

Винахід належить до вимірювань електричних та магнітних величин і стосується вимірювань змінного струму з використанням трансформаторів струму з феромагнітним сердечником.

Відомий спосіб вимірювання змінного струму у високовольтних установках або в ланцюгах з великим струмом з використанням електромагнітних трансформаторів струму. Перевагою такого способу простота і надійність, внаслідок чого цей спосіб одержав найбільше розповсюдження і на теперішній час є основним - способом вимірювання струму з метою контролю, обліку та релейного захисту.

Недоліком цього засобу є погрішність вимірювань, що викликана наявністю струму намагнічування, величина якого залежить від стану магнітної системи трансформатора струму. Погрішність значно зростає під час коротких замкнень в електричних мережах, які супроводжуються перехідними процесами у первинному і вторинному ланцюгах трансформаторів струму і насиченням магнітопроводу. Це призводить до помилок у роботі пристроїв релейного захисту з важкими наслідками для електричних мереж і електроустановок.

Існують різні способи розрахунку перехідних процесів при нелінійних характеристиках трансформатора струму, які використовуються для аналізу і прогнозування режиму, але їх не можна використовувати в реальних умовах у реальному режимі часу.

Відомий також спосіб [2], який прийнято як прототип, при якому в процесі вимірювання струму здійснюють його аналого-цифрове перетворення і попередню математичну обробку миттєвих значень вторинного струму.

Недолік цього способу полягає в тому, що за вхідну величину у пристроях для математичної обробки використовують миттєві значення вторинного струму, які відображають первинний струм з великими погрішностями.

Запропонованим винаходом вирішується задача підвищення точності вимірювання первинного струму за допомогою обчислення у реальному масштабі часу струму намагнічування з урахуванням нелінійності магнітних характеристик трансформатора струму і визначенням первинного струму за такими співвідношеннями:

$$i_{1t} = \frac{\omega_2}{\omega_1} i_{2t} + i_{0t};$$

$$i_{0t} = I_{0nm} \sin(\alpha_t - \varphi) + I_{0at-\Delta t} + \Delta I_{0at};$$

де i_{1t} - значення первинного струму в момент часу t ;

i_{2t} - виміряне значення вторинного струму трансформатора струму на момент часу t ;

i_{0t} - розраховане значення струму намагнічування трансформатора струму на момент часу t ;

I_{0nm} - амплітуда періодичної складової струму намагнічування;

$\alpha_t = \omega t$ - поточне значення синхронного часу в електричних радіанах;

φ - фазовий кут зсуву струму намагнічування;

ω_1, ω_2 - кількість витків первинної і вторинної обмоток трансформатора струму;

$I_{0at-\Delta t}$ - значення аперіодичної складової струму намагнічування на момент часу $t - \Delta t$;

ΔI_{0at} - приріст значення аперіодичної складової струму намагнічування за інтервал часу Δt ;

Δt - інтервал часу між двома суміжними вимірами;

причому значення I_{0nm} , ΔI_{0at} і φ для кожного моменту часу t знаходять із рішення системи рівнянь, складеної на підставі поточного і трьох попередніх результатів вимірів вторинного струму:

$$\mu L_{0H} I_{0nm} [\sin(\alpha_t - \varphi) - \sin(\alpha_{t-\Delta t} - \varphi)] + \mu L_{0H} \Delta I_{0at} - \mu L_{2SH} \Delta i_{2t} \Delta t - L_2 \Delta i_{2t} = 0;$$

$$\mu L_{0H} I_{0nm} [\sin(\alpha_{t-\Delta t} - \varphi) - \sin(\alpha_{t-2\Delta t} - \varphi)] + \mu L_{0H} \Delta I_{0at} - \mu L_{2SH} \Delta i_{2t-\Delta t} = r_2 i_{2t-\Delta t} \Delta t - L_2 \Delta i_{2t-\Delta t} = 0;$$

$$\mu L_{0H} I_{0nm} [\sin(\alpha_{t-2\Delta t} - \varphi) - \sin(\alpha_{t-3\Delta t} - \varphi)] + \mu L_{0H} \Delta I_{0at} - \mu L_{2SH} \Delta i_{2t-2\Delta t} = r_2 i_{2t-2\Delta t} \Delta t - L_2 \Delta i_{2t-2\Delta t} = 0;$$

$$\mu L_{0H} I_{0nm} [\sin(\alpha_{t-3\Delta t} - \varphi) - \sin(\alpha_{t-4\Delta t} - \varphi)] + \mu L_{0H} \Delta I_{0at} - \mu L_{2SH} \Delta i_{2t-3\Delta t} = r_2 i_{2t-3\Delta t} \Delta t - L_2 \Delta i_{2t-3\Delta t} = 0;$$

де μ - невизначений множник, який враховує нелінійне зміння стану магнітної системи трансформатора струму;

L_{0H} - номінальна індуктивність гілки намагнічування трансформатора струму;

L_{2SH} - номінальна індуктивність розсіювання вторинної обмотки трансформатора струму;

L_2 - індуктивність навантаження трансформатора струму;

r_2 - активний опір вторинної обмотки і навантаження трансформатора струму;

При цьому до пристроїв попередньої обробки вхідної інформації вводять миттєві поточні значення первинного струму.

Запропонований засіб засновано на відомому диференційному рівнянні [1,2]:

$$L_{0H} \frac{di_0}{dt} = r_2 i_2 + (L_{2SH} + L_H) \frac{di_2}{dt},$$

яке описує перехідний процес у трансформаторі струму з лінійними характеристиками, але в якому диференціали di_0 , di_2 і dt замінюють приростами Δi_0 , Δi_2 , і Δt , приріст аперіодичної складової струму намагнічування прийнято однаковим на інтервалі чотирьох суміжних вимірів. Крива намагнічування на інтервалі чотирьох суміжних вимірювань є лінійною, а відмінність магнітної проникливості на цьому інтервалі від номінальної враховано невизначеним множником μ .

Пристрій, який реалізує запропонований спосіб, містить трансформатор струму з феромагнітним сердечником, аналого-цифровий перетворювач струму і обчислювальний пристрій для попередньої математичної обробки вхідної інформації поточних значень струму, при цьому до нього додатково введено вузол формування поточного синхронного часу і пристрій для обчислення поточних значень первинного струму.

Суттєві ознаки запропонованого способу, що відрізняють його від прототипу, полягають у тому, що значення первинного струму i_1 , обчислюють як суму виміряного вторинного струму i_2 , помноженого на номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора струму, і струм у намагнічування i_0 , який обчислюють для кожного моменту за результатами поточного і трьох попередніх вимірювань з урахуванням зміння магнітного стану магнітопроводу.

Суттєві ознаки запропонованого пристрою, що реалізує спосіб, які відрізняють його від прототипу, полягають у введенні нових вузлів і взаємозв'язків, таких як вузол формування поточного синхронного часу і пристрій для обчислення поточних значень первинного струму. При цьому вхід вузла формування поточного синхронного часу зв'язаний із трансформатором напруги електроустановки, виходи аналого-цифрового перетворювача струму і вузла формування поточного синхронного часу зв'язані з входом пристрою для обчислення поточного значення первинного струму, а його вихід зв'язаний із входом обчислювального пристрою для попередньої математичної обробки вхідної інформації.

Винахід пояснюється кресленням "блок-схеми пристрою, який реалізує спосіб, що заявляється.

Блок-схема містить трансформатор струму з феромагнітним сердечником 1, аналого-цифровий перетворювач струму 2, вузол формування поточного синхронного часу 3, пристрій для обчислення поточних значень первинного струму 4, обчислювальний пристрій для попередньої математичної обробки вхідної інформації (поточних значень струму) 5, пристрій релейного захисту 6 і трансформатор напруги 7 електроустановки, при цьому вхід вузла формування поточного синхронного часу 3 зв'язаний із трансформатором напруги електроустановки 7, виходи аналого-цифрового перетворювача струму 2 і вузла формування поточного синхронного часу 3 зв'язані із входом пристрою для обчислення поточного значення первинного струму 4, а його вихід зв'язаний з входом обчислювального пристрою для попередньої математичної обробки вхідної інформації (поточних значень струму) 5.

Пристрій працює таким чином.

Вторинний струм трансформатора струму 1, що відповідає моменту часу t , надходить до аналого-цифрового перетворювача 2 і після нього у цифровому вигляді надходить до обчислювального пристрою 4, куди також надходить із пристрою 3 значення синхронного часу - кута

$$\alpha_1 = \omega \cdot t,$$

де $\omega = 2\pi f$ - кругова частота, що відповідає частоті мережі f .

У пристрої 4 обчислюють приріст вторинного струму Δi_{2t} за останній інтервал часу Δt , формують рівняння, що відповідає моменту часу t

$$\mu L_{0H} I_{0nm} [\sin(\alpha_t - \varphi) - \sin(\alpha_{t-\Delta t} - \varphi)] + \mu L_{0H} \Delta I_{0at} - \mu L_{2SH} \Delta i_{2t} \Delta t - L_2 \Delta i_{2t} = 0,$$

до якого входять чотири невідомих величини:

$$\mu, I_{0nm}, \Delta I_{0at} \text{ та } \varphi,$$

вирішують систему чотирьох рівнянь, до якої входять, крім означеного, три рівняння, сформовані у попередні моменти часу $t - \Delta t$, $t - 2\Delta t$ і $t - 3\Delta t$, в результаті чого визначають невідомі й обчислюють значення первинного струму, яке відповідає моменту часу t :

$$i_{1t} = \frac{\omega_2}{\omega_1} i_{2t} + i_{0t}$$

$$i_{0t} = I_{0nm} \sin(\alpha_t - \varphi) + I_{0at-\Delta t} + \Delta I_{0at};$$

У наступний момент часу процес повторюють з відповідним зсувом рівнянь у системі: додатком нового і виключенням останнього, тобто здійснюють процес кусочної лінеаризації нелінійного процесу з корекцією на кожному кроку вимірювання Δt .

Початкове значення аперіодичної складової струму намагнічування I_{0a} визначають, виходячи з відомого принципу безперервності струму в початковий момент перехідного процесу [1].

Обчислене значення струму i_{1t} з пристрою 4 надходить до пристрою для попередньої математичної обробки вхідної інформації 5, звідки результати надходять до пристрою релейного захисту 6 або інший приймач інформації.

Джерела інформації.

1. В.В. Афанасьев, И.М. Адоньев, В.М. Кибель и др. Трансформаторы тока. - Л.: Энергоатомиздат, 1989 (с.96-105, 109-120).

2. А.М. Федосеев. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. - М.: Энергоатомиздат, 1984 (с.264-265, 282-284, 320-329).

