

На правах рукописи

ГОЛОШАПОВ Сергей Степанович



РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВАРИКАПОВ

Специальность 05.13.07 – Автоматизация технологических
процессов и производств

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Херсон – 1996



Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Херсонском производственном концерне "Днепр".

Научный руководитель: – доктор технических наук,
профессор В. З. Лубяный

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Шарко А. В.
кандидат технических наук, доцент Попруга А. Г.

Ведущая организация: Акционерное общество "Бригантина".

Защита состоится "7" 05 1996 года, в "12" часов
на заседании специализированного совета К19.01.03 при
Херсонском индустриальном институте.

Адрес: 320008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Херсонского
индустриального института.

Автореферат разослан "5" 04 1996 г.

Ученый секретарь специализированного
совета К19.01.03, кандидат технических
наук, доцент

 А. И. Палченко

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы. Одной из важных задач развития научно-технического прогресса в народном хозяйстве страны является автоматизация производства изделий электронной промышленности. Селекторы теле- и радиоаппаратуры, системы автоматической подстройки частоты базируются на использовании варикапов - полупроводниковых конденсаторов, емкость которых зависит от приложенного напряжения смещения. При массовом производстве варикапов контроль их параметров составляет значительную, а в отдельных случаях и определяющую, долю общей трудоемкости изготовления.

Получение варикапов высокого качества с идентичными и стабильными характеристиками, снижение трудоемкости их производства диктует необходимость разработки, создания и внедрения в производство автоматического высокопроизводительного и высокоточного контрольно-измерительного оборудования. Наиболее важным этапом автоматизации технологических процессов изготовления варикапов является разработка устройств автоматического контроля высокочастотных параметров: емкости (С), коэффициента перекрытия по емкости (K_C), идентичности вольт-фарадных характеристик (ВФХ) комплекта варикапов (δC) и добротности (Q). Наличие различных методов измерения одних и тех же параметров требует четкого разделения области применения каждого из них в зависимости от требований, возлагаемых на то или иное средство контроля в части быстродействия, точности и простоты при аппаратной реализации.

Существующие измерители емкости, с точки зрения измерения варикапов, имеют излишне широкий диапазон измерения, усложняющий и удорожающий стандартные средства измерений. Бы-

пускаемые серийно измерители добротности в ряде случаев не обеспечивают требуемый режим измерения и имеют низкую точность. Кроме того, выпускаемые промышленностью приборы имеют ограниченные функциональные возможности: измерители емкости не позволяют непосредственно контролировать K_c и δC , а измерители добротности не позволяют непосредственно измерять добротность варикапа, а лишь добротность контура, в состав которого включен испытуемый прибор. Следует также отметить, что невысокое быстродействие стандартных средств измерения делают невозможным их использование при массовом производстве варикапов. Поэтому, поскольку априорные сведения о состоянии объекта контроля известны, существует реальная возможность упростить построение измерительных схем по отношению к известным, как правило, повысив их быстродействие, надежность, а при разработке средств автоматического контроля уделить внимание непосредственному контролю коэффициента перекрытия, степени идентичности ВФХ и добротности варикапов в автоматическом режиме.

С целью автоматизации операций контроля и получения необходимой производительности транспортировка варикапов на измерительную позицию и последующая разгрузка в приемные емкости производится с помощью автоматических устройств загрузки-выгрузки с кинематической производительностью 2-2,5 прибора в секунду, что обеспечивает годовую производительность около 20 млн шт, в большинстве случаев удовлетворяющую производство. В таком режиме гарантированное время нахождения испытуемого прибора на измерительной позиции составляет не более 100-150 мсек. За это время необходимо снять несколько измерительных отсчетов, вычислить необходимые параметры (K_c , δC , Q), произвести контроль измеренных и вычислен-

ных параметров на соответствие заданным границам и на основании этого получить общую характеристику прибора по принципу "Годен-Брак".

Целью работы является создание новых специализированных способов и устройств автоматического контроля, разделение области применения существующих методов, а также разработка и внедрение в производство автоматического контрольно-измерительного оборудования для контроля высокочастотных параметров варикапов с автоматической калибровкой.

Научная новизна заключается в том, что предложены:

- новые структуры автоматических средств контроля емкостных параметров с повышенной точностью и быстродействием;

- математическая модель измерительного контура добротности:

- новые структуры автоматических средств контроля добротности с повышенной точностью;

- способ определения добротности контуров методом расстройки частоты при фиксированных частотах измерения.

Практическая значимость работы состоит в анализе применения различных методов измерительного контроля емкостных параметров и добротности. Для условий массового и многономенклатурного производства разработаны специализированные базовые модели для построения автоматических средств контроля высокочастотных параметров варикапов в зависимости от возлагаемых на них требований. Разработкой, созданием и внедрением этих промышленных установок решена задача автоматизации контроля качества выпускаемой продукции.

Новизна технических решений подтверждается 11 авторскими свидетельствами на изобретения. Работы, положенные в основу диссертации выполнялись на основе тематических планов

НИР и ОКР Херсонского и Скадовского заводов полупроводниковых приборов. В работе обобщены результаты по созданию автоматических средств контроля параметров варикапов, изготовленных и внедренных в период 1975-1991 гг. при личном участии автора.

На защиту выносятся структурные схемы автоматических средств контроля:

- емкостных параметров на основе емкостно-омического делителя;

- ВФХ с повышенной точностью и быстродействием на основе частотного метода измерения емкости;

- добротности с моделированием параметров измерительного контура как функции испытываемой емкости;

- добротности с автоматической калибровкой и разделением составляющих измерительного тракта в различной степени подверженных временному и температурному дрейфу.

Апробация. Основные результаты диссертационной работы доложены и получили положительную оценку на всесоюзных научно-технических конференциях "Радиоизмерения 91", Севастополь, 1991г. и "Применение вычислительной техники и математических методов в научных и экономических исследованиях", Киев, 1991г., также обсуждались на научно-технических советах предприятия.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе: статей в научно-технических журналах - 5, авторских свидетельств - 11.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений и списка использованных источников. Общий объем составляет 158 страниц, включая 27 рисунков, и список литературы из 103 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируется цель, научная новизна, практическая значимость результатов работы и основные научные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 на основании обзора литературы рассмотрены следующие методы измерения емкости: метод замещения в резонансном контуре, мостовые методы, метод прямого преобразования входного имитанса в напряжение, метод емкостно-омического делителя, частотный метод и средства измерения, выпускаемые промышленностью.

Показана необходимость создания новых специализированных устройств для автоматического контроля емкостных параметров (C , K_C , δC) и добротности (Q).

Из методов измерения добротности: отношения напряжений, вариации емкости, самовозбуждения, ударного возбуждения, расстройки частоты, ГОСТ 18986.19-76 выделены два последних метода, из методов измерения емкости - методы емкостно-омического делителя и частотный, как наиболее приемлемые для построения автоматических средств контроля.

В главе 2 изложены принципы построения автоматических средств контроля емкостных параметров на основе методов емкостно-омического делителя и частотного.

При использовании метода емкостно-омического делителя на выходе измерительного устройства, содержащего высокочастотный генератор, источник напряжения смещения, усилитель и детектор формируется сигнал, пропорциональный значениям емкости испытуемого варикапа. Отношение значения емкости C_1 при минимальном смещении к емкости C_2 при максимальном сме-

шении определяет K_c варикапа. В качестве делительного устройства целесообразно использовать множительный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Для определения параметра δC с помощью ЦАП необходимо привести сигнал, пропорциональный уровню емкости в i -той точке ВФХ, к постоянному уровню U_{01} , а затем при подключении второго варикапа определить значение $\Delta U = \Delta C_i / C_{i1} \cdot U_{01}$, где ΔC_i - разность емкостей 1-го и 2-го варикапов в i -той ВФХ, C_{i1} - емкость 1-го варикапа в i -той точке. Величина $\delta C = \Delta C / C_{i1}$ выражает степень идентичности 2-го варикапа по отношению к 1-му в i -той точке ВФХ.

Параметр δC является относительной величиной, поэтому временной и температурный дрейф измерительного тракта не влияет на результаты испытаний. Однако, при контроле параметров C и K_c нестабильность измерительного тракта приводит к существенной погрешности, что диктует необходимость введения автоматической калибровки, которая производится при подключении калибровочных емкостей C_{K1} и C_{K2} , значения которых должны находиться вблизи ожидаемых значений испытуемой емкости. Коррекция коэффициента усиления измерительного тракта осуществляется в этом случае с помощью двух ЦАП, соединенных последовательно [1,6]. В этом случае один из ЦАП выполняет роль основного. С помощью его производится автоматическая калибровка при подключении емкости C_{K1} , вычисление K_c и δC . Второй ЦАП вспомогательный для автоматической калибровки при подключении C_{K2} . Можно показать, что в этом случае выходной сигнал при контроле K_c не зависит от коэффициентов усиления измерительного тракта и равен:

$$U_{\text{вых}} = \frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{U_{02} \cdot U_{03}}{U_{01}} \cdot \frac{C_{K1}}{C_{K2}},$$

где U_{01} , U_{02} , U_{03} - опорные уровни, к которым приводятся коэффициенты усиления измерительного тракта, а именно:

U_{01} - при подключении C_{K1} ; U_{02} - при подключении C_{K2} ;

U_{03} - при формировании варикапом емкости C_f .

Для уменьшения влияния шумовой составляющей сигнала между детектором и ЦАП включается интегратор с переменной постоянной времени, которая резко уменьшается при замыкании вспомогательного ключа. При этом ключ кратковременно замыкается при изменении режима контроля и емкость интегратора быстро перезаряжается до нового уровня сигнала [1, 7].

На базе описанных устройств был разработан и внедрен классификатор комплектов варикапов с погрешностью контроля K_C не более 2% и δC не более 0,5% в диапазоне емкости от 1,8 до 50 пФ. Указанная погрешность контроля δC обусловлена оставшейся шумовой составляющей сигнала, конечной чувствительностью компараторов, дрейфом компараторов и источника опорных напряжений.

Для уменьшения погрешности контроля δC необходимо повышать разрешающую способность устройства путем применения частотного метода измерения емкости, имеющего высокую разрешающую способность, который, однако, обладает существенным недостатком, заключающемся в непостоянстве собственной емкости генератора в диапазоне измеряемых емкостей, что приводит к значительной погрешности контроля. Влияние непостоянства собственной емкости C_0 преобразователя можно значительно уменьшить, разбив измеряемый диапазон на ряд участков, в пределах каждого из которых можно считать значение C_0 постоянным. Для этого в LC-генератор встраивается варикап, при подаче на который ряда значений напряжения смещения формируются значения калибровочных емкостей C_K [2, 12].

Каждой емкости C_{kj} ($j=0, 1, 2, \dots, n$) соответствует свой период колебаний генератора T_{kj} .

При контроле малых значений емкости с достаточной разрешающей способностью частота LC-генератора должна измеряться за довольно длительное время - десятки миллисекунд. Для обеспечения более высокого быстродействия и необходимой точности целесообразно производить измерение $2^{i2} - 2^{i3}$ периодов колебаний генератора с опорной частотой 50-100 МГц. В таком решении отсчет значений периода с требуемой точностью производится за время не более 1-2 мс.

При отсутствии испытуемого варикапа на измерительной позиции считывается ряд значений T_{kj} , соответствующие уровням емкостей C_{kj} . Расчет массива C_{oj} производится по формуле:

$$C_{oj} = \frac{T_{kj}^2 C_{k(j+1)} - T_{k(j+1)}^2 \cdot C_{kj}}{T_{k(j+1)}^2 - T_{kj}^2}.$$

Затем на измерительную позицию ставится испытуемый варикап, на который подается требуемое напряжение смещения, и считывается значение периода T_x , соответствующее уровню испытуемой емкости C_x , значение которой определяют как:

$$C_x = (C_{oj} + C_{kj}) \left(\frac{T_x}{T_{kj}} \right)^2 - C_{oj}$$

при $T_{kj} \leq T_x \leq T_{k(j+1)}$.

При контроле ВФХ значения C_x определяются для ряда напряжений смещения. Расчет значений C_{oj} и C_x производится с помощью микро-ЭВМ "Электроника МС 1201". Ряд значений напряжения смещения, подаваемого на встроенный и испытуемый варикапы формируется с помощью ЦАП, управляемого от ЭВМ.

Несимметричность конструкции испытуемого варикапа вносит дополнительную погрешность при контроле δC . Для устранения влияния несимметричности испытуемых емкостей необходимо индуктивность преобразователя емкость-частота выполнить со

средней точкой, которая подключается к общей шине [2, 8].

На базе описанного алгоритма вычисления ВФХ изготовлена система контроля комплектов с погрешностью контроля δC не более 0,3% в диапазоне емкостей от 1,9 до 50 пФ производительностью 2,5 шт/сек. Указанная погрешность δC обусловлена, в основном, автоматическим устройством загрузки-выгрузки из-за непостоянства места нахождения испытуемых варикапов на позиции контроля и влияния движущихся частей механизма загрузки. Реальная погрешность δC только средства контроля при неподвижном приборе не превышает 0,1%.

В главе 3 рассмотрены способы и принципы построения автоматических средств контроля добротности на основе метода измерения ГОСТ 18986.19-76 и метода расстройки частоты.

С целью автоматизации операции настройки измерительного контура в резонанс в качестве конденсатора переменной емкости целесообразно использовать варикап, потери которого, даже если он и высокодобротный, необходимо учитывать.

Анализ работы измерительного контура удобнее всего производить по схеме замещения, которая представляет собой последовательный резонансный контур, состоящий из индуктивности и трех параллельно соединенных ветвей $C_0 Z_0$, $C_H Z_H$, $C_U Z_U$, где $C_0 Z_0$ — емкость и сопротивление потерь экрана и элементов конструкции, $C_H Z_H$ — емкость и сопротивление потерь варикапа настройки, $C_U Z_U$ — емкость и сопротивление потерь испытуемого варикапа. При этом добротность испытуемого варикапа равна:

$$Q_{\delta} = \frac{Q_K \cdot Q_K}{Q_K - Q_K} \cdot \frac{C_U}{C_{\Sigma}}, \quad (1).$$

где Q_K — добротность всего контура с испытуемым варикапом,

Q_K — добротность контура без испытуемого варикапа,

C_U — емкость испытуемого варикапа, C_{Σ} — общая емкость контура

— постоянная величина.

Параметр Q_K является переменным в диапазоне C_u .

Его необходимо моделировать, то есть с помощью электронных устройств формировать такие значения Q_K в заданном диапазоне C_u , которые бы при подстановке в (1) обеспечивали тождественность результатов, вычисленных по (1) и значений мер или контрольных образцов добротности с известными значениями Q_g . Зависимость Q_K от смещения варикапа носит резко нелинейный характер и при кусочно-линейной [5,10] аппроксимации приводит к неконтролируемым всплескам погрешности в местах излома. Кроме того, для настройки такого моделирующего устройства необходимо значительное количество мер добротности.

Если учесть, что емкостные сопротивления схемы замещения намного больше их сопротивлений потерь, можно показать, что

$$Q_K = \frac{\omega L}{Z'_L + \left(\frac{C-C_u}{C_Z}\right)^2 \cdot Z_H}, \quad (2)$$

где ω — круговая частота измерения, L — индуктивность контура, $C=C_H+C_u$ — постоянная величина. $Z'_L = Z_L + (C_0/C_Z)^2 Z_0$, Z_L — сопротивление потерь индуктивности L .

В выражении (2) переменным параметром является только C_u — емкость испытуемого варикапа. Анализ показывает, что зависимость (2) носит слабо выраженный нелинейный характер и ее с достаточной точностью можно аппроксимировать прямой вида $Q_K = A + kC_u$, где A и k — постоянные величины. Для настройки такого линейного аппроксиматора необходимо лишь 3 меры добротности, две из которых находятся вблизи наиболее вероятного значения контролируемого уровня, а по емкости имеют максимальное и минимальное значения. Третья мера может иметь произвольное значение по добротности (обычно в 1,5–2 раза

меньше, чем у первых двух), а по емкости – любое значение в измеряемом диапазоне. Значения C_d определяются непосредственно. С этой целью на устройстве загрузки-выгрузки делаются две измерительные позиции – емкости и добротности. При этом сначала контролируются емкостные параметры (C, K_c), а затем добротность. При применении метода емкостно-омического делителя на этапе определения K_c информация о емкости передается в тракт добротности в цифровом виде через сдвиговые регистры [3, 9, 11]. Описанный прием позволяет, кроме относительно простой реализации средства контроля добротности, совместить в одном устройстве операции контроля C, K_c и Q , что примерно в два раза повышает производительность, поскольку трудоемкости контроля емкостных параметров и добротности примерно одинаковы. Приведенный метод аппроксимации дает хорошие результаты контроля относительно невысоких (до 300 единиц) уровней добротности и широко используется для контроля C, K_c и Q варикапов KB109, KB121, 2B124, KB144 и др.

При контроле более высоких уровней добротности для повышения чувствительности необходимо снижать Z_c , делая индуктивность более высокодобротной. Для повышения чувствительности также используется компенсация потерь в контуре. С этой целью между генератором и контуром включается усилитель, коэффициент усиления которого пропорционален сигналу на выходе детектора. Если указанную связь осуществить в устройстве, в котором генератор подключен к измерительному контуру через управляемый усилитель и емкостной аттенкуатор C_1, C_2 ($C_1 < C_2$), выход которого через усилитель и детектор нагружен на потенциометр R , сигнал с движка которого подключен к первому входу аналогового сумматора, ко второму входу – источник опорного напряжения $U_{оп}$, а выход сумматора – к уп-

равляющему входу управляемого усилителя, выходное напряжение описанной схемы будет равно:

$$U_{вых} = \frac{U_{оп} \frac{C_1}{C_2} \cdot K_y \cdot K \cdot U_r}{\frac{1}{Q_k} + \frac{C_u}{Q_n C_x} - K U_r \frac{C_1}{C_2} K_y \cdot K_{oc}}$$

где K_{oc} - коэффициент передачи потенциометра R,

K_y - коэффициент усиления усилителя и детектора.

Выбрав значение K_{oc} таким, чтобы первый и третий члены знаменателя были равны, получим прямоотсчетное устройство в режиме с фиксированной емкостью. Для моделирования параметра Q_k в режиме с фиксированным смещением примем глубину обратной связи такой, чтобы скомпенсировать потери в индуктивности, экране и элементах конструкции, то есть в выражении (2) $Z'_L = 0$. В этом случае $Q_k = A_1 / (C - C_u)^2$, где $A_1 = C_x / \omega L_n - const$.

Тогда (1) примет вид:

$$Q_B = \frac{A_1}{C_x} \frac{Q_k \cdot C_u}{A_1 - Q_k (C - C_u)^2}$$

Вычисления производятся на множительных ЦАП [14].

На оборудовании, изготовленном на базе описанного устройства, погрешность контроля Q относительно мер или контрольных образцов в случае разбраковки по отношению к одному фиксированному уровню не превышает 5% при величине испытываемой добротности до 500 единиц. Эта погрешность обуславливается, в основном, временным и температурным дрейфом высокочастотных устройств и измерительного контура.

С целью компенсации указанной нестабильности необходимо вводить режим автоматической калибровки. Для этого в контур встраивается калибровочный варикап, который в режиме калибровки обладает параметрами, близкими к значениям параметров испытуемых варикапов. Автоматическая калибровка осуществляется путем нормирования сигнала на выходе детектора

посредством изменения напряжения, подаваемого на управляющий вход управляемого усилителя. Это можно сделать, используя ЦАП, управляемый реверсивным счетчиком [10].

Введение положительной обратной связи с одновременным нормированием выходного сигнала в режиме калибровки позволяет создать однопозиционное средство контроля добротности и емкостных параметров ($C, K_c, \delta C$) на основе частотного метода. Нестабильное от включения к включению сопротивление ключа, переключающего испытуемый варикап от контура добротности к контуру преобразователя емкость-частота и потери в контуре добротности нормируются и компенсируются положительной обратной связью [16].

Описанный способ автокалибровки по добротности дает хорошие результаты, если устройство используется для контроля варикапов по отношению к одному фиксированному уровню. Если же необходимо производить измерения в относительно широком диапазоне или разбраковывать на несколько групп по уровню добротности, необходимо учитывать временной и температурный дрейф усилительного тракта и измерительного контура в отдельности. Это можно сделать, определив основные параметры схемы замещения контура. При этом варикап настройки можно представить в виде двух параллельных RC-цепей, одна из которых содержит постоянные параметры C_{HO} и Z_B , другая - переменные C_H и Z . где C_{HO} - начальная емкость варикапа при максимально возможном смещении, Z_B - его сопротивление потерь, C_H - диапазон перестройки варикапа, $Z = Z_B \left(\frac{2C_{HO}}{C_H} + 1 \right)$. При этом $C_H = C_{Hmax} - C_H$, где C_{Hmax} - максимальное значение емкости испытуемых варикапов при контроле добротности. В этом случае схема замещения контура содержит три параллельно соединенных емкостных ветви $C_0, C_H Z$ и $C_H Z_H$, где C_0 - начальная ем-

кость варикапа настройки, емкость экрана и элементов конструкции, Σ_0 - потери начальной емкости, в экране и элементах конструкции, $C_u \Sigma_u$ - емкость и сопротивление потерь испытуемого варикапа. Учитывая, что емкостные сопротивления ветвей намного больше их сопротивления потерь, получим:

$$\frac{1}{Q_k} \approx \omega C_\Sigma \left[\Sigma_u + \frac{C_H}{C_\Sigma^2} (2C_{H0} + C_H) \Sigma_0 \right], \quad (3)$$

где $C_\Sigma = C_0 + C_H + C_u$ - постоянная величина.

Значения C_Σ и γ_0 можно определить по трем мерам добротности с известными значениями Q_{M1} , Q_{M2} и Q_{M3} и емкостями, соответственно равными C_{M1} , C_{M2} и C_{M3} . Для определения C_Σ необходимо выполнение условия $C_{M1} = C_{M2}$. Тогда

$$C_\Sigma = \frac{C_{M1} \left(\frac{1}{Q_{M1}} - \frac{1}{Q_{M2}} \right)}{\frac{1}{Q_{M1}} - \frac{1}{Q_{M2}}}, \quad (4)$$

где Q_{M1} и Q_{M2} - значения сигнала на выходе детектора при подключении мер Q_{M1} и Q_{M2} соответственно.

Выбрав значения емкостей мер, равные $C_{M1} = C_{u \min}$.

$C_{M3} = C_{u \max}$, получим:

$$\Sigma_0 = \frac{\left(\frac{1}{Q_{M1}} - \frac{1}{Q_{M3}} \right) C_\Sigma}{\omega C_{M1} (2C_{H0} + C_{M1})}, \quad (5)$$

где $1/Q_{kj} = 1/Q_{kj} - C_{Mj}/C_\Sigma Q_{Mj}$, $j = 1, 2, 3$.

Параметры C_Σ и Σ_0 , определенные по (4) и (5), принимаются постоянными для данного экземпляра контура. Параметр Σ_u , подверженный временному и температурному дрейфу, определяется периодически в течение времени работы оборудования. При этом контур настраивается в резонанс только варикапом настройки. В этом случае емкость последнего равна $C_u = C_{u \max}$, а сам контур обладает добротностью Q_{kk} . Тогда

$$\Sigma_u = \frac{1}{\omega C_\Sigma Q_{kk}} - \frac{C_{u \max}}{C_\Sigma^2} (2C_{H0} + C_{u \max}) \cdot \Sigma_0.$$

В режиме контроля у испытуемого варикапа предварительно из-

меряется емкость C_u , контур настраивается в резонанс, снимается отсчет Q_k . По (3) и известным C_x , Z_B и Z_u определяют значение $\frac{1}{Q_k}$. Описанный способ контроля добротности [4, 13] предусматривает определение лишь трех постоянных величин C_{no} , C_x и Z_B , первая из которых измеряется непосредственно, две другие определяются по трем мерам добротности.

Для устранения погрешности, вызванной нестабильностью усилительного тракта, следует использовать метод расстройки частоты, который дает результаты контроля, не зависящие от параметров усилителя. Однако, использование генератора плавного диапазона для расстройки частоты затруднено, поскольку, помимо нестабильности установленной частоты, он имеет повышенные флюктуации частоты, величина которых соизмерима с самой расстройкой. Кроме того, возникает необходимость определения значения частоты расстройки. С целью исключения генератора плавного диапазона и операции измерения частоты предлагается определять добротность контура на трех фиксированных частотах с регистрацией уровня напряжения на этих значениях частот [15]. Фиксированные частоты могут быть стабилизированы кварцевыми резонаторами, что повышает стабильность и резко снижает флюктуации. Согласно этого способа, настроив контур в резонанс на частоте измерения f_3 и сняв отсчеты y_1 , y_2 , y_3 на выходе детектора при фиксированных частотах f_1 , f_2 , f_3 соответственно, добротность контура можно определить как

$$Q = \sqrt{\frac{1 - B^2}{B^2(M-2) + 2 - N}}$$

где $M = \frac{f_1^2}{f_0^2} + \frac{f_0^2}{f_1^2}$, $N = \frac{f_3^2}{f_0^2} + \frac{f_0^2}{f_3^2}$, $f_0 = f_1 \frac{(A^2 - 1) + A(K - \frac{1}{K})}{A^2 - \frac{1}{K^2}}$,

$$k = \frac{f_2}{f_1} - \text{const.}, \quad A = \frac{y_1}{y_2}, \quad B = \frac{y_1}{y_3}.$$

Здесь f_0 - значение собственной резонансной частоты контура,

которая, в общем случае, может отличаться от f_3 из-за неточности настройки, что свидетельствует о том, что контур может быть настроен в резонанс не особенно точно, в связи с чем снижаются требования к аппаратуре, производящей настройку контура. Для обработки результатов используется микро-ЭВМ "Электроника МС 1201.02". В диапазоне контроля добротности до 600 единиц погрешность не превышает 5%.

В главе 4 разработаны рекомендации по конструированию оборудования. Показано, что при контроле C, K_c достаточные скоростные и точностные характеристики дает метод емкостно-омического делителя. При контроле δC необходимо применение частотного метода. При контроле добротности до 300 единиц достаточную точность при моделировании параметров измерительного контура обеспечивает линейная аппроксимация вида $Q_k = A + K C_u$. При контроле добротности более высоких уровней необходимо применение положительной обратной связи с целью компенсации потерь в контуре. При контроле добротности высоких уровней и в широком диапазоне необходимо использовать метод расстройки частоты на трех фиксированных частотах с последующим определением параметров схемы замещения. Контроль добротности целесообразно сочетать с контролем емкостных параметров, используя информацию о емкости испытуемого варикапа для определения его добротности. На основе изложенных рекомендаций были разработаны и внедрены в производство 7 базовых моделей автоматических классификаторов варикапов по $C, K_c, \delta C$ и Q . Изготовлено 64 единицы оборудования, суммарный годовой экономический эффект от внедрения составил 991,7 тыс. руб. (в ценах 1991г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общий итог работ заключается в решении важной научно-технической проблемы создания и внедрения промышленных контрольно-измерительных комплексов специального технологического оборудования для автоматического контроля высокочастотных параметров варикапов.

При решении данной проблемы получены следующие результаты:

1. Разработаны новые структуры автоматических средств контроля емкостных параметров и добротности с автокалибровкой измерительного тракта.

2. Разработана структура автоматического средства контроля ВФХ с повышенной разрешающей способностью и быстродействием на основе частотного метода.

3. Разработана математическая модель измерительного контура добротности, учитывающая временной и температурный дрейф параметров контура.

4. Разработана структура автоматического средства контроля добротности повышенной точности и расширенным диапазоном на основе метода расстройки частоты.

5. Сформулированы рекомендации по выбору методов контроля при проектировании автоматического оборудования в зависимости от возлагаемых на него требований.

6. В процессе длительной эксплуатации разработанного оборудования подтверждена высокая эффективность внедренных в производство рассмотренных в приведенной работе методов и созданных на их базе устройств автоматического контроля.

7. Решена проблема комплексного оснащения предприятия для многономенклатурного и массового выпуска варикапов путем

создания ряда базовых установок для операций измерительного контроля. Результаты исследований и разработок использованы при проектировании средств автоматического контроля на предприятиях п/к "Днепр".

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Голощапов С.С., Лубяный В.З., Тверезовский В.С. Устройство для контроля качества варикапов. // Радиопромышленность. -1992. -№6. -С. 24-26.
2. Голощапов С.С., Лубяный В.З., Тверезовский В.С. Измеритель емкости и вольтфарадных характеристик варикапов. // Радиопромышленность. -1992. -№10. -С. 53-55.
3. Голощапов С.С., Лубяный В.З. и др. Автоматический измеритель параметров варикапов. // Радиопромышленность. -1993. -№3. -С. 45-49.
4. Голощапов С.С., Лубяный В.З. Измерение добротности варикапов с помощью определения параметров схемы замещения. // Контроль и обработка информации при производстве ИЭТ: Сб. научн. тр. по пробл. микроэлектроники. - М.: МИЭТ, 1992. -С. 35-46.
5. Голощапов С.С., Лубяный В.З. и др. Цифровой измеритель добротности и емкости. // Там же. С. 47-52.
6. А.С. 763915 СССР, М. Кл. G06 G 7/16. Множительно-делительное устройство. / С.С. Голощапов, В.С. Тверезовский (СССР), №2665824/18-24: опубл. 15.09.80. Бюл. №34.
7. А.С. 1018044 СССР, М. Кл. G01R 27/02. Устройство для автоматического измерения параметров электрорadioэлементов. /С.С. Голощапов, В.С. Тверезовский (СССР), №3339790/18-21: опубл. 15.05.83. Бюл. №18.
8. А.С. 1314816 СССР, М. Кл. G01R 27/26. Преобразова-

тель емкости в частоту. / С. С. Голошапов, В. С. Тверезовский (СССР), N3929995/24-21.

9. А. С. 1367700 СССР, М. Кл. G01R 27/26. Устройство для разбраковки варикапов по емкостным параметрам и добротности. / С. С. Голошапов, В. С. Тверезовский (СССР), N3979175/24-21.

10. А. С. 1443582 СССР, М. Кл. G01R 27/26. Измеритель добротности. / С. С. Голошапов, В. С. Тверезовский, С. В. Сидорович (СССР), N4006834/24-21; опубл. 14.01.86. Бюл. N1.

11. А. С. 1443584 СССР, М. Кл. G01R 27/26. Устройство для контроля варикапов по добротности, емкости и идентичности вольтфарадных характеристик. / С. С. Голошапов, В. З. Лубяный и др. (СССР), N4156600/24-21.

12. А. С. 1465821 СССР, М. Кл. G01R 27/26. Устройство для измерения емкости. / С. С. Голошапов, В. З. Лубяный, В. С. Тверезовский (СССР), N4219963/24-21; опубл. 15.03.89. Бюл. N10.

13. А. С. 1597782 СССР, М. Кл. G01R 27/26. Способ измерения добротности варикапов. / С. С. Голошапов, В. З. Лубяный (СССР), N4440428/24-21; опубл. 07.10.90. Бюл. N37.

14. А. С. 1741548 СССР, М. Кл. G01R 27/26. Устройство для контроля варикапов по добротности, емкостным параметрам и идентичности вольтфарадных характеристик. / С. С. Голошапов, В. З. Лубяный (СССР), N4695142/21.

15. А. С. 1709240 СССР, М. Кл. G01R 27/26. Способ измерения добротности контура методом расстройки частоты и устройство для его осуществления. / С. С. Голошапов, В. З. Лубяный (СССР), N4729181/21; опубл. 30.01.92. Бюл. N4.

16. А. С. 1774783 СССР, М. Кл. G01R 27/26. Устройство для контроля варикапов. / С. С. Голошапов, В. З. Лубяный (СССР), N4819403/21.

SUMMARY.

Goloschapov S.S.

Elaboration of methods and hardware of automatic control of high frequency performance of variable capacitance diodes.

Thesis for a Candidate of technical science degree on the 05.13.07 profession line. Kherson industrial institute. Kherson, 1996.

The dissertation leads to complex work results on elaboration and introduction of methods and hardware of automatic high frequency performance control of variable capacitance diodes destined for radio and television engineering.

АННОТАЦИЯ.

Голошапов С.С. Разработка методов и средств автоматического контроля высокочастотных параметров варикапов.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 - автоматизация технологических процессов и производств. Херсонский индустриальный институт. Херсон, 1996.

В диссертации приводятся комплексные результаты работ по разработке и внедрению методов и средств автоматического контроля высокочастотных параметров варикапов, которые используются в радио- и телевизионной технике.

КЛЮЧОВІ СЛОВА.

Автоматизація, варикап, пристрій, частота, резонансний контур.

AB34.224

446227

AB 34.594
AB 34.594

SUMMARY

Goltschanyov S. S.
Elaboration of methods and hardware of automatic control of high frequency performance of variable capacitance diodes.
Basis for a Candidate of technical sciences degree on the 05.13.07 professor line. Kherson (industrial) Institute. Kherson, 1996.
The dissertation leads to complex work results on elaboration and introduction of methods and hardware of automatic high frequency performance control of variable capacitance diodes destined for radio and television engineering.

АННОТАЦИЯ

Голтшанов С. С. Разработка методов и средств автоматического контроля высокочастотных параметров варикапов.
Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 - автоматизация технологических процессов и производств. Херсонский индустриальный институт, Херсон, 1996.
В диссертации приводятся комплексные результаты работ по разработке и внедрению методов и средств автоматического контроля высокочастотных параметров варикапов, которые используются в радио- и телевизионной технике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Автоматизация, варикапы, пристрой, частота, резонансный контур