



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения»**

Факультет военного образования



**А. Г. Леонтьев, А. А. Васильченко
И. А. Павлов, Н. А. Егоров**

**ПОВЕРКА И РЕМОНТ
ЭЛЕКТРОННЫХ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2006 г.

Учебное пособие предназначено для студентов военной кафедры университета, обучающихся по специальности “Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники” и изучающих дисциплины «Организация метрологического обеспечения в ВВС» и «Методы и средства метрологического обслуживания измерительной техники частей ВВС».

В пособии рассмотрены вопросы организации и проведения поверки и ремонта электронных средств измерений; общие принципы ремонта радиоизмерительных приборов и методики поиска неисправностей в узлах радиоаппаратуры, характерные неисправности приборов и способы их устранения. Рассмотрены характерные неисправности осциллографа универсального С1-125 и способы их устранения.

Главы 1, 2 учебного пособия подготовлены А. Г. Леонтьевым, А. А. Васильченко, главы 3, 4 – И. А. Павловым, Н. А. Егоровым.

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент Журавин Анатолий Исаевич

Список сокращений

АВП	автоматический выбор пределов измерения
АРУ	автоматическое регулирование усиления
АЦП	аналого-цифровой преобразователь
АЧХ	амплитудно-частотная характеристика
БИТ	база измерительной техники
ВВТ	вооружение и военная техника
ВИТ	военная измерительная техника
ВЭ	военный эталон
32 ГНИИИ МО	32 Государственный научно-исследовательский испытательный институт Министерства обороны РФ
ГМКН	Государственный метрологический контроль и надзор
ГПН	генератор пилообразного напряжения
ГСВЧ	Государственная служба времени и частоты
ГСИ	Государственная система обеспечения единства измерений
ЕФВ	единица физической величины
ИМС	интегральная микросхема
ИТ	измерительная техника
КВО	канал вертикального отклонения
КГО	канал горизонтального отклонения
КИЛ	контрольно-измерительная лаборатория
КМОП	комплементарные полевые транзисторы со структурой металл-окисел-полупроводник
КР	капитальный ремонт
ЛИТ	лаборатория измерительной техники
МВЧП	метрологические воинские части и подразделения
МИТ	мастерские измерительной техники
МЛО	метрологическое обслуживание
МПИ	межповерочный интервал
НМС	начальник метрологической службы
НТД	нормативно-техническая документация
ОБ	общая база
ОК	общий коллектор
ООС	отрицательная обратная связь
ОЭ	общий эмиттер
ПЛИТ	подвижная лаборатория измерительной техники
ПОС	положительная обратная связь
ПУ	предварительный усилитель
ПХ	переходная характеристика
РИП	радиоизмерительный прибор
РЭА	радиоэлектронная аппаратура
РЭУ	радиоэлектронное устройство
РЭ	рабочий эталон
СВЧ	сверхвысокие частоты

СДМ	скрытый дефект монтажа
СИ	средство измерений
СИВН	средство измерений военного назначения
СР	средний ремонт
ТО	техническое обслуживание
ТП	технические параметры
ТР	текущий ремонт
ТТЛ	транзисторно-транзисторная логика
ТФН	таблица функций неисправности
УГО	усилитель горизонтального отклонения
УВО	усилитель вертикального отклонения
УПТ	усилитель постоянного тока
ФЧХ	фазо-частотная характеристика
ЦАП	цифро-аналоговый преобразователь
ЦБИТ	центральная база измерительной техники
ЭЛТ	электронно-лучевая трубка
ЭЛО	электронно-лучевой осциллограф
ЭРЭ	электрорадиоэлементы
ЭСЧ	электронно-счетный частотомер

ЧАСТЬ 1. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

ГЛАВА 1. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ – ВАЖНЕЙШИЙ ЭЛЕМЕНТ ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОВЕРКЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В соответствии с Законом РФ «Об обеспечении единства измерений» государственный метрологический контроль включает:

- утверждение типа средств измерений;
- поверку средств измерений, в том числе эталонов;
- лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений.

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

Поверке подвергаются средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору (ГМКН) при выпуске их из производства или ремонта, при ввозе по импорту и в ходе эксплуатации.

ГМКН распространяется на:

- здравоохранение, ветеринарию, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
- торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе на операции с применением игровых автоматов и устройств;
- государственные учетные операции;
- **обеспечение обороны государства;**
- геодезические и гидрометеорологические работы;
- банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов;
- обязательную сертификацию продукции и услуг;
- измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления РФ;
- регистрацию национальных и международных спортивных рекордов.

Средства измерений, не подлежащие поверке, в добровольном порядке могут подвергаться калибровке или метрологической аттестации.

Калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащего ГМКН. Калибровка средств измерений производится калибровочными лабораториями с использованием эталонов, соподчиненных государственным эталонам единиц величин.

Поверочная деятельность, осуществляемая аккредитованными метрологическими службами юридических лиц, контролируется органами Государственной метрологической службы.

Поверка средств измерений осуществляется физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя органом Государственной метрологической службы, или уполномоченными на то органами (организациями).

Поверка средств измерений реализует процедуру передачи размера единицы величины в соответствии со специальным нормативным документом – поверочной схемой, устанавливающей метрологическое соподчинение государственного эталона, разрядных рабочих эталонов и рабочих средств измерений, а также порядок передачи размера единицы величины.

Пригодными к применению признаются средства измерений, поверка которых, выполненная в соответствии с нормативными документами, подтверждает их соответствие требованиям этих документов.

В Вооруженных Силах РФ силами Метрологической службы ВС осуществляется метрологическое обеспечение вооружения и военной техники (МлО ВВТ), составной частью которого является метрологическое обслуживание ВВТ.

Под метрологическим обслуживанием вооружения и военной техники понимаются измерения параметров и тактико-технических характеристик образца вооружения и военной техники, проводимые в процессе технического обслуживания и восстановления образца в войсках (силах).

Одной из групп образцов ВВТ является военная измерительная техника (ВИТ) – совокупность средств измерений военного назначения (СИБН) и метрологических комплексов военного назначения, а также используемых при измерениях вспомогательных устройств и оборудования. Составной частью измерительной техники является метрологическая техника.

Метрологическая техника – совокупность военных и рабочих эталонов, метрологических комплексов, рабочих средств измерений, вспомогательных устройств и оборудования, предназначенных для поверки и ремонта средств измерений метрологическими воинскими частями и подразделениями (МВЧП).

Метрологическая воинская часть (подразделение) – воинская часть (подразделение) из состава Метрологической службы ВС, решающая задачи поверки и ремонта средств измерений.

К МВЧП относятся: центральные базы, базы, лаборатории, мастерские и пункты измерительной техники всех наименований. В области сво-

ей аккредитации они осуществляют поверку средств измерений – средств измерений военного назначения, разработанных и (или) применяемых в установленном порядке в ВС, которые делятся на военные эталоны, рабочие эталоны и рабочие средства измерений.

При этом метрологические службы руководствуются «Перечнем средств измерений военного назначения, разрешенных для комплектации вооружения и военной техники и поставки Министерству обороны РФ».- М.: ВИ,2001 -167 с. и ГОСТ РВ 8.576–2000 «ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений в сфере обороны и безопасности РФ».

Поверка средств измерений в ВС – совокупность операций, выполняемых аккредитованной на право ее проведения метрологической воинской частью (подразделением), в целях определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

Поверка электронных СИ осуществляется в основном в следующих отделах (отделениях) МВЧП: измерения времени и частоты; измерения электрических и магнитных величин; радиотехнические и радиоэлектронные измерения; специальные измерения.

1.2. ОСНОВНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО ПОВЕРКЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Закон РФ «Об обеспечении единства измерений».

Руководство по метрологическому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации – Приказ МО РФ 2000 г. № 245.

Государственные стандарты (ГОСТ)

ГОСТ 8.009-84	ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
ГОСТ 8.057-80	ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения.
ГОСТ 8.061-80	ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение.
ГОСТ 8.372-80	ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения.
ГОСТ 8.381-80	ГСИ. Эталоны. Способы выражения погрешностей.
ГОСТ 8.395-80	ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования.
ГОСТ 8.565-99	ГСИ. Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов.
ГОСТ 8.	ГСИ. Методы и средства поверки.

Государственные стандарты РФ (ГОСТ Р)

ГОСТ Р 8.000-2000	ГСИ. Основные положения.
ГОСТ Р 8.563-96	ГСИ. Методики выполнения измерений.
ГОСТ РВ 8.567-97	ГСИ. Эталоны военные.
ГОСТ РВ 8.576-00	ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений в сфере обороны и безопасности РФ.

Правила по метрологии (ПР)

ПР 50.2.006-99	ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений.
ПР 50.2.007-94	ГСИ. Поверительные клейма.
ПР 50.2.012-94	ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений.
ПР 50.2.015-94	ГСИ. Порядок определения стоимости (цены) метрологических работ.
ПР 50.2.017-95	ГСИ. Положение о Российской системе калибровки.
ПР РСК 002-95	Калибровочные клейма.
Р РСК 001-95	Типовое положение о калибровочной лаборатории.

Руководящие документы (РД)

РД 50-419-83	Нормирование продолжительности поверочных работ.
РД 50-453-84	Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета.

Рекомендации по метрологии (МИ)

МИ 185-79	Методические указания по расчету численности подразделений ведомственных метрологических служб.
МИ 187-86	ГСИ. Критерии достоверности и параметры методик поверки.
МИ 188-86	ГСИ. Установление значений параметров методик поверки.
МИ 1572-86	ГСИ. Классификация функциональных групп поверочного оборудования.
МИ 1753-87	ГСИ. Средства автоматизированной поверки. Дополнительные требования к составу технического задания и порядку разработки опытных образцов.
МИ 1832-88	ГСИ. Сличение групп средств поверки одинакового уровня точности. Основные правила.
МИ 1837-93	ГСИ. Типовое положение о контрольно-поверочном пункте территориального органа Госстандарта России.

МИ 1872-88	ГСИ. Межповерочные интервалы образцовых средств измерений. Методика определения и корректировки.
МИ 2005-89	ГСИ. Порядок проведения работ по взаимному признанию государственных испытаний и поверки средств измерений.
МИ 2187-92	ГСИ. Межповерочные и межкалибровочные интервалы средств измерений. Методика определения.
МИ 2284-94	ГСИ. Документация поверочных лабораторий.
МИ 2314-00	ГСИ. Служба развития поверочно-технологической базы метрологической службы. Кодификатор групп средств измерений.
МИ 2322-99	ГСИ. Типовые нормы времени на поверку средств измерений.
МИ 2526-99	ГСИ. Нормативные документы на методики поверки средств измерений. Основные положения.
МИ 2546-99	ГСИ. Методы определения экономической эффективности метрологических работ.

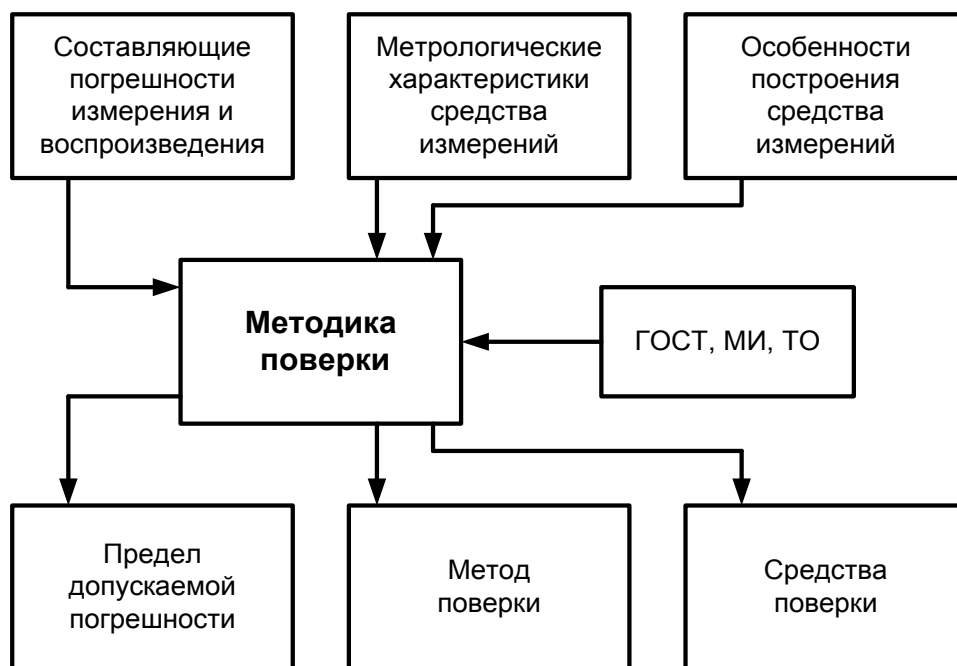


Рис. 1.1 Методика поверки

Поверка средств измерений осуществляется в соответствии с требованиями документов (ГОСТ, МИ, ТО) на методики поверки (рис. 1.1).

Методика поверки – совокупность операций, правил и рекомендуемых средств измерений, обеспечивающая выполнение поверки СИ и получение результатов, позволяющих принять решение о пригодности СИ к применению по назначению. Нормативные документы на методики поверки средств измерений указаны в МИ 2526-99 и РМГ 51-2002.

Норма времени на поверочную работу – это необходимая и достаточная мера затрат труда поверителей для выполнения одной поверки одного средства измерений, методика проведения которой регламентирована

государственными стандартами или иными нормативно-техническими документами (НТД). Типовая норма времени на поверочную работу охватывает среднюю ее продолжительность в нормативных условиях, включая затраты рабочего времени на подготовку к данной поверке, а также на обработку и оформление ее результатов. При этом следует ориентироваться на «Нормы времени на поверку и ремонт войсковых средств измерений и контроля в метрологических частях и подразделениях СА и ВМФ».- М.: МО,1990 и МИ 2322-99 «Типовые нормы времени на поверку СИ».

При поиске нормативных документов по поверке конкретных средств измерений следует использовать «Указатель 200_г. Нормативные документы в области метрологии», в который включаются все действующие в РФ нормативные документы в сфере метрологического обеспечения на соответствующий год, и перечень средств измерений, подлежащих периодической поверке в РА и ВМФ.

Действующие нормативно-технические документы по поверке электронных видов средств измерений приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

Вид (тип) средств измерений	Нормативно-техническая документация по поверке рабочих средств измерений
1	2
B1, B4, B6 B2 B3 B7	Техническое описание (ТО), ГОСТ 8.429-81 ГОСТ 8.402-80, ТО ГОСТ 8.117-82, ГОСТ 8.118-85, ТО ГОСТ 8.118-85, ГОСТ 8.409-81, ГОСТ 8.402-80, ТО
M1 M3 M5	ТО, ГОСТ 8.497-83 ГОСТ 8.392-80, ТО, ГОСТ 8.569-2000 ГОСТ 8.392-80
E4 E6, E8 E7	МИ 1769-87 ТО ГОСТ 8.294-85, ГОСТ 8.409-81, ТО
P1 P2, P4 P3	ГОСТ 8.351-79, ГОСТ 8.357-79 ТО ГОСТ 8.493-83, ТО
D2, D3, D5	ГОСТ 8.249-77
Ч1, Ч7 Ч2 Ч3	ТО, МИ 2188-92 ГОСТ 12692-67 МИ 1835-88, ТО, МИ 1533-86
Л2	МИ 94-76, ТО
Г3 Г4 Г5 Г6	ГОСТ 8.314-78, ТО ГОСТ 8.322-78; ГОСТ 16863-71, ТО ГОСТ 8.206-76, ТО ТО

Окончание таблицы 1.1

1	2
И1, И2	ТО
П3, П6, П7 П5	ТО ГОСТ 8.254-77, ТО
С1	ГОСТ 8.311-78
С4, С6, С8, С9 С3, СК3 С7	ТО, ГОСТ 8.331-78 МИ 1894-88 МИ 14-74, ТО
Х1	ГОСТ 12152-66

1.3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ

Общие требования к организации поверочных работ

Средства измерений, эксплуатируемые в Вооруженных Силах Российской Федерации, подлежат поверке. Поверка СИ подразделяется на первичную и последующие: периодическую, внеочередную, инспекционную и экспертную.

Первичной поверке подлежат СИ утвержденных типов при выпуске из производства, при ввозе по импорту, после проведения среднего и капитального ремонта, а также текущего ремонта, влияющего на их метрологические характеристики.

Периодической поверке через определенные промежутки времени подлежат СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении:

- по истечении межповерочного интервала (МПИ);
- при переконсервации СИ или образцов ВВТ, имеющих в своем составе СИ.

Внеочередной поверке подлежат СИ:

в случае утраты документов или повреждении оттиска поверительного клейма, подтверждающих факт поверки;

при повреждении оттиска поверительного клейма в закрепительных гнездах или на пломбах (далее - закрепительного клейма);

при вводе в эксплуатацию после снятия их с длительного хранения в случаях, когда истек МПИ, предусмотренный для СИ, находящихся в эксплуатации;

после проведения ремонта, связанного с их вскрытием;

при известном или предполагаемом повреждающем воздействии на СИ;

перед отправкой (выдачей) из мест хранения СИ или образцов ВВТ, в состав которых входят СИ, если к моменту их отправки (выдачи) до ближайшего срока очередной поверки в условиях эксплуатации осталось менее 6 месяцев;

при среднем и капитальном ремонте образцов ВВТ, на которых установлены СИ, независимо от времени проведения их последней поверки; во всех случаях, когда имеются сомнения в правильности показаний СИ.

Инспекционной поверке подлежат СИ для выявления их пригодности в процессе метрологического надзора и контроля качества поверки. Допускается ее проведение не в полном объеме. Результаты инспекционной поверки отражаются в акте проверки.

Экспертную поверку СИ проводят при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности СИ и пригодности их к применению.

Средства измерений могут не подвергаться периодической поверке:

- если они применяются для наблюдения за наличием или изменением параметров объекта измерений или выработки сигналов, воздействующих на объект, без оценки их значений с нормированной точностью (индикаторы);
- если они являются объектом изучения (подвергаются разборке в целях изучения устройства и принципа действия) или демонстрации в учебном процессе (учебные СИ) и не применяются при измерениях с нормированной точностью;
- при нахождении на длительном хранении в МВЧП в случае, когда их применение в поверочной деятельности не планируется в ближайшие 5 лет.

Отнесение к индикаторам встроенных или входящих в состав образцов ВВТ СИ, а также СИ, применяемых при контроле технического состояния и восстановлении образцов ВВТ, осуществляется в соответствии с указаниями в эксплуатационной документации на образцы ВВТ. При отсутствии таких указаний право отнесения этих СИ к индикаторам и утверждение их перечней предоставляется должностным лицам, которым подчинены метрологические службы видов Вооруженных Сил и управлений Министерства обороны. Проекты перечней разрабатываются управлениями и службами видов Вооруженных Сил, управлений Министерства обороны Российской Федерации, ответственными за эксплуатацию ВВТ, и согласовываются начальниками соответствующих метрологических служб.

Средства измерений, встроенные в образцы ВВТ, которые находятся на гарантии или подлежат гарантийному надзору, могут относиться к индикаторам только по согласованию с разработчиком ВВТ.

Право отнесения СИ к индикаторам и утверждения их перечней для СИ, встроенных или входящих в состав метрологической техники (ПЛИТ, военные и рабочие эталоны, поверочные установки, рабочие места поверителей и др.) предоставляется начальнику Метрологической службы Вооруженных Сил, а также по согласованию с ним - начальникам метрологических служб видов Вооруженных Сил и управлений Министерства обороны (в части специальной метрологической техники, применяемой только в виде Вооруженных Сил, управлений Министерства обороны).

Для остальных СИ право отнесения их к индикаторам предоставляется командирам воинских частей и соединений, эксплуатирующих эти СИ. Переч-

ни таких СИ должны быть предварительно согласованы с вышестоящей метрологической службой.

В формулярах (паспортах) СИ, отнесенных установленным порядком к индикаторам, или в эксплуатационной документации на образцы ВВТ (для СИ, встроенных в образцы ВВТ или входящих в их состав) делается запись «Периодической поверке не подлежит», которая заверяется подписью командира воинской части (начальника службы) и гербовой печатью ВЧ.

На лицевую панель этих СИ наносится отчетливо видимое обозначение «И».

Право относить СИ к учебным и утверждать их списки в военно-учебных заведениях Вооруженных Сил Российской Федерации предоставляется заместителям начальников военно-учебных заведений, а в воинских частях - их командирам по согласованию с вышестоящей метрологической службой. На лицевую сторону учебных СИ должно быть нанесено отчетливо видимое обозначение «У».

Периодическую поверку СИ, постоянно используемых для измерения не всех величин, которые с их помощью могут быть определены, или в ограниченных диапазонах, секторах и точках шкал, разрешается проводить в сокращенном объеме. В этом случае в процессе поверки определяется их пригодность для измерения только тех величин, которые фактически измеряются, или в тех диапазонах, секторах и точках шкал, на которых они применяются.

Сокращенной поверке подвергаются СИ общего применения, а также встроенные или входящие в состав образцов ВВТ (включая метрологическую технику) и предназначенные для решения конкретной измерительной задачи.

Списки таких СИ, содержащие перечень определяемых метрологических характеристик, разрабатываются службами воинских частей и соединений, ответственными за их эксплуатацию, согласовываются с вышестоящими метрологическими службами (от объединений и им равных и выше) и утверждаются должностными лицами (от командующих объединениями и им равных и выше), в подчинении которых находятся воинские части и соединения. Для МВЧП списки СИ, поверяемых по сокращенной программе, утверждают по подчиненности начальники вышестоящих метрологических служб (от объединений и им равных и выше).

В формулярах (паспортах) таких СИ делается запись «Поверка по сокращенной программе разрешена», которая заверяется подписью командира воинской части (заместителем командира воинской части) и скрепляется гербовой печатью воинской части. Кроме этого в формулярах (паспортах) СИ, поверяемых по сокращенной программе, указываются нормативный документ, разрешивший сокращенную поверку, перечень определяемых метрологических характеристик и диапазоны, сектора и точки шкал, на которые могут применяться данные СИ. В формулярах (паспортах) и свидетельствах о поверке дополнительно делаются отметки, подписанные поверителем и заверенные оттиском поверительного клейма, содержащие сведения о диапазонах, секторах, точках шкал, а также физических величинах, для которых допускается применение СИ, например: «Пригоден для измерения только ... в диапазоне

от ... до ...». На формуляры (паспорта) таких СИ дополнительно наносится знак «СП», обозначающий ограниченную возможность их применения.

Номенклатура СИ (вид, группа или тип), подлежащих периодической поверке в Вооруженных Силах, и МПИ определяются соответствующими перечнями или эксплуатационной документацией на образцы ВВТ. Перечень СИ (по рабочим эталонам и рабочим СИ общего применения), подлежащих периодической поверке в Вооруженных Силах, разрабатывается органом управления Метрологической службы ВС, согласовывается с метрологическими службами видов ВС, управлений Министерства обороны и утверждается первым заместителем Министра обороны Российской Федерации. На его основе с учетом особенностей эксплуатации ИТ и решаемых задач в видах ВС и управлениях Министерства обороны разрабатываются перечни СИ (по специальным СИ и рабочим СИ общего применения), подлежащих периодической поверке в виде ВС, управлениях Министерства обороны, которые согласовываются с начальником Метрологической службы ВС и утверждаются главнокомандующими видами Вооруженных Сил, начальниками управлений Министерства обороны.

Длительность МПИ устанавливается при утверждении типа СИ и определяется из эксплуатационной документации на СИ или образцы ВВТ (для встроенных СИ или входящих в состав образцов ВВТ) и не должна превышать в перечнях видов ВС и управлений Министерства обороны длительности МПИ для аналогичных СИ из перечня для Вооруженных Сил Российской Федерации.

Значения МПИ выбираются в месяцах из ряда: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 15; 18; 21; 24; 30 и т.д. через 6 месяцев.

В процессе эксплуатации СИ, исходя из их надежности, интенсивности и условий эксплуатации СИ, особенностей объектов измерений, а также статистики отказов СИ, их МПИ могут корректироваться. Методики корректировки МПИ разрабатываются (согласовываются) 32 ГНИИИ МО и утверждаются начальником Метрологической службы ВС. Предложения с необходимыми обоснованиями по корректировке МПИ для эталонов разрабатывает 32 ГНИИИ МО, а для рабочих СИ - соответствующие управления и службы, ответственные за их эксплуатацию. Корректировка МПИ осуществляется при переработке перечней или оперативно путем внесения в них изменений (ГОСТ 8.565-99; МИ 2187-92; МИ 1872-88). Перечни перерабатываются (дополняются) по мере необходимости, но не реже одного раза в 5 лет.

Предложения и обоснования от видов ВС и управлений Министерства обороны по корректировке МПИ рабочих СИ в сторону их увеличения по сравнению с МПИ для аналогичных СИ из перечня Вооруженных Сил РФ или эксплуатационной документации на образцы ВВТ и СИ подлежат экспертизе в 32 ГНИИИ МО и согласованию с начальником Метрологической службы Вооруженных Сил Российской Федерации.

Работы по поверке СИВН проводят 32 ГНИИИ МО и МВЧП в соответствии с областью их аккредитации.

Порядок аккредитации и лицензирования МВЧП определен следующими нормативными документами:

- ГОСТ РВ 8.575-2000 «ГСИ. Порядок проведения работ в сфере обороны и безопасности РФ по аккредитации МВЧП на право поверки средств измерений и лицензированию деятельности воинских частей по изготовлению, ремонту и реализации средств измерений»;

- Руководство по метрологическому обеспечению Вооруженных Сил РФ – Приказ МО РФ 2000 г. № 245;

- Приказ НМС ВС 2000 г. № 134 «Инструкция по аккредитации ...».

Требования к метрологическим воинским частям и подразделениям, аккредитуемым на право поверки средств измерений

Метрологические воинские части и подразделения, осуществляющие поверку СИ, должны обеспечивать выполнение требований законодательных и правовых актов, руководящих и нормативных документов по обеспечению единства и точности измерений.

Метрологическая воинская часть (подразделение) для аккредитации ее на право поверки СИ в заявленной области должна иметь:

- исправные и поверенные рабочие эталоны и рабочие СИ, а также необходимые вспомогательные устройства и оборудование;

- квалифицированных специалистов, аттестованных установленным порядком в качестве поверителей СИ;

- необходимую нормативную, методическую и учетно-отчетную документацию, регламентирующую вопросы обеспечения единства измерений и порядок организации и проведения поверочных работ, а также эксплуатационную документацию на применяемые образцы ИТ;

- производственные помещения и рабочие места, соответствующие требованиям по организации поверочных работ, а также санитарным нормам и правилам техники безопасности;

- должностные инструкции для руководящего состава и специалистов, занимающихся организацией и проведением поверочных работ;

- положение о метрологической воинской части (подразделении), определяющее ее предназначение, структуру, решаемые задачи, обязанности и ответственность должностных лиц, утвержденное начальником метрологической службы, которому данная метрологическая воинская часть подчинена (для метрологических подразделений - командиром воинской части, в состав которой оно входит);

- установленной формы Руководство по качеству поверки средств измерений, содержащее Паспорт метрологической воинской части (подразделения) и порядок организации и проведения внутреннего контроля за качеством поверки СИ.

В Паспорт включаются общие сведения о МВЧП, заявляемая область аккредитации (перечень и характеристики поверяемых СИ), а также сведения, подтверждающие соответствие МВЧП установленным требованиям и

ее готовность обеспечить необходимое качество поверочных работ в заявленной области аккредитации.

Порядок организации и проведения внутреннего контроля за качеством поверки СИ должен содержать описание конкретных процедур контроля и порядок оформления его результатов в данной МВЧП.

Для МВЧП объединений, соединений и воинских частей допускается иметь типовые положения на каждом уровне организационного построения войск.

Требования к подготовке поверителей и порядок их аттестации

Лица, занимающиеся поверкой СИ, должны иметь соответствующую квалификацию и быть аттестованы в качестве поверителей.

Подготовка поверителей может выполняться:

- военно-учебными заведениями;
- учебными центрами в структуре Вооруженных Сил РФ;
- 32 ГНИИИ МО;
- Академией стандартизации, метрологии и сертификации Госстандарта России;
- государственными научными метрологическими центрами;
- самостоятельно в МВЧП.

Подготовка поверителей проводится в соответствии с Программами метрологической подготовки специалистов Вооруженных Сил и дополнениями к ним, разработанными в видах Вооруженных Сил и управлениях Министерства обороны с целью учета специфики поверки специальных СИ.

К аттестации в качестве поверителей допускаются лица:

получившие специальную подготовку в области метрологии и измерительной техники;

имеющие практический стаж работы в МВЧП не менее трех месяцев и обладающие практическими навыками проведения поверки СИ.

Допущенные к аттестации лица должны сдать экзамены в объеме соответствующих разделов Программ метрологической подготовки специалистов Вооруженных Сил. Результаты экзаменов оформляются протоколом заседания аттестационной комиссии, утверждаемым начальником метрологической службы, назначившим комиссию.

Лица, сдавшие экзамены, аттестуются в качестве поверителей СИ с выдачей им удостоверений поверителя. Право выдачи удостоверений поверителя предоставляется начальникам метрологических служб, полномочия которых по аттестации поверителей определены Положением о Метрологической службе Вооруженных Сил Российской Федерации (Приказ МО РФ 1996 г. № 222).

Аттестация физических лиц в качестве поверителей СИ, привлекаемых для проведения поверочных работ в рамках военно-технического со-

трудничества с армиями иностранных государств, осуществляется органом управления Метрологической службы Вооруженных Сил Российской Федерации с последующим занесением в специальный раздел Реестра аттестованных специалистов-поверителей, который ведется в органе управления Метрологической службы Вооруженных Сил Российской Федерации.

1.4. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

Результаты поверки СИ оформляются в соответствии с требованиями методик поверки в формуляре (паспорте), подписываются поверителем с указанием даты поверки и заверяются оттиском поверительного клейма. В необходимых случаях корпуса СИ опечатываются (пломбируются) закрепительным клеймом (рис. 1.2).

Для СИ, не имеющих документации (щитовые приборы, гири и др.), результаты поверки оформляются нанесением поверительного клейма на переднюю часть корпуса прибора или предназначенное для клеймения место.

Оттиск поверительных клейм должен сохранять четкость рисунка на протяжении МПИ в условиях эксплуатации СИ.

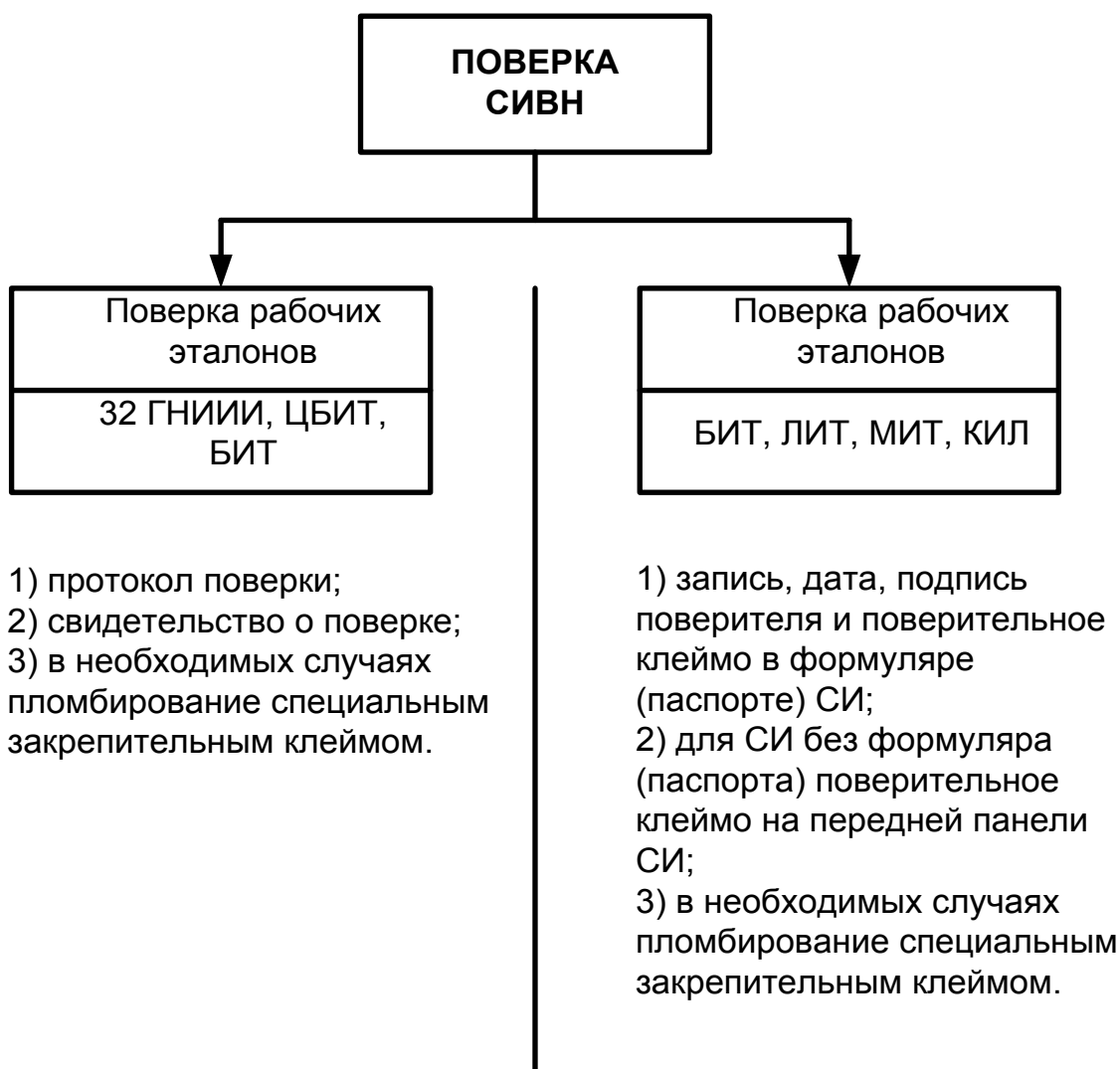
Способы нанесения оттисков поверительного клейма могут быть следующими: ударный, давление на пломбу, нанесение специальной мастики, деколями, электрографический, электрохимический.

Если при эксплуатации СИ используются действительные значения их метрологических характеристик (поправки), определяемые в соответствии с методиками поверки, то ведутся протоколы в объеме, необходимом для их определения.

При аттестации и сличении военных эталонов, поверке рабочих эталонов ведение протоколов является обязательным. Протоколы ведутся по формам, предусмотренным нормативными документами на методики поверки. Протоколы поверки хранятся не менее МПИ внесенных в них СИ.

На поверенные рабочие эталоны выдаются свидетельства о поверке. Результаты поверки на обороте свидетельств подписываются поверителем и заверяются оттиском поверительного клейма. Свидетельства могут быть оформлены по требованию владельца и на рабочие СИ, применение которых требует использования поправок, полученных при поверке.

В случае отсутствия у рабочего СИ формуляра (паспорта) и невозможности его клеймения результат поверки для него также оформляется выдачей свидетельства.



Извещение о непригодности к применению

Рис. 1.2. Порядок оформления результатов поверки рабочих эталонов и рабочих СИ в МВЧП

Срок действия свидетельств (оттисков клейм, отметок в формуляре) определяется МПИ.

Сроком годности СИ к применению следует считать:

- для СИ, имеющих запись о поверке в документации (свидетельстве о поверке) - число и месяц поверки из документации (года, определяемого МПИ);
- для СИ, имеющих только оттиск клейма с кварталом года поверки - конец квартала (года, определяемого МПИ);
- для СИ, имеющих только оттиск клейма с годом поверки - конец года, определяемого МПИ.

В МВЧП организуется номерной учёт выдаваемых свидетельств о поверке СИ и извещений о непригодности СИ к применению.

1.5. ПОВЕРИТЕЛЬНЫЕ КЛЕЙМА

Поверительные клейма для подчиненных МВЧП метрологические службы видов Вооруженных Сил Российской Федерации и управлений Министерства обороны Российской Федерации заказывают и получают через орган управления Метрологической службы Вооруженных Сил (рис. 1.3).

Орган управления Метрологической службы Вооруженных Сил:

- устанавливает порядок заказа и получения поверительных клейм;
- определяет условные шифры метрологических служб (МВЧП) в структуре Вооруженных Сил Российской Федерации, применяющих поверительные клейма, и ведет их учет;
- разрабатывает рисунки поверительных клейм на следующий год и утверждает их в Госстандарте России;
- осуществляет заказ поверительных клейм через Госстандарт России и оплачивает их изготовление.

Хранение и учет поверительных клейм в метрологических воинских частях возлагается на ответственное лицо, назначаемое командиром (начальником), а в метрологических подразделениях - на начальника подразделения.

Применять поверительные клейма могут только лица, аттестованные в качестве поверителей СИ. Клейма выдаются поверителям ответственным лицом на время их действия или на срок, установленный командиром (начальником) метрологической воинской части, под роспись в журнале учёта и выдачи поверительных клейм. Клейма по окончании работы хранятся в сейфах или других местах, исключающих несанкционированный к ним доступ. Наличие клейм у поверителей и ответственного лица еженедельно контролируется командованием МВЧП.

Поверители несут ответственность за сохранность и пригодность клейм к использованию, правомерность и правильность их применения, а также за четкость наносимых с их помощью оттисков. О случаях утраты поверительных клейм и нарушении правил их применения командиры (начальники) МВЧП немедленно докладывают по команде в метрологические службы, их выдавшие.

По истечении календарного года поверительные клейма, содержащие сведения о дате проверки, уничтожаются путем сожжения или стачивания рисунка. Уничтожение поверительных клейм осуществляется комиссией, назначаемой командиром (начальником) метрологической воинской части (для метрологического подразделения - командиром воинской части, в состав которой оно входит) с составлением акта, который утверждается лицом, назначившим комиссию. Копия акта об уничтожении поверительных клейм направляется в срок до 5 января года, следующего за отчетным, начальнику метрологической службы, их выдавшему.

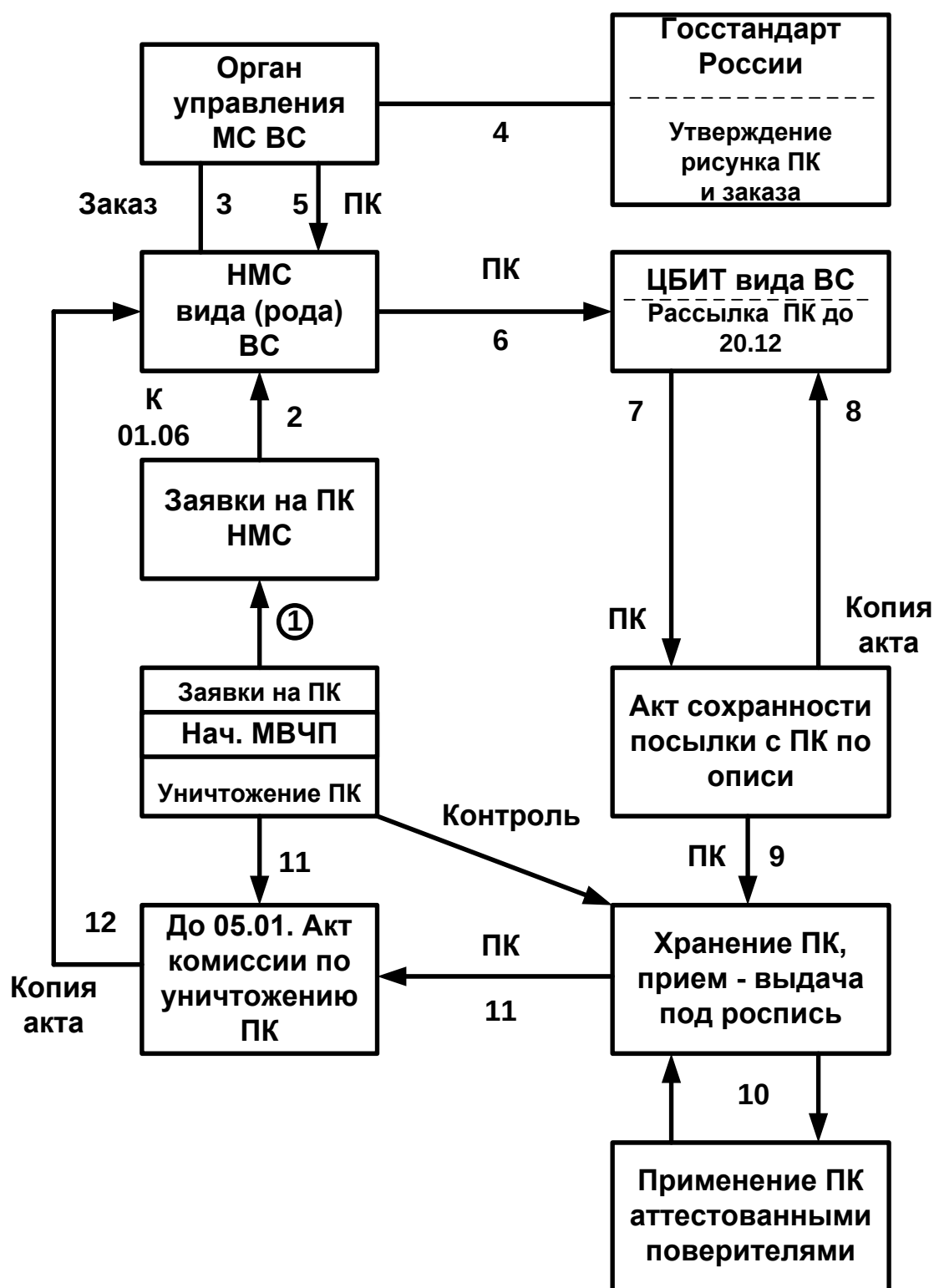
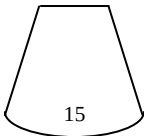
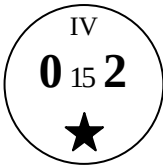
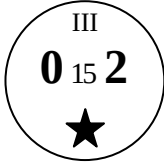
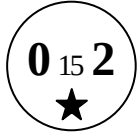


Рис. 1.3. Порядок заказа и работы с поверительными клеймами (ПК)

Виды поверительных клейм представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2.

Материалы, размеры и назначение поверительных клейм	Типовой рисунок
1	2
<u>Стальное прямоугольное 3×2 мм</u> <i>Для клеймения:</i> весов лабораторных IV класса, гирь III и IV класса массой от 200 мг до 10 кг	
<u>Стальное круглое 3,5 мм</u> <i>Для клеймения:</i> гирь V класса массой от 5 г. до 200 г., дополнительных шкал платформенных весов, металлических мер вместимости	
<u>Стальное фигурное 6 мм</u> <i>Для клеймения:</i> весов всех видов, мерников металлических, автоцистерн, цистерн заправочных, гирь V класса от 500 г. до 10 кг.	
<u>Каучуковое 18 мм квартальное</u> <i>Для клеймения:</i> тахометров, спидометров, счетчиков оборотов, приборов для измерения давления (где не предусмотрено пломбирование), мер и приборов для измерения электрических и магнитных величин, радиоизмерительных приборов, сервисных и метеорологических приборов. <i>Для отметки:</i> в формулярах (паспортах) различных измерительных приборов, свидетельствах о поверке.	 
<u>Каучуковое круглое 12 мм квартальное</u> <i>Для клеймения:</i> малогабаритных электроизмерительных приборов. <i>Для отметки:</i> в формулярах (паспортах) этих приборов	
<u>Стальная годовая плашка 8 мм</u> <i>Для пломбирования:</i> приборов для измерения давления, измерительных трансформаторов, измерительных катушек электрического сопротивления, нормальных элементов, счетчиков электрической энергии, весов циферблатных платформенных, топливораздаточных колонок, счетчиков жидкости. <u>Квартальная плашка (не уничтожается) 8 мм</u>	 

Окончание таблицы 1.2.

1	2
<u>Стальное 3,5 мм и 6 мм</u> <i>Для нанесения оттиска:</i> на сургуче или ма- стике в закрепительных гнездах приборов (не уничтожается)	
<u>Каучуковое прямоугольное 12х6 мм</u> <i>Для нанесения знака:</i> на средства измерений, поверенные по сокращенной программе	
<u>Стальное 3,5 мм и 6 мм</u> для гашения клейм	

1.6. ПОРЯДОК СДАЧИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПОВЕРКУ И В РЕМОНТ

Воинские части - владельцы СИ обязаны представлять СИ на поверку (ремонт) в соответствии с утвержденными планами-графиками (выписками из них). Владельцы СИ несут ответственность за своевременность представления СИ на поверку (ремонт) и получение их после поверки (ремонта).

Перед представлением СИ на поверку они должны быть проверены на функционирование и технически обслужены (в объеме ТО-1).

Неисправные СИ (с явными отказами или механическими повреждениями) на поверку не представляются, а направляются в ремонт.

Перед отправкой в ремонт СИ должны быть очищены от загрязнений, укомплектованы согласно формуляру (паспорту) и упакованы в соответствии с техническими требованиями на транспортирование.

При отправке на поверку (ремонт) все СИ укомплектовываются необходимой эксплуатационной документацией и вспомогательными элементами, придаваемыми к ним для проведения поверки (ремонта). При отправке в ремонт СИ комплектуются инструментом и принадлежностями, входящими в комплект прибора, сухие гальванические элементы и аккумуляторы изымаются¹.

Отправляемая документация (формуляры, паспорта, графики и др.) должна быть заполнена на последний день эксплуатации. К отправляемым в ремонт СИ прилагаются первый экземпляр акта технического состояния и извещение о непригодности (при наличии). В случае утраты формуляра (паспорта) представляется его дубликат, заверенный подписью командира воинской части (заместителя командира воинской части) и гербовой печатью воинской части. Вместе с рабочими эталонами представляются свидетельства об их последней поверке.

¹ Герметичные аккумуляторы резервного питания, встроенные в СИ, при отправке в ремонт допускается не изымать, при этом должны быть приняты меры, исключающие самопроизвольное включение питания СИ.

Средства измерения давления в системах, где применяется кислород, ядовитые жидкости и газы, обезжириваются или нейтрализуются порядком, установленным в эксплуатационной документации на системы, о чём в МВЧП представляется соответствующая справка.

Доставка СИ в МВЧП на поверку (ремонт) и обратно осуществляется силами и средствами воинских частей - владельцев СИ. Для доставки СИ, прибывших на железнодорожную станцию (в аэропорт, порт) по месту дислокации МВЧП, последняя, при необходимости, оказывает помощь автотранспортом.

Сдача СИ на поверку (ремонт) в МВЧП и получение их после поверки (ремонта) производятся по приемо-сдаточной ведомости, оформляемой в двух экземплярах. Первый экземпляр остается в деле МВЧП, второй вручается представителю воинской части и служит основанием для получения СИ из поверки (ремонта). Выдача СИ из поверки (ремонта) представителям воинских частей-владельцев СИ осуществляется по предъявлении доверенности и второго экземпляра приемо-сдаточной ведомости.

При получении СИ из поверки (ремонта) представитель воинской части должен проверить:

- его комплектность (в том числе наличие штатного инструмента и принадлежностей, используемых при поверке и регулировке);
- наличие оттисков клейм в закрепительных гнездах и на пломбах;
- правильность оформления результатов поверки (ремонта).

Средства измерений, поступившие в воинскую часть из ремонта без их приемки представителями воинской части в ремонтной организации, принимаются КТК, назначаемой командиром воинской части. Результаты приемки оформляются актом технического состояния (форма 12 Руководства по учету), в котором отмечаются недостатки, связанные с некачественным ремонтом, некомплектностью и т.п. При наличии замечаний, связанных с нарушением правил транспортирования СИ, претензии предъявляются транспортным организациям установленным порядком. Ремонтной организации направляется один экземпляр акта приема (форма 4 Руководства по учету) в пятидневный срок со дня получения СИ воинской частью.

При возникновении отказа вновь изготовленного, отремонтированного или доработанного образца ИТ в периоды гарантийных обязательств поставщику предъявляется рекламация.

На отказавшие образцы ИТ, если их отказ или повреждение произошли в результате нарушений правил эксплуатации, установленных в эксплуатационной документации на эти образцы и других нормативных документах, рекламации не предъявляются.

ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

2.1. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В зависимости от физической природы измеряемых величин можно выделить:

- измерения неэлектрических величин;
- измерения электрических величин (электрические измерения);
- измерения радиотехнических величин (радиоизмерения).

Электрические измерения – область метрологии, предметом которой являются методы и средства контроля процесса передачи электромагнитной энергии и получения измерительной информации о протекании различных регулируемых электрических процессов. Таким образом, под электрическими измерениями понимают область измерений, связанных главным образом с определением энергетических характеристик электрических процессов (тока, напряжения, мощности и др.). Следует отметить, что часто измерения неэлектрических величин и радиотехнических величин путем преобразования этих величин сводят к электрическим измерениям.

Радиотехнические измерения – область метрологии, предметом которой являются методы и средства контроля процессов создания информационных сигналов, их передачи, приема, преобразования, хранения и воспроизведения. Кратко их называют радиоизмерениями.

Радиотехнические измерения основываются на электроизмерениях, но имеют следующие особенности:

- 1) практически неограниченный диапазон частот сигналов;
- 2) широкий диапазон изменения измеряемых величин;
- 3) большое число измеряемых параметров радиосигналов;
- 4) большое разнообразие измеряемых характеристик радиоэлектронных и радиотехнических устройств;
- 5) жесткие требования к значениям входных (выходных) сопротивлений (импеданса) средств измерений;
- 6) необходимость учета влияния на результат частоты измеряемых сигналов и параметров соединительных проводов (кабелей);
- 7) жесткие требования к стабильности и метрологической надежности средств радиоизмерений.

Отмеченные особенности оказывают существенное влияние на принципы построения средств радиотехнических измерений и методику их поверки.

Под средством радиотехнических измерений понимается техническое устройство, предназначенное для радиотехнических измерений, т.е. имеющее нормированные метрологические характеристики, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений.

В настоящее время смещение акцентов в область сложных электрических и радиотехнических измерений привело к появлению понятия «Электронные измерения» и «Электронные средства измерений».

Электронные измерения отражают два обстоятельства:

1) целевое назначение – измерения в электронике и других областях, использующих электронные, радиоэлектронные и радиотехнические устройства;

2) построение средств измерений на основе электронных элементов и использование методов электронной техники и радиотехники.

Средства радиотехнических измерений являются электронными, т.е. в своих устройствах преобразования и отображения содержат электронные, транзисторные или ионные узлы, микросхемы, микропроцессоры, усилители, счетчики, кодопреобразователи и т.п.

По способу получения и представления результата электронные средства измерений могут быть аналоговыми, цифровыми и аналого-цифровыми.

По рабочему диапазону частот они подразделяются на низкочастотные, высокочастотные, сверхвысокочастотные и оптические.

Совокупность средств измерений, предназначенных для измерений определенной физической величины, называется видом средств измерений. Вид СИ может включать несколько типов СИ.

ГОСТ 15094-86 устанавливает классификацию и основные обозначения электронных средств измерений. При этом в зависимости от вида измеряемых величин электронные СИ делятся на 21 подгруппу.

Эту классификацию удобно представить в виде схемы из четырех групп средств измерений (рис. 2.4).

Под принципом построения средства измерений понимают совокупность реализованных в нем принципов и методов измерений, а также схемотехнических решений, обеспечивающих получение результата измерений с заданными метрологическими характеристиками.

Различают два основных метода измерений:

1. Метод непосредственной оценки – метод, при котором значение измеряемой величины определяется непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора.

2. Метод сравнения – метод, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, хранимой или воспроизводимой мерой. Этот метод точнее, но сложнее.

В соответствии с реализуемым методом электронные средства измерений по принципу измерения подразделяются на приборы прямого преобразования (рис. 2.5, а) и приборы сравнения (рис. 2.5, б).

Принципы построения конкретных видов электронных средств измерений подробно рассмотрены в [4].

Приборы для измерения параметров сигналов и электромагнитных полей	А – приборы для измерения силы тока В – приборы для измерения напряжения М – приборы для измерения мощности Ч – приборы для измерения частоты и времени Ф – приборы для измерения разности фаз и группового времени запаздывания П – приборы для измерения напряженности поля, плотности потока энергии, радиопомех и параметров антенн С – приборы для наблюдения, измерения и исследования форм сигнала и спектра
Средства для контроля и измерения характеристик элементов и устройств радиоэлектронных систем	Г – генераторы измерительные Т – генераторы цифровых сигналов Е – приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными (измерители иммитанса) Р – приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными параметрами Л – приборы для измерения параметров ЭВП, ППП и интегральных микросхем И – приборы для импульсных измерений Х – приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств
Установки для контроля радиоэлектронных систем и средств измерений	К – установки измерительные, системы измерительные автоматизированные Ц – анализаторы потока цифровых данных Н – меры электрических величин П* – специальные измерительные комплексы и приборы связи
Вспомогательные приборы, блоки и узлы	У – усилители измерительные Д – приборы для измерения ослаблений Б – источники питания измерительные Я – блоки измерительных приборов Э – измерительные устройства коаксиальных и волноводных трактов

Рис. 2.4. Классификация электронных средств электрорадиоизмерений по виду измеряемых величин

Несмотря на большое разнообразие электронных средств измерений, можно выделить ряд типовых узлов и функциональных связей, присущих большинству средств измерений, и представить обобщенную структурную схему электронных средств измерений (рис. 2.6).

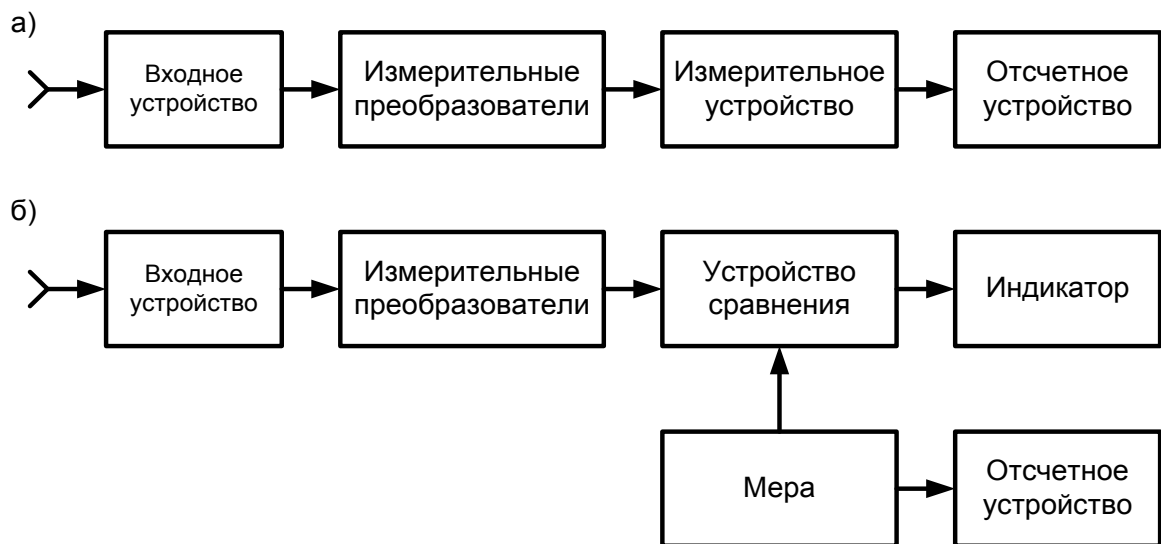


Рис. 2.5. Упрощенная схема измерительного прибора
 а) прямого преобразования
 б) сравнения

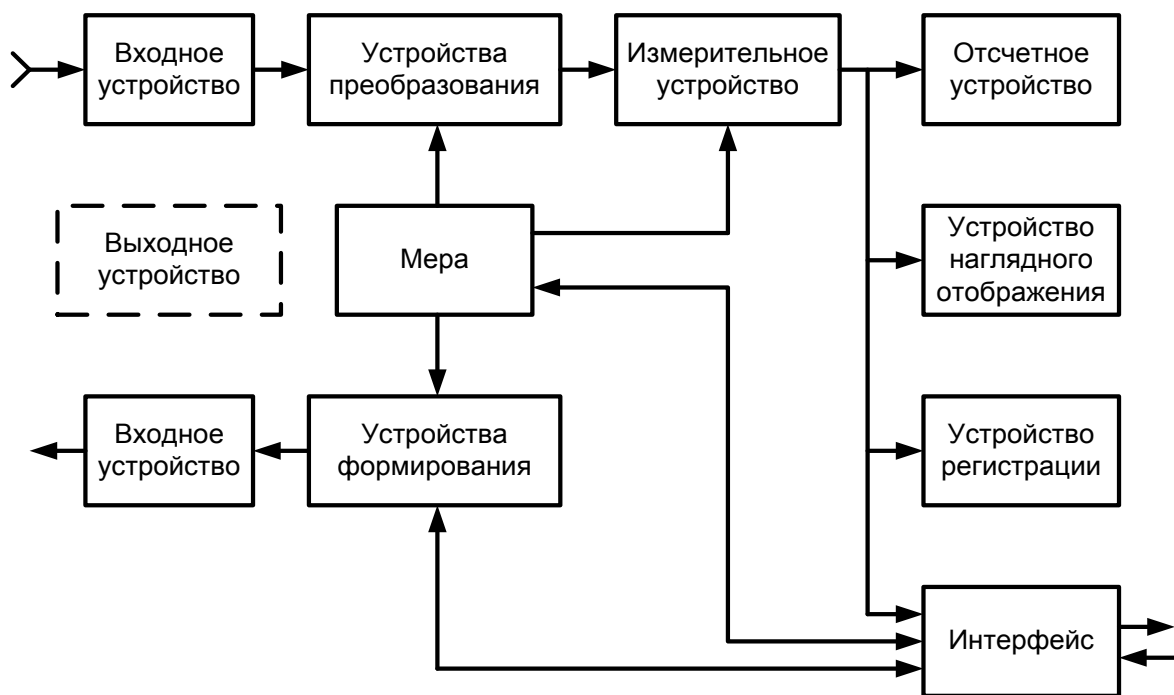


Рис. 2.6. Обобщенная структурная схема
 электронных средств измерений

Входные и выходные устройства состоят из элементов, обеспечивающих согласование с нагрузкой, и масштабных преобразователей (усилителей, делителей, аттенюаторов, трансформаторов и т.п.).

Устройства преобразования являются основой электронных средств измерений и реализуют следующие функции:

- изменения физического содержания измеряемой физической величины в первичном преобразователе;

- преобразования сигнала измерительной информации в соответствии с заданной зависимостью во вторичных преобразователях;
- сравнения измеряемой величины с мерой в устройстве сравнения;
- преобразования аналоговой величины в цифровую (АЦП) или цифровой величины в аналоговую (ЦАП);
- реализации управляющих воздействий от микропроцессорной системы в автоматизированных вариантах СИ.

Устройства формирования выполняют аналогичные функции, но по отношению к выходному сигналу.

Мера – устройство, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера с определенной точностью. В измерительных генераторах мера является источником для формирования измерительных сигналов. В измерительных приборах сравнения с мерой сравнивают измеряемый сигнал. В осциллографах и многих других приборах мера представлена в виде калибраторов для поверки, настройки и калибровки приборов.

Измерительное устройство это основная часть измерительной цепи, реализующая функцию измерения сигнала, представленного в удобной для этого форме.

Значение измеряемой или связанной с ней величины в аналоговой или цифровой форме может считываться с отсчетного устройства, отображаться с помощью устройства наглядного отображения, документироваться устройством регистрации или передаваться на расстояние через приборный интерфейс.

К вспомогательным устройствам относят вторичные источники питания, источники автономного питания, коммутаторы сигналов и узлов, органы управления и индикации, измерительные кабели, термостаты и т.п.

2.2. ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН В СИСТЕМЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В Конституции Российской Федерации записано (Статья 71): "В ведении Российской Федерации находятся... стандарты, эталоны, метрическая система и исчисление времени...".

Закон РФ "Об обеспечении единства измерений" дает определение эталона единицы величины.

Эталон единицы величины - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных либо дольных значений единицы величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной величины.

Государственный эталон единицы величины - эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории РФ. Государственные эталоны

являются исключительной федеральной собственностью, подлежат утверждению Госстандартом России и находятся в его ведении.

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все средства измерений одной и той же физической величины. Единство измерений достигается путем точного воспроизведения и хранения установленных единиц физических величин и передачи их размеров применяемым средствам измерений. Размеры единиц воспроизводятся, хранятся и передаются с помощью эталонов. Высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц измерений являются государственные эталоны. От них размер передается рабочим эталонам и далее рабочим средствам измерений. Таким образом, эталоны единиц величин играют определяющую роль в системе метрологического обеспечения.

Международные эталоны единиц величин хранятся в Международном бюро мер и весов (МБМВ), расположенном во французском городе Севре. В международной практике государственные эталоны обычно называются национальными.

Большинство национальных эталонов единиц величин хранится в Всероссийском научно-исследовательском институте метрологии им. Д.И.Менделеева в Санкт-Петербурге. Создание, хранение и применение эталонов, контроль за их состоянием подчиняются единым правилам, установленным ГОСТ 8.057-80 и ГОСТ 8.372-80. Воспроизведение основных единиц Международной системы единиц (СИ) должно осуществляться с помощью государственных эталонов, т.е. в централизованном порядке. Воспроизведение дополнительных, производных, а в случае необходимости и внесистемных единиц осуществляется одним из двух способов:

- 1) централизованно - с помощью единого для всей страны Государственного эталона;
- 2) децентрализованно - посредством косвенных измерений, выполняемых в органах метрологической службы с помощью рабочих эталонов.

Государственные эталоны бывают двух видов (рис.2.7): первичные и специальные.

Эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью, называется первичным. Специальный эталон воспроизводит единицу в особых условиях, когда прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью технически неосуществима (ВЧ и СВЧ, малые и большие энергии и т.п.). Он заменяет для этих условий первичный эталон.

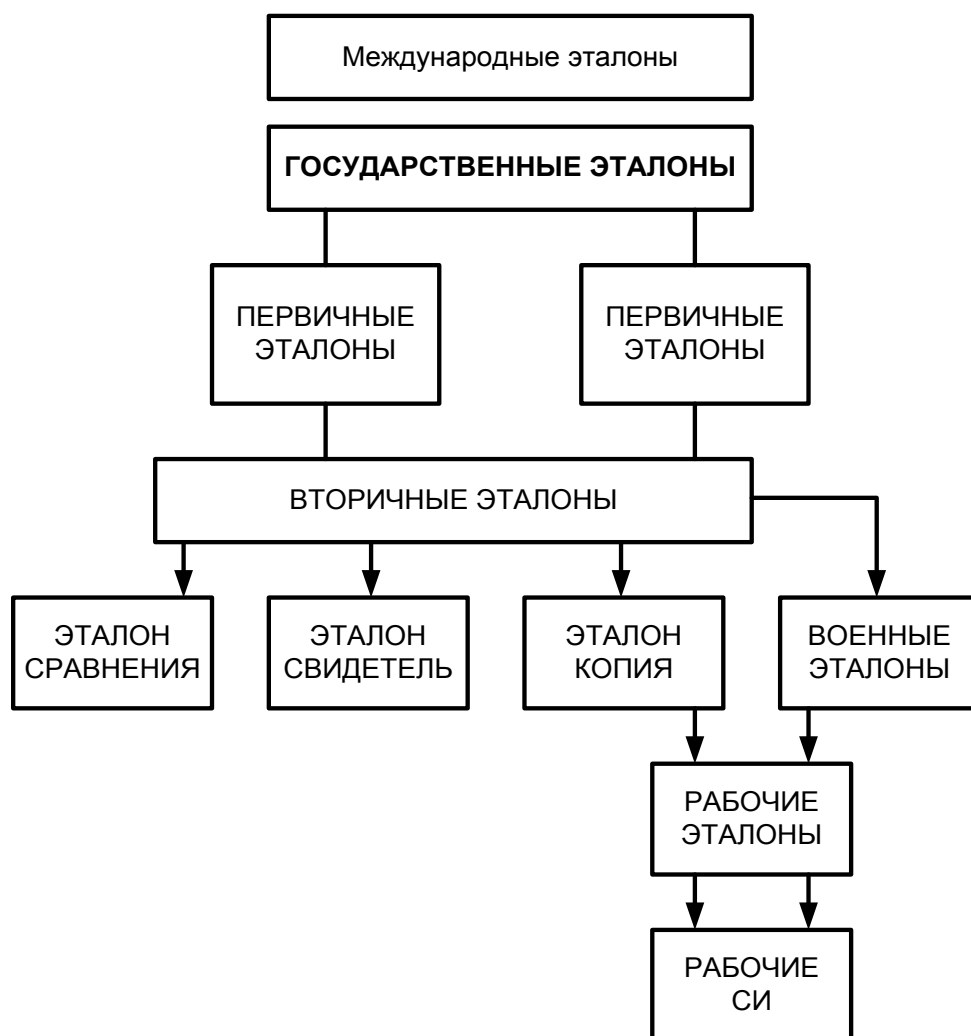


Рис. 2.7. Классификация эталонов

Первичные и специальные эталоны являются исходными для страны, поэтому для придания им силы закона на каждый государственный эталон утверждается ГОСТ и назначается ученый - хранитель эталона. Исходными могут также быть вторичные эталоны - эталоны, получающие размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

Вторичные эталоны составляют часть совокупности подчиненных средств хранения единиц и передачи их размера. Они создаются и утверждаются в тех случаях, когда это необходимо для организации поверочных работ и обеспечения сохранности и наименьшего износа Государственного эталона.

По своему метрологическому назначению вторичные эталоны делятся на: эталоны-копии, эталоны сравнения, эталоны-свидетели и рабочие эталоны (рис.2.7).

Эталон - копия предназначен для хранения и передачи размеров единиц рабочим эталонам вместо государственного эталона. Он не всегда является физической копией государственного эталона.

Эталон - сравнения применяют для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут непосредственно сличаться друг с другом. С их помощью осуществляется периодическое сличение национальных эталонов с международными эталонами. Эти вспомогательные эталоны выполняются обычно в виде легко перевозимых мер.

Эталон - свидетель предназначен для проверки сохранности государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты.

Рабочий эталон - вторичный эталон, предназначенный для передачи размера единицы другим рабочим эталонам (меньшей точности) и рабочим средствам измерений. Они должны проходить государственную поверку и их точность должна быть подтверждена документами. В настоящее время в нашей стране создана эталонная база, включающая в себя около 150 государственных и 500 вторичных эталонов.

Вторичные эталоны могут осуществляться в виде: комплекса средств измерений, одиночного эталона, группового эталона или эталонного набора.

Одиночный эталон состоит из одной меры, одного измерительного прибора или одной измерительной установки, обеспечивающих воспроизведение и хранение единицы самостоятельно, без участия других средств измерений того же типа. Примерами одиночного эталона служат вторичные эталоны единицы массы - килограмма в виде платиноиридиевых и стальных гирь.

Групповой эталон состоит из совокупности однотипных мер, измерительных приборов или других средств измерений, применяемых как одно целое для повышения надежности хранения единицы. Размер единицы, хранимой групповым эталоном, определяется как среднее арифметическое из значений, воспроизводимых отдельными мерами и измерительными приборами, входящими в состав группового эталона. Групповые эталоны бывают постоянного и переменного составов. Отдельные меры, входящие в групповой эталон, могут применяться в качестве одиночных рабочих эталонов.

Эталонный набор представляет собой эталон в виде набора мер или набора измерительных приборов, позволяющих хранить единицу или измерять величину в определенном диапазоне, в котором отдельные меры или измерительные приборы набора предназначены для различных значений или различных областей значений измеряемой величины.

Каждый эталон состоит из воспроизводящей части и измерительной, предназначенной для передачи размера единицы эталонам и средствам измерений, с меньшей точностью. Для периодической передачи размеров единиц в процессе поверки рабочих средств измерений используются рабочие эталоны, которые могут иметь разные разряды по результатам их метрологической аттестации. Их называют разрядными эталонами.

Эталоны служат материально-технической базой обеспечения единства измерений в стране.

Все эталоны после утверждения вносятся в Реестр эталонов. Регламентирован строго индивидуальный подход к эталонам, исходя из того, что каждый - важная установка государственного значения. В настоящее время считается, что эталонная база страны удовлетворяет насущным потребностям науки и хозяйства. Государственные эталоны создает, утверждает, хранит и применяет Госстандарт РФ, а вторичные - метрологические службы государственных органов управления.

Передача размеров единиц величин всем рабочим средствам осуществляется с помощью мощной поверочно-технологической базы Государственной метрологической службы, а также поверочных подразделений метрологической службы. Передача размеров единиц - важная и ответственная функция, направленная на обеспечение единства измерений в стране. Средства, методы и точность передачи размеров единицы от эталона рабочим средствам измерений устанавливаются специальным документом - поверочной схемой в соответствии с ГОСТ 8.061-80.

Стандартом установлен многоступенчатый порядок передачи размеров единицы величины от государственного эталона всем рабочим средствам измерений данной величины с помощью рабочих эталонов. В зависимости от класса точности рабочему эталону присваивается разряд от 1-го до 4-го. Под разрядом понимают категорию рабочего эталона, отнесенного к одной из ступеней поверочной схемы. Разряд присваивается в результате метрологической аттестации.

В зависимости от области применения все поверочные схемы подразделяются на два вида - государственные и локальные (ведомственные).

Совокупность рабочих эталонов и вспомогательных средств называют поверочной установкой.

Метрологический комплекс – совокупность функционально связанных рабочих мест, оснащенных рабочими эталонами, рабочими средствами измерений, средствами вычислительной техники, вспомогательными устройствами и оборудованием и предназначенных для поверки и ремонта средств измерений определенной номенклатуры.

В органах метрологической службы Вооруженных Сил применяются вторичные эталоны, называемые военными эталонами. Понятие военный эталон (ВЭ) единицы величины обозначает эталон, разработанный по заказу Министерства Обороны и признанный Госстандартом в качестве исходного для Вооруженных Сил. Военные эталоны хранятся в 32 Государственном научно-исследовательском испытательном институте МО РФ (32 ГНИИИ МО).

Порядок передачи единиц физических величин от эталона к объектам вооружения и военной техники представлен на рис. 2.8.

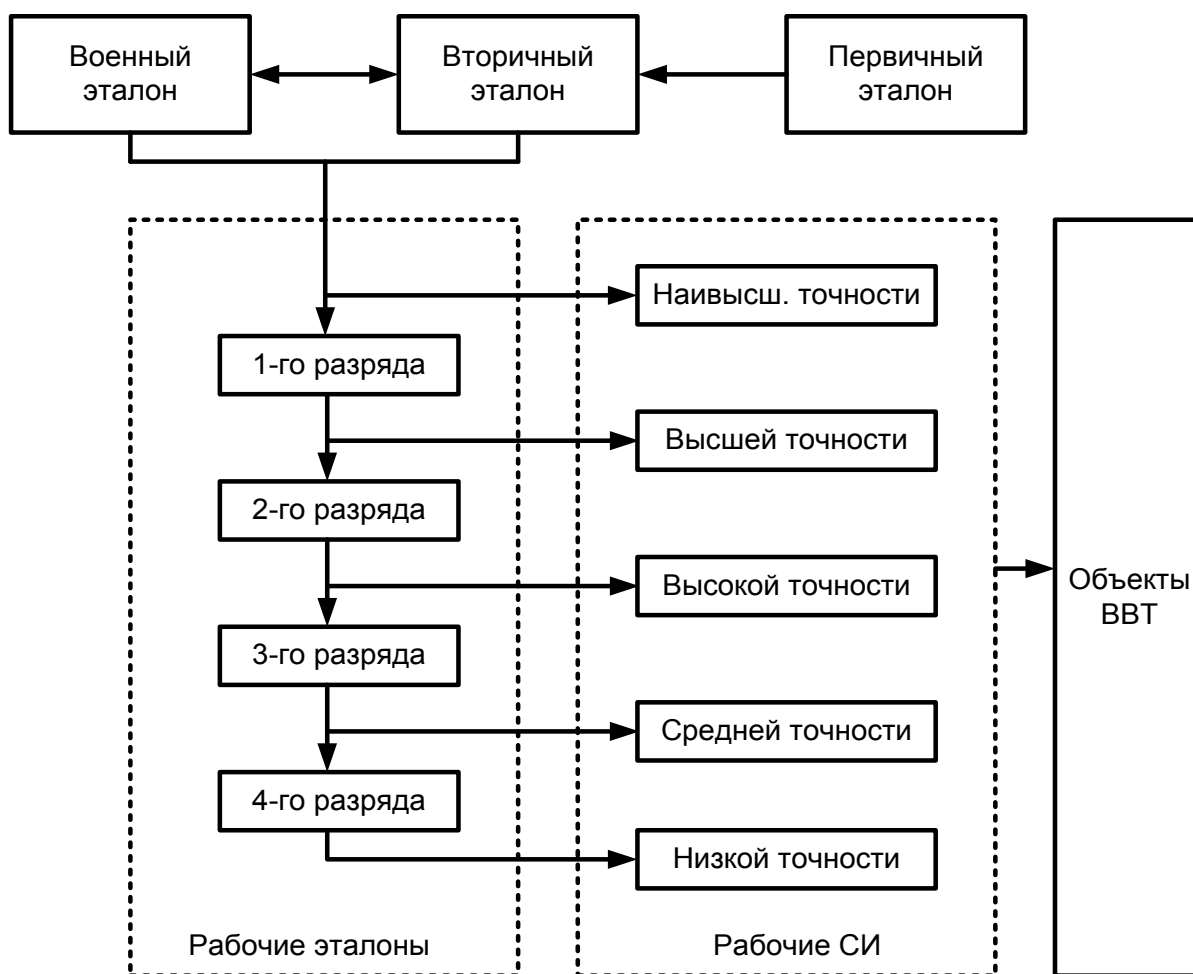


Рис. 2.8. Порядок передачи единиц величин объектам ВВТ

Одной из основных задач 32 ГНИИИ МО является: исследование и эксплуатация военных эталонов - резерва государственных эталонов, поверка по ним исходных рабочих эталонов и выполнение особо точных измерений на образцах вооружения и военной техники; разработка концепции и основных направлений развития военных эталонов.

Поверка и ремонт рабочих эталонов метрологических воинских частей и подразделений обычно производится на центральных базах измерительной техники (ЦБИТ) и базах измерительной техники (БИТ) сферы обороны и безопасности.

К военным эталонам предъявляются специфические требования: автономность, живучесть, оперативность и мобильность. Поэтому особенностями военных эталонов являются:

- наличие эталонов-переносчиков для оперативной поверки рабочих эталонов на местах;
- возможность перебазирования в запасные районы;
- автономная аттестация без использования государственных эталонов;
- устойчивость к поражающим факторам и помехам;
- восстанавливаемость.

Военные эталоны ЕФВ вместе с совокупностью рабочих эталонов и поверочных средств МВЧП составляют техническую основу системы ОЕИ в сфере обороны. Они являются резервом ГЭ РФ и исходными эталонами для обеспечения деятельности в сфере обороны по воспроизведению, хранению и передаче размеров ЕФВ рабочим СИ и объектам вооружения, военной и специальной техники. Для достижения ЕИ на государственном уровне ВЭ подлежат периодическому сличению или аттестации по государственным эталонам РФ (ст.7 Положения о системе обеспечения единства и точности измерений в сфере обороны и безопасности РФ).

По отношению к государственным эталонам военные эталоны являются вторичными и изготовлены так, чтобы обеспечивать единство измерений в войсковых условиях. Военные эталоны представляют собой средства (или комплексы средств) измерений наивысшей точности, утвержденные в качестве исходных. Они предназначены для воспроизведения и хранения единиц ФВ и передачи их размеров войсковым рабочим эталонам, а от них – войсковым рабочим средствам измерений в целях обеспечения единства и требуемой точности измерений. Военные эталоны утверждаются Госстандартом и вводятся в действие в ВС РФ установленным порядком.

В сфере обороны различают:

- ВЭ сравнения;
- ВЭ-переносчик.

ВЭ сравнения – эталон, применяемый для сличения ВЭ с Государственным Эталоном.

Сличение ГЭ и ВЭ – совокупность операций исследовательского характера по установлению соотношения между размерами единиц величин, воспроизводимых государственными и военными эталонами.

ВЭ-переносчик – эталон, предназначенный для передачи размера единицы величины военного эталона поверяемым военным эталонам или рабочим средствам измерений военного назначения на месте эксплуатации (ГОСТ РВ 8.572-99).

Метрологическая аттестация ВЭ – совокупность операций исследовательского характера по передаче размера ЕФВ от ГЭ военному эталону и установлению или подтверждению его пригодности к использованию по назначению.

2.3. СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Содержание поверки электронных средств измерений можно представить как последовательное исследование:

1. Административное исследование (проверка комплектности, наличия пломб и клейм, внешний осмотр, целостность органов управления и индикаторов, ...).

2. Техническое исследование (проверка правильности установки блоков и узлов, анализ износа и повреждений, проверка прибора на функционирование без оценки точности его работы и измерения в соответствии с инструкцией по эксплуатации). В случае ненормальной работы поверка по основным техническим характеристикам не производится, и прибор направляется в ремонт.

3. Метрологическое исследование (устанавливаются значения поверяемых метрологических характеристик, оцениваются погрешности и принимается решение)

4. Оформление результатов поверки (подтверждение пригодности СИ к применению или признание СИ непригодным к применению с соответствующим оформлением) в соответствии с требованиями нормативных документов.

В соответствии с содержанием поверки выделяют следующие этапы поверки СИ:

- внешний осмотр;
- проверка работоспособности (опробывание);
- определение метрологических параметров;
- обработка результатов поверки;
- оформление результатов поверки.

Основной принцип поверки – нормируемые значения метрологических параметров поверяемого СИ так или иначе сравниваются с соответствующими значениями более точного эталона, а полученная погрешность сравнивается с допустимой.

Поверка СИ осуществляется в строгом соответствии с методикой поверки, изложенной в соответствующем нормативном документе (ГОСТ, МИ) или в техническом описании. В методике поверки СИ указываются условия, операции и средства поверки, а также допустимые значения погрешности или предельные значения определяемых параметров.

Рекомендуемые средства поверки делятся на рабочие эталоны и вспомогательные средства измерений. Обычно, при отсутствии рекомендуемых средств поверки, допускается применение других аналогичных мер и измерительных приборов, если они обеспечивают измерения соответствующих параметров с требуемой точностью.

Важным показателем достоверности поверки является соотношение погрешности СИ между вышестоящей и нижестоящей ступенями поверочной схемы. Считается вполне достаточным соотношение 1:5; 1:4 или 1:3.

При проведении поверки должны быть обеспечены «нормальные условия» в соответствии с ГОСТ 8.395-80 «ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования». Иногда допускается проводить поверку в реально существующих условиях, отличных от нормальных, если они не выходят за пределы рабочих условий эксплуатации. В техническом описании указываются дополнительные условия поверки и необходимое время прогрева прибора.

Методы поверки – это совокупность приемов использования принципов, способов и средств поверки, положенных в основу передачи размера единицы физической величины от вышестоящих в поверочной схеме средств измерений нижестоящим.

При поверке электронных СИ используются следующие методы поверки:

1. Метод непосредственного сличения.
2. Метод сличения с помощью компаратора.
3. Метод прямых измерений.
4. Метод косвенных измерений.

Метод непосредственного сличения (рис. 2.9) основан на одновременном измерении поверяемым СИ и рабочим эталоном (РЭ) одной и той же величины (от источника единиц физических величин) и определения погрешности измерений.

Отсчет показаний возможен двумя способами:

1) показания поверяемого СИ устанавливаются на заданной отметке, а действительное значение определяется по показаниям рабочего эталона;

2) размер физической величины устанавливается по рабочему эталону, а отсчет производится на поверяемом СИ (способ менее точный, но более производительный т.к. можно одновременно поверять несколько СИ).

Достоинства метода: простота, наглядность, возможность автоматизации.

Метод сличения с помощью компараторов (рис. 2.10) или других средств сравнения позволяет сравнить измеренные поверяемым СИ и рабочим эталоном величины и автоматически получить значение погрешности. Этот метод удобен при поверке большого числа мер.

Компаратор – прибор сравнения двух однородных физических величин методом противопоставления или методом замещения (обычно с помощью мостов постоянного или переменного тока).

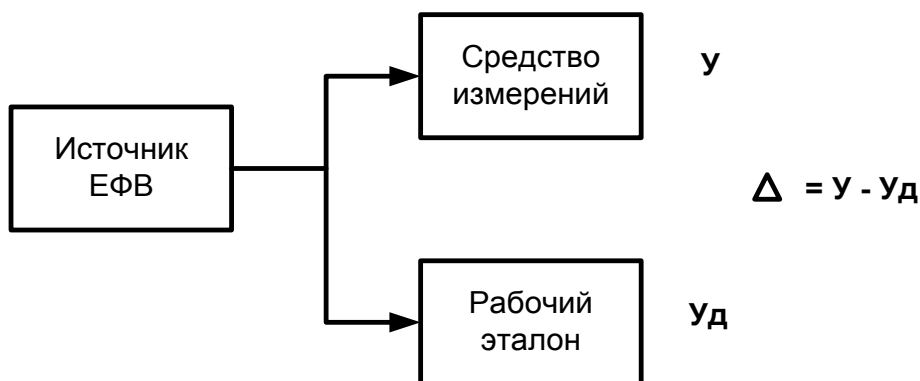


Рис. 2.9. Упрощенная схема поверки методом непосредственного сличения

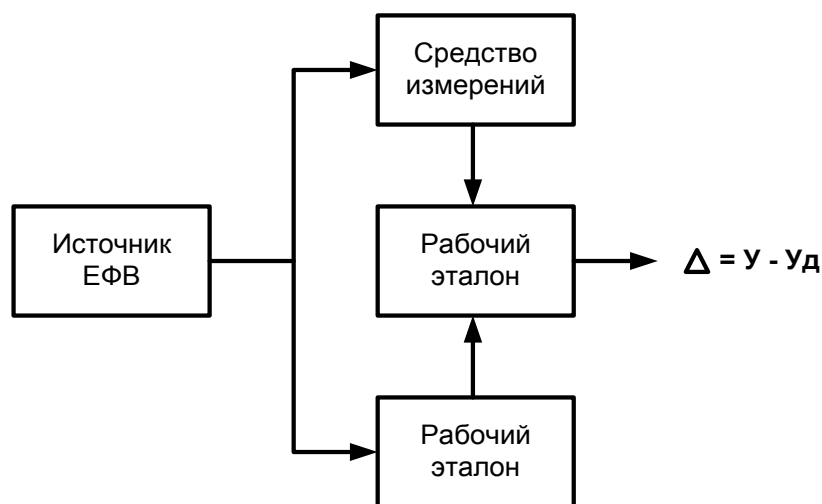


Рис. 2.10. Упрощенная схема поверки методом сличения с помощью компаратора

Метод прямых измерений (рис. 2.11) сводится к измерению величины, воспроизводимой рабочим эталоном (мерой), и определению погрешности измерений по отношению к рабочему эталону. Рабочий эталон в этом случае подключается к поверяемому СИ в качестве измеряемого объекта. Метод удобен, когда необходимо произвести сличение в нескольких точках каждого диапазона. При этом в качестве рабочих эталонов чаще всего используются источники сигналов частоты (стандарты частоты, измерительные генераторы) и стабильные источники постоянного и переменного напряжения (типа В1 и Б5).

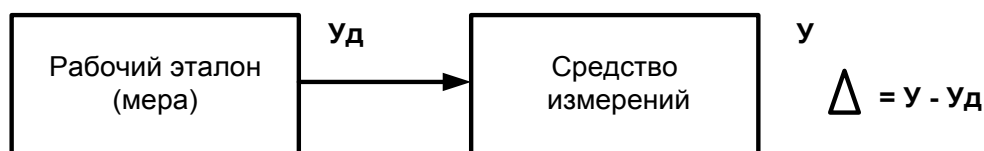


Рис. 2.11. Упрощенная схема поверки методом прямых измерений

Метод косвенных измерений (рис. 2.12) применяется, если измеряемая величина не может быть воспроизведена с заданной точностью и нельзя использовать метод прямых измерений. Используются преобразователи единиц величин или расчет, основанный на определенных зависимостях между единицами величин.

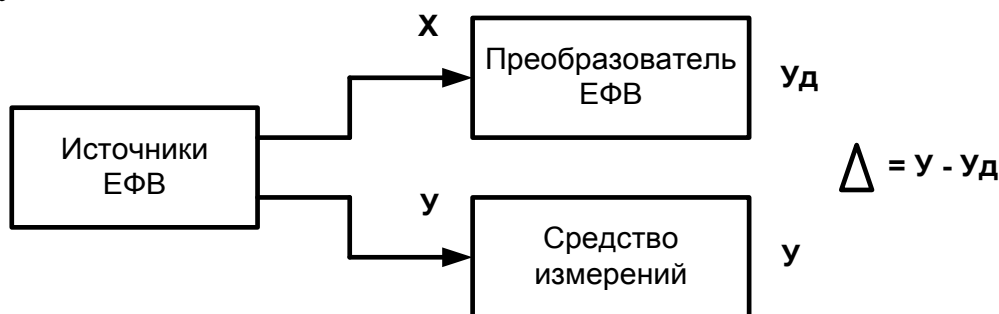


Рис. 2.12. Упрощенная схема поверки методом косвенных измерений

В некоторых видах ВС электронные СИ составляют до 20% парка СИ, но их поверка является наиболее трудоемкой (средняя норма времени на поверку составляет 6-8 часов) и требует наиболее квалифицированных инженеров-метрологов. Время, отводимое на поверку СИ, определяется на основе руководящего документа по метрологии РД50-419-83 «Методические указания. Нормирование продолжительности поверочных работ», а в МВЧП действуют «Нормы времени на поверку и ремонт войсковых средств измерений и контроля в метрологических частях и подразделениях РА и ВМФ».

2.4. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ УСТАНОВОК И ПРИБОРОВ ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В соответствии с ГОСТ 15094-86 для установок и приборов поверки электронных средств измерений используются следующие обозначения:

- В1 – установки или приборы для поверки вольтметров;
- D1 – установки или приборы для поверки аттенюаторов;
- E1 – установки или приборы для поверки измерителей параметров компонентов и цепей;
- Н – меры электрических величин;
- Н2 – меры пассивных электрических величин;
- Н3 – меры пассивных электрических величин для цепей с распределенными составляющими;
- Н4 – калибраторы постоянного напряжения (тока);
- Н5 – калибраторы переменного напряжения (тока);
- Н6 – калибраторы фазы;
- Н7 – калибраторы мощности;
- И1 – установки или приборы для импульсных измерений;
- П1 – установки или приборы для поверки приборов для измерения напряженности поля, плотности потока энергии и радиопомех;
- М1 – установки или приборы для поверки ваттметров;
- Ф1 – установки или приборы для поверки измерителей разности фаз и группового времени запаздывания;
- Ч1 – меры (стандарты) частоты и времени.

Эти приборы используются в качестве рабочих эталонов в метрологических комплексах на рабочих местах поверителей электронных средств измерений.

Рабочие эталоны в отличие от рабочих средств измерений должны обладать лучшими показателями точности и стабильности метрологических характеристик. Для этого в рабочих эталонах предусматриваются специальные меры по уменьшению погрешностей, прежде всего систематических, при воспроизведении и измерении значений единиц величин. Это делается путем снижения погрешностей на всех этапах жизненного цикла средств измерений.

Основные способы снижения погрешностей, используемые в рабочих эталонах, приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3.

Источник погрешности	Вид погрешности	Способы снижения погрешности
1	2	3
Метод	Методическая	- использование наиболее точных методов измерения и воспроизведения единиц величин; - применение точных методов и устройств обработки результатов измерений
Аппаратура	Инструментальная	- применение стабильных точных мер; - использование прецизионных элементов; - применение цифровых отсчетных устройств; - калибровка или самокалибровка прибора; - автоматическая подстройка прибора (АРУ, АПЧ, ФАП и т.п.); - использование метода инвертирования сигналов или его разновидностей; - многократные измерения; - периодическая поверка СИ; - введение поправки.
Оператор	Субъективная	- правильное взаимное расположение СИ и оператора; - автоматизация СИ; - аттестация поверителей; - метрологическая подготовка операторов.
Внешние влияния	Дополнительная	- устранение источников влияния; - экранирование от электромагнитных полей; - термостатирование отдельных узлов и всего СИ в целом; - применение фильтров и стабилизаторов в цепях питания; - применение осушителей; - рациональное взаимное расположение СИ на рабочем месте; - применение амортизаторов.

2.4.1. Эталоны и приборы для поверки вольтметров

Государственный эталон ЭДС (1В) для получения постоянного напряжения с погрешностью менее $5 \cdot 10^{-8}$ использует открытый в 1962 г. эффект Джозефсона. Элемент Джозефсона состоит из двух сверхпроводников, соединенных друг с другом посредством очень тонкого слоя не-сверхпроводящего материала. При протекании через сверхпроводники постоянного тока в контактной зоне устанавливается напряжение (эффект постоянного тока Джозефсона). Если на этот постоянный ток наложить переменный ток высокой частоты, то возникает эффект переменного тока Джозефсона. Переменный ток влияет таким образом, что вольт-амперная характеристика у элемента имеет ступенчатую форму. Напряжение каждой ступени $\Delta V = hf/2e$, где отношение h/e двух постоянных (h – постоянная Планка, e – элементарный заряд) также постоянно и, следовательно, определение напряжения сводится к точному измерению частоты. Так при частоте 10 ГГц напряжение ступени равно 20 мкВ. Это напряжение не зависит от внешних факторов, поэтому обеспечивается очень высокая точность.

В России освоен выпуск мер напряжения на основе эффекта Джозефсона. У них при точности воспроизведения выходного напряжения $1 \cdot 10^{-7}$ обеспечивается диапазон выходного напряжения 0,1 – 10 В с дискретностью 0,1 В.

Государственный эталон ЭДС, основанный на эффекте Джозефсона, реализован в ВНИИМ им. Д.И. Менделеева в Санкт-Петербурге. Передача единиц величины 1 В осуществляется в соответствии с ГОСТ 8.027-01 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы».

Нормальные элементы используются в качестве эталонов-копий меры ЭДС. Они представляют собой специальные гальванические элементы, ЭДС которых точно известна. Различают нормальные элементы с насыщенным и ненасыщенным раствором сернокислого кадмия. У насыщенных элементов ЭДС значительно стабильнее, чем у ненасыщенных, но больше внутреннее сопротивление и температурный коэффициент.

Насыщенный нормальный элемент (НЭ) состоит из запаянного стеклянного сосуда Н - образной формы, в нижние концы которого впаяны платиновые проводники. Положительным электродом (анодом) служит ртуть, заполняющая нижнюю часть одной ветви сосуда, отрицательным электродом (катодом) – амальгама кадмия (10-12% кадмия и 88-90% ртути), расположенная в нижней части другой ветви сосуда. Над ртутью расположен анодный слой пасты из смеси сернокислой ртути и сернокислого кадмия (паста является деполяризатором), а катодный слой составляют кристаллы сульфата кадмия. Электролитом служит насыщенный раствор сернокислого кадмия. Насыщение раствора обеспечивается кристаллами сернокислого кадмия, помещенными поверх электродов. НЭ бывают трех

классов точности: 0,001; 0,002; и 0,005. Значения ЭДС этих НЭ нормируются. Так для НЭ класса точности 0,005 при температуре 20⁰С ЭДС должна находиться в пределах 1,0185 – 1,0187 В, а ее изменение за год не должно превышать 50 мкВ. Пропускать через НЭ ток более 1 мкА недопустимо. НЭ изготавливают в корпусе, защищающем его от ударов. Соответствующий наполнитель в корпусе защищает элемент от повреждений и внезапных изменений температуры окружающей среды. Внутреннее электрическое сопротивление НЭ не превышает 1000 Ом, и они не должны нагружаться током более 1 мкА в течение 1 мин, в противном случае значение ЭДС может стать неустойчивым.

Изготавливаются также насыщенные НЭ малогабаритные без жидкого электролита.

Ненасыщенные элементы имеют класс точности 0,02, а их ЭДС лежит в пределах 1,0186 – 1,0194 В при допустимом ее изменении за год не более, чем на 20 мкВ.

Поверка нормальных элементов проводится в соответствии с ГОСТ 8.212-84 «ГСИ. Меры электродвижущей силы. Элементы нормальные. Методика поверки».

При применении НЭ необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

- 1) НЭ нельзя трясти и взбалтывать, а после транспортировки их необходимо выдерживать в покое в течение суток до применения;
- 2) НЭ классов 0,001-0,005 нельзя нагружать током более 1 мкА, а НЭ класса 0,02 – более 10 мкА;
- 3) НЭ классов точности 0,001 и 0,002 должны храниться при температуре от +15 до +25⁰С, а НЭ классов точности 0,005 и 0,02 – от +10 до +40⁰С.

В метрологических подразделениях значение единицы ЭДС обычно хранится с помощью группы НЭ, представляющих собой групповой эталон ЭДС (1В).

Нормальные элементы обладают рядом недостатков, к которым относятся малый ток нагрузки, невозможность работы в условиях вибрации, необходимость внесения расчетных поправок на температуру окружающей среды. Поэтому на практике в качестве рабочих эталонов постоянного напряжения широко применяются стабилизированные источники эталонного напряжения (тока) типа Б5.

Стабилизаторы напряжения можно разделить на два основных типа: параметрические и компенсационные. Компенсационные стабилизаторы являются более точными и позволяют обеспечить длительную стабильность порядка сотых и тысячных долей процента, что и позволяет использовать в качестве источников эталонных напряжений.

В некоторых случаях в качестве рабочих эталонов постоянного напряжения используются высокоточные преобразователи частота - постоянное напряжение.

Приборы для поверки вольтметров

Современные калибраторы – вольтметры типа В1 представляют собой универсальные многофункциональные точные приборы, которые в качестве рабочих эталонов используются для поверки, калибровки и исследований широкой номенклатуры приборов и устройств измерительного и генераторного типов как в составе автоматизированных систем, так и автономно. Такие приборы применяют для поверки электронных вольтметров типа В2, В3, В6 и В7.

Обычно они в широких пределах с высокой точностью воспроизводят и измеряют напряжение и силу постоянного и синусоидального тока, а иногда и сопротивление постоянному и переменному току.

В основе построения таких приборов лежит принцип функционального разделения на следующие агрегаты:

- устройство управления,
- устройство воспроизведения – калибратор,
- устройство измерения – вольтметр,
- источник питания.

Упрощенная схема прибора типа В1 представлена на рис.2.13.

В состав устройства управления входят блок управления (на базе микро-ЭВМ), панель управления и индикации и приборный интерфейс (КОП; IEEE 488; IEC 625 МЭК).

Микро-ЭВМ осуществляет управляющие и вычислительные функции. Все основные управляющие сигналы имеют выход на системную шину: адресная шина, шина данных и шина управления. Приборный интерфейс обеспечивает работу прибора в режиме дистанционного управления.

Устройство воспроизведения (калибратор) содержит:

- источник опорного постоянного напряжения, который обеспечивает генерацию опорных уровней постоянного напряжения;
- источник опорного переменного напряжения, который обеспечивает генерацию опорных уровней переменного напряжения в широком диапазоне частот (от 0,1 Гц до 120 кГц);
- источник калиброванных токов и сопротивлений (ИКТС) – обеспечивает воспроизведение значений сопротивлений и силы постоянного и переменного тока (преобразуя напряжение в силу тока);
- цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) обеспечивает формирование сетки постоянного и переменного напряжений;
- высоковольтный усилитель (УВВ) обеспечивает масштабное усиление выходного напряжения ЦАП, реализуя высоковольтные (до 1000 В) поддиапазоны калибратора постоянного и переменного напряжения;
- выходной коммутатор под воздействием управляющих сигналов от блока управления коммутирует измерительные и выходные цепи прибора в соответствии с режимом работы.

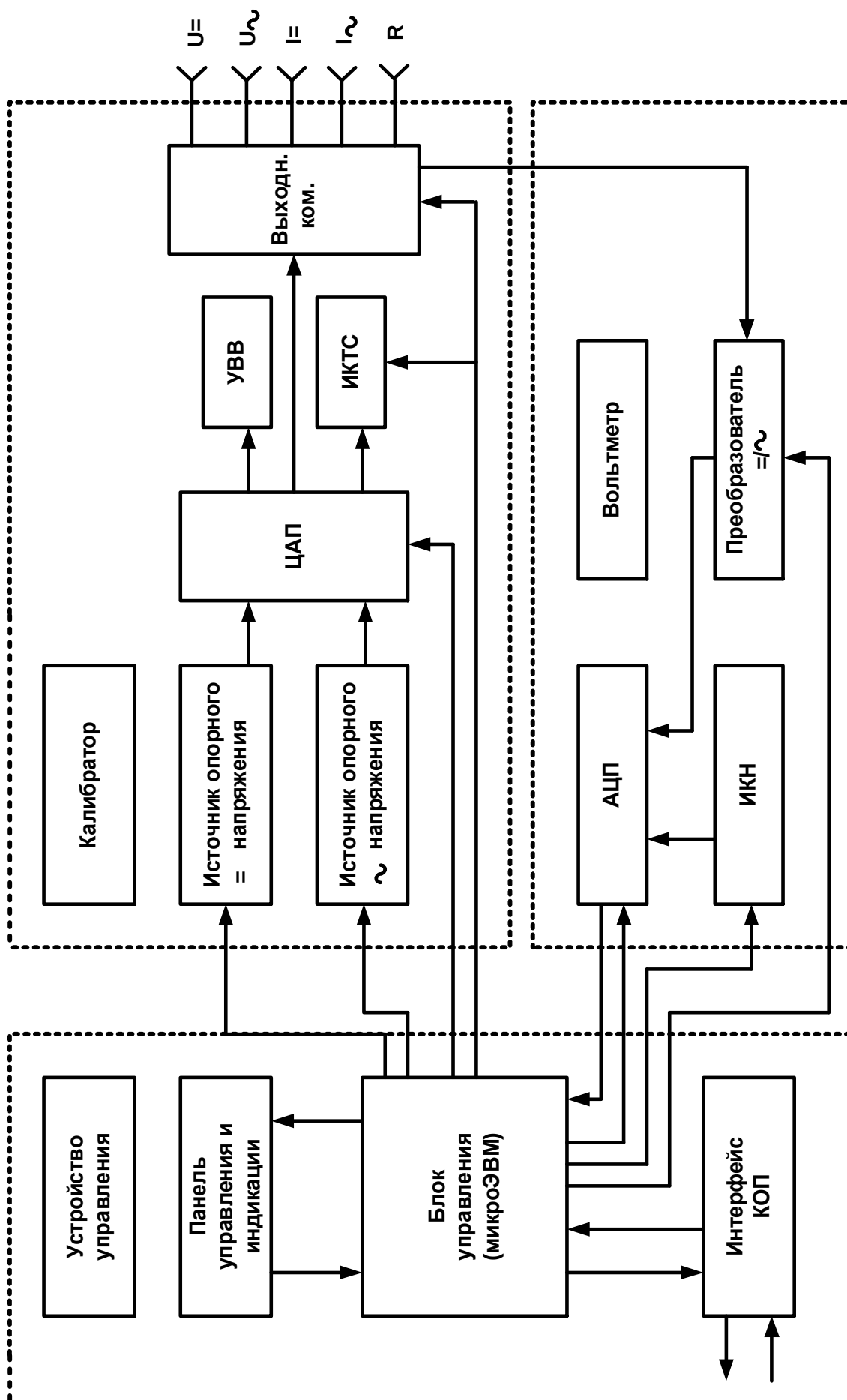


Рис. 2.13. Упрощенная схема прибора типа В1

Частотный диапазон меры напряжения переменного тока реализуется двумя генераторами: инфранизкочастотным генератором (0,1 – 120 Гц) и высокочастотным генератором (0,1 – 120 кГц). Для снижения погрешности воспроизведения напряжений и силы тока применяется схема контроля и коррекции соответствующего калибратора встроенным вольтметром.

Погрешность прибора практически определяется точностью встроенного устройства измерения (вольтметра). Требуемая точность вольтметра обеспечивается соответствующим выбором элементной базы, схемотехнических решений и процедурами метрологических автокалибровок.

В состав измерительного устройства входят:

- преобразователь переменного напряжения в постоянное ($\sim/=\text{}$) содержит линейный выпрямитель, аттенуатор и широкополосный повторитель напряжения и обеспечивает преобразование выходного переменного напряжения прибора в соответствующее постоянное, подаваемое на АЦП;

- источник компенсирующих напряжений (ИКН) постоянного тока формирует сетку напряжений постоянного тока, которыми компенсируется измеряемое напряжение в дифференциальной схеме измерения напряжения;

- аналого-цифровой преобразователь (АЦП) реализует дифференциальный метод измерения напряжения, аналого-цифровое преобразование и выдачу цифрового кода в блок управления, который в свою очередь выдает управляющие воздействия на элементы вольтметра.

В режиме измерения сопротивлений через измеряемый резистор пропускается ток калибратора силы постоянного тока, а падение напряжения на резисторе измеряется схемой вольтметра постоянного тока.

Измерение силы постоянного или переменного тока реализуется путем измерения падения напряжения на резисторах при пропускании через них силы измеряемого тока.

Поверка самих приборов типа В1 осуществляется в соответствии с методикой поверки, приводимой в техническом описании. Межповерочный интервал 1 год. На поверку отводится 14 – 48 час.

В настоящее время отечественные предприятия выпускают приборы В1-9; В1-12; В1-16; В1-18; В1-27; В1-28; В1-29.

При поверке электронных вольтметров руководствуются техническими описаниями и ГОСТ 8.118-85, ГОСТ 8.117-82, ГОСТ 8.409-81, ГОСТ 8.402-80.

Межповерочный интервал для большинства электронных вольтметров 3 года, а время, отводимое на их поверку, 4-6 часов.

Пример:

КАЛИБРАТОР – ВОЛЬТМЕТР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ В1-28

Универсальный вольтметр-калибратор В1-28 предназначен для поверочных, калибровочных, исследовательских работ с приборами и устройствами измерительного и

генераторного типов. Он воспроизводит и измеряет напряжение, силу постоянного и синусоидального тока, а также сопротивление постоянному и синусоидальному току.

Число диапазонов воспроизведения постоянного напряжения/тока – 5/5, базовая погрешность не более 0,005 в пределах 0,1 мВ – 100 В / 0,1 нА – 2 А.

Число диапазонов воспроизведения переменного напряжения/тока – 3/5. Базовая погрешность не более 0,72/0,2 в пределах 1 мВ – 700 В / 0,1 нА – 2 А.

Диапазон воспроизведения синусоидального тока по частоте 0,1 Гц – 120 кГц.

Число диапазонов измерения постоянного напряжения/тока – 4/5. Базовая погрешность не более 0,0055.

Число диапазонов измерения переменного напряжения/тока – 5/5. Базовая погрешность не более 0,82/0,4.

Число диапазонов воспроизведения и измерения сопротивления постоянному току 8/8 в пределах 10 мОм ÷ 10 МОм. Базовая погрешность не более 0,05/0,15.

Особенности построения:

- двухстрочный семисегментный индикатор;
- автоблокировка;
- обработка информации по результатам определенного количества измерений;
- простота управления в ручном режиме;
- возможность управления в автоматическом режиме через интерфейс (IEE 488, IEC 625 МЭК) КОП.

Питание от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Потребляемая мощность 240 ВА.

Габариты 490х215х590.

Масса 31,5 кг.

2.4.2. Стандарты частоты и времени

Стандартом частоты называется средство измерений, предназначенное для хранения и воспроизведения с высокой точностью единицы частоты - Герца. Стандарты частоты, обладающие наиболее высокой точностью, достижимой на современном уровне развития науки и техники, называются эталонами частоты. По ГОСТ 15094-86 стандарты частоты и времени относятся к виду Ч1.

До 50-х годов текущего столетия в качестве стандартов частоты и времени использовались генераторы с кварцевой стабилизацией, называемые также кварцевыми часами. За естественный абсолютный эталон времени тогда принимался период обращения Земли вокруг своей оси. Секунда, определяемая по данному эталону, принималась равной 1/86400 средних солнечных суток на меридиане Гринвича. Время, определяемое через этот эталон, называется всемирным временем (Universal Time - UT).

Однако длительные и тщательные сравнения результатов астрономических наблюдений с показаниями высокостабильных кварцевых часов доказали неравномерность скорости вращения Земли вокруг своей оси, т.е. непостоянство продолжительности средних солнечных суток и секунды всемирного времени. Поэтому в 1956 г. в качестве абсолютного природного эталона времени был принят тропический год, т.е. период обращения Земли вокруг Солнца. За секунду при этом принимается интервал времени, равный 1/31556925,9747 части тропического года. Определяемое

таким образом время получило название эфемеридного времени (Efemeride Time - ET). Оно является более стабильным, чем UT, однако требует длительных астрономических наблюдений, а потому трудно воспроизводимо и неудобно для практического использования.

В 1971 г. была введена новая система времени, основанная на принятом в 1967 г. атомном определении секунды и Герца. Данную систему времени называют всемирным координированным временем или атомным временем (Atomic Time - AT).

Секунда в этой системе воспроизводится при помощи атомных(или, иначе, квантовых) стандартов (эталонов) частоты. В атомных стандартах частоты используются квантовые переходы между энергетическими уровнями атомов некоторых веществ (водород, цезий, рубидий, аммиак и др.). Частота переходов определяется уравнением Бора: $f = (W_2 - W_1)/h$, где W_1 и W_2 - энергетические уровни атома, между которыми совершается переход, $h = 6,624 \cdot 10^{-34}$ Дж*с - постоянная Планка.

В настоящее время в качестве рабочих веществ в квантовых стандартах используются атомы цезия (Cs), рубидия (Rb) и водорода (H). Резонансная частота Cs^{133} равна 9192631770 Гц, Rb^{87} - 6834682608 Гц, атомарного водорода H - 1420405751,78 Гц. Эти частоты определяются атомными постоянными веществ и поэтому обладают очень высокими стабильностью, воспроизводимостью и точностью.

Принцип действия квантовых стандартов частоты основан на синхронизации кварцевого генератора на частоте стабильного излучения (или поглощения) с узким спектром, возникающего в квантовом генераторе (дискриминаторе) при переходе атомов рабочего вещества с одного энергетического уровня на другой. В зависимости от используемого эффекта - излучения или поглощения, квантовые стандарты частоты бывают активными и пассивными.

В активном квантовом стандарте частоты для синхронизации кварцевого генератора используется излучение при указанном переходе, создаваемое квантовым генератором. В настоящее время используются активные водородные квантовые генераторы. В водородном генераторе атомы водорода, получаемые из молекулярного водорода, после соответствующей сортировки по уровням энергии направляются в объемный высокодобротный резонатор, настроенный на частоту энергетического перехода. При достаточной интенсивности излучения возникает непрерывная генерация. Частота генерируемых колебаний соответствует частоте перехода для атомов водорода 1420405751,78 Гц.

Работа водородного активного стандарта частоты (рис.2.14) происходит следующим образом. Сигналы водородного квантового генератора ВКГ в смесителе См смешиваются с умноженными по частоте сигналами синхронизируемого кварцевого генератора КвГ и после усиления в усилителе промежуточной частоты УПЧ поступают на один из входов фазового детектора ФД. На второй вход ФД подаются сигналы кварцевого ге-

нератора соответствующим образом преобразованные по частоте синтезатором опорной частоты СОЧ. При расхождении частоты кварцевого генератора (с учетом ее умножения) и частоты сигнала ВКГ на выходе ФД появляется сигнал, который, усилившись в УНЧ, воздействует на частоту кварцевого генератора, осуществляя фазовую автоподстройку частоты кварцевого генератора по сигналам водородного квантового генератора.

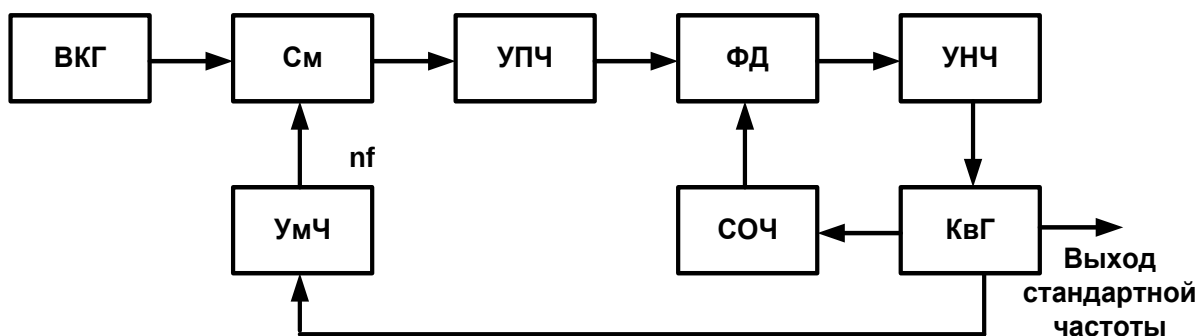


Рис. 2.14 Активный стандарт частоты на основе водородного квантового генератора

Подобные стандарты частоты имеют высокую стабильность 10^{-14} - 10^{-15} в сутки. Однако они имеют достаточно большие размеры, требуют прецизионной термостабилизации, тщательного магнитного экранирования ВКГ. Поэтому применяются водородные стандарты частоты стационарно в службах времени и частот.

В пассивном квантовом стандарте частоты для синхронизации кварцевого генератора применяются квантовые дискриминаторы, использующие явление поглощения энергии при переходе атомов с одного энергетического уровня на другой.

Квантовый дискриминатор КД может быть выполнен в виде атомно-лучевой трубки (АЛТ), либо в виде газовой ячейки поглощения. В обоих случаях атомы рабочего вещества (цезий, рубидий, водород) с соответствующим энергетическим уровнем вводятся в резонатор, к которому подводятся умноженные по частоте электрические колебания кварцевого генератора КвГ. При совпадении частоты генератора с частотой перехода рабочего вещества изменяется интенсивность атомного пучка АЛТ или прозрачность газовой ячейки для светового луча специального источника с длиной волны, соответствующей частоте атомного перехода. Частотная зависимость интенсивности поглощения имеет вид высокочастотной резонансной кривой. Широко используются в настоящее время в качестве квантовых дискриминаторов цезиевые АЛТ с частотой эталонного квантового перехода между третьим и четвертым энергетическими уровнями атомов Cs^{133} , которая равна 9192631770 Гц.

На рис. 2.15 приведена упрощенная структурная схема пассивного квантового стандарта частоты.

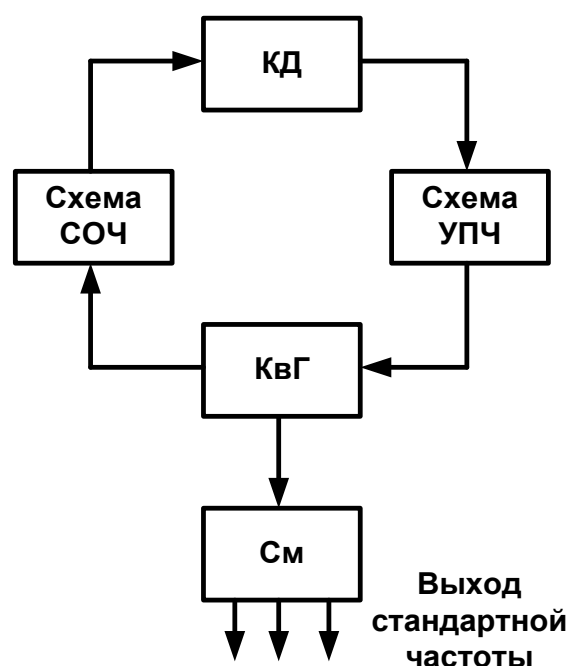


Рис. 2.15. Упрощенная схема пассивного квантового стандарта частоты

Сигнал синхронизируемого кварцевого генератора КвГ после преобразования в схеме СОЧ преобразования частоты подводится к резонатору квантового дискриминатора КД. На выходе КД формируется сигнал, величина которого пропорциональна расстройке частоты КвГ относительно частоты эталонного атомного перехода. Этот сигнал через схему автоматической подстройки частоты (АПЧ) воздействует на КвГ, устраняя таким образом расстройку частот. На выходе делителя частоты ДЧ получаем эталонные сигналы частоты (типовые частоты 1 Гц; 0,1; 1; 5; 10; 100 МГц).

Пассивные квантовые стандарты частоты имеют, как правило, несколько меньшую стабильность по сравнению с активными водородными стандартами. Однако они имеют более простую конструкцию, сравнительно небольшие габариты, а потому широко используются на практике, в том числе на подвижных метрологических комплексах.

Основные технические характеристики некоторых современных стандартов частоты приведены в таблице 2.4.

Атомные стандарты частоты, снабженные часовым блоком, называют атомными часами или синхронометрами. В них формируются сигналы времени и производится индикация текущего времени. Точность хода таких часов определяется атомными постоянными и потому очень велика.

Государственный эталон времени и частоты позволяет воспроизводить единицы времени и частоты с погрешностью $3 \cdot 10^{-12}$.

С целью обеспечения единства измерений в стране от государственного первичного эталона единиц времени и частоты и шкалы времени (находящегося в ВНИИФТРИ пос. Менделеево Московской обл.) эталонные сигналы времени и частоты (ЭСВЧ) Государственной службой времени и частоты (ГСВЧ) передаются через разветвленную сеть средств пере-

дачи, которая включает в себя радиостанции СДВ, ДВ, СВ и КВ диапазонов, а также телевидение и сеть звукового вещания.

Таблица 2.4.

Тип стандарта частоты	Рабочее вещество	Кратковременная нестабильность	Долговременная нестабильность
1	2	3	4
Ч1-46	Водород	$5 \cdot 10^{-14}$ за час	$7 \cdot 10^{-14}$ за сутки
Ч1-47	Цезий	$5 \cdot 10^{-11}$ за час	$1 \cdot 10^{-10}$ за сутки
Ч1-50	Рубидий	$2 \cdot 10^{-11}$ за час	$2 \cdot 10^{-11}$ за сутки
Ч1-53	Кварц	$2 \cdot 10^{-9}$ за час	$5 \cdot 10^{-9}$ за сутки
Ч1-75	Водород	$4 \cdot 10^{-13}$ за 1 с	$5 \cdot 10^{-15}$ за сутки
Ч1-76	Водород	$3 \cdot 10^{-12}$ за 1 с	$3 \cdot 10^{-14}$ за сутки
Ч1-78	Рубидий	$1 \cdot 10^{-12}$ за 1 с	$7 \cdot 10^{-12}$ за месяц
Ч1-80	Водород	$1 \cdot 10^{-14}$ за 1 с	$5 \cdot 10^{-13}$ за сутки
Ч1-81	Рубидий	$1 \cdot 10^{-11}$ за 1 с	$3 \cdot 10^{-12}$ за сутки
Ч1-82	Рубидий	$7 \cdot 10^{-12}$ за 1 с	$4 \cdot 10^{-13}$ за сутки
Ч1-86	Водород	$1,5 \cdot 10^{-12}$ за 1 с	$1 \cdot 10^{-14}$ за сутки
5065(США)	Рубидий	$5 \cdot 10^{-12}$ за 1 с	$1 \cdot 10^{-14}$ за сутки
Efos - 1 (Швейцария)	Водород	$3 \cdot 10^{-14}$ за 1 с	$4 \cdot 10^{-13}$ за месяц

Все ЭСВЧ формируются на базе шкалы координированного времени РФ UTC (SU).

Через систему телевизионного вещания страны (1 и 2 программы ЦТ и Орбита-2,3,4) ведется передача эталонных сигналов, обеспечивающих совместную передачу единиц частоты и времени, меток шкалы и информации о текущих значениях времени (ТЗВ). Эти сигналы передаются в шестой строке каждого нечетного кадра. Размах ЭСЧВ составляет 0,35 от размаха полного видеосигнала. Шестая строка разделена на три интервала:

1. 15 мкс для передачи ЭСЧ в виде пакета из 15 периодов колебаний с частотой 1 МГц, фаза которого начинается с положительной полуволны.
2. 12 мкс для передачи ЭСВ частотой 1 Гц, фаза начинается с отрицательной полуволны, характерная точка шкалы времени в середине положительного фронта совмещена с метками шкалы UTC (SU) с погрешностью не более 1,0 мкс.
3. 15 мкс для передачи кода ТЗВ, который передается с помощью двоично - десятичного кода 8-4-2-1 в третьем интервале шестой строки в течение 24 кадров при помощи радиоимпульсов различной частоты (1 - 1,6 МГц, 0 - 2,5 МГц), причем цикл передачи имеет 25 разрядов.

Такой сигнал принимается телевизионным приемником и подается на специальный блок выделения информационного сигнала, где осуществляется селекция его составляющих, которые и используются по назначению.

Эталонные сигналы частоты и времени, передаваемые по радиоканалам первой программы Всероссийского радио, представляют собой сигналы типа DXXXW - излучение, при котором несущие колебания модулируются в определенной последовательности по амплитуде и по фазе сложным сигналом путем комбинации частотного и временного уплотнения, и содержащее информацию нестандартного вида. Такие сигналы принимают с помощью специальных приемников-компараторов типа Ч7, принцип действия которых в режиме сличения частот основан на измерении набега фазы сигнала измеряемой меры частоты относительно фазы радиосигнала эталонной частоты с последующим вычислением количественных характеристик нестабильности частоты.

Например:

Приемник-компаратор Ч7-38 предназначен для определения отклонения частоты кварцевых или атомных мер частоты относительно частоты эталонных сигналов, передаваемых радиостанциями длинных и сверхдлинных волн.

Приемник-компаратор ЧК7-49 предназначен для определения отклонения частоты кварцевых или квантовых мер частоты и их метрологических характеристик по отношению к частоте сигналов эталонных частот, передаваемых радиостанциями длинных волн.

Для поверки рабочих эталонов частоты и времени могут использоваться (рис. 2.16. а, б, в):

- квантовые стандарты частоты и времени с частотными компараторами;
- эталонные сигналы частоты и времени, передаваемые по радиоканалам, с приемниками - компараторами;
- эталонные сигналы частоты и времени, передаваемые в шестой строке нечетных кадров телевизионного сигнала.

Поверка стандартов частоты и времени проводится не реже 1 раза в год в соответствии с ТО (в некоторых случаях по ГОСТ 8.441-81). При этом проводится определение:

- величины напряжения выходных сигналов;
- относительной погрешности по частоте;
- среднеквадратического отклонения частоты за время Т.

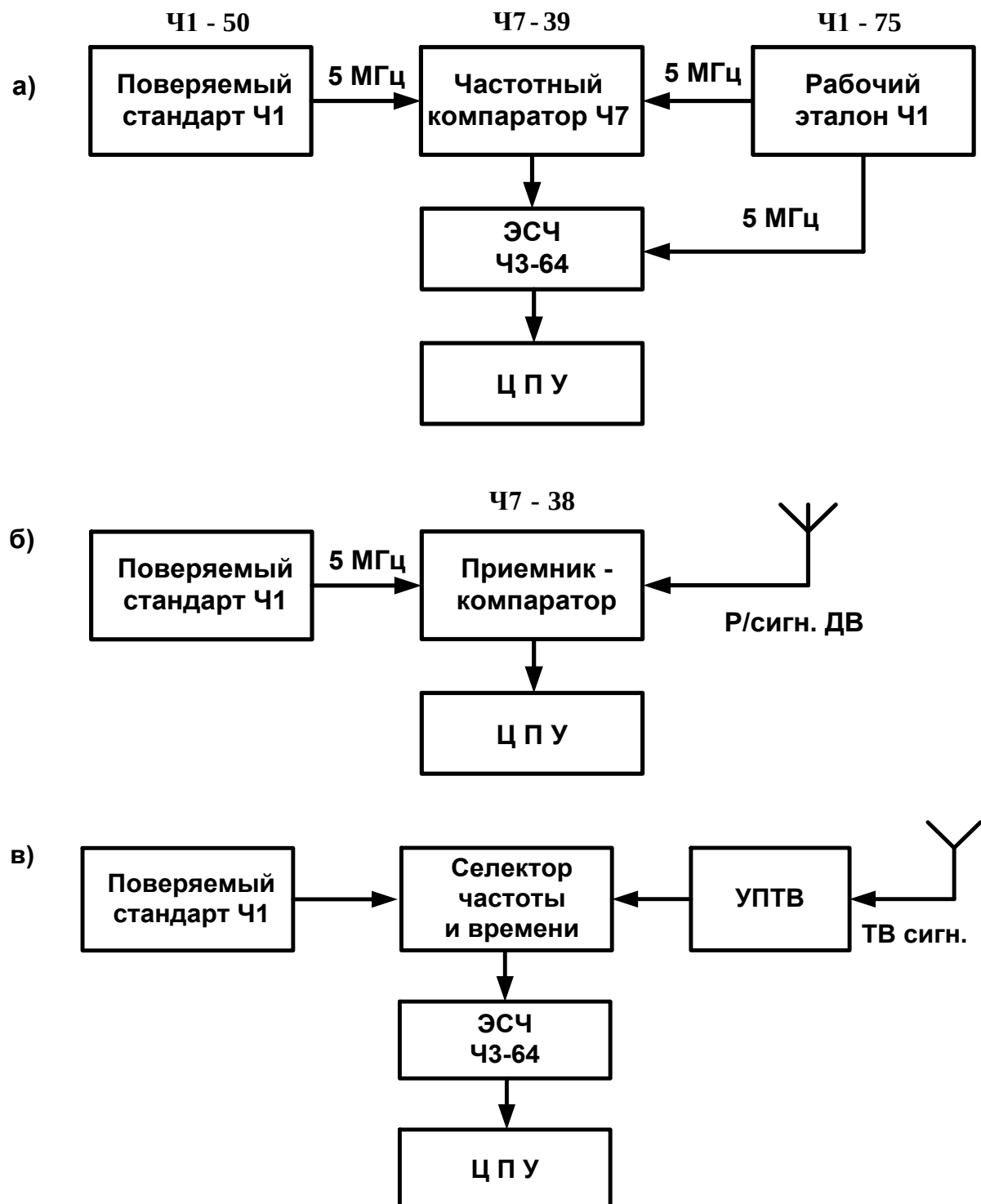


Рис. 2.16. Структурная схема поверки по частоте стандартов частоты и времени

а) при помощи стандарта частоты и частотного компаратора;

б) при помощи приемника – компаратора по эталонным сигналам, передаваемым по радиоканалам;

в) при помощи телевизионного приемника и селектора сигналов частоты и времени по телевизионному сигналу (6 строка).

2.4.3. Калибраторы осциллографов импульсные

Для поверки электронно-лучевых осциллографов (ЭЛО) типа С1 в качестве рабочих эталонов используются калибраторы осциллографов импульсные типа И1.

Такие калибраторы являются многофункциональными приборами, вырабатывающими сигналы калибровки осциллографов с частотным диапазоном до 350 МГц.

Упрощенная структурная схема прибора типа И1 представлена на рис. 2.17.

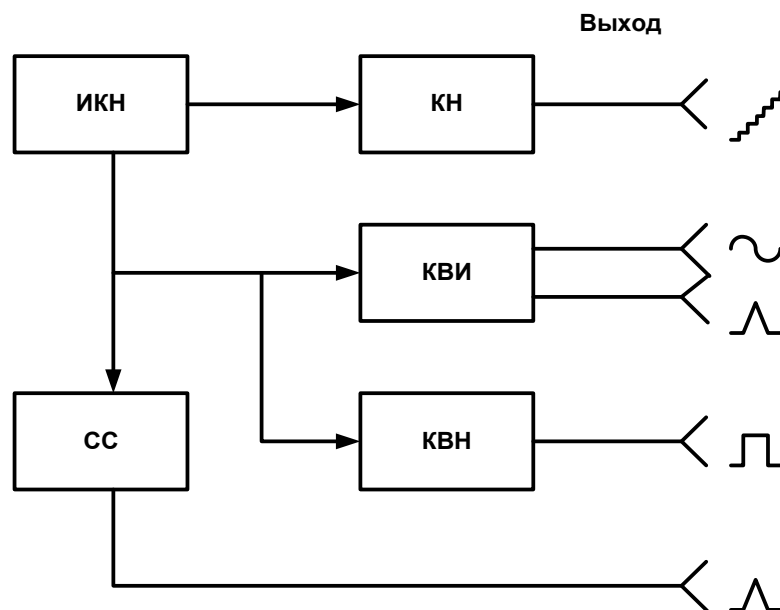


Рис. 2.17. Упрощенная структурная схема калибратора осциллографов типа И1

В состав прибора входят:

- источник калиброванных напряжений (ИКН);
- калибратор коэффициента отклонения канала вертикального отклонения ЭЛО – калибратор напряжения (КН);
- калибратор длительности разверток ЭЛО – калибратор временных интервалов (КВИ);
- калибратор переходной характеристики канала вертикального отклонения ЭЛО – калибратор времени нарастания (КВН);
- схема для проверки запуска схем синхронизации ЭЛО от сети – схема синхронизации (СС);
- блок питания.

Калибратор напряжения (КН) строится по принципу создания ряда дискретных значений напряжения методом деления напряжения от прецизионного высокостабильного источника калиброванных напряжений (ИКН), который может работать в режимах калибровки и девиации напряжения (режиме измерения погрешности калибровки КВО ЭЛО).

Калибратор временных интервалов (КВИ) генерирует сигналы с рядом дискретных значений длительности периода следования методом де-

ления и умножения высокостабильного задающего генератора, образуя сетку интервалов времени ступенями 1 – 2 – 5 в диапазоне от 10 нс до 10 с. Он может работать в режимах калибровки и девиации периода следования (режиме измерения погрешности калибровки длительности разверток КГО ЭЛО).

Калибратор времени нарастания (КВН) из сигнала задающего генератора формирует прямоугольный импульс с коротким фронтом ($\tau_{\phi} \leq 1 \text{ нс}$) и периодом следования от 1 мкс до 1 с. Также имеет режимы калибровки и девиации.

Полоса пропускания поверяемого осциллографа определяется формулой $f_{\phi} = \frac{0,35}{\tau_{\phi}}$.

Схема синхронизации (СС) обеспечивает выдачу сигнала синхронизации с частотой сети для проверки запуска схем синхронизации ЭЛО от сети.

Блок питания вырабатывает напряжения питания схем калибратора.

В настоящее время производятся приборы И1-9; И1-12; И1-14; И1-15; И1-16; И1-17; И1-18. Их поверка осуществляется в соответствии с методикой поверки, приведенной в техническом описании с периодичностью в 2 года.

2.5. ПОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Измерительные генераторы (ИГ) – источники электрических колебаний, параметры которых (частота, напряжение или мощность, коэффициент модуляции) могут регулироваться в некоторых пределах и отсчитываться с гарантированной для данного прибора точностью.

Согласно ГОСТ 15094-86 измерительные генераторы классифицируются по частоте и форме сигналов. Наиболее широкое распространение получили:

ГЗ- генераторы сигналов низкочастотные (20Гц – 300 кГц);

Г4 – генераторы сигналов высокочастотные (ВЧ 30 кГц – 50 МГц; УВЧ 50 МГц – 300 МГц; СВЧ 300 МГц – 100 ГГц);

Г5 – генераторы импульсов (1 кГц – 200 МГц).

К измерительным генераторам предъявляются следующие основные требования:

- 1) сохранение заданной формы генерируемых сигналов во всем диапазоне частот;
- 2) широкие пределы изменения амплитуды и частоты выходного сигнала;
- 3) постоянство выходного напряжения (мощности) при изменении частоты;
- 4) стабильность генерируемых частот;

5) высокая точность установки частоты и уровня выходного напряжения (мощности);

6) согласованность выхода генератора с нагрузкой.

Точности, с которыми отсчитываются параметры выходного сигнала, определяют метрологические характеристики ИГ. Основная приведенная погрешность, выраженная в процентах, численно равна классу точности ИГ по каждому параметру отдельно. Например: обозначение ($F_1U_5AM_{10}$) присваивается ИГ, который имеет наибольшие допустимые погрешности по частоте – 1%, по уровню выходного сигнала – 5% и по установке коэффициента амплитудной модуляции – 10%.

Основные погрешности ИГ, их составляющие и причины сведены в таблицу 2.5.

Таблица 2.5.

Основные погрешности	Составляющие и причины погрешности
1	2
Основная погрешность установки частоты сигнала	- неточность градуировки шкалы (из-за неточности нанесения рисок шкалы или числовых значений частоты и погрешности меры, по которой производилась градуировка); - наличие люфтов в механизмах установки частоты; - неточность совмещения риски шкалы с визиром; - уход и нестабильность параметров элементов задающего генератора.
Основная погрешность установки выходного напряжения (мощности)	- погрешность установки опорного уровня выходного напряжения; - погрешности аттенюатора.
Основная погрешность установки опорного уровня напряжения	- неточность градуировки шкалы отсчетного устройства; - частотная зависимость устройства установки опорного уровня выходного напряжения; - отклонение значения нагрузки, на которой производится градуировка, от реальной.
Основная погрешность ослабления аттенюатора	- неточность градуировки его шкалы; - зависимость ослабления аттенюатора от частоты сигнала; - отклонение сопротивления нагрузки от номинального.

Окончание таблицы 2.5

1	2
Искажения формы сигнала (коэффициент гармоник)	- неидеальность процессов формирования его; - возникновение нелинейных искажений в процессе усиления сигнала; - паразитная модуляция.
Нестабильность параметров сигнала (частоты, амплитуды и формы)	- нестационарность процессов в конструкции ИГ; - влияние внешних условий; - дрейф параметров элементов ИГ.

Отмеченные основные погрешности и их причины в значительной степени определяют выбор операций поверки ИГ, а также методы их выполнения.

Генераторы сигналов низкочастотные

Генераторы сигналов низкочастотные (ГЗ) являются источниками электрических синусоидальных колебаний на частотах от 20 Гц до 300 кГц. Модуляция сигналов по амплитуде, как правило, отсутствует. Выходное напряжение регулируется от долей милливольт до 5 В (реже – до 150 В). Выходная мощность при согласованной нагрузке достигает значений от 1 мВт до 10 Вт.

Обобщенная структурная схема генератора синусоидальных сигналов низкой частоты (ГНЧ) представлена на рис. 2.18. Схема ГНЧ содержит: задающий генератор (ЗГ), усилитель мощности (УМ), выходное устройство (Выход. У), измерительное устройство (ИУ).

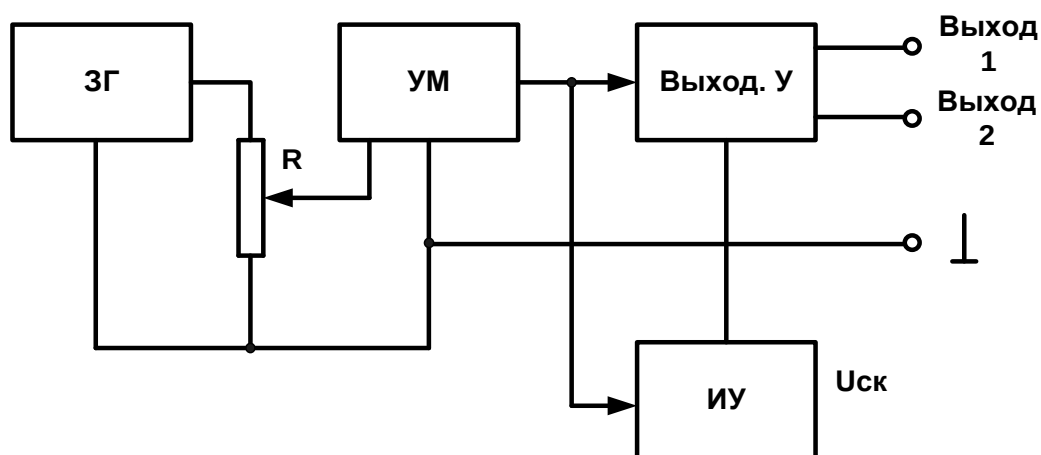


Рис. 2.18. Обобщенная структурная схема генератора сигналов низкой частоты

Поверка низкочастотных генераторов регламентируется ГОСТ 8.314-78 «ГСИ. Генераторы низкочастотные измерительные. Методы и средства поверки» и техническими описаниями конкретных ИГ.

Периодичность поверки ГНЧ, т.е. межповерочный интервал, обычно 3 года. По нормативам на поверку ГНЧ отводится в среднем 4 – 10 часов.

Операции поверки метрологических характеристик (МХ) ГНЧ, методы и средства поверки представлены в таблице 2.6.

Допускается применять для поверки и другие средства измерений, имеющие погрешность не более $1/3$ предела допускаемой погрешности поверяемого параметра генератора.

Поверка низкочастотных генераторов (ГЗ) регламентируется ГОСТ 8.314-78 «ГСИ. Генераторы низкочастотные измерительные. Методы и средства поверки» и техническими описаниями конкретных ИГ.

Таблица 2.6

Операции поверки МХ	Метод поверки	Ср-ства поверки
1	2	3
Погрешность установки частоты по шкале частот	Метод <u>прямых</u> измерений частоты ГНЧ электронно-счетным частотомером не менее чем в 5 числовых отметках каждого поддиапазона (в т.ч. начальная и конечная отметка каждого поддиапазона). Измерения проводят дважды: при подходе к поверяемой отметке со стороны меньших и больших значений. Для ГНЧ с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты основную погрешность определяют путем <u>сравнения</u> частоты ГНЧ с известной частотой, воспроизводимой стандартом частоты, на одной из частот диапазона. Отклонение частоты определяют с помощью <u>компаратора</u> .	ЧЗ-63 Ч7-12 Ч1-50 Ч7-12
Погрешность установки частоты по шкале интерполяции	На любой частоте диапазона частот ГНЧ прямым измерением частоты при помощи ЭСЧ на всех числовых отметках шкалы интерполяции.	ЧЗ-63
Нестабильность частоты	Определяют на частотах, указанных в НТД на конкретный ГНЧ, измерением её при помощи ЭСЧ или измерением отклонения частоты ГНЧ от эталонной, воспроизводимой стандартом частоты, при помощи частотного компаратора. Измерение проводят при включенной номинальной нагрузке в течение времени, указанном в НТД на поверяемой ГНЧ.	ЧЗ-63 Ч1-50 Ч7-12

Окончание таблицы 2.6

1	2	3
Погрешность установки выходного (опорного) напряжения	Определяют с помощью эталонного вольтметра на опорной частоте при номинальной нагрузке. Если в формуляре (ТО) не указано значение опорной частоты, то её выбирают из ряда 0,06; 0,4; 1; 10; 100; 200 кГц. У генераторов, имеющих в качестве измерительного устройства вольтметр со шкалой, погрешность определяют не менее чем в трех отметках шкалы на каждом поддиапазоне вольтметра на опорной частоте и отметке, соответствующей номинальному выходному напряжению, не менее чем на пяти других частотах диапазона, указанного в НТД на ГНЧ.	V3-59
Погрешность выходного аттенюатора	Определяют с помощью эталонного вольтметра путем измерения напряжения на выходе ГНЧ до введения аттенюатора и после его введения с последующим подсчетом коэффициента деления или методом замещения при помощи эталонного делителя напряжения. Коэффициент деления проверяют на всех числовых отметках при включенной номинальной нагрузке на опорной частоте и на крайних частотах диапазона. В технически обоснованных случаях допускается проводить поверку только на максимальной частоте.	V3-59
Коэффициент гармоник выходного напряжения	Определяют при номинальных значениях выходного напряжения и нагрузки на опорной частоте и пяти других частотах, включая начало и конец диапазона. При измерении используют измеритель нелинейных искажений, анализатор спектра или селективный вольтметр. Для определения коэффициентов гармоник менее 0,05% используют набор режекторных (заграждающих) фильтров. (рис. 2.19).	C6-11 B6-10 C1-92 C4-48

В соответствии с этими нормативными документами при проведении поверки низкочастотных генераторов определяют:

- погрешность установки частоты по шкале частот;
- погрешность установки частоты по шкале интерполяции;
- нестабильность частоты;
- погрешность установки опорного уровня выходного напряжения;
- погрешность выходного аттенюатора;
- коэффициент гармоник выходного напряжения.

При проведении поверки ГНЧ могут быть использованы следующие *средства измерений*: стандарт частоты Ч1, частотный компаратор Ч7, электронно-счетный частотомер Ч3, электронные вольтметры В3, эталонный аттенюатор Д1, измеритель нелинейных искажений С6, анализатор спектра С4, вольтметр селективный В6, набор режекторных фильтров.

На рисунке 2.19 приведена схема измерения малых значений (менее 0,05%) коэффициентов гармоник выходного напряжения низкочастотного генератора.

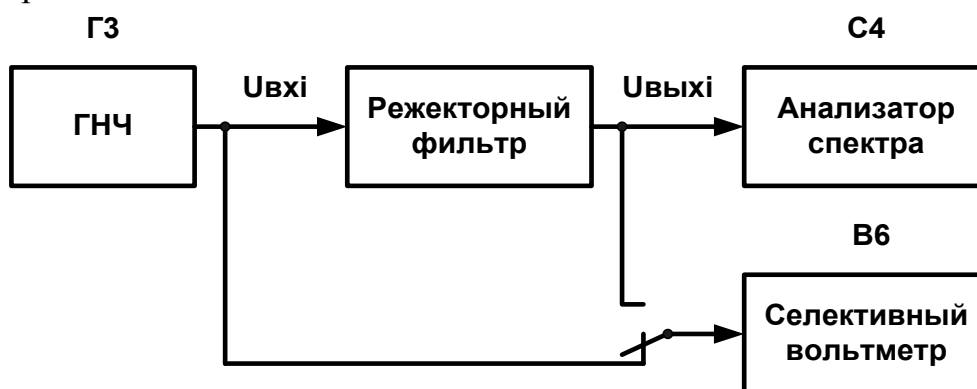


Рис. 2.19. Структурная схема измерения малых значений коэффициентов гармоник выходного напряжения генератора

Генераторы сигналов высокочастотные

Измерительные генераторы высокочастотных сигналов (Г4) составляют большую группу источников гармонических – немодулированных или модулированных электрических колебаний в диапазоне свыше 30 кГц, параметры которых изменяются в широких пределах и фиксируются с нормированной погрешностью.

Генераторы этого вида делят на три подгруппы:

1. Генераторы высоких частот ГВЧ (30 кГц – 50 МГц).
2. Генераторы очень высоких частот ГОВЧ (30 МГц – 300 МГц).
3. Генераторы сверхвысоких частот ГСВЧ (300 МГц – 80 ГГц).

Генераторы отличаются: диапазоном генерируемых частот, типом задающего генератора, видами модуляции, типом выхода, способом настройки и возможностями измерительных устройств.

Упрощенная структурная схема генератора сигналов высокой частоты представлена на рисунке 2.20.

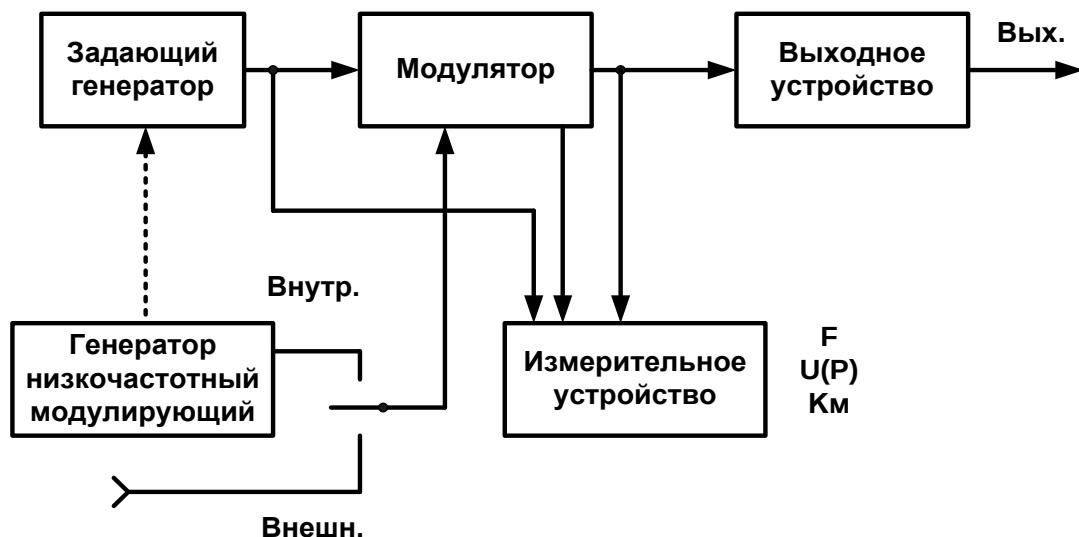


Рис. 2.20. Упрощенная структурная схема генератора сигналов высокой частоты

Задающий генератор должен обеспечить стабильность частоты и формы сигналов. Генератор модулирующий совместно с модулятором обеспечивает режим внутренней модуляции. Предусматривается и режим внешней модуляции. Выходное устройство обычно содержит калиброванные аттенюаторы и предназначено для изменения уровня выходного сигнала. Измерительное устройство обеспечивает контроль и измерение параметров выходного сигнала (частоты, амплитуды, коэффициента модуляции). Современные генераторы снабжаются также стандартными интерфейсами.

У ГВЧ и ГОВЧ задающий генератор строится как LC – генератор, а у ГСВЧ его выполняют на клистронах, диодах Ганна или лампах бегущей волны.

Составляющие основных погрешностей установки частоты и выходного уровня напряжения, а также их причины у ГВЧ аналогичны тем, которые были указаны для ГНЧ. К причинам, вызывающим искажения формы сигнала, кроме указанных для ГНЧ, добавляются: искажения сигнала в модуляторе; неточность градуировки шкалы аттенюатора, по которой устанавливается глубина модуляции; отклонение частоты внутреннего модулирующего генератора.

Поверка генераторов высоких частот

Поверка ГВЧ регламентируется ГОСТ 16863-71 «Генераторы измерительные диапазона частот 0,1...35 МГц. Методы и средства поверки».

В соответствии со стандартом при поверке ГВЧ определяют: погрешность установки частоты; кратковременную нестабильность частоты; погрешность встроенного в генератор измерительного устройства; погрешность опорного уровня выходного напряжения; кратковременную не-

стабильность выходного напряжения; погрешность установленного ослабления аттенюатора; погрешность частоты внутреннего модулирующего генератора; погрешность установки коэффициента глубины модуляции; коэффициенты второй и третьей гармоник выходного напряжения в режиме непрерывной генерации.

При проведении поверки ГВЧ могут быть использованы следующие средства измерений: электронно-счетный частотомер ЧЗ; стандарт частоты Ч1; частотный компаратор Ч7; вольтметр ВЗ; измерители ослабления сигнала Д1; измерители модуляции С2 и СКЗ; вольтметры селективные В6.

На проведение поверки ГВЧ отводится от 6 до 10 часов.

Погрешность установки частоты определяют в режиме непрерывной генерации методом прямых измерений частоты сигнала генератора с помощью частотомера на крайних и средних частотах каждого поддиапазона генератора.

Кратковременную нестабильность частоты определяют после самопрогрева генератора на средней частоте каждого поддиапазона, контролируя частоту при помощи частотомера в течение времени, указанного в ТО на генератор. За этот промежуток времени определяют наибольшее и наименьшее значения частоты, по которым вычисляют нестабильность частоты.

Погрешность вольтметра определяют только для генераторов, имеющих встроенный вольтметр с нормированной погрешностью измерения. Определение погрешности вольтметра производится методом сравнения показаний поверяемого и эталонного вольтметров на частотах и в числовых отметках шкалы, указанных в ТО.

Погрешность установки опорного уровня выходного напряжения определяют с помощью эталонного вольтметра, подключенного к калиброванному выходу генератора. Измерения производят на 4-5 частотах, равномерно расположенных по диапазону генератора, включая крайние частоты. При измерении опорного напряжения генератор должен быть нагружен на номинальную нагрузку.

Кратковременную нестабильность выходного напряжения определяют с помощью эталонного вольтметра путем измерения выходного напряжения в течение определенного промежутка времени. Измерения проводят после самопрогрева генератора на частотах и в течение промежутка времени, указанных в ТО, при уровне выходного напряжения, равном номинальному опорному значению. За этот промежуток времени определяют наибольшее и наименьшее значения напряжений, по которым вычисляют нестабильность.

Погрешность установленного ослабления аттенюатора определяют с помощью эталонного измерителя ослабления типа Д1 на всех числовых отметках его шкалы при 4-5 частотах, расположенных равномерно по диапазону генератора, включая крайние частоты.

Погрешность частоты внутреннего модулирующего генератора определяется прямым измерением частоты модулятора с помощью частотомера.

Погрешность установки коэффициента глубины амплитудной модуляции определяется методом сравнения показаний отсчетного устройства установки глубины модуляции поверяемого генератора с показаниями эталонного модулометра С2. Измерения проводят в 4-5 числовых отметках отсчетного устройства установки глубины модуляции при 3-4 значениях несущей частоты, указанных в ТО.

Коэффициенты 2-й и 3-й гармоник выходного сигнала определяют в режиме непрерывной генерации при номинальной нагрузке генератора с помощью селективных микровольтметров путем измерения напряжения соответствующих гармоник. Измерения проводят на средней частоте каждого поддиапазона генератора при номинальном уровне опорного выходного напряжения.

Коэффициент 2-й и 3-й гармоник (в %) определяют по формулам:

$$K_2 = \frac{U_2}{U_1} 100\% \quad \text{и} \quad K_3 = \frac{U_3}{U_1} 100\%,$$

где U_1, U_2, U_3 - напряжения первой, второй и третьей гармоник выходного сигнала.

Поверка генераторов сверхвысоких частот

Измерительные генераторы сверхвысоких частот (ГСВЧ) по типу выходного разъема делятся на генераторы с коаксиальным и волноводным выходами. Частотная граница этих двух групп генераторов находится в диапазоне 7-18 ГГц.

В связи с тем, что в ГСВЧ имеются частотная и импульсная модуляции, у них появляются дополнительные погрешности установки девиации частоты и длительности импульса, а также искажения его формы в процессе модуляции. Кроме того, режимы модуляции могут сопровождаться возникновением паразитных модуляций. Рассогласование же генератора и нагрузки приводит к появлению ложных сигналов, затягиванию частоты и иногда к срыву колебаний. Поэтому в ГСВЧ дополнительным нормируемым параметром является коэффициент стоячей волны выхода генератора, который характеризует отклонение действительного значения выходного сопротивления от номинального.

В соответствии с требованиями ГОСТ 8.322-78 «ГСИ. Генераторы сигналов измерительные. Методы и средства поверки в диапазоне частот 0,03 ... 17,44 ГГц» при периодической поверке ГСВЧ определяют: погрешность установки частоты; максимальный уровень и пределы регулировки уровня сигнала на некалиброванном выходе генератора; погрешность установки опорного уровня сигнала на калиброванном выходе; погреш-

ность установки ослабления аттенюатора; параметры генератора в режиме импульсной модуляции (РМ-параметры); коэффициент гармоник формы огибающей выходного сигнала при работе генератора в режиме амплитудной синусоидальной модуляции; погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции; погрешность установки девиации частоты в режиме частотной синусоидальной модуляции.

Первичная поверка ГСВЧ дополнительно включает в себя определение: нестабильности частоты сигнала; погрешности модулирующей частоты в режиме внутренней амплитудной модуляции; дополнительной погрешности установки коэффициента амплитудной модуляции в диапазоне модулирующих частот: паразитной девиации частоты амплитудно-модулированного сигнала; коэффициента гармоник формы огибающей выходного сигнала в режиме частотной синусоидальной модуляции; напряжения внешнего модулирующего сигнала, необходимого для обеспечения максимального значения девиации частоты; дополнительной погрешности установки девиации частоты в диапазоне модулирующих частот; паразитной амплитудной модуляции частотно-модулированного сигнала; коэффициента стоячей волны по напряжению выхода генератора; нестабильности уровня выходного сигнала.

При проведении поверки ГСВЧ могут быть использованы следующие *средства измерений*: ЭСЧ типа ЧЗ с блоками ЯЗЧ и преобразователем Ч5; термисторный микроваттметр поглощаемой мощности МЗ с комплектом термисторных преобразователей М5; установки для поверки аттенюаторов типа Д1 или ДК-1; ЭЛО С1; генератор импульсов Г5, измерительные аттенюаторы ДЗ, измеритель коэффициента амплитудной модуляции С2; измерители модуляции СКЗ; измерители нелинейных искажений С6.

Погрешность установки частоты определяют в режиме непрерывной генерации путем прямого измерения частоты сигнала поверяемого ГСВЧ с помощью частотомера. Измерения проводят не менее чем на трех частотах каждого поддиапазона и не менее чем на пяти частотах для генераторов с одним диапазоном на числовых отметках, равномерно расположенных по всему диапазону генератора, включая крайние частоты.

Максимальный уровень сигнала на некалиброванном выходе генератора определяют с помощью ваттметра, подключенного непосредственно к выходу генератора. Измерения проводят в следующей последовательности: переключатель «Род работы» ставят в положение, при котором происходит генерирование непрерывных колебаний; устанавливают максимальный уровень сигнала на выходе генератора; генератор перестраивают на всем частотном диапазоне, а уровень сигнала контролируют ваттметром; на частотах, где сигнал имеет максимальный уровень, измеряют его значение.

Определение пределов регулировки уровня сигнала проводят (рис. 2.21) в режиме непрерывной генерации на крайних частотах диапазона генератора. Органы регулировки уровня ставят в положение, соответ-

ствующее минимальной мощности ГСВЧ, а измерительный аттенюатор типа ДЗ – в положение минимального ослабления A_1 (дБ) и отмечают показание индикатора. Затем вводят максимальное ослабление аттенюатора, и органы регулировки уровня ставят в положение, соответствующее максимальной мощности ГСВЧ. Изменяя ослабление аттенюатора, указатель индикатора приводят в первоначальное положение и отмечают показания аттенюатора A_2 (дБ). Пределы регулировки уровня сигнала генератора определяют как разность ($A_2 - A_1$).

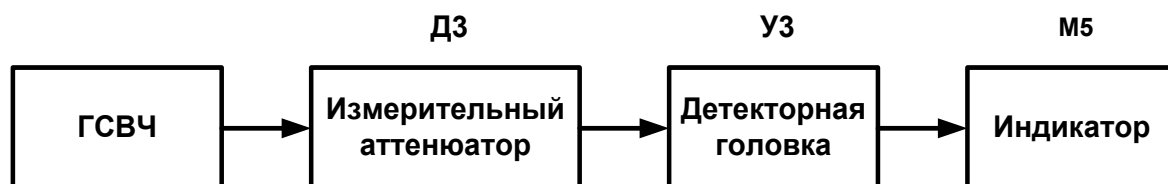


Рис. 2.21. Структурная схема установки для определения пределов регулировки уровня сигнала

Погрешность установки опорного уровня мощности определяют с помощью эталонного ваттметра, подключенного к калиброванному выходу ГСВЧ. Измерения проводят на крайних частотах диапазона генератора.

Погрешность установки ослабления аттенюатора определяют с помощью установок для поверки аттенюаторов типа Д1 (ДК1) на крайних частотах диапазона генератора. Ослабление измеряют относительно начальной числовой отметки, соответствующей опорному значению уровня сигнала генератора. Погрешность установки ослабления определяют для отметок шкалы, кратных десятичному множителю. Для ГСВЧ, содержащих несколько плавных или ступенчатых аттенюаторов, погрешность установки ослабления определяют для каждого аттенюатора в отдельности.

Определение параметров ГСВЧ при работе в режиме импульсной модуляции (РМ-параметров) проводят по структурной схеме, изображенной на рис. 2.22.

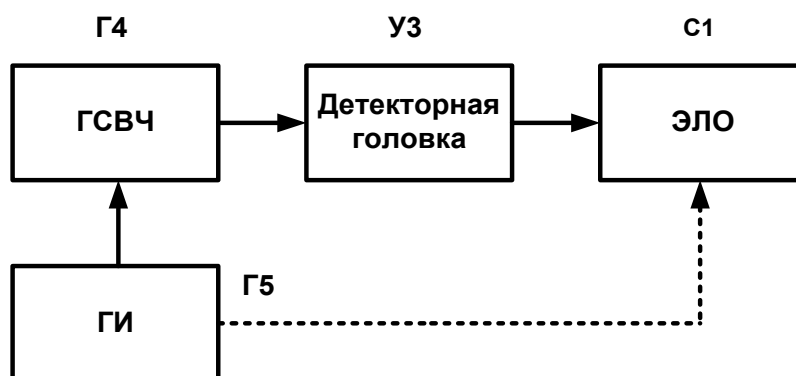


Рис. 2.22. Структурная схема установки для определения РМ-параметров ГСВЧ

При определении РМ-параметров измеряют погрешность установки длительности импульсов и отклонение длительности выходных импульсов относительно модулирующих при внешней модуляции и параметры формы выходных импульсов относительно модулирующих при внешней модуляции и параметры формы выходных импульсов (длительность нарастания и спада, неравномерность вершины импульса).

Измерения проводят с помощью осциллографа. Вначале сигнал от генератора импульсов (ГИ) подают на ЭЛО и измеряют длительность модулирующего импульса $\tau_{и.мод.}$. Затем сигнал от генератора импульсов подают на вход внешней модуляции поверяемого ГСВЧ, а на вход ЭЛО – продетектированный радиоимпульс с выхода ГСВЧ и измеряют его длительность $\tau_{и.дет.}$, время нарастания и спада, неравномерность вершины импульса.

Отклонение длительности выходных импульсов измеряют на трех частотах (крайних и средней) диапазона (поддиапазона) ГСВЧ на уровне 0,5 амплитуды импульсов при максимальном и минимальном значениях их длительности. Отклонение длительности выходных импульсов относительно модулирующих определяют по формуле

$$\Delta\tau_{и} = \tau_{и.мод.} - \tau_{и.дет.}$$

Время нарастания и спада импульсов измеряют между уровнями 0,1 и 0,9 амплитуды импульсов при максимальном и минимальном значениях длительности импульсов на одной частоте диапазона (поддиапазона) генератора. Неравномерность вершины импульса (в %)

$$\Delta U_{и} = 2 \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} 100\%$$

где $A_{\max}$ и $A_{\min}$ - максимальное и минимальное значения напряжения вершины импульса на экране ЭЛО, мм.

Коэффициент гармоник формы огибающей выходного сигнала при работе ГСВЧ в режиме амплитудной синусоидальной модуляции определяют с помощью измерителя коэффициента амплитудной модуляции (модулометра) типа С2 и измерителя нелинейных искажений типа С6. К выходу ГСВЧ подключают модулометр с нормированным вносимым коэффициентом гармоник огибающей $K_{г.вн.}$. К гнезду «Выход НЧ» модулометра подключают измеритель нелинейных искажений, который непосредственно измеряет коэффициент гармоник огибающей $K_{г.}$. Коэффициент $K_{г.вн.}$ используемого модулометра должен быть, по крайней мере, в 3 раза меньше допускаемого значения коэффициента гармоник огибающей сигнала поверяемого генератора.

Коэффициент гармоник формы огибающей модулированного сигнала измеряют при работе ГСВЧ в режиме внешней и внутренней модуляции при коэффициентах амплитудной модуляции, указанных в ТО, на трех

значениях несущих частот и на трех модулирующих частотах (крайних и средней).

Погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции определяют при помощи эталонного измерителя коэффициента амплитудной модуляции типа С2. Измерения проводят в режиме внутренней модуляции на частоте 1000 Гц на трех несущих частотах диапазона генератора (крайних и средней) в трех числовых отметках шкалы модулометра (на краях и в середине шкалы).

Погрешность установки девиации частоты определяют с помощью эталонного измерителя модуляции при работе ГСВЧ в режиме внутренней частотной модуляции на частоте 1000 Гц на трех несущих частотах диапазона (крайних и средней) при уровне выходного сигнала, близком к опорному значению. Погрешность установки девиации определяют на всех пределах измерения встроенного в генератор устройства для отсчета девиации при трех значениях девиации (двух крайних и одной средней) на каждом пределе.

Генераторы импульсных сигналов

Измерительные генераторы импульсов (ГИ) являются источниками импульсных сигналов, которые могут различаться по форме, длительности, полярности, амплитуде, периоду повторения и т.д.

Генераторы прямоугольных импульсов (Г5) являются источниками одиночных, парных или периодических видеоимпульсных сигналов, параметры которых устанавливаются с заданной точностью.

Импульс считается прямоугольным (рис. 2. 23), если длительность фронта τ_ϕ и длительность среза τ_c меньше $0,3\tau$ - длительности импульса.

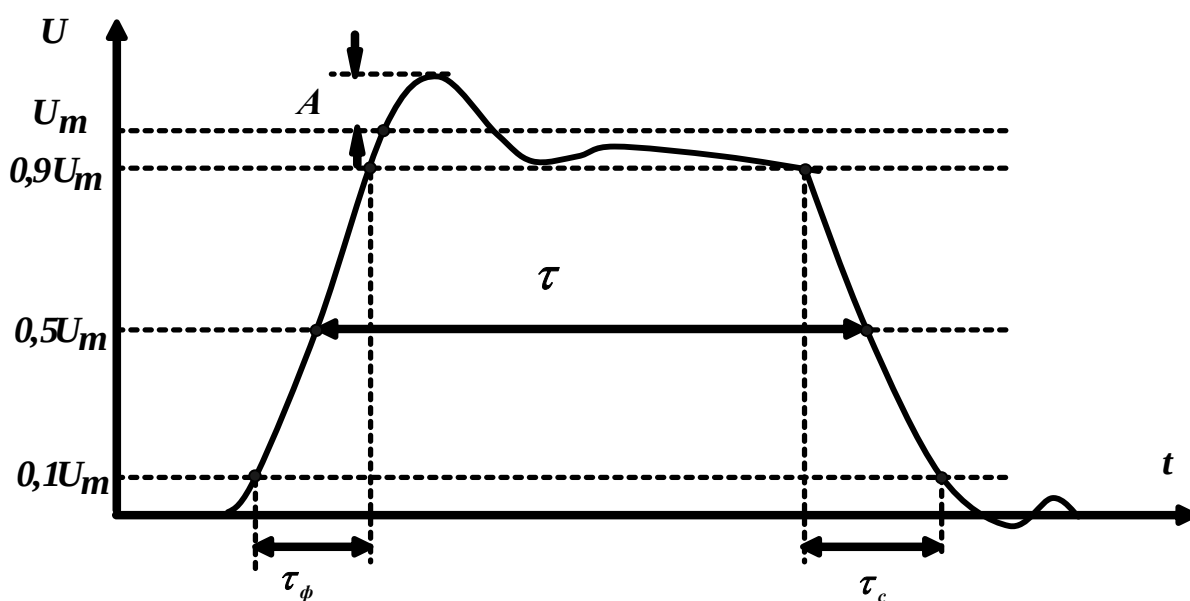


Рис. 2.23. Осциллограмма прямоугольного импульса

При этом τ_ϕ и τ_c определяются на интервале от $0,1U$ до $0,9U$, а τ определяется на уровне $0,5U$, где U – амплитуда импульса.

Для ГИ предусмотрена система параметров и погрешностей их установки:

- параметры амплитуды выходного импульса (U -параметры);
- параметры длительности импульса (t -параметры);
- параметры частоты повторения импульсов (F -параметры);
- параметры задержки выходного импульса относительно импульса синхронизации (D -параметры);
- одинаковая погрешность всех параметров (O -параметр).

Класс точности относится к одному параметру и определяет предел допускаемой основной относительной погрешности по этому параметру (например, $t_{0,1}F_1U_{10}D_{10}$), а при одинаковых значениях ГИ имеет обозначение класса точности O_N .

Обобщенная структурная схема одноканального генератора прямоугольных импульсов приведена на рис. 2.24.

Основным элементом ГИ является задающий генератор (ЗГ), который может работать либо в автоколебательном режиме с частотой повторения F (режим внутреннего запуска), либо в режиме внешнего запуска через устройство синхронизации (УС). Сигнал от ЗГ подается на формирователь синхроимпульсов (ФСИ) и схему задержки (Сх.З) выходного сигнала относительно синхроимпульсов с ФСИ. Формирователь длительности (ФД) обеспечивает формирование импульсов определенной формы и длительности. Выходное устройство (Вых. У) обеспечивает необходимый уровень U_m сигнала и фазоинверсный элемент для изменения полярности выходных импульсов. Делитель (Д) обеспечивает заданное ослабление выходного сигнала, а измерительное устройство (ИУ), если оно предусмотрено, чаще всего это пиковый вольтметр, отображает амплитудное значение напряжения импульса на входе делителя.

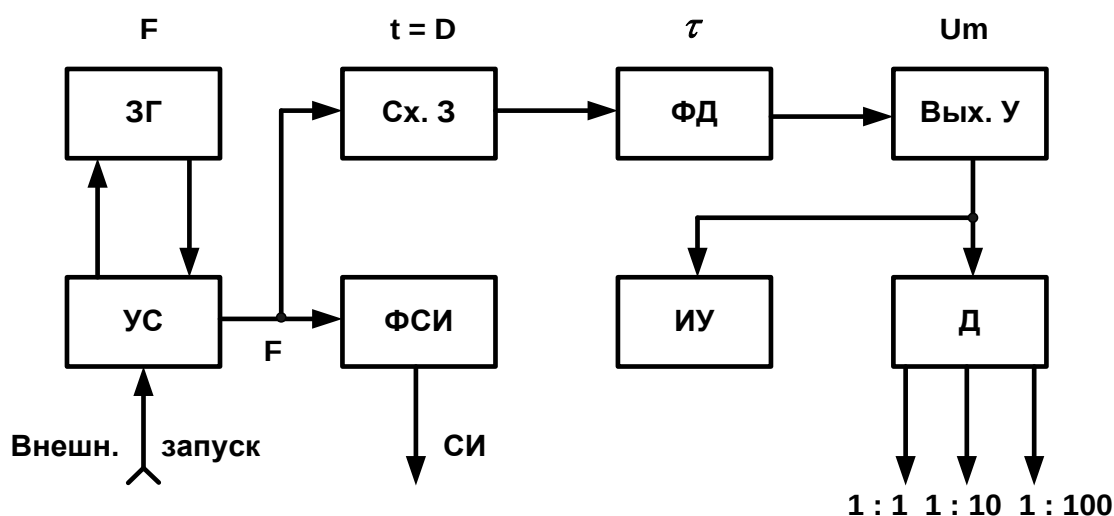


Рис. 2.24. Обобщенная структурная схема генератора прямоугольных импульсов

Диапазон основных технических характеристик ИГ:
Длительность импульсов τ - от долей наносекунд до единиц секунд;
Частота повторения F – от сотых долей Гц до сотен МГц;
Амплитуда импульса U_m – от долей вольта до десятков вольт;
Ослабление сигнала до 40 – 50 дБ;
Выходное сопротивление может составлять 50, 75, 500 и 1000 Ом;
Погрешность установки параметров импульсов до 10 %.

Поверка генераторов импульсов

В соответствии с требованиями ГОСТ 8.206-76 «ГСИ. Генераторы импульсов измерительные. Методы и средства поверки» при поверке генераторов импульсов определяют: погрешность установки частоты (периода) повторения импульсов; погрешность установки длительности импульсов; параметры искажений (длительность фронта и среза, выбросы на вершине и в паузе, неравномерность вершины основных импульсов); погрешность установки временного сдвига; погрешность установки амплитуды импульсов.

На поверку ГИ отводится от 6 до 8 часов.

Для проведения поверки импульсных генераторов рекомендуются следующие средства измерений: электронно-лучевой осциллограф типа С1; электронно-счетный частотомер типа ЧЗ; универсальный вольтметр типа В7; генератор сигналов высоких частот типа Г4.

Погрешность установки частоты (периода) повторения импульсов определяется методом прямого измерения с помощью ЭСЧ типа ЧЗ не менее чем в трех числовых отметках шкалы каждого поддиапазона многодиапазонных генераторов и не менее чем в пяти – однодиапазонных генераторов (включая две конечные отметки).

Погрешность установки длительности импульсов определяется путем измерения длительности импульсов либо с помощью ЭСЧ, либо с помощью ЭЛО, либо (при τ менее 10 нс) методом сравнения измеряемой длительности с периодом гармонического сигнала эталонного ГВЧ на экране ЭЛТ двухканального стробоскопического осциллографа С7. Погрешность установки длительности импульсов определяют не менее чем в трех числовых отметках шкалы каждого поддиапазона многодиапазонных ГИ, не менее чем в пяти отметках – однодиапазонных генераторов (включая две конечные отметки). Для ГИ с фиксированными значениями длительности импульсов погрешность установки определяют для каждого фиксированного значения длительности.

Погрешность установки длительности импульсов определяют при двух значениях их амплитуды – максимальной и минимальной для импульсов обеих полярностей и для двух значений частоты повторения – минимальной и максимальной (с учетом допускаемой скважности).

Параметры искажений (длительность фронта и среза, выброс на вершине и в паузе, неравномерность и наклон вершины) основных импульсов ГИ определяют методом прямых измерений с помощью ЭЛО. При этом к ЭЛО предъявляются следующие требования: время нарастания переходной характеристики не должно превышать $1/3$ длительности фронта исследуемого импульса при значении выброса на переходной характеристике, не превышающем значения выброса на вершине исследуемого импульса; неравномерность вершины переходной характеристики не должна превышать неравномерности вершины исследуемых импульсов.

Параметры искажений (за исключением наклона вершины) определяют для наибольшего значения длительности в каждом поддиапазоне для двух значений амплитуды – максимальной и минимальной. Частота повторения импульсов должна быть максимально допускаемой для установленного значения длительности импульсов (с допускаемой скважностью). Измерения всех параметров искажений производятся для импульсов обеих полярностей.

Определение погрешности установки временного сдвига основных импульсов относительно импульсов синхронизации производят одним из методов, описанных в операции «Определение погрешности установки длительности импульсов». При этом для использования осциллографического метода необходим двухканальный осциллограф, позволяющий одновременное наблюдение обеих последовательностей импульсов. Отсчет ведется в единицах длины между фронтами импульсов на уровне 0,5 амплитуды.

Погрешность установки временного сдвига определяют не менее чем в трех числовых отметках шкалы каждого поддиапазона многодиапазонных ГИ и не менее чем в пяти отметках шкалы ГИ с одним диапазоном (включая две конечные отметки). При фиксированных значениях временного сдвига погрешность определяют для каждого значения.

Измерение временного сдвига производится для двух устанавливаемых значений амплитуды – максимальной и минимальной; длительность импульсов должна быть минимальной.

Погрешность установки амплитуды импульсов определяют методом прямых измерений при помощи ЭЛО с калиброванным коэффициентом отклонения или с помощью ЭЛО с использованием метода сравнения измеряемой амплитуды импульса с амплитудой сигнала калибратора, а также с помощью вольтметров, предназначенных для измерения импульсных напряжений.

Погрешность установки амплитуды импульсов определяют не менее чем в трех числовых отметках шкалы каждого поддиапазона, включая отметку наибольшего (номинального) значения амплитуды и двух отметок на выбор. Измерения производят не менее чем для двух значений длительности, в том числе наименьшего, для импульсов обеих полярностей. Частота

повторения импульсов должна быть наибольшей допустимой для установленной длительности импульсов.

2.6. ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНЫХ ЧАСТОТОМЕРОВ

Метод дискретного счета сочетает высокую точность, широкодиапазонность и простоту процесса измерения, достигаемую за счет автоматизации. Приборы для измерения частоты и временных интервалов, использующие метод дискретного счета, получили название *электронно-счетных частотомеров (ЭСЧ)*.

Принцип действия ЭСЧ следует из самого определения частоты, как числа периодов колебаний за одну секунду. Схемотехнической основой таких приборов являются счетчики электрических импульсов. Гармонический сигнал с частотой f_x преобразуется в последовательность импульсов той же частоты. Затем подсчитывается число этих импульсов N за калиброванный отрезок времени $T_{сч}$, что позволяет определить значение измеряемой частоты $f_x = N/T_{сч}$.

Упрощенная структурная схема ЭСЧ, реализующего этот принцип, изображена на рисунке 2.25 (режим измерения частоты).

Периодический сигнал с неизвестной частотой f_x через входное устройство Вх.У поступает на формирующее устройство ФУ, задачей которого является формирование из входного сигнала последовательности коротких однополярных импульсов с частотой повторения, равной частоте входного сигнала f_x . Эти импульсы поступают на вход временного селектора ВС, представляющего собой ключевую схему. Управление временным селектором осуществляется отпирающим импульсом определенной длительности. При измерении частоты длительность импульса, отпирающего селектор (временная база), определяется временным интервалом между двумя последовательными импульсами с кварцевого генератора Кв.Г. Частота следования этих импульсов, снимаемых с одного из входящих в состав ЭСЧ делителей частоты ДЧ, синхронизирована кварцем, вследствие чего и временная база задается с высокой точностью. Это определяет высокую точность измерения частоты.

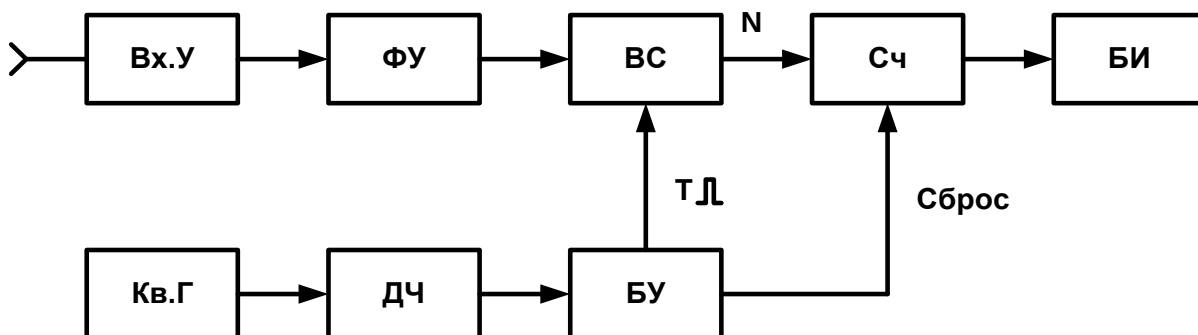


Рис.2.25. Структурная схема ЭСЧ в режиме измерения частоты

Импульсы, прошедшие временной селектор, подсчитываются декадным электронным счетчиком Сч. Так как обычно длительность временной базы выбирается равной 10^n с, где $n=0, \pm 1, \dots$, то на блоке индикации БИ по окончании цикла измерений может быть непосредственно отсчитано значение частоты.

Перед началом нового цикла измерений необходимо подготовить счетчик, сбросив показания прошлого цикла. Эту функцию выполняет цепь сброса показаний, обеспечивающая установку на ноль счетчика и срабатывающая от фронта импульса блока управления БУ.

С увеличением времени измерения как абсолютная, так и относительная погрешности уменьшаются и при неизменном значении измеряемой частоты величина их может быть доведена до значения, определяемого относительной погрешностью кварцевого генератора. Однако на низких частотах уменьшение погрешности приводит к чрезмерно большому увеличению времени измерения. На низких частотах сильно сказывается погрешность единицы счета, она является в этом случае основной. Для увеличения точности измерений на низких частотах можно использовать умножение измеряемой частоты, но это требует использования дополнительного оборудования. Поэтому в современных частотомерах для повышения точности измерения на низких частотах переходят от измерения частоты к измерению периода низкочастотного сигнала. Упрощенная структурная схема измерителя в таком случае имеет вид, показанный на рисунке 2.26.

Измеряемый сигнал через ВхУ и ФУ подается на вход БУ. Таким образом, длительность стробирующего импульса в данном случае определяется измеряемым периодом. На счетный вход ВС подаются импульсы, полученные из сигнала КвГ, который в этом случае используется в качестве генератора меток времени. В результате электронный счетчик считает количество импульсов N с частотой $f_{кв}$ (или кратной ей), поступающих на его вход за один период исследуемого сигнала. Отсюда $T_x = N/f_{кв} = NT_{кв}$.

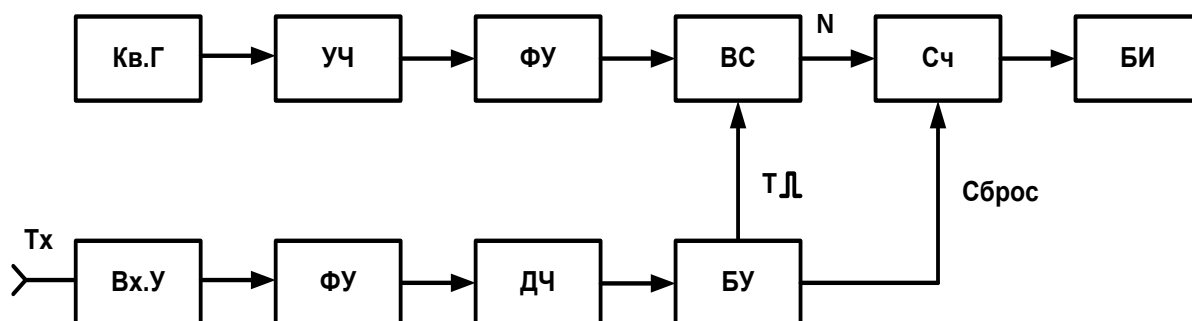


Рис. 2.26 Структурная схема ЭСЧ в режиме измерения периода

При высокой частоте $f_{кв}$ погрешность дискретности может быть сделана достаточно малой, что и определяет высокую точность измерений. Дальнейшее повышение точности может быть достигнуто измерением не-

скольких (обычно кратных десяти) периодов, для чего импульсы с выхода ФУ подаются на БУ не непосредственно, а через декадный делитель частоты ДЧ, например, с коэффициентом деления равным 10. Результат измерения получается путем усреднения:

$$T_x = N/10 f_{кв},$$

за счет чего повышается точность измерений.

Применение умножителей частоты УЧ, включенных между КГ и ФУ, позволяет, с одной стороны, также повысить точность измерений, с другой – расширить границы измеряемых временных интервалов в сторону более коротких интервалов.

Методика, используемая в ЭСЧ для измерения периода сигнала, позволяет существенно расширить возможности этих приборов и использовать их для измерения других временных интервалов: длительности импульсов, интервалы между двумя импульсами одного источника и между двумя импульсами, поступающими от двух источников. Для осуществления этих измерений узлы частотомера переключаются таким образом, чтобы обеспечить формирование соответствующей временной базы.

ЭСЧ позволяют измерять также отношение двух частот. Для этого более низкая частота f_2 подается на вход T_x и ее период образует временную базу. Более высокая частота f_1 подается на вход f_x и является источником счетных импульсов. Показания частотомера в этом случае непосредственно соответствует отношению f_1/f_2 .

Наличие в приборе высокостабильного кварцевого генератора позволяет использовать его в качестве источника стабильных частот и, кроме того, осуществлять эффективный самоконтроль. В режиме самоконтроля частотомер измеряет частоту собственного кварцевого генератора. Таким образом обеспечивается контроль правильности функционирования всех узлов частотомера и высокая метрологическая надежность сравнительно сложного прибора.

Расширение рабочего диапазона частот ЭСЧ достигается путем использования делителей, преобразователей и переносчиков частоты.

При оценке погрешности измерения ЭСЧ выделяют погрешности измерения частоты и погрешности измерения периода.

Составляющие погрешности измерения частоты можно представить тремя группами :

- погрешности, обусловленные мерой частоты;
- погрешности сравнения меры с измеряемым значением частоты;
- погрешности формирования счетных импульсов и счетного интервала времени.

Мерой частоты в схемах ЭСЧ является частота опорного кварцевого генератора. Путем ее деления формируется необходимая длительность счетного интервала времени. Поэтому относительная погрешность частоты (нестабильность) генератора вызывает такую же по значению относитель-

ную погрешность формирования длительности счетного интервала, а следовательно, и равную ей составляющую погрешности измерения частоты.

Погрешность формирования счетного интервала, которая может быть результатом нестабильности запуска схемы формирования, в ЭСЧ удастся сделать пренебрежимо малой и ее практически не учитывают. Также пренебрежимо малой оказывается и погрешность формирования счетных импульсов, частота их следования с высокой точностью соответствует значению измеряемой частоты.

Характерной составляющей погрешности измерения частоты является погрешность сравнения, обусловленная дискретностью отсчета импульсов на интервале времени.

Погрешность измерения частоты ЭСЧ существенно зависит от ее значения. Так при малых частотах составляющая погрешности сравнения (погрешности счета) может намного превышать составляющую, обусловленную нестабильностью кварцевого генератора. Снижение указанной погрешности измерения низких частот достигается увеличением счетного интервала времени, переходом на измерение периода сигнала либо применением умножителя измеряемой частоты на входе ЭСЧ.

Составляющие погрешности измерения периода сигналов также можно представить тремя группами:

- погрешности меры временного интервала, роль которого выполняет период сигнала кварцевого генератора (с учетом умножения его частоты);
- погрешности формирования счетных импульсов и счетного интервала времени;
- погрешности сравнения меры с измеряемым периодом.

Погрешность меры будет определяться относительной погрешностью частоты опорного кварцевого генератора.

Относительная погрешность сравнения, как и при измерении частоты, носит случайный характер и может быть уменьшена путем усреднения серии полученных измерений периода.

Составляющая погрешности формирования меток времени, обусловленная нестабильностью запуска схемы формирования, мала и может не учитываться. Однако в отличие от режима измерения частоты составляющая погрешности формирования счетного интервала, равного измеряемому периоду, может быть существенной. Особенно она проявляется при гармоническом входном сигнале малой частоты, когда скорость изменения уровня сигнала невелика. В этих случаях уровень запуска схемы формирования счетного интервала оказывается нестабильным. Кроме того значительное влияние на запуск схемы может оказать сигнал помехи, действующий совместно с входным сигналом. Погрешность запуска носит случайный характер и может быть уменьшена при усреднении измерений.

При измерении малых периодов погрешность измерения может быть достаточно большой. Уменьшение ее достигается либо путем увеличения

частоты заполнения (уменьшения длительности временных меток) , либо увеличением числа усредняемых периодов, а также путем перехода в режим измерения частоты.

Частотные свойства ЭСЧ, в частности значения их максимальной рабочей частоты, определяются в основном возможностями схем формирования счетных импульсов при больших значениях измеряемых частот, а также быстродействием применяемых счетчиков импульсов. Современная цифровая элементная база позволяет реализовывать в ЭСЧ измерение частоты до 35 ГГц (например, ЧЗ-66).

Из основных характеристик ЭСЧ, которые нормируются и приводятся в нормативно-технической документации на приборы, можно назвать: диапазон измеряемых частот, диапазон измеряемых периодов колебаний и временных интервалов, диапазон измеряемых отношений частот, допустимые уровни напряжения входного сигнала, нестабильность частоты опорного кварцевого генератора, входное сопротивление прибора в различных режимах работы, погрешность измерения частоты и периода временных интервалов, время счета, частоту заполнения, число усредняемых значений измеряемого периода.

Применение унифицированных сменных блоков вида ЯЗ позволяет расширить диапазон измеряемых частот до 80 ГГц.

Поверка частотомеров регламентируется следующими нормативными документами:

ГОСТ 8.129-99 “ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты“;

ГОСТ 8.422-81 “ГСИ. Частотомеры. Методы и средства поверки“;

МИ 1533-86 “ ГСИ. Частотомеры электронно-счетные. Алгоритмы автоматизированной поверки “.

Поверка ЭСЧ проводится в соответствии с МИ 1835-88 “ГСИ. Частотомеры электронно-счетные. Методика поверки” и техническими описаниями на конкретный прибор.

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия: температура окружающего воздуха (20 ± 5) С, относительная влажность $(65 \pm 15)\%$, напряжение питания $220\text{В} \pm 2\%$ при частоте $50\text{Гц} \pm 10\%$ при содержании гармоник до 5%.

Перед началом поверки ЭСЧ средства поверки должны быть включены для самопрогрева на время, указанное в эксплуатационной документации на эти устройства.

В качестве рабочего эталона используется стандарт частоты Ч1.

Проведение поверки включает следующие операции:

- Внешний осмотр

При внешнем осмотре устанавливают: исправность всех органов управления и отсутствие механических повреждений, могущих затруднить работу с ЭСЧ. При несоблюдении этих требований ЭСЧ в поверку не допускают.

- Опробование и самоконтроль

При опробовании выполняют следующие операции:

Переключатель “род работы” ЭСЧ устанавливают в положение “контроль” и проводят операции в соответствии с указаниями, изложенными в техническом описании ЭСЧ. Если требования технического описания не выполняются, ЭСЧ бракуют.

С целью проверки правильности высвечивания цифрового табло ЭСЧ синтезатор частоты (или средства, выдающие заданные частоты) и поверяемый ЭСЧ переводят в режим работы от внешнего генератора, используя для этого стандарт частоты (рис. 2.27). ЭСЧ устанавливают в режим измерения частоты. От синтезатора частоты на вход поверяемого ЭСЧ последовательно подают сигналы с такими значениями частот, чтобы в каждом разряде цифрового табло хотя бы один раз высвечивались все цифры от 0 до 9, например, 11111111, 22222222 Гц и так далее.

Если хотя бы один из индикаторов цифрового табло не высвечивается или высвечивается неправильно, ЭСЧ бракуют.

При невозможности одновременного охвата всех разрядов цифрового табло ЭСЧ измерения следует провести в два приема: сначала ЭСЧ поставить в такой режим, чтобы высвечивались верхние разряды, а затем чтобы высвечивались нижние.

-Определение метрологических характеристик

1. *Определение основной относительной погрешности измерения частоты* производится прямым методом путем измерения частоты сигнала, формируемого рабочим эталоном. Для определения основной относительной погрешности измерения частоты ЭСЧ переводят в режим работы от внутреннего кварцевого генератора, синтезатор частоты (или средства, выдающие заданные частоты) оставляют в режиме работы от внешнего генератора (стандарта частоты). На вход ЭСЧ подают сигнал с частотой, близкой к частоте верхнего предела диапазона частот, измеряемых ЭСЧ (не более 20% ниже частоты верхнего предела), и с напряжением, равным минимальному входному напряжению, указанному в техническом описании, при котором ЭСЧ должен нормально работать.

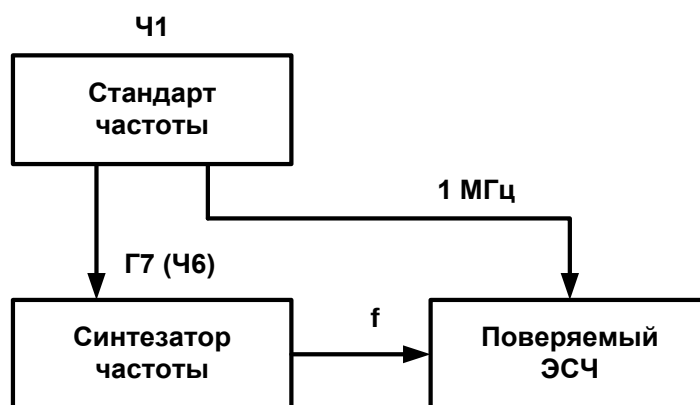


Рис. 2.27. Схема проверки правильности высвечивания цифрового табло ЭСЧ

При отсутствии у синтезатора частоты, градуированного по напряжению выхода сигнала, необходимо значение этого напряжения контролировать вольтметром (рис. 2.28).

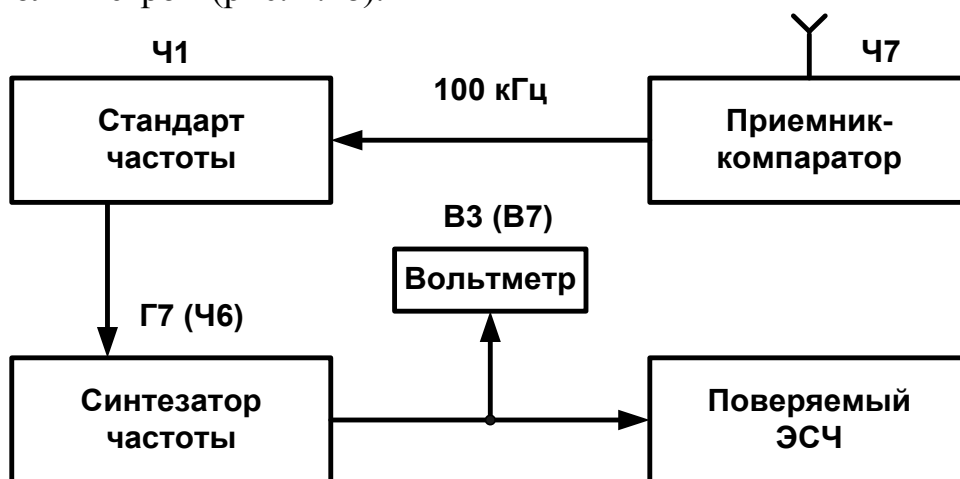


Рис. 2.28. Схема контроля напряжения выходного сигнала синтезатора частоты

Проводят серию из десяти наблюдений и для каждого из них определяют значение основной относительной погрешности измерения частоты по формуле:

$$f = |(f_i - f)/f| ,$$

где f_i – значение i -го наблюдения на ЭСЧ при подаче на него сигнала с частотой f от синтезатора частоты.

По крайней мере 9 значений из 10 не должны превышать погрешности измерения, нормированной в техническом описании поверяемого прибора. При невыполнении этого условия ЭСЧ бракуют.

После определения основной относительной погрешности измерения частоты, если ее значение превышает допустимое, проводят подстройку частоты внутреннего кварцевого генератора ЭСЧ.

Для этого на ЭСЧ от синтезатора частоты подают сигнал со значением частоты, близким к значению частоты верхнего предела диапазона ча-

стот, измеряемых ЭСЧ, и изменяют частоту внутреннего кварцевого генератора так, чтобы показания ЭСЧ по значению совпали со значением частоты сигнала, поданного на ЭСЧ. Затем ЭСЧ выключают и не ранее, чем через полчаса, включают снова. Спустя время, установленное для самопрогрева данного типа ЭСЧ, вновь определяют основную относительную погрешность измерения частоты. Если окажется, что после этого ее значение выходит за предел, подстройку внутреннего кварцевого генератора повторяют. Если после очередного выключения, включения и прогрева ЭСЧ его частота снова превысит допустимый предел, ЭСЧ бракуют. ЭСЧ бракуют также при невозможности подстройки частоты встроенного кварцевого генератора ЭСЧ.

2. *Определение основной относительной погрешности измерения периода* производится прямым методом путем измерения периода синусоидального сигнала от генератора ГЗ либо синтезатора частоты. Для определения основной относительной погрешности измерения периода ЭСЧ устанавливают в режим измерения периода при работе от внутреннего генератора, синтезатор частоты (или средства, выдающие заданные периоды) оставляют в режиме работы от внешнего стандарта частоты и на вход ЭСЧ подают сигнал с частотой 20 Гц (или 50 Гц, если синтезатор не выдает сигнала с частотой 20 Гц) и с напряжением, равным наименьшему входному напряжению, при котором ЭСЧ должен нормально работать. Это напряжение рекомендуется контролировать вольтметром (рис. 2.28).

Измеряется один период колебаний (без усреднения). Относительная погрешность измерения определяется как $T = (T - T_0) / T_0$, где T – период, измеренный поверяемым ЭСЧ; T_0 – период, установленный на эталонном генераторе или синтезаторе. Девять из десяти полученных значений не должны превышать допустимого значения, установленного в техническом описании поверяемого ЭСЧ.

Аналогичные измерения проводятся также на частоте 100 кГц.

Оформление результатов поверки производится в соответствии с общими положениями.

2.7. ПОВЕРКА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

Электронно-лучевым осциллографом (ЭЛО) (рис. 2. 29) называют прибор для наблюдения и измерения электрических сигналов, в котором используется отклонение одного или нескольких электронных лучей электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) для получения изображений мгновенных значений функциональных зависимостей сигналов от времени или других параметров.

ЭЛО общего применения предназначены для наблюдения и измерения электрических сигналов с большими диапазонами амплитуд, частот по-

вторения и длительностей. Они могут быть как простыми, так и многофункциональными. Их называют *универсальными ЭЛО (С1)*.

Многоканальные ЭЛО позволяют на экране однолучевой ЭЛТ одновременно исследовать два и более сигналов. В их основе лежит использование коммутаторов исследуемых сигналов. *Многолучевые ЭЛО* используют ЭЛТ, имеющие два и более электронных лучей, управляемых отдельно или совместно.

Все ЭЛО характеризуются следующими основными параметрами:

- погрешностью измерения напряжения;
- диапазоном значений и погрешностью коэффициентов отклонения;
- временем нарастания, выбросом, неравномерностью плоской вершины и временем установления переходной характеристики (ПХ);
- входными сопротивлением и емкостью;
- допускаемой суммарной величиной постоянного и переменного напряжения на закрытых входах;
- пределами перемещения луча по вертикали;
- погрешностью измерения временных интервалов;
- диапазоном значений и погрешностью коэффициентов развертки (коэффициентов отклонения луча по горизонтали);
- пределами перемещения луча по горизонтали;
- диапазоном частот, предельными уровнями и нестабильностью синхронизации;
- размером рабочей части экрана ЭЛТ;
- шириной линии луча.

К числу метрологических характеристик ЭЛО относят: - совокупность параметров сигналов, которые можно подавать на вход прибора (диапазон амплитуд, граничные частоты, форма сигнала и т.п.); - характеристики входа ЭЛО (активная и реактивная составляющие входного сопротивления); - погрешности воспроизведения формы сигнала осциллографом и погрешности измерения параметров сигнала.

Основными функциональными узлами электронного осциллографа являются: электронно-лучевая трубка, канал вертикального отклонения (КВО) или канал Y, канал горизонтального отклонения (КГО) или канал X, канал управления яркостью (КУЯ) или канал Z, а также встроенные калибровочные устройства и блок питания.

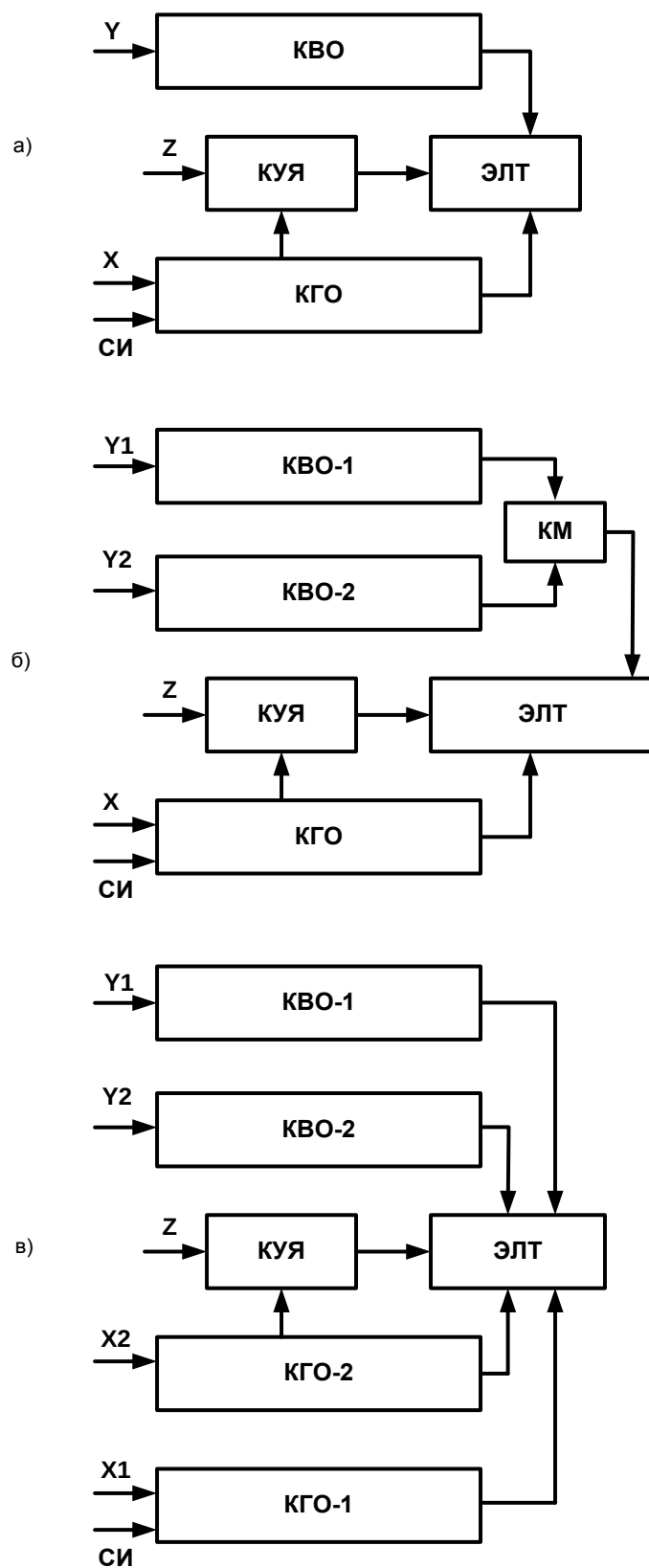


Рис.2.29. Упрощенная структурная схема ЭЛО
 а) одноканальный ЭЛО,
 б) двухканальный ЭЛО,
 в) двухлучевой ЭЛО.

Основным элементом любого осциллографа является электронно-лучевая трубка с электростатическим управлением лучом. Под действием

управляющих напряжений, которые подаются на две пары отклоняющих пластин, электронный луч может отклоняться в двух взаимно перпендикулярных направлениях (горизонтальном и вертикальном). Для отклонения луча на пластины необходимо подавать исследуемое и развертывающее пилообразное напряжения.

Канал вертикального отклонения предназначен для отклонения луча ЭЛТ под действием исследуемого напряжения. Он состоит из масштабных преобразователей - делителей, аттенюаторов и усилителей, предназначенных для расширения предельных значений исследуемых сигналов, а также линии задержки, обеспечивающей наблюдение фронта сигнала на экране осциллографа.

Канал горизонтального отклонения предназначен для развертки изображения сигнала и включает в себя генератор развертки, обеспечивающий перемещение луча ЭЛТ в горизонтальном направлении, схемы блокировки и синхронизации и усилитель.

Неискаженная передача сигнала в КВО обеспечивается в том случае, когда он работает в линейном режиме усиления и не ограничивает частотную область сигнала. Предположение о линейности КВО практически выполняется при амплитудах входных сигналов, находящихся в пределах динамического диапазона осциллографа.

Условиями неискаженного осциллографирования электрических сигналов являются равномерность амплитудно-частотной (АЧХ) и линейность фазо-частотной (ФЧХ) характеристик КВО в пределах ширины спектра этих сигналов, а также линейность развертывающего напряжения во времени. Практически допускаются некоторые отклонения от идеальных АЧХ, ФЧХ и развертки; обычно для АЧХ допускается спад (завал) относительно средних частот до уровня 0,707 (3 дБ). Нелинейность развертки, в зависимости от типа ЭЛО и скорости развертки, может принимать значения от 3% до 20%.

Одной из основных характеристик ЭЛО является переходная характеристика (ПХ), образующая реакцию ЭЛО на единичный скачок при идеально линейном развертывающем напряжении. Ограниченность полосы пропускания в реальных ЭЛО приводит к тому, что их ПХ отличается от идеальной. Существует жесткая связь между временем нарастания ПХ t_n и верхней граничной частотой полосы пропускания осциллографа $F_{гр}$:

$$t_n \approx 0.35/F_{гр}$$

Входное сопротивление канала вертикального отклонения выбирают из ряда 50; 75; 500 Ом; 2,5 кОм; 0,1; 0,5; 1,5; 10 МОм. Для исследования высокочастотных и широкополосных сигналов предусматривается низкоомный вход (50 или 75 Ом). В этом случае сигнал подается на вход канала вертикального отклонения по коаксиальному кабелю. Вход канала вертикального отклонения может быть открытым или закрытым.

Линия задержки обеспечивает запаздывание сигнала, подаваемого на вертикальные отклоняющие пластины, относительно момента запуска генератора развертки. Исследуемый сигнал в линии задержки задерживается на $0,2 \div 1,0$ мкс, что обеспечивает просмотр фронта импульсного сигнала при синхронизации по самому сигналу, так как генератор развертки будет запускаться несколько раньше, чем появится напряжение на вертикально отклоняющих пластинах.

Генератор развертки ЭЛО общего применения является генератором пилообразного напряжения (ГПН), вырабатывающим напряжение развертки, усиливаемое усилителем КГО, а также импульс подсвета, подаваемый через усилитель канала Z на модулятор ЭЛТ во время рабочего хода развертки.

При исследовании импульсных сигналов с большой скважностью используется ждущий режим формирования развертывающего напряжения. В ждущем режиме повторный запуск генератора развертки осуществляется только при наличии сигнала на входе КВО. В автоколебательном режиме запуск возможен по окончании очередного цикла развертки.

Полоса пропускания усилителя КГО составляет около 20% полосы пропускания усилителя КВО.

Основное назначение канала управления яркостью - подсвечивать прямой ход развертки, чтобы не видно было обратного хода луча.

Встроенные в ЭЛО калибраторы позволяют значительно повысить точность измерений. С их помощью можно с высокой точностью калибровать коэффициенты отклонений по оси Y и развертки по оси X. Калибраторы представляют собой отдельные генераторы сигналов или один генератор сигнала с точно известными амплитудой и периодом. В современных ЭЛО используется режим самокалибровки.

В развитии ЭЛО общего применения наблюдаются следующие тенденции: расширение полосы пропускания; повышение чувствительности; уменьшение погрешностей измерений; увеличение наработки на отказ; автоматизация управления и измерений за счет применения микропроцессоров; уменьшение габаритов и массы приборов.

Современные модели ЭЛО, как правило, являются микропроцессорными измерительными приборами. Наличие микропроцессора в составе прибора позволяет получать измерительную информацию в цифровом виде, автоматизировать процессы калибровки, настройки и измерений, дистанционно управлять процессом измерений и включать осциллографы в состав информационно-измерительных систем (ИИС).

Внутренняя архитектура такого ЭЛО является машинной, что определяет цифровую форму циркулирующей в ЭЛО информации. Наличие микропроцессорной системы дает возможность полностью автоматизировать работу ЭЛО и осуществлять информационный обмен с потребителем информации в диалоговом режиме в реальном масштабе времени.

Методы измерения напряжения и временных интервалов, реализуемые с помощью ЭЛО, являются *косвенными*. По шкале ЭЛТ осуществляется измерение геометрического размера изображения: в вертикальном направлении - при измерении напряжения, а в горизонтальном направлении - при измерении временных интервалов.

Измеренные геометрические размеры с помощью масштабных коэффициентов, которыми являются коэффициенты отклонения и развертки, пересчитываются в соответствующие значения напряжения и времени. Процессу измерения предшествует калибровка шкалы ЭЛТ, т.е. уточнение с помощью калибровочных сигналов (мер) устанавливаемых значений коэффициентов отклонения и развертки.

В соответствии с реализуемым в ЭЛО методом измерения выделяют *два основных вида погрешностей*: погрешности измерения напряжения и погрешности измерения временных интервалов.

Погрешность измерения напряжения можно представить тремя обобщенными группами составляющих погрешности:

- результирующая погрешность калибровки коэффициента отклонения (из-за различия форм калибровочного и измеряемого напряжения, неравномерности и нестабильности переходной характеристики ПХ и амплитудно-частотной характеристики АЧХ КВО, субъективных причин);
- искажения сигнала в КВО (из-за нелинейности и нестабильности амплитудной характеристики АХ КВО, неравномерности и ограниченности по частоте АЧХ КВО);
- погрешность измерения размера (из-за ширины линии луча и линии шкалы экрана ЭЛТ, параллакса шкалы, субъективных особенностей оператора).

Погрешность измерения временных интервалов также можно представить тремя обобщенными группами составляющих:

- погрешность калибровки коэффициента развертки (из-за свойств калибратора и элементов КГО, нелинейных и частотных искажений пилообразного напряжения в усилительном тракте КГО, нестабильности амплитуды напряжения развертки, субъективными ошибками при калибровке);
- искажения сигнала в процессе его изображения на экране ЭЛТ (из-за искажений во времени в КГО от нелинейности и нестабильности развертки);
- особенности визуального измерения геометрического размера изображения по шкале ЭЛТ (из-за конечной ширины линии луча, нечеткости фиксации уровня сигнала, параллакса при наблюдении и субъективных особенностей оператора).

Поверка универсальных ЭЛО 2, 3 и 4-го классов точности регламентируется ГОСТ 8.311-78 "ГСИ. Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы и средства поверки" и техническим описанием.

В качестве рабочих эталонов при поверке используются калибраторы осциллографов типа И1. Допускается использовать другие поверенные приборы, имеющие погрешность измерения, не превышающую $1/3$ допускаемой погрешности поверяемого прибора.

Межповерочный интервал универсальных ЭЛО типа С1 равен 3 годам. По нормативам на поверку ЭЛО отводится в среднем 4-8 часов.

Стандарт устанавливает следующие операции поверки: внешний осмотр, опробывание, определение ширины линии луча, определение погрешности коэффициентов отклонения и развертки, определение погрешности измерения напряжения и временных интервалов, определение параметров переходной и амплитудно-частотной характеристик.

Определение ширины линии луча в вертикальном и горизонтальном направлениях производится косвенным способом измерений при помощи генератора прямоугольных импульсов с калиброванной амплитудой. В автоколебательном режиме ЭЛО при средних значениях коэффициентов отклонения и развертки наблюдают на экране ЭЛТ две горизонтальные линии, соответствующие нулевому и максимальному уровням поданного на вход КВО импульсного напряжения. Затем путем уменьшения амплитуды импульсов на входе фиксируют момент касания горизонтальных линий. Отсчитанное по шкале генератора значение амплитуды импульсов делят на установленный коэффициент отклонения и получают ширину линии луча в вертикальном направлении.

В горизонтальном направлении поступают аналогичным образом, получая изображение двух вертикальных линий. Для этого на вход КВО подается пилообразное напряжение, а на вход КГО в режиме усиления - напряжение импульсного генератора. Произведя калибровку шкалы по горизонтали в вольтах на деление, уменьшают амплитуду импульсов генератора, фиксируя момент касания вертикальных линий. Разделив отсчитанное по генератору значение амплитуды импульсов на установленный коэффициент отклонения по горизонтали, получают ширину линии луча в горизонтальном направлении. Ширину линии луча определяют в середине и на границах рабочего участка ЭЛТ.

Определение погрешности коэффициента отклонения производят способом косвенного измерения действительного значения коэффициента отклонения при помощи генератора импульсов (с калиброванной амплитудой) или установки для поверки вольтметров либо с помощью калибратора осциллографов. В режиме внутреннего запуска при максимальном значении коэффициента отклонения проводят измерения высоты изображения, равного всем четным делениям шкалы ЭЛТ по вертикали, устанавливая соответствующее значение напряжения эталонных приборов. Погрешность оценивают, сопоставляя полученные значения с установленным коэффициентом отклонения. Для всех других значений этого коэффициента

измерения проводят при высоте изображения сигнала, равной четному числу делений и составляющей 60-100% рабочего участка экрана.

Определение погрешности измерения напряжения определяют методом прямого измерения напряжения, формируемого эталонными средствами: генератором импульсов с калиброванной амплитудой, установкой для поверки вольтметров, калибратором осциллографов. Измерения проводятся при всех значениях коэффициента отклонения и не менее чем при пяти значениях диапазона измеряемых осциллографом напряжений, включая два крайних. При измерениях напряжения пользуются методикой, изложенной в ТО на поверяемый прибор. Погрешность измерения оценивается путем сравнения измеренных значений напряжения с помощью осциллографа с соответствующими значениями, установленными на эталонных приборах.

Определение погрешности коэффициента развертки производят методом косвенного измерения действительного значения коэффициента развертки при помощи генератора сигналов, генератора импульсов и электронно-счетного частотомера или при помощи калибратора осциллографов. Режим запуска развертки - внутренний. Измерения проводят при среднем значении коэффициента отклонения. Путем изменения частоты сигнала на выходе эталонного генератора устанавливают в начале рабочего участка экрана длину изображения четного числа периодов синусоидального или импульсного напряжения, равную наименьшей допустимой длине, установленной в ТО на поверяемый прибор. Погрешность коэффициента развертки определяют сопоставлением установленного его значения с полученным по эталонному прибору. Коэффициенты разверток аналогично определяют для всех значений длины шкалы по горизонтали, равных четному числу делений, а также для наибольшего значения длины в пределах рабочего участка ЭЛТ по горизонтали. Измерения проводят для всех фиксированных значений коэффициента развертки.

Определение погрешности измерения временных интервалов выполняют методом прямого измерения временных интервалов, задаваемых в виде периода синусоидального или импульсного напряжения эталонными средствами. Измерения проводят в соответствии с методикой, установленной в ТО на поверяемый прибор для каждого значения развертки при среднем значении коэффициента отклонения и не менее чем при пяти значениях диапазона измеряемых осциллографом временных интервалов, включая два крайних. Погрешность измерения оценивают сопоставлением измеренных значений периода напряжения с его действительным значением, отсчитанным по эталонному прибору.

Определение параметров переходной характеристики КВО производят методом прямых измерений при помощи генератора испытательных импульсов. Требования к параметрам испытательных приведены в обязательном приложении к ГОСТ 8.311-780; основным из них является вы-

полнение соотношения между фронтом испытательного импульса t_f и временем нарастания t_n переходной характеристики: $t_f = (0,1 - 0,3)t_n$. Измерения проводятся в режиме внешнего запуска развертки при минимальном значении коэффициента развертки путем непосредственного отсчета параметров переходной характеристики по ее изображению на экране ЭЛТ: времени нарастания, времени установления, выброса, неравномерности для всех фиксированных значений коэффициента отклонения при положительной или отрицательной полярности испытательных импульсов.

Определение параметров амплитудно-частотной характеристики КВО выполняют путем снятия АЧХ при помощи генераторов инфранизких, низких и высоких частот и вольтметра. При изменении частоты и контролируемом постоянстве уровня входного сигнала снимается выходное напряжение КВО по вертикальной шкале ЭЛТ. Число точек и дискретность изменения частоты должны соответствовать требованиям ТО на поверяемый прибор.

Параметры АЧХ - нормальный и расширенный диапазон частот, полоса пропускания, неравномерность - определяют для всех фиксированных значений коэффициента отклонения.

Часто оказывается более рациональной методика снятия АЧХ, по которой сохраняется постоянство выходного напряжения КВО, т.е. постоянство размера изображения на экране по вертикали, а при изменении частоты фиксируется изменение входного сигнала. В этом случае для измерения входного напряжения удобно пользоваться вольтметром со шкалой, градуированной в децибелах, что значительно упрощает оценку неравномерности АЧХ.

Неравномерность АЧХ в зависимости от способа ее задания в ТО определяют либо в процентах, либо в децибелах.

Выброс на вершине переходной характеристики, ее спад на заданном участке времени и неравномерность оценивают в процентах к установившемуся ее значению.

Измеренные значения ширины линии луча, времени нарастания и установления переходной характеристики КВО, а также его полосы пропускания сравниваются по абсолютному значению с допускаемыми их значениями. При этом измеренные значения не должны превышать допускаемых, установленных ТО на поверяемый прибор.

2.8. ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Среди средств измерения напряжения большое распространение получили электронные вольтметры. Они обладают следующими особенностями:

- широким диапазоном значений измеряемых напряжений;
- широким диапазоном частот измеряемых напряжений;
- высоким входным сопротивлением;
- слабой зависимостью показаний от частоты измеряемых напряжений;
- высокой чувствительностью;
- достаточно высокой точностью измерений;
- малым времени установления показаний;
- способностью выдерживать многократные перегрузки;
- высокой надежностью;
- возможностью оснащения интерфейсом КОП.

К недостаткам можно отнести:

- нарушение градуировки вольтметров вследствие старения;
- относительную сложность электронной схемы;
- зависимость показаний от формы напряжения;
- необходимость калибровки (установки на нулевую отметку).

К основным метрологическим характеристикам вольтметров относятся: значение измеряемого напряжения; пределы измерения; допустимая погрешность; диапазон частот; входное сопротивление.

Виды средств измерения напряжения:

- V1 – установки и приборы для поверки вольтметров;
- V2 – вольтметры постоянного напряжения;
- V3 – вольтметры переменного напряжения;
- V4 – вольтметры импульсного напряжения;
- V6 – селективные вольтметры;
- V7 – универсальные вольтметры.

Упрощенные структурные схемы электронных вольтметров представлены на рис. 2.30.

Наиболее широкое применение на практике получили вольтметры переменного напряжения типа V3 и универсальные вольтметры типа V7, позволяющие измерять постоянное и переменное напряжение, а также сопротивление. При этом в них все чаще используются цифровые отсчетные устройства (ЦОУ), из-за чего такие вольтметры не совсем корректно называют цифровыми.

Входные устройства (Вх. У) вольтметров обычно содержат входные делители напряжения, преобразователи импеданса и аттенюаторы, т.е. выполняют функции согласования с нагрузкой и масштабных преобразователей.

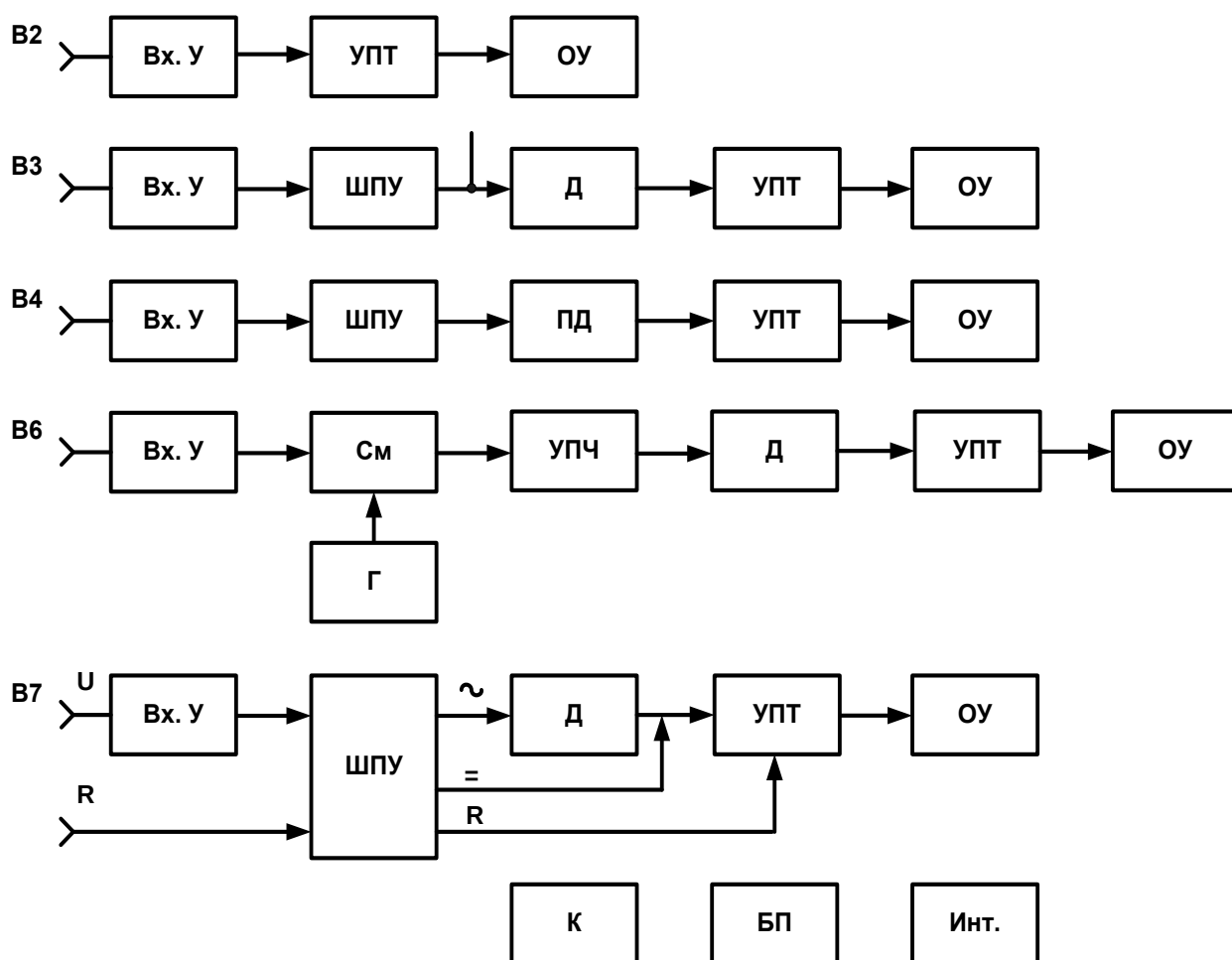


Рис. 2.30. Упрощенные схемы электронных вольтметров

Широкополосные усилители (ШПУ) обеспечивают усиление входных сигналов в широком диапазоне частот (до 1500 МГц).

Детекторы преобразуют переменное напряжение в его постоянное значение: средневыпрямленное (линейный детектор), среднеквадратическое (квадратичный детектор) или амплитудное (пиковый детектор ПД). Это напряжение усиливается усилителем постоянного тока (УПТ) и отображается с помощью аналогового (стрелочного) отсчетного устройства (ОУ) или цифрового отсчетного устройства (ЦОУ).

Селективные вольтметры типа В6 измеряют напряжение определенной частоты, поэтому содержат смеситель (См), гетеродин (Г) и усилитель промежуточной частоты (УПЧ).

Универсальные вольтметры типа В7 позволяют измерять постоянное и переменное напряжение, активное сопротивление постоянному току, а иногда и отношение двух напряжений. Поэтому они имеют переключатель режимов (ПР) работы и более сложную схему измерительного преобразователя.

Все электронные вольтметры имеют встроенный блок питания, а многие оснащены калибратором (К) и интерфейсом (Инт.).

Все вольтметры переменного напряжения имеют закрытый вход и их отсчетные устройства (кроме пиковых В4) проградуированы в среднеквадратических значениях синусоидального сигнала.

Цифровые отсчетные устройства вольтметров дают возможность избавиться от субъективных ошибок оператора, получить более точный отсчет результата измерений (до 5-10 разрядов значащих цифр), создают предпосылки для автоматизации измерений. Принцип действия ЦОУ основан на аналого-цифровом преобразовании сигнала на выходе детектора вольтметра. При этом могут использоваться времяимпульсные АЦП, кодоимпульсные АЦП, частотно-импульсные АЦП или АЦП с двойным интегрированием.

Поверка электронных вольтметров регламентируется следующими нормативными документами:

ГОСТ 8.402-80 «ГСИ. Вольтметры электронные аналоговые постоянного тока. Методы и средства поверки».

ГОСТ 8.117-82 «ГСИ. Вольтметры диодные компенсационные. Методы и средства поверки».

ГОСТ 8.118-85 «ГСИ. Вольтметры электронные аналоговые переменного тока. Методика поверки».

ГОСТ 8.429-81 «ГСИ. Вольтметры электронные аналоговые импульсные. Методы и средства поверки».

ГОСТ 8.119-85 «ГСИ. Вольтметры электронные селективные. Методика поверки».

ГОСТ 8.366-79 «ГСИ. Омметры цифровые. Методы и средства поверки».

РД 50-347-82 «Вольтметры цифровые импульсные. Методы и средства поверки».

Технические описания (ТО) на конкретные приборы. Межповерочный интервал равен 3 годам.

В содержание поверки всех типов электронных вольтметров входят операции: внешний осмотр, опробывание, определение погрешностей, обработка результатов измерений и оформление результатов поверки.

По нормативам на поверку приборов типа В2 отводится в среднем от 2 до 5 часов, В3 – от 3 до 8 часов, В7 – от 4 до 8 часов.

Методика первичной поверки требует большего объема работ, чем методика периодической поверки вольтметров.

У вольтметров постоянного тока типа В2 (В7) определение основной погрешности осуществляют:

- при использовании поверочной установки типа В1 – по шкале этой установки или
- при использовании эталонного вольтметра – сличением показаний поверяемого и эталонного вольтметров.

Основную погрешность определяют на каждой числовой отметке шкал основных пределов измерений поверяемого вольтметра при плавном перемещении указателя к поверяемой отметке сначала со стороны начальной, а затем со стороны конечной отметок шкалы. Если нет специального указания в ТО на прибор, за основные должны быть приняты пределы при множителе, равном единице. На остальных пределах измерений основную погрешность определяют на конечных числовых отметках шкал, а также на отметках, где ранее были определены наибольшие положительная и отрицательная погрешности.

Допускается поверять вольтметры с пределом измерений 1000 В или 500 В в случае отсутствия источника постоянного напряжения, обеспечивающего получение указанных уровней на отметке шкалы 300 В.

Перед проведением каждого измерения следует проверять электрическую установку отсчетного устройства на нулевую или условную отметку при отключенном измеряемом напряжении.

У вольтметров переменного тока типа ВЗ (В7) осуществляют:

- 1) определение погрешности на частоте градуировки (обычно 1кГц);
- 2) определение погрешности в рабочей области частот;
- 3) определение метрологических параметров прибора.

При проведении поверки могут быть применены рабочие эталоны, позволяющие измерять или воспроизводить на входе поверяемого вольтметра гармоническое напряжение с погрешностью, не превышающей 1/3 соответствующего предела допускаемой погрешности вольтметра во всем его рабочем диапазоне напряжений и частот.

Погрешность вольтметра на частоте градуировки определяют:

- методом прямых измерений поверяемым вольтметром переменного напряжения, воспроизводимого эталонной поверочной установкой типа В1;
- методом непосредственного сличения показаний эталонного и поверяемого вольтметров, подключенных к источнику измеряемого напряжения (ГЗ, Г4) параллельно или через делитель напряжения (ДН).

Измерения проводят дважды – при возрастающих и убывающих значениях напряжения. Перед проведением каждого измерения при отключенном измеряемом напряжении проводят электрическую установку отсчетного устройства вольтметра на нулевую или начальную отметку при закороченном входе или при подключенной ко входу нагрузке. Погрешность вольтметра для каждого ее определения не должна превышать допускаемых значений, установленных в ТО.

Погрешность вольтметра в рабочем диапазоне частот определяют аналогичными методами на частотах и точках поддиапазонов, указанных в ТО. Обычно при периодической поверке погрешность определяют на конечных числовых отметках шкал поддиапазонов измерений при значениях

частот, соответствующих началу и концу всех областей (нормальной и расширенной) рабочего диапазона частот поверяемого вольтметра.

При определении метрологических параметров прибора в соответствии с ТО может проверяться: выходное напряжение ШПУ, диапазон измеряемых напряжений, погрешность симметрирующего трансформатора, вариация показаний, выходное напряжение преобразователя и др.

У универсальных вольтметров типа В7 при поверке метрологических характеристик осуществляют:

- 1) определение основной погрешности прибора при измерении постоянного напряжения;
- 2) определение основной погрешности прибора при измерении переменного напряжения;
- 3) определение основной погрешности измерения активного сопротивления;
- 4) при наличии КОП проверку программирования и выдачи информации в КОП вольтметром.

Определение основной погрешности и проверку пределов измерения проводят методом прямых измерений поверяемым вольтметром В7 величины, воспроизводимой эталонной мерой установки типа В1 по методике для В2 и В3. В качестве эталонной меры сопротивлений могут использоваться: магазины сопротивлений Р321, Р33, Р4002; катушки измерительные электрического сопротивления Р331, Р4013, Р4021 и др.

2.9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ

В зависимости от схемно-конструктивных возможностей рабочих эталонов, поверяемых и вспомогательных СИ, а также экономической целесообразности различают три уровня автоматизации поверочных работ.

На первом уровне с помощью Микро-ЭВМ или ПЭВМ организуется база данных (БД) нормативных документов (НД) по поверке электронных СИ, осуществляется обработка результатов измерений и оформление результатов поверки. Это дает возможность автоматизировать некоторые рутинные операции деятельности поверителя при поверке электронных СИ, не оснащенных приборными интерфейсами, снизить утомляемость поверителя и уменьшить вероятность субъективных ошибок.

Структурная схема автоматизированного рабочего места поверителя (АРМП) первого типа представлена на рисунке 2.31

АРМП первого типа включает в себя:

1. Микро-ЭВМ или ПЭВМ
2. Дисплей (монитор)
3. Цифровое печатающее устройство (ЦПУ)
4. Поверяемое средство измерений (ПСИ)
5. Рабочий эталон (РЭ) и вспомогательные СИ (ВСИ).

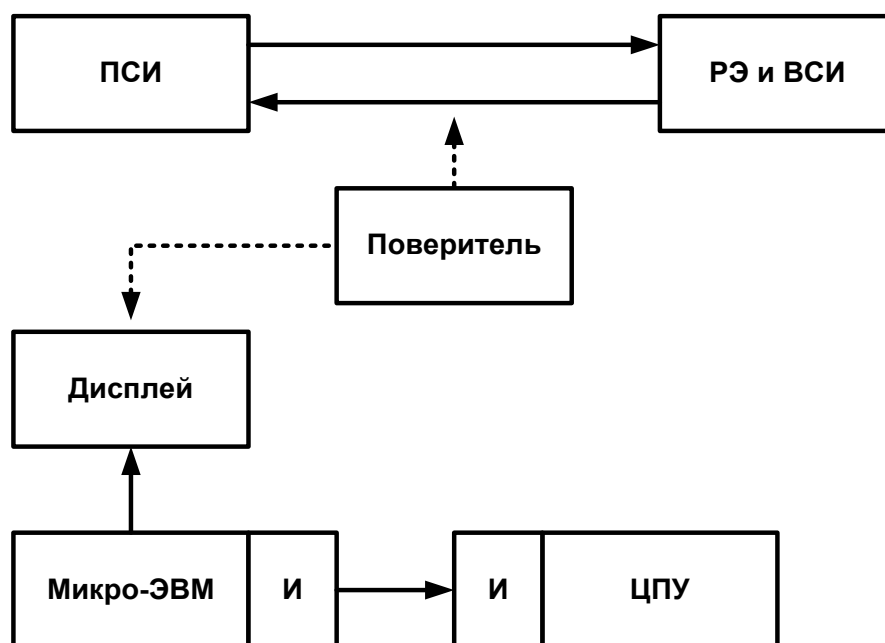


Рис.2.31 Структурная схема АРМП первого уровня

АРМП первого типа могут быть созданы для любых электронных средств измерений. В этих АРМП информацию в микро-ЭВМ вводят и управляют РЭ и ПСИ вручную. Поверитель вызывает на дисплей соответствующую документацию к проводимой поверке, записанную в памяти микро-ЭВМ. На экране появляется информация об операциях поверки, а также об использовании СИ метрологического комплекса.

Поверитель, выбрав нужные ему данные из числа представленных на экране дисплея, выполняет соответствующие операции, воздействуя вручную на ПСИ и РЭ. О выполнении каждой операции и ее результатах поверитель сообщает ЭВМ. Результаты измерений и вычислений высвечиваются на экране, а протокол поверки печатается на ЦПУ. В программное обеспечение таких АРМП могут быть введены типовые ситуации (как например, несоответствие условий внешней среды, ошибки в действиях поверителя и др.). ЭВМ может быть поручен и контроль за соблюдением условий поверки. Через устройства связи она может быть объединена с другими ЭВМ.

На втором уровне автоматизации требуется наличие в СИ метрологического комплекса приборных интерфейсов и управляемого коммутатора. Это позволяет дополнительно автоматизировать операции коммутации СИ и управления режимами работы СИ в процессе поверки. Степень автоматизации повышается, снижается утомляемость поверителя и уменьшается вероятность субъективных ошибок, но поверяются только СИ, имеющие приборный интерфейс (рис. 2. 32).

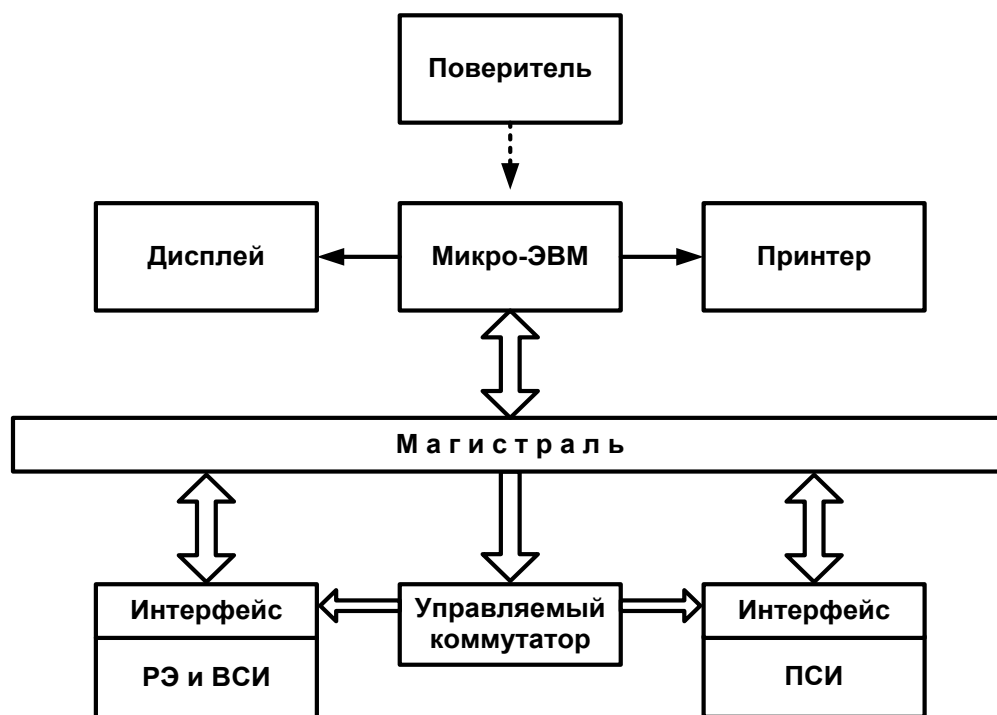


Рис. 2.32. Структурная схема АРМП второго уровня

АРМП второго типа обладает не только возможностями АРМП первого типа, но и обеспечивает управление по заданной программе рабочим эталоном (РЭ), вспомогательными СИ (ВСИ) и поверяемым СИ (ПСИ) полностью или частично без участия поверителя. Эта возможность значительно повышает эффективность поверки, но требует разработки специального программного обеспечения, создания управляемого коммутатора цепей и наличия у СИ метрологического комплекса приборных интерфейсов. Такие АРМП делают специализированными, т.е. предназначенными для поверки определенной группы СИ (АРМП-Х).

В данном случае универсальная микро-ЭВМ (например, “Нейрон Р-908”) или ПЭВМ по заданной программе через интерфейс и управляемый коммутатор или поверитель по требованию ЭВМ вручную коммутирует и устанавливает на СИ необходимые параметры сигнала. Далее ЭВМ через интерфейс считывает с ПСИ или РЭ (ВСИ) значение сигнала, сравнивает полученный результат с хранящимся в ее памяти нормированным значением сигнала, рассчитывает поверяемый метрологический параметр, сравнивает его значение с допустимым и делает вывод о метрологической пригодности к применению ПСИ по данному пункту поверки. Эта процедура повторяется в каждой поверяемой точке исследования. По результатам поверки ЭВМ с помощью принтера (ЦПУ) заполняет протокол поверки по данному параметру. Подобная процедура повторяется по всем автоматизированным операциям поверки. Такие АРМП особенно эффективны при наличии большого количества однотипных поверяемых СИ. Одновре-

менно автоматизируется и процедура оформления Свидетельств о поверке и Извещений о непригодности к применению.

Третий уровень автоматизации поверочных работ нацелен на перспективный парк программируемых СИ (виртуальных СИ). При этом операции поверки осуществляются не с сигналами, а с кодами сигналов.

Условие создания АРМП третьего типа следующее: все СИ метрологического комплекса должны иметь микропроцессорные системы управления и интерфейсные блоки. Методики поверки программируемых СИ пока находятся в стадии разработки, хотя сами виртуальные СИ уже достаточно широко применяются на практике.

Структурная схема АРМП третьего типа приведена на рисунке 2.33.

В качестве РЭ используется управляемая мера. В этом случае на ПСИ с управляемого от ПЭВМ РЭ подается эталонный сигнал, значение которого соответствует записанному в памяти ПЭВМ. Показания ПСИ, как реакция на эталонный сигнал РЭ, поступают в виде цифрового кода в ПЭВМ для сравнения с кодом эталонного сигнала. После этого ПЭВМ рассчитываетверяемый метрологический параметр ПСИ и сравнивает его значение с допустимым. Эта процедура по заранее разработанной программе повторяется в каждойверяемой точке для всех операций поверки. В процессе выполнения операций поверки ПЭВМ распечатывает протокол поверки.

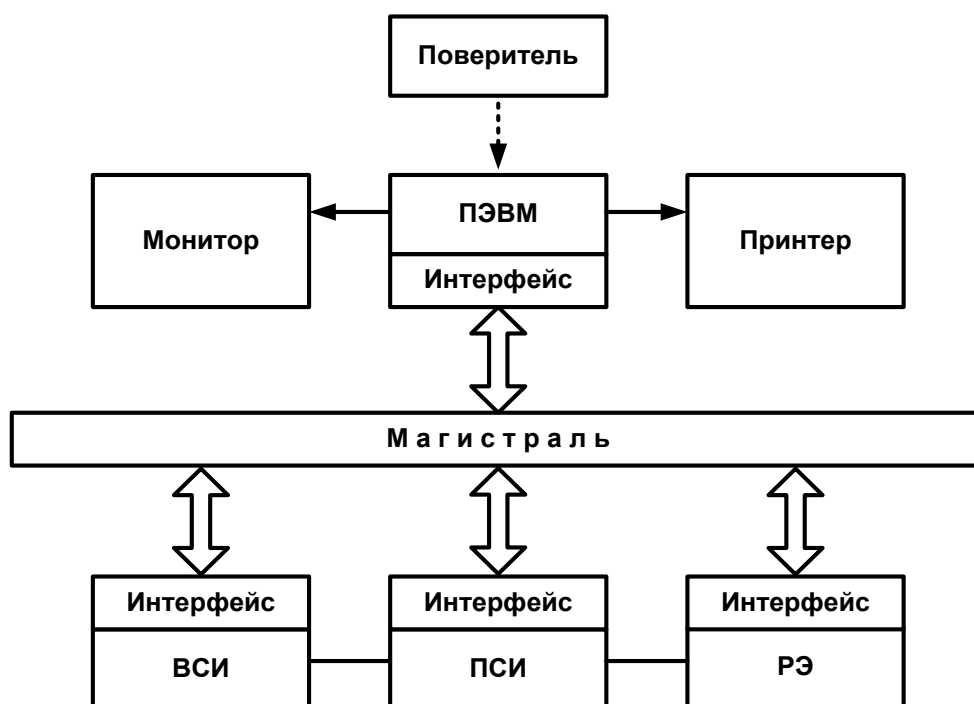


Рис.2.33. Структурная схема АРМП третьего уровня

Таким образом, АРМП третьего типа обеспечивает почти полную автоматизацию поверки в пределах каждой ее операции, не автоматическим остается лишь процесс включения СИ в АРМП. Этим и объясняется

наивысшая степень автоматизации АРМП третьего типа, но лишь для ограниченного парка программируемых СИ.

Все выше изложенное можно свести в таблицу 2.7.

Таблица 2.7

АРМП	Какие функции автоматизируются	Какими средствами	Какие СИ проверяются	Недостатки	Достоинства
1	2	3	4	5	6
АРМП 1-го уровня	БД по НД, обработка и оформление результатов	Микро-ЭВМ	Все	Низкая степень автоматизации	Применимо для всех СИ
АРМП 2-го уровня	БД по НД, управление операциями поверки, обработка и оформление результатов	Микро ЭВМ (ПЭВМ) СИ с интерфейсом, управляемый коммутатор	Современные СИ с интерфейсом	Не все СИ имеют интерфейс, требуется высокая квалификация поверителя	Высокая степень автоматизации
АРМП 3-го уровня	БД по НД, управление операциями поверки на уровне кодов сигналов, обработка и оформление результатов	ПЭВМ, программируемые СИ с интерфейсом	Программируемые СИ с стандартным интерфейсом	Применимо только для программируемых СИ с МП и интерфейсом	Высокая степень автоматизации

В современных СИ наибольшее применение нашли интерфейсы: КОП-канал общего пользования (ГОСТ 26.003-80; IEC-625; IEEE-488) и Стык С2 (RS-232).

В перспективных магистрально-модульных СИ будет использоваться совместимая интерфейсная шина VXI (КОП-2, IEEE-488.2).

В ВС РФ эксплуатируются СИ как с интерфейсом, так и без интерфейса. Поэтому в МВЧП ВС нашли применение автоматизированные мет-

рологические комплексы, в которых АРМП реализуют первый и второй уровни автоматизации поверочных работ, СКАТ-2-1 и К-639 (14Б328) .

Комплекс автоматизации поверочных работ СКАТ-2-1 состоит из:

- рабочего места управления комплексом (РМУК);
- рабочего места регистрации приборов (РМРП);
- 12 автоматизированных мест поверителя (АРМП);
- ремонтного рабочего места (РРМ).

При полном наборе рабочих мест комплекс обеспечивает:

1. Автоматизированную поверку СИ радиотехнических величин:
В1, В2, В3, В4, В6, В7, В8, В9, Ч1, Ч2, Ч3, Ч4, Ч6, Ч7, И1, И2, С1, С2, С3, С4, С6, С7, С8, У2, У3, У4, У7, М3, М5, Е6, Р1, Р2, Р3, Р5, Л2, Л3, Х1, Х5, Д1, Д2, Д3, Д5, Э2, Э6, Э7, Э8, Э9, Г2, Г3, Г4, Г5, Я1, Я2, Я4, Я7, Я8 .
2. Автоматизированную поверку СИ электрических величин и времени, приборов связи, поверку и ремонт СИ давления.
3. Регулировку и текущий ремонт СИ радиотехнических и электрических величин.
4. Обмен информацией между рабочими местами по локальной сети.
5. Самоповерку 67% рабочих эталонов комплекса.
6. Автоматизацию управления производственной деятельностью метрологических подразделений.

Комплекс автономного метрологического обслуживания К-639 (14Б328) “Кедрач” обеспечивает автоматизированную поверку до 95% парка средств электрорадиоизмерений.

Комплекс состоит из 5 систем поверки (АРМП), в каждую из которых входят: рабочие эталоны и вспомогательные СИ, ПЭВМ и коммутирующие устройства. Каждая из систем может использоваться как в составе комплекса, так и самостоятельно. Конфигурация систем может изменяться. Для проведения поверки в память ПЭВМ вводится программа поверки конкретного прибора. Вся информация о необходимых действиях поверителя и их последовательности выводится на монитор его рабочего места.

Комплекс обеспечивает поверку следующих СИ:

В2, В3, В4, В6, В7, В8, В9, Е6, У2, У3, У4, У5, У7, Л2, Р1, Р2, Р3, Р4, Р5, Ч1, Ч2, Ч3, Ч6, Ф2, Ф4, С1, С2, С3, С4, С6, С7, С8, С9, Д2, Д3, Д5, Х1, Х5, Г2, Г3, Г4, Г5, Г6, М3, М5, И2 , щитовых и переносных электроизмерительных приборов.

Комплекс позволяет проводить самоповерку всех систем.

ЧАСТЬ 2. РЕМОНТ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

ГЛАВА 3. РЕМОНТ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕМОНТЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ

Ремонт средств измерений в Вооруженных Силах РФ проводится в рамках системы ТО и ремонта ИТ, которая представляет собой совокупность взаимосвязанных сил и средств, документации по ТО и ремонту, мероприятий, необходимых для поддержания и восстановления качества образцов ИТ, входящих в эту систему. ТО и ремонт ИТ организуются по планово-предупредительному принципу с внедрением ТО с периодическим контролем и ремонтом по техническому состоянию. Требования по ТО и контролю технического состояния излагаются в эксплуатационной документации на образцы ИТ, а на ремонт – в ремонтной документации. При отсутствии в эксплуатационной (ремонтной) документации на образцы ИТ указаний о единых видах ТО, контроля технического состояния или ремонта необходимо руководствоваться требованиями руководящих документов по метрологическому обеспечению ВС РФ.

Система ТО и ремонта образцов ИТ включает три подсистемы:

- контроля технического состояния ИТ;
- ТО ИТ;
- ремонта ИТ.

Подсистема ремонта СИ предназначена для восстановления их исправности, работоспособности или ресурса путем замены (ремонта) блоков, узлов и деталей.

В зависимости от технического состояния СИ, характера и объема работ по его восстановлению вводятся следующие виды ремонта:

- текущий ремонт (ТР);
- средний ремонт -1 (СР-1);
- средний ремонт -2 (СР-2);
- капитальный ремонт (КР).

Ремонт СИ осуществляется в войсковых ремонтных организациях, на ремонтных предприятиях Министерства обороны Российской Федерации или в МВЧП, а также на предприятиях промышленности и Госстандарта России. Организации и предприятия, осуществляющие ремонт СИ, должны быть лицензированы на данный вид деятельности (иметь лицензию установленного образца).

ТР выполняется для восстановления работоспособности СИ и заключается в устранении отказов и повреждений посредством замены отказавших составных частей (комплектующих элементов) или регулировки СИ в целях доведения их характеристик до установленных значений.

Под регулировкой понимается совокупность операций по доведению погрешностей СИ до значений, соответствующих техническим требованиям, с помощью регулировочных элементов и других специальных приспособлений, предназначенных для этих целей. Регулировка СИ проводится в соответствии с требованиями эксплуатационной или ремонтной документации.

ТР СИ осуществляют войсковые ремонтные организации и МВЧП.

К войсковым ремонтным организациям относятся подразделения (мастерские) по ремонту ВВТ воинских частей и соединений. ТР СИ в войсковых ремонтных организациях осуществляется в установленном для ремонта ВВТ порядке.

ТР СИ силами МВЧП может проводиться как в стационарных условиях, так и в местах эксплуатации СИ силами ВМГ.

ТР включает:

- а) внешний осмотр, определение комплектности;
- б) очистку от пыли, загрязнений и окислений элементов монтажа и коммутационных устройств;
- в) устранение незначительных механических повреждений (помятостей корпуса, конусности и искривления направляющих, люфтов и т. п.);
- г) отыскание и устранение отказов посредством замены отказавших (поврежденных) элементов и деталей (вставок плавких, резисторов, транзисторов, диодов, стекол, пружин и т. п.), не требующих последующей сложной регулировки;
- д) устранение отказов посредством регулировок, приведенных в эксплуатационной документации;
- е) замену отказавших составных частей СИ, обнаруженных с помощью встроенных (при их наличии) или внешних средств диагностирования;
- ж) отыскание и устранение отказов с применением трудоемких операций по замене элементов и деталей (микросхем, микромодулей, галетных переключателей и т. п.), не требующих проведения последующей сложной регулировки, связанной с подбором элементов, балансировкой схем и т. п.;
- з) другие работы, равные вышеприведенным по сложности.

СИ, восстановить которые силами и средствами войсковых ремонтных организаций или МВЧП невозможно, возвращаются воинским частям-владельцам с извещением о непригодности к применению для отправки в ремонтные организации или списания.

СР-1 выполняется для восстановления исправности СИ при отказах и повреждениях, вызывающих необходимость проведения ремонтных работ по продлению срока службы СИ.

При СР-1 проводятся:

- а) работы, выполняемые при ТР;

б) разборка СИ в объеме, необходимом для определения исправности каждой его составной части;

в) сложные регулировочно-настроечные операции, связанные с подбором элементов, перемоткой проволочных резисторов, катушек, переградуировкой шкал и т. п.;

г) восстановление (исправление) лакокрасочных и гальванических покрытий, устранение механических повреждений корпуса несущих конструкций и т. п.;

д) другие работы, равные вышеприведенным по сложности.

СР-1 выполняется силами и средствами войсковых ремонтных организаций и МВЧП, как правило, в стационарных условиях. Допускается проводить СР-1 силами ВМГ при условии комплектования их соответствующим ремонтно-технологическим оборудованием, ЗИП и документацией.

Для СИ с истекшим сроком службы (выработанным ресурсом) проверка проводится в объеме проверки после ремонта или первичной проверки в соответствии с требованиями нормативных и эксплуатационных документов (при наличии технических возможностей МВЧП).

СР-2 выполняется для восстановления исправности при отказах и повреждениях СИ, когда его восстановление путем проведения СР-1 невозможно. При СР-2 проводятся работы по частичному (40—65%) восстановлению ресурса СИ. СР-2 проводится по ремонтной документации на СИ.

При СР-2 проводятся в полном объеме операции СР-1, а также выполняются работы по оценке и восстановлению ресурса СИ посредством замены изношенных или выработавших свой ресурс составных частей (элементов, узлов, блоков) при их отказе или осуществляется предупредительная замена составных частей в соответствии с указаниями в эксплуатационной или ремонтной документации. Указанные работы проводятся при наличии в документации критериев предельного состояния элементов (СИ).

КР выполняется на сложных СИ, когда восстановление их исправности в рамках СР-2 невозможно или неэффективно, а также при отсутствии серийно выпускаемых аналогов. При проведении КР проводятся работы по близкому к полному (до 95%) восстановлению ресурса с заменой или восстановлением любых, включая базовые, частей СИ. КР проводится по ремонтной документации на СИ.

СР-2 и КР СИ осуществляют ремонтные предприятия Министерства обороны Российской Федерации. К ремонтным предприятиям Министерства обороны Российской Федерации относятся заводы, базы (арсеналы) по ремонту ВВТ видов Вооруженных Сил Российской Федерации и управлений Министерства обороны Российской Федерации.

СР-2 и КР проводятся в стационарных условиях.

При невозможности ремонта СИ на ремонтных предприятиях Министерства обороны Российской Федерации разрешается ремонтировать их на предприятиях промышленности и Госстандарта России.

Комплекты документов для ремонта СИ поставляются видами Вооруженных Сил Российской Федерации и управлениями Министерства обороны Российской Федерации, Метрологической службой Вооруженных Сил Российской Федерации, ведающими обеспечением войск соответствующими СИ, централизованно через довольствующие органы.

3.2. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ

Планирование ремонта средств измерений

Планирование ремонта и поверки СИ в Вооруженных Силах Российской Федерации осуществляется ежегодно в целях обеспечения правильного использования, своевременного проведения ремонта (поверки), и постоянного контроля за техническим состоянием СИ и включает составление заявок на ремонт (поверку) СИ и планов-графиков представления СИ на ремонт (поверку).

Заявки на ремонт (поверку) СИ бывают первичными - заявки от воинских частей (в том числе метрологических) и обобщенными - заявки от соединений, объединений, видов Вооруженных Сил Российской Федерации, управлений Министерства обороны Российской Федерации. Составляют заявки начальники метрологических служб в структуре Вооруженных Сил Российской Федерации и командиры (начальники) метрологических воинских частей. В них включаются все СИ, нормативный срок поверки которых приходится на планируемый год и которые не могут быть отремонтированы (поверены) в МВЧП, подчиненных начальникам соответствующих метрологических служб¹. Сроки и места ремонта (поверки) СИ заявляются в соответствии с потребностями войск (сил) в их применении на основе сведений, содержащихся в областях лицензирования (аккредитации) МВЧП, а также сведений о СИ, поверяемых Государственными научными метрологическими центрами и органами Государственной метрологической службы.

Доведение областей лицензирования (аккредитации) подчиненных МВЧП до нижестоящих метрологических служб осуществляют начальники соответствующих метрологических служб. При изменении области лицензирования (аккредитации) МВЧП заинтересованные метрологические службы информируются об этом в срок до 1 июня года, предшествующего планируемому.

¹ В заявки от метрологических воинских частей включаются рабочие эталоны и рабочие СИ, поверка которых не освоена в этих организациях.

Заявки от воинских частей и обобщенные заявки за соединения и объединения представляются начальниками соответствующих метрологических служб в вышестоящую метрологическую службу.

Заявки от видов Вооруженных Сил Российской Федерации и управлений Министерства обороны Российской Федерации составляются начальниками соответствующих метрологических служб отдельно для 32 ГНИИ МО, ЦБИТ и БИТ МО и представляются непосредственно в эти организации.

При невозможности или экономической нецелесообразности ремонта (поверки) части СИ в МВЧП Вооруженных Сил Российской Федерации разрешается, начиная с уровня объединений и выше, на данные СИ составлять отдельные заявки и направлять их в органы Государственной метрологической службы.

Сроки представления заявок приведены в таблице 3.8.

32 ГНИИ МО, ЦБИТ и БИТ МО заявки составляют по следующим категориям организаций (метрологических служб):

- 32 ГНИИ МО - ЦБИТ МО, органы Государственной метрологической службы;
- ЦБИТ МО - 32 ГНИИ МО, метрологические службы видов Вооруженных Сил Российской Федерации, органы Государственной метрологической службы;
- БИТ МО - 32 ГНИИ МО, ЦБИТ МО, метрологические службы видов Вооруженных Сил Российской Федерации, органы Государственной метрологической службы.

Воинские части, дислоцированные в регионах, в которых отсутствует (не развита) сеть МВЧП данного вида Вооруженных Сил Российской Федерации, управления Министерства обороны Российской Федерации, а также в случаях, когда имеющимися МВЧП не освоены ремонт (поверка) определенной номенклатуры эксплуатируемых в войсках (силах) СИ, могут прикрепляться для обслуживания (поверка и ремонт), принадлежащих им СИ к МВЧП других видов Вооруженных Сил Российской Федерации², управлений Министерства обороны Российской Федерации.

Прикрепление указанных воинских частей для обслуживания принадлежащих им СИ организуется, как правило, по территориальному принципу и осуществляется:

- к метрологическим воинским частям центрального подчинения - решением заместителя главнокомандующего видом Вооруженных Сил Российской Федерации по вооружению, заместителя начальника управления Министерства обороны Российской Федерации;
- к МВЧП объединений, соединений и воинских частей - решением заместителя командующего объединением по вооружению.

² Порядок прикрепления воинских частей для обслуживания принадлежащих им СИ к МВЧП других объединений и соединений своего вида Вооруженных Сил Российской Федерации устанавливается метрологической службой данного вида Вооруженных Сил Российской Федерации.

Таблица 3.8

Уровень организационного построения войск	Документы по планированию поверки (ремонта) СИ			
	Заявки на поверку (ремонт) СИ		Планы-графики представления СИ на поверку (ремонт)	
	Срок представления в вышестоящую метрологиче- скую службу ³	Срок представления в органы Госу- дарственной метрологиче- ской службы	Срок утверждения ⁴	Уровень утверждения
1	2	3	4	5
Воинская часть (в том числе метрологическая)	1.08	-	Сноска ⁵	Командир (начальник)
Соединение	15.08	-	1.10	Командир
Объединение (кроме военного округа)	15.09	15.09	1.11	Командующий (командир)
Вид Вооруженных Сил Российской Федерации, управление Министерства обороны Российской Федерации, военный округ	15.10	15.10	1.12	Начальник Главного штаба вида Вооруженных Сил Российской Федерации, начальник управления Министерства обороны Российской Федерации, начальник штаба военного округа
32 ГНИИ МО, ЦБИТ МО, БИТ МО	1.08	1.08	15.11	Начальник Метрологической службы Вооруженных Сил Российской Федерации

³ В видах Вооруженных Сил Российской Федерации и управлениях Министерства обороны Российской Федерации сроки представления заявок от воинских частей, соединений и объединений могут устанавливаться самостоятельно, но при обязательном соблюдении сроков представления заявок в 32 ГНИИ МО, ЦБИТ и БИТ МО.

⁴ Сроки утверждения планов-графиков представления СИ на поверку (ремонт) должны обеспечивать поступление в воинские части, являющиеся владельцами заявленных в поверку (ремонт) СИ, выписок из них не позднее 20 декабря года, предшествующего планируемому.

⁵ Разрабатывается только в случае, если в воинской части имеется метрологическое подразделение и устанавливаются сроки представления СИ на поверку подразделениями воинской части.

Решение о прикреплении воинских частей принимается на основе обращений видов Вооруженных Сил Российской Федерации, управлений Министерства обороны Российской Федерации в соответствующие органы военного управления. В обращении должны содержаться следующие сведения:

- наименование воинской части, пункт дислокации и почтовый адрес;
- способ финансирования хозяйственной деятельности (сметно-бюджетное финансирование, операционные кредиты, хозяйственное ведение);
- номенклатура (с детализацией при необходимости до типа СИ) и количество подлежащих поверке (ремонту) СИ с указанием классов точности (разрядов - для рабочих эталонов), пределов измерений, частотных диапазонов и других сведений, необходимых для принятия решения о возможности поверки (ремонта) СИ в соответствующей МВЧП.

Начальники метрологических служб органов военного управления, в адрес которых поступили соответствующие обращения, на основе анализа приведенных в них сведений и оценки возможностей удовлетворения заявляемых потребностей в ремонте (поверке) СИ подчиненными МВЧП разрабатывают обоснованные заключения в проект решения о прикреплении воинских частей для обслуживания принадлежащих им СИ к указанным МВЧП.

Координация планирования метрологических работ по территориальному принципу и организация их выполнения МВЧП, дислоцированными в территориальных границах военных округов, осуществляется начальниками метрологических служб военных округов в соответствии с указаниями начальника Метрологической службы Вооруженных Сил Российской Федерации.

Воинские части, прикрепленные для обслуживания принадлежащих им СИ к МВЧП других видов Вооруженных Сил Российской Федерации, управлений Министерства обороны Российской Федерации, заявки на выполнение ремонта (поверки) СИ представляют в метрологические службы, которым эти МВЧП подчинены. Если воинская часть прикреплена для обслуживания принадлежащих ей СИ к метрологическому подразделению объединения (соединения, воинской части), то заявка подается в метрологическую службу соответствующего объединения, управления Министерства обороны Российской Федерации.

На СИ, для которых потребность в ремонте и поверке или изменении места и (или) сроков их проведения возникла после утверждения соответствующих планов-графиков (получение на снабжение и ввод в эксплуатацию новых СИ, вызванное внезапными обстоятельствами снятие СИ с длительного хранения и др.), а также в других обоснованных случаях могут составляться дополнительные заявки.

Плановыми документами, на основе которых организуется ремонт и поверка СИ, являются:

- план-график ремонта и поверки;
- выписки из планов-графиков от вышестоящих метрологических служб.

Планы-графики разрабатывают начальники метрологических служб в структуре Вооруженных Сил Российской Федерации (за исключением начальников метрологических служб воинских частей, в которых отсутствуют метрологические подразделения) с привлечением подчиненных МВЧП на основе:

- сведений о СИ⁶, содержащихся в книгах учета по форме 34;
- заявок от нижестоящих метрологических служб;
- заявок от воинских частей центрального подчинения, а также воинских частей, подчиненных органам управления объединений (для метрологических служб объединений и выше);
- заявок от воинских частей, прикрепленных для обслуживания принадлежащих им СИ к подчиненным МВЧП.

Рабочие эталоны включаются в отдельный раздел плана-графика.

После утверждения планов-графиков начальники соответствующих метрологических служб в 15-дневный срок формируют выписки из них, которые доводят до нижестоящих метрологических служб и воинских частей-заявителей.

Сроки и уровень утверждения планов-графиков приведены в таблице 3.8. Контроль выполнения планов-графиков осуществляют начальники соответствующих метрологических служб.

Планирование ремонта образцов ИТ в войсковых ремонтных организациях, на ремонтных предприятиях Министерства обороны Российской Федерации и предприятиях промышленности осуществляется в порядке, установленном для ремонта ВВТ.

Требования к метрологическим воинским частям и подразделениям, лицензируемым на право ремонта средств измерений

Воинская часть, осуществляющая ремонт СИ, должна обеспечивать выполнение требований законодательных и правовых актов, руководящих и нормативных документов по обеспечению единства и точности измерений и иметь установленной формы Паспорт.

В Паспорт включаются общие сведения о метрологической воинской части, заявляемая область лицензирования (перечень и характеристики СИ), а также сведения, подтверждающие соответствие воинской части установленным требованиям и ее готовность обеспечить необходимое качество ремонта СИ.

⁶ Для воинских частей, имеющих в своем составе метрологические подразделения.

Метрологическая воинская часть для получения лицензии на ремонт СИ должна иметь:

помещения и рабочие места, соответствующие требованиям по организации ремонта СИ, условиям их хранения и технике безопасности;

необходимые технологическое оборудование и инструмент, исправные и поверенные СИ, ремонтную документацию, ЗИП и электрорадиоэлементы;

квалифицированных специалистов-ремонтников;

аттестат аккредитации на право поверки СИ или договор на проведение поверочных работ с МВЧП сферы обороны и безопасности Российской Федерации (органом Государственной метрологической службы).

ГЛАВА 4. ПРИНЦИПЫ РЕМОНТА РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В процессе эксплуатации РИП в них периодически возникают различного рода неисправности. Учитывая, что современные РИП обладают достаточно сложным схемным построением, процесс отыскания в них неисправностей часто бывает сложным и трудоемким и требует от специалиста, осуществляющего ремонт, хороших знаний и навыков в работе.

4.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РЕМОНТА РИП

Ремонт радиоизмерительных приборов обычно производится в следующей последовательности:

- устанавливается факт неработоспособности;
- определяется отказавший блок (модуль);
- выявляются неисправные электрорадиоэлементы (ЭРЭ) в вышедшем из строя блоке (модуле);
- восстанавливаются вышедшие из строя блоки (модули);
- проводится контроль работоспособности устройства;
- осуществляется регулировка устройства;
- проводится проверка отремонтированного устройства.

Все неисправности в РИП можно подразделить на механические и электрические. Механические неисправности возникают в механических узлах. Например, в галетных или кнопочных переключателях, в переменных и подстроенных резисторах, в механизмах настройки частоты и многих других. Электрические неисправности возникают в электрических цепях и проявляются в виде коротких замыканий, обрывов в микросхемах, транзисторах, конденсаторах, резисторах, дросселях, трансформаторах и др.

Большинство механических неисправностей и, в ряде случаев, электрических, выявляются при проведении визуального осмотра аппаратуры. Визуальным осмотром определяют качество монтажа, отсутствие обрывов в печатных дорожках и проводниках, качество паяк (холодные пайки), а также контролируется соответствие номиналов резисторов и емкостей конденсаторов (рабочих напряжений) требованиям принципиальных схем. Часто при визуальном осмотре выявляются обуглившиеся резисторы, вздутые электролитические конденсаторы, наличие подтеков пропиточного материала в трансформаторах, механические повреждения в керамических конденсаторах и др.

О наличии электрических неисправностей в аппаратуре могут свидетельствовать запахи от перегретых обмоток трансформаторов, дросселей, резисторов, изменение тона звуковых колебаний, вызванных работой трансформаторов (гул с частотой 50 Гц). При проведении визуального

осмотра необходимо вручную проверять качество крепления механических узлов (трансформаторов, дросселей, переключателей, электрических конденсаторов, переменных и полупеременных резисторов и др.).

После проведения ремонта РИП проводится контроль его работоспособности, который заключается в проверке нескольких технических параметров устройства. Например, в осциллографе, регулируется и яркость свечения луча, перемещается ли луч вниз, вверх, осуществляется ли развертка луча при подаче на вход Y синусоидального сигнала и т.д.

После проведения контроля работоспособности РИП проводится его регулировка. Регулировочнонастроечные работы имеют целью приведение технических параметров РИП в соответствие с требованиями нормативно-технической документации (НТД) и заключаются в том, что, не изменяя электрической схемы прибора и его конструкции, путем подбора элементов схемы или подстройки ЭРЭ добиваются получения оптимальных значений выходных параметров. Вначале производят регулировку отдельных блоков (модулей), а затем регулируется в комплексе весь РИП.

Ввиду того, что в большинстве случаев РИП используются для измерения технических параметров (ТП) и характеристик радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), то после проведения его ремонта, контроля работоспособности и регулировки РИП в обязательном порядке должен пройти метрологическую поверку с целью установления соответствия его основных ТП и характеристик требованиям нормативно-технической документации. К такой документации относятся: ГОСТы, ОСТы, ТУ, технические инструкции по эксплуатации, технические паспорта и т.п.

При поиске неисправностей в радиоизмерительных приборах широко используются вспомогательные приборы: осциллографы, вольтметры, мультиметры, логические пробники, генераторы логических сигналов, токовые трассировщики и другие.

С помощью осциллографа производят измерение параметров постоянных (при открытом входе) и переменных напряжений, длительностей фронтов и спадов импульсов, частоты и периодов колебаний. Осциллографы позволяют рассматривать на экране электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) параметры модулированных радиочастотных сигналов, оценивать коэффициент модуляции и степень искажения модулированного сигнала. Кроме того, осциллограф позволяет снять амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики и осуществить другие комплексные измерения в широком диапазоне частот. Появившиеся в последние годы цифровые осциллографы открыли новые возможности исследований благодаря запоминанию электрического сигнала и его последующей обработке с отделением сигналов от помех, а также воспроизведению принятых и преобразованных сигналов на печатающем устройстве и т.д. При работе с осциллографом следует знать и помнить, что он измеряет мгновенное значение размаха переменного напряжения U_p и тока, в отличие от вольтметров и цифровых мультиметров, которые измеряют действующее значение

напряжения U и тока. Математическая связь этих величин описывается следующими формулами:

$$U_p = 2 \cdot U_m, U_m = \sqrt{2}U, \text{ откуда } U_p = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U \text{ или } U = U_p / (2 \cdot \sqrt{2}),$$

где U_m - амплитудное значение напряжения.

Пример 1. Осциллографом измерен размах переменного напряжения $U_p=28,2$ В. Определить, какое значение напряжения покажет при этом вольтметр или цифровой мультиметр.

$$U = U_p / (2 \cdot \sqrt{2}) = 28,2 / (2 \cdot 1,41) = 28,2 / 2,82 = 10.$$

Пример 2. Какое значение размаха переменного напряжения покажет осциллограф, если с помощью его измерять напряжение в промышленной сети?

$$U_p = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 220 = 440 \cdot 1,41 = 620,4 \text{ В.}$$

Последний пример показывает, почему при измерении напряжения промышленной сети необходимо в обязательном порядке пользоваться делителем напряжения. В противном случае можно вывести прибор из строя, т.к. большинство осциллографов могут измерять наибольшее значение напряжения в диапазоне 80 - 160 В.

4.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА КОНТРОЛЯ И ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В РИП

При отыскании неисправностей в РИП можно использовать технологическую схему контроля и поиска неисправностей, приведенную на рис. 4.34.

Вверху технологической схемы указывается внешнее проявление неисправности, например, "отсутствует луч на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) осциллографа", "не перемещается луч по вертикали", "нет синусоидального сигнала на выходе генератора низкой частоты" и т.д.

На первом этапе специалист, осуществляющий ремонт устройства, изучает принцип работы устройства по электрическим схемам: структурной, принципиальной и монтажной.

После изучения взаимосвязей между наиболее вероятными неисправными блоками (модулями) устройства, проводят визуальный осмотр подозреваемых неисправных блоков (модулей). В случае, если при визуальном осмотре были выявлены, например, обугленные резисторы, вздутые электролитические конденсаторы, механические повреждения керамических конденсаторов и другие дефекты, эти элементы заменяют на заведомо работоспособные. Если при визуальном осмотре не выявлено неработоспособных элементов, то специалистом, в зависимости от вида неисправности, производится выбор методов поиска неисправностей и составляется алгоритм их поиска.

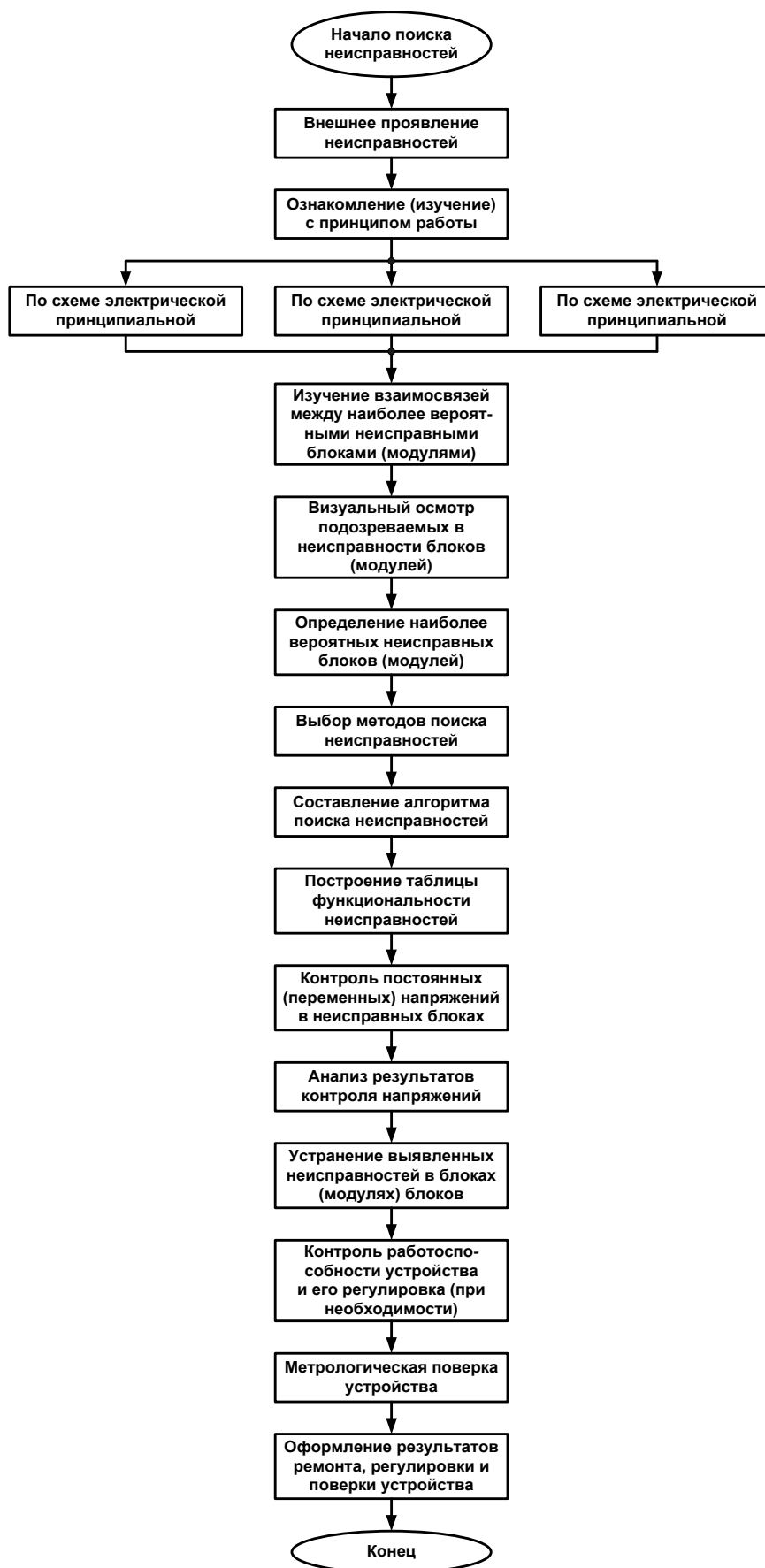


Рис. 4.34. Технологическая схема контроля и поиска неисправностей в РИП

Необходимо отметить, что если составленный и реализованный на практике алгоритм не позволил выявить неисправности в аппаратуре, то это говорит о том, что специалистом не достаточно полно изучены принцип ее работы и методы поиска неисправностей в блоках (модулях) или аппаратуре в целом.

На следующем этапе проводят построение таблицы функций неисправностей для радиоэлектронного устройства (РЭУ). Она представляет собой таблицу, в которой записаны значения статических характеристик (постоянных) и динамических (переменных) параметров (напряжений, токов и т. д.) в характерных контрольных точках схемы ремонтируемого устройства. Следует помнить, что постоянные напряжения определяют режим работы отдельных каскадов в схеме ремонтируемого блока (модуля).

После составления модели в соответствии с выбранными методиками и алгоритмом выявляются и устраняются неисправности в РЭУ.

На следующем этапе работ проводят контроль работоспособности устройства и по его результатам, в случаях необходимости, осуществляют регулировку (комплексную регулировку).

Так как радиоизмерительные приборы применяются для измерений параметров (характеристик) различного рода радиоэлектронных устройств, то они в обязательном порядке должны после ремонта и регулировки пройти метрологическую поверку.

4.3. ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ РЕМОНТА

Процесс поиска неисправностей в устройствах представляет собой совокупность элементарных проверок, т.е. физических экспериментов над ремонтируемым устройством, определяемых значением воздействия, которое подается на устройство, а также его реакцией на это воздействие. Выявить неисправность можно только в том случае, если существует такое тестовое воздействие, реакция на которое у работоспособного и неработоспособного устройства различна. В общем случае может существовать несколько элементарных проверок, позволяющих выявить определенное техническое состояние устройства. Они различаются множеством контрольных точек, видом и последовательностью входных тестовых воздействий.

Разнообразие перечисленных возможностей вызывает необходимость формализации разработки процесса поиска неисправностей в устройстве. Первый этап формализации предполагает наличие некоторого описания ремонтируемого устройства и его поведения в работоспособном и неработоспособном состояниях.

Такое формальное описание в аналитической, векторной, графической или табличной формах называют математической моделью ремонтируемого устройства.

Любое устройство, в том числе и радиоизмерительный прибор, характеризуется зависимостью множества выходных параметров $Y=\{Y_k\}$ от множества входных $X=\{X_k\}$ и внутренних $A=\{A_k\}$ переменных. Поведение модели устройства в общем случае зависит от времени t :

$$Y = F(X, A, t). \quad (1)$$

Такая запись представляет систему передаточных функций работоспособного устройства. Неисправность, возникшая в устройстве, приводит к искажению передаточных функций, характеризуемых множеством моделей неработоспособного объекта:

$$Y_i = F(X, A_i, t), \quad (2)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots M$ - номера неисправных состояний.

Часто в явном виде задается только модель работоспособного устройства, а модели (2) подлежат разработке. Для большинства сложных устройств обычно не удается составить модель (2), используя только внешние узлы - основные входы и выходы. Поэтому система уравнений (2) обычно должна включать описание внутренних, электрических и временных зависимостей, выявленных на расширенном множестве функциональных узлов.

Обозначим множество всех допустимых элементарных проверок ремонтируемого устройства $P=\{P_j\}$. Допустимыми будем считать все физически осуществимые элементарные проверки при поиске неисправностей. Каждая проверка характеризуется значением X_j воздействия, подаваемого на ремонтируемое устройство, составом контрольных точек и значением реакций устройства на эти воздействия.

В общем случае число возможных результатов проверки определяется числом контрольных точек в устройстве и числом воздействий X_j на него.

Ответные реакции R_j на X_j входные воздействия для работоспособного (3) и неработоспособного (4) устройств определяются уравнениями:

$$R_j = F(P_j) \quad (3)$$

$$R_j^i = F^i(P_j^i) \quad (4)$$

Элементарные проверки позволяют обнаруживать любое состояние из множества неработоспособных состояний $S_{НР}$ устройства, если найдется хотя бы одна проверка P_j , для которой ответные реакции у работоспособного R_j и неработоспособного R_j^i устройства различны, т.е. $R_j \neq R_j^i$.

Для разработки процедуры поиска неисправностей необходимо получить множество реакций для всех допустимых элементарных проверок

P_i и выбрать те проверки из множества $\{P_i\}$, которые позволяют различить все состояния из множества технических состояний устройства S .

Процесс поиска неисправностей при этом требует глубокого анализа результатов измерений, большого числа вычислительных операций и многократного сравнения их результатов.

Процесс поиска неисправностей в устройстве значительно усложняется, поэтому аналитические методы разработки этого процесса в устройствах нашли применение в тех случаях, когда устройства по схемным решениям просты и мощность множества технических состояний S ограничена (например, только с одиночными неисправностями), а элементарные проверки проводятся с помощью однотипных входных воздействий.

Более проста, наглядна и удобна при анализе и разработке процедуры поиска неисправностей табличная модель устройства.

Таблица, отображающая реакции устройства на все допустимые элементарные проверки для всего множества возможных технических состояний, называется таблицей функций неисправности устройства (ТФН). Она представляет собой универсальную математическую модель устройства. Задание ТФН эквивалентно заданию моделей (2) и (3). Одна из таких ТФН приведена в таблице 4.9.

Таблица 4.9.

Техническое состояние		S_1	S_2	S_3	...	S_k
Элементарные проверки	Заданная реакция	R_1	R_3	R_5	...	R_n
P_1	Реакция РЭУ на P_1	R_2	R_4	R_6	...	R_m
P_2	Реакция РЭУ на P_2	R_7	R_3	R_5	...	R_k
P_n	Реакция РЭУ на P_n	R_1	R_3	R_5	...	R_n

Анализ приведенной ТФН показывает, что элементарные проверки P_1 , и P_2 позволяют установить факт наличия неисправностей в радиоэлектронном устройстве, т.к. на элементарную проверку P_1 ответная реакция не совпадает с заданными в таблице реакциями работоспособного РЭУ, т.е. $R_1 \neq R_2$, $R_3 \neq R_4$, $R_5 \neq R_6$, $R_n \neq R_m$.

После проведения ремонта РЭУ вторая элементарная проверка P_2 установила, что $R_1 \neq R_7$, а $R_n \neq R_k$.

После повторного ремонта (при необходимости регулировки) P_n элементарная проверка не позволила выявить различимость заданных R_i и ответных реакций, т.е. $R_1=R_1$, $R_3=R_3$, $R_5=R_5$, $R_n=R_n$. Таким образом после ремонта и регулировки устройства его техническое состояние стало работоспособным.

Множество элементарных проверок позволяет обнаруживать неисправности в устройствах. Одна из задач оптимизации процесса поиска неисправностей состоит в сокращении числа элементарных проверок, обеспечивающих требуемую глубину поиска неисправностей.

При проведении ремонта радиоизмерительных приборов специалист, осуществляющий его ремонт, в обязательном порядке должен построить ТФН на основе таблиц, приведенных обычно в приложениях к инструкциям по эксплуатации устройств, технических паспортах и других документах. Пример такой ТФН приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10.

Измеряемые параметры		VT1 Напряжение, В			VT2 Напряжение, В			VT3 Напряжение, В		
Контрольные точки		К	Э	Б	К	Э	Б	К	Э	Б
R _j	Заданная реакция	-0,6	+2,85	+2,2	+0,6	-6,3	-0,9	+0,4	+3,9	+3,0
P ₁	Измерено	-0,58	+1,1	+2,5	+0,63	-6,1	-1,5	+11,5	+0,1	+0,015
P ₂	Измерено	-0,59	+2,79	+2,1	+0,59	-5,8	-0,92	+0,43	+3,7	+2,9

Первая элементарная проверка (P₁) установила различие всех ответных реакций при контроле постоянных напряжений на выводах транзисторов VT1 (Э) и VT2 (Б), т.е. установила наличие неисправностей.

После детального анализа причин несоответствия, полученных при измерении результатов, локализации и устранения неисправностей была проведена вторая элементарная проверка, которая не позволила получить различие заданных и ответных реакций при контроле постоянных напряжений на выводах транзисторов VT1 - VT3.

Часто в приложениях к инструкциям по эксплуатации радиоизмерительных приборов в таблицах, кроме постоянных (переменных) напряжений, значений сопротивлений резисторов, приводятся также эпюры напряжений на выводах транзисторов, микросхем или в характерных контрольных точках принципиальной схемы.

Заметим, что, если в НТД не указаны допуски на отклонение заданных напряжений, то обычно их принимают равными +20% от значений, заданных в таблицах.

В большинстве случаев, если постоянные напряжения на выводах транзисторов, микросхем и других элементов находятся в зонах допусков, то вероятнее всего, устройство работоспособно.

В случаях, если постоянные напряжения находятся в норме, а электрический сигнал на выходе устройства все же отсутствует, то неисправности следует искать во входных (согласующих) трансформаторах, разделительных конденсаторах (из-за обрывов в их обкладках), скрытых дефектах монтажа (СДМ) и т.п.

4.4. МЕТОДЫ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В РЭА

Радиоизмерительные приборы (РИП) являются частью более общей совокупности технических средств - радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), поэтому к ним применимы общие методы поиска неисправностей. Кроме того, именно РИП используются для диагностики и ремонта РЭА. В данном разделе приведены основные методы, позволяющие эффективно отыскать и устранить возникшие неисправности в различных радиоэлектронных устройствах.

4.4.1. Метод анализа монтажа

Метод анализа монтажа целесообразно применять либо на ранних этапах поиска неисправностей в аппаратуре - при аварийном режиме работы устройства (нет смысла использовать другие методы), либо на поздних этапах, когда с помощью других методов выявлены наиболее вероятные неисправные блоки (модули).

Принципиальная схема устройства не отражает наличие в схеме всех ЭРЭ, их работоспособности, перемычек, изолирующих проводов, паек, поэтому при визуальном осмотре устройства очень часто обнаруживается, что некоторые элементы изменили форму, цвет, размеры и т.д. Эта информация позволяет предположить наличие неисправности в том или в ином ЭРЭ, проводке, печатных дорожках, пайке и т.д.

Все изменения в монтаже можно рассматривать как поток информации от устройства к специалисту, осуществляющему его ремонт. Этот поток информации сравнивается с представлением о монтаже работоспособного устройства, и на основе сравнения (-) вырабатываются суждения о соответствии (=) или о несоответствии ($\neq$) монтажа заданным требованиям, после чего выбирается дальнейший метод поиска неисправностей.

Структурная схема при поиске неисправностей методом визуального осмотра монтажа приведена на рис 4.35.

Необходимо отметить, что метод анализа монтажа позволяет визуально ускорить поиск неисправностей в радиоаппаратуре.

4.4.2. Метод измерений

Метод измерений применяется в тех случаях, когда уже имеется информация о предположительном местонахождении неисправности в блоке (модуле). Суть метода заключается в том, чтобы после проверки значений постоянных (переменных) напряжений в схеме РЭУ найти противоречия в его работе и на их основе отыскать неисправные ЭРЭ.

При поиске неисправностей результаты измерений сравниваются с данными, приведенные в разработанной ТФН в графе "Задано". Структурная схема поиска неисправностей методом измерений приведена на рис. 4.36.

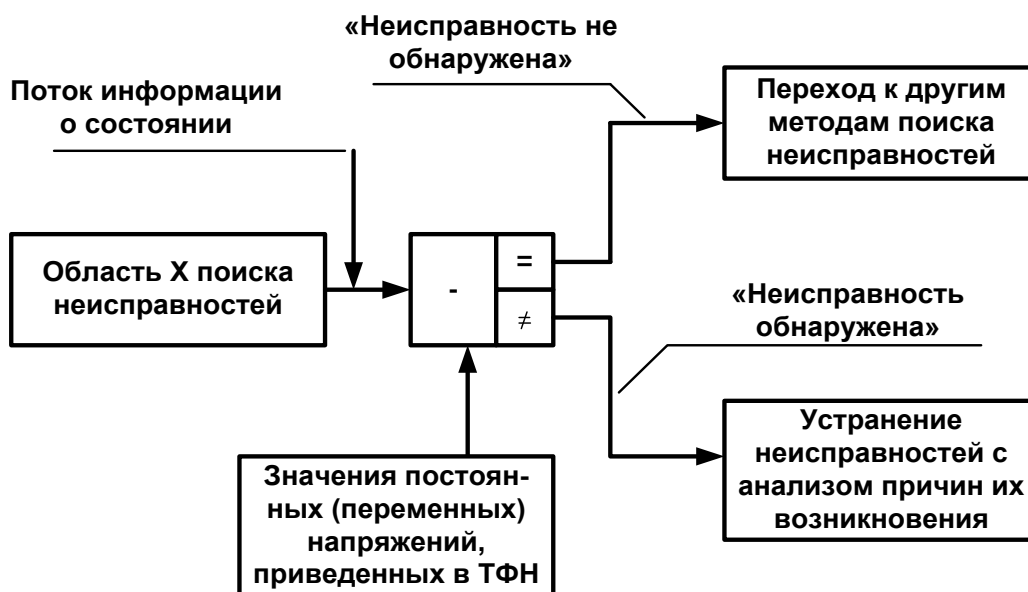


Рис. 4.35. Структурная схема поиска неисправностей методом анализа монтажа

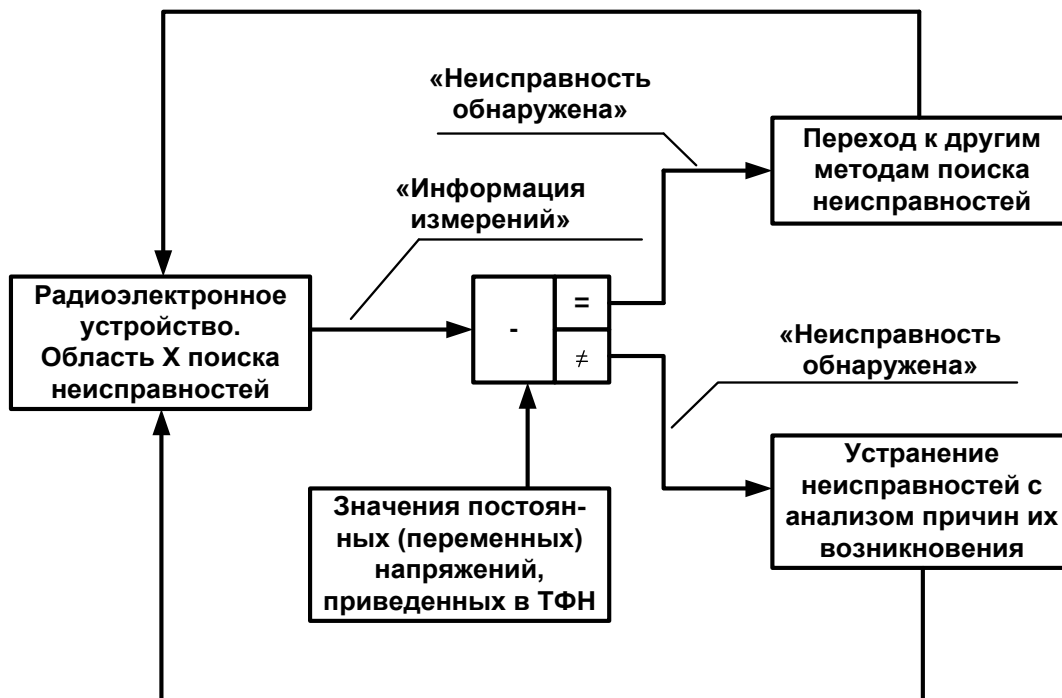


Рис. 4.36. Структурная схема поиска неисправностей методом измерений

При данном методе проводят измерения величины постоянных (переменных) напряжений в характерных контрольных точках схемы РЭУ, либо формы электрических сигналов, длительности импульсов, фронтов и

спадов импульсов и т.д. Для этих целей используют вольтметры, мультиметры, осциллографы и другие приборы.

Поиск неисправностей с помощью этого метода измерений производится в следующей последовательности:

1. Последовательными измерениями в области X находят элементы, напряжение на выходе которых отличается от значения, указанного в ТФН в графе "задано" более, чем на $\pm 20\%$.

2. Проводится анализ результатов измерений и на их основе отыскивается подмножество ЭРЭ, электрически связанных с элементом X_k , которые могут влиять на изменение его рабочего режима.

3. Выявляется и устраняется неисправный ЭРЭ (в частном случае им может оказаться и сам элемент X_k).

Если неисправность определена в достаточно узкой области X , то обычно проводят измерения не параметров электрических сигналов, а определяют работоспособность интегральных микросхем (ИМС), транзисторов, диодов, трансформаторов и других активных и пассивных ЭРЭ.

В качестве практического примера поиска неисправностей в РЭУ методом измерений можно привести алгоритм поиска неисправностей в усилителе вертикального отклонения (УВО) осциллографа С1-94. Алгоритм поиска неисправностей приведен на рис. 4.37, а схема УВО – на вклейке 1.

4.4.3. Метод воздействия

Метод воздействия заключается в том, что специалист, осуществляющий ремонт РЭА, воздействует на различные участки схемы. Реакция устройств на эти воздействия дает дополнительную информацию о месте нахождения дефектов. Таким способом воздействия являются: установка перемычек, замыкание контрольной точки на корпус, подключение работоспособного конденсатора параллельно другому ЭРЭ, подача электрических сигналов к различным участкам РЭУ и многие другие действия.

Структурная схема поиска неисправностей методом воздействия приведена на рис. 4.38.

Поиск неисправностей методом воздействия осуществляется в следующей последовательности:

1. На основе анализа результатов, полученных с помощью других методов, выбирается область воздействия X , в которой предположительно находится неисправность X_k . Выбор области X необходимо производить с учетом оптимальных шагов воздействия на РЭУ.

2. Производится выбор способов воздействия, основными требованиями к которым являются следующие факторы: безопасность для специалиста, осуществляющего ремонт РЭУ, знание реакции РЭУ на воздействие, простота реализации, оперативность выполнения, исключение возможности внесения дополнительных неисправностей в РЭУ и другие.

3. Осуществляется воздействие.

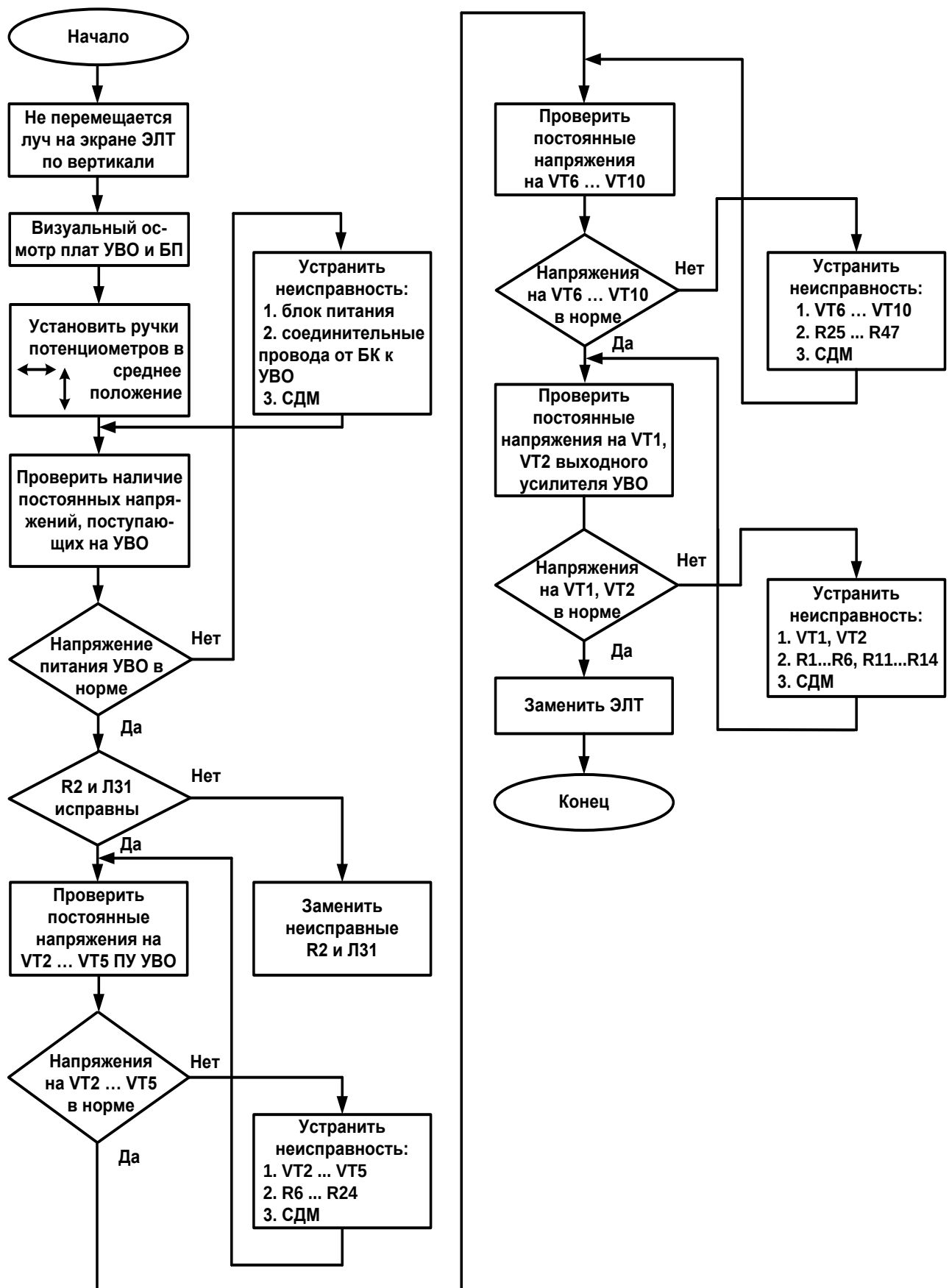


Рис. 4.37. Алгоритм поиска неисправности УВО осциллографа С1-94 методом измерений

4. По реакции РЭУ на воздействие и в результате сравнения ее с предполагаемой реакцией делается заключение о наличии или отсутствии неисправностей в выбранной области.

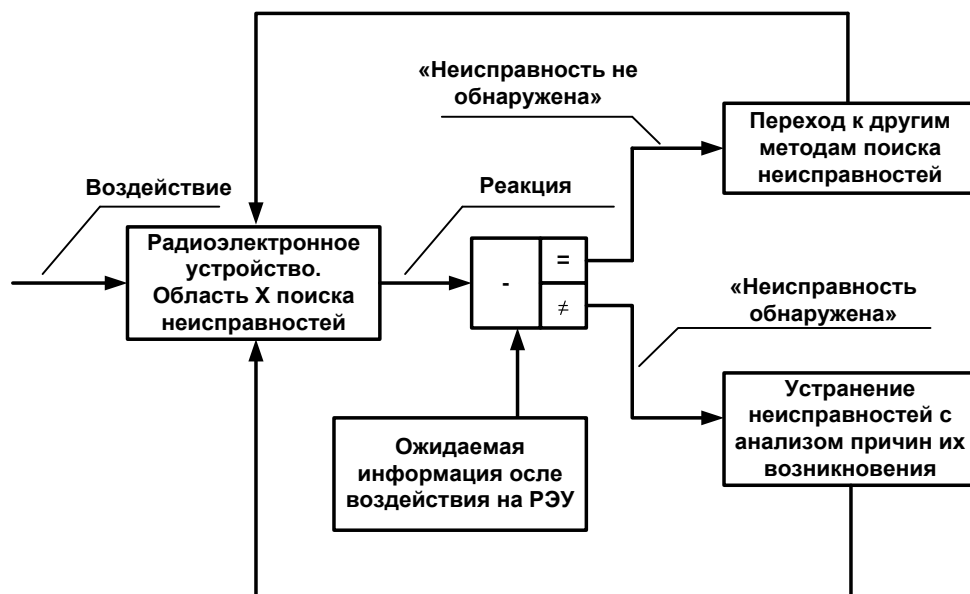


Рис. 4.38. Структурная схема поиска неисправностей методом воздействия

4.4.4. Метод исключения

Элементы, входящие в состав блоков (модулей) РЭУ, можно условно разделить на две группы: основные и вспомогательные. К основным относятся элементы, формирующие выходные параметры устройств, к вспомогательным относятся элементы, предназначенные обеспечивать качество выходных параметров. К их числу можно отнести устройства защиты по напряжению и току, устройства автоматического регулирования усиления (АРУ), устройства стабилизации выходного уровня, дополнительные фильтры по питанию и многие другие.

Если неисправный блок (модуль) после исключения вспомогательных элементов заработал, то значит, неисправен вспомогательный элемент. Если же нет, то неисправность находится в основных элементах.

Метод исключения состоит в том, чтобы из неисправного РЭУ блока (модуля) изъять на некоторое время вспомогательные элементы (х') и провести анализ работы РЭУ в целом.

Основными способами отыскания неисправностей в устройствах являются следующие мероприятия: отсоединение или "закорачивание" электрических цепей, отключение элементов, подозреваемых в неисправностях, исключение последовательных или параллельных цепей и другие.

В некоторых случаях временное "закорачивание" элементов схемы позволяет определить место неисправности или конкретно неисправный ЭРЭ. Например, допускается временное "закорачивание" дросселей фильтров по питанию, дросселей в усилительных устройствах.

Структурная схема поиска неисправностей методом исключения приведена на рис. 4.39.

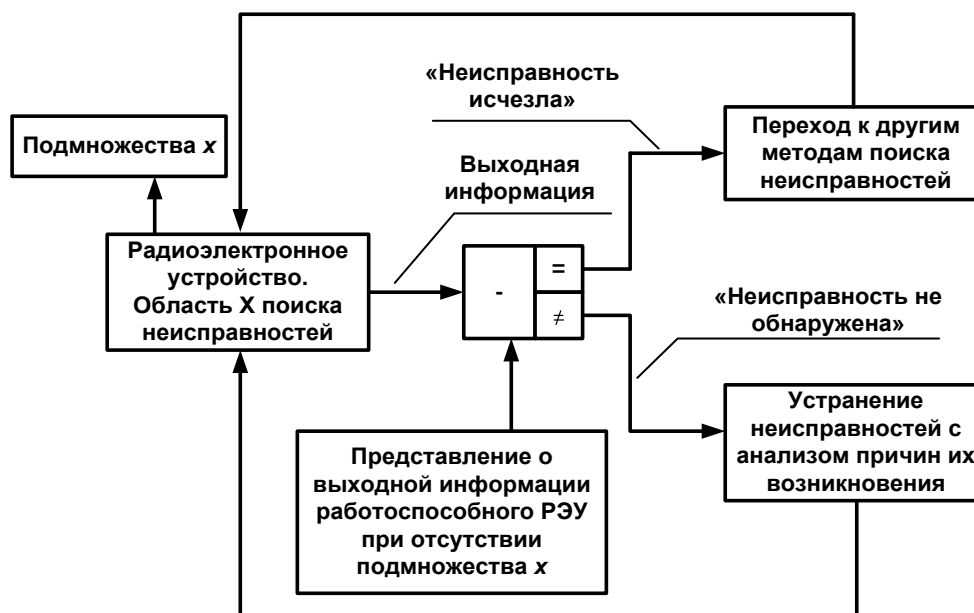


Рис. 4.39. Структурная схема поиска неисправности методом исключения

4.4.5. Метод разрыва цепи отрицательной обратной связи

Поиск неисправностей методом разрыва цепи отрицательной обратной связи рассмотрим на примере схемы компенсационного стабилизатора напряжения, приведенной на рис. 4.40. Алгоритм поиска неисправности показан на рис. 4.41.

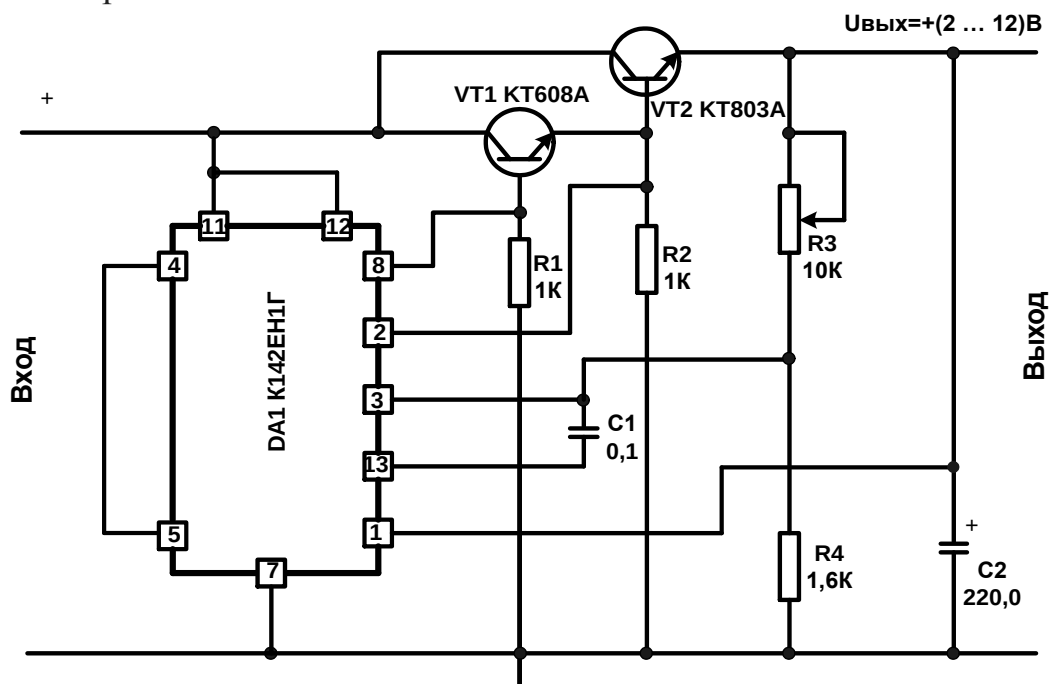


Рис. 4.40. Принципиальная схема компенсационного стабилизатора напряжения

Суть метода заключается в том, что, разрывая цепь отрицательной обратной связи, можно достаточно быстро определить, какие из ЭРЭ стабилизатора неисправны, не выпаивая их из схемы.

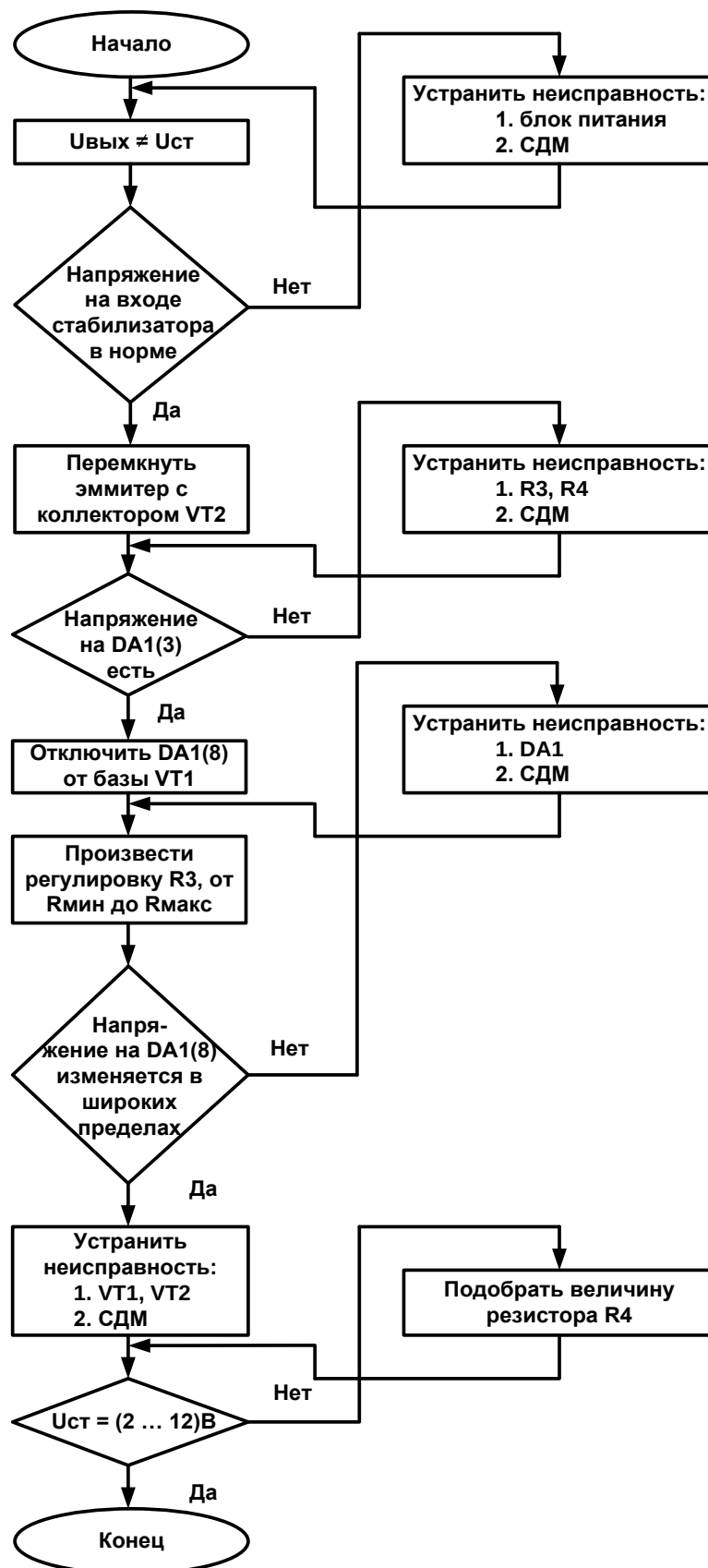


Рис. 4.41. Алгоритм поиска неисправностей в компенсационном стабилизаторе напряжения методом разрыва петли отрицательной обратной связи

Удобно разорвать цепь обратной связи путем отключения базы транзистора VT1 от выхода микросхемы DA1 (выход 8). Это можно сделать, аккуратно разрезав дорожку, соединяющую выход микросхемы с транзистором VT1. Затем необходимо задать ток через делитель обратной связи путем установки перемычки между коллектором и эмиттером транзистора VT2. Регулируя величину сопротивления резистора R3 от минимального до максимального значения, контролируют изменения постоянного напряжения на входе ИМС (вывод 3). Если напряжение не изменяется, то неисправными могут быть резисторы R3, R4, либо имеются скрытые дефекты в монтаже.

Затем повторно регулируют величину сопротивления резистора R3 и контролируют изменение постоянного напряжения на выходе микросхемы (вывод 8). Если напряжение на выводе 8 не изменяется, то, вероятнее всего, неисправна микросхема, либо имеются скрытые дефекты монтажа, например, микротрещины в печатных дорожках, непропаянные выводы ЭРЭ, короткие замыкания ЭРЭ и т.д. Если же напряжение на выходе ИМС регулируется, то неисправны транзисторы VT1, VT2, либо имеются скрытые дефекты монтажа.

4.4.6. Метод последовательного контроля

Метод последовательного контроля заключается в последовательной проверке прохождения электрического сигнала от блока к блоку, от каскада к каскаду до обнаружения неисправности.

Данный метод целесообразно применять при поиске неисправностей в устройствах, содержащих незначительное число каскадов, выполненных на транзисторах и микросхемах. Одновременно с контролем прохождения электрического сигнала контролируются значения постоянных напряжений на выводах транзисторов и микросхем, после чего их значения сравниваются со значениями, приведенными в таблицах технических описаний, инструкций по эксплуатации и другой документации.

Метод последовательного контроля прохождения сигнала обычно используют по принципу "конца к началу", т.е. контроль наличия сигнала проводят в выходной части РЭУ, а затем постепенно перемещаются в сторону входа, пока не будет обнаружен нормальный сигнал.

Структурная схема поиска неисправности методом последовательного контроля приведена на рис. 4.42.

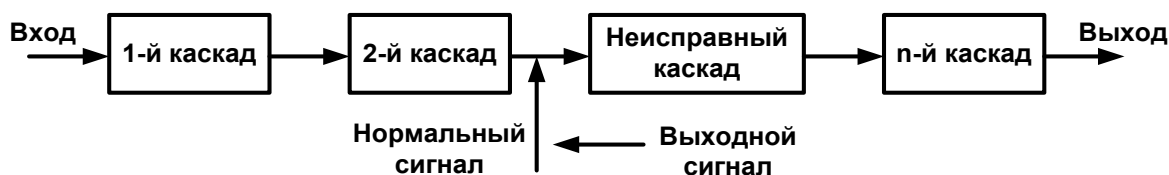


Рис. 4.42. Структурная схема поиска неисправностей методом последовательного контроля

4.4.7. Метод половинного деления схемы

Метод половинного деления схемы используется для контроля прохождения сигнала в многокаскадных РЭУ и заключается в проверке наличия сигнала на выходе каскада, расположенного примерно в середине половины, в которой имеется неисправность, и так далее, пока не будет обнаружен неисправный каскад. Структурная схема поиска неисправности приведена на рис.4.43.

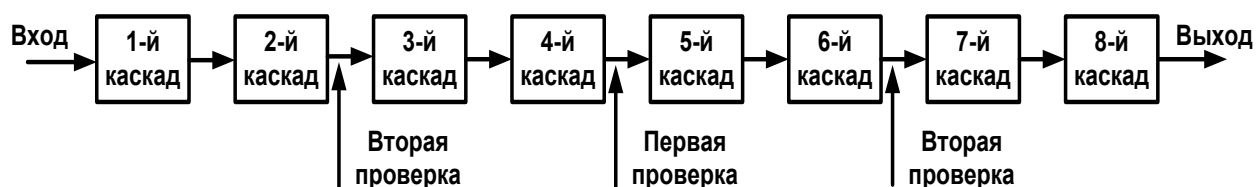


Рис. 4.43. Структурная схема поиска неисправностей методом половинного деления схемы

Если радиоэлектронное устройство имеет, например, 8 каскадов, то первую проверку наличия сигнала проводят на выходе 4-го каскада. Если при этом сигнал будет отсутствовать, то вторую проверку проводят на выходе 2-го каскада. Если в начале контроля наличия сигнала в 4-ом каскаде сигнал имеется, а на выходе, т.е. в 8-ом каскаде нет, то вторую проверку проходят на выходе 6-го каскада. Метод половинного деления схемы позволяет значительно сократить время неисправностей в РЭУ.

В качестве примера поиска неисправностей этим методом приведен алгоритм поиска неисправностей для выходного усилителя генератора ГЗ-123 (плата 4.237). Принципиальная схема приведена на рис 4.44, а алгоритм поиска неисправностей на рис 4.45.

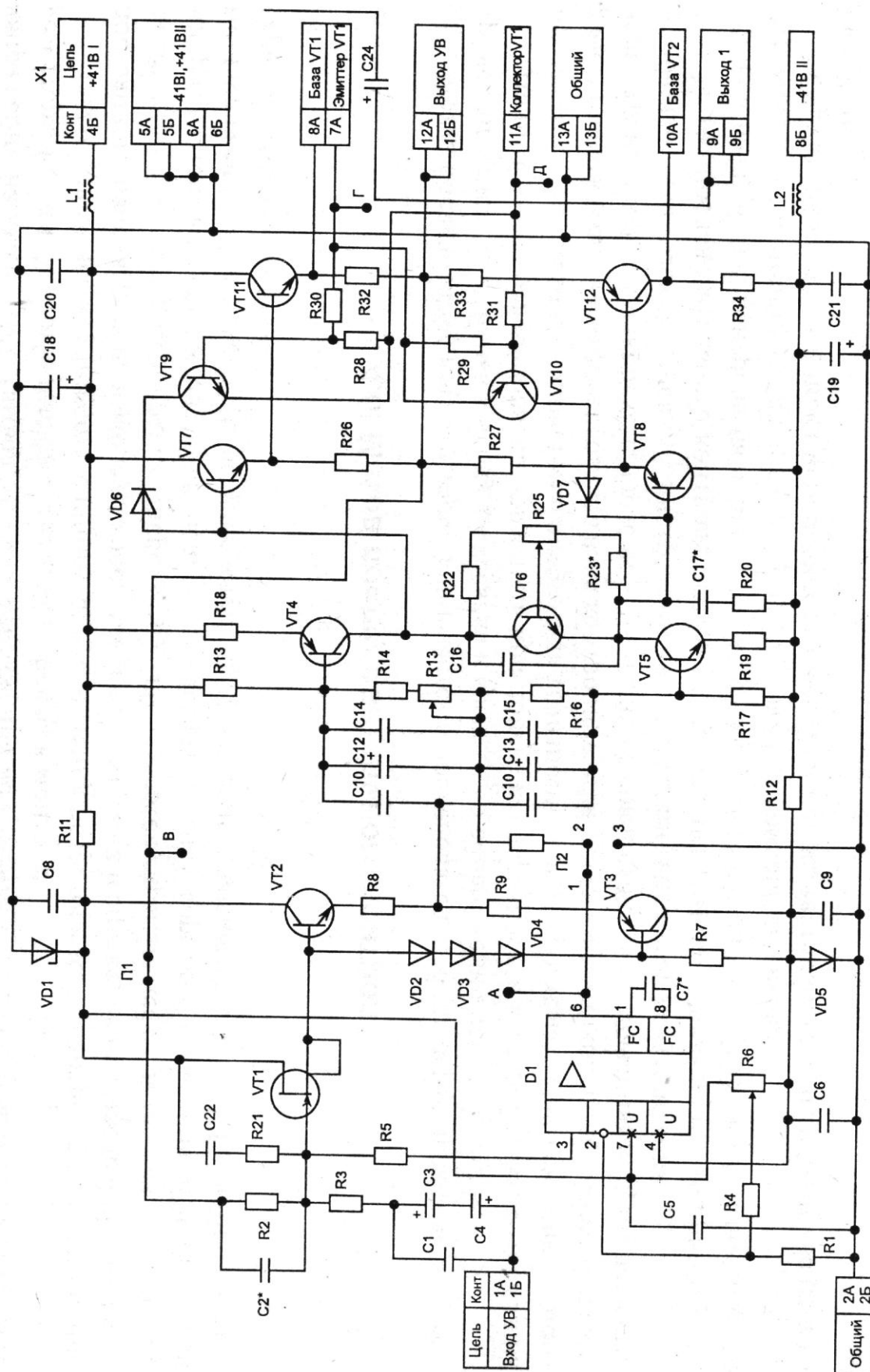


Рис. 4.44. Принципиальная схема выходного усилителя генератора ГЗ-123 (плата 4.237)

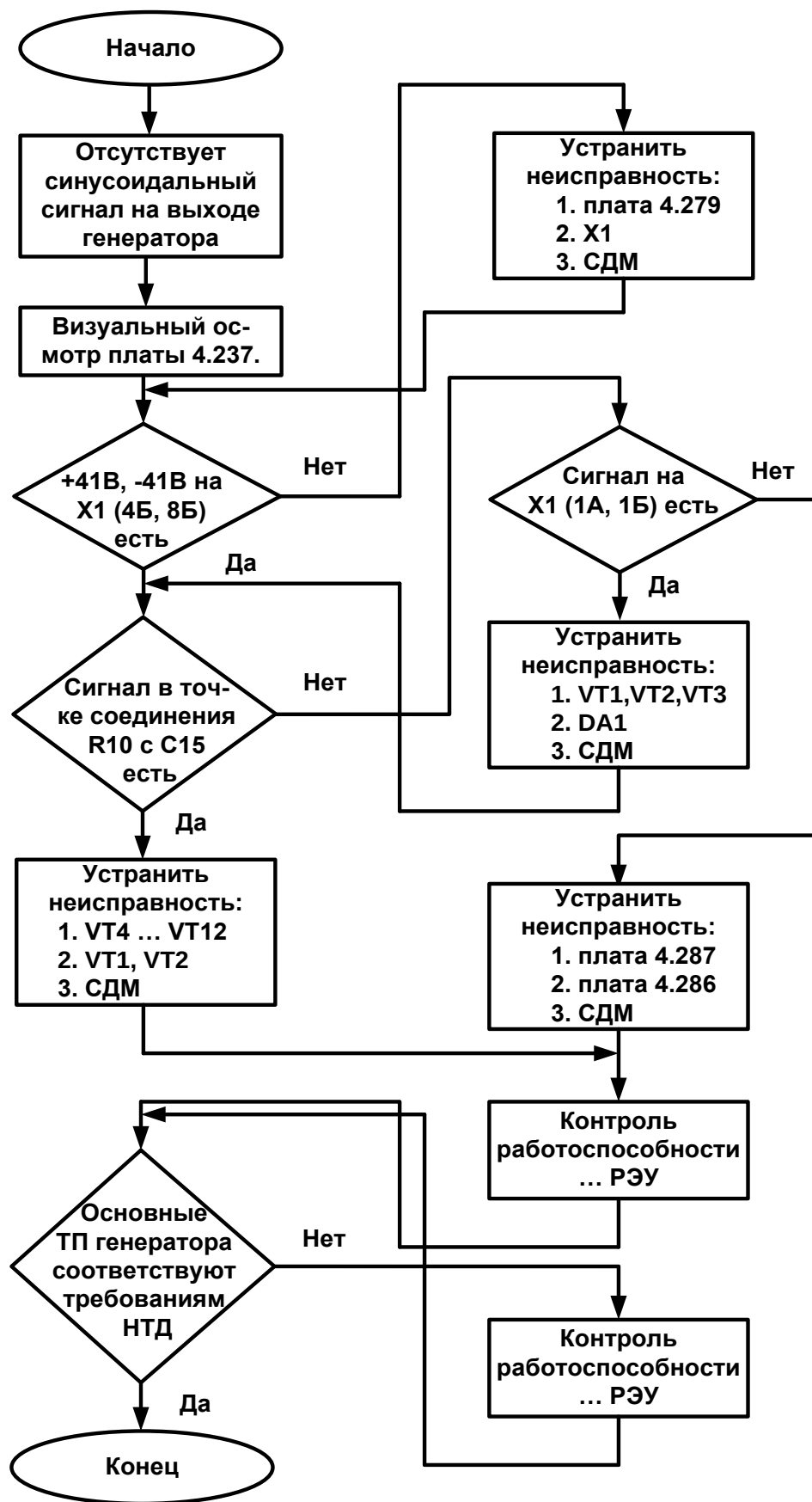


Рис. 4.45. Алгоритм поиска неисправности в выходном усилителе генератора ГЗ-123 методом половинного деления схемы

4.4.8. Вспомогательные методы поиска неисправностей

К вспомогательному методу поиска неисправностей в РЭА можно условно отнести:

1. Метод замены.
2. Метод механического воздействия.
3. Метод электропрогона.

Метод замены состоит в том, что у специалиста, осуществляющего ремонт аппаратуры, имеется возможность заменить подозреваемый неисправный блок (модуль) на заведомо работоспособный.

При эксплуатации РИП, когда имеется некоторое количество однотипных приборов, можно аккуратно, не повредив работоспособный прибор, извлечь из него необходимый блок (модуль) и вставить его в неисправный. Если при этом окажется, что неисправный прибор заработал, то неисправность нужно искать в этом блоке (модуле) неисправного прибора. Метод достаточно прост и позволяет достаточно быстро определить неисправность в аппаратуре.

Метод механических воздействий применяют в тех случаях, когда неисправность имеет некоторую специфику. Например, при работе осциллографа на его экране кратковременно пропадает исследуемый сигнал, или на дисплее мультиметра периодически пропадает свечение одной из цифр и т.д. Причинами подобных явлений может служить:

1. Наличие "холодных" паек в платах.
2. Замыкание близко расположенных ЭРЭ между собою.
3. Замыкание соседних дорожек на печатной плате каплями припоя, обрезками выводов ЭРЭ и другие.
4. Уменьшение упругости, загрязнения или деформация контактов в соединителях, держателях предохранителей, переменных резисторов и т. д.
5. Нарушение физической структуры материала и образование ненадежного механического контакта в местах пайки ЭРЭ на платах РЭУ.

Поиск неисправностей с помощью метода механических воздействий производится при включенном РЭУ. Ненадежные контакты могут проявляться по-разному: либо кратковременно пропадать, либо быть уверенными и постоянными.

В первом случае плохой контакт может быть определен путем аккуратных ударов резиновым молоточком по местам пайки ЭРЭ к печатным проводникам печатных плат. При этом не следует наносить удары по длинно торчащим из паек ЭРЭ, так как они могут загнуться и замкнуть соседние печатные проводники.

В случае, если неисправность при механических воздействиях на плату проявилась, необходимо попытаться определить точное место плохого контакта. При этом можно использовать лупу, внимательно рассматривая качество распайки ЭРЭ, или при помощи пинцета пошатать выводы

ЭРЭ со стороны монтажа и наблюдать, не двигаются ли они в местах распайки.

Для определения плохого контакта во втором случае можно рекомендовать применение тонкой палочки диаметром 5 - 8 мм, изготовленной из изоляционного материала. Для этого может подойти карандаш без грифеля, рукоятка тонкой отвертки и т.п. Ими необходимо водить по плате попеременно в различных направлениях, наблюдая за реакцией на эти действия. При поиске места ненадежного контакта необходимо чередовать нажим палочки на печатную плату от слабого (при сильном проявлении неисправности) до значительного (когда неисправность проявляется слабо).

Можно рекомендовать и другие способы обнаружения неисправности этим методом, например, аккуратное изгибание печатной платы в различных плоскостях, подергивание за проводники, жгуты и т.д.

Неплохие результаты дает пропайка соединительных штырей или подозреваемого ЭРЭ со стороны печатного монтажа платы. В этом случае РЭУ должно быть выключено.

Метод механических воздействий требует от специалиста определенных навыков работы, а сама процедура поиска неисправностей может оказаться достаточно трудоемкой и, главное, длительной. Поэтому, если имеется возможность заменить недорогостоящий блок (модуль) на заведомо работоспособный, то это необходимо сделать.

Метод электропрогона при поиске неисправности в радиоэлектронной аппаратуре применяют в тех случаях, когда они носят неустойчивый характер и метод механических воздействий не позволяет выявить эти неисправности. Электропрогон осуществляют путем включения РЭУ на длительный срок с повышенным напряжением питания (в пределах, допускаемых НТД), увеличением температуры в РЭА (тепловой удар) и т.д.

Конечной целью электропрогона является превращение обратимых неисправностей в ЭРЭ в необратимые. При электропрогоне проявляются неисправности внутренней структуры элементов, связанные с взаимным замыканием близко расположенных элементов вследствие их линейного расширения при нагреве. Например, плохие пайки становятся очевидными при длительном протекании тока через ЭРЭ. После достижения устойчивого проявления неисправности необходимо оперативно, чтобы не нарушить тепловой режим, произвести измерение напряжения в характерных контрольных точках схемы, либо напряжений на выводах транзисторов (микросхем). Электропрогон должен проводиться под постоянным наблюдением специалиста, осуществляющего ремонт аппаратуры.

4.5. НЕИСПРАВНОСТИ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ

В большинстве случаев неисправности в РЭА возникают по причине выхода из строя активных и пассивных электрорадиоэлементов (ЭРЭ). К активным ЭРЭ относятся интегральные микросхемы (ИМС), транзисторы, тиристоры, стабилитроны и т.д. К пассивным ЭРЭ относятся резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели и т.д.

При проведении ремонтных работ необходимо уметь проводить контроль работоспособности активных и пассивных ЭРЭ как вне блоков (модулей), так и в их составе, т.е. без выпаивания их из плат, а также уметь определять неисправности в ЭРЭ.

4.5.1. Транзисторы

В большинстве случаев транзисторы используются в аналоговых РЭУ, таких как усилители, генераторы, стабилизаторы напряжения и тока, амплитудные ограничители и многие другие. Работоспособность биполярных транзисторов можно проверить при помощи омметра, путем измерения величины сопротивления между базой и эмиттером, базой и коллектором в обоих направлениях. Значения величины сопротивления по принципу "низкое"/"высокое" показаны на рис. 4.46.

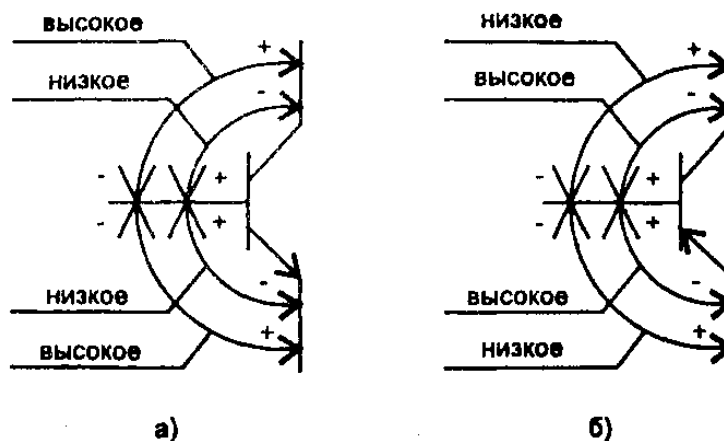


Рис. 4.46. Измерение величины сопротивления в p-n-p (а) и n-p-n (б) транзисторах

Необходимо отметить, что имеют место случаи, когда коротко замкнут участок цепи коллектор-эмиттер, несмотря на то, что оба перехода транзистора целы. Поэтому вначале нужно проверить, нет ли короткого замыкания в цепи коллектор-эмиттер.

Транзистор с периодическим обрывом перехода может оказаться временно работоспособным при его проверке с помощью омметра. Поэтому более достоверным является контроль режимов его работы по постоянному току в различных схемах включения (рис. 4.47).

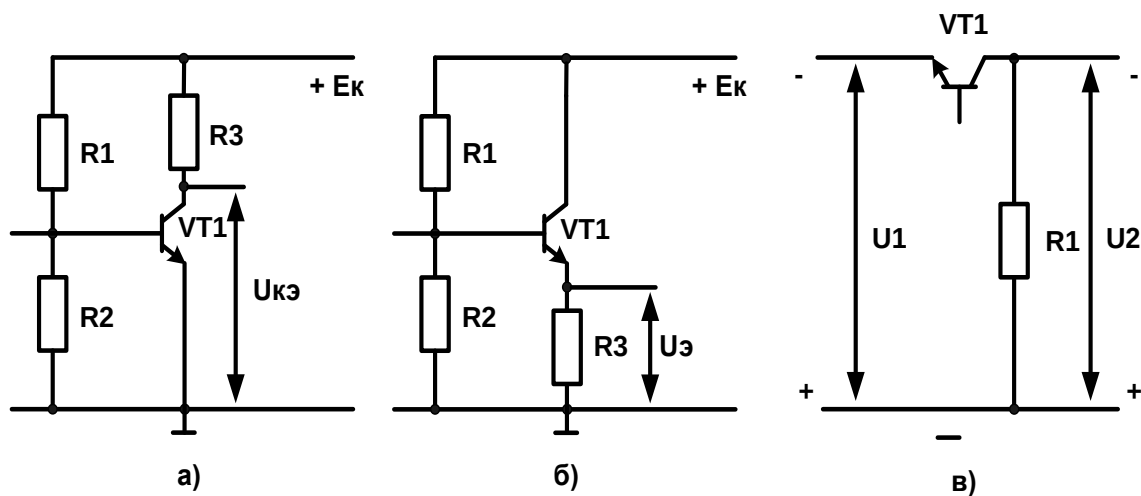


Рис. 4.47. Схемы включения транзисторов по постоянному току
а) схема с ОЭ; б) схема с ОК; в) схема с ОБ

Неисправности в транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером (ОЭ)

1. $U_{кэ}=0$ - короткое замыкание между коллектором и эмиттером или транзистор находится в насыщении из-за неисправных ЭРЭ либо скрытых дефектов монтажа (СДМ) схемы. Режим насыщения переходов транзистора легко определить, если закоротить его базовый вывод на общий провод. При этом у работоспособного транзистора указанное напряжение станет близким к E_k из-за того, что переходы "база-эмиттер" и "база-коллектор" скрываются и транзистор стягивается (существует такой термин) в "точку". Если этого не происходит, то транзистор неисправен и подлежит замене на работоспособный.

2. $U_{кэ}=E_k$ - обрыв одного из переходов транзистора или транзистор находится в режиме отсечки из-за неисправных ЭРЭ, запирающего напряжения либо СДМ.

При этом в первую очередь необходимо проверить напряжение между базой и эмиттером, которое должно быть примерно равным следующим величинам:

$U_{бэ} + (0,6 - 0,7) \text{ В}$ - для транзистора n-p-n,

$U_{бэ} - (0,6 - 0,7) \text{ В}$ - для транзистора p-n-p.

Если напряжение $U_{бэ}$ значительно отличается от указанного, то необходимо более тщательно проверить ЭРЭ и цепи, откуда поступает запирающее напряжение на базу транзистора.

Неисправности в транзисторах, включенных по схеме с общим коллектором (ОК)

1. $U_{э} = 0$ - обрыв одного из переходов или транзистор заперт.

2. $U_3 = E_k$ - транзистор "пробит" или находится в режиме насыщения.

Режим насыщения определяется так же, как в схеме с ОЭ.

Неисправности в транзисторах, включенных по схеме с общей базой (ОБ)

1. $U_2 = 0$ - обрыв одного из переходов транзистора или транзистор заперт.

2. $U_2 = U_1$ - транзистор "пробит" или находится в режиме насыщения.

Режим насыщения определяется так же, как в схемах с ОЭ и ОК путем "закорачивания" базового вывода транзистора на общий провод.

При проведении ремонта РИП необходимо знать, как влияют те или иные элементы схемы на величину напряжения на выводах транзистора. Для примера рассмотрим схему (рис. 4.48).

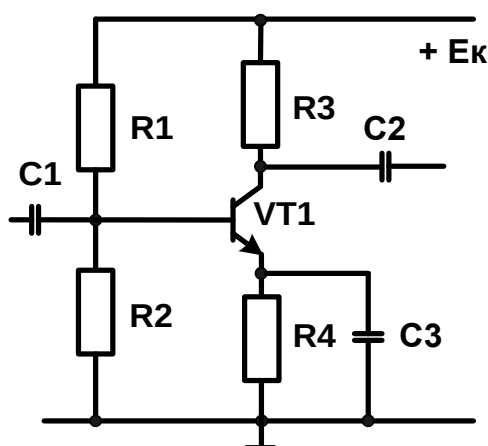


Рис. 4.48. Обобщенная схема включения транзистора в усилительном каскаде

Симптом 1: пониженное напряжение на коллекторе транзистора VT1.

Причины: уменьшение напряжения питания E_k , "пробой" транзистора VT1, повышенные токи утечки конденсаторов C1, C2, C3, обрыв в резисторах R2, R3.

Симптом 2: повышенное напряжение на коллекторе транзистора VT1.

Причины: обрыв одного из переходов транзистора VT1, обрыв резисторов R1, R4. Проверить режим насыщения транзистора можно путем параллельного подключения к резистору R1 дополнительного резистора близкого номинала. При этом напряжение на коллекторе транзистора должно уменьшиться.

4.5.2. Микросхемы

В радиоизмерительных приборах широко применяются как аналоговые, так и цифровые интегральные микросхемы. Их использование повышает надежность приборов, уменьшает число электрорадиоэлементов, а следовательно, упрощает их ремонт. Однако при эксплуатации РИП микросхемы достаточно часто выходят из строя.

Вывод о том, что микросхема неисправна, можно сделать лишь после проверки всех ЭРЭ, подключенных к ней. Вначале контролируют режим работы микросхемы по постоянному току. Заниженное напряжение на одном из выводов микросхемы может быть из-за наличия утечки подключенного к этой точке конденсатора, который при проверке можно отключить. После этого при помощи осциллографа контролируют правильность прохождения сигнала.

Для цифровых микросхем серии К155, К133 и ряда других напряжение питания составляет +5 В, напряжение низкого уровня (логический ноль) - не более +0,4 В, напряжение высокого уровня - (логическая единица) не менее +2,4 В (типовое значение +3,5 В).

Контроль работоспособности цифровой микросхемы можно показать на примере логического элемента 2И-НЕ (рис. 4.49).

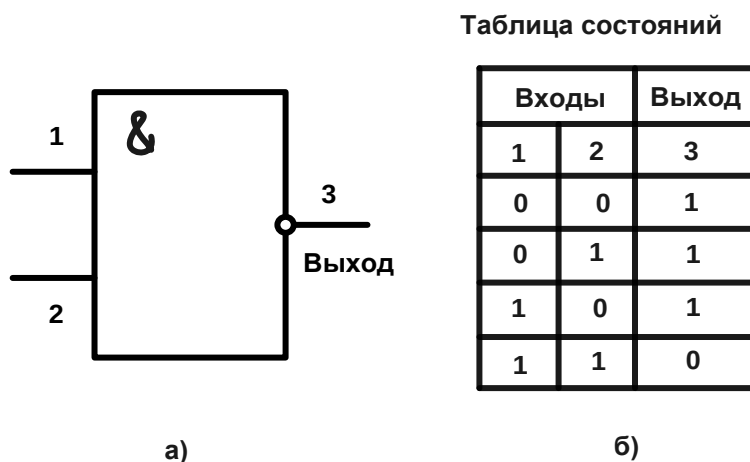


Рис.4.49. Логический элемент 2И-НЕ (а), таблица состояний элемента 2И- НЕ (б)

Как видно из таблицы состояний логического элемента 2И-НЕ, на выходе 3 логический ноль будет только в одном случае, когда на входах 1 и 2 имеются логические единицы. В любом другом случае, когда на обоих или на одном из входов 1 и 2 будет логический ноль, на выходе 3 будет присутствовать логическая единица. Исходя из этого, можно смоделировать режим работы микросхемы согласно таблице состояний. Отклонения в работе микросхемы от значений, приведенных в этой таблице, говорят о том, что она неисправна.

Работоспособность микросхемы можно проверить и в динамическом режиме, с помощью осциллографа, контролируя прохождение импульсов, сформированных и подведенных на ее входы. При работе элемента в динамическом режиме логическая единица на одном из ее входов является разрешением для прохождения на выход импульсов, подаваемых на второй вход. Логический ноль является запретом для них. Сформировать сигнал логического нуля на любом из входов микросхемы можно, соединив соответствующий вывод с общим проводом. Сформировать сигнал логической единицы можно путем отсоединения данного вывода микросхемы от остальной части схемы. Если отсоединить оба входа рассматриваемой микросхемы, то на них должно быть постоянное напряжение порядка +1,5 В.

При проверке микросхемы также необходимо убедиться, что ее выход не шунтируется последующим каскадом (входом другой микросхемы). Для этого обычно аккуратно перерезают печатную дорожку, а после проведения необходимых проверок аккуратно пропаивают, восстанавливая контакт.

Неисправности в цифровых микросхемах

Напряжение низкого логического уровня на выходе микросхемы, не зависящее от входных сигналов, может быть в двух случаях: либо короткое замыкание в монтаже, либо микросхема неисправна. При коротком замыкании в монтаже напряжение на выходе микросхемы близко к нулю, тогда как при неисправности внутри микросхемы оно соответствует напряжению низкого логического уровня 50 - 300 мВ.

При коротком замыкании в монтаже на выходе микросхемы наблюдается характерный "звон", вызываемый резонансом паразитной индуктивности и емкости монтажа при переключении транзисторов выходного каскада. Амплитуда сигнала "звона" - от десятков до сотен милливольт.

Постоянное напряжение высокого логического уровня на выходе микросхемы, не зависящее от входных сигналов, обычно возникает при обрыве цепи общего провода (плохая пайка вывода или обрыв внутри микросхемы).

Пониженное напряжение высокого логического уровня на выходе микросхемы может вызываться несколькими причинами. Если логическая функция микросхемы сохранилась, то вероятно, что в микросхеме неисправны некоторые ЭРЭ. Если же логическая функция полностью нарушена, то вероятнее всего, что неисправностью является обрыв цепи питания или обрыв выходной цепи.

Обрывы могут произойти как внутри микросхемы, так и вне ее из-за плохой пайки вывода. Повышенное напряжение низкого логического уровня (до 1,7 В) обычно наблюдается при резком повышении тока нагрузки ТТЛ-схемы либо при обрывах во внутренней структуре микро-

схемы. Эта неисправность иногда вводит в заблуждение тем, что "исчезает" при отсоединении нагруженных ТТЛ-схем, так как для ее появления необходимо наличие тока, втекающего в микросхему со стороны выхода. Повышение низкого логического уровня до 1,1 В с сохранением логической функции микросхемы может быть при обрыве цепи общего провода (плохая пайка контакта или обрыв внутри микросхемы), если один из ее входов заземлен (постоянно или только при данной проверке) через выход другой микросхемы.

Нарушение логической функции при нормальных низких и высоких логических уровнях происходит при выходе микросхемы из строя либо при коротком замыкании выходов двух вентилях.

4.5.3. Тиристоры

В случае, если тиристор не подключен к схеме, сопротивление между любой парой его электродов (анодом, катодом, управляющим электродом) должно быть велико независимо от полярности омметра, за исключением сопротивления "управляющий электрод-катод", имеющего малую величину при положительном потенциале управляющего электрода.

Для контроля работоспособности тиристора можно рекомендовать схему, приведенную на рис. 4.50.

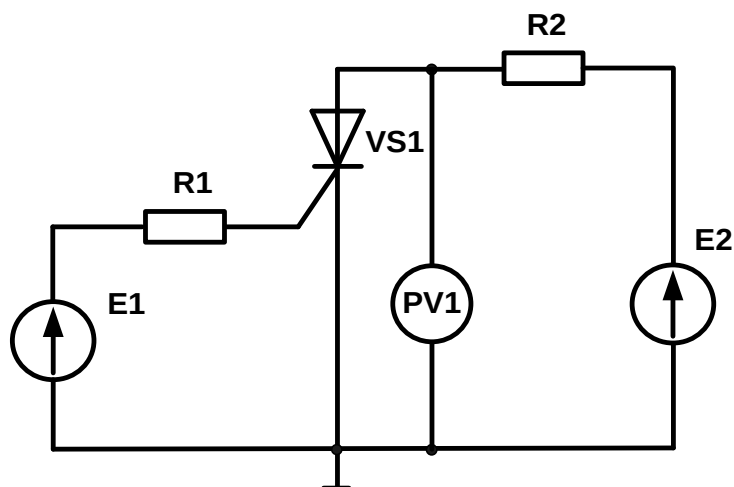


Рис. 4.50. Схема контроля работоспособности тиристора

Величина сопротивления $R2$ должна удовлетворять требованиям

$$I_{уд} < E2/R2 < I_{max},$$

где $E2$ - напряжение, меньшее напряжения переключения тиристора ($U_{пер}$), $I_{уд}$ - ток удержания при $E_{уэ} = 0$ В, I_{max} - установленный прямой ток.

Контроль работоспособности тиристора производится в следующей последовательности:

1. Установить напряжение $E_{уэ} = 0$ В до подключения источника $E2$.
2. Подключить источник $E2$ к тиристор.

3. Проконтролировать напряжение $U_{ак}$, величина которого должна быть близка к напряжению источника E_2 .

4. Плавно увеличивать величину напряжения $E_{уэ}$ и контролировать показания вольтметра $PV1$. Когда тиристор включится, вольтметр должен показать величину, близкую к нулю, т.е. $U_{ак} \approx 0 \text{ В}$.

5. Плавно уменьшать напряжение $E_{уэ}$ до нуля, напряжение между анодом и катодом тиристора останется неизменным, т.е. $U_{ак} \approx 0 \text{ В}$.

6. Восстановить первоначальное значение напряжения источника питания E_2 . Если $E_{уэ} = 0 \text{ В}$, то напряжение $U_{ак}$ должно быть высоким.

7. Для проверки напряжения переключения тиристора $U_{пер}$ следует соединить управляющий электрод с катодом и плавно повышать напряжение источника E_2 до тех пор, пока напряжение $U_{ак}$ не станет низким. Величина напряжения источника E_2 , при котором напряжение $U_{ак}$ становится низким, равно напряжению переключения тиристора $U_{пер}$.

8. Для проверки обратного напряжения $U_{обр}$ следует изменить полярность источника E_2 , установить величину сопротивления резистора R_2 в 10 раз больше, чем ранее (для ограничения величины обратного тока) и повторить испытание тиристора.

4.5.4. Диоды

Диоды в радиоэлектронных устройствах используются для выпрямления (детектирования) напряжения, защиты транзисторов (микросхем) от перегрузок по входу, коммутаций напряжений, преобразования частоты. Работоспособность диода можно проверить при помощи омметра, соединив положительный щуп с анодом, а отрицательный - с катодом диода, что соответствует прямому включению. Сопротивление диода при этом мало (десятки Ом). При подключении диода в обратном направлении его сопротивление велико (сотни кОм).

Если проводить контроль работоспособности диода в составе модуля, когда через диод протекает электрический ток, то при измерении падения напряжения на нём можно получить следующие результаты: у работоспособных германиевых диодов между анодом и катодом вольтметр покажет напряжение, примерно равное $U = (0,3 - 0,4) \text{ В}$, а для кремниевых $U = (0,6 - 0,7) \text{ В}$.

Основными неисправностями в диодах являются короткие замыкания, обрывы и изменения параметров под напряжением.

Если диод короткозамкнут, то омметр покажет в прямом и обратном включениях низкое, близкое к нулю, сопротивление. При обрыве омметр в обоих направлениях покажет большое сопротивление (близкое к бесконечности).

4.5.5. Стабилитроны

Контроль работоспособности стабилитронов, смещенных в прямом направлении, осуществляется путем проверки величины его сопротивления таким же образом, как и у диодов. Для контроля работоспособности стабилитронов можно рекомендовать собрать схему, приведенную на рис. 4.51.

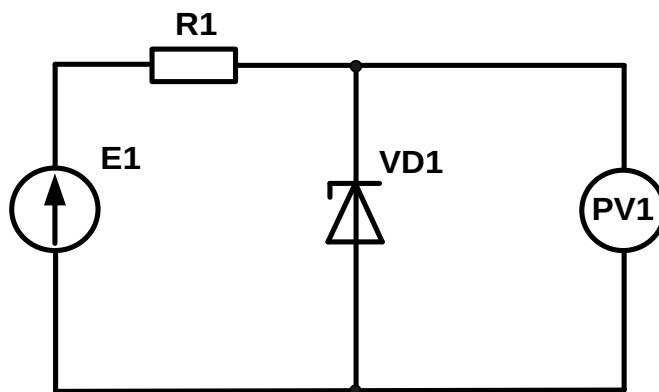


Рис. 4.51. Схема для контроля работоспособности стабилитронов

Пример. Проверить работоспособность кремниевого стабилитрона КС156А, если $E1=24\text{ В}$

1. Рассчитаем величину ограничительного резистора $R1$.

По второму закону Кирхгофа:

$$E1 = U_{R1} + U_{ст},$$

где $U_{ст}$ - напряжение стабилизации стабилитрона $VD1$, равное $U_{ст} = 5,6\text{ В}$.

Принимаем ток стабилизации равным $I_{ст}=3\text{ мА}$, тогда

$$U_{R1} = 24 - 5,6 = 18,4\text{ В},$$

$$U_{R1} = I_{ст} \cdot R1 = 18,4\text{ В}, \text{ откуда: } R1 = 18,4\text{ В} / 3\text{ мА} = 6,1\text{ кОм}.$$

Выбираем $R1 = 5,6\text{ кОм}$, т.к. $I_{ст.\min.} = 3\text{ мА}$.

При контроле стабилитронов без выпаивания их из модуля измеряется напряжение между его анодом и катодом, которое должно быть примерно равным $U_{ст}$, например:

$$\text{КС } 133\text{А} \quad U_{ст} \cong 3,3\text{ В}$$

$$\text{КС } 175\text{Ж} \quad U_{ст} \cong 7,5\text{ В}$$

$$\text{КС } 191\text{Ж} \quad U_{ст} \cong 9,1\text{ В и т.д.}$$

Если напряжение $U_{ак}=0$, то стабилитрон короткозамкнут, если же это напряжение будет значительно больше, чем напряжение стабилизации, то вероятнее всего в стабилитроне имеется обрыв.

4.5.6. Резисторы

Резисторы являются самыми многочисленными электрорадиоэлементами в схемах РИП. Проверить величину сопротивления резисторов можно с помощью омметра. Основными неисправностями у постоянных резисторов являются увеличение номинала сопротивления. Это чаще всего наблюдается у высокоомных (сотни кОм и более) или у низкоомных (единицы Ом) резисторов.

Обрыв в постоянных резисторах чаще всего выявляется при визуальном осмотре (нарушение окраски, черная поперечная окраска и т.п.).

Основными неисправностями переменных резисторов являются периодические обрывы в них из-за плохого контакта ползунка с резистивным слоем или из-за износа резистивного слоя, на что указывают неплавный (с рывками) ход стрелки омметра при передвижении ползунка резистора.

Типичной неисправностью переменного резистора является также замыкание на корпус, когда резистор установлен на заземленном шасси или на металлизированной части печатной платы, соединенной с корпусом.

4.5.7. Конденсаторы

Конденсаторы, как и резисторы, являются массовыми пассивными ЭРЭ в схемах РИП. На долю конденсаторов приходится значительное число неисправностей, причем их нахождение бывает достаточно сложным. Основными неисправностями конденсаторов постоянной емкости являются пробой (обрыв) и снижение величины емкости.

У электролитических конденсаторов значительное снижение сопротивления утечки приводит к нарушению режима работы транзисторов и микросхем. Сложность обнаружения снижения сопротивления утечки в конденсаторах состоит в том, что оно может проявляться под напряжением при работающем приборе.

Снижение емкости конденсаторов в сглаживающих фильтрах приводит к увеличению пульсации выпрямленного напряжения, что недопустимо при эксплуатации РИП.

Изменение емкости конденсаторов в контурах неизбежно приводит к изменению АЧХ, а иногда и к самовозбуждению каскадов. Особенно это сказывается на работе широкополосных осциллографов, где жертвовать полосой пропускания невозможно.

Обрывы в разделительных конденсаторах вообще приводят к потере электрического сигнала. Обрывы в конденсаторах постоянной емкости

можно определить с помощью осциллографа. Если сигнальный и заземляющий щуп осциллографа соединить через работоспособный конденсатор, наводка должна уменьшиться, либо вообще исчезнуть. Обрывы в конденсаторах можно также определить, если подключить генератор к осциллографу через проверяемый конденсатор. Отсутствие сигнала на экране ЭЛТ указывает на то, что в конденсаторе имеется обрыв.

Электролитические конденсаторы на отсутствие обрыва можно проверить следующим способом: соблюдая полярность омметра, подключить его к проверяемому конденсатору. В первый момент стрелка должна быстро отклониться вправо (в сторону малых сопротивлений), а затем медленно возвратиться влево (в сторону больших сопротивлений). Обрыв в конденсаторе можно определить также, если подключить исправный конденсатор к источнику постоянного напряжения. При этом должен раздаться характерный щелчок, а у его выводов проскочить небольшая искра.

Дополнительными признаками неисправности электролитических конденсаторов является вздутие корпуса, вытекание электролита, нагрев при работе и т.п.

4.5.8. Трансформаторы и дроссели

Основными неисправностями в трансформаторах и дросселях являются обрывы обмоток, межвитковые замыкания, замыкания одной обмотки на другую, замыкание обмоток на корпус и т.д.

Проверка на обрыв производится простым способом при помощи омметра. В работающем РИП обрывы обмоток в трансформаторах или межвитковые замыкания в них приводят к тому, что напряжение на выводах трансформаторов либо вообще отсутствует, либо сильно занижено.

Наличие короткозамкнутого витка с помощью омметра определить невозможно. Определить короткозамкнутый виток в трансформаторе можно, собрав простую схему, приведенную на рис. 4.52.

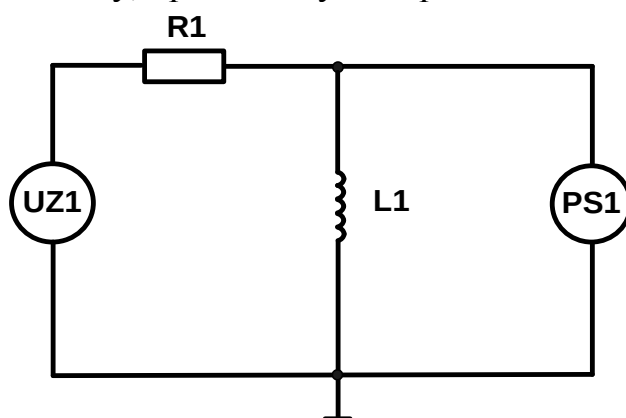


Рис. 4.52. Схема для определения короткозамкнутого витка в трансформаторе

На выходе генератора синусоидальных колебаний UZ1 устанавливают частоту, равную 1 кГц, и подают сигнал через резистор R1 на проверяемую обмотку L1. Напряжение на обмотке контролируется осциллографом PS1. Появление дифференцированных импульсов на обмотке L1 указывает на наличие в ней короткозамкнутого витка.

Кроме этого следует помнить, что существование в обмотке короткозамкнутого витка, как правило, приводит к нагреванию трансформатора.

4.6. ПАЙКА ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТОВ

При проведении ремонта РЭУ необходимо правильно осуществлять пайку электрорадиоэлементов. Пайка это процесс сварки двух металлов вместе. При этом металлы расплавляются и объединяются, создавая прочное электрическое и механическое соединение.

В процессе пайки существенными параметрами являются ее продолжительность и температура. Типичная операция пайки может быть выполнена примерно за 1 - 1,5 с при условии, что выбран правильный тип паяльника и жала. Оптимальная температура плавления припоя составляет 182°C. Объединение металлов припоя и соединяемых проводников происходит при температурах между 260°C и 315°C.

Основное действие пайки заключается в объединении меди и олова. При этом необходимо учитывать, что оба эти металла легко окисляются. Плохое или непропаянное соединение получается, если соединяемые поверхности загрязнены, поэтому необходимо производить пайку хорошим очищенным флюсом. Флюс подготавливает спаиваемые поверхности для лучшей металлизации. Сначала обрабатывают флюсом припой, а затем поверхность пайки, удаляя окислы и другие загрязнения. В результате металл нагревается так, что припой расплавляется, растекается, давая хорошее поверхностное соединение.

Необходимо отметить, что если температура жала слишком мала, то оно будет застревать на поверхности пайки. Если температура жала очень высокая, то оно может повредить поверхность платы. Оптимальная температура для пайки на плате находится в пределах 260°C - 315°C.

При пайке наконечник паяльника необходимо держать с одной стороны вывода ЭРЭ, а припой - с другой стороны. Как только контактная площадка прогреется, оловянно-свинцовый припой расплавится и залетит на контактную площадку вместе с выводом ЭРЭ. Припой при этом необходимо держать низко и достаточно ровно.

После завершения пайки необходимо внимательно осмотреть контактную площадку, так как могло быть положено много припоя на соединение, или его оказалось недостаточно сверху или снизу. Большие шары припоя, или холмы, могут содержать "холодную" пайку, где создан только частичный контакт. Подобная пайка может стать источником мерцающих неисправностей.

Перед проведением пайки ЭРЭ на плату необходимо убедиться, что они работоспособны, затем очистить их от окислов и грязи. В случае, если при пайке прервана или отклеилась от платы печатная дорожка, необходимо перемкнуть поврежденный участок залуженным с обеих сторон проводом диаметром 0,2 - 0,3 мм. Если контактная площадка или дорожка поднимаются над платой, то необходимо их приклеить или провести внахлест дорожку по поврежденной области, после чего соскоблить покрытие с контакта или с обеих сторон дорожки так, чтобы новый контакт или дорожка смогли хорошо припаяться к имеющимся контакту или дорожке. После этого следует удалить весь лишний припой и просверлить заново каждое отверстие, которое покрылось или забилося остатками припоя.

Определенные проблемы часто возникают при удалении остатков припоя и выпаивании электрорадиоэлементов из печатной платы. Один из способов удаления остатков припоя заключается в использовании ручного вакуумного насоса с подпружиненным поршнем для вытягивания горячего расплавленного припоя с контактов платы модуля. Этот процесс состоит из следующих операций:

1. Нагреть при помощи паяльника старый припой до его расплавления.
2. Поместить вакуумный насос со сжатой пружиной в горячий припой.
3. Быстро удалить паяльник, в это же время освободить пружину вакуумного насоса и откачать припой в накопительную его камеру.

Данный метод хорошо действует при выпаивании биполярных транзисторов или микросхем, не имеющих в своей структуре КМОП транзисторов. Так как вакуумные насосы вырабатывают статическое электричество, выпаивать КМОП транзисторы (микросхемы) опасно, потому что можно вывести их из строя.

Более безопасный способ удаления припоя заключается в следующем:

1. Приложить к припою конец медной оплетки, затем прогреть оплетку в месте, близком к припою.
2. Медная оплетка быстро прогреется, передавая тепло припою, который расплавится и будет впитываться в оплетку за счет капиллярного эффекта.
3. После этого необходимо отрезать и выбросить кусок оплетки, пропитанный припоем.

Если в отверстии платы осталось какое-то количество припоя, необходимо нагреть стальную иголку, имеющую диаметр несколько меньший, чем отверстие платы. Игла оставит отверстие открытым так, что можно вставить и запаять другой проводник.

При использовании этого метода удаления припоя необходимо убедиться в хорошем заземлении паяльника. В некоторых случаях удалить остатки припоя можно путем сверления отверстия тонким сверлом. После сверления отверстия необходимо убедиться, что все стружки, остатки и кусочки припоя из платы удалены. При выпаивании ЭРЭ из платы модуля необходимо быть осторожным, чтобы ее не перегреть, так как при перегреве платы могут отслоиться печатные проводники (дорожки).

При ремонте РИП важную роль играет и инструмент, с помощью которого производится ремонт. Прежде всего, необходимо иметь несколько различных по мощности паяльников с различными жалами в зависимости от того, какие пайки с их помощью производят. Кроме того необходимо иметь различные отвертки от крестообразных до плоских самых разных размеров, вплоть до набора часовых отверток. Необходимо иметь несколько различных размеров пинцетов, кусачек, бокорезов, плоскогубцев и других приспособлений.

4.7. РЕМОНТ ОСЦИЛЛОГРАФОВ УНИВЕРСАЛЬНЫХ

Ремонт осциллографов вида С1 рассмотрим на примере осциллографа универсального С1-125. Ниже приведены характерные неисправности данного прибора и алгоритмы их поиска и устранения.

4.7.1. Нет признаков включения осциллографа

Возможная причина: неисправен тумблер "СЕТЬ" или вставки плавкие (вклейка 5).

Алгоритм поиска неисправностей:

Проверить омметром исправность тумблера "СЕТЬ" и плавких вставок.

Возможная причина: неисправен трансформатор 4.700.416.

Алгоритм поиска неисправностей:

Проверить омметром сопротивление обмоток трансформатора, визуально оценить внешний вид трансформатора на отсутствие подтеков пропитывающего материала. В случае его неисправности заменить трансформатор на заведомо работоспособный.

Возможная причина: неисправна плата преобразователя и выпрямителя (вклейка 6, 7).

Алгоритм поиска неисправностей:

Устранить неисправность согласно алгоритмам, приведенным на рис. 4.53 и рис. 4.54.

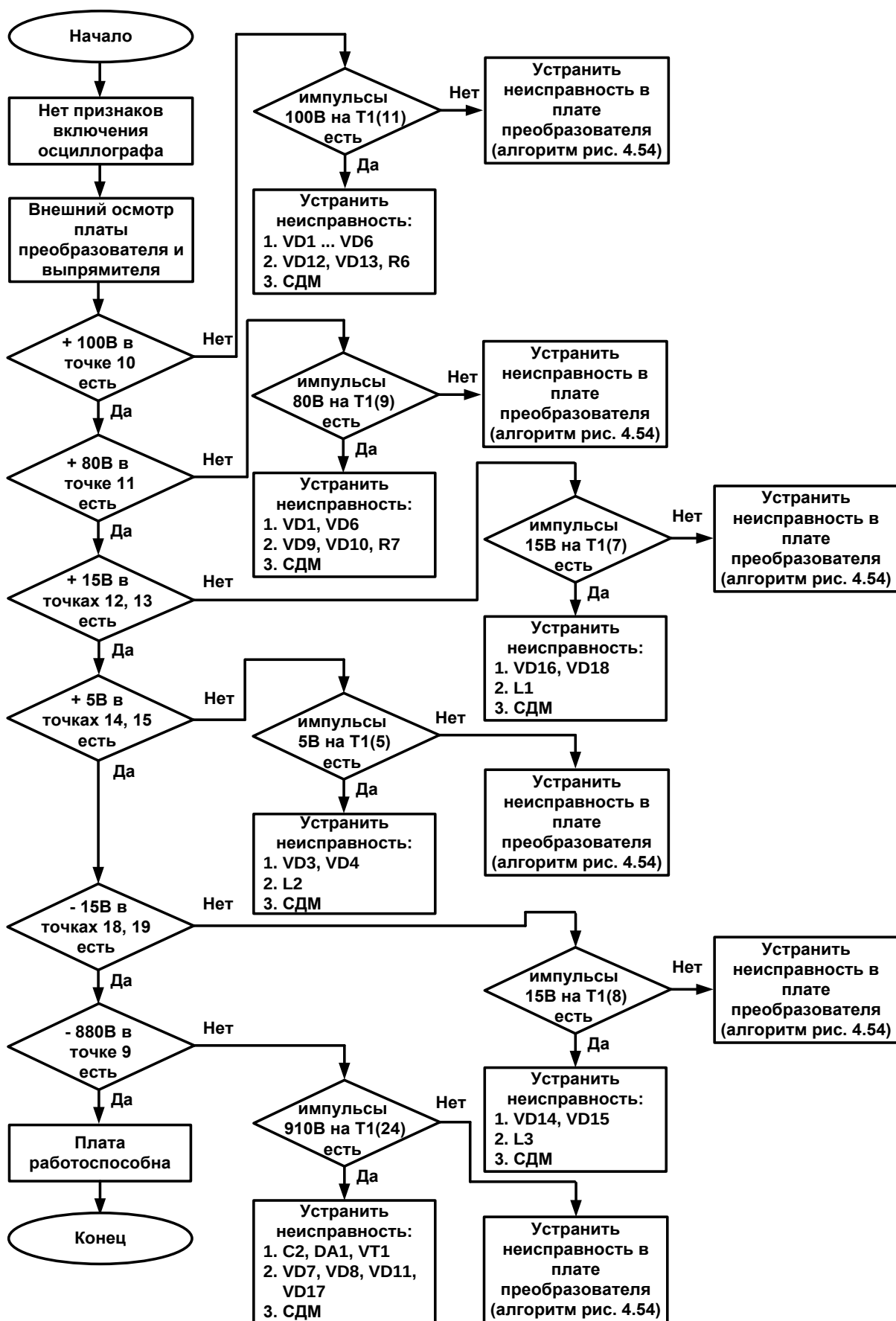


Рис. 4.53. Алгоритм поиска неисправностей в плате преобразователя и выпрямителя

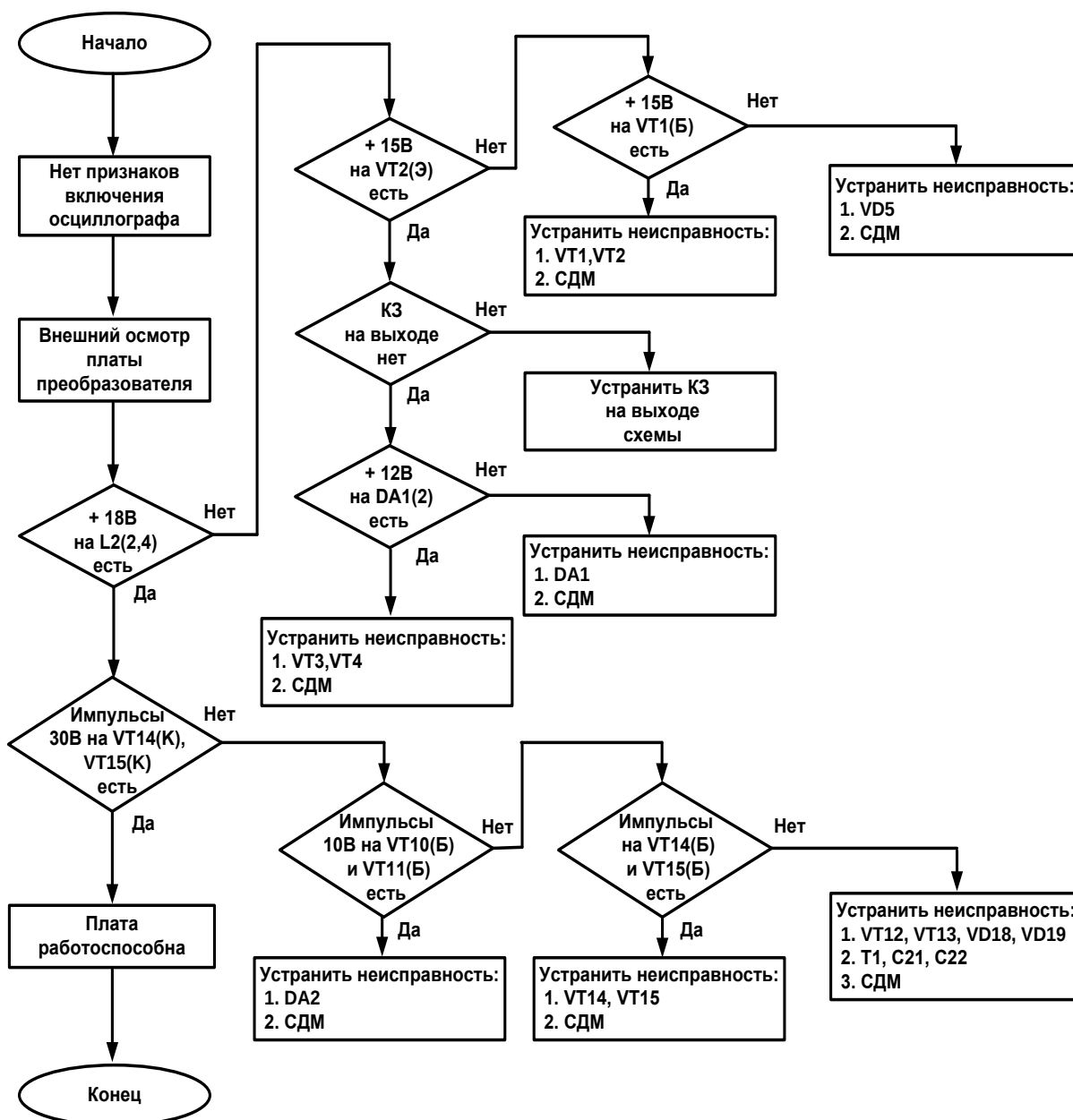


Рис. 4.54. Алгоритм поиска неисправностей в плате преобразователя

4.7.2. Нет свечения ЭЛТ

Возможная причина: плохой контакт в разъеме цоколя ЭЛТ или он снят с нее (вклейка 4).

Алгоритм поиска неисправности:

1. Проверить визуально подключение разъема к цоколю ЭЛТ. При помощи омметра проверить исправность разъема и соединительных проводов.
2. Проверить напряжения на электродах ЭЛТ и сравнить их с напряжениями, приведенными в табл. 4.11.

Таблица 4.11.

Номер вывода	1	2	3	4	5	6-9
Напряжение, В	6,3	-10 - + 90	- 800	-(800-900)	-(60-80)	
Номер вывода	10	11	12	13	14	
Напряжение, В	-(60-220)		-(60-220)	0 - 45	6,3	

Измерения проводят относительно корпуса осциллографа.

Возможная причина: неисправна плата преобразователя и выпрямителя или плата усилителя Z и схемы управления ЭЛТ (вклейка 4, 6, 7).

Алгоритм поиска неисправностей:

Устранить неисправность согласно алгоритмам, приведенным на рис. 4.54 и 4.55.

4.7.3. На экране ЭЛТ наблюдается только светящаяся точка

Возможная причина: плохой контакт в разъеме цоколя ЭЛТ или вилке XP2 блока развертки и синхронизации (вклейка 3, 4).

Алгоритм поиска неисправности:

Проверить при помощи омметра исправность разъема и соединительных проводов.

Возможная причина: на вилке XP3 отсутствуют необходимые напряжения от блока питания (вклейка 4, 6, 7).

Алгоритм поиска неисправности:

Проверить при помощи омметра исправность вилки XP3 и в случае отсутствия на ней напряжений, поступающих от блока питания, устранить неисправности в преобразователе и преобразователе-выпрямителе согласно алгоритмам, приведенным на рис.4.53 и 4.56.

4.7.4. На экране ЭЛТ один луч не отклоняется по вертикали

Возможная причина: обрыв в линии задержки (вклейка 2).

Алгоритм поиска неисправности:

Проверить при помощи омметра исправность линии задержки.

Возможная причина: неисправны платы усилителя Z и схема управления ЭЛТ, плата УВО или плата устройства управления (вклейка 2, 4, 5).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритмам поиска неисправностей, приведенным на рис. 4.55, 4.56 и 4.57 соответственно.

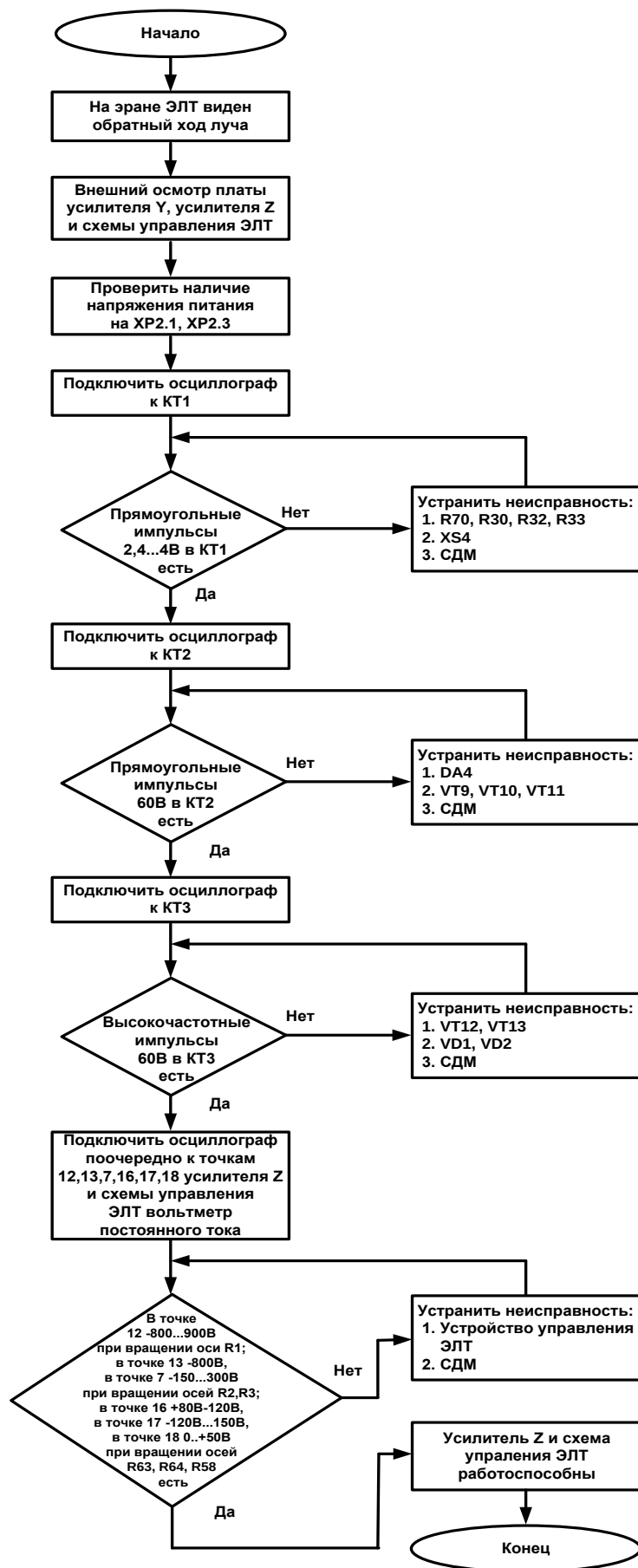


Рис. 4.55. Алгоритм поиска неисправностей в усилителе Z и схеме управления ЭЛТ

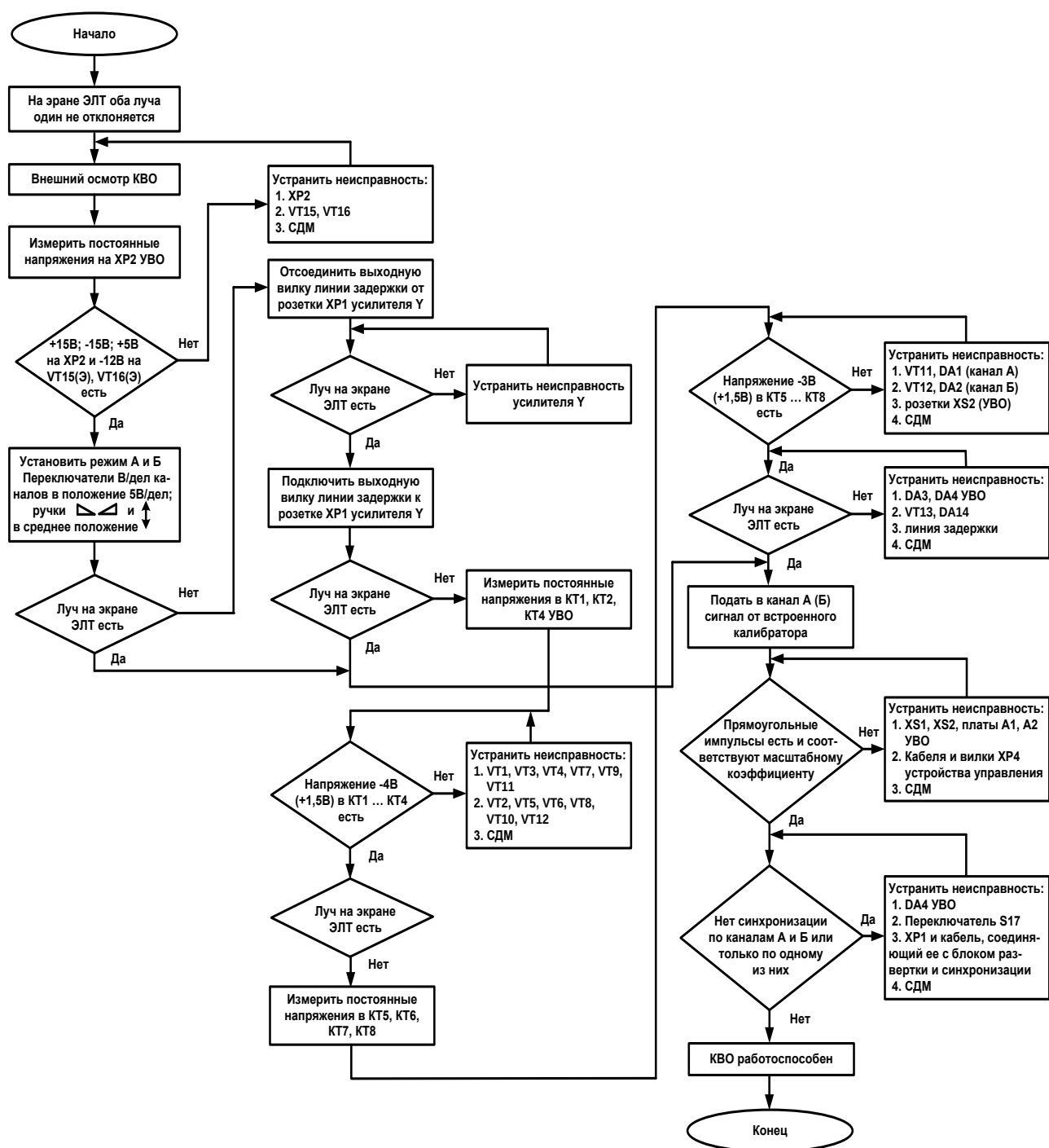


Рис. 4.56. Алгоритм поиска неисправностей в канале вертикального отклонения

4.7.5. На экране ЭЛТ виден обратный ход луча

Возможная причина: неисправна плата усилителя Y, усилителя Z и схемы управления ЭЛТ (вклейка 2, 4).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис.4. 55.

Возможная причина: отсутствуют импульсы подсвета на вилке XP2 (контакт 2) блока развертки и синхронизации (вклейка 3).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис. 4.58.

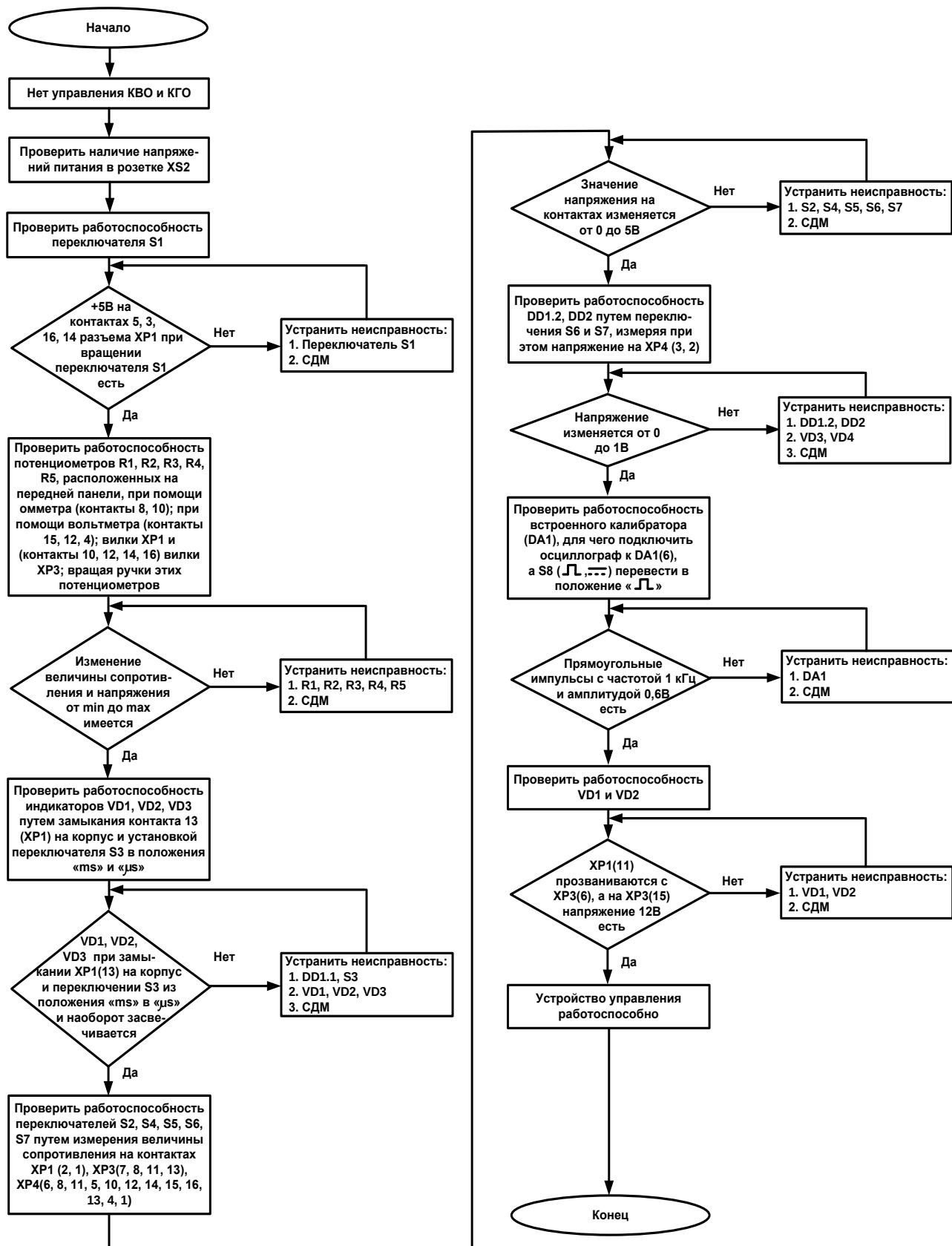


Рис. 4.57. Алгоритм поиска неисправностей в устройстве управления

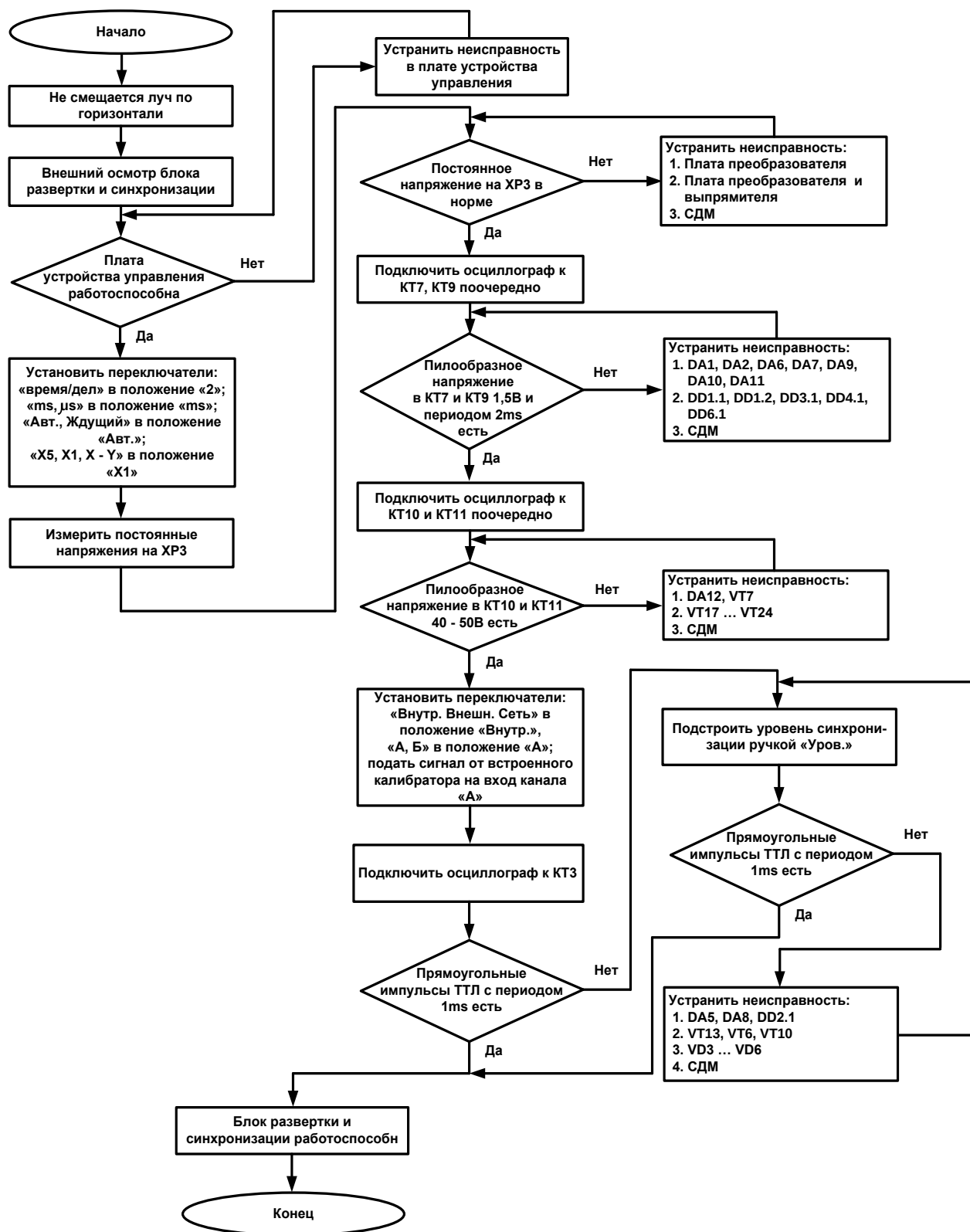


Рис. 4.58. Алгоритм поиска неисправностей в блоке развертки и синхронизации

4.7.6. Не изменяется размер изображения по вертикали

Возможная причина: неисправна плата усилителя вертикального отклонения (вклейка 2).

Алгоритм поиска неисправности:

1. Проверить значения напряжений в контрольных точках схемы согласно табл. 4.12. При этом переключатели, специально не оговоренные в графе «Примечание» этой таблицы, должны быть установлены в следующие положения:

- переключатель « $\approx$, $\perp$, $\sim$ » каналов А и Б - в положение « $\approx$ »;
- переключатель «V/дел» каналов А и Б - в положение «0,1 V/дел»;
- переключатель «- - -, А + Б, $\rightarrow \rightarrow$ » - в положение « $\rightarrow \rightarrow$ ».

На входы «1 М Ω 30pF» каналов А и Б подать сигнал от калибратора.

Таблица 4.12.

Контрольная точка	Постоянное напряжение, В	Напряжение сигнала (размах), мВ	Примечание
КТ1, КТ2, КТ3, КТ4	$-(4 \pm 1,5)$	20 ± 10	
КТ5, КТ6, КТ7, КТ8	$-(3 \pm 1,5)$	130 ± 50	
КТ9, КТ10	8 ± 2	230 ± 50	Переключатель «А»/«А и Б»/«Б» - в положении «А» или «Б», ручки « $\updownarrow$ » каналов А и Б - в среднем положении

2. При несоответствии указанных напряжений, неисправность устранить согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис. 4.56.

Возможная причина: неисправна плата устройства управления (вклейка 5).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис.4.57.

Возможная причина: неисправен блок развертки и синхронизации (вклейка 3).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис. 4.58.

4.7.7. Отсутствует синхронизация от сети

Возможная причина: отсутствует сигнал синхронизации уровнем 1 В на контакте 2 соединителя XS7 платы преобразователя и выпрямителя (вклейка 6, 7).

Алгоритм поиска неисправности: Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис.4.53.

Возможная причина: неисправен блок развертки и синхронизации (вклейка 3).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис. 4.58.

Возможная причина: неисправна плата устройства управления (вклейка 5).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис. 4.57.

4.7.8. Отсутствует внешняя синхронизация

Возможная причина: обрыв кабеля, соединяющего разъемы XW1 и XW2 осциллографа.

Алгоритм поиска неисправности:

Проверить при помощи омметра исправность кабеля 4.865.194 и в случае необходимости заменить его на заведомо исправный.

Возможная причина: неисправен блок развертки и синхронизации (вклейка 3).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис. 4.58.

Возможная причина: неисправна плата устройства управления (вклейка 5).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис. 4.57.

4.7.9. Отсутствует внутренняя синхронизация по каналам А и Б одновременно или по одному из них

Возможная причина: неисправен кабель синхронизации осциллографа или соединители XP3 (XS3), XP1 (XS1), XP4 (XS4) канала вертикального от-

клонения, канала горизонтального отклонения и устройства управления соответственно (вклейка 2, 3, 5).

Алгоритм поиска неисправности:

Проверить исправность кабеля и соединителей с помощью омметра.

Возможная причина: неисправен тумблер S17 или микросхема DA4 УВО (вклейка 2).

Алгоритм поиска неисправности:

Проверить работоспособность тумблера S17 и микросхемы DA4 и в случае их неисправности заменить их на заведомо работоспособные.

Возможная причина: неисправен блок развертки и синхронизации (вклейка 3).

Алгоритм поиска неисправности:

Устранить неисправность согласно алгоритму поиска неисправностей, приведенному на рис. 4.58.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аристов О.В., Белоусов Ю.М., Макаров Э.Ф. Автоматизация поверки средств радиотехнических измерений / Под ред. Э.Ф. Макарова. - М.: Изд. Стандартов, 1991 – 168с.
2. ГОСТ РВ 8.576-2000 ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений в сфере обороны и безопасности РФ.
3. ГОСТ РВ 8.575-2000 ГСИ. Порядок проведения работ в сфере обороны и безопасности РФ по аккредитации МВЧП на право поверки средств измерений и лицензированию деятельности воинских частей по изготовлению, ремонту и реализации средств измерений.
4. Журавин А.И., Чистов И.В. Организация метрологического обеспечения в Вооруженных Силах. Учебное пособие. – МО РФ, 1997 – 90с.
5. Журавин А.И. Законодательная метрология. Учебное пособие. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 1999 – 51с.
6. Журавин А.И. Поверка электронных средств измерений. Учебное пособие. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2002 -110с.
7. Метрологическое обеспечение эксплуатации вооружения и военной техники. Учебник / Под ред. В.А. Зеленцова. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 1999 – 510с.
8. Метрологическое обеспечение электронных средств измерений электрических величин. Справочная книга / А.М. Федоров, Н.Я. Цыган, В.И. Мичурин. – Л.: Энергоатомиздат, 1988 – 208с.
9. МИ 2322-99 Типовые нормы времени на поверку средств измерений.
10. РМГ 51-2002 Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения.
11. Руководство по метрологическому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации (Приказ МО РФ 2000 г. № 245) – М.: МО РФ, 2000 – 128с.
12. Г. В. Куликов, Б. П. Хабаров. Ремонт измерительных приборов., «Ремонт» № 42, М.: «Солон - Р», 2000г.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	3
ЧАСТЬ 1. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	5
ГЛАВА 1. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ – ВАЖНЕЙШИЙ ЭЛЕМЕНТ ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ	5
1.1. Общие сведения о поверке средств измерений	5
1.2. Основные нормативные документы по поверке средств измерений.....	7
1.3. Организация поверки средств измерений в Вооруженных Силах.....	11
1.4. Правила оформления результатов поверки.....	17
1.5. Поверительные клейма	19
1.6. Порядок сдачи средств измерений на поверку и в ремонт	22
ГЛАВА 2. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	24
2.1. Особенности построения электронных средств измерений.....	24
2.2. Эталоны единиц величин в системе метрологического обеспечения.....	28
2.3. Содержание и методы поверки электронных средств измерений.....	34
2.4. Особенности построения установок и приборов поверки электронных средств измерений.....	38
2.4.1 Эталоны и приборы для поверки вольтметров.....	40
2.4.2. Стандарты частоты и времени.....	45
2.4.3. Калибраторы осциллографов импульсные	52
2.5. Поверка измерительных генераторов.....	53
2.6. Поверка электронно-счетных частотомеров.....	69
2.7. Поверка универсальных электронно-лучевых осциллографов.....	76
2.8. Поверка электронных вольтметров	85
2.9. Автоматизация поверочных работ	89
ЧАСТЬ 2. РЕМОНТ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	95
ГЛАВА 3. РЕМОНТ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	95
3.1. Общие сведения о ремонте средств измерений в вооруженных силах.....	95
3.2. Организация ремонта средств измерений в вооруженных силах.....	98
ГЛАВА 4. ПРИНЦИПЫ РЕМОНТА РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБО- РОВ.....	104
4.1. Общие вопросы ремонта РИП.....	104
4.2. Технологическая схема контроля и поиска неисправностей в РИП.....	106
4.3. Описание моделей объектов ремонта.....	108
4.4. Методы поиска неисправностей в РЭА.....	112
4.4.1. Метод анализа монтажа.....	112
4.4.2. Метод измерений.....	112
4.4.3. Метод воздействия.....	114
4.4.4. Метод исключения.....	116
4.4.5. Метод разрыва цепи отрицательной обратной связи.....	117

4.4.6. Метод последовательного контроля.....	119
4.4.7. Метод половинного деления схемы.....	120
4.4.8. Вспомогательные методы поиска неисправностей.....	123
4.5. Неисправности активных и пассивных электрорадиоэлементов.....	124
4.5.1. Транзисторы.....	125
4.5.2. Микросхемы.....	128
4.5.3. Тиристоры.....	130
4.5.4. Диоды.....	131
4.5.5. Стабилитроны.....	132
4.5.6. Резисторы.....	133
4.5.7. Конденсаторы.....	133
4.5.8. Трансформаторы и дроссели.....	134
4.6. Пайка электрорадиоэлементов.....	135
4.7. Ремонт осциллографов универсальных.....	137
4.7.1. Нет признаков включения осциллографа.....	137
4.7.2. Нет свечения ЭЛТ.....	139
4.7.3. На экране ЭЛТ наблюдается только светящаяся точка.....	140
4.7.4. На экране ЭЛТ один луч не отклоняется по вертикали.....	140
4.7.5. На экране ЭЛТ виден обратный ход луча.....	142
4.7.6. Не изменяется размер изображения по вертикали.....	145
4.7.7. Отсутствует синхронизация от сети.....	146
4.7.8. Отсутствует внешняя синхронизация.....	146
4.7.9. Отсутствует внутренняя синхронизация по каналам А и Б од- новременно или по одному из них.....	146
ЛИТЕРАТУРА.....	148
СОДЕРЖАНИЕ.....	149