

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути використаний для оцінки придатності вторинних ланцюгів трансформатору напруги для включення лічильників електричної енергії.

Відомий пристрій для вимірювання втрати напруги, який містить вольтметр та довгий вимірювальний одножильний кабель, через який вольтметр першим входом приєднаний до початку вторинного ланцюга трансформатору напруги, наприклад, до клеми вторинної обмотки трансформатору напруги. Другий вхід вольтметра вмикається безпосередньо до кінця вторинного ланцюга, наприклад, до клеми лічильника [див. "Інструкцію по проверке трансформаторов напряжения и их вторичных цепей" М, "Союзтехэнерго", 1979]. Крім цього пристрій містить фазометр, який вимірює кут між вектором струму у прямому або зворотному дроті вторинного ланцюга та вектором напруги на початку електричного ланцюга трансформатора напруги. Втрата напруги обліковується як сума косінусних складових вимірюваних падінь напруги на прямому та зворотному дротах. Однаково суттєвими ознаками цього аналогу і винаходу є вимірювальний кабель та вимірювальний блок, який містить в собі вольтметр та фазометр.

Недоліком пристрою є низька перешкодозахисність, яка зв'язана з тим, що електричний контур, який утворюється вторинним ланцюгом трансформатору напруги, вимірювальним одножильним кабелем та вольтметром, пронизується на території підстанції, де проводяться вимірювання, змінним електромагнітним полем, в основному, промислової частоти. Це поле наводить в сформованому вимірювальному контурі змінну е.д.с., яка може бути на порядок більш, ніж втрата напруги у вторинному ланцюгу трансформатору напруги, яка викликається струмом навантаження і впливає на показання лічильника. Наведена е.д.с. на лічильник не впливає, тому що вона утворюється тільки на час вимірювань та тільки у ланцюгу вольтметра.

Найбільш близьким до технічної суттєвості є пристрій для вимірювання втрати напруги, який містить прямий та зворотний розділювальні трансформатори, у яких початки первинних обмоток приєднані відповідно до кінців прямого та зворотної жил вимірювального кабелю, що утворюють виту пару, а кінці первинних обмоток підключені відповідно до кінців прямого та зворотного дротів вторинного ланцюга трансформатору напруги, причому вторинні обмотки прямого та зворотного розділювальних трансформаторів з'єднані між собою послідовно-зустрічно для формування сумарного падіння напруги на

прямому та зворотному дротах вторинного ланцюга трансформатору напруги $\dot{U}_{\text{пад}}$ і підключені до вимірювально-обчислювального блоку, у якому через сітьовий розділювальний трансформатор вимірюються напруги на кінцях \dot{U}_c , або початках $\dot{U}_{\text{ТН}}$ прямого та зворотного дротів вторинного ланцюга, напруга $\dot{U}_{\text{пад}}$, визначається кут між векторами $\dot{U}_{\text{пад}}$ та \dot{U}_c або $\dot{U}_{\text{ТН}}$ і розраховується втрата напруги за формулою [див. заявку на винахід №2002021579 від 26.02.2002 "Пристрій для вимірювання втрати напруги у вторинному ланцюгу трансформатору напруги"]
 $\Delta U \approx U_{\text{пад}} \cos \alpha$.

Недоліком пристрою є низька точність вимірювань ΔU при значеннях кута α , близьких до 90° , і більших $U_{\text{пад}}$. Наприклад, при погрішності визначення α , яка дорівнює 1° , та істинному значенні $\alpha = 90^\circ$ можна одержати погрішність вимірювання $\Delta U = 0,017 U_{\text{пад}}$ (при вимірюваному $\alpha = 89^\circ$). При $U_{\text{пад}} = 2\text{В}$ погрішність визначення втрати напруги складе 34мВ. В той же час припустима втрата фазної напруги $\Delta U = 0,0025 U_{\text{ф}} = 0,0025 \times 100 \sqrt{3} = 0,433\text{В} = 433\text{мВ}$, де $U_{\text{ф}}$ - номінальна фазна напруга трансформатору напруги.

Винахід, який заявляється, направлений на збільшення точності вимірювання втрати напруги при кутах α , близьких до 90° .

У основу винаходу поставлена задача виключення вимірювання кута α . Ця мета досягається тим, що у вимірювально-обчислювальному блоці до вторинної обмотки сітьового вимірювального трансформатору приєднаний вхід ланцюга робочого струму прямокутно-координатного компенсатору змінного струму, вхід вимірювання якого підключений до послідовно-зустрічно з'єднаним вторинним обмоткам прямого та зворотного розділювальних трансформаторів, причому у прямокутно-координатному компенсаторі змінного струму вхід ланцюга робочого струму утворений об'єднаними входами першого підсилювача з коефіцієнтом підсилення, який регулюється у діапазоні $-1 \div +1$, і інтегратора, зроблених, наприклад, з використанням операційних підсилювачів, причому вихід інтегратора підключений до входу другого підсилювача з коефіцієнтом підсилення, який регулюється у діапазоні $-1 \div +1$, а вхід вимірювання утворений входом третього підсилювача з коефіцієнтом підсилення, який регулюється у межах від одиниці і вище, вихід якого приєднаний до третього входу суматора, у якого перший та другий входи підключені відповідно до входів першого та другого підсилювача, а вихід - до нуля-індикатора, причому вихід першого підсилювача приєднаний додатково до вольтметра, який використовується для вимірювання втрати напруги.

Винахід, який пропонується, пояснюється за допомогою Фіг.1, 2 та 3.

На Фіг.1 представлена схема вимірювання ΔU у випадку відліку кута α від вектора напруги на лічильнику \dot{U}_c . На Фіг.2 зображені векторні діаграми напруг у вторинному ланцюгу трансформатору напруги, які відображають рівняння

$$\dot{U}_{\text{ТН}} = \dot{U}_c + \dot{U}_{\text{пад}}$$

На Фіг.3 зображені векторні діаграми, які показують процес налаштування пристрою вимірювання втрати напруги.

Розглянемо довільний двопровідний електричний ланцюг, який з'єднує вторинну обмотку трансформатору напруги 1 (Фіг.1) і складається з прямого 2 та зворотного 3 дротів та лічильника 4. Втрата напруги на лічильнику сумується з втрат напруги на прямому дроті електричного ланцюга та зворотному. Тому для вимірювання втрати напруги на лічильнику 4 використовується вимірювальний кабель 5 з витими прямою 6 та зворотною 7 жилами. Підсумовування падінь напруги на прямому та зворотному дротах електричного ланцюга $\dot{U}_{\text{вимп}}$ та $\dot{U}_{\text{вимз}}$ здійснюється у пристрою для вимірювання втрати напруги 8 за

допомогою прямого 9 та зворотного 10 розділювальних трансформаторів. Начала первинних обмоток прямого 9 та зворотного 10 розділювальних трансформаторів приєднані відповідно до кінців прямої 6 та зворотної 7 жил вимірювального кабелю 5. Кінці первинних обмоток прямого та зворотного розділювальних трансформаторів підключені відповідно до кінців прямого 2 та зворотного 3 дротів вторинного ланцюга трансформатору напруги 1. Вторинні обмотки прямого та зворотного розділювальних трансформаторів з'єднані між собою послідовно-зустрічно і підключені до входу вимірювання 11 прямокутно-координатного компенсатору змінного струму 12. До входу ланцюга робочого струму 13 прямокутно-координатного компенсатору змінного струму підключена вторинна обмотка сітьового розділювального трансформатору 14, який забезпечує гальванічну розв'язку з лічильником 4, до якого приєднана його первинна обмотка. Вхід ланцюга робочого струму прямокутно-координатного компенсатора змінного струму утворений об'єднаними входами першого підсилювача 15 з коефіцієнтом підсилювання, який регулюється у діапазоні $-1 \leq k_{\text{син}} \leq 1$, та інтегратора 16, вихід якого підключений до входу другого підсилювача 17 з коефіцієнтом підсилювання, який регулюється у діапазоні $-1 \leq k_{\text{кв}} \leq 1$. Перший підсилювач 15 та інтегратор 16 разом з другим підсилювачем 17 являють собою відповідно синфазну і квадратну вимірювальні ланцюги. Вхід вимірювання 11 утворений входом третього підсилювача 18 з коефіцієнтом підсилення $k_{\text{пад}}$, який регулюється у межах від одиниці та вище. Виходи усіх трьох підсилювачів підключені до суматора 19, вихід якого приєднаний до нуля-індикатору 20. Вихід першого підсилювача підключений додатково до вольтметра 21, за допомогою якого вимірюється втрата напруги ΔU .

Для підсилювачів 15 і 17 з коефіцієнтом підсилювання, який регулюється у діапазоні $-1 \div +1$, та інтегратора 16 можуть бути використані типові схеми на основі операційних підсилювачів [див. Хорвиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-х томах. - М.: Мир, 1983]. Суматор 19 та третій підсилювач 18 також можуть бути зроблені на основі операційних підсилювачів, причому суматор і третій підсилювач можуть бути реалізовані на одному операційному підсилювачі, у якого організовані три входи, причому по перших двох входах, до яких підключаються виходи першого 15 і другого 17 підсилювача, коефіцієнт підсилення вибирається рівним одиниці, а по третьому входу, який у даному випадку буде безпосередньо входом вимірювання прямокутно-координатного компенсатора змінного струму, коефіцієнт підсилення $k_{\text{пад}}$ повинен регулюватися плавно або дискретно від одиниці та вище. Нуль-індикатор 20 утримує фільтр, налагоджений на промислову частоту. Це дозволяє подавити постійну складову, яка може бути на виході інтегратора 16, і вищі гармоніки в напрузі $\Delta U_{\text{пад}}$.

Сформуємо ортогональну систему координат з початком, який збігається з початком вектору $\dot{U}_{\text{пад}}$ (Fig.3), у якій ось абсцис збігається з напрямком вектору $\dot{U}_{\text{с}}$ (Fig.2, а) або $\dot{U}_{\text{тн}}$ (Fig.2, б) і відповідає синфазному вимірювальному ланцюгу, який утворений першим підсилювачем 15. Синфазна напруга на виході підсилювача 15 $U_{\text{син}} = k_{\text{син}} k_{\text{т}} U_{\text{с}} = k_{\text{син}} U_{\text{в.м.}}$ або $U_{\text{син}} = k_{\text{син}} k_{\text{т}} U_{\text{тн}} = k_{\text{син}} U_{\text{в.м.}}$ може змінюватися у межах $-U_{\text{в.м.}} \leq U_{\text{син}} \leq U_{\text{в.м.}}$. Коефіцієнт $k_{\text{т}}$, який є коефіцієнтом трансформації сітьового розділювального трансформатору 14, підбирається таким чином, щоб напруга $U_{\text{в.м.}}$ була рівною максимально можливому значенню $U_{\text{пад}}$, яке на практиці звичайно складає 2В.

Ось ординат (мніма ось) ортогональної системи відповідає квадратурному вимірювальному ланцюгу, утвореному інтегратором 16 та другим підсилювачем 17. На вході інтегратора 16 існує напруга $u_{\text{в}} = U_{\text{в.м.}} \sin \omega t$.

Після інтегрування виходить

$$u_{\text{ин}} = U_{\text{ин}} \cos(\omega t - 90^\circ) + C,$$

де C - постійна інтегрування; $U_{\text{ин}} = k_{\text{ин}} U_{\text{в.м.}} I(\omega)$; $k_{\text{ин}} = -(\omega)$ - нерегульований коефіцієнт підсилення інтегратора, при якому виходить

$$k_{\text{ин}} = U_{\text{в.м.}} \cos(\omega t + 90^\circ) + C.$$

Постійна інтегрування достатньо легко пригнічується шляхом застосування фільтру у нуль-індикаторі.

Квадратурна напруга $U_{\text{кв}} = k_{\text{кв}} U_{\text{в.м.}}$ на виході підсилювача 17 може змінюватися, як і синфазна напруга, у межах $-U_{\text{в.м.}} \leq U_{\text{кв}} \leq U_{\text{в.м.}}$.

При змінюванні коефіцієнта підсилення підсилювачів 15 та 17 від крайніх значень $k_{\text{син}} = -1$ і $k_{\text{кв}} = -1$ у бік збільшення напруги $U_{\text{син}}$ та $U_{\text{кв}}$ будуть приймати початкові значення, які дорівнюють $-U_{\text{в.м.}}$, а потім змінюватися відповідно до змінювань $k_{\text{син}}$ та $k_{\text{кв}}$. Почнемо спочатку збільшувати $k_{\text{кв}}$. Напруга $U_{\text{кв}}$ на виході другого підсилювача 17 буде мати ряд від'ємних значень

$$U_{\text{кв}} = -U_{\text{кв1}}, \dots, -U_{\text{кв2}},$$

потім перейде через нуль у бік додатних значень. Сума напруг на виході підсилювачів 15 та 17 буде рівна

$$\dot{U}_{\Sigma} = \dot{U}_{\Sigma1} = -U_{\text{син1}} - jU_{\text{кв1}};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\dot{U}_{\Sigma} = \dot{U}_{\Sigma2} = -U_{\text{син1}} - jU_{\text{кв2}}.$$

Кінець вектору \dot{U}_{Σ} буде переміщуватися уздовж прямої аб, паралельної осі ординат. Напруга на вході нуля індикатору 20 (на виході суматора 19) прийме послідовні значення

$$\dot{U}_{\text{ни}} = \dot{U}_{\text{ни1}} = k_{\text{пад}} \dot{U}_{\text{пад}} + \dot{U}_{\Sigma1};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\dot{U}_{\text{ни}} = \dot{U}_{\text{ни2}} = k_{\text{пад}} \dot{U}_{\text{пад}} + \dot{U}_{\Sigma2}.$$

Кінець вектору $\dot{U}_{\text{ни}}$ буде переміщуватися уздовж прямої рf, паралельної осі ординат. Нарешті, при $U_{\text{кв}} = U_{\text{кв3}}$, коли

$$\dot{U}_{\Sigma} = \dot{U}_{\Sigma3} = -U_{\text{син1}} + jU_{\text{кв3}}$$

напруга на виході нуль-індикатора буде мати мінімальне значення

$$\dot{U}_{\text{НИ}} = \dot{U}_{\text{НИЗ}} = k_{\text{пад}} \dot{U}_{\text{пад}} + \dot{U}_{\Sigma 3}$$

і буде співпадати з віссю абсцис, тобто з напрямком вектору $U_{\text{в.м.}}$. Після цього треба змінювати синфазну напругу $U_{\text{син}}$ на виході першого підсилювача 15, збільшуючи $k_{\text{син}}$. Напруга $U_{\text{син}}$ прийме ряд від'ємних значень $U_{\text{син}} = -U_{\text{син1}}, \dots, -U_{\text{син2}}$. Тоді сумарна напруга

$$\dot{U}_{\Sigma} = \dot{U}_{\Sigma 3} = -U_{\text{син1}} - jU_{\text{кв3}};$$

.....

$$\dot{U}_{\Sigma} = \dot{U}_{\Sigma 4} = -U_{\text{син2}} - jU_{\text{кв3}}.$$

Кінець вектору \dot{U}_{Σ} в даному випадку буде переміщуватися уздовж прямої тп, паралельної осі абсцис. Напруга на вході нуль-індикатора 20 буде мати значення

$$\dot{U}_{\text{НИ}} = \dot{U}_{\text{НИЗ}} = k_{\text{пад}} \dot{U}_{\text{пад}} + \dot{U}_{\Sigma 3};$$

.....

$$\dot{U}_{\text{НИ}} = \dot{U}_{\text{НИ2}} = k_{\text{пад}} \dot{U}_{\text{пад}} + \dot{U}_{\Sigma 4}.$$

Кінець вектору $\dot{U}_{\text{НИ}}$ почне переміщуватися уздовж осі абсцис, безперервно зменшуючись по модулю. На кінець, при $U_{\text{син}} = U_{\text{син3}}$ він буде дорівнювати нулю

$$\dot{U}_{\text{НИ}} = \dot{U}_{\text{НИ5}} = k_{\text{пад}} \dot{U}_{\text{пад}} + \dot{U}_{\Sigma 5} = k_{\text{пад}} \dot{U}_{\text{пад}} - U_{\text{син3}} +$$

$$+ jU_{\text{кв3}} = 0$$

Так як

$$\dot{U}_{\text{пад}} = U_{\text{пад}} \cos \alpha + jU_{\text{пад}} \sin \alpha$$

то має місце

$$k_{\text{пад}}(U_{\text{пад}} \cos \alpha + jU_{\text{пад}} \sin \alpha) = U_{\text{син3}} - jU_{\text{кв3}}$$

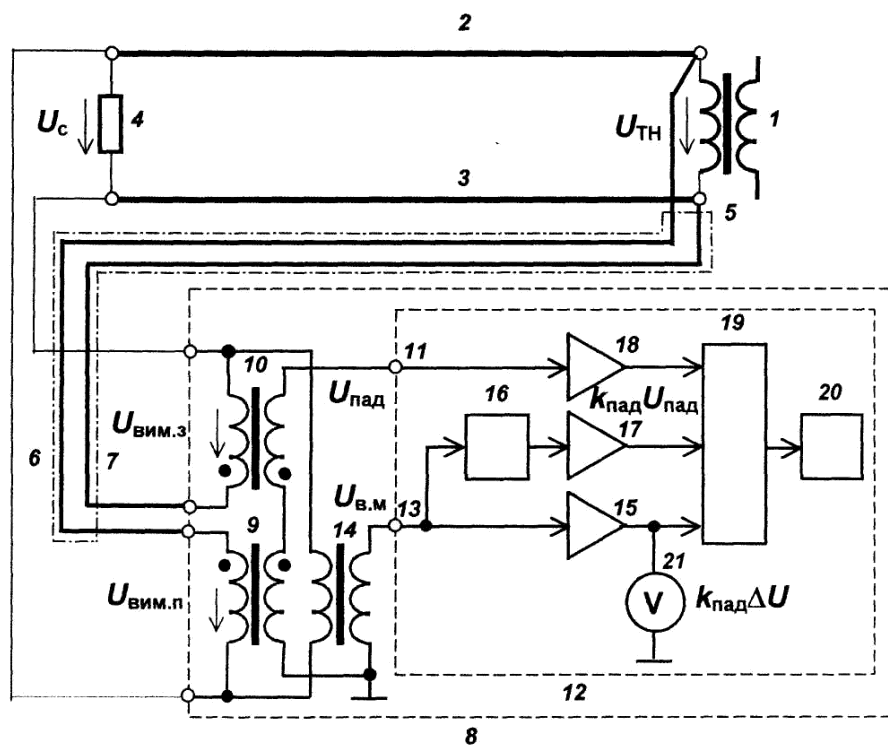
і

$$k_{\text{пад}} U_{\text{пад}} \cos \alpha = k_{\text{пад}} \Delta U = U_{\text{син3}}.$$

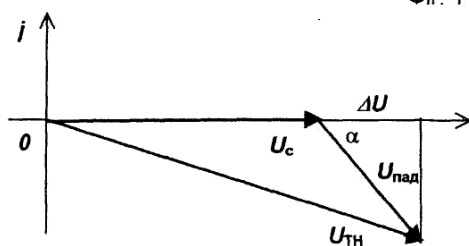
Тоді $\Delta U = U_{\text{син3}} / k_{\text{пад}}$. Отже, напруга на виході першого підсилювача 15, яка вимірюється вольтметром 21, у момент становлення квадратури пропорційна втраті напруги. Для визначення втрати напруги достатньо показники вольтметра 21 розділити на коефіцієнт підсилення третього підсилювача $k_{\text{пад}}$. Коефіцієнт $k_{\text{пад}}$ роблять більше одиниці, коли $U_{\text{пад}}$ має малі значення, і вибирають таким, щоб величина $k_{\text{пад}} U_{\text{пад}}$ була близька до $U_{\text{в.м.}}$. При цьому можна використовувати усю шкалу вольтметра 21 та здійснювати більш плавний підбір коефіцієнтів $k_{\text{син}}$ та $k_{\text{кв}}$ у першого 15 та другого 17 підсилювачів.

Якщо кут α відлічується від вектору напруги $\dot{U}_{\text{ТН}}$ на вторинній обмотці трансформатору напруги (Фіг.2, б), то ортогональна система координат прив'язується до напрямку вектору $\dot{U}_{\text{ТН}}$.

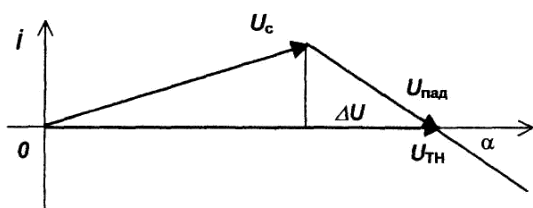
Використання прямокутно-координатного компенсатору змінного струму, у якого вхід ланцюга робочого струму підключений через сільовий вимірювальний трансформатор до лічильнику або до вторинної обмотки трансформатору напруги, а вхід вимірювання - до послідовно-зустрічно з'єднаним вторинним обмоткам прямого та зворотного розділювальних трансформаторів, дозволяє проводити безпосередньо вимірювання втрати напруги без вимірювання кута між вектором падіння напруги і вектором напруги на лічильнику або вторинній обмотці трансформатору напруги.



Фиг. 1

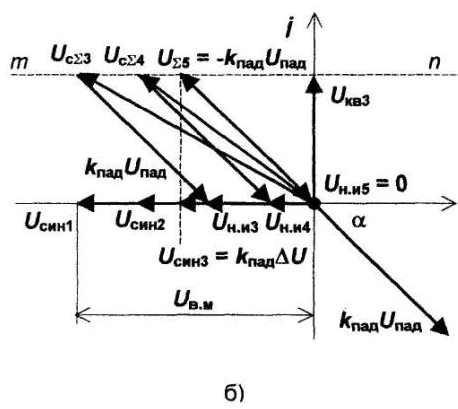
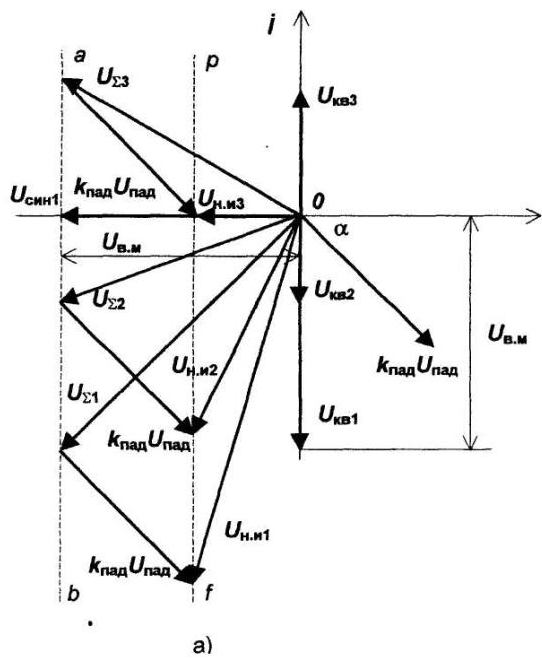


а)



б)

Фиг. 2



Фіг. 3