

УДК 621.313

Бережецький С.О.¹, Петренко О.О.¹, Анісімов Д.А.², Чумаков К.С.³

¹студ. гр. Е-212 НУ «Запорізька політехніка»

²студ. гр. Е-213 НУ «Запорізька політехніка»

³студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОДАТКОВИХ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ У РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ З НЕЛІНІЙНИМИ ТА НЕСИМЕТРИЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

В умовах зростання нелінійних і несиметричних навантажень в електричних мережах, точна оцінка додаткових втрат потужності стає критично важливою для забезпечення ефективності та надійності енергопостачання.

Існуючі методики розрахунку втрат активної потужності, спричинених несинусоїдністю та несиметрією струмів, обмежені випадками лінійного несиметричного або нелінійного симетричного навантаження.

Аналіз існуючих методик:

Методика, заснована на виразі

$$\Delta P = 3R_l \sum (I_v^2 \cdot k_{iv}) \quad (1)$$

де v – порядковий номер гармоніки

I_v – діюче значення струму v -тої гармоніки

R_l – опір ділянки мережі

$k_{iv} = 0.47v$ – частотно-залежний коефіцієнт зміни активного опору

Дана методика враховує зростання активного опору провідників із частотою (скінефект) та дозволяє оцінити внесок кожної гармоніки окремо. Але не враховує несиметрію навантаження, взаємний вплив гармонік та температурну залежність параметрів.

Тому потрібна розробка методики, що враховує спільний вплив нелінійності та несиметрії навантаження на втрати потужності де необхідно враховувати втрати в нульовому дроті та особливості роботи мереж із різними типами навантажень.

Розглянемо методику розрахунку втрат потужності з урахуванням поверхневого ефекту та ефекту близькості провідників.

Запропонований підхід базується на формулі (2):

$$\Delta P = 3l \sum_{v=1}^n [r_0 I_v^2 (k_{lv} + k_{6v})] \quad (2)$$

де r_0 - питомий опір провідника (з температурною корекцією)

l - довжина ділянки ланцюга

Переваги запропонованої методики полягають у тому що вона дає змогу враховувати частотну залежність опору та виконати оцінку втрати для кожної гармоніки. На відміну від (1), вираз (2) враховує як гармонійні складові струму, а й перетин провідника. Це дає змогу більш точно оцінити вплив геометричних параметрів лінії на втрати.

Обидві методики, представлені виразами (1) та (2), орієнтовані на розрахунок втрат у симетричних нелінійних ланцюгах.

Таким чином, запропоновано нову методику розрахунку додаткових втрат потужності в несиметричних мережах 0,4 кВ із нульовим проводом.

Основою розрахунку є формула (3):

$$\Delta P_i = k_{ui} \cdot I_{e\phi i}^2 \cdot r_{ei} \cdot k_{di} \quad (3)$$

де k_{ui} – коефіцієнт, що враховує кількість фаз на ділянці мережі;

I_{ef} – ефективний (діючий) струм ділянки;

r_{ei} – активний опір ділянки;

k_{Di} – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати через нерівномірність навантаження фаз.

Аналіз формули (3) демонструє, що вона дозволяє визначити додаткові втрати в нульовому робочому провіднику, проте має суттєве обмеження, а саме враховує лише діюче значення струму (I_0) та не включає частотну залежність опору провідника (скин-ефект).

Напрями вдосконалення методики розрахунку втрат у нульовому провіднику.

Запропоновано модифікований підхід до визначення активного опору:

$$r_0(f) = r_0[1 + \alpha \sqrt{f}] \quad (4)$$

де r_0 – опір провідника при постійному струмі

α – емпіричний коефіцієнт матеріалу (для міді $\alpha \approx 0.02-0.03$)

f – частота гармоніки

Введемо поняття еквівалентного струму:

$$I_{0,екз} = \sqrt{\sum_{h=1}^n I_{0h}^2} \quad (5)$$

Удосконалена формула втрат

$$\Delta P_0 = \sum_{h=1}^n [I_{0h}^2 \cdot r_0(f_h)] \quad (6)$$

де $f_h=50$ Гц – частота h -тої гармоніки

Запропоновані модифікації особливо актуальні для сучасних мереж з високим рівнем гармонік ($THD > 15\%$) та щільними схемами прокладки.

Сучасні методи розрахунку додаткових втрат потужності мають суттєвий недолік – вони не забезпечують комплексної оцінки втрат, спричинених одночасно нелінійним характером навантаження (генерація гармонік) та фазовою несиметрією. Це обумовлює необхідність розробки нової інтегрованої методики розрахунків.

Тому, розроблено удосконалену методику розрахунку додаткових втрат, яка враховує втрати у фазних провідниках, втрати в нульовому робочому провіднику, вплив струмів вищих гармонік.