

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются практические проблемы обеспечения электромагнитной совместимости технических средств системы собственных нужд, возникающие при модернизации и реконструкции существующих подстанций высокого напряжения. Анализ проблем проведён на основании данных, полученных авторами при выполнении обследований электромагнитной обстановки на действующих объектах. Проанализированы действующие технические нормативные правовые акты и те указания, которые даются в них для решений имеющихся проблем.

ANNOTATION

This article describes practical problems with electromagnetic compatibility of technical equipment in auxiliary systems which occur during reconstruction existing high voltage substations. The authors use his practical experience as the base for analysis. In the article also is made the analysis of standards content which connected with auxiliary systems of high voltage substations.

Как защитить систему собственных нужд подстанции от помех

М. И. Фурсанов, д. т. н., профессор, зав. кафедрой «Электрические системы» БНТУ, П. В. Криксин, главный инженер ООО «АЭСАТ Электрик», аспирант БНТУ

Введение

Приёмниками электроэнергии собственных нужд (СН) подстанций являются различные силовые и электронные устройства. Ряд приёмников СН выполняет ответственные функции: защита, управление, сигнализация, телемеханика, автоматика, и даже кратковременный их отказ в работе может привести к частичному или полному отключению подстанции.

Надёжность работы приёмников СН связана с рядом факторов, одним из которых является электромагнитная совместимость (ЭМС). Необходимость её обеспечения обусловлена высоким уровнем электромагнитных помех (ЭМП) на подстанциях и высокой чувствительностью к ним ряда устройств.

Задача по обеспечению ЭМС приёмников СН должна решаться на стадии проектирования. Для реконструируемой подстанции перед началом проектирования необходимо провести обследование действующей системы СН и на основании полученных данных и выявленных недостатков разработать проект. Такой подход позволяет обеспечить ЭМС приёмников СН наиболее эффективно и с минимальными затратами. Требования к разработке проекта на основании проведённых исследований электромагнитной обстановки (ЭМО) СН подстанции устанавливаются как белорусскими стандартами [1, 2], так и российскими [3, 4].

В статье описан опыт авторов по проведению обследования ЭМО СН на подстанциях напряжением 110 и 330 кВ, приведены требования к СН в технических нормативных правовых актах, анализируются основные несоответствия ЭМС потребителей СН и причины их возникновения.

Потребители

Потребителями системы СН могут быть различные устройства, состав, мощность и тип которых варьируется от вида и особенностей подстанции. В общем случае потребителями СН являются:

- ♦ нагревательная нагрузка (обогрев шкафов, приводов, коммутационных аппаратов, оперативного пункта управления (ОПУ), релейного щита);
- ♦ осветительная нагрузка (освещение распределительных устройств, ОПУ, релейного щита, подсобных зданий и помещений);
- ♦ приводные механизмы коммутационных аппаратов и РПН;
- ♦ приводные механизмы компрессоров, насосов пожаротушения, систем охлаждения трансформаторов, реакторов и других механизмов;
- ♦ выпрямительные и зарядные устройства, питающие систему постоянного оперативного тока;
- ♦ устройства релейной защиты, противоаварийной автоматики, регистрирующие приборы, электромагнитная блокировка, цепи управления, устройства поиска места повреждения в системе постоянного оперативного тока;

- ♦ устройства связи, сигнализации, телемеханики, компьютеры;
- ♦ щитовые приборы, мнемосхемы;
- ♦ вентиляция, кондиционеры, бытовой обогрев;
- ♦ сварочные посты, силовые розетки для бытовых и промышленных нужд.

Перечисленные потребители занимают различные места в технологическом процессе. Сбой или поломка каждого из них по-разному скажется на работе подстанции в целом. Требования к функционированию устройств при воздействии ЭМП можно разделить по следующим критериям [5]:

- А** — нормальное функционирование технического средства в соответствии с установленными требованиями;
- В** — временное ухудшение или потеря функции или работоспособности технического средства, которые самовосстанавливаются;
- С** — временное ухудшение или потеря функции или работоспособности технического средства, которые требуют вмешательства оператора или перезапуска системы;
- Д** — ухудшение или потеря функции, которые не могут быть восстановлены из-за повреждения оборудования (компонентов), программного обеспечения или потери данных.

Если рассмотреть ответственность функций, выполняемых потребителями СН, то в порядке убывания их можно ранжировать следующим образом [5]:

- ♦ защита технологического процесса, обработка данных и регулирование в режиме online;
- ♦ управление и контроль, обеспечение работоспособности устройств, защита от аварийных процессов;

- ♦ снятие показаний, сигнализация, наблюдение, интерфейс «человек-машина»;
- ♦ передача данных и сообщений, сбор и хранение данных, измерения;
- ♦ обработка данных вне режима online, мониторинг, самодиагностика;
- ♦ вспомогательные промышленные и бытовые потребители.

Сопоставление приведённой выше информации выполнено в табл. 1.

Из приведённой классификации следует, что большая часть потребителей СН выполняет ответственные функции и требует особого внимания к обеспечению надёжности их функционирования.

Влияние помех на потребителя

Для разработки мероприятий по обеспечению ЭМС потребителей СН и выполнения работ по обследованию ЭМО необходимо знать механизм влияния помех, который для общего случая представлен на рис. 1.

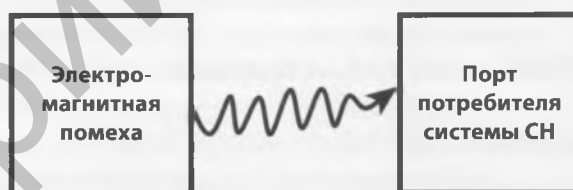


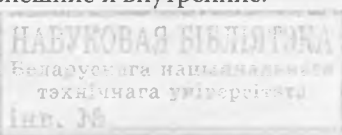
Рис. 1. Структура механизма влияния

Источники помех

В процессе работы приёмники СН подвергаются различным электромагнитным воздействиям, которые можно разделить на внешние и внутренние.

Таблица 1. Разделение нагрузки по критериям в зависимости от выполняемых функций

Критерий	Выполняемая функция	Потребители СН
А	<ul style="list-style-type: none"> • защита технологического процесса, обработка данных и регулирование в режиме online; • управление и контроль, обеспечение работоспособности устройств, защита от аварийных процессов 	<ul style="list-style-type: none"> • нагревательная нагрузка (обогрев шкафов, приводов, коммутационных аппаратов, ОПУ, релейного щита); • приводные механизмы коммутационных аппаратов и РПН; • приводные механизмы компрессоров, насосов пожаротушения, систем охлаждения трансформаторов, реакторов и других механизмов; • выпрямительные и зарядные устройства, питающие систему постоянного оперативного тока; • устройства релейной защиты, противоаварийной автоматики, регистрирующие приборы, электромагнитная блокировка, цепи управления, устройства поиска места повреждения в системе постоянного оперативного тока
В	<ul style="list-style-type: none"> • снятие показаний, сигнализация, наблюдение, интерфейс «человек-машина»; • передача данных и сообщений, сбор и хранение данных, измерения 	<ul style="list-style-type: none"> • устройства связи, сигнализации, телемеханики, компьютеры; • щитовые приборы, мнемосхема
С	<ul style="list-style-type: none"> • обработка данных вне режима online, мониторинг, самодиагностика; • питание вспомогательной промышленной и бытовой нагрузки 	<ul style="list-style-type: none"> • осветительная нагрузка (освещение распределительных устройств, ОПУ, релейного щита, подсобных зданий и помещений); • сварочные посты, силовые розетки для бытовых и промышленных нужд; • вентиляция, кондиционеры, бытовой обогрев



Внешние электромагнитные воздействия связаны с:

- ♦ ударами молнии;
- ♦ коммутациями в сети высокого напряжения;
- ♦ токами короткого замыкания в сети высокого напряжения;
- ♦ электростатическими разрядами;
- ♦ электромагнитными полями радиочастоты;
- ♦ плохими показателями качества электроэнергии, обусловленными внешней сетью;
- ♦ нормальной работой силового оборудования в высоковольтной сети и возникающими при этом помехами;
- ♦ Другими электромагнитными воздействиями.

Внутренние электромагнитные воздействия связаны с:

- ♦ короткими замыканиями в сети СН;
- ♦ коммутациями индуктивной и ёмкостной нагрузки в сети СН;
- ♦ плохими показателями качества электроэнергии, связанными с нелинейными нагрузками, неправильным распределением нагрузки по фазам, пусковыми токами двигателей, работой сварочных аппаратов и другими причинами.

Виды помех

Единичное электромагнитное воздействие может создавать ряд ЭМП и оказывать воздействия на различные компоненты системы собственных нужд. Существуют различные классификации ЭМП: по источнику, типу распространения, типу сигнала, длительности воздействия, вероятности появления и др. В рамках статьи классифицируем помехи по частоте и способу распространения [6]:

- ♦ кондуктивные низкочастотные:
 - гармоники, интергармоники напряжения электропитания;
 - напряжения сигналов, передаваемых в системах электропитания;
 - колебания напряжения электропитания;
 - провалы, кратковременные прерывания и выбросы напряжения электропитания;
 - отклонения напряжения электропитания;
 - несимметрия напряжения в трёхфазных системах электроснабжения;
 - изменения частоты питающего напряжения;
 - постоянные составляющие в сетях электропитания переменного тока;
- ♦ излучаемые низкочастотные:
 - магнитные поля;
 - электрические поля;

- ♦ кондуктивные высокочастотные:
 - наведённые напряжения или токи непрерывных колебаний;
 - апериодические переходные процессы;
 - колебательные переходные процессы;
- ♦ излучаемые высокочастотные:
 - магнитные поля;
 - электрические поля;
 - электромагнитные поля, в том числе вызываемые:
 - непрерывными колебаниями;
 - переходными процессами;
- ♦ электростатические разряды.

Механизм распространения помех

Существуют различные механизмы распространения ЭМП, среди которых выделяют [7]:

- ♦ гальваническую связь;
- ♦ связь через электрическое поле;
- ♦ связь через магнитное поле;
- ♦ связь через электромагнитное излучение.

Механизм воздействия помех на потребителя

ЭМП может воздействовать непосредственно на само техническое средство или через подключённые к нему линии коммуникации. Конечной точкой воздействия ЭМП являются порты технического средства, среди которых для потребителей СН можно выделить (см. рис. 2):

- ♦ порт корпуса;
- ♦ порт электропитания переменного тока;
- ♦ порт ввода-вывода сигналов;
- ♦ порт заземления.

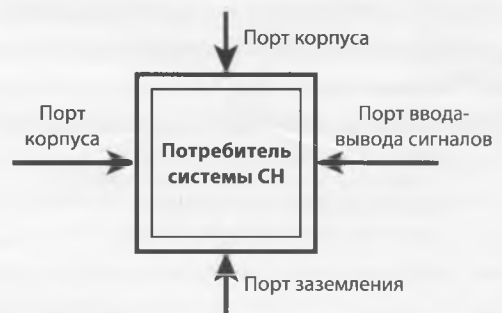


Рис. 2. Порты технического средства

Каждый порт технического средства характеризуется степенью устойчивости к воздействующей ЭМП. Помехоустойчивость портов обеспечивается и проверяется при изготовлении и выпуске устройства.

Для получения общей картины механизмов влияния помех сведём описанные выше положения в табл. 2.

Таблица 2. Механизмы влияния помех

Электромагнитное воздействие	Электромагнитная помеха	Механизм распространения помех	Порт, на который оказывается воздействие
Внешние электромагнитные воздействия			
Удар молнии	Кондуктивные высокочастотные	Гальваническая связь	Ввод-вывод сигналов, питания, заземление
Коммутации в сети ВН	Излучаемые высокочастотные	Связь через электромагнитное поле	Корпус, ввод-вывод сигналов, питания
Токи КЗ в сети ВН	Кондуктивные высокочастотные и низкочастотные	Гальваническая связь	Ввод-вывод сигналов, питания, заземление
	Излучаемые высокочастотные	Связь через электромагнитное поле	Корпус, ввод-вывод сигналов, питания
	Излучаемые низкочастотные	Связь через магнитное поле	Корпус, ввод-вывод сигналов, питания
Электростатические разряды	Электростатические разряды	Гальваническая связь	Корпус
Электромагнитные поля радиочастоты	Излучаемые высокочастотные	Связь через электромагнитное поле	Корпус, ввод-вывод сигналов, питания
Внешние воздействия на показатели качества электроэнергии	Кондуктивные высокочастотные и низкочастотные	Гальваническая связь	Ввод-вывод сигналов, питания, заземление
Помехи от работающего оборудования	Излучаемые низкочастотные	Связь через магнитное поле и (или) электрическое	Корпус, ввод-вывод сигналов, питания
Внутренние электромагнитные воздействия			
КЗ в СН	Кондуктивные высокочастотные и низкочастотные	Гальваническая связь	Питания, заземления
Коммутации в СН	Кондуктивные высокочастотные и низкочастотные	Гальваническая связь	Питания, заземления
Внутренние воздействия на показатели качества электроэнергии	Кондуктивные высокочастотные и низкочастотные	Гальваническая связь	Питания

Требования стандартов

Рассмотрим технические требования, которые должны предъявляться к СН с точки зрения ЭМС исходя из опыта авторов обследования ЭМО и анализа документов. К ним следует отнести требования к:

- ♦ организации электрической схемы сети СН;
- ♦ организации системы заземления нейтрали СН;
- ♦ кабельной канализации, силовым и контрольным кабелям;
- ♦ защите потребителей и самих СН от ЭМП, в том числе к защите от перенапряжений;
- ♦ показателям качества электроэнергии;
- ♦ помехоустойчивости потребителей;
- ♦ помехоэмиссии потребителей.

Помимо выполнения технических требований необходимо нормировать процедуры, направленные на достижение ЭМС потребителей СН. Такими процедурами являются:

- ♦ постановка в техническом задании требований к объёму и составу разрабатываемого проекта по СН;
- ♦ проведение обследований СН перед разработкой проекта для действующих объектов;
- ♦ проведение экспертизы проекта для анализа принятых в проекте мер;
- ♦ проведение измерений и испытаний после сооружения СН для анализа достаточности принятых мер;
- ♦ проведение измерений и испытаний СН в процессе текущей эксплуатации.

В Беларуси нет стандарта, который бы однозначно устанавливал требования к ЭМС потребителей СН. Такие требования в разном объёме указаны в ряде стандартов, обзор которых приведён в табл. 3.

Анализ нормативных документов (табл. 3) показывает их основные недостатки:

- ♦ отсутствуют указания на объём проводимых исследований СН, в связи с чем исследования либо

Таблица 3. Требования стандартов к ЭМС потребителей СН

Наименование ТНПА	Перечень требований к СН
ТКП 339-2011	• необходимость обеспечения ЭМС ТС (п. 4.1.5–4.1.7) • защита кабелей на опорах с молниеотводами от перенапряжений (п. 6.2.8.9)
ТКП 336-2011	• защита зданий и сооружений от влияний молнии
ГОСТ 13109-97	• нормирование показателей качества электроэнергии
СТП 09110.01.2.104-07	• кабельная канализация и экранирование цепей; • защита от импульсных перенапряжений; • обследование СН перед разработкой проекта
СТП 09110.47.104-08	• кабельная канализация и экранирование цепей; • мероприятия по защите технических средств от помех; • требования к помехоустойчивости технических средств
СТП 09110.35.302-09	• соответствие помехоустойчивости установленных технических средств существующей ЭМО

не проводятся вообще, либо проводятся недостаточно глубоко;

- ◆ отсутствует перечень требований к проверке ЭМС СН в процессе текущей эксплуатации;
- ◆ отсутствует чёткий перечень требований, предъявляемых к СН с точки зрения ЭМС, в связи с чем многие ключевые вопросы на стадии проектирования не рассматриваются вообще (качество электроэнергии, защита от перенапряжений, организация схемы питания и др.);
- ◆ отсутствуют требования к заземлению нейтрали, в связи с чем применяется неэффективная с точки зрения ЭМС система TN-C;
- ◆ некоторые из предписанных положений нереализуемы на практике (ТКП 339-2011, п.6.2.8.9).

Практический опыт обследования потребителей СН

Задача обследования СН подстанции на практике, как правило, возникает в следующих случаях:

- ◆ перед разработкой проекта по реконструкции подстанции для сбора исходных данных и анализа существующей ЭМО;
- ◆ после нового строительства или реконструкции подстанции для анализа достаточности принятых в проекте мер.

Задачи подобного рода решались авторами на 18 подстанциях напряжением от 35 до 330 кВ. При обследовании СН применялись следующие методы:

- ◆ прямые измерения ЭМП (качество электроэнергии, электромагнитные поля, разряды статического электричества, коммутации);
- ◆ имитационное моделирование (токи короткого замыкания, коммутации, удары молнии);
- ◆ расчётные методы;
- ◆ анализ схем организации питания потребителей СН и режимов их работы;

- ◆ анализ помехоустойчивости потребителей СН, требований к критериям качества функционирования.

По результатам проведённых исследований можно выделить следующие типичные несоответствия и недостатки:

- ◆ применяется неэффективная с точки зрения ЭМС система заземления нейтрали;
- ◆ отсутствует разделение нагрузки по фидерам в зависимости от чувствительности потребителей к ЭМП и влияний потребителей на показатели качества электроэнергии;
- ◆ не применяются решения по защите потребителей от перенапряжений и других ЭМП;
- ◆ кабельная канализация не соответствует требованиям ЭМС;
- ◆ показатели качества электроэнергии не соответствуют требованиям ГОСТ;
- ◆ компоновка объекта и расположение устройств, как правило, неудачны (кабельная канализация вблизи молниеотводов, технические средства вблизи источников ЭМП и др.);
- ◆ решения по экранированию вторичных цепей либо отсутствуют, либо они неправильные (неоптимальные);
- ◆ несоответствие фактически выполненного монтажа требованиям проекта и ТНПА, особенно это касается заземления;
- ◆ оборудование выбирается без учёта требований к помехоустойчивости и помехоэмиссии;
- ◆ не проводятся проверки ЭМС потребителей СН как при вводе, так и в процессе текущей эксплуатации;
- ◆ модернизация СН и внедрение современных электронных устройств проводится без учёта требований ЭМС.

Некоторые из описанных выше несоответствий проиллюстрированы на рис. 3–6.



Рис. 3. Высоковольтные шины расположены непосредственно над релейным щитком и распределительным устройством СН



Рис. 4. Силовые и контрольные кабели проложены совместно без соблюдения защитного расстояния



Рис. 5. Кабель питания освещения заведён на опору с молниеотводом без соблюдения защитных мер

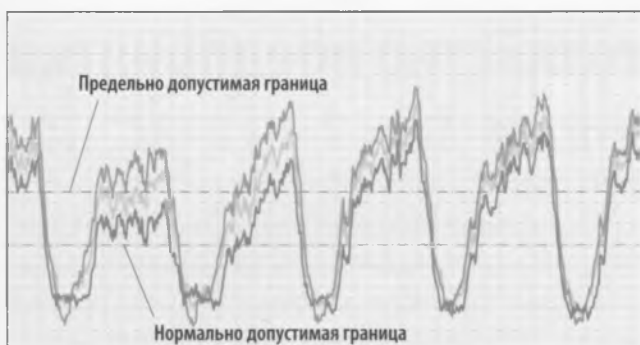


Рис. 6. Третья гармоника по напряжению превышает заданные ГОСТ 13109-97 нормально и предельно допустимые значения

Заключение

Система собственных нужд подстанций высокого напряжения является вспомогательным элементом по отношению к основному технологическому процессу передачи и преобразования электроэнергии. Второстепенная роль во многом обуславливает тот недостаток внимания, который уделяется этой системе. В результате этого как при проектировании, так и в процессе эксплуатации многие из ключевых моментов по организации и обслуживанию СН упускаются из виду. Такое положение дел ведёт к значительному снижению надёжности работы СН и питаемых от неё потребителей, ряд из которых требуют качества функционирования по критерию «А», то есть их работа непосредственно связана с надёжностью технологического процесса. Выход из строя таких потребителей может привести к серьёзным экономическим последствиям, связанным с недоотпуском электроэнергии и повреждением оборудования.

Как свидетельствует опыт авторов, ситуация с ЭМС потребителей СН на действующих подстанциях является неудовлетворительной. Сложившаяся ситуация во много связана с отсутствием чётких требований к ЭМС потребителей СН в технических нормативных правовых актах и процедур, которые позволяют контролировать выполнение этих требований. С другой стороны, проблемы связаны с отсутствием должного внимания к помехозащищённости оборудования СН со стороны проектных и эксплуатирующих организаций.

Для улучшения сложившейся ситуации, на взгляд авторов, необходимо:

- ♦ разработать нормативный документ, регламентирующий в полном объёме требования к ЭМС потребителей СН подстанций высокого напряжения;

- ♦ разработать процедурные документы, позволяющие устанавливать и контролировать соблюдение требований нормативных документов (типовое техническое задание; чек-листы, позволяющие отслеживать выполнение требований при проектировании, экспертизе документов, проверке ЭМО, эксплуатации).

Ну и, конечно же, чтобы указанные выше документы «заработали», необходимо как минимум соответствующее внимание к ситуации проектантов и эксплуатации.

ЭИМ

Литература

1. ТКП 339-2011 «Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередач воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий».
2. СТП 09110.47.104-08 «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций напряжением 35-750 кВ от электромагнитных влияний и грозовых воздействий». — ГПО «Белэнерго».
3. СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства».
4. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ (НТП ПС). — ОАО «ФСК ЕЭС».
5. ГОСТ Р 51317.6.5-2006 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний».
6. ГОСТ Р 51317.2.5-2000 «Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств».
7. Шваб А. Электромагнитная совместимость. [ed.] Кужекин. [trans.] В. Д. Мазина and С. А. Спектора. — М.: Энергоатомиздат, 1995.
8. Siemens. Switchgear and Substations. Power engineering guide. 7.0. s.l. : Siemens, 2011. www.energy.siemens.com.
9. Schneider Electric. EMC guidelines. 2009. www.electrical-installation.schneider-electric.com.
10. IEEE 1988 Industry Applications Society Technical Conference in Pittsburgh. Shipp, D. and Angelini, F. 1988. Characteristics of Different Power Systems Neutral Grounding Techniques: Fact & Fiction.
11. СТБ ISO/IEC 31010. «Менеджмент риска. Методики оценки риска».