

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global Electricity Review 2023 // Ember. 2023. – URL: <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2023/> (дата обращения: 13.11.2023).
2. Hu J., Wang S., Tang W., Xiong X. Full-Capacity Wind Turbine with Inertial Support by Adjusting Phase-Locked Loop Response // IET Renewable Power Generation. – 2017. – V. 11. – Is. 1. – P. 44–53.
3. Liu H., Xie X., He J., Xu T., Yu Z., Wang C., Zhang C. Subsynchronous Interaction between Direct-Drive PMSG Based Wind Farms and Weak AC Networks // IEEE Transactions on Power Systems. – 2017. – V. 32. – Is. 6. – P. 4708–4720.
4. Liu C., Cai G., Ge W., Yang D., Liu C., Sun Z. Oscillation Analysis and Wide-Area Damping Control of DFIGs for Renewable Energy Power Systems Using Line Modal Potential Energy // IEEE Transactions on Power Systems. – 2018. – V. 33. – Is. 3. – P. 3460–3471.
5. Krismanto A.U., Mithulananthan, Krause O. Microgrid Impact on Low Frequency Oscillation and Resonance in Power System // 2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT-Asia). – Melbourne, VIC, Australia, 2016. – P. 424–429.
6. Saadatmand M., Gharehpetian G.B., Moghassemi A., Guerrero J.M., Siano P., Alhelou H.H. Damping of Low-Frequency Oscillations in Power Systems by Large-Scale PV Farms: A Comprehensive Review of Control Methods // IEEE Access. – 2021. – V. 9. – P. 72183–72206.
7. Sun Z., Cai G., Yang D., Tang M. Impact of Different Wind Power Generators on Small Signal Stability of Power Systems // 2015 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC). – Wollongong, NSW, Australia, 2015. – P. 1–6.
8. Garmroodi M., Hill D.J., Ma J., Verbic G. Impact of Wind Generation Variability on Small Signal Stability of Power Systems // 2014 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC). – Perth, Australia, 2014. – P. 1–6.
9. Sahar P.A., Reza I., Tate J.E. Damping Inter-Area Oscillations Based on a Model Predictive Control (MPC) HVDC Supplementary Controller // IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – V. 28. – Is. 3. – P. 3174–3183.
10. Kundur P. Power System Stability and Control. – New York, USA: McGraw Hill, 1994. – 1176 p.
11. Milano F. An Open Source Power System Analysis Toolbox // IEEE Transactions on Power Systems. – 2005. – V. 20. – Is. 3. – P. 1199–1206.

**ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БЛОКОВ
МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ КОМПАНИЙ,
РАЗРАБАТЫВАЮЩИХ УСТРОЙСТВА
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ**

В.М. Нефедов

*Томский политехнический университет,
ИШЭ, ОЭЭ, гр. 5А01*

Научный руководитель: Р.А. Уфа, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

В данном обзоре представлено сравнение характеристик блоков микропроцессорной релейной защиты четырех разных компаний, занимающихся разработкой и производством релейной защиты и автоматики. Для сравнения характеристик блоков микропроцессорной релейной защиты были взяты такие терминалы, как терминал «БМРЗ-152» производства российской компании Научно-технического центра «Механотроника», терминал «БЭ2502А» производства российской компании Научно-производственного предприятия «ЭКРА», терминал «Seram S80» производства французской энергомашиностроительной корпорации «Schneider Electric», и терминал «REL670» производства шведско-швейцарской транснациональной корпорации.

Для чего нужен блок микропроцессорной релейной защиты? Блок микропроцессорной релейной защиты нужен для исполнения функций релейной защиты и автоматики. Под этим определением понимается, что блок микропроцессорной релейной защиты должен защищать подключенное присоединение от токов короткого замыкания на землю, от токов короткого замыкания между фазами, от перегрузок и от перенапряжений или просадок напряжения.

Принцип работы блока микропроцессорной релейной защиты основан на том, что терминал смотрит за изменениями таких параметров, как протекающих ток в присоединении, изменением напряжения, частоты и сопротивлением присоединения. Если в присоединении какой-то из вышеперечисленных параметров выходит за пределы, то блок микропроцессорной релейной защиты должен почувствовать это изменение и отключить данное присоединение. Под пределом параметров понимается то факт, что при проектировании данного присоединения в техническом задании прописаны номинальные значения тока, напряжения и сопротивление присоединения. Также в функционал терминала входят такие функции, как коммуникация с другими устройствами в системе и управление. В функции коммуникации с другими устройствами понимается то, что терминал может принимать данные от других установленных терминалов в присоединении или же терминал сам передает данные на другие устройства. Терминал может коммуницировать с такими устройствами, как сигнализация или другими видами блоков микропроцессорной защиты. Функции управления терминала состоит в следующем, терминал самостоятельно может отключить присоединение на основе считанных данных, а не передать данные оператору, что бы тот не отключал присоединение самостоятельно.

Общие технические требования, применяемые к блокам микропроцессорной релейной защиты, требуют следующего:

- *Надежность.* Терминал должен обеспечивать стабильное функционирование в течение всего срока эксплуатации по паспортным данным.
- *Удобство установки, обслуживания и эксплуатации.* Терминал должен легко устанавливаться в процессе монтажа, легко настраиваться, а также должна иметься понятная документация для эксплуатации данного устройства.
- *Совместимость и интеграция.* Терминал должен быть совместимым и легко интегрируемым с другими установленными системами и оборудованием, чтобы обеспечить взаимодействие и обмен с другими данными.
- *Гибкость логики терминала.* Терминал должен обладать гибкой логикой для взаимодействия с другими видами защит, чтобы не нарушать работу другой защиты.
- *Высокая скорость обработки данных.* Терминал должен иметь высокую скорость обработки данных для быстрого выявления проблем в электрической сети и предотвращения аварийных ситуаций.
- *Объем журнала регистраций аварийных событий и его хранение.* Терминал должен иметь большой объем памяти для регистрации данных по произведенным срабатываниям защиты.

Для сравнения характеристик блоков микропроцессорной релейной защиты использовались следующие параметры: количество релейных защит, оперативное питание, совместимость, количество записей событий, программное обеспечение, связь с терминалом. Сравнимые характеристики по каждому блоку сведены в табл. 1 сравнимые характеристики терминалов.

Из табл. 1 видно, что конфигурация данных блоков различается по многим позициям. Различия начинается с того, что у каждого терминала различное количество осуществляемых защит из-за того, что терминал «Seram S80» можно установить не только на защиту линий электропередач, но и на защиту трансформаторов, двигателей и генераторов. А терминалы «БМРЗ-152», «БЭ2502А» и «REL670» устанавливаются в основном на защиту линий.

Таблица 1. Сравнимые характеристики терминалов

Характеристики	БМР3-152	БЭ2502А	Seram S80	REL670
Количество релейных защит	17	45	18	36
Оперативное питание	По напряжению: переменное: 100 В постоянное: 110 В По оперативному току: переменное: 1–5 А постоянное: 1–5 А Частота: переменное 50–60 Гц	По напряжению: переменное: 100 В постоянное: 220 В По оперативному току: переменное: 1–5 А постоянное: 1–5 А Частота: переменное 50 Гц	По напряжению: переменное: 100–240 В постоянное: 24–220 В По оперативному току: переменное: 1–8 А постоянное: 1–8 А Частота: переменное 50–60 Гц	По напряжению: переменное: 100–240 В постоянное: 48 – 250 В Частота: переменное 50–60 Гц
Совместимость	Совместим со многими системами и оборудованием	Совместим со многими системами и оборудованием	Совместим со многими системами и оборудованием	Совместим со многими системами и оборудованием
Количество записей событий	16000	1024	250	1000
Программное обеспечение	Имеет программное обеспечение от производителя	Имеет программное обеспечение от производителя	Имеет программное обеспечение от производителя	Имеет программное обеспечение от производителя
Связь с терминалом	два RS-485 модуля; два Ethernet модуля; один МЭК 61850 модуль	два RS-485 модуля; один Ethernet модуль	RS-485 модуль; Ethernet модуль; МЭК 61850 модуль	два МЭК 61850 модуля; один МЭК 60870 модуль; один LON модуль; один SPA модуль; один Ethernet модуль

Однако между терминалами «БМР3-152», «БЭ2502А» и «REL670» есть различие в установке на разные диапазоны напряжений. Терминал «БМР3-152» работает на диапазоне напряжений 6–35 кВ, когда терминалы «БЭ2502А» и «REL670» от 6 кВ и выше. Так как у терминалов различный набор видов защит, то точность проводимых вычислений разный, из-за чего установка конкретного терминала будет зависеть от условий технического задания, и от выполняемых функций терминалом. Также не мало важную роль играет журнал событий терминалов, из-за чего нужно часто мониторить заполняемость журнала событий, чтобы не потерять информацию о происходящем в присоединении, на основе чего будет выполняться анализ о состоянии подключённого присоединения. Однако для некоторых терминалов можно расширить объем хранимой информации, это обеспечивается вводом дополнительного носителя информации, к примеру это осуществимо на терминале «Seram S80». В основном со многими терминалами связь осуществляется через Ethernet модуль и модуль МЭК 61850. Совместимость терминалов со многими системами обоснована тем, что производители придерживаются стандарта МЭК 61850, из-за чего в каждом микропроцессорном аппарате реализовывается установка модуля, так как это стандарт получил наибольшую популярность в сфере описывания информации в энергообъектах и способов ее передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.35.310-97 Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем (с Изменением N 1). – М.: ПАО «ЕЭС». – М.: СПО ОРГРЭС, 1997. – 39 с.
2. Wikipedia МЭК 61850 // Wikipedia. 2023. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/МЭК-61850> (дата обращения 19.11.2023).
3. ЭЛЕКТРОЩИТ-СПБ REL670 реле РЗА АBB дистанционная защита линии // ЭЛЕКТРОЩИТ-СПБ. 2023. – URL: <http://www.elektroshchit.ru/abb-relejnjaja-zashhita-i-avtomatika/20-rel670-rele-rza-abb-distacionnaja-zashhita-linii.html> (дата обращения 19.11.2023).
4. Екра Терминал релейной защиты и автоматики БЭ2502А // Екра. 2023. – URL: <https://ekra.ru/product/rza-ps-6-35/t-rza/be2502a/> (дата обращения 19.11.2023).
5. Механотроника БМР3-150 // Механотроника. 2023. URL: <https://www.mtrele.ru/shop/relejnjaya-zashhita/bmrz-150/> (дата обращения 19.11.2023).
6. Техническое описание микропроцессорного устройства релейной защиты Seram серии 80 // Elec. 2023. – URL: <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/127/000001323/attfile/01.pdf> (дата обращения 19.11.2023).