

УДК: 629.4.027.4: 656.2  
DOI:10.30987/2658-6436-2021-3-4-77-84

С.В. Морозов, А.С. Морозов

## **ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ СЕРДЕЧНИКОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА НА СООТВЕТСТВИЕ ИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕБОВАНИЯМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

*Показана актуальность исследования технических характеристик трансформаторов тока, входящих в состав микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики. Приведены результаты расчета времени до насыщения сердечника трансформатора тока в зависимости от остаточной намагниченности с учетом аperiodической составляющей тока для терминалов ООО НП «ЭКРА». Даны рекомендации по замене электрооборудования при некомплексной реконструкции подстанции.*

**Ключевые слова:** трансформатор тока, аperiodическая составляющая тока, микропроцессорное устройство релейной защиты и противоаварийной автоматики, время до насыщения сердечника.

S.V. Morozov, A.S. Morozov

## **INFLUENCE OF THE REMNANT MAGNETIZATION OF THE CURRENT TRANSFORMER CORES UPON THE COMPLIANCE OF THEIR TECHNICAL CHARACTERISTICS WITH THE REQUIREMENTS FOR MICROPROCESSOR TYPE PROTECTIVE RELAYS**

*Work objective is finding rational technical and economic solutions for examining current transformers for techspecs compliance satisfying the requirements of reinstalled microprocessor type protective relays and automation devices manufactured by NP EKRA LLC, taking into account DC component. Research methods: analytical methods for calculating the time of remnant magnetization in the core of a current transformer. Research results and novelty: it is understood that the saturation time of current transformers of the basic and backup protections, according to the results of the analytical method, was more than 25 ms, and for current transformers of differential bus bar protection was more than 5 ms. The obtained saturation time values for all types of current transformers built into oil circuit-breaker bushings (HV line) of 110 kV and bus bar coupling connector (BCC) of 110 kV (main protection, backup protection, differential bus protection), both in the absence and in the presence of remanent induction magnetic in CT cores with three-phase and single-phase short circuits, satisfy completely technical requirements either of microprocessor type protective relays or CT differential bus bar protection. Conclusion: built into CT BCC circuit-breaker bushings of 110 kV and oil circuit-breaker bushings (HV line) of 110 kV Foundry substations do not necessitate a mandatory replacement in case of non-complex redesign of microprocessor type protective relays and automation devices. When replacing oil circuit breakers with gas-insulated ones, it is recommended to use CT with similar characteristics.*

**Keywords:** voltage transformer, DC component, microprocessor type protective ECA relays, saturation time.

### **Введение**

В современных системах электроснабжения, оборудованных устройствами релейной защиты и противоаварийной автоматики (УРЗА и ПА), широкое применение находят трансформаторы тока (ТТ). УРЗА и ПА предназначены для выделения и отделения поврежденного элемента цепи от источника электрической энергии, при помощи выключателей или отделителей, с целью локализации аварии и сохранения живучести системы электроснабжения. Основное назначение ТТ состоит в том, чтобы обеспечить преобразование токов больших величин до безопасного уровня, пригодного для обработки

информационно-измерительными системами, входящими в состав УРЗА и ПА. Работа ТТ с погрешностью, превышающей заданное по классу точности значение, может привести к некорректной работе УРЗА и ПА, что повлечет за собой создание аварийной ситуации, заключающейся в отказе УРЗА и ПА при возникновении короткого замыкания на защищаемом участке электрической сети.

Одним из эксплуатационных факторов, влияющих на точность преобразования ТТ, является апериодическая составляющая тока намагничивания (рис.1) [1]. В том случае, когда магнитный поток, создаваемый этой составляющей, совпадает по направлению с остаточным магнитным потоком в сердечнике, происходит переход ТТ в режим насыщения, в котором имеет место сильное искажения сигнала как по значению, так и по углу вторичного тока. К сожалению, возникновение апериодической составляющей тока – достаточно распространенное явление. Она возникает при коротком замыкании, при односторонней подаче напряжения на воздушную линию электропередачи, при включении силового трансформатора в сеть и др. Чем больше апериодическая составляющая тока, тем выше погрешность ТТ и тем выше вероятность некорректной работы УРЗА и ПА.

Проблема возникновения апериодических токов приобрела существенную актуальность в последние десятилетия при замене УРЗА и ПА, выполненных на основе электромеханических устройств, на устройствах, выполненные на микропроцессорной базе. Последние предъявляют гораздо более жесткие требования к точности преобразования, т.к. вероятность некорректной работы микропроцессорных УРЗА и ПА выше, чем у их электромеханических аналогов, при переходе ТТ в режим насыщения.

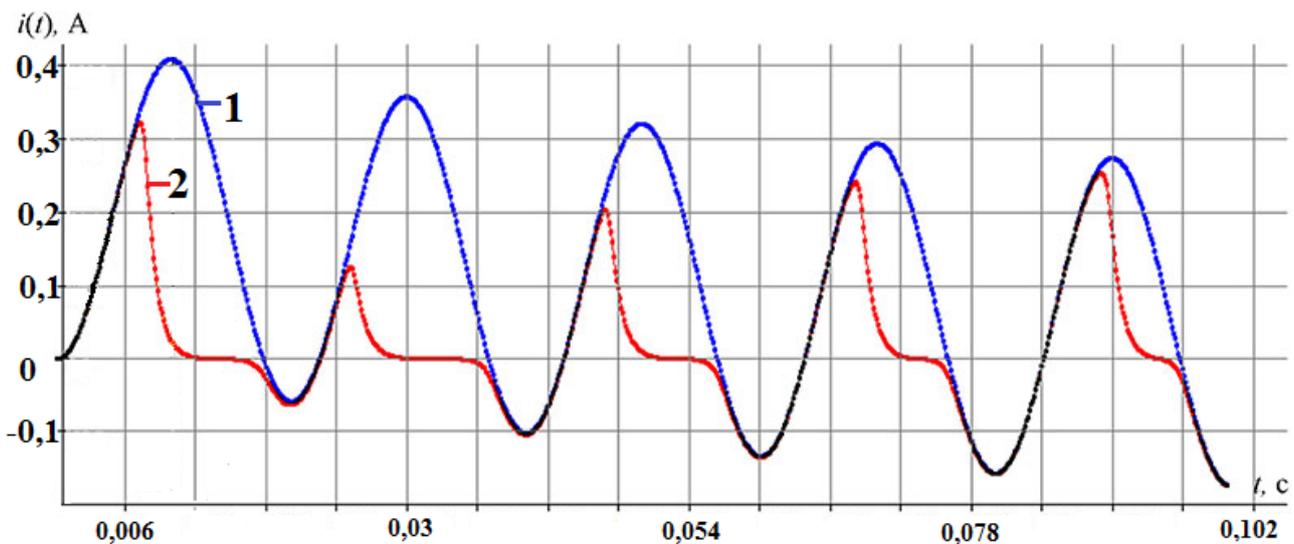


Рис. 1. Теоретический (1) и реальный вторичный ток (2)  $i$  в переходном режиме с учетом апериодической составляющей на входе в терминал релейной защиты

В данной статье решена задача поиска рациональных технико-экономических решений по проверке трансформаторов тока соответствию их технических характеристик (времени до насыщения) требованиям, предъявляемыми вновь устанавливаемыми микропроцессорными УРЗА и ПА (на примере устройств производства ООО НП «ЭКРА»), с учетом апериодической составляющей тока с помощью аналитического метода.

### Виды УРЗА и ПА

Основной защитой линии называется устройство релейной защиты, обеспечивающее первоочередное отключение участка цепи на котором возникло короткое замыкание. В подавляющем большинстве случаев, основная защита действует с нулевой выдержкой

времени на отключение поврежденного участка, входящего в защищаемую зону.

Согласно [], на линиях электропередач 110 кВ, которые имеют питание с двух сторон, в случае вывода основной защиты линии из работы и не обеспечении резервными защитами требований по времени локализации повреждения и условиям динамической и статической устойчивости энергосистемы, устанавливаются не менее двух комплектов основных защит линии.

Основной защитой линии электропередачи 110 кВ и выше служат: направленная высокочастотная защита с блокировкой и дифференциально-фазная защита (ДФЗ).

В случае наличия на линии электрической передачи отпаек, рекомендуется устанавливать дифференциально-фазную защиту.

Как правило, в качестве резервных защит линии 110 кВ и выше применяются комплекты ступенчатых защит (КСЗ), в которые входят:

- токовые отсечки всех видов;
- дистанционные (импедансные) защиты, служащие защитой от многофазных замыканий, обычно выполняются трехступенчатыми;
- направленные токовые защиты нулевой последовательности, служащие защитой от коротких замыканий на землю, обычно выполняются четырехступенчатыми.

Дифференциальная защита шин (ДЗШ) предназначена для отключения присоединений, подключенных к шинам при коротком замыкании на ней. Выполняется, как правило, с нулевой выдержкой времени и обладает абсолютной селективностью. Зона действия дифференциальной защиты ограничена трансформаторами тока, подключенными к токовым реле через цепи вторичной коммутации.

В микропроцессорных терминалах релейной защиты и автоматики обычно предусмотрены функции определения места повреждения на линии (ОМП). Для осциллографирования дискретных и аналоговых сигналов от устройств релейной защиты, сетевой и противоаварийной автоматики применяются регистраторы аварийных событий (РАС).

### Теоретические основы расчета времени до насыщения сердечника ТТ с учетом аperiodической составляющей тока

Исследованию зависимости технических характеристик ТТ от остаточной намагниченности, вызванной в том числе аperiodической составляющей тока, посвящены ряд отечественных [2, 3] и зарубежных работ [1, 4]. В них установлено, что расчетная формула времени до насыщения ТТ зависит от ряда факторов.

Расчет времени до насыщения ТТ производится по формуле (1) при соблюдении условий (2, 3) и в случае отсутствия остаточной магнитной индукции в сердечниках ТТ [5].

$$T_{\text{нас}} = T_{p.\text{ЭКВ}} \cdot \ln \frac{\omega \cdot T_{p.\text{ЭКВ}}}{\omega \cdot T_{p.\text{ЭКВ}} - A + 1}. \quad (1)$$

$$\omega \cdot T_{p.\text{ЭКВ}} + 1 > A, \quad (2)$$

$$A > I, \quad (3)$$

где  $A$  – параметр режима,  $T_{p.\text{ЭКВ}}$  – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока,  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$  – частота тока (рад/с),  $T$  – период,  $f$  – частота тока (Гц).

Постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока  $T_{p.\text{ЭКВ}}$  определяется по формуле:

$$T_{p.\text{ЭКВ}} = \frac{1}{I_{k3\Sigma}} \sum_{i=1}^n \left( I_{k3i} \cdot \frac{X_i}{\omega \cdot R_i} \right),$$

где  $I_{k3\Sigma}$  – действующее значение суммарного тока короткого замыкания,  $I_{k3i}$  – действующее значение тока короткого замыкания в  $i$ -й ветви;  $X_i$  – эквивалентное индуктивное

сопротивление  $i$ -й ветви относительно точки короткого замыкания,  $R_i$  – эквивалентное активное сопротивление  $i$ -й ветви относительно точки короткого замыкания.

Расчет параметра режима  $A$  производится по формуле:

$$A = \frac{I_{1\text{ном}} \cdot K_{\text{ном}} \cdot Z_{2\Sigma\text{ном}}}{I_{\text{кз}} \cdot Z_{2\Sigma}}$$

где  $K_{\text{ном}}$  – номинальная предельная кратность ТТ,  $I_{1\text{ном}}$  – номинальный первичный ток,  $Z_{2\Sigma\text{ном}}$  – номинальное полное сопротивление вторичной нагрузки ТТ,  $Z_{2\Sigma}$  – полное сопротивление ветви вторичного тока.

Номинальное полное сопротивление вторичной нагрузки ТТ  $Z_{2\Sigma\text{ном}}$  необходимо рассчитывать по формуле

$$Z_{2\Sigma\text{ном}} = \sqrt{(R_2 + Z_{\text{н.ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{н.ном}})^2 + (X_2 + Z_{\text{н.ном}} \cdot \sin\varphi_{\text{н.ном}})^2}$$

где  $\varphi_{\text{н.ном}}$  – номинальное значение угла сопротивления нагрузки ТТ,  $X_2$  – индуктивное сопротивление вторичной обмотки ТТ,  $Z_{\text{н.ном}}$  – фактическое полное сопротивление нагрузки ТТ.

Полное сопротивление ветви вторичного тока необходимо вычислять по формуле

$$Z_{2\Sigma} = \sqrt{(R_2 + R_{\text{н.факт}})^2 + (X_2 + X_{\text{н.факт}})^2}$$

где  $R_{\text{н.факт}}$  – фактическое активное сопротивление нагрузки ТТ,  $X_{\text{н.факт}}$  – фактическое индуктивное сопротивление нагрузки ТТ.

Если условие (2) не выполняется, то это означает, что время до насыщения ТТ равно бесконечности, т.е. насыщение магнитопровода полностью отсутствует. При этом условие (3) должно быть выполнено, в противном случае, эксплуатация ТТ запрещается, т.к. действующий ток короткого замыкания выше тока предельной кратности.

Расчет времени до насыщения ТТ производится по формуле (4) при соблюдении условий (5, 6) и в случае наличия остаточной магнитной индукции в сердечниках ТТ.

$$T_{\text{нас}} = T_{\text{р.экв}} \cdot \ln \frac{\omega \cdot T_{\text{р.экв}}}{\omega \cdot T_{\text{р.экв}} - A(1 - k_r) + 1} \quad (4)$$

$$\omega \cdot T_{\text{р.экв}} + 1 > A(1 - k_r), \quad (5)$$

$$A(1 - k_r) > 1, \quad (6)$$

где  $k_r$  – коэффициент остаточной намагниченности сердечника ТТ.

Если условие (5) не выполняется, то это по аналогии с невыполнением условия (2) означает, что время до насыщения ТТ равно бесконечности, т.е. насыщение магнитопровода полностью отсутствует.

Применение графического метода по паспортным данным позволяет определить время до насыщения  $T_{\text{нас}}$  при невыполнении условия (6), когда значение  $T_{\text{нас}}$  уходит в область отрицательных чисел.

Исходные данные для расчетов времени до насыщения сердечников ТТ, встроенных во вводы шиносоединительного выключателя (ШСВ) 110кВ и масляного выключателя воздушной линии (ВЛ) 110кВ, представлены в табл. 1. Расчеты проведены для УРЗА и ПА производства ООО НП «ЭКРА» (для ШСВ 110 кВ расчеты проведены для терминалов ШЭ2706 015 (КСЗ) и ШЭ2607 061 (ДЗШ); для ВЛ 110 кВ – ШЭ2607 021 (КСЗ), ШЭ2607 083 (ДФЗ) и ШЭ2607 061 (ДЗШ)). Для повышения надежности работы микропроцессорных терминалов защиты ВЛ первый и второй комплекты защит разнесены по разным ТТ: в первом случае номинальное значение тока ТТ составляет 1 А, во втором случае – 5 А.

Выбор электротехнического оборудования следует производить с учетом перспективы роста нагрузок потребителей на ближайшие 5 – 10 лет [7]. Исходя из этого, проведен расчет параметров работы схемы электрической сети, прилегающей к подстанции 220 кВ Литейная, с учетом планируемого развития энергосистемы на перспективу до 2030 года: сетевого строительства, ввода/демонтажа генерирующего оборудования и прогнозируемого увеличения энергопотребления [8, 9]. Расчет токов короткого замыкания, выполнен с перспективой развития сети, прогнозируемой к 2030. Токи короткого замыкания

прилегающей к шинам подстанции сети 220 кВ и 110 кВ рассчитывались с помощью программного комплекса «RastrWin». Для расчета максимального значения тока короткого замыкания была принята нормальная схема электрических соединений объектов электроэнергетики.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Наименование	ШСВ 110 кВ		ВЛ 110 кВ		
	КСЗ+ РАС	ДЗШ	КСЗ; ДФЗ; ОМП+ РАС	КСЗ; ДФЗ; ОМП+ РАС	ДЗШ
Исходные данные					
Класс точности	10Р	10Р	10Р	10Р	10Р
Номинальный первичный ток, $I_{1ном}$ (А)	2000	2000	750	750	1000
Номинальный вторичный ток, $I_{2ном}$ (А)	5	5	1	5	5
Активное сопротивление вторичной обмотки, $R_2$ (Ом)	0,843	0,843	7,5	0,4	0,4
Индуктивное сопротивление вторичной обмотки, $X_2$ (Ом)	0	0	0	0	0
Номинальная нагрузка, $Z_{н.ном}$ (Ом)	1,2	1,2	30	3	2
Номинальная мощность, $S_{н.ном}$ (ВА)	30	30	30	75	50
Полная погрешность ТТ, $\varepsilon$ (%)	10	10	10	10	10
Номинальная предельная кратность $K_{ном}$	40	40	30	40	40
Частота тока, $\omega$ (рад/с)	314	314	314	314	314
Коэффициент остаточной намагниченности сердечника ТТ, $k_r$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Длина кабеля, $L$ (м)	255	250	150	150	150
Сечение кабеля, $S$ (мм <sup>2</sup> )	6	6	6	8	6
Сопротивление кабеля, $R_{каб}$ (Ом)	0,744	0,729	0,438	0,328	0,438
Подключаемая нагрузка, $R_{терминала}$ (Ом)	0,016	0,543	0,4	0,016	0,543
Фактическое сопротивление трехфазной нагрузки, $Z_{н.факт}$ (Ом)	0,759	1,272	0,837	0,344	0,98
Фактическое сопротивление однофазной нагрузки, $Z_{н.факт}$ (Ом)	1,504	2,001	1,275	0,672	1,418
Угол нагрузки, $\varphi$ (град)	37	37	37	37	37
$\cos\varphi$	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
$\sin\varphi$	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

### Результаты расчета времени до насыщения сердечника ТТ

Результаты расчета времени до насыщения сердечника ТТ аналитическим методом при отсутствии в нем остаточной магнитной индукции сведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчета времени до насыщения сердечника ТТ аналитическим методом при отсутствии в нем остаточной магнитной индукции

Наименование	ШСВ 110 кВ		ВЛ 110 кВ		
	КСЗ+ РАС	ДЗШ	КСЗ; ДФЗ; ОМП+ РАС	КСЗ; ДФЗ; ОМП+ РАС	ДЗШ
Обмотка ТТ					
Для трехфазного тока короткого замыкания					
Суммарный ток трехфазного короткого замыкания, $I_{3ф.кз\Sigma}$ (А)	8400	8400	15066	15066	15066
Эквивалентная постоянная времени, $T_{р.экв.}$ (с)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Номинальное суммарное сопротивление, $Z_{2\Sigma ном}$ (Ом)	1,9	1,9	36,3	3,3	2,3

Суммарное сопротивление, $Z_{2\Sigma}$ (Ом)		1,6	2,1	8,3	0,7	1,4
Параметр режима $A$		11,5	8,7	6,5	8,9	4,5
Условие $\omega \cdot T_{p.экв} + 1 > A$	При $\omega \cdot T_{p.экв} + 1 > A \ t_{нас} \rightarrow \infty$	Нет	Нет	Да	Нет	Да
	$\omega \cdot T_{p.экв} + 1$	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28
	$A$	11,5	8,7	6,5	8,9	4,5
Условие $A > 1$ (при $A < 1$ эксплуатация ТТ запрещена)	$K < K_{ном}$	Да	Да	Да	Да	Да
Время до насыщения, $T_{нас}$ (с) (если $T_{нас} < 15$ мс, то должен использоваться графический метод)		Нет	Нет	41,64	Нет	16,19
Для однофазного тока короткого замыкания						
Суммарный ток однофазного короткого замыкания, $I_{3ф.кз\Sigma}$ (А)		10500	10500	15189	15189	15189
Эквивалентная постоянная времени, $T_{p.экв}$ (с)		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Номинальное суммарное сопротивление, $Z_{2\Sigma ном}$ (Ом)		1,9	1,9	36,3	3,3	2,3
Суммарное сопротивление, $Z_{2\Sigma}$ (Ом)		2,3	2,8	8,8	1,1	1,8
Условие $\omega \cdot T_{p.экв} + 1 > A$	При $\omega \cdot T_{p.экв} + 1 > A \ t_{нас} \rightarrow \infty$	Да	Да	Да	Да	Да
	$\omega \cdot T_{p.экв} + 1$	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28
	$A$	6,3	5,2	6,1	6,1	3,4
Условие $A > 1$ (при $A < 1$ эксплуатация ТТ запрещена)	$K < K_{ном}$	Да	Да	Да	Да	Да
Время до насыщения, $T_{нас}$ (с) (если $T_{нас} < 15$ мс, то должен использоваться графический метод)		37,18	22,09	33,83	33,96	9,52

Результаты расчета времени до насыщения сердечника ТТ аналитическим методом при наличии в нем остаточной магнитной индукции сведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчета времени до насыщения сердечника ТТ аналитическим методом при наличии в нем остаточной магнитной индукции

Наименование	ШСВ 110 кВ		ВЛ 110 кВ				
	КСЗ+ РАС	ДЗШ	КСЗ; ДФЗ; ОМП+ РАС	КСЗ; ДФЗ; ОМП+ РАС	ДЗШ		
Обмотка ТТ							
Для трехфазного тока короткого замыкания							
Условие $\omega \cdot T_{p.экв} + 1 > A(1 - k_r)$	Невыполнение условия означает, что $t_{нас} \rightarrow \infty$		Нет	Нет	Да	Нет	Да
	$\omega \cdot T_{p.экв} + 1$		7,28	7,28	7,28	7,28	7,28
	$A(1 - k_r)$		10,38	7,86	5,85	8,02	4,04
$A \cdot (1 - kp) > I$ (если условие не выполняется, использовать графический метод определения $t_{нас}$ по паспортным данным)		Да	Да	Да	Да	Да	
Время до насыщения, $T_{нас}$ (с) (если $T_{нас} < 15$ мс, то должен использоваться графический метод)		Нет	Нет	29,56	Нет	13,21	
Для однофазного тока короткого замыкания							

Условие $\omega \cdot T_{p.э.кв} + 1 > A(1 - k_r)$	Невыполнение условия означает, что $t_{нас} \rightarrow \infty$	Да	Да	Да	Да	Да
	$\omega \cdot T_{p.э.кв} + 1$	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28
	$A(1 - k_r)$	5,67	4,68	5,51	5,52	3,04
$A \cdot (1 - kp) > 1$ (если условие не выполняется, использовать графический метод определения $t_{нас}$ по паспортным данным)		Да	Да	Да	Да	Да
Время до насыщения, $T_{нас}$ (с) (если $T_{нас} < 15$ мс, то должен использоваться графический метод)		27,24	17,63	25,34	25,41	7,86

Анализ результатов расчетов, приведенных в табл. 2 и 3, показывает, что увеличение остаточной магнитной индукции уменьшает время насыщения сердечника ТТ, что в свою очередь увеличивает риск неправильной работы микропроцессорных УРЗА и ПА.

### Выводы

Проверка трансформаторов тока соответствию их технических характеристик требованиям, предъявляемыми вновь устанавливаемыми микропроцессорными УРЗА и ПА ШЭ2607 083, ШЭ2607 021, ШЭ2607 015 производства ООО НП «ЭКРА») должна осуществляться на основании сравнения расчетных значений времени до насыщения и требуемых. Для вновь устанавливаемых микропроцессорных основной и ступенчатых защит время до насыщения сердечников ТТ должно быть не менее 25 мс, для ДЗШ – не менее 5 мс [65].

Установлено, что:

– значения времени насыщения для ТТ, встроенных во вводы масляного выключателя ВЛ 110 кВ (кern ТТ основных защит, kern ТТ резервных защит), как при отсутствии в сердечниках ТТ остаточной магнитной индукции при трехфазном и однофазном коротком замыкании, так и при наличии в сердечниках ТТ остаточной магнитной индукции, полностью удовлетворяют техническим требованиям, предъявляемыми микропроцессорными устройствами релейной защиты (ДФЗ, КСЗ) ( $T_{нас} > 25$  мс);

– значения времени насыщения для ТТ, встроенных во вводы масляного выключателя ШСВ 110 кВ, как при отсутствии в сердечниках ТТ остаточной магнитной индукции при трехфазном и однофазном коротком замыкании, так и при наличии в сердечниках ТТ остаточной магнитной индукции, полностью удовлетворяют техническим требованиям, предъявляемыми микропроцессорными устройствами релейной защиты (КСЗ) ( $T_{нас} > 25$  мс);

– значения времени насыщения для трансформаторов тока, встроенных во вводы масляных выключателей ШСВ 110 кВ и ВЛ 110 кВ (кern ТТ дифференциальной защиты шин (ДЗШ)), как при отсутствии в сердечниках ТТ остаточной магнитной индукции при трехфазном и однофазном коротком замыкании, так и при наличии в сердечниках ТТ остаточной магнитной индукции, полностью удовлетворяют техническим требованиям, предъявляемыми к устройствами релейной защиты (ДЗШ) ( $T_{нас} > 5$  мс).

Таким образом, встроенные во вводах ТТ ШСВ 110 кВ подстанции 220 кВ Литейная и масляного выключателя ВЛ 110 кВ Литейная при проведении некомплексной реконструкции УРЗА обязательной замены не требуют. При замене масляных выключателей на элегазовые рекомендуется применять ТТ с аналогичными характеристиками.

#### Список литературы:

1. Riyas Ahamed, M. Saturation Analysis of Current Transformer / M. Riyas Ahamed, M. Vimalraj, S. Rao Arjuna // International Journal of Research & Review. – Vol.2, Issue: 6. – 2015. – P. 337 – 342.
2. Сeryakov, A.A. Трансформаторы тока в переходных

#### References:

1. Riyas Ahamed, M. Saturation Analysis of Current Transformer, M. Riyas Ahamed, M. Vimalraj, S. Rao Arjuna. International Journal of Research & Review, vol.2, Issue: 6, 2015, pp. 337 – 342.
2. Seryakov, A.A. Current transformers in transient

режимах / А.А. Серяков // Электротехнический рынок. –2014. – № 3 (57). – С. 18 – 21

3. **Кужиков, С.Л.** О проблеме выбора и замены трансформаторов тока для устройств релейной защиты / С.Л. Кужиков, А.А. Дегтярёв, Н.А. Дони, А.А. Шурупов // Изв. вузов. Электромеханика. – 2020. – Т. 63. № 6. – С. 72 – 82. DOI:10.17213/0136-3360-2020-6-72-82.

4. **El-Amin, I.M.** Saturation of Current Transformers and its Impact on Digital Overcurrent Relays / I.M. El-Amin, N. H. Al-Abbas // 2006 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006, pp. 1-6, doi: 10.1109/TDCCLA.2006.311516.

5. **ГОСТ Р5866-2019.** Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита. Трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты. Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях».

6. **Методические** указания по проверке и выбору трансформаторов тока. Шкафы РЗА серий ШЭ2607, ШЭ2710. ЭКРА.650323.085 Д.

7. **СТО 56947007-29.240.10.028-2009.** Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ.

modes, A.A. Seryakov. Electrotechnical market, 2014, no. 3 (57), pp. 18 – 21

3. Kuzhekov, S.L. On the problem of choosing and replacing current transformers for protection relays, S.L. Kuzhekov, A.A. Degtyarev, N.A. Doni, A.A. Shurupov. Izv. vuzov, Electromechanika, 2020, vol. 63. no. 6, pp. 72 - 82. DOI:10.17213/0136-3360-2020-6-72-82.

4. El-Amin, I.M. Saturation of Current Transformers and its Impact on Digital Overcurrent Relays, I.M. El-Amin, N. H. Al-Abbas, 2006 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006, pp. 1-6, doi: 10.1109/TDCCLA.2006.311516.

5. GOST R5866-2019. United power system and isolated power systems. Relay protection. Inductive measuring current transformers for protection with a closed magnetic circuit. Methodology guidelines for determination of time to saturation during short circuits.

6. Guidelines for checking and selecting current transformers. Relay protection and automation cabinets series SHE2607, SHE2710. EKRA.650323.085 D.

7. CS 56947007-29.240.10.028-2009. The standards for technological design of substations (NTP PS) of alternating current of JSC FGC UES with the highest voltage of 35 - 750 kV.

Статья поступила в редколлегию 29.10.2021

Рецензент: д-р техн. наук, доц. Брянский государственный технический университет  
Федяева Г.А.

Статья принята к публикации 08.11.2021

#### Сведения об авторах

#### Information about authors:

##### Морозов Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и электротехника» Брянского государственного технического университета  
E-mail: [morser777@yandex.ru](mailto:morser777@yandex.ru)

##### Morozov S.V.

Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Electrical Engineering of the Bryansk State Technical University  
E-mail: [morser777@yandex.ru](mailto:morser777@yandex.ru)

##### Морозов Андрей Сергеевич

студент 3 курса Брянского государственного технического университета  
E-mail: [AndreyMorozov2018@yandex.ru](mailto:AndreyMorozov2018@yandex.ru)

##### Morozov A.S.

3rd year student of the Bryansk State Technical University  
E-mail: [AndreyMorozov2018@yandex.ru](mailto:AndreyMorozov2018@yandex.ru)

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: (4832) 56-49-90. E-mail: [aim-pu@mail.ru](mailto:aim-pu@mail.ru)

Вёрстка А.А. Алисов.

Сдано в набор 16.12.2021. Выход в свет 30.12.2021.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 9.77.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Брянский государственный технический университет"

241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

