітерації з масиву Y дані копіюються в масив K, цикл продовжує виконуватися, доки не виконується умова $n \leq L$.

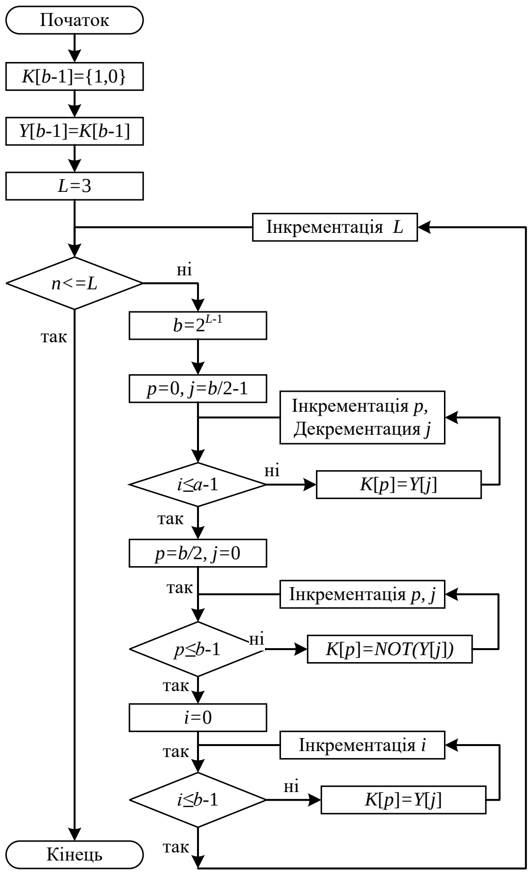

Рисунок 6 – Алгоритм визначення знаків перед функціями

Робота алгоритму (рис. 7) починається з визначення типу функцій косинусів чи синусів, від яких буде визначатися добуток. Встановлюється прапорець до змінної F залежно від типу функцій. Визначається кількість функцій, від яких знаходиться добуток та занесення до змінної n. Далі визначаються аргументи кожної функції, їх символів та при необхідності їх числового значення. Дані заносяться до масивів A та B відповідно. Залежністю $a=2^{n-1}$ визначається кількість функцій після операції добутку та спільний дільник усіх функцій. Формуются масиви з кодом знаків між змінними в аргументах функцій. Визначається числове значення кожного аргументу функції. Наступним кроком визначається знак перед функцією. Фінальним етапом формується кінцевий вираз та результат роботи алгоритму, який виводиться на екран.

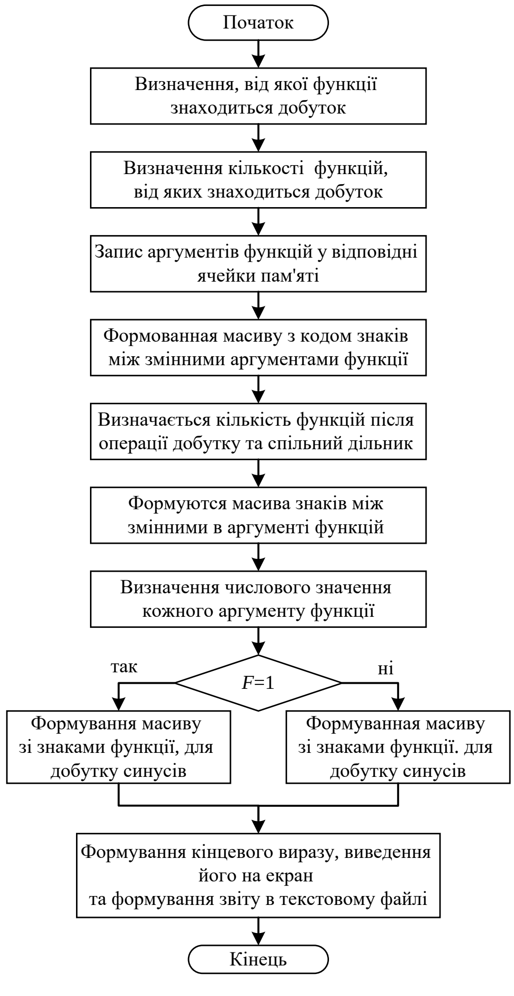

Рисунок 7 – Загальний алгоритм роботи програми

На рис. 8 зображена структура даних, яку матимуть елементи тригонометричного виразу після роботи алгоритму по знаходженню добутку n-ної кількості гармонічних функцій. Із цієї структури кінцевий результат виводиться на екран операцій або в текстовий документ. На рис. 9 зображено структуру інформаційних складових у пам'яті та допоміжні елементи у структурі тригонометричного виразу.

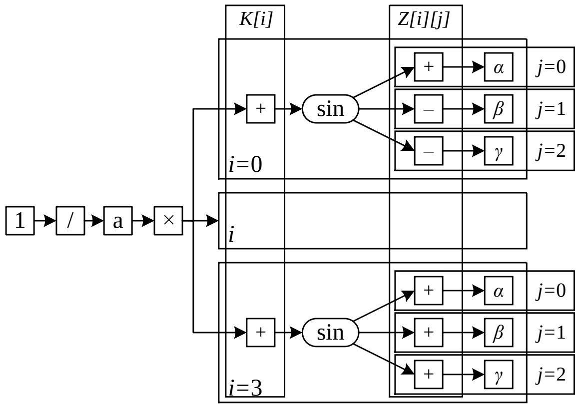

Рисунок 8 – Структура даних тригонометричного виразу після роботи алгоритму по знаходженню добутку *n*-ної кількості функцій

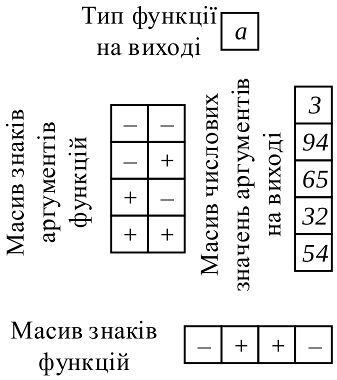

Рисунок 9 – Структура збереження інформаційних складових у пам'яті та допоміжних елементів у структурі тригонометричного виразу

ВИСНОВКИ. Розроблений алгоритм дозволяє знаходити добуток *n*-ної – кількості гармонічних функцій. При розробці алгоритму встановлено залежності між виразом, від якого знаходиться добуток, та результатом добутку. Виявлено закономірності щодо кількості тригонометричних функцій у кінцевому виразі залежно від кількості добутків; спільний знаменник у кінцевому тригонометричному виразі; залежності знаків між змінними в аргументі функції та знак функції лягли в основу побудови алгоритму.

Встановлені залежності дозволили розробити простий алгоритм і закодувати частину зв'язків двійковим кодом.

Створено структуру виразів двох типів до знаходження добутку й після його знаходження. Структура отримана, після знаходження, дозволяє в подальшому оперувати цим виразом.

До переваг алгоритму належить його можливість надати аргументи функцій як у символьному вигляді, так і чисельному.

Алгоритм може бути покладений в основу інформаційної технології для практичного та дослідницького використання енергетичного методу.

Алгоритм розроблено таким чином, що при мінімальних змінах чи зовсім без змін може бути реалізований у будь-якій мові програмування. При подальшому розвитку цього напряму даний алгоритм може стати одним із багатьох у структурі інформаційної технології по автоматизованій обробці інформації в післяремонтних випробуваннях електричних машин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Загірняк М.В., Родькін Д.І., Ромашихін Ю.В.. Чорний А.П. Енергетичний метод ідентифікації асинхронних двигунів: моногр. – Кременчук, 2013. – 164 с.

2. Akagi H., Watanabe E., Aredes M. Instantaneous power theory and applications to power conditioning / Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. – New Jersey, 2007. – 379 p.

3. Ромашихін Ю.В., Родькин Д.И., Калинов А.П. Энергетический метод идентификации параметров асинхронных двигателей // Вісник КДПУ. – Кременчук, 2007. – Вип. 3 (44). – С. 130–136.

4. Zagirnyak M., Mosyundz D., Rodkin D. Nonlinear Model Parameters Identification by Power Method Proceeding of XXIII Symposium Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits, 1–4 July. – Plzeň Czech Republic, 2014. – PP. 119–121.

5. Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В., Калинов А.П. и др. Мгновенная мощность сложных электрических цепей // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 3–4/ 2008 (4). – С. 11–25.

6. Родькин Д.И., Ченчевой В.В., Кобыльская Е.Б. Нелинейные преобразования с рядами Фурье в применении к задачам электротехники // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2015. – Вип. 1/2015 (29). – С. 82–93.

7. Монзон Б.М. Maple V Power Edition. – М.: Информационно-издательский дом «Филинъ», 1998. **–** 240 с.

8. Базишин М.Ю., Ромашихин Ю.В. Перспективи використання інформаційних технологій у задачах ідентифікації параметрів асинхронних двигунів енергетичним методом // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2014. – Вип. 4/2014 (28). – С. 120–126.

9. Gathen J., Gerhard J. Modern Computer Algebra. – UK: Cambridge University Press, 2013. – 808 p.

10. Harper D., Wooff Ch., Hodgkinson D. A Guide to Computer Algebra System. – Chichester: Wiley, 1991. – 148 p.

11. Steeb, W. H. The Nonlinear Workbook: Chaos, Fractals, Cellular Automata, Neural Networks, Genetic Algorithm, Gene Expression Programming, Wavelets, Fuzzy Logic with C++, Java and SymbolicC++ Programs, fourth edition. – Singapore: World Scientific Publishing, 2008. – 628 p.

12. Tan K. Sh., Steeb W.-H., Hardy Y. Symbolic C++. An Introduction to Computer Algebra using Object-Oriented Programming. – Berlin: Springer, 2000. – 692 p.

HARMONIC FUNCTIONS CONVERSION FOR INFORMATION SOFTWARE OF ENERGY IDENTIFICATION METHODS

M. Bazyshyn
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: bazyshyn.m.y@gmail.com
D. Rodkin
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
prosp. Pobedy, 37, Kiev, 03056, Ukraine. E-mail: dimaro0210@gmail.com

Purpose. Development of the algorithm for automatic product of the cosine and sine functions with an arbitrary number of multipliers for information support energy method. **Methodology.** For the development of an automated processing of information for the energy method, you should resort to the use of algorithms used in computer algebra systems. These algorithms, which specialize in the development and implementation of analytical methods for solving mathematical problems on the computerб are formulated in analytical (symbolic) form. **Results.** Studies have been conducted on the distribution of digits function and its arguments after the operation works using different ways to convert. On the basis of the established dependences it was developed the algorithm that implements the works of finding trigonometric functions of sine and cosine with different arguments depending on the number of product and type of function. **Originality.** The developed algorithm differs from other algorithms in computer algebra systems out there that it was specialized for the tasks of the energy method and is used in the work with nonlinear elements. **Practical value.** The developed algorithm can be used as a basis of information technology for practical and research use of energy method. With further development of this direction the algorithm can be one of many in the structure of the information technology for automated processing of information in post-testing of electric machines.

References 12, tables 2, figures 9.

Key words: trigonometric functions, energy method, computer algebra system.

REFERENCES

1. Zagirnyak, M., Rodkin, D., Romashihin, Yu. and Chornyi, O. (2013), *Energeticheskiy metod identifikatsii parametrov asinhronnih dvigateley* [Energy method for induction motors parameter identification], PE Shcherbatyh A.V., Kremenchug, Ukraine.

2. Akagi, H., Watanabe, E.H. and Aredes, M. (2007), *Instantaneous power theory and applications to power conditioning*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

3. Romashihin, Ju.V., Rodkin, D.Y. and Kalinov, A.P. (2007), "Energy method for parameter identification of induction motors", *Visnyk KDPU, Naukovi pratsi KDPU*, Vol. 3, no. 44, pp. 130–136.

4. Zagirnyak, M., Mosyundz, D. and Rodkin, D. (2014), "Nonlinear Model Parameters Identification by Power Method", *Proceeding of XXIII Symposium Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits, 1–4 July*, Plzeň, Czech Republic, pp. 119–121

5. Rodkin, D.I., Romashihin, Ju.V., Kalinov, A.P. et al. (2008), "Instantaneous power complex electrical circuits, *Electromechanical and energy saving systems*, Vol. 3–4, no. 4, pp. 11–25.

6. Rodkin, D.I., Chenchevoy, V.V., Kobilskaya, O.B. (2015), "Nonlinear transformations with fourier series as applied to electrotechnical problems", *Electromechanical and energy saving systems*, Vol. 29, no. 1, pp. 82–93.

7. Monzon, B.M (1998), *Maple V Power Edition*, Informatsionno-izdatelskiy dom Filin, Moscow, Russia.

8. Bazyshyn, M. and Romashykhin, Yu**.** (2014), "Perspectives of information technology in the problems of identification parameter of asynchronous motors by energy method", *Electromechanical and energy saving systems*, Vol. 4, no. 28, pp. 120–126.

9. Gathen, J. and Gerhard, J. (2013), *Modern Computer Algebra*, Cambridge University Press, Great Britain.

10. Harper, D., Wooff, Ch. and Hodgkinson, D., (1991), *A Guide to Computer Algebra System*, Wiley, Chichester, Great Britain.

11. Steeb, W.H. (2008), *The Nonlinear Workbook: Chaos, Fractals, Cellular Automata, Neural Networks, Genetic Algorithm, Gene Expression Programming, Wavelets, Fuzzy Logic with C++, Java and SymbolicC++ Programs, fourth edition*, World Scientific Publishing, Singapore.

12. Tan, K.Sh., Steeb, W.-H. and Hardy, Y. (2000), *Symbolic C++. An Introduction to Computer Algebra using Object-Oriented Programming*, Springer, Berlin, Germany.

Стаття надійшла 20.11.2015.