

АНАЛИЗ РАБОТЫ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕГРУЗКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

**Б.А. КОРОБЕЙНИКОВ, Д.И. СИДОРОВ, А.М. ОПШАХОДЖАЕВ,
К.И. КАРАВАЕВА, Е.А. ГРОМОВА**

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: d.i.sidoroff@gmail.com*

Токовые релейные защиты являются основными для защиты электрических сетей всех уровней напряжения. Для реализации токовых защит используются различные информационные признаки, которые формируются исходя из поставленных задач обеспечения надежной работы токовых реле в переходных режимах и при искажениях информации. Представлены результаты анализа работы токовых защит терминалов SEPAM 1000+ и REF 615 в условиях сильной перегрузки трансформаторов тока с целью выявления информационного признака срабатывания терминалов. Установлено, что в аварийных режимах, когда токи достигают больших значений и насыщают измерительные трансформаторы тока, точность работы терминалов значительно падает. Наилучшие результаты дает алгоритм определения величины первичного тока непосредственным измерением амплитуды входного сигнала. При насыщении измерительного трансформатора тока свыше 40% погрешность такого метода существенно возрастает.

Ключевые слова: релейная защита, перегрузка трансформаторов тока, несинусоидальный ток.

В настоящее время широкое применение в России и за рубежом имеют релейные защиты, основанные на применении микропроцессорной техники. Однако, несмотря на технические и информационные достоинства, микропроцессорные терминалы имеют отказы в своей работе при возникновении аварийных ситуаций в электрических сетях, количество которых в некоторых случаях превышает отказы релейной защиты на электромагнитной базе.

Токовые релейные защиты являются основными для защиты электрических сетей всех уровней напряжения. Для реализации токовых защит используются различные информационные признаки, которые формируются исходя из поставленных задач обеспечения надежной работы токовых реле в переходных режимах и при искажениях информации. В настоящее время требуется разработка новых подходов к решению данной проблемы, так как усложнение алгоритмов микропроцессорных устройств защит для улучшения

их работы при искажениях информации не всегда повышает надежность работы релейной защиты и даже ухудшает технико-экономические показатели в целом.

Микропроцессорные устройства релейной защиты характеризуются множеством преимуществ, среди которых:

- многофункциональность – помимо функций защит возможность измерения основных электрических величин;
- наглядность за счет жк-дисплея, отображение мнемосхемы присоединения;
- возможность подключения к системе АСУ ТП [1].

Однако данные устройства имеют также ряд серьезных недостатков [1–3]. До начала эксплуатации микропроцессорных реле, функции защиты объектов были распределены между несколькими дискретными элементами. Выход из строя одного реле не приводил, как правило, к отказу всей системы защиты объекта. В одном микропроцессорном устройстве сосредоточены функции многих реле. Например, одно микропроцессорное устройство типа REF 615 или SEPAM 20 выполняет функции: токовой защиты с зависимой выдержкой времени, обратной последовательности, реле повышения напряжения, реле перегрузки, реле температуры, частоты, скорости изменения частоты и др. В таком устройстве выход из строя какого-либо общего для всех функций элемента, например, источника питания, микропроцессора, памяти или вспомогательных элементов, обслуживающих микропроцессор, приводит к отказу сразу всей системы защиты энергообъекта.

Таким образом, повышение технического совершенства релейной защиты, выявление слабых сторон существующих решений в данной области, а также разработка защит на новых принципах, имеет важное значение для обеспечения надежности потребителей электрической энергии.

Авторами проведен анализ работы токовых защит терминалов SEPAM 1000+ производства Schneider-Electric и REF 615 производства ABB в условиях сильной перегрузки трансформаторов тока.

Для моделирования входного несинусоидального тока, а также для фиксирования срабатывания терминалов использовалось устройство РЕТОМ-51. Это испытательная установка для проверки устройств релейной защиты и автоматики, которая включает в себя универсальный источник трехфазных токов и напряжений, а также цифровой регистратор. Цель данного исследования – выявление информационного признака срабатывания терминалов.

Для формирования несинусоидального тока в программу управления устройством РЕТОМ-51 вводятся значения амплитуды и фазы первой, третьей и пятой гармоник. Значения гармоник представлены в таблице.

Формируемый испытательным комплексом РЕТОМ сигнал описывается функцией

$$i = \sum \sqrt{2} \left(A_{n\pm} \frac{\Delta A_n}{\Delta t} t \right) \sin \left(2\pi \left(f_n \pm \frac{\Delta f_n}{\Delta t} t \right) t + \varphi_n \right) e^{-k_n t}, \quad (1)$$

где A_n – амплитуда n-й гармоники;

f_n – фаза n-й гармоники;

k_n – коэффициент апериодической составляющей;

$\Delta A_n, \Delta f_n$ – принимаем равными нулю.

Благодаря коэффициенту k_n в формуле (1) амплитуда тока возрастает со временем, и в момент, когда он достигает значения, равного уставке терминала, происходит его срабатывание, которое фиксируется устройством РЕТОМ-51. Также необходимо делать поправку на собственное время срабатывания терминалов. Для терминала REF 615 это время равно одному периоду, а для терминала SEPAM 1000+ двум периодам. Таким образом можно определить, при каких значениях несинусоидального тока происходит срабатывание, и выявить необходимые зависимости.

Таблица

Погрешность 10%			
№ гармоники	1	3	5
Амплитуда A	1,415	0,001	0,001
Фаза, °	171,98	82,145	76,25

Погрешность 20%			
№ гармоники	1	3	5
Амплитуда A	1,33	0,095	0,059
Фаза, °	176,134	5,855	72,83
Погрешность 30%			
№ гармоники	1	3	5
Амплитуда, A	1,398	0,263	0,076
Фаза, °	-176,708	35,109	136,48
Погрешность 40%			
№ гармоники	1	3	5
Амплитуда A	1,323	0,332	0,056
Фаза, °	-171,67	52,484	-164,41
Погрешность 50%			
№ гармоники	1	3	5
Амплитуда A	1,374	0,43	0,072
Фаза, °	-165,62	72,54	-75,29
Погрешность 60%			
№ гармоники	1	3	5
Амплитуда A	1,371	0,478	0,105
Фаза, °	-161,28	86,53	-32,214

В качестве примера исследования работы терминала SEPAM 1000+ при несинусоидальном токе с погрешностью 60% на рис. 1 представлен график тока и состояние выходного контакта при испытании терминала.

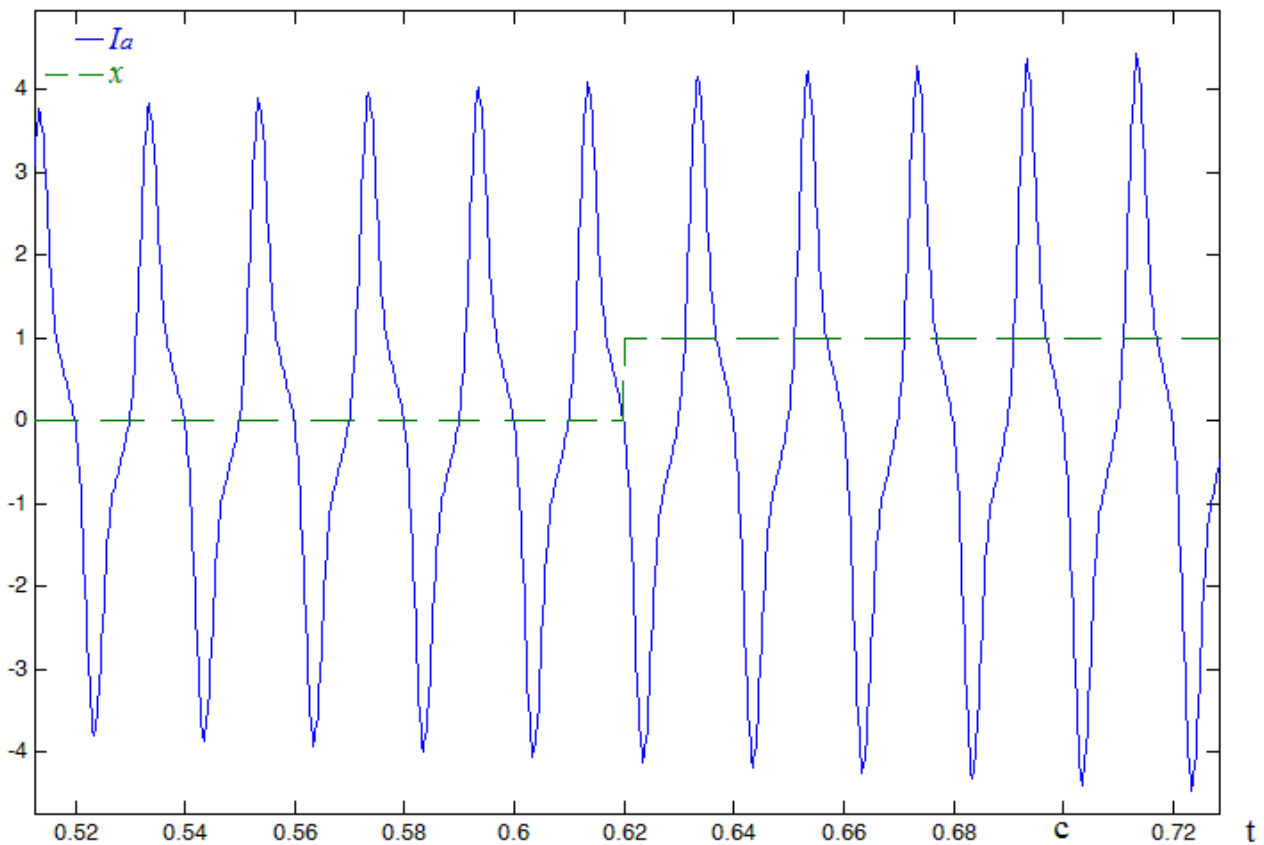


Рис. 1

Методика определения момента срабатывания с учетом собственного времени срабатывания терминала следующая. Из формулы (1) для нахождения значения амплитуды первой гармоники в момент срабатывания используем соотношение

$$i = \sqrt{2}A_1 e^{-k_1 t}. \quad (2)$$

Зная амплитуду первой гармоники, можно определить ее действующее значение. На рис. 2 представлена зависимость действующего значения первой гармоники в момент срабатывания от величины погрешности трансформатора тока (ТТ).

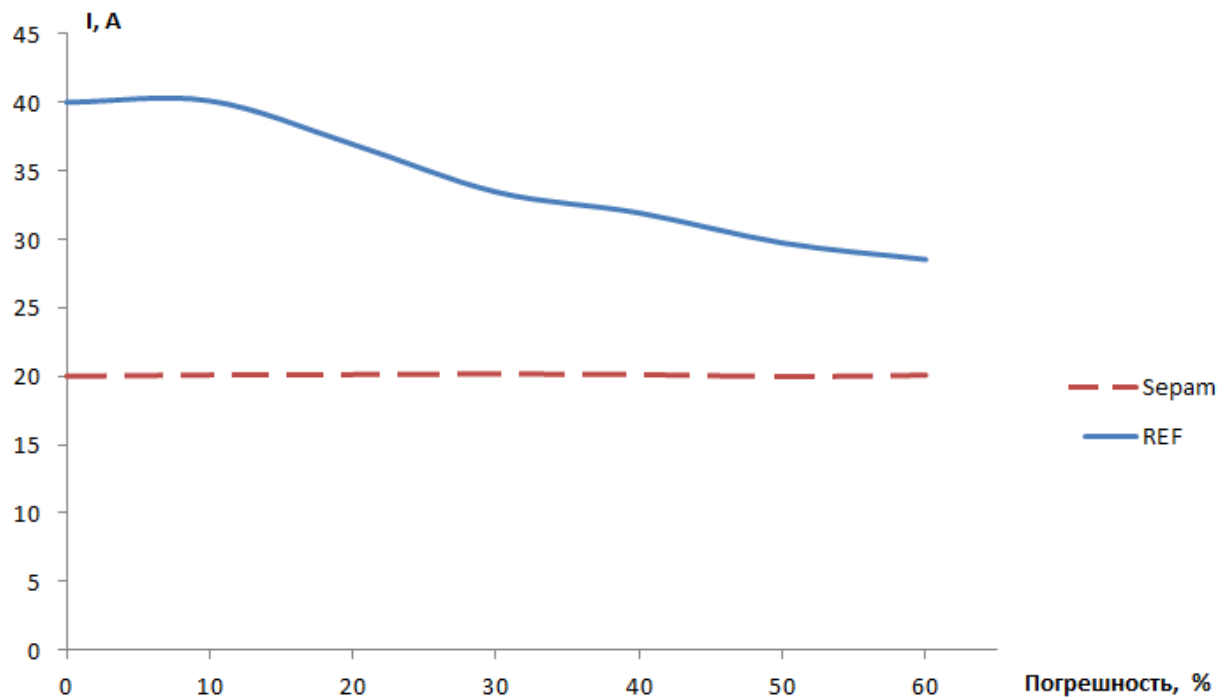


Рис. 2

Действующее значение несинусоидального тока в момент срабатывания определяется согласно формуле

$$I_{\text{д}} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum I_i^2 \Delta t}, \quad (3)$$

где $\Delta t = 0,0002$ с – определяется частотой дискретизации;

$T = 0,02$ с – время одного периода;

I_i^2 – среднее значение тока на каждом интервале Δt .

На рис. 3 представлена зависимость действующего значения несинусоидального сигнала в момент срабатывания от величины погрешности ТТ.

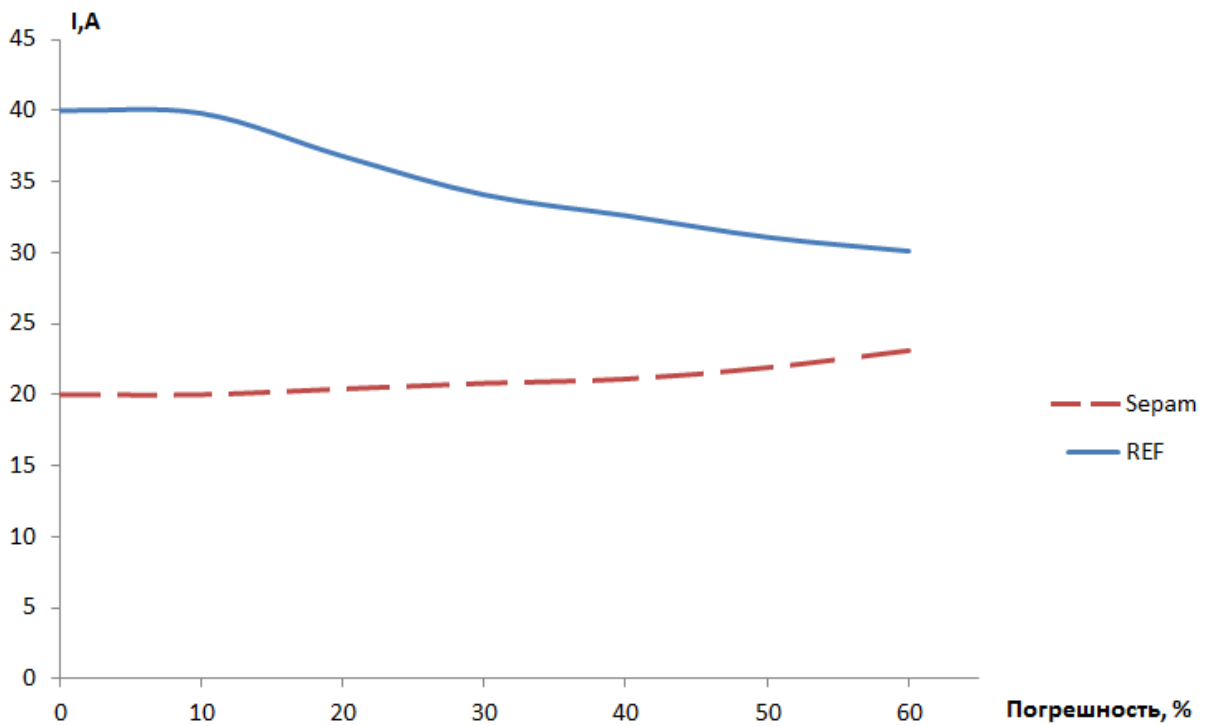


Рис. 3

Предположим, что терминал всегда «считает» входной сигнал синусоидальным, тогда он будет реагировать на максимальное значение несинусоидального сигнала, уменьшенное в $\sqrt{2}$ раз. На рис. 4 представлена зависимость максимального значения несинусоидального сигнала в момент срабатывания от величины погрешности ТТ.

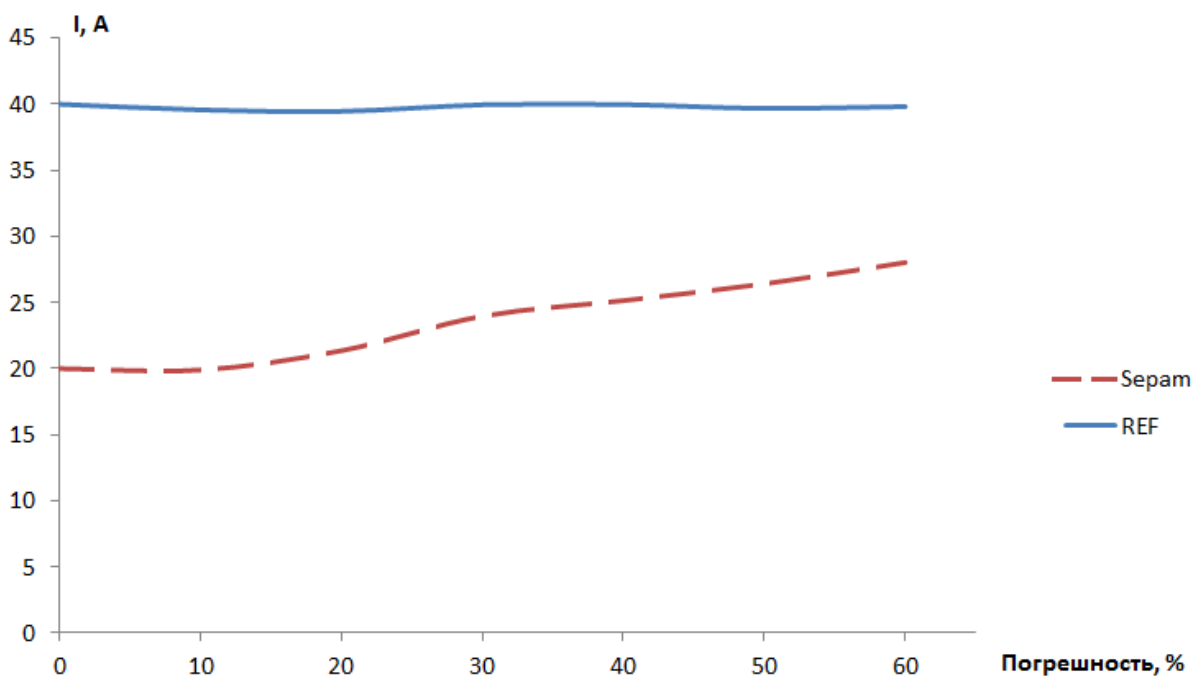


Рис. 4

Из полученных зависимостей видно, что терминал SEPAM использует для сравнения с уставкой действующее значение первой гармоники искаженного сигнала, а терминал REF 615 сравнивает с уставкой максимальное значение сигнала. По формуле (4) рассчитаем погрешность срабатывания терминалов

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{восст}} - I_{\text{уст}}}{I_{\text{восст}}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

На рис. 5 представлена зависимость погрешности срабатывания терминалов от степени насыщения измерительного ТТ.

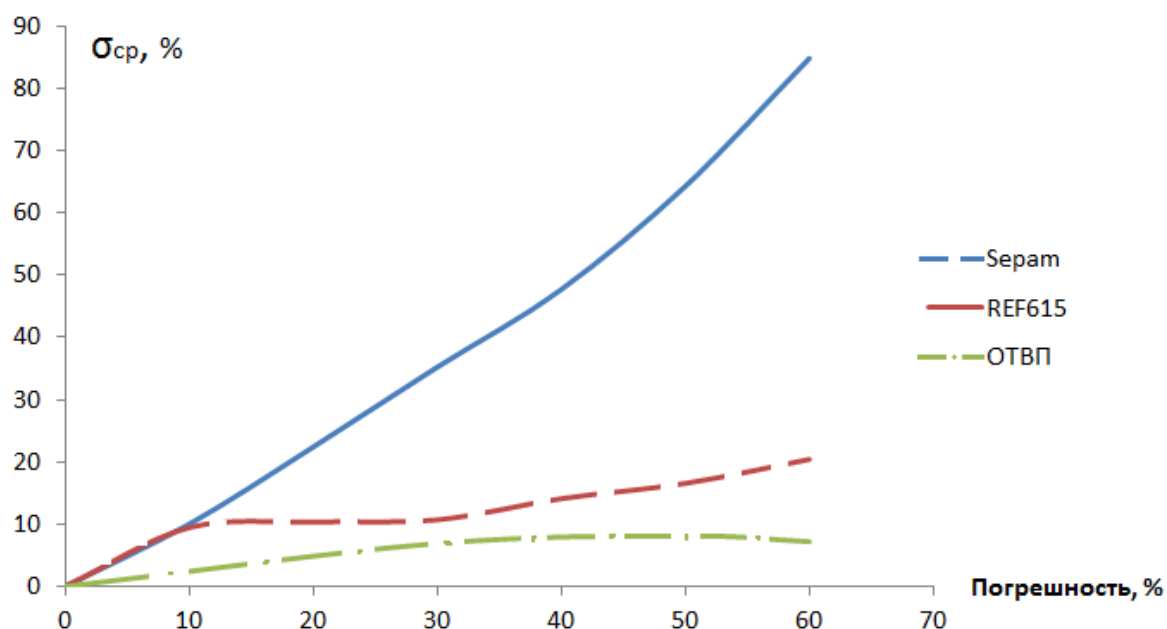


Рис. 5

На основании полученного графика можно сделать вывод, что в аварийных режимах, когда токи достигают больших значений и насыщают измерительные ТТ, точность работы терминалов значительно падает. Наилучшие результаты дает алгоритм определения величины первичного тока непосредственным измерением амплитуды входного сигнала. Погрешность такого метода начинает сильно расти при насыщении измерительного ТТ свыше 40%, при условии активной нагрузки во вторичной цепи.

Применение реле тока на основе трансформатора с вращающимся магнитным полем, описанного в [4], для целей измерения искаженных токов в <http://ntk.kubstu.ru/file/5>

переходных режимах обеспечивает большую точность измерения этих токов даже в условиях погрешности измерительных трансформаторов до 60%.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гуревич В.** Микропроцессорные реле защиты: новые перспективы или новые проблемы? // Новости электротехники. 2005. № 6 (36). С. 57–60.
2. **Гуревич В.И.** Микропроцессорные устройства релейной защиты: настоящее и будущее // PRO Электричество. 2007. № 4. С. 30–36.
3. **Гуревич В.** Испытания микропроцессорных реле защиты // PRO Электричество. 2008. № 1 (25). С. 41–43.
4. **Коробейников Б.А., Сидоров Д.И., Литягин Д.А.** Реле тока на основе однофазного трансформатора с вращающимся магнитным полем // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2010. № 2. С. 67–69.

REFERENCES

1. Gurevich V., *Novosti elektrotekhniki*, 2005, no. 6 (36), pp. 57–60.
2. Gurevich V.I., *PRO Elektrichestvo*, 2007, no. 4, pp. 30–36.
3. Gurevich V., *PRO Elektrichestvo*, 2008, no. 1 (25), pp. 41–43.
4. Korobeynikov B.A., Sidorov D.I., Lityagin D.A., *Izv. vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki*, 2010, no. 2, pp. 67–69.

Поступила 17.04.14 г.

ANALYSIS OF CURRENT PROTECTION WORK IN OVERLOAD CONDITIONS OF CURRENT TRANSFORMERS

**B.A. KORUBEYNIKOV, D.I. SIDOROV, A.M. OPRAKHODZHAEV,
K.I. KARAVAEVA, E.A. GROMOVA**

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072; e-mail: d.i.sidoroff@gmail.com*

Current protection relay are the main for protection of electric networks of all levels of tension. For realization of current protection various information signs which are formed proceeding from objectives of ensuring reliable operation of current relays in transitional modes and at information distortions are used. Results of the analysis of work of current protection of terminals SEPAM 1000+ and REF 615 in the conditions of a strong overload of transformers of current for the purpose of identification of information sign of terminals operation are presented. It is established that in emergency operation when currents reach great values and sate measuring transformers of current, the accuracy of terminals operation considerably falls. The best results are yielded by algorithm of determination of size of

primary current direct measurement of amplitude of an entrance signal. At saturation of the measuring transformer of current over 40% the error of such method significantly increases.

Key words: relay protection, overload of current transformers, non-sinusoidal current.