

УДК 621.31.004.18

UDC 621.31.004.18

**ДИСТАНЦИОННЫЙ ОРГАН В ВИДЕ РЕЛЕ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ВРАЩАЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**     **THE DISTANCE DETECTOR AS A RELAY OF FULL IMPEDANCE BASED ON CONVERTERS WITH A ROTATING MAGNETIC FIELD**

Коробейников Борис Андреевич  
д.т.н., профессор

Korobeinikov Boris Andreevich  
Dr.Sci.Tech., professor

Захаров Геннадий Александрович  
аспирант

Zakharov Gennadiy Alexandrovich  
postgraduate student

Сидоров Дмитрий Игоревич  
к.т.н., доцент

Sidorov Dmitriy Igorevich,  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Мироненко Владислав Васильевич  
студент  
*Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия*

Mironenko Vladislav Vasilievich  
student  
*Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia*

В статье рассмотрены теоретические вопросы построения дистанционного органа в виде реле полного сопротивления, выполненного на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем. Предложен вариант практической реализации устройства, а также приведены результаты испытаний

This article presents theoretical problems of constructing distance detectors as a relay of full impedance based on converters with a rotating magnetic field. A variant of the practical implementation of device and test results is proposed

Ключевые слова: РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, ДИСТАНЦИОННЫЙ ОРГАН, РЕЛЕ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ВРАЩАЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Keywords: RELAY PROTECTION, DISTANCE DETECTOR, RELAY OF FULL IMPEDANCE, CONVERTER WITH A ROTATING MAGNETIC FIELD

Реле полного сопротивления (РПС) является дистанционным органом (ДО) релейной защиты, реагирующим на изменение отношения входных напряжения к току. Причем значение фазового сдвига между входными напряжением и током не влияют на работу органа. Характеристика срабатывания на комплексной плоскости ДО в виде РПС имеет вид окружности с центром в начале координат (рисунок 1).

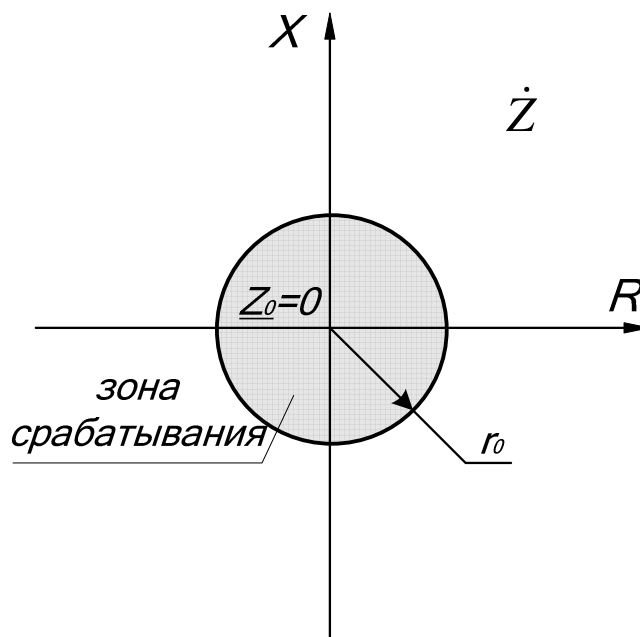


Рисунок 1 – Характеристика срабатывания РПС

В настоящее время ДО в виде РПС используются как в качестве дополнительных пусковых органов, так и качестве самостоятельных ступеней систем дистанционной защиты и выполняются на основе электромеханической, микроэлектронной и микропроцессорной элементных баз, с использованием различных информационных признаков входных сигналов.

В микропроцессорных РПС для гальванической развязки с первичными трансформаторами напряжения (ТН) и трансформаторами тока (ТТ) применяются промежуточные трансформаторы, трансреакторы, а информационные признаки входных сигналов формируются с использованием численных алгоритмов для микропроцессора.

Предлагаемое РПС является измерительным органом (ИО) релейной защиты с двумя подведенными величинами, работа которого основана на сравнении двух электрических величин по абсолютному значению. Вопросы построения таких органов широко рассмотрены в [1]. Недостатком существующих ИО с двумя подведенными электрическими величинами, использующих принцип сравнения по абсолютному значению, является сни-

жение точности работы устройства ввиду наличия пульсаций на сравниваемом элементе. Пульсации обусловлены несовпадением фаз сравниваемых выпрямленных электрических величин. Для уменьшения пульсаций и повышения точности работы таких устройств, требуется применение сглаживающих фильтров, настроенных на вторую гармонику основной частоты [2]. Однако увеличение точности таким способом влечет за собой снижение быстродействия работы ИО, за счет протекания переходных процессов в самих фильтрах.

В значительной степени улучшить технические характеристики РПС, повысить точность и быстродействие работы, позволит применение с его составе преобразователей с вращающимся магнитным полем (ПВМП) для напряжения и тока. ПВМП позволяют получать из однофазных напряжения и тока, подводимых к устройству от первичных ТН и ТТ, многофазные системы напряжений, применять многофазное выпрямление вместо однофазного, снижая тем самым пульсации на сравниваемом элементе.

Возможность реализации и принципы построения ДО на основе ПВМП рассмотрены в [3], а РПС в [4].

Граничная линия срабатывания РПС на комплексной плоскости описывается уравнениями (1) – (8) [3], при определении в них комплексного коэффициента  $\underline{k}_3 = 0$ .

$$\left. \begin{aligned} |\underline{E}_1| &= |\underline{E}_2|; \\ \underline{E}_1 &= \underline{k}_1 \cdot \dot{I}; \underline{E}_2 = \underline{k}_2 \cdot \dot{U}; \\ |\underline{k}_1| &= |\underline{k}_2| \cdot |\underline{Z}|; \\ R^2 + X^2 &= k_1^2 / k_2^2 \\ \underline{Z}_0 &= 0; r_0 = k_1 / k_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Функциональная схема ДО в виде РПС на основе ПВМП аналогична приведенной на рисунке 1 [3] (при  $k_3 = 0$ ), пример реализации принципиальной схемы реле показан на фигуре 1 [4].

Схема, описывающая работу измерительной части устройства в виде ПВМП тока и напряжения приведена на рисунке 2.

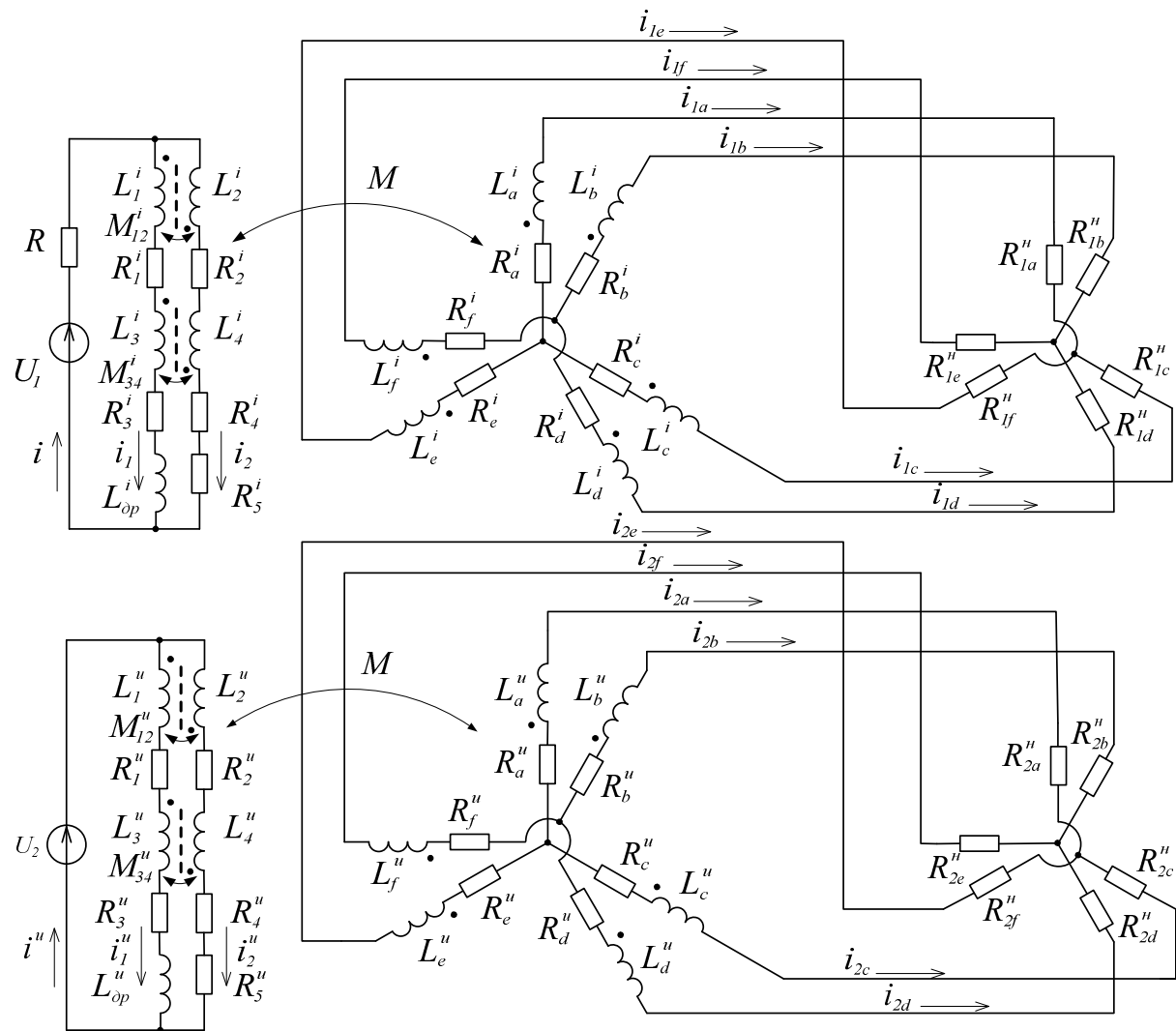


Рисунок 2 – Схема соединения обмоток ПВМП измерительной части РПС

На ее основании можно записать систему уравнений определяющих работу измерительной части РПС. Для упрощения модели источник тока был заменен эквивалентным источником напряжения и последовательно включенным с ним сопротивлением. При этом величину указанного сопротивления необходимо принимать на несколько порядков больше сопротивлений в первичной цепи токового ПВМП.

$$0 = i_{1a} + i_{1c} + i_{1e}, \quad (2)$$

$$0 = i_{1b} + i_{1d} + i_{1f}, \quad (3)$$

$$0 = i_{2a} + i_{2c} + i_{2e}, \quad (4)$$

$$0 = i_{2b} + i_{2d} + i_{2f}, \quad (5)$$

$$U_1 = (R + R_1^i + R_3^i + R_{op}^i)i_1 + Ri_2 + (L_1^i + L_3^i + L_{op}^i)\frac{di_1}{dt} + (M_{12}^i + M_{34}^i)\frac{di_2}{dt} +$$

$$+(M_{1c}^i + M_{3c}^i - M_{1a}^i - M_{3a}^i)\frac{di_{1c}}{dt} + (M_{1d}^i + M_{3d}^i - M_{1b}^i - M_{3b}^i)\frac{di_{1d}}{dt} +$$

$$+(M_{1e}^i + M_{3e}^i - M_{1a}^i - M_{3a}^i)\frac{di_{1e}}{dt} + (M_{1f}^i + M_{3f}^i - M_{1b}^i - M_{3b}^i)\frac{di_{1f}}{dt}; \quad (6)$$

$$U_1 = Ri_1 + (R + R_2^i + R_4^i + R_5^i)i_2 + (M_{12}^i + M_{34}^i)\frac{di_1}{dt} + (L_2^i + L_4^i)\frac{di_2}{dt} +$$

$$+(M_{2c}^i + M_{4c}^i - M_{2a}^i - M_{4a}^i)\frac{di_{1c}}{dt} + (M_{2d}^i + M_{4d}^i - M_{2b}^i - M_{4b}^i)\frac{di_{1d}}{dt} +$$

$$+(M_{2e}^i + M_{4e}^i - M_{2a}^i - M_{4a}^i)\frac{di_{1e}}{dt} + (M_{2f}^i + M_{4f}^i - M_{2b}^i - M_{4b}^i)\frac{di_{1f}}{dt}; \quad (7)$$

$$U_2 = (R_1^u + R_3^u + R_{op}^u)i_1^u + (L_1^u + L_3^u + L_{op}^u)\frac{di_1^u}{dt} + (M_{12}^u + M_{34}^u)\frac{di_2^u}{dt} +$$

$$+(M_{1c}^u + M_{3c}^u - M_{1a}^u - M_{3a}^u)\frac{di_{2c}}{dt} + (M_{1d}^u + M_{3d}^u - M_{1b}^u - M_{3b}^u)\frac{di_{2d}}{dt} +$$

$$+(M_{1e}^u + M_{3e}^u - M_{1a}^u - M_{3a}^u)\frac{di_{2e}}{dt} + (M_{1f}^u + M_{3f}^u - M_{1b}^u - M_{3b}^u)\frac{di_{2f}}{dt}; \quad (8)$$

$$U_2 = (R_2^u + R_4^u + R_5^u)i_2^u + (M_{12}^u + M_{34}^u)\frac{di_1^u}{dt} + (L_2^u + L_4^u)\frac{di_2^u}{dt} +$$

$$+(M_{2c}^u + M_{4c}^u - M_{2a}^u - M_{4a}^u)\frac{di_{2c}}{dt} + (M_{2d}^u + M_{4d}^u - M_{2b}^u - M_{4b}^u)\frac{di_{2d}}{dt} +$$

$$+(M_{2e}^u + M_{4e}^u - M_{2a}^u - M_{4a}^u)\frac{di_{2e}}{dt} + (M_{2f}^u + M_{4f}^u - M_{2b}^u - M_{4b}^u)\frac{di_{2f}}{dt}; \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 0 = & -(R_{1a}^h + R_a^i + R_{1c}^h + R_c^i)i_{1c} - (R_{1a}^h + R_a^i)i_{1e} + \\
 & +(M_{1a}^i + M_{3a}^i - M_{1c}^i - M_{3c}^i)\frac{di_1}{dt} + (M_{2a}^i + M_{4a}^i - M_{2c}^i - M_{4c}^i)\frac{di_2}{dt} + \\
 & +(M_{ac}^i + M_{ca}^i - L_a^i - L_c^i)\frac{di_{1c}}{dt} + (M_{ad}^i + M_{cb}^i - M_{ab}^i - M_{cd}^i)\frac{di_{1d}}{dt} + \\
 & +(M_{ae}^i + M_{ca}^i - L_a^i - M_{ce}^i)\frac{di_{1e}}{dt} + (M_{af}^i + M_{cb}^i - M_{ab}^i - M_{cf}^i)\frac{di_{1f}}{dt};
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & -(R_{1a}^h + R_a^i)i_{1c} - (R_{1e}^h + R_e^i + R_{1a}^h + R_a^i)i_{1e} + \\
 & +(M_{1a}^i + M_{3a}^i - M_{1e}^i - M_{3e}^i)\frac{di_1}{dt} + (M_{2a}^i + M_{4a}^i - M_{2e}^i - M_{4e}^i)\frac{di_2}{dt} + \\
 & +(M_{ac}^i + M_{ea}^i - L_a^i - M_{ec}^i)\frac{di_{1c}}{dt} + (M_{ad}^i + M_{eb}^i - M_{ab}^i - M_{ed}^i)\frac{di_{1d}}{dt} + \\
 & +(M_{ae}^i + M_{ea}^i - L_a^i - L_e^i)\frac{di_{1e}}{dt} + (M_{af}^i + M_{eb}^i - M_{ab}^i - M_{ef}^i)\frac{di_{1f}}{dt};
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & -(R_{1d}^h + R_d^i + R_{1b}^h + R_b^i)i_{1d} - (R_{1b}^h + R_b^i)i_{1f} + \\
 & +(M_{1b}^i + M_{3b}^i - M_{1d}^i - M_{3d}^i)\frac{di_1}{dt} + (M_{2b}^i + M_{4b}^i - M_{2d}^i - M_{4d}^i)\frac{di_2}{dt} + \\
 & +(M_{bc}^i + M_{da}^i - M_{ab}^i - M_{dc}^i)\frac{di_{1c}}{dt} + (M_{bd}^i + M_{db}^i - L_b^i - L_d^i)\frac{di_{1d}}{dt} + \\
 & +(M_{be}^i + M_{da}^i - M_{ab}^i - M_{de}^i)\frac{di_{1e}}{dt} + (M_{bf}^i + M_{db}^i - L_b^i - M_{df}^i)\frac{di_{1f}}{dt};
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & -(R_{1b}^h + R_b^i)i_{1d} - (R_{1f}^h + R_f^i + R_{1b}^h + R_b^i)i_{1f} + \\
 & +(M_{1b}^i + M_{3b}^i - M_{1f}^i - M_{3f}^i)\frac{di_1}{dt} + (M_{2b}^i + M_{4b}^i - M_{2f}^i - M_{4f}^i)\frac{di_2}{dt} + \\
 & +(M_{bc}^i + M_{af}^i - M_{ab}^i - M_{cf}^i)\frac{di_{1c}}{dt} + (M_{bd}^i + M_{bf}^i - L_b^i - M_{df}^i)\frac{di_{1d}}{dt} + \\
 & +(M_{be}^i + M_{af}^i - M_{ab}^i - M_{ef}^i)\frac{di_{1e}}{dt} + (M_{bf}^i + M_{fb}^i - L_b^i - L_f^i)\frac{di_{1f}}{dt};
 \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & -(R_{1a}^u + R_a^u + R_{1c}^u + R_c^u)i_{2c} - (R_{1a}^u + R_a^u)i_{2e} + \\
 & +(M_{1a}^u + M_{3a}^u - M_{1c}^u - M_{3c}^u)\frac{di_1^u}{dt} + (M_{2a}^u + M_{4a}^u - M_{2c}^u - M_{4c}^u)\frac{di_2^u}{dt} + \\
 & +(M_{ac}^u + M_{ca}^u - L_a^u - L_c^u)\frac{di_{2c}^u}{dt} + (M_{ad}^u + M_{cb}^u - M_{ab}^u - M_{cd}^u)\frac{di_{2d}^u}{dt} + \\
 & +(M_{ae}^u + M_{ca}^u - L_a^u - M_{ce}^u)\frac{di_{2e}^u}{dt} + (M_{af}^u + M_{cb}^u - M_{ab}^u - M_{cf}^u)\frac{di_{2f}^u}{dt};
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & -(R_{1a}^u + R_a^u)i_{2c} - (R_{1e}^u + R_e^u + R_{1a}^u + R_a^u)i_{2e} + \\
 & +(M_{1a}^u + M_{3a}^u - M_{1e}^u - M_{3e}^u)\frac{di_1^u}{dt} + (M_{2a}^u + M_{4a}^u - M_{2e}^u - M_{4e}^u)\frac{di_2^u}{dt} + \\
 & +(M_{ac}^u + M_{ea}^u - L_a^u - M_{ec}^u)\frac{di_{1c}^u}{dt} + (M_{ad}^u + M_{eb}^u - M_{ab}^u - M_{ed}^u)\frac{di_{1d}^u}{dt} + \\
 & +(M_{ae}^u + M_{ea}^u - L_a^u - L_e^u)\frac{di_{1e}^u}{dt} + (M_{af}^u + M_{eb}^u - M_{ab}^u - M_{ef}^u)\frac{di_{1f}^u}{dt};
 \end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & -(R_{1d}^u + R_d^u + R_{1b}^u + R_b^u)i_{2d} - (R_{1b}^u + R_b^u)i_{2f} + \\
 & +(M_{1b}^u + M_{3b}^u - M_{1d}^u - M_{3d}^u)\frac{di_1^u}{dt} + (M_{2b}^u + M_{4b}^u - M_{2d}^u - M_{4d}^u)\frac{di_2^u}{dt} + \\
 & +(M_{bc}^u + M_{da}^u - M_{ab}^u - M_{dc}^u)\frac{di_{2c}^u}{dt} + (M_{bd}^u + M_{db}^u - L_b^u - L_d^u)\frac{di_{2d}^u}{dt} + \\
 & +(M_{be}^u + M_{da}^u - M_{ab}^u - M_{de}^u)\frac{di_{2e}^u}{dt} + (M_{bf}^u + M_{db}^u - L_b^u - M_{df}^u)\frac{di_{2f}^u}{dt};
 \end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned}
 0 = & -(R_{1b}^u + R_b^u)i_{2d} - (R_{1f}^u + R_f^u + R_{1b}^u + R_b^u)i_{2f} + \\
 & +(M_{1b}^u + M_{3b}^u - M_{1f}^u - M_{3f}^u)\frac{di_1^u}{dt} + (M_{2b}^u + M_{4b}^u - M_{2f}^u - M_{4f}^u)\frac{di_2^u}{dt} + \\
 & +(M_{bc}^u + M_{af}^u - M_{ab}^u - M_{cf}^u)\frac{di_{2c}^u}{dt} + (M_{bd}^u + M_{bf}^u - L_b^u - M_{df}^u)\frac{di_{2d}^u}{dt} + \\
 & +(M_{be}^u + M_{af}^u - M_{ab}^u - M_{ef}^u)\frac{di_{2e}^u}{dt} + (M_{bf}^u + M_{fb}^u - L_b^u - L_f^u)\frac{di_{2f}^u}{dt};
 \end{aligned} \tag{17}$$

Полученные уравнения (6) – (17) формируют систему, которую можно записать в матричной форме:

$$\vec{U} = \hat{R} \cdot \vec{i} + \hat{L} \cdot \frac{d\vec{i}}{dt}, \tag{18}$$

где  $\vec{U}$  - вектор строка напряжений,  $\vec{i}$  - вектор строка токов,  $\hat{R}$  - матрица активных сопротивлений,  $\hat{L}$  - матрица собственных и взаимных индуктивностей.

$$\vec{U} = (U_1 \quad U_1 \quad U_2 \quad U_2 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0)^t, \quad (19)$$

$$\vec{i} = (i_1 \quad i_2 \quad i_1'' \quad i_2'' \quad i_{1c} \quad i_{1d} \quad i_{1e} \quad i_{1f} \quad i_{2c} \quad i_{2d} \quad i_{2e} \quad i_{2f})^t. \quad (20)$$

Уравнение (18) и принципиальная схема РПС [4] позволяют составить математическую модель РПС на основе ПВМП. Напряжения, подаваемые на входы выпрямителей, определяются по выражениям:

$$\vec{E}_1 = \vec{I}_{ВЫХ1} \vec{R}_{H1}, \quad (21)$$

$$\vec{E}_2 = \vec{I}_{ВЫХ2} \vec{R}_{H2}, \quad (22)$$

где  $\vec{I}_{ВЫХ}$  – вектор столбец токов во вторичных обмотках,

$\vec{R}_H$  – вектор строка активных сопротивлений нагрузки.

Напряжение на выходе выпрямителей будет определяться выражением:

$$U_{ВЫХ} = \max(abs(\vec{E}_1)) - \max(abs(\vec{E}_2)); \quad (23)$$

С учетом сглаживающего конденсатора  $C$ , можно записать:

$$RC \cdot \frac{dU_{ВЫХ}}{dt} + U_{ВЫХ} = U_{НИ}, \quad (24)$$

где  $U_{НИ}$  – входное напряжение нуль-индикатора;

$R$  – входное сопротивление нуль-индикатора.

Работа нуль-индикатора определяется соотношением:

$$U_{НИ} \geq 0. \quad (25)$$

Таким образом, уравнения (18), (21) - (25) образуют систему, описывающую математическую модель реле полного сопротивления на основе ПВМП.



Для подтверждения теоретических разработок был изготовлен опытный образец ДО в виде РПС на основе ОТВП (рисунок 3) и произведены его сравнительные испытания с ДО терминала микропроцессорной защиты REF630 (ABB, Финляндия). Для проведения лабораторных испытаний устройств использовался комплекс Ретом-51 (НПП «Динамика»).

Конструкция измерительной части РПС в виде ПВМП тока и напряжения, а также схема сравнения выпрямленных многофазных вторичных напряжений приняты аналогичными, приведенным в [5].

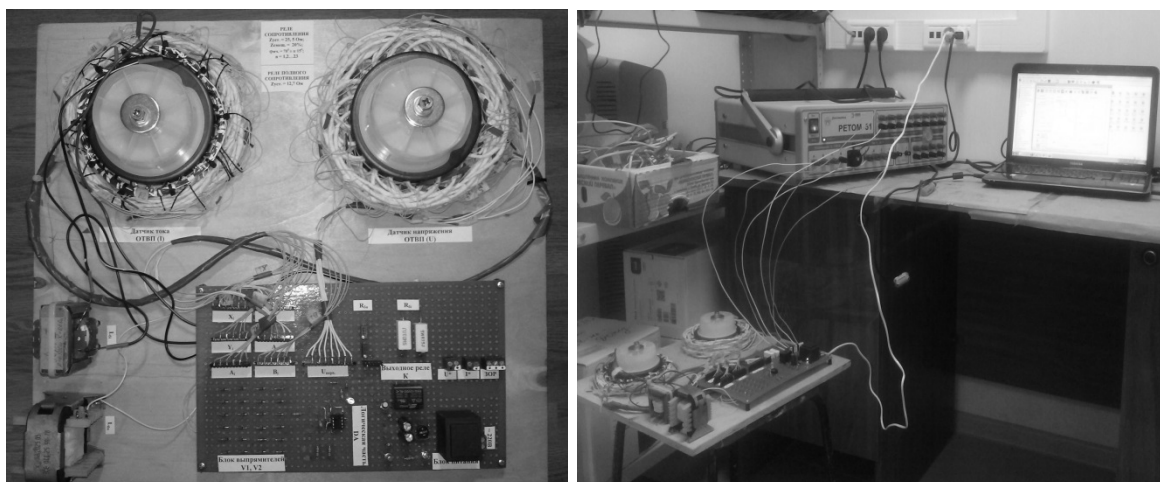


Рисунок 3 – Опытный образец ДО в виде РПС на основе ПВМП и его испытание с использованием комплекса Ретом-51

Параметры ПВМП измерительного органа тока:

$$\left. \begin{aligned} L_1^i = L_4^i &= 0,945 \text{ мГн}; R_1^i = R_4^i = 0,256 \text{ Ом}; \\ L_2^i = L_3^i &= 0,236 \text{ мГн}; R_2^i = R_3^i = 0,128 \text{ Ом}; \\ L_{\partial p}^i &= 1,91 \text{ мГн}; R_{\partial p}^i = 0,188 \text{ мГн}; R_5^i = 0,85 \text{ Ом}; \\ L_a^i = L_b^i = L_c^i = L_d^i = L_e^i = L_f^i &= 0,137 \text{ Гн}; \\ R_a^i = R_b^i = R_c^i = R_d^i = R_e^i = R_f^i &= 183 \text{ Ом} \end{aligned} \right\}$$

Параметры ПВМП измерительного органа напряжения:

$$\left. \begin{aligned} L_1^u = L_4^u = 2,872 \text{ Гн}; R_1^u = R_4^u = 1320 \text{ Ом}; \\ L_2^u = L_3^u = 0,736 \text{ Гн}; R_2^u = R_3^u = 657 \text{ Ом}; \\ L_{op}^u = 6,42 \text{ Гн}; R_{op}^u = 387 \text{ Ом}; R_5^u = 2923 \text{ Ом}; \\ L_a^u = L_b^u = L_c^u = L_d^u = L_e^u = L_f^u = 1,34 \text{ Гн}; \\ R_a^u = R_b^u = R_c^u = R_d^u = R_e^u = R_f^u = 615 \text{ Ом} \end{aligned} \right\}$$

Для опытного образца устройства получена граничная линия срабатывания в комплексной плоскости с  $Z_0 = 13,3 \text{ Ом}$ . Аналогичная уставка была задана для ДО терминала REF630. На рисунке 4 приведены граничные линии срабатывания устройств.

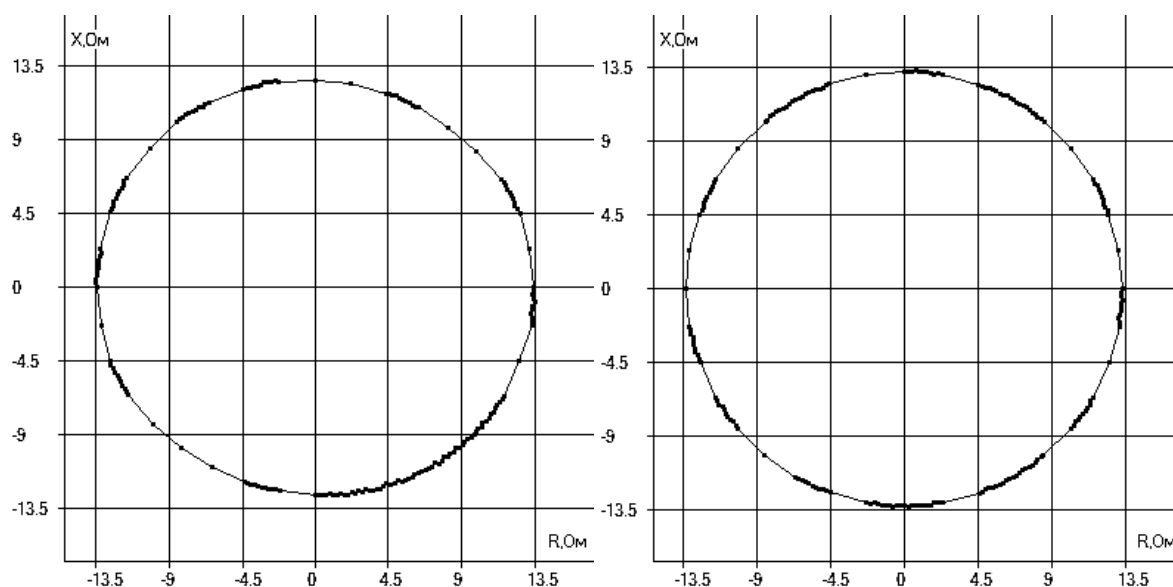


Рисунок 4 – Граничные линии срабатывания ДО в виде РПС на основе ПВМП (слева) и терминала REF630 (справа)

Также экспериментально получена характеристика времени срабатывания РПС на основе ПВМП в зависимости от входного сопротивления  $T_{cp} = f(Z_{вх})$  (рисунок 5).

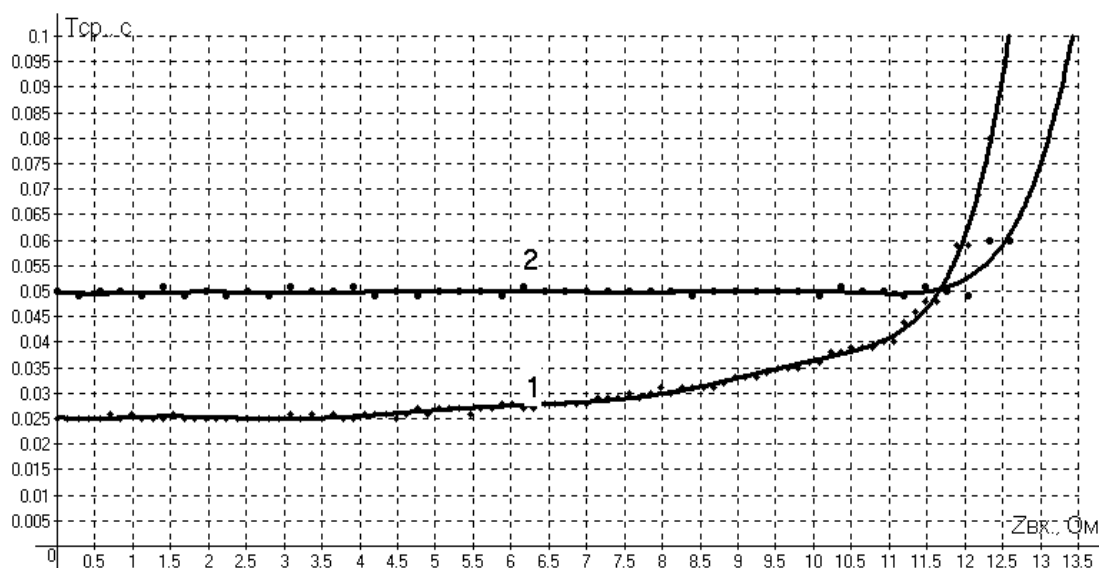


Рисунок 5 – Зависимости времени срабатывания от входного сопротивления для РПС на основе ПВМП (1) и терминала REF630 (2)

Таким образом, экспериментальные исследования подтвердили теоретические основы работы ДО в виде РПС на основе ПВМП, а сравнительные испытания опытного образца предлагаемого устройства наглядно продемонстрировали сопоставимость его основных характеристик с современным микропроцессорным аналогами от ведущей компании отрасли.

### Список литературы

1. Фабрикант, В.Л. Основы теории построения измерительных органов релейной защиты и автоматики [Текст] // – М.: Изд. «Высшая школа», 1968. – 268 с.
2. Шнеерсон, Э.М. Полупроводниковые реле сопротивления [Текст] // – М.: Изд. «Энергоатомиздат», 1986. – 144 с.
3. Коробейников Б.А. Дистанционный орган релейной защиты на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем [Текст]/ Б.А. Коробейников, Г.А. Захаров, В.М. Радионов//Известия высших учебных заведений. Электромеханика. №3 – 2013. – с. 68–72.
4. Пат. 108888 РФ. Реле полного сопротивления [Текст]/ Б.А. Коробейников, А.Б. Коробейников, В.М. Радионов, Г.А. Захаров (РФ). – 5 с..
5. Радионов В.М. Совершенствование органов направления мощности для релейной защиты электрических сетей: дисс. канд. техн. наук : 05.09.03. Краснодар, 2011. – 147 с.

### References

1. Fabrikant, V.L. Osnovy teorii postroenija izmeritel'nyh organov relejnoj zashhity i avtomatiki [Tekst] // – М.: Izd. «Vysshaja shkola», 1968. – 268 s.

2. Shneerson, Je.M. Poluprovodnikovye rele soprotivlenija [Tekst] // – M.: Izd. «Jenergoatomizdat», 1986. – 144 s.

3. Korobejnikov B.A. Distancionnyj organ relejnoj zashhity na osnove preobrazovatelej s vrashhajushhimsja magnitnym polem [Tekst]/ B.A. Korobejnikov, G.A. Zaharov, V.M. Radionov//Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Jelektromehanika. №3 – 2013. – s. 68–72.

4. Pat. 108888 RF. Rele polnogo soprotivlenija [Tekst]/ B.A. Korobejnikov, A.B. Korobejnikov, V.M. Radionov, G.A. Zaharov (RF). – 5 s..

5. Radionov V.M. Sovershenstvovanie organov napravlenija moshhnosti dlja re-lejnoj zashhity jelektricheskikh setej: diss. kand. tehn. nauk : 05.09.03. Krasnodar, 2011. – 147 s.