

Семь типовых проблем электропитания

Информационная статья 18

редакция 1

Джозеф Сеймус
Терри Хорсли

> Краткий обзор

Источник многих загадочных неисправностей оборудования, простоев, случаев повреждения ПО и данных таится в неисправностях электропитания. Дополнительная проблема – отсутствие стандартного способа описания таких неисправностей. Настоящая статья посвящена наиболее распространенным типам отклонений параметров электропитания от нормы, их причинам, возможным последствиям для ответственного оборудования и способам защиты последнего. Используется и поясняется стандартизованная **IEEE**-терминология.

содержание

для перехода к разделу щелкните на нем мышью

Введение	2
Переходные процессы	4
Перебои	8
Провал напряжения/просадка напряжения	9
Всплеск напряжения / перенапряжение	11
Искажения формы	12
Флуктуации напряжения	15
Вариации частоты	16
Выводы	18
Ресурсы	19
Приложение	20

Введение

Наш мир с его высокими технологиями давно попал в глубокую зависимость от качества электроснабжения. В большинстве стран мира существуют общенациональные электросети, объединяющие всю совокупность генерирующих мощностей и нагрузок. Такая сеть обеспечивает работу бытовых электроприборов, систем освещения, отопления, холодильной техники, средств кондиционирования воздуха и транспорта, а также функционирование государственного аппарата, промышленности, финансовой сферы, торговли, медицинских услуг и коммунальных служб по всей стране. Без этой коммунальной услуги современный мир просто не смог бы жить в своем нынешнем темпе. Сложные технологические усовершенствования прочно пустили корни в нашем быту и на работе, а с пришествием электронной торговли начался процесс непрерывной трансформации способа взаимодействия отдельных людей с остальным миром.

Но достижениям интеллектуальных технологий необходимо бесперебойное электропитание, параметры которого в точности соответствуют установленным стандартам. Последствия крупномасштабных инцидентов с электроснабжением могут быть весьма серьезны, о чем имеются документальные свидетельства. Недавно в США было проведено исследование, которое показало, что перебои электропитания обходятся производственным предприятиям и компаниям, занимающимся цифровым бизнесом, в 45,7 млрд. долл. в год. А совокупно по всем секторам экономики диапазон оценок составляет от 104 до 164 млрд. долл., не считая еще 15-24 млрд. долл. из-за других неисправностей электропитания. В сфере автоматизированного производства целые производственные линии могут выходить из-под контроля, создавая угрозы для персонала и отправляя в отходы огромные объемы материалов. Каждая минута простоя вычислительных систем крупной финансовой корпорации может стоить нескольких тысяч долларов, и это только невосполнимые потери, без учета многочасовых усилий по восстановлению в дальнейшем. Устранение повреждений программного обеспечения и данных, вызванных перебоями электроснабжения, могут требовать недель.

Причины многих проблем электропитания коренятся в недостатках сетей энергоснабжения. Тысячи километров воздушных линий электропередач ставят их функционирование в зависимость от погодных условий, — таких как ураганы, грозы, снег, обледенение и наводнения. Свою лепту вносят и отказы оборудования,¹ транспортные аварии и необходимые переключения больших мощностей. Кроме того, неисправности электропитания, оказывающие отрицательное влияние на работу современного высокотехнологического оборудования, могут возникать и по ряду местных причин, включая строительные работы, большие пусковые токи другого оборудования, неисправности распределительной аппаратуры и даже шумы и помехи в электросети.

Как выглядит электричество?

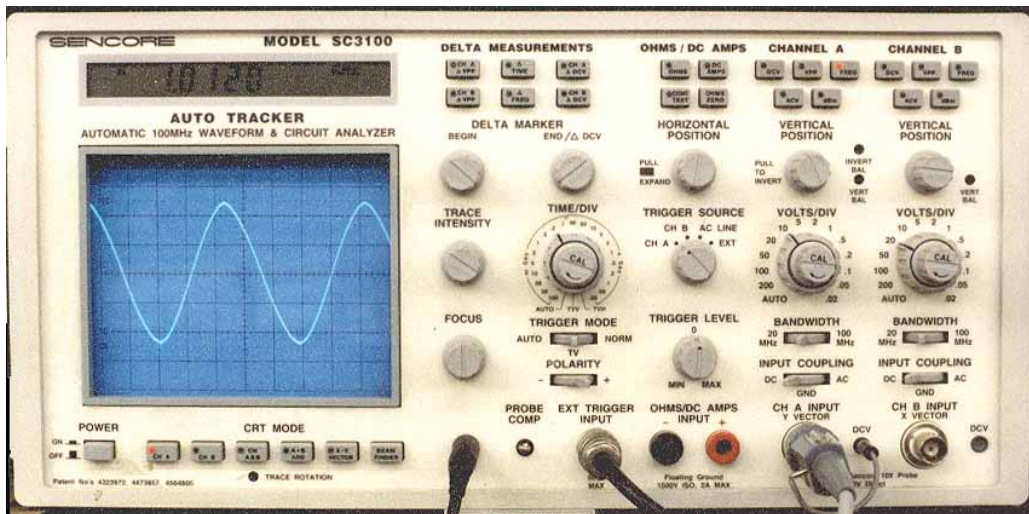
Электричество в настенной розетке является примером физического явления электромагнетизма. Это незаметный и «неограниченный» источник энергии, которая генерируется на электростанциях, преобразуется трансформаторами и доставляется потребителям за сотни километров в форме переменного тока. Понять, почему параметры качества простого питания переменного тока так важны для сложных систем, от которых зависит столь многое в нашей жизни, помогает визуализация электроэнергии с помощью осциллографа. В совершенном мире напряжение в электросети должно иметь форму гладкой и симметричной синусоиды, насчитывающей (в зависимости от принято-

¹ Информационная статья «The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies». ©2001 Electric Power Research Institute.

го в конкретной местности стандарта) 50 либо 60 периодов на секундном отрезке, — такой как на экране осциллографа на **рис. 1**.

Рисунок 1

Синусоида на экране осциллографа



Как можно видеть, величина напряжения меняется по синусоиде от положительного высшего до отрицательного низшего значения 60 раз в секунду. Изменение амплитуды этой волны, ее формы, нарушение симметрии, изменение частоты, появление зубцов, впадин, ряби, отдельных импульсов или пропадание напряжения (каким бы кратковременным оно ни было) — все это различные виды отклонений параметров от нормы. Далее в настоящей статье будут обсуждены семь категорий таких отклонений с простыми иллюстрациями, изображающими форму напряжения.

Как мы уже говорили, производители электроэнергии и потребители не имеют единой терминологии для описания отклонений параметров электропитания от нормы. Например, «всплеском» могут называть и сравнительно продолжительное умеренное повышение напряжения, возникающее, например, при отключении мощной нагрузки, и импульс очень большой амплитуды, длящийся от нескольких микросекунд до миллисекунд (такие импульсы возникают при ударе молнии и коммутационных операциях с искрением и образованием дуги).

Стандарт IEEE Standard 1100-1999 устраняет разнобой в терминологии, исключая использование в технической и справочной документации множества распространенных терминов в области качества электропитания как избыточных и неточно соответствующих характеру описываемого явления. Еще один стандарт в этой области — IEEE Standard 1159-1995. Способность квалифицированно обсуждать вопросы качества электропитания, например, четко проводить различие между перебоем и колебательным переходным процессом, исключительно важна при принятии решения о закупке средств защиты от его неисправностей. Недостаток взаимного понимания может дорого обойтись — это и лишние простои, и дополнительные трудозатраты и даже поломки оборудования.

Отклонения параметров электропитания от нормы, описанные в стандарте IEEE, поделены в этой статье на семь категорий, по признаку формы напряжения:

1. Переходные процессы.
2. Перебои.
3. Провалы напряжения/ просадки напряжения.

- 4. Всплески напряжения/ перенапряжения.
- 5. Искажения формы напряжения.
- 6. Флуктуации напряжения.
- 7. Вариации частоты.

Ниже дается описание каждой категории с графиками напряжения, иллюстрирующими различия между видами отклонений параметров электропитания от нормы.

1. Переходные процессы

В рамках этого потенциально наиболее опасного вида отклонений параметров электропитания от нормы можно выделить две подкатегории:

- 1. Импульсные переходные процессы.
- 2. Колебательные переходные процессы.

Импульсные переходные процессы

Импульсный переходный процесс представляет собой внезапное резкое изменение напряжения или силы тока, которое может быть положительным или отрицательным по знаку. События этого типа можно далее классифицировать по продолжительности. Они могут протекать очень быстро (с временем нарастания от стационарного состояния до пика не более 5 наносекунд [нс]) или несколько медленнее (до 50 нс).

Примечание. 1000 нс = 1 мкс; 1000 мкс = 1 мс; 1000 мс = 1 с.

На рис. 2 представлен пример импульсного переходного процесса, вызванного электростатическим разрядом (ЭСР).

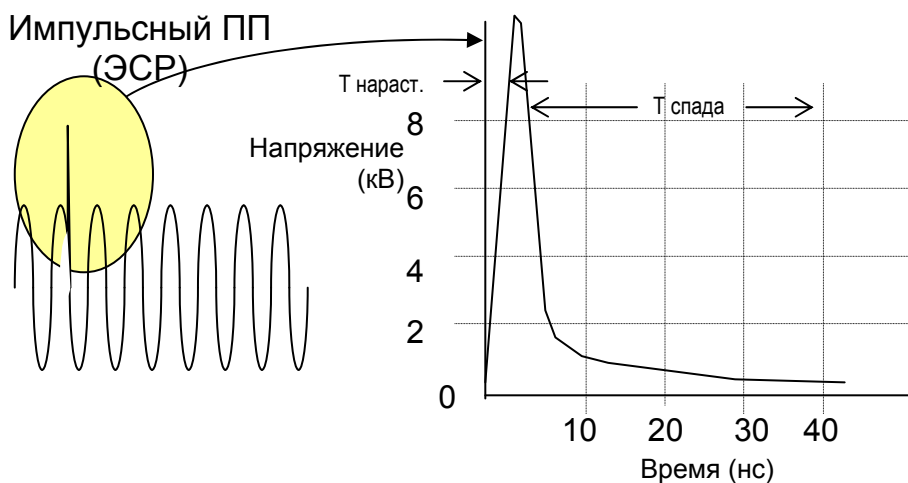


Рисунок 2
Импульсный переходный процесс

Именно импульсный переходный процесс чаще всего подразумевается под такими выражениями, как импульс напряжения, выброс тока и многие другие.

Причиной возникновения импульсных переходных процессов могут являться удары молнии, неисправности заземления, коммутация индуктивных нагрузок, срабатывания защитной автоматики в электросети и ЭСР. А их последствия могут лежать в диапазоне от потери (или повреждения) данных до физического повреждения оборудования. Из

перечисленных случаев наибольший ущерб, по всей вероятности, связан с ударами молнии.

Диагностика удара молнии не представляет сложности — грозу трудно не заметить. Выделение энергии в количестве, достаточном для освещения ночного неба, безусловно, представляет опасность для чувствительного оборудования. И не только в случае «прямого попадания». Опасны также и токи, наводимые порожденными молнией электромагнитными полями (см. рис. 3).

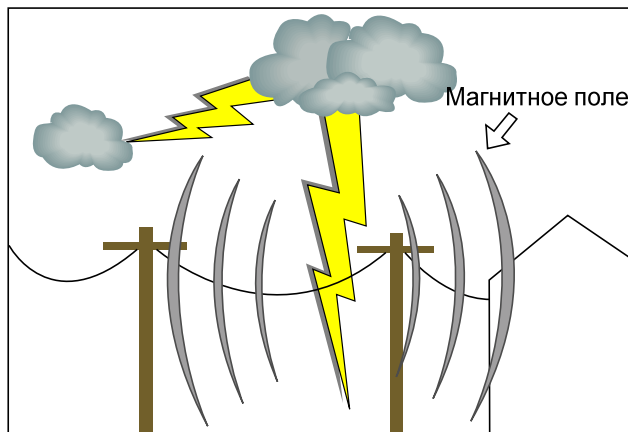


Рисунок 3

Электромагнитное поле, порожденное ударом молнии

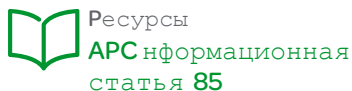
В борьбе с импульсными переходными процессами наибольший эффект дает устранение условий возникновения ЭСР и применение устройств подавления всплесков напряжения.

Если человеку выскочившая из пальца искра электростатического разряда особого вреда причинить не может, то системную плату компьютера такой разряд способен вывести из строя навеки. В вычислительных центрах, мастерских и иных помещениях, где люди контактируют с электроникой, необходимо принимать меры предотвращения ЭСР. Так, почти во всех грамотно устроенных ЦОДах применяется кондиционирование воздуха, включая поддержание на определенном уровне не только его температуры, но и влажности. При относительной влажности 40-55 % опасность возникновения ЭСР значительно уменьшается. О значении этого параметра можно судить по такому жизненному примеру: зимой, когда воздух в помещении очень сухой, достаточно немного пройтись по ковровому покрытию в одних носках, не отрывая ног от пола, чтобы при касании металлической дверной ручки, между нею и пальцами проскочила неожиданная искра. Или не вполне неожиданная, если тянуться не к ручке, а к чьему-либо уху. Еще одна мера, широко применяемая в местах работы с печатными платами, например, в небольших мастерских по ремонту компьютеров — антистатическое заземление. На рабочих местах устанавливаются заземляющие браслеты, антистатические коврики и настольные покрытия, персонал носит антистатическую обувь. Большая часть оборудования соединяется проводами с системой заземления здания. (Его основная задача состоит в защите от поражения людей электрическим током, но оно же может использоваться и как безопасный путь для стекания статических зарядов.)

Устройства подавления всплесков напряжения широко применяются уже многие годы. Их по-прежнему можно встретить и на сооружениях электросети, и на крупных производственных объектах или вычислительных центрах, и на малых предприятиях, и в домах; характеристики такого оборудования постоянно повышаются с совершенствованием технологии металлооксидных варисторов (MOV). MOV обеспечивают последовательное подавление импульсных переходных процессов и вообще повышенный напря-

жения различной продолжительности. Они могут применяться в сочетании с тепловыми защитными устройствами, включая автоматические предохранители, термисторами, а также с другими защитными компонентами, такими как газовые разрядники и тиристоры. В некоторых случаях устройства подавления всплесков напряжения встраиваются в электрооборудование, например, в блоки питания ПК. Однако чаще они используются в составе автономных устройств защиты или ИБП, обеспечивающих резервное питание от батарей в случае перебоев электроснабжения (или выхода параметров электросети за допустимые рамки).

Сочетание устройств подавления всплесков напряжения с ИБП — наиболее эффективный метод защиты электронного оборудования от отклонений параметров электропитания от нормы. При этом ввод электросети на объект оборудуется устройствами защиты из расчета энергии возможного импульса. Распределительные щиты и само защищаемое оборудование оснащается устройствами, которые ограничивают величину напряжения безопасным уровнем. Особое внимание необходимо уделять номинальному напряжению и рассеиваемой мощности таких устройств, а также обеспечению эффективности их совместного функционирования. Кроме того, существенное значение имеет безопасность выбранной схемы в случае отказа варистора. При всех своих достоинствах, эти компоненты теряют свойства со временем и могут быть выведены из строя импульсом, энергия которого превышает номинал. В случае отказа MOV схема должна обеспечивать отключение защищаемого оборудования от электросети прежде, чем его достигнет опасная аномалия питания. Данная тема освещается более подробно в информационной статье APC 85 Защита линий передачи данных от импульсных помех.



Ресурсы

APC информационная
статья 85Защита линий передачи
данных от импульсных

Колебательные переходные процессы

Колебательный переходный процесс представляет собой внезапное отклонение показателей напряжения и/или силы тока от стационарного состояния в обе стороны с собственной частотой системы. Проще говоря, такой процесс состоит в быстром многократном нарастании и спаде напряжения. Обычно колебательные переходные процессы затухают в течение одного периода сетевого напряжения (затухающие колебания).

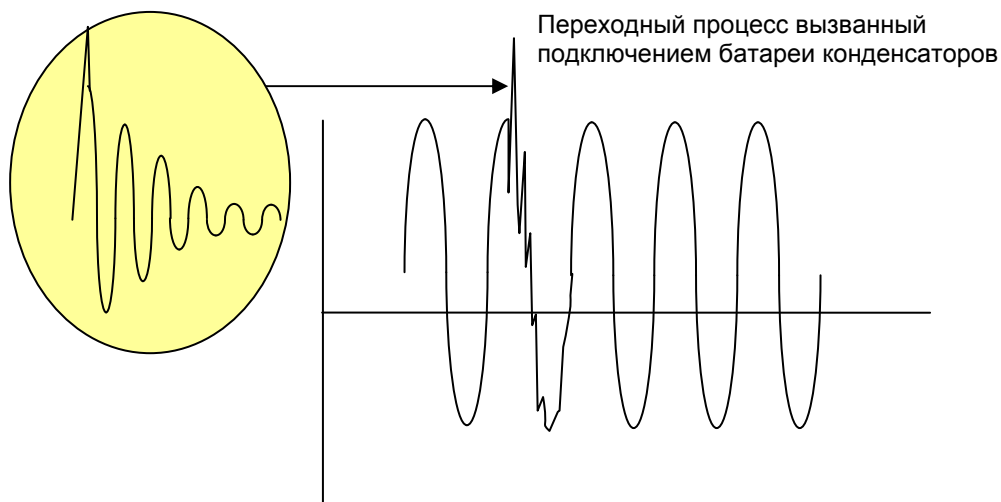
Переходные процессы этого рода возникают при отключении индуктивной или емкостной нагрузки, такой как электродвигатель или конденсаторная батарея. Это результат сопротивления системы происходящим изменениям. Аналогичное явление — грохот в водопроводных трубах, раздающийся, если быстро закрыть полностью открытый кран. Поток воды сопротивляется изменению условий, и в жидкости возникает колебательный переходный процесс.

При выключении работающего электродвигателя он превращается на какое-то время в генератор, выдающий в электросеть дополнительную энергию. Обладая значительной длиной, распределенной емкостью и индуктивностью, распределительная сеть работает при подключении к источнику напряжения или отключении от него как вибратор, в котором возникают быстро затухающие колебания.

При возникновении колебательных переходных процессов в находящейся под напряжением сети, обычно вследствие различных переключений в системе энергоснабжения, особенно при автоматическом подключении батарей конденсаторов, они могут оказывать весьма значительное отрицательное влияние на работу электронного оборудования. На **рис. 4** представлен типичный низкочастотный колебательный переходный процесс, обусловленный подключением батареи конденсаторов.

Рисунок 4

Колебательный переходный процесс



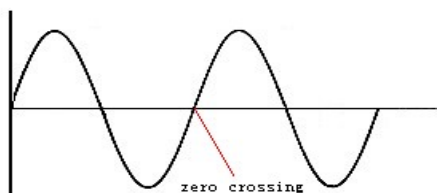
Из проблем, связанных с переходными процессами при коммутации емкостных нагрузок, наиболее широко известно срабатывание защиты электродвигателей с управляемой частотой вращения. Сравнительно низкочастотные колебательные переходные процессы приводят к повышению управляющего постоянного напряжения и автоматическому отключению по перенапряжению.

Распространенный способ решения этой проблемы — установка дросселей, понижающих амплитуду колебаний до приемлемого уровня. Большинство двигателей с управляемой частотой вращения стандартно комплектуются такими дросселями, которые могут устанавливаться перед двигателем либо в управляющей цепи постоянного тока. (Примечание. Электродвигатели с управляемой частотой вращения обсуждаются также ниже, в разделе, посвященном перебоям электропитания.)

Другое возможное решение — подключение батарей конденсаторов через статические выключатели, которые осуществляют переключение в момент прохождения синусоиды напряжения через нулевой уровень (см. **рис. 5**). Размах колебаний, вызванных подключением конденсатора, тем больше, чем выше мгновенное напряжение в момент коммутации. Статический выключатель решает проблему переходного процесса, отслеживая форму напряжения для выполнения переключения как можно ближе по времени к моменту перехода напряжения через ноль.

Рисунок 5

Переход напряжения через ноль



Конечно, применение ИБП и устройств защиты от перенапряжения также способствует уменьшению ущерба от колебательных переходных процессов, в особенности в отношении распространенной аппаратуры обработки данных, такой как объединенные в вычислительные сети компьютеры. Однако их защита не распространяется на переходные процессы, возникающие внутри защищаемой сети, минимизировать которые позволяет оснащение производственных станков, их систем управления и другого специализированного оборудования статическими выключателями и/или дроссельными устройствами.

2. Перебои

Перебой электропитания определяется как полное отсутствие напряжения в сети или тока через нагрузку (см. **рис. 6**). Различают перебои:

малой длительности	0,5–30 периодов;
средней длительности	от 30 периодов до 2 секунд;
большой длительности	от 2 секунд до 2 минут;
продолжительные	более 2 минут.

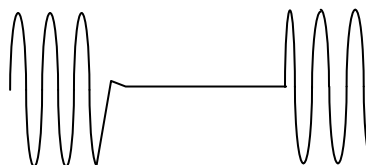


Рисунок 6

Перебой электропитания малой длительности

Причины перебоев могут быть различны, но обычно речь идет о повреждении электросети того или иного рода, включая удар молнии, попадание в провода животных, падение деревьев, дорожно-транспортные происшествия, неблагоприятные погодные явления (сильный ветер, налипание снега и льда на провода ЛЭП и т.п.), отказе оборудования или срабатывании предохранителей. Хотя в инфраструктуре электросетей предусматриваются меры автоматического реагирования в подобных ситуациях, абсолютной защиты они не обеспечивают.

Один из наиболее частых источников перебоев питания в коммерческой электросети — защитное оборудование, такое как автоматы повторного включения. Они определяют продолжительность большинства перебоев питания, в зависимости от характера неисправности. Автоматы повторного включения осуществляют мониторинг силы тока и при ее возрастании из-за короткого замыкания отключают напряжение. Спустя заданное время напряжение снова включается — с тем, чтобы попытаться выжечь замыкающий проводник (которым нередко оказывается ветка дерева или небольшое животное, оказавшееся в проводах).

Если у вас дома когда-либо пропадало все электричество (сразу и в лампочках и в розетках), а спустя несколько минут, как раз когда, наконец, нашлись свечи, его подача возобновлялась, то это, скорее всего, и был перебой. Конечно, пропадание света в доме, хотя бы и на всю ночь, — не более чем неудобство, а вот предприятию это может влететь в копеечку.

Перебой электропитания, будь то малой, средней, большой длительности или продолжительный, способен повлечь за собой нарушения работы, повреждения и простои, не важно, идет ли речь о бытовом потребителе или промышленном. Пользователь домашнего компьютера или небольшое предприятие может утратить при обесточивании оборудования ценные данные. Потери промышленного потребителя электроэнергии из-за перебоев в ее подаче, вероятно, окажутся более серьезными. Многие производственные процессы требуют постоянного движения определенных механических узлов. Их остановка может привести к повреждению оборудования, гибели продукта и издержкам, связанным с простоем, устранением его последствий и перезапуском производства. Например, в прядильном производстве из-за перебоя электропитания средней длительности процесс прядения может «разорваться», с превращением значительного количества сырья в отходы и возникновением продолжительного простоя. Для получения нити требуемого типа и качества необходима подача ровницы с определенной постоянной скоростью. После сбоя необходимо удалить из прядильной машины брак и заново заправить и натянуть нити и мычки. Нетрудно представить, сколько это требует времени и сил. Кроме того, чего-то стоит и загубленный материал.

Решения для борьбы с перебоями отличаются разнообразием, как в эффективности, так и в цене. В первую очередь необходимо принять меры к исключению или снижению риска возникновения неисправностей. Грамотное проектирование и надлежащее обслуживание коммунальных систем, безусловно, необходимы. Это относится и к собственным электросетям промышленных потребителей, которые зачастую бывают не менее масштабными и уязвимыми.

Следующим пунктом идет применение дополнительных методов проектирования и оснащения, позволяющих продолжать работу в отсутствие напряжения в электросети или возобновлять ее после либо, в процессе перебоя. Наиболее широко в этих целях применяются источники бесперебойного питания (ИБП) и генераторы, а также другие методы резервирования электрооборудования и накопления энергии. При отключении электросети питание подается от этих альтернативных источников энергии. Иллюстрацией описанного подхода может служить ноутбук: во время работы от электросети часть получаемой из нее энергии запасается в его внутренней батарее для использования в автономном режиме. Благодаря последним достижениям в области коммутации переключение потребителя на резервный накопитель энергии занимает менее полупериода частоты питающего напряжения.

Термин «продолжительный перебой» относится к ситуации, когда характер неисправности не позволяет возобновить подачу энергии автоматически — необходимо вмешательство человека. Более часто применяемый термин «авария» менее точен. Он скорее применим к состоянию, когда некоторый компонент системы не функционирует надлежащим образом (см. IEEE Std 100-1992).

Если напряжение в сети отсутствует более двух минут, скорее всего, не будет ошибкой считать, что имеет место продолжительный перебой и вскоре прибудет аварийная бригада для ремонта линии.

Провал напряжения (**рис. 7**) представляет собой уменьшение амплитуды напряжения переменного тока, длящееся от 0,5 периода до 1 минуты, при сохранении номинальной частоты. В числе возможных причин — неисправности системы, а также большие пусковые токи некоторых нагрузок.



3. Провал напряжения/просадка напряжения

Рисунок 7

Провал напряжения

Провалы напряжения часто возникают из-за мощных нагрузок, например, при первом включении мощного кондиционера воздуха или как побочный эффект автоматических процедур устранения неисправностей в электросети. Так, на производственном объекте чаще всего это может быть включение мощного электродвигателя: в пусковом режиме сила тока нередко превышает номинальную в шесть и более раз. Такое резкое и значительное увеличение нагрузки на сеть способно вызвать существенный провал напряжения. Представьте себе, что кто-то разом открыл все краны в доме, когда вы принимаете душ. Скорее всего, вода станет значительно холоднее, а ее напор резко уменьшится. Проблему можно решить установкой дополнительного нагревателя, специально для снабжения горячей водой душа. Аналогичное решение существует и для электросетей.

Подача питания в нагрузку с высоким пусковым током по выделенной линии, возможно, наиболее эффективный выход из положения; однако он не всегда физически реализуем или экономически оправдан, в особенности если таких нагрузок много. В числе других вариантов — применение устройств, разгружающих электрическую инфраструктуру в процессе пуска электродвигателя. Например, обеспечивающих пуск при пониженном напряжении: с использованием автотрансформаторов или переключателей конфигураций звезда / треугольник. Существуют также электронные устройства, уменьшающие провал напряжения в момент пуска. В последнее время в производственном оборудовании все шире применяются электродвигатели с управляемой частотой вращения. Они позволяют добиваться повышения эффективности и экономичности, и, кроме того, могут запускаться небольшим током.

Как уже говорилось в разделе, посвященном перебоям электроснабжения, одним из источников неприятностей для конечных пользователей являются стандартные процедуры автоматического устранения неисправностей в электросети. Не всегда эти неприятности принимают форму перебоя. Если неисправность удастся быстро устранить, или она исчезает сама, дело может ограничиться просто провалом напряжения. Во многих случаях против провалов напряжения могут применяться те же средства, что и против перебоев: ИБП, генераторы и специальные приемы проектирования. Необходимо, однако, помнить, что некоторые отрицательные последствия этой неисправности проявляются только со временем (повреждение оборудования и данных, нарушения в производственных процессах).

Некоторые электрические компании предлагают своим клиентам дополнительную услугу анализа ситуации с провалами напряжения, но пока этот сервис находится лишь на зародышевой стадии. Анализ может проводиться с точки зрения допустимых и недопустимых условий работы оборудования. По мере проведения исследований и выявления слабых мест информация собирается, анализируется и доводится до сведения производителей, которые могут использовать ее для совершенствования оборудования с точки зрения устойчивости к неблагоприятным условиям в электросетях.

Просадка напряжения

Просадка напряжения в сети (**рис. 8**) может вызываться теми же причинами, что и провалы, но действующими более продолжительное время. Ранее чаще применялся термин «пониженное напряжение», за которым лучше оставить только его другое значение: намеренное снижение напряжения в коммерческой электросети в периоды повышенного потребления. Просадка напряжения может вести к перегреву электродвигателей и отказу нелинейных нагрузок, таких как блоки питания компьютеров. Решается проблема аналогично случаю с провалами напряжения. Практически важно, что применение для борьбы с этой неисправностью электропитания ИБП с функцией корректировки напряжения сети без перехода на аккумуляторы обеспечивает более длительный срок службы батарей. Постоянная просадка напряжения может свидетельствовать о серьезной неисправности оборудования, неправильной конфигурации или о необходимости увеличить мощность подключения к электросети.

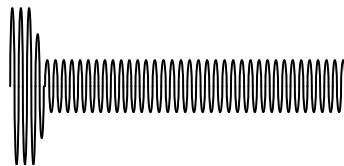


Рисунок 8

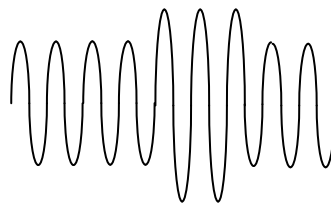
Просадка напряжения

4. Всплеск напряжения / перенапряжение

Рисунок 9

Всплеск напряжения

A swell (**Figure 9**) is the reverse form of a sag, having an increase in AC voltage for a duration of 0.5 cycles to 1 minute's time. For swells, high-impedance neutral connections, sudden (especially large) load reductions, and a single-phase fault on a three-phase system are common sources.



В числе возможных последствий — ошибки в данных, мерцание освещения, износ электрических контактов и изоляции, повреждение полупроводниковых приборов. Для решения проблемы обычно применяются средства кондиционирования электропитания, ИБП и феррорезонансные стабилизаторы.

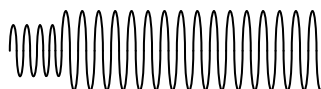
Как и в случае с провалами напряжения, причиняемые всплесками повреждения, часто, проявляются только со временем. Применение ИБП и/или средств кондиционирования электропитания с функцией мониторинга и регистрации позволяет оценить и проанализировать, в каких случаях и как часто происходят различные отклонения параметров электропитания от нормы.

Перенапряжение

Перенапряжение (см. **рис. 10**) часто вызывается теми же причинами, что и всплески напряжения, но действующими более продолжительное время. Можно рассматривать это отклонение от нормы как затянувшийся всплеск. Перенапряжения обычно возникают при снижении нагрузки в сетях, запитанных от трансформаторов с неправильно скоммутированными отводами. Например, в местностях с большой сезонной неравномерностью потребления электроэнергии, где пренебрегают своевременным переключением, и в низкий сезон напряжение снимается с тех же отводов трансформатора, что и в высокий, притом, что потребляется энергии значительно меньше. Это как если прикрыть пальцем отверстие поливного шланга. Давление возрастает, поскольку площадь выходного отверстия уменьшается, притом, что количество вытекающей из шланга воды, остается практически прежним. Перенапряжение может вызывать увеличение силы тока и срабатывание автоматических предохранителей, а также создавать повышенную нагрузку на оборудование и его перегрев.

Рисунок 10

Перенапряжение



Поскольку перенапряжение представляет собой, по существу, постоянный всплеск напряжения, для защиты от него отлично подходят те же самые ИБП и аппаратура кондиционирования электропитания. Однако если состояние перенапряжения сохраняется постоянно, необходимо выполнить определенные регулировки на вводе электропитания в местную сеть. Многие симптомы являются общими и для всплесков напряже-

ния и для перенапряжения. Поскольку последняя неисправность электропитания носит более долговременный характер, выделение оборудованием тепла сверх обычного (при нормальных условиях окружающей среды и рабочей нагрузке) может свидетельствовать о перенапряжении. Вред от повышенной электрической и тепловой нагрузки бывает особенно значителен в условиях современного вычислительного центра с высокой плотностью размещения оборудования. Выделение тепла и его последствия в средах с системами одноплатных серверов (отличающимися очень высокой плотностью компоновки) — предмет пристального внимания сообщества ИТ.

5. Искажения формы

Различают пять базовых типов искажений формы электрического напряжения:

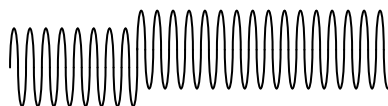
3. Постоянная составляющая.
4. Гармонические искажения.
5. Некратные гармоники.
6. Периодические импульсные помехи.
7. Шум.

Постоянная составляющая

Постоянный ток часто появляется в распределительных сетях переменного тока из-за неисправности выпрямителей различных типов, широко применяемых в современном оборудовании. Постоянная составляющая может увеличивать электрическую нагрузку на устройства переменного тока, уже работающие на пределе паспортных возможностей. Одно из отрицательных последствий циркуляции постоянного тока — перегрев и насыщение сердечников трансформаторов. А насыщение ведет не только к дальнейшему перегреву, но и к снижению подаваемой на нагрузку мощности и возникновению дополнительных искажений формы напряжения, угрожающих стабильности работы электронного оборудования. График напряжения с постоянной составляющей приведен на **рис. 11**.

Рисунок 11

Постоянная составляющая



Для решения проблемы необходимо устранить ее причину. Применение модульного оборудования, ремонтируемого собственными силами пользователей, значительно упрощает и удешевляет задачу по сравнению со случаями, когда необходимо привлекать квалифицированных специалистов-ремонтников.

Гармонические искажения

Гармонические искажения (**рис. 12**) представляют собой наложенные колебания с частотами, кратными частоте напряжения сети. (Например, в 60-Гц сети третья гармоника имеет частоту 180 Гц: $3 \times 60 = 180$).

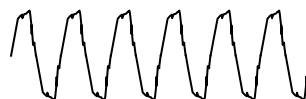
К симптомам данной неисправности относится перегрев трансформаторов, нейтральных проводников и распределительной аппаратуры, срабатывание автоматических предохранителей и потеря синхронизации, осуществляемой по моменту перехода напряжения через ноль.

В прошлом гармонические искажения представляли серьезную проблему эксплуатации оборудования ИТ — из-за особенностей работы применявшихся тогда импульсных блоков питания. Они представляли собой нелинейные нагрузки, потребляющие мощность лишь на гребне положительной и отрицательной полуволн синусоиды напряжения — вместо постоянного потребления на протяжении всего периода. Поскольку каждое окно потребления было слишком узким (менее 1/3 полупериода частоты напряжения сети), токи через подключенные к разным фазам блоки питания не компенсировали друг друга в нейтрали. Вместо этого они складывались, так что сила тока в нейтральном проводе достигала очень высоких значений — теоретически до 1,73 от максимума в фазном проводе. Перегрузка нейтрали может вести к значительному перенапряжению по отдельным фазам, что угрожает серьезными повреждениями оборудования. Кроме того, гармонические искажения, вызванные включением нагрузок с импульсными блоками питания, потребляющих только на пиках напряжения, суммарная мощность которых, при их большом количестве, оказывается весьма высока, часто приводят к насыщению сердечников трансформаторов и их перегреву. Аналогичными особенностями страдают и электродвигатели с управляемой частотой вращения, электронные балласты люминесцентных ламп и ИБП устаревших конструкций. В числе распространенных методов решения проблемы — увеличение сечения нейтрального проводника, использование трансформаторов с запасом по потоку насыщения магнитопровода и установка фильтров гармоник.

За последнее десятилетие конструкция блоков питания оборудования ИТ значительно усовершенствована на базе ряда международных стандартов. В частности, устранена опасность возникновения описанных выше отрицательных последствий для электрической инфраструктуры из-за гармонических искажений при эксплуатации оборудования ИТ значительной суммарной мощности. Новые блоки питания имеют скорректированный коэффициент мощности и работают как линейные, не создающие гармонических искажений нагрузки..

Рисунок 12

Типичная форма напряжения с гармоническими искажениями



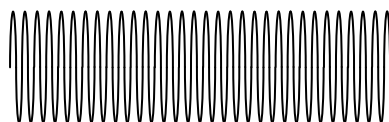
Некратные гармоники

Некратные гармоники (рис. 13) обычно проникают в сеть из таких устройств, как статические преобразователи частоты напряжения, индукционные электродвигатели и электродуговые аппараты. Один из наиболее опасных источников некратных гармоник — циклоконверторы (устройства управления мощными электродвигателями, используемыми в прокатных станах, цементных печах и горнодобывающем оборудовании). Они преобразуют частоту сетевого напряжения в более высокую или более низкую.

Наиболее заметный признак появления некратных гармоник — мерцание экранов дисплеев и ламп накаливания, а также возможный перегрев оборудования и помехи связи.

Рисунок 13

Наложение некратных гармоник



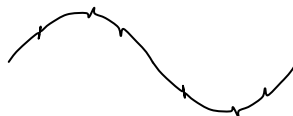
Для борьбы с этой неисправностью электропитания применяются фильтры, ИБП и кондиционеры электропитания.

Периодическая импульсная помеха

Периодическая импульсная помеха (**рис. 14**) представляет собой периодическое отклонение величины напряжения от нормы, вызываемое нормальной работой таких устройств, как блоки управления электродвигателей с управляемой частотой вращения, электронные регуляторы яркости освещения и сварочные аппараты. От импульсного переходного процесса данная неисправность отличается тем, что проявляется по несколько раз за каждый полупериод напряжения (и это позволяет отнести ее к категории искажений формы напряжения). В числе обычных последствий периодической импульсной помехи — «зависание» компьютерных систем, потери данных и сбои при их передаче.

Рисунок 14

Периодическая импульсная помеха



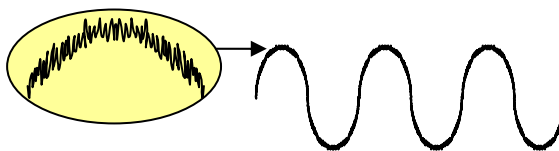
Одно из возможных решений проблемы — разнесение источников помехи и чувствительного к ней оборудования. Если этот простой способ по каким-либо причинам не подходит, можно использовать ИБП и фильтры.

Шум

Шум (**рис. 15**) представляет собой нежелательные отклонения электрических параметров от нормы, имеющие случайный характер и небольшую амплитуду. Он порождается различными электронными устройствами, схемами управления, сварочными аппаратами, импульсными блоками питания, радиопередатчиками и др. Некачественное заземление делает сеть более уязвимой для шума. В числе возможных отрицательных последствий его появления — ошибки в данных, отклонение функционирования оборудования от нормы, выход со временем из строя различных компонентов, поломки жестких дисков и искажения изображения на экранах мониторов.

Рисунок 15

Шум



Существуют различные методы борьбы с шумом; но нередко требуемого результата удается достичь только комплексным применением ряда мер. Вот лишь некоторые из них:

- Развязка от сети через ИБП.
- Развязка от сети через заземленный экранированный трансформатор.
- Разнесение источников шума и чувствительного к нему оборудования.
- Установка фильтров.
- Экранирование кабелей.

Повреждение данных — одно из наиболее распространенных отрицательных последствий наличия шума в сети питания. Электромагнитные и радиочастотные помехи могут создавать наводки (наведенные токи и напряжения) в системах передачи данных (см.

рис. 16). В цифровых линиях дополнительное напряжение может превращать «нули» в «единицы» и наоборот, а также выводить их электрические параметры вообще за рамки нормы. Классический пример — возникновение наведенного шума в сетевом кабеле, проложенном за подвесным потолком вместе проводом, идущим от люминесцентного светильника. Такие светильники создают довольно значительные электромагнитные помехи, способные на небольших расстояниях вносить ошибки в передаваемые данные. Аналогичное явление имеет место и при совместной прокладке сетевых и мощных силовых кабелей. Такой подход к организации кабельного хозяйства, часто применяемый в ВЦ с фальшполами, увеличивает риск возникновения шума.

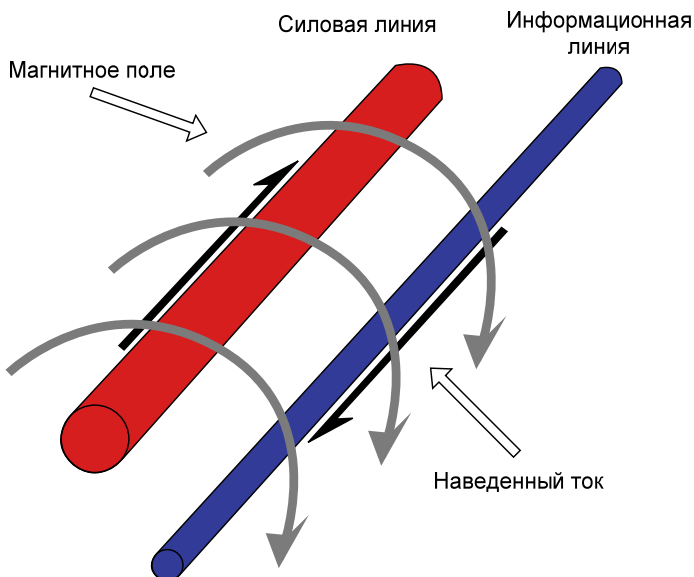


Рисунок 16

Наводки

Эта конкретная проблема решается разнесением источников электромагнитных / радиочастотных помех и линий передачи данных вместе с соответствующим оборудованием либо дополнительным экранированием.

6. Флуктуации напряжения

Флуктуации напряжения выделяются в особую категорию из-за существенных отличий от прочих видов искажений формы напряжения. Флуктуации напряжения (рис. 17) представляют собой систематическое изменение формы напряжения либо периодическое отклонение его величины от номинала в небольших пределах (95÷105 %), характеризующееся сравнительно низкой частотой (обычно, менее 25 Гц).



Рисунок 17

Флуктуации напряжения

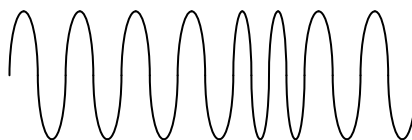
Причиной их возникновения может служить любая нагрузка с нестабильным потреблением тока. Наиболее распространенный источник флуктуаций напряжения в транспортных и распределительных электросетях — дуговые электропечи. Один из характерных симптомов проблемы – мерцание ламп накаливания. В числе возможных методов ее разрешения — отключение нагрузки, которая создает флуктуации, переключение чувствительного оборудования на другой источник энергии, установка средств кондиционирования электропитания или ИБП.

7. Вариации частоты

В стабильных системах электроснабжения, и особенно в объединенных энергосистемах, вариации частоты (**рис. 18**) крайне редки. Обычно эта проблема возникает при питании от автономных генераторов, в особенности при высокой нагрузке на них, или при низком качестве инфраструктуры энергоснабжения. Оборудование ИТ весьма малотребовательно к частоте переменного тока, и небольшие вариации никак не сказываются на его работе. Страдают от этой неисправности прежде всего электродвигатели и оборудование, рассчитанное на стабильную частоту питающего напряжения. Вариации частоты могут вызывать соответствующее ускорение и замедление вращения ротора двигателя, что ведет к снижению эффективности его работы и/или перегреву и повышенному износу из-за увеличенной скорости вращения и/или повышенной силы тока.

Рисунок 18

Вариации частоты



Устранение проблемы требует диагностики и ремонта или замены неисправных источников электроэнергии.

Дисбаланс фаз

Дисбаланс фаз не имеет отношения к искажениям формы напряжения. Однако ввиду своего значения для качества электропитания эта проблема заслуживает обсуждения в настоящей статье.

Проще говоря, речь идет (в соответствии с названием) о неравенстве фазных напряжений. Вина за него может лежать и на сети электроснабжения, однако чаще всего причина кроется в дисбалансе нагрузки, возникающем при подключении к плечам трехфазной системы однофазных устройств.

Обычные последствия такой неисправности — перегрев электродвигателей, и, в особенности, электроники управления. Более значительные дисбалансы могут приводить к усиленному выделению тепла и другими компонентами электродвигателей, а также к периодическим отказам их контроллеров.

Оценить величину дисбаланса можно относительным разбросом напряжений в плечах трехфазной системы. Допустимой считается величина в 4 % от величины наименьшего фазного напряжения. Ниже приведен пример такой оценки.

Пример:

Напряжение первой фазы:	220 В.
Напряжение второй фазы:	225 В.
Напряжение третьей фазы:	230 В.
Наименьшее напряжение:	220 В.
4% от 220 В = 8,8 В.	



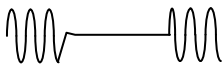
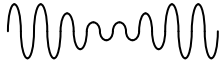
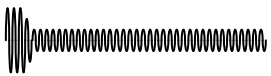

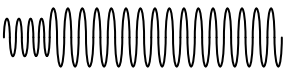
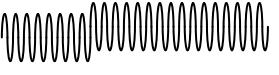

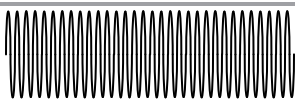




Разница между наибольшим и наименьшим напряжением: **10 В.**

10 В > 8,8 В – дисбаланс выходит за допустимые пределы!

Дисбаланс устраняется реконфигурированием нагрузки либо корректировкой входных напряжений (если он вызван внешними причинами).

В **Табл. 1** сведены все обсужденные виды отклонений параметров электропитания от нормы и возможные меры по предотвращению негативных последствий.

Таблица 1 Сводка неисправностей электропитания и мер защиты

Категория отклонения	Форма сигнала	Действие	Возможная причина	Возможное решение
1. Переходный процесс				
Импульсный		Потеря данных, остановка или неисправность системы	Молния, ЭСР, импульсы переключени, срабатывание систем повторного включени	Фильтры ИП, регулировка влажности в диапазоне 35-50 %
Колебательный		Потеря данных, отказ оборудования	Включение индуктивной / емкостной нагрузки	Фильтры, ИБП, дроссели, статические коммутаторы
2. Перебои				
		Потеря данных, отключение / отказ оборудования	Переключения, аварии в сети, срабатывание автоматов, неисправность оборудования	ИБП
3. Провал / Просадка				
Провал		Остановка системы, потеря данных, отключение	Пуск нагрузок, аварии	Кондиционеры сети, ИБП
Просадка		Остановка системы, потеря данных, отключение	Неисправность сети, изменение потребления	Кондиционеры сети, ИБП
4. Всплеск / Перенапряжение				
Всплеск		Мигание, отказ оборудования / сокращение срока службы	Изменение нагрузки, неисправность сети	Кондиционеры сети, ИБП, феррорезонансные стабилизаторы
Перенапряжения		Отказ оборудования / сокращение срока службы	Изменение нагрузки, неисправность сети	Кондиционеры сети, ИБП, феррорезонансные стабилизаторы
5. Искажения формы				
Постоянная составляющая		Перегрев тр-ров, снижение мощности, мигание	Неисправность выпрямителей, источников питания	Поиск неисправности и замена неисправного оборудования
Гармоники		Перегрев трансформаторов, отключение системы	Электронные нагрузки (нелинейные)	Перераспределение нагрузок, использование БП с коррекцией КМ
Некратные гармоники		Мерцание света, перегрев, помехи связи	Системы управления, неисправное оборудование, циклоконверторы, преобразователи частоты, э/двигатели, сварка	Кондиционеры сети, фильтры, ИБП
Периодическая импульсная помеха		Отключение системы, потеря данных	Частотные привода, сварка, регуляторы света	Перераспределение нагрузок, разнесение нагрузок, фильтры, ИБП
Шум		Отключение системы, потеря данных	Радиопередатчики, неисправная аппаратура, плохое заземление, близость источников р/излучения	Удалить передатчики, исправить заземление, удалить источники р/излучения, экранирование, фильтры, изолирующие тр-ры
6. Флуктуации				
		Отключение системы, мерцание освещения	Неустойчивая работа оборудования	Конфигурирование распределительной сети, переподключение нагрузок, кондиционеры, ИБП
7. Вариации частоты				
		Неисправность синхронного оборудования, Не влияет на ИТ	Неэффективное управление резервных генераторов	Апгрейд системы управления генераторов

Выводы

Широкое распространение электронной техники вывело на передний план вопросы качества электропитания и его влияния на работу используемого предприятиями ответственного электрооборудования. Наш мир все в большей мере управляется крохотными микропроцессорами, которые чрезвычайно чувствительны даже к минимальным отклонениям параметров электропитания от нормы. В частности, под их управлением работают высокопроизводительные производственные и упаковочные линии, простой которых совершенно недопустим. Существует ряд экономических решений, позволяющих ограничить либо вообще исключить отрицательные последствия неисправностей электропитания. Однако для организации обмена информацией внутри отрасли и обеспечения правильного понимания существа таких неисправностей/мер борьбы с ними необходимы единая терминология и набор определений. Настоящая статья представляет собой попытку дать определения и иллюстрации различных видов отклонений параметров электропитания от нормы в соответствии со стандартом IEEE 1159-1995 «IEEE Recommended Practice for Monitoring Electrical Power Quality».

Сокращение простоев оборудования и производственных издержек с соответствующим увеличением прибыли - важная задача для коммерческого предприятия любого масштаба. Обмен информацией об электрическом оборудовании и его устойчивости к различным отклонениям параметров электропитания от нормы поможет выработке лучших методов решения деловых задач и достижения целей.




Об авторах

Джозеф Сеймур работает ведущим аналитиком в отделе рекламаций APC в Уэст-Кингстоне, шт. Род-Айленд. Он выполняет осмотр и оценку повреждений, вызванных мощными переходными процессами, и выносит решения в отношении рекламаций заказчиков, поданных в соответствии с политикой защиты оборудования APC.

Терри Хорсли независимый консультант APC по качеству электропитания. Обладает более чем двадцатилетним опытом в области управления инженерными работами, поддержки ответственной инфраструктуры, обучения, разработки учебных программ, технического писательства и оценки состояния существующих объектов по всей Европе, Юго-Восточной Азии и США.



 Защита линий передачи данных от импульсных
APC Информационная статья **85**

 К списку всех информационных статей **APC**
whitepapers.apc.com

 К списку всех инструментов **APC TradeOff Tools**
tools.apc.com

Литература

- *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, IEEE Std. 1159-1995.
- Ron A. Adams, *Power Quality: A Utility Perspective*, AEE Technical Conference Paper, October, 1996.
- Wayne L. Stebbins, *Power Distortion: A User's Perspective on the Selection and Application of Mitigation Equipment and Techniques*, IEEE Textile Industry Technical Conference Paper, May, 1996.
- *IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment* (IEEE Green Book), IEEE Std. 1100-1992.
- Electric Power Research Institute / Duke Power Company, *Power Quality for Electrical Contractors* course, November, 1996.
- Square D, *Reduced Voltage Starting of Low Voltage, Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors Technical Overview*, Product Data Bulletin 8600PD9201, June 1992



Контакты

Для обратной связи и комментариев по содержанию настоящей информационной статьи

Data Center Science Center, APC by Schneider Electric
DCSC@Schneider-Electric.com

Если вы являетесь нашим заказчиком, и у вас возникли вопросы по проекту вашего центра обработки данных

Обратитесь к представителю компании **APC by Schneider Electric**

Приложение – устойчивость к отклонениям параметров электропита- ния от нормы

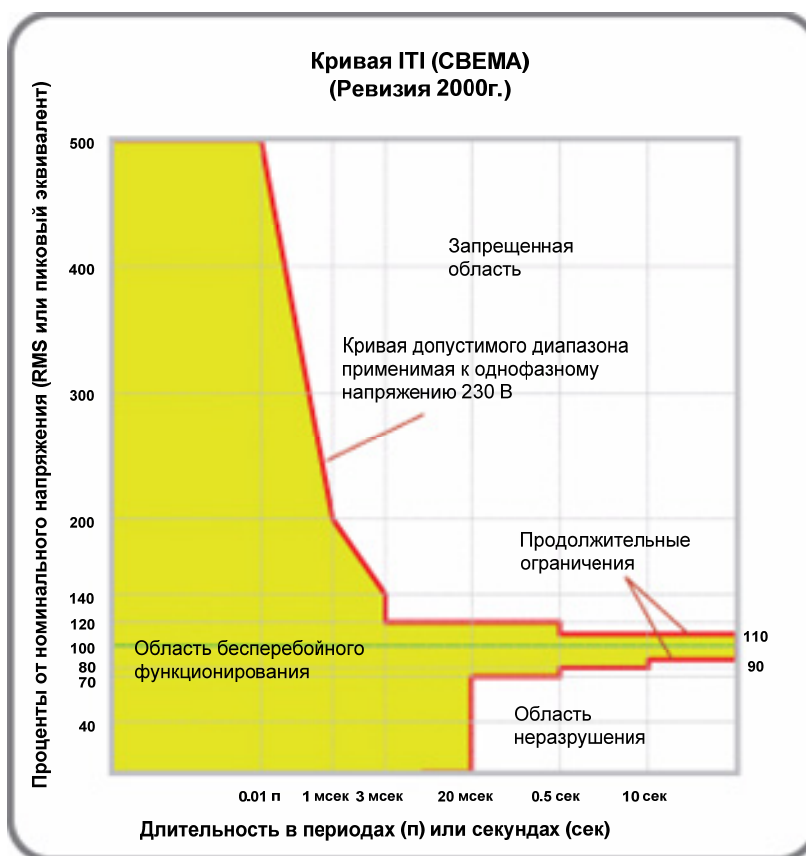
Итак, различные виды отклонений параметров электропитания от нормы идентифицированы и описаны; теперь необходимо понять пределы устойчивости к ним современного оборудования. Уровень его чувствительности к некоторым видам неисправностей электропитания весьма низок. А кратковременные отклонения могут быть и еще более сильными.

Большинство видов современного высокотехнологического оборудования работает от низкого постоянного напряжения. Оно вырабатывается легкими и нетребовательными импульсными блоками питания, которые подключаются к обычной сети переменного тока, и эффективно защищают чувствительные электронные компоненты от низкого качества электроснабжения.

Допустимые пределы отклонения параметров электросети от нормы по амплитуде и по времени для нагрузок с импульсными блоками питания определяет Международный стандарт IEC 61000-4-11. Существуют также широко используемые в отрасли рекомендации, известные как кривая СВЕМА (первоначально выработанные Ассоциацией производителей компьютеров и оргтехники, Computer and Business Equipment Manufacturer's Association). Они определяют минимальные требования к устойчивости блоков питания однофазного оборудования ИТ к отклонениям от нормы параметров электросети. Наследник СВЕМА - Совет отрасли ИТ (Information Technology Industry Council, ITIC) - недавно доработал эти рекомендации, результат показан на **рис. А1**. Текст рекомендаций и новая кривая опубликованы по адресу www.itic.org/technical/iticurv.pdf.

Рисунок А1

Кривая ITIC



На **рис. А1** по горизонтали отложена временная шкала от долей периода сетевой частоты до десятков секунд, а по вертикали — напряжение на входе блока питания однофазного устройства в процентах от номинала. Номинальными являются, чаще всего, параметры сети 120 В 60 Гц и 230 В 50 Гц. Вдоль нулевой горизонтали зона нормального функционирования простирается до отметки 20 мс, это означает, что параметры выходного напряжения постоянного тока будут оставаться в норме в течение, по крайней мере, 1/50 доли секунды после пропадания напряжения в сети. Другой важный факт, следующий из этого графика — то, что при напряжении сети переменного тока в 80 % от номинального нормальное функционирование устройства должно обеспечиваться в течение не менее чем 10 секунд. Что касается работы при повышенном напряжении, блок питания должен быть способен выдержать двойной номинал в течение, по крайней мере, 1 мс. А в течение 0,01 периода сетевого напряжения (1,6 мс в 60-Гц системе и 2,0 мс — в 50-Гц) допускается повышение напряжения до 500 % номинала без нарушения нормальной работы устройства.