

М489900

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

Московское

ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового  
Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

---

На правах рукописи

УДК 621.791.76:658.562.5

ГРЯЗНОВ Рудольф Николаевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ  
МАШИН ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ СВАРОЧНОЙ ЦЕПИ  
(применительно к операциям конденсаторной сварки  
элементов РЭА)

Специальность 05.03.06 - Технология и машины  
сварочного производства

Автореферат  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент

КАГАНОВ Н.Л.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
ОРЛОВ В.Д.

кандидат технических наук, доцент  
КОПАЕВ В.В.

Ведущее г

анного

Защита сс  
специализирова  
ордена Октябрю  
высшем техниче  
Москва, 2-я Бс

Ленина,  
намени  
07005,

Ваш отзыв  
просим выслати

ью,

С диссерт  
Н.Э.Баумана.

М 489900

мени

Авторефер

Ученый с  
специализиров  
к.т.н.,

ИЛ-21352

Заказ 924П ....от. 180884 Тираж 100 экз. Объем I п.л.  
Типография МВТУ им. Н.Э.Баумана.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В приборостроении, особенно в производстве малогабаритных элементов РЭА (диодов, тиристоров, конденсаторов) одной из ответственных операций является контактная сварка. В последние годы повышение ее эффективности идет путем разработки специальных высокопроизводительных, преимущественно агрегатного типа, контактных машин (КМ).

Освоение специальных КМ, сохранение стабильной работы и высокого коэффициента загрузки представляет значительные трудности из-за несовершенства их диагностического обеспечения. Почти полностью отсутствуют правила проверки таких машин на технологическую точность. Малоинформативными и безусловными являются алгоритмы поиска причин нестабильности качества сварки; субъективной остается диагностика неисправностей узлов и компонентов КМ без их разборки.

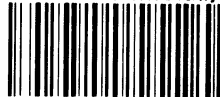
Решение проблемы возможно путем разработки диагностической модели и исследования диагностических величин (ДВ), характеризующих техническое состояние КМ. Однако наиболее пригодные для этого электрические ДВ: токи, напряжения и мощности в сварочной цепи используются не в полной мере. В частности, они не сравниваются между собой по чувствительности к неисправностям, не учитывается влияние свойств КМ на их информативность. Совершенствование методов диагностирования - актуальная проблема при разработке и освоении РПК и АСУ ТП контактной сварки.

Целью работы является улучшение диагностического обеспечения контактной сварки в линиях сборки полупроводниковых приборов и электролитических конденсаторов путем разработки методик проверки технического состояния и поиска неисправностей КМ.

Методы исследования. Анализ чувствительности ДВ выполнен методами электротехники и теории измерительных преобразователей. Деформирование импульсов ДВ исследовано на АВМ. При алгоритмизации поисков неисправностей использован метод половинного разбиения. Измерения и статистическая обработка результатов выполнялись с использованием электронных осциллографов, импульсных вольтметров и оригинальных диагностических средств.

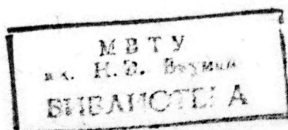
Научная новизна. Получены формулы и дана количественная оценка чувствительностей тока, напряжения и мощности на резистивном участке сварочной цепи к неисправностям, идентифицируемым сопротивлениями этого участка.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1489900

Грязнов Р.Н. Разработка мет



Показано, что чувствительность любой из указанных ДВ полностью определяется сопротивлением участка, индуктивностью и сопротивлением КМ и не зависит от напряжения холостого хода.

Выделены четыре диапазона согласований (отношений сопротивления участка к сопротивлению КМ), отличающиеся приоритетом ДВ по чувствительности. Показано, что напряжение чувствительнее тока только при коэффициентах согласования меньших единицы и тем значительнее, чем ближе к неисправности размещены измерительные щупы. Мощность при любом согласовании менее чувствительна, чем напряжение или ток и поэтому малоприспособна для диагностирования КМ и межэлектродной области (МЭО).

Практическая ценность. На основе предложенной диагностической модели применительно к производству диодов и конденсаторов разработаны:

- алгоритмы поиска неисправного компонента системы "контактная машина - межэлектродная область";
- методики проверки технического состояния контактов в сварочной цепи без их разборки;
- методика и средства разбраковки соединений по результатам диагностирования МЭО при стыковой сварке выводов электролитических конденсаторов.

Разработана и внедрена в качестве стандарта предприятия методика диагностирования специальных контактных машин-автоматов для герметизации корпусов диодов и тиристоров.

Апробация работы. Материалы исследования обсуждались на Всесоюзной конференции, на конференциях сварщиков Урала, на научных семинарах кафедры "Машин и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им.Н.Э.Баумана и кафедры "Сварочное производство" ИИИ, на республиканских и отраслевых семинарах и совещаниях в Москве, Киеве, Свердловске, Ижевске, Могилеве в 1972-1988 гг. Диагностическая аппаратура экспонировалась и показана на ВДНХ СССР, Всероссийской и областной выставках НТТМ. По теме диссертации имеется пять публикаций, включая два авторских свидетельства на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов, изложенных на 171 странице. Содержит 55 рисунков, 8 таблиц, 113 наименований использованных литературных источников.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены объекты диагностирования и типовые диагностические задачи, сформулированы задачи исследования.

В линиях сборки полупроводниковых приборов средней мощности распространены одноимпульсные процессы сварки по контуру и заварки трубного конца (штангеля). В линиях сборки электролитических конденсаторов распространена стыковая сварка сопротивлением и ударно-конденсаторная сварка проволочных выводов. Значительную часть сварочного оборудования составляют специальные автоматические и полуавтоматические КМ агрегатного типа, включая роторные, совмещающие в себя ряд несварочных операций. Сварочный контур в таких КМ содержит большое число подвижных и неподвижных контактов. В используемых серийных КМ устанавливаются специальные приэлектродные узлы. Существенно то, что одноименные конструкции свариваются на машинах различных типов, а однотипные машины используются для сварки разноименных конструкций. Поэтому разнообразие сочетаний "контактная машина - межэлектродная область" (в дальнейшем: систем КМ-МЭО) велико даже в пределах одного цеха или участка. В работе в разной степени оценивалось функционирование более тридцати систем КМ-МЭО.

Путем построения контрольных карт, обработки результатов существующего сплошного контроля соединений и активными экспериментами установлено, что в любой системе КМ-МЭО наблюдается постепенный отказ (разладка). Это наиболее обобщенная причина появления брака, достигающего во многих системах пяти и более процентов. Предупредить разладку путем контроля сварных соединений или выявления доминирующей неисправности на автоматизированных КМ затруднительно: контрольные операции запаздывают, а правила поиска и оценки неисправностей несовершенны. По таблицам вида "признак неисправности - возможная причина - способ устранения" выявляется лишь небольшая их часть из многих десятков в каждой системе. Эффективность поиска зависит от квалификации наладчика, от умения применять метод "проб и ошибок".

При разработке диагностического обеспечения важнейшими являются задачи выбора диагностических величин и признаков, разработки алгоритмов и средств диагностирования. Применительно к точечной сварке Н.В.Подола и П.М.Руденко получили решение этих задач путем построения дискретной модели КМ и формализованного описания ее состояния при нормальных условиях. Однако дискрет-

ная модель, не основанная на физических закономерностях менее универсальна, чем непрерывная. При построении последней должны быть учтены энергетические процессы в системе. При этом появляется возможность широкого использования доступных для измерения электрических параметров сварочной цепи.

Электрические величины в силовой цепи КМ исследовались разносторонне (А.Э.Блитштейн, В.К.Лебедев, Б.Е.Патон, И.В.Пентегов, *К.Хлеб*), но без достаточного для диагностики сравнения их между собой. Известные сравнения, проведенные статистически (Ю.Н.Ланкин, А.А.Урсатьев, В.Г.Квачев) малопригодны для непрерывной модели. Для диагностических проверок необходима идентификация неисправностей. Требуется нестатистическое сравнение отклонений тока напряжения или мощности при изменениях идентификатора неисправности, т.е. сравнения по чувствительности к неисправности.

С учетом изложенного задачи исследования заключались в следующем:

- разработать непрерывную диагностическую модель, отражающую изменения технического состояния системы КМ-МЭО;
- выполнить анализ электрических ДВ, позволяющий сравнивать их по информативной чувствительности к неисправностям и выявлять признаки ухудшения стабильности работы основных компонентов системы;
- разработать и внедрить в производство РЭА методики проверки технического состояния и алгоритмы поиска неисправностей, а также необходимую диагностическую аппаратуру.

Во второй главе предложена и исследована диагностическая модель системы "контактная машина - межэлектродная область".

В технической диагностике под исправностью понимают соответствие объекта всем предъявленным к нему требованиям, под работоспособностью - соответствие лишь основным. Поэтому принято систему КМ-МЭО считать работоспособной, если сварка обеспечивается с заданной производительностью, ритмично и требуемым качеством. При этом в ней возможны неисправности различной природы: износ, расстройка, загрязнение или несовершенство узлов и элементов машины, отклонения в подготовке свариваемых деталей, нестабильность энергоносителей, неоптимальность настройки рабочего режима и другое.

Необходимая при моделировании КМ-МЭО идентификация неисправностей возможна путем их обобщения по месту или признакам их возникновения, по носителю информации, по показателям работоспособности системы и т.п. В настоящей работе неисправности обобщены исходя из того, что большинство из них воздействуют на качество сварки энергетически, т.е. изменяют ток или напряжения в МЭО. Часть неисправностей прямо воздействует на зону сварки (неисправности электродов, привода, приэлектродной оснастки, свариваемых деталей). Другие, косвенные неисправности (в батарее, контакторе, в переключателе ступеней, в трансформаторе, в сварочном контуре) воздействуют на ток и транслируются им в МЭО. Неисправности в аппаратуре управления, в клапанах, в сетях энергоносителей воздействуя на силовую электрическую цепь, отражаются в изменениях тока или напряжений на диагностируемых участках. Электросиловая цепь таким образом аккумулирует и преобразуя большинство неисправностей, моделирует техническое состояние системы КМ-МЭО. Поэтому одна из известных схем замещения электросиловой цепи и соответствующее ей описание могут рассматриваться как диагностическая модель. ЭДС и сопротивление этой схемы становятся идентификаторами неисправностей, а токи в различных режимах напряжения и мощности на отдельных ее участках становятся диагностическими величинами. В работе исследована одноконтурная схема замещения.

Отклонения тока позволяют судить о появлении неисправности, но не о месте ее нахождения. Отклонения напряжения и мощности на участке цепи могут быть вызваны как прямой, так и косвенной неисправностью. Для того, чтобы различить неисправности в ходе проверок и повышения информативности последних силовую цепь на концах диагностируемого участка предлагается вводить в режим холостого хода (ХХ) или короткого замыкания (КЗ) или тестового нагружения (ТН). Часть проверок должна выполняться исходя из результата сравнения ДВ в предыдущих проверках, т.е. алгоритмы могут быть условными.

Исходя из рассмотренной модели по известному в технической диагностике методу половинного разбиения составлены варианты общего алгоритма, т.е. пригодного для поиска неисправности с минимальной глубиной (с возможностью выявить неисправности одного из трех компонентов: дозатора, сварочного контура или МЭО) в любой

из рассматриваемых систем КМ-МЭО. Размещая импульсы ДВ в пределах экрана осциллографа и предполагая, что исправное состояние компонентов соответствует неизменным значениям вторичного тока при КЗ электродов и напряжения ХХ трансформатора, один из вариантов предложено реализовать по следующей схеме (рис. 1): 1) через заданные технологом интервалы времени или по иным правилам оценить работоспособность системы по уровню брака "q": если работоспособна, то сварку продолжить, если неработоспособна - перейти к проверке дозатора; 2) по напряжению на клеммах трансформатора КМ установить наличие неисправностей в дозаторе: если имеются отклонения, то реализовать алгоритмы его проверки, если отклонения отсутствуют - оценить ток КЗ; 3) если имеются отклонения тока, то реализовать алгоритмы проверки сварочного контура, если отсутствуют - реализовать алгоритм проверки МЭО. Так как косвенные неисправности транслируются током, то для любой системы следует соблюдать экспериментально выявленное правило: проверка МЭО следует за проверкой сварочного контура, проверка сварочного контура - за проверкой дозатора.

В третьей главе теоретически исследованы чувствительности тока напряжения и мощности на диагностируемом резистивном участке сварочной цепи системы КМ-МЭО. Считалось, что диагностируемый участок задан, если на концах его размещены щупы для измерения напряжения.

Вызванные неисправностью отклонения в сопротивлении участка сопровождаются согласно диагностической модели отклонениями одновременно всех трех ДВ: напряжения, тока и мощности. Наиболее информативной из них является та величина, чувствительность которой к отклонениям сопротивления наибольшая. Для сравнения разнородных ДВ среди известных в теории преобразователей форм выражения чувствительности наиболее пригодной является относительная дифференциальная форма:

$$S = \frac{dY}{Y d\delta}, \quad (I)$$

где  $Y$  - диагностическая величина;  $\delta$  - сопротивление участка в долях от сопротивления силовой цепи за пределами участка или что то же: коэффициент согласования участка и цепи.

Силовая цепь за пределами участка однозначно характеризуется вольт-амперной характеристикой (ВАХ), измеренной в точках подключения участка. Она имеет вид ВАХ машины (межэлектродная область может рассматриваться как диагностируемый участок). Кру-

тизна ВАХ цепи определена ее сопротивлением, кривизна - коэффициентом мощности  $\cos \varphi_k$ . Точка пересечения ВАХ цепи и ВАХ участка определяет значения ДВ. Косвенные неисправности сопровождаются перемещением этой точки по ВАХ участка, прямые - по ВАХ цепи. Относительное отклонение ДВ определяется не только приращением сопротивления участка, но и зависит от его сопротивления и очевидно от кривизны и крутизны ВАХ цепи.

При выводе чувствительностей использованы известные выражения ВАХ и ватт-амперных характеристик и закон Ома для полной цепи. Исходя из одноконтурной, приведенной ко вторичной обмотке трансформатора, схемы замещения чувствительность напряжения к отклонениям сопротивления диагностируемого участка выражается согласно (I) формулой:

$$S_u = \frac{1 + \gamma \cos \varphi_k}{\gamma(1 + 2\gamma \cos \varphi_k + \gamma^2)}, \quad (2)$$

чувствительность тока

$$S_I = - \frac{\gamma + \cos \varphi_k}{1 + 2\gamma \cos \varphi_k + \gamma^2}, \quad (3)$$

чувствительность мощности

$$S_P = \frac{1 - \gamma^2}{\gamma(1 + 2\gamma \cos \varphi_k + \gamma^2)}. \quad (4)$$

Из (2)...(4) следует, что чувствительность любой из электрических ДВ зависит от согласования участка с остальной частью цепи и от индуктивности последней, т.е. действительно от крутизны и кривизны ВАХ цепи в точке пересечения ее с ВАХ участка.

Чувствительность напряжения выше чувствительности тока и мощности только при условии, что сопротивление участка меньше сопротивления цепи ( $\gamma < 1$ ). При этом индуктивность цепи усиливает чувствительность напряжения и мощности и ослабляет чувствительность тока. На пологой части ВАХ цепи ( $\gamma > 1$ ) ток чувствительнее напряжения и мощности, индуктивность цепи усиливает чувствительность тока и чувствительность мощности и ослабляет чувствительность напряжения. На границе между этими частями, т.е. в режиме полного согласования ( $\gamma = 1$ ) ток и напряжения равны по чувствительности. Для грубых сравнений тока и напряжения справедливо правило: чувствительнее та из двух величин, направление отклонений которой совпадает с направлением отклонений мощности.

Сближение измерительных щупов, задающих протяженность участка, сопровождается уменьшением согласования. При этом чувстви-

тельности напряжения и мощности монотонно увеличиваются, а для чувствительности тока возможен максимум. Анализ (2)...(4) обнаруживает четыре диапазона изменений коэффициента согласования, отличающихся приоритетом ДВ по чувствительности (рис.2). В первом диапазоне наиболее чувствительной величиной является напряжение, наименее чувствительной - ток, во втором диапазоне соответственно напряжение и мощность, а в третьем - ток и мощность, в четвертом - ток и напряжение, т.е. мощность не может быть рекомендована в качестве чувствительной ДВ.

Экспериментальное определение чувствительностей проводили, выполняя опыты XX и КЗ диагностируемого участка. При этом определяли коэффициенты  $\gamma$  и  $\cos \varphi_k$ . Затем подставляли их в (2)...(4).

Для альтернативного сравнения напряжения и тока по чувствительности предложено шунтировать диагностируемый участок. После снятия или в результате перегорания шунта образуются приращения  $\Delta u$  и  $\Delta i$ , регистрируемые с помощью осциллографа или импульсного вольтметра. Затем вычисляется отношение чувствительностей:

$$K_s = \frac{S_u}{S_i} \approx \frac{\Delta u / u_{cp}}{\Delta i / i_{cp}}, \quad (5)$$

где  $u_{cp}$ ,  $i_{cp}$  - среднее в приращениях значение ДВ. В первом диапазоне согласований (рис.2) напряжение чувствительнее тока более чем в два раза, т.е.  $K_s > 2$ , во втором диапазоне  $2 > K_s > 1$ , в третьем  $1 > K_s > 0.5$ ; в четвертом  $K_s < 0.5$ .

В четвертой главе рассмотрены диагностические показатели для составления методик обнаружения неисправностей. Анализ проводился для одноимпульсного режима функционирования КМ, как наиболее типичного при сварке элементов РЭА.

Моделированием на АВМ установлено, что нагрев резистивного участка сварочной цепи до температуры, не превышающей температуру плавления почти не изменяет формы импульса тока. Сохраняется гладкая форма импульса, монотонны передний и задние фронты. Введение в участок сопротивления, исчезающего в начале пропускания тока (подобно сопротивлению холодного контакта) приводит к ускоренному нарастанию напряжения, т.е. передний фронт становится круче, монотонность исчезает. Увеличение сопротивления холодного контакта сопровождается формированием дополнительного и максимума напряжения, предшествующего основному. Спады и подъемы в импульсе напряжения возникают при введении в модель скачкообразных изменений сопротивления участка. Импульс тока при этом остается гладким.

если коэффициент согласования меньше единицы.

Результаты моделирования подтверждаются осциллографированием импульсов в сварочной цепи. Импульсы напряжения подобны импульсам тока только на малопротяженных бесконтактных участках и на исправных неподвижных контактах. На подвижных контактах и на электродах импульсы напряжения в большинстве систем негладкие, а на деталях негладкие всюду.

Типичная неисправность сварочной цепи – ослабление и износ контактов. Эксперимент с ослаблением четырехболтового контакта плоских шин (равное уменьшение усилия сжатия после очередного импульса тока) показал, что увеличение сопротивления имеет первоначально детерминированный характер (1-я стадия), а начиная с  $1,0 \dots 0,5$  кН – случайный (2-я стадия). В импульсе напряжения на таком контакте для первой стадии характерно увеличение крутизны переднего фронта и амплитуды. В импульсах второй стадии наблюдаются негладкости (перегибы, изломы), формируется максимум в начале процесса. Таким образом негладкий импульс напряжения при гладком импульсе тока следует считать показателем неисправности неподвижного контакта. Это жесткое требование. Более строгое, назначаемое технологом в зависимости от влияния контактов на качество сварки, может быть требование незначительного, например, двух, трехкратного увеличения напряжения в первой стадии.

Универсальным диагностическим показателем предложено считать ширину зоны максимальных отклонений (ЗМО) в наложении совмещенных в начале координат осциллограмм импульсов ДВ. Наложение и ЗМО (при несовпадении импульсов) формируется из мгновенной выборки в ходе циклического нагружения КМ в одном из режимов диагностирования. На размах отклонений влияют неисправности, чувствительность ДВ, число импульсов в выборке. Экспериментально установлено, что распределение отклонений любых токов и напряжений на большинстве участков сварочной цепи в любой момент несовпадений подчиняется нормальному закону. Только отклонения напряжения на участке "деталь – деталь" в некоторых системах, а на контакте "вал – втулка" в любой из них, могут иметь распределение Пуассона или биномиальное.

В исправных системах ЗМО напряжение имеется на участках МЭО и на подвижных контактах сварочного контура. На свежезачищенных подвижных контактах ЗМО наблюдается в первой трети длительности импульса, ширина ее не превышает 0,3 В. К концу эксплуатации она

возрастает до 0,9 В и более, смещаясь к началу импульса; при этом контактные поверхности на 20...50 % покрываются следами врезки. Трехкратное увеличение размаха отклонений, т.е. ширины ЗМО, предложено считать показателем неисправности подвижных контактов сварочной цепи, если отсутствуют более строгие требования.

Исправный дозатор специальной КМ характеризуется неизменностью формы импульса напряжения на клем<sup>М</sup>ных плитах трансформатора при подключении к нему нагрузки со стабильным сопротивлением (режим ТН). Поэтому необходимым признаком исправности дозатора является отсутствие ЗМО в наложении импульсов вторичного тока в режиме КЗ электродов и импульсов напряжения на плитах трансформатора в режиме ХХ. Если дозатор исправен, а имеющиеся неисправности идентифицируются сопротивлениями контактов, то возможен расчет допуска на отклонения контактных напряжений. Его предложено вычислять по известному допуску на ток  $\delta I$ . Согласно (1) и (5) общий т.е. суммарный допуск

$$\sum \delta U_i = \delta I \cdot K_s \quad (6)$$

где  $\delta U_i$  — допуск на отдельно взятом контакте. При сравнении ширины ЗМО с допуском принимается во внимание, что трехсигмовый интервал соответствует наложению из десяти импульсов.

Выявленные признаки и ограничения на отклонения ДВ, с учетом их чувствительности, являются основой алгоритмов диагностирования дозатора, контура и МЭО. Методики проверки составлены в виде описаний на выполнение подготовительных, измерительных, расчетных операций. Общими для всех методик являются: установка режима диагностирования (КЗ, ХХ, рабочее или тестовое нагружение), наложение осциллограмм импульсов наиболее чувствительной ДВ и оценка ЗМО.

В пятой главе приведены результаты производственного внедрения методик, кратко описаны разработанные диагностические средства.

Учитывая, что в технологии элементов РЭА осциллографирование — распространенный метод измерения электрических величин, проверка систем КМ-МЭО выполнялась путем подключения осциллографа к предварительно установленному на КМ пульту сопряжения. Для получения осциллограмм с максимальной помехозащищенностью измерительные цепи до пульта сопряжения выполнялись экранированным проводом с применением фильтров и компенсаторов помех. Осциллограф размещался на удалении от КМ, исключая влияние ее магнитного поля.

В библиотеку (банк) ДВ для каждой системы заносят: а) токи при сварке и при КЗ электродов; б) напряжения на клеммах питающих трансформатора (при ХХ машины и при КЗ электродов), на подвижных контактах сварочного контура (при КЗ электродов), на электродах (при сварке, при ТН). Дополнительно, с учетом конструктивных особенностей определяющих возможности измерений, для некоторых систем в библиотеку заносят: ток при тестовой нагрузке, ток при КЗ подвижных контактов, напряжения на подвижных контактах и на участках МЭО и др. В библиотеке каждая ДВ представлена наложением, измеренным в заведомо исправной системе; указаны параметры ЗМО (момент ее измерения, объем выборки, ширина), допуск на отклонения или качественный признак неисправности.

Разработанные методики позволили выявить и устранить ряд причин низкой стабильности работы некоторых специальных сварочных машин: неисправность стабилизатора напряжения на батарее, нарушения в работе механического и электромеханического контактов, несимметрию прямого и обратного импульсов вторичного тока, неисправности контактов, шунтирования контура на корпус КМ и другое. Прижимные и вращающиеся контакты проверялись без их разборки. Алгоритм проверки: 1) установить щупы на каждый из подвижных контактов, обеспечивая  $K_{\text{с}} \gg 1$ ; 2) по известному допуску на ток определить по (6) общий допуск на контактные напряжения; 3) вычислить допуски на напряжение на каждом из проверяемых контактов (путем деления общего допуска на число контактов, если отсутствуют более строгие требования); 4) обеспечить отсутствие ЗМО в наложении импульсов тока КЗ электродов; 5) измерить ширину зоны ЗМО напряжения на диагностируемом контакте; 6) сравнить отклонение с допуском. Для контактов типа "вал - втулка" наряду с наложением выполняется развертка этого же напряжения по углу поворота, что позволяет обнаруживать участки повышенной эрозии контактов. Нарушения в состоянии электродов и в подготовке деталей под сварку обнаружены путем наложения напряжений в МЭО. В зависимости от свойств КМ и свариваемой конструкции обнаруживаются две - три ЗМО, обусловленные нестабильностью приэлектродных и сварочных контактов. На рис. 3 приведены наложения для четырех систем КМ-МЭО. Путем ранжирования неисправностей и исключения наиболее вероятной выявляется соответствующая ей ЗМО.

Применительно к производству диодов и тиристоров методики внедрены в виде стандарта предприятия на проверку агрегатных машин-автоматов. Диагностическая аппаратура разработана в виде ус-

тройства сложения за отклонениями ДВ и сигнализации или воздействия на исполнительное устройство системы при превышении допусков. Разработано шесть модификаций прибора контроля. Прибор ПСК-5 удостоен серебряной медали ВДНХ. Установка приборов на КМ-автоматах позволила разбраковывать сварные соединения, предупреждать разладку от наиболее вероятной неисправности, вести опрос и оценку ДВ любой из однотипных систем на участке стыковой сварки выводов электролитических конденсаторов. Экономический эффект от результатов исследования на двух предприятиях составил 94 тыс. рублей.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В линиях сборки полупроводниковых приборов и электролитических конденсатором потеря работоспособности любой из систем "контактная машина - межэлектродная область" (КМ-МЭО) невозможно предупредить из-за запаздывания операций контроля сварных соединений и несовершенства диагностического обеспечения. Для повышения стабильности работы контактных машин требуется разработка и внедрение методов их проверки, основанных на анализе непрерывной диагностической модели систем КМ-МЭО с помощью электрических величин в сварочной цепи.

2. Для разработки методик диагностирования обосновано следующее: а) силовую электрическую цепь системы КМ-МЭО следует рассматривать в качестве преобразователя и накопителя дестабилизирующих сварку неисправностей идентифицируемых сопротивлениями ее участков; б) в качестве диагностической модели следует использовать уравнения, описывающие процессы в схеме замещения силовой цепи, а токи, напряжения и мощности на ее участках - в качестве диагностических величин (ДВ); в) при выборе тока, напряжения и мощности для выполнения проверок необходимо сравнивать эти величины по чувствительности к отклонениям сопротивления - идентификатора неисправности; г) отклонения в форме импульса ДВ, распределение их по времени, размах и продолжительность служат диагностическими показателями; д) проверку МЭО следует выполнять после проверки сварочного контура, а проверку сварочного контура - после проверки дозатора.

3. Получены аналитические выражения чувствительностей тока, напряжения и мощности на диагностируемом участке сварочной цепи с нестабильным сопротивлением, установлено неравенство этих чувствительностей, их количественная взаимосвязь, влияние свойств машины и сопротивления участка, разработаны правила экспериментальной оценки. Выявлено четыре диапазона согласований сопротивления

участка и сварочной цепи, отличающихся приоритетом электрических диагностических величин по чувствительности. Мощность не рекомендуется использовать в качестве диагностической величины из-за ее низкой чувствительности. Сближение измерительных щупов, задающих диагностируемый участок, приводит к увеличению чувствительности напряжения.

4. Проведен анализ деформирования импульсов ДВ в сварочной цепи, позволивший установить наиболее типичные для рассматриваемых систем диагностические признаки: а) импульс тока в режиме КЗ электродов или при сварке с малым коэффициентом согласования имеет гладкую форму; деформация его свидетельствует о появлении в системе неисправности; б) напряжение на резистивном участке имеет форму импульса тока только при отсутствии в нем неисправностей и подвижных контактов; в) увеличение сопротивления холодного контакта сопровождается увеличением крутизны переднего фронта импульса напряжения и появлением в нем дополнительного максимума, предшествующего основному; г) негладкий импульс напряжения на неподвижном контакте является признаком его неисправности.

5. Различать и оценивать по деформированию импульсов техническое состояние элементов и узлов сварочной цепи следует путем выделения зоны максимальных отклонений (ЗМО), образующейся в наложении осциллограмм импульсов из мгновенной выборки объемом в десять циклов. По увеличению ширины ЗМО наиболее чувствительной ДВ выявлены неисправности дозатора, контактов сварочного контура и межэлектродной области.

6. Допуски на отклонения диагностических величин не могут быть установлены без учета их чувствительности, конструктивных особенностей системы, надежности отдельных ее компонентов и требований к работоспособности. Для рассматриваемых систем "конденсаторная машина - малогабаритная МЭО" при условии размещения импульсов в пределах экрана осциллографа, в качестве допусков рекомендованы следующие ограничения: а) отсутствие ЗМО вторичного тока при КЗ электродов или при установке в них тестовой нагрузки; б) отсутствие ЗМО напряжения: на клеммных плитах трансформатора в режиме ХХ, на электродах (в режиме ХХ или тестового нагружения или КЗ), на неподвижных контактах сварочного контура при КЗ электродов, на элементах сварочного контура и относительно корпуса машины при КЗ электродов или тестовом ее нагружении; в) недопустимо более чем трехкратное увеличение ширины ЗМО напряжения

на подвижных контактах сварочного контура в режиме КЗ электродов или тестового их нагружения.

7. Разработаны и внедрены в практику обслуживания оборудования контактной сварки элементов радиоэлектронной аппаратуры: а) алгоритмы поиска неисправностей, в основу которых положены выявленные закономерности деформирования импульсов наиболее чувствительных ДВ; б) методики проверки состояния подвижных контактов без их разборки; в) стандарт предприятия на методику диагностирования специальных машин-автоматов.

8. Разработаны образцы диагностической аппаратуры. Годовой экономический эффект от внедрения метода и аппаратуры диагностирования на двух предприятия составил 94 тыс.рублей.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Грязнов Р.Н. Чувствительность энергетических параметров участка сварочной цепи контактной машины/ Удм.гос.ун-т.-Ижевск, 1984.-17 с; ил.-Библиогр.4 назв.-Деп. в Информэлектро 20.02.84, № 63 эт. - 84 Деп.

2. Грязнов Р.Н. Согласование сварочной нагрузки с источником питания // Сварочное производство: Межвуз.сб.-Ижевск,ИМИ, 1977. - Вып.І. - С.45-49.

3. Каганов Н.Л., Грязнов Р.Н., Дзгоев Ф.Д. К взаимосвязи стабильности качества и электрических параметров в процессе конденсаторной сварки // Механизация и автоматизация сварочного производства. Тез.докл.Белорус.респ.науч.-техн.конф.-Могилев, 1972. - С.35-37.

4. Грязнов Р.Н., Бедердинов Р.Ф., Губанов В.П. Устройства для сварки корпусов полупроводниковых приборов // Электротехническая промышленность. Сер. Электросварка.-1973. - Вып.І (16). - С.4-5.

5. Грязнов Р.Н. Диагностирование машин контактной сварки по эквивалентной модели // Экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов в сварочном производстве. Тез.докл.Всесоюзн. конф. - Челябинск, 1986. - С. 89.

6. А.с. 825291 МКИ В23К 11/24 Устройство для контроля сварного соединения /Н.А.Абрамов, Р.Н.Грязнов, А.А.Пермяков и др. // Открытия. Изобретения. - 1981. - № 16.

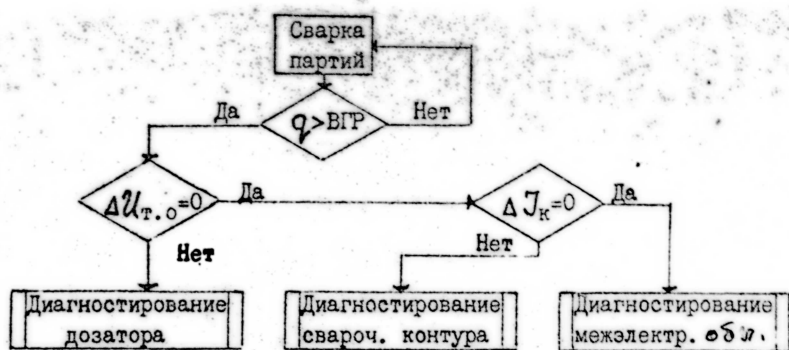


Рис.1. Локализация неисправностей по компонентам системы КМ - МЭО при **ухудшении** ее работоспособности.

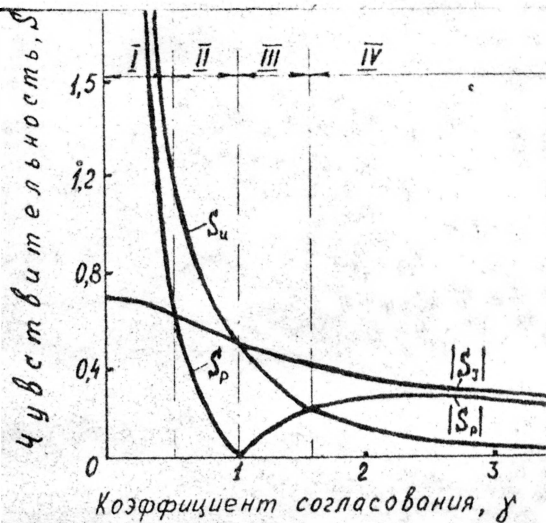


Рис.2. Влияние согласования диагностируемого участка со сварочной цепью на чувствительность электрических ДВ.

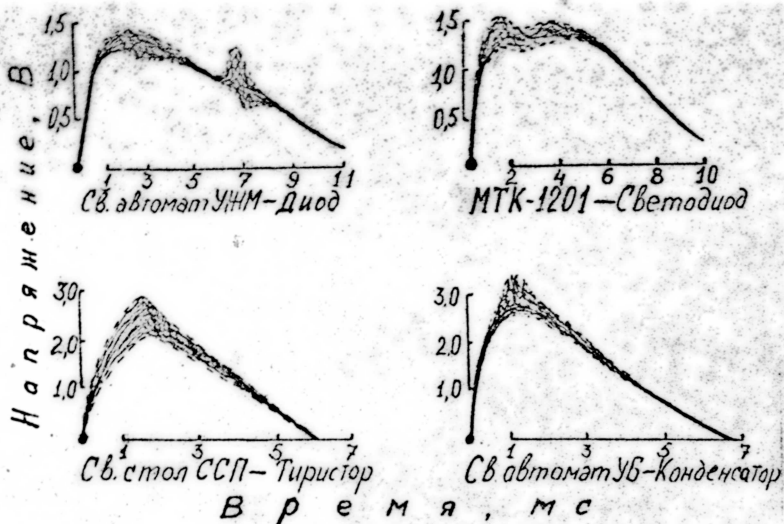


Рис.3. Зоны отклонения напряжения на электродах в различных системах КМ - МЭО.