

УДК 621.316.925.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА БЛОКИРОВКИ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРА В РЕЖИМАХ БРОСКА ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ

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

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет,

<sup>2)</sup>ОАО «Белэлектромонтажнадка»

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.

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University,

<sup>2)</sup>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.

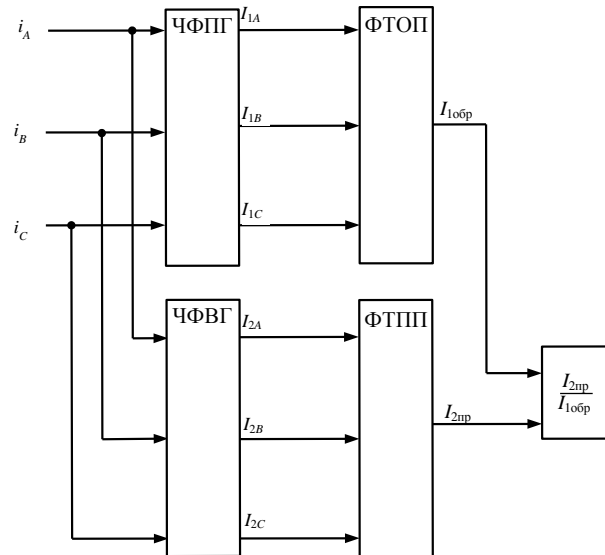


Рис. 1. Функциональная схема измерительного органа блокировки токовых защит

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 натуральных 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.

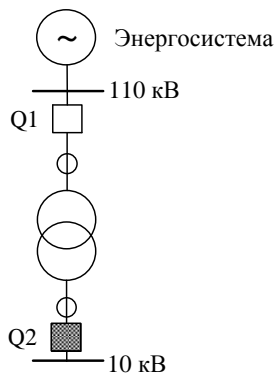


Рис. 2. Однолинейная схема моделируемой сети

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.

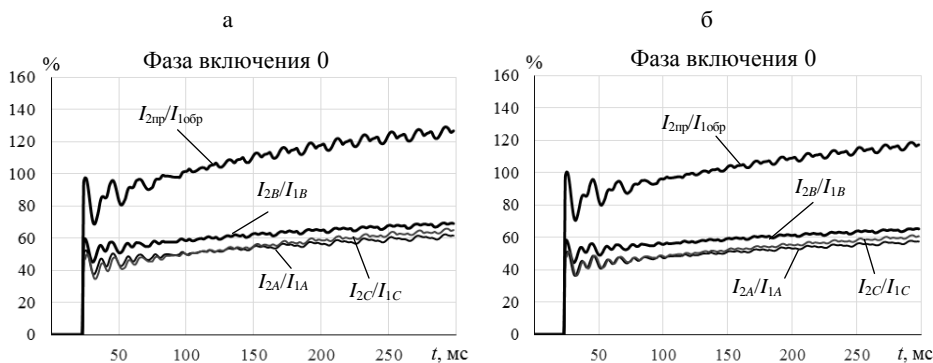


Рис. 3. Характеристики блокировок для трансформаторов 6,3 (а) и 16,0 МВ·А (б)

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  $180^\circ$ , при этом характерные колебания содержания второй гармоники в токе каждой из фаз можно наблюдать при изменении фазы питающего напряжения в диапазоне  $60^\circ$  (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  $25^\circ$  (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  $35^\circ$  до  $60^\circ$  (рис. 4г, 5а–в) уровень второй гармоники в фазе *B* снижается, в фазах *A* и *C* увеличивается, при этом при фазе включения  $60^\circ$  (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  $65^\circ$  (рис. 5г) содержание второй гармоники по фазе *A* увеличивается, а по фазам *B* и *C* снижается.

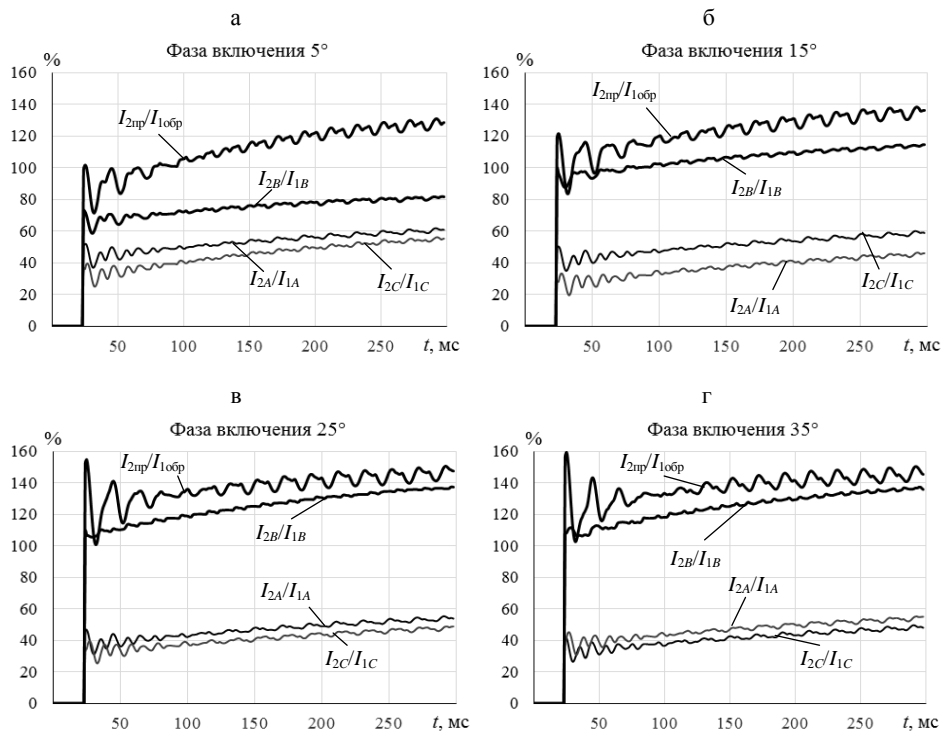


Рис. 4. Характеристики блокировок для трансформатора 6,3 МВ·А

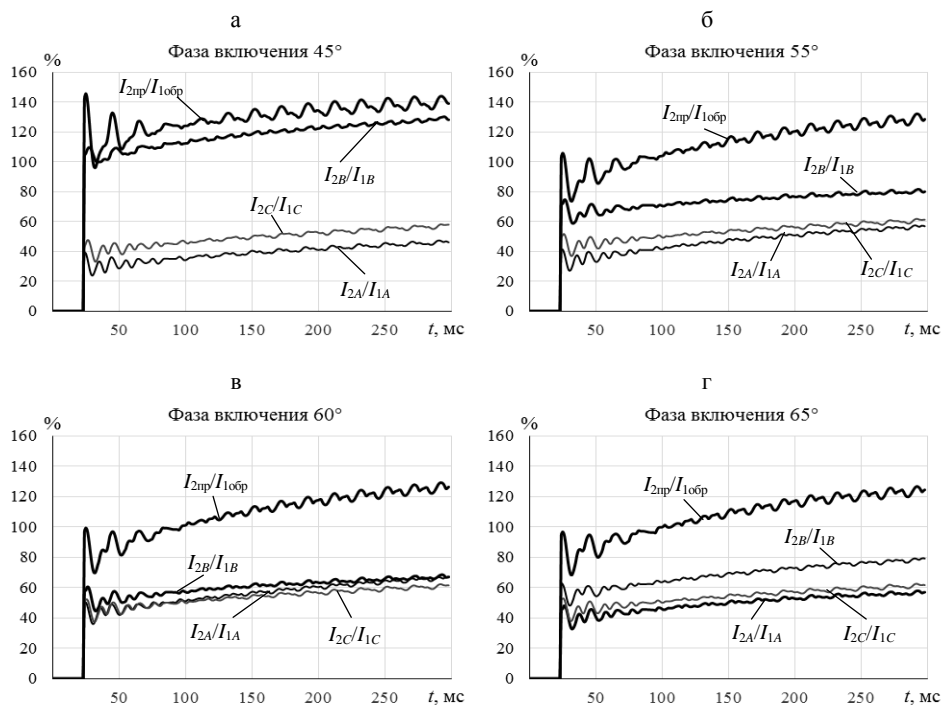


Рис. 5. Характеристики блокировок для трансформатора 6,3 МВ·А.

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  $60^\circ$  (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  $15^\circ$  (рис. 4б);  $K_{2G}$  – стандартное значение уставки блокировки по второй гармонике,  $K_{2G} = 15$  % [5].

При фазах включения  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $45^\circ$  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.