

полняемое программным способом. Тогда установка внешних выравнивающих трансформаторов не требуется.

Литература

1. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
2. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 526 с.
3. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 199 с.
4. Голанцов Е.Б., Молчанов В.В. Дифференциальные защиты трансформаторов с реле типа ДЗТ-21 (ДЗТ-23). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 88 с.
5. Овчинников В.В. Реле РНТ в схемах дифференциальных защит. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 88 с.
6. Дифференциальное реле защиты трансформатора ТЗ5, версия 4.4. Руководство по использованию серии УР. – GE, 2005. – 130 с.
7. Дифференциальная защита 7UT613, версия 4.0. Руководство по эксплуатации. – Siemens, 2003. – 498 с.
8. Микропроцессорное устройство основной защиты двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т». Руководство по эксплуатации. – М.: ЗАО «Радиус Автоматика», 2005. – 68 с.
9. Дмитренко А.М. Рекомендации по применению и выбору уставок функционального блока дифференциальной защиты трансформаторов терминала типа RET316. 3-я редакция. – АББ Реле-Чебоксары, 2002.
10. Терминал защиты трансформатора RET 521*RU. Руководство по эксплуатации. – АBB, 2004.

УДК 621.396

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Велитченко П.Г.

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

В качестве наиболее распространенных кабелей передачи данных, применяемых для прокладки в пределах зданий, в настоящее время используются оптоволоконные и кабели типа «витая пара». Вследствие диэлектрического характера первых электромагнитное влияние на оптоволоконные линии существенно не отразится на распространении сигнала. Однако этого нельзя сказать о медных кабелях, для которых может быть использовано понятие электромагнитной совместимости (ЭМС). Применительно к этому вопросу под ЭМС понимают способность нормального функционирования кабельных линий передачи данных в условиях воздействия на них электрических, магнитных и электромагнитных полей, существующих в окружающей обстановке, а также возможность не создавать недопустимые помехи другим объектам.

Источники электромагнитного излучения следует разделить на функциональные и нефункциональные. К функциональным можно отнести источники помех, которые возникают в результате работы устройства по прямому назначению. Нефункциональные источники создают электромагнитное излучение вследствие неидеальности конструкции. С излучением от вторых можно и нужно бороться, при возникновении помех от функциональных источников следует искать компромиссное решение, определив, что важнее: работа источника излучения или окружающего его оборудования.

Следующим критерием является разделение по естественному или искусственному происхождению. Также помехи могут быть узкополосными или широкополосными. Узкополосные источники могут создавать узкие полосы излучения на нескольких кратных частотах, широкополосные помехи могут занимать от 10–15 % полосы полезного

сигнала вплоть до генерации "белого шума" во всем спектре. Естественных узкополосных источников в природе не наблюдается. Искусственные широкополосные источники могут иметь характерное излучение, вызванное импульсными или переходными процессами.

В зависимости от типа источника помехи решение задачи ЭМС может быть разделено на две части: уменьшение электромагнитной интерференции и уменьшение радиочастотной интерференции. Для первого влияния характерны низкие частоты и большие амплитуды, для второго – небольшие амплитуды и высокие частоты.

При решении задач проектирования кабельных линий или решения возникших проблем ЭМС следует определить возможные источники помех и их характер, а затем выработать методы снижения электромагнитной нагрузки. В общем случае все методы, приведенные ниже, будут способствовать улучшению ЭМС. Задача специалиста – на основе данных обследований объекта, особенностей и параметров помехи и общих рекомендаций расположить методы по ранжиру в соответствии с технической и экономической эффективностью и целесообразностью внедрения возможных изменений.

Из экономических рекомендаций можно отметить использование продукции известных производителей, качество производства которых позволяет гарантировать хороший баланс проводников в кабеле. Заметим, что применение качественной продукции не отменяет требований правильного монтажа, хотя хорошо сбалансированный кабель позволяет создать достаточный запас по сигнальным параметрам и уменьшить влияние человеческого фактора.

Из технических рекомендаций укажем следующие решения:

- разнесение кабельных линий и источников помех в пространстве;
- экранирование слаботочных кабельных линий;
- экранирование силовых кабельных линий или источников помех;
- ограничение длины параллельного пробега слаботочных и силовых кабелей;
- корректное использование системы заземления силовых и слаботочных кабелей;
- снижение излучения источников электромагнитных помех.

Рассмотрим каждый из пунктов более подробно.

Пространственное разнесение. Разнесение кабелей и источников помех в пространстве является наиболее простым и эффективным способом снижения электромагнитной нагрузки. Электромагнитное излучение затухает обратно пропорционально степени расстояния. Степень затухания зависит от реальных условий и может изменяться в зависимости от:

- частот, на которых осуществляется взаимная связь;
- расстояния между объектами ЭМС, то есть от их нахождения в ближней, резонансной или дальних зонах;
- типа излучаемой электромагнитной волны или положения векторов электромагнитного поля;
- потерь в среде.

Экранирование слаботочных кабельных линий. Экранирование может осуществляться двумя способами:

- использованием кабеля в экране или металлической оплетке;
- размещением кабеля в металлическом кабельном канале.

В обоих случаях металлические экраны должны быть надежно заземлены. Особо внимательно следует относиться к заземлению экранированных кабелей: возможны случаи, когда при нарушении топологии заземления или качества его монтажа электромагнитное влияние не улучшается, а ухудшается.

Экранирование силовых линий или источников помех. Альтернативным вариантом экранирования является экранирование силовых линий или источников электро-

магнитных помех. Применение металлических экранов достаточной толщины позволяет эффективно уменьшать электрическую составляющую электромагнитного поля. Эффективно уменьшить магнитную составляющую можно только путем применения магнитодиэлектрических материалов с высоким показателем магнитной диэлектрической проницаемости, имеющих крайне высокую стоимость.

Из наиболее распространенных методов реализации данного пункта можно отметить использование электрических кабелей в металлических оплетках или каналах либо, например, экранирование специализированных помещений металлическими проводниками или листами. При экранировании помещений так называемая «сетка Фарадея» также выполняет функции системы уравнивания потенциалов.

Ограничение длины параллельного пробега слаботочных и силовых кабелей. В таблице 1 приведены величины разноса слаботочных и силовых кабелей при параллельной прокладке. Данные значения носят общий характер, и зачастую параметры разноса можно снизить. Распространенной ошибкой является прокладка слаботочных и силовых кабелей в одном пучке. Это не только противоречит нормам на ЭМС, но и является нарушением требований ПУЭ.

**Таблица 1. Минимальное расстояние между
возможными источниками электромагнитной интерференции**

Особенности выполнения трасс кабелей	Минимальное расстояние между трассами силовых и слаботочных кабелей, мм		
	< 2 кВА	2–5 кВА	> 5 кВА
Неэкранированные силовые кабели или электрическое оборудование относительно открытых или неметаллических каналов для информационных кабелей	127	305	610
Неэкранированные силовые кабели или электрическое оборудование относительно закрытых и заземленных металлических каналов для информационных кабелей	64	152	305
Силовые кабели, расположенные в закрытых металлических каналах, относительно заземленных металлических каналов для информационных кабелей	–	76	152
Электрические моторы и трансформаторы	–	–	1220

Корректное заземление силовых и слаботочных кабелей. Как говорилось выше, корректное использование системы заземления позволяет улучшить электромагнитную обстановку. Между тем ошибки в топологии или реализации заземления могут привести к тому, что заземляющий проводник или экран кабеля станет дополнительным источником электромагнитных помех.

Для заземления проводников целесообразно использовать телекоммуникационное заземление, которое соединено с главной заземляющей шиной здания или контуром повторного заземления здания только в одной точке. Все элементы пассивного оборудования и оплеток кабелей должны быть заземлены с использованием промышленных специализированных решений.

С точки зрения заземления экрана кабеля идеальным является случай, когда параллельно кабелю прокладывается заземляющий проводник, выполняющий функцию уравнивания потенциалов и существенно снижающий паразитные токи на оплетке.

В реальной ситуации такая возможность существует на магистральных линиях связи здания, на обоих концах которых есть телекоммуникационное заземление. Если же кабель прокладывается до абонентского устройства, то монтаж такого проводника, как правило, не осуществляется. В этом случае нужно обеспечить заземление оплетки кабеля с одного конца и исключить возможность объединения защитного электрического и телекоммуникационного заземления.

Таким образом, следует учесть, что применение неэкранированных решений зачастую более оправдано, чем использование некорректно выполненных экранированных систем.

Снижение излучения источников электромагнитных помех. Не всегда есть возможность изменить параметры электромагнитного излучения источника помех, особенно внешнего происхождения. Тем не менее для некоторых видов оборудования уменьшение уровня излучения не только возможно, но и необходимо, так как приводит к более эффективному функционированию источника помехи.

В первую очередь это относится к силовым кабелям, в которых нарушен порядок чередования фаз. Появление тока на нейтральном проводнике силового кабеля приводит к увеличению излучения кабеля на основной частоте 50 Гц и на частоте третьей гармоники 150 Гц. Ситуация усугубляется, если в цепи существуют множественные объединения нейтрального и заземляющего проводника, в результате которых несбалансированный ток появляется в петлях, образованных этими двумя проводниками.

Для снижения электромагнитного излучения и устранения описанных выше проблем необходимо внести изменения в схему электроснабжения. Для потребителей электрической мощности, которые представляют собой нелинейную нагрузку, целесообразно увеличивать сечение нейтрального проводника относительно фазного для уменьшения излучения на частоте третьей гармоники. Данное требование в большей мере относится не к распределенным, а к сосредоточенным в одном месте потребителям, кабельные трассы которых могут проходить в непосредственной близости от слаботочных кабелей.

Еще одним объектом, на котором возможно уменьшение электромагнитного излучения, являются люминесцентные лампы. Замена электромагнитной пускорегулирующей аппаратуры на электронную позволяет уменьшить излучения как при переходных процессах при включении лампы, так и при стационарной работе светильника.

Выводы

При выполнении элементарных требований в большинстве случаев создания кабельных систем задача ЭМС решается «по умолчанию». Поскольку кабели типа «витая пара» обладают достаточной устойчивостью к электромагнитным воздействиям, то для обычных офисных приложений достаточно использовать неэкранированные решения, избегая прокладки кабельных линий в непосредственной близости от источников электромагнитных помех. Очень редко неблагоприятная электромагнитная обстановка приводит к полному нарушению связи.

Литература

1. Дорофеев И.В. Общие вопросы электромагнитной совместимости в кабельных линиях передачи данных // Технологии и средства связи. – 2006. – № 3. – С. 90–93.
2. Волин М.Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1981.

УДК 621.313.1-52

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Адамович М.А., Чернявский Д.В.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент БУЛАТ В.А.

Системы возбуждения предназначены для питания обмотки возбуждения синхронной машины постоянным током и соответствующего регулирования тока возбуж-