



DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2021.2.2>

УДК 621.311(075)

ББК 31.2

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Елена Геннадьевна Зенина

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой энергетики,
филиал НИУ МЭИ в г. Волжском
zeninaeg@mail.ru
просп. Ленина, 69, 404110 г. Волжский, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены основные причины отказов в работе, ложных и излишних срабатываний микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ). Выявлены основные пути решения проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) в электроэнергетике. Предложено решение для повышения надежности работы МУРЗ и показан путь развития проблемы ЭМС в электроэнергетике.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, микропроцессорные устройства, релейная защита, отказы и повреждения, реактивная мощность.

Теоретические основы ЭМС технических средств в электроэнергетике были положены в НИУ МЭИ. Широко известны работы А.Ф. Дьякова, его учеников и коллег в этом направлении [3]. Также вопросами ЭМС в приложении к качеству электроэнергии занимается Ю.С. Железко. Вопросы ЭМС в релейной защите активно анализирует В.И. Гуревич. Однако хочется отметить, что, несмотря на все возрастающую актуальность вопросов ЭМС в электроэнергетике, в последнее время не наблюдается повышенной активности в научных изысканиях по этой тематике [4; 6–9], что связано с постоянно развивающимися новыми микропроцессорными техническими средствами, сложностью и многообразием аспектов обеспечения необходимой электромагнитной обстановки, и частично – с неустойчивой нормативной базой.

В современных условиях развития электроэнергетического комплекса устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) игра-

ют особую роль, связанную с защитой от возможных повреждений, возникающих в результате нарушения нормальных режимов работы как отдельных элементов, так и всей энергосистемы в целом. Это, в свою очередь, непосредственно влияет на надежное и устойчивое функционирование основных силовых элементов и электрооборудования. Повреждения силовой части оборудования электросетевого комплекса могут быть вызваны изменениями основных параметров нормального режима: изменение (увеличение) токов приводит к перегрузкам и в пределе – к коротким замыканиям, уменьшение напряжения приводит к возникновению лавины напряжения и нарушению работы электродвигателей, подключенных к поврежденному участку, а повышение напряжения приводит к перенапряжениям на отдельных участках. Кроме того, нарушения, связанные с уменьшением передаваемой активной мощности, приводят к изменению частоты, а нарушение баланса реактивной

мощности – к изменению напряжения на отдельных участках, что в целом приводит к несоблюдению баланса мощностей и потере устойчивой работы энергосистемы.

Однако сами МУРЗ при их неправильной работе тоже могут быть причиной аварийной ситуации. Возникновение неправильной работы МУРЗ при повреждениях может быть вызваны несколькими причинами:

- искажением сигнала из-за ошибочных действий персонала и программированием терминала, введением неправильных, искаженных данных;
- изменением сигналов, поступающих от первичных преобразователей к устройству РЗ;
- повреждением прохождения или нарушением преобразования сигнала к логическому органу в самом устройстве РЗ;
- повреждением прохождения или нарушением преобразования сигнала от логического органа к исполнительному органу в устройстве РЗ;
- отказом в работе из-за повреждения отдельных элементов.

Рассматривая углубленно причины возникновения повреждений в МУРЗ, можно выделить несколько уровней отказов: отказы, связанные с ошибочными данными по настройкам или уставкам; «внутренние» причины самих устройств РЗиА, связанные с механическими, конструктивными неполадками в их работе, со сбоями в программном обеспечении (только для микропроцессорных терминалов); потеря управляемости из-за повреждения кабелей и нарушения каналов связи, соединяющих измерительные преобразователи с терминалами, контактов и т. п. Все эти повреждения можно отнести к двум основным классам – аппаратная и функциональная надежность оборудования. По статистике «Мосэнерго», отказы в работе МУРЗ из-за негативного влияния электромагнитных полей во время перенапряжений (грозовых и коммутационных), сверхтоков во время коротких замыканий и всего комплекса ЭМО могут составлять до 10 % от всех отказов РЗиА [2]. При этом, например, короткие замыкания на стороне 110 кВ могут вызывать излишнее срабатывание МУРЗ на стороне 330 кВ. Дополнительно могут возникать отказы из-за возможных ошибок как при тестировании, так и

при эксплуатации терминалов – из-за так называемого человеческого фактора. В данном случае количество вводимой информации в микропроцессорные терминалы по сравнению с механическими защитами существенно возросло, эта информация качественно отличается от интуитивно понятных уставок в электромеханических реле, требует дополнительного изучения и крайне внимательного ввода оператором при программировании микропроцессорного устройства. Так, по данным за 2014 г., по вине оперативного персонала было допущено 58 «неправильных» случаев работы устройств РЗиА (4,1 %), а по вине прочего эксплуатационного персонала – 97 случаев (6,9 %) [5].

Электромеханические защиты по сравнению с микропроцессорными более устойчивы к электромагнитным воздействиям, это подтверждают известные случаи, когда уже модернизированную подстанцию с новыми МУРЗ не могли запустить в работу [1; 2; 5; 10], то есть уже спроектированную подстанцию на этапе пуска наладочных испытаний не могли ввести в действие и запускали со старыми комплектами защит. Также мощные электромагнитные поля от силовых цепей и оборудования одного класса напряжения могут создавать помехи в их вторичных цепях, а они, в свою очередь, при наличии гальванической связи, могут вызывать неправильную работу вторичных цепей, работающих с оборудованием другого класса напряжения.

Таким образом, можно предложить при модернизации старых подстанций и замене электромеханических блоков на МУРЗ предусмотреть возможность использования старых панелей в качестве резервных, применяемых при отказе микропроцессорных устройств. Экономическая целесообразность данного предложения возможно будет оправдываться только в ответственных случаях на крупных объектах, тем не менее этот вариант следует рассматривать как альтернативный в переходный период от одной элементной базы к другой для обеспечения надежности функционирования РЗиА.

Но кроме этого, повреждение устройств РЗиА могут быть вызваны преднамеренно. В этом случае причинами возникновения таких повреждений могут быть либо умышлен-

ные действия, либо неосознанные вмешательства в работу устройств РЗиА, в том числе – искажение любой передаваемой информации по линиям связи. Этот вопрос требует отдельного рассмотрения с точки зрения защиты информации и ограничения круга лиц, допущенных к изменению конфигурации и настроек терминала РЗиА, как стратегический вопрос информационной и техносферной безопасности. В ближайшем будущем этот вопрос, по моему мнению, станет одним из наиболее быстроразвивающихся направлений в электроэнергетике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, Е. А. Влияние числа и расположения цилиндров и кривошипов на уравновешенность и массогабаритные показатели двигателей / Е. А. Григорьев, А. В. Васильев, К. О. Долгов // Двигателестроение. – 2004. – № 3 (217). – С. 13–15.
2. Гуревич, В. И. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты / В. И. Гуревич // Компоненты и технологии. – 2010. – № 2. – Ч. 1. – С. 80–84 ; № 3. – Ч. 2. – С. 91–96 ; № 4. – Ч. 3. – С. 91–96.
3. Дьяков, А. Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике / А. Ф. Дьяков, И. П. Кужекин, Б. К. Максимов. – М. : Издат. дом «МЭИ», 2011. – 455 с.
4. Кияткин, Р. П. Построение схемных моделей для электромагнитных расчетов токоведущих систем, экранов и волноводов : дис. ... д-ра техн. наук / Кияткин Родион Петрович. – СПб., 2005. – 350 с.
5. Концепция развития релейной защиты и автоматизации электросетевого комплекса : Приложение №1 к протоколу Правления ОАО «Россети» от 22.06.2015 № 356пр. – Электрон. текстовые дан. – М., 2015. – 49 с. – Режим доступа: https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/vipiska_prilogenie.pdf. – Загл. с экрана.
6. Кострик, А. Г. Повышение уровня надежности, электробезопасности и электромагнитной совместимости при вводе современных ТЭС с ГТУ и АЭС : дис. ... канд. техн. наук / Кострик Александр Геннадьевич. – М., 2007. – 184 с.
7. Нагай, В. И. Повышение технического совершенства релейной защиты распределительных сетей 6–110 КВ электроэнергетических систем : дис. ... д-ра техн. наук / Нагай Владимир Иванович. – Новочеркасск, 2002. – 483 с.
8. Степанов, И. М. Исследование электромагнитных полей в электроустановках высокого напря-

жения и разработка мер по снижению их интенсивности : дис. ... канд. техн. наук / Степанов Илья Михайлович. – Новосибирск, 2009. – 149 с.

9. Ширшов, А. Б. Средства защиты от вредного и опасного воздействия электромагнитных полей тяговой сети : дис. ... канд. техн. наук / Ширшов Александр Борисович. – Челябинск, 2006. – 111 с.
10. Vasilyev, A. Internal combustion engine valve gear cam wear and its influence on valve gear and engine efficiency / A. Vasilyev, E. Deynichenko, D. Popov // *Mechanika*. – 2005. – Т. 54, № 4. – С. 44–49.

REFERENCES

1. Grigor'ev E.A., Vasil'ev A.V., Dolgov K.O. Vliyaniye chisla i raspolozheniya cilindrov i krivoshipov na uravnoveshennost' i massogabaritnye pokazateli dvigatelej [The Influence of the Number and Location of Cylinders and Cranks on the Balance and Weight and Size Indicators of Engines]. *Dvigatelistroenie*, 2004, no. 3 (217), pp. 13-15.
2. Gurevich V.I. Problema elektromagnitnykh vozdeystviy na mikroprocessornye ustrojstva relejnoj zashchity [The Problem of Electromagnetic Influences on Microprocessor Relay Protection Devices]. *Komponenty i tekhnologii*, 2010, no. 2, part 1, pp. 80-84; no. 3, part 2, pp. 91-96; no. 4, part 3, pp. 91-96.
3. D'yakov A.F., Kuzhekin I.P., Maksimov B.K. *Elektromagnitnaya sovmestimost' i molniezashchita v elektroenergetike* [Electromagnetic Compatibility and Lightning Protection in the Electric Power Industry]. Moscow, Izdatel'skiy dom «MEI», 2011. 455 p.
4. Kiyatkin R.P. *Postroenie skhemnykh modelei dlia elektromagnitnykh raschetov tokovedushchikh sistem, ekranov i volnovodov: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Construction of Circuit Models for Electromagnetic Calculations of Current-Carrying Systems, Screens and Waveguides. Dr. eng. sci. diss.]. Saint Petersburg, 2003. 350 p.
5. *Koncepciya razvitiya relejnoj zashchity i avtomatiki elektrosetevogo kompleksa: Prilozhenie №1 k protokolu Pravleniya OAO «Rosseti» ot 22.06.2015 № 356pr* [The Concept of Development of Relay Protection and Automation of the Electric Grid Complex. Appendix 1 to Minutes of the “Rosseti” Management Board No. 356pr Dated June 22, 2015]. Moscow, 2015. 49 p. URL: https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/vipiska_prilogenie.pdf.
6. Kostrik A.G. *Povysheniye urovnia nadezhnosti, elektrobezopasnosti i elektromagnitnoi sovmestimosti pri vvode sovremennykh TES s GTU i AES: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Increasing the Level of Reliability, Electrical Safety and Electromagnetic Compatibility During the Commissioning of Modern

Thermal Power Plants with GTU and Nuclear Power Plants. Cand. eng. sci. diss.]. Moscow, 2007. 184 p.

7. Nagaj V.I. *Povyshenie tekhnicheskogo sovershenstva releinoi zashchity raspredelitelnykh setei 6-110 KV elektroenergeticheskikh sistem: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Improving the Technical Perfection of Relay Protection of 6-110 KV Distribution Networks of Electric Power Systems. Dr. eng. sci. diss.]. Novocheerkassk, 2002. 483 p.

8. Stepanov I.M. *Issledovanie elektromagnitnykh polei v elektroustanovkakh vysokogo napriazheniia i razrabotka mer po snizheniiu ikh intensivnosti: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Study of Electromagnetic Fields in

High-Voltage Electrical Installations and Development of Measures to Reduce Their Intensity. Cand. eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2009. 149 p.

9. Shirshov A.B. *Sredstva zashchity ot vrednogo i opasnogo vozdeistviia elektromagnitnykh polei tiagovoi seti: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Means of Protection Against Harmful and Dangerous Effects of Electromagnetic Fields of the Traction Network. Cand. eng. sci. diss.]. Chelyabinsk, 2006. 111 p.

10. Vasilyev A., Deynichenko E., Popov D. Internal Combustion Engine Valve Gear Cam Wear and Its Influence on Valve Gear and Engine Efficiency. *Mechanika*, 2005, vol. 54, no. 4, pp. 44-49.

ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION AND AUTOMATION DEVICES

Elena G. Zenina

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Head of the Department of Power Engineering,
MPEI Branch in Volzhsky
zeninaeg@mail.ru
Prosp. Lenina, 69, 404110 Volzhsky, Russian Federation

Abstract. In the modern conditions of the development of the electric power complex, relay protection and automation devices play a special role related to protection against possible damage resulting from violations of normal operating modes, both of individual elements and the entire power system as a whole. This, in turn, directly affects the reliable and stable functioning of the main power elements and electrical equipment. Damage to the power part of the equipment of an electric grid complex can be caused by changes in the main parameters of the normal mode: a change (increase) in currents leads to overloads and, in the limit, to short circuits, a decrease in voltage leads to an avalanche of voltage and disruption of the operation of electric motors connected to the damaged section, and an increase in voltage leads to overvoltages in certain sections. In addition, violations associated with a decrease in the transmitted active power lead to a change in frequency, and a violation of the reactive power balance leads to a change in voltage in certain sections, which generally leads to non-compliance with the power balance and loss of stable operation of the power system. The main reasons for failures in operation, false and excessive triggering of microprocessor relay protection devices are considered. The main ways of solving the problem of electromagnetic compatibility in the electric power industry are identified. A solution is proposed to improve the reliability of the operation of microprocessor relay protection devices and the way of development of the problem of electromagnetic compatibility in the electric power industry is shown.

Key words: electromagnetic compatibility, microprocessor devices, relay protection, failures and damages, reactive power.