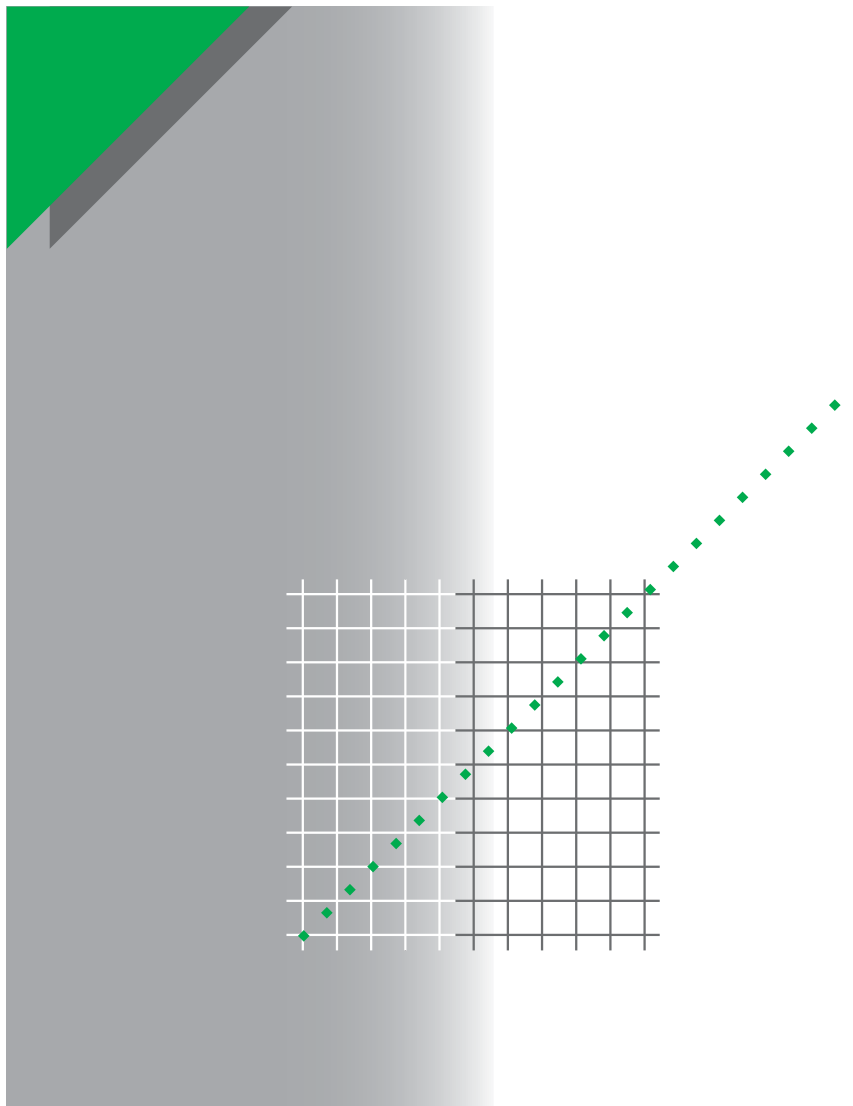


Выпуск № 32

ЭМС - электромагнитная совместимость



Компания Schneider Electric приступила к выпуску **«Технической коллекции Schneider Electric»** на русском языке.

Техническая коллекция представляет собой серию отдельных выпусков для специалистов, которые хотели бы получить более подробную техническую информацию о продукции Schneider Electric и ее применении, в дополнение к тому, что содержится в каталогах.

В **Технической коллекции** будут публиковаться материалы, которые позволят лучше понять технические и экономические проблемы и явления, возникающие при использовании электрооборудования и средств автоматизации Schneider Electric.

Техническая коллекция предназначена для инженеров и специалистов, работающих в электротехнической промышленности и в проектных организациях, занимающихся разработкой, монтажом и эксплуатацией электроустановок, распределительных электрических сетей, средств и систем автоматизации.

Техническая коллекция будет также полезна студентам и преподавателям ВУЗов. В ней они найдут сведения о новых технологиях и современных тенденциях в мире Электричества и Автоматики.

В каждом выпуске **Технической коллекции** будет углубленно рассматриваться конкретная тема из области электрических сетей, релейной защиты и управления, промышленного контроля и автоматизации технологических процессов.

Валерий Саженок,
Технический директор
ЗАО «Шнейдер Электрик»,
Кандидат технических наук

Выпуск № 32

ЭМС - электромагнитная совместимость



Жак Делабаль

Получил учёную степень в университете г.Лимож, в компанию Merlin Gerin поступил в 1986 году после семи лет в Thomson.

Руководит лабораторией электромагнитной совместимости в тестовом центре Шнейдер Электрик, он также является членом Комитета 77 (Электромагнитная совместимость) в Международной Электротехнической Комиссии (IEC).

Электромагнитная совместимость, EMC (сокращение) (IEV 161-01-07)

Способность оборудования или системы удовлетворительно функционировать в собственном электромагнитном поле, без внесения недопустимых электромагнитных помех в этом поле для чего-либо ещё.

(Электромагнитная) совместимость уровней (IEV 161-03-10)

Определение максимального уровня помех, с которым прибор, оборудование или система, работая в особых состояниях, вероятнее всего может быть подвержена. Примечание: На практике электромагнитная совместимость уровней не является абсолютным максимальным уровнем, но может иметь возможность немного его превышать.

(Электромагнитное) возбуждение (IEV 161-01-05)

Любое электромагнитное явление, которое может снижать рабочие характеристики прибора, оборудования или системы, либо наносящее ущерб живым или неживым объектам.

Примечание: Электромагнитные помехи могут быть электромагнитным шумом, нежелательным сигналом или изменением в среде распространения.

(Электромагнитная) чувствительность (IEV 161-01-21)

Неспособность прибора, оборудования или системы функционировать без снижения характеристик при воздействии электромагнитных помех.

Уровень помех

(не определяется IEC 161)
Уровень электромагнитных помех данной формы, измеряется в особых состояниях.

Предел помех (IEV 161-03-08)

Максимально допустимый уровень электромагнитных помех, измеряется в особом состоянии.

Уровень защищённости (IEV 161-03-14)

Максимальный уровень воздействия электромагнитных помех на отдельный прибор, оборудование или систему при которой остаётся возможность работы на уровне требуемых характеристик.

Рисунок 1 даёт графическое представление вышеуказанных определений.

Децибел

Децибел как единица измерения звукового давления используется по амплитудной шкале, в соответствии:

$$X/X_0 \text{ (dB@)} = 20 \log_{10} X/X_0$$

где

X - мера амплитуды

X₀ - исходная точка амплитуды

@ - параметр единицы измерения X и X₀

Некоторые примерные значения приведены ниже в таблице (см. **рис. 2**).

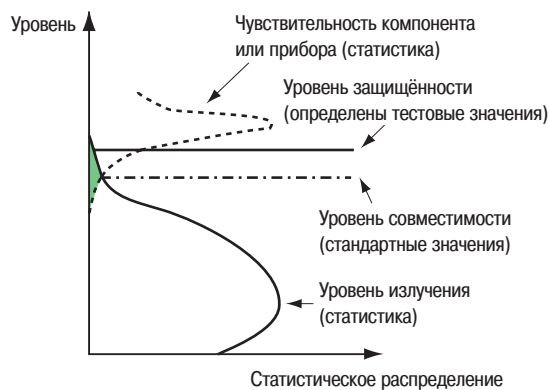


Рис. 1: График функций при различных EMC условиях

X/X ₀ amplitude ratio	dB
1	0
1.12	1
1.25	2
1.41	3
2	6
3.2	10
4	12
5	14
10	20
100	40
1000	60

Рис. 2: Режимы амплитуд, выраженные в децибелах

ЭМС - электромагнитная совместимость

Для всех электротехнических приборов электромагнитная совместимость должна быть правильно рассчитана на начальной стадии конструирования и все эти различные принципы и правила проходят через процессы производства и установки.

Это значит, что все привлечённые специалисты от инженеров и архитекторов – тех, кто проектирует здания до техников, кто монтирует электрические шкафы, включая специалистов по проектировке различных рабочих сетей здания и бригады по их установке, должны быть связаны с электромагнитной совместимостью – дисциплиной, предназначенной для достижения «мирного» сосуществования оборудования, чувствительного к электромагнитным помехам (которое, следовательно, может считаться «жертвой») рядом с оборудованием, излучающим таковые помехи (другими словами, «источником» помех).

Это издание – компиляция многолетнего опыта, приобретённого в «Шнейдер Электрик», представляет различные взаимодействия помех и снабжено некоторыми практическими способами их устранения.

Содержание

		Стр.
1. Введение	1.1 Электромагнитная совместимость – ЭМС – характеристика и дисциплина	4
	1.2 Сегодня ЭМС абсолютно необходима	4
	1.3 Теория ЭМС в комплексе	5
2. Источник	2.1 Важность определения источника	6
	2.2 Пример непрерывного источника передачи помех в силовой электронике	7
	2.3 Пример излучающих помехи источников: замыкание цепи в MV и VHV (высоковольтных) подстанциях	8
3. Взаимодействие	3.1 Наличие различных видов соединений	10
	3.2 Общий или дифференциальный тип соединения поля к проводу	10
	3.3 Общий импеданс соединения	12
	3.4 Дифференциальный тип соединения провод к проводу или перекрёстные помехи	12
4. «Жертва»	4.1 Сбои аппаратуры	14
	4.2 Решения проблем	14
5. Установка	5.1 Установка – важный фактор в комплексной системе ЭМС	17
	5.2 Стадия проектировки	17
	5.3 Стадия установки	18
	5.4 Практические примеры	18
6. Нормы, тестовые устройства и тесты	6.1 Стандарты	20
	6.2 Тестовые устройства	20
	6.3 Тесты	21
7. Заключение		27
Приложение 1: Полное сопротивление проводника на высоких частотах		28
Приложение 2: Различные части кабеля		29
Приложение 3: Выполненные тесты в ЭМС лабораториях Schneider Electric		30
Приложение 4: Библиография		31

на **рисунке 4** компания «Шнейдер Электрик» предвидела необходимость понимания и применения правил ЭМС. В современных электрических переключателях и распределительных механизмах низкого и высокого токов, контрольной и силовой электронике, электронной защите и электрических силовых устройствах – всё постоянно находится в замкнутом тесном соседстве.

Следовательно, ЭМС – фундаментальный критерий, который обязательно должен учитываться во всех стадиях проектировки и производства продукции, а также в ходе установки и монтажа.

Более того, ЭМС сейчас включено в стандарты и становится обязательным требованием. Опыт и достижения «Шнейдер Электрик» не ограничены удовлетворительной работой электрических и/или электронных систем в их обычной электромагнитной среде: для примера, «Merlin Gerin» проектирует и создаёт аппаратуру, способную выдерживать непростые условия, такие, как электромагнитные излучения, генерируемые высокоуровневыми ядерными взрывами.

Необходимое повышение стойкости к воздействию радиации, то есть улучшение защищённости систем, подверженных воздействию электромагнитных импульсов из ядерных источников, требует принимать во внимание в наиболее передовых ЭМС технологиях.



Рис. 4: Пример применения ЭМС: SM6 панель среднего напряжения, содержащая токовый выключатель, предназначенный для прерывания мощности (сотни ампер и десятки киловатт), и прибор СЕПАМ- программируемое средство управления, мониторинга и защиты. Полная сборка должна оставаться действующей при любых обстоятельствах.

1.3 Теория ЭМС в комплексе

Любой труд задействовать ЭМС включает анализ трёхкомпонентной системы:

- Помехи генератора или источника
- Распространение или взаимодействие
- Прибор или система неисправен или подвержен воздействию

Строго говоря, три компонента не независимые, но для всех практических целей принимаемые во внимание. Заметка об установке, описанной в 5 главе, играет наиболее важную роль в распространении помех.

Теоретический анализ сложен, потому что должен согласовываться с основами распространения

электромагнитных волн, описанных набором комплекса различных уравнений известных как уравнения Максвелла.

Говоря в общих чертах, они не могут быть разрешены к выпуску готового аналитического решения для реальных устройств и размеров. Даже с мощными компьютерными системами, законченное численное решение часто предельно сложно для достижения.

На практике, проблемы ЭМС должны, поэтому иметь дело с упрощёнными допущениями, использованием моделей, детальной проверкой экспериментами и проведением измерений.

2. Источник

2.1 Важность идентификации источника

Идентификация и измерение источника необходима с того момента как тип источника будет вычислен, он определяет какие последующие измерения должны быть выполнены:

- Ограничение сгенерированных помех (например, на контакторе, устанавливаем подавляющий помехи RC элемент в параллель с катушкой переменного тока, или диод на катушке постоянного тока)
- Избегание перекрёстных помех (т.е. физическое отделение 2-х сильно несовместимых элементов)
- Снижение чувствительности от потенциальных потерь (например, используя экран)

Основные причины

Любой прибор или физическое/электрическое явление, испускающий электромагнитные помехи, как проводимые, так и излучаемые, оценивается как источник. Основные причины электромагнитных помех – распространение электроэнергии, радиоволн, электростатических разряды и молнии.

- В распространение электроэнергии наибольшее количество помех создаётся действиями по переключению в электросхеме:
 - В поле низкого напряжения, создание индуктивных схем, таких, как катушки контактора, двигателя, клапана соленоидов и так далее создаёт очень высокие скачки напряжения (вплоть до нескольких кВ через клеммы катушек) которые содержат высокочастотные гармоники (от 10 до сотен МГц).
 - В полях среднего и высокого напряжения, открытие и закрытие выключателей создаёт волны с очень высоким временем нарастания (несколько наносекунд). Эти волны особенно вредны для систем, базирующихся на микропроцессорах.
 - Радиоволны, излучённые дистанционными системами слежения, дистанционными элементами управления, радиосвязи, телевизионными приборами, рациями и т.д., являются для некоторого оборудования источниками помех порядка нескольких вольт на метр. Все эти излучения помех в наши дни всё более и более увеличиваются и чувствительное оборудование, поэтому должно обеспечиваться всё более и более эффективной защитой.
 - Электрически заряженное человеческое тело: для примера, человек, идущий по определённом типу ковра в холодную и сухую погоду, может быть заряжен более чем 25 кВ! Любые контакты с электронным оборудованием создают разряд с очень быстрым

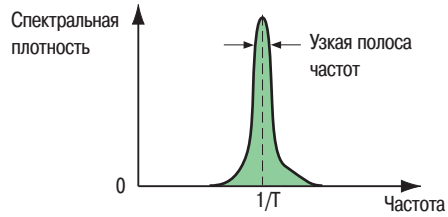
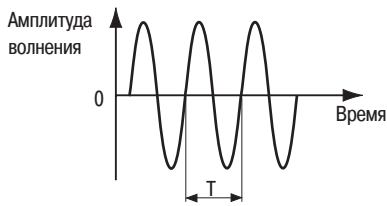
временем нарастания (несколько наносекунд), которые вносятся в прибор проводимостью и излучением, создают обширные помехи.

Характеристика помех

Источники могут быть умышленными (например, радиопередатчики) или нет (например, агрегаты дуговой сварки). Однако в основном они могут быть отмечены характеристиками помех, они формируют:

- Спектр
 - Форму сигнала, время нарастания или огибающую спектра
 - Амплитуду
 - Энергию
 - Спектр, то есть полоса частот, покрытия помех, может быть очень узкая, как в случае с мобильными телефонами, или очень широкая, как у дуговой электропечи.
- Тип импульса помех покрывает особо широкий спектр, расширенный до 100 МГц или более (см. **рис. 5**). К этой последней категории принадлежат почти эксклюзивные источники, такие как:
- Электростатический разряд
 - Переключение реле, разъединителей, контакторов, выключателей и токовых прерывателей в области низкого, среднего и высокого напряжения
 - Молния
 - Ядерные электромагнитные импульсы (особая сфера).
- Со степени взаимодействия прямо пропорциональной частоте, ЭМС использует частотную область для определения помех. Этот тип представления для периодического сигнала аналогичен разложению ряда Фурье (как сумма гармоник)
- Форма волны описывает зависимость характеристики помех от времени и может, для примера, быть затухающей синусоидальной волной или двойной возрастающей функцией. Это выражается как время нарастания t_r , эквивалентная частота $0,35/t_r$, или просто волнение частот для узкой полосы сигнала или как длина волны λ , зависящая от частоты $\lambda = c/f$, где c – это скорость света (3×10^8 мс⁻¹).
 - Амплитуда – это максимальное значение сигнала, достигающего предела напряжения (В), электрического поля (В/м), и т.д.
 - Энергия- это интеграл мгновенного действия энергии на протяжении времени существования помех (Джоуль).

Радиоволна



Непрямой эффект грозовой помехи

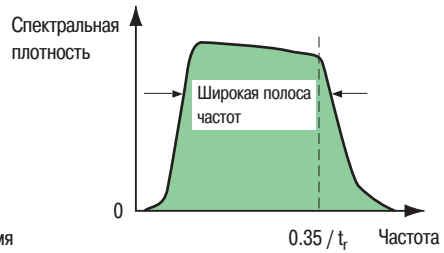
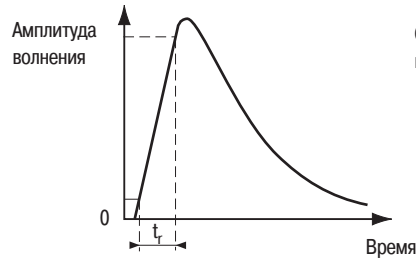


Рис. 5: Примеры спектральных характеристик волнений

2.2 Пример постоянного источника проводимой помехи в силовой электронике

В силовой электронике основные источники помех проявляют тенденцию к резкому увеличению переходного напряжения более чем тока. Напряжение может варьироваться сотнями вольт, в течении нескольких наносекунд даёт производную кривой по напряжению (dv/dts) превышающую 109 В/сек. Длительность Импульса Модуляции (ДИМ) (см. рис. 6), для примера, использовано для генерации синусоидального напряжения из напряжения постоянного тока, работы с напряжением,

меняющимся от 0 к напряжению постоянного тока U_{dc} (660 В для выпрямленного трёхфазного), происходящего в очень короткое время- от нано до микросекунд - в зависимости от используемой технологии. Быстрая смена напряжения – источник различных явлений помех, самый проблематичный из которых, по опыту, генерирование электрического тока посредством паразитных емкостей.

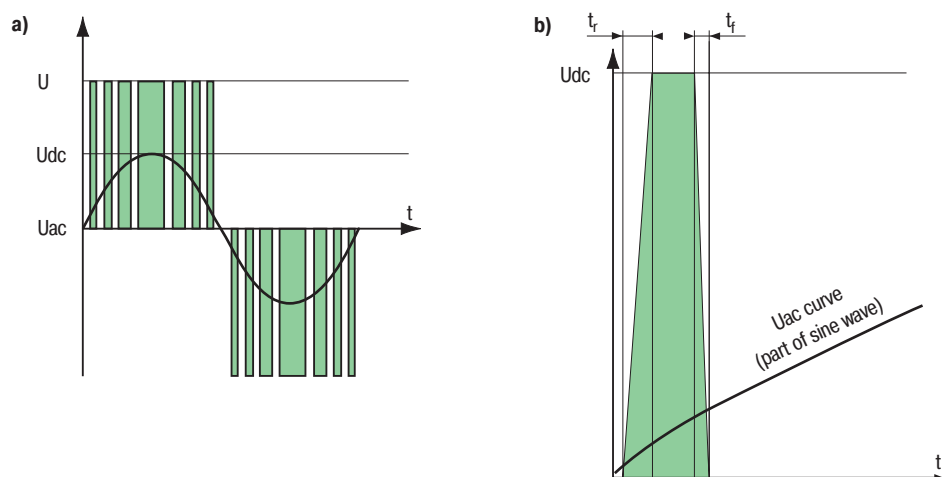


Рис. 6: Источник помех в аппаратуре силовой электроники: технология переключения длительностью импульса модуляции
а: Принцип

б: Значительно увеличенный импульс (растянутая шкала для t); часть синусоиды диспропорциональна с тем пор как превышает 20 мс; $t_f \approx 2$ к $3 t_r$ (10 нс к 1 μ s)

Берём во внимание только паразитную ёмкость C_p , и формула тока будет выглядеть: $I_{CM} = C_p dV/dT$.

Со временем нарастания, упомянутым ранее, паразитная ёмкость 100пФ достаточна для формирования электрических токов в несколько сотен мА. Этот помеховый электрический ток будет протекать по нулевому проводнику и может изменять посылки импульсов (сигналов или команд), будет накладываться на чувствительные измерения и воздействовать на другое оборудование, снова внося помехи в общую распределительную сеть.

Один путь устранения таких явлений, т.е. обеспечения ЭМС – увеличение времени нарастания напряжения. Тем не менее, такое решение будет значительно увеличивать потери при коммутации в транзисторах, производящие вредные тепловые стрессы. Другой эффективный способ уменьшения паразитных токов заключается в увеличении общего сопротивления. Для примера, когда устанавливают компоненты силовой электроники, любой из двух следующих методов обычно используется:

- Оставить теплоотводы свободными (не соединять электрически) (см. рис. 7), если правила техники безопасности не нарушены.

- Уменьшить паразитную ёмкость между прибором и теплоотводом, используя изолятор с низкой диэлектрической постоянной. (см. рис. 8)

В поле систем UPS (бесперебойного питания) – как один из примеров, с вышеуказанными мерами защиты создаётся разделение между «излучающей» и «чистой» системами. Для систем UPS прописано, что их электронная схема преобразования переменного тока в постоянный должна быть защищена от помех, создаваемых их собственными силовыми цепями.

Необходимо понимать и контролировать подобные явления от источника излучений и ограничивать их эффективно и экономично.

Другие, реже встречающиеся, существующие источники наводимых помех, такие как грозовые помехи и коммутационное перенапряжение, которые могут генерировать большие скачки по току (di/dts) и напряжению (dU/dts). Такие помехи также генерируют радиационные поля.

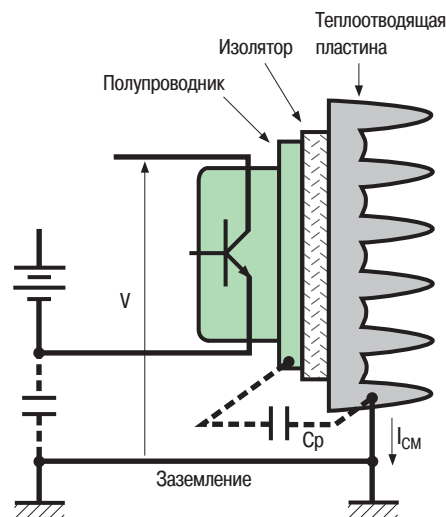


Рис. 7: Паразитная ёмкость теплоотвода (для охлаждения электронных компонентов) взята для использования в проекте UPS преобразовательных батарей.

Изолирующий материал	Толщина (мм)	Паразитная ёмкость (пФ)
Слюда	0.1	160
Пластик	0.2	95
Оксид алюминия	2	22

Рис. 8: Величины паразитных ёмкостей для самых основных изоляторов, используемых в установке электронных компонентов

2.3 Примеры излучённых источников волнений: замыкание цепи в подстанциях среднего и высокого напряжения

Окружение подстанций, особенно среднего и очень высокого напряжения, может содержать очень сильные импульсные электромагнитные поля.

Определённая работа распределительной аппаратуры может создавать напряжения много большие, нежели номинальное значение в очень короткое время. Для примера, когда 24кВ-коммутатор закрыт, явление преждевременного зажигания вызывает изменения напряжения - 10 кВ в несколько наносекунд (10 в -9 степени с). Это углублённо обсуждалось в «Cahier Technique» №153 «выключатели SF6 и защита мощных двигателей».

Выполненные измерения в лабораториях «Шнейдера» показали, что во время коммутации 24кВ расцепителя среднего напряжения, затухание полей синусоидальных импульсов достигает пикового значения 7.7 кВ/м

с частотой 80 МГц на расстоянии одного метра от распределительного устройства. Напряжённость поля огромна когда сравнить его с 1 Вт портативным дуплексным радио (walkie-talkie), которое создаёт от 3 до 5 В/м, замеренном на расстоянии в один метр. Переходный процесс распространяется вдоль проводников, шинопроводов, кабелей и линий воздушной проводки. При задействованных частотах, т.е. скорости проявления, проводники (особенно шинопроводы) ведут себя как антенны и характеристики электромагнитных полей излучения сильно зависят от проектировки и изготовления металлических конструкций (секций, распределительных устройств).

В высоковольтных подстанциях, покрытых листовым металлом, электромагнитные поля особенно сильные.

Покрытая листовым металлом, разделительная подстанция SF6 имеет коаксиальную конфигурацию и, следовательно, показывает постоянные характеристики полного сопротивления. Быстрые изменения напряжения внутри пустотелой металлической оболочки создают явление стоячей волны. Они создаются отражением, встречающимся при полном сопротивлении несоответствующему коническому сечению вывода, пересекающего экран, для примера. Магнитуда и продолжительность явления также возрастают с этим эффектом.

Радиоэлектронная обстановка при средних и высоких напряжениях нуждаются в глубоких изучениях электромагнитной совместимости для проектировки и установки релейных систем управления и мониторинга. Это особо важно, потому что вдобавок к излучаемым помехам, проводят переходные напряжения, также генерирующиеся в подстанциях, как обсуждалось в начале этого раздела (см. [рис. 9](#))

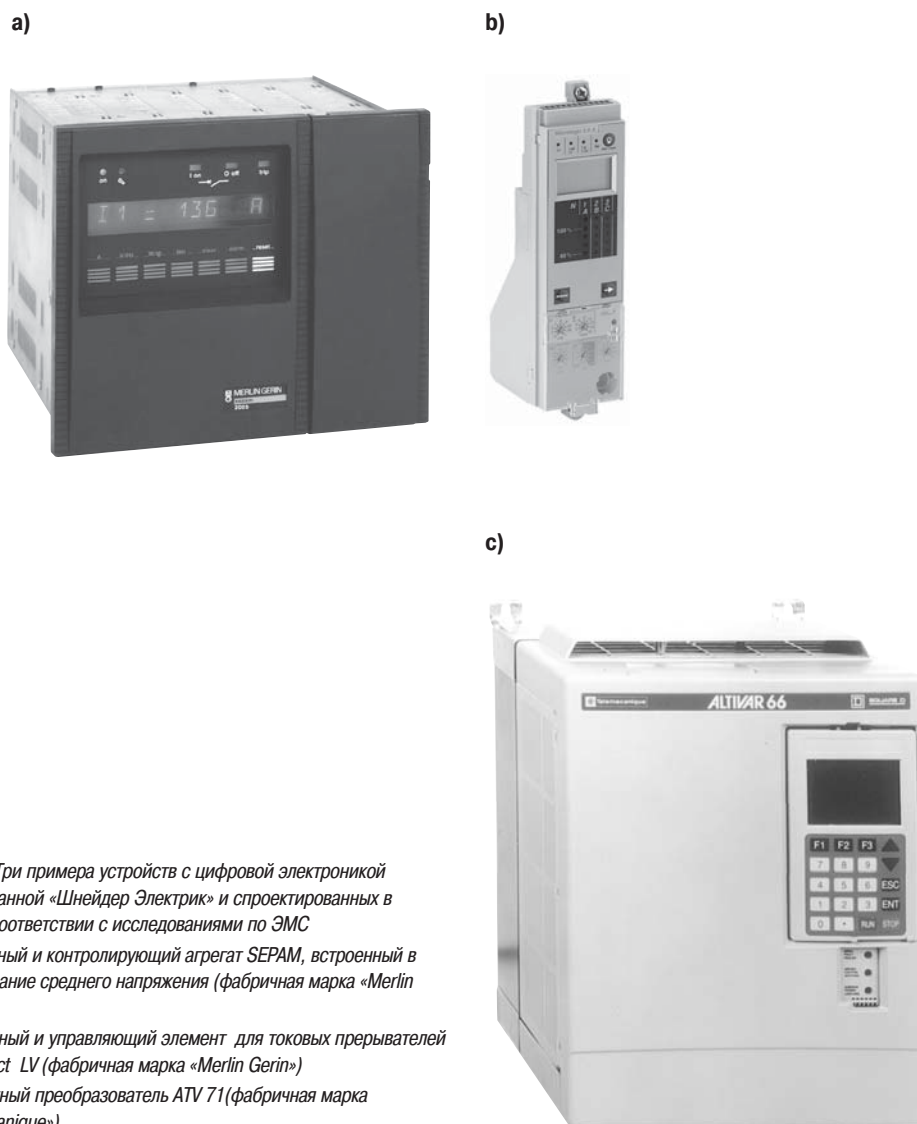


Рис. 9: Три примера устройств с цифровой электроникой разработанной «Шнейдер Электрик» и спроектированных в полном соответствии с исследованиями по ЭМС

a: Защитный и контролирующий агрегат SEPAM, встроенный в оборудование среднего напряжения (фабричная марка «Merlin Gerin»)

b: Защитный и управляющий элемент для токовых прерывателей Masterpact LV (фабричная марка «Merlin Gerin»)

c: Частотный преобразователь ATV 71 (фабричная марка «Telemecanique»)

3. Соединение

3.1 Наличие различных видов соединений

Соединение относится к подключению, перемещению или передаче электромагнитных помех, от источника к «жертве».

Соединение выражается в пределах коэффициента взаимодействия k , выраженного в дБ (например, -75 дБ), который может быть рассмотрен как КПД передачи эффективности помех от источника к потенциальной «жертве».

($k = 20 \log A$ (полученный)/ A (переданный), где A – амплитуда помех).

Важно определить этот коэффициент для ЭМС, с тех пор как понижение коэффициента (наибольшие абсолютные

значения в дБ) слабее напряжения помехи, принятого «жертвой» и превосходит ЭМС.

Коэффициент k значимый только тогда, когда перемещение электромагнитных помех пропорционально частоте, которое всегда случается на практике.

Три хорошо известных вида связи, которые могут быть выделены:

- Общий или дифференциальный вид соединения поля к проводу
- Общее соединение импеданса
- Дифференциальный вид соединения провода к проводу или перекрёстные помехи

3.2 Общий или дифференциальный вид соединения поля к проводу

Электромагнитное поле может соединяться внутри любых видов проводниковых структур и создавать любой общий вид колебаний (что касается заземления) или различный вид колебаний (между проводниками) напряжения или, как чаще случается, оба. Этот тип соединения называется соединением поля к проводу, также известный как антенный эффект электропроводки, след печатной платы и т.д.

- Общий вид соединения генерирует общий вид колебаний помех напряжений или токов.

Переданное напряжение помехи общего вида (Voltage Common Mode-VCM) – напряжение, повреждающее все действующие проводники.

Это относится к корпусному или земельному типу заземления (характерным для электрических систем): все основные виды изоляции проверяются на выключателях низкого напряжения, которые установлены между основным заземлением и всеми фазами.

Ток общего вида (I_{CM}) – ток, протекающий через все действующие проводники в том же направлении (см. рис. 10). Ток, индуцированный в линию низкого напряжения грозвым импульсом – общий вид электрического тока.

- Различные виды соединения включают в себя напряжения и токи в классическом смысле, для примера, между двумя частями выключателя или между двумя проводами, которые проводят данные датчика к электронике.

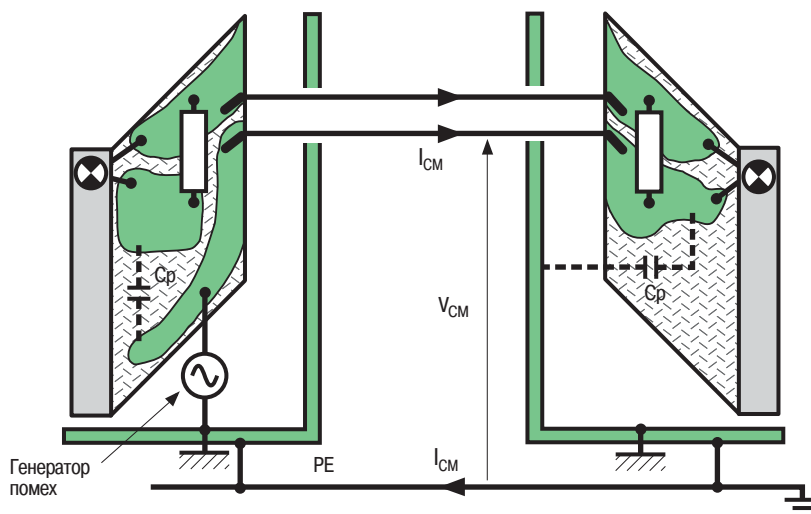


Рис. 10: Основной вид напряжения и электрического тока между двумя реле отсека низкого напряжения в ячейке распределительного устройства среднего напряжения

Уравнения, регламентирующие соединение между электромагнитными полями (импеданс случайной волны) и проводниковыми структурами (которые могут быть также произвольными) очень сложны. В большинстве случаев они не могут быть решены аналитически или вычислительно.

Тем не менее, один из простейших и наиболее общих типов соединений может быть выражено аналитически: соединение между магнитными компонентами электромагнитного поля и участком контура А, сформированного проводниками (см. **рис. 11**).

Магнитный компонент Н поля индукции в контуре серийного напряжения равен:

$$e = \mu_0 \cdot A \cdot dN/dt$$

где μ_0 = проницаемость в вакууме ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/м)

Для примера, в подстанции среднего напряжения, контур (провода или кабеля), покрывающий 100 см^2 , находящийся на расстоянии 1 м от ячейки распределительного устройства (см. **рис. 12**) и подвергающийся воздействию импульсного поля 5,5 кВ среднеквадратичное/м (измерение высокой точности) будет создавать (индукционную) последовательность напряжений переходного процесса в 15 В.

Упомянутое ранее уравнение действительно до тех пор, пока наибольший размер контура не будет превышать десятую часть длины волны помехи. Отмечено это как

зелёный/жёлтый провод контура провода (см. **рис. 12**) легче создающийся в ячейке реле, когда провода соединяются в звездообразной форме к заземлению.

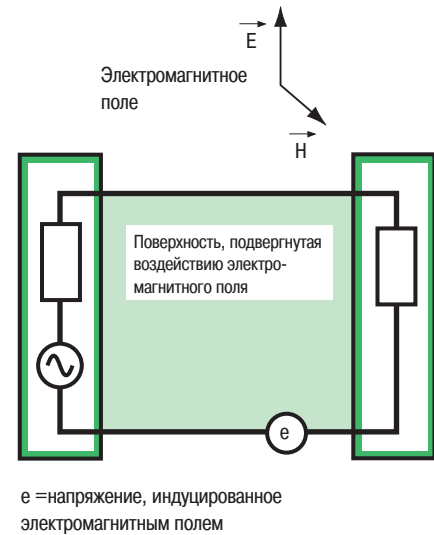


Рис. 11: Пример различного вида соединения поля к проводу

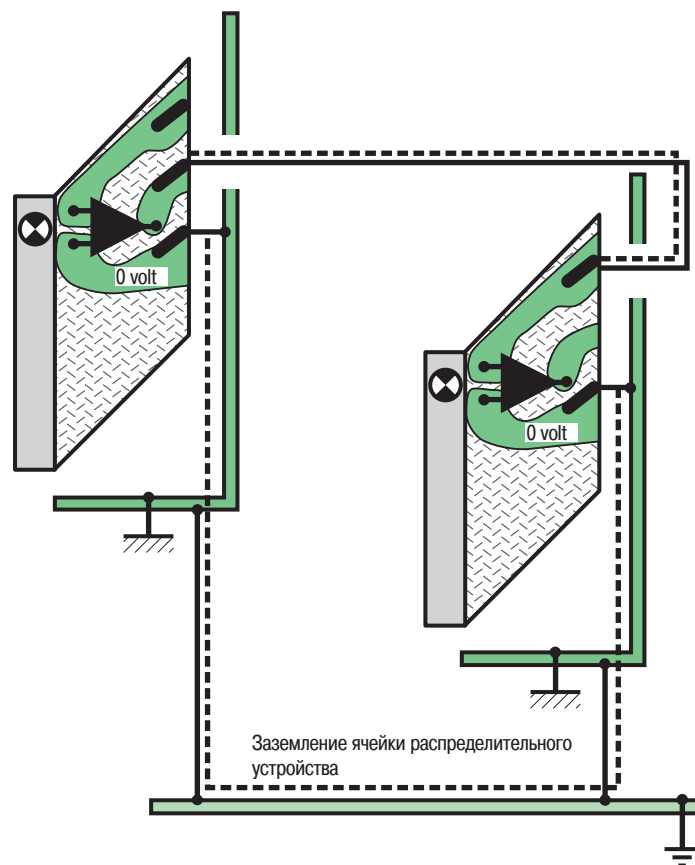


Рис. 12: Пример заземлённого контура в отделении низкого напряжения ячейки распределительного устройства среднего напряжения

3.3 Общий импеданс соединения

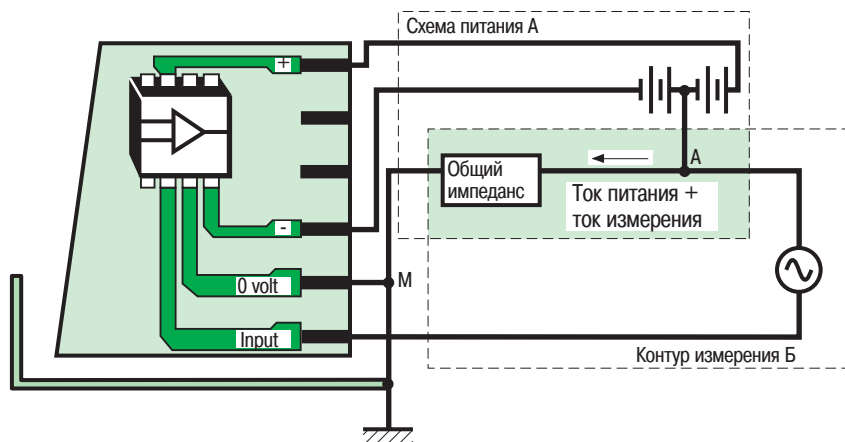


Рис. 13: Величины измеренные операционным усилителем будут неверны, потому что ток помехи в цепи А (электроснабжения) достаточно высок, чтобы создать напряжение помех в контуре В (измерение)

Как означает название, общий импеданс соединения получается из импеданса общего для двух или более цепей. Общим импедансом может быть заземление, сеть заземления, схема разводки электропитания, обратный проводник, разделяемый несколькими сигналами низкой мощности и т.д.

На следующем примере показывается эффект этого типа соединения (см. рис. 13). Ток помехи в схеме А амплитудой в десятки мА достаточен для создания напряжения помех в амплитуде напряжения в цепи В. Если схема В использует точку М как опорную (возможно заземлённую), то начало отсчёта может изменяться на несколько вольт. Это определённо воздействует на интегральные схемы в электронике, работающие с напряжениями вышеупомянутого порядка величин.

Пример, показывающий общий импеданс, может быть сформирован проводом длиной в несколько метров и являющимся общим для обеих цепей А и В.

Помеха имеет величину $U_c = I_a Z_c$, где:

- I_a – ток помехи,
- Z_c – общий импеданс (см. рис. 14).

При низких частотах общий импеданс обычно крайне мал. Для примера, требования безопасности предписывают

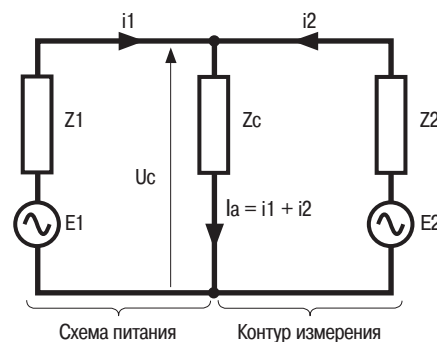


Рис. 14: Основная диаграмма импеданса

минимальный поперечный срез для РЕ – проводников, т.е. зелёно-жёлтых проводов заземляющей сети, зависящей от ожидаемого тока короткого замыкания. Импеданс при 50 Гц между двумя точками в сети, следовательно, много ниже 1Ω .

Но этот вышеупомянутый импеданс может быть более крупный на типичных частотах помех, обсуждавшихся ранее. Импеданс может достигать нескольких кОм или более (см. дополнение 1)

3.4 Дифференциальный тип соединения провод к проводу или перекрёстные помехи

Перекрёстные помехи – вид соединения, имеющий сходство с соединением поля к проводу. Это называется ёмкостными или индуктивными перекрёстными помехами, в зависимости от вызванных изменений в электрическом токе или напряжении.

Быстрота смены напряжения между проводом и контуром или между двумя проводами (см. рис. 15), создают поле, которое может быть сравнимым, с некоторым приближением, только с электрическим полем.

Это поле может соединять любую другую проводную структуру. Это называется ёмкостными перекрёстными помехами. Аналогично, смена электрического тока в проводе создающее электромагнитным полем, с вышеупомянутым приближением, может рассматриваться только как магнитное поле.

Поле может соединяться внутри пары проводов и индуцировать напряжение помех. Это называется индуктивными перекрёстными помехами (см. рис. 16).

Ёмкостные и индуктивные перекрёстные помехи существуют всякий раз, когда проводники соединены в параллель или постоянно находятся в близости друг к другу. Перекрёстные помехи могут проявляться в кабельных каналах и проводке, и особенно между кабелями силовой сети, пропускающими высокочастотные помехи дифференцированно, и скрученных парах, используемых в цифровых схемах, таких, как *Vatibus*. Перекрёстные помехи будут длиннее параллельных траекторий, будет меньшая дистанция между проводами или парами проводов и выше частота помех. Для примера, используя запись в **рис. 15**, коэффициент соединения напряжения (ёмкостные перекрёстные помехи) может быть выражен как:

$$\frac{V_N}{V_1} = \frac{j 2\pi f \left[\frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}} \right]}{j 2\pi f + \left[\frac{1}{R(C_{12} + C_{20})} \right]}$$

Где:

- V_1 : источник напряжения.
- V_N : напряжение помех, индуцированное соединением.
- C_{12} : ёмкостное соединение между двумя проводами, которые пропорциональны протяжённости провода и коэффициенту расстояния $\text{Log} [1 + (h/e)^2]$, где h – расстояние между двумя проводами пары и e – расстояние между парами.
- C_{20} : ёмкость утечки между двумя проводами возмущённой пары.
- импеданс нагрузки возмущённой пары.

В этой формуле первый член знаменателя часто несущественен в сравнении со вторым членом. В результате соответствующего приближения будет:

$$\begin{aligned} \left| \frac{V_N}{V_1} \right| &\approx 2\pi f + \frac{\frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}}}{\frac{1}{R(C_{12} + C_{20})}} \\ &= 2\pi f K C_{12} \\ &= \omega K C_{12} \end{aligned}$$

Для большей определённости, рассмотрим две пары с проводом диаметром в 0.65 мм проложенные параллельно на расстояние в 10 м; провода в пострадавшей паре отделены на 1 см, и на 2 см в пары разделены друг от друга и $R=1\text{k}\Omega$. Для сигнала в 1 МГц, коэффициент связи -22 дБ найден, и дальнейшие подсчёты дают результат:

$$\frac{V_N}{V_1} = \frac{1}{12}$$

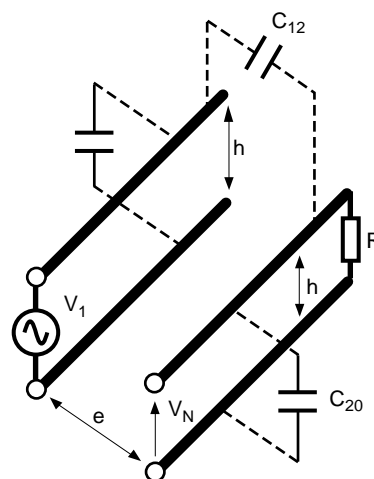


Рис. 15: Быстрое переключение V_1 , создающее поле, которое на короткой дистанции может быть рассмотрено как чисто электрическое и индуцирующее напряжение V_N в другую проводную структуру, проходящую в параллели; это вид соединения называется ёмкостными перекрёстными помехами

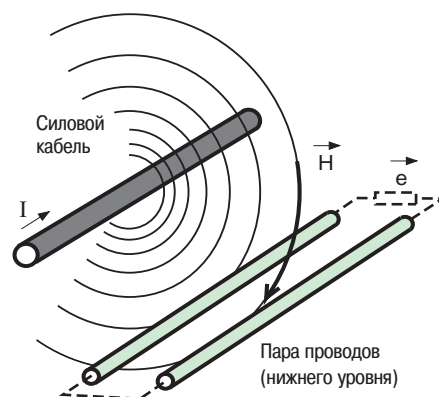


Рис. 16: Меняющийся в кабеле электрический ток создаётся электромагнитным полем, которое за короткое расстояние может быть рассмотрено как чисто магнитное, индуцирующее помехи (напряжения) в провода, формирующие схему; этот вид соединения называется индуктивными перекрёстными помехами.

На практике, ёмкостное и индуктивное соединение этого типа существенно снижено использованием скрученных пар и экранированных кабелей.

4. «Жертва»

Любое оборудование, способное быть повреждённым помехами, может считаться «жертвой». Это типичное оборудование, содержащее некоторую электронику,

которая даёт сбой потому, что электромагнитные помехи происходят в неожиданной полосе частот.

4.1 Сбои аппаратуры

Сбои аппаратуры разделяются на 4 категории и могут быть:

- Постоянными и измеряемыми.
- Случайными и не повторяющимися, возникающими при возникновении помех.
- Случайными и не повторяющимися, остающимися после исчезновения помех.
- Постоянные сбои аппаратуры (детали физически разрушены).

Упомянутые ранее категории характеризуют продолжительность сбоя, но не его жёсткость.

Жёсткость сбоев – это вопрос функциональности или, другими словами, насколько критично оборудование к сбоям. Определённые сбои могут быть допустимы для ограниченного времени, такие, как временная потеря индикации, другие могут быть не допустимыми, такие, как сбои средств защиты.

4.2 Решения проблем

Многочисленные решения в рамках того как создать оборудование, обеспечивающее эффективную и дешёвую защищённость от электромагнитных помех. Предупредительные меры могут быть найдены в:

- Проектировке печатной платы (функциональное разделение, разметка планировки, взаимосвязи)
- Подборе электронных компонентов
- Подборе и проектировке защитной оболочки
- Оборудовании заземления
- Прокладке кабеля

Подбор включает множество различных дисциплин и может быть сделан во время разработки проекта во избежание дополнительных затрат, которые всегда высоки для изменений после законченной разработки или когда продукция уже продаётся.

Применение всех предупреждающих измерений нуждается в знании дела которое выходит далеко за стандартные знания по фильтрации и экранировании техники, часто рекомендуемого для возрастания защищённости, даже если его эффективность не была доказана.

Печатные платы

Проектировщик печатных плат должен следовать определённым правилам касающихся функциональных частей и компоновки.

Начиная с монтажа электронных элементов, уже возможно ослабить эффекты соединений, зависящих от приближённости.

Для примера, группировка элементов, принадлежащая определённой категории схемы (цифровой, аналоговой или силовой схемы), согласно их чувствительности, ослабляет помехи.

Кроме того, планировка на печатной плате разметки (маршрутизация) паразитно влияет на чувствительность: та же электрическая схема, реализованная разными способами, может отражать порядки магнитуды с разными уровнями защищённости

Для примера, планировка «минимального травления» печатной платы (см. [рис. 17](#)) ослабляет эффекты излучения и чувствительности.

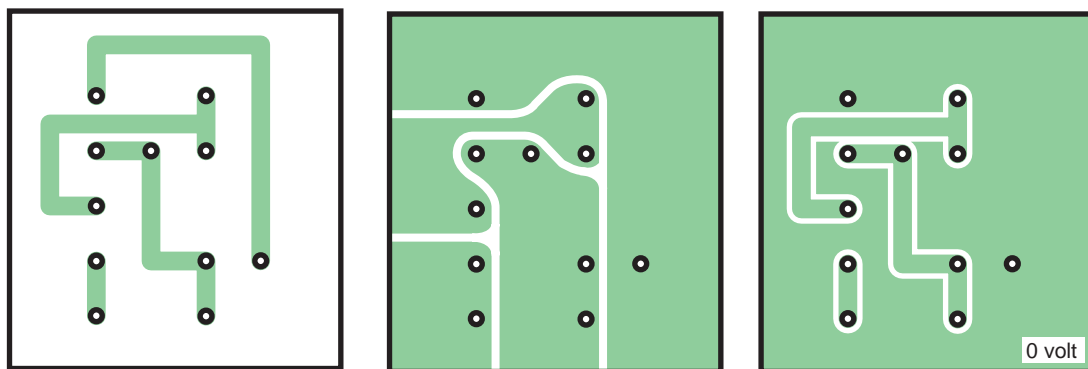
Электронные устройства

Многочисленные компоненты, годные к обеспечению эффективной защиты против проводимых помех. Выбор руководствуется уровнем мощности схемы при защите (электропитание, управление и мониторинг, и т.д.) и типом помехи. Следовательно, для общих видов помех в силовых схемах, трансформатор будет использован, если помехи низкочастотные (< 1 кГц), фильтр же будет использован, если помехи высокочастотные.

Таблица на [рис. 18](#) даёт неполный список защитных устройств. Они имеют различные характеристики: фильтр не защищает от импульсов напряжения, и устройство защиты от перенапряжений не защищает от высокочастотных помех.

Экранирование

Заклѳенное в шкаф чувствительное оборудование в проводящем экране снабжается защитой от электромагнитных полей. Чтобы быть эффективной, толщина проводящего экрана должна превышать глубину проникновения поля на частотах встречных помех (см. [рис. 19](#)). Против высокочастотных помех или электрического поля, проводящее лакирование может быть эффективным. Только высокопроницаемые материал шкафа может остановить низкочастотные магнитные поля.



Тонированная планировка схемы

Минимальное травление планировки

Планировка с земляным слоем

Рис. 17: Планировка схемы может ослаблять электромагнитную чувствительность печатной платы: сведение к минимуму импеданса (минимальное травление), или ослабление соединения с электромагнитным полем (земляной слой).

Тип	Пример устройства	Использование
Разрядник для защиты от искровых перенапряжений	Искровой разрядник	Электропитание, управление и мониторинг ■ В установках
	Молниеотвод Ограничитель	
Фильтрация	Варистор	■ Электронные схемы
	Стабилитрон	
Защита	Трансформатор	Электропитание, управление и мониторинг (установки и электронные схемы)
	Индуктор	
	Конденсатор	
	Фильтр	
Защита	Проводная сетка	Передача данных (отсек в области помех)
	Оплётка дверцы	
	Экранированный кабель	
	Высокочастотное уплотнение	
	Наконечник электрического тока	

Рис. 18: Таблица защитных устройств

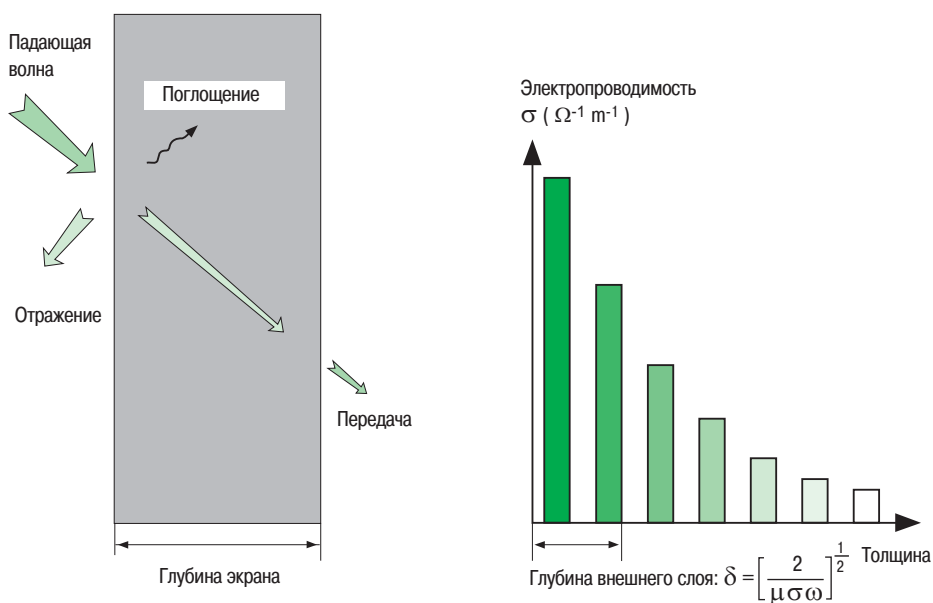


Рис. 19: Экранирующий эффект заключения в металлический кожух

Заземление

Когда приходит время заземления, хорошая электрическая непрерывность между различными частями оболочки крайне важна. Они должны быть аккуратно и исправно соединены, для примера, использование защиты мест соприкосновения от любой окраски, а также использование коротких, широких проводных оплётков (чтобы ослабить импеданс до минимума).

Прокладка кабеля

Экранирование кабеля – это расширение проводящей оболочки, размещённой вокруг чувствительных систем. Поэтому она имеет кратчайшее возможное соединение и, по возможности, предназначено защищать всё вокруг своего периметра от высокочастотных помех.

Точно как с соединением между электромагнитными полями и проводными структурами (см. раздел 3), теория управления защитой провода очень комплексная и очень обширная для рассмотрения в этом документе. Ссылки по специальной литературе даны в библиографии.

Когда все проектировочные и производственные правила соблюдены, система будет достаточно защищена от электромагнитных помех в окружающих условиях, для которых она создана.

Однако, эта защита может быть подтверждена только реальными измерениями, определяющими эффективность различного экранирования техники. На «Шнейдер Электрик», для примера, различные прототипы моделей электронных элементов выключателей для токовых прерывателей доступны для жёстких тестов, представляющих из себя наибольшие помехи, которым приборы могут быть подвергнуты.

Настоящая цель этих тестов – проверить устройство выключения, что оно не работало с оплошностью, токовый прерыватель правильно открывался в короткое требуемое время.

Производственные стандарты сейчас включают эти спецификации, для примера: стандарт IEC 60947-2, касающийся промышленных выключателей и переработанный IEC 61131-2, касающийся программируемых контроллеров.

5. Установка

5.1 Установка – важный фактор в комплексной системе ЭМС

Очевидность этого факта может быть найдена в NF C 15-100 (IEC 60364) общие стандарты установки низковольтных приборов, которым посвящается целая глава (33) по ЭМС.

Две предыдущие главы показывали, какую важную роль установка играет в ЭМС; это истинно для стадий проектировки и планировки и собственно стадии установки.

5.2 Стадия проектировки

Во время стадий проектировки и планировки ЭМС руководствуются двумя ведущими факторами: выбор оборудования и его условное расположение (см. **рис. 20**).

Первый фактор относится к выбору излучателей и жертв: данная часть оборудования может создавать помехи и/или быть чувствительной.

Для примера, если два устройства работают плотно друг к другу, они должны:

- Каждый сочетать в себе излучателя, создающего помехи низкого уровня, и «простую» (т.е. не слишком чувствительную) «жертву».

- Или сочетать «простой» излучатель, создающий помехи умеренного уровня и слабо чувствительную «жертву».

- Или создавать компромисс между двумя вышеупомянутыми крайностями.

Второй фактор, непосредственно полагающийся на первый, относится к позиционированию оборудования, уже выбранному с соблюдением его индивидуальных характеристик, удовлетворяющих требования по ЭМС. Очевидно, что этот выбор должен браться из расчёта цены оборудования и его установки.

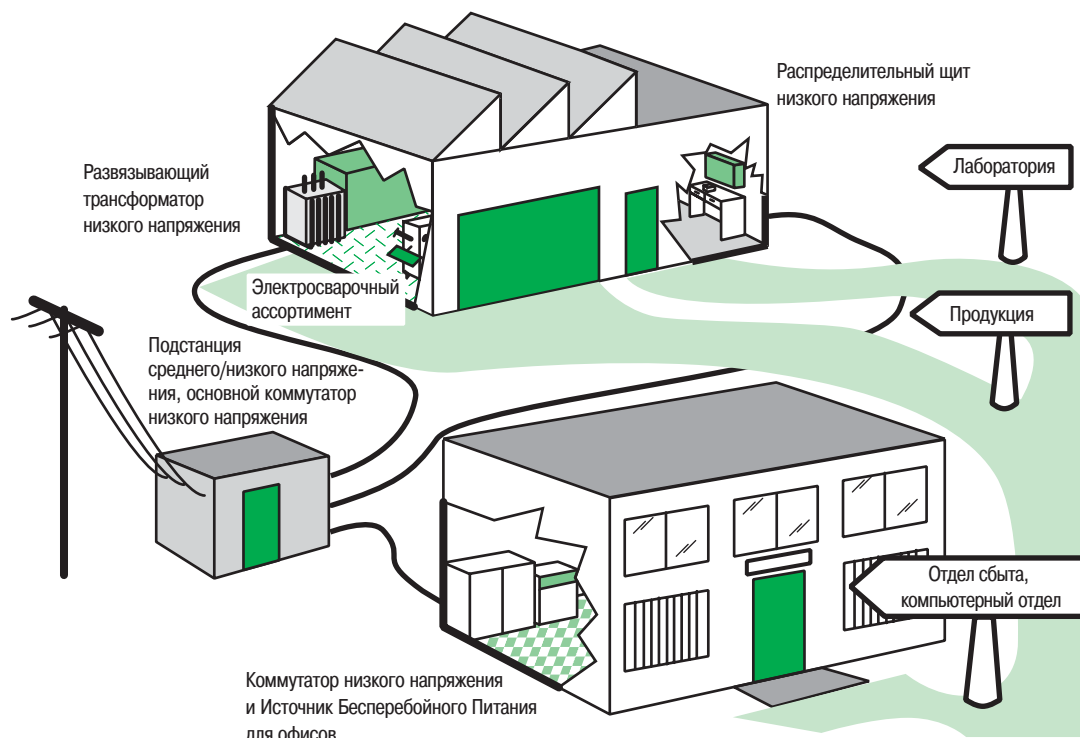


Рис. 20: Пример планировки электрического оборудования с соблюдением ЭМС

5.3 Стадия установки

Работа по электрической и электронной установке должна следовать по инструкциям, уже обсуждавшимся в предыдущих главах. На практике, различные виды сосуществующие соединения обязаны быть изучены и ослаблены для удовлетворения требований по ЭМС.

Должна быть применена различная техника:

- Схемы и шасси/ заземление должны быть уложены в сетку.
- Схемы должны быть физически разделены.
- Монтаж проводки должен быть исправно спланирован.

5.4 Практические примеры

Позиция сетки для схем и шасси/заземления

Сейчас, оборудование может быть восприимчивым к очень низким энергетическим уровням. Оно содержит соединённую электронику, чувствительную к высоким частотам. Общий импеданс соединения часто встречается и, чтобы избежать это, лучший возможный способ – система заземления с равными потенциалами, или, если быть более точным – сеть заземления, которая необходима.

Это первый шаг в обеспечении защитой от проблемы помех. На заводе схема разводки электропитания, вся защита проводов должны совмещаться вместе и соединяться с имеющимися металлическими структурами, как определено в NF C 15-100 (см. **рис. 21**)

Аналогично, внутри оборудования, все заземления и корпуса должны быть соединены с подобной сеткой заземляющей системой кратчайшим возможным путём, используя низкий импеданс (при высоких частотах), проводами и короткими электрическими соединениями (провода или оплётки). Монтаж проводки в электрическом шкафу – типичный пример: все заземления должны быть соединены вместе.

Это изменение, отмеченное здесь: метод вовлечения соединений всех заземлений в центральную точку (звёздную форму), иногда используемую для аналогового электронного оборудования, чувствительного к фону в 50 Гц, замещён сетками, которые гораздо более эффективны в ослаблении помех, повреждающих современные цифровые системы, защита релейных, управляющих и мониторинговых систем.

Разделение электрических схем

Эта техника заключается в отделении энергетических источников (чаще всего 50 или 60 Гц). Цель заключается в избегании помех на чувствительных устройствах, вызванных наведёнными помехами, создаваемыми другими системами, подключенными к вышеупомянутому источнику питания. Принцип – создание двух отдельных источников питания, изолированных импедансом - высоким на частоте помех.

Трансформаторы (не автотрансформаторы) – эффективные изоляторы, особенно на низких частотах: трансформаторы среднего/низкого напряжения, развязывающие трансформаторы, и любые входные трансформаторы для электроники предотвращают наведённые помехи.

Иногда изоляционный фильтр требуется для устранения высокочастотных помех. Если чувствительное оборудование также требует резервного источника питания, то он может быть реализован источником бесперебойного питания (ИБП), так как ИБП содержит требуемый развязывающий трансформатор(ы).

Хорошо спроектированный монтаж проводки

Эффект трёх соединяющих механизмов, обсуждавшийся ранее, может быть понижен, если маршрутизация кабеля и проводки придерживается следующих правил:

- Во всех системах, неспособных разделить физически по экономическим причинам, провода/кабеля должны быть сгруппированы вместе по категориям. Эти различные категории должны быть маршрутизированы отдельно: в частности, кабеля электропитания

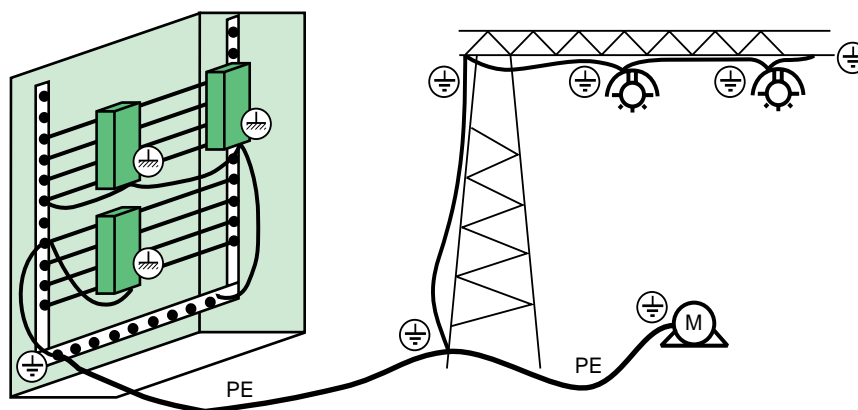


Рис. 21: Сетка для схем и для основы/заземляющих систем, часто комбинированных в электрических шкафах

должны быть на одной стороне, а силовые кабели низкой мощности (телефон, устройства управления и мониторинга) – на другой (см. **рис. 22**).

Если достаточное количество кабельных каналов или лотков соответствуют техническим требованиям, силовые кабели несущие более чем несколько амперов при 220 В должны быть маршрутизированы отдельно от сигнальных кабелей низкой мощности. В противном случае, минимальная дистанция, по крайней мере, 20 сантиметров должна быть выдержана между двумя типами проводников.

Любой элемент, имеющий общее происхождение с этими двумя категориями, не должен быть смешан с другой.

Компоновка схемы, использующая низкоуровневые сигналы, должна иметь обыкновенно возможный собственный возвратный провод (0 вольт), чтобы избежать общего импеданса соединения. Большинство систем, соединяющихся по шинам, требуют пары проводов, зарезервированных исключительно для обмена данными.

■ При любых обстоятельствах, полный цикл области сформированной проводником и его возврат должен быть минимизирован. При передаче данных скрученные пары ослабляют восприимчивость к воздействию различных видов соединений. Скрученные пары предпочтительнее прямых проводов.

■ Кабели, используемые для измерений и передачи данных сигналами низкого уровня, должны быть

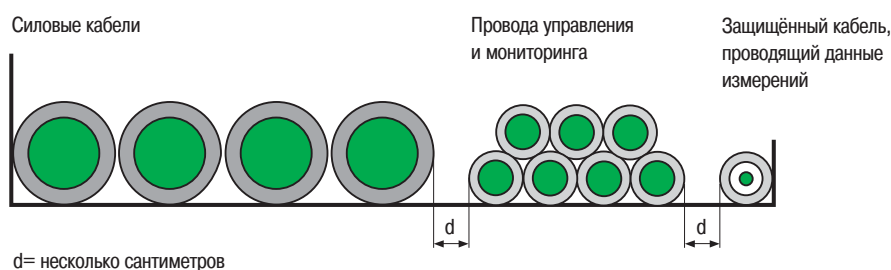
экранированы, если возможно, и в отсутствие специальных инструкций от производителя, их экран должен быть соединён с заземлением в максимальном числе точек.

■ Лоток кабельной трассы должен, если это возможно, быть выполнен из металла. Лотки должны быть исправно электрически соединены, например, завинчены вместе и соединены с заземляющей сеткой.

■ Самые чувствительные кабели (например, используемые в измерениях) должны быть расположены в углу лотка, где они могут получить максимальную защиту против электромагнитного излучения. Их экран, при наличии его, должен быть соединён с лотком через определённые интервалы.

Использование изготовленных заранее кабельных желобов, в которых кабели расположены и соединены корректно, такие как система «Telemecanique's Canalis», с вмонтированными контрольными линиями, весьма рекомендуется.

Вся эта кабельная техника, эффективно избегающая проблемы ЭМС, только слегка увеличивает стоимость, когда учитывается во время проектировки или установки. Последующие изменения существующей установки, показывающей чрезмерное электромагнитное взаимодействие гораздо более дорого.



d= несколько сантиметров

Рис. 22: Пример кабельных трасс

6. Стандарты, тестовые устройства и тесты

6.1 Стандарты

Документированные нормы, регулирующие электромагнитную совместимость систем, существуют длительное время.

Первые нормы были выпущены CISPR (Международный Специальный Комитет по Радио-Интерференции). Эти нормы покрывают только максимально приемлемый уровень мощности, который может быть излучён различными типами оборудования, в основном для защиты радиопередачи и радиоприёма.

Национальные Комитеты и Международная Электротехническая Комиссия (IEC) выпустили документированные нормы, покрывающие все аспекты ЭМС, излучения и восприимчивости, встречающиеся в гражданской сфере.

Военные нормы по ЭМС были составлены в 13 серий GAM EG во Франции и в сериях MIL-STD в США. Возрастающая важность ЭМС и предстоящая унификация Европы изменяет ландшафт гражданских стандартов.

Европейский Совет в мае 1989 года опубликовал директиву (номер 89/336/ЕС) по этому вопросу. Это относится к унификации законодательства по ЭМС в странах-членах Совета. Каждая страна-член ручается включить её (директиву) в их национальное законодательство и сделать обязательной к применению.

Европейская Директива не только предписывает ограничения по излучённым помехам, но также устанавливает минимальную защищённость от электромагнитных помех. Директива делает ссылку на нормы, определяющие максимальные уровни помех.

Технические Комитеты были учреждены CENELEC (Европейский комитет по Электротехнической Стандартизации). Они обобщили существующие стандарты, которые соответствуют применению Директивы, и вычертили стандарты утратившие силу. Технический Комитет ТК 210 основывает эту работу на действующей промышленной практике.

Для тестирования излучения, немецкие нормы VDE 0871 и VDE 0875 были использованы на некоторое время как эталон. Сейчас они замещаются новыми Европейскими нормами EN 55011 и 55022. Эталонные нормы для ЭМС сейчас - серия IEC 61000 (шаблонно IEC 1000). Публикация содержит несколько частей, для примера:

- 61000-1: Применение, определения.
- 61000-2: Внешние условия, уровни совмещённости
- 61000-3: Пределы помех
- 61000-4: Тестовая и измерительная техника
- 61000-5: Установка и рекомендации по смягчению
- 61000-6: Базовые стандарты

Часть 4 содержит несколько глав, относящихся к тесту защищённости, включает:

- 1 – Обзор тестов защищённости.
- 2 – Электростатический разряд.
- 3 – Излучённые радиочастоты электромагнитных полей.
- 4 – Электрический быстрый переходный режим/ вспышки.
- 5 – Импульсы напряжения.
- 6 – Проводимые помехи > 9 кГц.
- 7 – Гармоники.
- 8 – Силовая частота магнитных полей.
- 9 – Импульсные магнитные поля.
- 10 – Затухающие колебательные магнитные поля.
- 11 – Падения напряжения, короткие прерывания и изменения напряжения.
- 12 – Колебательные волны.
- 3 – Гармоники и промежуточные искажения.
- и т.д.

Эти нормы широко приняты в международном сообществе, и «Шнейдер Электрик» адаптировал их для своей продукции. Следующая глава более детально описывает тесты, относящиеся к этим стандартам.

6.2 Тестовые устройства

Как было упомянуто ранее, соблюдения инструкций, стандартизированные измерения и тесты также должны быть выполнены. Соответствуя этим производственным применениям, «Шнейдер Электрик» - делает ЭМС одним из основных требований в течении длительного времени.

Крупные установки, такие как «клетка фарадея» были в применении с 70-х годов.

За многие годы «Шнейдер Электрик» имеет две ЭМС лаборатории. Эти центры полностью используют свои навыки и знания и поддерживают обмен информацией.

Они также предлагают услуги внешним клиентам. Таким образом, проведённые тесты покрывают широкий диапазон применения ЭМС, включая:

- тесты электростатических разрядов
- тесты проведённой и излучённой защищённости
- тесты проведённого и излучённого излучения

Как с любыми другими измерениями, измерения электромагнитной совместимости должны быть воспроизводимы во времени и в пространстве, что подразумевает выполнение этих двух измерений в двух различных лабораториях, которые должны выработать

одинаковые результаты. В дисциплине ЭМС это подразумевает многочисленное оборудование, требующее значительных капиталовложений, и строгую политику в управлении качеством.

Программа качества при ЭМС лабораториях «Шнейдер Электрик» базируется на руководстве по контролю качества и наборе методик. Эти методики подразумевают поверку приборов и связаны с эталонными стандартами в дополнение к каждому типу измерений. Список тестов в соответствии со стандартами, которые могут быть выполнены в лабораториях, находятся в приложении 3.

6.3 Тесты

Электростатические разряды

Эти тесты разрабатывались, чтобы проверить защищённость печатных плат, оборудования и систем от электростатических разрядов.

Электростатические разряды – следствие зарядов, накопленных человеком, для примера, идущему по полу, покрытому электрически изолирующим материалом. Когда человек касается электрически проводящего материала, соединённого посредством импеданса с землёй, он внезапно разряжает заряд сквозь импеданс. Несколько исследований показали такую форму волны, являющуюся функцией характеристик излучателя (источника разрядов) и включённой схемы, но также и других параметров, таких как относительная влажность (см. **рис. 23**) или скорость, с которой заряженное тело приближается, в нашем примере рука человека и т.д.

Это исследование выводит стандартизованные тесты разрядов. Они выполнены с электростатическим пистолетом, симулирующим человека, находящегося в заранее определённых положениях. (см. **рис. 24**).

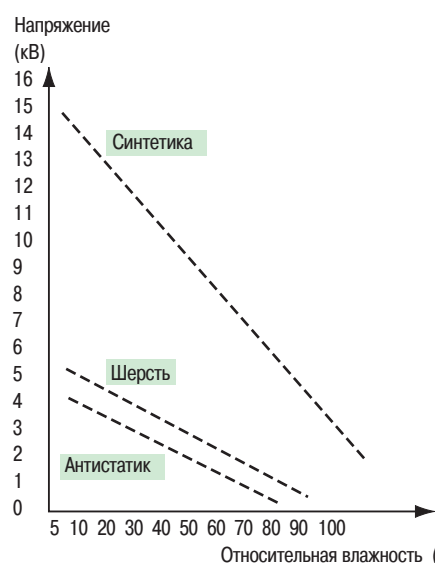


Рис. 23: Эффект относительной влажности на электростатическом разрядном напряжении для трёх типов материала для пола

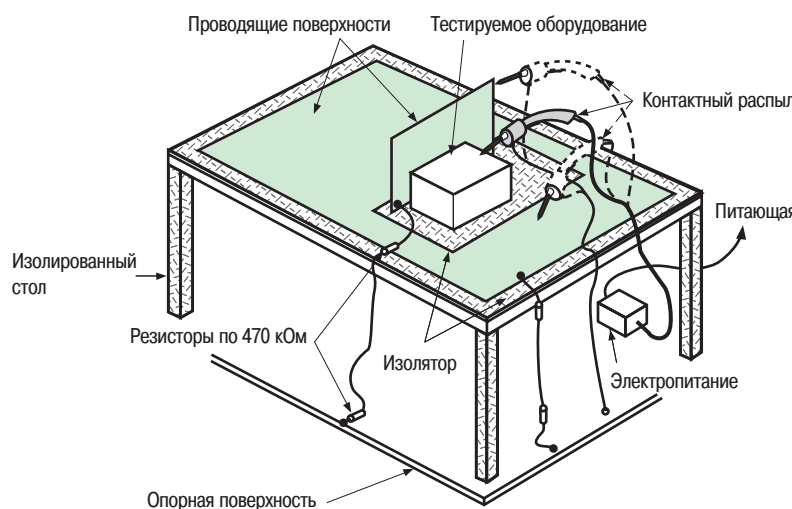


Рис. 24: Испытательная площадка электростатических разрядов, описанная нормами IEC 61000-4-2

Разряды накладываются на все доступные части тестируемого устройства в этом непосредственном окружении, и повторяется достаточное количество времени, чтобы удостовериться, что устройство сопротивляется электростатическому разряду.

Эти измерения требуют соответствующего стенда.

Все тесты полностью определены стандартом IEC 61000-4-2 на жёстких уровнях, показанных в таблице на **рис. 25**.

Наведённая защищённость

Тесты защищённости использовались для проверки сопротивления оборудования к помехам, проникающим посредством внешних кабелей оборудования (входы, выходы и источники питания). Как упоминалось ранее, эти помехи различаются в зависимости от типа и установочных характеристик кабеля. Электромагнитные сигналы или импульсы, использованные в этих тестах, имеют характеристику амплитуд, формы волн, частот и т.д.

Измерения помех, совершённые на многочисленных местах, выводят отбор пяти тестов.

■ Первый тест, определённый IEC 61000-4-4, симулирует типичные помехи, создающиеся работой управляющего устройства. Тесты используют импульсы, состоящие из определённого количества быстрых переходных режимов. Повторение импульсных частот приблизительно 3 Гц. Каждый импульс содержит приблизительно 100 переходных режимов каждые 100 мс. Каждый переходный режим круто поднимается (5 нс) к амплитуде нескольких кВ, находящихся на заданном уровне жёсткости (см. **рис. 26** и **27**).

Все кабели могут быть подвергнуты быстрым переходам. Этот тип помехи соединяется внутри электропроводки очень легко, например «перекрёстные помехи» (смотри главу про «соединение»). Берётся только один кабель, создающий такие помехи в кабеле или проводе через «загрязнение» всех остальных кабелей вдоль того же маршрута. Тест должен, следовательно, включать в себя все кабели и провода: основной вид теста выполнен на всех проводах с искусственно индуцированными помехами (кабели отличные от кабеля питания) и общий и дифференциальный вид теста на кабелях соединённых с питающей сетью. Помехи введены вовнутрь тестируемого

Уровень опасности	Тесты напряжения (кВ), +/- 10%	
	Молния	Разряд соприкосновения
1	2	2
2	4	4
3	8	6
4	15	8

Рис. 25: Электростатическое разрядное напряжение этих устройств должно выдерживать соблюденный стандарт IEC 61000-4-2

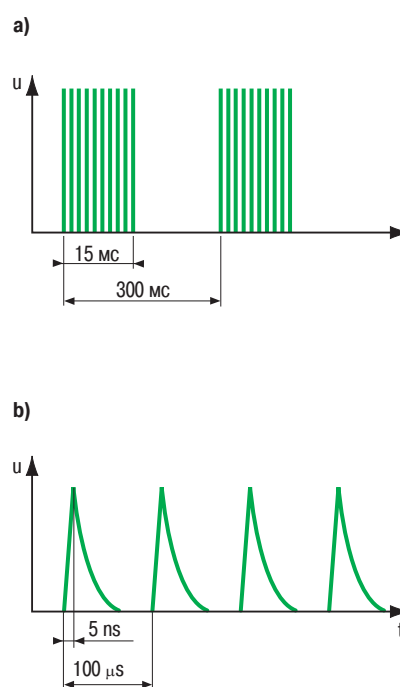


Рис. 26: Образец импульсов (а) и их быстрых переходных режимов (б)

Уровень опасности	Приложенное тестовое напряжение (+/-10%) в кВ без встречающихся сбоях (выход разомкнутой схемы)	
	На источнике питания	На входных/выходных линиях (сигналы, данные, управление)
1	0.5	0.25
2	1	0.5
3	2	1
4	4	2
x	Special	Special

Уровень x определён соглашением между фирмой-изготовителем и клиентом

Рис. 27: Таблица уровней опасности, описанных в IEC 61000-4-4

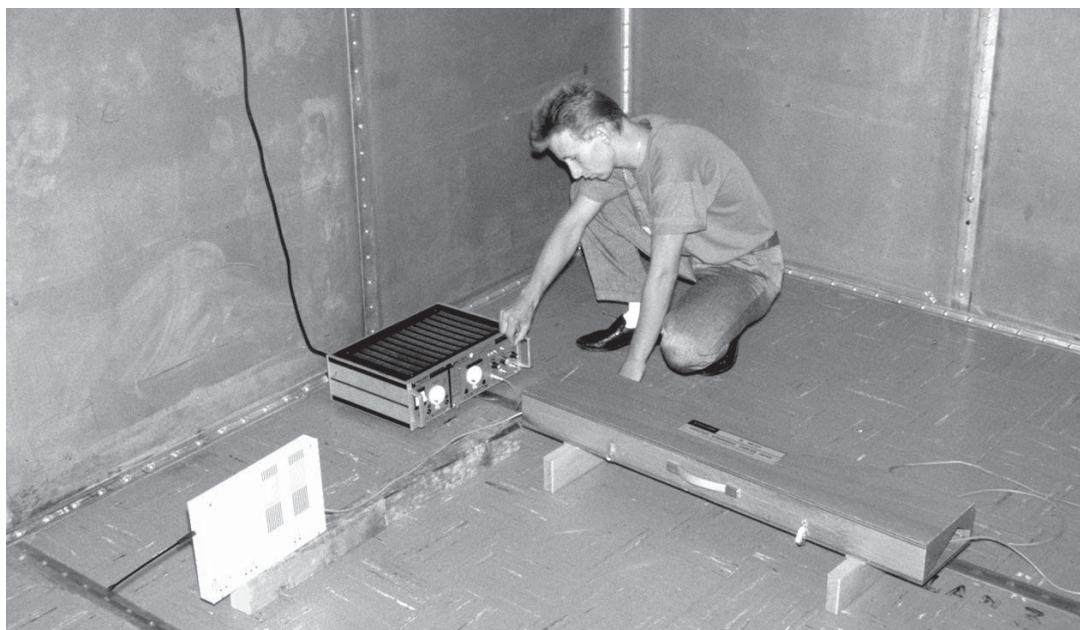


Рис. 28: Чувствительность к быстрым переходным режимам, измеренная на центральном управляющем устройстве «Isis» (тестирование 61000-4-4) в «клетке Фарадея». Это фото показывает источник помех, спроектированный оператором - деревянный ящик, содержащий фиксатор соединения и центральное управляющее устройство «Isis», соединённое с сетью «Batibus»

кабеля даже посредством направленного емкостного соединения (источники питания), или посредством соединения фиксации, состоящего из двух металлических пластин, ограживающих дополнительные кабели (см. **рис. 28**).

Тестируемое оборудование не должно показывать сбои выше заранее установленного периода (1 мин). Этот тест наиболее уместен для защищённости устройств, потому что с быстрыми переходными режимами наиболее часто сталкиваются.

■ Второй тест показывает вторичный эффект, созданный таким явлением, как молния. Это симулирует наведённые помехи, возникающие на линиях электропередачи низкого напряжения после ударов молний (стандарт IEC 61000-4-5).

Эти помехи состоят из энергии, трансформирующейся в:

□ Импульсы напряжения в $1.2/50 \mu\text{s}$, если импеданс тестируемого устройства высок, с амплитудами, способными достигать нескольких кВ. Тесты напряжений показаны на **рис. 29**.

□ Импульсы электрического тока в $8/20 \mu\text{s}$, если импеданс низкий, с амплитудами, достигающими нескольких кА.

Время нарастания этого типа помех это в порядок тысячи раз длиннее, в диапазоне микросекунд, чем для импульсов быстрых переходных режимов (см. рис. 26). Тип перекрёстных помех соединения, следовательно, менее преобладающий и этот второй тип теста применим только к кабелям прямо соединённым с питающей сетью. Основные и дифференциальные виды тестов используют емкостное соединение и соответствующие уровни. Метод имеет сходство с тестом быстрого переходного режима: тестируемое оборудование не должно работать со сбоями.

Уровни опасности	Тест напряжения нагрузки разомкнутой схемы (кВ)
1	0.5
2	1
3	2
4	4
x	Special

Уровень x определён соглашением между фирмой-изготовителем и клиентом

Рис. 29: Уровень x определён соглашением между фирмой-изготовителем и клиентом.

■ Третий тест выполнен в соответствии с IEC 61000-4-6. Он выполняется с требованиями, имеющими отношение к защищённости оборудования от высокочастотных помех в кабелях, в диапазоне от 150 кГц до 80 МГц (даже 230 МГц). Источники помех – электромагнитные поля, которые могут нагружать общую длину кабелей, соединённых с этим оборудованием, и индуцировать туда напряжение и электрический ток.

В течение теста помехи соединены с кабелями посредством Соединяюще - Разделяющих Сетей (CDN), основной вид импеданса которых, равный 150Ω , отображает характеристики импеданса большинства кабелей. Тем не менее, это должно быть подчеркнуто вне продолжения теста, помехи, приложенные к одному кабелю за время, несмотря на то, что электромагнитное поле соединяется со всеми подключёнными кабелями. Это составляет значительную разницу, которую невозможно избежать.

В действительности тест должен быть очень комплексным и дорогостоящим, если высокочастотные сигналы были связаны со всеми кабелями одновременно.

Если CDN сети не подходят, для примера, когда электрический ток слишком высокий, используют фиксаторы соединения.

Высокочастотные помехи рекомендованы стандартом IEC 61000-4-6, имеющим уровень, равный 1, 3 или 10 В. Их амплитуда модулируется на 80%-й синусоидой с частотой 1 кГц.

Перед тестом сигнал, введённый для достижения правильного уровня, откалиброван и сохранён, затем вносится в кабели, соединённые с тестируемым оборудованием.

■ Четвёртый тест заключается в кратковременных прерываниях и/или падениях напряжения в кабелях электропитания тестируемого оборудования. Стандарт IEC 61000-4-11 – базовый номер публикации.

Эти помехи вызваны неисправностями в питающей сети, в установке или внезапными большими изменениями в нагрузке. Эти случайные явления характеризованы их отклонениями от номинального напряжения и их продолжительностью. Уровни падения напряжения – 30, 60 или 100% (разрыв) номинального напряжения. Их продолжительность варьируется между 0.5 и 50 периодами.

■ Пятый тест проведён в соответствии со стандартом IEC 61000-4-12, который определяет два типа формы волн:

□ Затухающие синусоидальные формы (также известные как «кольцевые волны»), которые появляются в изоляции на кабелях низкого напряжения сетей общего или частного пользования как последствия коммутационных операций.

□ Затухающие колебательные волны, которые возникают в форме импульсов. Обычно они находятся в подстанциях, электростанциях или даже больших промышленных установках, часто следуют работе выключателей, сопровождаемой повторным зажиганием дуги.

Напряжения и токи переходного процесса получаются в результате этой работы, возникают на токопроводящих шинах и характеризуются частотой колебаний, зависящей от их длительности и времени распространения. Эта частота варьируется между 100 кГц и несколькими МГц для открытой подстанции высокого напряжения, и может достигать величины в десятки МГц или даже более, для экранированных подстанций высокого напряжения. В течение тестов волны соединяются с кабелем посредством соединяюще - разделяющих сетей. Зависящая от методов введения амплитуда помех может варьироваться между 0.25 и 4 кВ. «Настольные»

устройства находятся на изолирующей опоре, тогда как «напольные» или «огороженные» изолированы от земляного слоя расстоянием в 0.1 м.

Защита от излучений

Тесты защищённости от излучений были разработаны, чтобы гарантировать удовлетворительную работу оборудования, подвергающегося воздействию электромагнитных полей.

Ввиду того, что эти тесты особенно чувствительны к окружающей среде, способы развёрнуты, то требуемые уровни компетентности для производства надёжных и воспроизводимых измерений защищённости очень высоки.

Окружающие внешние условия должны быть достаточно «чистыми» и обычно имеет место отсутствие волн, но нужно иметь в виду, что (как рассматривалось в части «источник») электромагнитные поля с напряжённостью в несколько В/м амплитуды часто (например дуплексная радиосвязь) и импульсные электромагнитные поля с даже более высокими уровнями стали присутствовать в промышленных средах. Эти тесты, следовательно, должны быть проведены в «клетках Фарадея» со стенами, покрытыми высокочастотными абсорбирующими материалами. Эти камеры называются звукопоглощающими камерами, когда все стены, включая пол, укрыты и наполовину поглощающие, в то время как пол – нет.

В камерах поля созданы различными типами антенн, зависящих от типа поля, диапазона частот и поляризации (см. [рис. 30](#)). Антенна управляется широкополосным усилителем мощности, контролирующимся генератором радиочастот.

Созданные поля откалиброваны использующимся широкополосными изотропными сенсорами (датчиками напряжённости поля). Диаграмма на [рис. 31](#) показывает типичную установку теста.

Стандарты определяют допустимый предел помех. Поэтому, стандарт IEC 61000-4-3 рекомендует тесты на полосе частот в 80 – 2000 МГц с тремя отдельными уровнями (1, 3, 10 В/м), и на полосах 800 – 960 МГц и 1.4 – 2 ГГц с четырьмя жёсткими уровнями: 1, 3, 10 и 30 В/м.

Тесты защищённости от магнитных полей на промышленных частотах также проведены в соответствии со стандартом IEC 61000-4-8. Такие магнитные поля создаются протеканием тока в кабелях, или реже другими приборами находящимися поблизости, такими, как рассеянным потоком трансформаторов.

Уровни постоянного теста полей имеют электрические токи между 1 и 100 А/м, тогда как те кратковременные поля – от 1 до 3 с – имеют токи в 300 или 1000 А/м.

Магнитные поля получены циркуляцией тока в индукционной катушке. Это применимо к тестируемому оборудованию в соответствии с иммерсионным методом, т.е. объект располагается в центре катушки. Этот тест должен быть проведён только на оборудовании с компонентами чувствительными к магнитным полям

(экранами с электронно-лучевыми трубками, датчиками эффекта Холла и т.д.).

Стандартизованные измерения для импульсных электромагнитных полей пока не существуют. В этой области «Шнейдер Электрик» использует собственные внутренние методы для тестов оборудования.

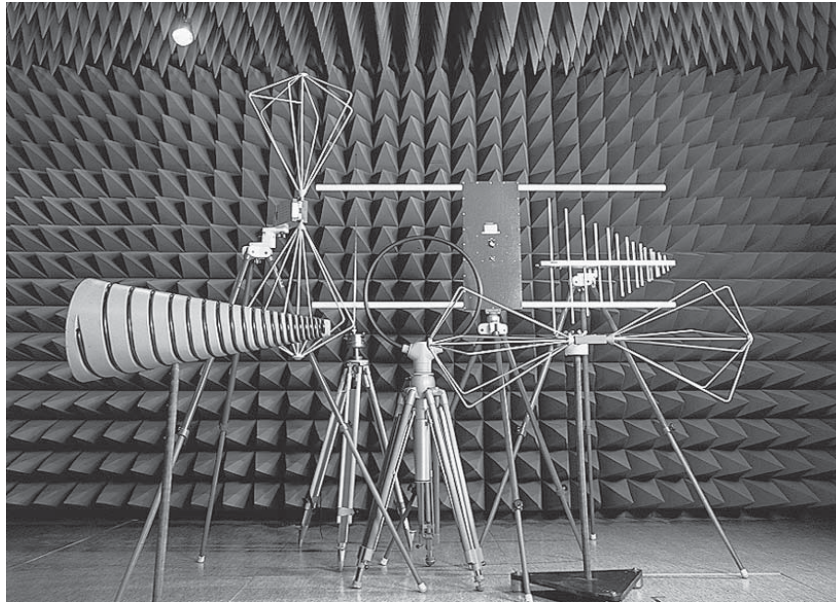


Рис. 30: «Клетка Фарадея» - наполовину поглощающая камера и несколько антенн ЭМС - лаборатории при «Шнейдер Электрик»

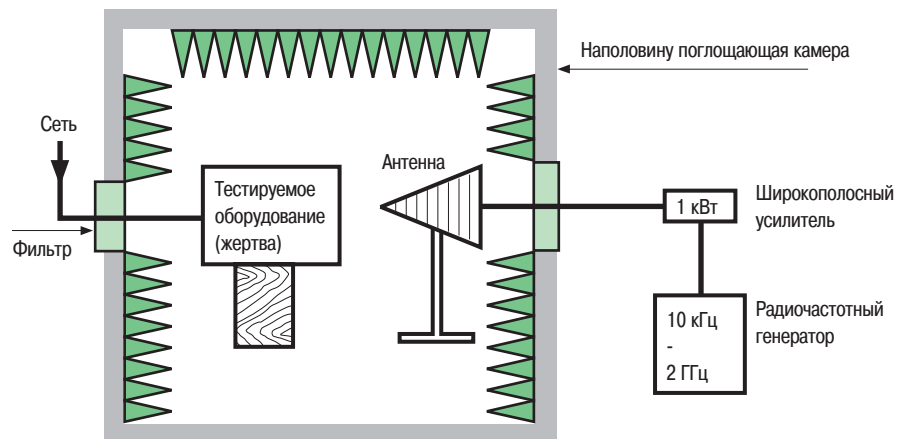


Рис. 31: Типичное устройство для теста в «клетке Фарадея». Измерения выполнены в двух ступенях:
 1 – Калибровка поля для данного диапазона частот, без тестируемого оборудования.
 2 – Проверка защищённости тестируемого оборудования.

Наведённое излучение

Измерения наведённых помех определяют количество помех, которые тестируемое оборудование переводит во все кабели, соединённые с ним. Помехи сильно зависят от высокочастотных характеристик присоединённой к ней нагрузки ввиду того, что тестируемое оборудование становится в этом случае генератором (см. **рис. 32**).

Чтобы получить воспроизводимые результаты измерений, и, особенно, чтобы избежать проблем с характеристиками импеданса сети, измерения наведённого излучения выполнены с помощью Стабилизирующей Сети Импеданса Линии (LISN). Высокочастотный приёмник соединён с сетью для измерения уровней излучения на каждой частоте.

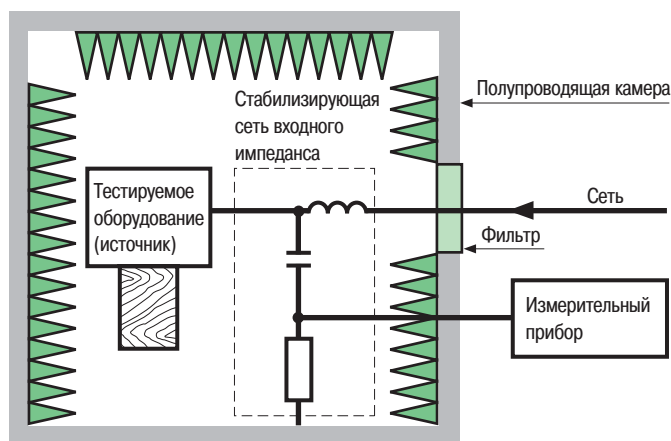


Рис. 32: Схема измерения для наведённого излучения. Тестируемое оборудование – генератор, стабилизирующая сеть импеданса линии – нагрузка

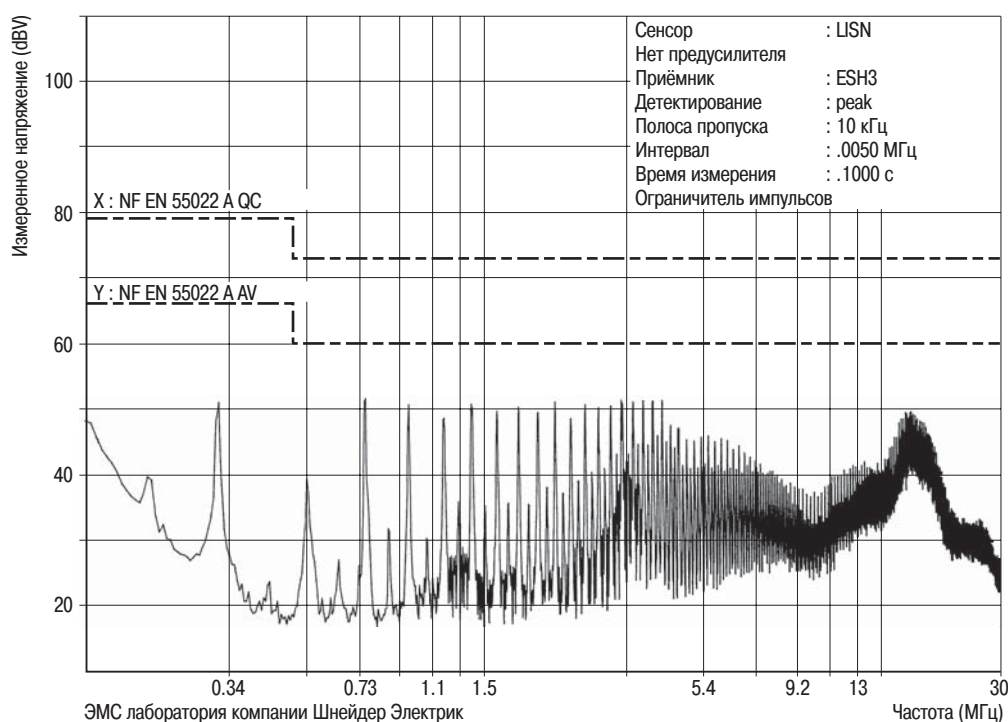


Рис. 33: Измерение радиочастотных излучений установки центрального процессора основного коммутатора

Уровень наведённых помех не должен превышать ограничения, определённые в стандартах. Эти ограничения налагаются на тип кабеля и внешние условия. График внизу (см. рис. 33) показывает результаты измерений, выполненных на основном коммутаторе низкого напряжения и уровнях, определённых в стандарте EN 55 022 для сравнения.

Излучение

Измерения излучения подсчитывают уровень помех, излучённых устройством в виде электромагнитных волн.

Точно как с проведёнными тестами защищённости, тесты излучения должны быть выполнены в отсутствии нормально присутствующих волн, таких как Citizen's Band (разрешённая для использования публично полоса частот), радио и т.д. и не должны быть изменены отражения от окружающих объектов. Эти два условия несовместимы и это причина для существования двух методов тестов.

Первый метод заключается в размещении тестируемого оборудования в поле свободное от помех в пределах данного периметра. Внешние условия неконтролируемы.

Второй метод – помещение в «клетку Фарадея»; отражения от стен намеренно затухают из-за высокочастотных поглощающих материалов (см. рис. 30). Оборудование может быть идеально контролируемо.

Лаборатории «Шнейдер Электрик» используют второй метод. Предлагается ключевое преимущество в измерениях – они могут быть автоматическими, а также сведено к минимуму управление оборудованием, ввиду этого измерения уровня излучения и защищённости могут

быть выполнены на том же месте, только с небольшими установочными изменениями.

Как для наведённых излучений, уровни излучения должны быть меньше, чем ограничения, установленные техническими нормами или стандартами.

Измерение импульсных полей

Стандартизованные тесты выполнены для измерения уровней излучения или теста защищённости устройств или систем от самых основных типов электромагнитных помех, встречающихся в промышленном оборудовании.

Однако оборудование для устройств, разработанных в «Шнейдер Электрик», имеет определённые характеристики пока не определённые стандартами. Для примера, специфические процедуры теста ЭМС для оборудования подстанций среднего напряжения пока не существуют.

Вот почему «Шнейдер Электрик» выполняет серии измерений для лучшего понимания типичных помех, существующих поблизости с оборудованием их производящим, особенно рядом с распределительными устройствами низкого, среднего и очень высокого напряжения.

Во второй стадии внутренних тестов используют специально разработанные тестовые системы. Они допускают тесты электромагнитной совместимости устройств без возвращения к комплексным испытаниям. Эти тесты легче для воспроизведения и менее затратные. Они заранее выполнены в проектировке, сводящей к минимуму стоимость защиты ЭМС.

7. Вывод

Использование электроники в большом количестве применений, и особенно в электротехническом оборудовании, внесло новые и важные требования: электромагнитная совместимость (ЭМС). Безаварийная работа в возмущённой окружающей среде и работа без создания помех необходима для выполнения требований качества. Чтобы достичь обе эти цели, комплексные явления, вовлечённые в источник, соединение и «жертву» должны быть хорошо осознаны. Определённому количеству правил нужно следовать в проектировке, индустриализации и изготовке продукции.

Характеристики местоположения и установки также играют важную роль в электромагнитной совместимости.

Это объясняет важность осторожного определения местоположения и планировки силовых компонентов, прокладки кабеля, экранирования и т.д. прямо со стадии исходного проектного решения. Даже если оборудование предлагает достаточную ЭМС, хорошо спроектированная установка способна расширить безопасные пределы совместимости. Только необходимые измерения высокого уровня квалификации и оборудование на уровне современных требований могут создать эффективные результаты расчета электромагнитной совместимости оборудования.

Следовательно, соответствие стандартам обеспечивает уверенность, что оборудование будет работать удовлетворительно в его электромагнитном окружении.

Приложение 1: Импеданс проводника при высоких частотах

Уровень ЭМС в оборудовании зависит от соединения между схемами. Соединение непосредственно имеет отношение к импедансу между схемами, особенно на высоких частотах. Для улучшения ЭМС импеданс может быть определён и затем сокращён. Небольшие приближающие формулы существуют, чтобы определить высокочастотный импеданс типичных проводников. Эти формулы – громоздки, и их результаты – бессмысленны, если точная позиция участвующих элементов неизвестна. Но кто знает точную позицию провода по отношению к другим проводам в кабельном лотке? Ответ на этот и подобные вопросы приходят из опыта вместе с базовыми знаниями теории электрических явлений.

Прежде всего – важно помнить, что импеданс проводника есть в основном функция его индуктивности и становится преобладанием начиная с нескольких кГц для стандартного провода. Для провода, предполагаемо бесконечно длинного, индуктивность через единичную длину возрастает логарифмически с диаметром, следовательно, очень медленно: для проводов, не превышающих $1/4$ длины волны помехи, индуктивность 1 мГн/м может быть использована вне зависимости от диаметра (см. [рис. 34](#)).

Это значение намного ниже, когда провод корректно проходит напротив проводящей плоскости. Это становится функцией дистанции между проводом и плоскостью, и индуктивность может без труда быть понижена на 10 дБ. При очень высоких частотах провод должен быть рассмотрен как линия передачи с характеристикой импеданса около 100 Ом. В этом свете, общая индукция в несколько мГн может без труда быть создана, для примера, с несколькими метрами зелёно-жёлтого (заземляющего) провода. Это переводится в несколько Ом на частоте 1 МГц и в несколько сотен Ом на частоте 100 МГц.

Вывод: проводящая металлическая пластина представляет электрическое соединение, обеспечивающее наименьший импеданс, независимо от толщины настолько долго насколько это больше, чем толщина поверхностного слоя (450 нм при 10 кГц для меди). Медная пластина отображает индуктивность в 0.6 нГн (при 10 кГц) и импеданс в $37 \text{ м}\Omega$ по площади (импеданс остаётся одинаковым вне зависимости от поверхности).

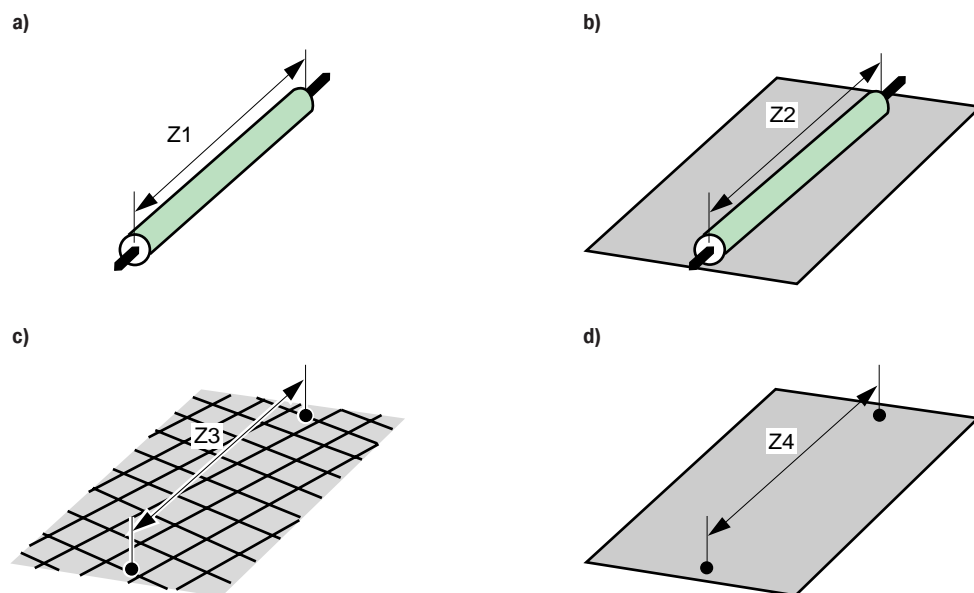


Рис. 34: При равной длине разный импеданс:

a: Кабель в воздухе ($L = 1 \text{ мГн/м}$)

b: Кабель, расположенный на металлической поверхности

c: Металлическая сетка с электрическим соединением на каждом узле (например, сварные монолитные арматурные стержни)

d: Металлическая поверхность, имеющая импеданс длины установки $Z1 > Z2 > Z3 > Z4$.

Приложение 2: Различные компоненты кабеля

Технические правила, использующиеся, чтобы описать различные компоненты могут иметь немного разные смыслы, зависящие от области применения кабеля (передача электроэнергии, телефоны, информация или управление и мониторинг) (см. рис. 35).

Определения IEC выделены курсивом.

Оболочка: Самая важная роль оболочки – защита кабеля от механических повреждений. То есть обычно она содержит две спирально скрученные пластиковые стальные ленты. Для кабелей передачи данных они также служат как электростатический и более часто как электромагнитный экран.

Экран (слои оболочки): тот же самый экран; т.е. устройство, спроектированное для ослабления интенсивности электромагнитного излучения, проникающего в определённую область. Оболочка или экран кабеля - для передачи энергии или информации, могут формировать экран.

Экран: устройство, используемое для ослабления проникновения поля в заданную область.

Имеет множественные функции:

- Создание поверхности с равными потенциалами вокруг изолятора.

- Защита от эффектов внешних и внутренних электростатических полей.

- Дренаж ёмкостного тока, а также утечка на землю токов повреждения (короткого замыкания нулевой последовательности).

- Защита жизни и работоспособности в случае пробоя. По этой причине он обычно сделан из металла и непрерывен (свинцовая труба, провод в оплётке, спирально намотанные ленты).

Для кабелей, переносящих информацию, данное приспособление также называется экраном, состоящим из медных или алюминиевых проволочных ленточек или оплётки, обёрнутых вокруг, чтобы сформировать защиту от электростатических или электромагнитных полей.

Это может быть общим экраном для всех проводников в кабеле, когда помехи снаружи кабеля.

Может также быть неполным, для ограниченного числа проводников в кабеле, для защиты от помех, излучённых другими проводниками в кабеле.

Изолятор: Изолятор представляет собой водо - и/или воздухонепроницаемый шнур.

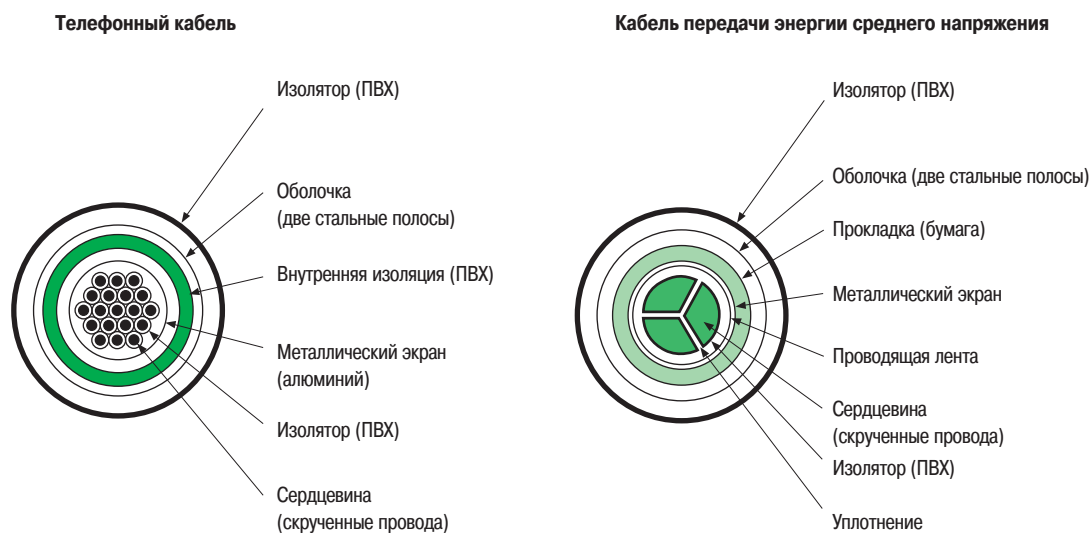


Рис. 35

Приложение 3: Тесты, проведённые в ЭМС - лабораториях «Шнейдер Электрик»

ЭМС – лаборатории «Шнейдер Электрик» имеют необходимое оборудование и профессиональный опыт выполнения тестов в соответствии с большим количеством норм или технических условий. Клиенты лаборатории, внутренние ли, или вне Компании, могут извлекать пользу из опыта персонала лаборатории в

поиске правильных норм, применимых к их продукции, а также определить критерии функциональной приемлемости согласно нормам, относящимся к продукции, если они существуют, иначе говоря, функциональным требованиям, относящимся к безопасности, непрерывности работы, комфорту и т.д.

Стандартизованные тесты

Данный завершённый список всех тестовых норм будет громоздким и неизбежно не полностью соответствующим быстрому развитию публикаций о стандартах тестов для продукции. Следовательно, мы отображаем в будущем основные эталонные нормы относительно характеристик тестирования ЭМС. Местные нормы ЭМС существуют во многих странах. Страны, состоящие в ЕЭС, обычно издают местные нормы, эквивалентные следующим нормам IEC.

Защищённость

■ IEC 61000-4-2 (=EN 61000-4-2) – Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 4-2: Тестовая и измеряющая техника – тест защищённости от электростатического разряда.

■ IEC 61000-4-3 (=EN 61000-4-3) – Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 4-3: Тестовая и измеряющая техника – тест защищённости от излучений, радиочастот, электромагнитных полей.

■ IEC 61000-4-4 (=EN 61000-4-4) - Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 4-4: Тестовая и измеряющая техника – тест защищённости от электрических быстрых переходных режимов/импульсов.

■ IEC 61000-4-5 (=EN 61000-4-5) - Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 4-5: Тестовая и измеряющая техника – тест защищённости от импульсов напряжения.

■ IEC 61000-4-6 (=EN 61000-4-6) - Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 4-6: Тестовая и измеряющая техника – Защищённость от проведённых помех, вызванных радиочастотными полями.

■ IEC 61000-4-8 (=EN 61000-4-8) - Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 4-8: Тестовая и измеряющая техника – тест защищённости от магнитных полей частот сети.

■ IEC 61000-4-11 (=EN 61000-4-11) - Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 4-11: Тестовая и измеряющая техника – тесты защищённости от падений напряжения, коротких прерываний и изменений напряжения.

■ IEC 61000-4-12 (=EN 61000-4-12) - Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 4-12: Тестовая и измеряющая техника – тест защищённости от колебательных волн.

■ IEC 61000-6-1 (=EN 61000-6-1) - Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 6-1: Общие нормы – Защищённость для жилых, коммерческих и легко-промышленных условий эксплуатации.

■ IEC 61000-6-2 (=EN 61000-6-2) - Электромагнитная совместимость (ЭМС).

Раздел 6-2: Общие нормы – Защищённость для промышленных условий эксплуатации.

Излучение

■ CISPR 11 – Промышленное, Научное и Медицинское (ISM) радиочастотное оборудование – Характеристики электромагнитных помех – Ограничения и методы измерения.

■ CISPR 14 – Ограничения и методы измерения характеристик электрических радиопомех от привода и тепловых устройств для домашнего хозяйства и подобных целей, электроинструмента и электроаппаратов.

■ CISPR 22 – Информационная технология оборудования – Характеристики радиопомех – Ограничения и методы измерения.

■ EN 55011 – Ограничения и методы измерения характеристик радиопомех промышленного, научного и медицинского (ISM) радиочастотного оборудования.

■ EN 55014 – Ограничения и методы измерения характеристик радиопомех бытовых электроприборов, электроинструментов и подобных аппаратов (часть наведённого излучения).

- EN 55 022 – Ограничения и методы измерения характеристик внешних радиопомех информационных технологий оборудования.
- IEC 61000-6-3 Электромагнитная совместимость (ЭМС) – Раздел 6: Общие нормы – Часть 3: Стандарт излучения для жилых, коммерческих и лёгких промышленных условий эксплуатации.
- IEC 61000-6-4 Электромагнитная совместимость (ЭМС) – Раздел 6: Общие нормы – Часть 4: Стандарт излучения для промышленных условий эксплуатации.
- EN 50081-1 Электромагнитная совместимость (ЭМС) – Общий стандарт излучения. Раздел 1 – Жилые, коммерческие и лёгкие промышленные условия эксплуатации.
- EN 50081-2 Электромагнитная совместимость (ЭМС) – Общий стандарт излучения. Раздел 2 – Промышленные условия эксплуатации.

Специфические нормы

- Центр телекоммуникаций (фр.) | 12-10, 1993, опубликован CSE France Telecom.
- MIL STD 461/462, электромагнитное излучение и требования чувствительности для контроля за электромагнитными помехами.

Не стандартизованные тесты

В пределах доступных экспертных знаний и средств, лаборатория может выполнить тесты, сопрягающиеся с другими нормами.

Приложение 4: Библиография

Стандарты

- IEC 60364 – электрические установки низкого напряжения.
- IEC 61000-2 – Электромагнитная совместимость (ЭМС).
Раздел 2: Окружающая среда
Часть 1: Описание окружения – Электромагнитное окружение для наведённых помех.
Часть 2: Уровень совместимости для низкочастотных наведённых помех и сигнализация общей системы электроснабжения.
Раздел 4: Тестовая и измеряющая техника.
Раздел 6: Базовые нормы.
- EN 55011 – Промышленное, научное и медицинское (ISM) радиочастотное оборудование. Характеристики электромагнитных помех. Ограничения и методы измерения.
- EN 55022 – Ограничения и методы измерения характеристик радиопомех информационных технологий оборудования.

«Шнейдер Электрик Каир Техник»

- Электропомехи в низком напряжении.
Cahier technique №141,
R.CALVAS.
- Режим работы SF6 – рубильника среднего напряжения для переключения пускового тока мотора.
Cahier technique №143,
J.HENNEBERT и D.GIBBS
- Сообитание высоких и низких электрических токов.
Cahier technique №187,
R.CALVAS и J.DELLABALE.

Другие публикации

- Compatibilite electromagnatique – bruits et perturbations radioelectriques –
P. DEGAUQUE и J. JAMELIN.
Dunod editeur.
- Compatibilite electromagnatique –
M. IANOVICI и J.-J. MORF.
Presses Polytechniques Romandes.
- La compatibilite electromagnatique –
A. KOUYOUMDJIAN с R. CALVAS J. и DELABALLE.
Institut Shneider Formation,
Февраль 1996, MD1CEM1F
- Les harmoniques et les installations electriques –
A. KOUYOUMDJIAN.
Institut Shneider Formation,
Апрель 1998, MD1HRM1F
- RGE №10 consacre a la compatibilite electromagnetique,
Ноябрь 1986.

Schneider Electric в странах СНГ

Беларусь

Минск

220006, ул. Белорусская, 15, офис 9
Тел.: (37517) 226 06 74, 227 60 34, 227 60 72

Казахстан

Алматы

050050, ул. Табачнозаводская, 20
Швейцарский центр
Тел.: (727) 244 15 05 (многоканальный)
Факс: (727) 244 15 06, 244 15 07

Астана

010000, ул. Бейбитшилик, 18
Бизнес-центр «Бейбитшилик 2002», офис 402
Тел.: (3172) 91 06 69
Факс: (3172) 91 06 70

Атырау

060002, ул. Абая, 2-А
Бизнес-центр «Сутас-С», офис 407
Тел.: (3122) 32 31 91, 32 66 70
Факс: (3122) 32 37 54

Россия

Волгоград

400089, ул. Профсоюзная, 15, офис 12
Тел.: (8442) 93 08 41

Воронеж

394026, пр-т Труда, 65, офис 227
Тел.: (4732) 39 06 00
Тел./факс: (4732) 39 06 01

Екатеринбург

620219, ул. Первомайская, 104
Офисы 311, 313
Тел.: (343) 217 63 37
Факс: (343) 217 63 38

Иркутск

664047, ул. 1-я Советская, 3 Б, офис 312
Тел./факс: (3952) 29 00 07, 29 20 43

Казань

420107, ул. Спартаковская, 6, этаж 7
Тел./факс: (843) 526 55 84 / 85 / 86 / 87 / 88

Калининград

236040, Гвардейский пр., 15
Тел.: (4012) 53 59 53
Факс: (4012) 57 60 79

Краснодар

350063, ул. Кубанская набережная, 62 /
ул. Комсомольская, 13, офис 224
Тел.: (861) 278 00 49
Тел./факс: (861) 278 01 13, 278 00 62 / 63

Красноярск

660021, ул. Горького, 3 А, офис 302
Тел.: (3912) 56 80 95
Факс: (3912) 56 80 96

Москва

129281, ул. Енисейская, 37
Тел.: (495) 797 40 00
Факс: (495) 797 40 02

Мурманск

183038, ул. Воровского, д. 5/23
Конгресс-отель «Меридиан», офис 739
Тел.: (8152) 28 86 90
Факс: (8152) 28 87 30

Нижний Новгород

603000, пер. Холодный, 10 А, этаж 8
Тел./факс: (831) 278 97 25, 278 97 26

Новосибирск

630005, Красный пр-т, 86, офис 501
Тел.: (383) 358 54 21
Тел./факс: (383) 227 62 53

Пермь

614010, Комсомольский пр-т, 98, офис 11
Тел./факс: (342) 290 26 11 / 13 / 15

Ростов-на-Дону

344002, ул. Социалистическая, 74, литера А
Тел.: (863) 200 17 22, 200 17 23
Факс: (863) 200 17 24

Самара

443096, ул. Коммунистическая, 27
Тел./факс: (846) 266 41 41, 266 41 11

Санкт-Петербург

198103, ул. Циолковского, 9, кор. 2 А
Тел.: (812) 320 64 64
Факс: (812) 320 64 63

Сочи

354008, ул. Виноградная, 20 А, офис 54
Тел.: (8622) 96 06 01, 96 06 02
Факс: (8622) 96 06 02

Уфа

450098, пр-т Октября, 132/3 (бизнес-центр КПД)
Блок-секция № 3, этаж 9
Тел.: (347) 279 98 29
Факс: (347) 279 98 30

Хабаровск

680000, ул. Муравьева-Амурского, 23, этаж 4
Тел.: (4212) 30 64 70
Факс: (4212) 30 46 66

Украина

Днепропетровск

49000, ул. Глинка, 17, этаж 4
Тел.: (380567) 90 08 88
Факс: (380567) 90 09 99

Донецк

83087, ул. Инженерная, 1 В
Тел.: (38062) 385 48 45, 385 48 65
Факс: (38062) 385 49 23

Киев

03057, ул. Смоленская, 31-33, кор. 29
Тел.: (38044) 538 14 70
Факс: (38044) 538 14 71

Львов

79015, ул. Тургенева, 72, кор. 1
Тел./факс: (38032) 298 85 85

Николаев

54030, ул. Никольская, 25
Бизнес-центр «Александровский», офис 5
Тел./факс: (380512) 58 24 67, 58 24 68

Одесса

65079, ул. Куликово поле, 1, офис 213
Тел./факс: (38048) 728 65 55, 728 65 35

Симферополь

95013, ул. Севастопольская, 43/2, офис 11
Тел.: (380652) 44 38 26
Факс: (380652) 54 81 14

Харьков

61070, ул. Академика Проскуры, 1
Бизнес-центр «Telesens», офис 569
Тел.: (38057) 719 07 79
Факс: (38057) 719 07 49

Центр поддержки клиентов

Тел.: 8 (800) 200 64 46 (многоканальный)
Тел.: (495) 797 32 32, факс: (495) 797 40 04
ru.csc@ru.schneider-electric.com
www.schneider-electric.ru