

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,  
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.311.4:621.382

**ВЛИЯНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЯЗИ В ЗАЗЕМЛЯЮЩЕМ  
УСТРОЙСТВЕ НА ПОВРЕЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ  
АППАРАТУРЫ**

© 2014 г. О.В. Фоменко, М.А. Костенко, А.О. Новикова

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского  
ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл.*

В статье представлена экспериментально-расчётная оценка электромагнитной обстановки по условиям защиты микропроцессорной аппаратуры и вторичных цепей на ОРУ 220 кВ и разработаны мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости размещаемой на ней микропроцессорной аппаратуры и ее вторичных цепей с учетом состояния заземляющего устройства.

*Ключевые слова:* электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, открытое распределительное устройство, заземляющее устройство, микропроцессорная аппаратура, сопротивление связи.

Поступила в редакцию 10.07.2014 г.

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) является одной из актуальных проблем при внедрении микропроцессорной (МП) аппаратуры РЗА, АСУ, АСКУЭ, связи и т.п. на объектах электроэнергетики. В настоящее время термин «электромагнитная совместимость» все чаще употребляется в связи с проблемой обеспечения надежности систем контроля, управления и связи, реализованных на базе цифровой техники и работающих в условиях реальных объектов [1]. Для этих объектов характерно неидеальное качество систем питания и заземления, высокая вероятность воздействия значительных электромагнитных помех (например, различные виды коротких замыканий, молниевый разряд, ВЧ-поля и т.д.). Вопросы перевооружения подстанций (ПС) высокого напряжения в настоящий момент должны в первую очередь рассматривать анализ ЭМС всех технических средств (ТС), в частности и МП, поскольку должна учитываться способность используемого оборудования нормально работать в ЭМО на объекте, где оно размещается.

Задача по улучшению ЭМО и снижению уровня существующих на объекте помех должна решаться в процессе не только перевооружения, но и реконструкции и модернизации объекта. Поэтому основной целью ставится экспериментально-расчетная оценка электромагнитной обстановки (ЭМО) по условиям защиты электронной аппаратуры. В данной работе представлена оценка ЭМО относительно заземляющего устройства (ЗУ) на ОРУ-220 кВ, по результатам которой можно предложить мероприятия по обеспечению ЭМС и размещаемой на ней микропроцессорной аппаратуры и ее вторичных цепей с учетом состояния заземляющего устройства.

На данный момент существует два основных пути улучшения ЭМО при использовании МП средств в условиях крупных промышленных объектов: оценка уровней импульсных помех и состояния заземляющего устройства (ЗУ). Поэтому для решения задачи требуется проведение комплекса работ, включающего оценку ЭМО на объекте, получение достоверных данных о помехоустойчивости используемой аппаратуры, сопоставление полученных данных, разработку мероприятий по обеспечению ЭМС, реализацию разработанных мероприятий и итоговый контроль.

Оценку уровней импульсных помех необходимо проводить не только при

коммутациях, но и возможных возникающих аварийных режимах. При этом характерными источниками электромагнитных воздействий как в нормальных, так и в аварийных режимах принято считать (рис.1): напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю в распределительных устройствах напряжением выше 1 кВ; импульсные помехи при коммутациях и КЗ в распределительных устройствах; электромагнитные поля радиочастотного диапазона; разряды статического электричества; магнитные поля промышленной частоты; импульсные магнитные поля; помехи, связанные с возмущениями в цепях питания АСТУ постоянного и переменного токов.

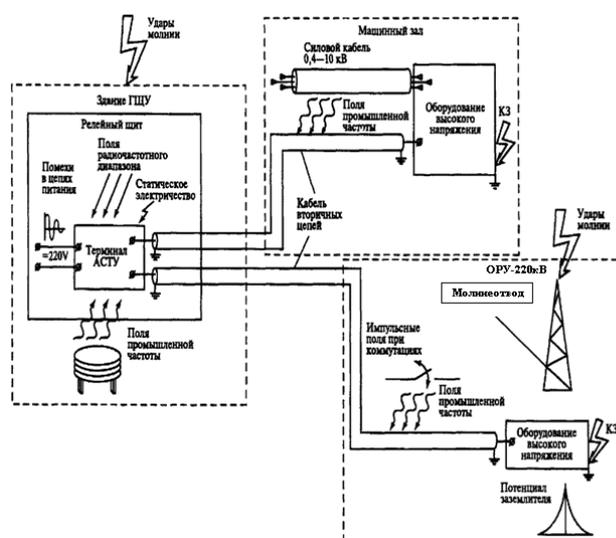


Рис. 1. – Источники электромагнитных помех на ЭС: ГЩУ – главный щит управления; ОРУ – открытое распределительное устройство

Наиболее трудоемкой частью оценки ЭМО на существующих объектах является оценка состояния заземляющего устройства (ЗУ) [2] на ОРУ ЭС и ПС. В работе О.В. Фоменко уже имел место анализ влияния на МП аппаратуру магнитных полей промышленной частоты [3]. Вместе с этим необходима также оценка ЗУ, поскольку неудовлетворительное состояние ЗУ влияет на работу всей системы: может вызывать сбои, ложные срабатывания, необоснованные включения и выключения систем защиты, противоаварийной автоматики, пожаротушения и т.д. Поэтому роль ЗУ в обеспечении надежной и безопасной работы электроустановок еще больше возрастает в связи с расширяющимся внедрением современных средств защиты, автоматического управления, телемеханики и связи, собранных на новой элементной базе. На действующих ОРУ ЗУ электроустановок выполнены по старым нормам, в большинстве случаев не соответствуют современным требованиям.

Анализ эксплуатационного состояния ЗУ включает оценку качества электрической связи ЗУ как ОРУ, так и конструкций и сооружений на всей станции. При этом немаловажно предварительно оценить удельное сопротивление грунта и коррозионное состояние существующего ЗУ. По предоставленным данным электроцеха энергообъекта было установлено, что проложенные в грунте заземлители подвержены коррозии, (их разрушение могло быть вызвано строительными работами и т.п.). Следовательно, в этих условиях заземляющий проводник или заземлитель, связь с которым проверяется, может сам оказаться не связанным с основной частью ЗУ объекта. Также выявлено, что целые ячейки ОРУ практически не связаны заземлителями с ЗУ основной части подстанции. Следовательно, проводить оценку коррозионного состояния существующего ЗУ – важно и необходимо для правильной работы станции.

В соответствие с техническим заданием на реконструкцию, МП аппаратура, обслуживающая ОРУ 220 кВ, должна размещаться в помещении релейного щита (рис.1). Значит, определение ЭМО может быть проведено методами как прямого измерения, так и имитационного моделирования. Предлагается оценку сопротивления связи осуществлять методом имитационного моделирования с использованием программы *Multisim*. Для этого имеет место рассмотреть два канала передачи информации, связанных общим обратным проводом (рис.2), роль которого выполняет сопротивление связи ЗУ. В каждом канале действуют ЭДС сигнала  $E_{c1}$  и  $E_{c2}$ , которые через соответствующие сопротивления проводов каналов связи  $Z_{np1}$  и  $Z_{np2}$  связаны с сопротивлениями нагрузки  $Z_{H1}$  и  $Z_{H2}$ , имеющими общую точку «0».

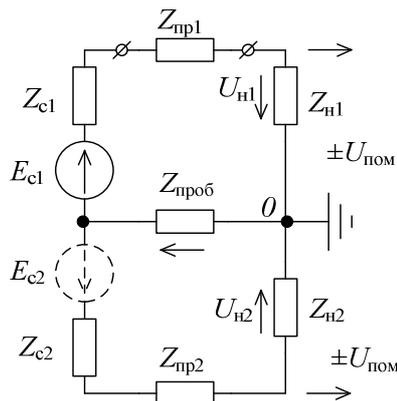


Рис. 2. – Поясняющая схема с общим обратным проводом

В этом случае из-за наличия общего сопротивления обратного провода  $Z_{об.пр.}$  напряжения на нагрузках будут отличаться от истинного  $U_c$  на определенную величину напряжения помехи  $U_{пом}$ , т.е.  $U_H = U_c + U_{пом}$ .

Для получения качественной и количественной оценки влияния обратного провода упрощенная схема механизма гальванической связи на примере схемы (рис.2), позволяет считать, что в первом канале действует один источник сигнала ЭДС  $E_{c1}$  с внутренним сопротивлением источника  $Z_{c1}$ . Во втором контуре сигнал отсутствует ( $E_{c2} = 0$ ): его источник представлен своим внутренним сопротивлением. Тогда, при наличии  $E_{c1}$  на сопротивлении нагрузки  $Z_{H2}$  будет возникать напряжение помехи  $U_{пом}$ , величина которой, в общем случае, зависит от соотношения параметров величин всех элементов данной схемы ( $E_{c1}$ ,  $Z_{np}$ ,  $Z_H$ ,  $Z_{об.пр.}$ ).

Для упрощения анализа можно использовать электрическую схему с активными сопротивлениями всех элементов, работающую от источника переменного напряжения  $E_c$ . Обозначим  $Z_c + Z_{np} = Z_1 \approx R_1$ ,  $Z_H = R_H$ ,  $Z_{об.пр.} = R_0$ , тогда схема по рисунку 2 примет вид, приведенный на рисунке 3. Примем положительное направление токов ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_0$ ) в контурах.

Напряжение помехи на сопротивлении нагрузки  $R_H$  равно:

$$U_{пом} = U_0 = I_2 \cdot R_{H2} = U_2.$$

Можно показать, что в этом случае:

$$U_2 = \frac{E_c \cdot R_0 \cdot R_{H2}}{R_0 \cdot R_{\Sigma 1} + R_0 \cdot R_{\Sigma 2} + R_{\Sigma 1} \cdot R_{\Sigma 2}}, \quad (1)$$

где  $R_{\Sigma 1} = R_1 + R_{H1}$ ,  $R_{\Sigma 2} = R_2 + R_{H2}$  – эквивалентные сопротивления независимых частей контуров.

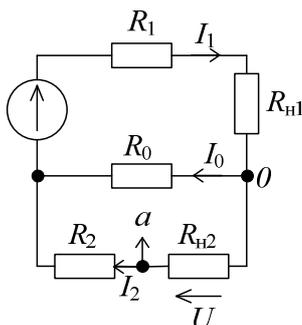


Рис. 3. – Эквивалентная схема гальванически связанных контуров с использованием активной составляющей сопротивлений

На основании изложенного, исследуемая лабораторная установка для оценки влияния гальванических связей и влияния общего обратного провода на уровень помех в гальванически связанных электрических цепях имеет вид (рис.4). Она подключается к регулируемому источнику постоянного напряжения в диапазоне от 0 до 60 В частотой 50 Гц.

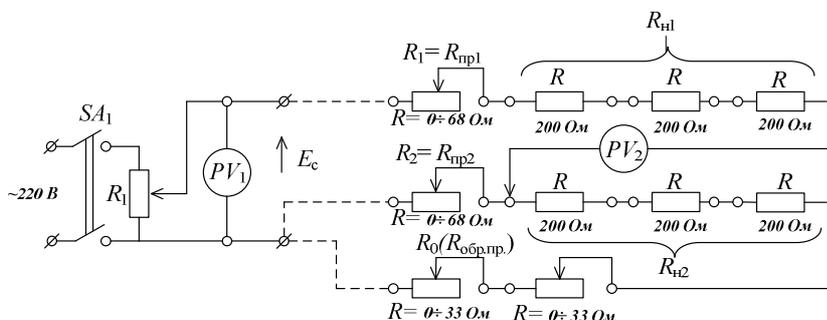


Рис. 4. – Электрическая схема установки для исследования влияния гальванических связей

Цепь состоит из набора независимых регулируемых наборов активных сопротивлений, из которых набираются два канала, соединяемых обратным проводом. Контроль  $E_c$  осуществляется вольтметром  $PV1$ , а напряжение помехи (наводки) – вольтметром  $PV2$ . Используя схему (рис.4), расчетно-экспериментальная оценка сопротивления связи ЗУ с использованием схемы замещения (рис.5), собранная в программе Multisim с одним источником сигнала и произвольным набором сопротивлений  $R_c + R_{пр}$ ,  $R_0$ ,  $R_n$ . позволяет провести необходимое количество измерений и соответствующие расчеты по формуле (1).

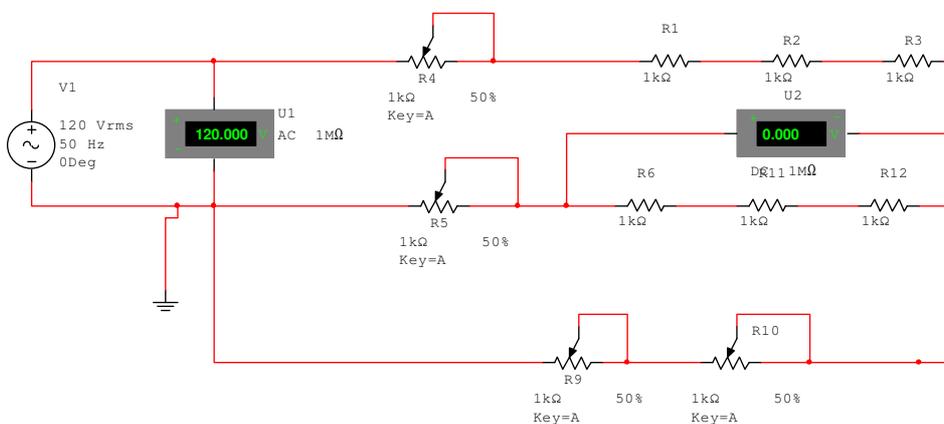


Рис. 5. – Схема замещения

Произведя несколько замеров напряжений помехи при различных сочетаниях  $E_c$  и сопротивлений  $R_{c1} + R_{пр1}$ ,  $R_{c2} + R_{пр2}$ ,  $R_{н1}$ ,  $R_{н2}$ ,  $R_0$ , для частного случая ( $R_{пр1} = R_{пр2} = R_0$ ;  $R_{н1} = R_{н2} = R_n$ ), а также при  $R_0 \rightarrow 0$  (устранение обратного провода) и сравнив полученные значения с расчетными по формуле (1) убедились, что наиболее эффективным является именно устранение обратного провода. Это значит, что сопротивление связи ЗУ должно быть как можно меньше, т.е.  $R_0 \rightarrow 0$ .

Следовательно, для устранения гальванических связей обратный провод должен иметь по возможности малое сопротивление или выполняться отдельно для каждого контура. Тогда даже при наличии гальванической связи между каналами (общая точка) взаимное влияние будет сведено к минимуму.

## ВЫВОДЫ

1) При строительстве новых и реконструкции существующих ЭС и ПС необходимо уделять внимание решению проблем ЭМС размещаемой на них МП аппаратуры РЗА, АСУ, АСКУЭ, связи и т.п.

2) Имеющиеся типовые проектные решения следует, по возможности, приводить в соответствие требованиям ЭМС ТС.

3) Все мероприятия по определению и улучшению ЭМО не дадут необходимого эффекта, если применяемая на ЭС и ПС электронная аппаратура не будет удовлетворять минимальным требованиям устойчивости к помехам, а значит и совершенствованию нормативно-технической документации, позволяющей осуществлять решение проблемы ЭМС параллельно процессу реконструкции ЭС и ПС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяков, А.Ф. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике [Текст] / А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов и др. Под ред. А.Ф. Дьякова. – М. : Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.
2. СО 34.35.311-2004 (РАО ЕЭС России). Методические указания по определению электромагнитной обстановки на электрических станциях и подстанциях [Текст]. – М. : Издательство МЭИ, 2004.
3. Фоменко, О.В. и др. Защита микропроцессорной аппаратуры и ее цепей от внешних электромагнитных воздействий естественного и искусственного происхождения [Текст] / О.В. Фоменко, А.В. Пашковский // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3(8). – С. 65–68.

## Influence of Communication Resistance on Damage of the Electronic Equipment in the Grounding Device

O.V. Fomenko\*, M.A. Kostenko\*\*, A.O. Novikova\*\*\*

*Volgodonsk Engineering Technical Institute  
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

\* e-mail: olvikfomenko@mail.ru, \*\* e-mail: privet.4321@mail.ru ; \*\*\* e-mail: novikova.9309@mail.ru

**Abstract** – In the article the experimental and settlement assessment of an electromagnetic situation is presented under the terms of protection of microprocessor equipment and secondary circuits on the open distributing device 220kV. In addition, actions for providing electromagnetic compatibility placed on it microprocessor equipment and its secondary circuits taking into account a condition of the grounding device are developed.

**Keywords:** electromagnetic situation, electromagnetic compatibility, open distributing device, grounding device, microprocessor equipment, resistance of communication.

## REFERENCES

- [4] Djakov A.F., Maksimov B.K. etc. Jeletromagnitnaja sovместimost v jeletrojenergetike i jeletrotehnike [Electromagnetic compatibility in power industry and electrical equipment]. / Pod red. A.F. Djakova [Edited by A.F. Diakov]. M. Pub. Jenergoatomizdat [Energoatomizdat], 2003, 768 p. (in Russian)
- [2] SO 34.35.311-2004 (RAO EJeS Rossii). Metodicheskie ukazanja po opredeleniju jeletromagnitnoj obstanovki na jelektricheskijh stancijah i podstancijah [SO 34.35.311-2004 (RAO UES of Russia). Methodical instructions by definition of an electromagnetic situation at power plants and substations]. M. Pub. Izdatelstvo MJeI [Moscow Power Engineering Institute publishing house], 2004. (in Russian)
- [3] Fomenko O.V., Pashkovskij A.V. Zashhita mikroprocessornoj apparatury i ee cepej ot vneshnih jeletromagnitnyh vozdeystvij estestvennogo i iskusstvennogo proishozhdenija [Protection of the microprocessor equipment and its chains against external electromagnetic influences of a natural and artificial origin]. Globalnaja jadernaja bezopasnost [Global Nuclear Safety], 2013, №3(8), ISSN 2305-414X, pp. 65–68. (in Russian)