
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.311

Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ: ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Анализируются требования к электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств при переходе электроэнергетики России на технологию *Smart Grid* (интеллектуальные сети).

Приведены основные понятия ЭМС, выполнен анализ нормативных документов, описаны электромагнитные помехи (ЭМП) и их влияние на различные технологические средства. Даны рекомендации по применению методов и средств снижения ЭМП.

Ключевые слова: интеллектуальные электрические сети, система электропитания, электромагнитные помехи, электромагнитная совместимость.

1. Введение

Техническое средство (ТС) – любое электротехническое, электронное и радиоэлектронное изделие, а также любое изделие, содержащее электрические и (или) электронные составные части, которое может быть отнесено к категориям: компонент, аппарат и установка [1].

Электромагнитная совместимость (ЭМС) – способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать не допустимых электромагнитных помех другим техническим средствам [1].

Электромагнитная обстановка (ЭМО) – совокупность электромагнитных явлений и процессов в заданной области пространства [1].

Электромагнитная помеха (ЭМП) – электромагнитное явление или процесс, которые снижают или могут снизить качество функционирования ТС [1].

Несоблюдение требований ЭМС в системах электроснабжения (СЭС) может быть связано со значительным ущербом, который в России составляет 25 млрд \$ в год [2].

При переводе электрических сетей на технологию *Smart Grid* ущерб от несоблюдения ЭМС будет увеличиваться, поскольку цифровые системы управления и защиты весьма чувствительны к отдельным видам ЭМП. Это связано с отсутствием: нормативно-правовых актов ответственности за нарушение ЭМС; постоянного контроля и мониторинга ЭМС; данных о помехоустойчивости выпускаемых ТС; серийного выпуска приборов анализа ЭМС. Имеет значение и недостаточное количество выпускаемых средств снижения ЭМП.

Проблема ЭМС должна решаться в следующих направлениях:

- разработка нормативно-правовых актов по ЭМС;
- определение ЭМП, создаваемых различными ЭП и ТС;
- определение восприимчивости ЭП и ТС к уровням ЭМП;
- расчет и прогнозирование ЭМП и ЭМС;
- применение методов и средств снижения ЭМП;
- разработка методов и средств кибербезопасности.

II. Обзор нормативно-правовых актов по ЭМС

Основным нормативным документом по ЭМС в России является технический регламент (ТР) «Электромагнитная совместимость технических средств» [1], принятый в 2011 г. Он содержит перечень стандартов (242 единицы), в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение данного ТР, и перечень стандартов (275 единиц), содержащих правила приема и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе – правила отбора образцов, необходимых для применения и исполнения требований ТР и осуществления оценки (подтверждения) соответствия продукции. Данный ТР распространяется на выпускаемые в обращении ТС, способные создавать ЭМП, и (или) качество функционирования которых зависит от воздействия внешних ЭМП.

Техническое средство, выпускаемое в обращение на территории РФ (компоненты, аппараты, стационарные подвижные системы и установки) может быть размещено на рынке и введено в эксплуатацию только в том случае, если подтверждено соответствие минимально необходимым (существенным) требованиям ТР, которые устанавливаются в ТР в отношении следующих ЭМП.

1. Низкочастотные кондуктивные:

- установившиеся отклонения напряжения электропитания;
- искажения синусоидальности напряжения электропитания;
- несимметрия напряжений в трехфазных СЭС;
- колебания напряжения электропитания;

- провалы, прерывания и выбросы напряжения электропитания;
- отклонения частоты в СЭС;
- напряжения сигналов, передаваемых в СЭС;
- постоянные составляющие в сетях электропитания переменного тока;
- наведенные низкочастотные напряжения.

2. *Низкочастотные излучаемые ЭМП:*

- магнитные поля;
- электрические поля.

3. *Высокочастотные кондуктивные ЭМП, включая промышленные радиопомехи:*

- напряжения или токи, представляющие собой непрерывные колебания;
- напряжения или токи, представляющие собой переходные процессы (апериодические и колебательные).

4. *Высокочастотные излучаемые ЭМП, включая промышленные радиопомехи:*

- магнитные поля;
- электрические поля;
- электромагнитные поля, в том числе вызываемые непрерывными колебаниями и переходными процессами.

5. *Электростатические разряды.*

К сожалению, принятый ТР не имеет правового статуса, соответственно, не определены органы государственного контроля (надзора), ответственные за соблюдение его требований и не разработаны штрафные санкции за их нарушение. Все это сдерживает решение проблемы ЭМС ТС в России и требует доработки данного ТР в связи с расширением ЕАЭС.

В Евросоюзе (ЕС) с 01.01.1996 вступила в силу Директива ЭМС 89/336/ЕС [3], утвержденная Советом Министров ЕС. Ее цель – защитить функционирование всего выпускаемого на рынок оборудования и ТС, которое является восприимчивым к ЭМП, от их воздействия. За нарушение Директивы ЭМС предусмотрены штрафные санкции и запрет на выпуск данного оборудования и ТС. С 1996 г. в ЕС не допускается продажа оборудования и ТС без сертификации их соответствия по ЭМС.

III. ЭМП создаваемые различными ЭП и ТС

Для построения СЭС с учетом ЭМС необходимо знать характер и величину ЭМП, создаваемую ЭП и ТС входящими в эту СЭС. В [4-6] приводятся результаты исследований ЭМП создаваемых ЭП и ТС. Основное внимание в них уделяется кондуктивным ЭМП, т.е., помехам, которые распространяются в проводящих средах (провода, кабели, системы заземления и т.д.) Наличие в интеллектуальных сетях большого количества электронных и цифровых элементов, которые чувствительны не только к

кондуктивным ЭМП, но и к ЭМП излучения, распространяющимся в пространстве, требует детального изучения их влияния на цифровые системы интеллектуальных сетей. Результатом исследования должны стать требования к нормированию влияния данных помех, которые впоследствии необходимо внести в стандарт ТР.

Восприимчивость ЭП и ТС к уровням ЭПМ характеризуется как помехоустойчивость – способность ТС и ЭП сохранять заданное качество функционирования при воздействии на них внешних ЭМП с регламентированными значениями параметров [1]. Значение помехоустойчивости ЭП и ТС является необходимым условием построения СЭС с учетом ЭМС. Помехоустойчивость ЭП и ТС закладывается в процессе их изготовления: чем она выше, тем дороже ЭП и ТС. В [7] показано, что в наших стандартах заложены более жесткие требования к помехоустойчивости ЭП и ТС, чем в странах ЕС, причем обоснований этого ужесточения нигде не опубликовано. Соответственно, наша электротехническая продукция дороже Европейской, что затрудняет ее экспорт.

При установлении норм на помехоустойчивость необходимо учитывать ущербы, которые возникают при воздействии на ЭП и ТС различных видов ЭМП. В [8, 9] приведены значения данных ущербов в долях от общего ежегодного ущерба:

- 1) провалы напряжения и кратковременные прерывания электроснабжения – 57,7 %;
- 2) перенапряжения и переходные процессы – 34,4 %;
- 3) длительные перерывы электроснабжения – 4,3 %;
- 4) фликер, несимметрия, проблемы заземления – 2,7 %;
- 5) высшие гармоники – 0,9 %.

Как видно, преобладающий ущерб наблюдается от первых двух групп ЭМП. Но допустимых норм ЭМП для этих групп в новом стандарте ГОСТ 32144-2014 [10] даже не дается, а основное внимание уделено ЭМП 3-5 групп.

В [11] приведены разработанные в США кривые допустимых амплитуд провалов, кратковременных перерывов, перенапряжений и переходных процессов в зависимости от их продолжительности (кривые *СВЕ-МА*, *ITIG* и *SEMI F47*), которым должны соответствовать выпускаемые в США вычислительная и информационная техника. Данные кривые можно использовать и в РФ.

В [12] изложены современные требования и эффективные инженерные методы обеспечения ЭМС при проектировании и монтаже электротехнических и электронных систем и установок с учетом требований Европейской директивы по ЭМС. В России при производстве таких систем необходимо в технической документации приводить сведения о ЭПМ, ко-

торые они генерируют, а также сведения об их чувствительности к различным видам ЭМП.

IV. Расчет и прогнозирование ЭМП и ЭМС

Методы расчета некоторых видов ЭМП и ЭМС изложены в работах [4-6], в основном это касается расчета отклонений, колебаний, несинусоидальности и несимметрии напряжений. Учитывая случайный характер ЭМП и ЭМС, для их расчета и прогнозирования весьма перспективно имитационное моделирование СЭС в программных продуктах *PSCAD* и *MatLab Simulink*. Данные продукты позволяют исследовать влияние любых видов ЭМП на ЭП и ТС не только в нормальных режимах их работы, но и при переходных процессах и коротких замыканиях. В связи с этим, необходимо подготовить рекомендации, определяющие методы расчета и прогнозирования ЭМП и ЭМС с учетом современных средств имитационного моделирования сети.

В СЭС обеспечить ЭМС можно схемными путями и применением специальных устройств.

Схемные пути обеспечения ЭМС являются наиболее простыми и экономичными. Можно рекомендовать следующие схемные решения [5, 10]:

- 1) разделение питания ЭП и ТС создающих ЭМП и чувствительных к ЭМП;
- 2) увеличение мощности источников питания СЭС;
- 3) применение блокировок для ограничения одновременной работы крупных ЭП создающих ЭМП;
- 4) равномерное распределение однофазных ЭП по парам фаз;
- 5) применение многопульсных систем выпрямителей;
- 6) применение активных выпрямителей с широтно-импульсной модуляцией.

В соответствии с ГОСТ 32144 [10], ЭМС должна обеспечиваться в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей (точки общего присоединения – ТОП). Для промышленных СЭС, которые характеризуются большим количеством ЭП, создающих различные ЭМП и ЭП чувствительных к ЭМП, ЭМС должна обеспечиваться не только в ТОП, но и в точках внутреннего присоединения (ТВП) ЭП к питающим распределительным пунктам (РП) в соответствии со стандартами МЭК 61000-2-4 и ГОСТ Р 21317.5.4 [13]. В данных стандартах для каждой ТВП установлены три класса ЭМО, в зависимости от видов ЭП и ТС, присоединенных к данной ТВП.

Класс 1 применяется для ЭМО в защищенных СЭС. Он соответствует присоединению в данной ТВП ЭП и ТС очень восприимчивых в ЭПМ, например, контрольно-измерительного лабораторного оборудова-

ния, средств управления технологическими процессами и защиты, вычислительных центров и т.д.

Класс 2 применяется для ЭМО в ТОП и ТВП для промышленных условий эксплуатации ЭП и ТС. Уровни ЭМС данного класса идентичны уровням ЭМС для СЭС общего назначения [10]. Данный класс соответствует присоединению к ТВП ЭП и ТС, не оказывающих большого влияния на ЭМС и не очень чувствительных к ЭМП. Это насосы, вентиляторы, компрессоры, дымососы, станки, электрические печи сопротивления и т.д.

Класс 3 применяется только для ТВП в промышленных условиях эксплуатации. ЭМО может быть отнесена к классу 3, если: питание большей части ЭП и ТС осуществляется от преобразователей тока или частоты; имеют место электросварочная нагрузка, частые пуски электродвигателей; резкие изменения нагрузки.

Ряд ЭП влияют на ЭМС больше, чем ЭП третьего класса (дуговые печи, прокатные станы, крупные электролизные установки). Питание этих ЭП следует отделять от остальных, а нормы ЭМС согласовывать с электроснабжающими организациями. Питание ЭП первого класса также надо отделять от ЭП других классов, а при совместном питании применять защиты от ЭМП. Это системы бесперебойного питания, фильтры или устройства подавления сетевых помех. Разделение ЭП и ТС на классы позволяет значительно упростить построение СЭС с учетом ЭМС. Рекомендуемые схемы питания ЭП различных классов приведены в [5]. Если не удастся схемными путями обеспечить в СЭС ЭМС, необходимо применять специальные средства. Применительно к СЭС городов и промышленных предприятий к таким средствам относятся [5, 6, 14, 15]:

- 1) применение трансформаторов с автоматическим регулированием напряжения;
- 2) применение источников бесперебойного питания;
- 3) применение продольной компенсации;
- 4) применение пассивных фильтров;
- 5) применение активных фильтров;
- 6) применение гибридных фильтров;
- 7) применение корректоров коэффициента мощности;
- 8) применение статических тиристорных компенсаторов;
- 9) применение СТАТКОМов;
- 10) применение трансформаторно-тиристорных регуляторов напряжения и мощности (ТТРНМ);
- 11) применение динамических компенсаторов;
- 12) применение устройств плавного пуска электродвигателей;
- 13) использование систем резервного электроснабжения от мотор-генераторов.

В. Выводы

Существующая нормативная документация по техническому регулированию является не совершенной. Требования ТР не позволяют полностью обеспечить ЭМС при переходе на технологию *Smart Grid*, что требует внесения дополнений в регламент.

Корректировка ТР должна производиться с учетом: требований нормирования параметров ЭМП, распространяющихся в пространстве; восприимчивости ЭП и ТС к уровням ЭМП в части снижения нормативных значений; применения методов и средств для обеспечения ЭМС в части ЭП, особенно сильно оказывающих влияние на ЭМС; расчета и прогнозирования ЭМП и ЭМС в части выбора методики расчета.

Предложенные новые требования обеспечат повышение качества технического регулирования. Дефицит правовой документации, регулирующей взаимоотношения между субъектами рынка электроэнергетики и определяющей ответственности и степень ответственности за неисполнение обязательств, не позволит решить проблему ЭМС даже при совершенной нормативной документации в отношении технического регулирования. Одним из необходимых правовых требований является обязанность производителей ТС приводить данные о помехоустойчивости в технической документации на продукцию. Необходимость разработки и внедрения правовой базы очевидна

© Вагин Г.Я., 2020

© Севостьянов А.А., 2020

Библиографический список

- [1] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 020/2011. Электромагнитная совместимость технических средств. Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9.12.2011 г. №879. – 29 с. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.eurasiancommission.org/ky/act/tehnreg/deptexreg/tr/Documents/TehReg%20TS%20EMS.pdf>
- [2] Доборусин Л.А. Проблемы качества электроэнергии и электроснабжения в России // Энергоэксперт. 2008. № 4 (9). С.30-35.
- [3] Commission communication in the framework of the implementation of the Council Directive 89/336/EEC — December 1998 // Official Journal of the European Communities. 1999. № 42 (C 57). С. 2-18.
- [4] Борисов Б.П., Вагин Г.Я. Электроснабжение электротехнологических установок. Киев: Наукова думка, 1985. – 148 с.
- [5] Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Севостьянов А.А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Н. Новгород, НГТУ, 2004. – 214 с.

- [6] Жежеленко И.В., Шидловский А.К., Пивняк Г.Г., Саенко Ю.Л., Нойбергер Н.А. Электромагнитная совместимость потребителей. М.: Машиностроение, 2012 – 351 с.
- [7] Вагин Г.Я., Севостьянов А.А. О необходимости приведения норм ГОСТ 13109-97 к требованиям международных стандартов // Промышленная энергетика. 2004. № 9. С. 45-49.
- [8] Менсон Дж. Решение проблем качества электроэнергии дешевле, чем терпеть от нее убытки // Энергоэксперт. 2008. № 4 (9). С. 49-52.
- [9] Вагин Г.Я., Куликов А.Л. Качество электрической энергии в системах электроснабжения. Анализ состояния методов нормирования и контроля // Электрические станции. 2019. № 6 (1055). С. 54-59.
- [10] ГОСТ 32144 – 2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
- [11] Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях. М.: Додэка – XXI, 2008. – 336 с.
- [12] Ульямс Т., Амстронг К. ЭМС для систем и установок. М.: ИД Технологии, 2004. – 508 с.
- [13] ГОСТ Р 51317.2.4 – 2000 (МЭК 61000-2-4-94). Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Уровни электромагнитной совместимости для низкочастотных кондуктивных помех в системах электроснабжения промышленных предприятий. Введ. 2002-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 16 с.
- [14] Чивенков А.И. Развитие методов и средств регулирования напряжения и мощности в системах электроснабжения с автономными источниками энергии: автореф. дис. докт. техн. наук, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород, 2015. – 41 с.
- [15] Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш. О трансформаторно-тиристорном регуляторе напряжения и мощности // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. № 4. С.24-26.

G.Ya. Vagin, A.A. Sevostyanov

SMART GRID: REQUIREMENTS FOR ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF TECHNICAL EQUIPMENT

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article analyzes the requirements for electromagnetic compatibility (EMC) of technical means during the transition of the Russian electric power industry to Smart Grid technology.

The basic concepts of EMC are presented, an analysis of regulatory documents is performed, electromagnetic interference (EMF) and their influence on various technological means are described. Recommendations are given on the application of methods and means of reducing EMF.

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, power supply systems, smart grid.

References

- [1] Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 020/2011. Elektromagnitnaya sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv [Technical regulations of the Customs Union TP TC 020/2011. Electromagnetic compatibility of technical means]. Approved by decision of the Customs Union Commission No. 879 of Dec. 9, 2011 [Online]. Available at: <http://www.eurasiancommission.org/hy/act/texnreg/deptexreg/tr/Documents/TehReg%20TS%20EMS.pdf>.
- [2] L.A. Doborusin, "Problemy kachestva elektroenergii i elektrosnabzheniya v Rossii [Problems of the quality of electricity and electricity supply in Russia]", *Energoekspert [Energyexpert]*, no. 4 (9), pp. 30-35, 2008 (in Russian).
- [3] "Commission communication in the framework of the implementation of the Council Directive 89/336/EEC — December 1998", *Official Journal of the European Communities*, vol. 42 (C 57), pp. 2-18, Feb. 27, 1999.
- [4] B.P. Borisov and G.Ya. Vagin, *Elektrosnabzhenie elektrotekhnologicheskikh ustanovok [Power supply of electrotechnological installations]*. Kiev: Naukova Dumka, 1985 (in Russian).
- [5] G.Ya. Vagin, A.B. Loskutov and A.A. Sevostyanov, *Elektromagnitnaya sovmestimost' v elektroenergetike [Electromagnetic compatibility in the electric power industry]*. Nizhny Novgorod: NNSTU, 2004 (in Russian).
- [6] I.V. Zhezhelchenko, A.K. Shidlovsky, G.G. Pivnyak, Yu.L. Saenko and N.A. Neuberger, *Elektromagnitnaya sovmestimost' potrebitelej [Consumer Electromagnetic Compatibility]*. Moscow: Mashinostroenie, 2012 (in Russian).
- [7] G.Ya. Vagin and A.A. Sevostyanov, "O neobходимosti privedeniya norm GOST 13109-97 k trebovaniyam mezhdunarodnykh standartov [On the need to bring the

- norms of GOST 13109-97 to the requirements of international standards]”, *Industrial Power Engineering*, no. 9. pp. 45-49, 2004 (in Russian).
- [8] D. Manson, “Reshenie problem kachestva elektroenergii deshevle, chem terpet' ot nee ubytki [Solving power quality problems is cheaper than sustaining losses from it]”, *Energoekspert [Energyexpert]*, no. 4 (9), pp. 49-52, 2008 (in Russian).
- [9] G.Ya. Vagin and A.L. Kulikov, “Electricity quality in power supply systems. Analysis of rationing and control methods”, *Electrical stations*, no. 6 (1055), pp. 54-59, 2019.
- [10] Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems, GOST 32144-2013, July 2014.
- [11] A. Kusko and M.T. Thompson. Power quality in electrical systems. New York: McGraw-Hill, 2007.
- [12] T. Williams and K. Armstrong. EMC for Systems and Installations. Oxford: Newnes, 2000.
- [13] Electromagnetic compatibility of technical equipment. Electromagnetic environment. Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances in industrial plants, GOST R 51317.2.4 – 2000 (IEC 61000-2-4-4), Jan. 2002.
- [14] A.I. Chivenkov, “*Razvitie metodov i sredstv regulirovaniya napryazheniya i moshchnosti v sistemah elektrooborudovaniya s avtonomnymi istochnikami energii [Development of methods and means for regulating voltage and power in power supply systems with autonomous energy sources]*”, *Doct. of Tech. S. thesis*, NNSTU, Nizhny Novgorod, Russia, 2015 (in Russian).
- [15] E.N. Sosnina and R.Sh. Bedretdinov, “About transformer-thyristor voltage and power regulator”, *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont [Electric equipment: operation and repair]*, no. 4, pp. 24-26, 2013