

УДК 621.316.925.1

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА БЛОКИРОВКИ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРА В РЕЖИМАХ БРОСКА ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ

Докт. техн. наук, проф. РОМАНИУК Ф. А.¹⁾,
инженеры ЛОМАН М. С.²⁾, ГВОЗДИЦКИЙ А. С.²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾ОАО «Белэлектромонтажладка»

E-mail: faromanuk@bntu.by

INVESTIGATION OF BLOCKING ALGORITHM FOR TRANSFORMER CURRENT PROTECTIONS IN MAGNETIZING INRUSH CURRENT MODES

ROMANIUK F. A., LOMAN M. S., GVOZDITSKIY A. S.

¹⁾Belarusian National Technical University,

²⁾JSC «Belelektromontazhnaladka»

Представлены исследования алгоритма блокировки токовых защит трансформатора при броске тока намагничивания. Проведенные исследования показали, что алгоритм имеет высокую чувствительность и надежно определяет режимы броска тока намагничивания.

Ключевые слова: бросок тока намагничивания, токовая защита.

Ил. 5. Библиогр.: 6 назв.

Presents investigations on blocking algorithm for transformer current protections during magnetizing inrush current. The investigations have shown that the algorithm has high sensitivity and reliably determines magnetizing inrush current modes.

Keywords: magnetizing-current inrush, current protection.

Fig. 5. Ref.: 6 titles.

Важной задачей при выполнении токовых защит трансформатора является обеспечение их несрабатывания при бросках тока намагничивания (БТН). БТН возникает при включении ненагруженного трансформатора под напряжение, в циклах АПВ, АВР, при восстановлении напряжения после отключения внешних коротких замыканий (КЗ) и может достигать десятикратных значений по отношению к номинальному току трансформатора [1].

В статье представлено исследование устройства блокировки токовых защит при БТН в режимах включения ненагруженного трансформатора под напряжение. Предлагаемый критерий блокировки токовых защит при БТН

основывается на оценке отношения тока второй гармоники прямой последовательности $I_{2пр}$ к току первой гармоники обратной последовательности $I_{1обр}$ (рис. 1). На рис. 1 приняты следующие сокращения: ЧФПГ – частотный фильтр первой гармоники; ЧФВГ – частотный фильтр второй гармоники; ФТОП – фильтр тока обратной последовательности; ФТПП – фильтр тока прямой последовательности.

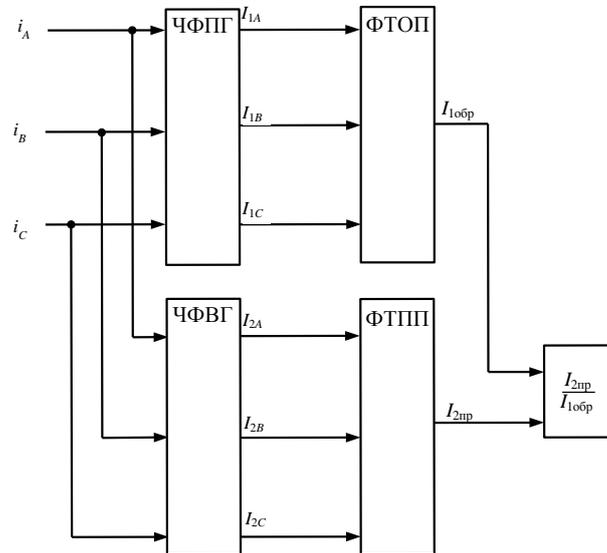


Рис. 1. Функциональная схема измерительного органа блокировки токовых защит

Исследование алгоритма проведено методом вычислительного эксперимента с применением математической модели выработки входных сигналов токовой защиты силового трансформатора и математической модели максимальной токовой защиты (МТЗ) с блокировкой при БТН. Математическое моделирование позволяет провести исследование работы блокировки и токовой защиты во всем объеме возможных режимов БТН. Достоверность математической модели выработки входных сигналов токовой защиты силового трансформатора проверена на основе сравнения с результатами, полученными при натурных испытаниях терминала защиты трансформатора МР801 [2].

Математическая модель выработки входных сигналов токовой защиты трансформатора базируется на комплексных математических моделях энергообъекта, содержащего силовой трансформатор с его источниками питания, нагрузками, трансформаторами тока (ТТ). Входные сигналы защиты вырабатываются для всех видов КЗ на выводах трансформатора и внешних КЗ, режимов включения трансформатора и отключения внешних КЗ.

Математическая модель МТЗ с блокировкой при БТН включает в себя модель аналогового фильтра второго порядка с частотой среза 1 кГц, модель цифрового фильтра ортогональных составляющих (первой и второй гармоник) на основе алгоритма Герцеля [3], модели цифровых фильтров токов прямой и обратной последовательностей, модель защиты от повышения тока с независимой от тока выдержкой времени. Расчет действующих значений токов осуществляется в одномиллисекундном цикле на основе 20 выборок с частотой дискретизации 1 кГц.

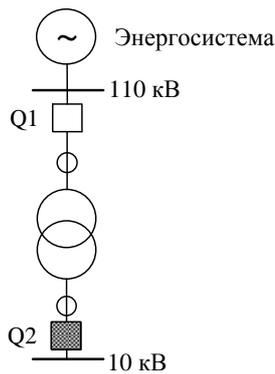


Рис. 2. Однолинейная схема моделируемой сети

Были проведены две серии экспериментов включения ненагруженных трансформаторов 6,3 и 16,0 МВ·А под напряжение. Расчетная схема, реализованная в математической модели выработки входных сигналов токовой защиты трансформатора, представлена на рис. 2. Силовой трансформатор включается под напряжение выключателем Q1, выключатель Q2 отключен.

На основе полученных результатов построены графики для предлагаемого и классического критериев пофазной блокировки [4] токовых защит, реализуемой на основе оценки отношения второй и первой гармоник тока фазы.

Проведенные исследования показали, что характеристики блокировки имеют близкий вид для включения трансформаторов 6,3 и 16,0 МВ·А (рис. 3). Поэтому далее, с целью сокращения объема статьи, приводятся только характеристики блокировки для трансформатора мощностью 6,3 МВ·А.

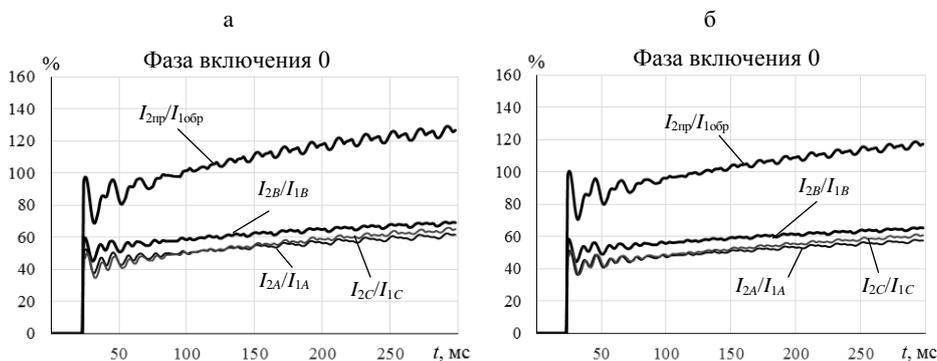


Рис. 3. Характеристики блокировок для трансформаторов 6,3 (а) и 16,0 МВ·А (б)

В каждой серии опытов были смоделированы включения ненагруженного трансформатора при изменении фазы питающего напряжения. Замечено, что содержание второй гармоники в фазных токах циклически изменяется. Цикл изменения для трех фаз имеет период 180° , при этом характерные колебания содержания второй гармоники в токе каждой из фаз можно наблюдать при изменении фазы питающего напряжения в диапазоне 60° (рис. 4, 5).

Как видно из рис. 3а, величины I_{2A}/I_{1A} , I_{2B}/I_{1B} , I_{2C}/I_{1C} имеют близкие значения при фазе включения 0. При фазах включения от 0 до 25° (рис. 3а, 4а–в) содержание второй гармоники в фазе *B* возрастает, а содержание второй гармоники в фазах *A* и *C* снижается. При фазах включения от 35° до 60° (рис. 4г, 5а–в) уровень второй гармоники в фазе *B* снижается, в фазах *A* и *C* увеличивается, при этом при фазе включения 60° (рис. 5в) содержание второй гармоники во всех трех фазах примерно одинаково и характеристика блокировок подобна характеристике при фазе включения 0 (рис. 3а). При дальнейшем увеличении фазы включения до 65° (рис. 5г) содержание второй гармоники по фазе *A* увеличивается, а по фазам *B* и *C* снижается.

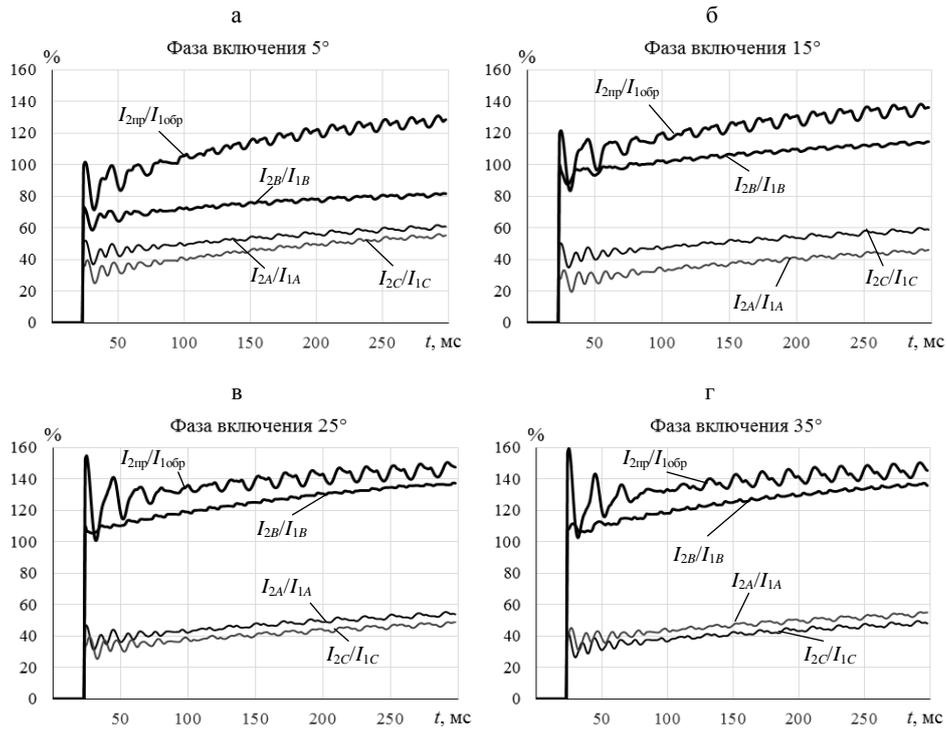


Рис. 4. Характеристики блокировок для трансформатора 6,3 МВ·А

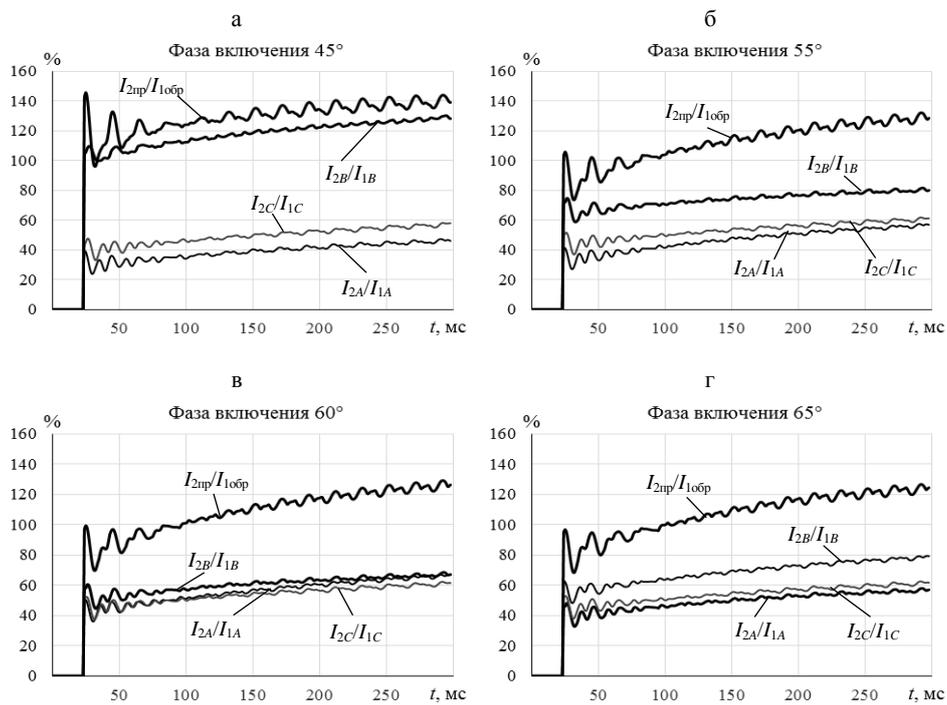


Рис. 5. Характеристики блокировок для трансформатора 6,3 МВ·А.

Оценку чувствительности критерия блокировки произведем, рассчитав коэффициенты чувствительности:

$$K_{\text{ч1}} = \frac{(I_{2\text{пр}}/I_{1\text{обр}})_{\text{min}}}{K_{2G}} = \frac{69,2}{15} = 4,61;$$

$$K_{\text{ч2}} = \frac{(I_{2\text{ф}}/I_{1\text{ф}})_{\text{min}}}{K_{2G}} = \frac{19,4}{15} = 1,29;$$

$$K_{\text{ч}}^* = \frac{K_{\text{ч1}}}{K_{\text{ч2}}} = \frac{4,61}{1,29} = 3,57,$$

где $K_{\text{ч1}}$, $K_{\text{ч2}}$ – коэффициенты чувствительности; $K_{\text{ч}}^*$ – относительный коэффициент чувствительности; $(I_{2\text{пр}}/I_{1\text{обр}})_{\text{min}}$ – минимальное значение критерия блокировки $I_{2\text{пр}}/I_{1\text{обр}}$, $(I_{2\text{пр}}/I_{1\text{обр}})_{\text{min}} = 69,2$ % при фазе включения 60° (рис. 5в); $(I_{2\text{ф}}/I_{1\text{ф}})_{\text{min}}$ – минимальное значение критерия блокировки по содержанию второй гармоники в токах фаз, $(I_{2\text{ф}}/I_{1\text{ф}})_{\text{min}} = 19,4$ % при фазе включения 15° (рис. 4б); K_{2G} – стандартное значение уставки блокировки по второй гармонике, $K_{2G} = 15$ % [5].

При фазах включения 15° , 25° , 35° , 45° значение I_{2B}/I_{1B} в течение 3–4 мс превышает величину $I_{2\text{пр}}/I_{1\text{обр}}$. В данных ситуациях значение $I_{2\text{пр}}/I_{1\text{обр}}$ составляет не менее 85 %, что при стандартной уставке блокировки обеспечивает высокую степень чувствительности критерия к БТН.

Значение $K_{\text{ч}}^*$ показывает, что предлагаемый критерий блокировки имеет в 3,57 раза большую чувствительность к БТН, чем классическая пофазная блокировка.

При реализации МТЗ стороны 110 кВ были заданы уставки: ток срабатывания – 1,5 номинального тока трансформатора; выдержка времени – 0; уставка блокировки при БТН – 15 %. Во всех исследуемых режимах включения ненагруженных трансформаторов под напряжение алгоритм блокировки надежно определял режим БТН и запрещал работу МТЗ трансформатора. При этом БТН в трансформаторе 6,3 МВ·А достигал 5,19 номинального тока, в трансформаторе 16 МВ·А – 3,36 номинального тока.

ВЫВОДЫ

Представлено исследование алгоритма блокировки токовых защит при бросках тока намагничивания в режимах включения ненагруженного трансформатора под напряжение. Проведенные исследования показывают, что:

- предлагаемый алгоритм обладает в 3,57 раза большей чувствительностью к броскам тока намагничивания, чем алгоритм пофазной блокировки по содержанию второй гармоники;
- предлагаемый алгоритм надежно определяет режим броска тока намагничивания и предотвращает ложную работу токовой защиты при включении ненагруженного трансформатора под напряжение.

Для применения в устройствах токовых защит предлагаемый алгоритм дополнительно необходимо испытать в режимах симметричных и несимметричных коротких замыканий. Особое внимание при исследовании алгоритма блокировки стоит уделить режимам коротких замыканий, сопровождающихся насыщением трансформаторов тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов, Ф. Е. Теоретические основы электротехники / Ф. Е. Евдокимов. – М.: Высш. шк., 1971. – С. 437–439.
2. Validation of Mathematical Model of Differential Protection / F. Romanyuk [et al.] // *Przeegląd Electrotechniczny*. – 2014. – № 3. – P. 187–190.
3. Романюк, Ф. А. Формирование ортогональных составляющих контролируемых величин в микропроцессорной защите понижающего трансформатора / Ф. А. Романюк, М. С. Ломан // *Энергетика...* (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2012. – № 4. – С. 5–9.
4. Каштени, Б. Усовершенствованный алгоритм отстройки от бросков тока намагничивания / Б. Каштени, Л. Севов // *Релейщик*. – 2009. – № 1. – С. 31–41.
5. Циглер, Г. Цифровая дифференциальная защита. Принципы и область применения: пер. с англ. / Г. Циглер; под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: Знак, 2008. – 216 с.

REFERENCES

1. Yevdokimov, F. E. (1971) *Theoretical Principles of Electrical Engineering*. Moscow: Vysshaya shkola.
2. Romanyuk, F., Novash, I., Loman, M., Węgierek, P., & Szrot M. (2014) Validation of Mathematical Model of Differential Protection. *Przeegląd Electrotechniczny*, 3, 187–190.
4. Romaniuk, F. A., & Loman, M. S. (2012) Formation of Orthogonal Controlled Value Components in Micro-Processor Protection of Power Reducing Transformer. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika [Proceedings of the Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering]*, 4, 5–9.
5. Kаштени, B., & Sevov L. (2009) Modified Tuning-Out Algorithm for Magnetizing Inrush Current. *Releishchik [Protection Engineer]*, 1, 31–41.
6. Ziegler, G. (2008) *Digital Differential Protection. Principles and Fields of Application*. Moscow: Znakh.

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 10.02.2014

УДК 621.311.24.01

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Канд. техн. наук, доц. ПЕТРЕНКО Ю. Н., асп. САНКЕВИЧ С. А.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: sanches-korn@tut.by

ANALYSIS OF FUNCTIONAL ELECTRICAL ANNEX DIAGRAMS OF WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS

PETRENKO Yu. N., SANKEVICH S. A.

Belarusian National Technical University

Рассмотрены основные концепции в проектировании современных ветроэлектрических установок. Проведен анализ способов управления и систем, способных реализовывать режим работы с максимальной выходной мощностью. Приведены функциональные схемы систем для различных электрических генераторов, механических передач и комбинаций силовых преобразовательных устройств. Определены структуры ветроэлектрических установок, наиболее отвечающие условиям эксплуатации в Беларуси.

Ключевые слова: ветроэлектрические установки, способы управления, функциональные схемы.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 15 назв.