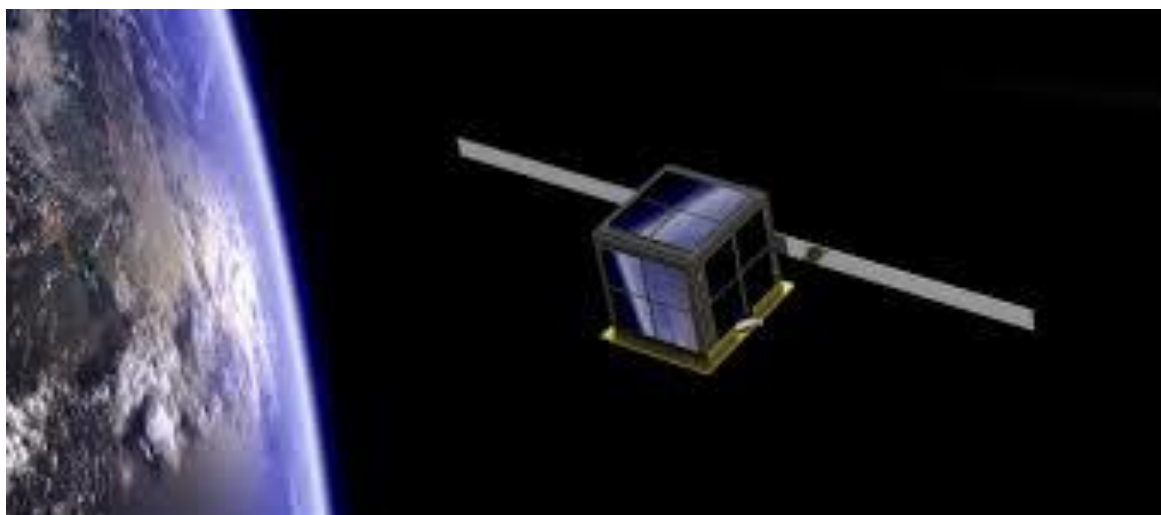


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Диединович
Должность: Ректор
Дата подписания: 17.09.2025 12:18:27
Уникальный программный ключ:
5cf0d6f89e80f49a334f6a4ba58e91f3326b9926

Х.М.Гаджиев, С.М.Гаджиева, Т.А.Челушкина

ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МИКРОСПУТНИКА



Махачкала 2019

УДК 621.37

ББК 32.852

Х.М.Гаджиев, С.М.Гаджиева, Т.А.Челушкина
ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МИКРОСПУТНИКА./ – Махачкала:
ФГБОУ ВО «ДГТУ», 2019. - 143 с.

В монографии изложен анализ современного состояния автоматизированного контроля и диагностики аналоговых интегральных радиоустройств микроспутников. Разработаны методики контроля функциональных параметров аналоговых электро-радио изделий микроспутников по переходным характеристикам и автоматизации синтеза теста при групповом контроле. Представлены результаты разработки функциональных преобразователей с использованием способа кусочно-линейной аппроксимации переходной характеристики контролируемого сигнала. Рассмотрены технические параметры автоматизированной системы производственного диагностирования и стратегия применения ее при контроле интегральных радиоэлектронных устройств микроспутников.

Для инженеров и научных сотрудников, занимающихся проблемой производственного диагностирования интегральных радиоэлектронных устройств микроспутников. Может быть полезной для аспирантов и студентов вузов, обучающихся по этому профилю.

Рецензенты: зав. лаб. информационных
технологий в энергетике ФГБУН
«Институт проблем геотермии»
ДНЦ РАН,
д.т.н.

Кобзаренко Д.Н.

д.т.н., профессор,
ФГБОУ ВО «ДГТУ»

Магомедов Д.А.

Печатается согласно постановлению Ученого совета
Дагестанского государственного технического университета от
«28» февраля 2019 г.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АПД	- анализатор производственных дефектов
АСК	- автоматизированная система контроля
АСПД	- автоматизированная система производственного диагностирования
АЦП	- аналого-цифровой преобразователь
БИ	- блок измерения
БИС	- большая интегральная схема
ДК	- двух пороговый компаратор
ДУ	- дифференциальный усилитель
ДЭЦ	- двухполюсная электрическая цепь
ИКУ	- игольчатое контактирующее устройство
ИС	- интегральная схема
ИСС	- избыточная система счисления
КЛА	- кусочно-линейная аппроксимация
КОП	- канал общего пользования
КТ	- контрольная точка
КШ	- контактный штырь
ММ	- математическая модель
МО	- математическое обеспечение
ОД	- объект диагностирования
ОИ	- опорный источник
ОП	- обратный преобразователь
ОС	- обратная связь
ОТД	- общее тестовое диагностирование
ОУ	- операционный усилитель
ПЛД	- пассивный линейный двухполюсник
ПНК	- преобразователь напряжение - код
ПО	- программное обеспечение
ППР	- первичный преобразователь
ПФИ	- преобразователь формы информации
ПЭВМ	- персональная электронная вычислительная машина
РЭС	- радиоэлектронная система

РЭУМ - радиоэлектронные устройства
микроспутника
САГТ - система автоматизированной генерации тестов
САПР - система автоматизированного проектирования
СКД - система комбинированного диагностирования
СОД - система общего диагностирования
ССД - система структурного диагностирования
СЭД - система элементного диагностирования
СЭЦ - сложная электрическая цепь
УВХ - устройство выборки - хранения
УН - усилитель не компенсации
УО - устройство обработки
УС - устройство сравнения
ФЯ - функциональная ячейка
ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь
ЭВМ - электронная вычислительная машина
ЭРИ - электро-радио изделие

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1. Анализ современного состояния автоматизированного контроля и диагностики аналоговых интегральных радиоустройств и выбор АСПД.....	10
1.1. Анализ объекта контроля и существующих методов автоматизированного контроля.....	13
1.2. Сравнительный анализ параметров автоматизированных систем контроля и выбор АСПД генератора Г4-176.....	33
1.3. Постановка задачи.....	48
2. Разработка методики диагностирования групп ЭРИ на ФЯ по переходным характеристикам.....	51
2.1. Разработка математической модели влияния параметров контролируемых ЭРИ на выходной совокупный параметр группы	51
2.2. Разработка способа выделения групп ЭРИ на ФЯ для контроля по переходным характеристикам.....	61
2.3. Сравнительный анализ разработанной методики группового контроля ЭРИ на ФЯ по переходным характеристикам и методики поэлементного диагностирования.....	77

3. Разработка устройств преобразования аналоговых параметров серийных РЭУМ методом КЛА.....	89
3.1. Разработка устройства КЛА переходной характеристики контролируемых ЭРИ.....	89
3.2. Контроль выходных параметров серийных РЭУМ на аппроксимирующем ПФИ.....	104
3.3. Разработка следящего преобразователя напряжение - код поразрядного приближения.....	115
4. Технические параметры АСПД и стратегия применения ее при контроле РЭУМ.....	127
Заключение.....	138
Список литературы.....	140

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире научно-техническая революция характеризуется дальнейшим проникновением электронных устройств и систем практически во все области современной науки и техники. Сложность электронных систем растет, их функциональные возможности расширяются, увеличивается доля аппаратуры, изготовленной с применением радиоэлектронных устройств микроспутников (РЭУМ), одновременно возрастает качество, эффективность и стоимость. Сложная радиоэлектронная система должна работать долго и надежно, только в этом случае она экономически целесообразна.

Основными направлениями использования микроспутников в настоящее время являются:

- отработка новых технологий в космосе;
- получение информации в процессе дистанционного зондирования Земли;
- решение задач обеспечения связи;
- решение образовательных задач;
- проведение научных исследований, прежде всего в области исследований верхней атмосферы, ионосферы, магнитосферы, солнечно-земных связей.

При этом область применения микроспутников в значительной мере определяется их типоразмером.

Микроспутники применяются прежде всего с целью отработки новых технологий в космосе: доля решения этих задач в общем объеме задач, решаемых микроспутниками, составляет до 85%, в то время как на долю задач в интересах научных исследований приходится 11%, остальное — на прочие задачи. В задачах, решаемых микроспутниками, 46% приходится на отработку новых технологий в космосе, 23% — на задачи дистанционного зондирования Земли, 19% — на обеспечение связи и телекоммуникаций, 8% — на проведение научных исследований, остальное — на прочие задачи.

В настоящее время прорабатывается решение с помощью микроспутников таких задач, как исследование планет солнечной системы (GRAIL-программа изучения гравитационного поля Луны, Mars Cube One (MarCO) — отправка двух КА типа «кубсат» к Марсу, включая посадку на планету, и др.), информационное обеспечение тактических звеньев управления войсками (DARPA See Me и др.), инспекция различных объектов в космосе и др.

Техническое диагностирование, как процесс получения информации о состоянии изделия техники с определенной точностью, становится неотъемлемой частью жизненного цикла радиоэлектронной системы микроспутников. Этим обстоятельством объясняется повышенный интерес к вопросам диагностики и контроля радиоэлектронных систем (РЭС) микроспутников, который имел место в последние годы и нашел отражение в трудах ряда российских и зарубежных ученых.

Актуальность работ в области технической диагностики микроспутников подтверждается также разработкой государственных стандартов системы "техническая диагностика". В сфере технической диагностики работают десятки тысяч квалифицированных специалистов, успешное функционирование которых связано с методическим освещением в литературе вопросов теории и практики диагностирования микроспутников [11, 13, 14, 21, 24].

Несмотря на огромное разнообразие электронных систем различного функционального назначения, областей применения, элементной базы, конструктивного исполнения и стоимости они имеют ряд общих признаков, позволяющих причислить их к одному классу технических систем [12, 18, 22]. К числу основных объединяющих признаков этих систем относят: использование электромагнитных колебаний (осцилляций электромагнитного поля) в качестве носителя информации; электрических сигналов для ее передачи и приема; наличие организованной структуры; относительная

автономность систем, динамика их развития и изменения в пределах жизненного цикла микроспутников, потребность в функциональном управлении состоянием, включая поддержание этих состояний в установленных пределах, т.е. потребность в техническом обслуживании и ремонте микроспутников [10, 16].

Разработанная АСПД состоит из компьютера с коммутатором и специализированным блоком измерения (БИ). АСПД позволяет:

- уменьшить время контроля РЭУМ за счет более высокого быстродействия, присущего контролю по переходным характеристикам;
- повысить производительность труда при выполнении контрольно-диагностических операций;
- уменьшить затраты на изготовление самой системы, за счет применения преобразователя формы информации (ПФИ) вместо дорогостоящей контрольно-измерительной аппаратуры;
- упростить обслуживание и работу системы контроля;
- автоматизировать составление диагностических тестов на контролируемые устройства микроспутников.

1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ АНАЛОГОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ РАДИОУСТРОЙСТВ И ВЫБОР АСПД

Развитие радиоэлектронных устройств микроспутников и систем происходит по определенным направлениям, основными из которых следует считать: повышение сложности систем, микроминиатюризация, расширение диапазона частот, применение цифровых методов передачи и обработки информации [2, 3, 5, 6, 7, 9, 22].

Организация, сложность и динамичность изменения состояния РЭС микроспутников, как кибернетических систем, характеризуется иерархией структуры, наличием критерия качества, процессами развития деградации, связями с внешней средой, наличием обратных связей и замкнутых цепей воздействия, исполнительных и управляющих органов, использованием информации управления [3, 23].

Рассматривая системы радиоэлектроники микроспутников в аспекте их взаимосвязи, изменения и управления, необходимо выделить в их жизненном цикле основную стадию - эксплуатацию. На этой стадии реализуется, поддерживается и восстанавливается качество системы. Любая система деградирует под воздействием внешних сил и внутренних процессов старения и деструкции, ухудшаются показатели ее качества, ее функциональные возможности. Однако в большинстве систем возможны реализации процессов поддержания работоспособного состояния микроспутников путем целенаправленных управляющих воздействий. В результате временные интервалы активного применения по назначению увеличиваются.

Управление состоянием сложных систем всегда связано с необходимостью получения информации об этом состоянии и его целенаправленных и хаотических изменениях [17].

Отказы и повреждения являются случайными

событиями, место и время появления которых практически невозможно предугадать [19, 24]. Практика эксплуатации РЭС показывает, что отказы и повреждения не выводят из строя все элементы РЭС. Значительная их часть остается исправной и готовой к действию. Большинство пользователей или владельцев РЭС микроспутников знают, что объем разрушений не велик, а стоимость полной замены высока. Поэтому прилагаются усилия к тому, чтобы восстановить средство на месте применения без вывода его из сферы эксплуатации. Возникает задача по контролю функциональных параметров РЭС с последующей локализацией дефектного ЭРИ с возможно большей точностью, так как при этом снижается объем, время и стоимость восстановительных работ и сокращается расход запасных частей [2, 4, 7].

С применением в РЭС микроспутников микропроцессоров, больших интегральных схем (БИС) и аналоговых интегральных схем (ИС) повышенной сложности возникли проблемы производственного характера, связанные с резким увеличением требуемого объема контрольно-диагностических операций, составляющих около 50% общей трудоемкости изготовления изделий [4, 8, 11, 13, 15]. Существующие автоматизированные системы контроля (АСК) в условиях серийного производства РЭУМ обладают недостаточными технико-экономическими показателями (вероятность обнаружения дефектного ЭРИ составляет 80%), что обусловлено следующими причинами: высокой трудоемкостью процесса уточнения места возникновения дефекта, особенно при кратных и нелогических неисправностях (возможна ситуация, при которой вместо указания одного дефектного ЭРИ будут выданы сообщения о неисправностях ЭРИ, электрически соединенных с контролируемым, что, соответственно, увеличивает время поиска дефекта); возможностью возникновения вторичных дефектов из-за включения неисправного объекта под рабочее

напряжение; сложностью внесения изменений в массивы тестовых наборов при необходимости корректировок схемной и технологической документации на контролируемые устройства.

Практика применения АСК при производстве РЭУМ показывает, что наиболее целесообразным является использование систем комбинированного диагностирования (СКД), которые могут после проведения сборочных операций проконтролировать правильность монтажа ЭРИ на ФЯ без подачи питающих напряжений (для избежания внезапных отказов), а, затем, после подачи питания, проверить функциональные параметры РЭУМ в целом. Однако все промышленные АСК для проведения поэлементного и структурного диагностирования и в нашей стране, и за рубежом представляют собой количественное сочетание двух систем контроля - системы элементного диагностирования (СЭД) и системы структурного диагностирования (ССД), имеющих общую электронную вычислительную машину (ЭВМ). В свою очередь СЭД и ССД построены по модульному принципу, при котором для каждого типа контролируемых ЭРИ или аналогового сигнала используются специализированные модули [16, 19, 22, 24].

Такой подход имеет преимущества с точки зрения конструирования, переналадки и ремонта системы, но при эксплуатации в каждом измерении используются одновременно не более одного модуля, а все остальные простаивают. Поэтому применение таких универсальных АСК на производстве не эффективно и не оправдано из-за существенных затрат на оборудование и обслуживающий персонал высокой квалификации (стоимость контрольно-диагностических операций может достигать 40% стоимости изделия) [14], кроме того, несмотря на наличие мощного программного обеспечения по синтезу диагностических тестов, требуется ручная корректировка тестов при контроле реальных изделий, что вызывает дополнительные затраты и

снижает достоверность контроля микроспутников.

Вместо одной универсальной АСК возможно использование отдельных СЭД и ССД при различных стратегиях контроля. В дополнении к ним на предварительных этапах для отбраковки большей части неисправных ФЯ возможно применение анализаторов производственных дефектов (АПД) и специализированных ССД. Однако каждая из этих систем имеет в своем составе ЭВМ и требует соответствующее программное и аппаратное обслуживание, поэтому такой подход оправдан только при крупносерийном производстве. Для мелкосерийного производства РЭУМ, а тем более на ремонтных станциях, где требуются АСК, способные контролировать широкую номенклатуру изделий при низкой себестоимости, применение нескольких различных систем экономически нецелесообразно.

Поэтому возникает необходимость в разработке СКД, способной с высоким быстродействием проводить контроль функциональных параметров РЭУМ и диагностировать дефектные ЭРИ на ФЯ как в процессе производства, так и при эксплуатации РЭУМ на ремонтных станциях.

Применение системы комбинированного диагностирования в одном технологическом процессе изготовления РЭУМ позволит ликвидировать отмеченные недостатки, увеличить выпуск и улучшить качество продукции, создать экономию капитальных вложений и трудовых затрат.

1.1 Анализ объекта контроля и существующих методов автоматизированного контроля

Перед проектированием любых систем контроля и диагностирования предварительно необходимо произвести тщательный анализ объекта диагностирования (ОД) с целью последующего выбора наиболее оптимальных методов

контроля и средств диагностирования [20, 22].

При контроле генератора высоких частот Г4-176 в связи с высокой сложностью как самого генератора, так и отдельных его узлов, а также большого времени, затрачиваемого на общий контроль и высокой стоимости используемой контрольно-диагностической аппаратуры, возникла необходимость в автоматизации контрольно-регулирующих операций [17].

Задача контроля состоит из двух частей:

1. Организация автоматизированного контроля выходных параметров генератора. К ним относятся:

- контроль выходной частоты в диапазоне 0.1 МГц - 1020 МГц с погрешностью $\pm 0.000015\%$;

- определение нестабильности частоты за 15 мин менее $\pm 0.00000005\%$;

- проверка уровня сигнала на нагрузке 50 или 75 Ом во всем диапазоне с амплитудой не менее 0.5 В и погрешностью $\pm 10\%$;

- контроль частоты модулирующего колебания при амплитудной модуляции при коэффициенте 0... 99% в диапазоне от 50 Гц до 10 кГц с погрешностью $\pm 5\%$;

- контроль частоты модулирующего колебания при частотной модуляции при девиации частоты в диапазоне от 0.05 кГц до 995 кГц с погрешностью $\pm 10\%$;

- контроль негативной модуляции несущей полным цветовым видеосигналом в диапазоне частот 25... 250 МГц и 470... 960 МГц при положительной и отрицательной полярности равной 1 В.

2. Проведение автоматизированного диагностирования девяти ФЯ генератора Г4-176, содержащих аналоговые ЭРИ. На ФЯ необходимо контролировать:

- резисторы в диапазоне от 100 Ом до 200 кОм с погрешностью $\pm 10\%$;

- конденсаторы от 200 пФ до 2000 мкФ с погрешностью $\pm 10\%$;

-обнаруживать обрывы и короткие замыкания в цепях схемы;

-определять пробитые р-п переходы активных элементов;

-контролировать постоянные напряжения в диапазоне от 0 до +10 В с погрешностью $\pm 5\%$.

На различных этапах технологического процесса изготовления ФЯ (входной контроль параметров ЭРИ, сборка, пайка на монтажной плате (печатной, тонкопленочной, толстопленочной и т.д.), формовка выводов и комплектование ЭРИ) появляются разнообразные дефекты и в любых сочетаниях. Статистические данные анализа технологического процесса изготовления ФЯ с точки зрения возникновения производственных дефектов приведены в [2, 3, 4, 8, 17]. Эти дефекты значительно увеличивают стоимость производства, ухудшают качество и надежность РЭУМ.

Статистический анализ процессов изготовления девяти типов ФЯ, входящих в состав генератора Г4-176 показал следующее распространение потока дефектов на отдельных этапах технологического процесса (в процентах к общему количеству ФЯ):

входной контроль ЭРИ, %	1,9 - 3,2
подготовка и формовка ЭРИ, %	0,8 - 1
комплектование, %	0,9 - 1,2
сборка, %	3 - 4
пайка, %	5 - 6
межоперационные перемещения, %	0,4 - 0,6

Большинство дефектов возникает в процессе производства ФЯ, а дефекты самих ЭРИ незначительны и составляют около 5%. Поток годных ФЯ составляет 67%, а остальные 33% ФЯ неисправны, причем распределяются по видам дефектов следующим образом:

короткие замыкания и обрывы, %	50
отсутствующие ЭРИ, %	20
неверно установленные ЭРИ, %	10
неисправные активные ЭРИ, %	10

Известно, что большинство производственных дефектов составляют: короткие замыкания; обрывы; неверно установленные или неправильно ориентированные ЭРИ. Такие дефекты ФЯ можно выявлять путем измерения импедансов между определенными контрольными точками (КТ) ОД при малых величинах амплитуды и частоты тестовых воздействий, но для обнаружения и идентификации других типов дефектов, обусловленных изменением частотных свойств активных ЭРИ, фрагментов схемы и ФЯ в целом, необходимо осуществлять сложные тестовые проверки на рабочих частотах функционирования ОД.

Опыт показывает, что эффективная организация процесса диагностирования ФЯ на этапе их производства может быть осуществлена в большинстве случаев только при выполнении следующих требований: дефект должен обнаруживаться и устраняться в точке технологического процесса, наименее удаленной во времени и пространстве от точки возникновения этого дефекта; для идентификации производственных дефектов следует применять, по возможности, наиболее простые средства автоматизированного тестового диагностирования ФЯ [17, 20].

Изготовление любой ФЯ связано с выполнением ряда технологических операций, при которых могут появляться дефекты, приводящие к нарушению работоспособности. Стоимость затрат на выявление дефектов в общем случае определяется выражением:

$$C=C(0)10^n \quad (1.1.1)$$

где $C(0)$ - стоимость затрат на обнаружение и устранение дефектов в местах их возникновения; n - число основных технологических операций, предшествующих моменту выявления дефекта.

Следовательно, для снижения затрат на ликвидацию

дефектов целесообразно диагностировать ФЯ на начальных этапах их производства. Анализ ряда технологических процессов производства ФЯ (аналоговых, цифровых и гибридных) показал, что в среднем 12... 33% ФЯ, поступающих на операцию регулировки или проверки функционирования, являются дефектными и требуют ремонта.

На рисунке 1.1.1 представлена обобщенная диаграмма относительного распределения дефектов, обнаруженных при проверке ФЯ, из которых видно, что большинство дефектов возникает в процессе изготовления ФЯ, а дефекты самих ЭРИ составляют 5... 20%.

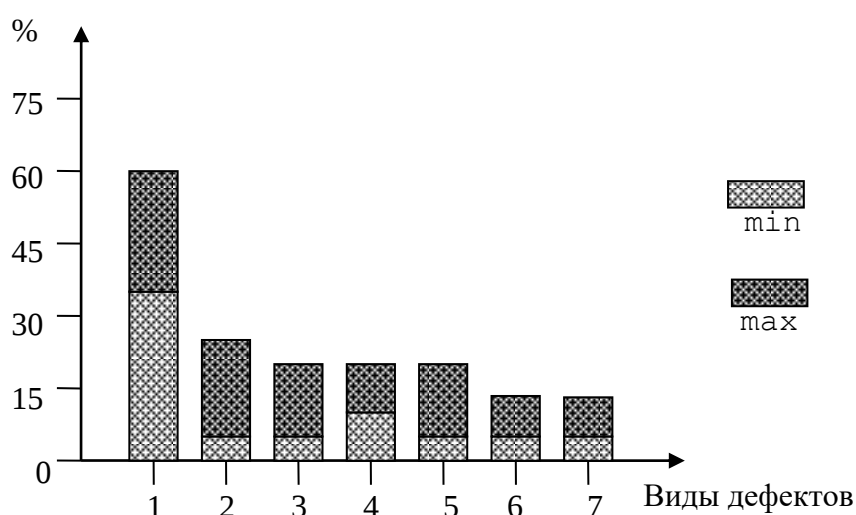


Рис. 1.1.1. Обобщенная диаграмма относительного распределения дефектов ПУ генератора Г4-176: 1 - короткие замыкания, 2 – обрывы, 3 - отклонение от допуска, 4 - не те ЭРИ, 5 - неверная ориентация, 6 - пропущенные ЭРИ, 7 - прочие дефекты

Разброс и распределение дефектных ФЯ 12... 33% и самих дефектов обуславливается сложностью ФЯ, квалификацией производственного персонала, типом производства, состоянием технологического оборудования, степенью ав-

томатизации технологического процесса и другими причинами. Выявление производственных дефектов традиционными методами (визуальный контроль, ручная прозвонка, проверка функционирования) становится все менее эффективным. Своевременно необнаруженные дефекты на последующих этапах технологического цикла могут вызвать появление вторичных еще более "дорогих" дефектов. Дорогими являются также скрытые дефекты, которые обычно обнаруживаются на периодических испытаниях отобранной партии продукции, либо лишь при эксплуатации ФЯ. Примерами скрытых дефектов могут быть неустановленные защитные диоды, несоответствующие сопротивления ограничительных резисторов, неправильная установка прецизионного и обычного стабилитрона и т.п. [21, 23].

Процесс поиска дефектов является весьма трудоемким. Обычно к наладке сложных ФЯ привлекаются высококвалифицированные специалисты, которые осуществляют отладку, полагаясь на свой опыт и интуицию. С ростом сложности ФЯ и широким применением РЭУМ, такой подход становится малоэффективным, а зачастую дает негативные результаты. Например, в некоторых случаях наладчик ФЯ, не найдя дефекта, достигает удовлетворительных параметров с помощью подбора других номиналов ЭРИ или регулировки, не соответствующей технологии. Для сокращения времени поиска дефекта, которое может составлять несколько часов, регулировщик может производить излишнее количество паяк, а в отдельных случаях подрезку проводников, что также ухудшает качество ФЯ. В результате ухудшаются надежность и качество РЭУМ, а также сокращается срок ее службы.

В таблице 1.1.1 приведен анализ статистических данных о среднем числе дефектов на ФЯ в зависимости от количества элементов на ней. Проведенный анализ показывает, что с увеличением количества ЭРИ на ФЯ возрастает количество дефектов и уменьшается процесс выхода годных ФЯ.

Зависимость среднего количества дефектов
ФЯ от числа имеющихся на ней ЭРИ

Таблица 1.1.1

Количество ЭРИ в ОД	100	150	300
Уровень выхода годных ФЯ, %	90	75	16
Среднее количество дефектов ФЯ	1.2	2.7	3.6

Известные методы тестового диагностирования ФЯ при их производстве можно разделить на три группы (рис. 1.1.2): общее (структурное) тестовое диагностирование (ОТД), покомпонентное и комбинированное.

При ОТД осуществляется тестирование объекта в целом, то есть проверяются целостность структуры и правильность выполнения соответствующих функций, а также осуществляется контроль выходных параметров ОД. При этом на входы ОД со стороны соединителя подаются стимулирующие воздействия, а на выходах ОД (специальных внутрисхемных КТ или со стороны выходной части соединителя) проверяется правильность соответствующих откликов [24].

Основными достоинствами ОТД являются простота подключения к ОД, малое число каналов устройства связи, источников воздействия и измерительных устройств с ОД, быстрота проверки по принципу "годен - негоден". Однако метод ОТД имеет следующие основные недостатки: большая трудоемкость процесса поиска дефектов, особенно при кратных и "нелогических" неисправностях (при неправильной ориентации диодов, транзисторов, ИС и т.д.); разрушающий характер контроля, обусловленный тем, что при наличии определенных дефектов в ОД при подаче рабочих воздействий возникают внезапные отказы (вторичные дефекты); невозможность выявления скрытых дефектов (отсутствие ЭРИ, повышающих надежность работы схемы); сложность и большая трудоемкость разработки



Рис. 1.1.2. Методы тестового диагностирования РЭУМ

диагностических тестов; сложность выявления кратных дефектов.

Для реализации метода ОТД необходимы следующие условия: измерение и анализ разнообразных выходных параметров (ток, напряжение, длительность и амплитуда импульсов и т.п.) схемы или ее частей (для этого необходимо широкая номенклатура контрольно-измерительных приборов); выполнение сложных процедур и программ проверки, требующих знания режимов функционирования ОД; поиск дефектов оператором высокой квалификации.

При диагностировании ФЯ в процессе их изготовления метод структурного диагностирования в основном использует режимы имитации функционирования ОД, что также является условием, усложняющим проведение диагностирования, так как возникает необходимость в использовании и программировании дополнительного оборудования

(имитаторов воздействий и нагрузок). ОТД может быть реализовано путем функционального контроля (тестирования), параметрического контроля или их сочетания, то есть функционально-параметрического контроля.

Тестовое покомпонентное диагностирование основывается на трех основных принципах: возможности подачи тестовых воздействий во внутренние точки ФЯ; инвариантности тестирования компонентов; неповреждения компонентов в процессе диагностирования. Данный метод был впервые предложен в качестве универсального подхода при организации декомпозиционной процедуры диагностирования биполярных микроприборов, микросборок и гибридных устройств микропроцессорных систем при их серийном производстве. Покомпонентное диагностирование может быть поэлементным, пофрагментным или смешанным.

Реализация принципа неповреждения компонентов при тестировании осуществляется как организацией специальной последовательности проверок, так и с помощью установки начальных условий диагностирования компонентов с целью исключения режимов наведения тестовых сигналов, не оговоренных техническими условиями применения ЭРИ.

Тестовое поэлементное диагностирование предусматривает проведение допускового контроля при оценке параметров каждого ЭРИ на ФЯ, поэтому такой вид диагностирования иногда называют внутрисхемным параметрическим контролем, внутрисхемным диагностированием, внутрисхемным контролем, поэлементным контролем.

Поэлементное диагностирование заключается в проведении последовательности проверок каждого ЭРИ и ФЯ в отдельности, при выполнении условия исключения их взаимного влияния. Так как измерение параметров элементов при таком подходе можно выполнить при низких уровнях тестовых сигналов, то подобный вид диагностирования является практически неповреждающим при любых

сочетаниях дефектов на ФЯ.

Реализация метода поэлементного диагностирования предполагает решение следующих основных задач: обеспечение доступа к внутренним КТ ОД, исключение влияния схемы при проверке пассивных ЭРИ (организация режима разделения), защиты активных ЭРИ (транзисторов, ИС и т.п.) от повреждения при тестировании, автоматизации получения тестовых воздействий [20].

В настоящее время доступ к выводам ЭРИ со стороны монтажа обычно обеспечивается использованием специального игольчатого контактного устройства (ИКУ) в виде матрицы из подпружиненных игольчатых штырей (контрольных щупов). Контактное устройство позволяет системе диагностирования "просмотреть" всю проверяемую ФЯ, тогда как при ОТД такая возможность имеется лишь в отношении небольшого числа КТ, непосредственно соединенных с контактами торцевого соединителя. При поэлементном диагностировании разделение пассивных ЭРИ на ФЯ (резисторов, конденсаторов, индуктивностей) осуществляется специальными измерительными преобразователями. В общем случае параметры пассивных линейных двухполюсников (ПЛД) на ФЯ можно измерить косвенно, путем решения системы линейных уравнений:

$$[A] = [П][X], \quad (1.1.2)$$

где $[X]$ - матрица независимых переменных (напряжений на парах полюсов или токов контуров); $[A]$ - матрица зависимых переменных (токов контуров или напряжений на парах полюсов соответственно); $[П]$ - матрица пассивных параметров элементов электрической цепи, имеющих размерность проводимости y (сопротивления z). При наличии ИКУ данную задачу можно упростить методом разделения сложной электрической цепи на двухполюсники. При этом система уравнений (1.1.2) сводится к набору простых

уравнений, каждое из которых содержит одно неизвестное:

$$[A^*]=[P^*][X^*], \quad (1.1.3)$$

где X^* и A^* - вектор-столбцы опорных активных величин и соответствующих реакций контролируемых двухполюсников; P^* - диагональная матрица пассивных параметров ЭРИ.

Специфику рассматриваемой задачи определяет прежде всего то, что параметры пассивных электрических цепей нельзя определить непосредственно. О них можно судить лишь на основании распределения напряжений и токов на элементах некоторой электрической схемы, в которую входит исследуемая двухполюсная электрическая цепь (ДЭЦ). Кроме того, ДЭЦ, параметры которой необходимо оценить, входит в состав цепи более сложной структуры и в большинстве случаев образует замкнутые контуры с другими ее элементами. Таким образом, для оценки параметров ДЭЦ в составе сложной электрической цепи (СЭЦ) необходимо осуществить процесс преобразования этих параметров в активные сигналы инвариантно, то есть независимо от остальных элементов СЭЦ.

В общем случае СЭЦ характеризуется некоторым множеством полюсов $P=\{P_j\} \quad j=1, 2, \dots, n$ и множеством ветвей $Z=\{Z_i\} \quad i=1, 2, \dots, m$.

Параметры двухполюсника связывающие доступные полюса можно измерить, если каждый путь в СЭЦ от полюса P_1 к полюсу P_k , не считая пути через измеряемый двухполюсник, содержит по меньшей мере один доступный полюс. Очевидно, что измерить параметры двухполюсников всего множества Z возможно, если доступны полюса всего множества P .

В настоящее время описано много первичных преобразователей (ППР), посредством которых осуществляется режим электрического разделения. Все они представляют замкнутые структуры с уравниванием и

могут быть разделены на два класса, отличающиеся тем, как на входе или в цепи обратной связи (ОС) включена СЭЦ типа "треугольник", содержащая преобразуемую ДЭЦ. На рисунках 1.1.3 и 1.1.4 представлены обобщенные структурные схемы, характеризующие эти классы. Каждая из этих схем содержит опорный источник (ОИ), устройство сравнения (УС), усилитель некомпенсации (УН), устройство обработки (УО), обратный преобразователь (ОП) и СЭЦ.

Уравновешивание для обоих классов ППР может осуществляться как путем слежения за изменением второй сравниваемой активной величины, так и путем изменения уравновешивающей величины по определенной программе. В соответствии с этим в ППР может быть организован следящий и развертывающий режимы работы. В последнем случае информативной выходной величиной может служить значение величины активной составляющей или же параметр координаты развертывания, например интервал времени.

Для схемы (рис. 1.1.3), схемы Z, выходное напряжение преобразователя $U_{\text{вых}}$ будет пропорционально сопротивлению Z_x преобразуемой ДЭЦ и определяется как

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}} Z_x / Z_o. \quad (1.1.4)$$

Для схемы (рис. 1.1.4), схемы Y, выходное напряжение пропорционально проводимости $Y_x = 1/Z_o$ преобразуемой ДЭЦ и определяется как

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}} Z_o / Z_x. \quad (1.1.5)$$

Анализ показывает, что выходное напряжение ППР как по схеме Z, так и по схеме Y с учетом параметров реального операционного усилителя (ОУ) отличается от идеальных значений в (1.1.4) и (1.1.5).

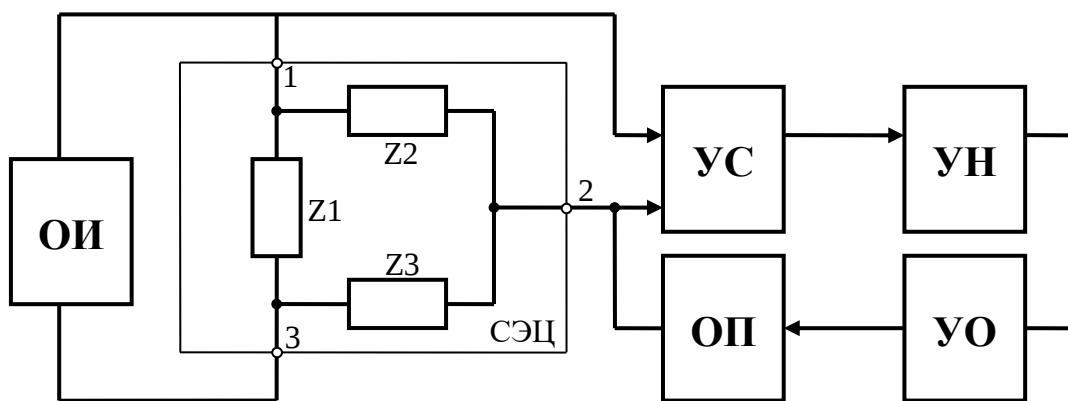


Рис. 1.1.3. Типовая структурная схема ППР с СЭЦ на входе (схема Z)

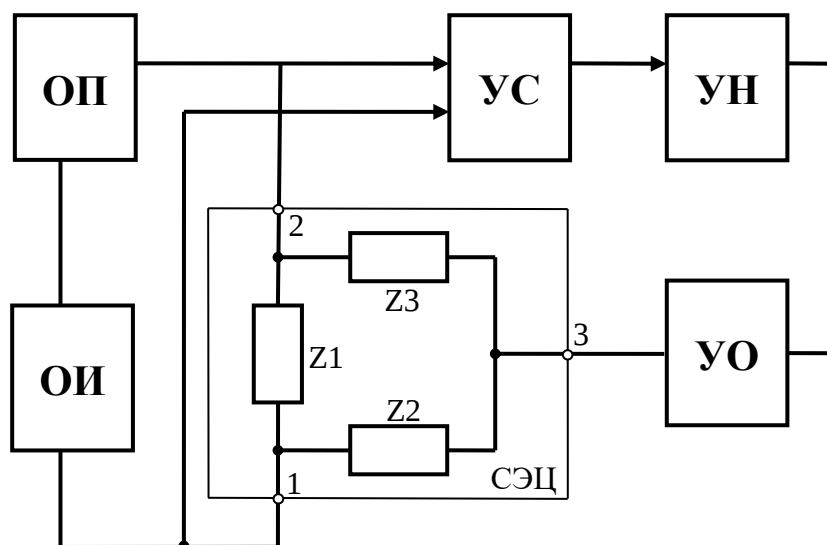


Рис. 1.1.4. Типовая структурная схема ППР с СЭЦ в обратной связи (схема Y)

Отклонения от идеальных значений в основном обусловлены составляющими $Z_x/KZ1$ для схемы Z и $Z_o/KZ1$ для схемы Y. Остальные составляющие при достаточно высоком коэффициенте усиления ОУ без ОС ($K > 1000$) незначительны, и ими можно пренебречь. Следовательно, выходные напряжения ППР по схемам Z и Y будут соответственно определяться как

$$U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{ВХ}}Z_{\text{Х}}/Z_{\text{О}}(1+Z_{\text{Х}}/Z_{1\text{К}}), \quad (1.1.6)$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{ВХ}}Z_{\text{О}}/Z_{\text{Х}}(1+Z_{\text{О}}/Z_{1\text{К}}). \quad (1.1.7)$$

Множители $1/(1+Z_{\text{Х}}/Z_{1\text{К}})$ и $1/(1+Z_{\text{О}}/Z_{1\text{К}})$ в (1.1.6) и (1.1.7) определяют мультипликативные составляющие систематической погрешности преобразователей, относительные значения которых будут равны:

$$Y_z = 1/(1+Z_{1\text{К}}/Z_{\text{Х}}), \quad (1.1.8)$$

$$Y_y = 1/(1+Z_{1\text{К}}/Z_{\text{О}}). \quad (1.1.9)$$

Отношения $Z_{1\text{К}}/Z_{\text{Х}}$ для Y_z и $Z_{1\text{К}}/Z_{\text{О}}$ для Y_y зависят от параметров исследуемой СЭЦ и являются случайной величиной. Значения этих соотношений могут быть очень малы, <0.001 . Малые значения Y_z и Y_y обеспечиваются только при большом коэффициенте усиления K . С другой стороны, при контроле комплексных ДЭЦ в СЭЦ нередки случаи, когда уже на частотах $W_c < 1000$ импедансы активной и реактивной составляющих ДЭЦ могут отличаться в сотни раз, в результате чего ППР может выйти из линейного режима в ограничение. Это приводит к необходимости повышения частоты входного сигнала. Однако известно, что амплитудно-частотная характеристика ОУ практически равномерна в диапазоне от $W_c=0$ до некоторой частоты среза W_o , где начинается ее высокочастотный спад вследствие ответвления выходного тока в параллельные емкости. Так, для ОУ $\mu\text{A} 741$, имеющего $F_t=1$ МГц (F_t - частота единичного усиления), характеристика коэффициента усиления $K(W)$ имеет спад 20 дБ/дек, начиная с частоты порядка десяти герц. На частоте $W_c=10\,000$ $K(W_c)=1000$, при $K_o=100\,000$ на постоянном токе. Улучшенными характеристиками обладают ОУ типа LM118 (отечественный аналог 140 УД 11), имеющие коэффициент усиления $K_o > 100\,000$ и $F_t=10$ МГц. На частоте $W_c=10\,000$

такие ОУ имеют значение $K(W) = 10\ 000$. Применение гибридных ОУ, имеющих параллельный высокочастотный канал, при высоких динамических характеристиках ($K_o > 1000\ 000$, $F_t > 100$ МГц скорость отклика сигнала 200 В/мкс) неприемлемо для исследуемого режима работы ППР, так как отрицательная ОС должна быть неглубокой: $K_{ос} > 20$, поэтому частота входного сигнала ППР не может превышать 10 кГц, а коэффициент усиления ОУ в лучшем случае может быть $K(W_c) = 10000$. При этом, если отношения Z_1/Z_x и Z_1/Z_o будут < 0.001 , то значения мультипликативных погрешностей Y_z и Y_u могут быть > 0.1 или $> 10\%$.

Аддитивные погрешности ППР обусловлены смещением и дрейфом выходного напряжения ОУ. Поскольку в большинстве случаев выходное напряжение ОУ при отсутствии входных сигналов близко к нулю, говорят о смещении и дрейфе нулевого уровня, которые порождаются, как правило, внешними факторами: температурным воздействием окружающей среды; процессами старения; воздействием случайных факторов и рядом других причин.

Погрешности преобразования ППР по схемам Z и Y равноценны. Тем не менее схема Y более предпочтительна. По схеме Z исследуемая ДЭЦ совместно с шунтирующими элементами Z_1 и Z_2 включается в цепь отрицательной ОС ОУ, при этом может возникнуть достаточный для возбуждения ОУ сдвиг фаз, в то время как схема Y более устойчива.

Другой недостаток схемы Z проявляется в тех случаях, когда в цепи ОС ОУ отсутствует исследуемая ДЭЦ (то есть при сборке ФЯ не установлена) или параметр установленной ДЭЦ значительно больше требуемого. Это приводит к насыщению ОУ и появлению высокого напряжения, что противоречит требованию неповреждающего контроля СЭД.

Кроме того, при использовании схемы Z появляется погрешность, обусловленная термо-ЭДС реле коммутирующего устройства. Это связано с тем, что падение напряжения на

двухполюснике Z_x ограничено до 200 мВ. На нижней границе диапазона преобразования оно (например, при декадном построении диапазонов) уменьшается в 10 раз. В связи с этим составляющая выходного напряжения ОУ из-за термо-ЭДС реле изменяется в рамках диапазона в 10 раз. При использовании схемы Y эта составляющая постоянна и ее можно учесть введением поправки результатов измерений.

Если контролируемый двухполюсник представляет собой параллельную $R_x C_x$ -цепь, то контроль сопротивления R_x производят на постоянном токе. Однако, измерять выходное напряжение ОУ при этом необходимо по окончании переходного процесса заряда конденсатора C_x . При этом импеданс реактивной составляющей при контроле на переменном токе может в сотни раз превышать активную составляющую. В результате погрешность будет очень большая, а иногда вообще может наступить насыщение активных элементов фазочувствительных преобразователей.

Для параллельных $R_x L_x$ ДЭЦ погрешность преобразования активной составляющей ДЭЦ R_x зависит от добротности $Q = W L_x / r$ и коэффициента шунтирования $S = R_x / r$, где r - активное сопротивление индуктивности; W - частота тестового воздействия.

Для параллельных $L_x C_x$ ДЭЦ погрешность преобразования емкости C_x определяется относительной частотой W_0 и для частоты тестового воздействия W меньше резонансной ($W/W_0 < 1$) очень быстро возрастает даже при малых значениях добротности Q . Так, при $Q = 0.03$, $W/W_0 = 0.1$ погрешность преобразования составит 9%.

Таким образом, преобразование емкостей, шунтированных индуктивностями на низких частотах, практически невозможно.

При параллельном включении резистора малого сопротивления с р-п-переходом невозможно будет идентифицировать закрытое состояние, так как в целях обеспечения неповреждающего контроля напряжение на р-п-

переходе ограничивается на уровне 0.8...1 В.

Дополнительную погрешность вносит ИКУ и коммутатор. Причем значение суммарного сопротивления может колебаться в пределах 1...5 Ом и может носить случайный характер при каждом контактировании с ОД.

При контроле на ФЯ конденсаторов большой емкости, из-за временной задержки $\tau=RC$ возможно использование БИ по переходным процессам. Упрощенная структурная схема БИ в режиме измерения на переходном процессе приведена на рисунке 1.1.5. Электрическое разделение осуществляется при помощи операционного усилителя (ОУ), в цепь отрицательной обратной связи которого включены импедансы измерительных каналов К3 и К4. Это исключает их влияние на результаты измерения. Влияние импедансов К1 и К5 исключается путем непосредственного измерения падения напряжения на измеряемом Z_x . При помощи сумматора СМ2 и образцового резистора R2 создается режим заданного тока, а блок тестовых воздействий формирует перепад напряжения, что вызывает на измеряемой емкости линейно-изменяющееся напряжение.

Это напряжение измеряется дифференциальным усилителем (ДУ) подается на двухпороговый компаратор (ДК), формирующий интервал времени, в течение которого напряжение на измеряемой емкости изменится на определенное значение. Значение измеренного интервала времени N, полученное на счетчике, будет пропорционально измеряемой емкости. В случае шунтирования измеряемой емкости активным сопротивлением ток, ответвляемый через него, компенсируется источником тока, который реализуется сумматором СМ1 и образцовым резистором R1. Значение компенсирующего тока при этом определяется ОП по ранее определенному в режиме измерения на постоянном токе значению шунтирующего сопротивления и выходному напряжению ОУ.

Недостатком данной схемы является широкий диапазон

контролируемых переходных характеристик, а, следовательно и выходных значений N , в соответствии со значением измеряемой емкости, а также возможность применить БИ по переходным характеристикам только для измерения емкостей, причем значительную погрешность могут оказать шунтирующие ЭРИ.

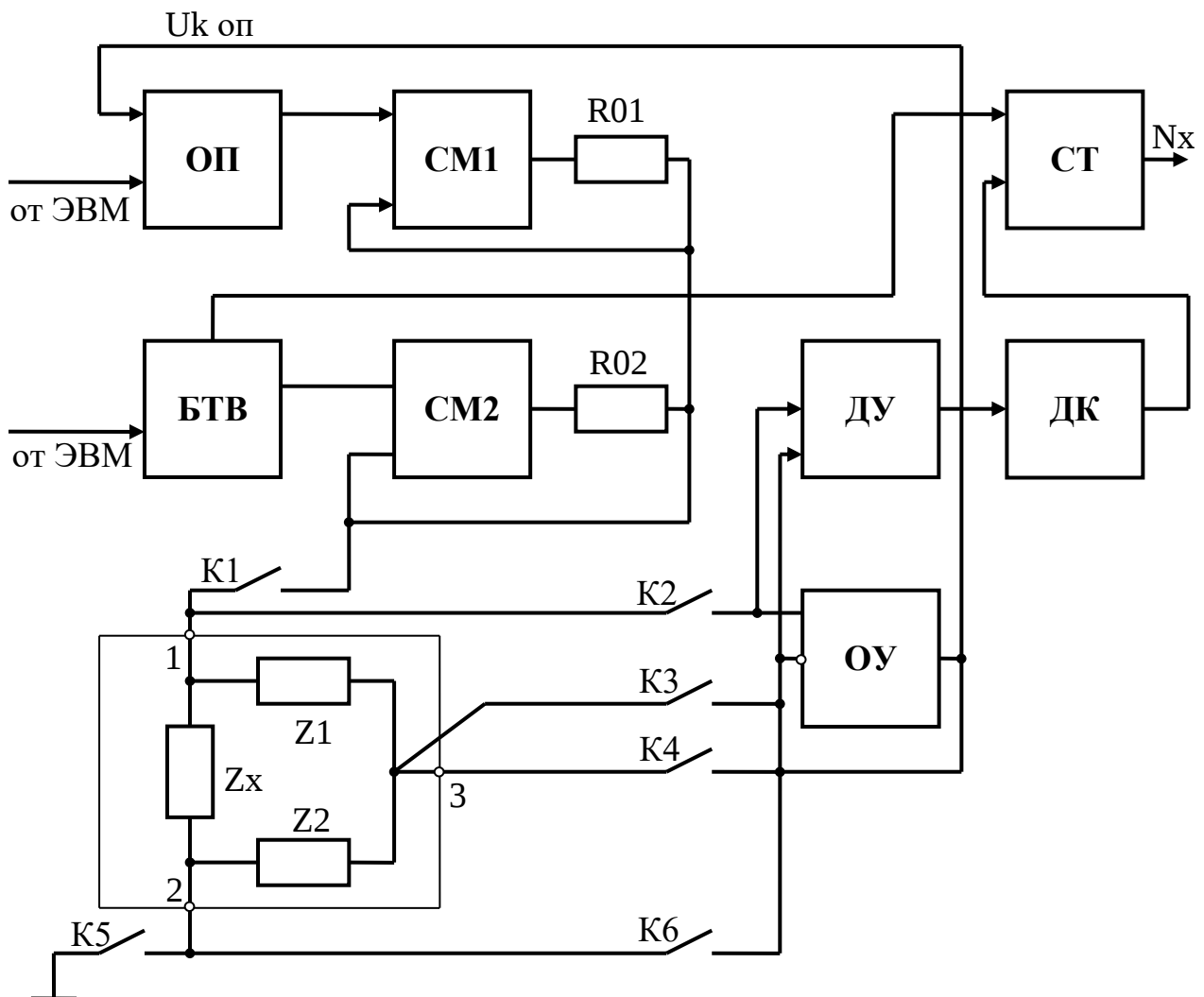


Рис. 1.1.5. Типовая структурная схема блока измерения на переходном процессе

Так, например, при контроле емкости, включенной параллельно резистору в эмиттерную цепь транзистора, величина шунтирующего воздействия зависит от полярности подключения, так как переход база-эмиттер может находиться в открытом или закрытом состоянии [12, 18].

Метод поэлементного диагностирования ЭРИ на ФЯ имеет следующие недостатки:

- для каждого типа измеряемого ЭРИ (R, C, L, p-n ...) необходим свой специализированный блок измерения, что удорожает БИ;

- контроль параметров ЭРИ проводится в статистическом режиме по окончании переходных процессов, что уменьшает быстродействие контрольных операций и снижает эффективность применения автоматизированных методов контроля;

- невозможность исключить взаимовлияние соседних ЭРИ на контролируемый, что изменяет результаты контроля и вносит дополнительную погрешность;

- проводится контроль всех ЭРИ подряд однократно, что снижает достоверность контроля каждого отдельного ЭРИ, при этом затрачивается время на контроль исправных ЭРИ, которых на ФЯ значительно больше;

- при наличии дефектного ЭРИ на ФЯ выдача сообщений о несоответствии допустимым значениям сразу несколькими ЭРИ, соседними с дефектным, что усложняет проведение диагностики;

- внесение дополнительных дефектов ИКУ за счет неплотного прижима иглоков и смещения ФЯ при установке.

Помимо перечисленных недостатков самым существенным является невозможность использования измерителей поэлементного диагностирования для функционального контроля. Таким образом, комбинированное диагностирование представляет собой количественную совокупность двух различных видов диагностирования.

При поэлементном контроле проверяется каждый ЭРИ, хотя большинство ЭРИ на ФЯ исправно и не нуждается в контроле. Кроме того встречаются ФЯ, не содержащие дефектных ЭРИ, которые, тем не менее, подвергаются проверке каждого ЭРИ, что значительно увеличивает

процедуру контроля.

С целью уменьшения времени контроля ФЯ возможно применение методики контроля групп ЭРИ. Методика заключается в том, что проверяются параметры не отдельных ЭРИ, а совокупный параметр группы ЭРИ. В случае, если совокупный параметр группы ЭРИ находится в поле допуска сравнительно к такой же группе ЭРИ на эталонной ФЯ, можно сделать вывод об исправности всех ЭРИ в этой группе, тем самым исключив ее из процесса дальнейшего контроля. Если же параметр значительно отличается от эталонного, то проводится разбиение этой группы ЭРИ на несколько подгрупп с повторением процедуры контроля совокупных параметров этих подгрупп.

Метод контроля группы ЭРИ обладает более высоким быстродействием по сравнению с поэлементным контролем, так как проверяются не все ЭРИ, а только несколько групп с исключением сразу нескольких ЭРИ, входящих в исправную группу. Метод применим как при однократном дефекте, так и в случае нескольких дефектных ЭРИ на ФЯ.

Для устранения перечисленных недостатков необходимо разработать методику для контроля дефектных ЭРИ на ФЯ с учетом взаимовлияния всех ЭРИ и минимальным количеством контрольных операций по выявлению только дефектных ЭРИ.

Для контроля отдельных ЭРИ на ФЯ и выходных параметров РЭУМ, необходимо разработать универсальный БИ. Требования повышения быстродействия приводят к тому, что при измерении параметров ЭРИ переходные процессы не успевают завершиться, лучше всего подвергнуть анализу реакцию ЭРИ на перепад напряжения, так как переходная характеристика имеет максимальное быстродействие по отображению параметра в сравнении с другими методами. В качестве входной цепи можно будет использовать интегрирующую цепь с программно-изменяемыми параметрами для нормализации выходных характеристик ЭРИ.

Таким образом, к БИ предъявляются требования только функционального характера - контроль аналоговых сигналов, что позволяет разработать комбинированный метод функционального и поэлементного диагностирования, реализованный за счет качественных свойств универсального измерителя, а не количественного набора специализированных БИ.

1.2. Сравнительный анализ параметров АСК и выбор АСПД генератора Г4-176

Разработкой и внедрением АСК заняты многие зарубежные фирмы и ряд организаций в нашей стране. В настоящее время на мировом рынке СЭД и СКД наметились две основные тенденции: создание сложных универсальных СКД, предназначенных для автоматизированного поиска любых видов дефектов в аналоговых, цифровых и гибридных ФЯ; интенсивное развитие направления, связанного с разработкой и серийным выпуском более простых и дешевых вариантов СЭД, ССД и СКД, ориентированных на автоматический поиск наиболее распространенных видов производственных дефектов. Такие системы чаще всего называют АПД. Практически все АПД обеспечивают идентификацию коротких замыканий без подачи питающих напряжений на ОД, а также могут осуществлять контроль узловых напряжений и токов после подачи напряжения питания. Все более широкое распространение в АПД получает использование пяти- и шестипроводных измерений, а также тестов для проверки цифровых ИС и аналоговых ИС. Наиболее сложные системы поиска производственных дефектов, приближающиеся по своим возможностям к СЭД и ССД, все чаще стали выделять в отдельный подкласс АПД - поэлементных анализаторов.

Быстрое развитие АПД и поэлементных анализаторов

вызвали потребность в модернизации систем общего диагностирования (СОД). Поскольку АПД обнаруживают в сложных ФЯ только 60...80% всех дефектов, то после них целесообразно применять СОД, ориентированные на идентификацию оставшихся 20... 40% дефектов. Именно поэтому АПД часто называют системами предварительного контроля. В ряде случаев вместо сочетания: (АПД или СЭД) - СОД целесообразно применять только СКД.

При выборе оптимальной стратегии производственного контроля в первую очередь решается вопрос о целесообразности применения АСК комбинированного типа. Стоимость системы комбинированного диагностирования обычно превосходит суммарную цену СОД и СЭД, обеспечивающих такую же вероятность обнаружения дефектов на ФЯ. Очевидным достоинством комбинированной АСК в этом случае является лишь экономия времени, затрачиваемого на подключение ОД. В тоже время недостатки ее проявляются прежде всего в постоянном простое половины аппаратурных средств, обеспечивающих поэлементное либо общее диагностирование, а также в возрастании сложности программирования процесса контроля и времени контроля исправных ФЯ [13, 17]. Таким образом, АСК комбинированного типа выгодно применять для контроля аппаратуры, не требующей сложных функциональных тестов, занимающих большое время. В противном случае экономически целесообразным является применение отдельных систем диагностирования.

Основным путем увеличения производительности процесса диагностирования и повышения качества выпускаемой продукции в настоящее время является применение на одной технологической линии производства ФЯ различных комбинаций СОД и СЭД в конфигурациях, показанных на рисунках 1.2.1-1.2.3.

В тандемной конфигурации (рис. 1.2.1) СЭД предшествует ССД, что позволяет быстро обнаружить

производственные дефекты и снизить общий уровень дефектов на ФЯ, поступающих на этап структурного диагностирования, это позволяет существенно упростить программирование ССД, сконцентрировав его на диагностике рабочих характеристик ОД, а также значительно снизить затраты на функциональную диагностику. Использование тандемной конфигурации позволяет увеличить производительность процесса контроля на 60... 80%, а выход годной продукции может возрасти с 45 до 85%.

В параллельной конфигурации (рис. 1.2.2) СОД производит быструю отработку изделий по принципу "Годен - негоден". Дефектные ФЯ поступают на СЭД для быстрого обнаружения и локализации производственных дефектов, затем отремонтированные ФЯ вновь поступают на СОД для определения и устранения дефектов функционирования. Производительность параллельной конфигурации на 10...15% превышает производительность тандемной, однако, уровень выхода годной продукции здесь не увеличивается по сравнению с использованием одной СОД.

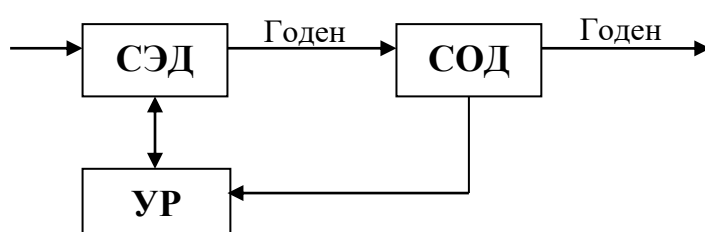


Рис. 1.2.1. Тандемная конфигурация применения систем поэлементного и общего диагностирования

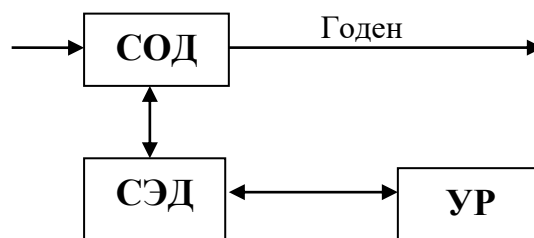


Рис. 1.2.2. Параллельная конфигурация применения систем поэлементного и общего диагностирования

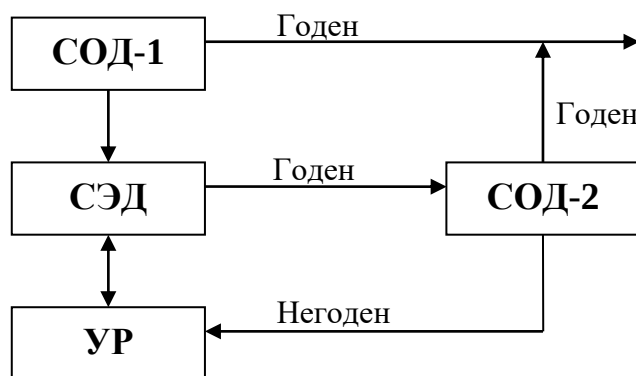


Рис. 1.2.3. Комбинированная конфигурация применения систем поэлементного и общего диагностирования

При больших объемах производства применяют параллельно-тандемную конфигурацию (рис. 1.2.3), в которой контроль по принципу "Годен - негоден" осуществляется отдельной, обычно самодельной СОД1. Покупная СОД2 выполняет диагностирование дефектов вслед за СЭД. Выход годной продукции здесь тот же, что и при параллельной конфигурации, но улучшается управление потоком дефектных ФЯ.

Предпочтительная конфигурация зависит от числа и природы дефектов ОД в каждом конкретном применении. Совместное применение на одной технологической линии СОД и СЭД позволяет существенно снизить уровень дефектов на ФЯ, поступающих на системный контроль, так как СЭД выполняет выверку производственных дефектов, в

то время как ССД производит идентификацию дефектов функционирования, и на каждой стадии идентифицируется часть дефектов, которые не могут быть определены на другой стадии контроля.

В общем случае комбинированные стратегии могут основываться на использовании разнообразных специализированных и универсальных систем контроля, каждая из которых имеет определенные преимущества по выявлению конкретных видов дефектов.

В результате проведенного обзора и анализа отечественных и зарубежных СЭД, ССД и СКД, приведенного в таблице 1.2.1 можно сделать вывод о том, что основным недостатком при поэлементном диагностировании является высокая сложность, а в некоторых случаях и невозможность, определить параметр отдельного ЭРИ на ФЯ, при полном исключении шунтирующего влияния соседних ЭРИ. Несмотря на использование системы автоматизированной генерации тестов (САГТ) для доводки диагностических тестов требуется ручная коррекция специалистом высокой квалификации, хорошо разбирающегося в схемотехнике контролируемой ФЯ и структуры используемой СЭД. Это обусловлено тем, что САГТ составляют диагностический тест для случая исправной ФЯ, а при наличии дефектных ЭРИ не проводится анализ влияния этих дефектов на соседние цепи, что требует доводки тестов при контроле реальных ФЯ.

Повышение быстродействия существующих СЭД упирается не только в быстродействие измерительной аппаратуры, но и во время, требуемое для окончания переходных процессов после коммутации контролируемого ЭРИ к БИ и подачи тестового воздействия. Кроме того, в целях обеспечения хорошего контакта к ОД в СЭД используются коммутаторы на герконовых реле, обладающих недостаточным быстродействием, что снижает в целом быстродействие, а применение интегральных

полупроводниковых коммутаторов затруднено из-за более высокого сопротивления в каналах коммутации и разброса этих значений для различных каналов.

Для функционального диагностирования используются ССД, построенные по модульному принципу, где для каждого типа контролируемого сигнала применяется специализированный измеритель и универсальность достигается не за счет использования универсального БИ, а за счет простого количественного набора специализированных БИ, часть из которых простаивает.

Аналогичный недостаток присущ и СКД, где количественно, а не качественно объединены СЭД и ССД, и общими являются только ЭВМ. При этом большая часть оборудования будет находиться в простое, что снижает эффективность системы при неоправданном повышении ее стоимости.

Одной из важнейших частей автоматизированной системы контроля является БИ. В зависимости от возможностей БИ по преобразованию аналоговых сигналов АСК обладает способностью контролировать параметры ЭРИ на ФЯ и выходные параметры РЭУМ в целом.

При контроле частоты несущего колебания генератора Г4-176 в диапазоне от 0.1 МГц до 1020 МГц потребуются соответствующий БИ, однако, возможно снижение требований по спектральному диапазону в случае контроля промежуточной частоты, полученной при помощи дополнительного гетеродина и смесителя. При таком подходе возможен контроль параметров выходной частоты проверяемого генератора во всем диапазоне частот. Величина промежуточной частоты должна быть не менее десятикратного значения максимальной модулирующей частоты.

Некоторые характеристики АПД, СПД и СКД Таблица 1.2.1

Система	Изготовитель	метод проверки	число КТ	Средства автоматизированн. программирования тестов	Метод подключения к ОД
1	2	3	4	5	6
4400Z	США "FACNRON INC. "	Э	1024	Самообучение	ИКУ, 3
KRUTERION - 550	США "EVCRETT/CHARLES"	Э	16384	Самообучение	ИКУ
Z-1800	США "ZEHNTel INC. "	Э	2048	Producer- I I	ИКУ
Z-810	США "ZEHNTel INC."	Э	1024	Producer	ИКУ
Z-900	США "ZEHNTel INC."	Э	3084	Producer- I I	ИКУ
LBA-11	США "TEST SYSTEM INC."	Э	2048	Самообучение	ИКУ
3200B	США "JOHN FLUCE INC."	Э	65535	Самообучение	ИКУ
MARATHON PREFUNCTIONAL	США "COMPUTER AUTOMATION"	Э	2048	TRANSPARENT	ИКУ
Серия 30/333	США "FAIRSHILD MERTEST SYSTEM"	П	2207	Hfaults	ИКУ
ETI-120	США "ELECTRO-TEST INDUSTRIES INC."	П	1024	ГПД	ИКУ
PR0-1990	США "PROTECH"	К	1024	Самообучение	ИКУ, Р
MTS-50	США "INTERNATIONAL DIGITAL TEST INC."	К	640	ГПД	ИКУ, Р
Серия 8500	США "COMPUTEST"	К	1024	MDG	ИКУ
GR 2255	США "GENRAD"	К	64	—	3

Продолжение таблицы 1.2.1

1	2	3	4	5	6
GR 2272	США "GENRAD"	Э	3584	АТГ	ИКУ
GR 2276	США "GENRAD"	К	1152	ГПД	ИКУ
GR 2751	США "GENRAD"	К	1664	Genesis	ИКУ
DP510Z11	США "DATAPOWER INC."	К	1024	ГПД	ИКУ
KTS-2002	США "BIDDLE"	К	960	ГПД	ИКУ
NITS-789	США "DIGITAL ELECTRONICS INC. "	К	8192	ГПД	ИКУ
HP3062A	США "HEWLETT PACKARD"	К	1024	DET-200	ИКУ
HP3065	США "HEWLETT PACKARD"	Э	1408	IPG-I I	ИКУ
HP3065A	США "HEWLETT PACKARD"	К	1408	IPG-I I	ИКУ, Р
L200	США "TERADYNE INC. "	К	2304	Lasar	ИКУ, Р
Серия 80	АНГЛИЯ "MARCO N1 ATE DIV."	Э	2048	АРВ	ИКУ
MIDATA-510	АНГЛИЯ "MARCO N1 ATE DIV."	К	1000	ГПД	ИКУ, Р
Серия 900	АНГЛИЯ "WAYNE KERR INC."	К	680	Самообучение	ИКУ, Р
Серия 8000	АНГЛИЯ "WAYNE KERR INC."	к	384	Самообучение	ИКУ
ЛИНЗА -2	РОССИЯ	Э	760	ГПД	ИКУ
СТ-1013	РОССИЯ	Э	760	СТ-13	ИКУ
АПД-2	РОССИЯ	Э	1024	Самообучение	ИКУ, 3

Продолжение таблицы 1.2.1

1	2	3	4	5	6
МАСК-031/ 1024	РОССИЯ	Э	1024	-	ИКУ
АСВК	РОССИЯ	Э	2048	ГПД	ИКУ
ЕВРОПА-6	РОССИЯ	К	2112	ГПД	ИКУ,Р,З
АМЦ	РОССИЯ	К	1024	ГПД	ИКУ,Р,З
Радий	РОССИЯ	Э	760	-	ИКУ
АСПД-2	РОССИЯ	Э	768	ГПД	ИКУ
PST-100	ИТАЛИЯ "OLIVETTI"	Э	8064	ГПД	ИКУ, З
ICT-84	ИТАЛИЯ "OLIVETTI"	П	640	ГПД	ИКУ, З
AFL-JOU	ИТАЛИЯ "SPEA"	Э	32768	Самообучение	ИКУ
M3003	Роботрон, ГДР	Э	1344	ГПД	ИКУ
011-510 N 11	ЯПОНИЯ "OKANO ELECTRIC"	Э	768	ГПД	ИКУ
POINT-70	ЯПОНИЯ "MIT- SUBISI INTER- NATIONAL INC"	Э	2048	Самообучение	ИКУ, З

Э - поэлементное диагностирование

П - покомпонентное диагностирование

К - комбинированное диагностирование

С - соединитель

З - зонд

Р - разъем

ИКУ - игольчатое контактное устройство

ГПД - генератор программ диагностирования

Так как максимальная модулирующая частота составляет 10 кГц, то, следовательно, величина промежуточной частоты должна быть не менее 100 кГц. Таким образом, целесообразно выбрать величину промежуточной частоты с запасом (200 кГц). К разрабатываемому БИ в соответствии с параметрами ОД предъявляются требования по контролю семейства интегральных переходных характеристик, постоянных напряжений в диапазоне от 0 до +10 В с погрешностью $\pm 5\%$, частоты несущего колебания 200 кГц с погрешностью $\pm 0.000015\%$, а также контроля модулирующего колебания для случая амплитудной и частотной модуляции с несущей частотой 200 кГц и модулирующей частотой от 50 Гц до 10 кГц с погрешностью $\pm 5\%$, а также контроля напряжений 1 В с погрешностью $\pm 1\%$.

Помимо перечисленных требований к ПФИ предъявляются также требования минимума преобразуемой информации, передаваемой в ЭВМ, и высокого быстродействия.

Для удовлетворения этих требований существующие ПФИ не обладают необходимым набором функциональных возможностей, так как традиционные методики предусматривают дискретизацию преобразуемой функции с заданным шагом и квантование по уровню значений функции в дискретные моменты времени. При таком подходе ПФИ вынужден с высоким быстродействием, обусловленным малым шагом дискретизации для охвата требуемого диапазона аналогового сигнала, преобразовывать большое количество выбранных значений функции, с последующим преобразованием на соответствующих аналого-цифровых преобразователях (АЦП) и передачи для обработки в ЭВМ.

В состав аппроксимирующего ПФИ должен входить преобразователь значения первой производной в цифровую форму для последующей передачи в ПЭВМ. Для этого можно использовать уже существующие стандартные схемы АЦП, либо разработать специализированный преобразователь

напряжение - код (ПНК), использование которого было бы эффективнее по сравнению с уже существующими схемами.

Широкое применение при проектировании автоматизированных систем контроля различных АЦП делает очень важным выбор соответствующей схемы из существующих стандартных АЦП, либо предъявляет высокие требования при проектировании нового типа АЦП.

Основные методы аналого-цифрового преобразования следующие: "параллельный" или "мгновенный", "последовательного приближения" и "интегрирования", а преобразователи, в которых используются эти методы, имеют соответствующие названия.

К основным показателям АЦП можно отнести быстродействие, точность и стоимость. Каждый тип АЦП имеет свою область применения, не пересекающуюся с областями применения других типов. Требование наивысшего быстродействия сопровождается резким увеличением стоимости.

Основными требованиями, предъявляемыми к ПНК, который будет использован в ПФИ, являются:

- быстродействие выше 1 мкс (на уровне АЦП мгновенного преобразования или АЦП поразрядного приближения), так как требуется преобразовывать частоты до 200 кГц (в соответствии с теоремой Котельникова частота дискретизации должна превышать частоту сигнала в два раза);

- стоимость на уровне АЦП поразрядного приближения;

- невысокая абсолютная точность преобразования, измеряемой величины при высокой повторяемости результатов при измерении эквивалентных величин (так как контроль основывается на сравнении параметров эталонного и контролируемого сигналов);

- непрерывное отслеживание уровня преобразуемого сигнала;

- разрядность преобразования не менее 12 разрядов, что

обусловлено требуемой погрешностью измерения напряжений;

- отсутствие разрывов в характеристике преобразования. Перечисленным требованиям наиболее полно отвечает АЦП мгновенного преобразования. Параллельное преобразование можно определить как метод "грубой физической силы". Здесь для каждого возможного выходного уровня используется один компаратор, и общий выходной сигнал получается в виде двоичного кода путем соответствующего декодирования. Обычный аналоговый компаратор можно рассматривать как одноразрядный параллельный преобразователь, и если он является фиксирующим устройством, то получается уже преобразователь с регистром на выходе. Как правило, такой преобразователь имеет внутреннюю архитектуру конвейерного типа, благодаря чему цифровую обработку одного отсчета можно осуществлять одновременно с записью следующего отсчета. Такой способ позволяет осуществлять преобразование очень быстро: новый результат появляется на каждом такте. С другой стороны, недостатком является большое число компараторов (в СНГ выпускаются шести- и восьмиразрядные АЦП серии K1107, в США десятиразрядные АЦП MP7685 фирмы "Микро-Пауер"), что предопределяет относительно высокую стоимость устройства и низкую надежность.

Проведенный анализ показывает, что в настоящее время нет АЦП мгновенного преобразования с разрядностью 12, так как для этого понадобится 4096 компараторов. Следовательно, данный тип АЦП непригоден для использования в аппроксимирующем ПФИ, где, по условиям задачи, требуется применение 12-ти разрядного АЦП.

Помимо очевидной сложности многоразрядных параллельных АЦП они имеют ограниченную точность из-за входных напряжений смещения компараторов. Разность соседних напряжений может составлять лишь несколько милливольт, и, если суммарное смещение пары соседних

компараторов превышает эту величину, логический сигнал в неправильной последовательности поступит в логическую схему декодирования. Даже если логика работы схемы предусматривает это, ошибка, тем не менее, - неизбежна.

Преобразователи последовательного приближения и следящие АЦП обладают низким быстродействием, так как в каждый такт преобразования происходит изменение эталонного напряжения на минимальную величину преобразования. АЦП двойного интегрирования также не подходит по быстродействию.

Для некоторых применений используется ряд других типов АЦП. Некоторые из них представляют собой комбинацию других преобразователей, среди которых основным можно назвать двухступенчатый преобразователь. Его основой является схема последовательного приближения, в которой в качестве компаратора используется параллельный преобразователь, многоразрядный результат первого преобразования с помощью точного ЦАП вычитается из входного сигнала, а остаток умножается и подвергается второму преобразованию. Общий результат представляет собой цифровую сумму результата двух преобразований. Общая разрядность данной схемы приближается к удвоенному числу разрядов одного параллельного преобразователя (необходимо некоторое перекрытие), в то время как его быстродействие в два с небольшим раза ниже быстродействия одного параллельного преобразователя, что делает его непригодным для использования в аппроксимирующем ПФИ.

Другой интересный метод аналого-цифрового преобразования используется в так называемых циклических преобразователях, в которых один каскад выполняет одноразрядное преобразование (коммутатор), вычитает значение разряда и удваивает остаток, так что в следующем каскаде этот процесс может быть повторен. Идея использования последовательно соединенных идентичных

каскадов заманчива, и выбором соответствующей конфигурации каждого каскада можно добиться представления суммарного результата в коде Грея - очень выгодной формы представления для такого типа преобразователя, так как характеристика преобразования является непрерывной, и последовательные цифровые значения отличаются друг от друга не более чем в одном разряде. Однако, за счет накопления погрешностей в каждом такте преобразования данный тип АЦП обладает недостаточной воспроизводимостью результатов.

Таким образом, для организации эффективного контроля функциональных параметров РЭУМ и диагностирования дефектных ЭРИ на ФЯ на этапах производства и эксплуатации РЭУМ необходимо использование универсальной СКД с высоким быстродействием, проводящей как поэлементное диагностирование, так и функциональный контроль, используя специальный ПФИ, способный преобразовывать и параметры ЭРИ на ФЯ и функциональные параметры генератора, причем программное обеспечение (ПО) должно позволять оператору невысокой квалификации составлять диагностические тесты и проводить контроль с высокой достоверностью обнаружения дефектных ЭРИ.

Требования на контроль выходных параметров генератора Г4-176 накладывает ограничение на тип ЭВМ, используемый в разрабатываемой АСПД, так как генератор управляется по интерфейсу КОП. Для обеспечения требуемой глубины контроля дефектных ЭРИ на ФЯ необходимо оснастить АСПД ИКУ и коммутатором для обеспечения доступа ко всем ЭРИ на ФЯ. Так как максимальное число КТ на проверяемых ФЯ генератора Г4-176 составляет 83, следовательно, коммутатор должен обеспечивать соответствующее число подключений. Для подачи напряжения питания, а также контролирующих воздействий, понадобятся управляемые блоки питания.

Необходимым комплектом периферийного оборудования, пригодного для создания разрабатываемой АСПД, обладает СЭД "Линза-Н2". Коммутатор "Линзы-Н2" способен подключить к ФЯ через ИКУ, содержащее 240 контактных штырей (КШ), 6 измерительных шин: А, В, С, D, К, G. Шины А и В будут использованы при синтезе диагностического теста на АСПД для подключения шунтирующих ЭРИ для имитации дефектов и определения коэффициента влияния каждого ЭРИ на выходные параметры ФЯ. Шины С и D будут использованы для подключения к входной измерительной цепи контролируемого ЭРИ или группы ЭРИ на ФЯ. Шины К и G будут создавать виртуальные цепи для исключения влияния остальных ЭРИ на контролируемый элемент.

Блоки питания будут использованы для формирования требующих питающих напряжений рабочих режимов ФЯ, а один блок питания - для подачи контролирующего сигнала.

В качестве управляющей ЭВМ в АСПД можно применить персональную ЭВМ (ПЭВМ) "Нейрон", имеющую интерфейс КОП, а также необходимый объем памяти 512 К, быстродействие 1 млн. операций/с и математическое обеспечение, необходимое для разработки диагностических программ.

Для АСПД необходимо дополнительно разработать и изготовить интегрирующую входную цепь для контроля ЭРИ на ФЯ по переходным характеристикам с целью повышения быстродействия контрольных операций и унификации контролируемых типов ЭРИ, а также необходимо разработать и изготовить ПФИ, использующий метод КЛА и, способный преобразовывать и передавать в ПЭВМ в сжатой форме как информацию о переходных характеристиках отдельных ЭРИ, так и информацию об аналоговых сигналах генератора Г4-176.

Для повышения достоверности определения дефектных ЭРИ на ФЯ необходимо разработать методику по контролю групп ЭРИ с целью обнаружения и локализации дефектного

элемента.

Решение комплекса перечисленных задач позволит организовать с высокой эффективностью контрольно-диагностические операции при сборке и регулировке серийных РЭУМ на производстве и в процессе эксплуатации.

1.3. Постановка задачи

Проведенный анализ современного состояния автоматизированного контроля аналоговых РЭУМ позволяет сделать вывод, что большое число контролируемых устройств и их сложность требуют резкого сокращения времени контроля каждого устройства и отдельных его узлов при одновременном требовании к снижению стоимости системы контроля, а также разработки САГТ, не требующей "ручной" корректировки диагностического теста на реальном ОД.

Удовлетворить этому требованию могут только автоматизированные СКД, причем универсальность системы при поэлементном и функциональном диагностировании должна достигаться не количественным набором сменных модулей для различных типов контроля, что обуславливает простаивание части модулей, а использованием в СКД одного универсального измерителя для контроля всех типов ЭРИ и всех функциональных параметров ОД.

Сокращение времени, отводимого на контроль, приводит к тому, что во время контроля устройство еще находится в переходном режиме, и измеряемые процессы претерпевают значительные изменения. Система контроля должна выдавать информацию на основании измерения изменяющихся процессов. Для решения этой проблемы целесообразно разработать систему контроля, использующую новые методы контроля по переходным характеристикам с применением соответствующих измерительных устройств.

Как следует из проведенного анализа объектов контроля, для выявления дефектов отдельных ЭРИ достаточно

проводить косвенное определение параметров контролируемого устройства. Таким универсальным контролируемым параметром для большинства дефектов является реакция схемы на перепад уровня сигнала. Переходные характеристики, измеренные на заведомо исправном контролируемом устройстве, позволят создать семейство эталонных переходных характеристик для данного устройства.

Целью монографии является исследование принципов контроля параметров групп ЭРИ на ФЯ для диагностирования возникающих дефектов, а также разработка БИ для контроля переходных характеристик проверяемых ЭРИ и выходных функциональных параметров аналоговых серийных РЭУМ.

В связи с этим в монографии поставлены следующие основные задачи:

1. Анализ известных методов автоматизированного контроля с целью выбора и обоснования принципов контроля по переходным характеристикам, позволяющих значительно снизить время контроля.

2. Разработка методики синтеза теста по переходным характеристикам для проведения оптимального диагностирования дефектных ЭРИ.

3. Определение способов контроля исправности групп ЭРИ с целью повышения производительности контрольно-диагностических операций.

4. Разработка способа бесконтактного контроля по переходным характеристикам.

5. Разработка способа КЛА для переходных характеристик с целью минимизации информации, передаваемой в ПЭВМ.

6. Разработка специализированного следящего ПНК для осуществления преобразования уровней первой производной при КЛА.

7. Разработка аппроксимирующего ПФИ, предназначенного

как для преобразования переходных характеристик при поэлементном диагностировании, так и для аппроксимации аналоговых сигналов при функциональном диагностировании РЭУМ.

Детализация этих задач будет помещена в соответствующих разделах. Разработка комплекса перечисленных методов, алгоритмов и устройств составляет предмет и содержательную основу настоящей монографии.

Реализация, апробация и внедрение в промышленность АСПД серийных РЭУМ позволят повысить эффективность контрольно-диагностических операций за счет повышения быстродействия измерительной части системы, а также снизить общее время контроля за счет оптимальной организации поиска дефектов на отдельных ФЯ генератора, что увеличит процент выхода годных изделий, с одновременным повышением достоверности обнаруживаемых дефектов при снижении стоимости самой системы.

2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГРУПП ЭРИ НА ФЯ ПО ПЕРЕХОДНЫМ ХАРАКТЕ-РИСТИКАМ

2.1. Разработка математической модели влияния параметров контролируемых ЭРИ на выходной совокупный параметр группы

Методика поэлементного диагностирования предполагает коммутирование каждого ЭРИ и контроль его параметров при условии уменьшения шунтирующего влияния соседних ЭРИ, однако, более эффективен контроль групп ЭРИ, который предполагает прохождение контролирующего воздействия через пару КТ, соединенных через несколько ЭРИ. При этом каждое ЭРИ вносит свою долю в преобразование выходного параметра, поэтому при несоответствии его допустимым значениям возникает неопределенность при идентификации дефектного ЭРИ.

В качестве выходного параметра группы может быть выбран любой аналоговый параметр, например, сопротивление, емкость, индуктивность между парой КТ. Однако, в этом случае понадобятся специализированные измерители, кроме того, влияние некоторых ЭРИ будет в значительной степени зависеть от выбранного выходного параметра группы. Например, если контролируется активное сопротивление между парой КТ выбранной группы, то влияние параметров резисторов будет превышать влияние конденсаторов и катушек индуктивности. Аналогичная ситуация возникает, если использовать в качестве выходного параметра емкость или индуктивность группы.

Дополнительным недостатком такого подхода является то, что эти параметры измеряются в статических режимах, поэтому требуется дополнительное время на завершение переходных процессов. В тоже время этот недостаток может быть использован в качестве основного преимущества, если

применить переходную характеристику группы ЭРИ в качестве выходного совокупного параметра. Это позволит уравнивать влияния разнотипных ЭРИ в группе, так как все они имеют определенные переходные характеристики в независимости от типа. Причем возможен контроль дефектов не только пассивных (R, L, C) и активных (p-n переходы диодов, стабилитронов, варикапов, транзисторов, тиристоров и т. д.) ЭРИ, но и обнаружение дефектов микросхем и микросборок, которые имеют для каждой пары ножек свои переходные характеристики. В результате сравнения переходных характеристик эталонной и контролируемой ФЯ возможно обнаружение наличия дефекта.

Традиционные методики не позволяют с требуемой достоверностью провести определение дефектного ЭРИ, так как на выходной совокупный параметр группы может оказать влияние отклонение параметра любого ЭРИ этой группы, либо даже нескольких ЭРИ одновременно. Причем весьма вероятна ситуация, при которой параметры ЭРИ не выходят за граничные значения допусков. Однако, их совокупное воздействие на выходной параметр группы вызывает значительное отклонение. Поэтому возможна лишь констатация соответствия допустимым значениям выходного совокупного параметра группы. В случае выхода за поле допуска выходного параметра осуществляется ориентировочное указание вида дефекта, вызвавшего соответствующее отклонение этого параметра. Однако, допустимо проведение диагностирования с точностью до отдельного ЭРИ в случае контроля нескольких групп, проверяемых ЭРИ на ФЯ с последующим анализом дефектов, вызывающих соответствующие отклонения выходных совокупных параметров для каждой группы.

Множество вероятных дефектных значений для каждого ЭРИ даст множество отклонений параметров для каждой группы. Пользование такими таблицами соответствия невозможно для обнаружения дефектного ЭРИ из-за

необходимости сравнения колоссальных массивов информации (требующих значительных объемов машинной памяти) для обнаружения искомого дефекта. Поэтому требуется не табличное сравнение дефектов, а аналитическое вычисление дефектного ЭРИ.

На выходной параметр группы ЭРИ может оказать влияние любого ЭРИ этой группы, каждый в соответствии со своим коэффициентом влияния, но после контроля нескольких групп ЭРИ должны быть выявлены как дефектные только те ЭРИ, которые во всех этих случаях показали одинаковое отклонение ЭРИ от номинального значения, так как параметр дефектного ЭРИ не может менять своего значения в зависимости от изменения точек подключения к контролируемым группам ЭРИ.

Преимуществом такого подхода является также то, что возможно для определения работоспособности ФЯ отказаться от использования ИКУ и осуществить проверку ФЯ через его разъем, контакты которого соединены через группы ЭРИ. Задача облегчается тем, что этап контроля ФЯ после сборочных операций необходим только для того, чтобы при передаче ФЯ на регулировку не произошло дополнительных отказов при подаче напряжения питания. Опыт работы по контролю ФЯ показал, что такие отказы возможны только при наличии коротких замыканий и обрывов, а также отклонения некоторых параметров ЭРИ свыше 50% от номинального значения. Таким образом, задача контроля ФЯ упрощается, так как необходимо диагностирование значительного изменения параметров ЭРИ.

Однако, диагностирование ЭРИ с погрешностью 10% требует применение ИКУ или щупов. Поэтому целесообразно процедуру контроля дефектных ЭРИ на ФЯ построить в два этапа.

На первом этапе все ФЯ после сборки контролируются через разъем для определения наличия значительных дефектов. При отсутствии таковых ФЯ передаются на регулировку.

Если же на первом этапе выявлены отклонения контролируемых параметров, то ФЯ подключаются через ИКУ для локализации дефектных ЭРИ, а затем поступают на ремонт.

На примере построения математической модели (ММ) зависимости параметров ЭРИ и выходного совокупного параметра группы ЭРИ можно рассмотреть создание диагностического теста и процедуру поиска и нахождения дефектного ЭРИ методом группового контроля.

Для выбора вида многофакторной ММ на практике используются два метода: метод последовательной графо-аналитической аппроксимации частных (базисных) функций отклика от отдельных групп факторов с последующей композицией их в общую многофакторную модель и противоположный ему метод эвристического назначения какой-либо формальной модели. Выбор одного из этих методов, прежде всего, обусловлен наличием априорных сведений о возможном виде искомой ММ, а также степенью диффузности (разброса) исходных экспериментальных данных.

Необходимо установить зависимость между параметрами ЭРИ: $X_1, X_2, \dots, X_M$ и выходным совокупным параметром группы Y

$$Y=f(X_1, X_2, \dots, X_M). \quad (2.1.1)$$

Для определения влияния параметров ЭРИ на выходной совокупный параметр было проведено исследование. Входным факторам было задано изменение во всем диапазоне допустимых значений. Параметры ЭРИ принимали следующие значения: короткое замыкание, -50%, -10%, номинальное значение, +10%, +50%, обрыв. Варьирование параметров задавалось вначале поочередно для каждого фактора, а затем совместно для двух, трех и более факторов одновременно, при этом проводилось определение выходного

совокупного параметра и расчет коэффициента влияния для каждого фактора в отдельности и коэффициентов совместного взаимовлияния нескольких факторов одновременно. Максимальное количество факторов достигало 120 при анализе четвертой ФЯ генератора Г4-176, содержащей наибольшее количество ЭРИ (120).

В результате проведенного исследования установлена линейная зависимость выходного параметра Y для каждого входного параметра X , варьируемого во всем диапазоне допустимых значений, причем корреляционная зависимость между факторами отсутствовала (очевидно, что параметр одного ЭРИ не оказывает влияния на параметр другого ЭРИ, и влияние их на выходной параметр независимо).

Так как параметры ЭРИ на ФЯ не имеют корреляционной зависимости, то ММ можно выразить в виде уравнения гиперплоскости $(M+1)$ -мерном пространстве:

$$Y=A(0)+A(1)X(1)+A(2)X(2)+\dots +A(I)X(I)+\dots, \quad (2.1.2)$$

где $A(I)$ - коэффициент влияния I -го фактора.

Такие ММ необходимо строить для подключения к каждой паре КТ на ФЯ. Соответственно, для каждого K -го подключения будет создана своя модель:

$$Y(K)=A(0,K)+A(1,K)X(1)+A(2,K)X(2)+\dots +A(I,K)X(I)+\dots, \quad (2.1.3)$$

где $Y(K)$ - совокупный выходной параметр при K -ом подключении, $A(I,K)$ - коэффициент влияния I -го фактора при K -ом подключении.

Для сбора диагностического теста необходимо определить коэффициенты влияния каждой модели. Лучше всего использовать эталонную ФЯ, содержащую ЭРИ с номинальными значениями параметров. В этом случае, при каждом подключении к парам КТ, ММ будет иметь вид:

$$Y(K,N)=A(0,K)+A(1,K)X(1,N)+A(2,K)X(2,N)+A(I,K)X(I,N)+..., (2.1.4)$$

где $Y(K,N)$ - номинальное значение совокупного выходного параметра при K -ом подключении; $X(I,N)$ - номинальное значение I -го фактора.

Для определения коэффициентов влияния можно воспользоваться различными методами, однако, так как коэффициенты влияния достаточно детерминированы для случая влияния параметров ЭРИ на выходной совокупный параметр, можно перейти к относительным координатам, воспользовавшись базовыми значениями как самих параметров ЭРИ, так и выходного параметра группы из уравнения (2.1.3). Вычитая из уравнения (2.1.4) уравнение (2.1.3) получим:

$$Y(K)-Y(K,N)=A(1,K)(X(1)-X(1,N))+A(2,K)(X(2)-X(2,N))+... . (2.1.5)$$

Из уравнения (2.1.5) следует, что можно определить коэффициенты влияния поочередно, задавая изменения каждого фактора в отдельности, сохраняя номинальные значения остальных ЭРИ, тем самым, обнуляя соответствующие члены полинома. В этом случае уравнение (2.1.5) примет вид:

$$Y(K)-Y(K,N)=A(I,K)(X(I)-X(I,N)). (2.1.6)$$

Преобразовав, найдем коэффициент влияния:

$$A(I,K)=(Y(K)-Y(K,N))/(X(I)-X(I,N)). (2.1.7)$$

Воспользовавшись уравнением (2.1.7) можно провести определение всех коэффициентов влияния для каждого фактора (параметра ЭРИ) для всех моделей (подключения соответствующей пары КТ). Для этого необходимо после подключения пары КТ провести варьирование параметров ЭРИ, подключая параллельно к каждому ЭРИ нагрузки,

эквивалентные данному ЭРИ, тем самым шунтируя его, имитируя дефект (50% отклонения параметра ЭРИ от номинального значения). Величина отклонения параметра ЭРИ роли не играет, так как зависимость выходного совокупного параметра от входных параметров линейна, и, поэтому, для определения коэффициента влияния достаточно двух любых значений параметра.

После вычисления коэффициентов влияния каждого фактора будет построено множество ММ для каждой подключаемой пары КТ.

При диагностировании контролируемого ФЯ, содержащего дефектное ЭРИ, измеряя совокупный параметр каждой группы, можно получить различные значения отклонений этого параметра от номинального значения на эталонной ФЯ. Преобразование уравнения (2.1.7) относительно параметра ЭРИ, приводит к уравнению:

$$X(I,K)=(Y(K)-Y(K,N))/A(I,K)+X(I,N). \quad (2.1.8)$$

Решая это уравнение, можно определить какую величину отклонения должно иметь каждое ЭРИ для того, чтобы обеспечить измеренное отклонение совокупного выходного параметра. Для каждой группы будет получено свое значение величины параметра для каждого фактора при условии, что отклонение величины выходного параметра вызвано именно этим фактором. Естественно, что эти величины будут иметь случайный характер, поэтому необходимо вычислить оценки математического ожидания (2.1.9) и дисперсии (2.1.10):

$$M(I) = \sum_{J=1}^N X(I,J) / N, \quad (2.1.9)$$

$$D(I) = \sum_{J=1}^N (X(I,J) - M(I))^2 / N, \quad (2.1.10)$$

где $M(I)$ - оценка математического ожидания $X(I)$ -го фактора;
 $D(I)$ - оценка дисперсии $X(I)$ -го фактора.

Для выявления закономерности влияния дефектного ЭРИ

на выходные совокупные параметры каждой группы было проведено исследование. Каждому ЭРИ на ФЯ было задано отклонение параметра (короткое замыкание, -50%, -10%, номинальное значение, +10%, +50%, обрыв) с последующим контролем отклонений выходных совокупных параметров для каждой группы и вычислением по формуле (2.1.8) вероятного значения параметра для каждого ЭРИ при каждом подключении. Установлено, что тот параметр, отклонение которого имитировало дефект, имеет расчетные значения для каждого подключения наиболее близкие между собой и равные дефектному значению. Другие ЭРИ имеют расчетные значения для каждого подключения с большим разбросом, причем величина разброса существенно отличается от разброса дефектного ЭРИ (в 3 и более раза). На рисунке 2.1.1 изображена зависимость величины дисперсии расчетного значения отклонения параметра дефектного ЭРИ от величины этого отклонения. Разброс параметров семейства характеристик обусловлен статистическим рассеиванием значений параметров ЭРИ для различных групп ЭРИ и различных типов ФЯ.

Физический смысл установленной закономерности заключается в том, что те ЭРИ, расчетные значения оценки дисперсий которых минимальны, с большей вероятностью являются дефектными, так как параметры ЭРИ не могут меняться в процессе контроля.

Вероятность обнаружения дефектного ЭРИ зависит от количества проконтролированных групп: чем их больше, тем точнее осуществляется диагностирование проверяемого ЭРИ. На рисунке 2.1.2 изображена зависимость вероятности обнаружения дефектного ЭРИ на ФЯ от количества проконтролированных групп. Исследование проводилось путем последовательного анализа партий, состоящих из тысячи ФЯ каждого типа, на которых дефектные ЭРИ определялись в результате поочередного анализа 3... 20 групп.

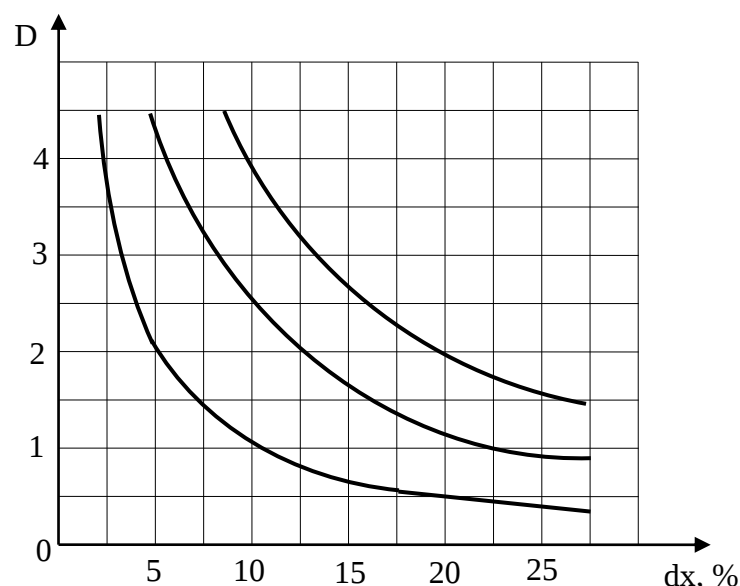


Рис. 2.1.1. Зависимость величины дисперсии расчетных значений отклонения параметра ЭРИ от величины этого отклонения

Анализ зависимости, изображенной на рисунке 2.1.2 позволяет сделать вывод, что увеличение числа контролируемых групп на ФЯ свыше 10, практически не оказывает влияния на повышение вероятности обнаружения дефектных ЭРИ на ФЯ, которая определялась как:

$$P = (N/M)100\%, \quad (2.1.11)$$

где P - вероятность обнаружения дефектного ЭРИ;

N - количество обнаруженных дефектных ЭРИ во всей партии проверяемых ФЯ;

M - общее число реально имеющихся дефектов в этой партии ФЯ.

Следовательно, в результате контроля не более десяти групп ЭРИ на ФЯ можно оценить дефектный элемент, сравнивая дисперсии рассчитанных значений каждого ЭРИ и сам параметр соответствующего ЭРИ (математическое ожидание). В случае, если отклонение параметра ЭРИ от номинального значения менее 10%, такой элемент из

рассмотрения исключается как исправный (в соответствии с ТУ на пассивные ЭРИ генератора Г4-176), а список подозреваемых дефектных ЭРИ выводится на печать в соответствии с их вычисленным значением математического ожидания и величиной дисперсии этого значения.

Приведенные расчеты справедливы для одинарного дефекта на ФЯ. В случае кратных дефектов на ФЯ возможны два пути решения.

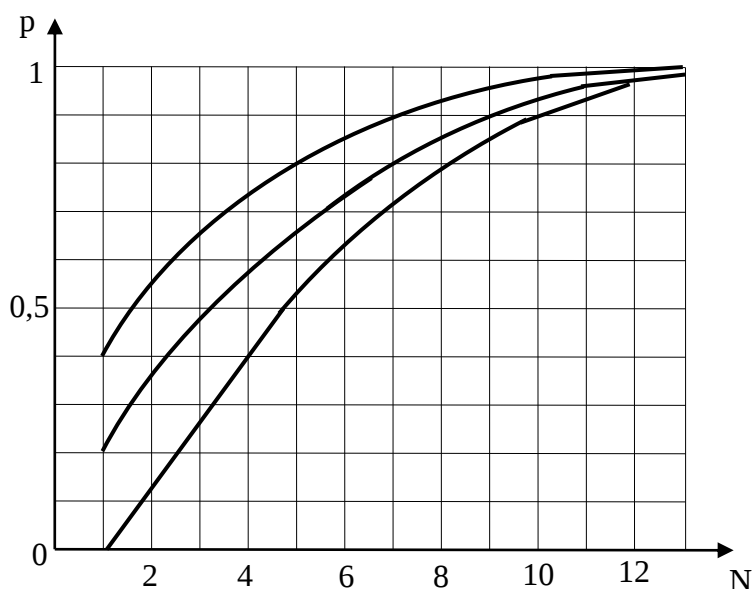


Рис. 2.1.2. Зависимость вероятности обнаружения дефектного ЭРИ на ФЯ от количества проконтролированных групп ЭРИ

В первом случае требуется дополнить ММ переменными, учитывающими одновременное взаимное изменение нескольких факторов, однако, это резко увеличивает объем вычислений.

Второй способ заключается в поэтапном устранении наиболее вероятного дефекта с повторением процедуры контроля и поиске нового дефекта до тех пор, пока расчетные отклонения всех параметров от номинальных значений не будут меньше поля допуска. Если же допускается контроль с

помощью ИКУ, то локализация дефектов может быть осуществлена с большей точностью. При отсутствии ИКУ возможно использование щупов с выводом подсказок на экран дисплея номеров КТ, либо рисунка контролируемой ФЯ с указанием мест подключения, в зависимости от допустимой сложности математического обеспечения (МО) и наличия соответствующих периферийных устройств.

Достоверность разработанного метода значительно выше, чем при поэлементном диагностировании, так как ЭРИ проверяется не при одном подключении, а при нескольких. Поэтому, случайная ошибка в отдельном измерении будет скомпенсирована результатами остальных проверок.

2.2. Разработка способа выделения групп ЭРИ на ФЯ для контроля по переходным характеристикам

Для организации сбора диагностического теста методом группового динамического контроля необходимо решить задачу выбора КТ, объединяющих группы ЭРИ на ФЯ. Наиболее простым способом является перебор всех возможных комбинаций попарного объединения КТ. Однако, это приведет к непомерному увеличению количества контролируемых групп и, соответственно, увеличению времени контроля. Поэтому необходимо провести сортировку пар КТ, а, соответственно, и групп ЭРИ для каждой пары, по определенным критериям. Таким критерием может служить количество значимых коэффициентов влияния в ММ для каждой группы ЭРИ, так как это определяет количество ЭРИ, оказывающих существенное влияние на выходной параметр и, следовательно, позволяющих провести обнаружение дефектного ЭРИ.

В идеальном случае желательно иметь несколько групп, ММ которых имеют значимые коэффициенты влияния для всех ЭРИ на ФЯ. Это позволит в несколько шагов определить

дефектное ЭРИ, так как его влияние будет обнаружено при всех контрольных операциях. Количество проконтролированных групп в значительной степени будет влиять на достоверность диагностирования: чем больше проконтролированных групп, тем выше достоверность контроля.

Все множество пар КТ может быть разбито и классифицировано на несколько типов:

- пары КТ, соединенные через одно ЭРИ (или несколько параллельно скоммутированных ЭРИ);
- пары КТ, соединенные через два и более последовательно скоммутированных ЭРИ.

Количество ЭРИ, последовательно соединяющих пару КТ, ограничивается, как правило, числом не более восьми. Это объясняется тем, что любая КТ соединена с одной из шин питания не более чем через четыре ЭРИ, скоммутированных последовательно. Таким образом, общее число ЭРИ между парой любых КТ не будет превышать восьми. Эта зависимость выявлена при анализе электрических принципиальных схем девяти типов ФЯ, входящих в состав генератора Г4-176, однако, может иметь место превышение числа ЭРИ, соединяющих пары КТ для других типов ФЯ, но это не имеет принципиального значения для проведения разбиения пар КТ на группы.

С целью определения количества значимых коэффициентов влияния в ММ для каждой группы ЭРИ было проведено исследование. Осуществлялось подключение к каждой паре КТ, соединенной последовательно через одно ЭРИ, после чего параметры всех ЭРИ на ФЯ поочередно варьировались для определения коэффициентов влияния ММ для каждой пары КТ. Так как зависимость выходного совокупного параметра от параметра ЭРИ линейна, то достаточно в соответствии с формулой (2.1.7) двух значений: номинального и с отклонением. Количество факторов достигало 120 при анализе четвертой ФЯ генератора Г4-176,

которая содержала наибольшее количество ЭРИ. Аналогичная процедура проводилась для пар КТ, соединенных последовательно через два, три и более ЭРИ.

В соответствии с ТУ на генератор Г4-176 допустимое значение параметров ЭРИ на ФЯ составляет $\pm 10\%$. Поэтому величина коэффициента влияния параметра ЭРИ на выходной совокупный параметр ограничивается величиной погрешности измерения выходного совокупного параметра. Если величина параметра ЭРИ на ФЯ изменилась на $\pm 10\%$, то выходной совокупный параметр изменится на:

$$dY = A(I, K) * 10\%, \quad (2.2.1)$$

где dY - абсолютное отклонение выходного совокупного параметра в процентах,

$A(I, K)$ - коэффициент влияния I -го фактора для K -го подключения пары КТ.

Так как погрешность БИ составляет $\pm 1\%$ (выбранная погрешность КЛА для ПФИ в АСПД), то, следовательно, коэффициент влияния должен иметь значение свыше 0.1. Все коэффициенты влияния, имеющие меньшее значение, принимаются незначимыми, так как их влияние на выходной совокупный параметр оказывается менее $\pm 1\%$, что соразмерно с погрешностью БИ АСПД. При таком подходе количество значимых коэффициентов в значительной степени зависит от погрешности БИ. При наличии более точного БИ можно получить больше значимых коэффициентов влияния, однако, их абсолютное значение будет мало, и, в этом случае, вместо количества значимых коэффициентов влияния может быть выбран совокупный показатель в качестве критерия определения групп ЭРИ, равный сумме абсолютных значений всех коэффициентов влияния ММ (в косвенной степени он будет связан с количеством значимых коэффициентов).

Проведено исследование по установлению зависимости количества значимых коэффициентов влияния в ММ от

количества соединенных последовательно ЭРИ между парой КТ. При исследовании выбирались пары КТ, соединенные последовательно через различное количество ЭРИ. Максимальное количество КТ составило 83 при анализе четвертой ФЯ генератора Г4-176, при этом количество ЭРИ между парой КТ достигало шести. При каждом подключении всем параметрам ЭРИ на ФЯ давались приращения, и проводилось вычисление коэффициентов влияния в соответствии с формулой 2.1.7. Значимость коэффициентов влияния проверялась в соответствии с формулой 2.2.1.

В результате проведенного исследования было установлено, что те пары КТ, которые соединены между собой через наибольшее количество ЭРИ, имеют ММ с наибольшим количеством значимых коэффициентов влияния. Результаты исследования, проведенного по анализу электрических схем девяти типов ФЯ, приведены на рисунке 2.2.1.

Физический смысл обнаруженной закономерности заключается в том, что если пара КТ соединена через одно ЭРИ, то коэффициент влияния этого ЭРИ на выходной параметр наиболее значителен, менее значительно влияние ЭРИ соседних этому ЭРИ и скоммутированных к одной из КТ выбранной пары. Влиянием остальных ЭРИ можно пренебречь. В случае, когда пара КТ соединена через два ЭРИ, то влияние этих ЭРИ значительно превышает влияние соседних к ним ЭРИ, а те, в свою очередь, имеют большие коэффициенты влияния, чем те ЭРИ, которые не подключены к этой паре КТ, либо к той КТ, которая является средней между выбранной парой КТ и соединяет между собой два ЭРИ.

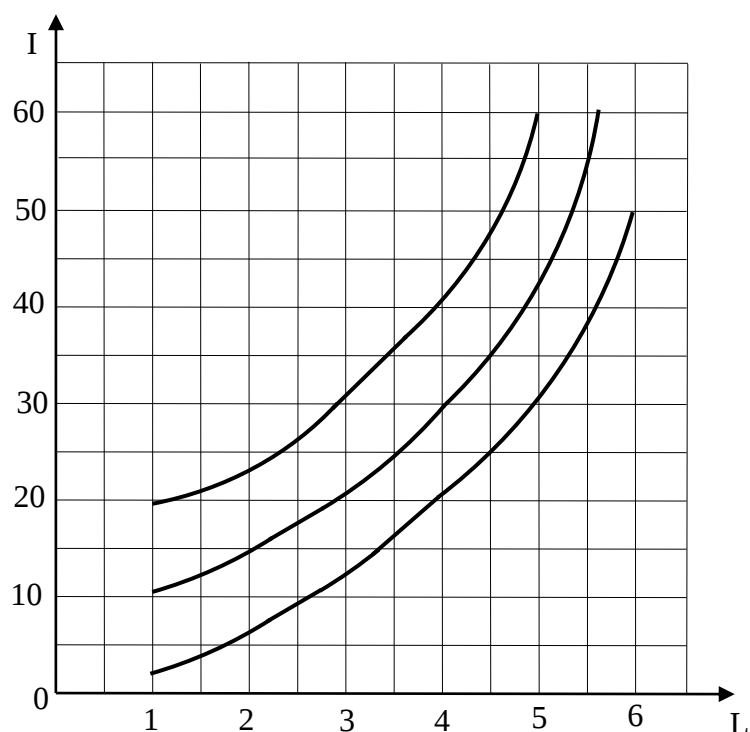


Рис. 2.2.1. Зависимость количества значимых коэффициентов влияния в ММ для пары КТ от количества ЭРИ, соединяющих последовательно эту пару КТ:

I - количество значимых коэффициентов влияния в ММ;

L - количество ЭРИ, соединяющих последовательно эту пару КТ.

Таким образом, пары КТ, наиболее удаленные друг от друга, и соединенные через максимальное число последовательно скоммутированных ЭРИ, имеют максимальное число значимых коэффициентов влияния, причем величины этих коэффициентов влияния соразмерны между собой, так как параметры ЭРИ в приблизительно равной степени влияют на выходной совокупный параметр группы (отсутствуют ЭРИ, имеющие приоритетное подключение к паре КТ).

Следовательно, для проведения контроля дефектных ЭРИ на ФЯ групповым методом необходимо провести разбиение всей совокупности ЭРИ на группы, соединяющие пары КТ

через максимальное число последовательно скоммутированных ЭРИ.

В связи с тем, что, как правило, получается несколько пар КТ, соединенных через максимальное число последовательно скоммутированных ЭРИ, необходимо проведение дальнейшей сортировки. Каждая КТ обладает такой характеристикой как количество ЭРИ, скоммутированных к этой КТ. Эта характеристика отражает величину связности выбранной КТ с остальной схемой. Для пары КТ можно ввести характеристику, отражающую совокупную связность этой пары КТ с ЭРИ на ФЯ и назвать ее коэффициентом связности пары КТ.

Проведено исследование по установлению зависимости между коэффициентом связности парой КТ и количеством значимых коэффициентов влияния в ММ для этой пары КТ. При исследовании выбирались пары КТ, соединенные последовательно через одинаковое количество ЭРИ, но имеющие разные коэффициенты связности для пар КТ. При каждом подключении всем параметрам ЭРИ на ФЯ давались приращения, и проводилось вычисление коэффициентов влияния в соответствии с формулой 2.1.7. Значимость коэффициентов влияния проверялась в соответствии с формулой 2.2.1.

В результате проведенного исследования было установлено, что те пары КТ, коэффициенты связности которых имеют большее значение, обладают ММ с наибольшим количеством значимых коэффициентов влияния. Установленная зависимость приведена на рисунке 2.2.2.

Физический смысл установленной закономерности обусловлен тем, что, чем больше связана пара КТ с ЭРИ на ФЯ, тем больше влияют параметры этих ЭРИ на выходной совокупный параметр группы, а, следовательно, ММ будут иметь больше значимых коэффициентов влияния.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что проведение диагностирования дефектных ЭРИ на ФЯ

методом группового контроля необходимо проводить, разбивая ЭРИ на группы, подключенные к парам КТ, соединенных через максимальное число последовательно скоммутированных ЭРИ, причем начинать контроль необходимо с тех групп, которые обладают большими коэффициентами связности.

С целью повышения достоверности операций разбиения совокупности ЭРИ на группы и вычисления коэффициентов связности необходимо провести автоматизацию этих операций.

Рассмотрим автоматизированную процедуру разбиения на группы ЭРИ на ФЯ, вычисление коэффициентов связности и сортировку пар КТ по очередности контроля групп на примере фрагмента схемы ФЯ генератора Г4-176, изображенной на рисунке 2.2.3.

На рисунке 2.2.4 изображена исходная матрица связей (матрица инцидентий) КТ через одно ЭРИ. Максимальное число строк и столбцов соответствует количеству КТ (проводников). Если две КТ связаны между собой последовательно через одно ЭРИ (иди два и более параллельно соединенных ЭРИ), то элемент матрицы с номерами строк и столбцов, соответствующими номерам этих КТ, равен единице. Все остальные элементы матрицы равны нулю. Матрица связей формируется либо вручную по чертежу электрической принципиальной схемы ФЯ и чертежу ИКУ, соответствующему этой ФЯ, либо автоматизировано на основании выходных баз данных систем автоматизированного проектирования (САПР) топологии монтажных плат [15, 20].

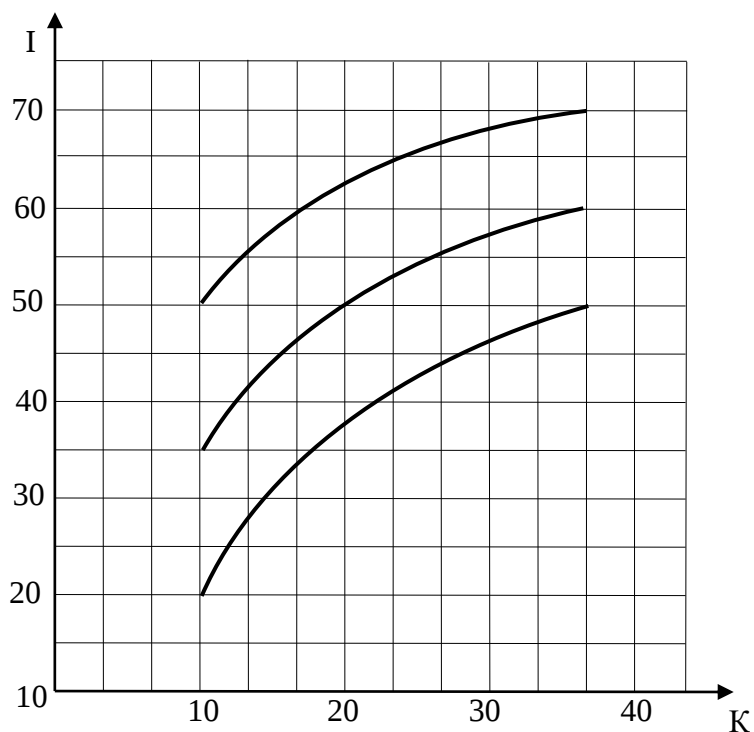


Рис. 2.2.2. Зависимость количества значимых коэффициентов влияния в ММ для пары КТ от величины коэффициента связности для этой пары КТ

I - количество значимых коэффициентов влияния в ММ
 К - величина коэффициентов связности для пары КТ

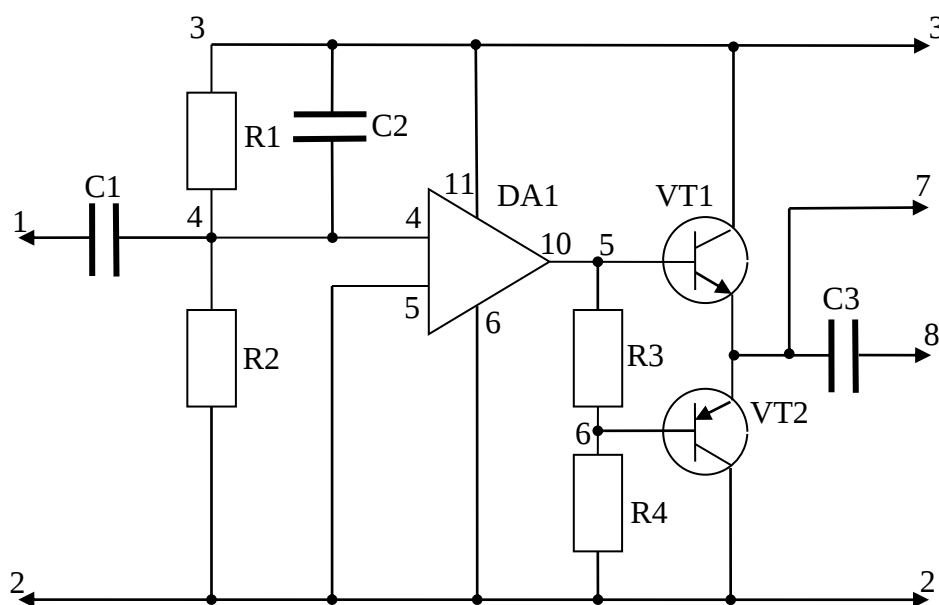


Рис. 2.2.3. Фрагмент схемы ФЯ генератора Г4-176

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	1	1	1	1	0	0
3	0	1	0	1	1	0	0	0
4	1	1	1	0	1	0	0	0
5	0	1	1	1	0	1	1	0
6	0	1	0	0	1	0	1	0
7	0	0	0	0	1	1	0	1
8	0	0	0	0	0	0	1	0

Рис. 2.2.4. Матрица связей КТ через одно ЭРИ

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	2	2	1	2	3	3	4
2	2	0	1	1	1	1	2	3
3	2	1	0	1	1	2	2	3
4	1	1	1	0	1	2	2	3
5	2	1	1	1	0	1	1	2
6	3	1	2	2	1	0	1	2
7	3	2	2	2	1	1	0	1
8	4	3	3	3	2	2	1	0

Рис. 2.2.5. Матрица связей КТ через несколько ЭРИ

Информация, содержащаяся в матрице, может быть использована для создания диагностического теста по контролю каждого ЭРИ. С целью уменьшения времени контроля необходимо разбить схему на группы ЭРИ. Для этого был разработан алгоритм (рис. 2.2.6) по преобразованию матрицы связей через одно ЭРИ в матрицу связей через L ЭРИ (рис. 2.2.5), где L - число ЭРИ, последовательно соединяющих пару КТ. Алгоритм

последовательно определяет элементы матрицы связей через 2, 3, ..., L элементов. Для определения элементов матрицы, связанных последовательно через два элемента, алгоритм организует чтение всех элементов матрицы, задавая вначале строку, а затем столбец, при этом, если элемент матрицы равен нулю, то осуществляется выбор следующего элемента матрицы, если же элемент матрицы равен единице, то алгоритм начинает просмотр строки матрицы с номером, соответствующим номеру столбца матрицы выбранного элемента. Вновь просматриваемая строка также анализируется на содержание единичных элементов матрицы, и, при появлении таковых, в первоначальную строку с новым номером столбца записывается элемент матрицы, равный двум, при условии, что до этого в этом элементе матрицы содержался ноль.

Алгоритм просматривает, таким образом, все связи каждой

КТ и анализирует с какими КТ связаны те КТ, которые имеют

соединения через одно ЭРИ с рассматриваемыми КТ. Аналогично

проводится формирование и для большего числа связей с единственным отличием: выбранная точка просматривается до появления связи через 1, 2, ..., а вторичные связи рассматриваются для обнаружения связей через (L-1), (L-2), ..., где L соответствует формируемому числу связей.

Таким образом, сумма связей должна всегда соответствовать L.

Структура работы алгоритма отображена на рисунке 2.2.6. Блоки 1 и 2 алгоритма организуют цикл по L, начиная с двух. Блоки 3, 4, 20 организуют перебор параметра N от 1 до (N-1), где N соответствует количеству связей для первого разыскиваемого элемента матрицы.

Блоки 5, 7, 8, 9, 18, 19 организуют последовательный

перебор элементов матрицы для поиска блоком 10 заданного элемента матрицы, равного N . Если элемент матрицы не подходит, то через связь 6 блоки 18 и 19 проверяют критерии окончания перебора столбцов и строк. Если же элемент матрицы равен N , то блок 10 передает управление на блоки 11, 12, 17 организации цикла перебора столбцов уме с номером строки J , соответствующего столбцу первоначально выбранного элемента матрицы.

Блок 13 проверяет второе условие выбора требуемого элемента матрицы, равного $(L-N)$. Если условие соблюдается, то проверяется тот элемент матрицы, куда должна записаться формируемая связь со строкой I и столбцом K . Только в том случае, когда он равен 0, блок 15 присвоит этому элементу матрицы значение, равное L . Во всех остальных случаях перебор будет продолжен.

Блоки 6, 16, 21 необходимы для автоматического завершения формирования матрицы по окончании перебора всех возможных связей.

Это произойдет в том случае, если при задании очередной связи будет осуществлен перебор всей матрицы, при котором не будет произведено преобразование. Блок 6 задает $S=0$ в начале каждого поиска преобразуемых элементов, а блок 16 задает $S=1$ в случае хотя бы одного преобразования. В этом случае блок 21 завершает работу программы по формированию матрицы связей через группы элементов.

Сформированная матрица позволяет выделить приоритетные группы пар КТ, охватывающих в той или иной степени все множество ЭРИ на ФЯ. Для дальнейшего выбора очередности перебора пар КТ необходимо определить коэффициенты связности вначале для каждой КТ (сумма элементов матрицы в строке или в столбце элементов с номером, соответствующим КТ), а затем коэффициенты связности для каждой пары КТ (сумма коэффициентов связности этих КТ).

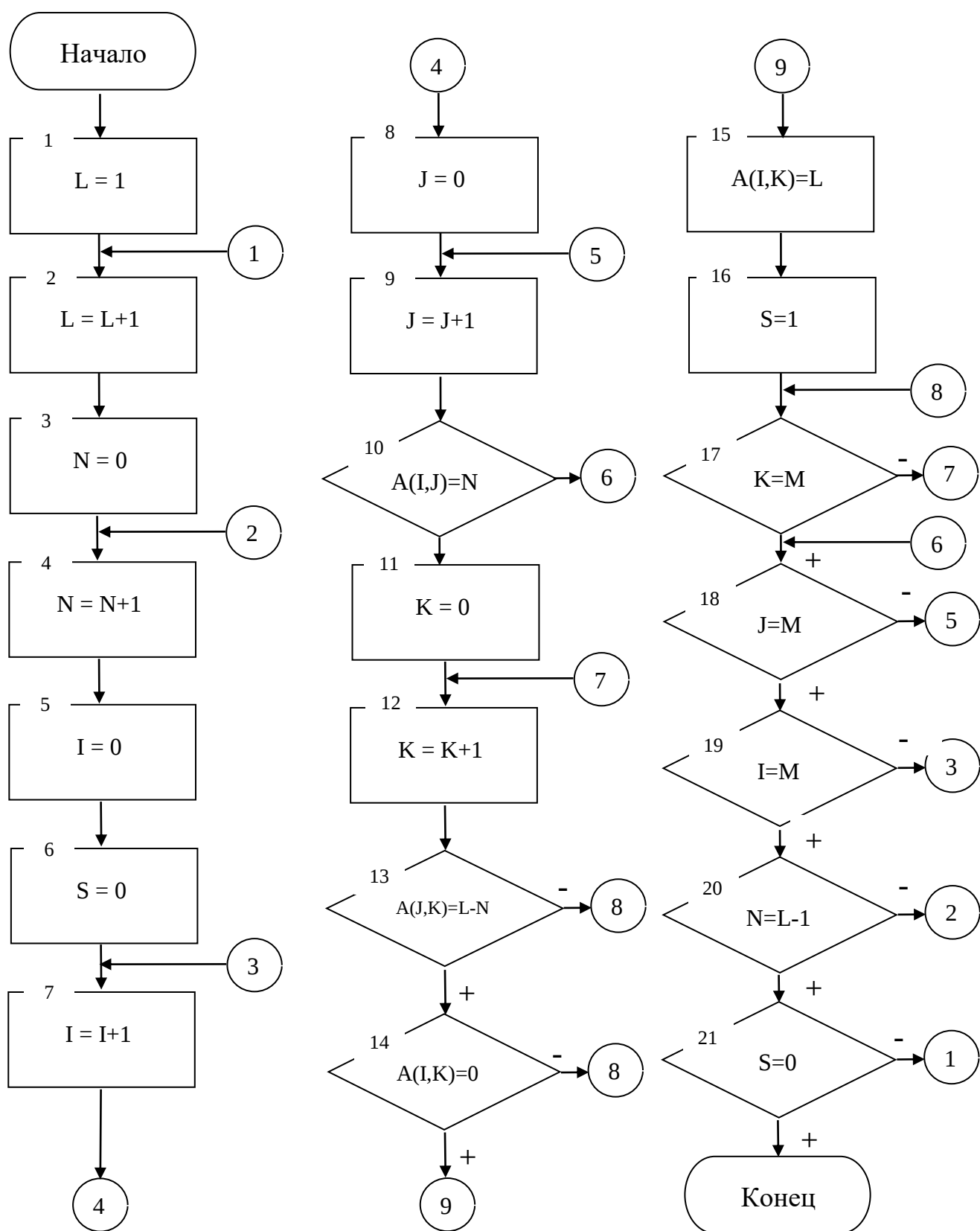


Рис. 2.2.6. Блок-схема алгоритма по формированию матрицы связи через L ЭРИ

Алгоритм по формированию матрицы коэффициентов связности пар КТ изображен на рисунке 2.2.7. Блоки 1, 2, 3, 4, 6, 7 организуют циклический перебор элементов матрицы. Блок 5 результат суммирования числа связей всех элементов соответствующей строки записывает в виде коэффициента связности в диагональный элемент с номером строки и столбца, равным номеру соответствующей КТ. По завершению формирования диагональных элементов блок 8, 9, 10, 11, 13, 14 организуют перебор половины матрицы, расположенной снизу главной диагонали, с записью в каждый элемент матрицы результата суммирования диагональных элементов, номера которых соответствуют номерам строки и столбца формируемого элемента матрицы. Результирующая матрица изображена на рисунке 2.2.8.

Окончательную сортировку проверяемых пар КТ проводит алгоритм, изображенный на рисунке 2.2.10. В его задачу входит поиск пар КТ с максимальным количеством связей через ЭРИ и сортировка этих точек в соответствии с их коэффициентами связности. Работает алгоритм следующим образом: блоки 1, 3, 19 организуют перебор числа связей с максимального до связи через одно ЭРИ; блоки 2, 4 задают нумерацию отсортированных пар КТ, предназначенных для сбора диагностического теста и контроля; блоки 6, 7, 8, 9, 16, 17 организуют просмотр элементов матрицы над главной диагональю. Если элемент матрицы равен L (требуемому числу связей), то блок 10 передает управление блоку 11, который сравнивает величину коэффициента связности (зеркальное

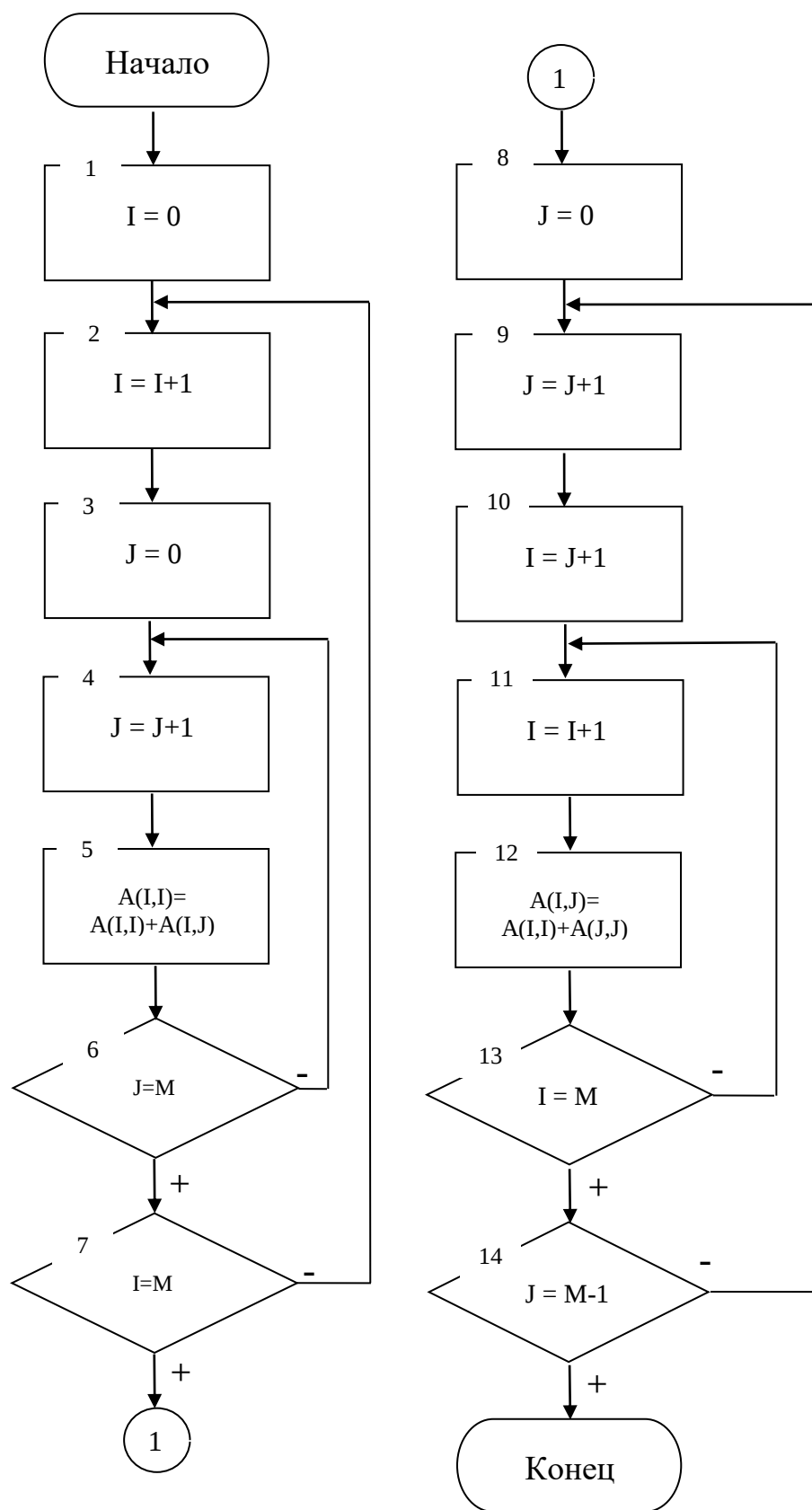


Рис. 2.2.7. Блок-схема алгоритма по формированию коэффициентов связности пар КТ

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	17	2	2	1	2	3	3	4
2	28	11	1	1	1	1	2	3
3	29	23	12	1	1	2	2	3
4	28	22	23	11	1	2	2	3
5	26	20	21	20	9	1	1	2
6	29	23	24	23	21	12	1	2
7	29	23	24	23	21	24	12	1
8	35	29	30	29	27	30	30	18

Рис. 2.2.8. Матрица коэффициентов связности пар КТ

	1	2	3	7	8
1	17	2	2	3	4
2	28	11	1	2	3
3	29	23	12	2	3
7	29	23	24	12	1
8	35	29	30	30	18

Рис. 2.2.9. Матрица коэффициентов связности пар КТ через контакты разъема

отображение элемента матрицы с переменной номеров строки и столбца) с ранее выбранным. Если очередной элемент матрицы оказался больше, то производится переприсвоение блоком 12 параметра S, а блок 13 исключит из дальнейшего рассмотрения этот элемент матрицы, обнулив его. Блоки 14, 15 присвоят значение пары КТ элементам векторов C и D. Блок 19 завершит работу программы после перебора всех КТ, точек, связанных через одно ЭРИ.

Матрица на рисунке 2.2.8 может быть преобразована в матрицу связей пар КТ через контакты разъема на ФЯ (рис. 2.2.9) путем исключения тех КТ, которые не выходят на разъем. Эта матрица предназначена для контроля работоспособности ФЯ через разъем без подключения к ИКУ.

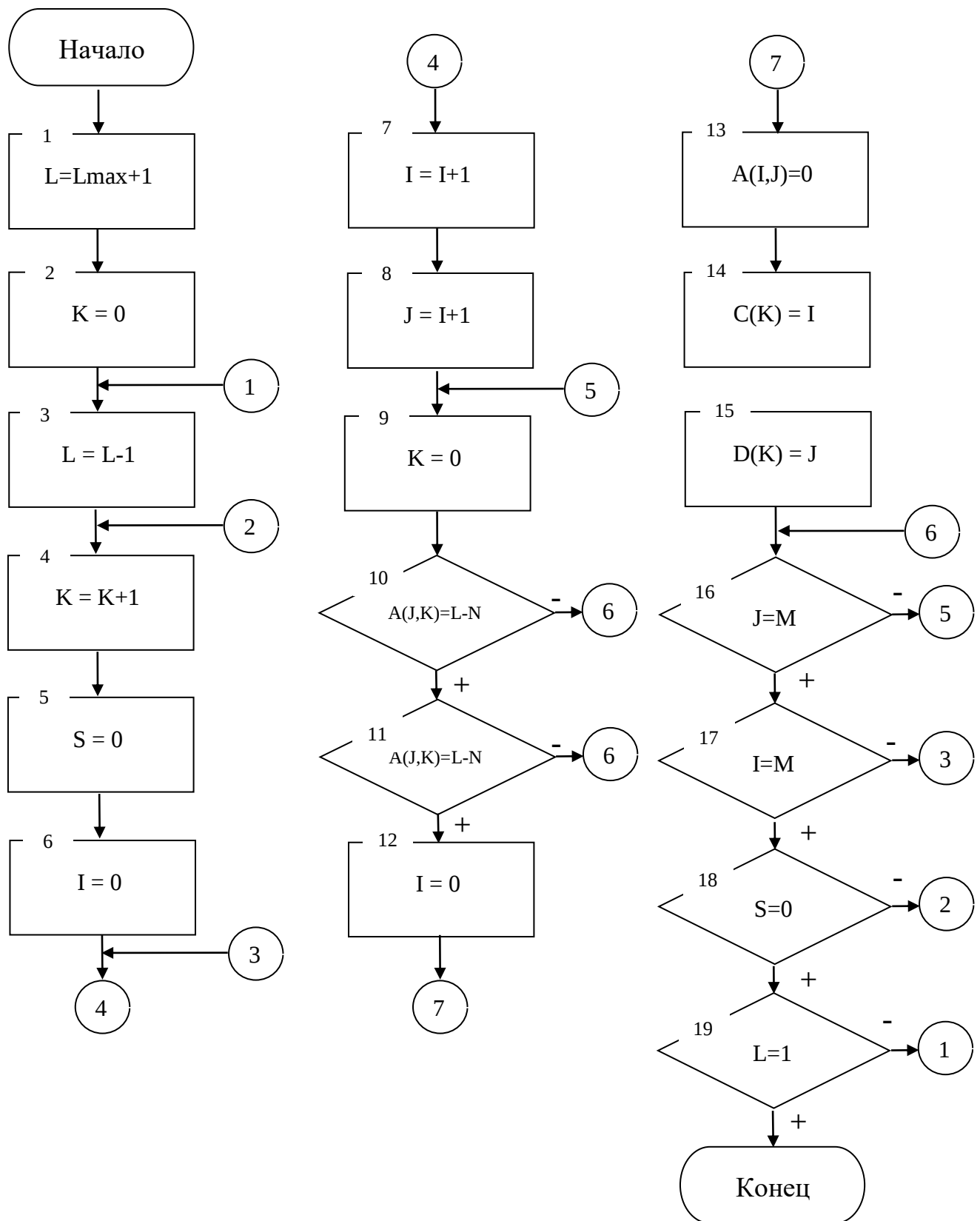


Рис. 2.2.10. Блок-схема алгоритма сортировки пар КТ по величине коэффициентов связности

Сформированные матрицы связности пар КТ с указанием коэффициентов связности для каждой пары предназначены для организации целенаправленного опроса групп ЭРИ на ФЯ с целью уменьшения возможного числа коммутаций и измерений в процессе сбора диагностического теста и контроля [24].

2.3. Сравнительный анализ разработанной методики группового контроля ЭРИ на ФЯ по переходным характеристикам и методики поэлементного диагностирования

Для проведения сравнительного анализа группового контроля ЭРИ на ФЯ и поэлементного диагностирования рассмотрим пример диагностирования дефектного ЭРИ для фрагмента схемы ФЯ генератора Г4-176, изображенного на рисунке 2.2.3. Значение рассчитанных параметров каждого ЭРИ для случая контроля групп ЭРИ при подключении к точкам 1-7, 1-8, 2-8, 3-8 (в соответствии с матрицей на рисунке 2.2.9) приведены в таблице 2.3.1.

Влияние отклонения параметров ЭРИ на выходной параметр ММ для каждой пары КТ Таблица 2.3.1

ЭРИ	R1	R2	R3	R4	C1	C2	C3
	1	2	3	4	5	6	7
1-7: X	35.01	11.905	5.71	1.82	12.32	12.113	50.281
1-8: X	33.5	11.6	5.32	1.99	14.21	15.32	50.48
2-8: X	41.002	11.695	6.199	1.21	13.485	15.21	12.35
3-8: X	37.12	11.802	6.02	1.98	13.943	11.198	31.053
M(X)	36.658	11.75	5.812	1.75	13.265	13.46	38.541
D(X)	7.943	0.013	0.111	0.102	0.893	3.363	340.3
Дефект	6	1	3	2	4	5	7

Рассчитанные значения оценки математического ожидания и оценки дисперсии для каждого ЭРИ однозначно позволяют сделать вывод, что минимальная дисперсия 0.013 принадлежит ЭРИ R2 с номинальным значением 10 кОм и расчетным значением математического ожидания (реальный параметр) 11.75 кОм.

Таким образом, анализ таблицы позволяет выявить отклонение сопротивления R2 на 17.5%. С меньшей долей вероятности можно подозревать дефекты сопротивлений R3, R4 и конденсатора C1 поочередно. Предварительный контроль с контактов разъема позволяет локализовать подозреваемую группу дефектных ЭРИ. Для дальнейшего уточнения неисправности и обеспечения доступа ко всем КТ необходимо установить контролируемую ФЯ на ИКУ, затем, поочередно, подключившись непосредственно к подозреваемым ЭРИ, рассортированным по нарастанию дисперсии параметров каждого из этих ЭРИ, локализовать дефектный элемент.

С целью уменьшения влияния соседних ЭРИ на проверяемый, можно соединить все не используемые КТ между собой (зашунтировать), а одну шину измерения подключить поочередно к первому и второму полюсу проверяемого ЭРИ.

При таком контроле каждому подключению в измерительную цепь будет соответствовать свой набор шунтирующих ЭРИ. Дополнительно, с целью учета возможного влияния р-п переходов, можно изменять точку подачи контролирующего сигнала. В одном случае р-п переход будет открыт, в другом - закрыт. Так, например, при контроле резистора R2 можно:

1. подключить измерительную шину А к КТ 4, а все остальные КТ - к шине К.
2. подключить измерительную шину К к КТ 4, а все остальные КТ - к шине А.
3. подключить измерительную шину А к КТ 2, а все ос-

тальные КТ - к шине К.

4. подключить измерительную шину К к КТ 2, а все остальные КТ - к шине А.

На рисунке 2.3.1 изображена схема измерения резистора R2 для случаев 1 и 2, а на рисунке 2.3.2 - для случаев 3 и 4.

Шина А соответствует положительному полюсу БИ, а шина К -отрицательному. Поэтому инверсия подключения шин А и К соответствует открыванию и закрыванию р-п переходов контролируемых или шунтирующих ЭРИ.

Варианты подключения 1 и 2 создают следующие шунтирующие элементы: C1; C2; R1; внутреннее комплексное сопротивление микросхемы DA1 между выводом 4 и объединенными выводами 5, 6, 10, 11. Варианты подключения 3 и 4 создают следующие шунтирующие элементы: R4; внутреннее комплексное сопротивление между коллектором и базой, объединенной с эмиттером, транзистора VT2; внутреннее комплексное сопротивление между объединенными выводами 5, 6 и объединенными выводами 4, 10, 11 микросхемы DA1.

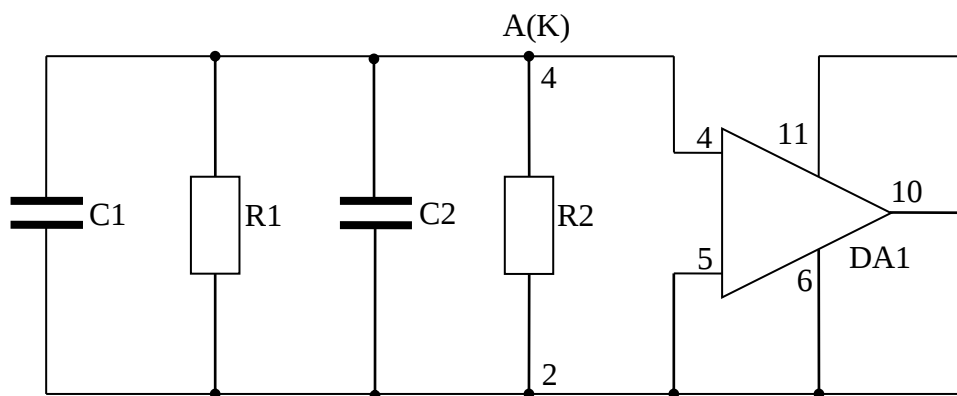


Рис. 2.3.1. Схема контроля резистора R2 между 4 КТ и всеми остальными КТ, замкнутыми между собой

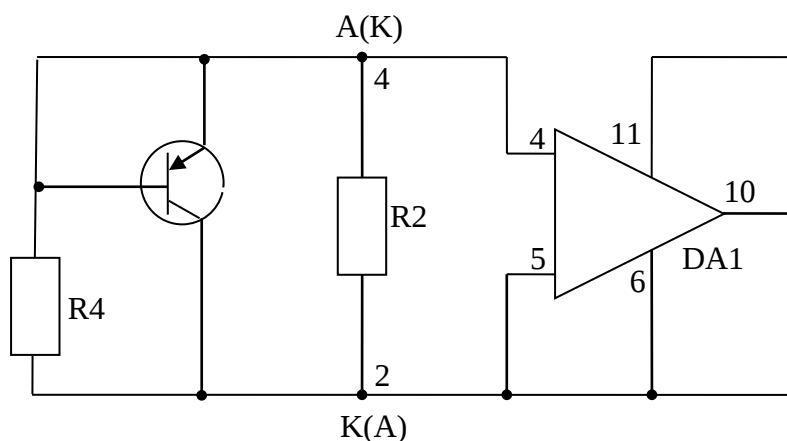


Рис. 2.3.2. Схема контроля резистора R2 между 2 КТ и всеми остальными КТ, замкнутыми между собой

Тем самым, в измерительной цепи R2 во всех четырех вариантах будут зашунтированы различные элементы (с открытыми и закрытыми р-п-переходами). Для всех вариантов могут быть построены свои ММ и определены для них коэффициенты влияния по формуле (2.1.7).

Если для всех четырех подключений отклонение выходного совокупного параметра от номинального значения определяется одним и тем же отклонением параметра резистора R2 с минимальным рассеянием, то можно утверждать, что это ЭРИ имеет отклонение от номинального значения и его величина равна рассчитанному значению оценки математического ожидания этого параметра.

В результате анализа эталонной и контролируемой ФЯ с высокой достоверностью может быть диагностирован дефект резистора R2. Аналогичная процедура проводится для любого ЭРИ на ФЯ. Таким образом, процедура диагностирования дефектного ЭРИ выполняется в два этапа: анализ нескольких групп через разъем ФЯ для получения априорной информации о предполагаемых дефектных ЭРИ; установление дефектного ЭРИ с помощью ИКУ или щупов для уточнения предварительного диагноза.

При поэлементном диагностировании требуется провести

количество подключений и измерений, равное количеству ЭРИ на ФЯ и количеству проверяемых связей между выводами микросхемы, что значительно превышает количество проверок при групповом контроле, так как осуществляется контроль не более десяти групп с последующим четырехкратным уточнением одного - трех подозреваемых в дефекте ЭРИ.

Применение четырех измерений вместо одного для каждого ЭРИ увеличивает время контроля отдельного ЭРИ по сравнению с однократным измерением при поэлементном диагностировании, однако, достоверность контроля также возрастает в четыре раза, так как параметр проверяемого ЭРИ четырежды сравнивается с номинальным параметром соответствующего ЭРИ на эталонной ФЯ.

Кроме того, контроль параметров по переходным характеристикам ЭРИ в каждом измерении занимает гораздо меньше времени, вместо 0.5с для СПД "Линза-2Н" - 0.001с для разработанного автором ПФИ, использующего метод КЛА.

Основной выигрыш по времени дает контроль не всех ЭРИ, а только нескольких групп или подгрупп ЭРИ с последующим контролем нескольких подозреваемых в дефекте ЭРИ.

В таблице 2.3.2 приведены результаты сравнительного анализа метода контроля групп ЭРИ, используемого в разработанной АСПД, с методом поэлементного контроля, применяемого в серийной СПД "Линза-2Н".

Апробация методики синтеза группового динамического теста на примере девяти типов ФЯ генератора Г4-176 продемонстрировала более высокое быстродействие групповой методики по сравнению с поэлементной в среднем в 12.5 раза. Причем, явно выражена тенденция к повышению быстродействия контроля для ФЯ, содержащих большее количество (свыше 100) ЭРИ, так как увеличение количества ЭРИ при поэлементном диагностировании вызывает прямо пропорциональное количество проверок, а при групповом

контроле количество ЭРИ большой роли не играет в связи с тем, что контролируются группы ЭРИ. Причем, для определения дефектного ЭРИ достаточно проконтролировать не более десяти групп. При этом не было ложных сбоев и не обнаружения дефектных ЭРИ, что свойственно системе "Линза-2Н".

Сравнительный анализ группового и поэлементного контроля

Таблица 2.3.2

Номер функциональной ячейки	Кол-во ЭРИ на ФЯ	Кол-во КТ	Время контроля ФЯ	
			ЛИНЗА-2Н поэлементное	АСПД групповое
1	2	3	4	5
1	62	43	3мин 42с	21с
2	83	61	4мин 10с	23с
3	71	52	4мин 28с	21с
4	120	83	5мин 12с	20с
5	42	28	3мин 17с	14с
6	105	76	5мин 03с	24с
7	49	31	3мин 38с	17с
8	53	33	3мин 40с	19с
9	91	70	4мин 47с	22с
среднее знач-е	75	53	4мин 13с	20с

Так, например, система "Линза-2Н" не обнаруживала пробитый переход база-эмиттер за счет шунтирующего влияния резистора в цепи базы и пробитые электролиты емкостью 10 000 мкФ. Также большие искажения в процесс измерений вносились микросхемами, шунтирующие параметры которых можно было учесть лишь при ручной корректировке с большой погрешностью, обусловленной статическим разбросом собственных параметров микросхем.

Дополнительное снижение времени контроля на АСПД можно получить за счет замены коммутатора на герконовых реле, примененного в АСПД, коммутатором, использующим

ИС на транзисторных ключах. Такие коммутаторы, обладая большим быстродействием и неограниченным числом срабатываний, потребляют значительно меньше энергии по сравнению с коммутатором на герконовых реле.

Однако, внутреннее сопротивление транзисторных ключей значительно превышает сопротивление герконовых контактов и составляет около 200 Ом, причем эта величина может быть различной для различных каналов коммутации. Но этот недостаток не препятствует применению данного коммутатора в АСПД, так как вносимая погрешность имеет систематический характер и при сравнении параметров эталонной и контролируемой ФЯ будет исключена.

Повышение быстродействия АСПД имеет смысл до тех пор, пока время на контроль отдельной ФЯ не составит нескольких секунд, так как затраты времени на подключение и отсоединение ФЯ обесценят увеличение быстродействия операций контроля, сохраняя в общем времени диагностирования ФЯ время на подключение ФЯ к АСПД и фиксацию результатов контроля.

Помимо повышения быстродействия при контроле групп ЭРИ сокращается общее время контроля, так как достаточно определение работоспособности ФЯ через разъем самого ФЯ без подключения к ИКУ, которое может вносить дополнительные ошибки диагностирования за счет неточного совмещения и слабого прижима контактных штырей к печатным проводникам.

Уровень автоматизации при составлении диагностических тестов для разработанной АСПД по сравнению с существующими значительно выше, так как полностью автоматизирован процесс по сборке теста с эталонной ФЯ и составления диагностических тестов для дефектных ЭРИ без необходимости в последующей корректировке разработанных тестов, что является составной частью для всех существующих САГТ. Составление диагностического теста для ФЯ в среднем сократилось с одной рабочей недели до 80

минут.

Кроме того, достоверность обнаружения дефектного ЭРИ значительно выше, чем при контроле по традиционным методикам, так как проверяемое ЭРИ оценивается в каждом цикле измерения, а не в одном.

В связи с тем, что поток годных ФЯ достигает 67%, то на первом этапе контроля на разработанной АСПД через разъем ФЯ можно будет направить на регулировку две трети собранных ФЯ. Оставшиеся 33% будут подробно диагностированы через ИКУ с целью локализации дефектных ЭРИ.

Высокая оперативность контроля ФЯ позволяет сразу же после сборки проконтролировать и вернуть монтажнику для исправления ФЯ, содержащий дефект. Это приводит к повышению дисциплины труда и улучшает профилактику предупреждения дефектов, что, в конечном итоге, более ценно, так как главное не обнаружить дефект, а предотвратить его возникновение.

Методика диагностирования дефектного ЭРИ методом контроля групп ЭРИ по совокупному выходному параметру базируется на следующих принципах:

- возможности подачи тестовых воздействий на группу ЭРИ;
- неповреждения компонентов в процессе диагностирования;
- влияния отклонения каждого ЭРИ на выходной совокупный параметр.

Реализация принципа подачи тестовых воздействий на группу ЭРИ возможна с помощью ИКУ через разъем ФЯ или с помощью щупов в зависимости от конфигурации АСПД и решаемых ею задач.

Принцип неповреждения компонентов осуществляется организацией специальной последовательности проверок и с помощью установки начальных условий диагностирования компонентов с целью исключения режимов, наведения

тестовых сигналов, неоговоренных техническими условиями.

Методика группового диагностирования ЭРИ на ФЯ состоит из двух основных частей:

1. автоматизированный синтез диагностического теста;
2. диагностирование дефектных ЭРИ на ФЯ.

Для того, чтобы составить диагностический тест для ФЯ необходимо создать матрицу связей, содержащую информацию о соединениях между ЭРИ на ФЯ. Матрица связей может быть составлена либо на основании анализа схемы электрической принципиальной ФЯ, либо преобразованием выходных баз данных САПР по компоновке ФЯ. Затем необходимо определить коэффициенты связности каждой пары КТ и провести сортировку всей совокупности пар КТ, выбрав те, которые обладают максимальными весовыми коэффициентами и связаны через максимальное число последовательно соединенных ЭРИ.

На следующем этапе требуется определить коэффициенты влияния ММ для каждой пары выбранных КТ. Для этого понадобится эталонная ФЯ, подключенная через коммутатор к АСПД. Определение влияния отдельных ЭРИ на выходной совокупный параметр группы возможно при помощи коммутации шунтирующих элементов к каждому ЭРИ поочередно, причем величина шунтирующего элемента выбирается в соответствии с допуском на это ЭРИ. Роль шунтирующего элемента могут играть программно-изменяемые резистор и конденсатор во входной цепи БИ. В результате формирование диагностического теста завершается фиксацией величин коэффициентов влияния ММ и номеров выбранных пар КТ.

Для диагностирования дефектных ЭРИ на контролируемой ФЯ необходимо:

- провести контроль выходного совокупного параметра для каждого подключения выбранной пары КТ на ФЯ;
- определить для каждого подключения величину отклонения от номинального значения каждого ЭРИ при

условии, что именно это ЭРИ повлияло на отклонение значения выходного совокупного параметра;

- провести расчет математического ожидания и дисперсии параметров ЭРИ для всех случаев подключения;

- присвоить приоритеты каждому ЭРИ, подозреваемому в дефекте, расположив их в порядке возрастания величины дисперсии значения ЭРИ.

То ЭРИ, которое имеет минимальную дисперсию значения параметра, с наибольшей вероятностью влияет на выходной совокупный параметр группы, так как изменение подключения пар КТ не может вызвать изменения значения параметра ЭРИ на ФЯ и, следовательно, то ЭРИ, отклонение параметра которого от номинального значения повторяется более стабильно при всех подключениях (минимальная дисперсия) с наибольшей вероятностью имеет значение параметра, равное математическому ожиданию.

Для уточнения дефектного ЭРИ можно использовать ИКУ или щупы в зависимости от конфигурации АСПД. Четырехкратный контроль дефектного ЭРИ со сменой полярности измерительных шин, подключаемых к КТ, и типов шунтирующих ЭРИ позволяет однозначно обнаружить дефектный ЭРИ.

Методика группового динамического контроля имеет преимущество по сравнению с традиционными методиками поэлементного диагностирования, так как позволяет полностью автоматизировать процедуру по составлению диагностического теста и обнаружению дефектного ЭРИ, исключая ручные операции по корректировке разработанного теста.

Область применения методики может быть расширена для использования при производстве РЭУМ (микросхем, микросборок и т. д.). В связи с тем, что разработанная методика позволяет осуществить контроль дефектного ЭРИ через разъем ФЯ, то возможно проведение контроля дефектов в микросхемах и в микросборках через их выводы, которые в

этом случае однозначно соответствуют разьему ФЯ.

Влияние интегральных элементов внутри микросхемы на выходные совокупные параметры между его выводами может быть проведено статистическими методами (регрессионный анализ, полный факторный эксперимент и т.д.). Имитация отклонения параметров внутри микросхемы может быть осуществлена либо изменением параметров технологических процессов, параметров самих ЭРИ (трафаретных масок, напыляемых материалов и т.д.), либо статистической обработкой возникающих дефектов при производстве микросхем и микросборок.

На основании анализа переходных характеристик между выводами можно получить информацию о дефектах внутри микросхемы. Это позволит изменить технологические операции с целью устранения обнаруженных дефектов. Некоторые типы микросхем могут быть отремонтированы при помощи лазерной подгонки.

При производстве ФЯ в виде печатных узлов, причем печатные проводники могут быть покрыты лаком, возможно частное применение методики группового контроля для осуществления поиска дефектного ЭРИ с использованием принципов бесконтактного контроля.

По традиционной методике бесконтактного контроля при помощи индукционных или емкостных щупов наводятся и считываются воздействия в проводниках контролируемой ФЯ. Сложность применения такого контроля обусловлена большим шунтирующим влиянием соседних ЭРИ и практической невозможностью исключения этого влияния методом подключения шунтирующих ЭРИ к виртуальной земле, как при поэлементном диагностировании.

Низкая достоверность бесконтактного контроля препятствует его широкому применению. Разработанная методика группового контроля ЭРИ на ФЯ основана на использовании учета влияния всех ЭРИ на измеряемый параметр, подаче стимулирующих импульсных воздействий и анализе

переходных характеристик ЭРИ на ФЯ, что позволяет полностью устранить недостатки, присущие бесконтактным методам контроля, и широко его применять при проверке печатных узлов, не требуя при этом нарушения лакового покрытия, выпайки ЭРИ или подрезки печатных проводников.

Разработанный математический аппарат по установлению взаимосвязи между выходными совокупными параметрами групп может быть применен при анализе любого объекта контроля, представленного в виде черного ящика, при условии линейной зависимости выходных совокупных параметров от входных факторов. При нелинейной зависимости выходных параметров от входных факторов также возможно применение разработанной методики, однако объем вычислений увеличится в связи с необходимостью расчета дополнительных коэффициентов влияния, отражающих корреляционную зависимость между факторами и нелинейность самих факторов.

3. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АНАЛОГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕРИЙНЫХ РЭУМ МЕТОДОМ КЛА

3.1. Разработка устройства КЛА переходной характеристики контролируемых ЭРИ

При контроле на АСПД параметров ЭРИ на ФЯ и выходных сигналов РЭУМ возникает задача по вводу в ПЭВМ аналоговой информации. На современном этапе широкого внедрения во все области жизни ЭВМ, задача по преобразованию аналоговой информации в цифровую форму является одной из важнейших.

Перед БИ, применяемом в АСПД, стоят две задачи:

- преобразование в цифровую форму и передача в ЭВМ переходных характеристик, получаемых при контроле реакций ЭРИ на ФЯ после подачи стимулирующего перепада;
- преобразование аналоговых сигналов синусоидальной формы с контролем величины амплитуды, частоты несущего и модулирующего колебания.

БИ состоит из входной цепи для подключения контролируемых ЭРИ к измерительным устройствам и ПФИ для измерения, преобразования и передачи информации в ПЭВМ.

В качестве входных измерительных цепей широко используют балансные мосты, цепи типа "треугольник" или непосредственно подключают контролируемый ЭРИ на вход измерителя. Однако, все эти варианты входных цепей имеют тот недостаток, что погрешность измерения зависит от величины шунтирующего влияния соседних ЭРИ и от типа контролируемого ЭРИ. При этом величина диапазона изменений номинальных значений проверяемых ЭРИ прямо влияет на диапазон изменений выходных значений входной измерительной цепи.

Для контроля дефектных ЭРИ на ФЯ была разработана

новая измерительная входная цепь для получения интегральных переходных характеристик, причем параметры цепи могут быть программно изменены (рис. 3.1.1). При этом нет необходимости в исключении шунтирующего влияния соседних элементов на ФЯ, наоборот, будут учтены параметры всех ЭРИ, подключенных к контролируемым точкам, так как все они будут оказывать влияние на формирование переходного процесса.

Предлагаемая входная измерительная интегрирующая цепь способна контролировать переходные характеристики как отдельных ЭРИ, так и групп, состоящих из разнотипных активных и пассивных ЭРИ.

Применение программно-изменяемых резистора и емкости в интегрирующей цепи позволяет сузить динамический диапазон переходных характеристик за счет изменения постоянной времени цепи. Это осуществляется следующим образом: если комплексная нагрузка между контролируемыми точками носит резистивный характер, то она подключается последовательно в интегрирующую цепь (между точками А и В, рис. 3.1.1); если же комплексная нагрузка имеет емкостной характер, то она подключается в интегрирующую цепь параллельно (между точками В и С, рис. 3.1.1). Тип нагрузки может быть определен в результате двукратного подключения.

При подаче положительного перепада уровней сигнала напряжение на выходе будет меняться по формуле:

$$U_c = U_e + (U_a - U_e) \exp(-t/T) \quad (3.1.1)$$

где U_c - напряжение на выходе интегрирующей цепи;

U_a - начальное напряжение на емкостях (равно нулю);

t - время;

T - постоянная времени, которая будет определяться следующим выражением:

$$T=2\pi(R_{пр}+R_x) (C_{пр}+C_x) \quad (3.1. 2)$$

Из выражения (3.1.2) следует, что для уменьшения значения диапазона возможных значений T необходимо изменять параметры $R_{пр}$ и $C_{пр}$ таким образом, чтобы скомпенсировать значение R_x или C_x . Для требуемого диапазона изменений резисторов от 100 Ом до 200 кОм и конденсаторов от 200 пФ до 2000 мкФ (параметры пассивных ЭРИ на ФЯ генератора Г4-176) потребуется аналогичные диапазоны для $R_{пр}$ и $C_{пр}$. В этом случае возможна нормализация значений комплексного сопротивления между контролируемыми точками. Возможность по расширению диапазона контролируемых параметров ЭРИ при сохранении выходных параметров (переходных характеристик) контролирующей цепи в узком диапазоне является преимуществом разработанной входной цепи БИ по сравнению с существующими.

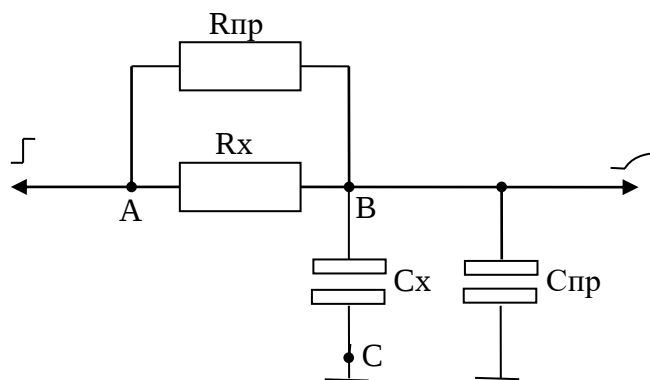


Рис. 3.1.1. Входная интегрирующая измерительная цепь

Контролируемые сигналы поступают с ФЯ в виде переходных характеристик контролируемых ЭРИ. На рисунке 3.1.2 изображена дискретизация по времени и квантование по уровню переходной характеристики ЭРИ по традиционной методике. Помимо большого количества преобразуемой и передаваемой информации снижает дополнительно

быстродействие и соответствующие алгоритмы анализа преобразованных значений и сравнение их с ожидаемыми в ЭВМ.

Поэтому для контроля этих переходных характеристик был разработан ПФИ, использующий метод КЛА аналоговых сигналов, позволяющий получить выигрыш во времени и количестве преобразуемой информации при контроле как переходных характеристик, так и других аналоговых сигналов.

Несмотря на погрешности, возникающие при КЛА, такой подход допустим, так как разработанная АСПД контролирует не сам аналоговый сигнал, поступающий с проверяемого ЭРИ в виде переходной характеристики или с выхода генератора, а проводит сравнение результата преобразования аналоговых сигналов, снятых с эталонного ЭРИ на эталонной ФЯ, или эталонного сигнала, поступившего с образцового генератора. Поэтому систематическая погрешность преобразования при КЛА не будет влиять на точность контроля, так как систематические погрешности при контроле эталонной и проверяемой ФЯ равны и будут скомпенсированы.

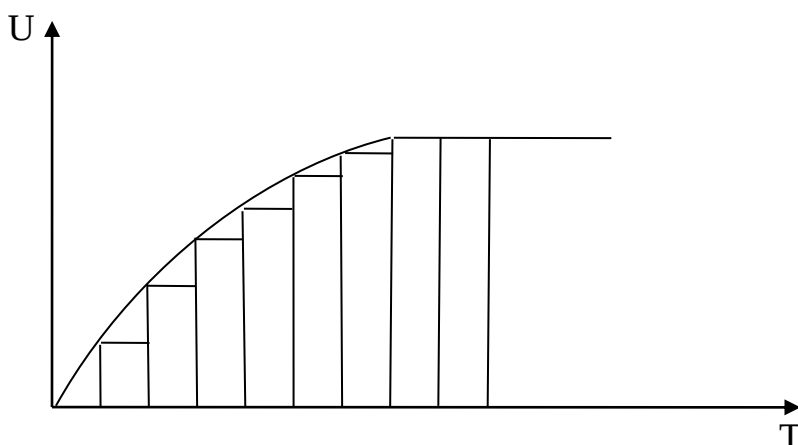


Рис. 3.1.2. Дискретизация во времени и квантование по уровню переходной характеристики

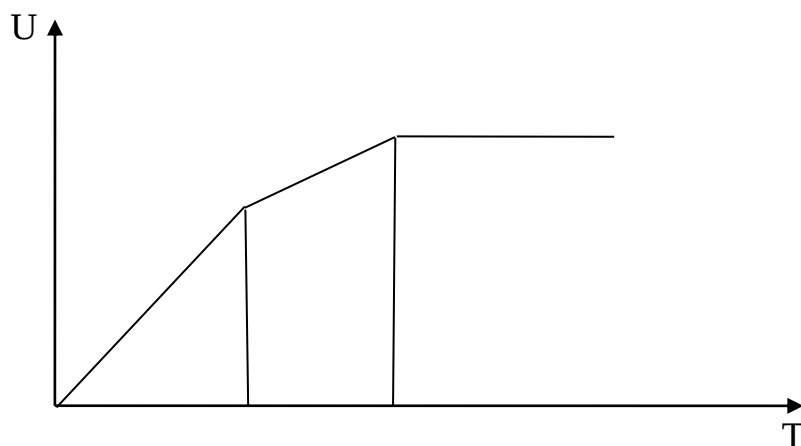


Рис. 3.1.3. Аппроксимация переходной характеристики при помощи первой и второй производной

Проведение аппроксимации возможно различными способами. Наиболее приемлемым является косвенный анализ аппроксимируемой функции, при котором аналоговый сигнал разбивается на ряд линейных отрезков, с определенной погрешностью повторяющих форму аналогового сигнала.

Информацию об отрезке можно представить в различной форме, однако, наиболее целесообразной формой для передачи и хранения в ЭВМ является задание отрезка в виде наклона к оси абсцисс и протяженности по оси абсцисс. Алгебраически это выглядит в виде задания первой производной и длины проекции отрезка. Физический смысл аппроксимации аналогового сигнала можно отобразить в виде скорости нарастания напряжения и времени, в течение которого величина этой скорости не претерпела значительного изменения. Значение погрешности аппроксимации в этом случае определяется величиной второй производной от функции изменения аналоговых сигналов.

Способ преобразования будет заключаться в определении величин первой и второй производных от функции изменения аналоговых сигналов с запоминанием величины первой производной и интервала времени, в течение которого вторая производная не изменяла своего значения свыше величины,

определяющей погрешность КЛА. При этом момент совпадения величин второй производной с заданной погрешностью служит для фиксации уровня первой производной (наклона отрезка аппроксимации) и времени, в течение которого эта производная не превышала заданной погрешности (рис. 3.1.3).

Для проведения КЛА с заданной погрешностью необходимо определить такие характеристики функции, как первую и вторую производные, для этой цели могут служить стандартные схемы дифференцирования на базе операционных усилителей.

Дифференцирующее устройство выполняет математическую операцию дифференцирования над входным сигналом. Идеальный дифференциатор представлен на рисунке 3.1.4.

Для проведения двойного дифференцирования понадобятся два дифференцирующих устройства, включенных последовательно, - для получения первой и второй производных.

Однако, их применение для проведения КЛА неэффективно, так как для преобразования в цифровую форму с последующим вводом в ПЭВМ потребует двойное измерение на АЦП первой и второй производных с последующим запоминанием и анализом большого количества информации. Не меньшее количество информации потребуется и при предварительном аналого-цифровом преобразовании с последующим анализом в ПЭВМ значений производных.

С целью уменьшения количества преобразуемой информации, а, соответственно, и повышения быстродействия системы в целом можно для фиксации значений производных контролируемой функции применять ПНК, однако измерения проводить не непрерывно, а только в те моменты времени, когда вторая производная меняет свое значение, свыше заданного уровня.

Структурная схема разработанного ПФИ изображена на рисунке 3.1.5 и работает следующим образом. По командам устройства управления 7 устройства выборки хранения 1, 4 поочередно дискретизируют преобразуемый сигнал с минимальным шагом дискретизации. Дифференциальный усилитель 2 выделяет текущую разность между двумя выборками, то есть определяет первую производную, которая запоминается устройством выборки-хранения (УВХ) 5 и подается на компаратор 3. УВХ 5 запоминает начальное значение первой производной и сравнивает его на компараторе 3 со всеми последующими значениями.

До тех пор, пока значение первой производной не будет меняться, на выходе компаратора 3 будет присутствовать ноль, что соответствует нулевому значению второй производной. Если же значение первой производной изменится, то на выходе компаратора появится единица, которая будет сигналом для записи в УВХ 5 нового значения первой производной и записи в интерфейс 9 информации со счетчика 8 и ПНК 6.

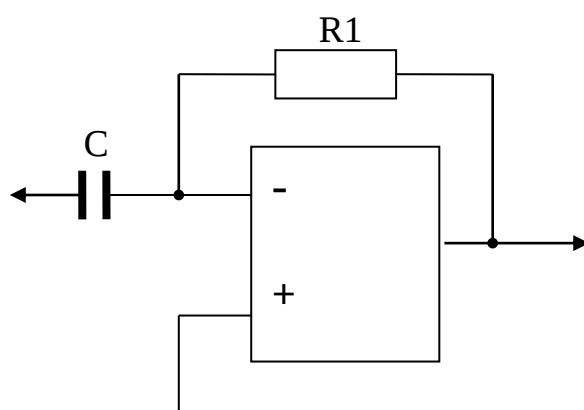
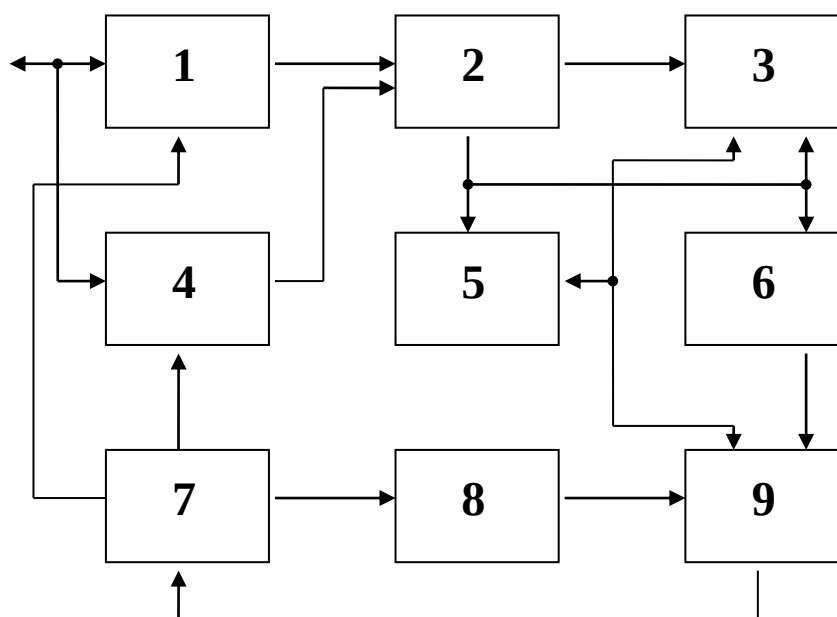


Рис. 3.1.4. Идеальное дифференцирующее устройство

Счетчик 8 хранит информацию о количестве шагов дискретизации, в течение которого первая производная не меняла своего значения. ПНК 6 содержит информацию о величине первой производной в УВХ 5.

Следовательно, в ПЭВМ будет записываться информация об угле наклона функции (первая производная) и времени сохранения этого угла наклона (количество шагов дискретизации). В конце преобразования в ПЭВМ будет храниться результат аппроксимации преобразуемой функции в виде прямых отрезков (рис. 3.1.3).

Такое представление преобразуемой функции имеет преимущество по сравнению с традиционными формами преобразования.



- 1, 4, 5 - УВХ
- 2 - разностный усилитель
- 3 - компаратор
- 6 - ПНК
- 7 - устройство управления
- 8 - счетчик
- 9 - интерфейс

Рис. 3.1.5. Структурная схема аппроксимирующего ПФИ

Во-первых, максимальное быстродействие ограничивается не ПНК, а УВХ, что значительно более легко достижимо, так как УВХ - это обычная ключевая схема (транзисторный ключ и запоминающая емкость); во-вторых, к ПНК предъявляются меньшие требования, так как он работает в ПФИ в шадающем режиме, который обусловлен большим временем, отводимым на преобразование, меньшим динамическим диапазоном преобразуемых сигналов. Так, например, при частоте дискретизации 1мкс традиционный ПФИ должен содержать ПНК, способный за 1мкс преобразовать максимально возможный сигнал динамического диапазона. Разработанный ПФИ должен преобразовать значение первой производной, то есть разницу между двумя соседними выборками, которая значительно меньше всего динамического диапазона преобразуемого сигнала, причем, за время равное не одной выборке, а нескольким (время, за которое первая производная не меняла своего значения).

Систематическая погрешность при КЛА переходных характеристик может быть определена по графику, изображенному на рисунке 3.1.6. Напряжение переходного процесса изменяется по закону:

$$U(i) = U_e \left[1 - \exp \left[-\frac{t(i)}{T} \right] \right], \quad (3.1.3)$$

где $U(i)$ - напряжение выборки;

U_e - напряжение стимулирующего воздействия, подаваемого на ЭРИ;

$t(i)$ - время выборки;

T - постоянная времени входной измерительной цепи и контролируемой группы ЭРИ.

Время t_1 равно шагу дискретизации. Величина первой производной определяется как U_1/t_1 . В момент времени t_3

значение первой производной будет равно разности напряжений двух соседних выборок, деленных на шаг дискретизации:

$$Y' = \frac{U3 - U2}{t3 - t2} = \frac{U3 - U2}{t1}. \quad (3.1.4)$$

Величина отличия начального значения первой производной $U1/t1$ и первой производной в момент времени $t3$ равна величине U_k (напряжение срабатывания компаратора 3, являющееся допустимым уровнем второй производной). Из графика на рисунке 3.1.6 видно, что расчетное значение напряжения функции $U4$ в момент выборки $t3$ отличается от реального значения функции $U3$. Напряжение $U4$ можно найти по графику, изображенному на рисунке 3.1.6. Из подобия треугольников следует, что $U4 > U1$ во столько раз, во сколько $t3 > t1$. Отсюда:

$$U4 = (U1 \cdot t3) / t1. \quad (3.1.5)$$

Для определения величины систематической погрешности при КЛА переходных характеристик необходимо предварительно рассчитать значения напряжений $U1$, $U2$, $U3$ в соответствии с формулой (3.1.3), для чего функцию экспоненты разложим в степенной ряд:

$$\exp\left[-\frac{t(i)}{T}\right] = 1 - \frac{t(i)}{T} + \frac{1}{2!}\left[\frac{t(i)}{T}\right]^2 - \frac{1}{3!}\left[\frac{t(i)}{T}\right]^3 + \dots \quad (3.1.6)$$

Отбросим члены со степенями больше двух как стремящиеся к нулю при условии, что $t(i) \ll T$ (величина T задается изменением параметров входной цепи по формуле (3.1.2)):

$$\exp\left[-\frac{t(i)}{T}\right]=1-\frac{t(i)}{T}+\frac{1}{2}\left[\frac{t(i)}{T}\right]^2 \quad (3.1.7)$$

Подставив в (3.1.3) получим:

$$U(i)=Ue\left[1-1+\frac{t(i)}{T}-\frac{1}{2}\left[\frac{t(i)}{T}\right]^2\right]. \quad (3.1.8)$$

Раскрывая скобки и проводя приведение подобных, можно получить:

$$U(i)=\frac{Ue \cdot t(i)}{T}\left[1-\frac{t(i)}{2T}\right]. \quad (3.1.9)$$

Пользуясь формулой (3.1.9), найдем U1, U2, U3:

$$U1=\frac{Ue \cdot t1}{T}\left[1-\frac{t1}{2T}\right], \quad (3.1.10)$$

$$U2=\frac{Ue \cdot t2}{T}\left[1-\frac{t2}{2T}\right], \quad (3.1.11)$$

$$U3=\frac{Ue \cdot t3}{T}\left[1-\frac{t3}{2T}\right]. \quad (3.1.12)$$

Относительную погрешность КЛА можно определить из графика на рисунке 3.1.6 по формуле:

$$dU=\frac{U4-U3}{U3}100\%, \quad (3.1.13)$$

где dU - относительная погрешность в процентах.

Разделив на U_3 , получим:

$$dU = \left[\frac{U_4}{U_3} - 1 \right] 100\% . \quad (3.1.14)$$

Подставляя значения U_4 из формулы (3.1.5), получим:

$$dU = \frac{U_1 \cdot t_3}{U_3 \cdot t_1} 100\% . \quad (3.1.15)$$

Продолжая подстановку U_1 и U_3 из формул (3.1.10) и (3.1.12) и, проводя приведение подобных, придем к виду:

$$dU = \left[\frac{2T - t_1}{2T - t_3} - 1 \right] 100\% . \quad (3.1.16)$$

Приведя к общему знаменателю, получим:

$$dU = \left[\frac{2T - t_1}{2T - t_3} - \frac{2T - t_3}{2T - t_3} \right] 100\% . \quad (3.1.17)$$

Сокращая, найдем значение относительной погрешности:

$$dU = \left[\frac{t_3 - t_1}{2T - t_3} \right] 100\% . \quad (3.1.18)$$

Для нахождения времени t_3 , необходимо определить величину порогового напряжения компаратора, влияющего на величину t_3 . Оно равняется:

$$U_k = U_1 - (U_3 - U_2) = U_1 + U_2 - U_3 . \quad (3.1.19)$$

После подстановки значений U_1 , U_2 , U_3 из формул

(3.1.10) – (3.1.12) получим:

$$U(i) = \frac{Ue}{T} \left[t1 \left[1 - \frac{t1}{2T} \right] + t2 \left[1 - \frac{t2}{2T} \right] - t3 \left[1 - \frac{t3}{2T} \right] \right]. \quad (3.1.20)$$

Из графика на рисунке 3.1.6 следует, что:

$$t2 = t3 - t1. \quad (3.1.21)$$

Поэтому, после подстановки $t2$ в уравнение (3.1.20), придем к следующему виду:

$$U(i) = \frac{Ue}{T} \left[t1 \left[1 - \frac{t1}{2T} \right] + (t3 - t1) \left[1 - \frac{t3 - t1}{2T} \right] - t3 \left[1 - \frac{t3}{2T} \right] \right]. \quad (3.1.22)$$

Раскрывая скобки и, проводя приведение подобных, членов получим:

$$Uk = Ue \cdot t1(t3 - t1) / T^2. \quad (3.1.23)$$

Преобразовав, найдем $t3$:

$$t3 = \frac{Uk \cdot T^2}{Ue \cdot t1} + t1. \quad (3.1.24)$$

Подставляя $t3$ в формулу (3.1.18), получим:

$$dU = \frac{(Uk \cdot T^2 / Ue \cdot t1) + t1 - t1}{2T - (Uk \cdot T^2 / Ue \cdot t1) - t1}. \quad (3.1.25)$$

Упростив выражение, найдем значение относительной погрешности:

$$dU = \frac{U_k \cdot T^2}{2U_e \cdot T \cdot t_1 - U_k \cdot T^2 - U_e \cdot t_1^2} \cdot \quad (3.1.26)$$

Из формулы (3.1.26) следует, что погрешность при КЛА тем меньше, чем меньше постоянная времени входной цепи T и напряжение срабатывания компаратора U_k . Увеличение стимулирующего перепада напряжения U_e , подаваемого на проверяемые ЭРИ, также уменьшает погрешность КЛА, но значительное увеличение (свыше 1В) приходит в противоречие с принципом неповреждения компонентов при проверке. Поэтому для повышения точности операций контроля необходимо выбрать компаратор с минимально возможным пороговым напряжением срабатывания и задавать минимальную величину постоянной времени входной цепи при помощи изменяемых программно конденсатора и резистора во входной цепи (рис. 3.1.1).

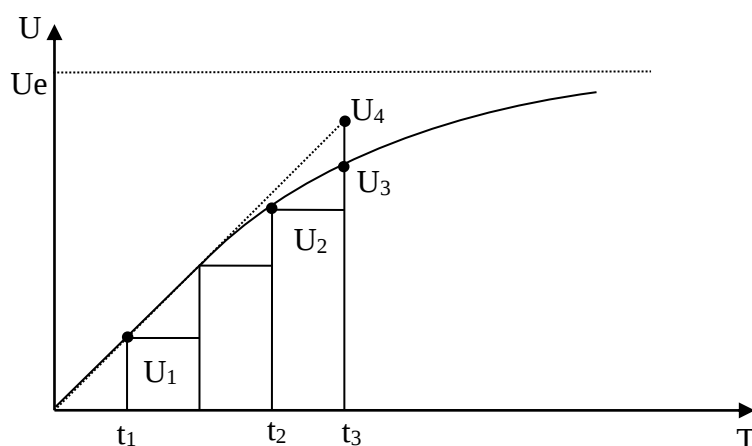


Рис. 3.1.6. Определение систематической погрешности при КЛА переходной характеристики

Количество преобразуемой информации при КЛА значительно меньше и представлено в форме легко доступной для сравнения и хранения. Например, при преобразовании интегральной переходной характеристики (рис. 3.1.2) существующие ПФИ выдадут значение функции в

дискретные моменты времени, в виде набора напряжений и моментов времени, соответствующих этим напряжениям. Разработанный ПФИ выдаст только значения наклона интегральной характеристики и времени (рис. 3.1.3), в течение которого он держался, поэтому процедура хранения и сравнения с ожидаемыми значениями существенно проще.

Было проведено исследование по установлению зависимости между систематической погрешностью при КЛА переходных характеристик ЭРИ на ФЯ и постоянной времени T входной цепи БИ. Изменением величин параметров входной цепи ($R_{пр}$ и $C_{пр}$) были заданы всевозможные значения постоянной времени T . Для каждого значения T проводился расчет значения систематической погрешности по формуле (3.1.26), при этом уровень стимулирующего напряжения, подаваемого в качестве входного воздействия, равнялся $U_e=1В$. Напряжение срабатывания компаратора принималось равным $5мВ$ (для К554СА2).

Результаты проведенного исследования приведены на графике на рисунке 3.1.7. Расхождение между теоретическими и практическими значениями вызваны тем, что при уменьшении значения постоянной времени T до величины шага дискретизации t_1 , возрастает величина погрешности, вносимая отброшенными членами уравнения (3.1.6) (члены уравнения со степенями больше двух принимались незначимыми при условии, что $t_1 \ll T$).

Из графика на рисунке 3.1.7 можно сделать вывод, что минимальная величина систематической погрешности будет получена при постоянной времени входной цепи равной $0.001сек$. Поэтому необходимо при контроле параметров ЭРИ на ФЯ задавать параметры входной цепи таким образом, чтобы результирующее значение постоянной времени входной цепи равнялось $0.001 сек$.

Следовательно, применение ПФИ в АСПД для контроля переходных характеристик, снимаемых с диагностируемых ЭРИ после подачи стимулирующего перепада напряжения,

позволит значительно снизить время на контроль каждой ФЯ за счет более быстрого процесса преобразования и более простого процесса сравнения с эталоном.

Разработанный ПФИ пригоден для контроля аналоговых сигналов как постоянных, так и меняющихся во времени. Постоянные напряжения преобразуются на ПФИ с максимальным быстродействием за один шаг дискретизации.

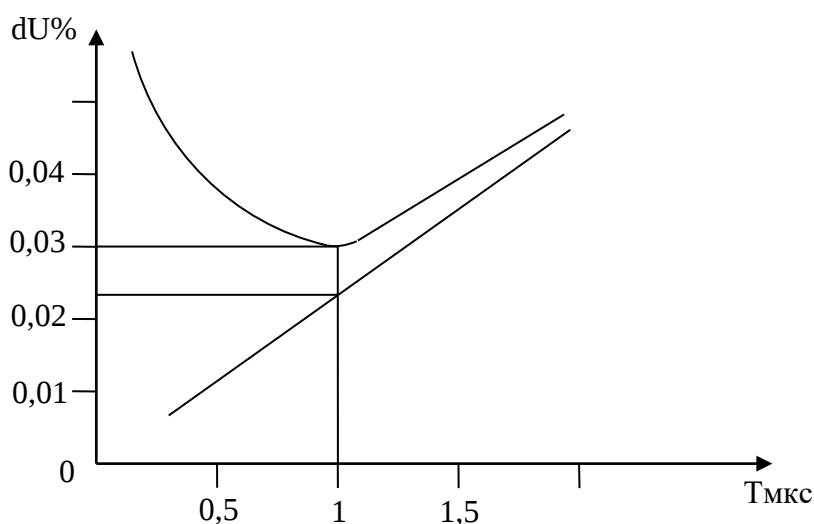


Рис. 3.1.7. Зависимость систематической погрешности при КЛА переходной характеристики от величины постоянной времени входной цепи

3.2. Контроль выходных параметров серийных РЭУМ на аппроксимирующем ПФИ

При контроле выходных сигналов генератора Г4-176 необходимо проводить проверку в диапазоне частот от 0.1 МГц до 1020 МГц, а, так как верхняя граничная частота ПФИ не может достигать 1020 МГц, то, следовательно, необходимо провести предварительное преобразование контролируемых сигналов, для чего можно применить схему контроля

функциональных параметров, изображенную на рисунке 3.2.1. Контролируемый сигнал поступает на смеситель, с выхода которого промежуточная частота величиной 200 кГц поступает на контроль.

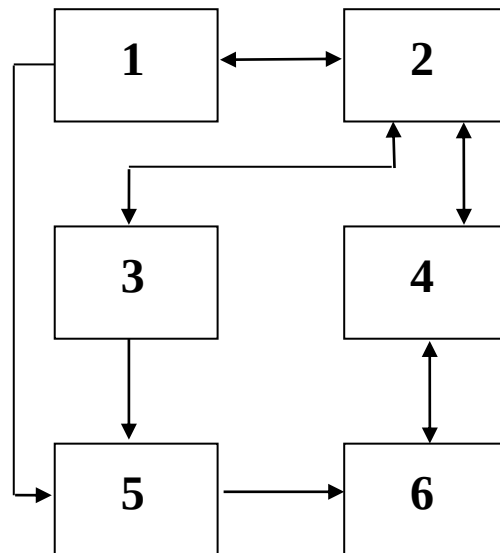
Величина промежуточной частоты ограничивается величиной частоты модулирующих колебаний и должна превосходить не менее чем в 10 раз максимальную модулирующую частоту. Для генератора Г4-176 максимальная частота модуляции равна 10 кГц, поэтому промежуточная частота должна быть больше 100 кГц.

Таким образом, выбор промежуточной частоты в 200 кГц с двукратным запасом обеспечивает требуемое ограничение по величине промежуточной частоты.

Для получения промежуточной частоты ПЭВМ "Нейрон" 4 (рис. 3.2.1) по интерфейсу КОП управляет работой генераторов Г4-176 (1 - контролируемый, 2 - гетеродин) таким образом, что разностная частота, выделяемая смесителем 3, всегда равна 200 кГц, тем самым обеспечивается требуемый режим работы ПФИ.

Принцип преобразования частоты несущего колебания в аппроксимирующую функцию изображен на рисунках 3.2.2 и 3.2.3.

Для определения частоты основного колебания с требуемой точностью $\pm 0.000015\%$ можно задать режим измерения, при котором выборки напряжений будут приходиться на одно и то же место синусоиды, но в различных периодах.



- 1 - контролируемый генератор Г4-176
- 2 - ПЭВМ "Нейрон"
- 3 - генератор-гетеродин Г4-176
- 4 - интерфейс
- 5 - смеситель
- 6 - ПФИ

Рис. 3.2.1. Схема контроля функциональных параметров генератора Г4-176

При изменении периода контролируемой синусоиды значения выборок будут смещены и зафиксируют изменение напряжения выборок. Так, например, производя выборки в моменты времени прохождения синусоиды через ноль, можно зафиксировать изменения частоты контролируемой синусоиды, если выборки принимают ненулевые значения. Количество сделанных выборок прямо пропорционально полученному отклонению амплитуды выборок от нулевого значения.

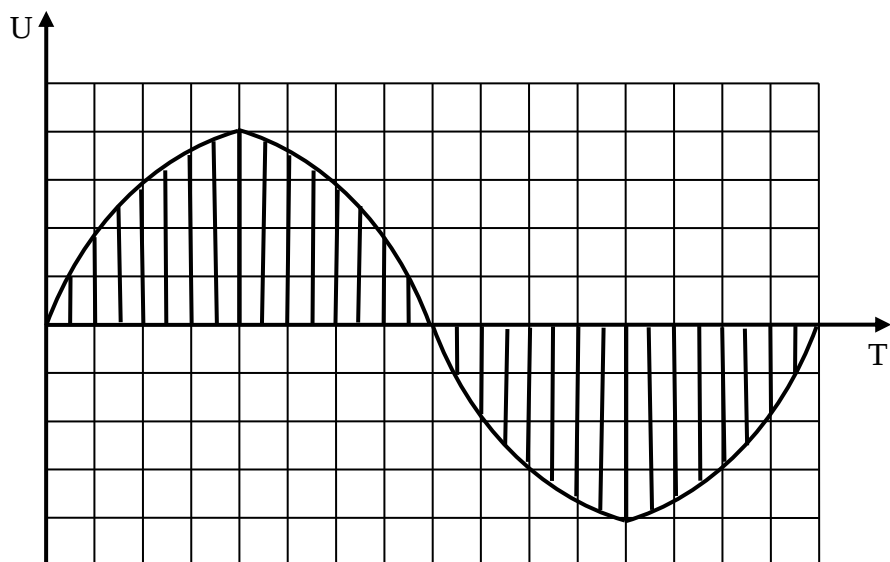


Рис. 3.2.2. Дискретизация синусоидального колебания

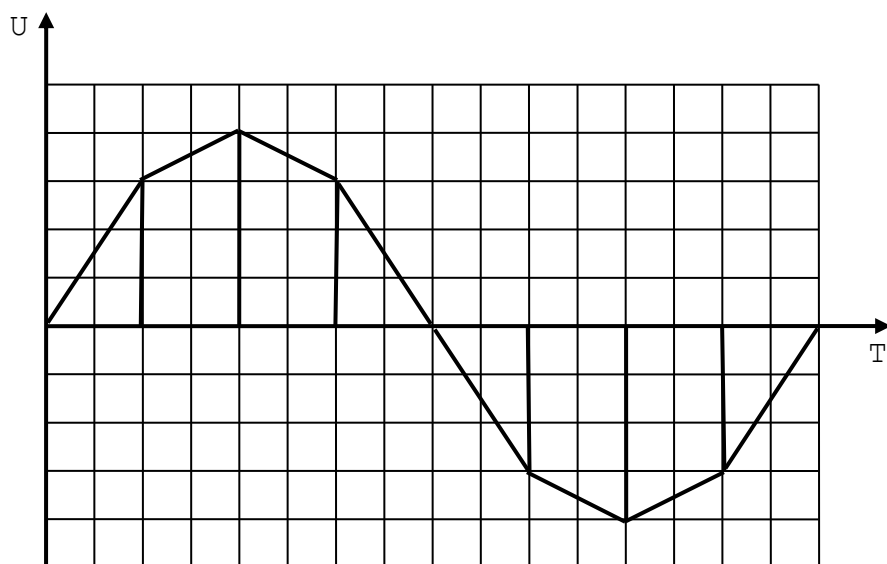


Рис. 3.2.3. Аппроксимация синусоидального колебания

Большую роль при этом играет погрешность измерителя напряжений выборок, так как минимально возможное измеряемое напряжение находится в прямой зависимости от количества проконтролированных выборок, а, следовательно, и от общего времени контроля.

Рассмотрим зависимость между временем контроля частоты с заданной погрешностью и величиной допустимой погрешности ПНК. Напряжение выборки U , взятое в момент времени t , можно найти по формуле:

$$U = U_{\max} \sin(2\pi t/T), \quad (3.2.1)$$

где $U_{\max}$ - максимальное значение несущего колебания;

U - амплитуда выборки;

T - период несущего колебания (5мкс для промежуточной частоты 200 кГц);

t - время выборки.

Так как период несущего колебания имеет погрешность $\pm 0.000015\%$, то это соответствует отклонению периода от номинального значения T на величину $\pm 0.00000015 T$. Поэтому t , взятое в N -ой выборке, будет определяться по формуле:

$$t = T \pm 0.00000015 TN. \quad (3.2.2)$$

Подставим значение t в (3.2.1) и получим величину U_p , соответствующую амплитуде выборки и являющуюся минимально-допустимой абсолютной погрешностью для ПНК:

$$U_p = U_{\max} \sin(2\pi(T \pm 0.00000015 TN)/T). \quad (3.2.3)$$

Сократив на T , получим:

$$U_p = U_{\max} \sin(2\pi \pm 0.00000015 N). \quad (3.2.4)$$

Изменение угла на величину 2π не меняет значения тригонометрической функции, поэтому:

$$U_p/U_{\max} = \text{SIN}(\pm 0.00000015N). \quad (3.2.5)$$

При малых значениях угла можно разложить синус в ряд Тейлора, отбросив незначащие члены. В этом случае синус угла будет приблизительно равен самому углу, взятому в радианах:

$$\text{SIN}(X) = X. \quad (3.2.6)$$

Можно упростить (3.2.5):

$$U_p/U_{\max} = \pm 0.00000015N. \quad (3.2.7)$$

Величина относительной погрешности измерителя напряжений равна:

$$dU = (U_p/U_{\max}) 100\%. \quad (3.2.8)$$

Количество выборок определяется общим временем измерения всего числа периодов контролируемой частоты и величиной периода этой же частоты (5 мкс для 200 кГц):

$$N = T_{\text{изм}}/T = T_{\text{изм}}/5. \quad (3.2.9)$$

Подставляя в (3.2.5) значение N , получим:

$$dU = \pm 0.0000003 T_{\text{изм}}\%. \quad (3.2.10)$$

Минимальное время для контроля конкретной частоты определяется временем окончания переходных процессов после задания генератором Г4-176 конкретного значения

контролируемой частоты. В соответствии с ТУ на генератор Г4-176 это время составляет 0.01 с. Однако, в реальных условиях за счет статистического разброса параметров генератора требуется время для достоверного контроля значения одной частоты порядка 1 с.

Таким образом, максимальное время контроля синусоиды с заданной точностью $\pm 0.000015\%$ в соответствии с уравнением (3.2.10) составит 1 с при допустимой погрешности ПНК $\pm 3\%$, а минимальное время - составит 0.01 с при допустимой погрешности ПНК $\pm 0.03\%$.

Для сбора исходной информации при контроле модуляционных частот генератора Г4-176 был использован метод эталона, когда определяется не само значение контролируемого параметра, а его отличие от эталонного. Такой подход позволяет снизить метрологические требования к ПФИ, сохранив только требования достоверности воспроизведения результатов.

Погрешность преобразования частоты модулирующего колебания $\pm 5\%$ легко достижима и может быть повышена за счет применения стробоскопического метода преобразования с одновременным проведением демодуляции. Для этого необходимо выборки проводить с шагом, отличающимся от периода модулирующего колебания на следующую величину:

$$t = NT + T/K, \quad (3. 2.11)$$

где t - задержка включения выборки;

T - период модулирующего колебания 5 мкс (для промежуточной частоты 200 кГц);

N - число периодов, через которое будет проводиться выборка ($N=0, 1, 2, \dots$);

K - требуемое число выборок на один период модулирующего колебания.

При преобразовании на разработанном ПФИ АМ и ЧМ колебаний устройство управления будет производить

выборки контролируемого сигнала с задержкой в четверть периода (1.25 мкс) несущего колебания после изменения значения сигнала с отрицательного на положительный (начало синусоиды). Следовательно, значения выборок будут соответствовать максимальным значениям синусоиды несущего колебания. Значит, при АМ амплитуда выборок будет меняться пропорционально огибающей модулирующего колебания (рис. 3.2.4, 3.2.5). То есть ПФИ проведет демодуляцию АМ сигнала с одновременной КЛА. Если значение задержки выборок будет задано в пределах от 0 до 5 мкс, то, соответственно, будут изменены амплитуды всех выборок, причем возможно даже получение отрицательных значений при задержке от 2.5 до 5 мкс (рис. 3.2.6, 3.2.7).

Амплитуда демодулированного колебания будет определяться по формуле:

$$U=U_{\max}\sin(2\pi t/T) \quad (3.2.12)$$

где $U_{\max}$ - максимальное значение несущего колебания;

U - максимальное значение демодулированного колебания;

T - период несущего колебания 5мкс;

t - задержка включения выборки.

Аналогично можно регулировать уровень демодулированного колебания при частотной модуляции (рис. 3.2.8, 3.2.9).

Следовательно, ПФИ имеет дополнительную возможность: изменением задержки регулировать амплитуду демодулированного колебания. Помимо перечисленных возможностей при задании задержки с дополнительным приращением в N периодов несущего колебания будет реализован стробоскопический режим, позволяющий получить более высокую точность при интегральной оценке значений параметров.

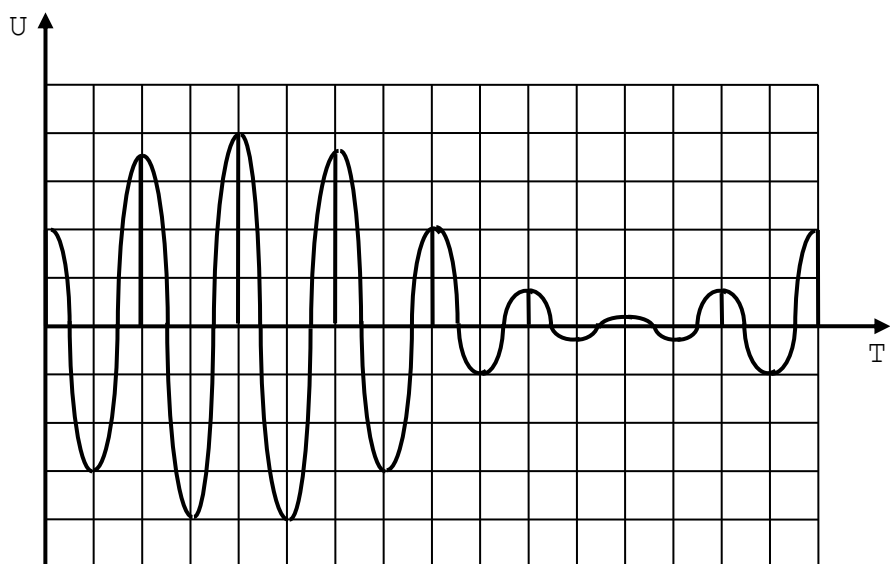


Рис. 3.2.4. Демодуляция АМ сигнала

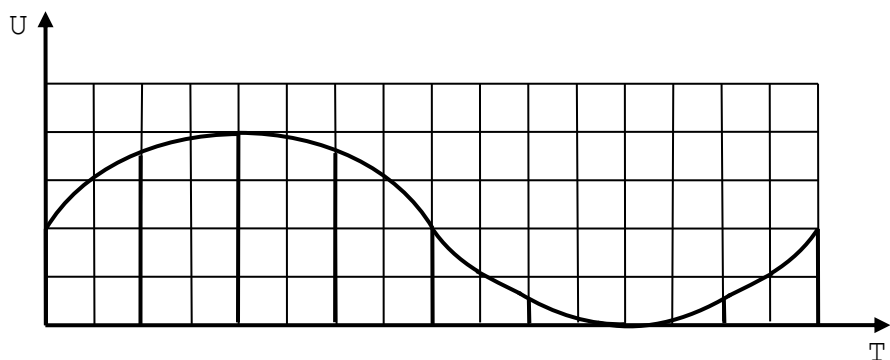


Рис. 3.2.5. Аппроксимация огибающей АМ сигнала

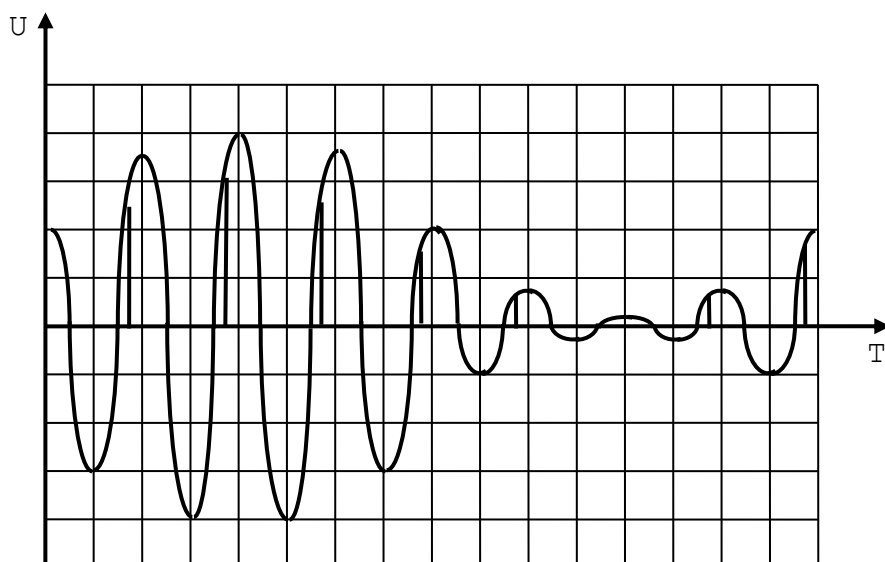


Рис. 3.2.6. Демодуляция АМ сигнала с регулированием амплитуды огибающей



Рис. 3.2.7. Аппроксимация огибающей АМ сигнала

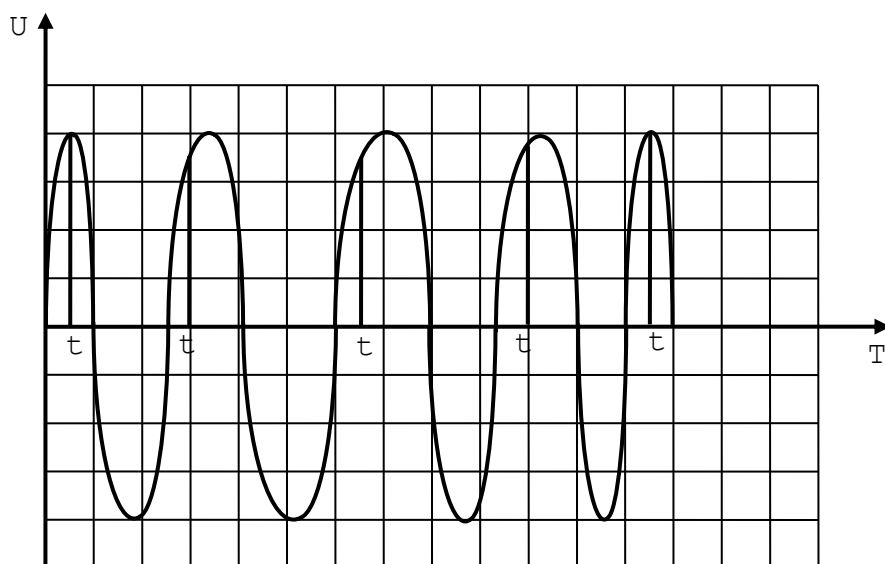


Рис. 3.2.8. Демодуляция ЧМ сигнала

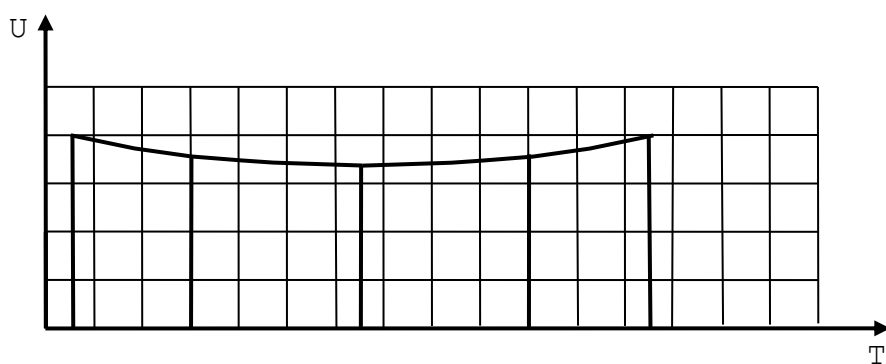


Рис. 3.2.9. Аппроксимация огибающей ЧМ сигнала

Разработанный ПФИ был реализован в виде опытного образца на макетной плате и продемонстрировал следующие параметры:

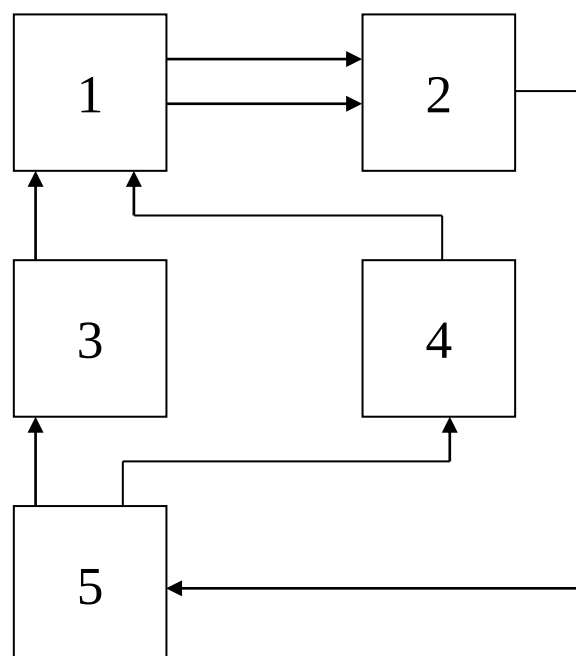
- уровни входного напряжения - $0 \dots 10 \text{ В}$;
- допустимая систематическая погрешность измерения напряжения на ПНК 0.03% при времени преобразования 0.001 с ;
- максимальная преобразуемая частота - 200 кГц с погрешностью $\pm 0.000015\%$;
- напряжение питания – $15 \text{ В} \pm 5\%$;
- ток потребления - 18 мА ;
- уровень логического нуля $0 - 0.4 \text{ В}$;
- уровень логической единицы $2.4 - 5 \text{ В}$;
- управление по интерфейсу КОП.

На разработанный ПФИ подана авторская заявка. Опытный образец испытан в АСПД и внедрен в технологический процесс для контроля выходных параметров генератора Г4-176 и диагностирования дефектных ЭРИ на ФЯ.

Применение разработанного ПФИ в АСПД позволило повысить быстродействие контроля при диагностировании ЭРИ на ФЯ и выходных параметров РЭУМ, одновременно уменьшив затраты на контрольно-измерительную аппаратуру, при этом снизив требования к обслуживающему персоналу.

3.3. Разработка следящего преобразователя напряжение-код поразрядного приближения

В состав аппроксимирующего ПФИ должен входить преобразователь значения первой производной в цифровую форму для последующей передачи в ПЭВМ. Для обеспечения необходимых параметров ПФИ от ПНК требуется погрешность измерения напряжений $\pm 0.03\%$ во всем диапазоне контролируемых напряжений от 0 до 10 В . Поэтому ПНК должен содержать не менее 12 разрядов в



- 1 - ЦАП
 2 - компаратор
 3 - регистр N
 4 - регистр 1
 5 - устройство управления

Рис. 3.3.1. Структурная схема АЦП поразрядного приближения

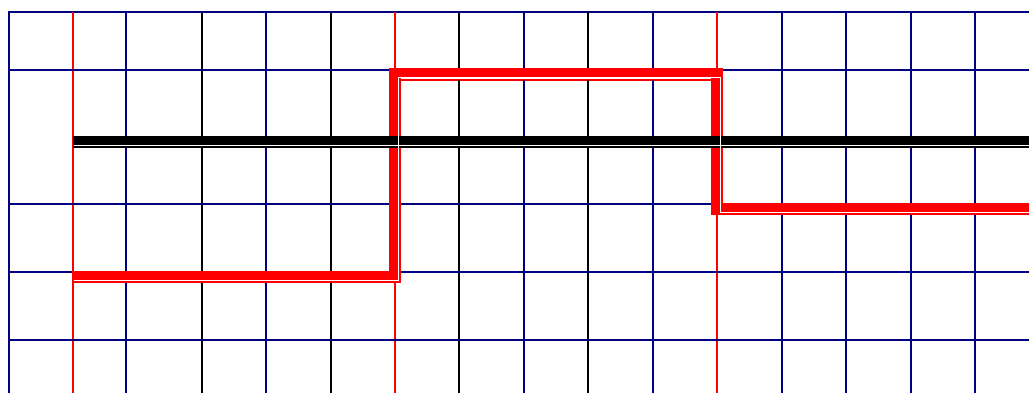


Рис. 3.3.2. График работы АЦП поразрядного приближения

двоичном коде, что соответствует количеству значений напряжений, равному:

$$K=2^{12} = 4096, \quad (3.3.1)$$

при этом минимальный шаг квантования составит:

$$U_{\min}=10\text{В}/4096=0.0025\text{В}, \quad (3.3.2)$$

а относительная погрешность ПНК будет равна:

$$dU=(U_k/U_{\max})100\%=(0.0025/10)100\%=0.025\%. \quad (3.3.3)$$

Таким образом, погрешность двенадцатиразрядного ПНК с небольшим запасом обеспечит требуемую погрешность $\pm 0.03\%$.

В ПФИ можно использовать уже существующие стандартные схемы АЦП, или разработать специализированный ПНК, использование которого было бы эффективнее по сравнению с уже существующими схемами.

Проведенный анализ существующих стандартных схем АЦП показывает необходимость разработки специализированного ПНК, удовлетворяющего предъявленным требованиям. Наиболее близки к требуемым по параметрам АЦП поразрядного приближения (рис. 3.3.1). График работы представлен на рисунке 3.3.2.

Работает АЦП следующим образом. Устройство управления 5 записывает в старший регистр 3 уровень единицы, который поступает на ЦАП 1, а затем, в виде половины диапазона контролируемых напряжений на компаратор 2, где преобразуемое напряжение U_x сравнивается, и если оно больше (как видно из графика на рис. 3.3.2), то компаратор через устройство управления сохраняет эту единицу в старшем регистре. Следующий цикл преобразования аналогичен, но проводится он для (N-1)-го

регистра. Так как напряжение, выработанное ЦАП ($(1/2+1/4)$ диапазона), оказалось больше U_x , компаратор вырабатывает уровень нуля, который будет записан устройством управления УУ в этот регистр. Последний цикл преобразования сравнивает напряжение U_x с $(1/2+1/8)$ напряжения диапазона преобразуемых значений. В результате будет получен код 101.

Таким образом, измерение одного разряда формируется из пяти временных задержек:

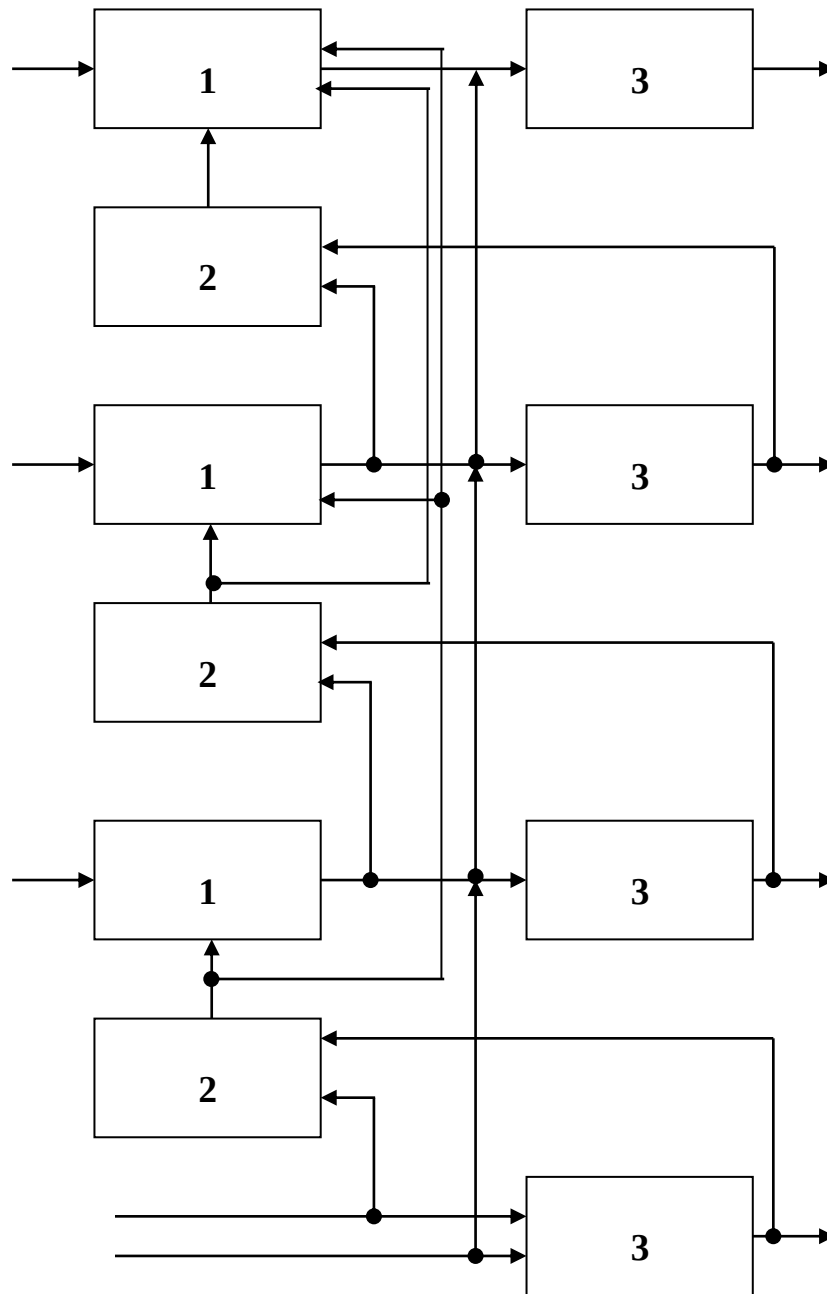
1. Запись в соответствующий регистр начальной единицы из устройства управления УУ.
2. Подача двоичного кода с регистров на ЦАП.
3. Преобразование двоичного кода на ЦАП и подача напряжения сравнения на компаратор.
4. Сравнение компаратором измеряемого напряжения с напряжением ЦАП.
5. Окончательная запись устройством управления УУ результатов сравнения компаратором в соответствующий регистр.

Для 12-и разрядного ПНК потребуются повторить эту процедуру 12 раз для нахождения всех 12 разрядов. Недостатком существующего АЦП поразрядного приближения можно считать необходимость повторения всей процедуры контроля сначала для контроля нового уровня напряжения.

С целью повышения быстродействия АЦП поразрядного приближения был разработан следящий ПНК, в котором отсутствуют регистры, вносящие излишние задержки, а вместо одного ЦАП и одного компаратора использована распределенная схема, где каждый разряд преобразования имеет свой компаратор, ключ и сумматор. На рисунке 3.3.3 приведена структурная схема предлагаемого ПНК. График работы следящего ПНК поразрядного приближения показан на рисунке 3.3.4.

Контролируемое напряжение поступает одновременно на все компараторы. Первый компаратор сравнивает его с

напряжением, равным половине измеряемого диапазона. Если результат сравнения покажет, что неизвестное напряжение меньше, то в старшем разряде будет ноль, первый ключ - закрыт, первый сумматор подаст на второй компаратор четверть напряжения диапазона.



1 – сумматор; 2 – ключ; 3 - компаратор

Рис. 3.3.3. Структурная схема ПНК поразрядного приближения

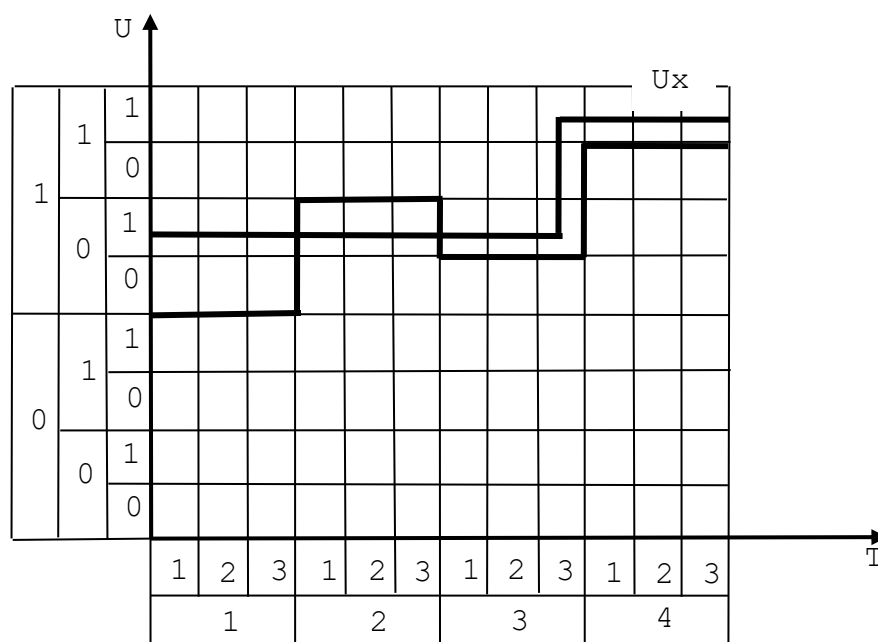


Рис. 3.3.4. График работы ПНК поразрядного приближения

Если же неизвестное напряжение больше, то в старшем разряде будет единица, ключ - открыт, и первый сумматор подаст на второй компаратор $3/4$ напряжения диапазона. Далее процесс повторяется для остальной части разрядов.

Данная схема обладает более высоким быстродействием по сравнению с АЦП поразрядного приближения, так как отсутствуют временные задержки в ЦАП, регистре поразрядного приближения и схеме управления. Вместо пяти временных задержек имеются только три, которые складываются из задержек преобразования компаратора, включения ключа и сложения напряжений на сумматоре.

Отсутствие элементов с памятью добавляет новое свойство разработанному ПНК. Так как нет необходимости в циклическом преобразовании при изменении контролируемого входного напряжения, ПНК самостоятельно произведет преобразования с максимальным быстродействием, начиная от старшего разряда к младшему. Причем если изменение входного напряжения было незначительно, то будут трансформированы значения только

соответствующих младших разрядов. В аналогичной ситуации АЦП поразрядного приближения вынужден проводить новый цикл измерения по всем разрядам (от старшего к младшему). Таким образом, разработанный ПНК является следящим АЦП, что выгодно отличает его от АЦП поразрядного приближения, при этом сохраняются преимущества последнего. Недостатком предложенной схемы является накопление погрешности от старшего разряда к младшему, однако использование режима калибровки позволяет скомпенсировать данную погрешность, так как она является систематической и не влияет на воспроизводимость преобразования.

Время на преобразование контролируемого напряжения в 12-разрядный код составляет 0.4 мкс с погрешностью $\pm 0.025\%$.

В настоящее время проводится поиск новых путей повышения производительности (одновременного увеличения точности и быстродействия) и метрологической стабильности АЦП.

В АЦП помимо двоичной системы счисления можно использовать и другие способы кодирования (код Грея, код Фибоначчи, циклические коды и т. д.).

В частности, в АЦП начинают применяться избыточные системы счисления (ИСС), обладающие весовой избыточностью. Исследование таких ИСС в сочетании с цифровой обработкой дает в ряде применений качественно новые результаты. Преимущество кодов на основе ИСС заключается в способности сохранять работоспособность при наличии дефектных разрядов преобразования. Это обусловлено тем, что за счет избыточности дефектный разряд может быть продублирован другими разрядами.

Первой промышленной разработкой в этой области явилось создание американской фирмой Intersil Inc 14-разрядного АЦП ICL-7115. В таком АЦП не требуется лазерной подгонки весов разрядов, а быстродействие

повышается примерно в 3 раза по сравнению с двоичными аналогами. Данный эффект достигается применением избыточного кода с отношением весов разрядов 1,85 в сочетании с цифровой обработкой, выполняемой специализированным вычислительным устройством (спецпроцессором).

Применение ИСС позволяет повысить производительность АЦП за счет самокоррекции статических погрешностей и автокомпенсации динамических погрешностей. В конечном итоге оказывается возможным создание высокоточных быстродействующих АЦП с температурной долговременной стабильностью параметров.

Одной из разновидностей ИСС является код золотой пропорции (при $a=1.618$), или код Фибоначчи (отношение весов разрядов в пределе стремится к $a=1.618$).

Веса разрядов в коде Фибоначчи представляют собой рекуррентную последовательность, в которой каждый разряд равен сумме двух младших разрядов (1,1,2,3,5,8...).

Избыточность ИСС проявляется в возможности представления чисел множеством кодовых комбинаций. Данное обстоятельство позволяет при наличии отклонений весов разрядов в АЦП и ЦАП на основе ИСС получать неразрывную характеристику кодирования, что невозможно для двоичного кода или кода Грея.

Возможность появления разрывов передаточной характеристики - один из наиболее существенных недостатков двоичных избыточных ПНК. Возникают указанные разрывы из-за несоответствия реальных весов разрядов ПНК требуемым значениям. На рисунке 3.3.5 представлена диаграмма передаточной характеристики идеального (двоичного) 4-разрядного ПНК. Видно, что в данном случае разрывы отсутствуют, и любому значению входного сигнала однозначно соответствует вполне определенное значение выходного параметра. Например, для преобразования входного сигнала величиной 7 единиц

необходимо три разряда, а 8 единиц - четыре разряда ПНК.

Рассмотрим на тестовом примере по контролю определенного входного сигнала преимущества избыточного ПНК по сравнению с обычным.

На рисунке 3.3.6 представлена диаграмма передаточной характеристики двоичного 4-разрядного ПНК при наличии отклонений весов разрядов (третий разряд имеет отклонение минус одна единица, а четвертый разряд - плюс одна единица). Видно, что в этом случае возникает область входных сигналов (от семи до восьми единиц), которой не соответствует определенное значение выходного параметра. Это и есть разрыв передаточной характеристики.

На рисунке 3.3.7 представлена диаграмма передаточной характеристики 6-разрядного идеального ПНК на основе кодов Фибоначчи. Данная диаграмма наглядно демонстрирует факт перекрытия участков передаточной характеристики такого ПНК вследствие наличия избыточности. Например, входной сигнал величиной от 5 до 7 единиц может быть представлен как с участием, так и без участия 5-го разряда ПНК. Указанная многозначность представления информации позволяет сохранить непрерывность передаточной характеристики ПНК и при наличии определенных отклонений весов разрядов.

При этом максимальное значение указанных отклонений Q_i макс определяется выражением:

$$Q_i, \text{ макс} = 2/a - 1 \quad (3.3.4)$$

и составляет, например, для кода Фибоначчи 23,6%.

Таким образом, применение кода Фибоначчи в разработанном АЦП позволит избежать разрывов при преобразовании напряжения и повысит надежность работы, так как при выходе из строя какого-либо из разрядов (или отклонения уровня разряда от заданного номинального значения) он будет подстрахован двумя младшими разрядами.

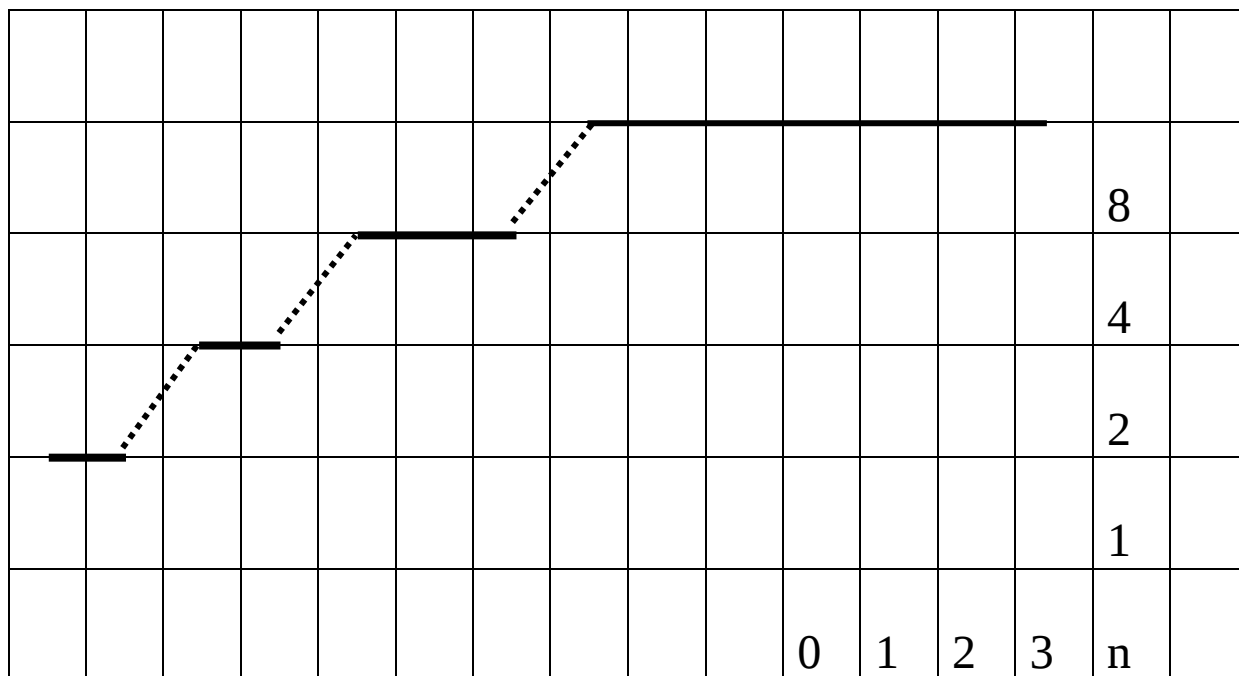


Рис.3.3.5. Характеристика идеального четырехразрядного ПНК

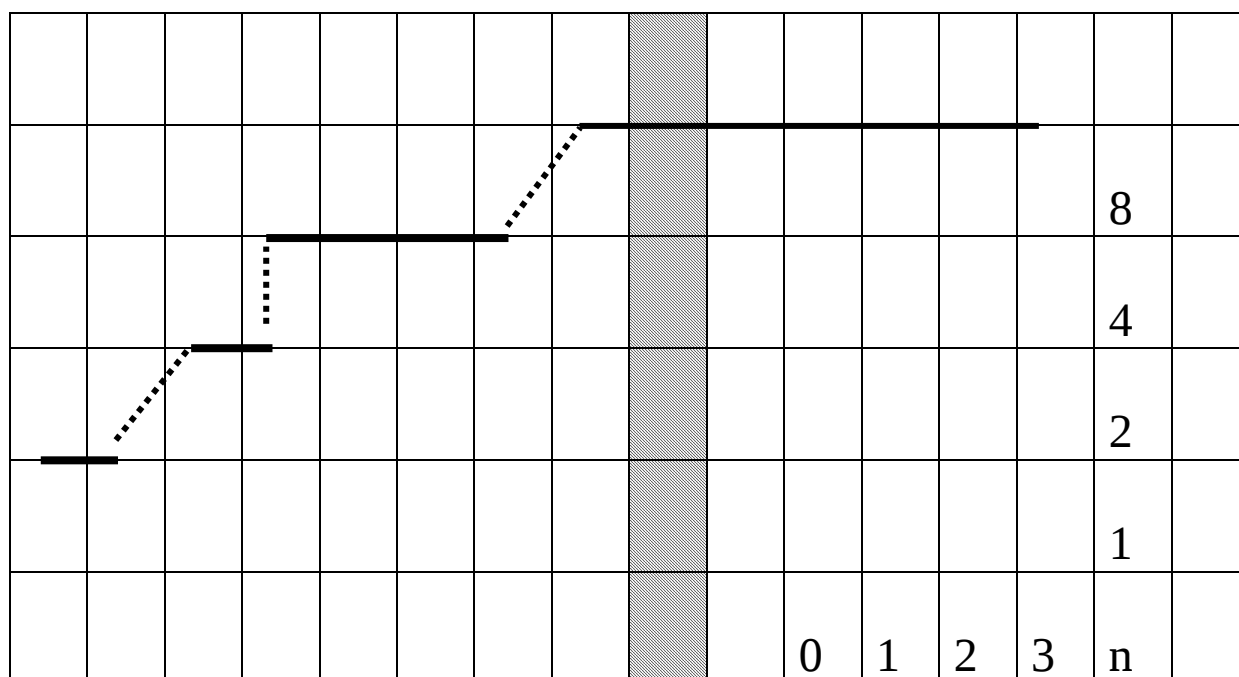


Рис.3.3.6. Характеристика реального четырехразрядного ПНК при наличии отклонения весов разрядов

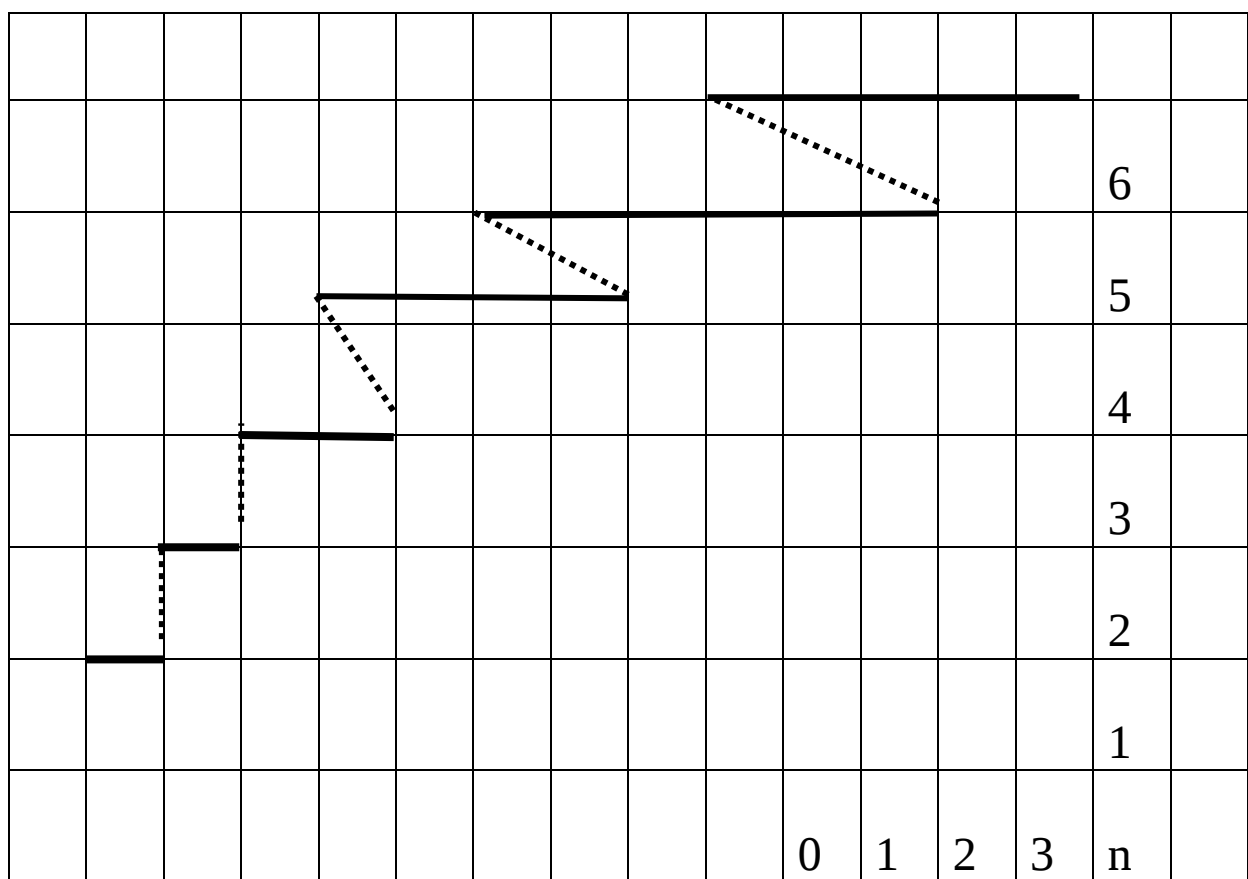


Рис.3.3.7. Характеристика идеального шестirazрядного ПНК на основе кодов Фибоначчи

Уровни преобразованного напряжения можно хранить в ЭВМ как в коде Фибоначчи, так и в любой другой форме после соответствующего преобразования.

Количество разрядов кода Фибоначчи можно определить из величины минимального шага квантования ПНК (0.0025 В из уравнения (3.3.2)) и величины максимального напряжения преобразования (10В). Эти значения требуют количество преобразуемых значений напряжения не менее:

$$N=(10/0.025)100\%=4000. \tag{3.3.5}$$

Для двоичного кода достаточно 12-и разрядов, сумма весов разрядов равна:

$$K=1+2+4+8+16+32+64+128+256+512+1024+2048=4095. \quad (3.3.6)$$

Для кода Фибоначчи потребуется 17 разрядов, сумма весов разрядов равна:

$$K=1+1+2+3+5+8+13+21+34+55+89+144+233+377+610+987+1597=4162. \quad (3.3.7)$$

Разработанный ПНК был реализован в виде опытного образца на макетной плате и продемонстрировал следующие параметры:

- разрядность - 17 бит (в коде Фибоначчи);
- уровни входного напряжения - 0... +10 В;
- погрешность преобразуемого напряжения $\pm 0.025\%$ для младшего знакового разряда;
- быстродействие - 0.5 мкс;
- напряжение питания - 15 В $\pm 5\%$;
- напряжение опорное - +10 В;
- ток потребления - 8 мА;
- уровень логического нуля 0 - 0.4 В;
- уровень логической единицы 2.4 - 5 В.

На разработанный ПНК подана авторская заявка. Опытный образец испытан в ПФИ для преобразования уровня первой производной при КЛА и внедрен в технологический процесс для контроля выходных параметров генератора Г4-176 и диагностирования дефектных ЭРИ на ФЯ.

Разработанный ПНК может быть применен не только для работы в составе аппроксимирующего ПФИ, но и в других радиоэлектронных устройствах, где требуется быстродействующий следящий АЦП. Себестоимость ПНК при серийном производстве может быть снижена в случае изготовления его не из отдельных компонентов, а в монолитном интегральном исполнении. Одновременно это улучшит точностные и надежность параметры.

4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АСПД И СТРАТЕГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЕЕ ПРИ КОНТРОЛЕ РЭУМ

Разработанная АСПД серийных РЭУМ предназначена для контроля выходных функциональных параметров генератора Г4-176 и обладает следующими техническими параметрами при контроле выходных сигналов генератора:

- контроль выходной частоты в диапазоне 0.1 МГц - 1020 МГц с погрешностью $\pm 0.000015\%$;

- определение нестабильности частоты за 15 мин менее $\pm 0.00000005\%$;

- проверка уровня сигнала на нагрузке 50 или 75 Ом во всем диапазоне с амплитудой не менее 0.5 В и погрешностью $\pm 10\%$;

- контроль частоты модулирующего колебания при амплитудной модуляции при коэффициенте 0... 99% в диапазоне от 50 Гц до 10 кГц с погрешностью $\pm 5\%$.

- контроль частоты модулирующего колебания при частотной модуляции при девиации частоты в диапазоне от 0.05 кГц до 995 кГц с погрешностью $\pm 10\%$;

- контроль негативной модуляции несущей полным цветовым видеосигналом в диапазоне частот 25... 250 МГц и 470... 960 МГц при положительной и отрицательной полярности равной 1В.

При проведении автоматизированного диагностирования девяти типов ФЯ генератора Г4-176 разработанная АСПД способна контролировать:

- резисторы в диапазоне от 100 Ом до 200 кОм с погрешностью $\pm 10\%$;

- конденсаторы от 200 пФ до 2000 мкФ с погрешностью $\pm 10\%$;

- обнаруживать обрывы и короткие замыкания в цепях схемы;

- определять пробитые р-п-переходы активных элементов;

- контролировать постоянные напряжения в диапазоне от 0 до +10 В с погрешностью $\pm 5\%$.

При изготовлении генератора Г4-176 возникает необходимость в проведении контрольных операций на различных этапах технологического процесса. Перед сборочными операциями проводится предварительный контроль отсутствия коротких замыканий и обрывов проводников на ФЯ до установки ЭРИ. При необходимости проводится входной контроль параметров ЭРИ до установки на ФЯ. После проведения сборочных операций проводится контроль отсутствия коротких замыканий и обрывов проводников ФЯ и соответствие параметров ЭРИ, установленных на ФЯ, допустимым значениям. Затем подаются питающие напряжения на ФЯ и проверяются выходные функциональные параметры ФЯ в целом, после чего ФЯ устанавливаются в устройство и осуществляется контроль выходных параметров генератора в целом.

Существующие системы автоматизированного контроля позволяют автоматизировать как поэлементные проверки параметров ЭРИ на ФЯ до и после сборочных операций, так и контроль выходных параметров отдельных ФЯ и РЭУМ в целом. Однако, для этого требуются системы, содержащие большое количество сложной дорогостоящей контрольно-измерительной аппаратуры. Кроме того, многие операции по разработке коммутирующих устройств и отладки диагностических тестов проводятся вручную оператором высокой квалификации, причем достоверность контроля снижается как за счет возможных ошибок оператора, так и за счет недостатков присущих самому поэлементному контролю (шунтирующее влияние соседних ЭРИ).

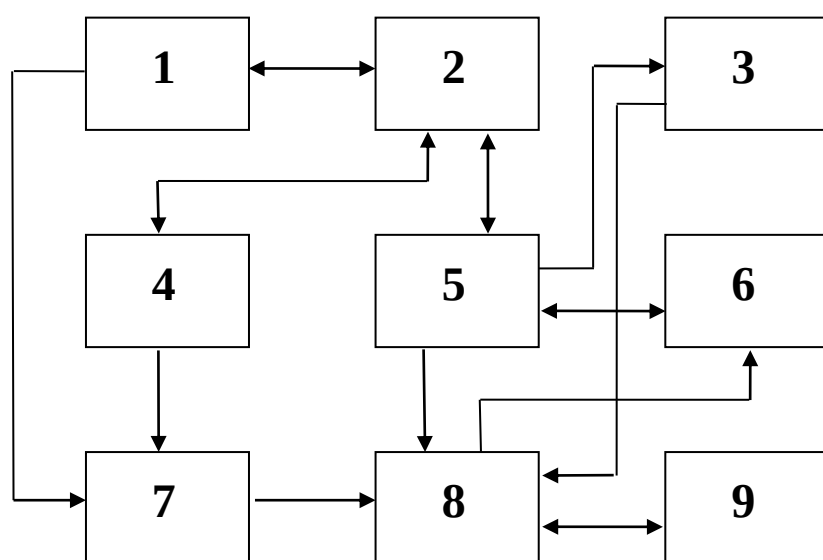
При функциональном контроле параметров РЭУМ диагностические программы должны содержать сложные драйверы по управлению режимами работы контрольно-измерительной аппаратуры, считыванию измеренных значений, преобразованию и сравнению их с эталонными

значениями. Причем время измерения некоторых приборов может достигать нескольких секунд для одной величины, и при контроле большого количества величин этот недостаток приведет к недопустимому возрастанию общего времени контроля РЭУМ.

Разработанная АСПД лишена перечисленных недостатков и способна проводить все контрольные операции, начиная с входного контроля параметров ЭРИ и заканчивая выходным контролем параметров РЭУМ. Вместо сложной и дорогостоящей измерительной аппаратуры в АСПД применен в БИ аппроксимирующий ПФИ, позволяющий преобразовывать информацию и передавать ее для хранения и сравнения в сжатой форме.

Структурная схема разработанной АСПД приведена на рисунке 4.1.1. Все части АСПД используются как при контроле параметров отдельных ЭРИ, так и при контроле функциональных параметров ФЯ и генератора Г4-176 в целом. Это осуществляется благодаря тому, что параметры ЭРИ предварительно преобразуются в аналоговые сигналы и в виде переходных характеристик поступают на аппроксимирующий ПФИ.

ПФИ используется и при контроле выходных параметров генератора в целом. Таким образом, разработанная АСПД является СКД. Причем, в отличие от существующих СКД, которые представляют собой количественную совокупность двух систем СПД и СФД, имеющих общую ЭВМ, коммутатор и различные специализированные измерители, разработанная АСПД имеет один универсальный аппроксимирующий ПФИ, позволяющий контролировать как переходные характеристики, полученные с ЭРИ на ФЯ, так и функциональные параметры самих ФЯ и генератора Г4-176.



- 1 - контролируемый генератор Г4-176
- 2 - ПЭВМ "Нейрон"
- 3 - управляемый блок питания
- 4 - генератор-гетеродин Г4-176
- 5 - интерфейс
- 6 - блок измерения
- 7 - смеситель
- 8 - коммутатор
- 9 - контролируемая ФЯ

Рис. 4.1.1. Структурная схема разработанной АСПД

При контроле параметров ЭРИ проверяемая ФЯ 9 подключается через коммутатор 8 к ВИ 6 (рис. 4.1.1). После чего интерфейс 5 по командам ПЭВМ 2 подаст стимулирующее воздействие с управляемых блоков питания 3 через коммутатор 8 на ФЯ 9. Переходные характеристики поступят через коммутатор на БИ 6, во входной цепи которого будет проведена нормализация значений переходных характеристик при помощи изменяемых программно параметров ($R_{пр}$ и $S_{пр}$ на рис. 3.1.1). После аппроксимации значения переходных характеристик поступят

через интерфейс 5 в ПЭВМ 2 для сравнения с эталонными значениями.

В результате будет проведен контроль наличия дефектных ЭРИ на ФЯ, причем количество измерений будет существенно меньше, так как проверяются не все ЭРИ на ФЯ, а только группы ЭРИ (не более 10 групп) с целью обнаружения дефектного ЭРИ.

При контроле функциональных параметров генератора 1 для нормализации значений контролируемых сигналов осуществляется преобразование выходных частот контролируемого генератора в промежуточную частоту при помощи генератора-гетеродина 4 и смесителя 7. Промежуточная частота поступает через коммутатор 8 на БИ 6 и после аппроксимации через интерфейс 5 в ПЭВМ 2.

Контроль высоких частот можно осуществить также при помощи стробоскопического режима, при котором выборки будут производиться в различных периодах несущего колебания.

Для контроля функциональных параметров ФЯ необходимо вместо контролируемого генератора 1 установить эталонный генератор, в котором соответствующая эталонная ФЯ будет заменена контролируемой ФЯ. В результате контроля выходных параметров генератора, имеющих отношение к проверяемой ФЯ, можно осуществить контроль работоспособности конкретной ФЯ.

Таким образом, можно проконтролировать выходные функциональные параметры всех девяти типов ФЯ, входящих в состав генератора Г4-176, причем программа контроля во всех этих случаях идентична программе контроля генератора Г4-176, а результаты анализа выходных сигналов генератора позволяют сделать вывод о работоспособности ФЯ, входящих в состав генератора.

Таким образом, разработанная АСПД позволяет проводить контрольно-диагностические операции на всех этапах производства РЭУМ:

- входной контроль параметров ЭРИ и целостности проводников;
- контроль параметров ЭРИ и монтажа после сборки;
- подача питающих напряжений и контроль функциональных параметров ФЯ;
- контроль выходных параметров РЭУМ.

В зависимости от круга решаемых задач, поставленных перед АСПД, она может:

1. Проверять исправность монтажа ФЯ до установки ЭРИ путем подачи стимулирующих воздействий на ФЯ и считывания откликов со всех проводников. В зависимости от конфигурации системы и конструкции ФЯ воздействия могут подаваться и считываться через ИКУ, разъем ФЯ или щупы.

2. Осуществить входной контроль параметров ЭРИ путем сравнения переходных характеристик между выводами контролируемых и эталонных ЭРИ (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, р-п-переходы диодов, стабилитронов, варикапов, транзисторов, тиристоров, микросхем, микросборок, БИС и т.п.).

3. Контролировать исправность монтажа ФЯ после сборки и проверять соответствие параметров ЭРИ допустимым значениям. Контролирующие воздействия и считываемые переходные характеристики могут поступать через ИКУ, разъем ФЯ или щупы. Можно осуществлять контроль как отдельных ЭРИ, так и групп ЭРИ.

4. Подать питающие напряжения на ФЯ и сравнить переходные процессы на контролируемой и эталонной ФЯ. При наличии дефекта на ФЯ переходные процессы после подачи питающих напряжений позволяют идентифицировать вид дефекта, вызвавшего отличие между процессами эталонной и контролируемой ФЯ (динамический контроль ФЯ при подаче питающих напряжений).

5. Произвести после подачи питающих напряжений и по окончании переходных процессов на ФЯ снятие карты напряжений с КТ (с помощью ИКУ, разъема ФЯ или щупов).

Изменение величин напряжений на КТ, контролируемой ФЯ по сравнению с эталонной ФЯ, позволяют однозначно идентифицировать дефект (статический контроль ФЯ после подачи питающих напряжений).

6. Осуществить подачу стимулирующих воздействий на КТ контролируемой ФЯ, на которую поданы питающие напряжения, и считывание переходных процессов по распространению стимулирующего перепада напряжения через ЭРИ на ФЯ и сравнение с аналогичным процессом для эталонной ФЯ. Результаты анализа распространения переходного процесса по ФЯ, подключенной к источникам питания, могут дать дополнительную информацию о наличии дефектов.

7. После установки контролируемой ФЯ в эталонный генератор проверить функциональные параметры генератора в целом для определения работоспособности ФЯ.

Обнаружение дефектных ЭРИ приведет к тому, что будет затрачено время на его выпаивание и замену на исправный на ФЯ после сборки. Однако, незначительное увеличение времени для ремонта небольшого количества дефектных ЭРИ приведет к меньшим затратам, чем затраты по времени и дополнительному оборудованию для входного контроля параметров ЭРИ.

При производстве генератора Г4-176 доля входного контроля от общего времени контрольных операций составляет около 20%, а стоимость контрольного оборудования - 15% от общей суммы контрольно-измерительной аппаратуры, используемой при проверке генератора Г4-176. Исключение входного контроля позволило повысить эффективность проверки генератора Г4-176 на эти величины. При этом сохранялось условие невнесения дополнительных дефектов в контролируемую ФЯ при сохранении требуемой достоверности диагностирования дефектов на ФЯ.

Проверка ФЯ после сборки без подачи питающих

напряжений позволяет в результате контроля нескольких групп ЭРИ через соединительный разъем ФЯ обнаружить дефектное ЭРИ. В результате контроля всего нескольких групп ЭРИ (не более 10) вместо поэлементного контроля параметров контроля каждого ЭРИ на ФЯ было повышено быстродействие процедуры диагностирования ЭРИ в среднем в 12.5 раза при контроле девяти типов ФЯ генератора Г4-176. Кроме того, так как 67% ФЯ после сборки не имеют дефектов, то после контроля через соединительный разъем эти ФЯ сразу поступают на последующие диагностические операции, и только 33% ФЯ содержат дефектное ЭРИ (причем доля ФЯ, содержащих кратные дефекты от общего количества дефектных ФЯ, составляет всего 2%).

Таким образом, будет осуществлена локализация дефектного ЭРИ на ФЯ в результате использования либо ИКУ, либо щупов. Применение ИКУ из-за его дороговизны и сложности целесообразно лишь при крупносерийном производстве (свыше 100 тыс. изделий в год). При более мелких сериях допустимо применение щупов для локализации дефектного ЭРИ. Необходимость в локализации возникает, как правило, при наличии кратных дефектов на ФЯ (то есть всего для 2% дефектных ФЯ от общего количества). Во всех остальных случаях дефектное ЭРИ достоверно обнаруживается при контроле через разъем ФЯ.

После устранения обнаруженных дефектов, ФЯ устанавливаются в эталонный генератор для контроля функциональных параметров.

Несмотря на то, что все ЭРИ на ФЯ могут иметь значения в пределах допустимых величин, после установки в генератор ФЯ может не обеспечить требуемых режимов работы. Это обусловлено разбросом параметров ЭРИ на ФЯ и отличиями в динамических характеристиках активных компонентов.

Статистический анализ подключения ФЯ в генератор после проведения диагностирования дефектных ЭРИ на ФЯ установил, что 55% ФЯ требуют дополнительной

регулировки.

Для диагностирования ЭРИ с недостаточными динамическими параметрами АСПД может подать питающие напряжения на контролируемую ФЯ и сравнить переходные процессы в цепях с аналогичными для эталонной ФЯ. Полученные отличия в переходных процессах позволяют выделить группу подозреваемых ЭРИ. Дополнительную информацию о дефектах можно получить в результате сравнения карт напряжений эталонной и проверяемой ФЯ.

Дальнейшую локализацию дефектного ЭРИ можно провести, подавая стимулирующий перепад напряжения на входы ЭРИ, причем на ФЯ поданы все питающие напряжения. Переходные процессы по распространению стимулирующего перепада на выходы ЭРИ позволят выявить дефектные ЭРИ после сравнения с аналогичными переходными процессами для эталонной ФЯ.

Обнаруженные отклонения выводятся на экран ПЭВМ и устраняются наладчиком либо при помощи регулировочных ЭРИ на ФЯ, либо проводится замена дефектного ЭРИ. Затем отлаженные ФЯ устанавливаются в контролируемый генератор, и АСПД проводит заключительную проверку по контролю выходных параметров генератора в целом.

Таким образом, разработанная АСПД позволяет проводить не только статический контроль параметров ЭРИ, но и динамический.

АСПД способна контролировать также печатные узлы, залитые защитным лаком, используя способ бесконтактного контроля. Это расширяет область применения АСПД и повышает ее эксплуатационные характеристики.

АСПД допускает различную конфигурацию периферийного оборудования и используемого МО в зависимости от решаемой задачи. Если АСПД предназначена для контроля РЭУМ в условиях крупносерийного производства, то необходимо обеспечить максимальный комплект оборудования и МО. В него входят: ПЭВМ,

коммутатор, БИ, ИКУ, соединительные кабели с разъемами для подключения ФЯ к коммутатору, щупы, смеситель, генератор-гетеродин Г4-176. Применение ИКУ в составе АСПД требуется только в случае необходимости точной локализации дефектных ЭРИ, иначе изготовление дорогостоящего ИКУ для каждого типа ФЯ будет экономически нецелесообразным.

Минимальный комплект оборудования представляет собой только ПФИ, подключенный к ЭВМ, и щупы. МО в этом случае в диалоге подсказывает все действия оператору. Такой комплект целесообразно использовать при эксплуатации генераторов на ремонтных станциях при широкой номенклатуре контролируемых изделий и малых партиях.

Наиболее экономичным вариантом применения АСПД является контроль ФЯ без подачи питающих напряжений через разъем с последующей локализацией дефектного ЭРИ при помощи щупов. После чего проверяется ФЯ при поданных напряжениях питания с последующей установкой в эталонный генератор и проверкой функциональных параметров ФЯ.

Контроль функциональных параметров генератора в целом значительно упрощает работу регулировщиков, так как стандартная процедура контроля занимает для одного отлаживаемого генератора 8 часов. При этом в случае обнаружения несоответствия параметра требованиям ТУ проводится регулировка и повторный контроль, что существенно затягивает время, затрачиваемое на процедуру контроля.

Применение АСПД при регулировочных операциях сокращает время контроля одного генератора в среднем до 30 мин. При этом возрастает достоверность контроля за счет исключения фактора утомляемости регулировщика и возможности подтасовки результатов. Причем стоимость АСПД полной конфигурации (ПЭВМ, коммутатор, ИКУ,

комплект соединительных кабелей к ФЯ, щупы, БИ, смеситель и генератор-гетеродин Г4-176) соразмерна со стоимостью контрольно-измерительной аппаратуры на двух рабочих местах при ручном контроле параметров генератора, при этом АСПД может за то же время проконтролировать в 16 раз больше генераторов, чем один регулировщик.

Применение АСПД дает дополнительный эффект в социальном плане за счет повышения культуры производства и качества производимых работ. Причем квалификация обслуживающего персонала может быть снижена, так как программы контроля выводят необходимые подсказки на экран.

Этот фактор важен при использовании АСПД на ремонтных станциях, так как отсутствует необходимость в использовании высококвалифицированного персонала, хорошо ориентирующегося в широкой номенклатуре ремонтируемых изделий. Вся необходимая информация по генератору и его составным частям хранится в ПО АСПД, и позволяет оператору невысокой квалификации в интерактивном режиме провести контроль изделия. Готовые программы контроля занимают незначительный объем памяти (182 К), и все ПО для контроля Г4-176 на АСПД свободно размещается на одной магнитной дискете.

Область применения АСПД может быть расширена для контроля дефектов при производстве микросхем и микросборок с целью устранения недостатков в технологических процессах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изложенных в монографии положений можно сделать следующие выводы:

1. Проведен анализ современного состояния автоматизированного контроля аналоговых РЭУМ. Показано, что для повышения быстродействия контрольно-диагностических операций и сокращения продолжительности самого цикла изготовления РЭС необходимо использовать СКД, использующую принципы контроля параметров ЭРИ по переходным характеристикам, причем осуществлять контроль не отдельных ЭРИ, а групп.

2. Разработана методика контроля групп ЭРИ на ФЯ микроспутников через разъем по переходным характеристикам, позволяющая сократить время диагностирования в 12.5 раза за счет определения дефектного ЭРИ в результате контроля не более 10 групп.

3. Предложена ММ в виде гиперплоскости для каждого подключения пары КТ с целью определения влияния параметров ЭРИ на выходной совокупный параметр группы, и разработан способ диагностирования дефектного ЭРИ по результатам анализа четырехкратного подключения со сменой полярности шин измерения и типов шунтирующих ЭРИ.

4. Предложена адаптивная интегрирующая измерительная входная цепь, позволяющая сузить диапазон выходных характеристик за счет изменения параметров самой измерительной цепи.

5. Предложен способ проведения КЛА аналоговых сигналов по значениям первой и второй производной преобразуемой функции.

6. Разработан ПФИ для проведения КЛА как переходных характеристик, получаемых при подаче перепада уровня напряжения на ЭРИ, так и для контроля амплитудно-модулированных и частотно-модулированных колебаний с

одновременным проведением детектирования и выделения огибающего колебания.

7. Проведен расчет систематической погрешности КЛА при стробоскопическом контроле выходных частот микроспутников во всем диапазоне частот.

8. Разработан следящий ПНК поразрядного приближения, выдающий преобразуемую информацию в коде Фибоначчи, который позволяет избежать разрывов передаточной характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев, В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 2008. – 798 с.
2. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: учебник. - М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
3. Березин О.К., Костиков В.Г., Парфенов Е.М. и др.; под ред. Шахнова В.А. Проектирование источников электропитания электронной аппаратуры: учебник. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2005. – 532 с.
4. Чеканов А.Н. Расчеты и обеспечение надежности электронной аппаратуры: учебное пособие. – КноРус, 2014. – 440 с.
5. Васильков А.В. Источники электропитания: учебное пособие Гриф УМО вузов России. – Форум, 2014. – 400 с.
6. Гейтенко Е.Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчеты. - Солон-пресс, 2008. – 448 с.
7. Варламов Р.Г. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. – М: ЁЁ Медиа, 2012. – 856 с.
8. Черепанов В.П., Посысаев Е.И. Защита радиоэлектронной аппаратуры от электрических перегрузок. – РадиоСофт, 2010. – 216 с.
9. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Микросхемы для бытовой радиоэлектронной аппаратуры. - Солон-пресс, 2003. – 160 с.
10. Мисюль П.И. Ремонт, настройка и проверка радиотелевизионной аппаратуры. Специальная технология. – Феникс, 2007. – 506 с.
11. Мисюль П.И. и др. Техническое обслуживание и ремонт телевизионной аппаратуры: учебное пособие. – Мн.: Вышэйшая школа, 2002. – 172 с.
12. Лукирский П.И. Основы электронной теории. - Книга по Требованию, 2012. – 179 с.
13. Гуляева Л.Н. Технология монтажа и регулировка радиоэлектронной аппаратуры и приборов: учеб. пособие для

нач. проф. образования – М: Академия, 2009.- 256 с.

14. Гуляева Л.Н. Высококвалифицированный монтажник радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие. – М: Академия, 2007. – 176 с.

15. Камышная Э.Н. Маркелов В.В. Соловьев В.А. Конструкторско-технологические расчеты электронной аппаратуры: учебное пособие. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2014. – 165 с.

16. Петров В.П. Выполнение монтажа и сборки средней сложности и сложности и сложных узлов блоков приборов радиоэлектронной аппаратуры аппаратуры проводной связи элементов узлов импульсной и вычислительной техники: учебник. Для начального профессионального образования. - Академия, 2013. – 372 с.

17. Туркельтауб Р.М. Методы исследования точности и надёжности схем аппаратуры. - М: ЁЁ Медиа, 2012. – 163 с.

18. Москатов Е.А. Основы электронной техники. – Феникс, 2010. – 378 с.

19. Ларин В.П., Шелест Д.К. Конструирование и производство типовых приборов и устройств: учебное пособие. - СПбГУАП. СПб, 2005. - 378 с.

20. Лузин С.Ю., Петросян Г.С., Полубасов О.Б., Шелест Д.К. Автоматизация конструкторского проектирования электронной аппаратуры: учебное пособие. - СПбГУАП. СПб., 2007. - 309 с.

21. Бердников, А.В., Семко М.В., Широкова Ю.А. Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы. Часть I. Технические методы и аппараты для экспресс-диагностики: учебное пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. – 176 с.

22. Акимов О.С. Радиоматериалы и элементная база радиоэлектронных средств: учебное пособие – Тамбов: ТВВАИИ, 2001. – 246 с.

23. Фролов С.В., Строев В.М., Куликов А.Ю., Жмаев А.Н. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры:

учебное пособие. - Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.

24. Хабаров Б.П., Куликов Г.В., Парамонов А.А., Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие. – Горячая линия -Телеком, 2004. – 376 с.

Гаджиев Хаджимурат Магомедович

Гаджиева Солтанат Магомедовна

Челушкина Татьяна Алексеевна

**ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МИКРОСПУТНИКА**

научное издание

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать ризограф. Усл. п. л. 3,0.

Тираж 100 экз. Заказ №

**Отпечатано в ИПЦ ДГТУ.
367015, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70**

