

УДК 621.311

ТРИФАЗНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ КАНАЛИ ВЕКТОРІВ НАПРУГИ ТА СТРУМУ, ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

Б.С.Стогній, акад. НАН України, **М.Ф.Сопель**, канд.техн.наук, **Г.М.Варський**, канд.техн.наук,
І.В.Яковлева, канд.техн.наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,
e-mail: varsky@ied.org.ua

Введено поняття трифазного вимірювального каналу векторів напруги та струму. Досліджено вплив несиметрії вхідних сигналів та навантаження вимірювальних перетворювачів на точність вимірювання векторів у таких каналах. Доведена необхідність врахування особливостей роботи вимірювальних перетворювачів у трифазній схемі та використання математичних моделей трифазних вимірювальних каналів при визначенні корегувальних поправок для підвищення точності вимірювання векторів. Бібл. 6, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: трифазний вимірювальний канал, несиметрія, векторні вимірювання, корекція похибок вимірювання.

Основою ефективної роботи систем моніторингу і управління режимами електроенергетичних об'єктів (ЕЕО), захисту, автоматики, обліку електроенергії є достовірна інформація про струми і напруги ЕЕО. Її джерелом є високовольні вимірювальні трансформатори струму (ТС) та трансформатори напруги (ТН). У високовольних мережах напругою 110 кВ і вище вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів різних фаз з'єднують, зазвичай, у зірку та використовують чотирипровідну лінію зв'язку для підключення навантаження (входи пристроїв захисту, автоматики, вимірювання та ін.). Довжина такої лінії на сучасних підстанціях може сягати значних величин (до 500–1000 м). Таким чином, три ТС або ТН різних фаз, чотирипровідна лінія зв'язку та навантаження кожної фази вимірювального трансформатора, з'єднане у зірку, утворюють *трифазний вимірювальний канал (ТВК) струму або напруги*. Така побудова ТВК дозволяє зменшити кількість провідників (чотири замість шести при використанні кожного вимірювального трансформатора окремо) та зменшити навантаження кожного вимірювального ТС за рахунок виключення впливу опору нульового проводу у симетричних режимах роботи [3]. Але така структура ТВК має свої особливості щодо точності вимірювань у несиметричних режимах роботи, які потребують ретельних досліджень.

Останнім часом широке впровадження знаходять технології векторних вимірювань напруги і струму, які реалізуються у окремих пристроях PMU (Phasor Measurement Unit), або їхні функції виконуються в існуючих засобах вимірювання, зокрема в пристроях захисту, реєстраторах тощо. Сучасні пристрої PMU забезпечують високу точність синхронізації, їхня похибка вимірювання кутів складає десять частки градуса, а точність визначення модуля вектора напруги (струму) – не перевищує декількох сотих процента. Незважаючи на це, сумарні похибки вимірювання векторних параметрів режиму залишаються високими за рахунок первинних давачів інформації (ТС і ТН) та ліній зв'язку. Одним з шляхів підвищення точності вимірювання цих параметрів є реалізація корекції похибок вимірювальних трансформаторів [4], що потребує детального аналізу взаємного впливу вимірювальних трансформаторів та параметрів лінії зв'язку на точність роботи трифазного ВК. Вирішенню поставленого питання і присвячена дана робота.

Оскільки векторні вимірювання струму і напруги застосовують для основної гармоніки, то, як показують розрахунки, впливом на точність вимірювань паразитної ємності вторинної обмотки ТС або ТН, ємності і індуктивності лінії зв'язку на цій частоті можна знехтувати. Дослідимо вплив несиметрії вхідних сигналів та несиметрії навантаження на додаткові похибки вимірювання векторів у ТВК в залежності від активного опору проводів лінії зв'язку.

ТВК векторів напруги. Найчастіше вимірювання векторів напруги здійснюють у високовольних мережах, де встановлено три однофазні ТН, з'єднані за схемою зірки з заземленою нейтраллю (рис. 1). Розглянемо роботу такого ТВК. Приєднання вторинного обладнання до ТН здійсню-

ється здебільшого контрольними кабелями, наприклад, марки КВВГ з мідними жилами. Опір цих проводів $Z_{л}$ у порівнянні з опором вторинного навантаження ТН $Z_{н}$ має незначну величину.

Однак, втрата напруги в проводах, яка визначається їхнім опором, впливає на похибки вимірювального каналу напруги. ПУЕ так нормує втрату напруги: вона не повинна перевищувати 0,5% номінальної напруги при приєднанні розрахункових лічильників, 0,25% – для лічильників, що встановлені на міжсистемних лініях передач, 1,5 % – при приєднанні щитових приладів і 3% для панелей захисту та автоматики. Слід зазначити, що при здійсненні векторних вимірювань важливо враховувати не втрату напруги, а вектор падіння напруги в лінії зв'язку, який є складовою сумарного вектора похибки.

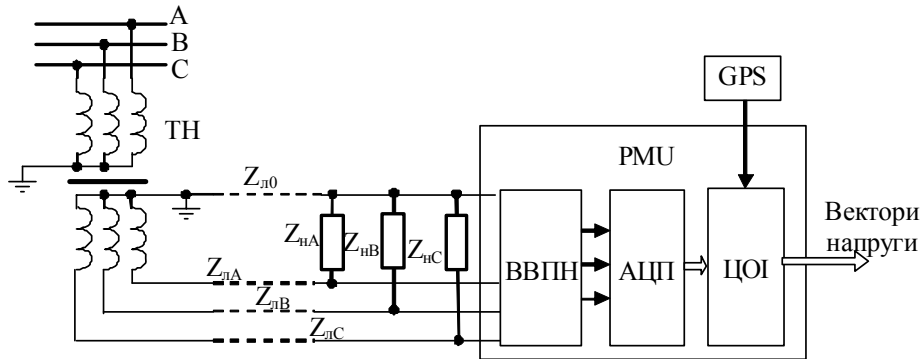


Рис. 1

Похибка вимірювання вектора фазної напруги, зумовлена схемою включення РМУ, дорівнює різниці вектора фазної напруги на вході засобу вимірювання $U_{ex\phi}$ і вимірюваного вектора $U_{EEO\phi}$, приведеного до вторинної напруги ТН. Вона визначається похибками ТН і падінням напруги в лініях зв'язку. В даному ТВК останнє має дві складові – падіння напруги в фазному проводі $\Delta U_{л\phi}$ та в нульовому проводі $\Delta U_{л0}$.

$$\Delta \dot{U}_{\phi} = \dot{U}_{ex\phi} - \dot{U}_{EEO\phi} = \Delta \dot{U}_{ТН} + \Delta \dot{U}_{л\phi} + \Delta \dot{U}_{л0},$$

де $\Delta U_{ТН}$ – вектор сумарної похибки ТН, який визначається похибками ТН за напругою та кутом.

Падіння напруги в фазних проводах визначаються їхнім опором і струмом навантаження, який залежить тільки від вхідної напруги та величини навантаження фазного ТН. Таким чином, складова похибки $\Delta U_{л\phi}$ кожної з фаз не залежить від навантаження та вхідного сигналу інших фаз. Падіння напруги в нульовому проводі $\Delta U_{л0}$ є складовою похибок всіх фаз. Воно визначається струмом в нульовому проводі, який є сумою фазних струмів.

За умови симетричної системи напруг ЕЕО, а також однакового навантаження фазних ТН сума фазних струмів дорівнює нулю і, відповідно, дорівнює нулю складова похибки $\Delta U_{л0}$. Тобто така схема побудови трифазного каналу дозволяє не тільки економити кабель, але й підвищує точність вимірювання порівняно зі схемою, в якій немає спільного проводу, а навантаження кожного ТН приєднується окремо.

В той же час, в умовах експлуатації трифазна система вхідних напруг і навантаження групи ТН можуть бути несиметричними. Так в електромережах напругою 330 кВ і нижче ТН зазвичай встановлюють не на кожній лінії, а на збірних шинах і тому такі ТН є спільним джерелом вимірювальної інформації про напругу для пристроїв захисту, автоматики, вимірювання і обліку електроенергії декількох контрольованих елементів електромережі. Крім того, в електронних лічильниках по колах напруги здійснюється і живлення самого лічильника. Це обумовлює складні схеми з'єднань вторинних кіл фазних ТН, значні величини паралельно увімкнених вторинних навантажень та їхню несиметрію.

Розглянемо роботу ТВК за таких умов. Дослідження проводилося за розробленою математичною моделлю ВК [5,6]. Згідно з моделлю процедуру вимірювального перетворення трифазної напруги від ЕЕО до входу засобу вимірювання векторів напруги представляємо послідовністю операцій, які можуть бути описані, виходячи з індивідуальних метрологічних характеристик трансформаторів групи, їхнього навантаження, параметрів ліній приєднання вторинного навантаження до групи ТН та конфігурації схеми з'єднання. Враховуючи схему даного ТВК (рис. 1), можна обмежитися двома операціями

$$[U_{ex}] = [M2^U] \cdot [M1^U] \cdot [U_{EEO}] = [M_{cx}] \cdot [U_{EEO}],$$

де $[U_{ex}]$ – матриця-вектор напруг на вході засобу вимірювання векторів напруги; $[U_{EEO}]$ – матриця-вектор фазних напруг ЕЕО; $[M1^U]$ – матриця перетворення, що віддзеркалює реальне масштабне перетворення напруг в окремих ТН схеми; $[M2^U]$ – матриця, що характеризує падіння напруги в лініях зв'язку між ТН і їхнім вторинним навантаженням, спричинені як власними навантаженнями ТН, так і їхньою роботою в групі; $[M_{cx}]$ – матриця загального перетворення напруги у ВК.

Матриця $[M1^U]$ – діагональна, елементи якої визначаються похибками фазних ТН за напругою та кутом $f_A, \delta_A, f_B, \delta_B, f_C, \delta_C$:

$$[M1^U] = \text{diag} \left\{ \frac{(1+f_A)e^{i\delta_A}}{n_{ном}}, \frac{(1+f_B)e^{i\delta_B}}{n_{ном}}, \frac{(1+f_C)e^{i\delta_C}}{n_{ном}} \right\},$$

де $n_{ном}$ – номінальний коефіцієнт трансформації ТН.

Діагональні елементи матриці $[M2^U]$ характеризують падіння напруги в фазному та нульовому проводах від власного навантаження ТН. Інші елементи цієї матриці визначають додаткове падіння напруги в нульовому проводі, спричинені навантаженнями інших ТН. Виходячи з розрахунку схеми, одержимо значення матриці $[M2^U]$ для даного ТВК

$$[M2^U] = \begin{bmatrix} 1 - (Z_{лА} + Z_{л0})/Z_{нА} & -Z_{л0}/Z_{нВ} & -Z_{л0}/Z_{нС} \\ -Z_{л0}/Z_{нА} & 1 - (Z_{лВ} + Z_{л0})/Z_{нВ} & -Z_{л0}/Z_{нС} \\ -Z_{л0}/Z_{нА} & -Z_{л0}/Z_{нВ} & 1 - (Z_{лС} + Z_{л0})/Z_{нС} \end{bmatrix}.$$

Ідеальним перетворенням вхідної напруги є масштабування вхідних сигналів $[M_{i\delta cx}]$ у відповідності до номінальних коефіцієнтів ТН. Тоді абсолютна похибка перетворення векторів трифазної напруги у вимірвальній схемі визначиться так:

$$[\Delta U] = ([M_{cx}] - [M_{i\delta cx}]) \cdot [U_{ЕЕО}],$$

де елементи $[\Delta U]$ – це вектори, що дорівнюють різниці між напругами $U_{\delta x}$, що подані на вхід засобу вимірювання, і масштабованими фазними напругами ЕЕО. Ортогональні проекції цих векторів на напрям первинної напруги визначають похибки за напругою та кутом.

Для ТН напругою 110–500 кВ номінальна потужність вторинної обмотки в класі точності 0,5 складає 400 ВА, а мінімальна, для якої нормується похибка, 100 ВА. Величина навантаження, яке створюють сучасні мікропроцесорні пристрої на ТН, близька до мінімального значення. Тому оцінка впливу несиметрії навантаження на похибки вимірювання векторів фазних напруг проводилася для значень, близьких до 100 ВА при різних значеннях опору (тобто довжини) лінії зв'язку. Результати одного з розрахунків наведено на рис. 2.

Навантаження ТН фаз В і С дорівнюють 100 ВА, коефіцієнти потужності відповідають нормативним, тобто дорівнюють 0,8 (активно-індуктивний характер). Навантаження ТН фази А – 120 ВА, коефіцієнт потужності – 0,985 (активно-індуктивний характер). ТН, які входять до складу ТВК, вважаємо ідеальними, тобто такими, похибками яких можна знехтувати. Розраховано залежності похибок за напругою та кутом всіх фаз від величини опору лінії зв'язку $Z_{л}$. Для порівняння розраховано похибки $f_{u_{сим}}$ і $\delta_{сим}$ вимірювання фазних напруг за умови симетричного навантаження (похибки всіх фаз однакові). З одержаних залежностей видно, що зміна навантаження фази А впливає на похибки фаз В і С, причому величина і характер цього впливу різні.

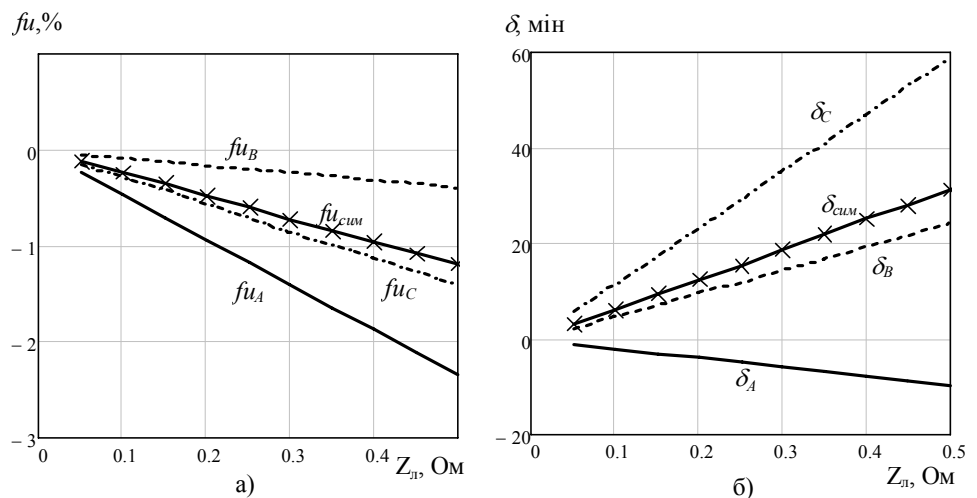


Рис. 2

Результати застосування даної моделі до каналу у складі трьох ТН типу НКФ-110-57, похибки яких відомі з результатів повірки, лінії зв'язку опором 0,25 Ом і несиметричного навантаження засвідчили значний вплив величини, характеру та несиметрії навантаження на похибки вимірювання векторів напруги та їхню суттєву відмінність від похибок фазних ТН [5].

В умовах експлуатації трифазна система вхідних напруг може бути несиметричною, причому вектори фазних напруг можуть відрізнятися як за модулями, так і за фазами. Кут напруги фази відно-

сно напруг інших фаз ніяк не впливає на похибки фазного ТН, однак робота ТВК в умовах несиметрії вхідної трифазної напруги потребує дослідження. Проаналізуємо, як впливають амплітудна та фазова несиметрії вхідної напруги на похибки вимірювання векторів фазних напруг. Будемо розглядати ТВК, в якому вторинне навантаження групи ТН симетричне величиною 100 ВА з нормативним коефіцієнтом потужності, тобто $\cos\varphi=0,8$ (активно-індуктивний), а похибки ТН покладемо рівними нулю і нехтуємо їхньою зміною від зміни первинної напруги.

Було досліджено вплив зміни величини напруги фази A за умови номінальних напруг фаз B і C на точність вимірювання векторів фазних напруг. Також досліджено вплив несиметрії по фазі за умови, що величини напруг всіх фаз дорівнюють номінальному значенню, кут фази A змінюється, кути фаз B і C такі ж, як при симетричній системі напруг. Одержані результати показали, що зміна напруги фази A по-різному впливає на величини амплітудних та кутових похибок вимірювання векторів фаз B і C , причому вплив залежить і від характеру вторинного навантаження, тобто від кута навантаження. Величина цього впливу залежить від величини несиметрії. Так за коефіцієнтів несиметрії 5% значення похибок за напругою відрізняються від значень тих же похибок за умови симетричної системи трифазних напруг не більше ніж на 0,1%, кутових – менше, ніж на 4 мін.

В умовах неповнофазного режиму, коли напруга фази A відсутня, похибки вимірювання напруг інших фаз зростають, перевищуючи похибки за симетричної системи трифазних напруг більш, ніж у 2 рази. На рис. 3 показано результати розрахунку залежності похибок за напругою та кутом визначення векторів напруг фаз B і C від опору лінії зв'язку $Z_{л}$. Навантаження всіх ТН дорівнюють 100 ВА, коефіцієнти потужності відповідають нормативним, тобто дорівнюють 0,8 (активно-індуктивний характер). Напруги фаз B і C – номінальні, фази A – 10% номінальної. Для порівняння розраховано похибки вимірювання фазних напруг за умови симетричної системи вхідних напруг (похибки всіх фаз однакові).

Таким чином, робота ТВК і, відповідно, точність вимірювання трифазної напруги залежить від симетрії трифазної системи вхідних напруг. Однак, якщо коефіцієнти несиметрії за зворотною та нульовою послідовностями не перевищують 5%, цей фактор не є визначальним і ним можна нехтувати. В умовах відсутності напруги однієї з фаз або її суттєвої зміни це необхідно враховувати при визначенні похибок вимірювання векторів фазних напруг і обчисленні поправок до результатів вимірювання.

Проведені дослідження показали необхідність для коректного визначення похибок вимірювання векторів фазних напруг застосовувати розроблену математичну модель трифазного вимірювального каналу, яка дозволяє враховувати навантаження всієї групи ТН і несиметрію вхідної системи напруг.

ТВК векторів струму. В трифазних ЕЕО інформацію про струм отримують від груп з двох або трьох фазних ТС. Виходячи з потреби практики вимірювань, можуть створюватися вимірювальні схеми з різною кількістю задіяних в них ТС і різним з'єднанням їх між собою і вторинним навантаженням. Для високовольтних ЕЕО характерною є схема з трьома ТС. Схема заміщення такого ТВК струму показана на рис. 4, де I_A, I_B, I_C – вторинні струми фазних ТС, які показано на схемі як відповідні джерела струму; $Z_{ТСА}, Z_{ТСВ}, Z_{ТТС}$ – повні опори вторинних обмоток відповідних ТС; $Z_{лА}, Z_{лВ}, Z_{лС}, Z_{л0}$ – опори проводів лінії зв'язку, $Z_{нА}, Z_{нВ}, Z_{нС}$ – опори вторинних навантажень відповідних ТС.

Різниця вектора фазного струму на вході засобу вимірювання і вимірюваного вектора струму ЕЕО, приведеного до вторинної сторони ТС, обумовлена похибками ТС, амплітудною та кутовою. Метрологічні характеристики ТС визначаються їхніми конструктивними параметрами, магнітними

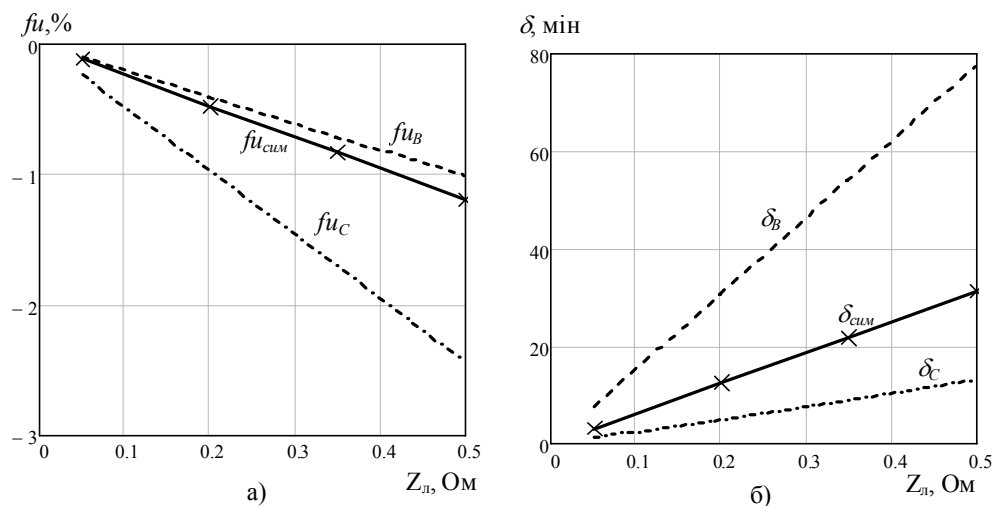


Рис. 3

характеристиками матеріалу осердя, величиною та формою первинних сигналів, параметрами вторинного навантаження, температурою навколишнього середовища, терміном експлуатації тощо. Розміри і форма осердя, його магнітні характеристики, матеріал і переріз проводу та кількість витків первинної і вторинної обмоток, інші конструктивні параметри визначаються при проектуванні ТС. Відхилення цих параметрів, включно з магнітними характеристиками осердя, що виникають в процесі виробництва, виткова корекція, яку застосовують для зменшення амплітудних похибок, зумовлюють різницю в метрологічних характеристиках окремих ТС одного типу безпосередньо після їхнього виготовлення. Зазвичай ця різниця знаходиться в межах, що визначаються граничними значеннями допустимих похибок ТС даного класу точності.

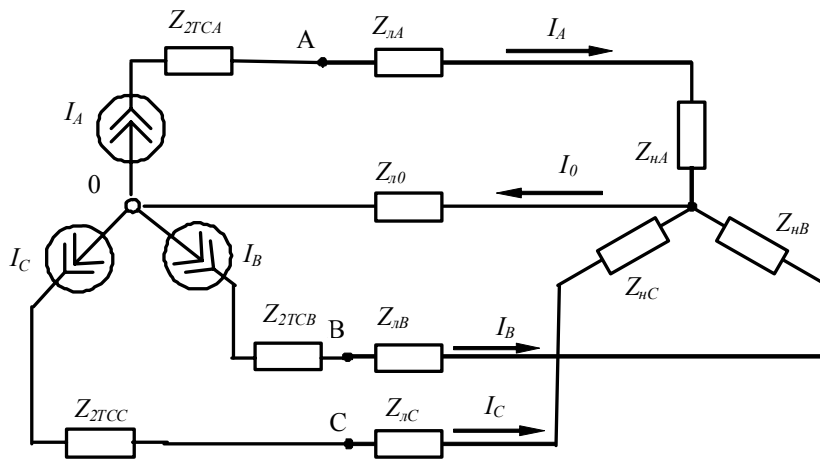


Рис. 4

Експлуатаційні фактори, а саме величина, форма і частота первинного сигналу, вторинне навантаження, параметри зовнішнього середовища, впливають на похибки ТС, однак величина цього впливу різна. Як показали теоретичні і експериментальні дослідження серійних зразків високовольтних ТС за зміни частоти сигналу в діапазоні 49,5 ÷ 50,5 Гц зміна похибки ТС не перевищує 1% від похибки класу точності, тобто впливом зміни частоти можна нехтувати. В температурному діапазоні від -60 до +55°C зміна похибки не перевищує 20% нормованого класу точності [1].

Вплив навантаження ТС на значення його похибок є суттєвим, зокрема, зі зменшенням навантаження крива, що відповідає струмовій похибці, зміщується вгору по осі ординат. Це призводить до зменшення від'ємних значень струмових похибок в нижньому діапазоні первинного струму і зміни знаку похибки для інших значень струму. Збільшення кута навантаження ТС призводить до зростання струмової і зменшення кутової похибки трансформатора аж до від'ємних значень. Величина зміни похибок трансформатора при зміні навантаження відрізняється для окремих трансформаторів одного типу. Про це свідчать наведені в роботі [2] дані розподілу зміни похибки модуля коефіцієнта трансформації ТС при номінальному струмі і зміні навантаження від номінального $S_{ном}$ до мінімального $(0,25S_{ном})$ значення.

Опір проводів лінії зв'язку, співмірний з опором вторинного навантаження, який складають приєднані до ТС прилади, має переважно активний характер і його необхідно враховувати при визначенні вторинного навантаження ТС. Виходячи з розрахунку поданої схеми (рис. 4), вторинне навантаження Z_{ϕ} кожного фазного ТС дорівнює

$$Z_{\phi} = Z_{л\phi} + Z_{н\phi} + \left(\dot{I}_0 / \dot{I}_{\phi} \right) Z_{л0} = Z_{л\phi} + Z_{н\phi} + \left(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \right) \dot{I}_{\phi}^{-1} Z_{л0},$$

де індекс ϕ набуває значень A, B, C .

За умови симетричної системи струмів ЕЕО сума фазних струмів дорівнює нулю і, відповідно, дорівнює нулю струм у нульовому проводі. Опір вторинного навантаження фазного ТС у цьому випадку складатиметься з опору приєданого навантаження і опору фазного проводу. Тобто така схема побудови трифазного каналу дозволяє не тільки економити кабель, але і зменшує опір навантаження фазного ТС порівняно зі схемою, в якій немає спільного проводу, а вторинне навантаження кожного ТС приєднується окремо. В цьому випадку опір навантаження ТС збільшується на опір ще одного проводу.

Покажемо, як змінюється опір навантаження фазних ТС за несиметричної системи струмів. Розрахунок проведено для таких умов: струми фаз B і C дорівнюють номінальним, струм фази A перевищує номінальний в 10 раз, навантаження фазних ТС за симетричної системи струмів дорівнює номінальному. На рис. 5 показано залежність відносних значень та кутів опорів навантаження ТС фаз B і C від величини опору нульового проводу.

Для порівняння показано величину та кут опору навантаження ТС за умови симетричної системи вхідних струмів (опори навантаження ТС всіх фаз однакові). З одержаних залежностей видно, що зміна струму фази *A* впливає на величину опору навантаження ТС фаз *B* і *C*, причому величина і характер цього впливу різні.

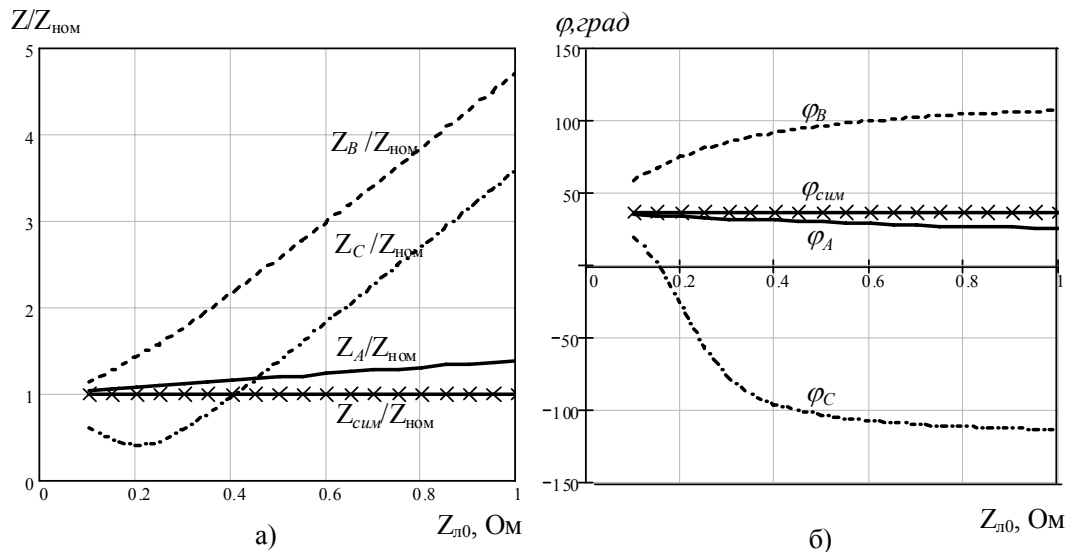


Рис. 5

$I_A/I_{НОМ}$	$I_B/I_{НОМ}$	$I_C/I_{НОМ}$	$Z_{л0}, Ом$	$f_B, \%$	$f_C, \%$	$\delta_B, \text{мін}$	$\delta_C, \text{мін}$
1	1	1	будь-яке	0,19	0,19	1,3	1,3
5	1	1	1,0	0,24	-0,09	-6,5	2,6
10	1	1	0,5	0,24	-0,12	-7,4	2,6
10	1	1	0,75	0,26	-0,22	-11,4	3,0
10	1	1	1,0	0,25	-0,32	-14,4	4,2

Вплив зміни струму фази *A* на похибки ТС двох інших фаз показано в таблиці для ТС з такими параметрами магнітного осердя: матеріал – електротехнічна сталь 3413; середня довжина – 0,958 м; площа перерізу – $15,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;

параметри вторинної обмотки: число витків – 2000; активний опір – 0,6 Ом; опір розсіювання – 0,76 Ом.

Висновки.

Показано, що при спільній роботі вимірювальних перетворювачів (ВП) напруги (струму) у трифазному ВК виникають явища, які не спостерігаються при роботі кожного перетворювача окремо. Зокрема, несиметрія вхідних сигналів або навантаження ВП викликають значну зміну похибок вимірювання векторів на виході ТВК, які залежать від режиму роботи кожного ВП, фази, в яких встановлено ВП, величини опору нульового проводу лінії зв'язку. Цим і викликана необхідність введення поняття трифазного ВК векторів струму та напруги.

Встановлено, що в симетричному режимі роботи ТВК додаткові похибки не виникають при будь-якому значенні опору нульового проводу, а при несиметрії до 5% зміна похибок на виході ВК має незначну величину, якою можна знехтувати. При більших значеннях несиметрії вхідних сигналів або навантаження ВП і значних відстанях до вимірювальних засобів для оцінки додаткових похибок вимірювання необхідно проводити розрахунки із застосуванням математичної моделі ТВК. А при проведенні корекції похибок ВП, які об'єднані у ТВК, для досягнення більшої точності вимірювань векторів необхідно враховувати і додаткові похибки, викликані особливостями роботи цього каналу.

Як компроміс, для зменшення додаткових похибок, викликаних несиметричним режимом роботи ТВК, можна запропонувати зменшення опору нульового проводу – зменшення опору у 2 рази зменшує додаткові похибки у ТВК приблизно також у 2 рази. При наявності вільних жил у контрольному кабелі, який використовується як лінія зв'язку, доцільно використовувати для нульового проводу ТВК не одну, а дві або декілька жил в залежності від величини додаткових похибок.

1. Борю Н.В., Руденко В.И., Соболева Е.А. О метрологических характеристиках высоковольтных измерительных трансформаторов // Электрические станции. – 1989. – №2. – С. 85–86.

2. Васильченко В.И., Шпилька В.Н., Панасюк В.Д., Цяпенко Б.Ф. Особенности электрических измерений в магистральных сетях // Электрические сети и системы. – 2007. – №3. – С. 63–70.

3. Справочник по релейной защите / Под общ. ред. М.А.Берковича. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 512 с.

4. *Stognii B.S., Sopel M.F., Varskyi G.M., Yakovleva I.V.* Підвищення точності вимірювання струмів електроенергетичних об'єктів у реєструючому пристрої «Регіна-Ч» // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск "Силова електроніка та енергоефективність". – 2012. – Част. 1. – С. 114–119.

5. *Yakovleva I.V., Tankevich S.M., Varskyi G.M.* Математичне моделювання каналів вимірювання векторів напруги в системах керування електроенергетичних об'єктів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №1. – С. 58–61.

6. *Stogny B., Tankevich E., Iakovlieva I., Varsky G.* The universal model of error of active power measuring channel // [Електронний ресурс]: IMEKO Symposium TC 4, TC 19 and IWADC Instrumentation for the ICT Era Proceedings – Sept. 8-10, 2010, Kosice, Slovakia – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – ISBN: 978-80-553-0424-3.

УДК 621.311

ТРЕХФАЗНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ ВЕКТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Б.С.Стогний, академик НАН України, **М.Ф.Сопель**, канд.техн.наук, **Г.М.Варський**, канд.техн.наук,

И.В.Яковлева, канд.техн.наук

Институт электродинамики НАН Украины, пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина,

e-mail: varsky@ied.org.ua

Введено понятие трехфазного измерительного канала векторов напряжения и тока. Исследовано влияние несимметрии входных сигналов и нагрузки измерительных преобразователей на точность измерения векторов в таких каналах. Доказана необходимость учета особенностей работы измерительных преобразователей в трехфазной схеме и использования математических моделей трехфазных измерительных каналов при определении корректирующих поправок для повышения точности измерения векторов. Библ. 6, табл. 1, рис. 5.

Ключевые слова: трехфазный измерительный канал, несимметрия, векторные измерения, коррекция погрешностей измерения.

THREE-PHASE MEASURING CHANNELS OF VECTORS OF VOLTAGE AND CURRENT, THEIR INFLUENCE ON ACCURACY OF MEASUREMENTS

B.S.Stognii, M.F.Sopel, G.M.Varskyi, I.V.Yakovleva

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine,

e-mail: varsky@ied.org.ua

The operation of three-phase metering circuits of vectors of voltage and current is considered. The concept of the three-phase measuring channel has been defined and features of work of instrument transformers in its structure have been shown. The mathematical modeling is used to study and estimate the effect of asymmetry of input signals and loadings of instrument transformers on a measurement accuracy of vectors of voltage in such channels depending on resistance of the neutral lead of the communication line. Change of loadings of current transformers as a part of the three-phase measuring channel from asymmetry of input signals has been studied. On a concrete example influence of this factor on errors of transformers has been estimated. The necessity of use of mathematical models of three-phase measuring channels to define correcting amendments for increase of a measurement accuracy of vectors has been proved. Practical recommendations of construction of three-phase measuring channels are given. References 6, table 1, figures 5.

Keywords: the three-phase measuring channel, asymmetry, vector measurements, correction of a measuring error.

1. *Borju N.V., Rudenko V.I., Soboleva E.A.* About metrological characteristics of high-voltage instrument transformers // *Elektricheskie stantsii*. – 1989. – №2. – Pp. 85–86. (Rus)

2. *Vasilchenko V.I., Shpilka V.N., Panasiuk V.D., Tsiapenko B.F.* Features of electric measurements in the main networks // *Elektricheskie seti i sistemy*. – 2007. – №3. – Pp. 63–70. (Rus)

3. *The directory on a relaying / Pod obshchei redaktsiei M.A. Berkovicha.* – Moskva: Gosenergoizdat, 1963. — 512 c. (Rus)

4. *Stognii B.S., Sopel M.F., Varskyi H.M., Yakovleva I.V.* Increase of a measurement accuracy of currents of electropower objects in logger "Regina-Ch" // *Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist"*. – 2012. – Vol.1. – Pp. 114–119. (Ukr)

5. *Yakovleva I.V., Tankevych Ye.M., Varskyi H.M.* Mathematical modelling of channels of measurement of vectors of voltage in control systems of electropower objects // *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. – 2012. – №1. – Pp. 58–61. (Ukr)

6. *Stogny B., Tankevich E., Iakovleva I., Varsky G.* The universal model of error of active power measuring channel // [Електронний ресурс]: IMEKO Symposium TC 4, TC 19 and IWADC Instrumentation for the ICT Era Proceedings – Sept. 8-10, 2010, Kosice, Slovakia – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – ISBN: 978-80-553-0424-3.

Надійшла 04.06.2013