

ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОЗРАХУНКУ ПІКОВИХ СТРУМІВ І ВТРАТ НАПРУГИ В МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ГРУПИ МАШИН КОНТАКТНОЇ ЗВАРКИ

Гірько В.О., студент; Єгорова І.В., магістр; Погрібняк Н.М., доц., к.т.н.
(ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк, Україна)

Широке поширення контактної зварки та особливості роботи машин контактної зварки (МКЗ) залишають актуальним питання вдосконалення методів розрахунків пікових струмів і втрат напруги, оскільки ці величини є визначальними для вибору елементів мережі, отже капітальних витрат на неї, та забезпечення необхідного рівня напруги в мережі, оскільки зниження напруги понад 10% призводить до браку зварних з'єднань.

В теперішній час розрахунки пікових струмів і втрат напруги виконуються за діючими Вказівками [1, 2]. Заслуговує також уваги попередня редакція Керівних Вказівок [3].

Рішенням задачі є максимальні розрахункові значення пікових струмів і втрат напруги, визначені з граничною ймовірністю $e_x = 0,001$ [1-3]. Для цього необхідно отримати функції розподілу цих величин. При великій кількості МКЗ в групі, функції розподілу мають таку велику кількість сходинок, що точний їх розрахунок є неможливим, тому у [1-3] застосовані приблизні методи визначення розрахункових значень пікових струмів і втрат напруги, а на кафедрі «Електропостачання промислових підприємств і міст» ДонНТУ розроблялись приблизні методи визначення функцій розподілу. Найкращім результатом цієї роботи є комплексний диференційний метод (КДМ) [4], недоліком якого є розрахунок функції розподілу за середнім значенням коефіцієнтів ввімкнення усіх МКЗ, що призводить до похибки у разі значної відмінності коефіцієнтів ввімкнення окремих МКЗ.

Метою роботи є зменшення капітальних витрат на мережі електропостачання груп машин контактної зварки при забезпеченні необхідного для отримання якісних зварних з'єднань рівня напруги шляхом вдосконалення алгоритму визначення приблизних функцій розподілу пікових струмів і втрат напруги з врахуванням ймовірностей ввімкнення окремих зварювальних машин.

У новому методі, як і в [4], з метою зменшення обсягу розрахунків, функції розподілу з запасом Δe_x розраховується до досягнення ними значення $1 - e_x + \Delta e_x$. Такий підхід тим більше скорочує обсяг розрахунків, чим менші коефіцієнти ввімкнення мають МКЗ.

Алгоритм методу складається з таких етапів:

1. Для кожної зварювальної машини розраховують пікові струми всіх фаз та падіння кожної лінійної напруги за законами Ома і Кірхгофа в комплексній формі для випадку ввімкнення однієї цієї зварювальної машини.

Приведемо приклад для однофазної зварювальної машини, підключеної на лінійну напругу до фаз AB (рис. 1). На схемі $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ - ЕРС фаз, $z_T, z_{ш}, z_{3M}$ - опори трансформатора цехової ТП, шинопровода та зварювальної машини відповідно.

Формули для розрахунку пікових струмів всіх фаз в комплексній формі:

$$I_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{E}_B}{2z_T + 2z_{ш} + z_{3M}};$$

$$I_B = -I_A;$$

$$I_C = 0.$$

Формули для розрахунку падінь кожної лінійної напруги в комплексній формі:

$$\Delta \dot{U}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B - I_A \cdot z_{3M} = 2I_A (z_T + z_{ш});$$

$$\Delta \dot{U}_{BC} = -\dot{I}_A (z_T + z_{ш});$$

$$\Delta \dot{U}_{CA} = -\dot{I}_A (z_T + z_{ш}).$$

Аналогічний розрахунок виконується і для однофазних зварювальних машин, підключених на інші напруги, двофазних та трифазних МКЗ.

2. Кожна з функцій розподілу (по три функції розподілу пікових струмів фаз та втрат

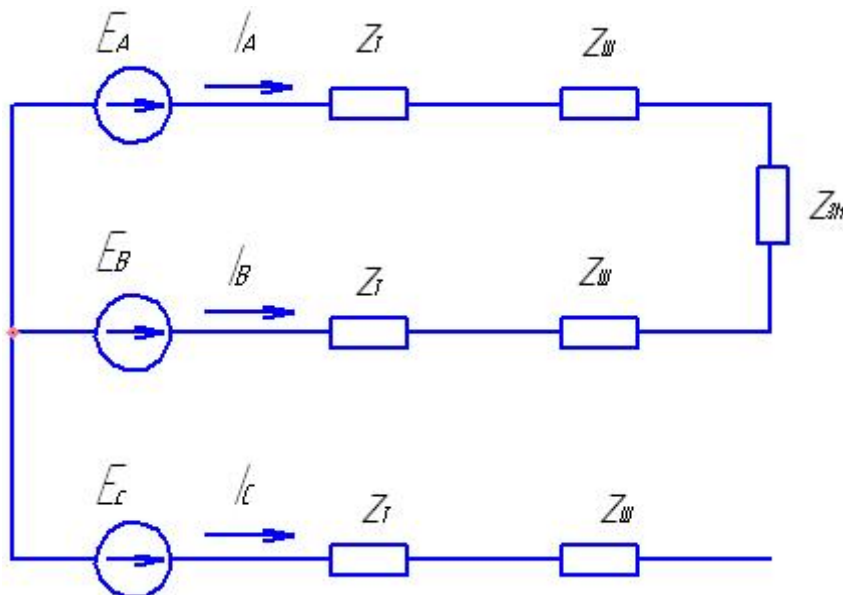


Рисунок 1 – Схема підключення однофазної зварювальної машини на напругу АВ

лінійних напруг) розраховується окремо.

3. Для розрахунку функції розподілу, зварювальні машини розподіляють по групах. Такий розподіл виконується на початковому етапі розрахунку кожної функції розподілу з метою зменшення кількості її сходинок, а отже і обсягу розрахунків. Розподіл виконується таким чином, щоб у одній групі опинились зварювальні машини, вектори пікових струмів або падінь напруг яких (в залежності від того, функція розподілу якої величини розраховується) відрізнялись один від одного якомога менше і за модулем і за фазою. Кількість груп впливає на точність і час розрахунку: чим більше вона буде - тим вище буде точність і більшою тривалість розрахунків. Опитним шляхом визначено, що з прийнятною точністю і відносно невеликим часом розрахунків кількість груп має не перевищувати 7.

4. Для кожної групи розраховується:

- середнє значення пікового струму або втрати напруги з урахуванням фактичних коефіцієнтів ввімкнення кожної МКЗ за формулою (формула записана для пікових струмів):

$$i_{\text{пик ср}} = \frac{\sum i_{\text{пик}j} \cdot k_{\text{в}j}}{\sum k_{\text{в}j}}$$

- таблиця ймовірностей ввімкнення усіх кількостей зварювальних машин з групи, починаючи з відключеного стану до випадку ввімкнення усіх машин. Ймовірність ввімкнення m_r машин з групи з загальною кількістю машин n_r складає:

$$p = \sum_{j=1}^{C_{n_r}^{m_r}} \prod_{i=1}^{m_r} k_{\text{в}i} \cdot \prod_{i=1}^{n_r - m_r} (1 - k_{\text{в}i}), \quad (1)$$

де $C_{n_r}^{m_r}$ – кількість комбінацій з n_r по m_r .

Ймовірність кожної комбінації вмикання зварювальних машин розраховується з урахування того, яка машина ввімкнена, а яка відключена. Ймовірність ввімкнення зварювальної машини дорівнює її коефіцієнту ввімкнення k_v , а ймовірність вимкнення складає $(1-k_v)$. Отже, враховуються фактичні коефіцієнти ввімкнення кожної МКЗ замість середнього. Для кожної групи результати розрахунку ймовірностей всіх варіантів ввімкнення різних кількостей зварювальних машин з групи зберігаються в вигляді масивів, дані з яких використовуються при розрахунку ймовірності кожної сходинки функції розподілу.

5. Перебираються всі варіанти можливого ввімкнення різної кількості зварювальних машин з груп. При розрахунку ймовірності кожної комбінації використовуються ймовірності ввімкнення поточної кількості машин з групи, розраховані за виразом (1).

При розрахунку функції розподілу пікового струму, сумарний піковий струм ввімкнених машин розраховується за виразом

$$i_{\text{пик}} = \sum_{j=1}^w m_{tj} \cdot i_{\text{пик ср } j},$$

де w - кількість груп.

Розрахунок виконується із застосуванням середніх значень пікових струмів груп в комплексному вигляді. Отже, струми окремих машин складаються геометрично. Для побудови функції розподілу надалі береться модуль сумарного струму.

Якщо розраховується функція розподілу втрати напруги, геометрично сумуються середні значення падінь напруги, створювані ввімкненими машинами з груп. Далі визначаємо напругу в кінці шинопровода як геометричну різницю напруги на джерелі живлення та сумарного падіння напруги, створюваного групою МКЗ. Втрата напруги розраховується як різниця модулів напруг на джерелі живлення і в кінці шинопровода.

6. Далі, наприклад, при побудові функції розподілу пікових струмів, отримані значення пікових струмів і їх ймовірностей сортуються за зростанням пікових струмів та за їх ймовірностями розраховується функція розподілу.

7. На останньому етапі знаходимо максимальне розрахункове значення відповідної величини, яке є абсцисою точки перетину функції розподілу та значення ймовірності $1-e_x$. Для знаходження максимальних розрахункових значень всіх необхідних струмів та втрат напруги ці дії виконуються 6 разів.

Даний метод був перевірений на декількох прикладах, в яких кількість зварювальних машин в групі дорівнювала 16. Порівняння виконувалось відносно теоретичної функції розподілу, яка розраховується цілком шляхом перебору всіх можливих варіантів одночасного ввімкнення машин контактної зварки. Отримана за прикладом функція розподілу струму наведені на рис. 2. На ньому: теоретична функція розподілу (крива 1) та функція розподілу, що була обчислена за новим методом (крива 2) практично збігаються, а комплексний диференціальний метод (крива 3) дає дещо гірший результат. Результати дозволяють порівняти новий метод та КДМ один з одним та з теоретичною функцією розподілу, а також з результатами, що були отримані за методиками діючих (точка 5) та попередніх Керівних Вказівок (точка 4).

На рис. 3 представлені діаграми діапазонів похибок визначення пікових струмів (рис. 3а) і втрати напруги (рис. 3б): 1- попередня редакція Керівних Вказівок, 2 – діючі Вказівки, 3 – КДМ, 4 – новий метод. Діаграми отримані за результатами всебічної перевірки розробленого і комплексного диференційного методів на великій кількості різнотипних прикладів. Розроблений метод має найменшу похибку. Ця похибка є додатною, що створює невеликий запас.

Результати показали, що новий метод дає кращі результати ніж попередні методи розрахунків пікових струмів і втрат напруги, це демонструють наочно діаграми похибок. Завдяки новому методу розрахунків пікових струмів і втрат напруги, розрахувавши усі ділянки мережі ми отримуємо дані, які є визначальними для вибору обладнання, тому більш

точний розрахунок допомагає зменшити капітальні витрати на мережу живлення та забезпечити необхідний рівень напруги.

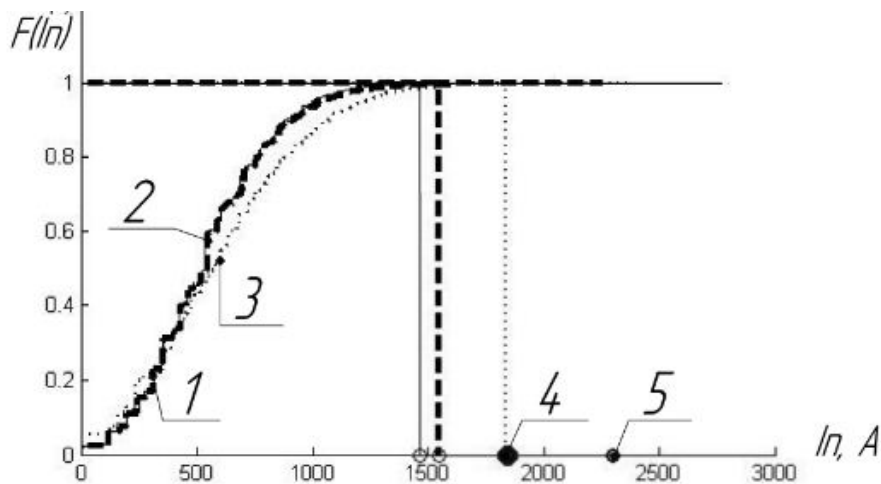


Рисунок 2 – Функції розподілу лінійного струму фази А

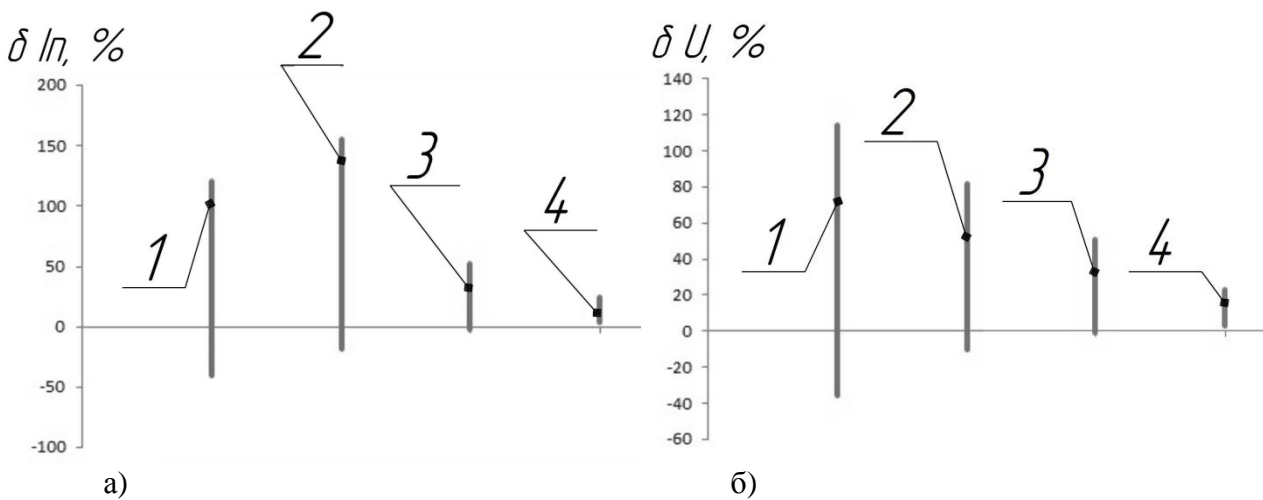


Рисунок 3 – Діаграми похибок визначення пікових струмів (а) і втрати напруги (б)

Перелік посилань

1. Рекомендации по расчету электрических нагрузок и выбору сетей, питающих установки для контактной сварки / ВНИПИ ТПЭП (Москва) и Горьковское отделение ГПИ Электропроект. Шифр М788-917.1983 г.
2. Справочник по проектированию электроснабжения/ Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Инструктивные указания по проектированию электрических промышленных установок. Тяжпромэлектропроект, 1976, №3. – С. 3-9.
4. Погрібняк Н.М., Удовіченко К.А., Єгорова І.В. Вдосконалений метод розрахунку пікових струмів і втрат напруги в мережі електропостачання групи машин контактної зварки // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Електротехніка і енергетика”. - Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2013.- №1(14). – С. 217-221