

А.М. Медведев, А.М. Сокольский

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); e-mail: medvedevam@bk.ru)

ПРИЧИНЫ ВОЗГОРАНИЯ СЛАБОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Анализируется одна из причин возникновения короткого замыкания в электронной аппаратуре. Наиболее характерен этот процесс в авионике, наружных средствах телекоммуникаций, аппаратуре морского базирования и др. Анализируются условия электрохимических процессов и меры по их предотвращению.

Ключевые слова: авионика, электрохимия, дендриты, возгорание.

A.M. Medvedev, A.M. Sokolsky

REASONS OF INFLAMMATION OF LOW-VOLTAGE ELECTRONIC EQUIPMENT

Analyzes one of the reasons for forming a short circuit in the electronic equipment. This process is most typical in avionics, external telecommunications, naval equipment, etc. Analyzes conditions of electrochemical processes and measures to prevent them.

Key words: avionics, electrochemistry, dendrites, fire.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 7 июня 2016 г.

Конструкции современной электронной аппаратуры строятся на монтажных подложках в виде **печатных плат (ПП)**. По существу они обеспечивают все электрические межсоединения размещаемых на них электронных компонентов. Электроизоляционные конструкции печатных плат наиболее уязвимы в условиях одновременного воздействия электрического напряжения и влаги. В этих условиях высока вероятность возникновения электрохимического процесса образования токопроводящих мостиков (короткого замыкания) между разнополярными цепями. Этот процесс протекает в поверхностной пленке влаги в электроизоляционных зазорах между печатными проводниками. Источником увлажнения может служить конденсат паров воды из воздуха (роса) или просто повышенная влажность воздуха.

В реальных условиях даже при полной стерильности поверхности ПП конденсированная плёнка влаги содержит растворенные в ней газы: двуокись углерода, в промышленной зоне – двуокись серы, в помещениях, где обитают люди, – сероводород и аммиак. Образующиеся угольная, серная и другие кислоты в сотни-тысячи раз увеличивают электропроводность влаги. Кроме того, вода на свету частично диссоциирует, поэтому она всегда является электролитом.

Отказы электрохимического происхождения стали формой отказов, характерной для современной электронной аппаратуры, напряжение питания которой снизилось до нескольких вольт. Энергопотребление и тепловыделение в ней недостаточны для быстрого испарения поверхностной пленки влаги,

поэтому какое-то время после включения аппаратуры в изоляционном зазоре одновременно существуют плёнка влаги и электрическое напряжение, что создаёт условия для возникновения электролиза, являющегося основой электрохимического процесса отказа. В процессе электролиза проводник-анод растворяется, отдавая в пленку влаги положительно заряженные ионы металла, которые, направляясь к проводнику-катоде, восстанавливаются на нём до металлического состояния. В результате в изоляционном зазоре образуются проводящие перемычки дендритоподобной рыхлой структуры [1].

Условия образования проводящей перемычки можно имитировать смачиванием изоляционного промежутка между печатными проводниками каплей дистиллированной воды при подаче на них напряжения 3-5 В. Стадии образования и роста проводящих перемычек в изоляционных зазорах ПП показаны на рис. 1.

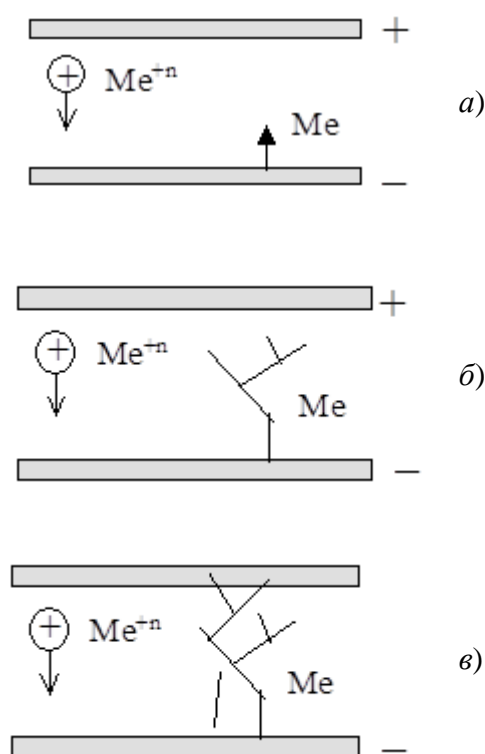


Рис. 1. Схема процесса возникновения проводящих мостиков дендритов в плёнке влаги:
 а) начало процесса, обусловленное наличием в зазоре влаги и электрического напряжения;
 б) начало роста дендрита; в) завершение образования проводящего мостика дендрита

В результате электрохимического процесса за несколько минут в водной среде могут образоваться нитевидные проводящие мостики толщиной 2-20 мкм. После образования перемычек дендриты постепенно утолщаются до 0,1 мм, приобретая отчетливый металлический блеск (рис. 2). Сопротивление таких дендритов может достигать до 1 Ом. При напряжении питания, например, 5 В возникающий в перемычке ток может достигать 5 А. Она перегорает и обжигает поверхность электроизоляционного основания ПП – образуется углеродная дорожка. Возникает калильный нагрев углеродной дорожки, за счёт которого зона нагрева расширяется и аппаратура сгорает (рис. 3).

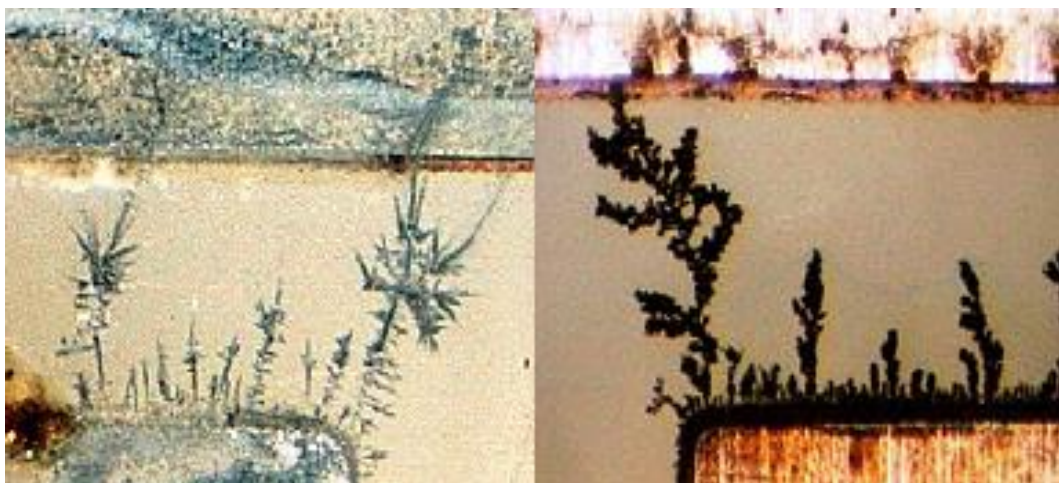


Рис. 2. Примеры образования дендритов в плёнке влаги.



Рис. 3. Примеры возгорания плат в результате коротких замыканий, сформированных токопроводящими перемычками дендритами

Быстрый процесс прорастания металлической перемычки дендрита в зазоре стимулируют три фактора: градиент концентрации раствора у фронта роста дендрита, разогрев раствора в этой области (плотность тока здесь достигает 1 A/мм^2) и электродинамический импульс, передаваемый водной среде движущейся вершиной дендрита. Растущий дендрит, как насос, выкачивает ионы металла из окружающей его области электролита, диаметр которой примерно в 5 раз больше диаметра дендрита. На фронте роста дендрита концентрация раствора падает почти до нуля, питающая дендрит среда иссякает и рост токопроводящей перемычки начинается в другом месте, где ионы металла ещё существуют. Поэтому пространство в электроизоляционном зазоре пронизывается разрозненными иглами, вытягивающимися в направлении питающей среды. В дальнейшем мостик дендрита растёт по градиенту концентрации с такой скоростью, с какой к нему успевают поступать ионы металла. В результате проводящие мостики начинают ветвиться, образуя древоподобную структуру ("дендрит").

Скорость образования проводящих мостиков определяется материалом проводников, относительной влажностью среды, смачиваемостью, водо- и влагостойкостью изоляции, величиной напряжения. Если изоляционный зазор загрязнен ионогенными примесями, часть ионов металла, не достигнув катода, восстанавливается анионами диссоциированных примесей до металлического состояния, образуя беспорядочное заполнение зазора металлом.

При переменном напряжении отказ изоляции электрохимического происхождения хотя и затруднен, но процесс протекает и в этом случае. Это явление можно объяснить, если учесть наличие вентильного эффекта при электролизе ряда металлов, в том числе серебра, меди, никеля и др. **Вентильный эффект** возникает, когда катодная и анодная поляризации неодинаковы и поэтому сопротивления на границе фаз металл-электролит при прохождении электрического тока в прямом и обратном направлениях будут различны.

Анализ практических данных показывает, что отказ из-за разрушения изоляции наиболее быстро возникает при относительной влажности среды более 95 %. Поэтому для аппаратуры, предназначенной для работы в условиях повышенной влажности, необходимо принимать специальные меры обеспечения влагоустойчивости.

Имитация условий возникновения отказов ПП из-за электрохимических процессов убеждает, что они возможны при использовании любых металлических покрытий, используемых в конструкциях ПП. Однако наибольшую опасность вызывать отказы такого рода имеют серебро и медь, наименьшую золото и палладий. Пассивация поверхности медных печатных проводников существенно снижает интенсивность процесса образования дефекта.

Возникновение металлических перемычек дендритов можно предотвратить за счет использования влагозащитных покрытий. Но при этом нужно обеспечить полную изоляцию острых кромок, с которых лак влагозащитного покрытия может стекать и обнажать проводники, провоцируя электрохимический процесс образования токопроводящих перемычек по поверхности лака. Естественное загрязнение поверхности лака пылью и выделениями кожи рук оператора ускоряет процесс отказа.

Ещё один фактор, устраняющий причины электрохимического отказа, – ликвидация условий образования поверхностной пленки влаги, по которой мог бы прорасти дендрит. Это можно обеспечить искусственным подогревом монтажной подложки за счет введения в структуру платы специального слоя с нагревателем.

Образование углеродного мостика в результате калильного нагрева металлического мостика можно предотвратить использованием специальных огнестойких изоляционных материалов. В международной практике они имеют обозначение FR, что означает "flame retardant", или "flame resistant", или "fire retardant" (синонимы) [2].

Заключение

Процесс возгорания современной слаботочной аппаратуры связан с короткими замыканиями электроизоляционных зазоров за счет образования дендритоподобных токопроводящих перемычек. Этот процесс характерен для слаботочной аппаратуры и стал наблюдаться при снижении рабочих напряжений до значений ниже 6 В. Короткие замыкания электрохимического происхождения неизбежны, если не применять предупредительные меры: использование сплошной лаковой влагозащиты, подогрева монтажных подложек для предотвращения выпадения конденсата влаги, тщательная очистка поверхности электроизоляционных конструкций от технологических и внешних загрязнений, использование огнестойких материалов подложек печатных плат.

Литература

1. *Медведев А.М.* Электрохимическая миграция в композиционных материалах, используемых в электроизоляционных конструкциях авионики // Конструкции из композиционных материалов. 2013. № 3. С. 55-61.
2. *Медведев А.М., Сокольский А.М.* Технологическое обеспечение надежности электрической изоляции электронных сборок авионики // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2015. № 11. С. 41-44.