

ИНТЕРНАУКА
internauka.org

СБОРНИК СТАТЕЙ ПО МАТЕРИАЛАМ
LXXVII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО- ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ



№10(71)

ISSN 2587-862X

Москва, 2023

ИНТЕРНАУКА
internauka.org

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

*Сборник статей по материалам LXXVII международной
научно-практической конференции*

№ 10 (71)
Октябрь 2023 г.

Издается с июля 2017 года

Москва
2023

ИНТЕРНАУКА
internauka.org

TECHNICAL SCIENCES: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Proceedings of LXXVII international scientific-practical conference

№ 10 (71)
October 2023

Published since July 2017

Moscow
2023

УДК 62
ББК 30
Т38

Т38 Технические науки: проблемы и решения. сб. ст.
по материалам LXXVII междунар. науч.-практ. конф. – № 10 (71). –
М., Изд. «Интернаука», 2023. – 64 с.

Оглавление

Доклады конференции на русском языке	6
Секция 1. Горная и строительная техника и технологии	6
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬСТВА РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН Ганюков Никита Юрьевич Желдикбаева Айсәуле Такеновна	6
Секция 2. Информационные технологии	14
МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В МОБИЛЬНОМ ЦЕНТРЕ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ АВТОБУСА Катышев Артем Вячеславович Токарева Наталья Александровна	14
НАУЧНЫЙ ПОДХОД К СНИЖЕНИЮ РИСКОВ ПОТЕРИ БИЗНЕСА МОЛОДЫМИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЯМИ НА РЫНКЕ МАРКЕТПЛЕЙСОВ Кривошеина Наталья Ивановна	20
ДЕКОНСТРУКЦИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ ЛОКАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ: ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНЫХ УЯЗВИМОСТЕЙ Фомин Евгений Вячеславович	31
Секция 3. Сельское и лесное хозяйство, агроинженерные системы	38
РОЛЬ КАДАСТРА В УСТОЙЧИВОМ ЛЕСНОМ УПРАВЛЕНИИ И ОХРАНЕ ПРИРОДЫ Құзаирова Земфира Манарбекқызы	38
Секция 4. Строительство и архитектура	42
ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАЛЬНЫХ ПЛАНОВ Сэротэтто Александр Радионович Шестакова Алена Петровна	42

Секция 5. Транспорт и связь, кораблестроение **48**

СОВРЕМЕННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ 48

УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Васюнина Анна Владимировна

Заварина Мария Ивановна

Соколов Олег Аркадьевич

Секция 6. Электротехника **52**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИТКОВОГО ЗАМЫКАНИЯ 52

ВО ВТОРИЧНЫХ ОБМОТКАХ ТРЕХФАЗНОГО

ТРЕХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Колесников Евгений Николаевич

Рахимбердинова Дилара Муратовна

Исенов Ж.С.

СЕКЦИЯ 6.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИТКОВОГО ЗАМЫКАНИЯ ВО ВТОРИЧНЫХ ОБМОТКАХ ТРЕХФАЗНОГО ТРЕХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Колесников Евгений Николаевич

*д-р PhD, постдокторант,
Энергетический факультет НАО «Торайгыров университет»,
Казахстан, г. Павлодар*

Рахимбердинова Дилара Муратовна

*д-р PhD, постдокторант,
Энергетический факультет,
НАО «Торайгыров университет»,
Казахстан, г. Павлодар*

Исенов Ж.С.

*докторант PhD,
Энергетический факультет
НАО «Торайгыров университет»,
Казахстан, г. Павлодар*

АННОТАЦИЯ

Высокой чувствительностью к витковым замыканиям в обмотках трансформаторов обладают защиты, в качестве измерительных преобразователей в которых используются магнитные трансформаторы тока (МТТ). Но такие защиты разработаны только для некоторых видов трансформаторов и не могут использоваться на трехфазных трехобмоточных.

В связи с тем, что разработка устройств релейной защиты невозможна без достаточно точных значений токов во всех обмотках трансформатора в статье предложена новая математическая модель трехфазного трехобмоточного трансформатора для режима виткового замыкания во вторичной обмотке трансформатора.

Предложенная математическая модель трехфазного трехобмоточного трансформатора при витковых замыканиях с уравнениями,

составленными по методу контурных токов для линейных напряжений, позволяет производить моделирование замыканий в первичной либо вторичных обмотках с учетом несимметричной нагрузки и питания в стационарных режимах.

Погрешность моделирования токов в обмотках трехфазного трехобмоточного трансформатора при витковых замыканиях и несимметрии питающего напряжения и нагрузки с помощью этой модели не превышает 10%.

ABSTRACT

Protections that use magnetic current transformers (MTT) as measuring transducers have high sensitivity to winding circuits in transformer windings. But such protections are designed only for some types of transformers and cannot be used on three-phase three-winding ones.

Due to the fact that the development of relay protection devices is impossible without sufficiently accurate values of currents in all windings of the transformer, the article proposes a new mathematical model of a three-phase three-winding transformer for the winding circuit mode in the secondary winding of the transformer.

The proposed mathematical model of a three-phase three-winding transformer with loop closures with equations compiled by the method of contour currents for linear voltages allows modeling of closures in primary or secondary windings taking into account the asymmetric load and power supply in stationary modes.

The error of modeling currents in the windings of a three-phase three-winding transformer with loop closures and non-symmetry of the supply voltage and load using this model does not exceed 10%.

Ключевые слова: трехфазный трансформатор, витковое замыкание, ток виткового замыкания.

Keywords: three-phase transformer, winding circuit, winding circuit current.

В процессе транспортировки электрической энергии от источника к потребителю в электрических сетях значительная роль отводится силовым трехфазным трехобмоточным трансформаторам [1].

Их защита традиционно осуществляется с помощью продольной дифференциальной защиты, токовой отсечки и максимальной токовой защиты [2], в которых в качестве измерительных преобразователей тока используются трансформаторы тока. Как показано в [3] эти защиты не обладают достаточной чувствительностью к витковым замыканиям (ВЗ) в обмотках трансформатора. Эта проблема может быть решена

разработкой защит на встроенных измерительных преобразователях в виде магнитных трансформаторов тока.

Чтобы иметь достаточно точные значения токов во всех обмотках трансформатора в [4] с учетом [5-9] была разработана математическая модель трехфазного трехобмоточного трансформатора для режима виткового замыкания в обмотке высокого напряжения подключенной к электрической сети. Данная математическая модель применима так же для режима виткового замыкания в обмотках среднего и низшего напряжения трехфазного трехобмоточного трансформатора. В режиме ВЗ в обмотке низшего напряжения схема приобретает вид, показанный на рисунке 1.

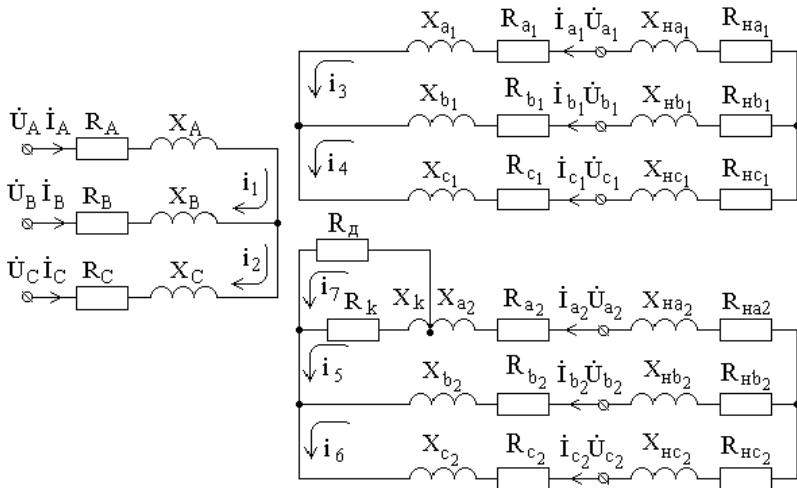


Рисунок 1. Схема трехфазного трехобмоточного трансформатора при ВЗ в обмотке низшего напряжения

В соответствии со схемой на рисунке 1 для моделирования токов в обмотках система уравнений принимает вид:

$$\left. \begin{aligned}
 u'_{AB} &= \dot{I}_1(R_A + R_B) - \dot{I}_2 R_B + \psi'_{1}; \\
 u'_{BC} &= (\dot{I}_2 - \dot{I}_1)R_B + \dot{I}_2 R_C + \psi'_{2}; \\
 0 &= \dot{I}_3(R_{a_1} + R_{b_1} + R_{Ha_1} + R_{Hb_1}) - \dot{I}_4(R_{b_1} + R_{Hb_1}) + \psi'_{3}; \\
 0 &= (\dot{I}_4 - \dot{I}_3)(R_{b_1} + R_{Hb_1}) + \dot{I}_4(R_{c_1} + R_{Hc_1}) + \psi'_{4}; \\
 0 &= \dot{I}_5(R_{a_2} + R_{b_2} + R_{Ha_2} + R_{Hb_2}) - \dot{I}_6(R_{b_2} + R_{Hb_2}) + \psi'_{5}; \\
 0 &= (\dot{I}_6 - \dot{I}_5)(R_{b_2} + R_{Hb_2}) + \dot{I}_5(R_{c_2} + R_{Hc_2}) + \psi'_{6}; \\
 0 &= (R_k + R_d)\dot{I}_k + \psi'_k,
 \end{aligned} \right\} (1)$$

где потокосцепления контуров

$$\begin{aligned}
 \psi_1 &= \dot{I}_1 X_{1,1} + \dot{I}_2 X_{1,2} + \dot{I}_3 X_{1,3} + \dot{I}_4 X_{1,4} + \dot{I}_5 X_{1,5} + \dot{I}_6 X_{1,6} + \dot{I}_7 X_{1,7}, \\
 \psi_2 &= \dot{I}_1 X_{2,1} + \dot{I}_2 X_{2,2} + \dot{I}_3 X_{2,3} + \dot{I}_4 X_{2,4} + \dot{I}_5 X_{2,5} + \dot{I}_6 X_{2,6} + \dot{I}_7 X_{2,7}, \\
 \psi_3 &= \dot{I}_1 X_{3,1} + \dot{I}_2 X_{3,2} + \dot{I}_3 X_{3,3} + \dot{I}_4 X_{3,4} + \dot{I}_5 X_{3,5} + \dot{I}_6 X_{3,6} + \dot{I}_7 X_{3,7}, \\
 \psi_4 &= \dot{I}_1 X_{4,1} + \dot{I}_2 X_{4,2} + \dot{I}_3 X_{4,3} + \dot{I}_4 X_{4,4} + \dot{I}_5 X_{4,5} + \dot{I}_6 X_{4,6} + \dot{I}_7 X_{4,7}, \\
 \psi_5 &= \dot{I}_1 X_{5,1} + \dot{I}_2 X_{5,2} + \dot{I}_3 X_{5,3} + \dot{I}_4 X_{5,4} + \dot{I}_5 X_{5,5} + \dot{I}_6 X_{5,6} + \dot{I}_7 X_{5,7}, \\
 \psi_6 &= \dot{I}_1 X_{6,1} + \dot{I}_2 X_{6,2} + \dot{I}_3 X_{6,3} + \dot{I}_4 X_{6,4} + \dot{I}_5 X_{6,5} + \dot{I}_6 X_{6,6} + \dot{I}_7 X_{6,7}, \\
 \psi_k &= \dot{I}_1 X_{7,1} + \dot{I}_2 X_{7,2} + \dot{I}_3 X_{7,3} + \dot{I}_4 X_{7,4} + \dot{I}_5 X_{7,5} + \dot{I}_6 X_{7,6} + \dot{I}_7 X_{7,7}. \quad (2)
 \end{aligned}$$

В уравнениях (2) собственные индуктивные сопротивления контуров

$$\begin{aligned}
 X_{11} &= X_A - X_{A,B} + X_B, \\
 X_{22} &= X_B - 2X_{B,C} + X_C, \\
 X_{33} &= X_{a_1} + X_{Ha_1} - 2X_{a_1,b_1} + X_{b_1} + X_{Hb_1}, \\
 X_{44} &= X_{b_1} + X_{Hb_1} - 2X_{b_1,c_1} + X_{c_1} + X_{Hc_1}, \\
 X_{55} &= X_{a_2} + X_{Ha_2} - 2X_{a_2,b_2} + X_{b_2} + X_{Hb_2},
 \end{aligned}$$

$$X_{66} = X_{b_2} + X_{hb_2} - 2X_{b_2,c_2} + X_{c_2} + X_{hc_2},$$

$$X_{77} = X_{\kappa}, \quad (3)$$

а взаимные индуктивные сопротивления этих контуров соответственно

$$X_{1,2} = X_{2,1} = X_{A,B} - X_{A,C} - X_B + X_{B,c_1},$$

$$X_{1,3} = X_{3,1} = X_{A,a_1} - X_{A,b_1} - X_{B,a_1} + X_{\square, b_1},$$

$$X_{1,4} = X_{4,1} = X_{A,b_1} - X_{A,c_1} - X_{B,b_1} + X_{B,c_1},$$

$$X_{1,5} = X_{5,1} = X_{A,a_2} - X_{A,b_2} - X_{B,a_2} + X_{B,b_2},$$

$$X_{1,6} = X_{6,1} = X_{A,b_2} - X_{A,c_2} - X_{B,b_2} + X_{B,c_2},$$

$$X_{2,3} = X_{3,2} = X_{B,a_1} - X_{B,b_1} - X_{C,a_1} + X_{C,b_1},$$

$$X_{2,4} = X_{4,2} = X_{B,b_1} - X_{B,c_1} - X_{C,b_1} + X_{C,c_1},$$

$$X_{2,5} = X_{5,2} = X_{B,a_2} - X_{B,b_2} - X_{C,a_2} + X_{C,b_2},$$

$$X_{2,6} = X_{6,2} = X_{B,b_2} - X_{B,c_2} - X_{C,b_2} + X_{C,c_2},$$

$$X_{3,4} = X_{4,3} = X_{a_1,b_1} - X_{a_1,c_1} - X_{b_1} + X_{b_1,c_1},$$

$$X_{3,5} = X_{5,3} = X_{a_1,a_2} - X_{a_1,b_2} - X_{b_1,a_2} + X_{b_1,b_2},$$

$$X_{3,6} = X_{6,3} = X_{a_1,b_2} - X_{a_1,c_2} - X_{b_1,b_2} + X_{b_1,c_2},$$

$$X_{4,5} = X_{5,4} = X_{b_1,a_2} - X_{b_1,b_2} - X_{c_1,a_2} + X_{c_1,b_2},$$

$$X_{4,6} = X_{6,4} = X_{b_1,b_2} - X_{b_1,c_2} - X_{c_1,b_2} + X_{c_1,c_2},$$

$$X_{5,6} = X_{6,5} = X_{a_2,b_2} - X_{a_2,c_2} - X_{b_2} + X_{b_2,c_2},$$

$$X_{6,7} = X_{7,6} = X_{b_2,\kappa} - X_{c_2,\kappa}. \quad (4)$$

В уравнениях (1) – (4) и далее индексы взаимных индуктивных сопротивлений элементов m и n в отличии от традиционного обозначения разделены запятой. Это вызвано тем, что при наличии десяти и более контуров в схеме трансформатора традиционное обозначение невозможно.

Согласно [10] расчет индуктивности и индуктивных сопротивлений обмоток трехфазных трансформаторов является сложным. Достаточно просто и точно их можно определять с помощью собственного индуктивного сопротивления X_1 фазы подключаемой к сети обмотки трансформатора. Если допустить, что трансформатор работает в ненасыщенном режиме, собственное индуктивное сопротивление фазы, подключаемой к сети обмотки, с учетом [7] упрощенно определяется путем использования математических выражений

$$Z_m = U_1 / I_{xx}, X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_1}, X_1 = X_m / 1,5, \quad (5)$$

где Z_m - в соответствии с [10] сопротивление взаимной индукции; U_1 – фазное напряжение первичной обмотки; I_{xx} - ток холостого хода трансформатора; X_m - индуктивное сопротивление взаимной индукции [10].

Следует добавить, что активные сопротивления обмоток трансформатора легко получить путем их замера с помощью моста постоянного тока, а сопротивления нагрузки при моделировании токов в этих обмотках считаются известными.

Считая, что индуктивности обмоток трансформатора пропорциональны квадрату витков, при числе витков в обмотках высокого, среднего и низкого напряжения, а также замкнутых витков равных w_1, w_2, w_3, w_k собственные индуктивные сопротивления этих обмоток можно определить как

$$X_A = X_B = X_C = X_1, \quad (6)$$

$$X_{a1} = X_{b1} = X_{c1} = (w_2/w_1)^2 X_1, \quad (7)$$

$$X_{a2} = ((w_3 - w_k)/w_1)^2 X_1,$$

$$X_{b2} = X_{c2} = (w_3/w_1)^2 X_1. \quad (8)$$

$$X_k = (w_k/w_1)^2 X_1, \quad (9)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз обмотки высокого напряжения трехфазного трансформатора

$$X_{A,B} = X_{A,C} = X_{B,C} = X_{B,A} = X_{C,A} = X_{C,B} = -0,5X_1. \quad (10)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз обмотки высокого напряжения и обмотки среднего напряжения трехфазного трансформатора

$$X_{A,a_1} = X_{a_1,A} = X_{B,b_1} = X_{b_1,B} = X_{C,c_1} = X_{c_1,C} = (w_1 w_2 / w_1^2) X_1 \text{ и } (11)$$

$$\begin{aligned} X_{A,b_1} &= X_{A,c_1} = X_{b_1,A} = X_{c_1,A} = X_{B,a_1} = X_{B,c_1} = \\ &= X_{a_1,B} = X_{c_1,B} = X_{C,a_1} = X_{C,b_1} = X_{a_1,C} = X_{b_1,C} = -0,5(w_1 w_2 / w_1^2) X_1. \end{aligned} \quad (12)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз обмотки высокого напряжения и обмотки низкого напряжения трехфазного трансформатора:

$$X_{A,a_2} = X_{a_2,A} = X_{B,b_2} = X_{b_2,B} = X_{C,c_2} = X_{c_2,C} = (w_1 w_3 / w_1^2) X_1 \text{ и } (13)$$

$$\begin{aligned} X_{A,b_2} &= X_{A,c_2} = X_{b_2,A} = X_{c_2,A} = X_{B,a_2} = X_{B,c_2} = \\ &= X_{a_2,B} = X_{c_2,B} = X_{C,a_2} = X_{C,b_2} = X_{a_2,C} = X_{b_2,C} = -0,5(w_1 w_3 / w_1^2) X_1. \end{aligned} \quad (14)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз обмотки среднего напряжения трехфазного трансформатора:

$$X_{a_1,b_1} = X_{b_1,a_1} = X_{a_1,c_1} = X_{c_1,a_1} = X_{b_1,c_1} = X_{c_1,b_1} = -0,5(w_2 w_3 / w_1^2) X_1. \quad (15)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз обмотки низкого напряжения трехфазного трансформатора:

$$X_{a_2,b_2} = X_{b_2,a_2} = X_{a_2,c_2} = X_{c_2,a_2} = X_{b_2,c_2} = X_{c_2,b_2} = -0,5(w_2 w_3 / w_1^2) X_1. \quad (16)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз обмоток среднего и низкого напряжений трехфазного трансформатора:

$$X_{a_1, a_2} = X_{a_2, a_1} = X_{b_1, b_2} = X_{b_2, b_1} = X_{c_1, c_2} = X_{c_2, c_1} = (w_2 w_3 / w_1^2) X_1 \text{ и } (17)$$

$$\begin{aligned} X_{a_2, b_1} = X_{b_1, a_2} = X_{a_1, b_2} = X_{b_2, a_1} = X_{a_2, c_1} = X_{c_1, a_2} = X_{a_1, c_2} = \\ = X_{c_2, a_1} = X_{b_2, c_1} = X_{c_1, b_2} = X_{b_1, c_2} = X_{c_2, b_1} = -0,5(w_2 w_3 / w_1^2) X_1. \end{aligned} \quad (18)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз обмотки высокого напряжения и ее замкнутых витков:

$$\begin{aligned} X_{A, \kappa} &= (w_{\kappa} / w_1) X_1, \\ X_{B, \kappa} = X_{C, \kappa} &= -0,5(w_1 w_{\kappa} / w_1^2) X_1 \end{aligned} \quad (19)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз обмоток среднего напряжения и замкнутых витков обмотки высокого напряжения трехфазного трансформатора

$$\begin{aligned} X_{a_1, \kappa} &= (w_2 w_{\kappa} / w_1^2) X_1, \\ X_{b_1, \kappa} = X_{c_1, \kappa} &= -0,5(w_2 w_{\kappa} / w_1^2) X_1 \end{aligned} \quad (20)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз обмотки низшего напряжения и замкнутых витков обмотки высокого напряжения трехфазного трансформатора

$$\begin{aligned} X_{a_2, \kappa} &= (w_3 w_{\kappa} / w_1^2) X_1, \\ X_{b_2, \kappa} = X_{c_2, \kappa} &= -0,5(w_3 w_{\kappa} / w_1^2) X_1 \end{aligned} \quad (21)$$

Активные сопротивления фаз обмотки высокого напряжения, обмоток среднего и низкого напряжения и замкнутых витков при ВЗ в обмотке высокого напряжения:

$$\begin{aligned} R_A = R_B = R_C = R_1, R_{a_1} = R_{b_1} = R_{c_1} = R_2 \text{ и} \\ R_{a_2} = (1 - w_{\kappa} / w_3) R_3, R_{b_2} = R_{c_2} = R_3, R_{b_2} = R_{c_2} = R_3 \end{aligned} \quad (22)$$

где R_1 , R_2 и R_3 - активные сопротивления фаз обмотки высокого напряжения, а также обмоток среднего и низкого напряжения, которые

получают путем их замера с помощью моста постоянного тока; R_K - активное сопротивление замкнутых витков.

Определение фазных токов в обмотках осуществляется с помощью уравнений

$$\begin{aligned} \dot{I}_A = \dot{I}_1, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_2 - \dot{I}_1, \quad \dot{I}_C = -\dot{I}_2, \quad \dot{I}_{a_1} = \dot{I}_3, \quad \dot{I}_{b_1} = \dot{I}_4 - \dot{I}_3, \quad \dot{I}_{c_1} = -\dot{I}_4, \\ \dot{I}_{a_2} = \dot{I}_5, \quad \dot{I}_{b_2} = \dot{I}_6 - \dot{I}_5, \quad \dot{I}_{c_2} = -\dot{I}_6, \quad \dot{I}_k = \dot{I}_7. \end{aligned} \quad (23)$$

На рисунке 2 приведены результаты эксперимента и моделирования ВЗ в обмотке низкого напряжения в виде токов в фазах (обмоток высокого, среднего и низкого напряжения А, а₁ и а₂) и тока в замкнувшихся витках в зависимости от их количества. Реальный ток в замкнувшихся витках равен умноженному на 25 току на рисунке.

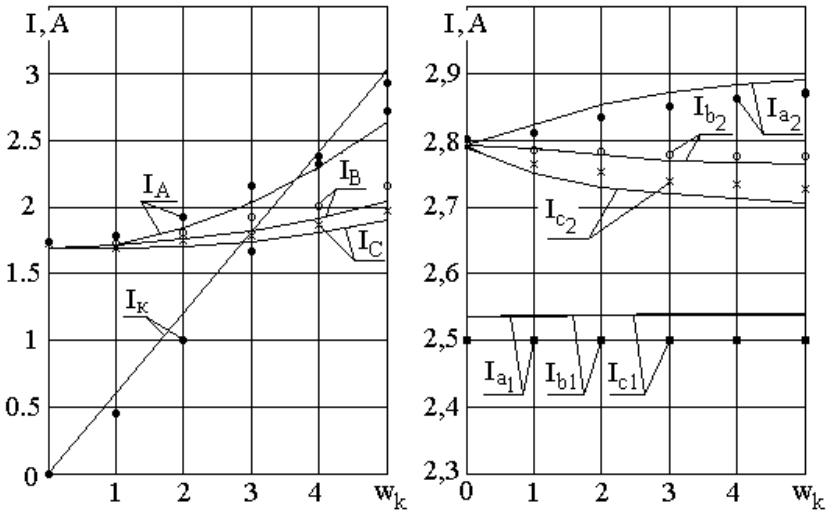


Рисунок 2. Результаты моделирования и эксперимента токов в обмотках трансформатора ТТ-6 при ВЗ в обмотке низкого напряжения при нагрузке

Выводы

1. Предложенная математическая модель режимов работы трехфазного трехобмоточного трансформатора при витковых замыканиях с уравнениями, составленными по методу контурных токов для линейных напряжений, позволяет производить моделирование замыканий в

первичной либо вторичных обмотках с учетом несимметричной нагрузки и питания в стационарных режимах.

2. Погрешность моделирования токов в обмотках трехфазного трехобмоточного трансформатора при витковых замыканиях и несимметрии питающего напряжения и нагрузки с помощью этой модели не превышает 10%.

Это исследование было профинансировано Министерством Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (грант № AP14972779).

Список литературы:

1. Энергетика СССР в 1986-1990 годах [Текст] / Под ред. А.А. Троицкого. - М.: Энергоатомиздат, 1987. -310 с.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита. – 4-е издание [Текст] / Чернобровов Н.В. –М.: Энергия, 1974. –680 с.
3. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов [Текст] / Засыпкин А.С. – М.: Энергоатомиздат, 1989.-240 с.
4. Новожилов А.Н., Колесников Е.Н., Новожилов Т.А. Моделирование виткового замыкания в обмотках трехфазного трехобмоточного трансформатора // Электротехника. – 2020. – №12. – С. 20-24.
5. Новожилов А.Н. Особенности конструкции индуктивных преобразователей для релейной защиты и диагностики электрических машин переменного тока [Текст] / Новожилов Т.А., Воликова М.П., Андреева О.А., Новожилов Т.А. //Электричество. -2009. -№4. –С. 19-24.
6. Гаген А.Ф. Устройство защиты трансформаторов от витковых замыканий [Текст] / Гаген А.Ф. // Изв.ВУЗов Электромеханика. –1978. -№ 9. - С. 1015÷1016.
7. Инновационный патент РК. №26737, МПК H02H 7/04. Устройство защиты однофазного трансформатора от замыканий в обмотках [Текст] / Новожилов А.Н., Колесников Е.Н., Новожилов Т.А., Крылов И.Ю. Заявитель и патентообладатель Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова (KZ). - № 2012/0425.1; заявл. 12.04.2012; опубл. 15.08.2013, Бюл. № 3. - 3 с.: ил.
8. Новожилов А.Н. Метод формирования системы уравнений математической модели электрических машин и трансформаторов в эксплуатационных режимах [Текст] / Новожилов А.Н., Андреева О.А., Воликова М.П., Гаспарян А.Г., Новожилов Т.А. // Омский научный вестник. -2006. - №9(46). –С. 108-112.

9. Новожилов А.Н., Колесников Е.Н., Новожилов Т.А. Моделирование токов в обмотках трехфазного трехобмоточного трансформатора при витковом замыкании // Технические науки: проблемы и решения: сб. ст. по материалам XXII Международной научно-практической конференции «Технические науки: проблемы и решения». - №4(20). – М., Изд. «Интэрнаука», 2019.
10. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 909 с.