

Прямоугольные электрические соединители.

Работа электрических соединителей в цепях с микротоками и микронапряжениями

Исследование проводимости контактов, находящихся длительное время в различных климатических условиях, вызывает практический интерес, когда ставится вопрос об их использовании в цепях малой мощности. Определив зависимость переходного сопротивления от различных факторов, можно найти нижний предел напряжения, при котором электрические контакты обеспечат нормальное функционирование электрической цепи.

**Александр Сафонов
Леонид Сафонов**

edef@online.debryansk.ru

Введение

Современное развитие радиоэлектроники, автоматики и телемеханики характеризуется снижением мощности электрических сигналов, принимаемых и обрабатываемых радиоэлектронной аппаратурой. В связи с этим все чаще возникает необходимость применения в цепях малой мощности электрических соединителей или отдельных контактных пар, от которых требуется безотказная устойчивая работоспособность в различных климатических условиях, эффективное соединение электрических цепей при воздействии механических нагрузок и отсутствие электрических потерь в контактах.

Известно, чем ниже уровень сигнала в цепи, тем сложнее обеспечить его передачу с сохранением заданных параметров, то есть исключить его искажения, потери мощности и т. п.

Особый практический интерес представляют определение и изучение причин, вызывающих нестабильную проводимость электрических контактов при микротоках и микронапряжениях в контактной цепи.

Каковы причины изменения и самопроизвольного восстановления тока в электрической цепи малой мощности, в которую включены электрические контакты, что необходимо предпринимать для обеспечения ее устойчивой работы? На эти и другие вопросы авторы предлагают научно обоснованные и экспериментально подтвержденные ответы и практические решения.

Влияние состояния контактных поверхностей на их электропроводность

Работа электрических соединителей в цепях малой мощности, когда ЭДС составляет доли милливольт, а ток — доли микроампера, имеет ряд спе-

цифических особенностей, связанных с влиянием поверхностных пленок на работу контактов.

Контакты, предназначенные для работы в цепях с малыми токами и низкими напряжениями, называют «сухими» контактами, а сами цепи — «сухими» цепями.

Работа «сухого» контакта характеризуется произвольным изменением переходного сопротивления во времени, сопротивление может возрасти до очень больших значений (вплоть до бесконечности) и затем медленно снижаться до нормальной величины. Ток, проходящий через электрический контакт, может внезапно уменьшиться, прекратиться и даже пойти в обратном направлении, после чего нормальная проводимость может также внезапно восстановиться. В вакууме величина изменения сигнала уменьшается, но полностью не исчезает. Природа «сухого» контакта еще до сих пор окончательно не выяснена и нет полного представления обо всех происходящих в нем процессах.

Изменение проводимости «сухого» контакта объясняется влиянием роста поверхностных пленок и контактной термо-ЭДС. Вид и толщина поверхностной пленки определяются химической активностью материалов контакта и покрытия, а также состоянием поверхности. Основные гипотезы и положения теории образования различного рода пленок и их влияние на работу электрических контактов изложены в статье [8].

Пленки особенно интенсивно растут в зоне больших напряжений, возникающих на деформированных микровыступах в сочлененном положении контактной пары, что приводит с течением времени к возрастанию переходного сопротивления, вплоть до бесконечности.

Однако с ростом толщины пленки уменьшается ее прочность; при снижении прочности до критического предела пленка разрушается, образуя металли-

Таблица 1. Переходное сопротивление «сухих» контактов

Материал контактов (покрытие)	Контактное давление $P_k = 0,005$ кгс						Контактное давление $P_k = 0,015$ кгс					
	$I = 1$ мкА			$I = 10$ мА			$I = 1$ мкА			$I = 10$ мА		
	$R_0 \times 10^{-2}$ Ом	$R_s \times 10^{-2}$ Ом	R_s/R_0	$R_0 \times 10^{-2}$ Ом	$R_s \times 10^{-2}$ Ом	R_s/R_0	$R_0 \times 10^{-2}$ Ом	$R_s \times 10^{-2}$ Ом	R_s/R_0	$R_0 \times 10^{-2}$ Ом	$R_s \times 10^{-2}$ Ом	R_s/R_0
Au 99,99	2,3	34	14,7	2,3	3,0	1,3	1,9	30	15,7	1,9	2,8	1,47
Au+16% Pd	4,8	8,0	1,69	4,8	8,0	1,69	4,8	6,0	1,25	4,8	6,0	1,25
Au+5% Ni	4,6	150	32,6	4,6	9,0	1,95	3,8	120	31,6	3,8	6,0	1,6
Au+1% Ni	3,8	130	34,2	3,8	7,8	1,34	3,1	105	33,8	3,1	5,8	1,87
Au+3% Zr	4,0	42	10,5	4,0	10	2,5	2,6	42	16,2	2,6	8,0	3,08
Pt 99,99	4,0	70	17,5	4,0	13	3,2	3,0	65	21,7	3,2	10	3,15
Pt+4,5% Ni	7,5	90	12	7,5	40	5,34	5,1	85	16,6	5,1	30	5,9
Pt+10% Rh	10	90	9,0	10	30	3,0	5,0	75	15	5,0	20	4,0
Pt+10% Rd	6,0	75	12,5	6,0	20	3,3	5,0	65	13	5,0	15	3,0
Ag 99,99	2,8	$3,5 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	3,8	2×10^6	$0,7 \times 10^6$	2,4	$1,5 \times 10^6$	$0,6 \times 10^6$	2,4	$0,3 \times 10^6$	$0,12 \times 10^6$
Ag+60% Pd	4,8	140	29,2	4,8	35	7,3	4,0	60	15	4,0	35	8,75
Ag+20% Pd	9,0	400	44,5	9,0	42	4,67	7,0	150	21,4	7,0	32	4,56
Pd 99,99	3,5	16	4,57	3,5	9,0	2,57	2,9	16	5,5	2,9	5,0	1,72

Примечание. R_0 — переходное сопротивление контактной пары в обычной производственной атмосфере; R_s — переходное сопротивление контактной пары после выдержки в течение двух суток в атмосфере проточного сероводорода.

ческий контакт, и сопротивление стягивания уменьшается. Так как поверхностные пленки на отдельных микровыступах растут и разрушаются не одновременно, то переходное сопротивление изменяется не скачкообразно, а постепенно, с течением времени.

Если при больших токах и напряжениях поверхностная пленка разрушается и прожигается в результате фриттинга, то в «сухой» цепи величина напряженности электрического поля в переходной зоне не всегда бывает достаточной для пробоя, и проводимость является практически чисто квазиметаллической. Изменение проводимости может вызывать частичный или полный отказ в работе электрических контактов.

Наличие и дальнейший рост пленок на контактах ограничивается не только контактным давлением, но и явлением фриттинга пленок.

Явление фриттинга представляет собой пробой пленки, который возникает в том случае, когда величина электрического поля внутри нее достигает порядка 10^6 В/см. Этот пробой может вызвать образование металлических мостиков в пленке. При напряжениях в цепи выше 1,0 В нарушение электрического контакта за счет роста пленок без влияния других посторонних факторов маловероятно, так как это напряжение достаточно для пробоя пленок толщиной до:

$$S = \frac{U_{\text{раб}}}{E_{\text{фр}}} = \frac{1,0}{10^6} \times 10^8 < 100 \text{ \AA}.$$

При работе же контактов в цепях с напряжениями ниже 0,05 В фриттинг практически невозможен, что резко ухудшает условия работы контактов и делает их критичными к пленкообразованию.

Фриттинг пленок потускнения

Рассмотрим явление фриттинга. Соединение электрических контактов часто выполняется без предварительной зачистки от пленок потускнения, хотя они вполне заметны визуально, поскольку их цвет слегка отличается от

цвета чистого металла. Основываясь на опыте, принимают как само собой разумеющееся, что эти пленки, которые в связанном состоянии являются изоляторами, не образуют серьезного препятствия для прохождения тока через контакты. Однако проводимость, наблюдаемая на практике, не является следствием свойства пленок. Она обусловлена тем, что пленки при замыкании контакта либо разрушаются в некоторых местах механически, либо электрически пробиваются после того, как к ним прикладывается достаточное напряжение. Электрический пробой, который мы здесь рассматриваем, относится к типу так называемого фриттинга.

Согласно нашему определению, истинным фриттингом является процесс разрушения связей в диэлектрике. Такое разрушение приводит к образованию канала через рассматриваемую пленку или в более простых случаях — к разрыву пленки вокруг существующего металлического а-пятна.

Если при пробое возникает напряжение, примерно соответствующее плавлению хотя бы одного контакта, то говорят о так называемом А-фриттинге. В данном случае начальное напряжение должно быть выше или равно напряжению плавления. При пробое пленки в ней образуется канал, и расплавленный жидкий металл за счет электростатических сил втягивается в него, образуя токопроводящий мостик между контактами.

Если напряжение, при котором происходит пробой пленки, слишком мало, чтобы вызвать расплавление одного или обоих контактов, то говорят о В-фриттинге.

Установлено, что В-фриттинг может даже создавать первичную проводимость через пленку, однако чаще в результате В-фриттинга увеличивается поверхность существующего а-пятна, заставляя при этом отступать пленку, окружающую а-пятно, в результате чего освобождается больший участок для прямого металлического контакта между обеими сторонами контактной пары. В-фриттинг между металлическими контактами обычно происходит при очень тонких пленках, не более 50 \AA.

Повысить надежность «сухих» контактов можно применением металлов с низкой химической активностью, например, чистого золота, которое химически пассивно и не вступает в реакцию с кислородом и органическими парами, имеет стабильное переходное сопротивление при небольших изменениях контактного усилия. Хорошие результаты при работе в «сухих» цепях при рабочих токах до 1 мкА дают сплавы золота с палладием (Au+16% Pd), неплохие — сплавы золота с никелем или цирконием. Чистое серебро непригодно для работы в «сухих» цепях при рабочих токах до 10 мА из-за образования непроявляющих сульфидных пленок.

Покрывать золотом занимают особое место среди покрытий благородными металлами. Они обладают высокой химической стойкостью в различных агрессивных средах, не тускнеют в атмосфере сероводорода. Кроме того, золотые покрытия наряду с высокой химической стойкостью обладают высокой электро- и теплопроводностью, низким и стабильным во времени переходным сопротивлением и поэтому широко применяются в электронной промышленности для покрытия электрических контактов, работающих при малых токах и малых контактных давлениях.

Наиболее широкое применение для покрытия контактов нашел сплав золота с никелем, с содержанием в сплаве никеля от 0,1 до 0,9%. Такая присадка никеля позволяет повысить твердость золотых покрытий в 2–2,5 раза по сравнению с покрытием чистым золотом, а износоустойчивость — в 3–5 раз. Для предотвращения диффузии меди и цинка из медных сплавов, из которых изготавливаются электрические контакты, в золотое покрытие добавляется подслои никеля толщиной 3–9 мкм. Использование серебряного покрытия в качестве подслоя для золотого покрытия нецелесообразно, так как золотое покрытие при толщине до 9 мкм является пористым и возможна коррозия серебряного подслоя, вызывающая повышение переходного сопротивления электрических контактов.

Платина, палладий и их сплавы в атмосфере органических паров действуют как катализаторы и активно образуют прочные органические пленки на поверхностях контактов. Эти пленки имеют высокое электрическое сопротивление. В несколько меньшей степени каталитическими свойствами обладает родий.

На никеле, часто применяемом в химических производствах в качестве катализатора, образование полимерных пленок не происходит, что объясняется созданием прочной плотной окисной пленки на поверхности контакта, которая сама уже не является катализатором. Наиболее активно образуются полимерные пленки на герметичных контактах, заключенных в пластмассовые корпуса из АГ-4В, АГ-4С, ФП-4, полиамидных смол и т. п., а также на контактах, залитых эпоксидными и подобными им смолами.

Пары, активно влияющие на образование органических пленок, выделяются также каннифолью, триацетатной и полиамидной пленками, клеями, лаками и пропиточными материалами. В герметичных замкнутых объемах органические пары, выделяемые при старении этих материалов, не выводятся в атмосферу, а осаждаются и полимеризуются на контактных поверхностях электрических контактов.

Рассмотрим значение переходного сопротивления электрических контактов и его изменение при различных токах и контактных давлениях в разных рабочих средах, при напряжении на разомкнутых контактах 50 мВ, для различных материалов и сплавов (табл. 1).

Анализ приведенных данных по переходному сопротивлению позволяет сделать следующие выводы:

1. Для покрытия контактов, используемых при рабочих токах до 1 мкА, целесообразно применять сплав золота с палладием (Au+16% Pd), особенно при работе контактной пары в атмосфере с наличием сернистого газа.
2. Для цепей с рабочим током до 10 мА хорошие результаты дает применение в качестве покрытия контактов сплавом золота с никелем (Au+1% Ni), в том числе и в атмосфере с наличием сернистого газа.
3. Покрытие контактов чистым серебром в цепях с электрическим током до 10 мА, при наличии в атмосфере сернистого газа, применять нельзя.

Зависимость переходного сопротивления от контактного давления

Другой способ повышения надежности «сухого» контакта — это увеличение контактного давления, в результате чего происходит дополнительное смятие микровыступов и, как следствие, разрушение окисных пленок и образование дополнительных площадок металлического контакта. При увеличении контактного давления возрастает прочность участков с холодной сваркой, уменьшается возможность окисления проводящих поверхностей и, соответственно, удлиняются циклы изменения переходного сопротивления.

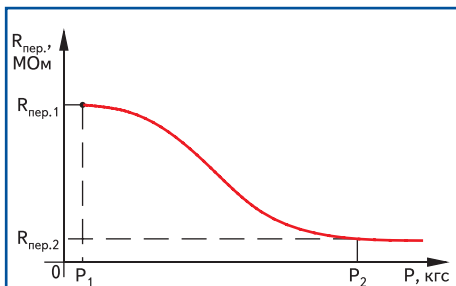


Рис. 1. Общая зависимость переходного сопротивления от контактного давления

В обычных электрических цепях переходное сопротивление контактной пары уменьшается с увеличением контактного давления. Эта закономерность справедлива до определенного значения усилия P , после которого значения переходного сопротивления остаются практически без изменения (рис. 1).

Подобная зависимость наблюдается и в цепях малой мощности. Это подтверждают результаты исследований зависимости $R_{пер.} = F(P)$ при напряжении в цепи контактов 20 мкВ (табл. 2). Судя по данным таблицы, переходные сопротивления контактных пар, не подвергавшихся воздействию агрессивных сред, почти не изменяются с изменением контактного давления от 15 до 150 г. В то же время переходное сопротивление этих же контактных пар, замеренное после воздействия на них агрессивной среды с содержанием H_2S , с увеличением контактного давления уменьшается. Такая закономерность обуславливается наличием на контактирующих поверхностях окисных пленок, проводимость которых зависит от изменения контактного давления.

Результаты замеров переходного сопротивления контактных пар, изготовленных из сплавов латуни-бронза и имеющих различные покрытия, при напряжении в цепи контактов 20 мкВ приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты замеров

Значения контактного давления, гс	Значения переходного сопротивления контактных пар, МОм					
	Серебро-серебро		Золото-золото		Палладий-палладий	
	Без воздействия агрессивной среды	После воздействия агрессивной среды (H_2S) в течение 6 часов	Без воздействия агрессивной среды	После воздействия агрессивной среды (H_2S) в течение 6 часов	Без воздействия агрессивной среды	После воздействия агрессивной среды (H_2S) в течение 6 часов
15	2,2	2,96	2,06	3,8	2,88	3,68
20	2,15	2,92	2,05	3,72	2,86	3,62
30	2,13	2,80	2,0	3,65	2,87	3,5
50	2,10	2,74	1,98	3,6	2,86	3,43
100	2,16	2,66	1,95	3,5	2,82	3,25
150	2,06	2,49	1,88	3,46	2,78	2,93

Термо-ЭДС в контактных парах

При работе контактов с микровольтовыми напряжениями обязательно следует учитывать термо-ЭДС, возникающую в переходной зоне. Термо-ЭДС может произвольно изменять-

Таблица 3. Значения нормальных электродных потенциалов основных материалов контактов

Металл	Нормальный электродный потенциал, мкВ
Алюминий	-1,30
Цинк	-0,76
Хром	-0,56
Железо	-0,44
Кадмий	-0,40
Кобальт	-0,26
Никель	-0,25
Олово	-0,14
Медь	+0,34
Родий	+0,68
Серебро	+0,81
Золото	+1,50

ся как по величине, так и по направлению, обуславливая изменение проходящего через контакты электрического сигнала. Величина и направление термо-ЭДС определяются электродными потенциалами материалов контактов и их покрытий (табл. 3), а также их температурой.

Величина термо-ЭДС двух контактов при нормальной температуре равна разности их электродных потенциалов. Однако даже контакты, изготовленные из одного металла и имеющие одинаковое покрытие, создают некоторую термо-ЭДС, которая, например, для контактных пар из латуни и бронзы достигает 2 мкВ.

С повышением рабочей температуры и влажности величина термо-ЭДС растет и, наоборот, с понижением температуры и влажности уменьшается. Наиболее значительна зависимость термо-ЭДС от температуры: термо-ЭДС увеличивается примерно в 10–30 раз при нагреве контактов до 80...100 °С. При повышении влажности до 90–95% по сравнению с нормальными условиями термо-ЭДС изменяется в различной степени, в зависимости от сочетания материалов, из которых изготовлены контакты контактной пары и их покрытий. Для некоторых сочетаний материалов контактов и их покрытий значения термо-ЭДС представлены в таблице 4.

Наличие градиента температур вдоль длины контакта обычно приводит к генерированию паразитных термо-ЭДС, величина которых может быть одного порядка с рабочими токами, проходящими через контактную пару. Обычно электрические схемы составляются из медных луженых проводов, поэтому,

Таблица 4. Значения термо-ЭДС контактных пар соединителей

Контактная пара	Покрытие	Термо-ЭДС, мкВ		
		В нормальных условиях	При относительной влажности 90–95%	При температуре 100 °С
Латунь-бронза	Серебро	1,5	1,3	35
Латунь-ковар	Серебро-никель	4	4,3	148
Латунь-ковар	Золото-никель	4	4,2	215
Латунь-ковар	Палладий-никель	4	8,5	142

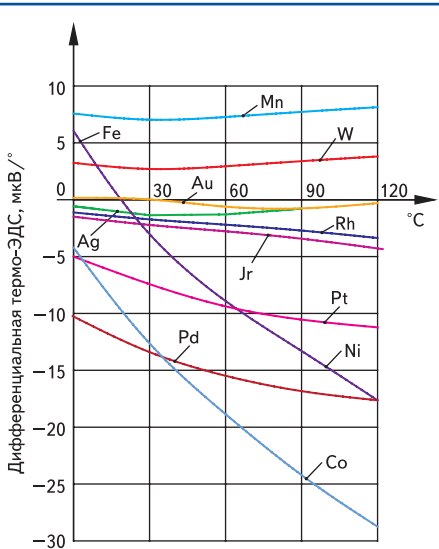


Рис. 2. Дифференциальные термо-ЭДС некоторых чистых металлов в паре с медью

чтобы паразитные термотоки были минимальны, необходимо выбирать в качестве материала контактов и их покрытий металл с малой величиной термо-ЭДС в паре с медью. Приведем график дифференцированных термо-ЭДС некоторых чистых металлов в паре с медью (рис. 2).

Необходимо иметь в виду, что легирование металлов и их обработка приводят к изменению термо-ЭДС. Поэтому два одинаковых металла, по-разному обработанных, могут в паре создавать термо-ЭДС, например, нагартованное серебро в паре с отожженным серебром развивает термо-ЭДС до 30 мкВ/градус.

В обычных эксплуатационных условиях контактные пары длительное время могут находиться под нагрузкой, и их надежная работоспособность является важным фактором для выполнения аппаратурой ее функций.

Если собрать в последовательную цепь несколько десятков одинаковых контактных пар таким образом, чтобы общая термо-ЭДС составляла сумму термо-ЭДС отдельных контактных пар, и подключить к микровольтметру, то можно проследить, как изменяется термо-ЭДС контактных пар в течение определенного отрезка времени в нормальных климатических условиях. Такой опыт был проведен с 84 контактными парами, изготовленными из сплавов латунь (штырь) – ковар (гнездо) и имеющими покрытие золото и никель соответственно. В течение нескольких часов по микровольтметру контролировалось изменение термо-ЭДС во времени, и полученные значения фиксировались (рис. 3).

На графике видно, что суммарная термо-ЭДС контактных пар не остается постоянной по величине и направлению, а изменяется, причем это изменение не носит определенной закономерности и периодичности. Большое количество контактных пар было взято из соображений удобства измерения значений термо-ЭДС и обеспечения достаточной точности измерений. Приведенная на графике зависимость изменения суммарной термо-ЭДС от времени справедливо может быть отнесена и к отдельной контактной паре.

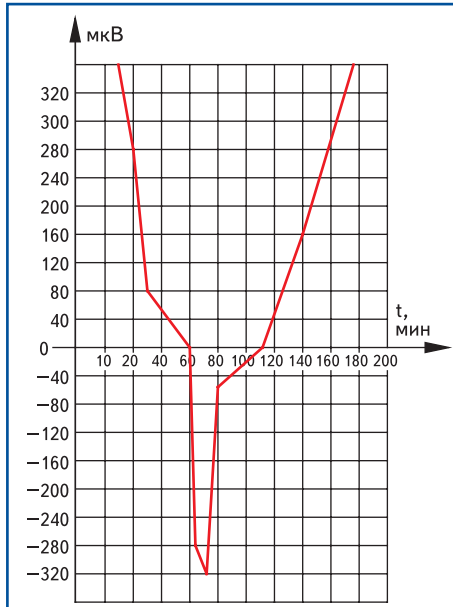


Рис. 3. График зависимости изменения суммарной термо-ЭДС, генерируемой в контактных парах, от времени

Изменение величины и направления контактной термо-ЭДС было выявлено и при исследовании продолжительной работоспособности контактных пар при микронапряжениях в нормальных климатических условиях и температуре окружающей среды 100 °С. Контактная пара, изготовленная из сплавов латунь-ковар и имеющая покрытие золото-никель, была заложена в термостат, в котором устанавливалась температура +100 °С. После чего измерялась термо-ЭДС и исследуемая контактная пара подключалась к схеме, в которой задавалось напряжение, направленное встречно контактной термо-ЭДС и превышающее ее значение на 2–3 мкВ. Импульсные счетчики, установленные в схеме, регистрировали число отклонений гальванометра от первоначального положения, как по величине, так и по направлению, а также замерялись значения термо-ЭДС и подведенного к цепи напряжения.

Подобные исследования были проведены на контактах, изготовленных из однородных и неоднородных материалов, имеющих одинаковые и различные покрытия.

Экспериментально установлено наличие в цепи генерируемой контактной термо-ЭДС, которая изменяется по величине и во времени. Она и вызывает изменение направления или полное исчезновение тока в цепи контактов и его самопроизвольное восстановление.

Зависимость переходного сопротивления от частоты

С целью установления влияния частоты на работоспособность электрических соединителей в цепях с низким уровнем сигнала были определены и исследованы характеристики зависимости переходного сопротивления контактных пар от частоты проводимого напряжения. Исследование проводилось в интервале от 50 Гц до 20 кГц при напряжении

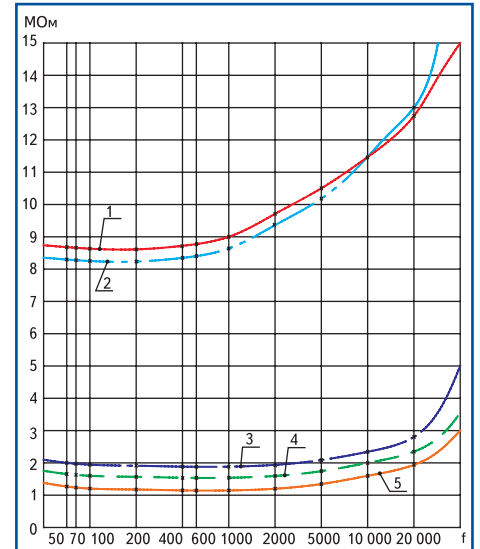


Рис. 4. График зависимости сопротивления контактных пар, имеющих разные покрытия, от частоты при напряжении в контактной цепи 10 мкВ:

- 1 — никель-золото; 2 — никель-серебро;
- 3 — золото-золото; 4 — палладий-палладий;
- 5 — серебро-серебро

в контактной цепи 5, 10, 20 и 30 мкВ. На рис. 4 приведены графики зависимости $R_{пер} = F(f)$.

Установлено, что с увеличением частоты тока растут значения сопротивлений контактных пар, которые уже при частоте 20 кГц почти вдвое превышают значение переходных сопротивлений, замеренных на постоянном токе. Особенно интенсивный рост сопротивления контактных пар наблюдается, начиная с частот 20 кГц. На СВЧ сопротивление контактных пар значительно больше, чем при работе на низких частотах. Это объясняется тем, что при увеличении частоты ток в контакте смещается к наружной поверхности, покрытой окисными пленками с высоким сопротивлением, то есть в зону с квазиметаллической проводимостью.

Вытеснение линий тока к наружной поверхности контактов при увеличении частоты обусловлено влиянием собственного магнитного поля — так называемым скин-эффектом. Это приводит к уменьшению эффективного проводящего сечения контактной пары и, соответственно, к увеличению ее сопротивления.

В немагнитном контакте с радиусом сечения R сопротивление возрастает примерно в следующее число раз:

$$n = \alpha + 1/4, \text{ где } \alpha = (R/10^3) \times \sqrt{f/\rho}.$$

Здесь f — частота переменного тока; ρ — удельное сопротивление контакта.

Физический смысл наличия зоны с квазиметаллической проводимостью на периферии контакта заключается в том, что при контакте сферических поверхностей, а это наиболее распространенный вариант контактирования в современных электрических соединителях, удельное давление изменяется по эллиптическому закону, убывая от центра контактной площадки к периферии, и на границах площадки равно нулю (задача Герца). В соответ-

ствии с этим соотношение числа участков с металлической и квазиметаллической проводимостью изменяется: в центре преобладают участки с металлической проводимостью, к периферии — с квазиметаллической, причем на граничной полосе практически находится зона, состоящая только из участков с квазиметаллической проводимостью.

Возрастание сопротивлений контактных пар с увеличением частоты связано и с наличием реактивной составляющей сопротивления, возникающей в результате наличия индуктивности и емкости в переходной зоне контакта. При низких частотах и на постоянном токе влияние реактивной составляющей пренебрежимо мало, на высоких частотах реактивная составляющая переходного сопротивления оказывает решающее влияние на работу электрических контактов.

Заключение

Современная РЭА общепромышленного и специального назначения становится все более энергонасыщенной, в то же время такие функции, как управление, слежение, корректировка, переводятся на обеспечение цепями малой мощности. В связи с этим вопросам надежного функционирования электрических соединителей в цепях с микротоками и микронапряжениями придается важное значение.

Сегодня выпускаемые отечественной промышленностью соединители, предназначенные для работы в цепях малой мощности, могут с достаточно большой вероятностью обеспечить нижний предел коммутируемых напряжений 1 мВ, а нижний предел тока — 1 мкА.

Для дальнейшего уменьшения значения нижнего предела по напряжению необходимо производить в контактной паре подбор материалов контактов и их покрытий с целью обеспечения разницы электродных потенциалов, равной нулю.

Снижение предела по току можно обеспечить за счет:

- применения металлов и сплавов с более низкой химической активностью, которые должны быть химически пассивны и не должны вступать в реакцию с кислородом и органическими парами и иметь низкое стабильное переходное сопротивление;
- исключения применения изоляционных материалов, выделяющих летучие органические вещества;
- увеличения контактного давления.

Прибегать к увеличению контактного давления необходимо только в крайнем случае, так как это обычно приводит к увеличению износа контактных пар, увеличению усилий сочленения-расчленения, дополнительным работам по ужесточению конструкции соединителя и другим нежелательным последствиям.

Особое внимание необходимо обратить на применение таких соединителей в цепях с высокими и сверхвысокими частотами, так как увеличение частоты электрического тока увеличивает переходное сопротивление контактных пар, начиная с частоты 20 кГц, увеличение переходного сопротивления становится критическим.

«Сухой» контакт в меньшей степени проявляется при работе электрических соединителей в атмосфере инертных газов; в вакууме выделение органических паров внутри герметичного объема несколько увеличивается. ■

Литература

1. Ванин В. Г., Лазутин В. И., Цхведадзе Д. М. К вопросу оценки работоспособности контактов в цепях с микротоками и микронапряжениями. / В кн.: Электрические контакты. М.: Наука, 1972.
2. Рудницкий А. А. Сплавы из благородных металлов для электрических контактов при очень малых токах и напряжениях / В кн.: Электрические контакты. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958.
3. Рудницкий А. А. Термоэлектрические свойства благородных металлов для электрических контактов при очень малых токах и напряжениях / В кн.: Электрические контакты. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960.
4. Федоров А. И., Закиров Г. З. Исследование работы штепсельных разъемов при микротоках и микронапряжениях / В сб.: Электрические контакты. М.: Энергия, 1964.
5. Хольм Р. Электрические контакты. М.: Изд-во ИЛ, 1961.
6. Сафонов Л., Сафонов А. Электрические прямоугольные соединители. Анализ физических процессов, происходящих в контактах // Компоненты и технологии. 2007. № 6.
7. Сафонов Л., Сафонов А. Электрические прямоугольные соединители. Электролитическое получение серебряных и золотых покрытий повышенной твердости и износостойчивости // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 7.
8. Сафонов Л., Сафонов А. Электрические прямоугольные соединители. Пленки на электрических контактах // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 5.