

И.А. Костарев, М.Л. Сапунков**РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА
УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ СЕТЕЙ 6–35 кВ
ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ***

Изложены результаты разработки и экспериментальных исследований опытного образца устройства новой защиты, основанной на контроле пульсирующей мощности, от замыканий на землю (ОЗЗ) для компенсированных сетей 6–35 кВ. Для проведения экспериментальных исследований были разработаны опытный образец микропроцессорного устройства защиты от ОЗЗ, а также физическая модель компенсирующей сети. По результатам проведенных экспериментов получены осциллограммы, характеризующие работу защиты при устойчивых и перемежающихся замыканиях. На основании анализа осциллограмм установлено, что защита от ОЗЗ будет успешно реагировать как на устойчивые, так и на перемежающиеся замыкания, так как коэффициент чувствительности составлял $4\div 75$.

Ключевые слова: сети среднего напряжения, защита от однофазных замыканий на землю, компенсированная нейтраль, опытный образец устройства.

В области релейной защиты и автоматики электрических сетей для повышения надежности и безопасности систем электроснабжения предприятий актуальной остается задача разработки и применения всережимной и высокоэффективной защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) [1, 2]. Особенно актуальной эта задача является для горных предприятий.

Как показали результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований в качестве такой защиты может быть применена быстродействующая защита от ОЗЗ, основанная на новом принципе работы, а именно на контроле пульсирующей мощности защищаемых линий распределительных сетей [3, 4, 5].

С целью подтверждения работоспособности такой защиты был разработан опытный образец устройства на базе контроллера реального времени CRIO 9075, позволяющий одновременно контролировать до пяти отходящих присоединений секции шин РУ 6–35 кВ.

Согласно алгоритму работы защиты от ОЗЗ [6] для идентификации возникновения замыкания на землю необходимо контролировать приращение переменной составляющей мощности каждой линии:

$$\Delta p_{Гк} = p_{Гк}^{(1)} - p_{Гк}, \quad (1)$$

где $p_{Гк}^{(1)}$ – действующее значение переменной составляющей мощности k -ой линии в режиме ОЗЗ; $p_{Гк}$ – действующее значение переменной составляющей мощности k -ой линии в нормальном режиме работы сети.

Выражение для действующего значения переменной составляющей мощности k -ой линии:

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13–08–96063.

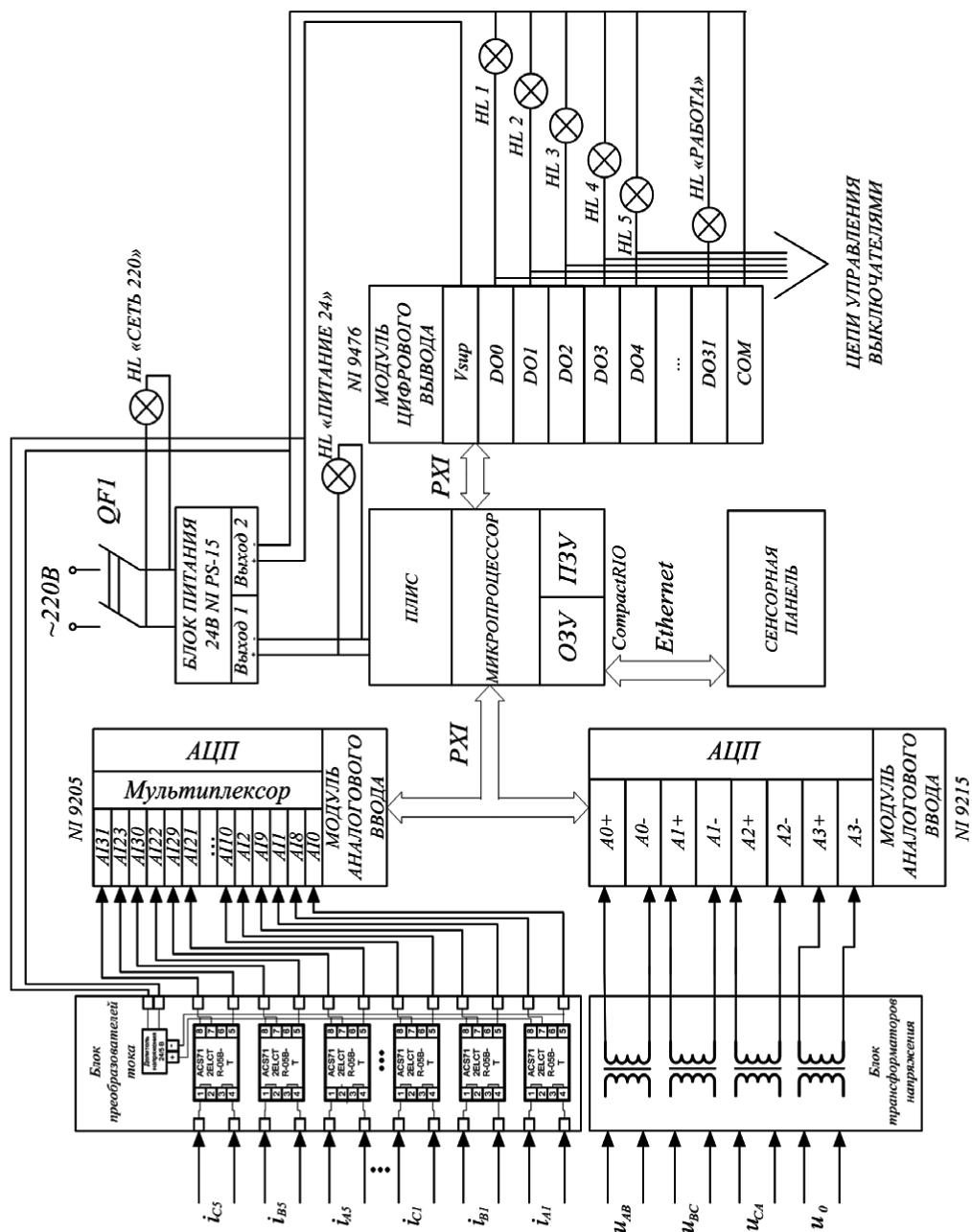


Рис. 1. Структурно-функциональная схема опытного образца устройства защиты от ОЗЗ

$$P_{\Gamma k} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p_{\Gamma k}^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [p_k(t) - P_{CPk}]^2 dt}, \quad (2)$$

где $p_k(t) = u_{AB}(t) \cdot i_{Ak}(t) + u_{BC}(t) \cdot i_{Bk}(t) + u_{CA}(t) \cdot i_{Ck}(t)$ – суммарная мгновенная мощность трех фаз k -ой линии;

$P_{CPk} = 1/T \int_0^T p_k(t) dt$ – среднее значение мощности трех фаз k -ой линии (активная мощность);

$u_{AB}(t), u_{BC}(t), u_{CA}(t)$ – линейные напряжения сети;

$i_{Ak}(t), i_{Bk}(t), i_{Ck}(t)$ – линейные токи k -ой линии фаз A, B и C соответственно.

Для контроля приращения переменной составляющей мощности необходимо измерять трехфазную систему линейных напряжений сети, линейные токи всех фаз линий и напряжение нулевой последовательности. Задачу измерения всех напряжений сети в устройстве выполняют блок трансформаторов напряжения и модуль NI 9215, имеющий частоту дискретизации аналого-цифрово-

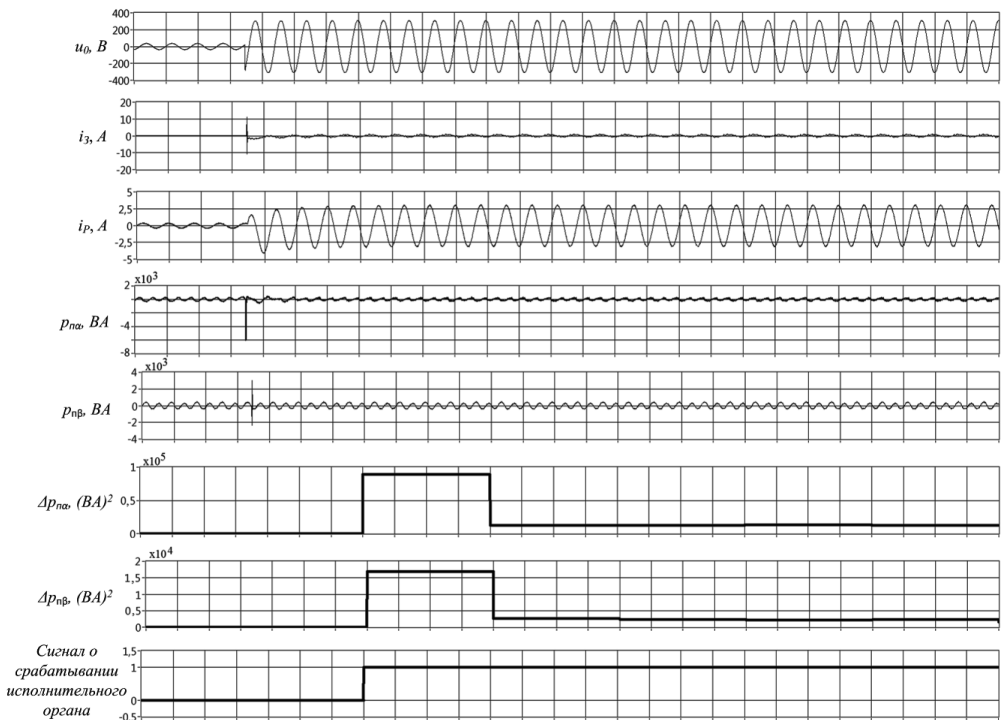


Рис. 2. Осциллограммы, характеризующие работу защиты при устойчивом ОЗЗ:

u_0 – напряжение нулевой последовательности; i_3 – остаточный ток ОЗЗ; i_p – ток реактора; $p_{\Gamma\alpha}$ – переменная составляющая мощности поврежденной линии; $p_{\Gamma\beta}$ – переменная составляющая мощности неповрежденной линии; $\Delta p_{\Gamma\alpha}$ – контролируемый защитой сигнал на поврежденной линии; $\Delta p_{\Gamma\beta}$ – контролируемый защитой сигнал на неповрежденной линии

го преобразователя (АЦП) 100 кГц на каждый канал (рис. 1). Для измерения токов линий в устройство защиты были встроены блок преобразователей тока и модуль NI 9205 с частотой дискретизации 250 кГц на все каналы. Алгоритм принципа контроля переменной составляющей мощности непосредственно выполняет CRIO 9075, которые содержит микропроцессор и ПЛИС.

Сигнал о наличии режима ОЗЗ на конкретной линии с помощью модуля NI 9476 выводится на соответствующую Лампу HL 1–5, а также дублируется на клеммы цепей управления выключателями и специальную сенсорную панель.

Разработанный опытный образец устройства защиты от ОЗЗ на базе контроллера реального времени позволяет обеспечивать время срабатывания защиты чуть более 0,02 с.

Разработанное устройство защиты от ОЗЗ обеспечивает:

- селективность действия при всех видах ОЗЗ за счет применяемого алгоритма, основанного на новом принципе, а именно на контроле пульсирующей мощности;
- высокое быстродействие за счет применения контроллера реального времени, а также совместной работе микроконтроллера и ПЛИС;
- высокую чувствительность благодаря применению высокочувствительных модулей с частотой дискретизации существенно превышающей частоту дискре-

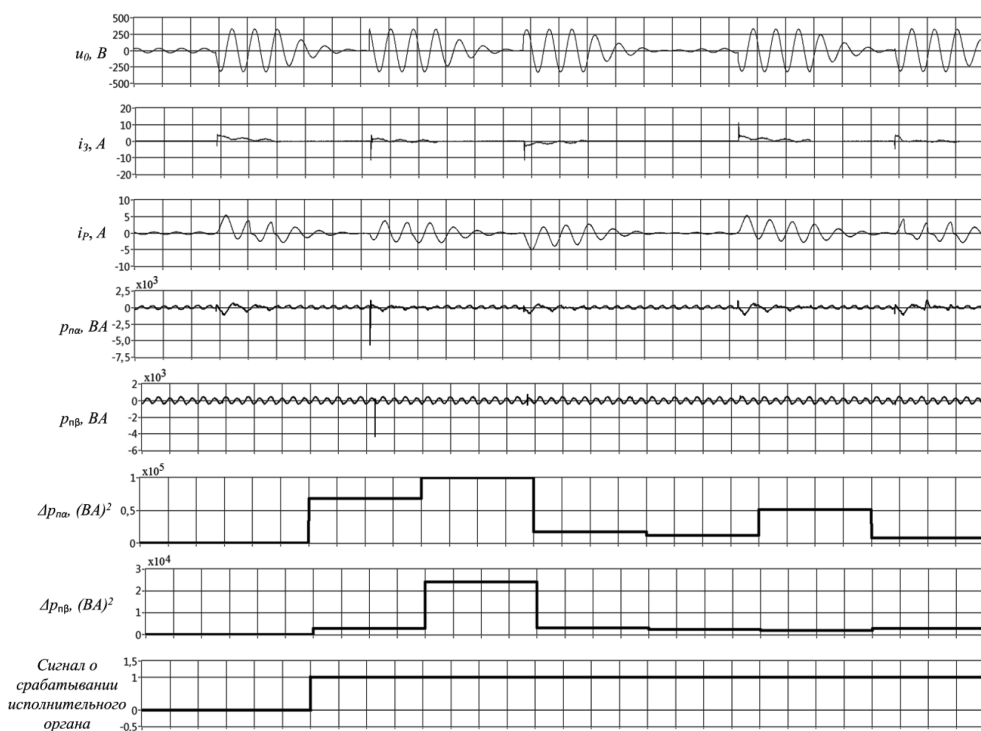


Рис. 3. Осциллограммы, характеризующие работу защиты при перемежающемся ОЗЗ: u_0 – напряжение нулевой последовательности; i_3 – остаточный ток ОЗЗ; i_r – ток реактора; $p_{\Gamma\alpha}$ – переменная составляющая мощности поврежденной линии; $p_{\Gamma\beta}$ – переменная составляющая мощности неповрежденной линии; $\Delta p_{\Gamma\alpha}$ – контролируемый защитой сигнал на поврежденной линии; $\Delta p_{\Gamma\beta}$ – контролируемый защитой сигнал на неповрежденной линии

тизации, необходимую для учета всех электромагнитных процессов при ОЗЗ и учета высших гармоник [7];

- надежность функционирования, которая обеспечивается гальванической развязкой внутренних цепей устройства защиты от входных цепей, а также встроенными защитами модулей АЦП от перенапряжений и других ненормальных режимов;
- непрерывность действия;
- возможность создания SCADA-системы и диспетчерского контроля, а также управления выключателями через Ethernet или RS-232;
- возможность конфигурирования опытного образца защиты в виде, как индивидуального, так и централизованного устройства защиты;
- возможность организации прямого управления цепями выключателей отходящих присоединений;
- самодиагностику, запоминание событий, запись осциллограмм электрических величин при ОЗЗ и др.

С целью подтверждения работоспособности разработанного образца устройства защиты от ОЗЗ были проведены экспериментальные исследования на физической модели компенсированной сети 6–35 при устойчивых и перемежающихся замыканиях.

На рис. 2, в качестве примера, приведены осциллограммы, характеризующие работу защиты от ОЗЗ в сети с компенсированной нейтралью при устойчивом замыкании на землю, несимметричных нагрузках на защищаемых линиях и созданной незначительной асимметрии собственных проводимостей фаз линий на землю.

О появлении режима ОЗЗ в сети можно судить о значительном увеличении напряжения нулевой последовательности и броске остаточного (нескомпенсированного) тока ОЗЗ в сети, обусловленного емкостями и активными проводимостями фаз относительно земли всех линий.

О высокой чувствительности защиты можно судить по большой разнице между контролируемой защитой от ОЗЗ сигналами на поврежденной и неповрежденной линиях. Коэффициент чувствительности опытного образца устройства в проведенном эксперименте составлял около 75, что характеризует высокую эффективность защиты от ОЗЗ.

На рис. 3, в качестве примера, приведены осциллограммы, характеризующие работу защиты при перемежающемся ОЗЗ. В этом эксперименте состояние нагрузок линий и созданная асимметрия проводимостей фаз линий на землю оставались прежними.

Осциллограммы этого эксперимента подтверждают эффективность работы защиты и при перемежающихся ОЗЗ. Значения коэффициента чувствительности защиты в этом режиме составлял $4 \div 25$.

Применение такой защиты позволит своевременно отключать ОЗЗ, как одно из самых опасных и распространенных повреждений в распределительных сетях 6–35 кВ горных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 104 с.
2. Шалин А.И. Релейная защита от замыканий на землю в сетях с резистивным заземлением нейтрали / Ограничение перенапряжений: материалы 4-ой Всерос. науч.-техн. конф. – Новосибирск, 2004.

3. Костарев И.А., Сапунков М.Л., Худяков А.А. Исследование и оценка возможности применения защиты от однофазных замыканий, основанной на контроле пульсирующей мощности, в компенсированных сетях горных предприятий // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 11. – С. 8–14.

4. Худяков А.А., Сапунков М.Л., Костарев И.А. Об эффективности защиты распределительных сетей 6–10 кВ от однофазных замыканий, основанной на контроле пульсирующей мощности // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 11. – С. 15–18.

5. Костарев И.А., Сапунков М.Л. Оценка влияния несинусоидальности тока компенсирующего реактора на устойчивость функционирования защиты от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ нефтеперерабатывающих предприятий // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 6. – С. 126–128.

6. Сапунков М.Л. Патент № 2352044 на изобретение «Способ защиты трехфазной сети от однофазных замыканий на землю, ПермГТУ.

7. Басараб М.А., Зелкин Е.Г., Кравченко В.Ф., Яковлев В.П. Цифровая обработка сигналов на основе теоремы Уиттекера-Котельникова-Шеннона. – М.: Радиотехника, 2004. **ТАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Сапунков Михаил Леонидович – профессор,

Костарев Илья Андреевич – ассистент кафедры, e-mail: ilya_kost@mail.ru,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

UDC 621.311

THE DEVELOPMENT AND RESEARCH INTO 6–35 kV NETWORK PROTECTION AGAINST GROUND FAULTS PROTOTYPE DEVICE

Sapunkov M.L., Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia,

Kostarev I.A., Assistant of Chair, e-mail: ilya_kost@mail.ru,

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.

This article presents the results of development and research into new high-efficient protection against ground fault prototype device performance in 6–35 kV compensated network. Protection against ground fault (GF) prototype and physical model of a compensated network were development for experimental research. Waveform characterizing work of protection for sustainable and intermittent faults were obtained as experiment results. Based on these waveforms there was found that protection against GF device will successfully respond to both stable and in the intermittent ground faults, since the coefficient of sensitivity protection was 4–75.

Key words: medium voltage networks, protection against ground faults, compensated neutral, prototype device.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 13-08-96063.

REFERENCES

1. Shuin V.A., Gusenkov A.V. *Zashity ot zamykanii na zemlyu v elektricheskikh setyakh 6–10 kV* (Protection against earth faults in electrical networks 6–10 kV), Moscow, NTF «Energoprogress», 2001, 104 p.

2. Shalin A.I. *Ogranichenie perenapryazhenii: materialy 4-oi Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* (Limitation of overvoltage: proceedings of the 4th all-Russian scientific-technical conference), Novosibirsk, 2004.

3. Kostarev I.A., Sapunkov M.L., Khudyakov A.A. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2012, no 11, pp. 8–14.

4. Khudyakov A.A., Sapunkov M.L., Kostarev I.A. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2012, no 11, pp. 15–18.

5. Kostarev I.A., Sapunkov M.L. *Neftyanoe khozyaistvo*. 2013, no 6, pp. 126–128.

6. Sapunkov M.L. *Patent RU 2352044*.

7. Basarab M.A., Zelkin E.G., Kravchenko V.F., Yakovlev V.P. *Tsifrovaya obrabotka signalov na osnove teoremy Uittekera-Kotel'nikova-Shennona* (TDigital signal processing based on theorem Whittaker-Kotelnikov-Shannon), Moscow, Radiotekhnika, 2004.