

УДК 621.31.004.18

*РАЗРАБОТКА ДИСТАНЦИОННОГО ОРГАНА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С КОМБИНИРОВАННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ
СРАБАТЫВАНИЯ В ВИДЕ УСЕЧЕННОЙ ОКРУЖНОСТИ*

А.М. ОППАХОДЖАЕВ, Г.А. ЗАХАРОВ, Ж.И. ШЕВЧЕНКО, Б.Р. ХУРАЙ

*Кубанский государственный технологический университет
350002, Российская федерация, г. Краснодар, ул. Московская 2;
электронная почта: alisher.o.m@gmail.com*

Релейная защита является одним из основных видов автоматики в энергосистемах. Основная задача средств релейной защиты – осуществление непрерывного контроля над состоянием и режимом работы всех элементов энергосистемы, а также реагирование на возникновение повреждений и ненормальных режимов. Широкое применение в России и за рубежом имеют дистанционные защиты, основанные на применении микропроцессорной техники, которые помимо технических и информационных достоинств имеют ряд недостатков, таких как высокая стоимость, низкая надёжность. Разработана функциональная схема, а также математическая модель комбинированного дистанционного органа на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем.

Ключевые слова: преобразователь с вращающимся магнитным полем, дистанционное реле, релейная защита.

Повреждения в электрических сетях нарушают нормальную работу энергосистемы и потребителей электроэнергии. Они сопровождаются значительным увеличением тока и глубоким понижением напряжения в элементах энергосистемы. К ним относятся: короткие замыкания фаз между собой и на землю, сложные повреждения, сопровождающиеся короткими замыканиями и обрывом фаз, замыкания между витками одной фазы в обмотках электрических машин и трансформаторов, замыкания на землю одной фазы в сети с изолированной или компенсированной нейтралью.

При коротких замыканиях ЭДС источника питания замыкается "накоротко" через относительно малое сопротивление генераторов, трансформаторов и линий. В контуре замкнутой накоротко ЭДС возникает большой ток, называемый током короткого замыкания. Одновременно во всех точках сети происходит снижение напряжения, наибольшее в точке короткого замыкания.

Ненормальные режимы создают возможность возникновения повреждений или расстройств работы энергосистемы. Обычно они приводят к отклонению величин напряжения, тока и частоты от допустимых значений, опасные для оборудования или устойчивой работы энергосистемы. К ним относятся: перегрузка оборудования, качания в энергосистеме и повышение напряжения сверх допустимого значения.

При возникновении повреждений защита выявляет и отключает от системы поврежденный участок, воздействуя на специальные силовые выключатели, предназначенные для размыкания токов повреждения.

При возникновении ненормальных режимов защита выявляет их и в зависимости от характера нарушения производит операции, необходимые для восстановления нормального режима (например, производит разгрузку оборудования, производит отключение электродвигателей, трансформаторов – при отсутствии постоянного дежурного персонала), или действует на сигнал.

Одним из видов релейной защиты является дистанционная защита, предназначенная для защиты линий электропередач большой длины и высокого напряжения.

В настоящее время широкое применение в России и за рубежом имеют дистанционные защиты, основанные на применении микропроцессорной техники. Однако, несмотря на технические и информационные достоинства микропроцессорных защит, их использование связано с рядом проблем, таких как высокая стоимость оборудования, сложность алгоритмов, затрудняющая их использование, низкая надёжность, в связи с большим количеством элементов. Так же существует проблема электромагнитной совместимости, так микропроцессорные устройства сильно подвержены влиянию электромагнитных полей на подстанциях.

Таким образом, совершенствование дистанционной защиты на основе использования новых устройств является актуальной задачей.

На рисунке 1 представлена общая схема устройства, работающего на преобразователях с вращающимся магнитным полем [1], которая может формировать характеристику срабатывания в виде прямой либо окружности.

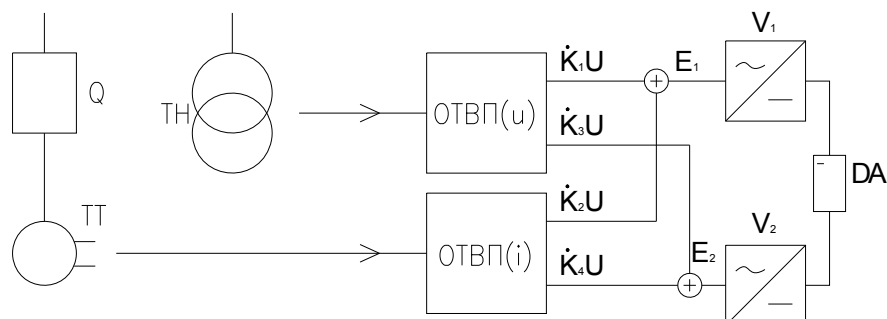


Рисунок 1 – Схема дистанционного органа.

На выходе преобразователей формируются две сравниваемые величины:

$$\begin{aligned} \dot{E}_1 &= \dot{K}_1 U + \dot{K}_2 I; \\ \dot{E}_2 &= \dot{K}_3 U + \dot{K}_4 I; \end{aligned} \quad (1)$$

Условием срабатывания реле является:

$$|\dot{E}_1| = |\dot{E}_2|; \quad (2)$$

Или с учетом значений \dot{E}_1 , \dot{E}_2 и $\dot{Z} = \dot{U} / \dot{I}$:

$$|\dot{K}_1 \dot{Z} + \dot{K}_2| = |\dot{K}_3 \dot{Z} + \dot{K}_4|; \quad (3)$$

где $\dot{Z} = R + jX$,

$$\begin{aligned} \dot{K}_1 &= K_1 \cos \varphi_1 + jK_1 \sin \varphi_1, \\ \dot{K}_2 &= K_2 \cos \varphi_2 + jK_2 \sin \varphi_2, \\ \dot{K}_3 &= K_3 \cos \varphi_3 + jK_3 \sin \varphi_3, \\ \dot{K}_4 &= K_4 \cos \varphi_4 + jK_4 \sin \varphi_4; \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив выражения из формулы (4) в формулу (3) и преобразовав её, получим общее уравнение характеристики срабатывания реле, записанное в формуле (5)

$$\begin{aligned} (R^2 + X^2)(K_1^2 - K_3^2) + (K_2^2 - K_4^2) + 2R(K_1 K_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) - \\ - K_3 K_4 \cos(\varphi_4 - \varphi_3)) + 2X(K_1 K_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1) - K_3 K_4 \sin(\varphi_4 - \varphi_3)) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

В формуле (5) коэффициенты K_1, K_2, K_3, K_4 являются коэффициентами трансформации вторичных обмоток ПВМП, а углы $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ углами сдвига фаз соответствующих обмоток. Варьируя эти параметры, можно получать характеристику срабатывания требуемого вида [2].

Зададим необходимую характеристику срабатывания. Она будет ограничиваться окружностью с центром в точке $Z_0=2$ Ом, радиусом $r_0=2$ Ом, углом максимальной чувствительности $F_m=60^\circ$ и прямой, смещённой относительно начала координат по действительной оси на $0,4$ Ом, с углом наклона к действительной оси $F_n=30^\circ$. Характеристика показана на рисунке 2.

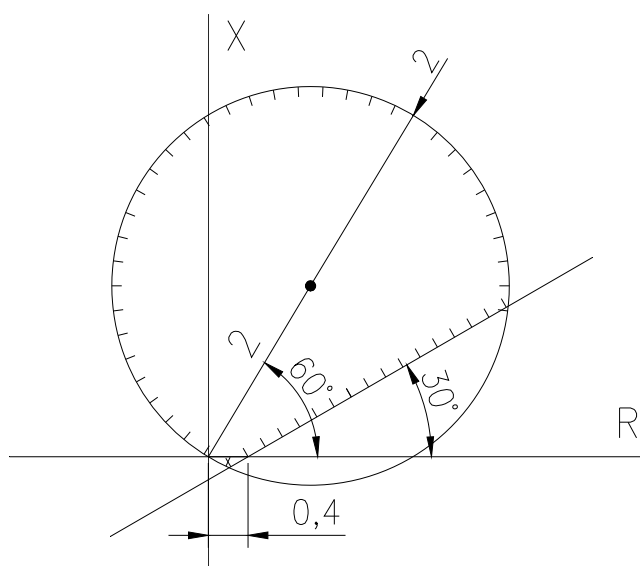


Рисунок 2 – Требуемая характеристика срабатывания.

Определим параметры группы обмоток, формирующей характеристику срабатывания в виде окружности.

$$\left. \begin{aligned} r_0 &= \frac{K_4}{K_1} \\ r_0 &= 2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow K_4 = 2 \cdot K_1; \tag{6}$$

$$\left. \begin{aligned} Z_0 &= -\frac{K_2}{K_1} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) - j \frac{K_2}{K_1} \sin(\varphi_2 - \varphi_1) \\ Z_0 &= 2 \cdot \cos(60^\circ) + 2 \cdot \sin(60^\circ) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} K_2 &= 2 \cdot K_1 \\ \varphi_2 - \varphi_1 &= 240^\circ \end{aligned} \right\}; \tag{7}$$

Параметр K_1 зададим произвольно. Получим следующие параметры:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= 1; \\ K_2 &= K_4 = 2; \\ \varphi_2 - \varphi_1 &= 240^\circ; \\ K_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Определим параметры группы обмоток, формирующей характеристику срабатывания в виде прямой:

$$\left. \begin{aligned} -ctg(\varphi_8 - \varphi_7) &= tg(30^\circ) \\ 0,4 \cdot tg(30^\circ) &= \frac{K_8}{2 \cdot K_7 \cdot \sin(\varphi_8 - \varphi_7)} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \varphi_8 - \varphi_7 &= 120^\circ \\ K_7 &= 2,5K_8 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Параметр K_8 зададим произвольно. Получим следующие параметры:

$$\left. \begin{aligned} K_8 &= 2; \\ K_7 &= K_5 = 5; \\ \varphi_8 - \varphi_7 &= 120^\circ; \\ K_6 &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Параметры первичных обмоток преобразователя следующие [3]:

$$L_1 = L_4 = L; \quad L_2 = L_3 = 0,25 \cdot L;$$

$$M_{12} = M_{34} = 0,5 \cdot L_1; L_0 = 0,5625 \cdot L_1; R_0 = 1,6875 \cdot \omega \cdot L_1;$$

Для детального изучения особенностей поведения, предлагаемого реле полного сопротивления, при различных режимах работы, в среде Simulink программы MATLAB была создана модель его измерительной и логической частей. Схема выполнена преимущественно с помощью стандартных блоков библиотеки *SimPowerSystems* и отражает работу датчиков тока ПВМП I и напряжения ПВМП U (рисунок 3, рисунок 4).

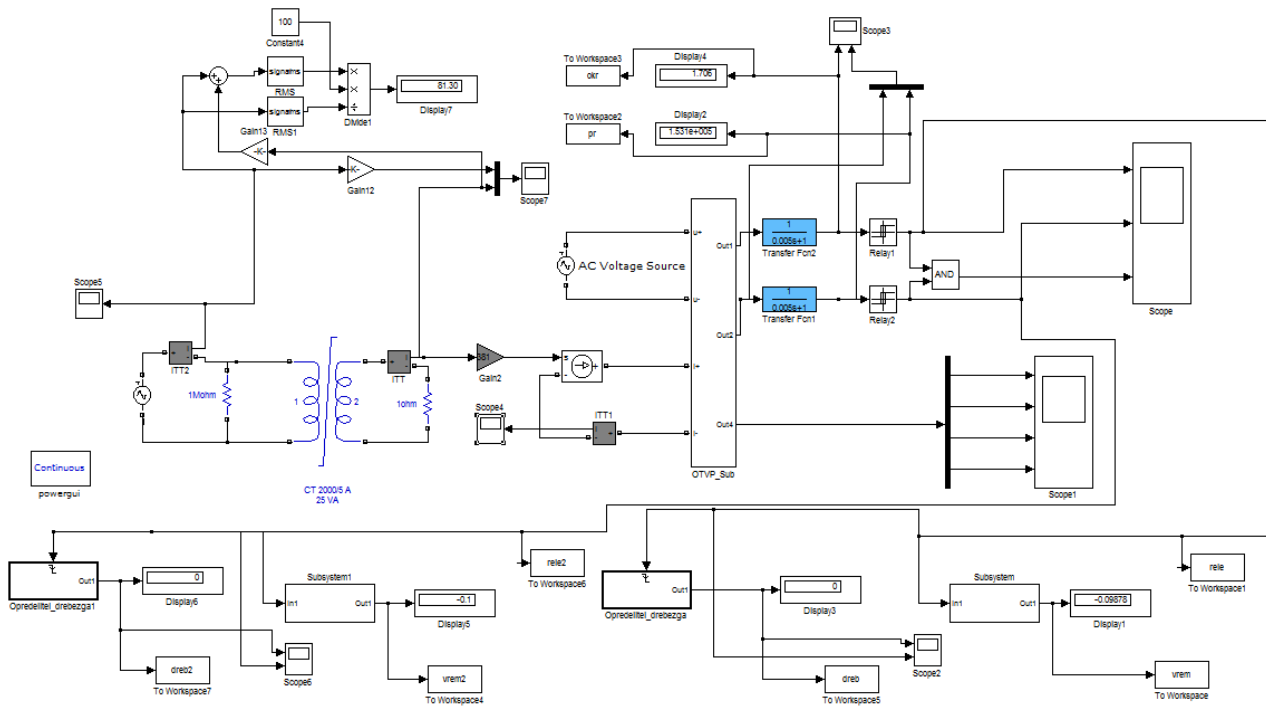


Рисунок 3 – Структурная схема модели реле полного сопротивления на основе ПВМП в среде Simulink программы MATLAB.

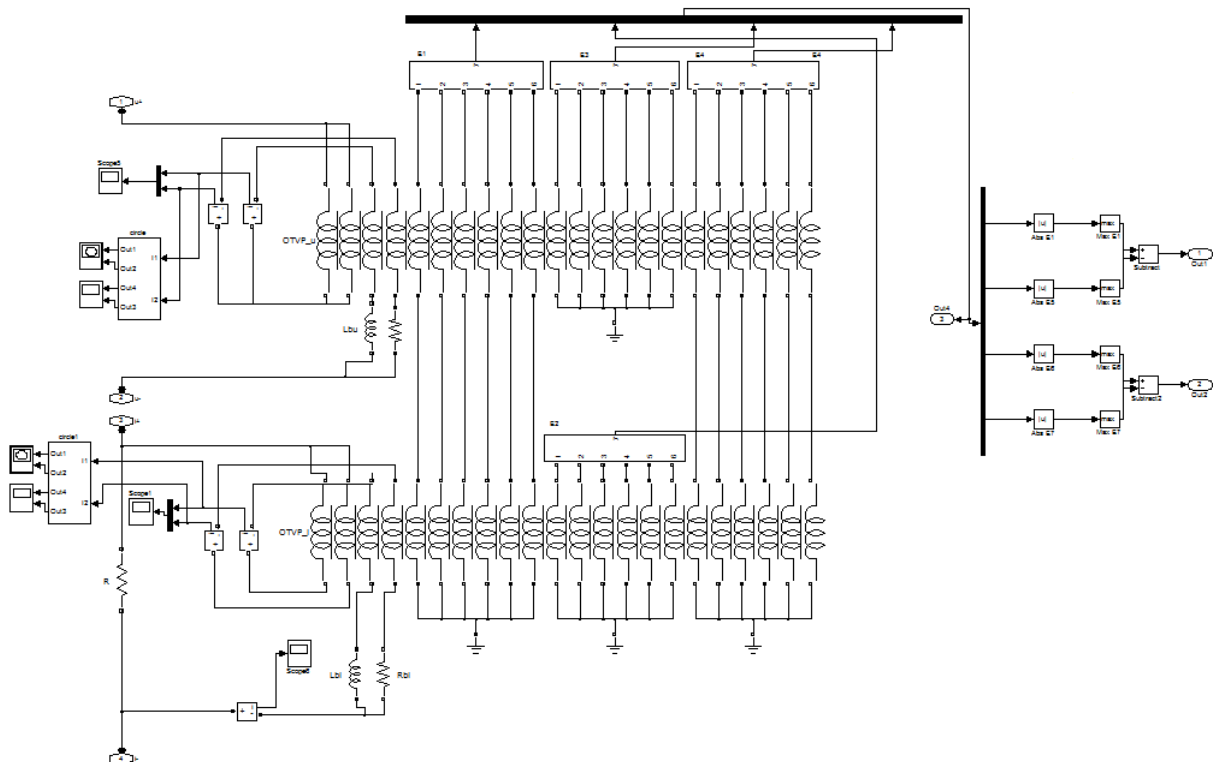


Рисунок 4 – Структурная схема блока PVMP в среде Simulink программы MATLAB

На рисунке 5 представлен результат снятия характеристики срабатывания комбинированного органа при моделировании его в среде

Simulink. Срабатывание фиксировалось с помощью осциллографов, подключенных к нуль-индикаторам (рисунок 6, рисунок 7)

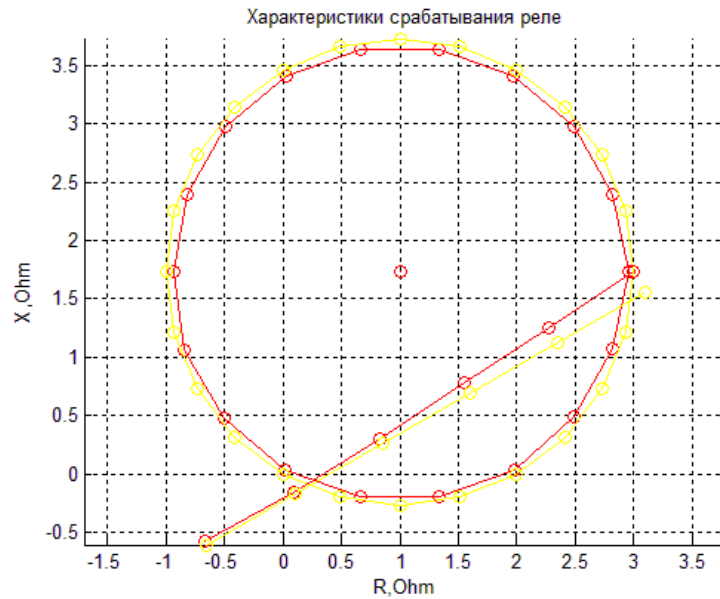


Рисунок 5 – Характеристика срабатывания реле полного сопротивления на основе ПВМП в комплексной плоскости Z ($T_f = 0,0025$ с-1).

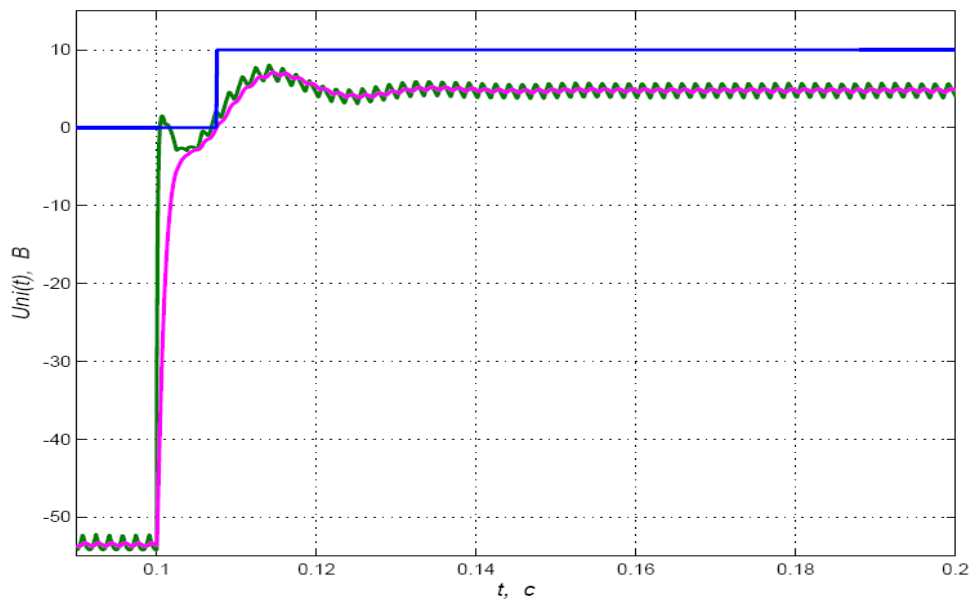


Рисунок 6 – Осциллограмма напряжения на нуль-индикаторе (окружность) при надежном срабатывании реле полного сопротивления на основе ПВМП ($T_f = 0,0025$ с-1).

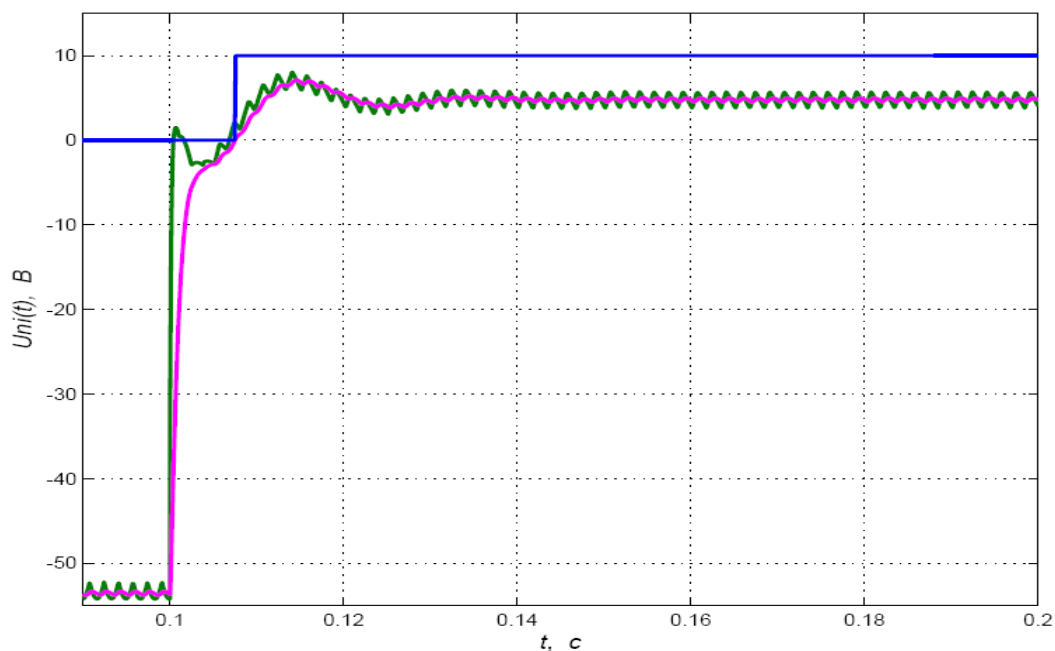


Рисунок 7 – Осциллограмма напряжения на нуль-индикаторе (прямая) при надежном срабатывании реле полного сопротивления на основе ПВМП ($T_f = 0,0025 \text{ c}^{-1}$).

В результате работы была создана и исследована математическая модель дистанционного органа с комбинированной характеристикой срабатывания. Полученная характеристика срабатывания (рисунок 5) повторяет требуемую (рисунок 2), что подтверждает правильность полученного уравнения (формула 5) для формирования характеристик органов сравнения двух электрических величин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2333562 РФ. Однофазный трансформатор вращающегося поля / Коробейников Б.А., Сидоров Д.И. (РФ), 2007. – 5 с.
2. Коробейников Б.А. Дистанционный орган релейной защиты на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем / Коробейников Б.А., Захаров Г.А., Радионов В.М. // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. №3, 2013. С. 68–72.
3. Сидоров, Д.И. Определение параметров однофазного трансформатора с вращающимся полем без учета активных сопротивлений обмоток / Б.А. Коробейников, А.И. Ищенко, Д.И. Сидоров, В.М. Радионов //

Электроэнергетические комплексы и системы. Сборник научных статей, – 2008. С. 8-11.

REFERENCES

1. Pat. 2333562 RF. Odnofaznyy transformator vrashchayushchegosya polya / Korobeynikov B.A., Sidorov D.I. (RF), 2007. – 5 s.
2. Korobeynikov B.A. Dstantsionnyy organ releynoy zashchity na osnove preobrazovateley s vrashchayushchimsya magnitnym polem / Korobeynikov B.A., Zakharov G.A., Radionov V.M. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektromekhanika. №3, 2013. S. 68–72.
3. Sidorov, D.I. Opredelenie parametrov odnofaznogo transformatora s vrashchayushchimsya polem bez ucheta aktivnykh soprotivleniy obmotok / B.A. Korobeynikov, A.I. Ishchenko, D.I. Sidorov, V.M. Radionov//Elektroenergeticheskie komplekсы i sistemy. Sbornik nauchnykh statey, – 2008. S. 8-11.

DESIGN OF DISTANCE DEVICE OF RELAY PROTECTION OF ELECTRIC CIRCUITS WITH COMBINED CHARACTERISTIC OF OPERATION AS TRUNCATED CIRCLE

A.M. OPKAKHODZHAEV, G.A. ZAKHAROV, ZH.I. SHEVCHENKO, B.R. KHURAY

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350002;
e-mail: alisher.o.m@gmail.com*

Relay protection is one of the main kinds of automation in electric power systems. The main objective of relay protection – constant monitoring of the condition and mode of all elements of the power system, as well as the response to the occurrence of damage and anomalous modes. Distance protection, based on the use of microprocessor technology, widely used in Russia and abroad. In addition to technical and informational advantages, they have some disadvantages such as high cost, low reliability. It was designed the functional scheme and mathematical model of the combined distance device based on converters with rotating magnetic field.

Key words: converters with a rotating magnetic field, distance relay, relay protection.