

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОНДЕНСАТОРОВ

УДК 621.317+681.183 : 621.319.4

(обзор)

Массовое производство электрических конденсаторов является достаточно сложным процессом, требующим контроля большого количества технологических операций и последующей их корректировки. При этом контролю подлежат преимущественно электрические параметры конденсаторов и их составных элементов.

Несомненно, что автоматизация контроля в электроконденсаторостроении имеет особое значение. Широкое применение автоматического контроля позволяет улучшить качество выпускаемой продукции, увеличить производительность труда, повысить эффективность использования исходных материалов. Внимание к решению задач автоматического контроля в данной области производства начало проявляться еще в пятидесятые годы, когда в связи с бурным развитием электро- и радио-приборостроения и электронной техники особо остро стала ощущаться потребность в массовых радиодеталях, в частности в электрических конденсаторах, параметры которых удовлетворяли бы определенным достаточно жестким требованиям, несмотря на широкий разброс, обусловливаемый технологической спецификой данной отрасли производства. К тому времени были созданы уже и значительные предпосылки для решения таких задач прежде всего на основе мостовых и других электроизмерительных цепей уравнивания [1—3], а также с использованием резонансного метода измерения [4, 5]. Соответствующие исследования, посвященные отдельным аспектам автоматизации контроля электрических параметров конденсаторов (емкость, тангенс угла потерь, сопротивление изоляции и др.), отражены, например, в [6—22].

В связи с актуальностью проблемы автоматического контроля конденсаторов, приобретающей в последние годы все более ярко выраженный характер проблемы высокопроизводительного контроля с повышенными метрологическими требованиями, на ее решение был направлен и цикл исследований, которые проводились в 1959—1966 годах в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР под научным руководством чл.-корр. АН СССР К. Б. Карандеева, д-ра техн. наук Ф. Б. Гриневича и автора данной статьи. В этих исследованиях внимание было обращено на поиск достаточно высокопроизводительных методов контроля параметров конденсаторов на низких частотах, изыскание точных и простых методов контроля конденсаторов с малыми поте-

рями, развитие методов контроля электрической прочности конденсаторов, изыскание высокопроизводительных методов контроля температурной стабильности параметров, использование обработки измерительной информации в процессе контроля, а также поиск эффективных методов нормирования исходных материалов при изготовлении конденсаторов. Результатом выполненной работы явились оригинальные методы и принципы автоматического контроля конденсаторов и серия действующих макетов высокопроизводительных устройств контроля, сортировки и нормирования конденсаторов. Большой вклад в исследования внесли научные сотрудники института канд. техн. наук В. П. Шульц, Т. Н. Мантуш, Б. Н. Панков и инж. М. А. Ахмаметьев и Е. А. Ковалев. Материалы по проведенной работе переданы ряду заинтересованных организаций для внедрения в практику производственного контроля.

В настоящем обзоре обсуждаются основные результаты указанного цикла исследований, имеющие принципиальное значение для решения задач высокопроизводительного контроля электрических конденсаторов при их массовом производстве*.

Контроль электрических параметров конденсаторов, как правило, должен осуществляться с высокой точностью, что обуславливает весьма жесткие требования к метрологическим характеристикам устройств автоматического контроля. Этим требованиям, в особенности при контроле комплексных параметров, достаточно полно отвечают устройства, в которых задание границ допусков и сравнение с ними значений контролируемых параметров осуществляются на входе устройств с помощью мостовых цепей.

Информация о значениях контролируемых параметров комплексного сопротивления (емкость, тангенс угла потерь) получается путем количественной оценки распределения напряжений и токов на элементах мостовой измерительной цепи [1]. При построении высокопроизводительных устройств контроля этих параметров на низких частотах методы, требующие уравнивания мостовых измерительных цепей, оказываются малоприменимыми. В таких случаях целесообразно использовать известный метод контроля, основанный на определении взаимного расположения на круговой диаграмме моста потенциальной точки измерительной ветви и области, соответствующей допустимым значениям контролируемых параметров [7]. Однако, как показал анализ [23], из-за необходимости выявления малых относительных приращений напряжений этот метод характеризуется низкой чувствительностью, что может привести к большой погрешности контроля. Введение аппроксимации границ области допустимых значений отрезками прямых и использование фазовых соотношений между напряжениями мостовой цепи позволили существенно улучшить этот метод [23, 24].

При аппроксимации границ области желательно использовать такие мостовые цепи, для которых отдельные границы имеют минимальную кривизну или даже представляют собой отрезки прямых. Это обеспечивает снижение погрешности контроля. В частности, в мостовых цепях с однородными плечами отношения погрешности контроля тангенса угла потерь, обусловленная аппроксимацией, отсутствует, а относительная погрешность контроля емкости δC равна [20]

$$\delta C = \frac{ig^2 \delta_{\max}}{2 + \delta X},$$

* В подготовке статьи принимали участие В. П. Шульц, Т. Н. Мантуш, Б. Н. Панков и М. А. Ахмаметьев. Автор выражает им глубокую признательность.

где $\operatorname{tg} \delta_{\max}$ — предельно допустимое значение тангенса угла потерь контролируемого конденсатора;

δX — относительное отклонение реактивной составляющей сопротивления контролируемого конденсатора от номинального значения, характеризующее соответствующую границу допуска по емкости.

Метод контроля с аппроксимацией границ области допустимых значений параметров пригоден при сравнительно невысоких требованиях к точности контроля, поскольку в неуравновешенном режиме мостовых цепей их метрологические свойства понижаются. Кроме того, при контроле малых значений $\operatorname{tg} \delta$ возникают затруднения, обусловленные необходимостью обнаружения малых фазовых углов выходных напряжений мостовой цепи. Метод успешно применяется в производстве электролитических конденсаторов [24, 25], тангенсы угла потерь которых находятся в пределах $\operatorname{tg} \delta = 0,05 \div 0,2$.

Высокая точность контроля бумажных, металlobумажных, слюдяных и других конденсаторов, имеющих сравнительно малые значения тангенса угла потерь ($\operatorname{tg} \delta = 10^{-2} \div 10^{-4}$) и широкие пределы допусков по емкости, может быть получена при использовании мостовых цепей, уравниваемых только по одному (основному) параметру. Применение в этих случаях развертывающего уравнивания позволяет создавать высокопроизводительные и сравнительно простые устройства контроля [26—29]. Величина емкости контролируемых конденсаторов определяется по углу поворота уравнивающего элемента в момент динамического равновесия мостовой цепи по этому параметру. Формирование уставок по емкости и их сравнение с величиной угла поворота оси уравнивающего элемента целесообразно осуществлять специальными устройствами кодирования, а формирование уставок по тангенсу угла потерь и сравнение с ними величины тангенса угла потерь контролируемого конденсатора производить в самой мостовой цепи.

Общая погрешность контроля емкости включает в себя погрешности мостовой измерительной цепи, устройств сравнения и кодирования, а также погрешность определения момента динамического равновесия. При использовании этого метода первая составляющая погрешности не превышает величины [25, 28]

$$|\delta C_{\max}| \leq \operatorname{tg}^2 \delta_{\max}.$$

Погрешность устройств кодирования можно уменьшить путем применения соответствующей логической обработки результатов контроля [25, 30]. Погрешность контроля емкости δC_d за счет неточного установления момента динамического равновесия при использовании логарифмического уравнивающего конденсатора определяется выражением [30]

$$\delta C_d = \Omega \frac{\tau}{\varphi_{\max}} \ln \frac{C_{\max}}{C_{\min}},$$

где C_{\max} , C_{\min} — максимальное и минимальное значения емкости образцового конденсатора;

φ_{\max} — угол поворота его ротора, соответствующий C_{\max} ;

Ω — угловая скорость вращения ротора ($\Omega = \text{const}$);

τ — задержка в определении момента равновесия.

Погрешность контроля тангенса угла потерь составляет незначительную величину от его максимально допустимого значения.

Например, для мостовой цепи [31] она равна

$$\Delta \operatorname{tg} \delta = - \frac{\omega R_2 C_3}{1 + A^{-1}} \delta C,$$

где R_2, C_3 — значения параметров элементов мостовой цепи, причем значение $\omega R_2 C_3$ меньше максимального значения $\operatorname{tg} \delta$;

δC — относительное отклонение значения емкости образцового конденсатора от величины, соответствующей равновесию;

A — плечевой коэффициент.

Рассмотренный метод контроля конденсаторов с малыми потерями был использован при создании высокопроизводительных и точных автоматических устройств контроля параметров слюдяных конденсаторов [28, 32].

Контроль таких параметров конденсаторов, как сопротивление изоляции и электрическая прочность, осуществляется при подаче на конденсатор постоянного напряжения. При контроле сопротивления изоляции можно использовать следующие известные методы измерения: метод вольтметра — амперметра, мостовой метод, метод разряда конденсатора. Первый из них не обеспечивает высокой точности, однако вследствие простоты его технической реализации широко используется в устройствах контроля и измерения сопротивления изоляции конденсаторов [10, 33—38].

Мостовой метод, несмотря на его несомненные достоинства (пониженные требования к входному сопротивлению указателя, независимость результатов измерения от изменения напряжения питания и др.), не нашел еще должного распространения ни в устройствах контроля, ни в устройствах измерения сопротивления изоляции конденсаторов. Применительно к устройствам измерения это, по-видимому, объясняется необходимостью уравнивания мостовой цепи, что увеличивает длительность процесса измерения и приводит к усложнению устройства. Однако в устройствах контроля сопротивления изоляции конденсаторов необходимость в уравнивании мостовой цепи отпадает, и применение этого метода следует считать целесообразным.

Метод разряда следует применять, по нашему мнению, в тех случаях, когда сопротивление изоляции конденсаторов оценивается по величине его постоянной времени. При этом имеется возможность построения устройств контроля, некритичных к выбору параметров источников питания, переключателей и указателей режима электроизмерительной цепи, что существенно упрощает создание и эксплуатацию подобных устройств контроля сопротивления изоляции.

При контроле электрической прочности различают полный и неполный пробой конденсаторов [10]. До недавнего времени неполный пробой конденсаторов вообще не контролировался. После того как было обнаружено, что неполный пробой слюдяных конденсаторов приводит к снижению их надежности, возникла необходимость контроля неполного пробоя этих конденсаторов. Решение данной задачи усложняется тем, что отсутствует критерий оценки неполного пробоя, учитывающий эксплуатационную надежность изготавливаемых конденсаторов. Последнее объясняется недостаточной изученностью физических процессов, происходящих в диэлектрике слюдяных конденсаторов при пробое.

Эффективность контроля неполного пробоя можно повысить, если в качестве критерия использовать количество энергии, затрачиваемой при однократном пробое конденсатора. Техническая реализация метода с использованием этого критерия сравнительно проста [39]. Основным

элементом устройства является преобразователь энергии W однократного неполного пробоя в импульс напряжения

$$u = \frac{W}{E(C + C_x)} \exp\left[-\frac{t}{\tau}\right],$$

где E — испытательное напряжение;
 C — емкость конденсатора в цепи преобразователя;
 C_x — емкость контролируемого конденсатора;
 τ — постоянная времени цепи.

Как видно из приведенного выше выражения, амплитуда импульса пропорциональна W и при $C \gg C_x$ не зависит от величины емкости контролируемого конденсатора.

Измерительная информация, получаемая в процессе контроля отдельных электрических параметров конденсаторов, подвергается логической, статистической и другим видам обработки.

Если контроль параметра осуществляется только по одному интервалу его допустимых значений, то формирование результата контроля является элементарным. Это имеет место при контроле тангенса угла потерь, сопротивления изоляции, электрической прочности конденсаторов.

Однако при значительном числе интервалов, что характерно для контроля конденсаторов по емкости, для формирования результата контроля необходимо выполнять более сложные логические операции. Кроме того, шкалы допусков по классам точности соседних номиналов емкости перекрываются [40], обуславливая тем самым различные возможные варианты представления результатов контроля и необходимость дополнительной логической обработки. В критериях, определяющих выбор того или иного варианта, могут учитываться такие факторы, как стоимость конденсаторов различных номиналов и классов точности, затраты материалов, возможность скорейшего сбыта продукции и т. п. Осуществление такой обработки требует получения информации о всех номиналах и классах точности, к которым может быть отнесен конденсатор с данным значением емкости. Эта информация поступает на вход логического устройства, которое в соответствии с задаваемыми программой критериями производит выбор оптимального варианта контроля [41—43]. В зависимости от количества номиналов и классов точности, по которым одновременно осуществляется контроль, для обработки информации могут использоваться параллельные или последовательные логические устройства. При значительном числе номиналов и классов точности целесообразнее использовать последовательные логические устройства, так как они оказываются более простыми по структуре и упрощают программирование контроля. Параллельные логические устройства следует применять при незначительном числе групп контроля [30, 44].

Для получения информации, поступающей на вход логического устройства программного контроля, необходимо произвести кодирование выходной величины измерительной цепи в соответствии с классами точности учитываемых номиналов. Кодирование устройств оказываются весьма простыми по конструкции и удобными в эксплуатации, если между выходной величиной измерительной цепи и контролируемым параметром обеспечивается логарифмическая зависимость [25, 45].

В качестве кодирующих устройств нередко используются устройства пространственного кодирования. Для уменьшения погрешности этих устройств, обусловленной конечными размерами считывающих элементов, кодирование необходимо производить таким образом, чтобы на

границе двух соседних интервалов сигнал от одного из них был запрещающим для сигнала от другого. При этом границы интервалов фиксируются с высокой точностью [25, 30].

Обработка информации в процессе контроля температурного коэффициента емкости связана с определением этого параметра по результатам измерения емкости, полученным при двух значениях температуры. Эффективное решение данной задачи получается в том случае, когда в автоматическом контрольно-измерительном устройстве используются мостовая цепь, уравниваемая динамически с помощью логарифмического образцового конденсатора, и устройство оперативной памяти для хранения начальных и конечных значений емкости контролируемых конденсаторов [32]. При таком построении автоматического устройства значительно повышается его производительность, упрощается обработка результатов измерения, снижаются требования к метрологическим характеристикам измерительной цепи.

Особо существенное повышение производительности контроля ТКЕ и упрощение схемы обработки измерительной информации можно получить, если в качестве устройства оперативной памяти в автомате контроля ТКЕ использовать многодорожечный магнитный барабан, вращающийся синхронно с ротором логарифмического образцового конденсатора, с применением шагающей магнитной головки [32, 46]. Во всех перечисленных выше случаях построения устройств автоматического контроля ТКЕ конденсаторов максимально возможная высокая производительность автомата при прочих равных условиях обеспечивается только в том случае, если предусмотрено поочередное подключение в измерительную цепь автомата контролируемых конденсаторов с начальным и конечным значениями измеряемой емкости. Такое подключение не представляет затруднений и может быть реализовано, например, путем использования черезпозиционношагающих циклических переключателей или несущих дисков с нечетным количеством позиций [32, 46].

Весьма эффективными, но, к сожалению, не нашедшими еще должного применения в конденсаторостроении являются статистические методы контроля. Основываясь на получаемых в результате статистического контроля данных, можно производить настройку технологического оборудования, оценивать точность выполнения технологических процессов, качество исходных материалов и т. п.

Одним из наиболее распространенных методов статистической обработки результатов измерения является построение кривых распределения по контролируемому параметру. В свою очередь, наиболее простым способом построения этих кривых является гистограммный способ, при котором контролируемые конденсаторы группируются в соответствии с выбранными интервалами значений параметра. Операции измерения параметров и группирования полученных результатов могут быть совмещены в измерительном устройстве [47, 48]. Информацию о распределении параметров по отдельным интервалам можно получить в простейшем случае с помощью счетчиков числа конденсаторов, отнесенных в каждую группу [49], или с помощью специальных устройств [50], осуществляющих по данным контроля построение гистограмм.

Следует отметить, что в настоящее время имеется возможность построения высокопроизводительных устройств для статистического контроля электрических конденсаторов не только по такому, уже используемому для статистической оценки параметру, как емкость, но и по другим не менее важным параметрам, в частности по ТКЕ [32].

Особенности конденсаторного производства требуют выполнения с высокой точностью операций по определению количества исходных ма-

териалов, расходуемых на изготовление одного изделия. В этой связи представляет интерес использование методов автоматического нормирования исходных материалов в процессе изготовления секций конденсаторов. Эти методы должны учитывать качество исходных материалов, влияние последующих технологических операций на величину емкости намотанных секций конденсаторов и погрешность автоматических устройств намотки.

Полный учет качества исходных материалов может быть произведен в том случае, когда в процессе нормирования контролируется непосредственно емкость изготавливаемых секций. Как показала практика, емкость наматываемой секции с номинальным значением емкости готового конденсатора. Для бумажных и металобумажных конденсаторов эта связь представляется зависимостью $C_T = C_n (a + b \operatorname{tg} \delta + c \operatorname{tg}^3 \delta)$, где C_T — требуемое значение емкости наматываемой секции; C_n — номинальная емкость конденсаторов; a, b, c — постоянные коэффициенты для заданного типа конденсаторов и конкретного технологического режима.

Погрешность автоматических устройств намотки вызывается, в основном, двумя причинами: запаздыванием в выдаче сигнала на отрезку исходных материалов в момент достижения емкостью секции заданного значения и наличием конечного расстояния между наматываемой секцией и узлом отрезки устройства намотки. Для исключения этой погрешности необходимы экстраполяционные методы нормирования, позволяющие определять неконтролируемую часть емкости секции на основе предыдущих значений удельной емкости исходных материалов.

При изготовлении секций электролитических конденсаторов вполне приемлемым оказывается метод нормирования с использованием ступенчатой экстраполяции [51], в котором неконтролируемая часть емкости наматываемой секции принимается равной аналогичной части емкости предыдущей секции. Погрешность нормирования определяется разностью значений неконтролируемых частей соседних секций и практически составляет несколько процентов.

При изготовлении бумажных и металобумажных конденсаторов необходимо применять методы нормирования, учитывающие изменение емкости секций после их намотки, поскольку это изменение может составлять десятки процентов. В этом случае должна осуществляться экстраполяция не только значения неконтролируемой части емкости наматываемой секции, но и значения тангенса угла потерь секции в целом. Точность нормирования может быть повышена путем применения экстраполяции по значениям параметров ряда предыдущих секций. Перечисленным требованиям удовлетворяет метод нормирования, описанный в [25, 52]. Абсолютная погрешность нормирования секций ΔC_i при использовании этого метода определяется выражением

$$\begin{aligned} \Delta C_i = & \Delta C_{T(i-1)} - \Delta C_{T_i} - (C_{n1} - \tau C_{y_{д0}}) (1 - K)^{i-1} + \\ & + \sum_{r=1}^{i-2} (\Delta C_{T(r+1)} - \Delta C_{T_r}) (1 - K)^{i-2-r} - K \tau \sum_{s=1}^{i-1} \Delta C_{y_{дs}} (1 - K)^{i-1-s} + \\ & + \tau \Delta C_{y_{дi}}, \end{aligned}$$

где $C_{т(i-1)}$, — требуемое значение емкости ($i-1$)-й секции; $C_{к1}$ — начальное значение емкости коррекции; τ — суммарное время запаздывания при отрезке исходных материалов; $C_{уд0}$, $\Delta C_{удi}$ — постоянная и переменная (случайная) составляющие среднего значения удельной емкости неконтролируемой части секции; K — коэффициент передачи вычислительного блока по каналу коррекции уставки.

Экспериментальная проверка метода показала, что погрешность нормирования секций бумажных конденсаторов практически не превышает 3% от требуемых значений емкости.

При технической реализации различных методов точность массового контроля конденсаторов характеризуется вероятностями получения ошибочных результатов контроля. Поскольку ошибочный результат контроля получается в том случае, когда значения контролируемого параметра находятся вблизи границ допусков и попадают в зону, определяемую погрешностью устройства, то при оценке точности контроля необходимо учитывать как погрешность устройства, так и характер распределения контролируемых параметров [53]. Для оценки точности контрольно-сортировочных устройств целесообразно использовать долю конденсаторов, неправильно отнесенных к соответствующей группе сортировки. Эта величина определяется отношением вероятностей ошибочного попадания к общей вероятности попадания конденсаторов в данную группу, которые могут быть найдены при известных законах распределения контролируемого параметра и погрешности устройства контроля [30, 53, 54].

Рассмотренные выше методы были положены в основу следующих устройств: автомата для контроля электролитических конденсаторов, автомата для контроля слюдяных конденсаторов, автоматического устройства для статистического контроля конденсаторов, автомата для контроля конденсаторов по температурному коэффициенту емкости, устройств для автоматического нормирования электролитических и бумажных конденсаторов [24, 28, 46, 48, 55—57].

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Б. Карандеев. Мостовые методы измерений. Киев, Гостехиздат УССР, 1953.
2. А. Д. Нестеренко. Основы расчета электроизмерительных схем уравновешивания. Киев, Изд-во АН УССР, 1953.
3. V. Hague. Alternating Current Bridge Methods. 5-th edition. London, Pitman, 1959.
4. Д. М. Казарновский. Испытание радиотехнических материалов и деталей. М., Госэнергоиздат, 1953.
5. L. Hartshorn. Radio-Frequency Measurements by Bridge and Resonance Methods. J. Wiley, 1940.
6. Г. Н. Зубрицкий, А. Д. Шляпников, Г. Д. Демещенко. Автомат для отрезки анодных пластин электролитических конденсаторов. Авторское свидетельство № 122211. Бюллетень изобретений, 1959, № 17.
7. Р. Д. Грицькив. Техника измерения индуктивности катушек с ферромагнитными сердечниками. Львов, МВО УССР, 1957.
8. В. С. Михлин. Автоматизация электрических измерений конденсаторов и сопротивлений. — Радиоэлектронная промышленность, 1958, № 8.
9. Н. В. Кашин. Механизация и автоматизация производства радиодеталей. Л., Судпромгиз, 1960.
10. В. В. Карпихин. Массовые измерения в производстве радиоконденсаторов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.
11. М. С. Ройтман. Некоторые вопросы автоматизации контроля комплексных сопротивлений. — Труды конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1961.
12. Н. П. Помухин, Ю. Б. Герасименко, С. А. Белдовский, Ю. В. Несповинский, С. В. Тантон. Автомат контроля электрических параметров конденсаторов ЭТО-1. — Конференция по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Тезисы докладов и сообщений. Новосибирск, 1962.

13. С. В. Тантон. Полуавтомат контроля электрических параметров электролитических конденсаторов типа КЭ.— Автоматический контроль и методы электрических измерений (Труды II конференции). Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962.
14. А. Д. Шляпников. Автомат сортировки металлизированной слюды по емкости.— Автоматический контроль и методы электрических измерений (Труды II конференции). Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962.
15. Производство радиодеталей. Каталог оборудования. Харьков, «Прапор», 1964.
16. С. Л. Эпштейн. Измерение характеристик конденсаторов. М., «Энергия», 1965.
17. В. Ю. Кнеллер. Автоматическое измерение составляющих комплексного сопротивления. М.—Л., «Энергия», 1967.
18. R. D. Campbell, E. I. Tolal. Automatic Limit Bridge for Production Testing.— Electronics, 1948, v. 21, № 6.
19. S. D. Вгезкэнд, J. I. Соорерман, P. T. Franklin. Bridge Sorts Capacitors to Tolerance.— Electronics, 1957, v. 30, № 1.
20. Automatically winds capacitors.— Electronics, 1959, v. 32, № 22.
21. R. C. Odell, H. C. Frenzler, J. M. Netzler. Capacitor pack winding machine. Патент США, кл. 242—67, № 2944753, 12/VII 1960.
22. W. R. Shillington. Capacitance measuring and dielectric strenght test self. Патент США, кл. 324—60, № 3042860, 8/VII 1962.
23. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневиц, В. П. Шульц. Некоторые методы автоматического контроля параметров электролитических конденсаторов.— Автоматический контроль и электрические измерения. Труды ИАЭ СО АН СССР, вып. 1. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1960.
24. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневиц, В. П. Шульц. Автоматический мост для разбраковки электролитических конденсаторов.— Автоматический контроль и электрические измерения. Труды ИАЭ СО АН СССР, вып. 2. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1960.
25. В. П. Шульц. Некоторые методы автоматического контроля и нормирования электрических конденсаторов. Автореф. канд. дисс. Новосибирск, 1966.
26. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневиц, В. П. Шульц. О построении автоматических мостовых устройств сортировки слюдяных конденсаторов.— Автоматический контроль и методы электрических измерений (Труды II конференции). Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962.
27. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневиц, В. П. Шульц, Т. Н. Мантуш. Некоторые вопросы автоматизации сортировки конденсаторов.— Труды конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1961.
28. Ф. Б. Гриневиц. Автоматические мосты переменного тока. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.
29. Е. А. Ковалев, К. М. Соболевский, В. П. Шульц. Многопредельное компенсационно-мостовое устройство с динамическим уравниванием для контроля и сортировки электрических конденсаторов. Авторское свидетельство № 171911. Бюллетень изобретений, 1965, № 12.
30. Т. Н. Мантуш. Исследование способов и устройств логической обработки данных при автоматическом контроле и сортировке конденсаторов по электрическим параметрам. Автореф. канд. дисс. Новосибирск, 1966.
31. В. П. Шульц, В. Е. Бутт. Мост переменного тока для измерения параметров конденсаторов. Авторское свидетельство № 160756. Бюллетень изобретений, 1965, № 1.
32. Е. А. Ковалев, К. М. Соболевский. Об одном классе устройств высокопроизводительного контроля и измерения временных изменений электрических параметров.— Автометрия, 1967, № 1.
33. Ф. Б. Гриневиц, М. А. Ахмаметьев, Н. Ф. Балинец. Устройство для автоматического контроля сопротивления изоляции емкостей. Авторское свидетельство № 141943. Бюллетень изобретений, 1961, № 20.
34. Ф. Б. Гриневиц, М. А. Ахмаметьев. Схема устройства для сортировки слюдяных конденсаторов по сопротивлению изоляции.— Электрические методы автоматического контроля. Труды ИАЭ СО АН СССР, вып. 3. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1961.
35. Ф. Б. Гриневиц, М. А. Ахмаметьев. Об одной схеме автоматического контроля сопротивления изоляции радиодеталей. Электрические методы автоматического контроля. Труды ИАЭ СО АН СССР, вып. 5. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962.
36. М. А. Ахмаметьев, Н. Ф. Балинец, Ф. Б. Гриневиц, В. П. Шульц. Устройство для автоматического контроля сопротивлений изоляции радиодеталей. Авторское свидетельство № 167251. Бюллетень изобретений, 1965, № 1.
37. Г. Ф. Панкратов. Методы измерения больших сопротивлений на постоянном токе.— Энциклопедия измерений, контроля и автоматизации, вып. 2. М.—Л., «Энергия», 1964.

38. Приборы и установки для измерения больших сопротивлений (обзор). М., ЦИНТИ, 1960.
39. М. А. Ахмаметьев, К. М. Соболевский, В. П. Шульц. Контрольно-измерительный блок устройства для разбраковки по электрической прочности слюдяных конденсаторов. Авторское свидетельство № 167547. Бюллетень изобретений, 1965, № 2.
40. Конденсаторы СССР. Государственные стандарты. М., Стандартгиз, 1960.
41. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневич, Т. Н. Мантуш. Вычислительное устройство для сортировки радиодеталей. Авторское свидетельство № 147029. Бюллетень изобретений, 1962, № 9.
42. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневич. Автоматический массовый контроль радиодеталей.— Вестник АН СССР, 1963, № 6.
43. Ф. Б. Гриневич, Т. Н. Мантуш. Обработка информации в автоматах сортировки радиодеталей.— Изв. СО АН СССР, серия техн. наук, 1964, вып. 3, № 10.
44. Т. Н. Мантуш. Некоторые вопросы синтеза логических устройств автоматов сортировки радиодеталей.— Электрические методы автоматического контроля. Труды ИАЭ СО АН СССР, вып. 9. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1963.
45. В. П. Шульц. Измерительное устройство для автомата разбраковки радиодеталей. Авторское свидетельство № 175541. Бюллетень изобретений, 1965, № 20.
46. Н. Ф. Балинец, И. Ф. Ивлев, Е. А. Ковалев, К. М. Соболевский. Устройство для контроля и сортировки радиодеталей по температурному коэффициенту электрического параметра. Авторское свидетельство № 169592. Бюллетень изобретений, 1965, № 7.
47. Б. Н. Панков, В. П. Шульц. О построении измерительной части устройства для статистического контроля конденсаторов по емкости.— Электрические методы автоматического контроля. Труды ИАЭ СО АН СССР, вып. 5. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962.
48. Б. Н. Панков, В. П. Шульц. Устройство для статистического контроля конденсаторов по емкости.— Передовой научно-технический и производственный опыт, № 35—63—392/3. М., ГОСИНТИ, 1963.
49. Ф. Е. Темников. Статистическая индикация (регистрация) при автоматическом централизованном контроле производственных и испытательных процессов.— Автоматический контроль и электрические измерения (Труды IV конференции), т. II. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.
50. Н. С. Василенко, Б. П. Зеленцов, С. Е. Ткач. Автоматическое построение кривой распределения по параметру при статистическом контроле.— Автоматический контроль и методы электрических измерений (Труды III конференции), т. II. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.
51. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневич, В. П. Шульц. Об одной схеме автоматического нормирования секций электролитических фольговых конденсаторов.— Автоматический контроль и электрические измерения. Труды ИАЭ СО АН СССР, вып. 1. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1960.
52. В. П. Шульц, Ю. Я. Шагалов. Метод управления намоткой секций электрических конденсаторов с использованием принципа самоустанавливающейся программы.— Кибернетические пути совершенствования измерительной аппаратуры. Тезисы докладов конференции. Л., ОНТИ ВНИИЭП, 1966.
53. М. И. Коченов. Некоторые вопросы точности автоматического контроля размеров.— Измерительная техника, 1959, № 11.
54. В. М. Ефимов, Т. Н. Мантуш, В. И. Рабинович. Об оценке точности сортировки.— Измерительная техника, 1967, № 12.
55. В. П. Шульц, Ю. Я. Шагалов. Устройство для управления намоткой секций рулонных конденсаторов постоянной емкости. Авторское свидетельство № 175141. Бюллетень изобретений, 1965, № 19.
56. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневич, Т. Н. Мантуш. Логическое устройство выбора оптимального варианта автоматической сортировки изделий.— Приборостроение, 1961, № 12.
57. Мостовые методы измерения емкостей, индуктивностей и сопротивлений на переменном токе. Ускорение контрольно-измерительных процессов при повышенных точностях. Проспект ВДНХ СССР. М., 1965.

*Поступила в редакцию
20 июня 1967 г.*