



Вопросы безопасной эксплуатации антенн и подключенной к ним аппаратуры в периоды грозовой активности время от времени обсуждались в радиолобительской литературе. Тем не менее при создании любительской радиостанции этим вопросам коротковолновика и ультракоротковолновика уделяют внимание в последнюю очередь, надеясь, по-видимому, на знаменитое русское "авось пронесет". Но это в корне неверно, потому что...

По статистике в Центральной Европе на каждый квадратный километр приходится в среднем от одного до пяти разрядов молнии в год¹. Иными словами, можно, по существу, быть уверенным, что на расстоянии не далее чем 100 м от вашей антенны раз в несколько лет произойдет разряд молнии (на юге и в гористой местности эта вероятность выше, чем на севере и на равнинах). А коль так, то будет намного разумнее подготовиться к нему заранее, чем потом подсчитывать убытки — в транзисторных трансиверах при этом обычно "вылетают" не только входные цепи приемника, но и выходные транзисторы передатчика.

Какие же опасности для любительской аппаратуры несет гроза?

1. Медленно накапливающийся статический потенциал и его скачкообразные изменения при удаленных от антенны разрядах (несколько сотен метров и более).

Если антенна или одна ее половина изолированы по постоянному току от земли (например, GP или симметричный диполь), то на ней перед грозой и во время ее могут скапливаться высокие статические потенциалы.

Рассмотрим такой пример. На высоте двух километров висит грозовое облако с потенциалом 2 МВ (мегавольта!), а у земли потенциал в данном случае нулевой. В этом гигантском конденсаторе имеется статическая напряженность электрического поля 1 кВ/м. То есть на изолированной от земли антенне, например, диполе или LW, висящей на высоте 10 м, появится статический потенциал около 10 кВ.

Стекая, он создает трески и шорохи в приемнике. При разряде облака (на другое облако или на землю далеко от рассматриваемой антенны) потенциал облака, а следовательно, и антенны скачком уменьшится почти до нуля. Образовавшего на антенне импульса с амплитудой в 10 кВ более чем достаточно, чтобы вывести из строя трансивер.

2. Если же разряд молнии на землю приходится неподалеку от вашего дома (условно — в нескольких десятках метров), то возникают новые опасности, связанные не только с антенной, но и с питающей сетью и цепями заземления. Кроме резкого изменения напряженности поля и связанного с этим изменения потенциала всех близлежащих проводников появляются индуцированные токи. Ток разряда в ионизированном канале молнии за первые 1...10 мкс достигает значений в 20...500 тысяч ампер и затем спадает до нуля за время 200... 1000 мкс. Эти огромные токи индуцируют во всех близлежащих проводах вторичные напряжения. Образуется нечто вроде трансформатора, где первичной обмоткой являются канал молнии и молниеотвод, а вторичной - окружающие провода. Коэффициент передачи этого трансформатора, зависящий от расстояния до провода, в принципе, весьма мал. Но даже при коэффициенте передачи в 0,001 импульсы тока в замкнутых контурах окружающих проводов (например, контур заземления) могут достигать сотен ампер и повреждать подключенные к этим контурам устройства. Если контур не замкнут и зазор между его концами невелик, то индуцированное в контуре напряжение, достигающее многих десятков киловольт, может пробить его.

Пример — цельнометаллический волновой канал с гамма-согласованием установлен на хорошо заземленной мачте и питается по кабелю, уходящему от мачты под углом. В помещении радиостанции кабель подключен к трансиверу, не имеющему дополнительного заземления. На первый взгляд кажется, что его и не надо — мачта надежно заземлена, антенна цельнометаллическая, хорошее заземление обеспечено через оплетку кабеля. Но... при близком ударе молнии в незамкнутом контуре "земля—мачта—кабель—трансивер" индуцируется напряжение, которое будет искать выхода на участке разрыва контура — между трансивером и ближайшей "землей". В результате возникнет либо пробой на землю через питающую сеть 220 В, либо дуга до ближайшей "земли" (например, трубы отопления). Ясно, что ни тот, ни другой вариант ничего хорошего трансиверу не сулят.

3. И, наконец, самый редкий, но и самый тяжелый случай — прямое попадание молнии в антенну или молниеотвод-мачту, на котором установлена антенна. Начнем с того, что молниеотвод (то есть путь для тока молнии в землю) обязательно должен быть. При его отсутствии сотни тысяч ампер тока разряда потекут на землю по пути, который им покажется кратчайшим. И если на этом пути встретятся ваш кабель снижения и аппаратура, то от них мало что останется.

Рассмотрим два примера.

Первый пример. Молниеотвод выполнен как отдельная конструкция и подключен толстым проводом к общему заземлению дома, антенна расположена намного ниже молниеотвода. Посмотрим, что произойдет при ударе молнии. Допустим, сопротивление заземления молниеотвода 2 Ом (это очень хорошее заземление). При ударе молнии с пиковым током 200 тысяч ампер (среднее значение) на шине заземления и на всех подключенных к ней устройствах (в том числе и на нулевом проводе сети) возникнет потенциал около 400 кВ. Очевидно, что в удаленной от дома точке потенциал земли останется нулевым, и все 400 кВ оказываются приложенными к нулевому проводу сети, выбивая предохранители. Это наименьшая из потерь при прямом ударе молнии.

Второй пример. На отдельно стоящей и хорошо заземленной мачте с сопротивлением заземления 2 Ом стоит цельнометаллический волновой канал. Кабель снижения идет вдоль мачты и затем по земле к помещению радиостанции. Помещение имеет свое качественное заземление. При ударе молнии с пиковым током 200 тысяч ампер потенциал земли у основания мачты составит 400 кВ и будет уменьшаться в стороны от мачты, образуя так называемую "воронку напряжений". Потенциал земли вокруг здания будет меньше, чем у основания мачты. Допустим, он станет 100 кВ. И эти 100 кВ сделают то же самое, что описано в первом примере, но этим дело не ограничится. Потенциал оплетки кабеля антенны будет 400 кВ, а потенциал земли в помещении радиостанции только 100 кВ. Разница в 300 кВ оказывается приложенной к кабелю. Его оплетка из-за малого сечения не сможет пропустить большой ток выравнивания, и кабель сгорит. Повезет, если этим все и ограничится, если нет — повредится и трансивер. Даже если кабель (как и полагается во время грозы) полностью отключен, но лежит не очень далеко от заземленных предметов помещения, эти 300 кВ в состоянии пробить дуговым разрядом несколько десятков сантиметров воздуха. Именно поэтому все кабели, идущие от антенны, на время грозы должны быть отключены полностью и убраны достаточно далеко.

Следует иметь в виду, что защитная зона молниеотвода (в которой можно не опасаться прямого удара молнии) представляет собой конус с вершиной на конце молниеотвода и радиусом у земли примерно в 3/4 высоты молниеотвода.

Как предотвратить разрушения? Следует уяснить, что три причины, изложенные в предыдущем разделе, равновероятны.

Статический потенциал — это то, с чем каждый многократно встретится. И не только во время грозы.

Индукцированные токи от близкого удара молнии тоже придется пережить практически каждому в среднем раз в несколько лет.

От **прямого удара молнии**, возможно, судьба вас и убережет, но лучше все же не надеяться на случай, а заранее подумать и о такой возможности. Дешевле обойдется!

Итак, борьбу со статическим потенциалом лучше начать на этапе проектирования антенны. Почти всегда можно выбрать конструкцию, целиком замкнутую на землю по постоянному току, — петлевые диполи на заземленной траверсе, петлевые GP, антенны с гамма- и омега-согласованием, J-антенна и т. п. Если же антенна не замкнута на землю, то заметно улучшают ситуацию один (для несимметричной антенны) и два (для симметричной) двухваттных резистора по 100 кОм, включенные между полотном антенны и заземленной мачтой (или оплеткой коаксиального кабеля). Эти резисторы создают цепь для отвода медленно накапливающейся статики и значительно, до нескольких десятков вольт (в зависимости от высоты и потенциала грозового облака), уменьшают броски напряжения на входе приемника при разрядах. Но только при разрядах, путь которых существенно удален от антенны.

При сильных статических разрядах имеет смысл к полотнам антенны прикрепить самодельные разрядники — остро заточенные на концах болты М5—М8. Острие болтов должно подходить на 1... 1,5 мм (регулируется вращением болтов) к заземленной пластине.

Для предотвращения возникновения индуцированных токов следует избегать шин земли, выполненных в виде кольца, все приборы должны быть подключены звездообразно к одному общему заземлению. Внимательно проанализировать свое проводное хозяйство на наличие в нем замкнутых контуров с большой площадью и устранить их. Опасность тут не столько для самого замкнутого контура, сколько для приборов, к нему подключенных. В петлевых антеннах индуцируются весьма значительные напряжения, для отвода которых в точке питания следует устанавливать искровые разрядники, с минимально возможным промежутком (1 ...2 мм) — резистора тут не хватит.

Кабель снижения антенны, по возможности, лучше укладывать в металлическую трубу или же закопать в землю.

Для защиты от прямого попадания молнии следует решить две разные задачи. Первая — выполнить качественный молниеотвод с хорошим заземлением. Сам молниеотвод и его провод заземления должны быть выполнены из материала с сечением не менее 50 мм² и не иметь резких изгибов. Это увеличивает индуктивность, а для такого короткого и высокоэнергетического импульса, как разряд молнии, даже индуктивность малой величины будет представлять повышенное сопротивление.

На индуктивном сопротивлении порядка единиц Ом при токах, измеряемых тысячами ампер, будет выделяться чрезвычайно большое напряжение.

Вторая задача возникает потому, что на практике редкий радиолюбитель не соблазнится использовать мачту молниеотвода для размещения своих антенн (в самом деле, когда еще та молния будет, а тут высокая мачта без дела простаивает!). И состоит эта задача в том, чтобы ток разряда молнии большей частью уходил по заземленной мачте и минимально по питающему антенну кабелю в аппаратуру, т. е. надо проложить для тока молнии путь в землю с намного меньшим сопротивлением, чем по кабелю.

Для этого крайне желательно, чтобы макушка мачты была на 1... 1,5 метра выше антенны. Мачту можно удлинить отрезком металлической трубы или толстым прутом (проволокой), который и будет отводить большую часть атмосферного электричества непосредственно на мачту с ее обязательным молниезащитным заземлением.

Сама антенна должна быть надежно заземлена на мачту. Если по ее конструктивным особенностям этого сделать нельзя, следует установить искровые разрядники.

Из кабеля питания антенны сделать несколько витков чуть ниже точки запитки антенны. Та часть тока, что все же соберется "влететь" в кабель, встретит немалое для короткого импульса индуктивное сопротивление коаксиального дросселя и создаст на нем падение напряжения. Это напряжение пробьет зазор разрядников, возникшая при этом дуга создаст для тока путь утечки на землю через мачту с меньшими препятствиями, чем через кабель. Заземление мачты должно быть соединено отдельным проводом большого сечения (не менее 50 мм²) с заземлением дома для выравнивания потенциалов земли при ударе молнии.

Все вышеперечисленные меры не устраняют полностью бросков напряжения на аппаратуре, но позволяют их снизить до приемлемых, неразрушающих значений.

Тем не менее и в самой аппаратуре желательно принять дополнительные защитные меры — на входе приемника желательно установить резистор номиналом в 100...200 кОм. На разъеме подключения антенны — разрядник с минимальным напряжением зажигания

(лишь бы он не срабатывал от сигнала собственного передатчика). При наличии СУ или ФНЧ, выполненного по схеме П-контура, эту роль с успехом исполняет выходной КПЕ с воздушным (минимально возможным!) зазором. Т-образные СУ, стоящие на выходе большинства промышленных трансиверов в данной ситуации, непригодны — искра разряда "пролетает" через них насквозь, прямо на выход передатчика.

В цепях проводов (кабелей) управления редукторами и коммутаторами, идущих от антенны, надо установить варисторы, а лучше — разрядники.

И, наконец, следует помнить, что при приближении грозы необходимо полностью отключать все антенные кабели от аппаратуры, а последнюю — от сети!

И.Гончаренко