

Олег Шахов (oshakhov@vspmos.ru)

Повесть о пробое диэлектрика, или Почему опять завис компьютер

Нежданные послания с небес

Хотел бы я познакомиться хоть с одним человеком, который, работая на компьютере, не ругал бы создателя установленной операционки. И совсем не важно, РС это или Mac, компьютер brand name или собранный из б/у комплектующих, стоит ли на нем Windows, Mac OS или что-то еще более экзотическое, — машина виснет. И тут кому как повезет: у кого это случается по несколько раз в день, у кого — раз в месяц, у самых везучих — пару раз в год, но виснет! Ошибки операционки, дыры в экранах, хакаеры, спамеры, нюкеры — бесспорно, возможных причин для этого более чем достаточно, но вот парадокс: если оторвать компьютер от сети, вывезти его на дачу, включить и пытаться работать — он виснет еще чаще... Даже в Word'е виснет, как только дело к дождю, — погоду, видно, чувствует...

А может, и вправду погода виновата? Попробуем разобраться.

Как известно, характерный признак лета — наличие гроз. Хотим мы того или нет, летом грозы были, есть и будут в обозримом будущем. А по некоторым данным, из-за загрязнения атмосферы грозовая активность со временем будет возрастать. Итак, грозы, зачастую невидимые и неслышимые, происходящие за десятки километров от нас, тем не менее сильно влияют на работу нашей чувствительной электроники.

Рассмотрим суть этого явления. По современным представлениям, земля имеет нулевой потенциал, а облака могут нести как положительный, так и отрицательный заряд. Как правило, облака с отрицательным зарядом расположены ниже (1,2-6 км от земли), чем положительно заряженные (3-10 км). Молния же — это пробой диэлектрика (воздуха), возникающий в случае, когда разность потенциалов (напряжение) превышает некоторое пороговое значение.

Помните опыты на уроке физики — два металлических шара и электрический разряд между ними? Это тоже была молния, только маленькая. Шары были расположены близко друг от друга, а колесо электрофорной машины крутили довольно долго. В нашем же случае один из шаров — земля, второй — облако. Находятся они далеко, даже очень далеко друг от друга, а пробой происходит. Разность потенциалов такая, какую даже сложно себе представить, — сотни тысяч вольт.

Ток течет от плюса к минусу, а следовательно, молнии бывают трех видов: восходящие (с земли к отрицательно заряженному облаку), нисходящие (с положительно заряженного облака к земле) и межоблачные (между облаками с разным знаком заряда), причем последние в нашем случае не менее важны. По статистике, мощность восходящих, а если назвать их по заряду облака — молний с отрицательным зарядом, меньше, чем у нисходящих, то есть молний с положительным зарядом: большее расстояние заряду нужно пробить, а для этого нужна большая разность потенциалов.

Немного цифр: с 1988-го по 1991 год Национальной сетью обнаружения молний США (NLDN) было зарегистрировано 53,4 млн. ударов молний в пределах 230 миль от каждого из 130 датчиков сети. Для каждого из ударов был измерен пиковый ток: у молний с отрицательным зарядом среднее значение пикового тока составило 35 кА (это 35 тыс. ампер — для сравнения: сварочный ток обычно не превышает 100 ампер), а менее 1% имели ток больше 120 кА; молнии с положительным зарядом имели среднее значение пикового тока 55 кА, и менее 1% ударов отличались током выше 180 кА. И еще: 90% (а в некоторых местах и до 95%) всех молний имели пиковый ток до 75 кА.

О физике процесса кратко можно сказать следующее. Удар молнии — это электрический пробой диэлектрика, то есть воздуха, сопровождающийся образованием так называемого плазменного проводника, по которому протекает мощный импульс разрядного тока. Изменение тока порождает изменение напряженности электрического поля вокруг проводника, порождающее, в свою очередь, изменение магнитного потока, которое снова порождает изменение напряженности поля. Так, в соответствии с волновой теорией рождаются и распространяются электромагнитные волны. Наша волна имеет характер короткого (длительностью до 50 мкс) и очень мощного импульса. Что-то очень похожее иногда называют электромагнитным импульсом, но это уже из теории начальной военной подготовки...

Но это еще не самое опасное при ударе молнии. Существует еще как минимум два поражающих фактора.

Первый (и наиболее очевидный) — непосредственное поражение той точки земной поверхности, в которой молния коснулась земли. Очевидцы рассказывают, что, например, при мощном ударе молнии в дерево оно будто взрывается изнутри. Оборудование, поврежденное прямыми ударами молнии, редко удается восстановить. Согласно исследовани-

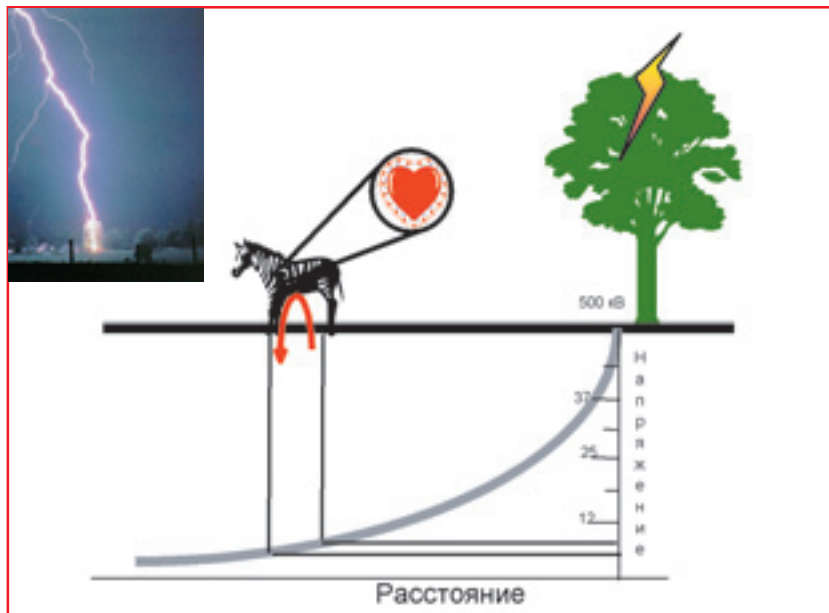


Рис. 1. Распределение потенциала на поверхности земли при ударе молнии



Рис. 2. Гибель 504 овец на горном пастбище в штате Юта (США)

ям, проводившимся на территории нашей страны во второй половине прошлого века, плотность ударов молний составляет в среднем от 1 до 6 на квадратный километр в год. Это не очень много, и сильно бояться этого поражающего фактора не стоит, но принять во внимание не помешает.

Но самый опасный как для людей и животных, так и для электронной техники — электрический фактор, о котором часто забывают. Суть его заключается в том, что в точке удара молнии во время «рассасывания» огромного электрического заряда в земле появляется очень большой электрический потенциал, который уменьшается от максимального значения в точке удара (сотни киловольт) по экспоненциальному закону по мере удаления от этой точки. На земле во время «рассасывания» заряда создается известное многим из теории предмета «Охрана труда» шаговое напряжение (рис. 1). При этом разность потенциалов (электрическое напряжение) между двумя точками на земле, расположенными на расстоянии метра друг от друга, может достигать нескольких киловольт. Это напряжение сильно зависит от удельного сопротивления грунта (состава, влажности, плотности) и возрастает с его увеличением. Зафиксирован случай одновременной гибели более 500 домашних животных от одного удара молнии (рис. 2).

Радиус действия этого поражающего фактора довольно велик — до 1 км и больше. Время «рассасывания» заряда в земле, то есть выравнивания потенциала в точке удара молнии с нулевым потенциалом земли, тоже в значительной степени зависит от удельного сопротивления грунта и составляет уже сотни и даже тысячи микросекунд. Учитывая приведенную выше статистику плотности ударов молнии в нашей стране, каждый из нас по меньшей мере один раз в год (а в Центральной части России в среднем 4-5 раз в год) находится под прицелом, причем с шагом всего в 70 см...



Рис. 3. Опасная разность потенциалов при отсутствии замкнутого заземляющего контура здания

Совсем иначе обстоит дело с электроникой, которую нужно питать электрическим током. Обычная для нас схема подачи электропитания — одно- или трехфазная, с заземленной нейтралью. Нейтраль обязательно заземляется и на понижающем трансформаторе энергокомпании, и у потребителя в целях его безопасности. С другой стороны нейтраль через обмотку трансформатора электрически соединена с фазой. Расстояние от трансформатора до потребителя может измеряться километрами.

При ударе молнии между точками заземления нейтрали может создаваться разность потенциалов в десятки киловольт. Импульс перенапряжения обязательно будет «принесен» по питающим проводам довольно большого сечения как к компьютеру, так и к остальной технике. В итоге — сбой программы или выход из строя самых уязвимых элементов. Если же подключить к компьютеру через модем еще и телефонную линию (ее точка заземления часто не совпадает с точкой заземления сети электропитания — рис. 3) или сетевой

Ethernet-кабель, заземленный в соседнем здании, то можно, не обладая астрологическими познаниями, довольно точно предсказать результат воздействия на оборудование электрического импульса напряжением в единицы-десятки киловольт, «принесенного» из линии (рис. 4).

При межоблачном разряде, который мы даже и не заметим, токовый импульс тоже будет обязательно наведен на проводах (и питания, и всех остальных), и если его мощности будет достаточно, то результат предсказуем. Известны примеры, когда сила наведенных электромагнитным способом импульсов тока на кабеле длиной 50 м превышала 3 кА.

Ситуацию осложнила ярко выраженная в последние годы тенденция к снижению энергопотребления и, как следствие, к снижению питающих и сигнальных напряжений, к уменьшению физических размеров кристаллов и связанных с этим уменьшением предельно допустимых напряжений и токов, которые этот кристалл может выдержать без необратимых последствий. То, что прежде совершенно не ме-

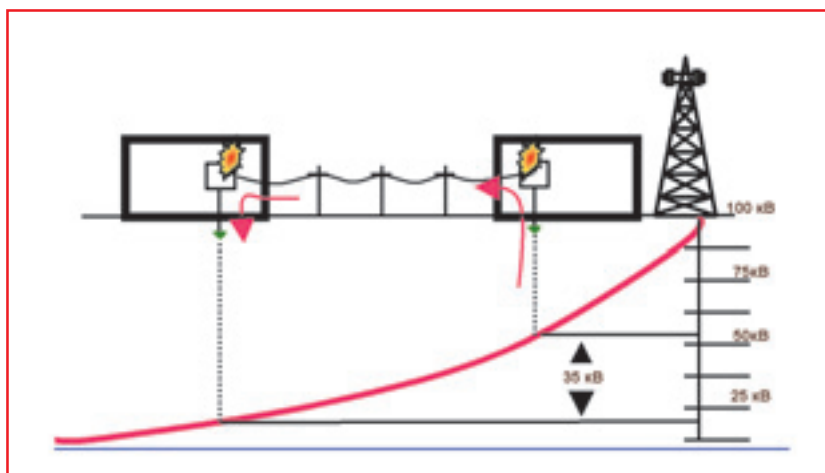


Рис. 4. Опасная разность потенциалов между точками заземления телекоммуникационного оборудования

шало работе аналоговой техники, теперь стало почти непреодолимым препятствием для техники цифровой. Иногда сбои в работе компьютеров обходятся значительно дороже стоимости этих самых компьютеров, например в медицине, в банковской деятельности, при управлении полетами, дорожным движением и т.д.

Как же уберечься от возможных неприятностей? В принципе, все просто. Необходимо в момент появления импульса перенапряжения очень быстро (за наносекунды) выровнять потенциалы на всех линиях, подходящих к электронному устройству, с потенциалом земли и отвести принесенные или наведенные опасные токи на землю. По окончании импульса нужно все вернуть в рабочее состояние. К тому же желательно, чтобы такая защита была не одноразовой, иначе на ней можно разориться.

Современные защитные барьеры

Практическое решение задачи защиты оборудования от импульсных перенапряжений постоянно совершенствовалось по мере роста чувствительности к перенапряжениям оборудования. Появлялись новые технологии и разработки, и к настоящему времени схема построения защитных устройств уже устоялась и представляет собой некую комбинацию из последовательно включенных на пути импульсов перенапряжений барьеров, каждый из которых имеет собственное назначение, мощность и порог срабатывания. Таких барьеров может быть несколько, в зависимости от требований к системе защиты.

Первым удар принимает разрядник, представляющий собой два контакта с калиброванным расстоянием между ними. Один из контактов подключен к заземлению, второй — к защищаемой линии. Расстояние между контактами выбирается в зависимости от того, при каком приложенном напряжении разрядник должен сработать. Для стабилизации напряжения срабатывания контакты помещают в капсулу, наполненную газом со стабильными при пробое свойствами.

Вроде, всем хорош газоразрядник: и напряжение срабатывания можно регулировать в довольно широких пределах, и токи очень значительные коммутирует на землю, и стоит недорого, и самовосстанавливается после срабатывания. Вот только время срабатывания никуда не годится — быстрее 10 мкс не получается, а это означает, что пик импульса перенапряжения длительностью, как мы помним, около 50 мкс, но нарастающий до максимума уже через 8 мкс без проблем пройдет к защищаемому оборудованию. Да и от количества срабатываний разрядника напряжение пробоя газоразрядника зависит довольно сильно: при пробое материал контактов «испаряется», увеличивая зазор между ними, поэтому нужна дополнительная защита.

Второй барьер — металлооксидный варистор, известный уже довольно давно и обладающий способностью при превышении напряжения на нем порогового значения очень быстро, за 10-20 нс, включаться и коммутировать токи до десятков килоампер. В последние десятилетия технология производства варисторов совершенствовалась: были разработаны, запатентованы и производятся крупноблочные варисторы с коммутируемыми максимальными импульсными токами до 90 кА. По окончании импульса перенапряжения варистор переходит в исходное состояние.

Но, как известно, идеальных вещей не бывает, и варисторы тоже не лишены недостатков. Наиболее серьезный из них — недолговечность. К сожалению, варисторы имеют ресурс, напрямую зависящий от мощности коммутируемых токов и количества срабатываний. Дело в том, что слабые токовые импульсы силой 1-2 кА современный крупноблочный варистор может скоммутировать до нескольких тысяч раз. Но чем более мощные импульсные токи были ранее отведены варистором на землю, тем меньше у него осталось ресурса, так что никогда с полной уверенностью нельзя сказать, сработает ли этот варистор в следующий раз. Эту проблему производители устройств защиты от перенапряжений (УЗП) решают по-разному: включают маломощные варисторы параллельно (что часто только усугубляет проблему, ведь рвется обычно там, где тонко), используют резервирование и дополнительные ступени защиты, устанавливают более мощные и дорогостоящие крупноблочные варисторы, имеющие значительно больший запас прочности, а в самых ответственных случаях применяют счетчики перенапряжений и заменяют варисторные элементы защиты до наступления момента окончательной выработки их ресурса.

Другой недостаток варисторов — зависимость напряжения срабатывания от протека-

ющего тока (рис. 5). Например, варистор с заявленным производителем напряжением срабатывания в 300 В при проходящем через него токе в 1 кА реально может пропустить к нагрузке до 500 В, а при токе в 10 кА напряжение на нагрузке может подскочить и до 1,5 кВ. Что будет на нагрузке при прямом ударе молнии с импульсом тока в 150 кА (а именно на защиту от прямых ударов молнии в систему энергоснабжения и проектируются современные системы молниезащиты зданий) — остается только догадываться, тем более что испытать варисторные УЗП при таких больших токах совсем непросто. Важно отметить, что у современных крупноблочных варисторов рассматриваемая зависимость уже не так опасна для потребителя. Для мощных варисторов, имеющих значительный запас прочности и ресурса, можно достаточно уверенно прогнозировать параметры при критичных токовых перегрузках — так стабильны их характеристики.

Но понятно одно: для гарантированного обеспечения работоспособности оборудования при любых импульсных перенапряжениях необходим еще один защитный барьер. И так, третий барьер — это матрица кремниевых лавинных диодов. При ограниченной способности выдерживать большие токи перегрузки (а на этом третьем защитном барьере больших бросков тока и не ожидается) матрица лавинных диодов обладает способностью стабилизировать напряжение на нагрузке в очень жестких пределах. И к тому же при очень малом, порядка единиц наносекунд, времени срабатывания.

Небольшой пример: стандартное рабочее линейное напряжение сигналов в 10, 100 и 1000 Мбит/с Ethernet составляет 5 В. Если на элементы, работающие на таких низких уровнях напряжений, попадет около 25 В, можно смело предположить (и на практике это доказано), что тогда сетевая карточка или хаб, а

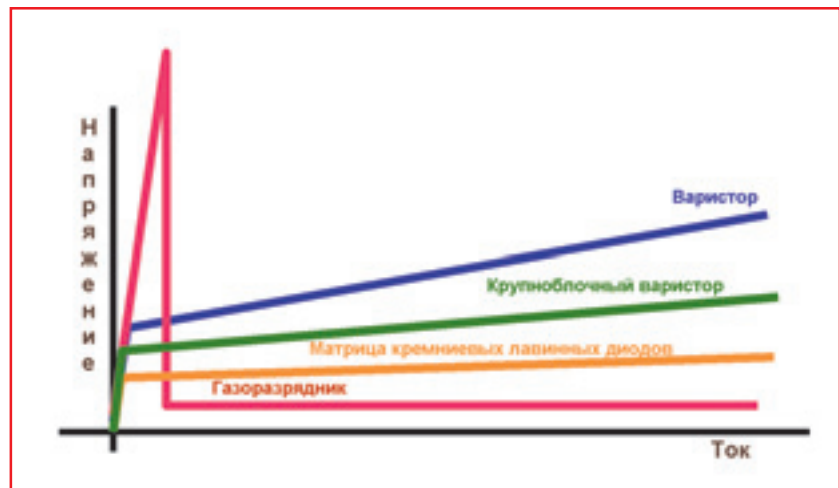


Рис. 5. Способность различных компонентов УЗП стабилизировать напряжение на нагрузке

часто и то и другое вместе выйдет из строя. Специалисты, занимающиеся компьютерными сетями, хорошо знакомы с этой проблемой и потому запасают на лето хабы и свичи, как крестьяне дрова на зиму. Защита, которую часто используют, в целях удешевления обычно имеет всего один варисторный компонент или разрядник на несколько защищаемых линий. А как мы отмечали, варистор — не панацея. Не может он гарантировать на стороне потребителя не более 10 В независимо от мощности импульса перенапряжения. А комбинация «разрядник + варистор + матрица лавинных диодов» — может, даже при очень сильных импульсах перенапряжений.

Немного скажем о защите систем электропитания. Здесь в случае воздушного ввода электропитания (на даче, в коттедже, в загородном административном или производственном здании и т.д.) установка УЗП во многих странах обязательна в соответствии с национальным законодательством. Практически вся современная бытовая техника имеет микропроцессорное управление. Очень сильно подвержены повреждениям от импульсных перенапряжений импульсные источники питания, используемые почти во всех современных электронных приборах и имеющие в своем составе низковольтные системы управления. Всем известная ситуация: вчера вечером телевизор (видеокамера, DVD-плеер, кондиционер и т.п.) работал, а сегодня включаем, а он не включается, не говоря уже о случаях иногда возгораниях.

В случае кабельного (подземного) ввода электропитания в производственные здания — в зависимости от назначения производственного оборудования — может устанавливаться до трех ступеней защиты: на кабельном вводе, на этажном распределительном щите и непосредственно в точке подключения оборудования. Наряду с электропитающими, обязательно должны быть защищены от перенапряжений и все коммуникационные линии, подводимые к оборудованию (телефонные, телекоммуникационные, Ethernet, телеметрические, управления, сигнализации, видеонаблюдения, TV и т.п.).

Приведем несколько рекомендаций, на которые стоит обратить внимание при выборе УЗП:

- возможность выбрать УЗП именно того назначения, которое необходимо (совместимость разъемов, соответствие протоколов, отсутствие влияния на качество передаваемой информации);
- возможность выбора УЗП для всех ваших нужд у одного производителя;
- надлежащая техническая квалификация персонала продавца;
- простота установки при уже смонтированном оборудовании;
- гарантия производителя и условия ее обеспечения.

И если с первыми четырьмя пунктами все относительно понятно, то на гарантийных обязательствах хотелось бы остановиться более подробно, ибо здесь возможны подводные камни:

- стандартная гарантия сроком на 1 год — в этом случае обычно оговариваются условия для ее выполнения, где среди прочих может быть указана недопустимость воздействия на это устройство чрезмерными (!) по мощности перенапряжениями (вспомним в связи с этим про варисторы);
- гарантия на срок более 1 года (до 3 и даже до 5 лет) — обязательны определенные технические условия при эксплуатации: обычно указывается возможность замены УЗП только после проведения соответствующей технической экспертизы;
- пожизненная гарантия — в этом случае, в отличие от общепринятого понимания, продавцы, видимо, имеют в виду срок жизни самого УЗП и оборудования, которое оно должно было защищать;
- безусловная гарантия на срок до 10 лет — с заменой вышедших из строя УЗП без всяких экспертиз.

Немного о ценах. На УЗП одного назначения цены могут отличаться в разы — в зависимости от технических характеристик, используемых элементов, условий гарантии, страны-производителя и прочих влияющих факторов. Например, цена на УЗП для Ethernet 5-й категории может колебаться от 6 долл. за

порт для самых простых изделий до 60 долл. за порт для профессиональных УЗП, предназначенных для долгосрочного обеспечения безотказной работы оборудования современных структурированных кабельных сетей (СКС).

В большинстве развитых стран за последние два десятилетия при проектировании сложилась практика предусматривать затраты на систему активной защиты от импульсных перенапряжений — в среднем порядка 10% от стоимости защищаемого оборудования, и в большинстве случаев этого оказывается вполне достаточно. Иногда на выбор оборудования защиты оказывают влияние такие факторы, как непосредственная безопасность людей (например, в медицинских учреждениях или при авиaperелетах), общественная безопасность (для органов охраны правопорядка), возможные потери от простоев оборудования и снижения качества услуг (для операторов сотовой связи) или сбои при проведении транзакций (для банков и финансовых организаций).

В каждом отдельном случае следует взвешенно подойти к проектированию системы защиты от импульсных перенапряжений и выбрать самое рациональное решение. В нашей стране это направление пока только развивается, но уже появились компании, имеющие квалифицированных специалистов, способных грамотно и четко ответить на большинство возникающих вопросов.

И да поможет нам надежное заземление! ☘

VSP Technologies & Services

ЗАЩИТА ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ. МОЛНИЕЗАЩИТА. ГРОЗОЗАЩИТА.



**БЕЗУСЛОВНАЯ 10-ЛЕТНЯЯ ГАРАНТИЯ
НА ОБОРУДОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ДЛЯ:**

- Систем электропитания до 1 кВ
- Сетевого оборудования на скорости до 1 Гбит/с
- Телекоммуникационного оборудования
- Систем телеметрии, измерений и управления
- Систем охранно-пожарной сигнализации
- Систем видеонаблюдения
- Сетей кабельного телевидения
- Радиочастотного оборудования до 6 ГГц

VSP, Москва

119270, Москва Лужнецкая наб., 2/4,
корп. 19, Офис: 112
Тел./факс: (495) 540-66-53
E-mail: vsp@vspmos.ru
Http://www.vspmos.ru