

9. Войтюк О. П. Розробка та дослідження перетворення частоти у код методом послідовного наближення: автореф. дис.... канд. техн. наук / НУ "Львівська політехніка". – Львів, 2004. – 16 с.
10. Горященко К.Л. Контроль відстаней до пошкоджень в низькочастотній лінії зв'язку, імпульсним та фазовим методами, що використовуються почергово: автореф. дис.... канд. техн. наук / КНУТД. – Київ, 2005. – 16 с.
11. Полікарівських О. І. Швидкодійні синтезатори секвентності на основі фазочастотних перетворювачів: автореф. дис.... канд. техн. наук / ВДТУ. – Вінниця, 2006. – 16 с.
12. Романюк В. В. Обчислювальний метод побудови базисів ортогональних функцій для системи багатоканального зв'язку з кодовим розділенням каналів: автореф. дис.... канд. техн. наук / ТДТУ ім. Полюя. – Тернопіль, 2006. – 16 с.
13. Троцишин І. В. Вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів / І. В. Троцишин. – Хмельницький, ПП Ковальський В.В. – 2002. – 382 с.
14. Троцишин І. В. Теорія фазочастотних вимірювань та перетворень параметрів радіосигналів у процесі дослідження ієрархії ранжирування методів вимірювання частоти / І. В. Троцишин, Л. В. Троцишина // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький. – 2008. – № 3. – Технічні науки. – С. 153–158.
15. Троцишин І. В. Частота, кут фазового зсуву, повний фазовий зсув: ілюзії та реальність / І. В. Троцишин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 2. – С. 193–198.
16. Троцишина Л. В. Вимірювання частоти за методом коінциденції / Л. В. Троцишина, О. П. Войтюк, І. В. Троцишин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 2. С. 198–203.
17. Троцишина Л. В. Фазочастотний підхід к измерению частоты радиосигналов и частотер совпадений // "Молодь та сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій" "РТ-2006". Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і вчених. – Севастополь, С. 93–97.
18. Троцишин І. В. Вимірювання частоти за методом коінциденції та особливості утворення шкали вимірювального перетворення / І. В. Троцишин І. В., О. П. Войтюк., Л. В. Троцишина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – Технічні науки. – С. 240–244.

Надійшла 10.3.2011 р.

УДК 681.518.2

О.М. ВОЗНЯК, О.В. ВОЙЦЕХОВСЬКА  
Вінницький національний технічний університет

## АМПЛІТУДНО-ФАЗОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОБМОТОК

*В статті показано, що параметри електричних обмоток (добротність, активний опір, індуктивність) можуть бути визначені при вимірюванні кута фазового зсуву між двома напругами на виході вимірювального перетворювача, а також відношення амплітуд цих напруг. Проаналізовано залежність складових похибки вимірювання параметрів електричних обмоток від параметрів вимірювального перетворювача. Розроблено структурну схему вимірювача параметрів електричних обмоток.*

*In the article it is shown that parameters of electric windings (Q-factor, resistance, inductance) can be defined by phase shift angle measuring between two voltages in a measuring device's terminal, as well as by measuring of a ratio of these voltages amplitudes. A dependence of electric windings parameters metering error components on measuring converter's parameters is analyzed. A circuit of electric windings parameters meter is developed.*

Ключові слова: параметри обмоток електричних машин, добротність, індуктивність, вимірювання кута фазового зсуву.

### Вступ

Випробування електричних обмоток є складним технологічним процесом, що містить операції контролю різних параметрів виробу. Найбільш суттєвою складовою якості електричної обмотки є відсутність короткозамкнених витків. В зв'язку з цим виникає задача визначення кількості короткозамкнених витків електричних обмоток в процесі їх виготовлення.

В наш час відомі декілька способів визначення інформативного параметра: за величиною активного опору; за величиною індуктивності й т.п. Але кожен з цих способів має невелику чутливість до кількості короткозамкнених витків, а для його реалізації необхідно значні часові витрати. Оскільки ці способи реалізуються на базі мостових схем, то процес вимірювання автоматизувати дуже складно.

### Постановка задачі дослідження

Всі відомі методи та засоби вимірювання параметрів електричних обмоток можна поділити на дві групи: параметричні та генераторні. До параметричних слід віднести вимірювання опору, діелектричних втрат, ємності, коефіцієнта абсорбції та добротності обмотки, а до генераторних методів – вимірювання перехідних процесів, метод саморозряду, вимірювання поля розсіювання, спектроімпульсний метод, метод акустичної емісії та метод вимірювання часткових розрядів.

Як відомо, якість електричної машини в першу чергу визначається якістю та станом ізоляції обмоток. З результатів досліджень [1] відомо, що приблизно 90 % всіх відмов електричних машин обумовлені пробоем міжвиткової ізоляції. Тому підвищення ефективності методів контролю ізоляції електричних обмоток є актуальною і важливою задачею.

**Теоретичні дослідження**

Неруйнівний контроль стану ізоляції здійснюють за величиною активного опору ізоляції, ємності, індуктивності, добротності та інших параметрів обмотки. Вищу достовірність під час виявлення короткозамкнених витків в обмотці має добротність, значення якої більш критично до появи короткозамкнених витків [2]. Як відомо, за визначенням добротність є відношенням реактивної потужності  $W$  до потужності активних втрат  $P$  в системі. Збільшення кількості  $k$  короткозамкнених витків приводить до того, що

$$\frac{dW}{dk} < 0; \frac{dP}{dk} > 0. \tag{1}$$

Перша нерівність виходить з тієї умови, що збільшення кількості короткозамкнених витків призводить до зменшення індуктивності обмотки, а друга – з умови збільшення втрат в системі.

Оскільки добротність  $Q$  обмотки зменшується при збільшенні кількості  $k$  короткозамкнених витків, то

$$\frac{dQ}{dk} = \frac{d}{dk} \left( \frac{W}{P} \right) = -\frac{1}{P} \left( \left| \frac{dW}{dk} \right| + Q \frac{dP}{dk} \right). \tag{2}$$

З урахуванням того, що  $W = Q \cdot P$ , отримаємо

$$\frac{\Delta Q}{Q} = - \left( \left| \frac{\Delta W}{W} \right| + \frac{\Delta P}{P} \right). \tag{3}$$

Таким чином, контроль короткозамкнених витків електричної обмотки за величиною добротності має вищу чутливість, ніж контроль за величиною індуктивності.

Для вимірювання добротності використовують такі методи: мостовий, відношення напруг, ударного збудження резонансний та інші. Вони мають різну схемну реалізацію. Однак дані методи вимірювання добротності характеризуються великою кількістю блоків перетворень, невисокими метрологічними характеристиками та складністю реалізації.

Останнім часом на практиці поширені фазовий та амплітудно-фазовий методи вимірювання добротності електричних обмоток. Ці методи прості, в реалізації, мають високу точність вимірювання і легко реалізуються в мікропроцесорному варіанті. Розглянемо еквівалентну схему вимірювального перетворювача, до складу якої входять розподільчий резистор  $R$ , прецизійний еталонний елемент з комплексним опором  $Z_0$  та об'єкт вимірювання (комплексний опір досліджуваної обмотки) з невідомим комплексним опором  $Z_L = R_X + jX_{L_X}$ , де  $X_{L_X} = \omega L_X$ .

Розглянемо принцип вимірювання добротності  $Q$  та параметрів електричної обмотки  $L_X$  та  $R_X$  за допомогою вимірювального перетворювача, еквівалентну схему якого наведено на рис. 1. Як прецизійний еталонний елемент можна використовувати резистор з активним опором  $R_0$ , конденсатор з комплексним опором  $Z_{C_0} = R_{C_0} - jX_{C_0}$  та котушку індуктивності з комплексним опором  $Z_{L_0} = R_{L_0} + jX_{L_0}$ , де  $X_{L_0} = \omega L_0$ ,  $X_{C_0} = \frac{1}{\omega C_0}$ . Проаналізуємо таку еквівалентну схему для трьох можливих варіантів прецизійного еталонного елемента.

У випадку використання як прецизійного еталонного активного елемента резистора з активним опором  $Z_0 = R_0$  знайдемо комплексні напруги де  $U_{01}$  та  $U_{X1}$  на виході вимірювального перетворювача:

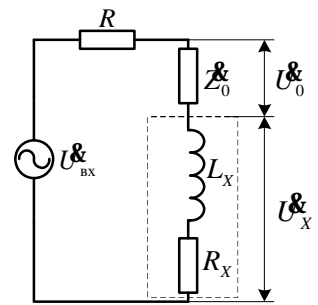


Рис. 1. Еквівалентна схема вимірювального перетворювача для вимірювання параметрів електричних обмоток

$$U_{01} = \frac{U_{BX} R_0}{R_0 + Z_{L_X} + R} = \frac{U_{BX} R_0}{\sqrt{(R_0 + R_X + R)^2 + X_{L_X}^2}} \cdot e^{j \left\{ j_{BX} - \arctg \frac{X_{L_X}}{R_0 + R_X + R} \right\}}; \tag{4}$$

$$U_{X1} = \frac{U_{BX} Z_{L_X}}{R_0 + Z_{L_X} + R} = \frac{U_{BX} \sqrt{R_X^2 + X_{L_X}^2}}{\sqrt{(R_0 + R_X + R)^2 + X_{L_X}^2}} \cdot e^{j \left\{ j_{BX} + \arctg \frac{X_{L_X}}{R_X} - \arctg \frac{X_{L_X}}{R_0 + R_X + R} \right\}}, \tag{5}$$

де  $\underline{U}_{\text{BX}} = U_{\text{BX}} \cdot e^{j\omega t}$  – вхідна напруга вимірювального перетворювача в комплексній формі. Фазовий зсув між комплексними напругами  $\underline{U}_{01}$  та  $\underline{U}_{X1}$  дорівнює

$$j_1 = \arg\{\underline{U}_{X1}\} - \arg\{\underline{U}_{01}\} = \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} = \arctg Q_{LX}. \quad (6)$$

Враховуючи, що під знак арктангенса входить значення добротності електричної обмотки, для визначення індуктивності та активного опору обмотки постає необхідність в проведенні ще одного вимірювання

- відношення амплітуд комплексних напруг  $\underline{U}_{01}$  та  $\underline{U}_{X1}$ , тобто

$$A_1 = \frac{|\underline{U}_{X1}|}{|\underline{U}_{01}|} = \frac{\sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{R_0} = \frac{R_X \sqrt{1 + Q_{LX}^2}}{R_0} = \frac{R_X \sqrt{1 + \text{tg}^2 j_1}}{R_0 \cos j_1} = \frac{R_X}{R_0 \cos j_1}. \quad (7)$$

Вирішивши сумісно рівняння (6) та (7), отримаємо співвідношення для визначення складових комплексного опору електричної обмотки:

$$R_X = A_1 R_0 \cos j_1, \quad X_{LX} = \omega L_X = R_X \text{tg} j_1.$$

В цьому випадку індуктивність електричної обмотки визначається співвідношенням

$$L_X = \frac{X_{LX}}{\omega} = \frac{R_X \text{tg} j_1}{\omega} = \frac{A_1 R_0 \cos j_1}{\omega}, \quad (8)$$

де  $\omega = 2\pi f$  – циклічна частота коливань вхідної напруги вимірювального перетворювача  $U_{\text{BX}}$ .

Аналогічно розглянемо принципи вимірювання добротності та основних параметрів електричної обмотки при використанні в якості прецизійного еталонного елемента конденсатора та котушки індуктивності. Так, при використанні в якості прецизійного еталонного елемента конденсатора з комплексним опором  $\underline{Z}_0 = \underline{Z}_{C_0} = R_{C_0} - jX_{C_0} \approx jX_{C_0}$ , основні співвідношення запишуться таким чином:

$$\underline{U}_{02} = \frac{-\underline{U}_{\text{BX}} jX_{C_0}}{-jX_{C_0} + \underline{Z}_{LX} + R} = \frac{U_{\text{BX}} X_{C_0}}{\sqrt{(R_X + R)^2 + (X_{LX} - X_{C_0})^2}} \cdot e^{j\left\{j_{\text{BX}} - 90^\circ - \arctg \frac{X_{LX} - X_{C_0}}{R_X + R}\right\}}, \quad (9)$$

$$\underline{U}_{X2} = \frac{\underline{U}_{\text{BX}} \underline{Z}_{LX}}{-j\omega X_{C_0} + \underline{Z}_{LX} + R} = \frac{U_{\text{BX}} \sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{\sqrt{(R_X + R)^2 + (X_{LX} - X_{C_0})^2}} \cdot e^{j\left\{j_{\text{BX}} + \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} - \arctg \frac{X_{LX} - X_{C_0}}{R_X + R}\right\}}, \quad (10)$$

$$j_2 = \arg\{\underline{U}_{X2}\} - \arg\{\underline{U}_{02}\} = \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} + 90^\circ = \arctg Q_{LX} + 90^\circ, \quad (11)$$

$$A_2 = \frac{|\underline{U}_{X2}|}{|\underline{U}_{02}|} = \frac{\sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{X_{C_0}} = \frac{R_X \sqrt{1 + \text{tg}^2(j_2 - 90^\circ)}}{X_{C_0}} = \frac{R_X}{X_{C_0} \cos(j_2 - 90^\circ)}, \quad (12)$$

$$R_X = A_2 X_{C_0} \cos(j_2 - 90^\circ), \quad (13)$$

$$X_{LX} = R_X \text{tg}(j_2 - 90^\circ) = A_2 X_{C_0} \sin(j_2 - 90^\circ), \quad (14)$$

$$L_X = \frac{A_2 X_{C_0} \cos(j_2 - 90^\circ)}{2\pi f}. \quad (15)$$

Аналогічно, при використанні в якості прецизійного еталонного елемента котушки індуктивності з комплексним опором  $\underline{Z}_0 = \underline{Z}_{L_0} = R_{L_0} + jX_{L_0} \approx jX_{L_0}$  основні співвідношення запишуться таким чином:

$$\underline{U}_{03} = \frac{-\underline{U}_{\text{BX}} jX_{L_0}}{-jX_{L_0} + \underline{Z}_{LX} + R} = \frac{U_{\text{BX}} X_{L_0}}{\sqrt{(R_X + R)^2 + (X_{LX} - X_{L_0})^2}} \cdot e^{j\left\{j_{\text{BX}} + 90^\circ - \arctg \frac{X_{LX} - X_{L_0}}{R_X + R}\right\}}, \quad (16)$$

$$U_{X3} = \frac{U_{BX} \cdot Z_{LX}}{-j\omega X_{L0} + Z_{LX} + R} = \frac{U_{BX} \sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{\sqrt{(R_X + R)^2 + (X_{LX} - X_{L0})^2}} \cdot e^{j \left\{ j_{BX} + \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} - \arctg \frac{X_{LX} - X_{L0}}{R_X + R} \right\}}, \quad (17)$$

$$j_3 = \arg\{U_{X3}\} - \arg\{U_{03}\} = \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} - 90^0 = -\arctg Q_{LX}, \quad (18)$$

$$A_3 = \frac{|U_{X3}|}{|U_{03}|} = \frac{\sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{X_{L0}} = \frac{R_X \sqrt{1 + \text{ctg}^2 j_3}}{X_{L0} \sin j_3} = \frac{R_X}{X_{L0} \sin j_3}, \quad (19)$$

$$R_X = A_3 X_{L0} \sin j_3, \quad (20)$$

$$X_{LX} = R_X \text{ctg} j_3 = A_3 X_{L0} \cos j_3, \quad (21)$$

$$L_X = \frac{A_3 X_{L0} \cos j_3}{2\pi f}. \quad (22)$$

З співвідношень (6), (11) та (18) можна отримати рівняння перетворення первинного вимірювального перетворювача (при вимірюванні добротності електричних обмоток та різних типах прецизійного еталонного елементу):

$$j_1 = \arctg Q_{LX}, \quad (23)$$

$$j_2 = \arctg Q_{LX} + 90^0, \quad (24)$$

$$j_3 = -\arctg Q_{LX} = \arctg Q_{LX} - 90^0, \quad (25)$$

За співвідношеннями (23)– (25) на рис. 2 побудовано статичні характеристики первинних вимірювальних перетворювачів при різних типах прецизійного еталонного елементу: 1 – резистивного; 2 – ємнісного; 3 – індуктивного.

Різницю фаз між двома електричними напругами можна перетворити у часовий інтервал  $t_X$  за допомогою двох формул та тригера. Тоді залежність  $j_1 = f(t_X)$  буде визначатися таким співвідношенням:

$$j_i = \omega t_{1i} - \omega t_{2i} = 2\pi f \cdot t_{Xi}. \quad (26)$$

Тривалість часового інтервалу  $t_X$ , пропорційного  $j_i$ , становить

$$t_{Xi} = \frac{j_i}{2\pi f}. \quad (27)$$

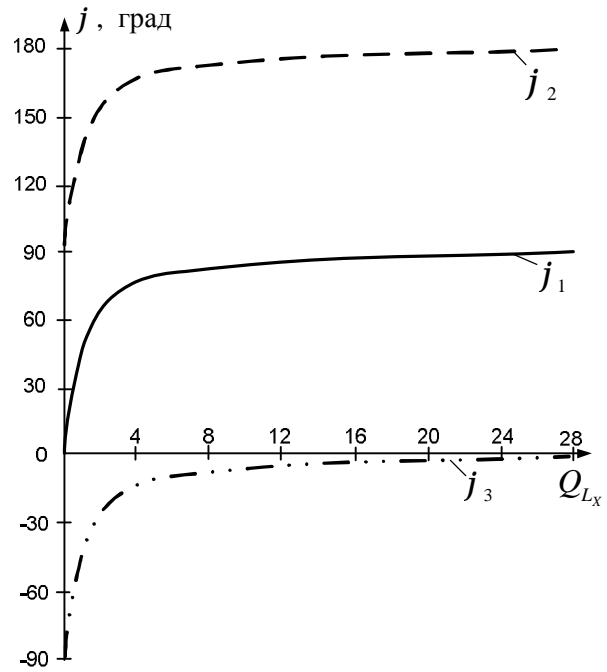


Рис. 2. Статичні характеристики вимірювального перетворювача добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елементу

Якщо проквантувати часовий інтервал імпульсами зразкової частоти від кварцового генератора, то кількість імпульсів, яку підрахає двійковий лічильник, буде визначатися такими співвідношеннями (для різних типів прецизійного еталонного елементу):

$$N_{X1} = \frac{t_{X1}}{T_0} = t_{X1} f_0 = f_0 \frac{j_1}{2\pi f} = f_0 \frac{\arctg Q_{LX}}{2\pi f}, \quad (28)$$

$$N_{X2} = f_0 \frac{\arctg Q_{LX} + \frac{\pi}{2}}{2\pi f}, \quad (29)$$

$$N_{X3} = f_0 \frac{\arctg Q_{LX} - \frac{\pi}{2}}{2\pi f} = -f_0 \frac{\arctg Q_{LX}}{2\pi f}. \quad (30)$$

За співвідношеннями (28)– (30) на рис. 3 побудовано статичні характеристики засобу вимірювання добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елементу (при  $f_0 = 2$  МГц та  $f = 50$  Гц).

З розгляду залежностей рис. 2 та рис. 3 можна зробити висновок, що:

$$N_{X1\max} = f_0 \frac{(\arctg Q_{Lx})_{\max}}{2pf} = f_0 \frac{\frac{p}{2}}{2pf} = \frac{f_0}{4f}, \quad (31)$$

$$N_{X2\max} = f_0 \frac{(\arctg Q_{Lx})_{\max} + \frac{p}{2}}{2pf} = f_0 \frac{\frac{p}{2} + \frac{p}{2}}{2pf} = \frac{f_0}{2f}. \quad (32)$$

Рівняння похибки квантування такого засобу вимірювання має такий вигляд:

$$d_{Q_{Li}} = \frac{100\%}{N_{Xi}} = \frac{2pf}{f_0 j_i} \cdot 100\%. \quad (33)$$

Визначимо похибки квантування для кожного засобу вимірювання (з різним типом прецизійного еталонного елемента):

$$d_{Q_{L1}} = \frac{2pf}{f_0 \arctg Q_{Lx}} \cdot 100\%, \quad (34)$$

$$d_{Q_{L2}} = \frac{2pf}{f_0 \left( \arctg Q_{Lx} + \frac{p}{2} \right)} \cdot 100\%, \quad (35)$$

$$d_{Q_{L3}} = \frac{2pf}{f_0 \left( \arctg Q_{Lx} - \frac{p}{2} \right)} \cdot 100\%. \quad (36)$$

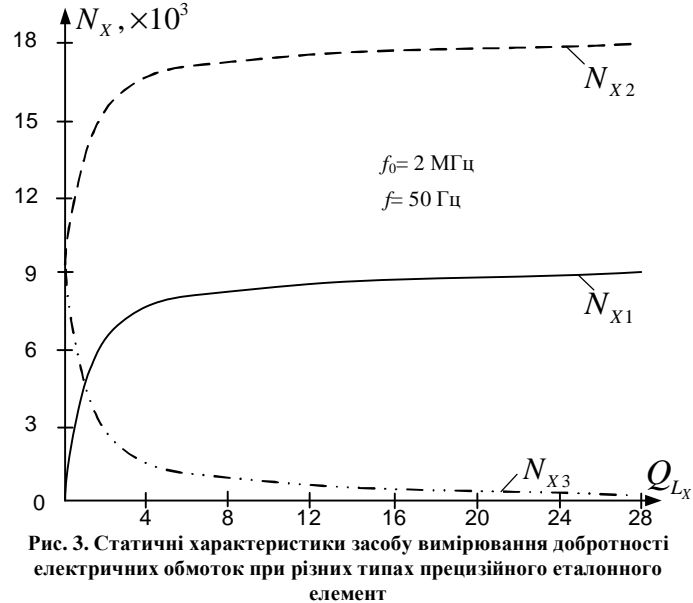


Рис. 3. Статичні характеристики засобу вимірювання добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елемента

За співвідношеннями (34) – (36) на рис. 4 побудовано залежності похибки квантування засобу вимірювання добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елемента (при  $f_0 = 2$  МГц та  $f = 50$  Гц).

З розгляду залежностей рис. 2 та рис. 4 можна зробити висновок, що:

$$(d_{Q_{L1}})_{\min} = \frac{2pf}{f_0 \frac{p}{2}} \cdot 100\% = \frac{4f}{f_0} \cdot 100\% = \frac{100\%}{N_{X1\max}}, \quad (37)$$

$$(d_{Q_{L2}})_{\min} = \frac{2pf}{f_0 \left( \frac{p}{2} + \frac{p}{2} \right)} \cdot 100\% = \frac{2f}{f_0} \cdot 100\% = \frac{100\%}{N_{X2\max}}. \quad (38)$$

Таким чином, з аналізу залежностей рис. 2, рис. 3 та рис. 4 можна зробити висновок, що найкращі метрологічні характеристики засіб вимірювання добротності електричних обмоток має при використанні в якості прецизійного еталонного елемента зразкового резистора та зразкового конденсатора. Однак переважним є все ж таки використання резистивного прецизійного еталонного елемента, тому що розглянуті моделі не враховують активного опору зразкового конденсатора (що може значно погіршити розглянуті характеристики).

Аналізуючи співвідношення (6), (8), (11), (13), (15), (18), (20) та (22), за якими визначаються значення добротності, активного опору та індуктивності електричних обмоток за допомогою еквівалентної схеми вимірювального перетворювача (рис. 1), можна зробити висновок, що точність таких

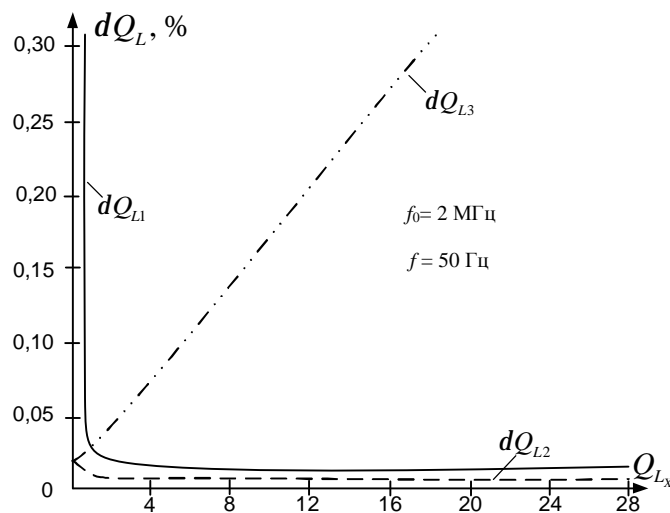


Рис. 4. Залежності похибки квантування засобу вимірювання добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елемента

вимірювань залежить від чотирьох факторів: точності прецизійного еталонного активного опору  $R_0$ , точності задавання або вимірювання циклічної частоти  $f$  (частоти генератора вхідного сигналу), точності вимірювання фазового зсуву між вихідними сигналами вимірювального перетворювача, а також точності

вимірювання відношення амплітуд вихідних сигналів вимірювального перетворювача.

На сучасній прецизійній елементній базі забезпечення необхідної точності опору  $R_0$  є можливим, тому що існують прецизійні резистори, точність яких складає 0,01 % та вище. Тому деяка неточність прецизійного еталонного активного опору  $R_0$  фактично не призводить до виникнення помилки при визначенні параметрів електричних обмоток.

Інший параметр, який впливає на точність визначення параметрів електричних обмоток – циклічна частота  $W$  генератора вхідного сигналу (або частота мережі). Враховуючи, що  $w = 2\pi f$ , частоту  $W$  можна виміряти, перетворивши її у часовий інтервал, вимірювання якого здійснюється з досить високою точністю (для сучасних частотомірів відносна похибка вимірювання не перевищує 0,005 %). Отже, точність в даному випадку теж забезпечується.

При вірному виборі параметрів засобу вимірювання на результат вимірювання параметрів електричних обмоток, як вже було розглянуто, практично не впливає й точність вимірювання кута фазового зсуву між вихідними сигналами вимірювального перетворювача.

Тому основною проблемою, з точки зору забезпечення точності вимірювання параметрів електричних обмоток, є забезпечення точності вимірювання відношення амплітуд вихідних сигналів вимірювального перетворювача. Це призводить до необхідності використання сучасних цифрових вимірювачів відношення амплітуд, відносна похибка яких має порядок десятих або навіть сотих часток відсотка.

На основі розробленого вимірювального перетворювача для вимірювання параметрів електричних обмоток пропонується структурна схема вимірювача параметрів обмоток, наведена на рис. 5.

Вимірювач параметрів електричних обмоток складається з генератора гармонічних коливань 1 (або мережі змінного струму), вимірювального перетворювача (ВП) 2 (рис. 1), цифрового фазометра 3, цифрового вимірювача відношення амплітуд 4 та пристрою обчислення (ПО) 5.

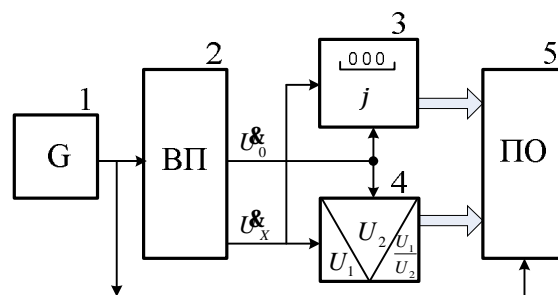


Рис. 5. Структурна схема вимірювача параметрів електричних обмоток

Генератор гармонічних коливань 1 виробляє сигнал з частотою  $f$ , який потрапляє на вхід вимірювального перетворювача 2. Виходи вимірювального перетворювача підключені до входів цифрового фазометра 3 та цифрового вимірювача відношення амплітуд 4. Цифровий фазометр вимірює кут фазового зсуву між напругами  $U_0$  та  $U_X$ , а цифровий вимірювач відношення амплітуд – відношення амплітуд цих напруг. Результати вимірювання кута фазового зсуву та відношення амплітуд в цифровій формі потрапляють на входи пристрою обчислення 5, де і відбувається обчислення результату вимірювання параметрів електричних обмоток.

### Висновки

Показано, що параметри електричних обмоток (добротність, активний опір, індуктивність) можуть бути визначені при вимірюванні кута фазового зсуву між двома напругами на виході вимірювального перетворювача, а також при вимірюванні відношення амплітуд цих напруг.

Проаналізовано залежність складових похибки вимірювання параметрів електричних обмоток від параметрів вимірювального перетворювача.

3. На основі запропонованого вимірювального перетворювача розроблено структурну схему вимірювача параметрів електричних обмоток.

### Література

1. Гринберг Ю. М. Анализ методов контроля изоляции асинхронных электродвигателей / Ю. М. Гринберг, Г. М. Лебедев, В. С. Волканов // Электротехника. – 1987. – № 6. – С. 64– 71.
2. Русин Ю.С. Влияние короткозамкнутых витков на параметры индуктивных элементов / Ю. С. Русин, Ю. С. Лобеев // Электромеханика. – 1984. – № 4. – С. 106– 107.

Надійшла 2.3.2011 р.