

Электромагнитные поля. Источники, механизмы возникновения, нормирование, измерение, способы снижения*

2.4. Магнитное поле промышленной частоты 50 Гц

Источниками магнитного поля промышленной частоты 50 Гц являются силовые кабели, трансформаторные подстанции, распределительные щиты, контуры заземления, проводники электропитания (шнуры, кабели) электрооборудования.

Основные механизмы возникновения магнитных полей промышленной частоты 50 Гц:

- наличие кабелей электропитания, по которым текут большие токи;
- пространственное разнесение «фазного» и «нулевого» проводников систем электропитания.

Основные, встречающиеся в практике причины увеличения магнитного поля промышленной частоты 50 Гц (не только в помещениях, но иногда и в зданиях в целом) следующие.

1. Пространственное разнесение фазового и нулевого проводников в электропроводке зданий, помещений и рабочих мест. Это имеет место, когда электропитание выполнено не посредством кабеля, в котором конструктивно объединены фазный и нулевой провод, а двумя самостоятельными пространственно разнесенными проводниками, образующими пространственный контур с током, как это показано на рисунке 2.1.

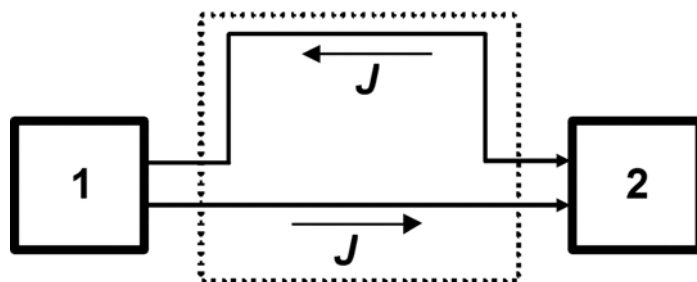


Рис. 2.1

Образование пространственного контура с током (выделено пунктиром) при пространственном разнесении фазного и нулевого проводников в системе электропитания

1 - Источник электроэнергии (розетка, силовой щит).

2 - Потребитель электроэнергии.

J - Ток, текущий по проводникам.

О том, что проводник с током создает в окружающем пространстве магнитное поле, знают многие. Но глубоко ошибочна устоявшаяся точка зрения, согласно которой создаваемое во внешнем пространстве магнитное поле от электропроводников сопоставляют только с текущим через эти проводники токами. Текущие по проводникам токи являются лишь первопричиной. Само же магнитное поле во внешнем пространстве создается пространственным контуром, образуемым этими проводниками с токами и зависит от площади контура, от расстояния между проводниками.

Как пример, в таблице 2.1 представлены результаты экспериментальных исследований по зависимости величины магнитного поля во внешнем пространстве от конфигурации проводов питания, по которым запитывается электрооборудование от сети 220 В [1]. Измерение проводилось на расстоянии 5 см от проводов при токе в проводах, равном 0,2 А.

* Продолжение. Начало темы см. в журнале «Библиотека инженера по охране труда» № 10 за 2018 г.

Таблица 2.1
Магнитное поле, создаваемое в окружающем пространстве проводами питания различной конфигурации.

	Конфигурация проводов питания	Уровень магнитного поля, нТл
1.	Провода питания скручены между собой	6
2.	Провода питания расположены рядом друг с другом (кабель).	55
3.	Провода питания разнесены на расстояние 3 см друг от друга.	400
4.	Провода питания разнесены на расстояние 70 см друг от друга.	1000

Приведенные экспериментальные данные наглядно демонстрируют: насколько значительна зависимость магнитного поля в окружающем пространстве от конфигурации элементов электропитания. Если электропитание выполнено не кабелем, а отдельными пространственно разнесенными проводами, то даже обычная лампочка накаливания мощностью всего 40 Вт (ток такой лампочки как раз равен 0,2 А) создает во внешнем пространстве значительное магнитное поле. Это магнитное поле может в несколько раз превышать, например, допустимое по действующим в настоящее время гигиеническим нормативам магнитное поле на рабочих местах пользователей персональными компьютерами и средствами информационно-коммуникационных технологий (см. п. 7.2.7 СанПиН 2.2.4.3359-16 [2]).

2. Наличие дополнительных путей для протекания тока по нулевому проводнику, если эти пути (этот проводник) находятся в пространственном удалении от фазного проводника. Такое имеет место, если в системе электропитания здания присутствуют резервные кабели. Практика обследования предприятий показывает: при отключенных фазных проводниках нулевые проводники резервных кабелей зачастую не отключаются от силовых щитов. Это вполне естественно, так как подключение или отключение нулевого проводника резервного кабеля никак не сказывается на функционировании системы электроснабжения здания. Но это не безразлично для формирования магнитного поля в окружающем пространстве. Электрический ток, величину которого определяет суммарная мощность электропотребителей в здании, начинает протекать по двум нулевым проводникам - по нулевому проводнику основного кабеля и по нулевому проводнику резервного (отключенного по фазам) кабеля. Резервный кабель зачастую располагается на значительном пространственном удалении от основного кабеля (например, может быть проложен по противоположной стене здания). В пространстве появляется контур с разностным током, которым может охватывать все здание. Соответственно, во всех (!!!) помещениях этого здания резко увеличивается фоновое магнитное поле промышленной частоты 50 Гц.

3. Особо хотелось бы обратить внимание на еще один, весьма специфический механизм возникновения повышенного магнитного поля промышленной частоты 50 Гц при работе различного технологического оборудования. Этот механизм присутствует в случае, если мощное технологическое оборудование запитано двухпроводным сетевым кабелем (фазаноль), при этом заземление оборудования выполнено отдельной заземляющей шиной, а внутри оборудования, в его цепях питания имеются встроенные устройства для борьбы с сетевыми помехами. Цель таких помехоподавляющих устройств - либо предотвратить сбои в работе оборудования при наличии импульсных помех в питающем оборудовании напряжении сети 220 В 50 Гц, либо наоборот - предотвратить проникновение в питающую сеть помех

от этого технологического оборудования (при наличии таковых). Обычно такие помехоподавляющие устройства - т.н. индуктивно-емкостные фильтры, емкости которых соединены с заземляющим проводником оборудования. Входная цепь подключенного к сети оборудования при этом имеет вид, показанный на рисунке 2.2.

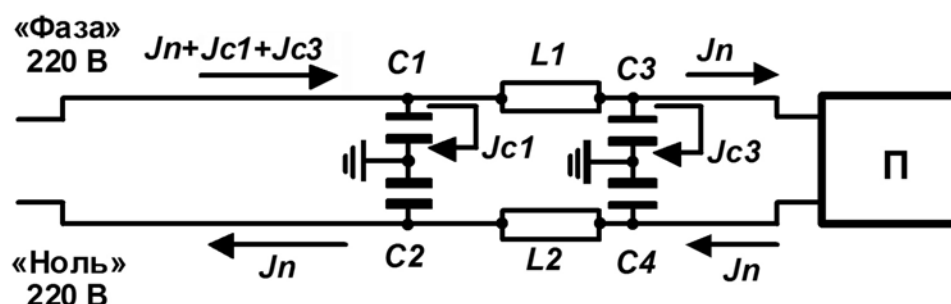


Рис. 2.2

Схема протекания токов при питании потребителя электроэнергии через сетевой фильтр с заземлением

П	Потребитель электроэнергии;
C1, C2, C3, C4	Емкости фильтров;
L1, L2	Индуктивности фильтров;
Jn	Ток потребителя электроэнергии;
Jc1, Jc3	Токи, протекающие через конденсаторы фильтра на землю;
Jn+Jc1+Jc3	Ток, протекающий по фазному проводу;
Jn	Ток, протекающий по нулевому проводу.

Из приведенной на рисунке схемы цепи питания оборудования видно, что по «фазному» питающему оборудованию проводу кроме тока потребителя электроэнергии J_n протекают дополнительные токи J_{c1} и J_{c3} на землю, величина которых пропорциональна емкостям конденсаторов $C1$ и $C3$ фильтров. Через конденсаторы $C2$ и $C4$ таких дополнительных токов нет, так как эти конденсаторы включены между заземлением и нулевым проводом. В результате возникает эффект несимметричности токов в проводах, подходящих к электропотребителю (к оборудованию) от сети - ток протекающий по нулевому проводу, не равен току, протекающему по фазному проводу. Соответственно, не равны и магнитные поля, создаваемые этими проводами. Как следствие - в окружающем пространстве возникает разностное магнитное поле, пропорциональное количеству применяемых в оборудовании сетевых фильтров и величине емкостей конденсаторов этих фильтров.

4. Дополнительные пути для прохождения переменного тока промышленной частоты 50 Гц с образованием контуров возникают также при наличии гальванической связи нулевого проводника и фактически существующих цепей заземления. Так, например, практически невозможно избавиться от повышенного фона магнитного поля промышленной частоты в помещениях, если с нулевым проводником гальванически соединена арматура железобетонных и иных перекрытий здания, а также система теплоснабжения здания. «Избыточное» заземление (многократное выполненное заземление в виде замкнутых контуров) также может быть причиной повышенных магнитных полей промышленной частоты 50 Гц.

Способствует существованию на практике такого механизма возникновения повышенного фона магнитного поля промышленной частоты тот факт, что действующие в настоящее время «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) рекомендуют для выполнения повторного заземления на входах электроустановок использование естественных заземлителей, не накладывая при этом никаких ограничений на исполнение такого повторного заземления. Это заземление, естественно, повышает электробезопасность рабочих мест, но не способствует их электромагнитной безопасности, если выполнено, хоть и без нарушений требований

ПУЭ, но многократно и с образованием пространственных контуров.

5. Источником повышенного магнитного поля промышленной частоты 50 Гц, естественно, являются силовые распределительные щиты и силовые трансформаторы. Известны также случаи неожиданно резкого увеличения уровня магнитного поля вследствие прокладки рядом со зданием силовых кабелей электропитания строительной техники на расположенных рядом стройплощадках. Присутствие на полу помещений многочисленных пространственно разнесенных кабелей электропитания аппаратуры также может быть причиной повышенного уровня магнитных полей промышленной частоты 50 Гц, как на рабочих местах, так и в помещениях в целом.

6. Увеличение уровня магнитного поля промышленной частоты 50 Гц в помещениях происходит также при несбалансированности токов по фазам в трехфазной системе электропитания в случае пространственного разноса фазовых и нулевого проводов. Обычно имеющиеся однофазные электропотребители при начальном монтаже системы электропитания, как правило, равномерно распределяются по фазам. Вместе с тем на практике к какому-либо помещению (рабочему месту, комплексу электропотребителей и т.п.) подводится зачастую лишь одна фаза. В процессе эксплуатации при замене или модернизации оборудования и рабочих мест энергонагрузка на какую-либо фазу может резко измениться. Это приведет к появлению не скомпенсированных токов в трехфазном кабеле и как следствие - к резкому увеличению уровня магнитного поля в помещениях, расположенных вблизи этого кабеля. Для такого магнитного поля характерно резкое и значительное изменение его во времени, связанное с режимом работы того или иного оборудования.

7. Особо критично наличие источников магнитного поля промышленной частоты 50 Гц на рабочих местах с компьютерной техникой. Дело в том, что в введенных с 1 января 2017 года новых санитарных правилах СанПиН 2.2.4.3359-16 [2] требования к электромагнитным полям на компьютерных рабочих местах сформулированы таким образом, что недопустимыми на этих рабочих местах являются уровни магнитного поля промышленной частоты, которые почти двадцать раз меньше (!!!) допустимого уровня этих полей на любых иных рабочих местах.

Подробно причины такой, несколько необычной ситуации будут рассмотрены в следующей статье. Здесь хотелось бы только отметить, что проблемы, возникшие с введением с 1 января 2017 года новых требований к компьютерным рабочим местам в СанПиН 2.2.4.3359-16 весьма серьезные. Для многих рабочих мест с компьютерной техникой существующие на них по факту уровни магнитных полей промышленной частоты 50 Гц, ранее считавшиеся безопасными, будут уже недопустимыми при проверках по новым требованиям СанПиН 2.2.4.3359-16. В особенности, это может иметь место на промышленных предприятиях и иных энергоемких производствах. Рабочие места с компьютерами могут оказаться не соответствующими новым установленным требованиям по электромагнитным полям из-за присутствия на этих рабочих местах внешнего для данных рабочих мест фона магнитного поля промышленной частоты 50 Гц. Возможными источниками такого фона может быть работающее поблизости энергоемкое технологическое оборудование, идущие по стенам зданий и внутри помещений кабели электропитания, расположенные рядом силовые подстанции. К развитию ситуации по такому, весьма неприятному сценарию при проверках рабочих мест по новым СанПиН 2.2.4.3359-16 [2] нужно быть готовыми службам охраны труда предприятий.

2.5. Электрическое поле промышленной частоты 50 Гц

Источниками электрического поля промышленной частоты 50 Гц являются высоковольтные линии электропередач (ЛЭП), трансформаторные подстанции, распределительные щиты, электробытовые приборы и электроинструмент, работающие от сети, электропроводка внутри зданий и осветительная сеть, технологическое оборудование и офисная техника.

Основными причинами повышенного уровня электрического поля промышленной частоты

ты 50 Гц на рабочих местах и в помещениях в целом являются:

- отсутствие заземления металлических корпусов электропотребителей;
- некачественно выполненное заземление электропотребителей;
- выполнение электропитания технических средств через различные удлинители и переноски;
- наличие в помещениях и в подключенных к электросети технических средствах цепей, в которых пространственно разнесены фазный и нулевой проводники цепей электропитания;
- ошибки в монтаже или неисправности электропроводки, приводящие к появлению переменного электрического потенциала на проводниках электропроводки, функционально предназначенных для заземления или зануления.

Казалось бы, приведенные выше причины элементарны, как элементарны и классически общеизвестны методы и технические способы их устранения. Однако опыт контроля электромагнитной обстановки показывает, что эти причины реально существуют, постоянно встречаются на практике и значительно ухудшают электромагнитную обстановку на рабочих местах и в помещениях в целом.

1. Как показывает практика, наиболее часто случаи работы с не заземленным оборудованием, незаземленными офисными и бытовыми приборами выявляются в организациях, расположенных в зданиях старой постройки, где в цепи электропитания вообще не предусмотрен заземляющий (зануляющий) проводник. Зачастую сотрудники организаций «самостоятельно» в целях подключения какого-либо электрооборудования или бытовых электроприборов с трехконтактной евровилкой заменяют установленные ранее двухконтактные розетки на трехконтактные евророзетки, не заботясь о фактическом подключении третьего (заземляющего) контакта. Часто в административных помещениях учреждений для питания электрических розеток используется не «силовая», а т.н. «осветительная» двухпроводная сеть, которая исходно может не иметь заземляющего защитного провода.

2. Ситуация с некачественно выполненным заземлением электропотребителей наиболее часто встречается при питании электропотребителей посредством различных удлинителей и переносок. Нередки случаи ненадежного (а иногда и полностью отсутствующего) электрического контакта между заземляющими узлами розеток таких переносок и вилок сетевых шнуров подключаемых электроприборов.

3. Случаи исчезновения контакта по заземляющему проводнику не являются редкими и для стационарно установленных розеток. В связи с этим следует обратить внимание на несовершенство (неполноту) действующих в настоящее время нормативных документов, регламентирующих требования к параметрам заземления (зануления). В соответствии с этими нормативными документами при контроле системы электроснабжения зданий, помещений и рабочих мест контролируются только сопротивление цепи от подстанции до силового щита здания и сопротивление цепи от силового щита до заземляющего контакта каждой из розеток. Сопротивление цепи от заземляющего контакта розеток до корпусов электропотребителей не контролируется. Об этом факте часто забывают технические службы организаций, когда считают, что имея официальный акт уполномоченной на это контролирующей организации о качестве заземления, они гарантировано обеспечивают нормальную электромагнитную обстановку на рабочих местах с установленными на них техническими средствами.

4. Особо стоит отметить следующее обстоятельство. Если шнур питания какого-либо незаземленного оборудования включен в сетевую розетку, то высокий уровень электрического поля может существовать (в отличие от магнитного поля) вне зависимости от того: течет или не течет ток по проводам питания (вне зависимости от того: работает или не работает это подключенное к сети оборудование).

5. Как и для магнитного поля, для электрического поля промышленной частоты 50 Гц

одной из причин его повышения является пространственное разнесение фазного и нулевого проводников в системах электропитания. Но механизм этого повышения электрического поля иной, чем в случае магнитного поля. Наглядно продемонстрировать этот механизм можно на следующем примере.

Представим себе, что имеется некое техническое средство (ТС), в котором выключатель сети находится на его лицевой части и размыкает лишь один из двух подходящих к этому ТС проводов питания. Если при включении вилки питания ТС в сетевую розетку окажется, что с выключателем сети, расположенным на передней панели ТС, будет подсоединен «фазный» провод сети, то в направлении работника (показано стрелкой) возникает повышенный уровень электрического поля (см. рис. 2.3). «Излучателем» этого поля является проводник, подключенный к фазе сети и подходящий к расположенному на лицевой панели выключателю. Причем уровень «излучения» от данного проводника будет намного больше в том случае, когда выключатель питания выключен (т.е. когда разорвана цепь, соединяющая данный излучающий проводник с другими элементами системы электропитания ТС) и техническое средство находится в не рабочем состоянии.

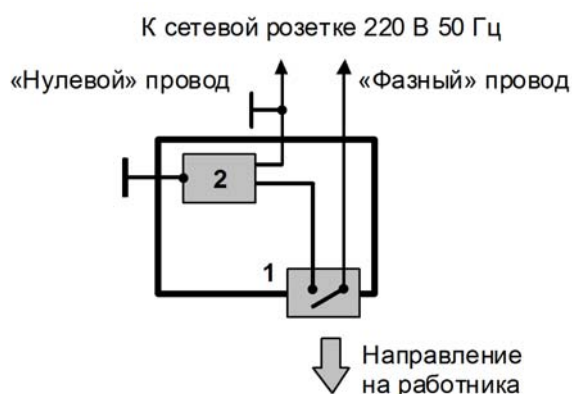


Рис. 2.3

Схематическое изображение цепей питания ТС
с выключателем питания в одном из сетевых проводов

1. - Выключатель питания на передней панели ТС;
2. - Внутренний источник питания ТС

Ситуация кардинально изменяется, если при включении ТС в сеть к выключателю на передней панели ТС оказывается подсоединен «нулевой» провод, находящийся под потенциалом «земли» и, соответственно, не создающий во внешнем пространстве электрического поля. Уровень электрического поля промышленной частоты 50 Гц, создаваемый при этом техническим средством в целом, может снизиться до 4-х раз. Конкретная степень снижения поля, естественно, определяется индивидуальными конструктивными особенностями ТС - трассировкой цепей его питания, их длиной, степенью фактической экранировки и т.п.

Описанный выше механизм возникновения электрического поля промышленной частоты 50 Гц объясняет часто встречающийся при выполнении измерений факт, что уровень электрического поля при выключении оборудования не уменьшается, а наоборот, увеличивается, а также тот факт, что уровень этого поля от оборудования изменяется при изменении полярности включения в розетку вилки питания оборудования.

Эффект изменения электрического поля при изменении ориентации вилки питания технических средств в сетевой розетке хорошо известен специалистам по электромагнитным полям. Именно поэтому, например, в пункте 6.13.1.2 ГОСТ 31211-2003 [3], устанавливающим методы испытаний видеодисплейной техники на соответствие действующего в настоящее время технического регламент Таможенного союза ТР ТС 004/2011 [4], измерение электрических полей от данных технических средств при их сертификации предписано выполнять при двух возможных положениях подключения вилки питания.

6. Пространственное разнесение фазного и нулевого проводников может иметь место и в других ситуациях. Отмечено, что повышенный уровень электрического поля промышленной частоты 50 Гц возникает в осветительных двухпроводных цепях в местах расположения выключателей освещения. Причина данного явления проста. Практически по всему помещению фазный и нулевой провода идут рядом друг с другом; близкое расположение нулевого провода «нейтрализует» электрическое поле, создаваемое фазным проводом (силовые линии электрического поля с фазного провода замыкаются на этот расположенный рядом провод, находящийся под нулевым потенциалом и, вследствие этого слабо проникают в окружающее пространство). В зоне расположения выключателей освещения ситуация иная. В этой зоне зачастую присутствует лишь провод, подсоединенный к фазе двухпроводной электросети, который и становится в такой ситуации «излучателем» электромагнитного поля промышленной частоты 50 Гц.

7. К резкому увеличению электрического поля промышленной частоты 50 Гц приводят и ошибки в монтаже электропроводки, проявляющиеся в появлении переменного электрического потенциала на проводниках электропроводки, функционально предназначенных для заземления или зануления. На первый взгляд, кажется, что это тривиальные истины из раздела техники безопасности и правил эксплуатации электросетей. Но практика показывает - вопрос не надуманный. Периодически при выполнении измерений в организациях, в учебных заведениях выявляются ситуации, свидетельствующие о грубейших нарушениях действующих нормативных документов по эксплуатации электрических сетей и подключаемых к ним технических средств. Как следствие - резко ухудшается ситуация как с обычной электробезопасностью, так и с электромагнитной безопасностью для работающих в помещениях с подобными нарушениями.

8. Также, как для магнитного поля промышленной частоты 50 Гц, для электрического поля промышленной частоты после введения в действие с января 2017 года уже упоминавшихся СанПиН 2.2.4.3359-16 [2] резко осложнилась ситуация в части обеспечения допустимого уровня этого поля на компьютерных рабочих местах. Новые требования по допустимым уровням электрического поля промышленной частоты 50 Гц на компьютерных рабочих местах в данных санитарных правилах таковы, что даже обычная настольная лампа на таком рабочем месте может стать источником электрического поля промышленной частоты с уровнем, превышающим допустимые. Подробнее о компьютерных рабочих местах будет рассказано в следующей статье.

Продолжение в следующем номере журнала

Литература

1. Афанасьев А.И., Карнаух О.И., Сергиенко А.А., Туркевич А.А. «Обеспечение электромагнитной безопасности, устойчивости работы и электромагнитной совместимости компьютерной и офисной техники в реальных условиях ее эксплуатации» (справочные и методические материалы), НПП «Циклон-Тест», 2004. -56 с.
2. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
3. ГОСТ 31211-2003 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерения и оценки эргономических параметров и параметров безопасности».
4. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования».