

опасной, поскольку сопротивление усталости материала при трехосном сжатии весьма велико. В области (4.2) обнаруживается двухосное сжатие, так что в третьем направлении материал может выдавливаться. Следовательно, объемы (3.23) более опасны, чем объем (4.3), с точки зрения возникновения первичного повреждения. Наконец, в тех частях области (4.1), которые обозначены как $a b B$, $E e f$ и $b c d e C b$ имеет место линейное напряженное состояние, опасность которого характеризуется просто: чем больше величина напряжения, тем оно опаснее.

Исходя из этого анализа, можно полагать, что зарождение рассеянного (усталостного) повреждения следует ожидать в объемах (4.2), - и, прежде всего в том из них, который окажется большим по величине. А развитие множественных усталостных трещин в принципе возможно в области (4.1), и оно должно рассматриваться как их проникновение (перколяция) из областей (4.2) в область (4.1). Но проникновение малых усталостных трещин вглубь металла хотя и возможно, но имеет весьма ограниченную перспективу: величина любой компоненты напряжения резко уменьшается с увеличением расстояния от поверхности. Зато их развитие к поверхности максимально облегчено. В таком случае ясно, что следует ожидать поверхностного разрушения путем образования ямочек выкрашивания – сначала в тех зонах сопротивления материала разрушению, в которых оказывается минимальным. Контактное разрушение, следовательно, - это, в принципе, потеря сплошности материала в пределах опасных объемов. Поэтому обобщенное условие контактного разрушения имеет вид

$$V_{ij} > 0 \quad (4.4)$$

или в безразмерном виде

$$0 < V_{ij} / V_0 \leq 1, \quad (4.5)$$

где V_0 – некоторый рабочий (номинальный) объем. Ясно, что условие надежности тогда будет отсутствие в теле опасного объема:

$$V_{ij} = 0. \quad (4.6)$$

Вероятность усталостного разрушения растет, если величина (4.5) относительного опасного объема увеличивается. При $V_{ij}=1$ должно наступить предельное состояние: поверхностный слой ролика полностью теряет несущую способность: он разрушен.

Таким образом, если ставится задача об оценке усталостной долговечности по питтингобразованию, она должна решаться с учетом опасных объемов, обусловленных главными напряжениями $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

Поскольку, как известно, подповерхностное усталостное разрушение при трении качения ведет к износу отслаиванием и обусловлено оно наибольшими касательными напряжениями, то ясно, что долговечность по такому критерию необходимо связать с величиной касательного опасного объема V_τ . Опасные объемы, обусловленные касательными напряжениями

ми разного знака, не пересекаются в области зоны контактного взаимодействия, то речь должна идти только об объединении таких объемов, именно

$$V_\tau = V_{+\tau} \cup V_{-\tau}. \quad (4.7)$$

Таким образом, если ставится задача об оценке усталостной долговечности по критерию износа отслаиванием, то она должна решаться с учетом работы опасных объемов (4.7).

Итак, предлагается решать задачу об оценке долговечности при трении качения дифференцированно – по критерию питтингобразования и по критерию износа отслаиванием. Такой подход, по-видимому, вполне соответствует практическим запросам.

Тем самым оказывается снятой первая трудность анализа контактной задачи: нам не требуется теория прочности, в тоже время влияние на долговечность всех компонент напряжения оказывается учтенным.

Далее требуется снять вторую трудность – для этого надо отказаться от использования любой теории масштабного эффекта. Это можно сделать, если рассматривать не статический контакт двух роликов, а их динамическое взаимодействие в процессе трения качения. Схема такого взаимодействия приведена на рисунке 3.2. в разделе 3. Так как в этом случае опасные объемы соотносятся, как $V_{r1} < V_{r2}$, то отсюда неизбежно следует, что долговечности роликов будут находиться в отношении $N_{r1} < N_{r2}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванова В. С. Усталостное разрушение металлов. М., 1963. – 272 с.
2. Трощенко В. Т. Деформирование и разрушение металлов. – Киев: Наук. думка, 1981. – 343 с.
3. Weibull W. // Proc. Roy. Swed. Inst. Eng. Res. – 1939. - № 151. – P. 3 – 45.
4. Kugel R. A relation between theoretical stress concentration factor and fatigue notch factor deduced from the concept of highly stressed volume // Proc. ASTM. – 1961. – 61. – P. 732 – 748.
5. Сосновский Л. А. Статистическая модель деформируемого твердого тела и некоторые ее приложения. Сообщ. 1-2 // Пробл. прочности. – 1990. - № 5. – С. 8 – 12.
6. Сосновский Л. А. Статистическая механика усталостного разрушения. – Минск: Наука и техника, 1987. – 288 с.
7. Болотин В. В. Статистические методы в строительной механике. – М.: Стройиздат, 1965. – 280 с.
8. Сосновский Л. А. Статистическая модель деформируемого твердого тела и некоторые ее приложения. Сообщ. 3 // Пробл. прочности. – 1992. - № 11. – С. 21 – 29.
9. Корешков В. Н., Ожигар Г. П., Сосновский Л. А. Моделирование силовых систем. – Гомель: НПО ТРИБОФАТИКА, 1999. – 80 с.

УДК 621.396.664

Шуть В.Н., Бычинский Д.И.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОНТАЖА

Целью настоящей работы является оптимизация метода контроля электрического монтажа и повышение производительности на основе данного метода на несколько порядков в

рамках уже известных и используемых в производстве устройств.

Выполнение больших объемов проводного и печатного

Шуть Василий Николаевич. К.т.н., доцент каф. ЭВМиС Брестского государственного технического университета.
Бычинский Дмитрий Иванович. Студент IV курса Брестского государственного технического университета.
 Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.

монтажа с высокой плотностью сопряжено с появлением значительного числа монтажных ошибок и технологических дефектов. Это снижает качество монтажа, увеличивает трудоемкость наладки, расход электроэнергии. В последнее время все чаще перед этапом наладки производят полный контроль электрического монтажа на предмет наличия в нем лишних и недостающих связей с помощью быстродействующих устройств автоматического контроля монтажа (УАКМ).

УАКМ должно обладать большой производительностью при высокой достоверности контроля, универсальностью, автопрограммированием с эталонного изделия и возможностью документирования результатов контроля. Этим требованиям отвечают системы контроля на базе ЭВМ. Но при значительных достоинствах они имеют существенный недостаток в части быстродействия, что затрудняет контроль изделий с большим монтажным полем (10-30 тыс. контактов).

Объектом контроля является монтажное поле, состоящее из конечного множества N контактов и связей между ними, расположенных внутри прямоугольника $A_1 \times A_2 = N$. Здесь A_1 и A_2 являются длинами сторон прямоугольника, выраженными в числе контактов по каждой стороне.

Связи между контактами разбивают монтажное поле по группам (цепям). Разбиение поля контактов по цепям выполняется на этапе монтажа, согласно таблицам соединений, любое отклонение от которых ведет к монтажной ошибке. В задачу контроля монтажа входит определение соответствия выполненного монтажа таблице соединений.

На рисунке 1 представлена наиболее общая структура универсального УАКМ. Основными его звеньями являются ЭВМ, матричный регистр гальванических связей (МРГС), регистры подключения и опроса, выходной регистр МРГС. Поле МРГС однозначно покрывает поле монтажа. Каждому контакту проверяемого изделия соотносится ячейка матричного регистратора, состоящая из элемента подключения и элемента опроса. Ячейки МРГС расположены в узлах координатной сетки. Элемент подключения МРГС осуществляет входное воздействие (подачу напряжения V) на контакт, расположенный на пересечении возбужденной горизонтальной и вертикальной шин МРГС. Возбуждение шин осуществляют регистры подключения через токовые ключи. Необходимая информация в регистры подключения поступает с ЭВМ. Элементы опроса проверяют наличие напряжения V на опрашиваемых контактах и передают информацию о наличии или отсутствии последнего (V) по вертикальным шинам МРГС в выходной регистр.

Разрядность первого регистра подключения (строк) P_{1j} соответствует числу A_1 горизонтальных шин возбуждения МРГС. Такая же разрядность регистра опроса Q_j , выходы которого подключены к горизонтальным шинам опроса МРГС. Разрядность второго регистра подключения (столбцов) соответствует числу A_2 вертикальных шин возбуждения МРГС (рисунок 2).

Выполнение проверки отдельной цепи начинается с занесения вектора P_{1j} в регистр строк и вектора P_{2j} в регистр столбцов подключения. Этим осуществляется возбуждение определенных цепей, посредством подачи напряжения V на один из контактов каждой цепи. Контакт проверяемого изделия с координатами (ik) будет возбужден, если i - разряд регистра подключения строк и k - разряд регистра подключения столбцов содержат единицы. Отсюда следует, что в зависимости от конфигурации векторов P_{1j} и P_{2j} при единичной проверке возможно подключать и проводить контроль не только одной, но и двух и более цепей одновременно.

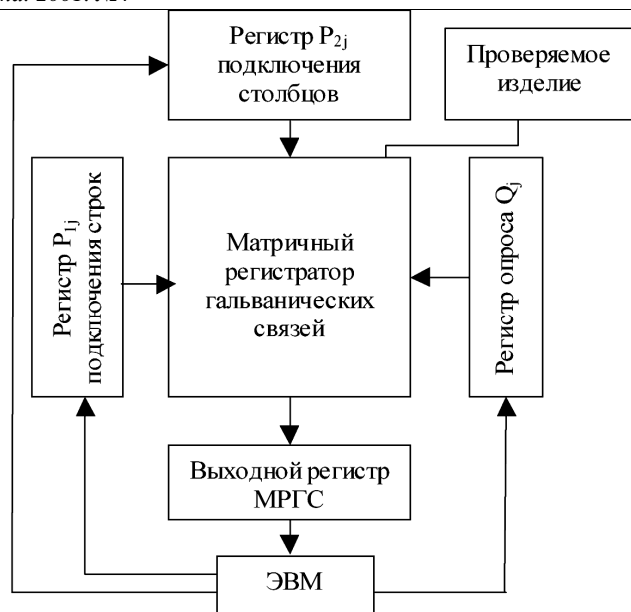


Рисунок 1 - Устройство автоматического контроля монтажа.

Следующим этапом выполнения единичной проверки является опрос монтажного поля. Для этого ЭВМ подает в регистр опроса Q_j последовательно двоичные векторы Q . При каждом занесении вектора Q осуществляется опрос тех строк МРГС, которые соответствуют единичному состоянию разрядов регистра опроса. В выходном регистре МРГС формируется код реакции контролируемого объекта. Если монтаж исправен, то он должен соответствовать реакции эталонного объекта при аналогичном опросе. Эталонное множество выходных реакций хранится в памяти ЭВМ. Длина двоичного вектора реакции равна A_2 , что соответствует разрядности выходного регистра МРГС [1].

Недостатком данного метода может являться значительное число проверок монтажного поля с большим числом цепей. На практике приходится проверять монтажные поля, матрица контактов которых содержит тысячи элементов, а число контактов в цепи в среднем не превосходит десятка (как, например, коэффициент разветвления для ТТЛ-логики). Контроль монтажа в таких случаях значительно ускорило бы объединение отдельных цепей в группы и проверка цепей из одной группы одновременно. Действительно, суммарное количество проходов цикла проверки здесь будет равно количеству групп (против количества цепей в вышеизложенном методе), которые в зависимости от соотношения ширины контактного поля и среднего количества вершин в цепях, а также контролируемого набора неисправностей (об этом речь пойдет ниже), может содержать несколько цепей.

Но такое усовершенствование метода контроля монтажа несет одновременно с ускорением проверок и увеличение вероятности необнаружения дефекта. Например, невозможно таким образом проверить цепи из одной группы на замыкание, не удастся определить, к какой из цепей из группы принадлежит тот или иной контакт. Такие возможные ошибки должны исключаться алгоритмом разделения цепей на группы. Очевидно, что увеличение количества цепей в группе ведет к увеличению скорости и уменьшению «жесткости» контроля (вероятность незамеченной неисправности увеличивается) и наоборот. Прежде чем перейти к методике разделения цепей на группы, необходимо рассмотреть классы наиболее вероятных ошибок, которые должны быть учтены при разработке данной методики.

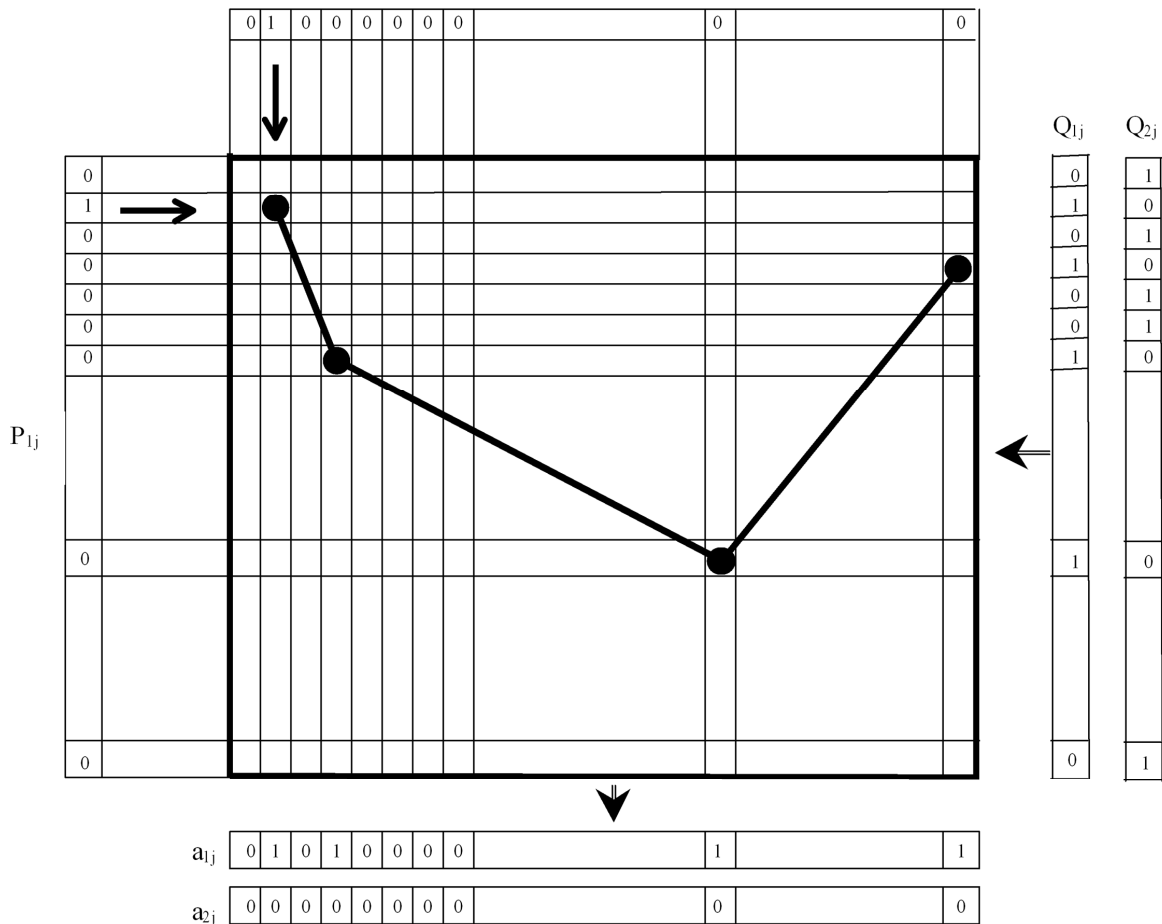


Рисунок 2 – Отображение контролируемого соединения в сетке поля матричного регистратора (МРГС).

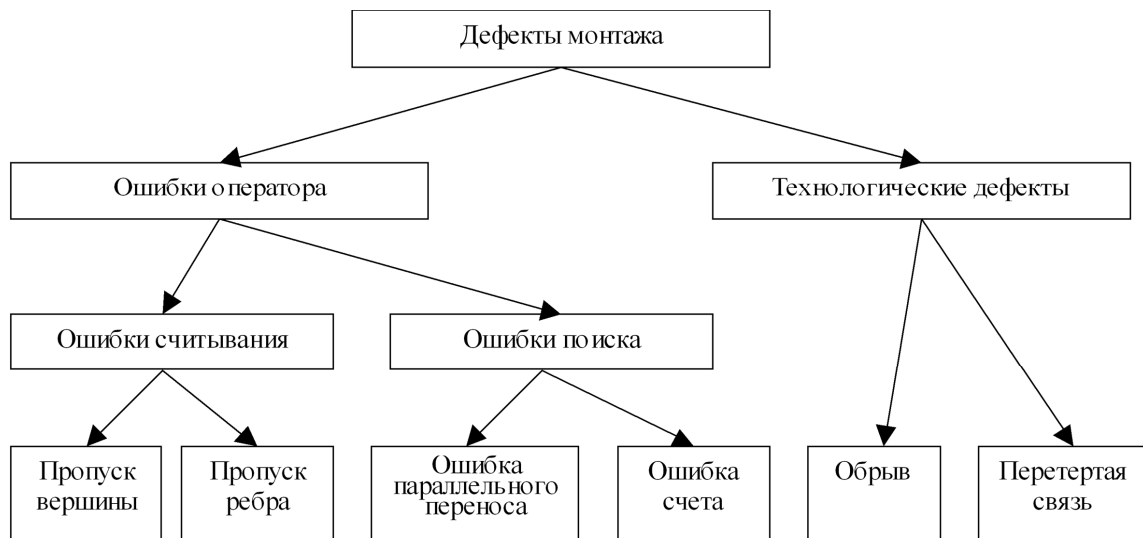


Рисунок 3 – Дерево классификации основных дефектов монтажа.

На рисунке 3 приведена схема классификации основных дефектов монтажа, вызванных ошибками оператора и дефектами технологии. В процессе монтажа оператор выполняет две операции, сопряженные с ошибками: а) считывание с таблицы соединений адреса очередного контакта, подлежащего соединению; б) поиск соответствующего контакта на монтажном поле.

Поиск нужного контакта начинается со старшей конструктивной единицы и заканчивается младшей. Оператор использует два приема: выбор и счет. Разобьем множество конструктивных единиц на два непересекающихся подмножества по определению. Старшие конструктивные единицы отмаркированы и хорошо различимы, например, панель, разъем в панели и т.д. Основная ошибка на множестве старших конструктивных единиц — это перепутывание однопо-

рядковых конструктивных единиц (ошибка параллельного переноса).

Младшие конструктивные единицы отличаются неразличимостью (без счета), например, контакт в разьеме, так как размеры последнего не позволяют его маркировать (то есть поставить ему в соответствие определенное порядковое число). Множеству младших конструктивных единиц присуща ошибка счета. Основной ее причиной является ошибка в выборе контакта начального отсчета и пропуск контакта в процессе счета из-за наслоений монтажа. В первом случае накрутку (пайку) делают на контакт — два выше искомого, во втором — ниже.

Поиск контакта сопровождается счетом. Следовательно, оператору приходится выполнять „линейные измерения” монтажного поля для того, чтобы найти на нем установленную таблицей соединений точку. Отсюда можно ввести ошибку поиска аналогичную ошибке измерения.

Модели случайных ошибок измерения могут быть положены в основу механизма ошибок поиска. Так можно говорить о распределении случайных ошибок поиска, его центре и рассеивании. Центром распределения является заданный контакт, то есть контакт поиска.

Существуют два технологических дефекта монтажа. Это внутренний обрыв проводника и перетертый (передавленный) провод. Дефект монтажа „обрыв” влечет неисправность „недостающая связь”. Технологический дефект „перетертая связь” обусловлен тем, что изоляция проводника, соединяющая два штыря одной цепи, может быть перерезана острым краем штыря другой цепи. В результате между двумя цепями появится короткое замыкание, что ведет к неисправности «лишняя связь» [2].

Неисправности типа «пропуск вершины», «пропуск ребра», «параллельный перенос», «обрыв» можно отследить при проверке нескольких цепей одновременно, если при формировании групп использовать цепи, не содержащие узлов в одинаковых столбцах. Если ввести контроль двойной ошибки (вероятность такой ошибки стремится к нулю, так как это вероятность того, что две заданные цепи будут иметь ошибку параллельного переноса в двух соседних столбцах контактов), то следует избегать включения в одну группу цепей, содержащих узлы в соседних столбцах и в соответствующих столбцах соседних старших конструктивных единиц. Например, если цепь имеет узлы в 2, 5, 12, 17... столбцах, то в группу с ней не могут попасть цепи с узлами в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 16, 17, 18... столбцах.

Аналогично дело обстоит и с контролем на ошибку счета (смещение узла цепи по столбцу) — в группу не могут войти цепи, содержащие узлы на соседних строках матрицы контактов и на соответствующих строках соседних старших

конструктивных единиц. Только в отличие от предыдущего, цепи могут иметь узлы на одинаковых строках. Например, цепь с узлами в 3, 6, 15... строках, не группируется с цепями, содержащими узлы на 1, 2, 4, 5, 7, 8, 13, 14, 16, 17... строках (с учетом двойной ошибки).

Если проводить контроль перетертых связей, то это может существенно увеличить количество проверок, а вместе с тем и время выполнения процедуры контроля, так как для учета такой ошибки условия объединения цепей в группы становятся более жесткими, а это ведет к увеличению количества групп. Если цепь имеет первый (по столбцам) узел на 20-ом столбце, а последний — на 100-ом, то в результате перетертой связи может возникнуть новый узел на размахе адресов столбцов — 20...100. И чтобы его обнаружить, нужно не группировать с этой цепью какие-либо другие, имеющие узлы на столбцах 20...100.

Таким образом, в группы включаются цепи, вероятность совместной ошибки в которых ничтожно мала и ею можно пренебречь. Определение таких цепей выполняется на ЭВМ перед формированием тестовых воздействий.

На этапе формирования групп может возникать ситуация, когда какую-либо из цепей нельзя отнести ни к одной группе — создается новая группа, куда попадает данная цепь, либо когда цепь можно отнести к нескольким существующим группам. В этом случае стратегия выбора группы или создания новой может оказать влияние на эффективность разбиения множества цепей на группы, что в конечном итоге уменьшит количество групп для тестового контроля. Наиболее простые стратегии — выбор группы с наименьшим суммарным количеством узлов (обеспечивает равномерное заполнение групп и высокое качество контроля) либо выбор наиболее заполненной группы (ведет к большей плотности заполнения групп — меньшему конечному количеству групп, но порождает несбалансированные группы — снижает качество контроля).

Изложенный метод позволяет на порядок ускорить процедуру автоматического контроля монтажа для монтажного поля больших размеров (несколько тысяч контактов), содержащего цепи с небольшим коэффициентом разветвления (до десяти узлов в цепи). Количество групп для конкретного монтажного поля будет зависеть от его размеров, конфигурации цепей и выбранного алгоритма группировки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шуть В. Н. Тестовый контроль электрического монтажа. — «Вопросы радиоэлектроники». — 1981. — №14.
2. Шуть В. Н. Диагностика электрического монтажа. — «Вопросы радиоэлектроники». — 1982. — №12.

УДК 621.382.049.77

Дереченник С.С., Мороз О.В.

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ-КРЕМНИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Математическое моделирование технологических процессов и приборов играет большую роль в микроэлектронике, так как позволяет оптимизировать конструкции и технологии

элементов изделий электронной техники с меньшими затратами на натурные эксперименты. Развитие технологии сверх- и ультра больших интегральных схем (СБИС и УБИС) усиливает взаимосвязь между эксплуатационными свойствами из-

Дереченник Станислав Станиславович. К. т. н., доцент, зав. каф. ЭВМ и системы Брестского государственного технического университета. e-mail: dss@brpi.unibel.by.

Мороз Олег Васильевич. К. ф.-м. н., доцент, доцент каф. ЭВМ и системы Брестского государственного технического университета. e-mail: mov@brpi.unibel.by.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267, тел. 0162-421081.