

ОКП 66 8233 0012

КАЛИБРАТОР-ВОЛЬТМЕТР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ Н4-12

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Часть 1

Всего частей 4

КМСИ.411182.020РЭ

Главный конструктор

Г.Х. Михайлов

Разработал

Н.А. Нижегородова

Нормоконтролер

М.В. Долгова

ЛИТЕРА

СОДЕРЖАНИЕ

1 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	5
2 СОКРАЩЕНИЯ	6
3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	7
3.1 Общие положения техники безопасности оператора	7
3.2 Общие положения техники безопасности для обслуживающего персонала	8
3.3 Первая помощь при поражении электрическим током	8
4 ОПИСАНИЕ ИЗДЕЛИЯ	9
4.1 Назначение	9
4.2 Совместимость с техническими средствами и устойчивость к внешним воздействиям	9
4.3 Состав изделия	11
4.4 Состав и особенности использования изделия	13
4.5 Основные характеристики мер напряжения Н4-12МН и Н4-12МН/1	15
4.6 Основные характеристики в режимах измерения и воспроизведения напряжения постоянного тока	15
4.6.1 Особенности нормирования погрешности	15
4.6.2 Метрологические характеристики в режиме измерения и воспроизведения напряжения постоянного тока	17
4.6.3 Общие характеристики вольтметра и калибратора напряжения постоянного тока	18
4.7 Основные характеристики в режиме воспроизведения напряжения переменного тока	19
4.7.1 Особенности нормирования погрешности	19
4.7.2 Метрологические характеристики	20
4.7.3 Общие характеристики в режиме калибратора напряжения переменного тока	22
4.8 Основные характеристики в режиме измерения напряжения переменного тока	23
4.8.1 Два режима измерения, особенности использования	23
4.8.2 Метрологические характеристики вольтметра переменного напряжения	24
4.8.3 Общие характеристики вольтметра переменного напряжения	26
4.9 Основные характеристики в режиме воспроизведения силы постоянного тока	27
4.9.1 Особенности нормирования погрешности	27
4.9.2 Метрологические характеристики	27
4.9.3 Общие характеристики калибратора силы постоянного тока	27
4.10 Основные характеристики в режиме воспроизведения силы переменного тока	28
4.11 Дополнительные виды измерений	29
4.11.1 Измерение силы постоянного и переменного тока	29
4.11.2 Характеристики низковольтного блока в автономном режиме эксплуатации (нановольтметр)	29
4.12 Общие технические характеристики изделия	30
5 УСТРОЙСТВО И РАБОТА ИЗДЕЛИЯ	35
5.1 Общие принципы конструктивного исполнения	35
5.2 Общие принципы реализации режима калибратора	35
5.3 Упрощенная схема калибратора прибора Н4-12	37
5.4 Общие принципы реализации режима измерения напряжения постоянного тока	40
5.5 Упрощенная схема вольтметра прибора Н4-12	42
5.6 Устройство и принцип действия калибратора силы постоянного и переменного тока прибора Н4-12	45
5.7 Устройство и принцип действия блока низковольтного Н4-12БН	46
5.7.1 Общие положения и принципы построения	46
5.7.2 Упрощенная схема низковольтного блока	47

5.8 Устройство и принцип действия блока высоковольтного Н4-12БВ	48
5.9 Некоторые приемы усовершенствования метрологических и эксплуатационных характеристик изделия	51
5.10 Устройство и принцип действия меры напряжения Н4-12МН	52
6 ПОДГОТОВКА ИЗДЕЛИЯ К РАБОТЕ	53
6.1 Распаковывание и повторное упаковывание	53
7 ПОРЯДОК УСТАНОВКИ И ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ	54
7.1 Меры безопасности и подготовка к работе	54
7.1.1 Меры безопасности при подготовке изделия к эксплуатации	54
7.1.2 Порядок установки и подготовка к работе	54
7.2 Расположение органов подключения, индикации и управления базового прибора Н4-12	55
7.3 Клавиатура прибора Н4-12. Расположение и назначение кнопок	57
7.4 Органы подключения приборов Н4-12 и Н4-12БВ. Расположение, конструктивные особенности и назначение	69
7.5 Расположение и назначение органов индикации, управления и подключения блока низковольтного Н4-12БН	71
8 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	75
8.1 Меры безопасности при работе с прибором	75
8.2 Прогрев и установочные калибровки	75
8.3 Выбор конфигурации и агрегатирование комплекса	76
8.4 Особенности измерений в нановольтовом диапазоне	78
8.5 Влияние реактивных составляющих сопротивления измерительной цепи	80
8.6 Влияние нагрузки на погрешность калибратора	81
8.7 Рекомендации по использованию защитных экранов (по напряжению «G» и по току «G(I)»)	83
8.8 Двух- и четырехпроводная связь калибратора напряжения с нагрузкой	87
8.9 Комплект измерительных кабелей и принадлежностей к ним	89
8.10 Особенности эксплуатации вольтметра переменного тока	98
8.11 Работа калибратора под управлением вольтметра	103
9 ПОРЯДОК РАБОТЫ	105
9.1 Реализация установочных калибровок	105
9.2 Порядок работы с вольтметром	106
9.3 Измерение напряжения постоянного тока в нановольтовом диапазоне (пределы «20 mV» и «200 mV»)	107
9.4 Порядок работы с калибратором	109
9.5 Одновременная работа вольтметра и калибратора напряжения	112
9.6 Порядок работы с блоком Н4-12БН в автономном режиме	117
9.7 Использование режимов математической и статистической обработки информации	117
9.8 Режим отклонения (девиации) выходного напряжения	117
9.9 Использование последовательного интерфейса СТЫК С2 и последовательно-параллельного интерфейса КОП	118
9.10 О некоторых возможностях использования калибратора-вольтметра Н4-12	119
9.11 Рекомендации по использованию изделия Н4-12 для поверки прецизионных калибраторов переменного напряжения (работа по норме относительной погрешности)	122
9.12 Самоповерка и диагностика	124
9.13 Автокалибровки “01”, “02”, “19”	125
10 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ	130
10.1 Общие указания	130
10.2 Техническое обслуживание меры напряжения Н4-12МН	130

10.3 Техническое обслуживание низковольтного блока Н4-12БН для эксплуатации в автономном режиме	130
10.4 Техническое обслуживание базового прибора Н4-12	132
10.4.1 Общие сведения	132
11 ПОВЕРКА ПРИБОРА	133
11.1 Общие сведения	133
11.2 Операции поверки	134
11.3 Средства поверки	135
11.4 Требования безопасности	136
11.5 Условия поверки и подготовка к ней	137
11.6 Проведение поверки	137
11.6.1 Внешний осмотр	137
11.6.2 Проверка электрической прочности изоляции	138
11.6.3 Проверка электрического сопротивления изоляции	138
11.6.4 Проверка защитного заземления	138
11.6.5 Опробование	138
11.6.6 Определение метрологических характеристик 7-разрядных калибратора и вольтметра постоянного напряжения	140
11.6.7 Определение метрологических характеристик вольтметра и калибратора постоянного напряжения в режиме ограничения разрядов (калибратора до 6, вольтметра до 4 – 5)	145
11.6.8 Определение метрологических характеристик низковольтного блока Н4-12БН в автономном режиме	146
11.6.9 Определение метрологических характеристик калибратора переменного напряжения	147
11.6.10 Определение метрологических характеристик вольтметра переменного напряжения	150
11.6.11 Определение метрологических характеристик калибратора силы постоянного и переменного тока	152
11.6.12 Определение метрологических характеристик меры напряжения Н4-12МН (Н4-12МН/1)	154
11.7 Оформление результатов поверки	155
12 ХРАНЕНИЕ	156
13 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ	156
14 МАРКИРОВАНИЕ И ПЛОМБИРОВАНИЕ	157
14.1 Маркирование калибратора-вольтметра универсального Н4-12	157
14.2 Маркирование блока высоковольтного Н4-12БВ	157
14.3 Маркирование блока низковольтного Н4-12БН	157
14.4 Маркирование меры напряжения Н4-12МН	158
14.5 Пломбирование приборов	158

Калибратор-вольтметр универсальный. Руководство по эксплуатации. Часть 2. Внешние калибровки.

Калибратор-вольтметр универсальный. Руководство по эксплуатации. Часть 3. Описание конструкции.

Калибратор-вольтметр универсальный. Руководство по эксплуатации. Часть 4. Схемы электрические.

Руководство по эксплуатации калибратора-вольтметра универсального Н4-12 предназначено для изучения правил его эксплуатации (использования по назначению, технического обслуживания, текущего ремонта, хранения и транспортирования), ознакомления с конструкцией, отражения сведений, удостоверяющих гарантированные изготовителем значения основных параметров и характеристик прибора, гарантий и сведений по его эксплуатации за весь период. Руководство по эксплуатации состоит из четырех частей:

- калибратор-вольтметр универсальный. Руководство по эксплуатации. Часть 1. КМСИ.411182.020РЭ;
- калибратор-вольтметр универсальный. Руководство по эксплуатации. Часть 2. Внешние калибровки. КМСИ.411182.020РЭ1;
- калибратор-вольтметр универсальный. Руководство по эксплуатации. Часть 3. Описание конструкции. КМСИ.411182.020РЭ2;
- калибратор-вольтметр универсальный. Руководство по эксплуатации. Часть 4. Схемы электрические. КМСИ.411182.020РЭ3.

В части 1 руководства по эксплуатации приведены технические характеристики прибора, его устройство, порядок работы и поверки.

В части 2 описаны “внешние” калибровки прибора.

В части 3 изложено описание конструкции изделия, описание принципа действия, поиска неисправностей и способа их устранения.

В части 4 приведены схемы и перечни элементов.

1 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем руководстве по эксплуатации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-2-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.4-99 (МЭК 61000-4-2-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-2-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51522-99 (МЭК 61326-1-97) Совместимость технических средств электромагнитная. Электрическое оборудование для измерения, управления и лабораторного применения. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51350-99 Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования

ГОСТ 22261-94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия

ГОСТ 23675-79 Цепи стыка С2-ИС системы передачи данных. Электрические параметры

2 СОКРАЩЕНИЯ

2.1 В последующем тексте приняты следующие сокращения (обозначения) составных частей прибора:

- АВП – автоматический выбор пределов;
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
- АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;
- БВ – блок высоковольтный;
- БН – блок низковольтный;
- ГИНЧ – генератор инфранизкой частоты;
- ИКН – источник калиброванных (компенсирующих) напряжений;
- ИКТ – источник калиброванных токов;
- ИОН – источник опорного напряжения;
- Кг – коэффициент гармоник;
- ПЗУ – постоянное запоминающее устройство;
- ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема (CPLD);
- ПНТ – преобразователь напряжение-ток;
- РЭ – руководство по эксплуатации;
- СКЗ – среднеквадратическое значение;
- СВЗ – средневыврявленное значение;
- ТКС – температурный коэффициент сопротивления;
- УАПП – универсальный асинхронный приемопередатчик (UART);
- УПТ – усилитель постоянного тока;
- ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;
- ШИМ – широтно-импульсная модуляция;
- ШИМ-ЦАП – ЦАП с широтно-импульсной модуляцией;
- (I – Hi) и (V – Hi) – токовый (силовой) и потенциальный (измерительный) зажимы высокопотенциального выхода;
- (I – Lo) и (V – Lo) – токовый (силовой) и потенциальный (измерительный) зажимы низкопотенциального выхода;
- G (GUARD) – вывод защитного экрана;
- G (I) – экран калибратора тока;
- Hi – высокопотенциальный зажим;
- I – значение установленного тока (режим калибратора силы тока);
- In – ток нагрузки;
- Ip – значение силы тока, соответствующее наименованию предела;
- Lo – низкопотенциальный зажим;
- Tcal – температура калибровки;
- U – значение измеряемого или установленного (на выходе) напряжения;
- Uo – опорное напряжение;
- Up – значение напряжения, соответствующее наименованию предела;

3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1 Данный раздел содержит информацию и предостережения, которые должны соблюдаться пользователем с целью обеспечения безопасной эксплуатации и поддержания изделия в безопасном состоянии.

3.1 Общие положения техники безопасности оператора

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ



ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

существует при эксплуатации данного прибора

ОПАСНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

может присутствовать на клеммах, изучите все меры предосторожности!

Во избежание опасности поражения электрическим током оператор не должен электрически контактировать с высоковольтными и сильноточными выходными и считывающими клеммами или любыми проводниками, подсоединенными к ним, когда прибор находится как в режиме ожидания, так и в режиме работы. Во время эксплуатации прибора на этих клеммах может присутствовать напряжение, опасное для жизни (1000 V). Если позволяет характер работы, работайте с оборудованием одной рукой, чтобы свести к минимуму опасность прохождения тока через тело.

3.1.1 Символы, нанесенные на оборудование:



- ОПАСНОСТЬ – высокое напряжение;



- клемма защитного заземления;



- ВНИМАНИЕ – обратитесь к руководству. Данный символ указывает на то, что информация об использовании данной характеристики содержится в руководстве.

3.1.2 **Питание приборов комплекса** рассчитано на стандартную промышленную сеть с напряжением 230 V эффективного (действующего) значения между проводами питания или между любым проводом питания и землей. Для обеспечения безопасного функционирования необходимо использовать заземление, выполняемое посредством заземляющего провода в шнуре питания.

Примечание – Не относится к прибору Н4-12БН, питание которого осуществляется от аккумуляторных батарей.

3.1.3 **Использование надлежащих плавких предохранителей:** во избежание риска возникновения пожара необходимо использовать только такие плавкие предохранители, которые указаны на задней панели блоков и которые идентичны по типу, номинальному напряжению и номинальному току.

3.1.4 **Заземление приборов комплекса:** сетевые приборы представляют собой изделия класса безопасности I (с заземленным корпусом), как определено в ГОСТ Р 51350. Корпус заземлен посредством заземляющего провода в шнуре питания. Во избежание поражения электрическим током следует вставить вилку шнура питания в надлежащим образом разведенную

розетку с заземляющим контактом и только после этого подключать что-либо к клеммам. Наличие защитного заземления, выполняемого посредством шнура питания, является необходимым для безопасной работы.

3.1.5 Использование надлежащего шнура питания: следует использовать штатный шнур питания из комплекта поставки или шнур, соответствующий действующим стандартам по безопасности. Необходимо использовать только шнур питания, находящийся в хорошем состоянии. Поручать замену шнура и вилки следует только квалифицированному обслуживающему персоналу.

3.2 Общие положения техники безопасности для обслуживающего персонала

3.2.1 Обслуживание не должно выполняться одним сотрудником: нельзя выполнять обслуживание внутренних элементов или регулировки в изделии при отсутствии другого лица, способного оказать первую помощь и выполнить процедуры восстановления жизненных функций.

3.2.2 Необходимо проявлять осторожность при выполнении работ, требующих подключения питания.

Во многих точках внутри изделия имеется опасное для жизни напряжение. Чтобы избежать травмы, нельзя прикасаться к находящимся под напряжением соединениям и компонентам при включенном питании.

Всегда, когда позволяет характер выполняемой работы, следует держать одну руку вдали от оборудования, чтобы уменьшить риск протекания тока через жизненно важные органы тела.

Не следует носить заземляющий браслет при работе с данным изделием. Заземляющий браслет повышает риск протекания тока через тело.

Отключить питание перед снятием защитных панелей, пайкой или заменой компонентов. Высокое напряжение может некоторое время присутствовать и после отключения питания.

3.3 Первая помощь при поражении электрическим током

3.3.1 Освободить пострадавшего от проводника с током. Сразу же выключить подачу высокого напряжения и заземлить цепь. Если высокое напряжение не может быть выключено быстро, необходимо заземлить цепь.

Если цепь не может быть разорвана или заземлена, можно использовать доску, сухую одежду или иной не проводящий ток материал для освобождения пострадавшего.

3.3.2 Позвать на помощь! Вызвать неотложную помощь. Требовать медицинского вмешательства.

3.3.3 Не делать вывод о наступлении смерти на основании стандартных или общих признаков. Симптомы электрического шока могут включать в себя потерю сознания, остановку дыхания, отсутствие пульса, бледность, ооченение, а также сильные ожоги.

3.3.4 Оказать помощь пострадавшему. Если пострадавший не дышит, сделать непрямой массаж сердца или искусственное дыхание «рот в рот», если помогающий регулярно проходит инструктаж по технике безопасности.

4 ОПИСАНИЕ ИЗДЕЛИЯ

4.1 Назначение

4.1.1 Калибратор-вольтметр универсальный Н4-12 (КМСИ.411182.020) с комплексом изделий обеспечивает высокоточное воспроизведение и измерение напряжения и силы постоянного и переменного тока, что позволяет использовать его для решения задач метрологического обеспечения и исследования аппаратуры как генераторного, так и измерительного типа.

Способность **одновременного** функционирования прибора в режимах калибратора (источника сигналов) и вольтметра (измерителя сигналов) открывает широкие возможности для исследований и калибровки различных преобразователей (пассивных и активных), обеспечивая их входным сигналом и контролем выхода в широком амплитудном и частотном диапазоне. Работа калибратора и вольтметра друг на друга обеспечивает широкую диагностику функционирования и метрологического состояния прибора, позволяя реализовать оперативную диагностику и контролировать его сиюминутный статус для принятия обоснованного решения по целесообразности ремонта или дальнейшего использования. Наконец, контроль встроенным вольтметром выхода калибратора позволяет исключить влияние нагрузки (в том числе емкостной) на погрешность последнего (в указанном диапазоне нагрузок).

4.1.2 Номер сертификата об утверждении типа № 31154, регистрационный номер по Государственному реестру № 37463-08.

4.1.3 Как и для большинства микропроцессорных приборов обеспечиваются:

- математическая обработка измерительной информации;
- высокий уровень автоматизации измерений, процедур диагностики и калибровки;
- агрегатирование в автоматизированные системы и комплексы многоцелевого назначения на основе последовательного интерфейса RS-232C (СТЫК С2), а по специальной поставке – интерфейса последовательно-параллельного типа IEEE-488.

4.1.4 Нормальные условия эксплуатации:

- температура окружающего воздуха $T_{cal} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ и $T_{cal} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, где T_{cal} – температура калибровки, устанавливается пользователем из диапазона от +15 до +30 $^\circ\text{C}$ (при выпуске $T_{cal} = +23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$);

- относительная влажность 30 – 80 %;
- атмосферное давление 84 - 106 кПа (630 – 795 мм рт.ст.).

4.1.5 Рабочие условия эксплуатации:

- температура окружающего воздуха от +5 до +40 $^\circ\text{C}$;
- относительная влажность до 90 % при температуре +25 $^\circ\text{C}$.

4.1.6 Изделие может храниться и транспортироваться в следующих условиях воздействия климатических и механических факторов:

- пониженная температура окружающей среды от +5 $^\circ\text{C}$ до минус 25 $^\circ\text{C}$;
- повышенная температура окружающей среды от +40 $^\circ\text{C}$ до +55 $^\circ\text{C}$;
- относительная влажность до 95 % при температуре 30 $^\circ\text{C}$;
- атмосферное давление в диапазоне от 84 до 106,7 кПа (537 – 800 мм рт.ст.);
- при транспортной тряске число ударов в минуту от 80 до 120, максимальное ускорение 30 m/s^2 , продолжительность воздействия составляет 1 час.

Примечание – После длительного пребывания изделия в экстремальных условиях хранения транспортирования прибор перед включением в сеть должен выдерживаться в рабочих условиях эксплуатации в течение двух суток.

4.2 Совместимость с техническими средствами и устойчивость к внешним воздействиям

4.2.1 Изделие по помехозащищенности соответствует оборудованию класса Б по ГОСТ Р 51522 (МЭК 61326-1) и в том числе устойчиво к электростатическим разрядам по

ГОСТ Р 51317.4.2, к радиочастотному электромагнитному полю по ГОСТ Р 51317.4.3, наносекундным импульсным помехам по ГОСТ Р 51317.4.4, к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями по ГОСТ Р 51317.4.6, к динамическим изменениям напряжения электропитания по ГОСТ Р 51317.4.11.

4.2.2 Напряжение промышленных радиопомех (ИРП), создаваемых приборами Н4-12, Н4-12БВ, не превышает значений, приведенных в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Допускаемые значения напряжения ИРП на портах электропитания

Полоса частот, МГц	Напряжение U_c , dB (относительно $1\mu V$)	
	Квазипиковое значение	Среднее значение
0,15 – 0,5	66 - 56	56 – 46
0,5 – 5	56	46
5 – 30	60	50

Примечания
 1 На граничной частоте нормой является меньшее значение напряжения ИРП.
 2 В полосе частот от 0,15 до 0,5 МГц допустимые значения напряжения вычисляются как:
 $U_c = 66 - 19,1 \lg f / 0,15$ для квазипиковых значений и $U_c = 56 - 19,1 \lg f / 0,15$ для средних значений, где f – частота измерений в мегагерцах.

Напряженность поля промышленных радиопомех, создаваемых приборами Н4-12, Н4-12БВ, не превышает значений, приведенных в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Допускаемые значения напряженности поля ИРП на расстоянии 10 м от порта корпуса

Полоса частот, МГц	Напряженность поля, dB (относительно $1\mu V/m$), квазипиковое значение
30 – 230	30
230 – 1000	37

Примечание – На граничной частоте нормой является меньшее значение напряженности поля ИРП

Примечание – Приведенные нормы соответствуют оборудованию класса Б по ГОСТ Р 51522 (МЭК 61326-1).

4.3 Состав изделия

4.3.1 Состав изделия приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Состав изделия Н4-12

Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
КМСИ.411182.021	Калибратор-вольтметр универсальный Н4-12	1	
КМСИ.411582.031	Блок высоковольтный Н4-12БВ	1	
КМСИ. 411582.034	Блок низковольтный Н4-12БН	1	
КМСИ.411631.026 или	Мера напряжения Н4-12МН или	1	
КМСИ.411631.026-01	Н4-12МН/1	1	
	<u>Запасные части и принадлежности</u> (ЗИП-О)		
ТУ1-631-0020-93	Чемодан пластмассовый «Самр»	2	Упаковка для Н4-12МН, Н4-12БН, Н4-8 Упаковка для Н4-12, Н4-12БВ
ТУ1-631-0020-93	Чемодан пластмассовый «Самр»	2	
	ЗИП-О прибора Н4-12		
КМСИ.685631.050	Кабель (К5)	1	См. рисунок 8.8
КМСИ.685631.058	Кабель (К1)	1	
КМСИ.685631.049	Кабель (К2)	1	
КМСИ.685631.051-03	Соединитель (С1В, черный)	1	
КМСИ.685631.051-05	Соединитель (С2В, черный)	1	
КМСИ.685631.051-02	Соединитель (С1R, красный)	1	
КМСИ.685631.051-04	Соединитель (С2R, красный)	2	
КМСИ.685631.052	Кабель (К0)	1	
КМСИ.685619.020	Кабель	1	Интерфейса RS-232C
КМСИ.418711.001	Наконечник	4	
КМСИ.434432.002	Адаптер «Вилка-гнездо»	2	См. п. 8.9.10
КМСИ.301536.004	Нуль-блок (замыкатель, «NB»)	2	См. п.8.9.10
SCZ-1R	Шнур соединительный	1	Сетевой
ОЮ0.481.005 ТУ	Вставка плавкая ВП2Б-1В 1 А 250 В	4	
КМСИ.434156.054	Делитель 100:1 (4950 Ω/50 Ω)	1	См. п.9.10.6
	ЗИП-О прибора Н4-12БВ		
SCZ-1R	Шнур соединительный	1	Сетевой
ОЮ0.481.005 ТУ	Вставка плавкая ВП2Б-1В 2 А 250 В	4	
КМСИ.685621.172	Кабель - перемычка	1	Возможность соединения зажима “ \perp ” с “Lo”

Продолжение таблицы 4.3

Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
КМСИ.685631.043-01	ЗИП-О прибора Н4-12БН Кабель (К4, см. рисунок 8.8)	1	С низким уровнем термо-э.д.с.
КМСИ.685611.128	Соединитель (витая пара, см. п.8.4.3)	2	С низким уровнем термо-э.д.с.
КМСИ.685631.053	Кабель (К3, см. рисунок 8.8)	1	Пятипроводный, соединение с Н4-12
КМСИ.685619.017-01	Соединитель (К6, см. рисунок 8.8)	1	Управление от Н4-12
КМСИ.751567.002	Перемычка медная	4	2 шт. установлены на клеммах
КМСИ.685619.020	Кабель	1	
КМСИ.434156.041	Делитель 10:1 (900 Ω/100 Ω)	1	
ChDiNi-220-4,8-460	Устройство зарядное	1	
SCZ-1R	ЗИП-О прибора Н4-12МН (Н4-12МН/1) Шнур соединительный	1	Сетевой
ОЮ0.481.005 ТУ	Вставка плавкая ВП2Б-1В 0,25 А 250 В	4	
<u>Эксплуатационная документация</u>			
КМСИ.411182.020РЭ	Калибратор-вольтметр универсальный Н4-12. Руководство по эксплуатации. Часть 1	1	
КМСИ.411182.020РЭ1	Калибратор-вольтметр универсальный Н4-12. Руководство по эксплуатации. Часть 2. Внешние калибровки	1	
КМСИ.411182.020ФО	Калибратор-вольтметр универсальный Н4-12. Формуляр	1	
КМСИ.411631.025ФО или КМСИ.411631.025-01ФО	Мера напряжения Н4-12МН. Формуляр Мера напряжения Н4-12МН/1. Формуляр	1 1	
<u>Поставка по отдельному заказу</u>			
КМСИ.411182.020РЭ2	Калибратор-вольтметр универсальный Н4-12. Руководство по эксплуатации. Часть 3. Описание конструкции	1	
КМСИ.411182.020РЭ3	Калибратор-вольтметр универсальный Н4-12. Руководство по эксплуатации. Часть 4. Схемы электрические	1	
776898-31	Преобразователь GPIB-232CV-A	1	IEEE-488→RS-232C
763001-02	Кабель IEEE-488 (КОП)	1	

Продолжение таблицы 4.3

Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
КМСИ.411182.010	Преобразователь напряжение-ток Я9-44	1	
КМСИ.434156.049	Меры сопротивления Н4-12МС	1	
КМСИ.411641.013	Мера отношения напряжений Н4-8	1	
КМСИ.642111.007	Двухканальный коммутатор	1	В составе Н4-12БН

4.4 Состав и особенности использования изделия

4.4.1 Номенклатура разработанного изделия, представленного на рисунке 4.1, определялась задачей максимального удовлетворения потребностей пользователя путем рационального агрегатирования его компонентов, минимизируя аппаратную избыточность, столь характерную для универсальных приборов. В то же время структура комплекса, допускающая его компоновку в различных сочетаниях, обладает широкими функциональными возможностями (включая функции метрологического самообеспечения) при оптимальном соотношении экономических и схемотехнических факторов.

4.4.2 Опции базовой поставки:

- **Н4-12** – калибратор-вольтметр универсальный, базовый, системообразующий прибор, представляющий собой:

а) функционально законченный *вольтметр постоянного и переменного напряжения* с диапазоном от 0,1 μV до 1000 V;

б) *калибратор постоянного и переменного напряжения* с максимальным значением выходного сигнала 200 V;

в) *калибратор силы постоянного и переменного тока* с максимальным значением выходного сигнала 2 А.

Расширение диапазона напряжений обеспечивают высоковольтный (Н4-12БВ) и низковольтный (Н4-12БН) блоки, а расширение диапазона воспроизводимых токов – преобразователь напряжение-ток Я9-44;

- **Н4-12БВ** – блок высоковольтный. Расширяет диапазон *воспроизводимых напряжений постоянного и переменного тока* от 200 до 1000 V. Заявленная функция реализуется комплексом из двух приборов Н4-12 и Н4-12БВ;

- **Н4-12БН** – блок низковольтный. *Расширяет диапазон измеряемых и воспроизводимых напряжений постоянного тока в область нановольтовых значений*. Заявленная функция реализуется комплексом из двух приборов Н4-12 и Н4-12БН. При автономном использовании блок Н4-12БН функционирует как нановольтметр с батарейным питанием и диапазоном измерения от 1 nV до 20 mV, расширяя сервисные возможности комплекса. Например, блоком можно контролировать выход термопреобразователей при измерениях или сличениях, использовать при сличении нормальных элементов или их сравнениях со стандартным напряжением 1 V (блок точно фиксирует разность около 18 mV), использовать в качестве индикатора в мостовых схемах и т.п.;

- **Н4-12МН** – мера с выходным напряжением 10 V. Мера предназначена *для ежедневной калибровки базового прибора Н4-12* с целью обеспечения абсолютной точности, которая в данном случае определяется точностью меры. Операция калибровки – полуавтоматическая продолжительностью менее 1 минуты. Мера Н4-12МН является средством связи с мерами напряжения центральных метрологических органов. Это позволяет, не прерывая эксплуатации комплекса, отправлять меру Н4-12МН на освидетельствование (поверку) один раз в 90 дней, а поверку всего комплекса осуществлять не чаще чем один раз в год, реализуя точность, практически нормируемую для трехмесячного цикла поверки (см. п.4.6.1).

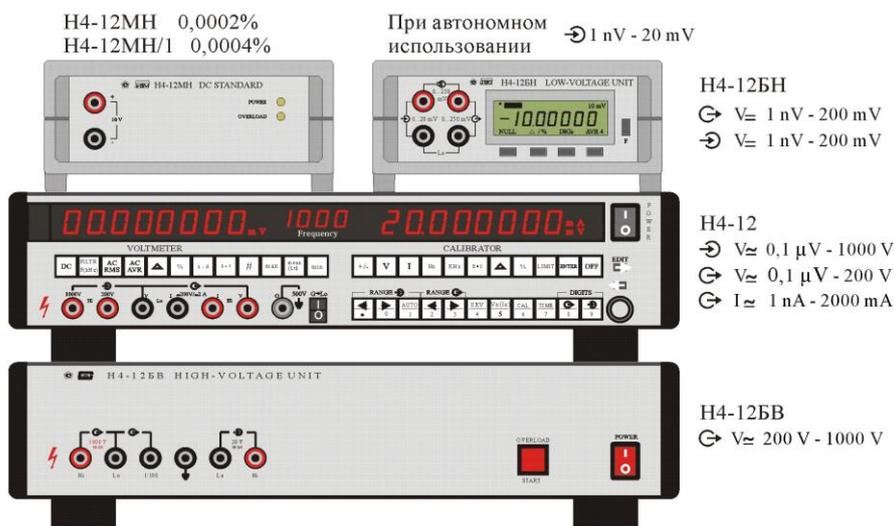
Модификация Н4-12МН/1 отличается от меры напряжения Н4-12МН вдвое большей временной нестабильностью.

4.4.3 Опции дополнительной поставки:

- **Я9-44** – преобразователь напряжение-ток. *Расширяет диапазон воспроизводимых значений силы постоянного и переменного тока* от 2 до 30 А;
- **Н4-12МС** – меры сопротивления. Является средством калибровки и поверки калибратора силы постоянного и переменного тока, а в совокупности с базовым прибором Н4-12 реализует режим *измерения силы постоянного и переменного тока* до 50 А;
- **Н4-8** – мера отношения напряжений. Является средством метрологического обеспечения базового прибора Н4-12 для режимов *измерения и воспроизведения напряжения постоянного тока* (проверка линейности). Прибор – самоверяемый, с автономным питанием. Мера отношения Н4-8 – однодекадный (1 – 10 V или 2 – 20 V) калибратор с ультралинейной характеристикой (до 0,00001 %), которым можно калибровать и проверять делители (с коэффициентом отношения до 1:10), а также основные пределы вольтметров (калибраторов). Из однозначной меры напряжения можно получить (с высокой точностью) 10 уровней напряжения: например, из меры с выходом 10 V – получить 1 V и наоборот, причём, без всяких ограничений и зависимости от межповерочного интервала.

Н4-12 КАЛИБРАТОР-ВОЛЬТМЕТР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ

Опции базовой поставки



Опции дополнительной поставки

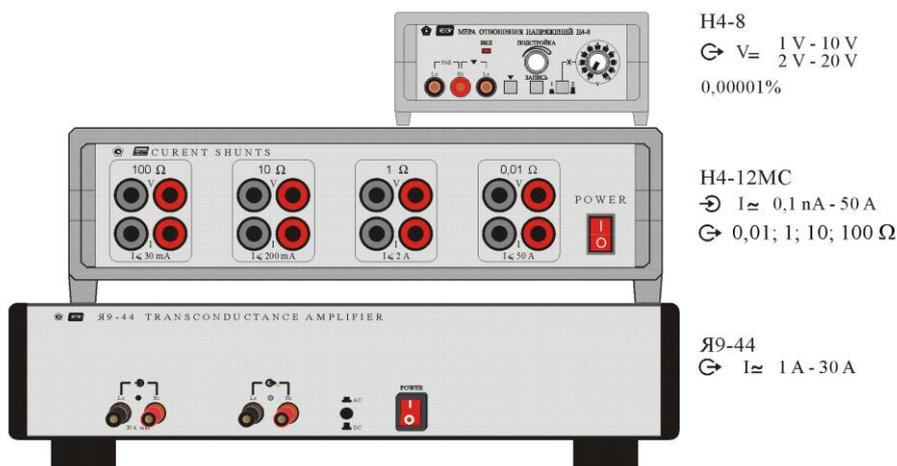


Рисунок 4.1 – Комплекс изделий на базе калибратора-вольтметра универсального Н4-12

Примечание – Приборы Н4-8, Н4-12МС, Я9-44 имеют самостоятельную эксплуатационную документацию.

Очевидно, что комплекс, обеспечивающий одновременное измерение и воспроизведение напряжений и токов, потенциально способен реализовать функцию измерения сопротивлений, обеспечив, таким образом, решение всех самых популярных в измерительной технике задач.

4.5 Основные характеристики мер напряжения Н4-12МН и Н4-12МН/1

4.5.1 ВНИМАНИЕ! Гарантированными являются технические характеристики, приводимые с допусками или предельными значениями. Значения параметров без допусков считаются справочными.

4.5.2 Меры Н4-12МН и Н4-12МН/1 обеспечивают воспроизведение напряжения постоянного тока 10 V, точное значение которого устанавливается при каждой очередной поверке. **При выпуске из производства напряжение 10 V устанавливается с погрешностью не более $\pm 0,0001$ % (неопределенность ± 10 μ V) при окружающей температуре (23 ± 1) °C.**

4.5.3 Нестабильность напряжения меры **Н4-12МН** не более $\pm 0,0002$ % за 3 месяца и $\pm 0,0004$ % за 1 год при изменении окружающей температуры $\Delta T \leq \pm 1$ °C.

Нестабильность напряжения меры **Н4-12МН/1** не более $\pm 0,0004$ % за 3 месяца и $\pm 0,0008$ % за 1 год при изменении окружающей температуры $\Delta T \leq \pm 1$ °C.

4.5.4 Дополнительная погрешность воспроизведения напряжения, вызванная изменением окружающей температуры, не должна быть более $\pm 0,00002$ % / °C.

4.5.5 Выходное сопротивление не более 0,2 Ω , а ток нагрузки не более 1 mA.

4.5.6 Дополнительная погрешность при изменении напряжения питания на ± 10 % от номинального значения не более $\pm 0,00002$ %.

4.5.7 Время установления рабочего режима (прогрева) не более 3 часов.

Примечание – Изготовитель оставляет за собой право комплектования изделия мерой напряжения другого типа, технические характеристики которой не хуже вышезаявленных.

4.6 Основные характеристики в режимах измерения и воспроизведения напряжения постоянного тока

4.6.1 Особенности нормирования погрешности

4.6.1.1 Погрешность измерения и воспроизведения постоянного напряжения во многом определяется временной нестабильностью внутреннего эталона базового прибора, который нуждается в ежедневной калибровке по внешней мере напряжения (Н4-12МН). По мере набора статистической информации и требуемой точности этот регламент может быть скорректирован (до одного раза в неделю или даже в месяц). Нормируемое значение погрешности прибора за 24 часа может поддерживаться в течение более длительного интервала при ежедневной калибровке встроенного эталона, но в этом случае к погрешности измерения (воспроизведения) за 24 часа следует прибавить погрешность меры, по которой проводилась калибровка.

4.6.1.2 К концу трехмесячного цикла калибровки меры напряжения Н4-12МН ее погрешность не должна превышать 0,0002 % (без ошибки аттестации; у производителя она составляет 0,0001 %). Это учитывается при формировании погрешности прибора Н4-12 (см. таблицы 4.4, 4.5) за 3 месяца и **за 1 год при трехмесячном цикле проверки автономной меры Н4-12МН**. Таким образом, минимальный межповерочный интервал всего комплекса может быть увеличен до 1 года при минимальных потерях в точности измерения и воспроизведения постоянного напряжения. В этом и заключается преимущество комплектования изделия автономной мерой.

В последней графе таблиц 4.4, 4.5 указана годовая погрешность прибора Н4-12 при условии, что автономная мера проходила освидетельствование один раз в год, а окружающая температура удерживалась в границах ± 5 °C от температуры калибровки Tcal.

Нормируемая суточная погрешность фактически является погрешностью базового прибора Н4-12 относительно меры напряжения, по которой реализуется ежесуточная калибровка его внутриприборной меры напряжения (опорного источника). Если для этой

цели используется более высококлассная мера, то погрешность прибора снижается. Для ее определения необходимо к первому слагаемому суточной погрешности прибавить класс (погрешность) используемой меры.

4.6.1.3 Нормируемые значения погрешности вольтметра реализуются при 7-разрядной шкале индикатора. При сокращении количества индицируемых разрядов до шести погрешность увеличивается на единицу младшего разряда, при 5-разрядной шкале – на 3 единицы младшего разряда, а при 4-разрядной – на 1 единицу младшего разряда.

В режиме калибратора предусмотрены 6- и 7-разрядные режимы работы. Эти режимы отличаются и точностью, и быстродействием (до 20 ms). 6-разрядный режим калибратора имеет высокое быстродействие, но более низкую точность (см. таблицу 4.6). Быстродействие калибратора (время установления напряжения с заданной точностью) зависит от режима его работы. Предусмотрен специальный режим, исключающий изменения выходного напряжения калибратора переменного напряжения от воздействия нагрузки (активной или емкостной). Этот режим реализуется подключением встроенного вольтметра к выходу калибратора. Задача вольтметра – выявить отклонение выходного напряжения под влиянием нагрузки и соответствующим управлением скорректировать его (формируется дополнительный контур авторегулирования). Таким образом исключается реакция калибратора на воздействие нагрузки, за что приходится расплачиваться быстродействием, т.к. в этом случае оно не выше скорости измерения вольтметра. Практически в приборе этот режим «компенсации нагрузки» реализуется включением кнопки «SRV» (service – обслуживание) для калибратора переменного напряжения.

4.6.1.4 Наконец, для нормирования погрешности прибора Н4-12 и его окружения используется традиционная двухзвенная формула, первое слагаемое которой отражает составляющую погрешности измеряемой или воспроизводимой величины (мультипликативная составляющая), а вторая (аддитивная) – постоянную для заданного предела составляющую погрешности. Например, погрешность измерения напряжения постоянного тока на пределе «20 V» определяется выражением $0,0003 \% \text{ от } U + 0,000015 \% \text{ от } U_{\text{п}}$, что дает:

- для напряжения 20 V: $3 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \text{ V} + 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \text{ V} = 60 \text{ }\mu\text{V} + 3 \text{ }\mu\text{V} = 63 \text{ }\mu\text{V}$ или 0,000315 %;
- для напряжения 10 V: $3 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \text{ V} + 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \text{ V} = 30 \text{ }\mu\text{V} + 3 \text{ }\mu\text{V} = 33 \text{ }\mu\text{V}$ или 0,00033 %;
- для напряжения 2 V: $3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \text{ V} + 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \text{ V} = 6 \text{ }\mu\text{V} + 3 \text{ }\mu\text{V} = 9 \text{ }\mu\text{V}$ или 0,00045 %;
- для напряжения 0,2 V: $3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 \text{ V} + 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \text{ V} = 0,6 \text{ }\mu\text{V} + 3 \text{ }\mu\text{V} = 3,6 \text{ }\mu\text{V}$ или 0,0018 %.

Легко заметить, что аддитивная составляющая, не оказывая заметного влияния на погрешность в верхнем секторе предела, доминирует в нижнем. Отсюда логичная рекомендация – **измерение с максимальной точностью в нижнем секторе диапазона реализуется на соседнем младшем пределе.** Кстати, сравнение показаний в граничных точках двух соседних пределов (например, 20 V на пределе «20 V» и 20 V на пределе «200 V») позволяет осуществить диагностику метрологического состояния прибора.

4.6.1.5 Важной характеристикой калибратора и вольтметра является **нелинейность** преобразования (цифро-аналогового для калибратора и аналого-цифрового для вольтметра), которая не учитывает дрейфовых характеристик нулевого и опорного уровня напряжения.

Для 7-разрядной шкалы **нелинейность** преобразования составляет:

$$0,00003 \% \text{ от } U + 0,00001 \% \text{ от } U_{\text{п}}$$

4.6.1.6 В последующих таблицах принята двухзвенная форма выражения погрешности, по которой она представлена в виде суммы двух составляющих, одна из которых выражена в процентах от измеряемой (для вольтметра) или воспроизводимой (для калибратора) величины напряжения (U) или тока (I), плюс вторая составляющая, выраженная в процентах от величин напряжения (U_п) или тока (I_п), соответствующих наименованию предела. Таким образом, только первая составляющая погрешности зависит от измеряемой или установленной величины, а вторая, для установленного предела, остается постоянной (в измерительной практике такие составляющие погрешности называют соответственно мультипликативной и аддитивной).

4.6.2 Метрологические характеристики в режиме измерения и воспроизведения напряжения постоянного тока

4.6.2.1 Диапазон измеряемых и воспроизводимых значений напряжения постоянного тока от единиц нановольт до 1010 V.

4.6.2.2 Предел допускаемой основной погрешности измерения напряжения постоянного тока специфицирован в таблице 4.4, а воспроизведения – в таблице 4.5 для 7-разрядной шкалы и в таблице 4.6 для 6-разрядной шкалы (режим высокого быстродействия).

Таблица 4.4 – Предел допускаемой основной погрешности измерения напряжения постоянного тока (DC – вольтметр), 7-разрядная шкала

Предел, Uп	Предел допускаемой основной погрешности, ±(% от U + % от Uп)			
	24 часа, Tcal ±1 °C	3 месяца, Tcal ±1 °C	1 год, Tcal ±1 °C	1 год, Tcal ±5 °C
При комплектовании мерой напряжения Н4-12МН				
20 mV*	0,0005 + 0,0002	0,0009 + 0,0002	0,0009 + 0,0002	0,0017 + 0,0002
200 mV*	0,0005 + 0,00004	0,0008 + 0,00004	0,0008 + 0,00004	0,0015 + 0,00004
2 V	0,00025 + 0,000025	0,00045 + 0,000025	0,0005 + 0,000025	0,001 + 0,000025
20 V	0,0001 + 0,000015	0,0003 + 0,000015	0,0003 + 0,000015	0,00075 + 0,000015
200 V	0,00025 + 0,000015	0,00045 + 0,000015	0,0005 + 0,000015	0,001 + 0,000015
1000 V	0,0003 + 0,00003	0,0005 + 0,00003	0,0006 + 0,00003	0,0012 + 0,00003
При комплектовании мерой напряжения Н4-12МН/1				
20 mV*	0,0005 + 0,0002	0,0011 + 0,0002	0,0011 + 0,0002	0,002 + 0,0002
200 mV*	0,0005 + 0,00004	0,001 + 0,00004	0,001 + 0,00004	0,0018 + 0,00004
2 V	0,00025 + 0,000025	0,00065 + 0,000025	0,0007 + 0,000025	0,0013 + 0,000025
20 V	0,0001 + 0,000015	0,0005 + 0,000015	0,0005 + 0,000015	0,0011 + 0,000015
200 V	0,00025 + 0,000015	0,00065 + 0,000015	0,0007 + 0,000015	0,0013 + 0,000015
1000 V	0,0003 + 0,00003	0,0007 + 0,00003	0,0008 + 0,00003	0,0015 + 0,00003
* Пределы «20 mV» и «200 mV» реализуются совместно с низковольтным блоком Н4-12БН				

Таблица 4.5 – Предел допускаемой основной погрешности воспроизведения напряжения постоянного тока (DC – калибратор), 7-разрядная шкала

Предел, Uп	Предел допускаемой основной погрешности, ±(% от U + % от Uп)			
	24 часа, Tcal ±1 °C	3 месяца, Tcal ±1 °C	1 год, Tcal ±1 °C	1 год, Tcal ±5 °C
При комплектовании мерой напряжения Н4-12МН				
20 mV*	0,0005 + 0,0002	0,0009 + 0,0002	0,0009 + 0,0002	0,0017 + 0,0002
200 mV*	0,0005 + 0,00004	0,0008 + 0,00004	0,0008 + 0,00004	0,0015 + 0,00004
2 V	0,00025 + 0,000025	0,00045 + 0,000025	0,0005 + 0,000025	0,001 + 0,000025
20 V	0,0001 + 0,000015	0,0003 + 0,000015	0,0003 + 0,000015	0,00075 + 0,000015
200 V	0,00025 + 0,000025	0,00045 + 0,000025	0,0005 + 0,000025	0,001 + 0,000025
1000 V**	0,0003 + 0,00004	0,0005 + 0,00004	0,0006 + 0,00004	0,0012 + 0,00004
При комплектовании мерой напряжения Н4-12МН/1				
20 mV*	0,0005 + 0,0002	0,0011 + 0,0002	0,0011 + 0,0002	0,002 + 0,0002
200 mV*	0,0005 + 0,00004	0,001 + 0,00004	0,001 + 0,00004	0,0018 + 0,00004
2 V	0,00025 + 0,000025	0,00065 + 0,000025	0,0007 + 0,000025	0,0013 + 0,000025
20 V	0,0001 + 0,000015	0,0005 + 0,000015	0,0005 + 0,000015	0,0011 + 0,000015
200 V	0,00025 + 0,000025	0,00065 + 0,000025	0,0007 + 0,000025	0,0013 + 0,000025
1000 V**	0,0003 + 0,00004	0,0007 + 0,00004	0,0008 + 0,00004	0,0015 + 0,00004
* Пределы «20 mV» и «200 mV» реализуются совместно с низковольтным блоком Н4-12БН				
** Предел «1000 V» калибратора реализуются совместно с высоковольтным блоком Н4-12БВ				

Таблица 4.6 – Предел допускаемой основной погрешности воспроизведения напряжения постоянного тока (DC – калибратор), 6-разрядная шкала

Предел, U _п	Предел допускаемой основной погрешности при комплектовании мерой Н4-12МН, ±(% от U + % от U _п)		Предел допускаемой основной погрешности при калибровке по мере Н4-12МН/1, ±(% от U + % от U _п)	
	1 год, T _{cal} ±1 °С	1 год, T _{cal} ±5 °С	1 год, T _{cal} ±1 °С	1 год, T _{cal} ±5 °С
0.2 V	0,001 + 0,00015	0,0015 + 0,00015	0,0012 + 0,00015	0,0017 + 0,00015
2 V	0,001 + 0,00015	0,0015 + 0,00015	0,0012 + 0,00015	0,0017 + 0,00015
20 V	0,0008 + 0,00008	0,0015 + 0,0001	0,001 + 0,00008	0,0017 + 0,0001
200 V	0,001 + 0,00015	0,0015 + 0,00015	0,0012 + 0,00015	0,0017 + 0,00015
1000 V*	0,0015 + 0,0002	0,002 + 0,0002	0,0017 + 0,0002	0,0022 + 0,0002

* Совместно с высоковольтным блоком Н4-12БВ

Примечания

1 При выпуске из производства прибор (меры напряжения Н4-12МН и Н4-12МН/1) калибруются с погрешностью не более ±0,0001 %.

2 T_{cal} – температура, при которой осуществлялась калибровка изделия. T_{cal} не должна выходить за пределы 15 – 30 °С. При выпуске T_{cal} = (23 ±1) °С.

3 На входных- выходных клеммах базового прибора Н4-12 допускается увеличение погрешности на значение не более 1 μV, вызванное термо-э.д.с. (не относится к пределам «20 mV» и «200 mV», формируемым низковольтным блоком Н4-12БН).

4 В таблице 4.5 погрешность на пределах «200 V» и «1000 V» нормируется для напряжений от 20 до 210 V на пределе «200 V» и для напряжений от 200 до 1010 V на пределе «1000 V».

5 При двухгодичном межповерочном интервале погрешность, нормируемая за 1 год с T_{cal} ±5 °С в таблицах 4.4-4.6, удваивается. Этой нормой можно пользоваться только при удовлетворительных результатах поверки после первого года эксплуатации.

6 Погрешность вольтметра с 6-разрядной шкалой измерения увеличивается на 1 единицу младшего разряда, при 5-разрядной шкале – на 3 единицы младшего разряда, а при 4-разрядной шкале – на 1 единицу младшего разряда.

4.6.2.3 **Перекрытие пределов** измерения и воспроизведения не менее 5 % (для предела «1000 V» не менее 1 %).

4.6.3 Общие характеристики вольтметра и калибратора напряжения постоянного тока

4.6.3.1 Параметры входной (выходной) цепи вольтметра (калибратора) приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Параметры входной (выходной) цепи вольтметра (калибратора)

Предел, U _п	ВОЛЬТМЕТР		КАЛИБРАТОР		
	Входной ток	Входное сопротивление	Выходное сопротивление	Максимальный ток на выходе	Уровень переменных составляющих на выходе (в полосе частот 10 – 10000 Hz), не более
20 mV	< 0,1 nA	> 0,1 GΩ	100 Ω	-	5 μV
200 mV	< 0,1 nA	> 0,1 GΩ	100 Ω	-	5 μV
0,2 V ¹⁾	-	-	20 Ω	-	10 μV

Продолжение таблицы 4.7

Предел, Уп	ВОЛЬТМЕТР		КАЛИБРАТОР		
	Входной ток	Входное сопротивление	Выходное сопротивление	Максимальный ток на выходе	Уровень переменных составляющих на выходе (в полосе частот 10 – 10000 Hz), не более
20 V	< 0,1 nA	> 10 GΩ	≤ 0,0005 Ω	20 mA	0,1 mV
200 V	-	1,2 MΩ (10 MΩ)	≤ 0,05 Ω	20 mA	2 mV
1000 V	-	10 MΩ	≤ 0,5 Ω	20 mA	20 mV
Примечание – В скобках указаны значения для 4-, 5-разрядной шкалы					
1) Только для режима 6-разрядного калибратора					

4.6.3.2 **Время измерения** не превышает:

- 0,33 s при 4-, 5-разрядной шкале;
- 3 s при 6-, 7-разрядной шкале (при изменениях напряжения в пределах четырех младших разрядов время измерения не превышает 0,5 s);
- 5 s при включенном фильтре.

Автоматический выбор пределов измерения увеличивает время измерения от 1 до 2 s.

Использование низковольтного блока (пределы «20 mV» и «200 mV») увеличивает время измерения на 2 s (при изменениях напряжения более четырех младших индицируемых разрядов).

4.6.3.3 **Время установления выходного напряжения** калибратора:

- для 7-разрядной шкалы калибратора не более 1,5 s, увеличивается на 1 s при изменении полярности или предела;
- для 6-разрядной шкалы калибратора не более 40 ms; увеличивается на 0,1 s при переключении предела.

4.6.3.4 **Подавление помехи** вольтметром:

- последовательного (нормального) вида с частотой питающей сети не менее 80 dB;
- параллельного (общего) вида при несимметрии входа 1 kΩ не менее 140 dB, а для напряжений с частотой питающей сети не менее 120 dB.

Амплитуда помехи последовательного вида не должна превышать верхней границы установленного предела Уп, а при 7-разрядной шкале – 0,1Уп. Напряжение помехи параллельного вида не должно быть более 500 V.

4.6.3.5 **Дополнительная температурная погрешность** при изменении температуры окружающего воздуха на каждые 10 °C не более основной погрешности, нормируемой для вольтметра и калибратора за 1 год при температуре Tcal ±1 °C, а для пределов «20 mV» и «200 mV» в 2 раза выше.

4.7 Основные характеристики в режиме воспроизведения напряжения переменного тока

4.7.1 Особенности нормирования погрешности

4.7.1.1 Калибратор напряжения переменного тока Н4-12 может функционировать как в автономном режиме работы, так и в режиме работы под управлением встроенного вольтметра. В последнем случае вольтметр контролирует выходное напряжение калибратора, осуществляя его подстройку при любых отклонениях от установленного уровня (под влиянием нагрузки или из-за ограниченной точности самого калибратора). Таки образом вольтметр формирует дополнительный контур авторегулирования выходного напряжения калибратора.

Режим работы калибратора под управлением вольтметра реализуется только:

- на частотах выше 200 Hz (то есть при включенной кнопке «kHz»);

- на пределах «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V» (для предела «0,2 V» осуществляется только автономная работа);

- для напряжений, превышающих уровень 0,1Up.

Нормы погрешности в таблице 4.8 приведены для режима калибратора под управлением вольтметра в указанной выше области применения этого режима. Вне этой области погрешность нормируется при автономной работе калибратора.

На пределах «2 V» и «20 V» погрешность нормируется для любого из двух возможных режимов эксплуатации: автономного или под управлением вольтметра.

На пределах «200 V» и «1000 V» погрешность нормируется только для режима работы под управлением вольтметра, хотя в низкочастотной области рабочего диапазона (до 10 kHz) реальные характеристики калибратора достаточно высокие и в автономном режиме (реализация режима в п.8.11).

4.7.1.2 Для изделия в режиме воспроизведения напряжения переменного тока осуществляется раздельное нормирование абсолютной погрешности и ее относительной составляющей. Последняя определяет собственную погрешность изделия, прямо связанную с аспектами проектирования и схемотехники, а в абсолютную погрешность включена погрешность калибровочных эталонов производителя. Если пользователь в процессе эксплуатации для поверки и (или) калибровки использует собственную метрологическую базу, он должен к относительной погрешности прибавить погрешность внешних стандартов (эталонов), по которым осуществлялась поверка (калибровка).

4.7.2 Метрологические характеристики

4.7.2.1 **Диапазон** воспроизводимых напряжений переменного тока от 50 μ V до 1010 V среднеквадратического значения.

Форма сигнала – синусоидальная, **формат** – 6,5 разрядов в частотном диапазоне до 100 kHz, 5,5 разрядов – 300 kHz и 4,5 разряда – выше 300 kHz.

4.7.2.2 Амплитудный и частотный диапазоны:

- до 20 V частотный диапазон от 0,1 Hz до 1000 kHz (на пределах 0,2; 2 и 20V);

- до 200 V частотный диапазон от 0,1 Hz до 100 kHz (на пределе 200V);

- до 500 V частотный диапазон от 0,1 Hz до 50 kHz;

- до 700 V частотный диапазон от 0,1 Hz до 30 kHz;

- до 1000 V частотный диапазон от 0,1 Hz до 20 kHz.

4.7.2.3 Предел допускаемой основной погрешности воспроизведения напряжения переменного тока специфицирован в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Предел допускаемой основной погрешности **воспроизведения напряжения переменного тока** (АС-калибратор)

Предел, Уп (диапазон U)	Частотный диапазон	Предел допускаемой основной погрешности, $\pm(\% \text{ от } U + \% \text{ от } U_{\text{п}})$		
		относительной ¹⁾	абсолютной ²⁾	
		1 год, Tcal ± 1 °C	1 год, Tcal ± 1 °C	2 года, Tcal ± 5 °C ³⁾
0,2 V (0,05 – 210 mV)	0,1 Hz – 20 kHz	0,004 + 0,001	0,005 + 0,001	0,01 + 0,001
	20 – 50 kHz	0,008 + 0,002	0,015 + 0,002	0,02 + 0,002
	50 – 100 kHz	0,014 + 0,003	0,025 + 0,003	0,03 + 0,003
	100 – 300 kHz	0,04 + 0,01	0,08 + 0,01	0,1 + 0,01
	300 – 500 kHz	0,05 + 0,015	0,12 + 0,015	0,2 + 0,02
	500 – 1000 kHz	0,15 + 0,03	0,15 + 0,03	0,3 + 0,03
2 V (1 mV – 2,1 V)	0,1 Hz – 20 kHz	0,0015 + 0,0005	0,0025 + 0,0005	0,006 + 0,0006
	20 – 50 kHz	0,0035 + 0,0005	0,0075 + 0,0005	0,015 + 0,001
	50 – 100 kHz	0,004 + 0,001	0,009 + 0,001	0,02 + 0,002
	100 – 300 kHz	0,02 + 0,003	0,03 + 0,003	0,05 + 0,005
	300 – 500 kHz	0,04 + 0,01	0,09 + 0,01	0,15 + 0,015
	500 – 1000 kHz	0,15 + 0,02	0,15 + 0,02	0,3 + 0,03
20 V (10 mV – 21 V)	0,1 Hz – 20 kHz	0,0012 + 0,0003	0,0027 + 0,0003	0,006 + 0,0006
	20 – 50 kHz	0,0035 + 0,0005	0,0075 + 0,0005	0,015 + 0,001
	50 – 100 kHz	0,004 + 0,001	0,009 + 0,001	0,02 + 0,002
	100 – 300 kHz	0,02 + 0,003	0,03 + 0,003	0,05 + 0,005
	300 – 500 kHz	0,04 + 0,01	0,09 + 0,01	0,15 + 0,015
	500 – 1000 kHz	0,15 + 0,02	0,15 + 0,02	0,3 + 0,03
200 V (0,1 – 210 V)	0,1 Hz – 20 kHz	0,0025 + 0,0005	0,005 + 0,0005	0,01 + 0,001
	20 – 50 kHz	0,005 + 0,001	0,01 + 0,001	0,02 + 0,002
	50 – 100 kHz	0,015 + 0,0015	0,015 + 0,0015	0,03 + 0,003
1000 V (100 – 1010 V)	0,1 Hz – 20 kHz	0,0025 + 0,0005	0,005 + 0,0005	0,015 + 0,001
	20 – 30 kHz	0,015 + 0,002	0,02 + 0,002	0,05 + 0,005
	30 – 50 kHz	Не нормируется (используется как источник)		

Примечания

1 Предел «1000 V» реализуются совместно с высоковольтным блоком Н4-12БВ.

2 При выпуске Tcal = (23 ± 1) °C.

3 Нижняя граница диапазона на пределе «0,2 V» (0,05 mV) гарантируется в полосе частот до 100 kHz. В частотном диапазоне выше 100 kHz она линейно нарастает до значения 1 mV на частоте 1000 kHz.

¹⁾ Погрешность относительно калибровочных эталонов

²⁾ Дополнительно включает погрешность калибровочных эталонов производителя (при эксплуатации – потребителя)

³⁾ При удовлетворительных результатах поверки после первого года эксплуатации

ВНИМАНИЕ! На пределах «200 V» и «1000 V» погрешность гарантируется в режиме работы калибратора под управлением вольтметра.

4.7.3 Общие характеристики в режиме калибратора напряжения переменного тока

4.7.3.1 Предельные нагрузочные характеристики и коэффициент гармоник калибратора приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – **Нагрузочные характеристики и коэффициент гармоник** калибратора переменного напряжения

Предел, Уп	Частотный диапазон	Коэффициент гармоник Кг, %, не более	Нагрузочные характеристики		Изменение напряжения от воздействия максимальной нагрузки* ± (% от U + % от Уп)
			Емкость нагрузки, пФ, не более	Ток нагрузки, мА, не более	
0,2 V	0,1 Hz – 10 kHz	0,015	Выходное сопротивление 20 Ω		-
	10 – 50 kHz	0,025			
	50 – 100 kHz	0,05			
	100 – 300 kHz	0,15			
	300 – 500 kHz	0,3			
	500 – 1000 kHz	0,6			
2 V	0,1 Hz – 10 kHz	0,015	1000	22	0,0005 + 0,0001
	10 – 50 kHz	0,025	1000		0,001 + 0,0002
	50 – 100 kHz	0,05	1000		0,001 + 0,0004
	100 – 300 kHz	0,15	300		0,005 + 0,001
	300 – 500 kHz	0,3	300		0,02 + 0,005
	500 – 1000 kHz	0,6	300		0,05 + 0,01
20 V	0,1 Hz – 10 kHz	0,015	1000	22	0,0005 + 0,0001
	10 – 50 kHz	0,025	1000		0,001 + 0,0002
	50 – 100 kHz	0,05	1000		0,001 + 0,0004
	100 – 300 kHz	0,15	300		0,005 + 0,001
	300 – 500 kHz	0,3	300		0,02 + 0,005
	500 – 1000 kHz	0,6	300		0,05 + 0,01
200 V	0,1 Hz – 10 kHz	0,015	300	22	0,0005 + 0,0001
	10 – 20 kHz	0,025	300		0,0005 + 0,0001
	20 – 50 kHz	0,03	300		0,001 + 0,0002
	50 – 100 kHz	0,05	300		0,003 + 0,001
1000 V	0,1 – 1 kHz	0,015	300	22	0,0005 + 0,0001
	1 – 10 kHz	0,03	300		0,0005 + 0,0001
	10 – 30 kHz	0,1	300		0,005 + 0,001

* Для частот выше 200 Hz нормируется в режиме работы калибратора под управлением вольтметра (п.8.11)

4.7.3.2 Информация о формировании частотных поддиапазонов калибратора приведена в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Пределы и погрешность установки частоты

Поддиапазон частот	Дискретность	Погрешность установки частоты, не более
0,1 – 19,9 Hz	0,1 Hz	0,5 % (2,5 % для частот от 0,1 до 5,1 Hz)
20 – 200 Hz	1 Hz	1 %
0,21 – 1,99 kHz	10 Hz	2,5 %
2 – 21,9 kHz	100 Hz	2,5 %
22 – 199 kHz	1 kHz	0,5 %
200 – 1000 kHz	5 kHz	1 %

4.7.3.3 Время установления выходного напряжения:

- не более 20 ms, время установления частоты 100 ms;
- до 5 s при работе калибратора под управлением вольтметра (см. п.9.4.9).

4.7.3.4 **Дополнительная температурная погрешность**, обусловленная изменением температуры окружающего воздуха на каждые 10 °С, не более двух основных абсолютных погрешностей, нормируемых за 1 год.

4.8 Основные характеристики в режиме измерения напряжения переменного тока

4.8.1 Два режима измерения, особенности использования

4.8.1.1 Измерение действительных среднеквадратических значений напряжения переменного тока реализуется двумя режимами измерения, отличающимися схемой преобразователя переменного напряжения в постоянное:

- преобразователь средневыпрямленного значения (СВЗ- преобразователь), обеспечивающий измерение среднего значения выпрямленного тока, отградуированный в среднеквадратических значениях синусоидального сигнала;
- преобразователь среднеквадратического значения переменного напряжения (СКЗ- преобразователь).

4.8.1.2 Высокой разрешающей способностью и точностью отличается СВЗ- преобразователь, но все его лучшие качества проявляются при измерении синусоидальных напряжений с незначительным отклонением формы измеряемого сигнала от идеальной синусоиды. Количественной оценкой отклонения формы измеряемого сигнала от идеальной синусоиды является **коэффициент гармоник K_g** . Нормируемые значения погрешности (в соответствии с таблицами 4.11, 4.12) приведены для синусоидальных сигналов с $K_g \leq 1\%$. Для режима СВЗ-преобразования и сигналов с частотой 100 kHz и ниже – $K_g \leq 0,25\%$, что обеспечивает совместимость с подавляющим большинством выпускаемых калибраторов и генераторов синусоидального сигнала.

Приводимая в специальной литературе завышенная оценка влияния гармонических составляющих сигнала на точность СВЗ- преобразования, по всей вероятности, обусловлена работой с гармониками такого уровня, когда форма результирующего сигнала теряет статус синусоидальной. Другими словами, произошел переход количества в качество – сигнал произвольной формы вместо синусоиды, по которой осуществлялась исходная калибровка вольтметра с СВЗ-преобразователем. Для работы с сигналами произвольной формы в приборе Н4-12 предусмотрен режим вольтметра с СКЗ- преобразователем. Метрологические характеристики для этого режима, при измерении синусоидального сигнала с гармониками до 1 %, приведены в таблице 4.12, а теоретическая информация – в подразделе 8.10.

Что касается «непрофильных» измерений – сигналов произвольной формы, то здесь традиционной характеристикой измерителя СКЗ является его способность измерять сигналы с **большим коэффициентом амплитуды Ка**, который характеризуется отношением амплитуды измеряемого сигнала (U_m) к его среднеквадратическому значению ($U_{СКЗ}$) в соответствии с формулой (4.1):

$$K_a = \frac{U_m}{U_{СКЗ}} \quad (4.1)$$

Прибор в режиме СКЗ- преобразования обеспечивает работу с сигналами произвольной формы с коэффициентом амплитуды до 10, но при этом появляется значительная **дополнительная погрешность измерения**:

- до 0,1 % при $K_a = 3$;
- до 0,2 % при $K_a = 5$;
- до 0,5 % при $K_a = 8$.

Амплитудное значение U_m для периодических сигналов и сигналов произвольной формы – наибольшее мгновенное значение напряжения за время измерения (тактирования).

U_m не должно превышать $1,5U_p$ (полуторократного уровня предела измерения), но не более 1010 V для предела «1000 V».

4.8.2 Метрологические характеристики вольтметра переменного напряжения

4.8.2.1 Основные метрологические характеристики (погрешность, амплитудный и частотный диапазоны) в режиме измерения с использованием СВЗ- преобразователя приведены в таблице 4.11, а с использованием СКЗ- преобразователя – в таблице 4.12.

Таблица 4.11 – Предел допускаемой основной погрешности измерения напряжения переменного тока в режиме **СВЗ- преобразования**

(АС-вольтметр, «AVR»)

Предел, U_p (диапазон U)	Частота, kHz ¹⁾	Предел допускаемой основной погрешности, $\pm(\% \text{ от } U + \% \text{ от } U_p)$		
		относительной ²⁾	абсолютной ³⁾	
		1 год, $T_{cal} \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$	1 год, $T_{cal} \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$	2 года, $T_{cal} \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}^{4)}$
0,2 V (0,2 – 300 mV) ⁶⁾	0,02 – 0,2	0,006 + 0,002	0,006 + 0,002	0,01 + 0,002
	0,2 – 20	0,004 + 0,001	0,005 + 0,001	0,01 + 0,001
	20 – 50	0,008 + 0,002	0,015 + 0,002	0,02 + 0,002
	50 – 100	0,014 + 0,003	0,025 + 0,003	0,03 + 0,003
	100 – 300	0,04 + 0,01	0,085 + 0,01	0,1 + 0,01
	300 – 500	0,05 + 0,015	0,12 + 0,015	0,2 + 0,02
	500 – 1000	0,15 + 0,03	0,15 + 0,03	0,3 + 0,03

Продолжение таблицы 4.11

Предел, Uп (диапазон U)	Частота, kHz ¹⁾	Предел допускаемой основной погрешности, ±(% от U + % от Uп)		
		относительной ²⁾	абсолютной ³⁾	
			1 год, Tcal ±1 °C	1 год, Tcal ±1 °C
2 V (0,1 – 3 V)	0,02 – 0,2	0,005 + 0,0005	0,005 + 0,0005	0,007 + 0,0007
	0,2 – 20	0,0015 + 0,0005	0,0025 + 0,0005	0,006 + 0,0006
	20 – 50	0,0035 + 0,0005	0,0075 + 0,0005	0,015 + 0,001
	50 – 100	0,004 + 0,001	0,009 + 0,001	0,02 + 0,002
	100 – 300	0,015 + 0,0025	0,025 + 0,0025	0,05 + 0,005
	300 – 500	0,04 + 0,01	0,09 + 0,01	0,15 + 0,015
	500 – 1000	0,15 + 0,02	0,15 + 0,02	0,3 + 0,03
20 V (1 – 30 V)	0,02 – 0,2	0,005 + 0,0005	0,005 + 0,0005	0,007 + 0,0007
	0,2 – 20	0,0012 + 0,0003	0,0027 + 0,0003	0,006 + 0,0006
	20 – 50	0,0035 + 0,0005	0,0075 + 0,0005	0,015 + 0,001
	50 – 100	0,004 + 0,001	0,009 + 0,001	0,02 + 0,002
	100 – 300	0,015 + 0,0025	0,025 + 0,0025	0,05 + 0,005
	300 – 500	0,04 + 0,01	0,09 + 0,01	0,15 + 0,015
	500 – 1000	0,15 + 0,02	0,15 + 0,02	0,3 + 0,03
200 V (10 – 210 V)	0,02 – 0,2	0,005 + 0,001	0,005 + 0,001	0,01 + 0,001
	0,2 – 20	0,0025 + 0,0005	0,005 + 0,0005	0,01 + 0,001
	20 – 50	0,005 + 0,001	0,01 + 0,001	0,02 + 0,002
	50 – 100	0,015 + 0,0015	0,015 + 0,0015	0,035 + 0,0035
1000 V ⁵⁾ (100 – 1010 V)	0,02 – 0,2	0,005 + 0,001	0,005 + 0,001	0,015 + 0,001
	0,2 – 20	0,0025 + 0,0005	0,005 + 0,0005	0,015 + 0,001
	20 – 50	0,015 + 0,002	0,02 + 0,002	0,05 + 0,002
	50 – 100	0,05 + 0,005	0,05 + 0,005	0,1 + 0,005

Примечания

1 Погрешность нормируется для синусоидальных сигналов с содержанием гармоник (Kг) не более 1 %, а для сигналов в частотном диапазоне 100 kHz и ниже – не более 0,25 %.

2 При выпуске Tcal = (23 ±1) °C.

¹⁾ В частотном диапазоне от 20 до 40 Hz первая составляющая погрешности удваивается

²⁾ Погрешность относительно калибровочных эталонов

³⁾ Дополнительно включает погрешность калибровочных эталонов производителя (при эксплуатации – потребителя)

⁴⁾ При удовлетворительных результатах после первого года эксплуатации

⁵⁾ Отдельная клемма входа (автоматический выбор пределов измерения реализуется только по основному входу, т.е. для напряжений $U \leq 300$ V)

⁶⁾ Погрешность гарантируется для $U \leq 1,1Uп$. Нижняя граница диапазона «0,2 V» (0,2 mV) гарантируется в полосе частот до 100 kHz. В частотном диапазоне выше 100 kHz она линейно нарастает до значения 1 mV на частоте 1000 kHz

Таблица 4.12 – Предел допускаемой основной погрешности измерения напряжения переменного тока в режиме **СКЗ- преобразования**

(АС-вольтметр, «RMS»)

Предел, Uп (диапазон U)	Частота, kHz ¹⁾	Предел допускаемой основной погрешности, ±(% от U + % от Uп)	
		1 год, Tcal ±1 °C	2 года, Tcal ±5 °C ²⁾
0,2 V (0,3 – 300 mV) ³⁾	0,02 – 0,2	0,004 + 0,002	0,01 + 0,002
	0,2 – 20	0,006 + 0,003	0,01 + 0,005
	20 – 50	0,02 + 0,005	0,03 + 0,01
	50 – 100	0,05 + 0,01	0,07 + 0,02
	100 – 300	0,1 + 0,02	0,15 + 0,03
	300 – 1000	0,5 + 0,2	0,5 + 0,2
2 V (0,2 – 3 V) 20 V (2 – 30 V)	0,02 – 0,2	0,0025 + 0,0005	0,006 + 0,0006
	0,2 – 20	0,006 + 0,001	0,01 + 0,002
	20 – 50	0,02 + 0,002	0,03 + 0,003
	50 – 100	0,04 + 0,004	0,05 + 0,005
	100 – 300	0,1 + 0,01	0,15 + 0,015
	300 – 1000	0,4 + 0,1	0,5 + 0,1
200 V (20 – 210 V) 1000 V (100 – 1010 V)	0,02 – 0,2	0,003 + 0,0005	0,006 + 0,0006
	0,2 – 20	0,006 + 0,001	0,01 + 0,001
	20 – 50	0,03 + 0,003	0,04 + 0,01
	50 – 100	0,05 + 0,01	0,07 + 0,01

Примечания

1 Погрешность нормируется для сигналов синусоидальной формы с содержанием гармоник (Kг) не более 1 %.

2 При выпуске Tcal = (23 ±1) °C.

3 На пределах 2 и 20 V в частотном диапазоне 60 - 200 Hz для точек U=Uп погрешность относительно калибровочных эталонов вдвое ниже нормируемой

¹⁾ В частотном диапазоне от 20 до 40 Hz первая составляющая погрешности удваивается

²⁾ При удовлетворительных результатах после первого года эксплуатации

³⁾ Нижняя граница диапазона на пределе «0,2 V» (0,3 mV) гарантируется в полосе частот до 100 kHz. В частотном диапазоне выше 100 kHz она линейно нарастает до значения 1 mV на частоте 1000 kHz

4.8.3 Общие характеристики вольтметра переменного напряжения

4.8.3.1 **Входное сопротивление** (активная составляющая) на пределах:

- «0,2 V» и «2 V» не менее 50 MΩ;
- «20 V» составляет 0,05 MΩ;
- «200 V» составляет 0,3 MΩ;
- «1000 V» составляет 1,05 MΩ.

Входная емкость не более 75 pF.

4.8.3.2 **Время измерения** (с точностью ±0,001 %) не более 5 s.

При автоматическом выборе пределов измерения время измерения не более 8 s.

4.8.3.3 Подавление помехи общего вида с частотой питающей сети (при несимметрии входа 1 kΩ) не менее 80 dB.

4.8.3.4 **Дополнительная температурная погрешность**, обусловленная изменением температуры окружающего воздуха на каждые 10 °С, не более двукратной основной (абсолютной) погрешности, нормируемой за 1 год.

4.9 Основные характеристики в режиме воспроизведения силы постоянного тока

4.9.1 Особенности нормирования погрешности

4.9.1.1 Для калибратора силы постоянного тока предусмотрены 6- и 7-разрядные режимы работы. Они отличаются точностью и быстродействием (временем установления силы тока с заданной точностью), причем, точностью – незначительно, а скоростью – на два порядка (см. далее общие характеристики калибратора силы тока).

4.9.2 Метрологические характеристики

4.9.2.1 **Диапазон** воспроизводимой силы постоянного тока от 0,1 нА до 30 А. **Формат** – 6,5- и 7,5- разрядов.

4.9.2.2 Пределы, допускаемая основная погрешность и выходные характеристики приведены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Предел допускаемой основной погрешности и выходные параметры **калибратора силы постоянного тока**

Предел, Iп	Предел допускаемой основной погрешности, ±(% от I + % от Iп)			Напряжение на нагрузке	Выходное сопротивление, не менее	Шумы, пульсации в полосе частот 10 Hz – 10 kHz, не более
	1 год, Tcal ±1 °C		2 года, Tcal ±5 °C *			
	7 разрядов	6 разрядов	6 и 7 разрядов			
2 mA	0,0025+0,00025	0,003+0,0003	0,005+0,0005	до 4 V	500 MΩ	0,03 μA
20 mA	0,0025+0,00025	0,003+0,0003	0,005+0,0005	до 4 V	50 MΩ	0,3 μA
200 mA	0,0025+0,0005	0,0035+0,0005	0,006+0,0006	до 4 V	5 MΩ	3 μA
2000mA	0,005+0,0005	0,006+0,0006	0,01+0,001	до 4 V	0,5 MΩ	30 μA
20 A	0,025+0,0025	0,025+0,0025	0,05+0,005	до 1,5 V	3 kΩ	300 μA
20-30 A	0,05 %	0,05 %	0,1 %	до 1 V	3 kΩ	300 μA

Примечания

1 Предел «20 А» реализуются совместно с преобразователем напряжение-ток Я9-44.

2 При выпуске Tcal = (23 ±1) °C.

* При удовлетворительных результатах после первого года эксплуатации

4.9.2.3 **Перекрытие пределов** не менее 5 % (предел «20 А» – 50 %).

4.9.3 Общие характеристики калибратора силы постоянного тока

4.9.3.1 Время установления выходного тока:

- для 7-разрядной шкалы не более 2 s; изменение полярности или предела увеличивает это время на 1 s;

- для 6-разрядной шкалы не более 50 ms; увеличивается на 0,1 s при переключении предела.

4.9.3.2 **Дополнительная температурная погрешность**, обусловленная изменением температуры окружающего воздуха на каждые 10 °С, не более основной погрешности, нормируемой за 1 год.

4.10 Основные характеристики в режиме воспроизведения силы переменного тока

4.10.1 **Диапазон** воспроизводимой силы переменного тока:

- амплитудный от 1 μ А до 30 А;
- частотный от 0,1 Hz до 10 kHz.

Форма сигнала – синусоидальная, **формат** – 6,5- разрядов.

4.10.2 Пределы, допускаемая основная погрешность и выходные характеристики приведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Предел допускаемой основной погрешности и выходные параметры **калибратора силы переменного тока**

Предел, Iп (диапазон I)	Частотный диапазон	Предел допускаемой основной погрешности, \pm (% от I + % от Iп)		Выходное сопротивление, не менее	Коэффициент гармоник Кг, %, не более
		1 год, Tcal \pm 1 °С	2 года, Tcal \pm 5 °С *		
2 mA (1 μ A- 2,1 mA)	0,1 – 200 Hz	0,015 + 0,0015	0,025 + 0,0025	30 M Ω	0,015
	0,2 – 1 kHz	0,025 + 0,0025	0,035 + 0,0035	10 M Ω	0,015
	1 – 10 kHz	0,05 + 0,005	0,075 + 0,0075	10 M Ω /f**	0,015 · f
20 mA (10 μ A- 21 mA)	0,1 – 200 Hz	0,015 + 0,0015	0,025 + 0,0025	3 M Ω	0,015
	0,2 – 1 kHz	0,025 + 0,0025	0,035 + 0,0035	1 M Ω	0,015
	1 – 10 kHz	0,05 + 0,005	0,075 + 0,0075	1 M Ω /f	0,015 · f
200 mA (0,1 - 210 mA)	0,1 – 200 Hz	0,015 + 0,0015	0,025 + 0,0025	300 k Ω	0,015
	0,2 – 1 kHz	0,025 + 0,0025	0,035 + 0,0035	100 k Ω	0,015
	1 – 10 kHz	0,05 + 0,005	0,075 + 0,0075	100 k Ω /f	0,015 · f
2000 mA (1- 2100 mA)	0,1 – 200 Hz	0,02 + 0,002	0,03 + 0,003	30 k Ω	0,03
	0,2 – 1 kHz	0,03 + 0,003	0,05 + 0,005	10 k Ω	0,05
	1 – 10 kHz	0,1 + 0,01	0,15 + 0,015	10 k Ω /f	0,05 · f
20 A (1 – 20 A)	0,1 – 200 Hz	0,03 + 0,003	0,05 + 0,005	1 k Ω	0,05
	0,2 – 1 kHz	0,05 + 0,005	0,08 + 0,008	200 Ω	0,05
	1 – 10 kHz	(0,05+0,005) · f	(0,08+0,008) · f	100 Ω /f	0,05 · f
(20 – 30 A)	30 – 1000 Hz	0,1	0,15	200 Ω	0,05
	1 – 5 kHz	0,3	0,3	50 Ω /f	0,05 · f

Примечания
1 Предел «20 А» реализуются совместно с преобразователем напряжение-ток Я9-44.
2 При выпуске Tcal = (23 \pm 1) °С.

* При удовлетворительных результатах после первого года эксплуатации
** f – значение частоты в килогерцах

4.10.3 **Напряжение на нагрузке** до 3 V, а на пределе «20 А» до 1,2 V.

4.10.4 **Индуктивность нагрузки** смотри в 8.6.4.

4.10.5 **Дополнительная температурная погрешность**, обусловленная изменением температуры окружающего воздуха на каждые 10 °С, не более основной погрешности, нормируемой за 1 год.

4.11 Дополнительные виды измерений

4.11.1 Измерение силы постоянного и переменного тока

4.11.1.1 Наличие в комплекте поставки мер сопротивления Н4-12МС позволяет реализовать функцию измерения силы постоянного и переменного тока в диапазоне от единиц наноампер до 50 А, используя стандартную процедуру измерения: измеряемый ток пропускается через меру сопротивления (шунт), с потенциальных выводов которой напряжение (постоянное или переменное) измеряется вольтметром Н4-12. Высокие метрологические характеристики вольтметра и мер сопротивления (см. таблицу 9.3) позволяют реализовать высокую точность измерения. Метрологические характеристики мер сопротивления Н4-12МС приведены в паспорте на это изделие.

4.11.2 Низковольтный блок Н4-12БН в автономном режиме эксплуатации

4.11.2.1 Н4-12БН в совокупности с базовым блоком Н4-12 реализует пределы «20 mV» и «200 mV» измерения и воспроизведения напряжения постоянного тока (см. п.4.6.2).

В автономном режиме Н4-12БН может функционировать как:

- **нановольтметр** (с диапазоном измерения до 20 mV);
- **высокочувствительный усилитель** (с коэффициентом усиления 100);
- **низковольтный делитель** (100:1) с малым уровнем термо э.д.с..

При этом и усилитель, и делитель способны работать и с сигналами переменного напряжения до 2 кГц.

Идеальная «развязка» от промышленной сети вследствие использования батарейного питания делает прибор Н4-12БН незаменимым в качестве индикатора чувствительных мостовых схем.

4.11.2.2 **Нановольтметр. Основные технические характеристики** блока низковольтного Н4-12БН:

- диапазон от 5 nV до 20 mV с автоматическим выбором пределов измерения без изменения входного сопротивления в динамике (важный режим при сравнении напряжений нормальных элементов);
- основные метрологические характеристики приведены в таблице 4.15;
- входное сопротивление не менее 50 МΩ;
- входной ток не более 0,1 nA;
- время измерения по выбору оператора устанавливается равным 1; 2; 4 и 8 s;
- время непрерывной работы (без подзарядки аккумулятора) не менее 30 часов;
- передача данных измерения – через интерфейс RS-232C с оптической развязкой (>3kV);
- время прогрева не менее 30 минут.

Таблица 4.15 – Основные метрологические характеристики низковольтного блока Н4-12БН в режиме автономной работы

Пределы измерения, mV	Дискретность при скорости измерения ≤ 2 s	Предел допускаемой основной погрешности, $\pm(\% \text{ от } U + nV)$
		90 дней, Tcal ± 5 °C
2,500000	5 nV*	0,005 + 25
5,00000 (> 2,5 mV)	10 nV	
10,00000 (> 5 mV)	20 nV	
20,00000 (> 10 mV)	50 nV	
* При скорости измерения 4 s и 8 s дискретность составляет 1 nV		

4.11.2.3 Высокочувствительный усилитель. Справочные характеристики:

- коэффициент усиления: 100;
- нелинейность характеристики: $< 0,0005\%$ от $U + 20\text{ nV}$ ($T_{\text{cal}} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- входной ток / входное сопротивление: $\leq 100\text{ pA} / 50\text{ M}\Omega$;
- дрейф нуля: менее 50 nV (24 часа, $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) – типичное значение при короткозамкнутом входе штатной перемычкой.

Характеристики в режиме усиления напряжения переменного тока:

- частотный диапазон: до 2000 Hz ;
- максимальное амплитудное значение входного сигнала: 21 mV .

Характеристики выходного сигнала:

- напряжение: $2,1\text{ V peak}$;
- ток нагрузки до 1 mA .

4.11.2.4 Делитель с низким уровнем термо э.д.с.. Справочные характеристики:

- коэффициент деления: 100;
- входное / выходное сопротивление: $10\text{ k}\Omega / 100\ \Omega$;
- максимально допустимое входное напряжение: 22 V ;
- нестабильность K_d (1 год, $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$): $\pm 0,001\%$;
- температурный коэффициент: не более $\pm 0,0002\% / ^{\circ}\text{C}$;
- шумы в полосе частот до $0,1\text{ Hz}$: $\leq 15\text{ nV p-p}$;
- термо э.д.с. Увыхода (при скорости изменения окружающей температуры $\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{час}$): $\leq 15\text{ nV}$.

4.12 Общие технические характеристики изделия

4.12.1 ВНИМАНИЕ! Ниже приведены характеристики на изделия Н4-12, Н4-12БВ, Н4-12БН, Н4-12МН. Изделия **Н4-12МС, Н4-8, Я9-44 имеют самостоятельную эксплуатационную документацию**, в которой следует искать подробную (или недостающую) информацию по техническим характеристикам и применению.

4.12.2 Сетевые приборы комплекса гарантируют заявленные характеристики при питании от стандартной промышленной сети с напряжением $(230 \pm 23)\text{ V}$, частотой $47 - 63\text{ Hz}$.

4.12.3 Мощность, потребляемая приборами от сети питания при номинальном напряжении, не более:

- $100\text{ V}\cdot\text{A}$ для прибора Н4-12;
- $200\text{ V}\cdot\text{A}$ для прибора Н4-12БВ;
- $10\text{ V}\cdot\text{A}$ для прибора Н4-12МН.

4.12.4 Время прогрева (установления рабочего режима) не менее:

- 3 часов для базового прибора Н4-12 и меры напряжения Н4-12МН;
- 2 часов для блока Н4-12БВ;
- 0,5 часа для блока Н4-12БН.

4.12.5 Электрическая прочность изоляции между сетевыми цепями приборов и клеммой заземления (корпусом) испытывается напряжением $1,5\text{ kV}$ синусоидальной формы, частотой 50 Hz в нормальных условиях.

Электрическая прочность изоляции между входными- выходными клеммами прибора Н4-12БВ и корпусом испытывается напряжением $1,5\text{ kV}$ синусоидальной формы, частотой 50 Hz в нормальных условиях.

Электрическая прочность изоляции между клеммой заземления (корпусом) и входными- выходными клеммами приборов Н4-12 и Н4-12МН испытывается напряжением $1,5\text{ kV}$ постоянного тока в нормальных условиях.

4.12.6 Массогабаритные показатели:

- не более $9,9\text{ kg}$ для прибора Н4-12, $364 \times 95 \times 460\text{ mm}$ (ширина \times высота \times глубина);
- не более $10,8\text{ kg}$ для прибора Н4-12БВ, $364 \times 95 \times 460\text{ mm}$;
- не более $7,8\text{ kg}$ для прибора Я9-44, $364 \times 95 \times 460\text{ mm}$;
- не более $1,3\text{ kg}$ для прибора Н4-12МС, $290 \times 75 \times 260\text{ mm}$;

- не более 1,3 kg для прибора Н4-12БН, 160 х 62 х 200 mm;
- не более 1,3 kg для прибора Н4-12МН, 160 х 62 х 200 mm;
- не более 3 kg для прибора Н4-8, 160 х 62 х 200 mm.

Масса каждого из приборов Н4-12, Н4-12БВ и Я9-44 в укладочном и транспортном ящиках не более 20 kg, масса каждого из приборов Н4-12МС, Н4-8, Н4-12МН и Н4-12БН в укладочном и транспортном ящиках не более 10 kg.

4.12.7 Управление прибором Н4-12 (а через него и приборами комплекса) обеспечивает управляющая ПЭВМ с преобразователем GPIB-232CV-A (КОП).

4.12.8 Прибор Н4-12 должен обеспечивать:

а) работу с последовательным интерфейсом по ГОСТ 23675 (интерфейс СТЫК С2-ИС), RS-232C (EIA-232E, EIA-232D) при уровне сигналов не менее 5 V, передающих линиях при нагрузке 3 кΩ;

б) информационные параметры:

- 1) скорость - 9600 бод (бит/с),
- 2) данные - 8 бит,
- 3) бит «четность» - отсутствует,
- 4) сигнал «СТОП» - 1 бит,

5) принимаемые и передаваемые сигналы - цифры, большие и малые (только принимаемые) латинские буквы, знаки «+» и «-» управляющие символы (коды) «LF», «CR»;

в) работу с интерфейсом КОП через преобразователь GPIB-232CV-A в соответствии с ГОСТ 26.003 (IEEE 488, GPIB) и иметь следующее подмножество интерфейсных функций:

- 1) СИ1 - синхронизация источника;
- 2) СП1 - синхронизация приема;
- 3) И5 - источник;
- 4) ПЗ - приемник;
- 5) З1 - запрос на обслуживание;

г) прием управляющих данных в виде текстовых строк, содержащих цифровые значения уровня, полярности и размерности, частоты в соответствии с таблицей 4.16;

д) выдачу информации в формате, представленном в таблице 4.17.

Таблица 4.16 – Команды управления прибором Н4-12

Команда	Описание команды
MI 4Dh 49h 0Dh 0Ah	Включить режим калибратора напряжений
MV 4Dh 56h 0Dh 0Ah	Включить режим вольтметра
MA 4Dh 41h 0Dh 0Ah	Включить режим калибратора тока
C 43h 0Dh 0Ah	Сброс прибора
O0 48h 30h 0Dh 0Ah	Отключить выход
O1 48h 31h 0Dh 0Ah	Подключить выход

Продолжение таблицы 4.16

Команда	Описание команды
<p>RI# 52h 49h 3Xh 0Dh 0Ah, 3Xh – шестнадцатеричный код цифры от 0 до 5, т.е. от 30h до 35h. Пример: необходимо включить предел 20 V. Команда: RI3 52h 49h 33h 0Dh 0Ah</p>	<p>Включить калибратору напряжений предел #. Нумерация пределов: 0 – 20 mV 1 – 200 mV 2 – 2 V 3 – 20 V 4 – 200 V 5 – 1000 V</p>
<p>RV# 52h 56h 3Xh 0Dh 0Ah, 3Xh – шестнадцатеричный код цифры от 0 до 5, т.е. от 30h до 35h. Пример: необходимо включить предел 2 В. Команда: RV2 52h 56h 32h 0Dh 0Ah</p>	<p>Включить вольтметру предел #. Нумерация пределов: 0 – 20 mV 1 – 200 mV 2 – 2 V 3 – 20 V 4 – 200 V 5 – 1000 V</p>
<p>RA# 52h 41h 3Xh 0Dh 0Ah, 3Xh – шестнадцатеричный код цифры от 2 до 5, т.е. от 30h до 35h. Пример: необходимо включить предел 200 mA. Команда: RA4 52h 41h 34h 0Dh 0Ah</p>	<p>Включить калибратору тока предел #. Нумерация пределов: 2 – 2 mA 3 – 20 mA 4 – 200 mA 5 – 2000 mA</p>
<p>RVA 52h 56h 41h 0Dh 0Ah</p>	<p>Включить «Автоматический выбор предела» в режиме вольтметра</p>
<p>DI# 44h 49h 3Xh 0Dh 0Ah 3Xh – шестнадцатеричный код цифры от 6 до 7, т.е. от 36h до 37h. Пример: необходимо установить 6- разрядную шкалу. Команда: D6 52h 49h 36h 0Dh 0Ah</p>	<p>Установить число разрядов индикации калибратора напряжений #. # лежит в пределах от 6 до 7</p>
<p>DV# 44h 49h 3Xh 0Dh 0Ah 3Xh – шестнадцатеричный код цифры от 4 до 7, т.е. от 34h до 37h. Пример: необходимо установить 5- разрядную шкалу. Команда: D5 52h 56h 35h 0Dh 0Ah</p>	<p>Установить число разрядов индикации вольтметра #. # лежит в пределах от 4 до 7</p>
<p>DA# 44h 41h 3Xh 0Dh 0Ah 3Xh – шестнадцатеричный код цифры от 6 до 7, т.е. от 36h до 37h. Пример: необходимо установить 6- разрядную шкалу. Команда: D7 52h 41h 37h 0Dh 0Ah</p>	<p>Установить число разрядов индикации калибратора тока #. # лежит в пределах от 6 до 7</p>

Продолжение таблицы 4.16

Команда	Описание команды
S# 53h XXh ... XXh 0Dh 0Ah Пример: установить на выходе калибратора напряжение –12.34567 V. Команда: S-12.34567 53h 2Dh 31h 32h 2Eh 33h 34h 35h 36h 37h 0Dh 0Ah	Установить напряжение # на выходе калибратора напряжения (размерность – V), либо величину силы тока на выходе калибратора тока (размерность – mA), в зависимости от того, какой режим включен
FH# 46h 48h XXh ... XXh 0Dh 0Ah Пример: установить частоту 10.5 Hz Команда: FH10.5 46h 48h 31h 30h 2Eh 35h 0Dh 0Ah	Включить калибратору режим переменного тока, установить частоту # Hz
FK# 46h 4Bh XXh ... XXh 0Dh 0Ah Пример: установить частоту 10.5 kHz Команда: FK10.5 46h 4Bh 31h 30h 2Eh 35h 0Dh 0Ah	Включить калибратору режим переменного тока, установить частоту # kHz
F0 46h 30h 0Dh 0Ah	Включить калибратору режим постоянного тока
F 46h 0Dh 0Ah	Выдать в интерфейс значение частоты, установленной для калибратора
K# 4Bh 3Xh 3Xh 0Dh 0Ah	Имитировать нажатие клавиши с кодом #, коды клавиш приведены в таблице 4.18
V 56h 0Dh 0Ah	Выдать в интерфейс значение измеренного вольтметром напряжения
FV 46h 49h 0Dh 0Ah	Выдать в интерфейс значение частоты, измеренное вольтметром
I 49h 0Dh 0Ah	Выдать в интерфейс значение напряжения, установленного на выходе калибратора
A 41h 0Dh 0Ah	Выдать в интерфейс значение силы тока, установленной на выходе калибратора тока
T1 54h 31h 0Dh 0Ah	Разрешить вольтметру автоматическую выдачу результатов измерения
T0 54h 30h 0Dh 0Ah	Запретить вольтметру автоматическую выдачу результатов измерения

Таблица 4.17 – Формат выдаваемых в интерфейс команд

Команда	Описание команды
V# Пример: напряжение –10.009 V 56h 2Dh 31h 30h 2Eh 30h 30h 39h 0Dh 0Ah	Значение напряжения, размерность – V
M# Пример: напряжение 100.00003 mV 4Dh 30h 31h 30h 30h 2Eh 30h 30h 30h 30h 33h 0Dh 0Ah	Значение напряжения, размерность – mV
A# Пример: сила тока 2.000000 mA 41h 30h 32h 2Eh 30h 30h 30h 30h 30h 30h 0Dh 0Ah	Значение силы тока, размерность – mA

Продолжение таблицы 4.17

Команда	Описание команды
Н# Пример – частота 20 Hz Команда: H020.0 48h 30h 32h 30h 2Eh 30h 0Dh 0Ah	Значение частоты в герцах. Ответ калибратора на запрос установленной частоты
К# Пример – частота 20 kHz Команда: K020.0 4Bh 30h 32h 30h 2Eh 30h 0Dh 0Ah	Значение частоты в килогерцах. Ответ калибратора на запрос установленной частоты
F# Пример – частота 20 kHz Команда: K020.0 46h 30h 32h 30h 2Eh 30h 0Dh 0Ah	Значение частоты в килогерцах. Ответ вольтметра на запрос измеренной частоты

Таблица 4.18 – Коды клавиш прибора Н4-12

Наименование клавиши	Код клавиши	Наименование клавиши	Код клавиши
Цифровая клавиша "0"	0	+/-	22
Цифровая клавиша "1"	1	V	23
Цифровая клавиша "2"	2	I	24
Цифровая клавиша "3"	3	Hz	25
Цифровая клавиша "4"	4	kHz	26
Цифровая клавиша "5"	5	«х·с» калибратора	27
Цифровая клавиша "6"	6	«Δ» калибратора	28
Цифровая клавиша "7"	7	«%» калибратора	29
Цифровая клавиша "8"	8	LIMIT	30
Цифровая клавиша "9"	9	ENTER	31
DC	10	OFF	32
FILTR/FREQ	11	"←" Предел вольтметра ("·")	33
AC RMS	12	"→" Предел вольтметра	0
AC AVR	13	АВП вольтметра	1
«Δ» вольтметра	14	"←" Предел калибратора	2
«%» вольтметра	15	"→" Предел калибратора	3
«х-d» вольтметра	16	SRV	4
«х·с» вольтметра	17	Vx	5
#	18	▼	6
max	19	TIME	7
mean (t,n)	20	Разр. калибратора	8
min	21	Разр. вольтметра	9

4.12.9 Средняя наработка на отказ каждого из приборов изделия не менее 15000 часов.

4.12.10 Средний ресурс каждого из приборов должен быть не менее 15000 часов.

4.12.11 Средний срок службы каждого из приборов не менее 10 лет.

4.12.12 Среднее время восстановления работоспособного состояния каждого из приборов не более 120 минут.

5 УСТРОЙСТВО И РАБОТА ИЗДЕЛИЯ

5.1 Общие принципы конструктивного исполнения

5.1.1 В основу построения базового прибора Н4-12 положен принцип функционального и конструктивного разделения прибора на функциональную (исполнительную) и управляющую секции (ИСП и УСП соответственно). Конструктивное разделение обусловлено необходимостью реализации «плавающих» (изолированных от корпуса) входных и выходных клемм прибора, что обеспечивает его работу с приборами и устройствами, один из входов (выходов) которых, независимо от полярности, гальванически связан с корпусом изделия. Функциональное разделение носит подчиненную роль и имеет целью сохранение степени конструктивной развязки между ИСП и УСП, т.к. последняя управляется (через интерфейс) от устройств с заземленными сигналами, не нарушая изолированности входных-выходных клемм ИСП.

5.1.2 В состав УСП базового прибора Н4-12 входит индикаторно-коммутационный блок, который кроме элементов индикации включает в свой состав центральный микропроцессор, управляющий ИСП и интерфейсом. Все остальные устройства (о них – ниже) включены в состав ИСП.

5.1.3 Высоковольтный и низковольтный блоки (Н4-12БВ и Н4-12БН) являются как бы продолжением ИСП базового прибора. В этих блоках отсутствует управляющая секция, и управление ими осуществляется через УСП прибора Н4-12.

5.2 Общие принципы реализации режима калибратора

5.2.1 Калибратор представляет собой многозначную меру напряжения (или тока), которые формируются из напряжения однозначной меры – источника опорного напряжения (ИОН).

Напряжение ИОН, в соответствии с рисунком 5.1, преобразуется в многозарядную сетку напряжений при помощи усилителя с регулируемым коэффициентом передачи. На практике формирование многозарядной сетки напряжения реализуется путем цифро-аналогового преобразования напряжения опорного источника.

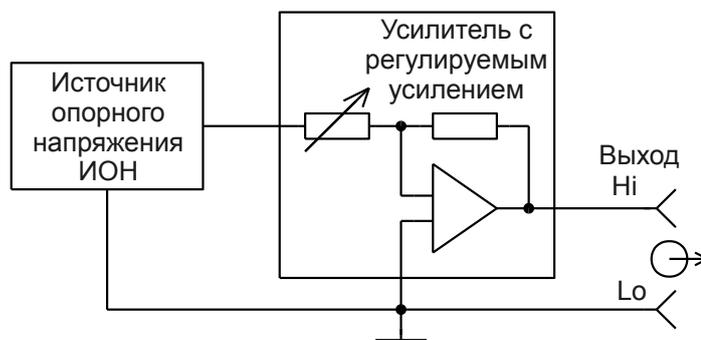


Рисунок 5.1 – Формирование многозарядной сетки напряжения калибратора

На рисунке 5.2 показаны три основных функциональных узла калибратора: источник опорного напряжения, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и выходной усилитель (буфер), который обеспечивает требуемые нагрузочные характеристики калибратора.

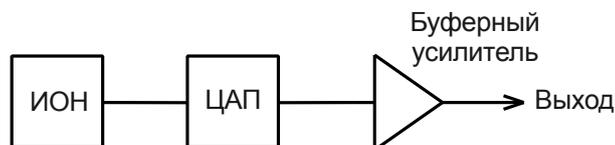


Рисунок 5.2 – Три основных узла калибратора

5.2.2 Основной предел «20 V» калибратора Н4-12 формируется двумя самостоятельными каналами (см. рисунок 5.2) со своими ИОН, ЦАП и выходными усилителями, различающимися точностью и быстродействием. Более точный и менее быстродействующий усилитель реализует 7-разрядную шкалу **постоянного** напряжения, а менее точный и скоростной – 6-разрядную шкалу калибратора **переменного** напряжения (с полосой частот до 1 МГц). Последний, в силу специфики схемы, может работать и на постоянном токе, реализуя режим быстродействующего 6-разрядного калибратора постоянного напряжения. В последующем, в качестве идентифицирующего признака, для каждого из указанных каналов приняты обозначения «бр» (6-разрядный) и «7р» (7-разрядный). Функциональное различие в работе этих каналов заключено в способе цифро-аналогового преобразования: в 6-разрядном используется резистивный ЦАП, в 7-разрядном – ЦАП с широтно-импульсной модуляцией опорного напряжения. В последующем приняты обозначения «R-ЦАП» и «ШИМ-ЦАП» соответственно.

5.2.3 В самом общем виде R-ЦАП может быть представлен в виде резистивного делителя опорного напряжения (U_{ref}), на выходе которого (в соответствии с рисунком 5.3) напряжение определяется по формуле (5.1):

$$U_{BblX} = \frac{R1}{R1 + R2} \cdot U_{ref} \quad (5.1)$$

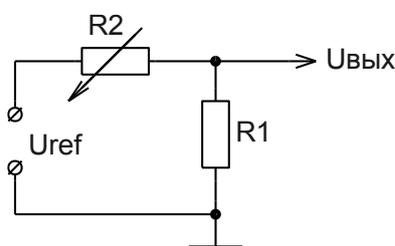


Рисунок 5.3 – Упрощенная модель R-ЦАП

ШИМ-ЦАП в своем традиционном варианте представлен на рисунке 5.4. В этой схеме полупроводниковым ключом К к усредняющему устройству (RC-фильтру) периодически (с периодом T) подключается опорное напряжение U_{ref} на время t_1 , а в течение времени t_2 вход фильтра подключается к общей шине, реализуя (в течение времени t_2) нулевой выход. Таким образом, если брать крайние состояния ШИМ-ЦАП, когда $t_1 = T$ ($t_2 = 0$) или $t_2 = T$ ($t_1 = 0$), то на выходе будет или напряжение, равное U_{ref} , или напряжение, равное нулю. Все другие, промежуточные, состояния ключа дают на выходе напряжение, определяемое по формуле (5.2):

$$U_{BblX} = \frac{t1}{t1 + t2} \cdot U_{ref} \quad (5.2)$$

Полученное выражение идентично ранее определенному (5.1), где сопротивления резисторов заменились интервалам времени. Известно, что отношение интервалов времени, формируемых таймерами, имеет на несколько порядков более высокую точность и стабильность, чем отношение сопротивлений резисторов (из-за естественных ограничений, обусловленных физической природой сопротивления).

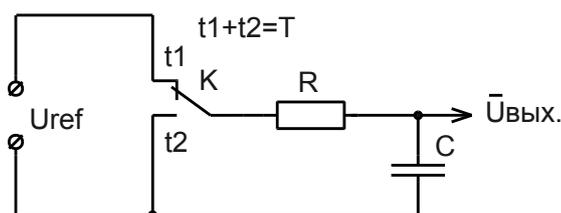
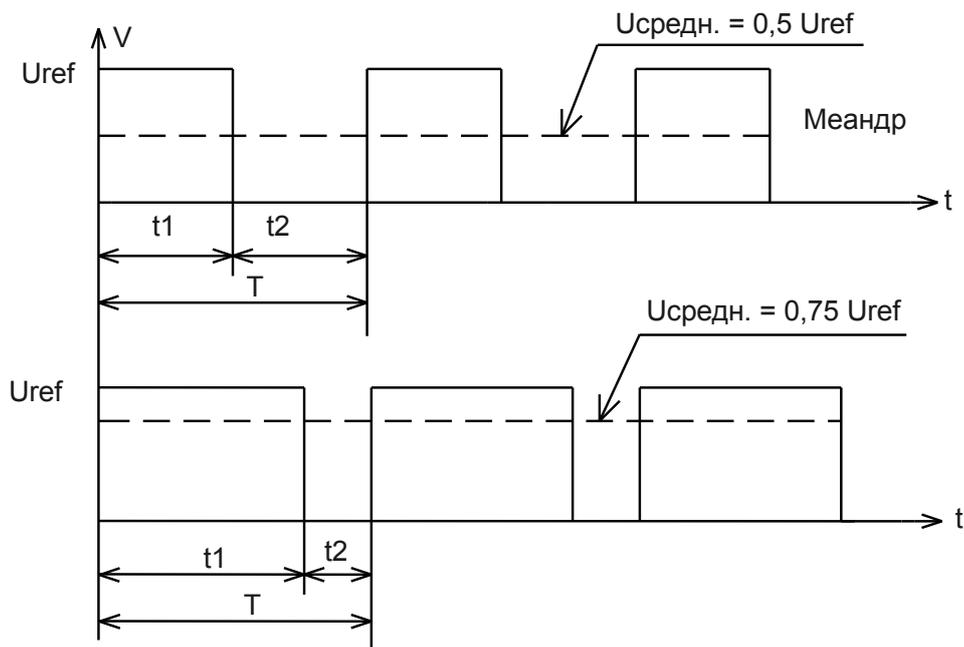


Рисунок 5.4 – Упрощенная модель ШИМ-ЦАП

На рисунке 5.5 приведены эюры напряжения ШИМ-ЦАП для состояний, соответствующих половине U_{ref} ($t_1 = t_2$) и $0,75 \cdot U_{ref}$ ($t_1 = 0,75 \cdot T$), которыми наглядно иллюстрируется принцип работы ШИМ-ЦАП.



Сплошной линией показаны напряжения до фильтра, пунктирной – после фильтра (среднее напряжение $U_{ср.дн.}$).

Рисунок 5.5 – Эюры напряжения ШИМ-ЦАП для случаев $0,5 \cdot U_{ref}$ и $0,75 \cdot U_{ref}$

5.2.4 Следует отметить, что в приборе используется более сложная версия ШИМ-ЦАП, так называемая многофазная, когда работает 16 ключей ШИМ-ЦАП, сдвинутых по фазе на $1/16 T$.

5.2.5 Подводя промежуточный итог, можно отметить, что очевидное достоинство ШИМ-ЦАП – высокая точность – востребована в калибраторах постоянного напряжения, где цифро-аналоговому преобразованию подвергается опорное напряжение постоянного тока, и потому нет принципиальной необходимости в высокой скорости преобразования, а высокой скорости из-за наличия RC-фильтра с достаточно большой постоянной времени достигнуть невозможно.

При цифро-аналоговом преобразовании переменного напряжения с полосой частот до 1 МГц скоростные параметры ЦАП предельно актуальны. По этой причине резистивному ЦАП нет альтернативы.

5.3 Упрощенная схема калибратора прибора Н4-12

5.3.1 Материал подраздела 5.2 рассматривался на самых общих моделях известных устройств и носил разъяснительный характер. Это позволило, не раскрывая реальной структуры прибора, определиться с базовыми понятиями, которые дадут возможность в последующем изложении ограничиться описательным характером реальной структуры калибратора, показанной на рисунке 5.6.

5.3.2 Канал 7-разрядного калибратора постоянного напряжения (см. рисунок 5.6) организован на базе ШИМ-ЦАП с активным фильтром низкой частоты. Им осуществляется цифро-аналоговое преобразование опорного напряжения (22 V), формируемого устройством ИОН ШИМ-ЦАП и выполненного на базе схемы из шести интегральных опорных источников, выходное напряжение которых, после усреднения, формирует уровень 22 V. Схема ШИМ-ЦАП – униполярная, и по этой причине имеется ключ «Полярность», которым осуществляется замыкание одного из полюсов ИОН к общему выводу схемы калибратора, чем и обеспечивается его

биполярный режим работы. Указанную коммутацию можно реализовать при условии, что ИОН ШИМ-ЦАП изолирован от общей шины калибратора.

5.3.3 В силу известных причин (которые не комментируются) все 7 разрядов калибратора перекрыть одним ШИМ-ЦАП нет технической возможности, и потому им перекрываются только четыре старших разряда, а четыре младших разряда реализуются стандартным интегральным ЦАП. Напряжение с выхода этого ЦАП суммируется в буферном усилителе «20 V» с коэффициентом передачи 1:1000 ($1 \text{ M}\Omega/1 \text{ k}\Omega$) с напряжением ШИМ-ЦАП, реализуя в совокупности 8-разрядную шкалу (индицируется 7 разрядов) калибратора постоянного напряжения.

5.3.4 Канал 6-разрядного калибратора формируется резистивным цифро-аналоговым преобразованием опорного напряжения постоянного и переменного тока (ИОН R-ЦАП). Уровень опорного напряжения составляет 6,4 V. На постоянном напряжении уровень 6,4 V формируется делением напряжения 10 V интегрального ИОН.

Основу источников переменного напряжения составляют генераторы высокостабильного синусоидального напряжения инфранизкой частоты (0,1 - 200 Hz) и высокой частоты (0,2 - 1000 kHz). Каждый из названных источников через контакт переключателя может подаваться на вход резистивного ЦАП (R-ЦАП), которым формируется 6,5-декадная сетка напряжений от $1 \text{ }\mu\text{V}$ до 6,4 V. Это напряжение подается на вход широкополосного усилителя «20 V» (6-разрядного канала), которым усиливается в три раза ($20 \text{ k}\Omega/6,6 \text{ k}\Omega$) в диапазоне частот от 0 до 1 MHz. Таким образом основной предел «20 V» прибора Н4-12 представлен в 7- и 6-декадном формате. Постоянное напряжение присутствует и в том, и в другом канале, а переменное только в 6-декадном канале.

5.3.5 Формирование остальных пределов («0,2 V», «2 V» и «200 V») осуществляется масштабным преобразованием напряжения одного из каналов («6 разрядов - 7 разрядов») основного предела. Усилитель предела «2 V» отличается метрологическими характеристиками, достаточными для реализации параметров 6- и 7-разрядной шкалы, чем исключается необходимость в двухканальной структуре формирования этого предела. Предел «2 V» калибратора формируется пассивным делителем 1:10 ($2 \text{ k}\Omega/(18 \text{ k}\Omega+2 \text{ k}\Omega)$) и ($1 \text{ k}\Omega/(9 \text{ k}\Omega+1 \text{ k}\Omega)$) для 7- и 6-разрядного режимов соответственно. Коммутация каналов (6 или 7 разрядов) обеспечивается контактами реле К3, после которого сигнал поступает на буферный усилитель предела «2 V».

Выход усилителя «2 V» нагружен на делитель 1:10 ($200 \text{ }\Omega/20 \text{ }\Omega$), обеспечивающий формирование предела «0,2 V» для 6-разрядного калибратора.

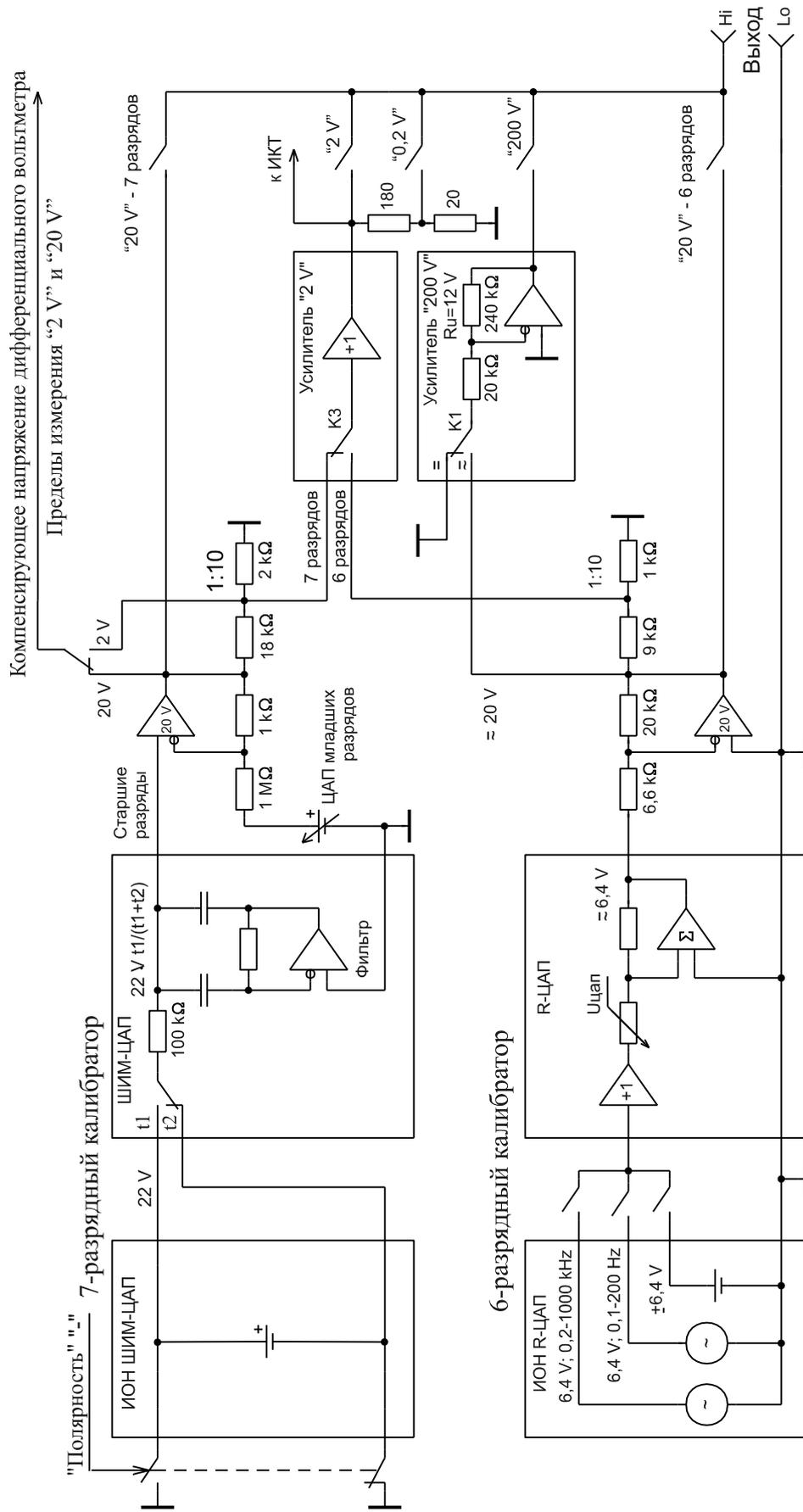
Формирование предела «200 V» обеспечивается инвертирующим усилителем «200 V», на вход которого подается напряжение (постоянного и переменного тока) с выхода 6-разрядного усилителя предела «20 V».

Чтобы реализовать точность калибратора постоянного напряжения с 7-разрядной шкалой, используется специальное схемотехническое решение, при котором выход усилителя контролируется 7-разрядным вольтметром, обеспечивая регулирование выходного напряжения усилителя «200 V» с необходимой точностью (подробнее см. п.5.9).

Нетрадиционный коэффициент передачи усилителя «200 V» 12:1 ($240 \text{ k}\Omega/20 \text{ k}\Omega$), обусловлен необходимостью согласования масштабов предела «200 V» вольтметра (см. п.5.4.5) и калибратора.

Коммутацию пределов иллюстрирует схема в соответствии с рисунком 5.6. Заметим, что сигнал 7-разрядного калибратора с выхода усилителя «20 V» подается на вход дифференциального вольтметра в качестве компенсирующего напряжения на пределах измерения «20 V» и «2 V». Наконец, выходное напряжение усилителя предела «2 V» подается на вход источника калиброванных токов (ИКТ), обеспечивающего преобразование этого напряжения в силу тока.

Примечание – Пределы «20 mV» и «200 mV» 7-разрядного калибратора постоянного напряжения формируются низковольтным блоком Н4-12БН путем деления напряжений пределов «20 V» и «2 V» базового прибора с применением специальных мер по снижению уровня термо-э.д.с.



Сокращения: ИОН - источник опорного напряжения;

R-ЦАП - резистивный цифро-аналоговый преобразователь;

ШИМ-ЦАП - ЦАП с широтно-импульсной модуляцией;

ИКТ - источник калиброванных токов;

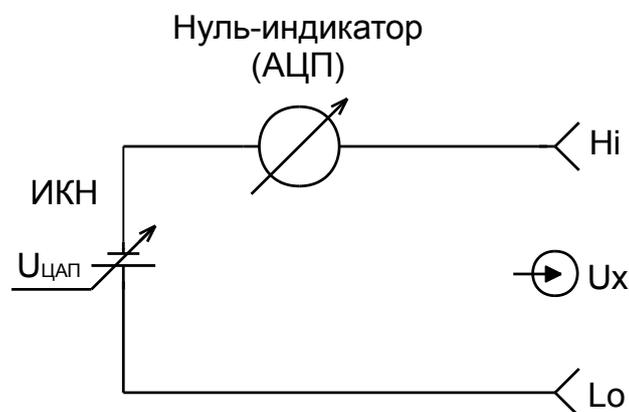
ст. разр. - старшие разряды;

мл. разр. - младшие разряды.

Рисунок 5.6 – Упрощенная схема прибора Н4-12 в режиме калибратора

5.4 Общие принципы реализации режима измерения напряжения постоянного тока

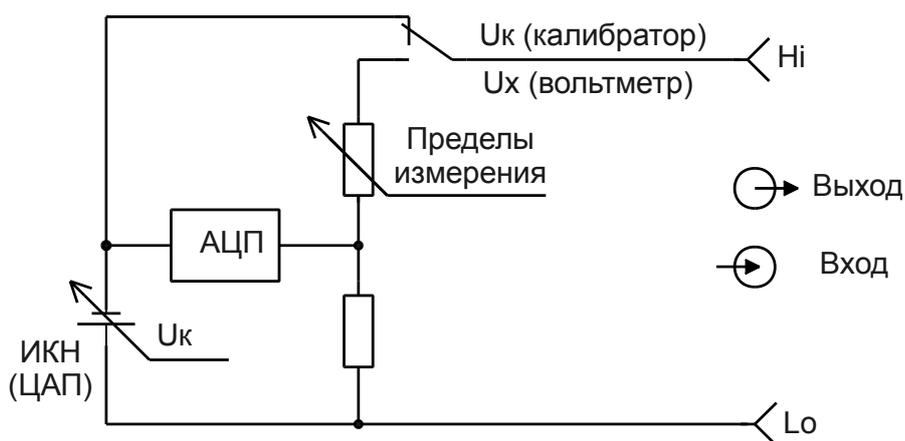
5.4.1 Для измерения постоянного напряжения в приборе Н4-12 (также как в блоке Н4-12БН) используется компенсационный метод, основанный на уравнивании (компенсации) измеряемого напряжения U_x напряжением компенсирующего источника $U_{цап}$ в соответствии с рисунком 5.7. Отсчет измеряемого напряжения осуществляется по известному значению напряжения компенсирующего источника в момент уравнивания, который фиксируется по нулевому показанию нуль-индикатора.



U_x – входное (измеряемое) напряжение

Рисунок 5.7 – Упрощенная схема однопредельного дифференциального вольтметра

5.4.2 Схемотехническим усовершенствованием описанной схемы явилось использование в качестве нуль-индикатора высокочувствительного АЦП. Это усовершенствование допускает неполную компенсацию (в пределах шкалы АЦП) входного напряжения U_x . Разрядность источника компенсирующего напряжения в этом случае может быть уменьшена на число индицируемых разрядов АЦП. Описанный метод измерения (с неполной компенсацией) носит название дифференциального, а устройство, реализующее этот метод измерения (в соответствии с рисунком 5.8), называется дифференциальным вольтметром. Величина напряжения U_x , измеряемая дифференциальным вольтметром, определяется как алгебраическая сумма напряжения U_k и показания АЦП. Входной делитель расширяет диапазон измеряемых напряжений.



ИКН – источник калиброванных напряжений (в режиме калибратора); в режиме измерений – источник компенсирующих напряжений, функцию которого выполняет ЦАП

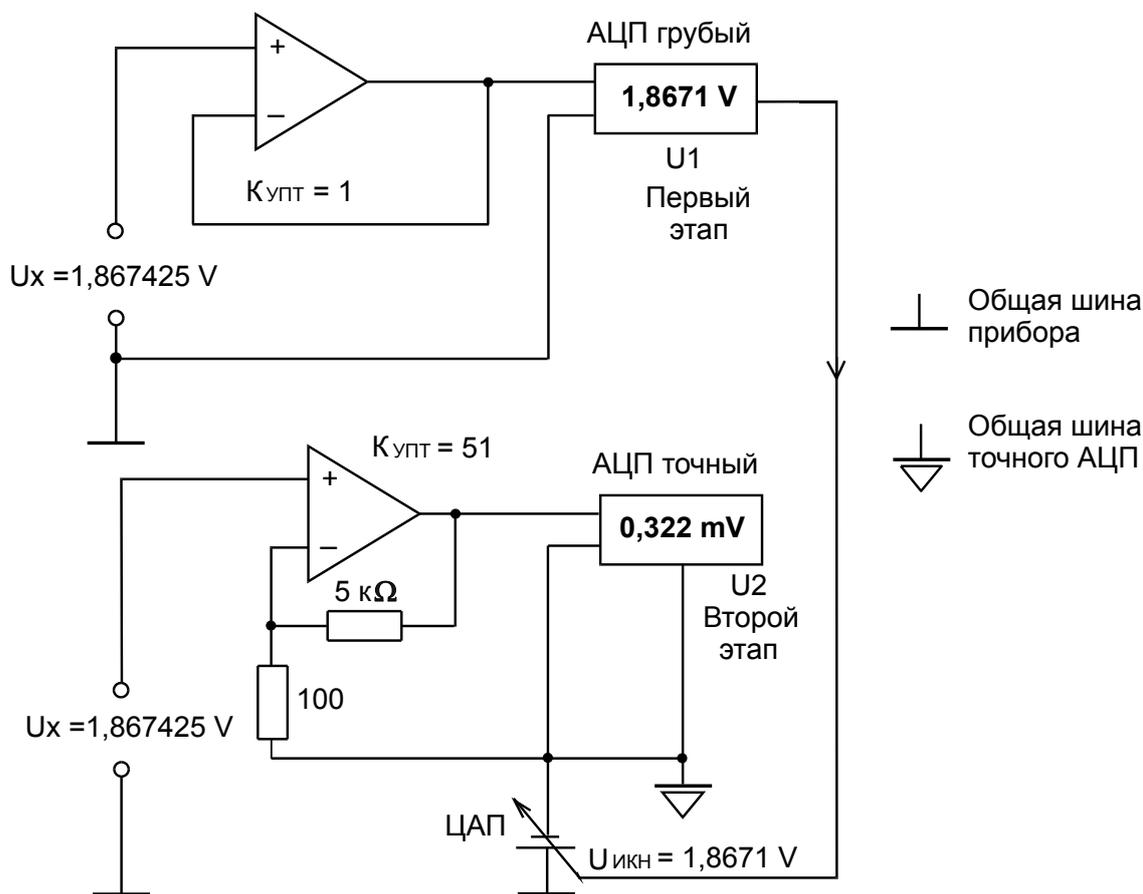
Рисунок 5.8 – Упрощенная схема многопредельного вольтметра-калибратора

5.4.3 Дальнейшим усовершенствованием дифференциального метода измерения стал итерационно-компенсационный метод, включающий итеративную (регулярную) последова-

тельность одноступенчатых преобразований, соответствующих определенным этапам (циклам) работы. На первом этапе, при минимальной чувствительности усилительного тракта ($K_{упт} = 1$), производится измерение входного напряжения схемой стандартного вольтметра (грубый АЦП, с ошибкой измерения минус 3 единицы младшего разряда, в соответствии с рисунком 5.9). Полученный в АЦП код заносится в четыре старших разряда ЦАП, которым создается компенсирующее напряжение $U_{икн}$.

На втором этапе осуществляется измерение полученной на входе УПТ разницы ($U_x - U_{икн}$) с целью определения последующих разрядов численного выражения входного сигнала U_x . При этом коэффициент передачи тракта усиления реализует максимальную чувствительность. В установившемся режиме точный АЦП регистрирует текущее значение напряжения, которое суммируется в цифровом виде с напряжением $U_{икн}$ и в едином отсчете индицируется на цифровом табло прибора. Устройство, реализующее описанный метод измерения, называется цифровым дифференциальным вольтметром.

5.4.4 В соответствии с принципом действия прибора основную метрологическую нагрузку несет ИКН, т.к. АЦП в процессе измерения регистрирует только «остатки» входного сигнала в виде его некомпенсированной части ($U_x - U_{икн}$). Высокие метрологические характеристики ИКН обеспечиваются специальными конструктивными и схемотехническими решениями, положенными в основу построения его основных компонентов: источника опорного напряжения, усилителя постоянного тока и цифро-аналогового преобразователя.



Показание индикатора по результатам двух итераций:

$$U = U_1 + U_2 = 1,8671 \text{ V} + 0,322 \text{ mV} = 1,867422 \text{ V}$$

АЦП, имеющий погрешность минус 3 единицы младшего разряда, добавил погрешность 3 μV .

Рисунок 5.9 – Цифровой дифференциальный вольтметр

5.4.5 Кратко остановимся на формировании высоковольтных пределов «200 V» и «1000 V» вольтметра постоянного напряжения. Эти поддиапазоны формируются входным де-

лителем (в соответствии с рисунком 5.10), нижнее плечо которого равно $0,1 \text{ М}\Omega$, а верхнее структурируется последовательным или параллельным соединением резисторов с номинальным сопротивлением $3,3 \text{ М}\Omega$.

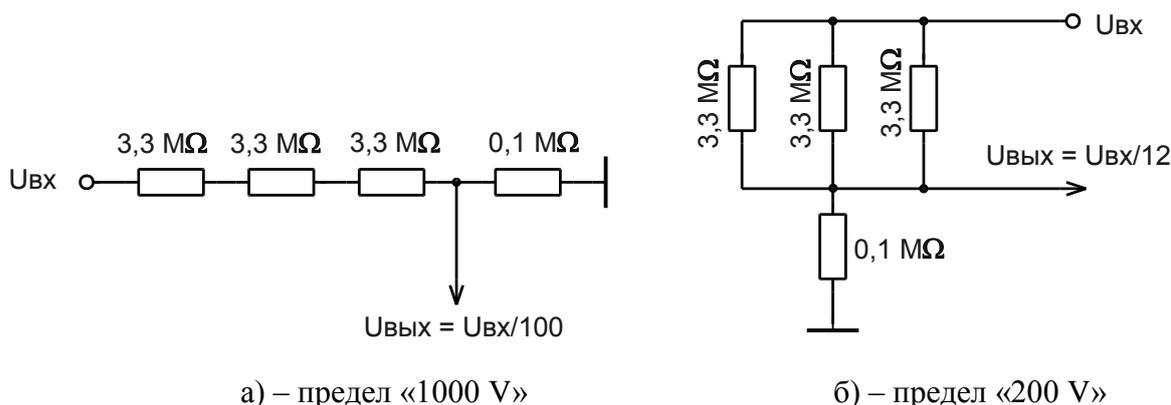


Рисунок 5.10 – Входной делитель вольтметра постоянного напряжения на пределах «200 V» и «1000 V»

Входное сопротивление дифференциального вольтметра (7-разрядная шкала) составляет $10 \text{ М}\Omega$ на пределе «1000 V» и $1,2 \text{ М}\Omega$ – на пределе «200 V». Рассмотренные особенности построения входного делителя вольтметра обусловлены реализацией процедур автокалибровки прибора. При измерениях в 4-, 5-разрядном формате (работа с грубым АЦП) входное сопротивление на пределах «200 V» и «1000 V» составляет $10 \text{ М}\Omega$.

5.5 Упрощенная схема вольтметра прибора Н4-12

5.5.1 Упрощенная схема вольтметра представлена на рисунке 5.11. В ее составе – входные устройства постоянного (U_{DC}) и переменного (U_{\sim}) напряжения, аналого-цифровые преобразователи для грубых и точных измерений, преобразователи переменного напряжения в постоянное, осуществляющие преобразование средневыпрямленных (СВЗ) и среднеквадратических (СКЗ) значений синусоидального напряжения.

5.5.2 Входное устройство U_{DC} вольтметра постоянного напряжения содержит входной делитель, описанный выше (п.5.4.5). Реле К3, при замыкании контактов, реализует параллельное соединение резисторов с номинальными сопротивлениями $3,3 \text{ М}\Omega$, чем обеспечивается измерение напряжений предела «200 V». В обесточенном состоянии с помощью реле К3 реализуются измерения на пределе «1000 V».

Измеряемое напряжение с входного зажима через контакты реле К2 (при его включении, когда реализуется режим измерения постоянного напряжения «DC») подается на вход буферного усилителя с коэффициентом передачи $K=1$ непосредственно или через входной делитель (при замыкании нормально разомкнутых контактов реле К1).

Буферный усилитель отличается высокими техническими характеристиками: чувствительность до $1 \text{ }\mu\text{V}$, динамический диапазон входного напряжения от 0 до $\pm 22 \text{ V}$. Его выход подключен к входам грубого и точного АЦП.

5.5.3 На входе 6,5-разрядного грубого АЦП имеется буферный усилитель с единичным усилением, на вход которого сигнал поступает непосредственно через делитель 1:10, чем обеспечивается формирование пределов измерения «2,2 V» и «22 V».

5.5.4 На входе 6-разрядного точного АЦП имеется усилитель с коэффициентом усиления 51 ($1 + 5 \text{ к}\Omega/100 \text{ }\Omega$), что позволяет реализовать предел «50 mV» и чувствительность $0,1 \text{ }\mu\text{V}$. Активный фильтр второго порядка на входе точного АЦП обеспечивает необходимую помехозащищенность схемы.

Точный АЦП изолирован от общей шины прибора и питается от изолированного однопольного источника с напряжением $+5 \text{ V}$. В таких случаях для реализации двухполярного режи-

ма работы требуется смещение входа АЦП источником 2,5 V. На этот смещенный вход подается компенсирующее напряжение $U_{\text{комп}}$ от платы калибратора.

5.5.5 Входным устройством U_{\sim} вольтметра переменного напряжения обеспечивается формирование пределов «0,2 V», «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V». Задача формирования – приведение входного сигнала к уровню, допустимому для нормальной работы последующей схемы. Последующая схема – это СВЗ и СКЗ преобразователи, которые имеют номинальный предел 5 V (максимальный входной сигнал составляет 7,5 V). Этот сигнал должен быть измерен АЦП со шкалой 2,5 V. Следовательно, сигнал СВЗ и СКЗ преобразователей необходимо снизить в три раза. Указанную задачу выполняет усилитель с коэффициентом передачи 1 : 3 (6,6 к Ω /20 к Ω)

5.5.6 Возвращаясь к проблемам формирования пределов измерения напряжения переменного тока (входное устройство U_{\sim}) можно определить требуемый коэффициент передачи для каждого формирователя:

- для формирователя предела «0,2 V» – $5 \text{ V}/0,2 \text{ V} = 25$;
- для формирователя предела «2 V» – $5 \text{ V}/2 \text{ V} = 2,5$;
- для формирователя предела «20 V» – $5 \text{ V}/20 \text{ V} = 0,25$ (1/4);
- для формирователя предела «200 V» – $5 \text{ V}/200 \text{ V} = 0,025$ (1/40);
- для формирователя предела «1000 V» – $5 \text{ V}/1000 \text{ V} = 0,005$ (1/200).

Из приведенных расчетов определялись соотношения между резисторами в делителях инвертирующих усилителей пределов «20 V», «200 V» и «1000 V».

5.5.7 Для реализации высокого входного сопротивления на пределе измерения «2 V» формирователь этого предела выполнены на основе неинвертирующего усилителя D2 с коэффициентом передачи 2,5 (1 + 1,5 к Ω /1 к Ω). Сигнал с выхода этого усилителя поступает на дополнительный усилитель с коэффициентом передачи 10 (20 к Ω /2 к Ω), чем обеспечивается требуемое усиление 25 для предела измерения «0,2 V».

5.5.8 Общеизвестным недостатком преобразователей переменного напряжения является их узкий динамический диапазон (10 dB), где сохраняется высокая линейность преобразования. Для такого прецизионного прибора, как Н4-12, это существенный недостаток, который минимизируется введением формирователя вспомогательных пределов измерения переменного напряжения с коэффициентами передачи 1; 2; 4. Дополнительное усиление позволяет максимально использовать оптимальный сектор рабочего диапазона преобразователей. Если напряжение на входе снизилось вдвое (например, на пределе «2 V» стало равным 1 V), включается (замыканием контактов реле К14) коэффициент передачи 2, а если еще вдвое (0,5 V), включается коэффициент передачи 4 (реле К13, К14 выключены).

5.5.9 Сигналы с выхода преобразователей, через контакты реле К16 и К17, поступают на вход вольтметра постоянного тока, которым измеряются на пределе «2 V».

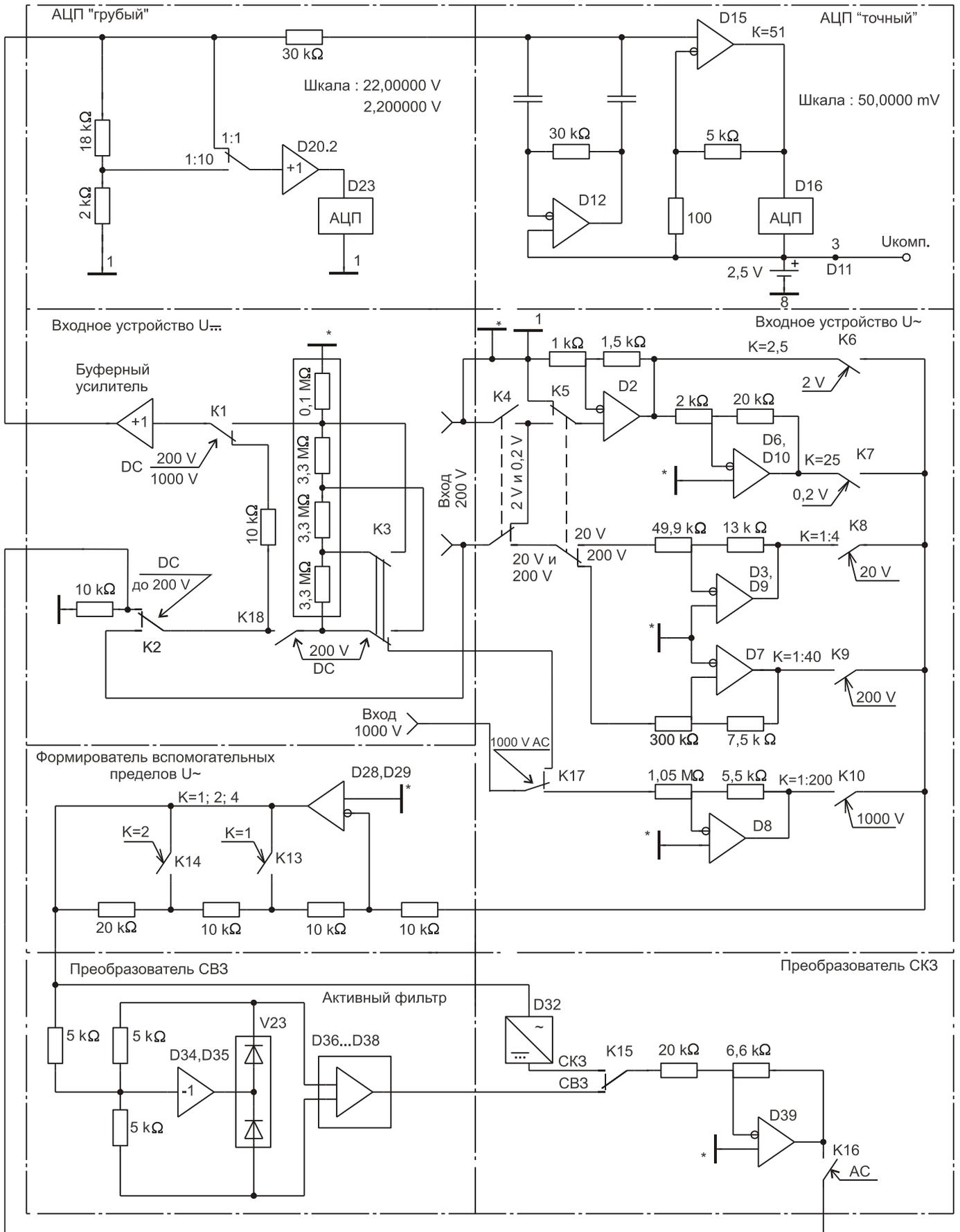
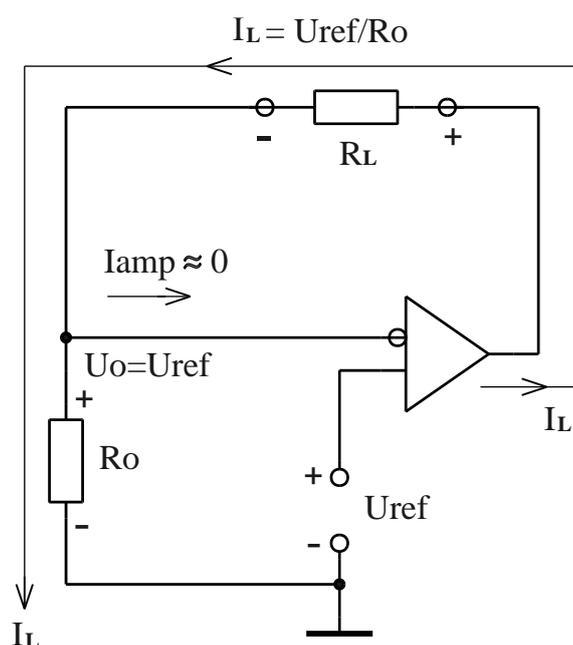


Рисунок 5.11 – Упрощенная схема вольтметра постоянного и переменного напряжения прибора Н4-12

5.6 Устройство и принцип действия калибратора силы постоянного и переменного тока прибора Н4-12

5.6.1 Калибратор силы тока обеспечивает ток в нагрузке, не зависящий от падения напряжения на нагрузке и ее сопротивления. Классический вариант преобразователя напряжение-ток показан на рисунке 5.12. При подаче опорного напряжения U_{ref} на инвертирующем входе усилителя устанавливается напряжение, равное U_{ref} (по свойству систем авторегулирования, обеспечивающих минимальную, близкую к нулю, разность напряжений между входами усилителя). Если входной ток усилителя равен нулю, в цепи нагрузки R_L реализуется ток, равный U_{ref}/R_o , где R_o – сопротивление датчика тока. В прецизионных калибраторах тока R_o проектируется на основе самых прецизионных компонентов, что и предопределяет высокую стабильность тока нагрузки. Высокая стабильность нуля и большой коэффициент усиления усилителя обеспечивают независимость тока нагрузки I_L от сопротивления нагрузки и напряжения на ней.



I_{amp} – входной ток усилителя,
 I_L – ток нагрузки

Рисунок 5.12 – Преобразователь напряжение-ток

5.6.2 На рисунке 5.13 приведена упрощенная схема калибратора силы тока прибора Н4-12. На вход схемы подается сигнал постоянного и переменного напряжения с выхода калибратора напряжения на пределе «2 V» и, в зависимости от включенного резистора, генерируется ток пределов «2 mA» ($R=1 \text{ k}\Omega$), «20 mA» ($R=100 \Omega$), «200 mA» ($R=10 \Omega$) и «2000 mA» ($R=1 \Omega$). В реальной схеме вместо сопротивления 1Ω используются резисторы с номиналами 1Ω , включенными параллельно, что позволило уменьшить рассеиваемую ими мощность и снизить погрешность, обусловленную этим явлением (входное напряжение U_{ref} при этом не превышает 1 V).

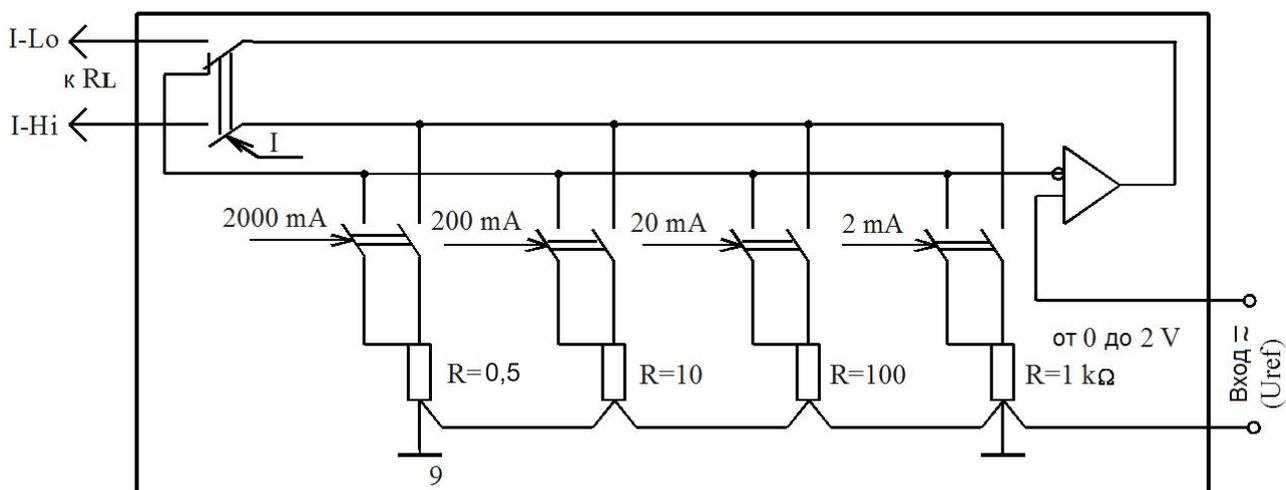


Рисунок 5.13 – Упрощенная схема калибратора силы тока прибора H4-12

5.7 Устройство и принцип действия блока низковольтного H4-12БН

5.7.1 Общие положения и принципы построения

5.7.1.1 Низковольтный блок обеспечивает расширение диапазона измеряемых и воспроизводимых напряжений постоянного тока в низковольтную, вплоть до нановольт, область. Практическая необходимость воспроизведения напряжений низковольтной области (от 1 nV до 0,2 V) обусловлена задачами проверки и калибровки нановольтметров и высокочувствительных усилителей. Практические потребности в области измерения напряжений низкого уровня возникают в схемах сравнения и измерения низковольтных источников (от единиц нановольт до десятков милливольт). Так, например, сравнение напряжений нормальных элементов осуществляется с погрешностью от 50 до 100 nV. При использовании термопреобразователей в схемах сравнения (компарирования) постоянного и переменного напряжений возникает задача измерения выходного напряжения термопреобразователя (это напряжение от 2 до 20 mV) с точностью от 0,0005 до 0,003 %, т.е. от 10 до 100 nV.

5.7.1.2 В процессе проектирования аппаратуры нановольтного диапазона приходится решать проблемы не только схемотехнического плана. Не менее остро выступают конструктивные аспекты разработки. Последние обусловлены влиянием термо-э.д.с. паек и элементов коммутации, которые в состоянии заблокировать потенциальную чувствительность усилителя. Именно эти причины не позволяют реализовать измерения на уровне даже десятков нановольт в едином блоке стандартного (широкодиапазонного) вольтметра даже самой высокой точности. Высокоомный вход (из-за автоматического выбора пределов измерения), многопозиционная и многоконтактная коммутация входных цепей, высоковольтность – основные негативные моменты, исключающие возможность измерения напряжений нановольтного диапазона.

5.7.1.3 В схемотехническом аспекте наиболее просто решается проблема воспроизведения напряжений низкого уровня: резистивный делитель с коэффициентом передачи 1:100, на вход которого подаются напряжения пределов «20 V» и «2 V» базового блока, реализует на выходе низковольтного блока пределы «200 mV» (от 10 nV до 250 mV) и «20 mV» (от 1 nV до 25 mV). Защита паек выхода делителя от тепловых ударов и колебаний температуры окружающего воздуха – применение медных выходных зажимов без пайки обеспечивает решение конструктивных проблем.

5.7.1.4 Для решения задачи измерения напряжения на уровне нановольт используется нетрадиционный, но известный метод повышения чувствительности усилителя. На рисунке 5.14 приведена схема такого усилителя: входы 16 усилителей включены параллельно. Вы-

ходные сигналы суммируются услителем ДΣ с коэффициентом передачи $\frac{1}{n}$, не нарушая, таким образом, общего коэффициента передачи ($K = 100$) интегральных усилителей. Шумы как случайная функция на выходе такого усилителя ослабляются в \sqrt{n} раз, где n – число усилителей.

5.7.1.5 Питание блока – автономное. Две аккумуляторные батареи (по два аккумулятора каждая) формируют двухполярное питание $\pm 2,4$ V, заряд которых осуществляется от внешнего зарядного устройства. В процессе эксплуатации напряжение может меняться от 2,1 до 3 V.

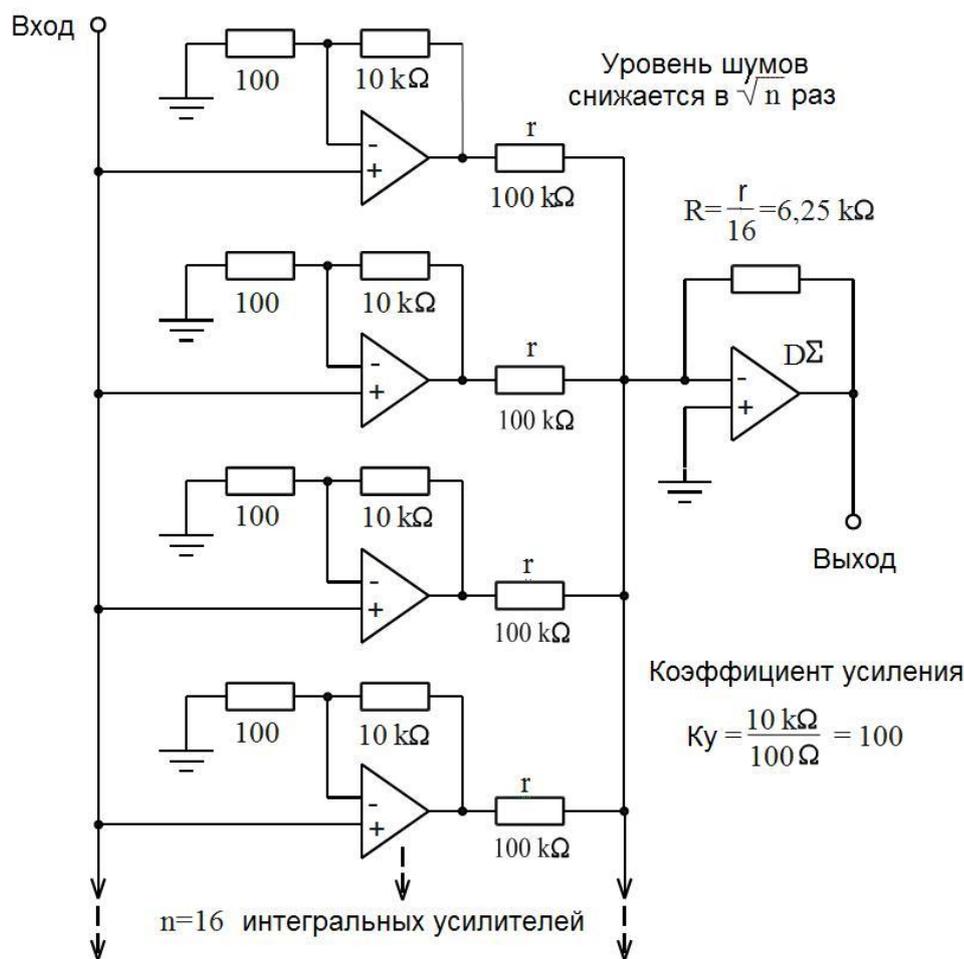


Рисунок 5.14 – Малошумящий усилитель

5.7.2 Упрощенная схема низковольтного блока

5.7.2.1 Упрощенная схема низковольтного блока приведена на рисунке 5.15. Основу блока составляет делитель $1:100$, $(9900 + 100) \Omega / 100 \Omega$, и 16-каскадный усредняющий усилитель, выполненный на восьми двояных операционных усилителях. Коэффициент передачи усредняющего усилителя равен 100, что позволяет совместно с базовым блоком реализовать предел измерения «20 mV», но прямое измерение напряжений предела «200 mV» потребовало бы использования усилителя с выходным напряжением выше 20 V, что при батарейном питании затруднительно. При дифференциальном методе измерения, когда входное напряжение компенсируется встречным включением напряжения калибратора, усилителю остается усилить разницу, что и решает проблему даже при малых уровнях напряжения питания. Однако для того, чтобы включить встречный сигнал калибратора, требуется определить его величину, т.е. изме-

рить входное напряжение. С этой целью в схему блока включен операционный усилитель с коэффициентом передачи, равным 10, который осуществляет грубое измерение входного сигнала (на схеме не показан).

5.7.2.2 Управление коэффициентом передачи усилителя (10 или 100) обеспечивается каналом связи (двухпроводным) с базовым блоком. При перегрузке усредняющего усилителя ($K = 100$) от базового блока поступает команда на включение усилителя с $K = 10$, которым и осуществляется грубое измерение входного сигнала. В соответствии с грубым измерением устанавливается компенсирующее напряжение калибратора, а образованная разность (нескомпенсированная часть входного сигнала) усиливается усредняющим усилителем в 100 раз. Таким образом, и при измерениях с участием низковольтного блока сохраняется алгоритм измерения базового прибора (см. п.5.4.3). Для реализации автономного режима работы в блоке имеется 6-декадный индикатор и АЦП. Реализуемый диапазон измерений составляет 20 мВ.

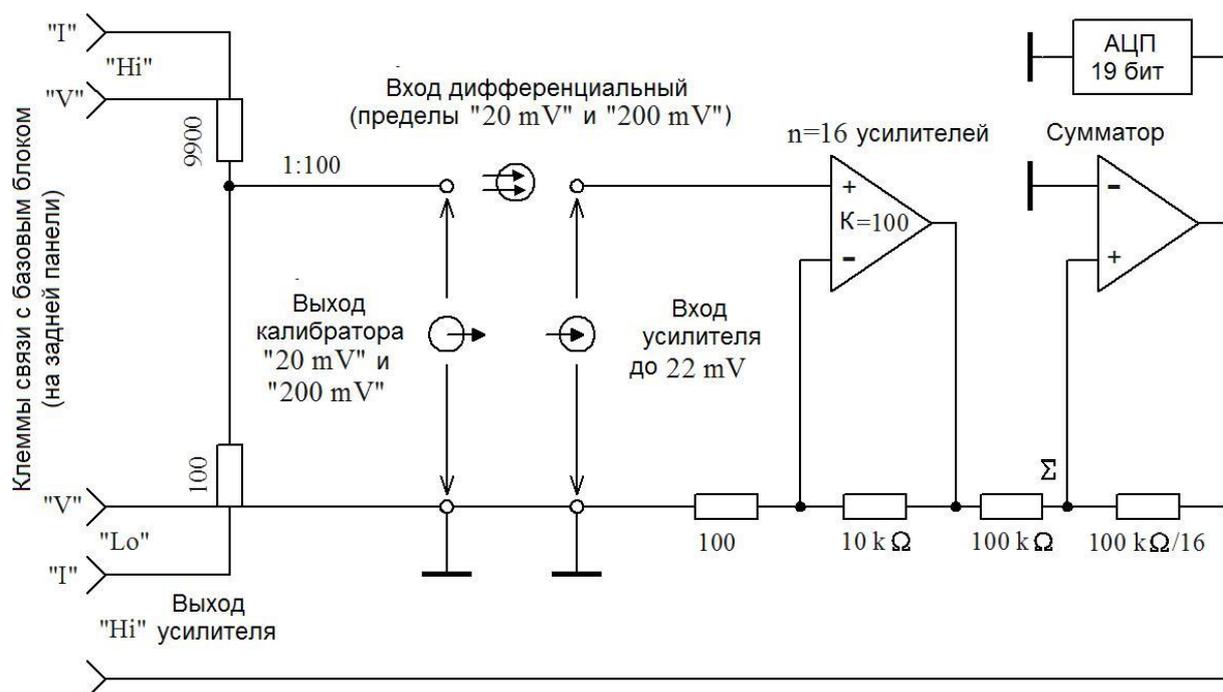


Рисунок 5.15 – Упрощенная схема низковольтного блока

5.8 Устройство и принцип действия блока высоковольтного Н4-12БВ

5.8.1 Блок Н4-12БВ обеспечивает масштабное усиление (в 50 раз) выходного напряжения калибратора Н4-12, формируя предел «1000 V» в режимах воспроизведения постоянного и переменного напряжения.

С выхода базового прибора Н4-12 напряжение 1-20 V подается на вход восьми особым образом соединенных усилителей с динамическим диапазоном выходного напряжения каждого из них до 125 V (для сигналов переменного напряжения – амплитудой 175 V). Особенность их включения позволяет развивать напряжение на выходе до значений $n \cdot U_i$, где n – число усилителей, U_i – выходное напряжение каждого усилителя. Таким образом, для рассматриваемого соединения из восьми усилителей $U_{\text{вых}} = 8 \cdot 125 \text{ V} = 1000 \text{ V}$. Принцип действия высоковольтного усилителя методически удобно рассмотреть на примере двухкаскадного усилителя предела «200 V», конструктивно расположенного в базовом блоке Н4-12.

5.8.2 Известные проблемы реализации высоковольтных усилителей обусловлены ограничениями элементной базы (по предельно допустимым напряжениям и мощности). Используемое в приборе решение позволяет значительно смягчить эти проблемы. Так в схеме усилителя предела «200V» (рисунок 5.16) задача получения напряжения 200V (постоянного и переменного)

го) решается двумя каскадами, каждый из которых (A1 и A2) способен развивать напряжение 100V. Каждый из усилителей A1 и A2 имеет биполярный источник питания E1 и E2 соответственно, а особенность их соединения заключается в том, что выход первого из них подключен к общей точке источника питания второго усилителя (⊥ 2), гальванически связанной с его неинвертирующим входом. При таком включении потенциал общей точки усилителя A2 (⊥ 2) оказывается «поднятым» относительно общей точки (⊥ 1) на уровень выходного напряжения усилителя A1, а так как этот уровень присутствует на входе усилителя A2, коэффициент передачи которого равен $2 (1+36 \text{ k}\Omega/36 \text{ k}\Omega)$, то он удваивается, создавая итоговое напряжение на выходе, равное $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot R/r$ (разделив, таким образом, суммарную «энергетику» пополам).

5.8.3 Принцип действия блока Н4-12БВ объясняется по упрощенной модели высоковольтного блока, условно состоящей из четырех усилителей A1-A4 (в соответствии с рисунком 5.17) с динамическим диапазоном выходных напряжений каждого из них от 0 до 200 V.

Каждый из усилителей схемы имеет отдельный биполярный источник питания (E1 – E4), а особенность их соединения заключается в том, что выход каждого предыдущего усилителя соединен с общей точкой источника питания последующего усилителя, гальванически связанной с его неинвертирующим входом. При таком включении общая точка каждого последующего усилителя оказывается «поднятой» относительно общей точки предыдущего на уровень его выходного напряжения. В результате выходные напряжения усилителей суммируются, обеспечивая расширение диапазона выходного сигнала пропорционально количеству усилителей.

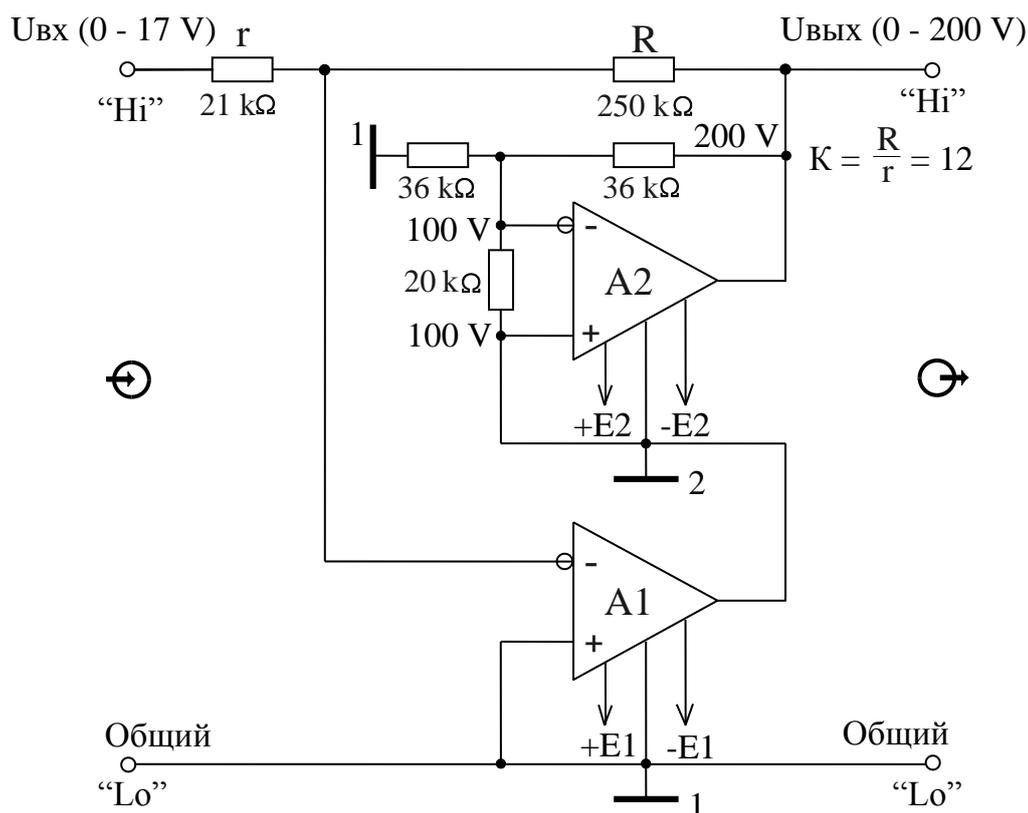


Рисунок 5.16 – Формирование предела «200 V» калибратора

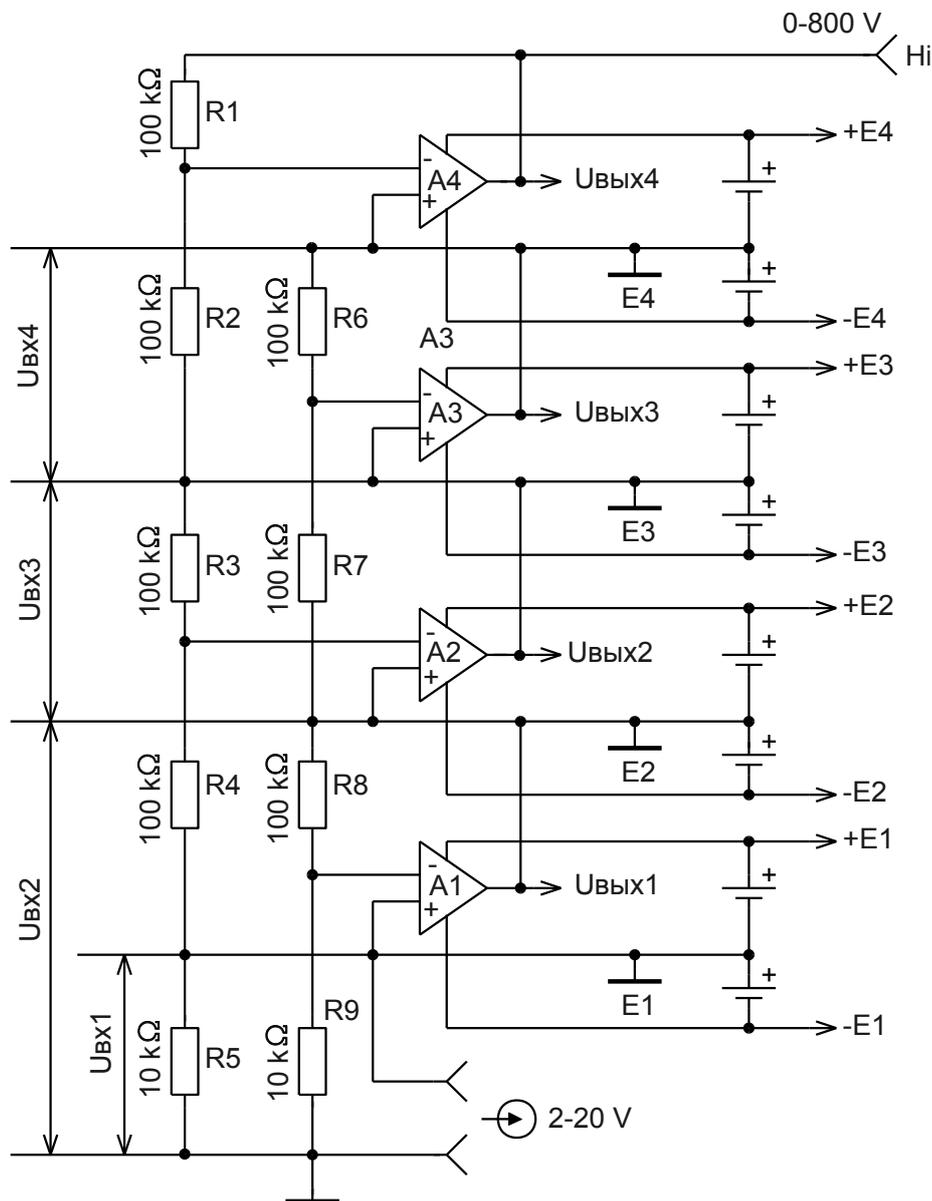


Рисунок 5.17 – Формирование предела «1000 V» калибратора

Рассмотрим это на примере. На неинвертирующий вход первого каскада А1 подается входное напряжение до 20 В, поднимая потенциал общей точки питания Е1 первого каскада на величину этого напряжения. Однако все остальные расчеты будут вестись относительно общей точки « \perp Е1», т.е. минус $U_{вх}$. Благодаря делителю в цепи обратной связи усилителя А1, напряжение усиливается в 11 раз ($1 + R_8/R_9 = 1 + 100\text{ k}\Omega/10\text{ k}\Omega = 11$), т.е. при входном напряжении 20 В становится равным 220 В, а относительно общей шины « \perp Е1» оно равно 200 В. Это напряжение подается на неинвертирующий вход усилителя А2 (одновременно поднимая потенциал « \perp Е2» на 200 В), который имеет коэффициент передачи относительно общей шины « \perp Е1», равный $K = 1 + R_3/R_4 = 1 + 100\text{ k}\Omega/100\text{ k}\Omega = 2$. Таким образом, на выходе А2 имеется напряжение $2 \times 200\text{ В} = 400\text{ В}$ и т.д.

5.9 Некоторые приемы усовершенствования метрологических и эксплуатационных характеристик комплекса

5.9.1 Наличие внутри прибора вольтметра и программируемого источника с широкой сеткой напряжения открывает широкие возможности тотальной самопроверки и диагностики прибора Н4-12, включая метрологические отказы. Открываются и другие возможности, так, например, контролируя выход калибратора встроенным вольтметром, можно зафиксировать реакцию калибратора на нагрузку (особенно емкостную на высоких частотах) и учесть ее или скомпенсировать соответствующей коррекцией выхода калибратора. При работе на высоковольтных пределах калибратора имеет место дрейф установленного уровня напряжения, обусловленный саморазогревом делителя обратной связи в схеме калибратора. Его также можно зафиксировать вольтметром и скомпенсировать.

В приборе Н4-12 предусмотрена специальная процедура такого регулирования, выполняемая автоматически без участия оператора. В режиме воспроизведения переменного напряжения (в диапазоне частот выше 200 Hz) указанная процедура инициируется нажатием кнопки «SRV» (service). По этой команде вольтметр (предварительно подключенный к выходу калибратора) в соответствии с рисунком 5.18 образует дополнительный («цифровой») контур авторегулирования.

При установке режима 7-разрядного калибратора постоянного напряжения на пределах «200 V» и «1000 V» также включается второй контур авторегулирования (без нажатия кнопки «SRV»).

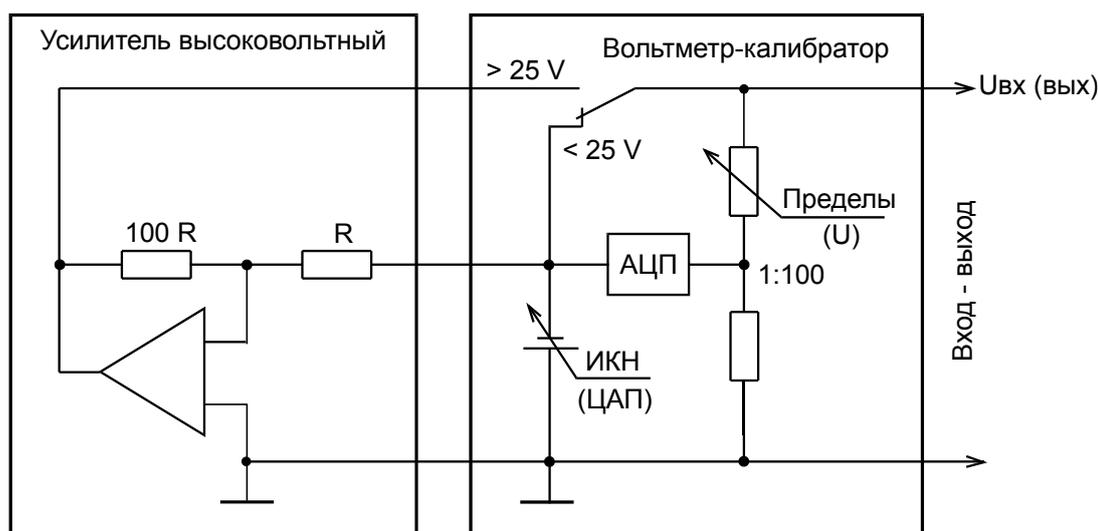


Рисунок 5.18 – Схема включения вольтметра при контроле выхода калибратора

5.9.2 Механизм авторегулирования проиллюстрируем примером. На выходе калибратора установлено напряжение 1000 V. В соответствии с алгоритмом работы устанавливается напряжение ИКН (источника компенсирующего напряжения) $U_{икн} = 10$ V, пределы вольтметра и калибратора «1000 V» (коэффициенты передачи входного делителя вольтметра и делителя обратной связи схемы калибратора 1:100). Допустим, что из-за погрешности высоковольтного усилителя минус 0,1 % на выходе устанавливается напряжение 999 V, т.е. на входе АЦП напряжение составляет 9,99 V (а на другом входе АЦП установлено $U_{икн} = 10$ V). Разность напряжений минус 10 mV фиксируется АЦП, кодом которого и корректируется установленное на выходе ИКН напряжение 10 V на величину +10 mV, т.е. устанавливается равным 10,01 V, что после усиления в 100 раз схемой усилителя калибратора дает увеличение выходного напряжения на 1 V. В результате напряжение на выходе калибратора становится (после коррекции) равным 1000 V. Таким образом, любое изменение напряжения на выходе калибратора, вызванное неточностью делителя (например, саморазогревом от рассеиваемой мощности), дрейфом усилителя или воздействием нагрузки контролируется точным вольтметром, который и определяет добавить или

убавить напряжение на его выходе. Совершенно очевидно, что при таком алгоритме регулирования точность выходного напряжения определяется точностью вольтметра, но при этом теряется быстрое действие калибратора (время установки выходного напряжения с заданной точностью). Оно определяется временем измерения вольтметра.

5.10 Устройство и принцип действия меры напряжения Н4-12МН

5.10.1 Мера напряжения служит для передачи размера единицы напряжения от эталонов метрологических центров приборам комплекса. Мера имеет выход 10 V, который формируется из напряжения стабилитрона, прошедшего специальные тренировки и отбор.

Схема и конструкция меры призваны обеспечить максимальную стабильность электрического и температурного режимов стабилитрона и его наиболее критического окружения (масштабирующие резисторы, усилитель), независимость от воздействия внешней температуры и колебаний питающей сети.

5.10.2 На упрощенной схеме меры напряжения в соответствии с рисунком 5.19 все элементы кроме ЦАП и микропроцессора « μP » размещены в активном термостате.

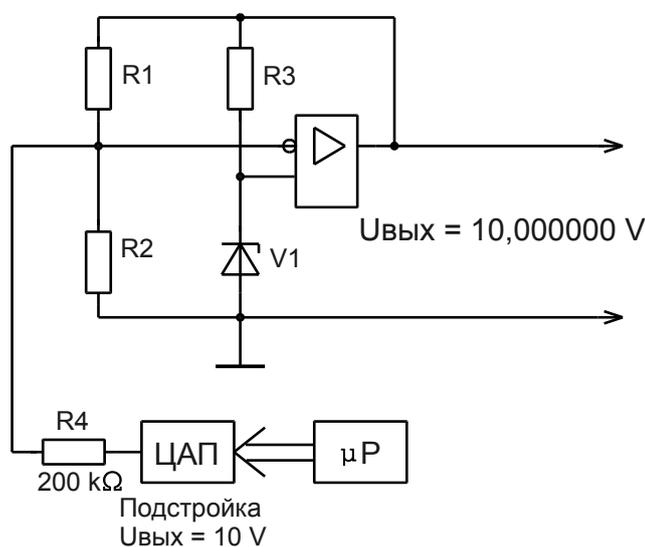


Рисунок 5.19 – Упрощенная схема меры напряжения Н4-12МН

Напряжение стабилитрона приводится к уровню 10 V масштабирующим делителем R1, R2. Резистором R3 (балластное сопротивление) устанавливается оптимальный (с точки зрения минимизации температурного коэффициента) ток через стабилитрон.

Точная подстройка выходного напряжения осуществляется ослабленным в несколько тысяч раз (резистором R4) напряжением ЦАП, которое суммируется с основным напряжением схемы. ЦАП управляется процессором « μP », формирующим сигналы управления под воздействием регулятора (энкодера), вращением оси которого оператор добивается нужной точности установки выходного напряжения (10V).

6 ПОДГОТОВКА ИЗДЕЛИЯ К РАБОТЕ

6.1 Распаковывание и повторное упаковывание

6.1.1 Изделия комплекса транспортируются в упакованном виде для предотвращения повреждений. При распаковывании весь состав изделия подвергается первичному осмотру на отсутствие повреждений. При обнаружении повреждений следует незамедлительно сообщить в службу доставки. При распаковывании следует также сверить комплект поставки с комплектом, перечисленным в упаковочном листе, поставляемом с изделием. О любой недостатке необходимо сообщить отправителю.

6.1.2 Приборы Н4-12, Н4-12БВ, Н4-12БН, Н4-12МС, Н4-12МО и Я9-44 имеют тару, упаковываются и распаковываются в соответствии с порядком, изложенным ниже.

В состав тары входят:

- транспортный ящик, предназначенный для перевозок приборов на большие расстояния и длительного хранения;
- укладочный ящик (футляр, чемодан или коробка), предназначенный для кратковременного хранения приборов, а также для защиты от механических повреждений при транспортировании к месту эксплуатации. При поставке укладочный ящик находится внутри транспортного и содержит приборы и принадлежности, необходимые для работы с ними.

6.1.3 Приборы упаковываются в отдельную тару в соответствии с данными таблицы 4.3.

6.1.4 Распаковывание приборов производится в следующем порядке:

- снять верхнюю крышку ящика транспортного;
- обеспечить доступ к укладочному ящику (футляру или коробке);
- извлечь укладочный ящик;
- снять с укладочного ящика оберточную бумагу;
- извлечь приборы и принадлежности из укладочного ящика.

6.1.5 Повторное упаковывание приборов выполняется в следующей последовательности.:

- разместить приборы в укладочные ящики с пакетиками силикагеля в составе, указанном в п.6.1.2;
- обернуть укладочный ящик упаковочной бумагой и поместить в полиэтиленовый пакет;
- обернуть полиэтиленовый пакет с укладочным ящиком оберточной бумагой и обвязать шпагатом;
- выстлать транспортный ящик внутри битумной бумагой;
- уложить на дно ящика картон гофрированный, выдержав толщину слоя 40 mm;
- поместить укладочный ящик в упаковку и заполнить пространство с боков и под верхней крышкой гофрированным картоном, обеспечив плотное заполнение;
- закрепить крышку ящика гвоздями;
- обить ящик металлической лентой;
- опломбировать ящик;
- маркировать ящик черной эмалью НЦ-11.

Во избежание накопления влаги упаковку рекомендуется проводить в помещении с нормальным уровнем влажности.

7 ПОРЯДОК УСТАНОВКИ И ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

7.1 Меры безопасности и подготовка к работе

7.1.1 Меры безопасности при подготовке изделия к эксплуатации

7.1.1.1 Настоящий подраздел содержит необходимую информацию для обеспечения надежной и безопасной работы изделия.

7.1.1.2 Сетевые приборы комплекса разработаны и испытаны на соответствие всем требованиям норм безопасности класса I (с заземленным корпусом). Заземление корпуса прибора обеспечивается через сетевую вилку или зажим « \perp » на задней панели. При использовании зажима « \perp » он должен присоединяться к заземляющей шине первым, а отсоединяться – последним.

ПОМНИТЕ! При отсутствии заземления на корпусе прибора имеется потенциал 110 V с частотой питающей сети относительно земли.

Необходимо следить, чтобы цепь заземления не имела разрыва, что в первую очередь обеспечивается надежным контактом между розеткой и вилкой подключения прибора.

7.1.1.3 Источниками опасного напряжения в приборах являются сетевые цепи:

- первичная обмотка сетевого трансформатора;
- выводы сетевых предохранителей;
- сетевые разъем и фильтр;
- тумблеры включения приборов.

В приборе Н4-12 источником опасного напряжения до ± 350 V является плата усилителя «200 V», источник питания этого усилителя и обмотка трансформатора, питающего этот источник. В блоке высоковольтном Н4-12БВ практически все цепи являются источниками опасного напряжения от ± 200 до ± 1500 V. При снятии верхней или нижней крышек блока блокирующими контактами отключается его питание.

7.1.1.4 При размещении на рабочем месте необходимо принимать меры по **охлаждению приборов комплекса**. Приборы Н4-12, Н4-12БВ, Я9-44 рассеивают значительную мощность внутри небольших объемов, причем только два последних имеют принудительную вентиляцию. Воздушные потоки ориентированы на боковые стенки корпуса, и потому наилучший вариант их агрегатирования – установка друг на друга. При этом прибор Н4-12, не имеющий принудительной вентиляции, должен быть всегда сверху, а перфорация верхней крышки корпуса должна быть открытой. Боковые стенки составленной конструкции должны находиться на расстоянии не менее 10-15 см (4 дюйма) от ближайших стен или корпусов соседних приборов, чтобы не ограничивать поступление воздуха комнатной температуры во внутренний объем приборов. Эти меры увеличивают срок службы приборов и способствуют улучшению характеристик.

7.1.1.5 Установка блоков друг на друга может привести к возникновению **биений** (низкочастотных колебаний) на частоте питающей сети. Минимизировать это явление можно, изменив частоту на ± 3 Hz или выключив высоковольтный блок. При невозможности пойти на такие ограничения, расположите блоки в одной плоскости, отказавшись от «двухэтажной» компоновки.

7.1.2 Порядок установки и подготовка к работе

7.1.2.1 Разместить приборы комплекса на рабочем месте, обеспечив удобство и безопасность их обслуживания и предохранив от воздействия прямых солнечных лучей.

7.1.2.2 Проверить комплектность изделия и ознакомиться с руководством по эксплуатации. Произвести внешний осмотр приборов комплекса и их принадлежностей на отсутствие:

- видимых механических повреждений;
- повреждения изоляции кабелей;
- коррозии контактирующих поверхностей присоединительных устройств и принадлежностей. При необходимости следует произвести очистку (включая механическую) медных

зажимов и наконечников кабелей (в наибольшей степени это относится к прибору Н4-12БН).

7.1.2.3 Проверить исправность сетевых предохранителей и, при необходимости, заменить их. Конструктивно держатель предохранителя совмещается с сетевым разъемом, расположенным на задней панели сетевых приборов комплекса.

7.1.2.4 При работе приборов в составе автоматизированных систем необходимо осуществить их подключение через разъемы интерфейса.

7.1.2.5 Присоединить сетевой кабель.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ!

Во избежание поражения электрическим током необходимо подключать к сетевой трехвыводной розетке (один вывод является заземляющим) трехжильный кабель питания заводского производства (из комплекта поставки комплекса). Не следует использовать двухжильный кабель или шнур-удлинитель, т.к. это может нарушить защитное заземление.

В случае необходимости использования двухжильного кабеля питания (при наличии двухвыводной сетевой розетки) требуется до подключения кабеля питания заземлить зажим «» на задней стенке сетевых приборов комплекса.

ВНИМАНИЕ! Перед любым подключением зажим защитного заземления приборов должен быть подсоединен к внешней защитной системе заземления. Зажим защитного заземления у всех сетевых приборов комплекса расположен на задней стенке прибора.

7.1.2.6 Необходимо занести в формуляр дату ввода прибора (приборов) в эксплуатацию.

7.1.2.7 Для правильной и безопасной работы требуется внимательно ознакомиться с расположением и назначением органов управления, подключения и индикации приборов комплекса, описание которых приведено далее.

7.2 Расположение органов подключения, индикации и управления базового прибора Н4-12

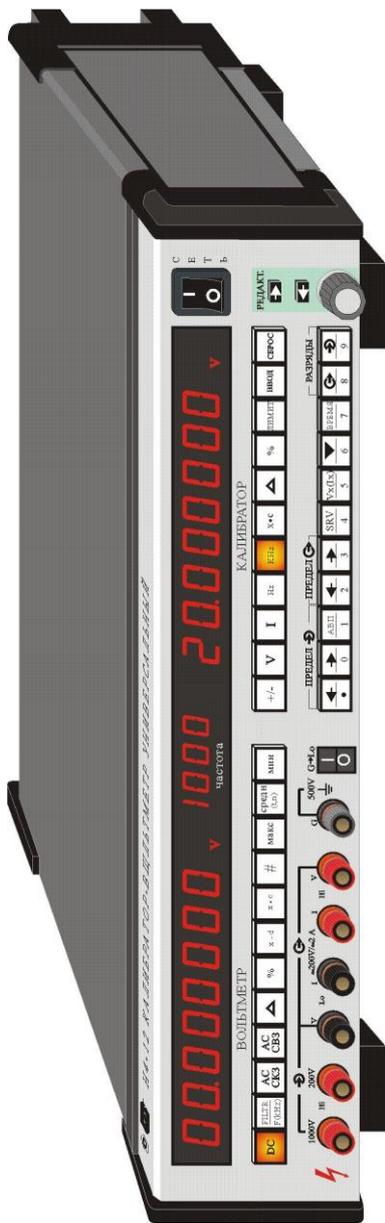
7.2.1 На рисунке 7.1 приведена передняя панель прибора Н4-12, на которой расположены органы подключения, индикации и управления. Общая концепция размещения этих органов излагается ниже.

7.2.2 Верхний сектор панели – зона индикации, которая функционально разделена на три участка. Левый представлен 8-разрядным индикатором вольтметра, правый, аналогичный, представлен индикатором калибратора, а средний (4-разрядный) – индикатором частоты, который по выбору оператора отображает частоту воспроизводимого или измеряемого напряжения (в режиме калибратора тока – частоту силы тока). Размерность и полярность измеряемого или установленного напряжения (тока) представлены индикаторами единиц физических величин в соответствии с функциональным назначением.

Крайний правый участок зоны индикации занимает тумблер включения питания прибора (СЕТЬ).

7.2.3 Верхний ряд клавиатуры функционально разделен на левую и правую группы кнопок. Левая группа – это кнопки управления вольтметром, а правая – калибратором. Нижний ряд клавиатуры представлен кнопками общего назначения. Наконец, можно выделить органы редактирования показаний (РЕДАКТ), состоящие из двух кнопок и поворотного регулятора уровня (энкодера).

7.2.4 В левом нижнем секторе панели расположены органы подключения: клеммы входа вольтметра, объединенные стилизованным символом входа «», и клеммы выхода калибратора, объединенные символом выхода «», и, наконец, клемма защитного экрана «G» с переключателем, обеспечивающим ее подключение к низкопотенциальным «Lo» клеммам «G → Lo» внутри прибора.



Наименование кнопок	Расшифровка символов и сокращений	Наименование кнопок		Расшифровка символов и сокращений	Расшифровка символов и надписей на передней панели
		Русская версия	Экспортная версия		
DC	Постоянное напряжение	ЛИМИТ	LIMIT	Ограничение	ПРЕДЕЛ (RANGE) - пределы измерения вольтметра
FILTR F(kHz)	Фильтр / частота в килогерцах	ВВОД	ENTER	Ввод цифровой информации	ПРЕДЕЛ (RANGE) - пределы воспроизведения калибратора
AC СКЗ RMS	Переменное напряжение с СКЗ преобразованием	СБРОС	OFF	Сброс (отключение выхода калибратора)	РАЗРЯДЫ (DIGITS) - установка разрядности шкалы
AC СВЗ AVR	Переменное напряжение с СВЗ преобразованием	АВП 1	AUTO 1	Автоматический выбор пределов	РЕДАКТ (EDIT) - группа органов управления для редактирования числовой информации
макс	Максимальное значение	SRV 4	SRV 4	Сервис (обслуживание калибратора - его управление вольтметром)	“Lo” - низкопотенциальный вывод (терминал)
средн (t, n)	Среднее значение за время t или от количества измерений n	ВРЕМЯ 7	TIME 7	Время (работы прибора)	“Hi” - высокопотенциальный вывод (терминал)
МИН	Минимальное значение	▼ 6	CAL 6	Калибровка	“G” - вывод экрана (GUARD)

Рисунок 7.1 – Базовый блок N4-12. Передняя панель и клавиатура

7.3 Клавиатура прибора Н4-12. Расположение и назначение кнопок

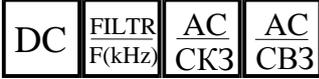
7.3.1 Назначение кнопок и порядок работы с ними приведены в таблице 7.1.

Примечание – Включенное (активное) состояние кнопки индицируется соответствующим отображением на индикаторном табло: единицами измерения, продвижением запятой (при смене пределов), символом полярности (только отрицательной – знак « – »), цифрами набора, гашением разрядов (при их ограничении).

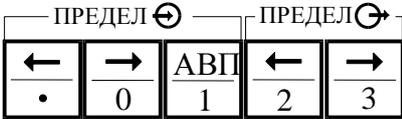
Таблица 7.1 – Назначение и порядок работы кнопками клавиатуры

Назначение кнопок	Порядок работы
<p>УСТАНОВКА (ВЫБОР) РЕЖИМА КАЛИБРАТОРА</p>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">  </div> <p>Этой группой кнопок может устанавливаться один из четырех возможных режимов работы калибратора:</p> <ul style="list-style-type: none"> - воспроизведение напряжения постоянного тока – реализуется нажатием кнопки «V»; - воспроизведение силы постоянного тока – реализуется нажатием кнопки «I»; - воспроизведение напряжения переменного тока – реализуется нажатием кнопки «V», а затем кнопки «Hz» или «kHz» (если кнопка «V» активирована, то достаточно нажать только одну из кнопок «Hz» или «kHz»); - воспроизведение силы переменного тока – реализуется нажатием кнопки «I», а затем кнопки «Hz» или «kHz» (если кнопка «I» активирована, то достаточно нажать только одну из кнопок «Hz» или «kHz»). <p>При переводе прибора из режима калибратора напряжения «V» в режим калибратора тока «I» или в обратном порядке (V ⇌ I) включается исходное (начальное) состояние: основной предел «20 V» или «20 mA», обнуленный индикатор и включенная кнопка СБРОС («OFF»), отключающая внутреннюю схему от выходных клемм. При сменах режимов работы, реализуемых кнопками «Hz» или «kHz» (постоянное или переменное), сохраняется ранее установленный уровень напряжения или тока и частота, но автоматически включается кнопка СБРОС («OFF»). Такая реализация удобна при сравнении постоянного и переменного напряжений (токов) при использовании термопреобразователей, отличающихся высокой инерционностью.</p> <p>Примечание – В режиме калибратора постоянного напряжения («DC») реализуется два режима работы: с 6- и 7-разрядной шкалой (п.4.6.1.3). При реализации режима с 7-разрядной шкалой на пределах «200 V» и «1000 V» автоматически (принудительно) включается режим контроля встроенным вольтметром выходного напряжения калибратора (см. ниже «Работа калибратора переменного напряжения под управлением вольтметра»)</p>

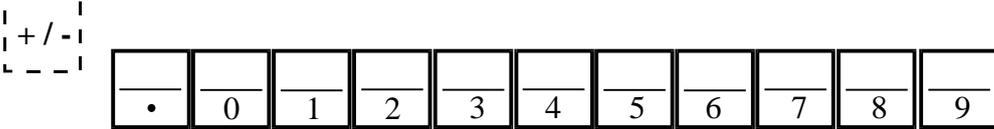
Продолжение таблицы 7.1

Назначение кнопок	Порядок работы
<p>УСТАНОВКА (ВЫБОР) РЕЖИМА ВОЛЬТ- МЕТРА</p>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">  </div> <p>Этой группой кнопок может устанавливаться один из трех основных режимов работы вольтметра:</p> <ul style="list-style-type: none"> - измерение напряжения постоянного тока – реализуется нажатием кнопки «DC»; - измерение напряжения переменного тока с использованием преобразователя среднеквадратических значений (СКЗ- преобразователь) – реализуется нажатием кнопки «AC/СКЗ» («AC/RMS»); - измерение напряжения переменного тока с использованием преобразователя средневыпрямленного значения (СВЗ- преобразователь) – реализуется нажатием кнопки «AC/СВЗ» («AC/AVR»). <p>Примечание – Первичная информация по преобразователям СКЗ и СВЗ предоставлена в п.4.8.1.</p> <p>Кнопкой «FILTR/F(kHz)» («фильтр/частота») в режиме измерения постоянного напряжения включается фильтр, который позволяет увеличить стабильность показаний, а в режиме измерения переменного напряжения реализуется индикация частоты (в килогерцах) измеряемого сигнала: при одновременном функционировании вольтметра и калибратора переменного напряжения индикатор частоты отображает частоту калибратора</p>
<p>УСТАНОВКА РЕЖИМА ОДНО- ВРЕМЕННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАЛИБРАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ И ВОЛЬТМЕТРА</p>	<p>Перевод в режим одновременного функционирования калибратора и вольтметра можно реализовать как из режима калибратора, так и из режима вольтметра (при монорежимной работе любого из них). Для этого достаточно осуществить повторное нажатие кнопки установленного режима калибратора или вольтметра, функционирующего в данный момент. Например, включен режим калибратора напряжения, т.е. включена кнопка «V», повторным нажатием ее вызывается режим вольтметра, причем состояние калибратора сохраняется, а вольтметр устанавливается в исходный режим – измерение постоянного напряжения на пределе «1000 V». Оператор стандартной процедурой устанавливает требуемое состояние вольтметра. При этом есть одно ограничение – невозможность одновременного функционирования 7-разрядного калибратора и 6-, 7-разрядного вольтметра. При 7-разрядном статусе калибратора необходим переход на 5-разрядную (и ниже) шкалу вольтметра и наоборот – при 6-, 7-разрядном вольтметре необходим переход на 6- разрядную шкалу калибратора</p>

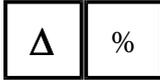
Продолжение таблицы 7.1

Назначение кнопок	Порядок работы
<p>РАБОТА КАЛИБРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ВОЛЬТМЕТРА</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Кнопкой «SRV» активируется режим работы калибратора переменного напряжения под управлением вольтметра (см. п.4.7.1.1). Этот режим функционирует в частотном диапазоне выше 200 Hz на всех пределах, кроме «0,2 V». На пределах «200 V» и «1000 V» только использование этого режима позволяет реализовать нормируемую погрешность.</p> <p>ВНИМАНИЕ! Кнопка «SRV» может быть активирована только в определенном (исходном) состоянии:</p> <ul style="list-style-type: none"> - включен режим одновременного функционирования калибратора и вольтметра переменного тока (выход калибратора соединен с входом вольтметра); - установлен частотный диапазон калибратора выше 200 Hz (включена кнопка «kHz»). <p>Следует помнить, что при включении 7-разрядного режима калибратора постоянного напряжения (DC) на пределах «200 V» и «1000 V», автоматически включается режим управления калибратора вольтметром, необходимо лишь обеспечить соединение выхода калибратора с входом вольтметра (см. п.9.4.9)</p>
<p>УСТАНОВКА (ВЫБОР) ПРЕДЕЛА ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТМЕТРА И ПРЕДЕЛА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ КАЛИБРАТОРА</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Левые три кнопки обеспечивают установку пределов измерения вольтметра – ручную или автоматическую «АВП» (AUTO), а две правые – ручную установку пределов воспроизведения калибратора. Процедура индицируется продвижением запятой (« • ») в направлении стрелки, маркированной на кнопке.</p> <p>Этими же кнопками устанавливаются пределы при совместной работе прибора Н4-12 с низковольтным (Н4-12БН) и высоковольтным (Н4-12БВ) блоками (пределы измерения «20 mV», «200 mV» и пределы воспроизведения «20 mV», «200 mV» и «1000 V»)</p>

Продолжение таблицы 7.1

Назначение кнопок	Порядок работы
<p>ВВОД ДАННЫХ (КНОПКИ НАБОРНОГО ПОЛЯ)</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Нижний ряд клавиатуры занимают кнопки двойного назначения, одним из которых и является оцифрованный ряд наборного поля. Этот статус они получают только при включенной кнопке ВВОД («ENTER»). Таким образом, подсвет кнопки ВВОД («ENTER») – основной идентифицирующий признак для набора данных. Кнопками наборного поля осуществляется:</p> <ul style="list-style-type: none"> - установка уровня выходных параметров калибратора (напряжения или тока); - установка частоты; - задание констант математической обработки «d» и «с», количества усреднений «n», параметров уровня ограничения напряжения или тока; - кодирование (нумерацию) диагностических, калибровочных и других служебных процедур. <p>Порядок ввода данных рассмотрим на примере установки уровня напряжения (аналогично для тока). После включения кнопки ВВОД («ENTER») на дисплее калибратора обнуляются показания, и маркируется (мигает) старший разряд, указывая, что это знакоместо займет цифра, выбранная для старшего разряда. После установки цифры в старшем разряде маркер автоматически смещается в следующий разряд, ожидая своего цифрового символа, и т.д. Процедура завершается нажатием кнопки ВВОД («ENTER»), подсвет гаснет, а на дисплее и выходе калибратора устанавливается набранный уровень напряжения (тока), в том числе, и полярность (положительная полярность не индицируется). Так реализуется самая рабочая процедура ввода данных калибратора – она максимально упрощена. Ввод любой другой числовой информации требует дополнительной операции указания функции, нуждающейся в цифровом наборе. Это могут быть математические константы, частота и др.</p> <p>Порядок ввода данных частоты. После включения кнопки ВВОД («ENTER») и появления маркера в старшем разряде дисплея калибратора необходимо указать функцию нажатием кнопки «Hz» или «kHz», на что индикатор реагирует переходом маркера в старший разряд индикатора частоты, указывая, что это место займет цифра, выбранная для старшего разряда. После установки цифры в старшем разряде маркер автоматически смещается в следующий разряд, ожидая своего цифрового символа, и т.д. Процедура завершается нажатием кнопки ВВОД («ENTER»).</p> <p>ВНИМАНИЕ! Ввод частоты возможен только в режимах воспроизведения переменного напряжения (тока), и потому, если один из указанных режимов не установлен заранее, процедура установки частоты блокируется.</p> <p>Редактирование ввода (исправление ошибочной информации): если в процессе ввода возникла необходимость в исправлении ошибочной информации, необходимо воспользоваться кнопками «←→», «←» группы РЕДАКТ (EDIT) для выделения маркером разряда (знакоместа), нуждающегося в коррекции, после чего внести требуемую цифру</p>

Продолжение таблицы 7.1

Назначение кнопок	Порядок работы
<p>РЕГИСТРАЦИЯ ПРИРАЩЕНИЙ (ДЕВИАЦИИ) ИЗМЕРЯЕМОГО И ВОСПРОИЗВОДИМОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИЛИ ТОКА</p>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">  </div> <p>Режим регистрации приращений напряжения реализуется кнопками «Δ» и «%», отдельной для вольтметра и калибратора. Данный режим обеспечивает индикацию приращений (отклонений) измеряемого или воспроизводимого напряжения или тока (для калибратора тока) в единицах измерения напряжения, тока («Δ») или в процентах («%») от предварительно измеренного или установленного значения напряжения U_0. При включении кнопки «Δ» или «%» индикатор обнуляется. При этом на выходных клеммах прибора (в режиме калибратора) сохраняется значение установленного напряжения. Все дальнейшие манипуляции, связанные с установкой новых значений воспроизводимых (измеряемых) напряжений U_x, воспринимаются индикатором как отклонение ΔU воспроизводимого (измеряемого) напряжения от его первоначального значения U_0, зафиксированного в памяти прибора. Таким образом, в режимах регистрации приращений реализуется операция: $\Delta U = U_x - U_0$ или $\Delta U = \frac{U_x - U_0}{U_0} \cdot 100\%$.</p> <p>Функция «Δ» широко используется для компенсации смещения нуля вольтметра.</p> <p>Текущее значение напряжения U_x может быть проконтролировано оператором без нарушения режима регистрации приращений: см. описание кнопки «V_x, I_x».</p> <p>ВНИМАНИЕ! В режиме регистрации приращений напряжения индикатор не отображает действительного значения выходного (входного) напряжения и в этом смысле может стать источником дезинформации пользователя. Потенциально опасно, например, обнуление индикатора при высоком выходном напряжении (при работе с высоковольтным блоком), т.к. в этом случае индикатор маскирует опасное напряжение, фактически присутствующее на выходе прибора. Для предотвращения несанкционированных действий, обусловленных «дезинформационным сообщением» индикатора, не следует оставлять прибор и его нагрузку без наблюдения. В случае необходимости на индикатор прибора может быть вызвано текущее значение напряжения U_x кнопкой «V_x, I_x», исключая дезинформацию и не нарушая режима регистрации приращения</p>

Продолжение таблицы 7.1

Назначение кнопок	Порядок работы
<p>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА (ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ)</p>	<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-right: 5px;">x-d</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-right: 5px;">x · c</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-right: 10px;"> $\begin{matrix} \text{средн} \\ (t, n) \end{matrix}$ </div> <div style="text-align: center;"> \leftarrow </div> <div style="margin-left: 10px;"> <p>Только для вольтметра</p> <p>t, n соответствуют режимам усреднения показаний: за интервал времени t (при включенной кнопке “#”) или по числу измерений n</p> </div> </div> <p>Два основных вида математической обработки информации, представляемой на индикаторе, включают операции «x - d» («сдвиг»), когда из показаний вычитается константа «d», и «x · c» («масштабирование»), когда показание умножается на константу «c». Эти операции позволяют сопрягать шкалы образцового и проверяемого приборов.</p> <p>Для режима измерения предусмотрена дополнительная операция усреднения результатов из n измерений «средн (t, n)» («mean»). Реализовано усреднение до 99 измерений, т.е. $n \leq 99$.</p> <p>Процедурная реализация вычислительных режимов включает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - установку (или корректировку) требуемых констант; - установку вида (видов) математической обработки. <p>Установка (корректировка) констант «c», «d», «n» осуществляется вводом числовой информации с помощью кнопок наборного поля в следующем порядке:</p> <ul style="list-style-type: none"> - нажать кнопку ВВОД («ENTER») и определиться с функцией, требующей включения необходимой кнопки математической обработки – «x - d», «x · c», «средн (t, n)» («mean»); - наборным полем ввести значение требуемой константы; - нажать кнопку ВВОД («ENTER»); при этом установленная константа фиксируется в памяти прибора и сохраняется в ней до следующего набора или выключения прибора из сети; - в любой момент нажатием кнопки соответствующей математической операции санкционируется реализация заданной функции. С этого момента индикатор фиксирует показания в соответствии с видом математической операции. <p>Отказ от любого вида обработки производится повторным нажатием включенной кнопки.</p> <p>Независимость кнопок математической обработки и полная автономность процедуры ввода констант позволяют использовать различные сочетания математических операций: при одновременно включенных кнопках «d» и «c» реализуется функция $c \cdot (x - d)$ или $cx - d$ в зависимости от того, какая константа включена первой, а если включена еще и кнопка «средн (t, n)» («mean»), то реализуется операция усреднения функции $c \cdot (x - d)$ или $cx - d$.</p> <p>Примечание – Усреднение за n измерений ввиду ограниченного объема памяти выполняется по алгоритму:</p> $\alpha_{i+1} = \alpha_i - \frac{1}{n} \alpha_i + \frac{1}{n} x_{i+1},$ <p>где α_i - усредненная величина,</p> <p>x – непосредственно измеренная или уже обработанная другими операциями величина.</p>

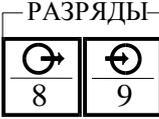
Продолжение таблицы 7.1

Назначение кнопок	Порядок работы					
	<p>Усреднение по данному алгоритму эквивалентно включению РС-цепи с постоянной времени, пропорциональной n. При включении прибора в сеть автоматически включаются исходные значения констант: $d = 0, c = 1, n = 1$.</p> <p>ВНИМАНИЕ! В режиме калибратора индикатор отображает установленный уровень напряжения, а на выходных зажимах присутствует математически обработанный уровень сигнала. В режиме измерения индикатор отображает математически обработанный сигнал. При необходимости на индикатор может быть вызван исходный (необработанный) сигнал «Vx» без нарушения режима обработки: см. описание кнопки «Vx, Ix»</p>					
<p>СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗМЕРЯЕМОГО НАПРЯЖЕНИЯ</p>	<div style="text-align: center;"> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <tr> <td style="padding: 5px;">#</td> <td style="padding: 5px;">макс</td> <td style="padding: 5px;">средн (t, n)</td> <td style="padding: 5px;">мин</td> </tr> </table> <table border="1" style="display: inline-table; border-style: dashed; margin-right: 20px;"> <tr> <td style="padding: 5px; text-align: center;">время</td> </tr> </table> </div> <p>Статистическая обработка по серии измерений реализуется группой кнопок «#», «мин» («min»), «средн (t, n)» («mean»), «макс» («max»). Этими кнопками обеспечивается регистрация, запоминание и индикация (по вызову) среднего и экстремальных значений измеряемой величины. Кроме того, по желанию пользователя, может быть определено время фиксации этих значений. При статистическом анализе осуществляется усреднение за интервал времени t (выше рассматривался вариант усреднения по установленному количеству n измерений).</p> <p>Кнопкой «#» включается режим статистического анализа измерений, после чего начинается отсчет времени статистического анализа с фиксацией моментов прохождения измеряемого параметра через точки экстремума (минимум и максимум). Любое из анализируемых значений может быть отображено на индикаторе нажатием соответствующей кнопки. При этом включается ее подсвет.</p> <p>При нажатии кнопки TIME на индикаторе прибора индицируется время от момента включения прибора в сеть, а в зависимости от включенной (подсвеченной) кнопки «мин» («min») или «макс» («max») индицируется время фиксации минимума или максимума. Если включена кнопка «средн (t, n)» («mean»), то на табло индицируется интервал времени усреднения (времени статистического анализа). Время отображается в традиционной форме «XX-XX-XX» (часы-минуты-секунды). Включение одной из трех кнопок «мин» («min»), «средн (t, n)» («mean»), «макс» («max») автоматически выключает другую. Повторным нажатием включенной кнопки производится ее выключение. Кнопка «#», а вместе с тем и режим статистического анализа, выключается ее повторным нажатием. При этом происходит полное разрушение (очистка) информации анализа. При включенной кнопке «#» работа всех кнопок лицевой панели прибора, кроме кнопок статистического анализа и ВРЕМЯ (TIME), блокируется. Для возобновления работы других кнопок необходимо выключить кнопку «#»</p>	#	макс	средн (t, n)	мин	время
#	макс	средн (t, n)	мин			
время						

Продолжение таблицы 7.1

Назначение кнопок	Порядок работы
<p>ВСТРОЕННЫЙ ТАЙМЕР</p>	<div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 40px; margin: 0 auto; padding: 2px;"> ВРЕМЯ 7 </div> <p>После нажатия кнопки ВРЕМЯ (TIME) индицируется время включенного состояния прибора (время работы). Другие возможности использования кнопки рассмотрены выше</p>
<p>ВЫЗОВ ТЕКУЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ (БЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ) СИГНАЛА НА ИНДИКАТОР</p>	<div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 40px; margin: 0 auto; padding: 2px;"> $V_x(I_x)$ 5 </div> <p>При любом виде математической обработки сигнала (усреднение, «x - d», «x · c», «Δ», «%») можно, не нарушая режима обработки, вызвать на табло индикатора текущее значение напряжения или тока. При этом достаточно включить кнопку «Vx (Ix)» и на индикаторе появляется текущее значение напряжения (тока, если функционирует калибратор силы тока). Если режимы обработки не включены, работа кнопки «Vx (Ix)» блокируется (отсутствует подсвет). При выключении кнопки «Vx (Ix)» на индикаторе восстанавливается исходный режим регистрации показаний.</p> <p>Примечание – В режиме совместной работы калибратора и вольтметра работа кнопки «Vx (Ix)» блокируется</p>
<p>УСТАНОВКА УРОВНЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДИМЫХ НАПРЯЖЕНИЯ И СИЛЫ ТОКА</p>	<div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 40px; margin: 0 auto; padding: 2px;"> ЛИМИТ </div> <p>Кнопка ЛИМИТ (LIMIT, «ограничение») позволяет ограничить верхний предел воспроизводимых напряжений (или токов). После введения такого ограничения оператор не сможет установить выходное напряжение (ток) выше уровня ограничения, обеспечив безопасность эксплуатации прибора и его нагрузки даже при ошибочных действиях.</p> <p>Процедурная реализация операции ограничения включает установку или корректировку числового уровня ограничения и, по желанию, контроль этого уровня.</p> <p>Установка уровня ограничения производится вводом числовой информации с помощью кнопок наборного поля следующим образом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - включить кнопку ВВОД (ENTER); - включить кнопку ЛИМИТ (LIMIT) – включается подсвет; - кнопками наборного поля набрать числовое значение уровня ограничения и нажатием кнопки ВВОД (ENTER) ввести в память прибора, где оно хранится до ввода нового значения или выключения прибора из сети; - в любой момент нажатием кнопки ЛИМИТ (LIMIT), санкционируется реализация установленной функции ограничения. С этого момента значение выходного напряжения больше установленного уровня не поступит на выходные зажимы, а при попытке установить его на индикаторе высвечивается сообщение «Hi», если превышен уровень при положительной полярности и Lo – если при отрицательной.

Продолжение таблицы 7.1

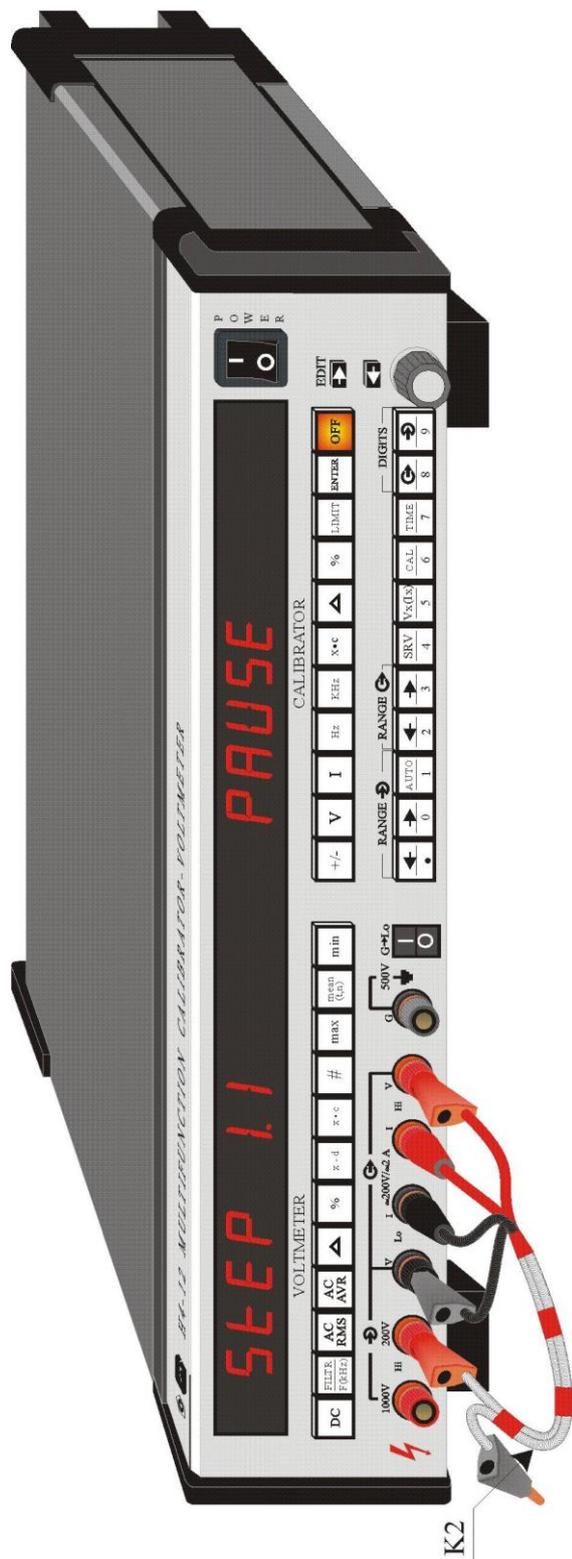
Назначение кнопок	Порядок работы
	<p>Выключением кнопки ЛИМИТ (LIMIT) ограничение снимается. Контроль уровня ограничения осуществляется последовательным нажатием кнопок ВВОД (ENTER) и ЛИМИТ (LIMIT).</p> <p>Примечание – Ввод ограничений блокируется в режиме одновременного функционирования вольтметра и калибратора. Он (ввод) возможен только в режиме калибратора, хотя работа функции ограничения в режиме одновременного функционирования вольтметра и калибратора не исключается</p>
<p>ОТКЛЮЧЕНИЕ (ВКЛЮЧЕНИЕ) ВЫХОДНЫХ КЛЕММ ПРИБОРА</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Кнопкой СБРОС (OFF) обеспечивается отключение выходных клемм от схемы прибора. В этом качестве кнопка выполняет свое основное функциональное назначение – сброс. Именно этому состоянию соответствует подсвеченное состояние кнопки. Команда «СБРОС» («OFF») может выполняться вручную или автоматически (при перегрузках, изменениях режима).</p> <p>Для восстановления связи прибора с нагрузкой требуется повторное нажатие кнопки СБРОС (OFF). Выключение ее подсветки свидетельствует о восстановлении связи калибратора с нагрузкой</p>
<p>ОГРАНИЧЕНИЕ ИНДИЦИРУЕМЫХ РАЗРЯДОВ</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Этой парой кнопок обеспечивается ограничение количества разрядов в режиме калибратора («») и вольтметра («»). При включении первой из них на дисплее калибратора появляется транспарант «», после чего требуется нажать кнопку с оцифровкой «6» или «7» в зависимости от требуемой разрядности калибратора постоянного напряжения.</p> <p>При включении второй кнопки транспарант «» появляется на дисплее вольтметра и появляется возможность более широкого выбора количества индицируемых разрядов вольтметра, от 4 до 7, нажатием кнопки с соответствующей оцифровкой.</p> <p>ВНИМАНИЕ! В режиме калибратора переменного напряжения отсутствует возможность ручного выбора разрядности шкалы, но реализуется автоматическое ограничение разрядности до 5,5 на частотах выше 105 kHz и до 4,5 на частотах выше 305 kHz</p>

Продолжение таблицы 7.1

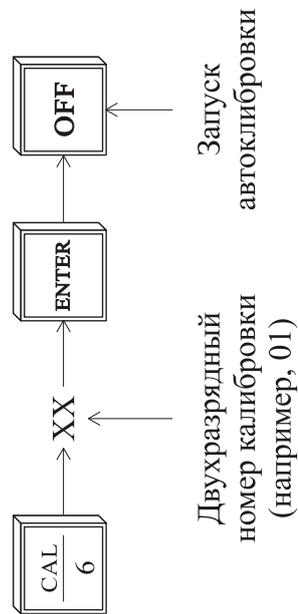
Назначение кнопок	Порядок работы
РЕДАКТИРОВАНИЕ ДАННЫХ	<p style="text-align: center;">РЕДАКТ</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Органами редактирования РЕДАКТ (EDIT): кнопки «→», «←» и регулятор уровня, производится редактирование числовой информации. Особую ценность эта процедура представляет в режиме калибратора напряжения или тока, т.к. позволяет реализовать прямую (без предварительного набора) загрузку выхода калибратора.</p> <p>Редактируемый разряд на индикаторном табло выделяется маркером (мигающий разряд). Если на индикаторе нет маркера, то после нажатия одной из кнопок «→» или «←» он появляется с соответствующей стороны индикатора уровня. Последующим нажатием кнопки обеспечивается продвижение маркера по полю индикатора.</p> <p>Примечание – В режимах воспроизведения переменного напряжения или тока продвижение маркера распространяется и на поле индикатора частоты, обеспечивая возможность ее редактирования.</p> <p>Числовое значение установленного параметра изменяется регулятором уровня в сторону возрастания или убывания в зависимости от направления вращения. При переполнении редактируемого разряда информация переходит в следующий разряд (или предыдущий) до тех пор, пока вращается регулятор.</p> <p>По окончании процедуры мигающий разряд может быть прерван нажатием кнопки «↻/9».</p> <p>На кнопку «→» группы РЕДАКТ (EDIT) возложена дополнительная функция: расширение шкалы 5-разрядного вольтметра до 6-разрядной при его работе в режиме стандартного вольтметра (когда измерения осуществляются не дифференциальным, а прямым методом и, соответственно, сохраняется погрешность 5-разрядного вольтметра). Порядок реализации этого режима следующий:</p> <ul style="list-style-type: none"> - установить 5-разрядную шкалу вольтметра; - нажать кнопку «РАЗРЯДЫ ↻»; - нажать кнопку «→» РЕДАКТ (EDIT). <p>ВНИМАНИЕ! Внешних признаков того, что 6-разрядная шкала вольтметра описанным способом установлена, нет. По этой причине необходимо особенно внимательно производить вышеуказанные действия, т.к. при этом возможен 6-разрядный режим дифференциального вольтметра, отличающийся более высокой точностью, но низкой скоростью измерения</p>

Продолжение таблицы 7.1

Назначение кнопок	Порядок работы
<p>ВКЛЮЧЕНИЕ АВТОКАЛИБРОВКИ</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>В приборе Н4-12 реализовано несколько видов автокалибровок: метрологических, диагностических, технологических.</p> <p>Для осуществления внутренней автокалибровки (калибровки без привлечения внешних аппаратных средств) необходимо внешнее соединение выхода калибратора с входом вольтметра в соответствии с рисунком 7.2. Все калибровки имеют двухразрядную нумерацию, по которой они идентифицируются встроенным микропроцессором прибора. Отсюда следующий порядок включения автокалибровки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - включить кнопку «▼» (CAL), на дисплее появится транспарант ; - набрать номер калибровки; - нажать кнопку ВВОД (ENTER), а затем кнопку СБРОС (OFF), (см. мнемосхему на рисунке 7.2) <p>ВНИМАНИЕ! Перейти в режим калибровки можно только из режима калибратора напряжения (постоянного или переменного при включенных низковольтных пределах «0,2 V», «2 V» и «20 V»). В любом другом исходном состоянии кнопка «▼» (CAL) блокируется</p>
<p>РЕГУЛИРОВКА ЯРКОСТИ ДИСПЛЕЯ</p>	<p>Предусмотрено девять градаций яркости дисплея. Доступ к регулятору яркости санкционируется калибровкой № 96 (последовательный набор кнопками «▼» (CAL), «9», «6», ВВОД (ENTER), СБРОС (OFF). Роторным регулятором уровня группы РЕДАКТ (EDIT) устанавливается оптимальная яркость</p>



K2



Инициировать внутреннюю автокалибровку можно только из режима калибратора напряжения с пределами «0,2 V», «2 V» и «20 V» (исходное состояние для ее реализации).

Рисунок 7.2 – Реализация внутренней автокалибровки и мнемосхема включения ее клавиатурой прибора

7.4 Органы подключения приборов Н4-12 и Н4-12БВ. Расположение, конструктивные особенности и назначение

7.4.1 Органы подключения, расположенные на передней панели прибора Н4-12, изображены на рисунке 7.1. Выходные клеммы калибратора представлены группой из четырех клемм, объединенных графическим символом « \ominus » («выход»). Пара высокопотенциальных клемм выхода красного цвета маркированы символом «Hi», а низкопотенциальных (черного цвета) – символом «Lo». Каждая из этих пар имеет силовой (токовый) выход, маркированный символом «I», и измерительный (потенциальный) выход, маркированный символом «V». Токовые и потенциальные выводы нагрузки должны подключаться соответствующим образом.

Входные клеммы вольтметра объединены символом « \oplus » («вход») и представлены парой клемм красного (высокопотенциальный вход «Hi») и черного (низкопотенциальный вход «Lo») цвета.

Низкопотенциальные клеммы входа (вольтметра) и выхода (калибратора) являются общими (то есть гальванически связанными) для обоих режимов работы прибора.

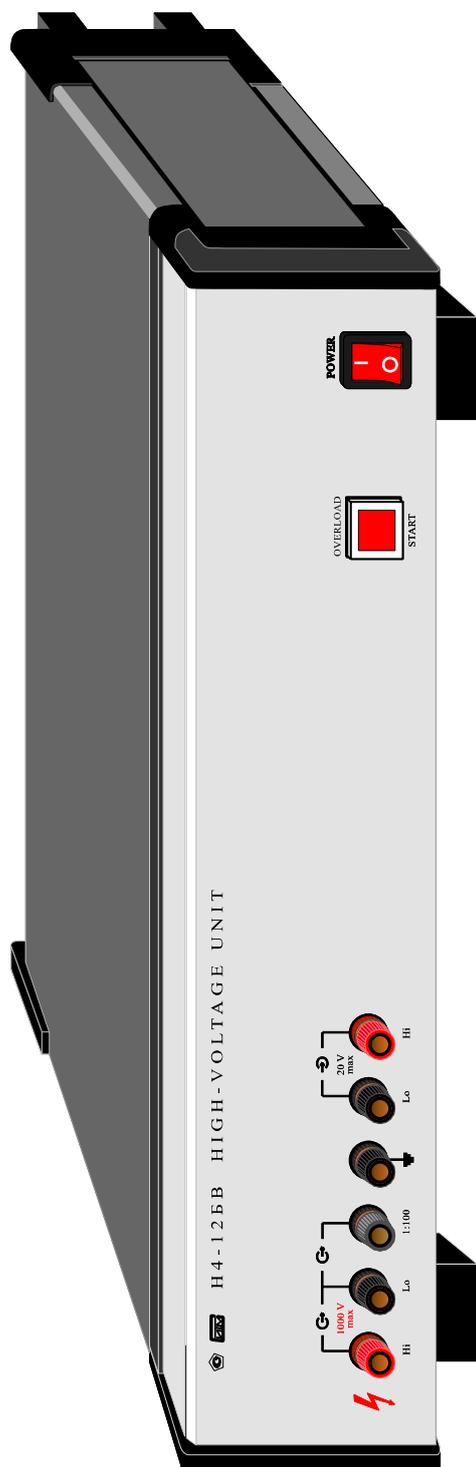
Вольтметр содержит дополнительную высокопотенциальную клемму, обеспечивающую измерение напряжений переменного тока более 300 V (до 1000 V).

7.4.2 Клемма «G» (защитный экран) в процессе эксплуатации соединяется с низкопотенциальными клеммами. Такое соединение реализуется тумблером «G → Lo» (в верхнем положении). Для соединения клеммы «G» с низкопотенциальными клеммами непосредственно на соответствующем выводе удаленной нагрузки (см. п.8.5.5) тумблер «G → Lo» переводится в выключенное (нижнее) положение, когда гальваническая связь экрана «G» с клеммами «Lo» внутри блока разрывается, открывая возможность для внешнего соединения непосредственно на нагрузке.

7.4.3 Блок высоковольтный Н4-12БВ (внешний вид представлен на рисунке 7.3) имеет две пары выводов входа « \oplus » и выхода « \ominus ». К входным клеммам подключается напряжение с выхода прибора Н4-12, а нагрузка подсоединяется к клеммам выхода блока высоковольтного. Дополнительный выход «1:100» (выходное напряжение снижается в 100 раз) носит служебный характер: для подключения контрольных приборов, например, осциллографа, измерителя искажений и т.п., т.е. приборов, не рассчитанных на работу с источниками до 1000 V.

На передней панели высоковольтного блока расположена кнопка ПЕРЕГРУЗКА (OVERLOAD) защиты от перегрузки. Ее подсвет является сигналом перегрузки блока и соответствует состоянию, когда клеммы выхода обнуляются. Для возврата блока в рабочее состояние необходимо нажать эту кнопку ПУСК (START). Кнопка ПЕРЕГРУЗКА (OVERLOAD) срабатывает только автоматически, спровоцировать такое состояние вручную невозможно.

Включенное состояние блока Н4-12БВ индицируется подсветом сетевого тумблера СЕТЬ (POWER). Состояние клемм (включены или отключены), напряжение на них определяется индикаторами и клавиатурой базового прибора Н4-12.



Русская версия Экспортная версия

ПЕРЕГРУЗКА OVERLOAD
 ПУСК START
 СЕТЬ POWER

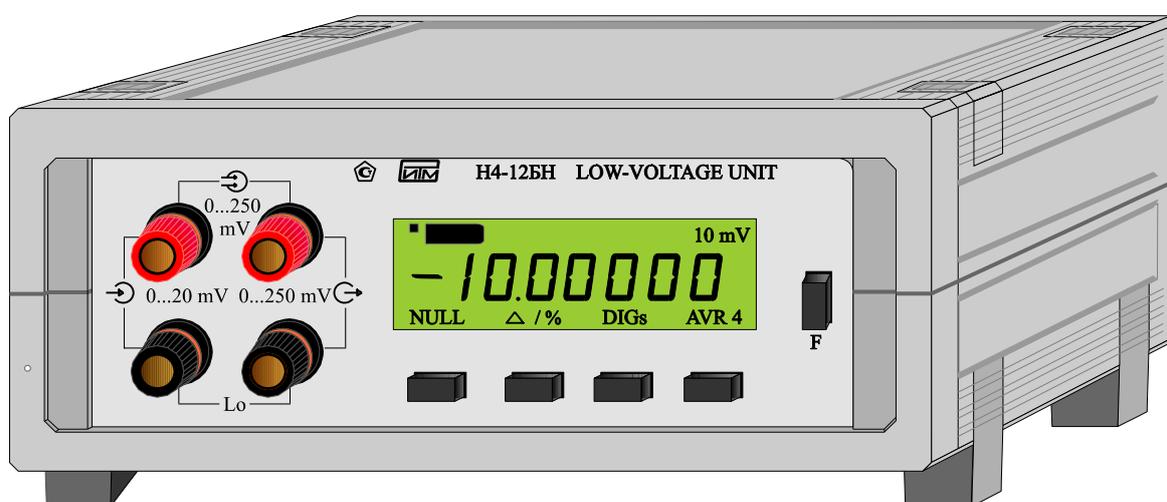
Рисунок 7.3 – Блок высоковольтный Н4-12ВВ. Вид со стороны передней панели

7.5 Расположение и назначение органов индикации, управления и подключения блока низковольтного Н4-12БН

7.5.1 В соответствии с основным назначением (измерение и воспроизведение напряжения постоянного тока на пределах «20 mV» и «200 mV») низковольтный блок Н4-12БН агрегируется с базовым прибором, и в этой совокупности управление им осуществляется клавиатурой прибора Н4-12, а индикация реализуется на его (Н4-12) дисплеях.

В автономном режиме низковольтный блок может эксплуатироваться как усилитель с коэффициентом передачи, равным 100, и как нановольтметр со своим дисплеем, клавиатурой и самостоятельным интерфейсом для связи (через оптический канал) с персональным компьютером.

7.5.2 Органы управления, индикации и подключения (к источнику сигнала, нагрузке) расположены на передней панели (рисунок 7.4), а органы подключения (терминалы), обеспечивающие связь с базовым блоком – на задней панели (показаны на рисунке 7.5).



**Русифицированная версия обозначений клавиатуры
в автономном режиме работы**

NULL – нуль

DIGs – число (разрядов индикатора)

AVR4 – усреднение (показаний) за 4 секунды

Lo – низкопотенциальный вывод (общий)

Рисунок 7.4 – Передняя панель блока низковольтного Н4-12БН

7.5.3 **Дисплей низковольтного блока** представляет собой графический жидкокристаллический индикатор. Центральный сектор (половина площади окна) выделен для представления цифровой измерительной информации, а нижний – для обозначения (и переназначения) кнопок клавиатуры и другой служебной информации. Четыре кнопки нижнего ряда двойного (и даже тройного) назначения. Переназначение функции кнопки реализуется нажатием кнопки «F» (функция). После ее нажатия название кнопок в соответствии с назначением меняется, предоставляя оператору право выбора режима последующей работы прибора. В таблице 7.2 описаны функции кнопок в режиме измерения, а в таблице 7.3 – назначение этих же кнопок при выборе режима работы блока. При калибровке осуществляется очередное перенаименование кнопок (этот режим рассматривается в разделе 10 «Техническое обслуживание»).

После включения питания блок автоматически переходит **в режим измерения (исходный режим)** с назначением кнопок, соответствующим таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Описание кнопок блока Н4-12БН в режиме измерения

Обозначение кнопок	Назначение кнопок в режиме измерения
NULL 	Кнопка NULL («нуль») реализует функцию обнуления показаний индикатора. При нажатии ее индикатор принимает измеренное значение за начало отсчета от нулевого значения. Режим применяется в тех случаях, когда требуется исключить напряжение смещения. Не рекомендуется обнулять значительные уровни смещения (более 2 – 5 % шкалы), для таких случаев следует пользоваться кнопкой «Δ/0%»
DIGs 	Кнопкой DIGs («число», имеется в виду число разрядов) реализуется ограничение количества индицируемых разрядов от 6 до 3. Каждое нажатие убирает младший разряд до трех, после чего начинается новый цикл
Δ/0% 	Кнопкой «Δ/0%» реализуется режим регистрации приращений напряжения в единицах измерения напряжения (первое нажатие кнопки) или процентах (второе нажатие). При включении этой кнопки индикатор обнуляется, а все последующие изменения измеряемого напряжения воспринимаются индикатором прибора, как отклонения ΔU от первоначального значения U ₀ , зафиксированного в памяти прибора при нажатии кнопки. Таким образом, в режиме регистрации приращения реализуется функция: $\Delta U = U_x - U_0 \text{ или } \Delta U = \frac{U_x - U_0}{U_0} \cdot 100 \%,$ где U _x – измеряемое напряжение. Включение режима регистрации приращений индицируется в правом секторе цифрового поля знаком «Δ» (отсчет в милливольтках) или «0%»
AVR1 	Кнопкой AVR1 («усреднение») выбирается время усреднения показаний . Если кнопка не активируется, время равно 1 s, после первого нажатия – 2 s, после второго – 4 s, после третьего – 8 s, а далее начинается новый цикл. Измерения производятся в течение заданного интервала временного фильтра, а затем усредняются для вывода результата на дисплей. Снижая скорость измерений, можно добиться более высокой чувствительности (см. таблицу 4.15). Все действия с кнопкой AVR1 индицируются на дисплее (в зоне кнопки) в виде указателя времени усреднения

В верхнем правом секторе индикаторного поля индицируется текущий предел измерения: «2,5 mV», «5 mV», «10 mV» или «20 mV».

В левом верхнем секторе поля (над символом полярности) маркируется завершение очередного измерительного цикла: 1; 2; 4 или 8 секунд. Мигающий квадратик индицирует скорость измерения. Чуть правее располагается индикатор разряда батарей аккумулятора (по мере разряда уменьшается заштрихованный сектор символа).

7.5.4 Выбор режима работы блока инициируется нажатием кнопки «F». После ее нажатия назначение кнопок меняется, предоставляя оператору право выбора одного из трех возможных режимов работы блока:

- калибровка (CAL);
- работа в системе с базовым блоком Н4-12 (SYST);
- работа в автономном режиме измерения с передачей данных через оптический интерфейс («Tx»).

Некоторые особенности практической реализации этих режимов описаны в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Описание кнопок выбора режима работы блока Н4-12БН

Обозначение кнопок (после нажатия кнопки «F»)	Назначение кнопок при выборе режима работы
<p>CAL</p> 	<p>Нажатием этой кнопки блок переходит в режим калибровки. процедурная реализация этого режима описана в разделе 10 «Техническое обслуживание» (п.10.3.5)</p>
<p>SYST</p> 	<p>Нажатием этой кнопки блок Н4-12БН переходит из автономного в системный режим работы. Под термином «системный» здесь имеется в виду совместная работа базового (Н4-12) и низковольтного блоков, когда все манипуляции, связанные с управлением, отображением и прочими элементами взаимодействия, переходят к соответствующим органам базового блока. Работа клавиатуры и индикатора прибора Н4-12БН блокируется (кнопки обезличены, измерительная информация не индицируется). Такое положение позволяет более экономно использовать ресурс батарейного питания. Однако и в «системе» усилитель низковольтного блока должен функционировать, т.е. должна обеспечиваться индикация того, что усилитель включен (прогревается, работает). По этой причине после включения кнопки SYST индикатор остается в активном (подсвеченном) состоянии, а на его поле отображается стилизованная шкала разряда аккумуляторных батарей. Шкала отградуирована (по весьма усредненным критериям) в относительных единицах емкости заряда. Если указатель опустился до уровня 0,1 – 0,2 шкалы, наступило время очередного заряда. Другим критерием снижения емкости батарей может стать снижение контрастности изображения.</p> <p>Возврат из системного в автономный режим работы реализуется нажатием кнопки «F» (блок переходит в стандартный режим измерений)</p>
<p>Tx</p> 	<p>Нажатием этой кнопки инициируется работа оптического интерфейса, через который данные измерительной информации передаются персональному компьютеру. После нажатия кнопки «Tx» прибор переходит в режим измерения, при котором кнопка «Δ / %» (см. таблицу 7.2) позиционируется как «Tx», индицируя режим передачи данных по каналу интерфейса. повторным нажатием кнопки «Tx» блокируется работа интерфейса, и блок переходит в стандартный режим измерения в соответствии с таблицей 7.2 (кнопке «Tx» возвращается статус «Δ / %»)</p>

7.5.5 **Выходные клеммы** нанокалибратора выделены стилизованным символом выхода «», **входные клеммы** стандартного нановольтметра – символом входа «». Две верхние клеммы, маркированные символом «», являются входными для дифференциального вольтметра. При этом режим входной сигнал компенсируется напряжением нанокалибратора, а разность измеряется базовым блоком. Режим дифференциального вольтметра (так же, как и калибратора) реализуется только в совокупности с базовым блоком. Входными клеммами прибора Н4-12БН в автономном режиме являются клеммы входа стандартного вольтметра («»).

Клеммы входа-выхода – медные, для максимального снижения уровня паразитных термо-э.д.с. При работе используется клеммный зажим, а гнездо использовать не рекомендуется, т.к. медь является мягким металлом и не обладает требуемой упругостью.

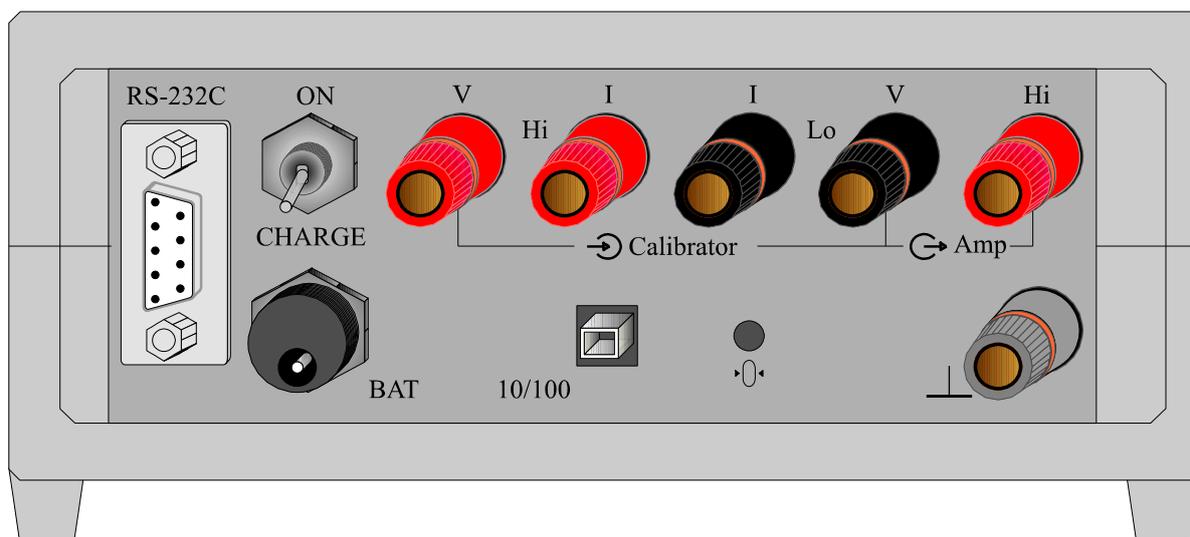
7.5.6 **Задняя панель** блока Н4-12БН представлена на рисунке 7.5. Клеммы верхнего ряда предназначены для соединения с базовым прибором Н4-12, при этом соединение с калибратором реализуется по четырехзажимной схеме, т.к. встроенный в блок Н4-12БН делитель потребляет заметный ток. Выходной сигнал нановольтового усилителя (клеммы « Amp») поступает на вход вольтметра Н4-12.

На задней стенке размещен тумблер включения питания. Включенное состояние соответствует положению ON, противоположное положение тумблера маркировано CHARG («заряд»), т.к. через контакты выключенного тумблера осуществляется заряд аккумуляторных батарей. Клемма для подключения зарядного устройства имеет маркировку BAT.

На задней стенке расположен разъем для соединения с базовым прибором, через который реализуется управление блоком во время его работы в совокупности с прибором Н4-12. Разъем маркирован «10/100», указывая на то, что через него устанавливается коэффициент усиления 10 или 100 усилителя блока (пределы «200 mV» и «20 mV»).

Регулировка «▶0◀» предназначена для установки минимального тока входной цепи усилителя нановольтметра (так называемый, нуль по току).

Клеммы выхода усилителя (« Amp») используются в автономном режиме усиления (с коэффициентом передачи 100) напряжений постоянного и переменного (до 2 kHz) тока.



Русифицированная версия обозначений

ON – включен

CHARGE – заряд батарей

BAT – батарея

 Calibrator – вход калибратора

 Amp – выход усилителя

RS-232C – интерфейс СТЫК С2

Рисунок 7.5 – Задняя панель блока низковольтного Н4-12БН

8 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

8.1 Меры безопасности при работе с прибором

8.1.1 Калибратор-вольтметр Н4-12, являясь и измерителем и источником напряжения, рассчитан на обслуживание приборов как генераторного, так и измерительного типа, что создает потенциальную опасность, как для самого прибора, так и для его объектов. По указанным причинам требуется проявлять внимание и осторожность при внешних соединениях входных и выходных зажимов (приемник сигнала или источник сигнала). В приборе предусмотрены меры по защите и блокировке случайного переключения его в режим калибратора. Любое переключение в режим калибратора автоматически отключает схему калибратора от выходных гнезд. Только выключением кнопки СБРОС (OFF) восстанавливается связь калибратора с выходными клеммами. Неквалифицированные действия оператора можно дополнительно подстраховать предварительной установкой ограничения уровня выходного параметра: превышение этого уровня вызывает блокирование выхода калибратора (см. таблицу 7.1, кнопка ЛИМИТ (LIMIT)).

8.1.2 К входным клеммам прибора Н4-12 могут подводиться (от используемого устройства, в том числе и от блока высоковольтного Н4-12БВ) опасно высокие уровни напряжения: до 1000 V постоянного и переменного напряжения. Эти клеммы, как и другие соединения с источником напряжения, могут находиться под смертельным для человека напряжением, по-этому их нельзя касаться во время работы. Если требуется устранить возникшую в процессе эксплуатации проблему (неисправность), необходимо вначале отключить источник напряжения (обнулить или включить кнопку СБРОС).

Аналогичная ситуация имеет место, когда прибор Н4-12, а тем более комплекс из приборов Н4-12 и Н4-12БВ, сам становится источником опасного (до 1000 V) напряжения в режиме калибратора. Выходные клеммы приборов Н4-12 и Н4-12БВ, соединительные провода и клеммы приемника напряжения находятся под смертельным для человека напряжением. При необходимости устранить возникшую проблему вначале требуется снять высокое напряжение с выходных клемм калибратора включением (индицируется подсветом) кнопки СБРОС (OFF), которой схема отключается от выходных клемм прибора Н4-12, и обнулить установленный уровень напряжения.

8.1.3 При измерении и воспроизведении напряжений свыше 500 V амплитудного значения и использовании заземленного источника или нагрузки необходимо подключать низкопотенциальные клеммы прибора Н4-12 или Н4-12БВ к заземляющему выводу используемого источника или нагрузки.

8.1.4 Для мнемонического разделения высоко- и низкопотенциальных выводов приборов комплекса используется цветовое маркирование: высокопотенциальные зажимы «Н» – красного цвета, а низкопотенциальные «L» – черного.

8.2 Прогрев и установочные калибровки

8.2.1 Как и большинство прецизионных приборов калибратор-вольтметр Н4-12 нуждается в первоначальных (установочных) калибровках нулей, масштабов, опорного напряжения. Установочные калибровки исключают накопление погрешности из-за дрейфа во времени характеристик наиболее ответственных узлов прибора. Такие калибровки могут проводиться только при установившихся процессах стабилизации температурных и электрических режимов внутриприборных компонентов, т.е. после определенного времени прогрева.

8.2.2 Для всех приборов комплекса установлен следующий регламент прогрева:

- Н4-12 – 3 часа;
- Н4-12МН – 2 часа;
- Н4-12БН – 0,5 часа;
- Н4-12БВ – 2 часа (при работе под управлением вольтметра – 15 минут).

При снижении требований к характеристикам в два раза время прогрева может быть соответственно (в два раза) уменьшено. Время прогрева может быть снижено и в три раза. В этих случаях не рекомендуется проводить установочных калибровок.

8.2.3 В общем случае классифицировать, как установочные, можно четыре вида автокалибровок:

- | | |
|---|---|
| - автокалибровка № 01
(продолжительность около 8 минут) | - установка нулей и масштабных коэффициентов всех пределов прибора Н4-12; |
| - автокалибровка № 02
(продолжительность 1,5 минуты) | - установка нулей вольтметра; |
| - автокалибровка № 23
(продолжительность около 1 минуты) | - калибровка источника опорного напряжения прибора Н4-12 (не требуется, если предполагаются только относительные измерения); |
| - автокалибровка № 15
(продолжительность около 1 минуты) | - калибровка низковольтного блока Н4-12БН (требуется при работе в режиме измерений напряжений постоянного тока на пределах «20 mV» и «200 mV»). |

Процедурная реализация указанных калибровок описана в подразделе 9.1.

8.2.4 Далее рассматриваются особенности эксплуатации приборов комплекса в режимах воспроизведения и измерения, а именно, каким образом с помощью традиционных способов и некоторых специальных приемов можно добиться наивысших характеристик при работе. Вся эта информация не претендует на право считаться всеобъемлющей и быть обязательной к исполнению. Скорее всего, она может рассматриваться в качестве полезной рекомендации.

8.3 Выбор конфигурации и агрегатирование комплекса

8.3.1 **Состав комплекса**, приведенный на рисунке 4.1, дополняет самая общая информация о режимах и диапазонах функционирования приборов комплекса. Эта первичная информация призвана помочь определиться с выбором конфигурации и агрегатированием комплекса. Концепция комплекса ориентирована на доминирующую роль базового блока Н4-12. Ниже приведены варианты агрегатирования комплекса в зависимости от поставленных задач.

8.3.2 Решение задачи **измерения напряжения переменного** тока обеспечивает базовый блок Н4-12 (см. рисунок 7.1). Таким образом, комплекс превращается в моноблок, обеспечивающий измерение переменного напряжения от нескольких сот микровольт до 1000 V с разрешающей способностью до 0,1 μV . Автоматический выбор пределов измерения реализуется до 300 V. Предел «1000 V» реализован отдельной клеммой входа.

8.3.3 Для решения задачи **измерения напряжения постоянного тока**, как правило, достаточно использовать прибор Н4-12, т.к. его диапазон измерений от десятых долей микровольт до 1000 V остается наиболее востребованным в измерительной практике. О возможности измерения напряжений нановольтового диапазона см. п. 8.3.5.



ОСОБОЕ ВНИМАНИЕ ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ НЕОБХОДИМО УДЕЛЯТЬ ПРИ РАБОТЕ С ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ.

НЕ РАБОТАЙТЕ В ОДИНОЧКУ И НЕ ПОЛАГАЙТЕСЬ НА НАДЕЖНОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЕЙ. **ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ РАЗРЯД** МОЖЕТ ПРОИЗОЙТИ МЕЖДУ ДВУМЯ ТОЧКАМИ (ШАГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ) ИЛИ ЧЕРЕЗ ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ.

УБЕДИТЕСЬ, ЧТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ НАКОНЕЧНИКИ ЧИСТЫЕ И СУХИЕ, НА НИХ ОТСУТСТВУЮТ СМАЗКА ИЛИ ЖИРОВЫЕ ПЯТНА. ПОМНИТЕ, ЧТО ЕСЛИ ОБОРУДОВАНИЕ БЫЛО ВЫКЛЮЧЕНО, ТО ЕГО КОНДЕНСАТОРЫ МОГУТ ХРАНИТЬ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ЗАРЯД!

8.3.4 При **воспроизведении напряжения постоянного и переменного тока** калибратор базового прибора обеспечивает перекрытие диапазонов напряжения постоянного и переменного тока от десятых долей микровольт до 200 V. Реализация предела «1000 V» постоянного и переменного напряжения обеспечивается агрегатированием базового прибора с высоковольтным блоком Н4-12БВ. В этом составе высоковольтный блок усиливает в 50 раз выходное напряжение (от 0 до 20 V) базового блока, реализуя на своих выходных клеммах напряжение от 0 до 1000 V (нормируется от 100 V).

ВНИМАНИЕ! Не рекомендуется использование блока Н4-12БВ в качестве усилителя сигналов других источников, т.к. все его калибровочные константы (нулей, масштабных коэффициентов, амплитудные и частотные) хранятся в памяти базового прибора и реализуются при их совместной работе. По этой же причине замена блока Н4-12БВ на некомплектный невозможна без его перекалибровки под данный базовый прибор. При выходе блока Н4-12БВ из строя на ремонт и калибровку должна высылаться комплектная пара (Н4-12БВ со своим Н4-12).

8.3.5 **Измерение и воспроизведение напряжения постоянного тока в нановольтовом диапазоне** реализуется агрегатированием базового прибора и низковольтного блока Н4-12БН. Так как комплекс призван обеспечить и воспроизведение, и измерение напряжений, необходимо осуществить связь калибраторов блоков (по четырехпроводной линии связи), и соединить выход усилителя низковольтного блока с входом вольтметра базового прибора. Это соединение реализуется специальным кабелем с пятилепестковыми наконечниками (см. подраздел 8.9). Для реализации режима нанокалибратора в схеме прибора Н4-12БН содержится прецизионный делитель с коэффициентом передачи 1:100 (9,9 kΩ/100 Ω). При подаче на вход этого делителя напряжения с выхода базового блока реализуются пределы «200 mV» (на выходе базового блока – предел «20 V») и «20 mV» (на выходе базового блока – предел «2 V»).

В режиме вольтметра измеряемый сигнал в 100 раз усиливается в низковольтном блоке, а далее измеряется вольтметром базового блока.

При работе в нановольтовом диапазоне используются медные клеммы входа-выхода блока Н4-12БН.

ВНИМАНИЕ! В схеме низковольтного блока используются компоненты с низким напряжением питания (не более ±3,5 V). Не допускайте работы с источниками сигнала более 3 V, т.к. это приведет к выходу прибора из строя!



8.3.6 Если **при воспроизведении силы постоянного и переменного тока** диапазон воспроизводимых токов ограничен величиной 2 А, то достаточно применения моноблока Н4-12, с токовых выходов («I») которого снимается требуемое значение силы тока.

Диапазон воспроизводимых токов до 30 А реализуется агрегатированием базового прибора с преобразователем напряжение-ток Я9-44. В этом случае выход калибратора напряжения базового прибора соединяется с входом «» преобразователя Я9-44, а выходной ток предела «20 А» снимается с его выхода «». Управление осуществляется клавиатурой базового прибора, на выходе которого устанавливается напряжение, равное (в цифровом эквиваленте) требуемому значению силы тока.

8.3.7 **Прямое измерение силы постоянного и переменного тока** не предусмотрено. Однако наличие в составе комплекса мер сопротивления Н4-12МС, способных работать как на постоянном, так и на переменном токе, позволяет реализовать эту функцию в совокупности базового прибора с мерами сопротивления.

Базовый прибор в режиме измерения постоянного или переменного напряжения регистрирует напряжение U_R на потенциальных клеммах меры, через токовые выводы которой пропускается измеряемый ток I_x . Зная сопротивление меры R_M (его действительное значение фиксируется в свидетельстве о поверке), можно определить $I_x = U_R/R_M$. Чтобы не заниматься вы-

числениями, для показаний вольтметра следует ввести операцию масштабирования «с·х», где $s = R_N/R_M$ (R_N – номинальное значение меры) и в этом случае индикатор фиксирует I_x (его цифровой эквивалент).

С учетом набора сопротивлений меры Н4-12МС (100; 10; 1 и 0,01 Ω) и пределов измерения вольтметра постоянного и переменного напряжения «0,2 В» и «2 В» могут быть реализованы пределы измерения силы постоянного и переменного тока: «0,2 мА», «2 мА», «20 мА», «200 мА», «2000 мА» и предел «20 А» с перекрытием до 50 А.

8.4 Особенности измерений в нановольтовом диапазоне

8.4.1 С особенностями измерений в нановольтовом диапазоне пользователь неизбежно столкнется при эксплуатации низковольтного блока Н4-12БН. В этом блоке используются специальные конструктивно-технологические и схемотехнические приемы, призванные обеспечить измерение напряжений от единиц нановольт. Однако все предпринятые меры могут оказаться напрасными, если измерительная цепь пользователя не соответствует задачам измерений в нановольтовом диапазоне. Ниже изложены рекомендации по борьбе с этим несоответствием.

8.4.2 Доминирующей помехой измерениям в нановольтовом диапазоне следует считать термо-э.д.с. Эффект термо-э.д.с в ходе измерений может возникнуть из-за соединений разнородных металлов в цепи. Этот эффект неявный и является наиболее распространенным источником погрешностей при измерении малых напряжений. Типовые величины термо-э.д.с. для различных металлов и меди приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Величина термо-э.д.с. материалов в соединении с медью

Гальваническая пара	Величина термо-э.д.с.
Медь – оксид меди	400 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Медь – кремний	400 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Медь – ковар (кобальт-никелевый сплав)	40 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Медь – свинцово-оловянный припой	1,3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Медь – припой кадмий-олово	0,3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Медь – золото	0,3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Медь – серебро	0,3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Медь – медь	менее 0,02 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

8.4.3 Данные таблицы 8.1 свидетельствуют о том, что самым радикальным способом борьбы с термо-э.д.с. является отказ от разнородных материалов, в том числе спаев (альтернатива – обжимка). Так как величина термо-э.д.с. пропорциональна разности температур Δt° соединения, то важным фактором борьбы с ней становится снижение температурных градиентов в измерительной цепи ($\Delta t^\circ \rightarrow 0$). Практическая реализация – в максимально близком размещении всех спаев и механических соединений, обеспечивающем наилучший тепловой контакт (теплопередачу) между ними. В этом случае нужно тщательно подойти к выбору теплопроводящего материала, т.к. большинство электрических изоляционных материалов являются одновременно плохими проводниками тепла. Примером решения этой проблемы может быть витая медная пара из комплекта поставки блока Н4-12БН. Плотная навивка лакированных (эмалированных) проводников минимизирует тепловые градиенты. Такая пара обеспечивает минимальный уровень термо-э.д.с. и с успехом может использоваться при ответственных измерениях. К тому же витая пара проводников способствует подавлению помехи, имеющей электромагнитную природу. Иллюстрацией подобного случая может являться сетевой трансформатор мощности с сильным электромагнитным полем, расположенный поблизости от прибора. Такое соседство приведет к возникновению тока в петле, как если бы это была вторичная обмотка трансформатора, и спорадические сигналы переменного тока будут накладываться на протекающий в цепи

постоянный ток. Однако при применении кабеля в виде скрученной (витой) пары соседние петли эффективно подавляют любое наводимое напряжение из-за встречного направления наведенных токов (в соответствии с рисунком 8.1, где ток помехи – по направлению вращения буравчика с правой нарезкой).

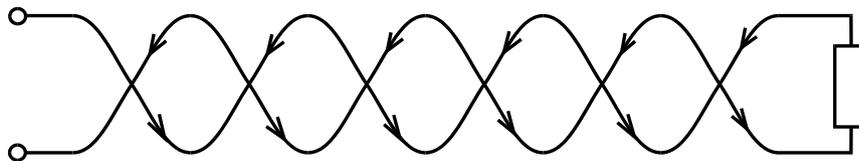


Рисунок 8.1 – Подавление электромагнитной помехи, наведенной в цепи витой пары

8.4.4 Выдержка требуемого времени прогрева аппаратуры, измерительной цепи способствует уменьшению или стабилизации термо-э.д.с. Аппаратура должна находиться вдали от источников горячих или холодных воздушных потоков, прямых солнечных лучей. Полезно защитить места соединений изолирующим пенообразным материалом.

Влияние термо-э.д.с. на результаты измерений постоянного тока можно скомпенсировать, проведя измерения постоянного напряжения дважды; при этом второе измерение осуществить, поменяв полярность входа (высококачественным ключом, имеющим малую собственную термо-э.д.с.). Проиллюстрируем это примером. В соответствии с рисунком 8.2 измерительным прибором осуществляется измерение напряжения источника 100 000 mV. В измерительной цепи может возникнуть термо-э.д.с. величиной 1 μ V указанной на рисунке полярности. В результате показание измерительного прибора станет равным 100 001 mV. Если переключателем поменять полярность напряжения измеряемого источника, показание измерительного прибора будет равно 99 999 mV. Средний из этих двух измерений результат $(99\ 999 + 100\ 001) : 2 = 100\ 000$ mV не содержит паразитной термо-э.д.с. (при условии, что переключатель полярности не создает дополнительную термо-э.д.с.).

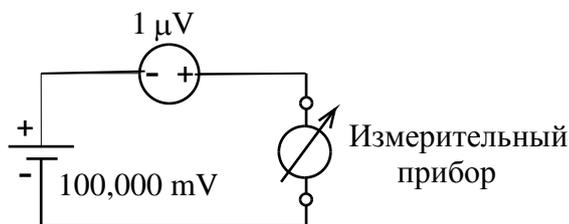


Рисунок 8.2 – Измерительная схема с паразитной термо-э.д.с.

8.4.5 Если сравнить данные первой и последней строки таблицы 8.1, то становится понятно, как важно следить, чтобы открытые контактирующие поверхности (контактные площадки входных- выходных клемм, наконечники кабеля) были очищены от окисных налетов, и как важно использовать бескислородную медь при их конструировании, т.к. окись меди в контакте с чистой медью является источником э.д.с. очень большой величины. Необходимо периодически производить очистку медных зажимов и выводов кабеля от окисной пленки.

Следует помнить, что большие токи могут вызвать появление термо-э.д.с. при их протекании через токовый шунт. Чтобы снизить негативное влияние от этого явления, необходимо дать возможность прибору (измерительной цепи) достичь термодинамического равновесия до начала проведения измерений.

8.5 Влияние реактивных составляющих сопротивления измерительной цепи

8.5.1 Паразитная емкость соединительного кабеля на высоких частотах переменного напряжения или тока нагружает источник (калибратор) или вызывает паразитные потери напряжения, не доведя сигнал «в полной сохранности» до измерителя. По этим причинам паразитная (распределенная) емкость кабелей комплекса, рассчитанных на работу с переменным напряжением, минимизирована (20 – 60 pF). Но если использовать отдельные проводники, то их емкость может составлять около 5 pF (в зависимости от расстояния и длины). При работе с отдельными проводниками необходимо помнить, что и они могут вносить «возмущение» в измеряемый сигнал, будучи приемной антенной для наводок. Поэтому рекомендуется применять по возможности короткие провода, уменьшая тем самым размеры возникающей токовой петли.

8.5.2 При работе с источниками сигналов переменного напряжения существенный вклад в снижение входного сопротивления вольтметра вносит входная емкость, которая в значительной степени определяется емкостью соединительного кабеля. Эта характеристика кабеля никак себя не проявляет в цепях постоянного тока и на самых низких частотах переменного напряжения. Однако на высоких частотах ее влияние таково, что резко снижается заявленное активное входное сопротивление вольтметра переменного напряжения (см. п.4.8.3).

В таблице 8.2 приведена информация по входному сопротивлению (импедансу), создаваемому кабелем на отдельных частотах.

Таблица 8.2 – Импеданс кабеля в зависимости от емкости и частоты

Частота	Импеданс при емкости кабеля		
	5 pF	50 pF	150 pF
100 Hz	320 MΩ	32 MΩ	10 MΩ
1 kHz	32 MΩ	3,2 MΩ	1 MΩ
10 kHz	3,2 MΩ	320 kΩ	100 kΩ
100 kHz	320 kΩ	32 kΩ	10 kΩ
1000 kHz	32 kΩ	3,2 kΩ	1 kΩ

В таблице 8.2 приведены значения для емкости 5 pF – одиночные короткие проводники, 50 pF – штатный кабель «К1» из комплекта поставки и 150 pF – обычный кабель измерительных приборов.

Активная составляющая входного сопротивления на пределах измерения «0,2 V» и «2 V» нормируется величиной 50 MΩ (п.4.8.3), а с увеличением частоты до 1000 kHz, как видно из таблицы 8.2, значение входного сопротивления резко падает. Данные таблицы 8.2 показывают, что **работать на переменном токе можно только с генераторами и калибраторами**, способными «держат» емкостную нагрузку, не изменяя установленного уровня выходного напряжения (подробнее об этом в п.8.6.4). По этим причинам при снятии частотных характеристик делителей используют минимально возможное сопротивление в нижнем плече делителя или используют буферный усилитель на выходе делителя.

В изложенном аспекте рассмотрим проблемы работы калибратора на пределе «0,2 V».

8.5.3 Младший предел калибратора переменного напряжения («0,2 V») формируется резистивным делителем с отношением 1:10 и выходным сопротивлением 20 Ω. Входная емкость $C_{вх}$ измерителя шунтирует нижнее плечо делителя r (в соответствии с рисунком 8.3), в результате чего коэффициент передачи делителя падает с ростом частоты f . Влияние емкости на погрешность передачи ΔK определяется выражением (8.1):

$$\Delta K (\%) = -50 (r \cdot C_{вх} \cdot 2\pi f)^2 \quad (8.1)$$

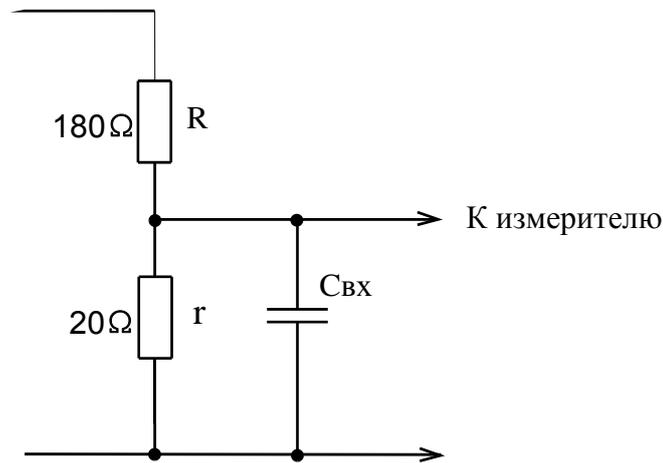


Рисунок 8.3 – Делитель формирования предела «0,2 V»

При выпуске из производства приборы калибруются при $C_{вх}$ не более 80 pF с применением штатного кабеля. Если практическая схема не позволяет реализовать такой параметр, необходимо учитывать влияние реальной емкости, воспользовавшись выражением (8.1). Выходное сопротивление калибраторов на пределе «0,2 V» обычно составляет 100 или 50 Ω . Преимущество прибора Н4-12 ($R_{вых} = 20 \Omega$) иллюстрируют результаты расчета по формуле (8.1) для $C_{вх} = 100$ pF и частоты 1000 kHz:

- для $R_{вых} = 100 \Omega$ погрешность передачи $\Delta K = -0,2 \%$;
- для $R_{вых} = 50 \Omega$ погрешность передачи $\Delta K = -0,05 \%$;
- для $R_{вых} = 20 \Omega$ погрешность передачи $\Delta K = -0,008 \%$.

Важным преимуществом прибора Н4-12 является возможность оценить и учесть реальное воздействие нагрузки, подключив встроенный вольтметр к выходу калибратора. Но и в этом случае входная емкость вольтметра исказит результат измерения.

8.6 Влияние нагрузки на погрешность калибратора

8.6.1 Подключение нагрузки может существенным образом изменить установленный уровень напряжения (тока) на выходе калибратора. Для оценки этого влияния служит такая характеристика, как выходное сопротивление ($R_{вых}$) калибратора напряжения или тока. Выходное сопротивление определяется по формуле (8.2):

$$R_{вых} = \Delta U / \Delta I, \quad (8.2)$$

где ΔU и ΔI – изменения напряжения и тока соответственно.

По своему статусу калибратор напряжения призван сохранять неизменным выходное напряжение в широком диапазоне допустимых нагрузок, а калибратор тока – неизменным ток, т.е. первый обеспечивает $\Delta U \rightarrow 0$ при изменении тока нагрузки, а второй – $\Delta I \rightarrow 0$ при изменении напряжения на нагрузке. В соответствии с формулой (8.2) это означает, что калибратор напряжения должен иметь минимальное выходное сопротивление, а калибратор тока максимальное.

8.6.2 В таблицах 4.7, 4.13 и 4.14 приведены нормируемые значения выходного сопротивления ($R_{вых}$). Воспользуемся ими для ряда примеров.

Если известно изменение тока нагрузки ΔI , то изменение напряжения на нагрузке ΔU определяется по формуле (8.3):

$$\Delta U = \Delta I \cdot R_{вых} \quad (8.3)$$

Пример. При установленном пределе «20 V» и токе нагрузки 20 mA имеет место изменение установленного напряжения на величину $\Delta U = 20 \text{ mA} \cdot 0,0005 \Omega = 10 \mu\text{V}$. Оценка этого значения зависит от величины напряжения, установленного на выходе калибратора. Если вы-

ходное напряжение составляет 10 V, то погрешность составляет 0,0001 %, если 10 mV, – то 0,1 %. То есть при низких уровнях напряжения с этим явлением необходимо считаться.

На пределе «0,2 V» выходное сопротивление составляет 20 Ω , и поэтому даже нагрузка 1 μ A может привести к погрешности 20 μ V, что значительно превышает нормируемые значения погрешности во всем диапазоне самого низковольтного предела. И наоборот, для высоковольтных пределов влияние даже сравнительно высокого выходного сопротивления менее заметно. **Оценка абсолютной погрешности в конкретной ситуации должна осуществляться по формуле (8.3).**

8.6.3 В режиме калибратора силы тока, если известно изменение напряжения на нагрузке ΔU , то изменение тока ΔI определяется по формуле (8.4):

$$\Delta I = \Delta U / R_{\text{вых}} \quad (8.4)$$

Если же известно сопротивление нагрузки R_n , то дополнительная погрешность от воздействия нагрузки определяется выражением (8.5):

$$\Delta I = R_n / R_{\text{вых}} \quad (8.5)$$

Пример. Установлена нагрузка 1 k Ω в режиме калибратора силы переменного тока на пределе «2 mA» и частотой 1 kHz ($R_{\text{вых}} = 10 \text{ M}\Omega$ из таблицы 4.14). Дополнительная погрешность по формуле (8.4) не превышает 1 k Ω /10 M Ω = 0,0001 или 0,01 %. На частотах 1 и 10 kHz выходное сопротивление составляет 10 и 1 M Ω и, соответственно, погрешности отличаются на порядок.

8.6.4 Выходное сопротивление калибратора напряжения переменного тока в том виде, как это было определено по формуле (8.2), существует также в низкочастотном спектре рабочего диапазона частот, где оно носит активный характер. По мере роста частоты все большую роль начинают играть реактивные составляющие полного выходного сопротивления (импеданса) калибратора. Это, прежде всего, заметно по реакции калибратора на емкостную нагрузку, сопротивление которой определяется по формуле (8.6):

$$Z = 1/\omega C \quad (8.6)$$

В связи с этим нормативная документация на калибраторы переменного напряжения включает обязательные требования к емкостной составляющей нагрузки. Для прибора Н4-12 они указаны в таблице 4.9.

По аналогичным причинам калибраторы силы переменного тока имеют ограничения по индуктивности нагрузки, т.к. ее сопротивление (ωL), особенно в низкоомном секторе нагрузок, на высоких частотах может значительно превысить активную составляющую и выйти за пределы допустимых значений или вызвать паразитные возбуждения схемы источника тока.

Многосторонние зависимости не позволяют дать универсальную рекомендацию или формулу для работы на низких и высоких частотах на всех пределах и во всем частотном диапазоне. Способность работать на индуктивную нагрузку резко падает с ростом частоты и зависит также от соотношения активной и реактивной составляющей в комплексном сопротивлении нагрузки.

Ориентироваться следует на экспериментальные данные, полученные для значений индуктивности, которые обеспечивают реализацию нормированных характеристик.

Снижая частоту или жертвуя какими-то характеристиками (искажения, выходное сопротивление), можно увеличить индуктивность нагрузки.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ – Будьте осторожны! Не превышайте значения предельной емкостной (индуктивной) нагрузки калибратора напряжения (тока).

предел	Индуктивность нагрузки, μH , на пределе		
	200 Hz	1 kHz	10 kHz
2 mA	25000	1000	60
20 mA	5000	1000	40
200 mA	350	70	7
2 A	50	10	1
20A	10	1	1

Следовать буквально требованиям этого предупреждения не всегда возможно, но пример, приведенный ниже, должен помочь определиться (хотя бы методически) с указанной проблемой.

Пример. Рассмотрим, как емкость величиной 300 pF может нагрузить калибратор с выходным напряжением 200 V, частотой 100 kHz. Расчет проводится на максимальную (пиковую) нагрузку R, и поэтому напряжение и ток будут выражены в амплитудном значении (U_m , I_m соответственно): $I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{U_m}{1/\omega C} = \omega C \cdot U_m = 6,28 \cdot 10^5 \cdot 300 \cdot 10^{-12} \cdot 380 \approx 70 \text{ mA}$, что в 3 раза превышает допустимую активную нагрузку (20 mA).

8.7 Рекомендации по использованию защитных экранов (по напряжению «G» и по току «G(I)»)

8.7.1 При прецизионных измерениях, особенно малых уровней напряжений или токов, принимаются меры по созданию специальных климатических и электрических режимов рабочего помещения (температура, влажность, отсутствие источников мощных помех, стабильность напряжения сети и т.п.). Только при соблюдении этих условий может быть снижено воздействие окружающей среды на точность измерения.

Однако любая практическая измерительная цепь несвободна от воздействия помех, которые так или иначе влияют на результат измерения. Ниже изложены способы снижения воздействия помех.

8.7.2 **Экранирование от напряжения помехи** реализуется использованием клеммы «G» защитного экрана. Эта защита по напряжению оберегает аналоговые схемы (исполнительную секцию) прибора (вольтметра, калибратора) путем их размещения в полости экрана, гальванически связанного с клеммой «G». Экран отделяет внутренние схемы от первичной обмотки силового трансформатора. Поэтому электрический экран располагается между первичной и вторичными обмотками трансформатора. Управляющая информация от микропроцессора, гальванически связанного с корпусом прибора, передается через оптронную развязку (в соответствии с рисунком 8.4). Защитный экран «G» обеспечивает низкоомный путь для синфазного сигнала помехи, «блуждающей» по контуру заземления.

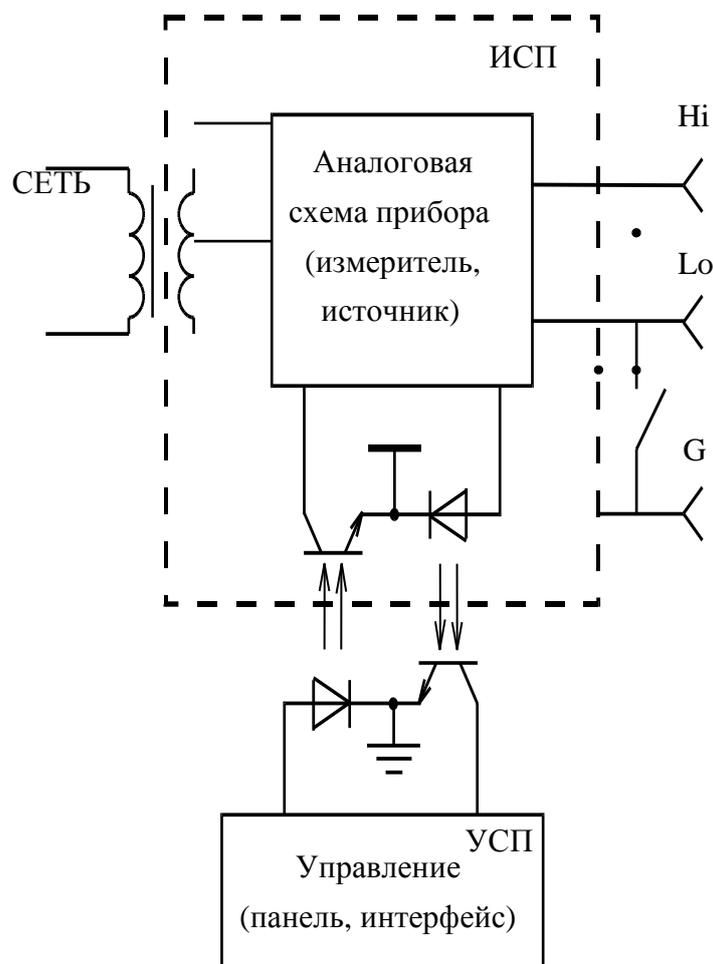
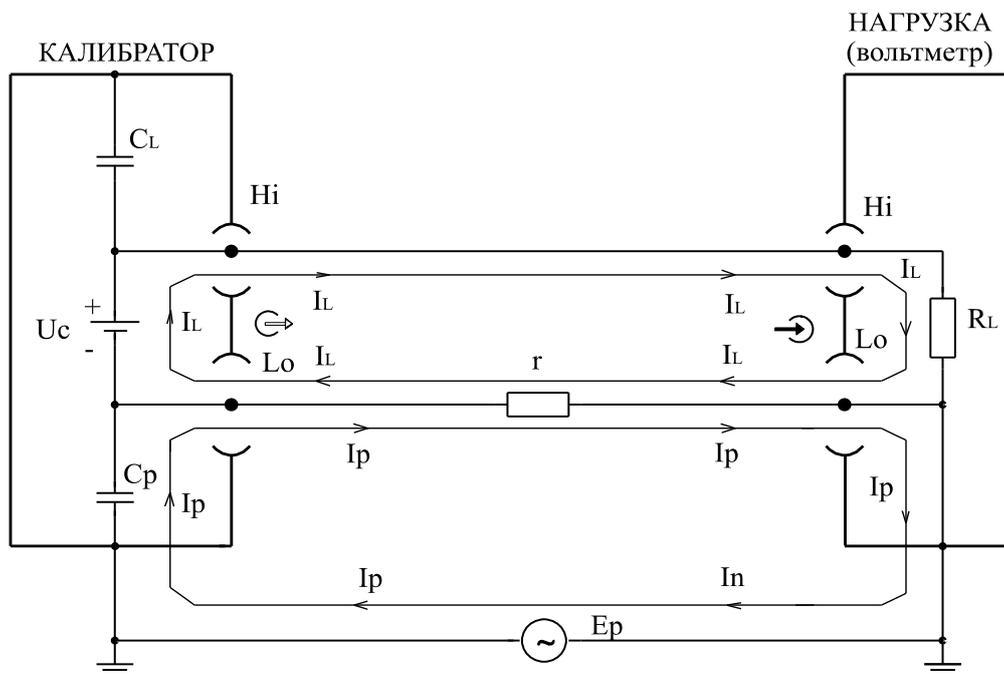


Рисунок 8.4 – Экранирование исполнительной секции прибора от управляющей

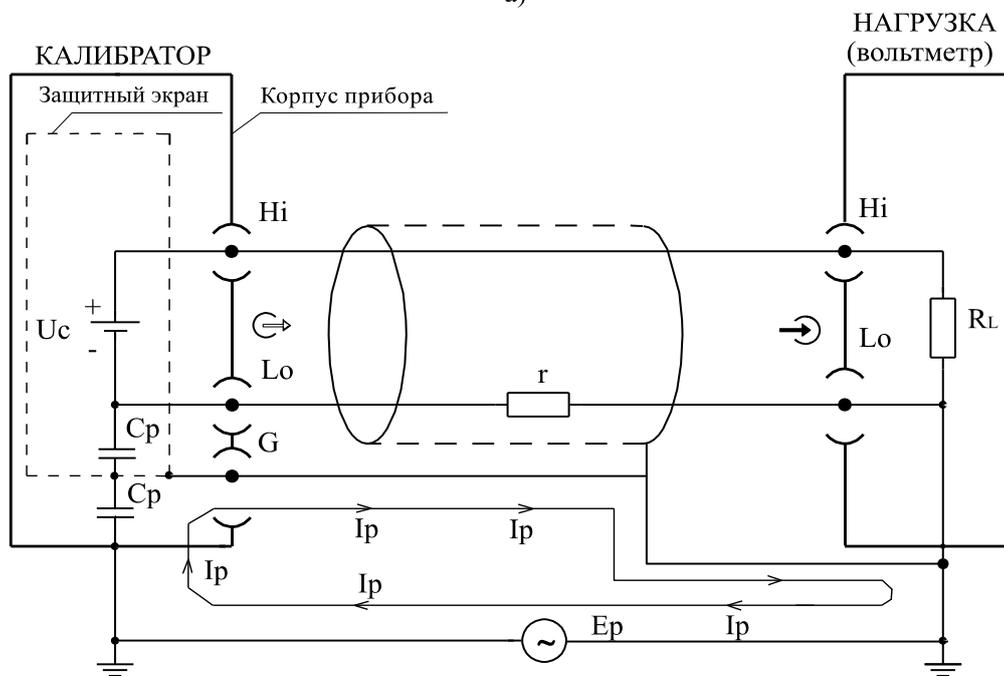
Рассмотрим механизм действия защиты при работе прибора на нагрузку, которая требует применения специальных мер по снижению влияния помехи общего вида, вызываемой разностью потенциалов точек заземления источника (калибратора) и его приемника (измерителя), которая на практике может достигать сотен милливольт и даже единиц вольт.

На рисунке 8.5а указанный источник помехи обозначен E_p . Этот источник создает паразитный ток I_p , который через паразитную емкость C_p (корпус - схема прибора) попадает в низкопотенциальный «Lo» провод, соединяющий источник сигнала с приемником сигнала. Складываясь или вычитаясь с током нагрузки I_L , помеха искажает картину измерительного процесса. Применение защитного экрана (гнездо «G»), как это показано на рисунке 8.5б, создает отдельный путь для паразитного тока I_p , благодаря чему он не попадает в измерительную цепь. Таким образом, назначение защитного экрана заключается в отведении токов помехи, действующей между корпусами приборов, в обход сопротивления низкопотенциального провода кабеля. Кроме того, экранирование снижает паразитную емкость C_p , т. к. емкость последовательно соединенных конденсаторов C_p (см. рисунок 8.5б) меньше емкости одиночного конденсатора (см. рисунок 8.5а).

Для эффективного использования защитного экрана необходимо придерживаться правила: гнездо «G» нужно подключать таким образом, чтобы паразитный (синфазный) ток не проходил через входное сопротивление. Это условие выполняется при подключении защитного экрана «G» к низкопотенциальному выводу нагрузки.



а)



б)

Рисунок 8.5 – Использование защитного экрана «G» в измерительной цепи

8.7.3 На основании вышеизложенного следует, что при проведении калибровки тестируемого устройства с **заземленной входной клеммой низкого уровня («Lо»)** или **общей клеммой**, необходимо использовать внешнее соединение с клеммой «G». Защита калибратора по напряжению («G») должна быть заземлена на тестируемое устройство. Во избежание образования паразитных контуров с замыканием на землю необходимо иметь **только одно заземление в системе**, поэтому все заземляющие соединения требуется делать на тестируемое устройство. Чтобы иметь одну точку заземления, следует убедиться, что к калибратору не подключена шина заземления (см. п.8.9.8).

В тех случаях, когда описанная помеха не имеет значения (нагрузка не удалена и не заземлена), клемма «G» может быть соединена тумблером «G → Lo» (расположен на передней панели прибора Н4-12) с низкопотенциальной клеммой прибора.

8.7.4 Использование защитного экрана по току «G(I)» рекомендуется в режиме воспроизведения **небольших переменных токов**. Клемма «G(I)» расположена на задней стенке прибора Н4-12, и поэтому для реализации ее соединения с экраном кабеля последний имеет удлиненный вывод экрана (кабель «К5»).

Защита по току действует только тогда, когда калибратор реализует функцию воспроизведения силы переменного тока. В этом режиме важна не только задача генерации переменного тока, но также важной становится задача достижения этим током нагрузки без потерь. Дело в том, что источник тока – устройство с высоким выходным сопротивлением, и поэтому часть тока высокой частоты ответвляется через погонную емкость C_p соединительного кабеля (I_p на рисунке 8.6а), т.е. не доходит до нагрузки R_L . Существует еще один канал утечки – через паразитную емкость выхода калибратора относительно земли.

Рассмотрим численный пример. Подается ток $100 \mu\text{A}$ с частотой 5 kHz по метровому коаксиальному кабелю на тестируемое устройство с напряжением на нагрузке 1 V . Величина тока утечки I_p через паразитную емкость C_p кабеля составляет: $I_p = U \cdot 2\pi f \cdot C_p$, где $C_p = 100 \text{ pF}$, $f = 5 \text{ kHz}$, $U = 1 \text{ V}$, т.е. $I_p = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 3,14 \mu\text{A}$. Эта (реактивная) составляющая будет добавляться к току I_L через активную нагрузку под прямым углом, вызывая ошибку, равную $\sqrt{100^2 + 3,14^2} - 100 = 0,05 \mu\text{A}$, т.е. около $0,05 \%$, а при токе $200 \mu\text{A}$ – около $0,025 \%$.

Механизм борьбы с этим явлением заключается в создании между высоко- и низкопотенциальными жилами кабеля («Hi» и «Lo») эквипотенциального барьера, через который не может возникнуть ток утечки, т.к. и по величине, и по фазе отсутствует разность потенциалов, способная его вызвать. На рисунке 8.6б показано поперечное сечение кабеля, центральная жила которого окружена экраном «G(I)». На этот экран подается потенциал, равный потенциалу центральной жилы, от мощного буферного усилителя, для которого заряд паразитной емкости не является проблемой. Поперечное сечение кабеля на рисунке 8.6б иллюстрирует необходимость заряда паразитной емкости C_p , образованной жилой «Hi» и экраном «G(I)». Но зато при этом обкладки емкости, образованной экраном и жилой «Lo», находятся под равными (и по модулю, и по направлению) потенциалами и потому разрывают возможную паразитную связь.

Таким образом, подключение экрана кабеля «К5» к клемме «G(I)» блокирует каналы утечки путем окружения выходного тока совпадающим по фазе напряжением с той же разностью потенциалов (реализуется, так называемый, активный экран).

Численный пример, приведенный выше, показывает, что даже на младшем пределе « 2 mA » при значениях тока более $0,1 I_n$ ($200 \mu\text{A}$) предложенное решение использования защиты по току уже не является актуальным.

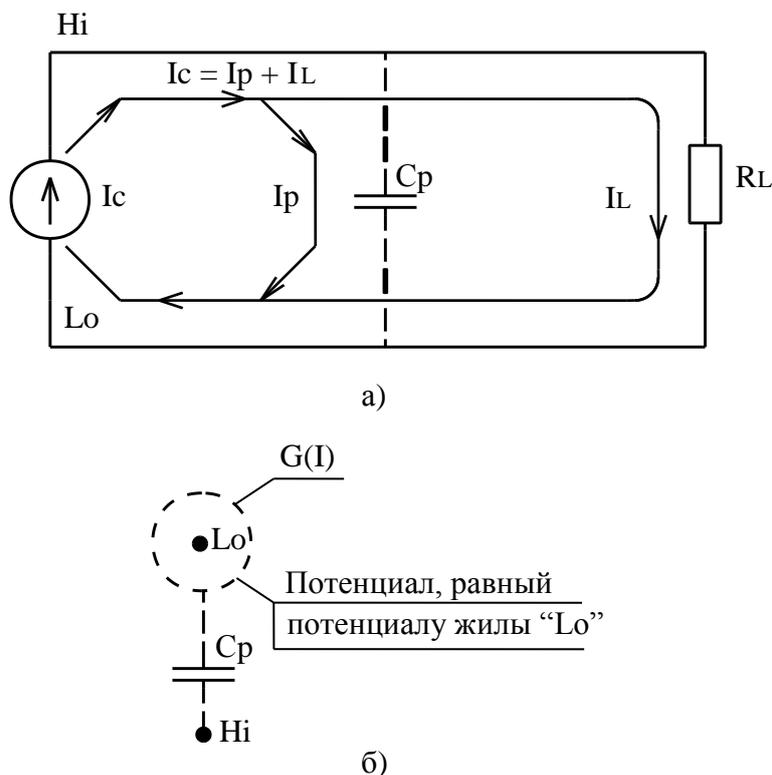


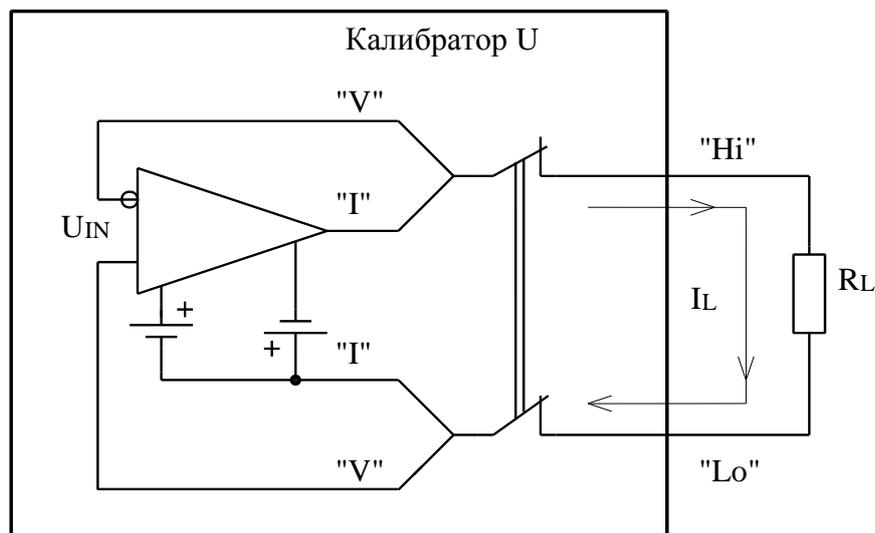
Рисунок 8.6 – Передача переменного тока в нагрузку через кабель

8.8 Двух- и четырехпроводная связь калибратора напряжения с нагрузкой

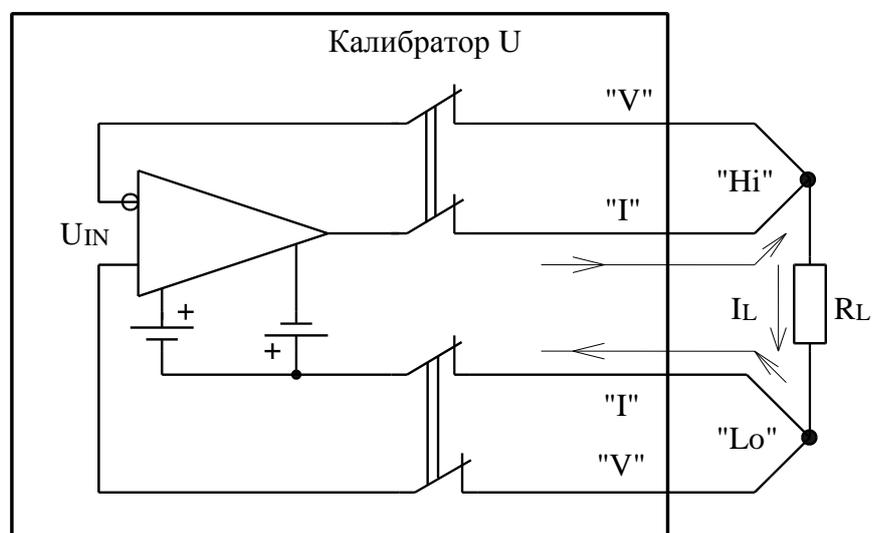
8.8.1 С учетом основного назначения калибраторов – проверка цифровых вольтметров, входная цепь которых потребляет незначительный ток, – двухпроводная конфигурация связи с нагрузкой является достаточной. Применение четырехпроводной связи с нагрузкой эффективно при заметном токопотреблении последней. Обе конфигурации показаны на рисунке 8.7. Границы их использования достаточно неопределенны, все зависит от требуемой точности, величины напряжения и тока нагрузки.

При двухпроводной связи (см. рисунок 8.7а) протекающий через нагрузку (R_L) ток (I_L) вызывает падение напряжения на проводах, клеммах (сопротивление до $0,005 \Omega$) и контактах реле (до $0,05 \Omega$). Даже при $I_L = 1 \text{ mA}$ это падение напряжения составляет $0,055 \text{ mV}$, что при выходном напряжении калибратора 1 V значительно превышает нормируемую погрешность $\pm 5 \mu\text{V}$ (на пределе « 2 V »). Такое же падение, но при напряжении 100 V окажется незамеченным (на порядок ниже погрешности).

При четырехпроводной связи с нагрузкой (см. рисунок 8.7б) на ее выводах замыкаются токовые («I») и потенциальные («V») выводы калибратора, и поэтому падение напряжения по цепи тока нагрузки будет обнаружено усилителем калибратора (через потенциальные выводы) и обработано цепью его обратной связи, т.к. в силу законов авторегулирования она следит за неизменностью разности потенциалов на входах усилителя. Именно благодаря четырехпроводной связи, удастся поддерживать выходное сопротивление менее $0,0005 \Omega$.



а)



б)

Рисунок 8.7 – Двухпроводная (а) и четырехпроводная (б) связь калибратора с нагрузкой

8.8.2 Модель связи калибратора с нагрузкой в соответствии с рисунком 8.7б отражает случай, когда усилитель калибратора получает напряжение непосредственно с выводов нагрузки **через проводники, в которых отсутствует ток** (отсюда название выводов – потенциальные). Однако в реальной схеме 6-разрядного калибратора предела «20 V» через них протекает ток до 1 mA цепи обратной связи (20 kΩ) усилителя (см. рисунок 5.6), что приводит к погрешности до 2-3 ppm. Эта погрешность учитывается программными методами, которые адаптированы под конкретный кабель «K2». Его замена нежелательна, особенно в случаях, когда сопротивление проводников другого кабеля заметно выше, чем у кабеля «K2».

8.9 Комплект измерительных кабелей и принадлежностей к ним

8.9.1 Разнообразие решаемых комплексом задач диктует определенные требования к типу соединений и качеству соединителей. Этими требованиями и определилась номенклатура кабелей из комплекта поставки изделия (представлена на рисунке 8.8).

ВНИМАНИЕ! Настоятельно рекомендуется пользоваться только штатными кабелями (из комплекта поставки) и в строгом соответствии с рекомендациями данного подраздела. Категоричность этого требования возрастает при работе в высокочастотной области переменных напряжений (токов), т.к. калибровка прибора осуществляется с учетом работы с использованием штатных кабелей.

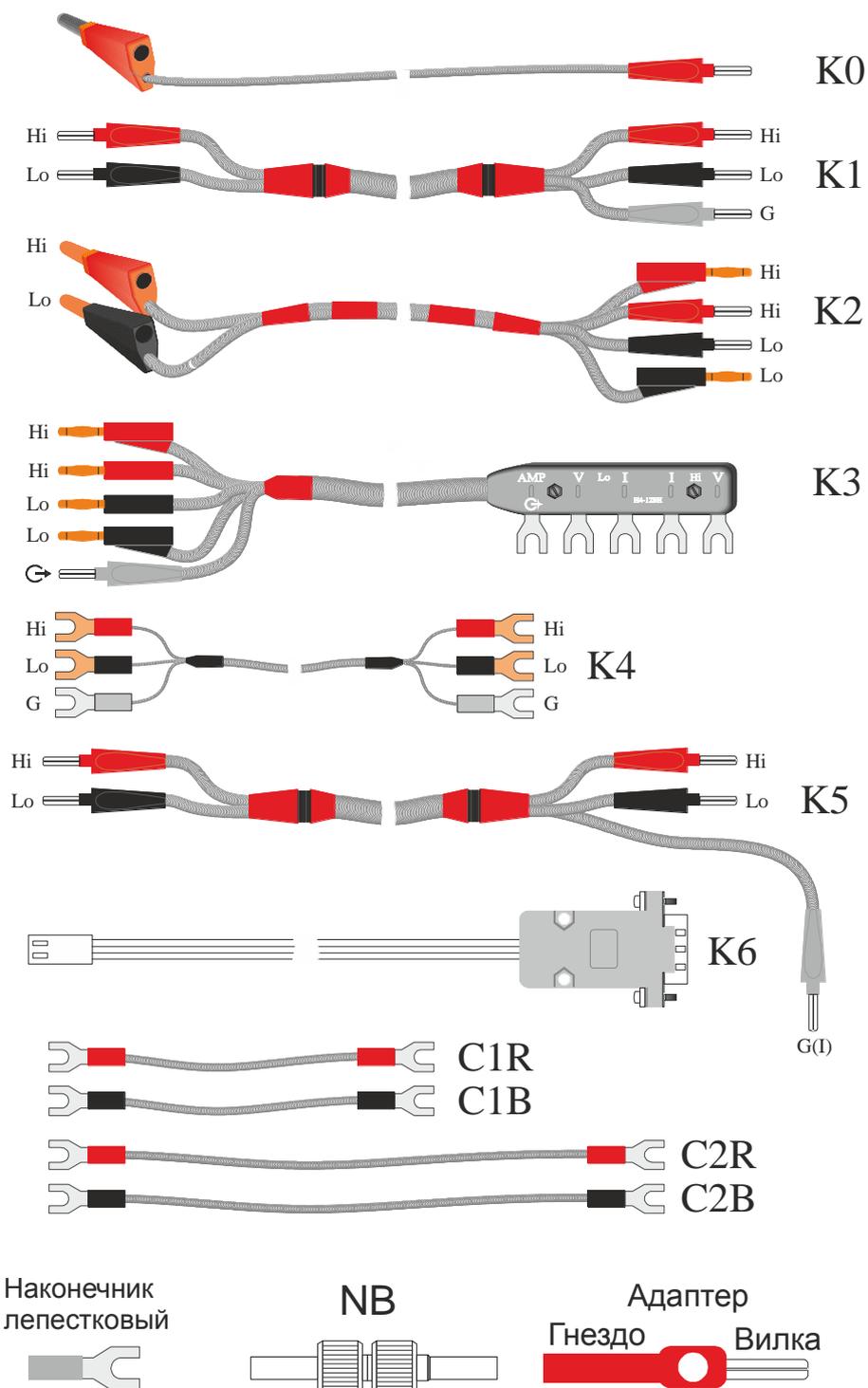


Рисунок 8.8 – Комплект измерительных кабелей комплекса H4-12

8.9.2 «К1» – двухпроводный кабель в экранированной оплетке с минимизированной величиной емкости между низко- и высокопотенциальными проводниками. «К1» – основной кабель вольтметра (рисунок 8.9) и калибратора силы тока (рисунок 8.10), но только в тех случаях, когда отсутствуют какие-либо ограничения. Дело в том, что большинство прецизионных калибраторов нормируют погрешность не на выходных клеммах, а на выводах штатного (из комплекта поставки) кабеля. Нередко этими кабелями реализуется преобразование четырехпроводного выхода калибратора в двухпроводный (4→2). Калибровка прибора осуществляется с учетом параметров соединительного кабеля, которые оказывают существенное влияние на установленный уровень выходного напряжения, особенно в высокочастотном спектре (выше 100 kHz) диапазона. В таких случаях выходной кабель поверяемого калибратора подключается непосредственно к входным гнездам вольтметра в соответствии с рисунком 8.11 (здесь поверяемым калибратором является прибор Н4-7). Аналогично подключается выход калибратора Н4-12 к входу собственного вольтметра в соответствии с рисунком 8.12 (здесь штатным кабелем калибратора является кабель К2), при этом подключение низкопотенциального («Lo») вывода кабеля к вольтметру не является обязательным.

«К1» используется и как выходной кабель калибратора напряжения на пределе «1000 V». Выход высоковольтного блока Н4-12БВ подключается к нагрузке через кабель «К1» в соответствии с рисунком 8.13.

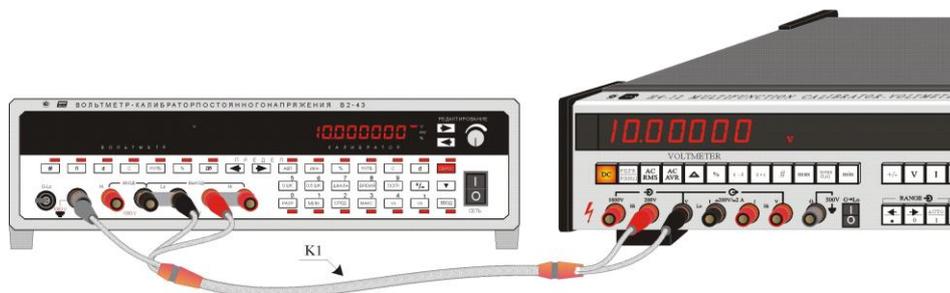


Рисунок 8.9 – Соединение вольтметра Н4-12 с источником постоянного напряжения

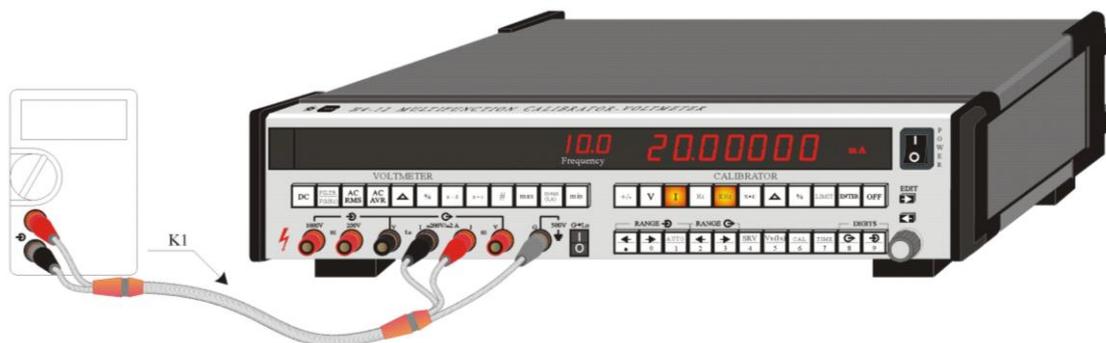


Рисунок 8.10 – Соединение прибора Н4-12 с нагрузкой в режиме калибратора силы постоянного и переменного тока

ВНИМАНИЕ! Не допускается в режиме калибратора тока замыкание между клеммами прибора V-Lo и I-Lo. Это может, например, произойти при попытке реализовать режим тока с кабелем К2 вместо предназначенного для этой цели кабеля К1.

8.9.3 «К2» – основной кабель **калибратора напряжения** базового прибора Н4-12. Через этот кабель обеспечивается связь базового прибора с нагрузкой во всем частотном (до 1 MHz) и амплитудном (до 200 V) диапазонах (рисунок 8.14).

Кабель «К2» конструктивно выполнен таким образом, что пары высоко- и низкопотенциальных клемм базового прибора соединяются (пайкой) непосредственно на выходных штырях (концах) кабеля, чем и обеспечивается замыкание обратной связи выходных усилителей калибратора практически на нагрузке. Если кабель «К2» отсоединить от выходных клемм калиб-

ратора Н4-12 на пределах «2 V», «20 V» и «200 V», обратная связь усилителей обрывается, и прибор теряет работоспособность.

ВНИМАНИЕ! По указанной причине не пытайтесь подключить нагрузку к калибратору через двухпроводный кабель на пределах «2 V», «20 V» и «200 V». Пользуйтесь только кабелем «К2». На пределе «0,2 V» также используйте кабель «К2» в режиме преобразования четырехпроводного выхода в двухпроводный. Хотя для этого предела такого преобразования не требуется, но калибровка прибора осуществлялась при таком соединении (рекомендуется использование кабеля «К2» ради единства решений).

8.9.4 Кабель «К3» – специализированный кабель межблочного соединения клемм входа-выхода базового прибора и низковольтного блока (рисунок 8.15). Этим кабелем выход калибратора Н4-12 по четырехпроводной линии подключается к калибратору низковольтного блока Н4-12БН, а выход усилителя низковольтного блока «» соединяется с входом базового прибора «».

8.9.5 Кабель «К4» предназначен для подключения низковольтного блока Н4-12БН (входа или выхода) к нагрузке или источнику сигнала.

На рисунке 8.15 показан случай, когда низковольтный блок, функционирующий в автономном режиме в качестве нановольтметра (на рисунке – слева) проверяется (калибруется) комплексом в составе базового и низковольтного блоков, реализующих режим нанокалибратора с пределом «20 mV». Выход нанокалибратора соединяется с входом нановольтметра кабелем «К4».

Конструкция кабеля «К4» обеспечивает минимальный уровень паразитных термо-э.д.с. С этой целью он выполнен в виде витой экранированной пары медных лакированных проводников с плотным прилеганием (для минимизации температурных градиентов) и с малым шагом скручивания (для снижения уровня электромагнитной наводки). Соединение проводников с медными наконечниками лепесткового типа выполнено без пайки. «К4» может заменяться витой парой медных проводников из комплекта поставки.

8.9.6 Кабель «К5» – специализированный кабель для работы с малыми уровнями переменного тока. «К5» представляет собой трехпроводный кабель, центральная жила («Lo») которого окружена экраном, используемым в качестве активного экрана по току «G(I)». Указание об использовании кабеля в цепях с малыми уровнями тока не имеет ничего общего с электрическими возможностями, которые ограничены значениями 2 – 3 А. Акцент на малые токи пояснен в п.8.7.4.

8.9.7 Кабель «К6» – специализированный кабель межблочного соединения базового прибора Н4-12 и низковольтного блока Н4-12БН, через которое осуществляется связь цепей управления этих блоков при их совместном использовании. Кабель подключается к разъему «10/100», расположенному на задней панели блока Н4-12БН, и к разъему «Н4-12БН», расположенному на задней панели базового блока (рисунок 8.15).

8.9.8 Кабель «К0» – стандартный однопроводный соединитель для подключения к высокопотенциальному («Hi») входу вольтметра постоянного и переменного напряжения при одновременной работе калибратора и вольтметра, когда связь с низкопотенциальной («Lo») клеммой входа осуществляется через кабель калибратора. Примеры такого использования рассмотрены в п.8.11.3. Другой пример использования кабеля «К0» иллюстрируется на рисунке 8.16, где тестируется измерительный прибор с заземленной низкопотенциальной клеммой (клемма гальванически связана с корпусом). Помехозащищенность такой схемы увеличивается при соединении клеммы защитного экрана «G» прибора Н4-12 с общей клеммой тестируемого устройства. Измерительная цепь системы должна иметь единственную точку заземления (п.8.7.3). Для этого соединение низкопотенциальной клеммы прибора Н4-12 с клеммой «G» внутри него должно быть оборвано выключением тумблера «G → Lo» (это соединение реализуется на тестируемом устройстве).



Рисунок 8.12 – Работа калибратора на собственный (встроенный) вольтметр



Рисунок 8.14 – Режим калибратора постоянного и переменного напряжения, пределы «0,2 V», «2 V», «20 V» и «200 V»

8.9.9 Соединители «С1R», «С1В», «С2R», «С2В» предназначены для организации вспомогательных цепей (подключение нагрузки, межблочные соединения и т.п.).

8.9.10 В комплекте поставки (таблица 4.3) предусмотрены принадлежности, позволяющие упростить межблочные соединения – наконечник и замыкатель (нуль-блок). Лепестковый наконечник позволяет штыревой вывод преобразовать в вывод лепесткового типа. Замыкатель («NB» на рисунке 8.8) обеспечивает возможность качественного короткого замыкания выводов кабеля (штыревого или лепесткового типа), для чего имеет торцевые гнезда и винтовой зажим. Использование замыкателя «NB» позволяет обеспечить качественный переход с вывода штыревого типа на лепестковый вывод. Например, штыревые выводы кабеля «K2» через замыкатель могут быть подключены к устройству с лепестковыми выводами.

В комплект поставки включены два адаптера типа «вилка-гнездо» (рис.8.8), которые позволяют реализовать сочленение с вилками и гнездами иных стандартов, например, в совокупности с лепестковым наконечником можно обеспечить соединение с винтовым зажимом.

8.10 Особенности эксплуатации вольтметра переменного тока

8.10.1 **Смещение нуля вольтметра переменного напряжения** присутствует всегда и на всех пределах измерения. Его можно обнаружить с помощью индикатора вольтметра при короткозамкнутом входе. На самом чувствительном пределе «0,2 V» смещение нуля может достигать нескольких десятков микровольт. Это явление связано с собственными и случайными внешними (помехами) шумами и нелинейной характеристикой преобразователя переменного напряжения в постоянное в нулевой области входного сигнала. **Следует помнить**, что традиционные приемы компенсации начального смещения, принятые при работе с постоянным напряжением (например, нажатием кнопки «нуль») совершенно **недопустимы** при измерении переменного напряжения. Дело в том, что влияние начального смещения на погрешность измерения переменного напряжения резко снижается, как только уровень сигнала начинает превышать уровень помехи (тогда как на постоянном токе начальное смещение остается неизменным независимо от величины измеряемого напряжения, что и позволяет реализовать его компенсацию).

8.10.2 **С математической точки зрения**, при подаче на вход вольтметра сигнала, результат измерения равен квадратному корню из суммы квадратов величин сигнала и смещения нуля, а не простому суммированию сигнала с погрешностью нулевого входа, как это было на постоянном токе.

Например, при нулевом входном сигнале показание составляет 0,2 mV на пределе измерения «0,2 V». При подаче входного сигнала величиной 10 mV получается в результате $\sqrt{10^2 + 0,2^2} = \sqrt{100 + 0,04} = 10,002$ mV. Эффект погрешности нуля снизился с 200 до 2 μ V. Аналогичный расчет для сигнала 1 mV дает в результате 1,02 mV, т.е. ошибку в 20 μ V.

Приведенные примеры показывают, что смещение нуля может играть большую роль при измерении малых сигналов. Далее, по мере того как сигнал начинает значительно превышать уровень шума, составляющая погрешности, им вызванная, начинает убывать в квадратичной зависимости. Однако именно у нижней границы предела «0,2 V» могут возникнуть проблемы смещения нуля, но несколько иного свойства.

8.10.3 **Внешняя помеха** может оказать значительное влияние на смещение нуля вольтметра переменного напряжения, увеличивая его до нескольких сотен микровольт, и в этом случае реализация измерения минимального напряжения 0,2 mV, оговоренного в таблице 4.11, оказывается проблематичной. Поэтому **при измерении сигналов менее 1 mV должны быть приняты все меры по снижению внешней помехи**. Тот факт, что внешняя обстановка с помехами оказывает влияние на смещение нуля, может служить своеобразным тестом: увеличение показаний значения смещения нуля относительно нормальных (менее 100 μ V) свидетельствует о том, что не все меры предприняты для снижения уровня помех.

ВНИМАНИЕ! При измерениях напряжений ниже 10 mV высоковольтный блок Н4-12БВ должен быть выключен.

8.10.4 Два режима измерения переменного напряжения в виде первичной информации изложены в п.4.8.1.

Истинные эффективные или среднеквадратические значения переменного тока определяются, как значения постоянного тока, выделяющего такое же количество теплоты за то же время. Таким образом, СКЗ является эквивалентом постоянного тока и может рассматриваться в качестве универсальной меры при сравнении переменных токов. **Не существует прямого эталона переменного тока. Точность по переменному току достигается только при непосредственном сравнении с эталоном постоянного тока**, где критерием сравнения выступает энергетическая составляющая (мощность) сигнала (выделенное тепло, интенсивность свечения, громкость звука и т.п.).

Этим и объясняется столь широкое использование термопреобразователей, предназначенных для сравнения переменного напряжения с выхода калибратора с эквивалентным постоянным. Эта классическая процедура определения погрешности, при всей ее ортодоксальности, чрезвычайно трудоемкая и требует высокого профессионализма оператора. Прибор Н4-12 предлагается в качестве альтернативы указанной классической процедуре. Прямое измерение выходного напряжения калибратора в десятки раз повышает производительность поверки.

В вольтметре Н4-12 используется два вида преобразования переменного напряжения в постоянное: с использованием преобразователя СКЗ и преобразователя средневыпрямленного значения (СВЗ) измеряемого напряжения. Для квалифицированного обоснования такого решения необходим краткий теоретический экскурс.

8.10.5 Преобразователь СВЗ в приборе Н4-12 выполнен на базе прецизионного двухполупериодного выпрямителя с сглаживающим фильтром, обеспечивающим подавление гармоник с целью выделения постоянной составляющей. Степень подавления, исходя из заданной точности, можно определить, проанализировав разложение выходного сигнала в ряд Фурье.

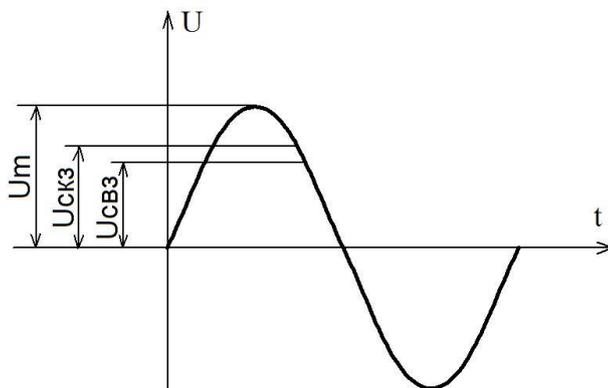
Ограничившись тремя членами разложения, можно записать для **двухполупериодного выпрямления синусоидального сигнала** выражение (8.7):

$$U_{\text{вых}} = \frac{2}{\pi}Um + \frac{4Um}{3\pi} \cos 2\omega t + \frac{4Um}{15\pi} \cos 4\omega t, \quad (8.7)$$

где Um – амплитудное значение синусоидального сигнала в соответствии с рисунком 8.17.

Таким образом:

- постоянная составляющая $U_{\text{ср}} = 0,636Um (2/\pi)$;
- вторая гармоника $U_{f2} = 0,424Um (4/3\pi)$;
- четвертая гармоника $U_{f4} = 0,085Um (4/15\pi)$.



Um – амплитудное значение,
 $U_{\text{СВЗ}}$ – средневыпрямленное значение,
 $U_{\text{СКЗ}}$ – среднеквадратическое значение.

Рисунок 8.17 – Основные (кардинальные) значения синусоидального сигнала

На практике имеют место пять кардинальных значений переменного напряжения: амплитудное U_m , среднее U_0 , средневыпрямленное $U_{свз}$, среднеквадратическое $U_{скз}$ и мгновенное $U(t)$. В данном случае будут рассмотрены только три из них:

- U_m – амплитудное значение – наибольшее мгновенное значение напряжения за интервал измерения T ;

- $U_{свз}$ – средневыпрямленное значение – равно среднему значению абсолютной величины переменного напряжения ($U_{свз} = \frac{1}{T} \int_0^T |U_i| dT$, для синусоидального сигнала $U_{свз} = U_0$);

- $U_{скз}$ – среднеквадратическое значение, которое представляет наибольший интерес, т.к. является универсальной мерой при сравнении самых различных напряжений переменного тока (со всем многообразием их форм). Именно $U_{скз}$ пропорционально мощности сигнала. $U_{скз}$ в соответствии с формулой (8.8) равно корню квадратному из среднеарифметического значения квадратов мгновенных значений напряжений за данный отрезок времени:

$$U_{скз} = \sqrt{\frac{1}{n}(U_{CONST}^2 + U_{f1}^2 + U_{f2}^2 + \dots + U_{fn}^2)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n U_i^2}, \quad (8.8)$$

где $U_{CONST} = U_{\dots}$,

или более строгое выражение (8.9):

$$U_{скз} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [U(t)]^2 dt} \quad (8.9)$$

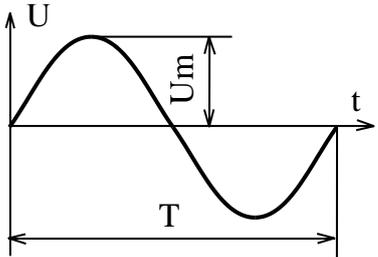
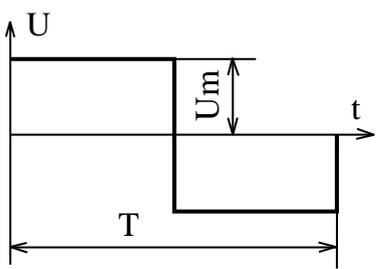
Связь между рассмотренными значениями определяют коэффициенты формы K_f и амплитуды K_a по формулам (8.10) и (8.11) соответственно:

$$K_f = U_{скз} / U_{свз} \quad (8.10)$$

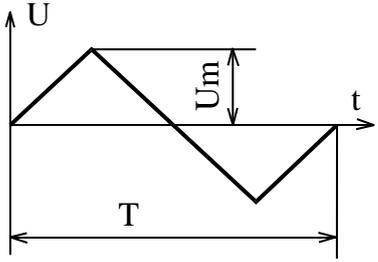
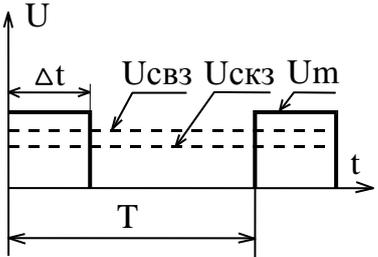
$$K_a = U_m / U_{скз} \quad (8.11)$$

Значения этих коэффициентов для наиболее распространенных форм сигналов приведены в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Параметры наиболее распространенных форм сигналов

Форма сигнала	$U_{скз}$	$U_{свз}$	K_a	K_f
	$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2U_m}{\pi}$	$\sqrt{2}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$
	U_m	U_m	1	1

Продолжение таблицы 8.3

Форма сигнала	$U_{СКЗ}$	$U_{СВЗ}$	K_a	K_ϕ
	$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\sqrt{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$
	$U_m \sqrt{\frac{\Delta t}{T}}$	$U_m \frac{\Delta t}{T}$	$\sqrt{\frac{\Delta t}{T}}$	$\sqrt{\frac{\Delta t}{T}}$

8.10.6 **Идеальное устройство для определения СКЗ** вычисляет среднее значение квадрата входного сигнала на данном временном интервале, а затем извлекает квадратный корень из этого среднего значения (выполняет операции: возведение в квадрат, нахождение среднего значения, извлечение квадратного корня).

Практически вместо вычисления определенного интеграла приближенно определяют текущее среднее значение с помощью RC-фильтра первого порядка. Такая аппроксимация допустима для стационарных сигналов, если постоянная времени фильтра велика и имеется достаточно большое время установления входного сигнала.

Чаще всего при измерениях сигналов переменного тока используется следующая приближенная оценка: $U_{СКЗ} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_{СВЗ} \approx 1,1107 U_{СВЗ}$ и сообщение о том, что СВЗ- преобразователь от-

градуирован в среднеквадратических значениях (п.4.8.1.1) означает реализацию этой операции, которая применима только к синусоидальным сигналам. Ее использование приводит к большим погрешностям при измерении шумов, прямоугольных колебаний, импульсных последовательностей с произвольной скважностью и, конечно, любых сигналов с непредсказуемыми свойствами, включая флуктуации сигналов постоянного тока. В зависимости от формы сигнала погрешность измерения средневыпрямленного значения напряжения составляет:

- 11 % и более для напряжения постоянного тока и сигналов прямоугольной формы;
- менее 4 % для сигналов треугольной формы;
- менее 11 % для белого шума.

Приведенные цифры наглядно иллюстрируют обязательность сохранения формы сигнала, по которому градуируется СВЗ- преобразователь. Все погрешности прибора Н4-12 гарантируются для **синусоидального сигнала** с содержанием гармоник не более 1 %. Такое содержание гармоник может привести к дополнительной погрешности до 0,005 %, что в частотном диапазоне выше 100 kHz заметно ниже нормируемой, а для частот ниже 100 kHz – превышает нормируемую. Для этих частот содержание гармоник должно быть менее 0,25 %, что практически исключает дополнительную погрешность измерения.

Подводя итоги анализа использования двух режимов измерения переменного напряжения (тока), можно констатировать, что для СВЗ- преобразователя **требование сохранения формы измеряемого сигнала** по отношению к исходной (калибровочной) является категорическим, а для СКЗ- преобразователя оно необязательно.

8.10.7 Проблемы выбора типа преобразователя должны увязываться с целями и задачами предстоящих измерений.

В информационных материалах, посвященных вопросам измерения переменного напряжения, акцентируется внимание на безусловных достоинствах измерителей с СКЗ- преобразователем таким образом, что невольно формируется устойчивый стереотип: только этому типу приборов доступна самая высокая достоверность измерений. Однако главное достоинство СКЗ- преобразователей – способность работать с сигналами произвольной формы – менее всего востребовано при поверке прецизионных калибраторов синусоидального сигнала (именно этот класс приборов доминирует при прецизионных измерениях). Действительно, у таких калибраторов и форма сигнала близка к идеальной, и частотный диапазон предсказуем, что очень важно, т.к. измерители переменного напряжения оговаривают точность в определенных частотных границах, а у сигналов произвольной формы эта граница весьма размыта. Так, импульсная последовательность частотой 20 кГц вовсе не означает, что для измерения следует воспользоваться нормой погрешности, приведенной для данного диапазона, т.к. значительная доля энергии этого сигнала может приходиться на гармоники далеко за пределами значения 20 кГц, где совсем другие нормы погрешности (другого частотного диапазона). Таким образом, вопрос выбора типа преобразования переменного напряжения в постоянное должен увязываться с задачами измерительной процедуры. Применительно к прибору Н4-12, основным назначением которого является поверка калибраторов (генераторов) синусоидального сигнала, приоритеты отдаются измерителям с СВЗ- преобразованием. Но и в этом случае имеются ограничения, связанные с измерением напряжения квазисинусоидального сигнала.

8.10.8 Квазисинусоидальный сигнал формируется генератором инфранизкочастотного диапазона (до 200 Hz) прибора Н4-12 (так же, как в калибраторах Н4-6, Н4-7). В отличие от «гладкой» синусоиды аналогового генератора килогерцового диапазона квазисинусоидальный сигнал формируется цифровым способом – 16-разрядным ЦАП, выходное напряжение которого управляется по закону синуса (рисунок 8.18). Очевидно, что качественная характеристика ступенчатой синусоиды приближается к «гладкой» только при бесконечном числе ступеней. Практические схемы даже очень качественных квазисинусоидальных сигналов ограничиваются несколькими тысячами ступеней (дискретов) в периоде. Не вдаваясь в подробности, отметим, что СВЗ-преобразователь прибора Н4-12, калиброванный по квазисинусоидальному сигналу собственного генератора в частотном диапазоне до 200 Hz измеряет «гладкую» синусоиду с погрешностью 0,0025 %. По этой причине в частотном диапазоне от 0,02 до 0,2 кГц нормируется сравнительно высокая погрешность прибора Н4-12. В общем случае, когда неизвестен способ формирования синусоидального сигнала, в частотном диапазоне до 200 Hz рекомендуется использовать режим СКЗ-преобразования, показания которого одинаковы для синусоидального и квазисинусоидального сигналов, а погрешности измерения даже ниже.

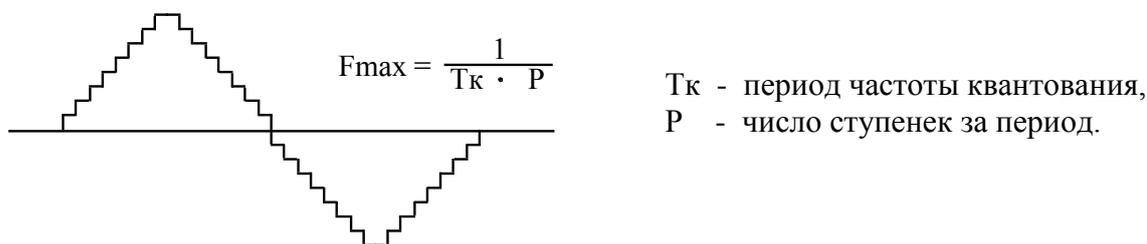


Рисунок 8.18 – Квазисинусоидальный сигнал

На частотах более 200 Hz, чтобы повысить точность измерения в режиме СКЗ- преобразования, рекомендуется использовать известный в метрологии метод замещения. Его процедурная реализация приведена ниже:

- в режиме СКЗ- преобразования прибором Н4-12 измерить напряжение проверяемого источника и частоту сигнала;
- зафиксировать показание вольтметра визуально или скомпенсировать нажатием кнопки «Δ/%»;

- подключить вход вольтметра Н4-12 к выходу его калибратора, установив напряжение и частоту, равными измеренному значению;
- редактируя выход калибратора, добиться показания вольтметра, равного зафиксированному при измерении напряжения источника (или нулю, если использовалась компенсация кнопкой «Δ/%»);
- по индикатору калибратора произвести отсчет точного значения напряжения, которое теперь имеет точность калибратора.

Следует учитывать, что речь идет о сигналах с искаженной формой, но с предсказуемыми свойствами (периодичность, фиксированный частотный диапазон).

Наконец, пользователь может самостоятельно исследовать реакцию СВЗ-преобразователя на квазисинусоидальный сигнал, последовательно измеряя одну и ту же величину напряжения (например, 20 V) на частоте 200 Hz (ступенчатая синусоида) и 0,21 kHz (гладкая синусоида) в режимах СВЗ- и СКЗ-преобразования. При желании можно определить поправки для измерений в режиме СВЗ.

8.11 Работа калибратора под управлением вольтметра

8.11.1 Технические аспекты реализации режима работы калибратора под управлением вольтметра рассмотрены в подразделе 5.9, небольшой по объему материал которого может оказаться полезным для освоения технологии этого режима и извлечения максимальных выгод от его использования. В основу режима положен принцип контроля выходного напряжения калибратора встроенным вольтметром. Ряд факторов, вызывающих нестабильность установленного уровня напряжения калибратора, обусловленных несовершенством схемы или изменением нагрузки, обнаруживается схемой вольтметра, который вырабатывает компенсирующее воздействие на калибратор. Проблемы возникают в высокочастотной области рабочего диапазона калибратора переменного напряжения, т.к. с ростом частоты, с одной стороны, ухудшаются динамические характеристики выходных усилителей (снижается коэффициент усиления), а с другой стороны, возрастают токи нагрузки при ее емкостном характере. Успешно противостоять этим явлениям призван вольтметр, подключенный к выходу калибратора. Любое возмущающее воздействие обнаруживается вольтметром, который управляет работой калибратора таким образом, чтобы увеличить выходное напряжение, если оно снизилось под воздействием какого-либо фактора, или снизить, если произошел подъем. Фактически вольтметр управляет (через микро-ЭВМ) выходным напряжением ЦАП, которое постоянно присутствует на входе усилителя калибратора (см. рисунок 5.2).

8.11.2 Есть необходимость участия вольтметра и в работе калибратора постоянного напряжения, но только на пределах «200 V» и «1000 V» в 7-разрядном режиме, где требуется наивысшая точность, которая иначе не может быть достигнута из-за саморазогрева делителя обратной связи. **Режим работы калибратора постоянного напряжения под управлением вольтметра устанавливается автоматически, как только включается 7-разрядная шкала калибратора на пределах «200 V» и «1000 V», однако подключение высокопотенциального входа вольтметра к одноименному выходу калибратора следует осуществить вручную.** Отсутствие такой принципиально необходимой связи сразу обнаруживается вольтметром, который выдает сообщение об ошибке и отключает выход калибратора.

8.11.3 Режим работы **калибратора переменного напряжения под управлением вольтметра** устанавливается кнопкой «SRV», включению которой должна предшествовать подготовка прибора: включен режим совместного функционирования вольтметра переменного напряжения (СВЗ) и калибратора с рабочей частотой выше 200 Hz (включена кнопка «kHz»); выход калибратора соединен с входом вольтметра (подробнее – в разделе 9).

8.11.4 К негативным моментам реализации рассматриваемого режима относятся: низкое быстродействие (т.к. скорость установки выходного напряжения в этом случае ограничивается скоростью измерения вольтметра), снижение функциональных возможностей (за счет потери функции вольтметра) и повышенный уровень низкочастотного шума, который в данном случае вызывается дополнительным контуром авторегулирования, сформированным вольтметром.

Следует отметить, что вольтметр осуществляет непрерывное слежение за выходным сигналом калибратора, но управляющее воздействие лимитировано нормами, зависящими от уровня напряжения и частоты. Так, например, при работе в частотном диапазоне до 50 кГц вольтметр вмешивается в работу калибратора только тогда, когда изменение выходного напряжения калибратора превысит 0,001 %, а на частоте 1000 кГц – 0,03 %. Такое дозированное вмешательство позволяет снизить уровень шумов, обусловленных непрерывным авторегулированием. Если изменение превысило 1 % от установленного уровня, вольтметр реагирует, как на аварийную ситуацию, отключая выход калибратора (включается кнопка СБРОС (OFF)). Практическая реализация режима описана в следующем разделе.

9 ПОРЯДОК РАБОТЫ

9.1 Реализация установочных калибровок

9.1.1 Установочные автокалибровки (п.8.2.3) проводятся после необходимого прогрева в тех случаях, когда требуется реализация заявленных характеристик.

9.1.2 **Автокалибровка № 01** – самая масштабная и продолжительная (до 8 минут). Для ее реализации выход калибратора соединяется с входом вольтметра (см. рисунок 7.2) и последовательным нажатием кнопок в соответствии с мнемосхемой на рисунке 7.2 осуществляется запуск.

9.1.3 **Автокалибровка № 23** обеспечивает калибровку опорного напряжения базового блока. Ее регламент определяется стабильностью встроенной меры прибора Н4-12, которая проходит отбор по критерию суточной нестабильности менее 0,0001 %. Как правило, с годами нестабильность уменьшается и не всегда требуется максимальная **абсолютная** точность. Поэтому по мере набора статистических данных пользователь сам может уточнить регламент. Стандартная процедура предусматривает ежедневный режим калибровки встроенной меры напряжения.

Примечание – Так как в процессе калибровки реализуются измерения с предельной чувствительностью, рекомендуется проводить ее в условиях, когда отсутствуют источники мощных помех, способных нарушить ее нормальное прохождение.

Для проведения автокалибровки № 23 необходимо выход меры Н4-12МН (или другой, определенной пользователем) подключить к входу вольтметра Н4-12 и только после этого приступить непосредственно к процедуре калибровки.

9.1.4 **Порядок реализации калибровки № 23** следующий:

- включить кнопку «▼» (CAL) – на левом индикаторе появляется сообщение «CAL 01» и подсвечивается кнопка ВВОД (ENTER), ожидая ввода номера калибровки;

- последовательным нажатием кнопок «2», «3» заносится номер калибровки («CAL 23»), а нажатием кнопки ВВОД (ENTER) фиксируется завершение процесса идентификации: загорается кнопка СБРОС (OFF);

- нажать кнопку СБРОС (OFF), гаснет ее подсвет и включается подсвет кнопки ВВОД (ENTER), ожидая ввода значения напряжения меры. Если при этом на индикаторе ровно 10 V, процедура ввода не требуется;

- нажать кнопку ВВОД (ENTER), а затем кнопку СБРОС (OFF), которой инициируется процедура измерения (калибровки) внутренней меры напряжения;

- зарегистрировать несколько устойчивых показаний (10 V с точностью 1 - 3 μ V) и завершить процедуру нажатием кнопки СБРОС (OFF).

В любой момент нажатием кнопки «▼» (CAL) прибор выходит из состояния калибровки, кроме состояния, когда подсвечена кнопка ВВОД (ENTER), т.к. все нажатия в этом случае воспринимаются, как цифры наборного поля.

В случае ошибочных действий на левом индикаторе появится сообщение об ошибке «Error 23». Нажатием кнопки «▼» (CAL) прервать процесс калибровки, устранить неисправность и повторить процедуру сначала.

ВНИМАНИЕ! Инициировать любой вид калибровки можно только из режима калибратора напряжения с низковольтными пределами «0,2 V», «2 V» и «20 V».

По завершении калибровки следует убедиться в ее качестве: не нарушая соединений, перевести прибор в режим измерения постоянного напряжения с 7-разрядной шкалой (предел «20 V») и убедиться, что напряжение меры измеряется с точностью не хуже $\pm 4 \mu$ V. Если это требование не выполняется, необходимо повторить процедуру калибровки.

ВНИМАНИЕ! Калибровкой № 23 определяется абсолютная погрешность прибора Н4-12. Если она проведена по мере напряжения Н4-12МН (аттестованной надлежащим образом) или другой, с лучшими характеристиками, **правомерно** использование данных таблиц 4.4, 4.5. Если для калибровки № 23 использовалась мера напряжения с лучшими характеристиками, норми-

руемые значения погрешности должны быть соответствующим образом скорректированы (см. п.4.6.1.2).

9.1.5 Если предполагается использование прибора в режиме высокоточного измерения напряжения постоянного тока, то целесообразно реализовать автокалибровку № 02 (калибровка «внешнего нуля»), которая корректирует нуль **вольтметра** на всех пределах при замкнутых выводах входного кабеля вольтметра. Для такого замыкания рекомендуется использовать «нуль-блок» из комплекта поставки (таблица 4.3) или, если есть такая возможность) «организовать нуль» в тестируемой цепи, обесточив ее (отключить катушку сопротивления от источника тока, например). В качестве альтернативы можно обнулить показание вольтметра нажатием кнопки «Δ».

9.1.6 Автокалибровками № 01 и № 23 подготовительная стадия завершается для всех режимов работы, кроме режима **вольтметра постоянного тока на пределах «20 mV» и «200 mV»** (работа в комплексе с блоком Н4-12БН). Подготовка к работе на этих пределах описана в п.9.3.

9.2 Порядок работы с вольтметром

9.2.1 Измерение напряжения постоянного тока может быть реализовано в режимах **стандартного** или **дифференциального** вольтметра (см. раздел 5).

В режиме **стандартного** вольтметра измерения осуществляются АЦП с элементами формирования пределов «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V» и скоростью до трех измерений в секунду. Результаты измерений (на индикаторном табло) могут быть представлены (по выбору оператора) в формате 4-, 5-разрядной шкалы.

9.2.2 В режиме **дифференциального вольтметра** измерения реализуются компенсационным методом (входной сигнал компенсируется встречным включением напряжения калибратора). При этом на табло измерительная информация представляется в 7- или 6-разрядном формате, а скорость измерения снижается на порядок.

9.2.3 Органов управления рассмотренными режимами нет (режим измерения напряжения постоянного тока устанавливается включением только одной кнопки «DC»). Однако **при выборе 6- или 7-разрядной шкалы вольтметра (кнопкой РАЗРЯДЫ (DIGITS)) автоматически включается режим дифференциального вольтметра, а при установке 4- или 5-разрядной шкалы измерения включается режим стандартного вольтметра, но в этом случае сохраняется возможность установки 6-разрядной шкалы стандартного вольтметра нажатием кнопки «→» группы РЕДАКТ. (EDIT): см. таблицу 7.1 «Редактирование данных».**

ВНИМАНИЕ! При установке на блок Н4-12БВ передние ножки базового прибора должны быть в поднятом состоянии (рисунок 8.13), что позволяет удалить его входные-выходные клеммы от тепловых потоков, излучаемых высоковольтным блоком.

9.2.4 **Установка режима измерения** реализуется включением одной из кнопок:

- DC – измерение напряжений постоянного тока;
- AC/СКЗ (AC/RMS) – измерение напряжений переменного тока с использованием преобразователя среднеквадратических значений напряжения;
- AC/СВЗ (AC/AVR) – измерение напряжений переменного тока с использованием преобразователя средневыпрямленных значений напряжения (отградуированных в СКЗ).

9.2.5 **Установка предела измерения** реализуется группой кнопок «ПРЕДЕЛ » («RANGE »): «←», «→» при ручной установке предела или АВП (AUTO) при автоматическом выборе пределов.

Примечания

1 В режиме измерения переменного напряжения устанавливаются пределы «0,2 V», «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V». В режиме измерения постоянного напряжения устанавливаются пределы «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V», а при агрегатировании с низковольтным блоком дополнительно включаются пределы «20 mV» и «200 mV» (см. подраздел 9.3).

2 Не следует использовать режим АВП для напряжений свыше 300 V, т.к. снижается надежность работы прибора.

9.2.6 **Установка количества индицируемых разрядов** осуществляется последовательным нажатием кнопки «» группы РАЗРЯДЫ (DIGITS) и кнопки наборного поля с оцифровкой, соответствующей количеству необходимых для индикации разрядов (от 4 до 7).

Примечание – Рекомендуется при измерении напряжений переменного тока в частотном диапазоне свыше 100 kHz ограничивать число индицируемых разрядов до 5, а на частоте свыше 500 kHz – до 4.

9.2.7 **Установка режима контроля частоты измеряемого сигнала** реализуется включением кнопки FILTR/F(kHz), которая в режиме измерения постоянного напряжения инициирует режим **фильтрации** измеряемого сигнала.

Примечание – Из-за ограниченной чувствительности встроенного частотомера устойчивая регистрация частоты реализуется при напряжениях более:

0,002·U_п для частот до 100 kHz;

0,005·U_п для частот до 500 kHz;

0,01·U_п для частот свыше 500 kHz.

9.2.8 Для работы с кнопками математической обработки результатов измерения и статистического анализа следует воспользоваться информацией таблицы 7.1. Все необходимые соединения с объектом измерения осуществляются по рекомендациям и иллюстрациям раздела 8.

9.3 Измерение напряжения постоянного тока в нановольтовом диапазоне (пределы «20 mV» и «200 mV»)

9.3.1 Задача измерения в нановольтовом диапазоне решается агрегатированием базового и низковольтного блоков (Н4-12 с Н4-12БН). Соединение этих блоков осуществляется по аналоговым и управляющим цепям, для чего в комплект поставки входят пятипроводный кабель «К3» и кабель управления «К6» (см. рисунок 8.8). Первым обеспечивается соединение четырехпроводного выхода калибратора базового прибора с соответствующими входами делителя 1:100 низковольтного блока, а также входа вольтметра Н4-12 с выходом усилителя блока Н4-12БН (см. рисунок 8.15). Кабелем управления («К6») необходимо соединить разъем на задней панели базового прибора с маркировкой «Н4-12БН» с разъемом «10/100» низковольтного блока. Маркировка на выводах кабеля «К3» позволяет обеспечить однозначную пространственную ориентацию для правильного соединения.

9.3.2 Для работы блока Н4-12БН в комплексе (системе) с базовым прибором Н4-12 он должен быть установлен в соответствующий режим, т.к. после включения питания блок переходит в исходный режим автономной работы. Для перевода низковольтного блока в системный режим работы необходимо нажать кнопку «F», а затем кнопку SYST (см. п.7.5.4). Все последующие процедуры управления осуществляются через клавиатуру базового прибора (или его интерфейс).

9.3.3 После прогрева приборов необходимо провести автокалибровку № 15. Эта калибровка осуществляется при обязательном замыкании дифференциального входа «» низковольтного блока штатной (медной) перемычкой. Если есть возможность обесточить измерительную цепь, то можно замыкание входа «» организовать в самой цепи. В этом случае калибровка нуля проводится с учетом всей цепи, и происходит компенсация всех паразитных источников. После паузы в 1-2 минуты для термоустойчивости входной цепи можно приступить к реализации калибровки № 15, для чего стандартной процедурой в соответствии с мнемосхемой (см. рисунок 7.2) инициировать автокалибровку № 15, в процессе которой устанавливаются нули и масштабы пределов «200 mV» и «20 mV» АЦП.

Следует помнить, что инициировать любую калибровку можно только из режима калибратора напряжения.

После окончания калибровки установить предел измерения «200 mV» и 6- или 7-разрядную шкалу вольтметра Н4-12 и убедиться, что нулевое показание не превышает 1-3 единиц младшего разряда (при 6-разрядной шкале). Если показание больше указанного значения, ка-

либровку следует повторить или скомпенсировать смещение нулевого уровня нажатием кнопки «Δ». Прибор готов к измерениям.

Автокалибровку № 15 рекомендуется проводить один раз в сутки, а для реализации максимальной точности – при всех изменениях измерительной цепи. При 7-разрядной шкале малый уровень шума можно реализовать при усреднении показаний по 8-10 измерениям, т.е. при $n = 8-10$. Пределы «20 mV» и «200 mV» устанавливаются или вручную или автоматически (автоматический выбор функционирует до напряжения 220 mV).

Примечание – При работе с блоком Н4-12БН нет необходимости устанавливать его на базовый прибор (см. рисунок 8.14). Допускается устанавливать его рядом: блок не будет мешать охлаждению базового прибора и не будет сам им нагреваться.

9.3.4 При измерении (воспроизведении) малых уровней напряжения доминируют составляющие погрешности, обусловленные паразитными термо-э.д.с. Для их минимизации необходимо пользоваться только штатными (из комплекта поставки) измерительными кабелями и перемычками или проводниками из химически чистой меди. Следует избегать тепловых потоков, касаний руками проводников и зажимов, а если это произошло, требуется сделать паузу для термоустойчивости входной (выходной) цепи.

Самый рациональный способ минимизации погрешности при измерениях – это компенсация начального уровня термо-э.д.с. перед измерением. Она осуществляется нажатием кнопки «Δ» вольтметра (клавиатура вольтметра Н4-12), которой обнуляется показание индикатора. Естественно, операцию установки нуля необходимо проводить в обесточенном состоянии измерительной цепи, а если это реализовать невозможно, - замыканием выводов входного кабеля (прижатием выводов друг к другу с помощью нуля-блока «NB» из комплекта поставки). Указанную операцию можно проводить после каждого изменения конфигурации измерительной цепи или при заметных изменениях температуры.

9.3.5 Низковольтный блок работает, как правило, в цепях с низкоомными источниками сигнала (1 kΩ и ниже). При источниках с сопротивлением более 100 Ω заметное влияние на точность измерения оказывает входной ток, который нормируется значениями до 0,1 nA. При источнике сигнала с внутренним сопротивлением 1 kΩ такой ток может вызвать смещение нуля, равное $0,1 \mu\text{V}$ ($1 \text{ k}\Omega \cdot 0,1 \text{ nA}$), а шумовая составляющая входного тока (менее 0,01 nA) и дополнительный шум – до 20 nV. Ток входной цепи низковольтного блока может изменяться от изменения окружающей температуры. Для его компенсации предусмотрена регулировка «нуля по току» подстроечным резистором, выведенным на заднюю стенку блока и имеющим маркировку «▷0◁». Для регулировки «нуля по току» необходимо создать смещение нуля, вызванное током входной цепи. С этой целью резистор сопротивлением 10 kΩ закрепляется между входными зажимами дифференциального входа «⊕». В результате протекания входного тока через этот резистор создается смещение нуля, которое индицируется цифровым табло вольтметра. Регулировкой «▷0◁» добиваются минимального показания (точность $\pm 0,5 \mu\text{V}$ является достаточной, т.к. соответствует входному току $0,5 \mu\text{V} : 10 \text{ k}\Omega = 0,05 \text{ nA}$). Такая регулировка может проводиться один раз в три месяца (в основном, при работе с источниками сигнала с внутренним сопротивлением более 100 Ω).

9.3.6 Питание низковольтного блока осуществляется от аккумуляторных батарей напряжением $\pm 3,6 \text{ V}$ при среднем токопотреблении до 25 mA в системном режиме работы и до 45 mA при автономном режиме работы. При емкости батарей 1,6 А·час ресурс работы в системном режиме более 60 часов, а в автономном – более 30 часов.

По мере разряда батарей необходимо произвести подзарядку аккумуляторов. Зарядное устройство из комплекта поставки низковольтного блока подключается к разъему BAT на задней панели, а тумблер из положения ON («включено») переводится в положение CHARGE («заряд»). Для заряда следует пользоваться указаниями изготовителя, прилагаемыми к зарядному устройству.

ВНИМАНИЕ! Если при включении блока нет никакой реакции на индикаторе, необходимо произвести заряд аккумуляторных батарей.

9.4 Порядок работы с калибратором

9.4.1 В процессе эксплуатации калибратора, способного воспроизводить на выходе высокое напряжение, важной, с позиций безопасной работы, является информация о способах оперативного отключения (снятия) напряжения с выходных клемм прибора.

В любой момент в процессе работы с передней панели можно отключить схему калибратора от выходных клемм, для чего достаточно включить кнопку СБРОС (OFF) – ее подсвеченное состояние свидетельствует о пассивном статусе калибратора независимо от числовой информации на дисплее, т.к. в этом случае его клеммы отключены от схемы.

Другой способ обезопасить оператора и тестируемую аппаратуру – заранее задать уровень ограничения величины выходного параметра (тока или напряжения), превышение которого вызовет автоматическое отключение схемы калибратора от выходных клемм. Это состояние индицируется подсветом кнопки СБРОС (OFF), а на табло индикатора калибратора появляется сообщение «Hi», если превышен уровень по положительной полярности, и «Lo», – если по отрицательной. Режим ограничения реализуется кнопкой ЛИМИТ (LIMIT), а процедура использования описана в таблице 7.1. Если уровень ограничения задан, то в любой момент включением кнопки ЛИМИТ (LIMIT) режим активируется. В ответственных случаях не следует пренебрегать режимом ограничения.



Особое внимание необходимо уделять работе с высоким напряжением. Не выполняйте подключений к входным клеммам при наличии какого-либо напряжения на выводах кабеля. Не полагайтесь на надежность изоляции кабелей. Высоковольтный разряд может произойти между двумя точками (шаговое напряжение) или через воздушную среду. Убедитесь, что на выводах кабеля отсутствуют жировые пятна, что выводы чистые и сухие. Помните, что если даже оборудование было выключено, то его конденсаторы могут хранить высоковольтный заряд. Не работайте в одиночку.

9.4.2 К особенностям исполнения базового прибора следует отнести наличие двух калибраторов постоянного напряжения (тока) – 6-разрядного и 7-разрядного (речь идет о десятичных разрядах). 7-разрядный калибратор отличается высокой точностью, но низким быстродействием (низкой скоростью установления напряжения: до 1-1,5 s), а 6-разрядный, при более низкой точности (см. таблицы 4.5, 4.6), является высокоскоростным, позволяя в течение 1 s устанавливать несколько десятков точек. Таким образом, эксплуатация прибора в режиме калибратора постоянного напряжения или тока требует от оператора установки разрядности шкалы калибратора: нажать кнопку «РАЗРЯДЫ G » («DIGITS G »), а затем кнопку с оцифровкой «6» или «7». В режимах калибратора переменного напряжения (тока) прибор функционирует только с 6-разрядной шкалой, и потому нет необходимости в предварительной установке разрядности.

Примечание – В режиме калибратора переменного напряжения на частотах выше 105 kHz автоматически устанавливается 5-разрядная шкала калибратора. Эти ограничения не связаны с изменением схемы или режима работы, они обусловлены точностными характеристиками калибратора.

9.4.3 Установка режима работы калибратора определена одной из следующих четырех возможностей:

- воспроизведение напряжения постоянного тока;
- воспроизведение напряжения переменного тока;
- воспроизведение силы постоянного тока;
- воспроизведение силы переменного тока.

Кроме того, прибор допускает определенные комбинации режимов – совместную работу калибратора с вольтметром и работу калибратора под управлением вольтметра.

Режим калибратора напряжения или тока инициируется нажатием кнопки «V» или «I» соответственно (дисплей реагирует свечением соответствующих символов «V» или «mA», однозначно определяя статус калибратора).

Для режима калибратора переменного напряжения и тока процедура отличается только необходимостью вслед за выбором режима («V» или «I») установить частоту, что может быть авансировано нажатием одной из кнопок «Hz» или «kHz».

9.4.4 **Установка предела воспроизводимых напряжений (токов)** реализуется кнопками «→» или «←» группы «ПРЕДЕЛ » («RANGE »).

Примечание – В режимах калибратора постоянного и переменного тока устанавливаются пределы «2 mA», «20 mA», «200 mA» и «2000 mA». В режиме калибратора переменного напряжения и 6-разрядного калибратора постоянного напряжения устанавливаются пределы «0,2 V», «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V», в режиме 7-разрядного калибратора постоянного напряжения – пределы «20 mV», «200 mV», «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V». При этом предел «1000 V» устанавливается только комплексом базового прибора с высоковольтным блоком (Н4-12 с Н4-12БВ), а пределы «20 mV» и «200 mV» – комплексом Н4-12 с Н4-12БН (пп.9.4.6, 9.4.7). При отсутствии соединений с низковольтным блоком Н4-12БН установка пределов «20 mV» и «200 mV» блокируется.

9.4.5 **Установка напряжения (тока) и частоты** реализуется либо цифровым рядом наборного поля или группой органов РЕДАКТ. (EDIT). В первом варианте требуется двухэтапная процедура установки параметра (набор значения и последующее инициирование), а во втором обеспечивается прямая подача сигнала на выход калибратора. Технология установки напряжения (тока) и частоты подробно изложена в таблице 7.1 (см. «Ввод данных» и «Редактирование данных»).

9.4.6 **Воспроизведение напряжений постоянного и переменного тока выше 200 V** реализуется агрегатированием базового прибора с высоковольтным блоком (см. рисунок 8.13). Выход базового прибора кабелем «K2» соединяется с входом блока Н4-12БВ. Воспроизводимые напряжения снимаются с клемм выхода «» блока Н4-12БВ. Управление осуществляется клавиатурой базового прибора (при установленном пределе «1000 V»). Отключение выходного напряжения производится кнопкой СБРОС (OFF), но все необходимые действия с клеммами, нагрузкой, соединительными кабелями реализуются при обнуленном индикаторе и включенной (подсвеченное состояние) кнопке СБРОС (OFF).

9.4.7 **Воспроизведение напряжений нановольтового диапазона** (на пределах «20 mV» и «200 mV») реализуется агрегатированием базового прибора с низковольтного блока. Технология такого агрегатирования изложена в пп.9.3.1, 9.3.2.

Для работы в режиме нанокалибратора не требуется проведения автокалибровки № 15. Более того, не требуется даже включать питание низковольтного блока, т.к. режим калибратора реализуется резистивным делителем 1:100, т.е. пассивной схемой.

Установка напряжений и пределов осуществляется клавиатурой базового прибора. Выходное напряжение снимается с клемм «» низковольтного блока с соблюдением всех мер предосторожности, характерных для нановольтового диапазона (см. подраздел 8.4).

9.4.8 **Воспроизведение силы постоянного и переменного тока более 2 A** реализуется агрегатированием базового прибора с преобразователем напряжение-ток Я9-44 (рисунок 9.1).

Выход калибратора напряжения базового прибора Н4-12 необходимо соединить с входом преобразователя Я9-44 кабелем «K2». Выходной ток снимается с выходных клемм «» прибора Я9-44 (тридцатиамперным кабелем из комплекта поставки преобразователя).

Прибор Я9-44 обеспечивает преобразование постоянного и переменного напряжения (синусоидальной формы) до 30 V в силу тока до 30 A с коэффициентом преобразования 1 V/1 A. При этом диапазону входных напряжений 1 V – 30 V соответствует выходной ток 1 A – 30 A. Отсчет выходного тока осуществляется по индикатору базового прибора с заменой (мысленной) единицы измерения «вольт» на единицу измерения «ампер» и обратной полярностью. Для правильного использования преобразователя Я9-44 необходимо ознакомиться с руководством по эксплуатации на этот прибор.

9.4.9 **Работа калибратора под управлением вольтметра** реализуется в режиме 7-разрядного калибратора напряжения постоянного тока на пределах «200 V» и «1000 V» и в режиме калибратора напряжения переменного тока на всех пределах (исключая предел «0,2 V») при

включенной кнопке «kHz» (то есть частота выше 200 Hz). Причем, если в первом случае альтернатива не предусмотрена, то во втором (калибратор переменного напряжения) – по желанию оператора может быть выбран режим без управления вольтметром или с управлением (см. подраздел 8.11). **Но только управление вольтметром позволяет реализовать норму погрешности 7-разрядного калибратора на пределах «200 V» и «1000 V» и нормируемую погрешность калибратора переменного напряжения на пределах «200 V» и «1000 V».**

Для реализации режимов калибратора под управлением вольтметра принципиально необходимо осуществить соединение высокопотенциального выхода калибратора с входом вольтметра. На рисунках 9.2 – 9.5 такое соединение осуществлено на нагрузке (на высокопотенциальной клемме тестируемого устройства). В этом случае, если нагрузкой потребляется заметный ток, возникает падение напряжения на соединении калибратора с нагрузкой, но, контролируя напряжение непосредственно на нагрузке, вольтметр компенсирует потери.

Порядок установки режима калибратора под управлением вольтметра:

- обеспечить соединение 7-разрядного калибратора постоянного напряжения с нагрузкой и вольтметром (для предела «200 V» - в соответствии с рисунком 9.2, а для предела «1000 V» - в соответствии с рисунком 9.4);

- установить требуемый предел («200 V» или «1000 V»), после чего автоматически включится кнопка «DC», а на индикаторе калибратора установится минимальный уровень напряжения, с которого реализуется работа прибора (20 V или 200 V соответственно на пределах «200 V» или «1000 V»);

- установить требуемый уровень напряжения калибратора;

- активировать схему нажатием кнопки СБРОС (OFF).

На левом индикаторе отображаются результаты оперативного контроля напряжения на выходе калибратора, которое используется по назначению.

Отсутствие связи вольтметра с калибратором идентифицируется как ошибка, обусловленная обрывом цепи обратной связи.

9.4.10 Работа калибратора переменного напряжения под управлением вольтметра осуществляется в частотном диапазоне выше 200 Hz на всех пределах воспроизводимых напряжений, кроме предела «0,2 V». Только реализация этого режима гарантирует нормируемую точность воспроизведения напряжения на пределах «1000 V» и «200 V».

На пределах «2 V» и «20 V» нормируемая точность гарантируется как в автономном, так и в совместном с вольтметром режиме.

ПРИМЕЧАНИЕ - На частотах выше 500 kHz рекомендуется использовать режим работы под управлением вольтметра.

Реализации режима работы калибратора переменного напряжения под управлением вольтметра предшествуют следующие операции:

- осуществить соединение прибора с нагрузкой, входа вольтметра с выходом калибратора (для предела «200 V» - в соответствии с рисунком 9.3, для предела «1000 V» - в соответствии с рисунком 9.5);

- установить режим калибратора включением кнопки «kHz» и режим вольтметра включением кнопки «AC/SV3» («AC/AVR») при их совместной работе;

- установить соответствующие пределы калибратора и вольтметра;

- установить нужную частоту и уровень выходного напряжения;

- установить режим управления нажатием кнопки «SRV»;

- осуществить запуск калибратора, выключив кнопку СБРОС (OFF) и использовать установленный уровень напряжения по назначению.

Примечание – На рисунке 9.5 вывод экрана («G») кабеля «K1» остается свободным (не подключен к корпусу или клемме «G»). Это сделано с целью иллюстрации нюансов практической работы. Дело в том, что помеха едва ли мешает работе прибора на самом грубом пределе, а подключение экранирующего вывода кабеля к низкопотенциальному выводу измерительной цепи (или к клемме «G») увеличивает емкость кабеля (а значит и нагрузки калибратора) в 1,5 раза, что дает некоторый отрицательный эффект при эксплуатации изделия в условиях, близких к граничным.

Необходимо обратить внимание на нижеприведенные **ограничения рассматриваемого режима**. В зависимости от установленного предела вольтметр обеспечивает контроль напряжений калибратора в следующих диапазонах:

- от 100 до 1000 V – на пределе «1000 V»;
- от 10 до 210 V – на пределе «200 V»;
- от 1 до 21 V – на пределе «20 V»;
- от 0,1 до 2,1 V – на пределе «2 V».

При подходе к нижней границе указанных диапазонов следует переключить вольтметр на более чувствительный предел измерения. Манипуляции усложняются на пределе «1000 V», т.к. это связано с отчуждением высоковольтного блока и сменой высоковольтной клеммы вольтметра.

9.5 Одновременная работа вольтметра и калибратора напряжения

9.5.1 Способность прибора Н4-12 одновременно функционировать в режимах вольтметра и калибратора напряжения открывает широкие возможности для исследования, проверки, калибровки различных преобразователей, самодиагностики (в том числе диагностики метрологического состояния) прибора. Гибкая структура допускает такое функционирование практически в любом сочетании, т.к. и вольтметр, и калибратор имеют самостоятельную клавиатуру управления при одном ограничении: **невозможность одновременного функционирования 7-разрядного калибратора и 6-, 7-разрядного вольтметра**. При 7-разрядном статусе калибратора необходим переход на 5-разрядную (и ниже) шкалу вольтметра и наоборот – при 6-, 7-разрядном вольтметре необходим переход на 6-разрядную шкалу калибратора.

9.5.2 Перевод в режим одновременного функционирования калибратора и вольтметра можно реализовать как из режима калибратора, так и из режима вольтметра (при монорежимной работе любого из них). Для этого достаточно осуществить **повторное нажатие кнопки установленного режима** калибратора или вольтметра, функционирующего в данный момент. Например, включен режим калибратора напряжения, т.е. включена кнопка «V», повторным нажатием ее вызывается режим вольтметра, причем состояние калибратора сохраняется, а вольтметр устанавливается в исходный режим – измерение постоянного напряжения на пределе «20 V». Оператор стандартной процедурой устанавливает требуемое состояние вольтметра.

9.5.3 При исследовании прецизионных преобразователей требуется высокая точность как от источника сигнала, так и от измерителя, т.е. требуется, чтобы и калибратор, и вольтметр одновременно обеспечивали высокую точность, что не всегда возможно, например, в случаях, когда вольтметр управляет калибратором для обеспечения нормируемой погрешности. Если освободить вольтметр от этой функции ухудшится точность калибратора (на пределах «200 V» и «1000 V» 7-разрядного калибратора постоянного напряжения и на пределах «200 V» и «1000 V» калибратора напряжения переменного тока в частотном диапазоне выше 200 Hz). Но и в этом случае гибкая организация прибора позволяет решить измерительную задачу за счет предварительной установки напряжения на выходе калибратора, контролируемого вольтметром с максимальной точностью. Например, для эксперимента требуется источник напряжения постоянного тока 1 V с максимальной точностью. Это напряжение можно установить на выходе 6-разрядного калибратора и подкорректировать его по 7-разрядному вольтметру. Аналогично можно установить напряжение переменного тока контролируя выход вольтметром, реализуя при этом эксперимент с максимальной точностью.

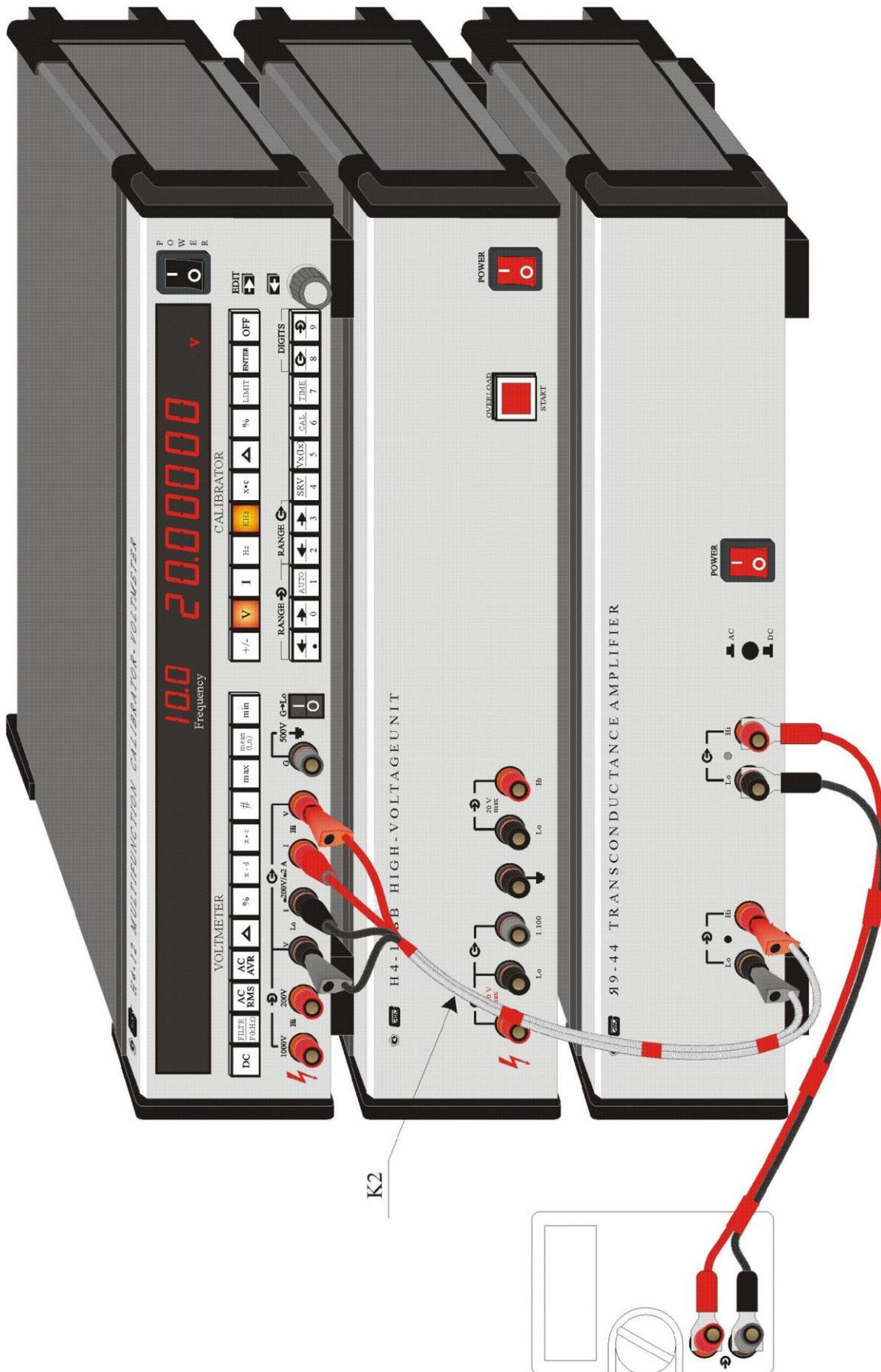


Рисунок 9.1 – Реализация предела «20 А» калибратора силы постоянного и переменного тока

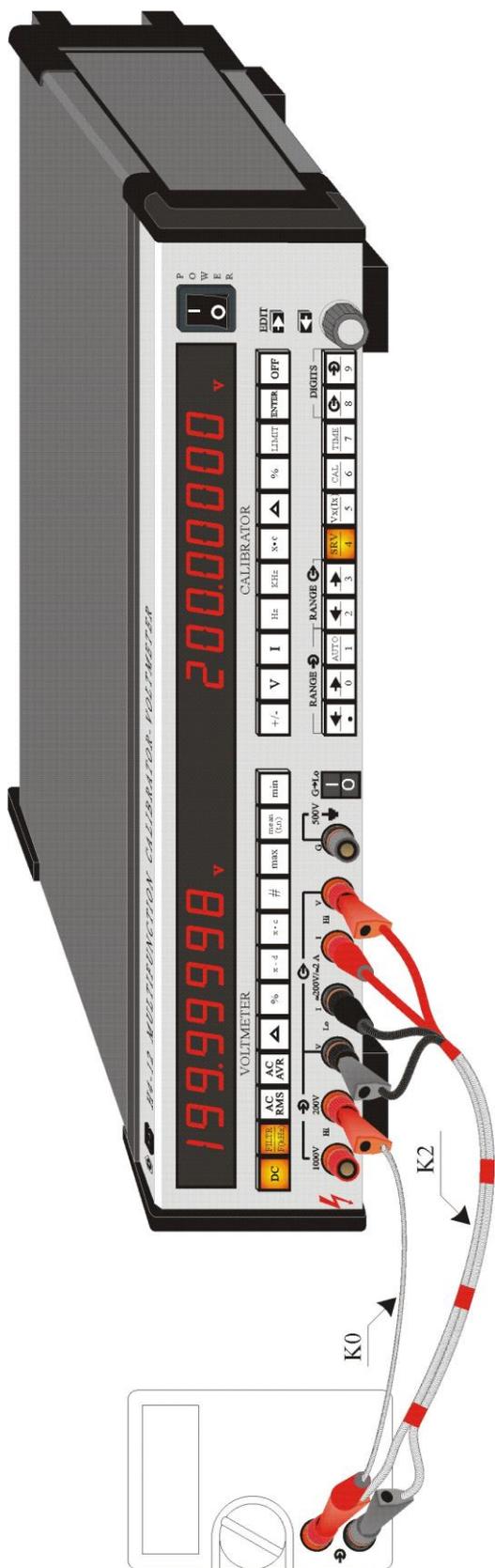


Рисунок 9.2 – Работа калибратора под управлением вольтметра на пределе «200 V» в режиме 7-разрядного калибратора постоянного напряжения

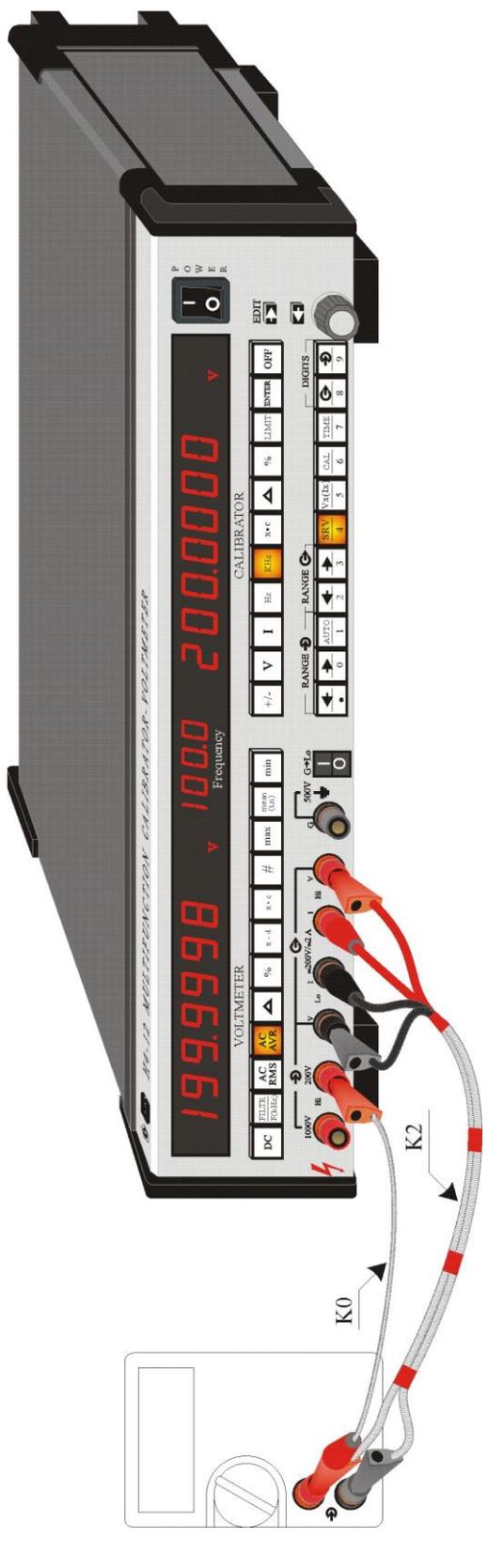


Рисунок 9.3 – Работа калибратора под управлением вольтметра на пределе «200 V» в режиме калибратора переменного напряжения

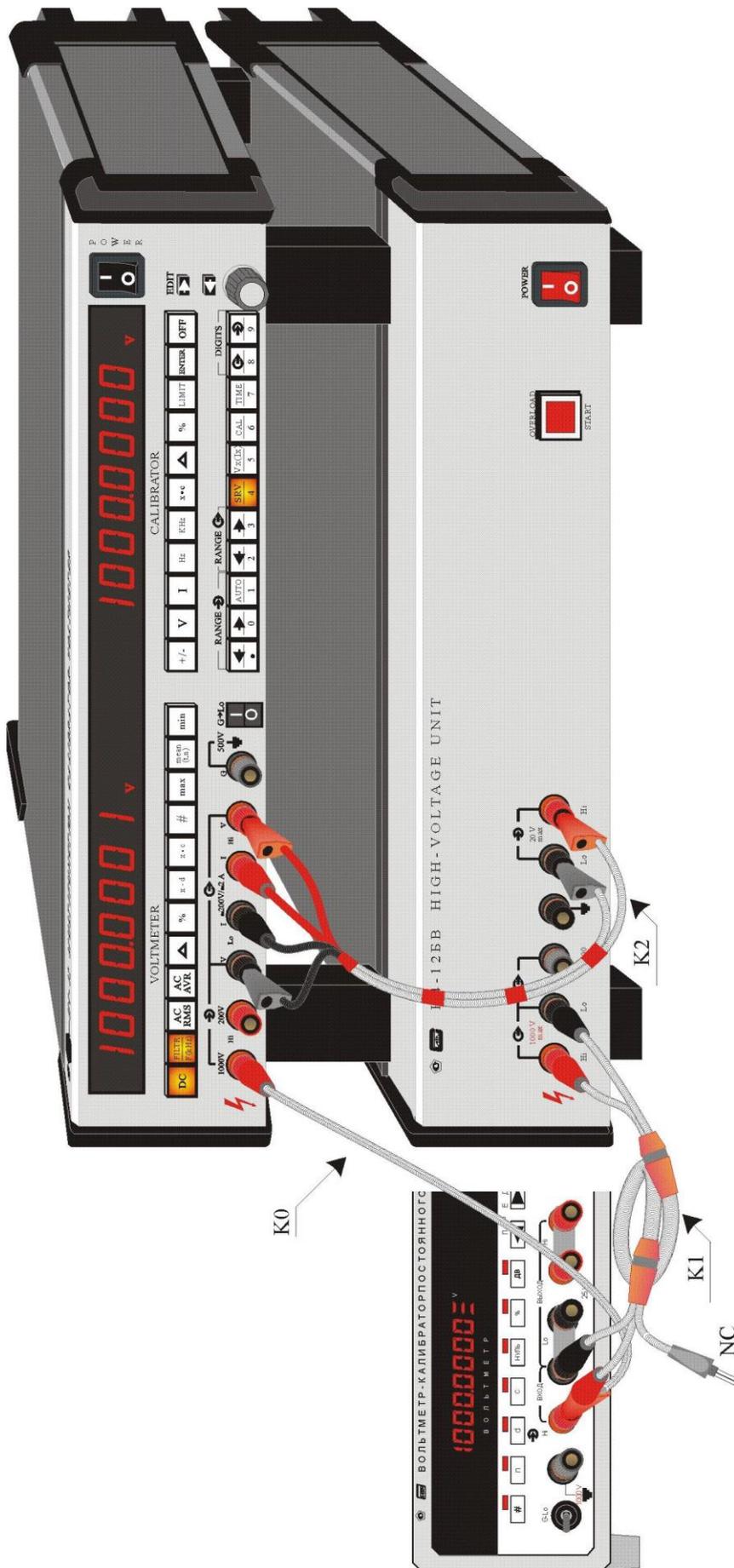


Рисунок 9.4 – Конфигурация комплекса N4-12 с N4-12B при работе 7-разрядного калибратора постоянного напряжения на пределе «1000 V»

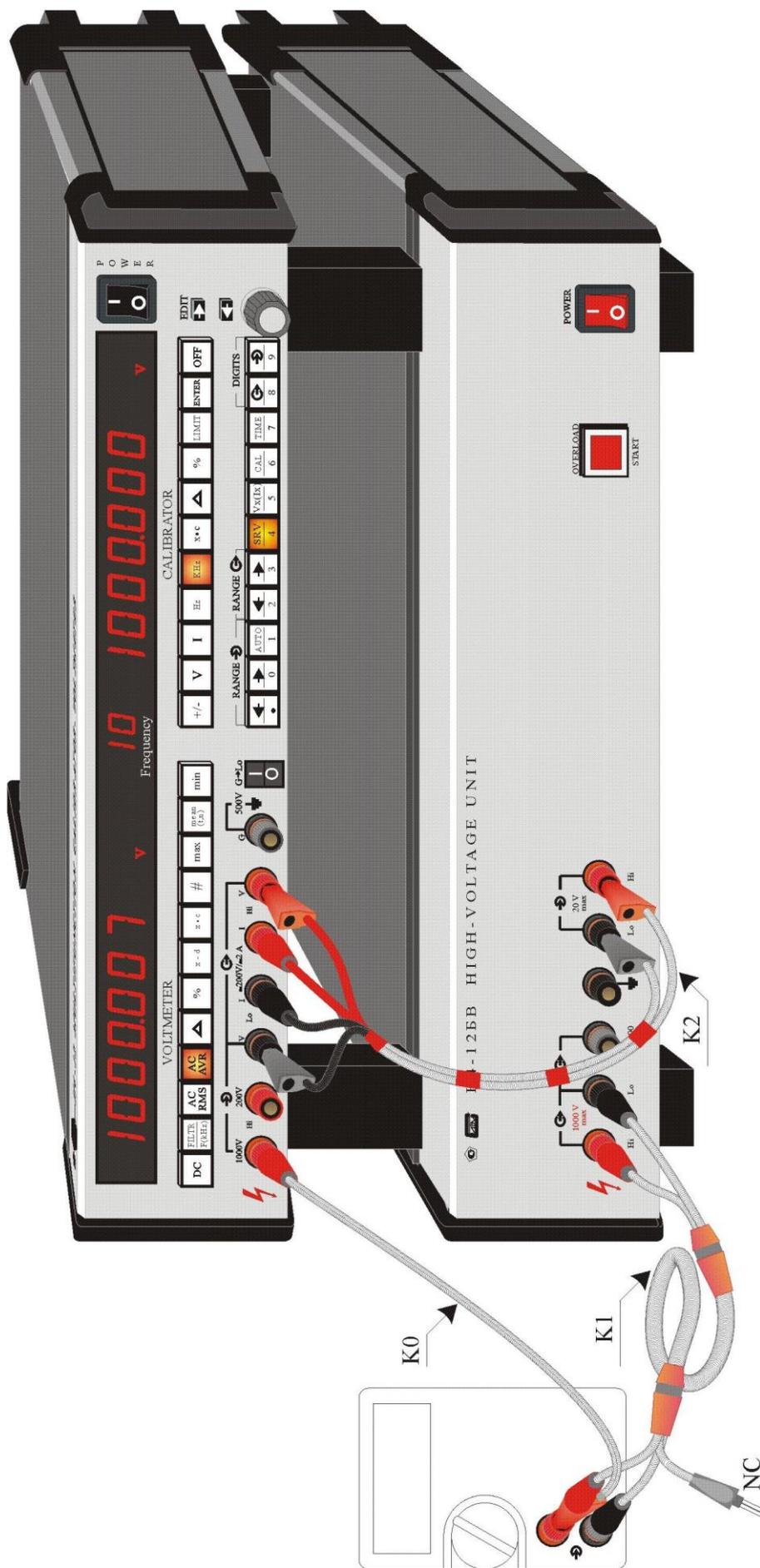


Рисунок 9.5 – Конфигурация комплекса Н4-12 с Н4-12БВ при работе калибратора переменного напряжения под управлением вольтметра на пределе «1000 V»

9.6 Порядок работы с блоком Н4-12БН в автономном режиме

9.6.1 Блок низковольтный Н4-12БН может эксплуатироваться как высокочувствительный усилитель постоянного и переменного напряжения (в частотном диапазоне до 2 кГц) с коэффициентом передачи 100 и как нановольтметр постоянного тока со своим дисплеем, клавиатурой и самостоятельным интерфейсом для связи (через оптический канал) с персональным компьютером. Главным преимуществом автономного режима работы является практически идеальная развязка блока от промышленной сети и приборов с сетевым питанием.

9.6.2 В автономном режиме входными клеммами нановольтметра являются клеммы с символом «». Клеммы дифференциального входа «» и выхода калибратора «» не используются.

Порядок работы с цифровым нановольтметром изложен в пп.7.5.3, 7.5.4, а процедура калибровки нановольтметра – в разделе 10 «Техническое обслуживание». С учетом того, что для калибровки требуется только базовый прибор Н4-12, она имеет статус самоповерки, которую должен осуществлять пользователь один раз в 30 дней. Этот регламент может быть изменен пользователем по мере набора статистических данных.

9.6.3 При использовании блока Н4-12БН в качестве усилителя с коэффициентом усиления 100 потребуется аналоговый выход, клеммы которого расположены на задней панели блока (см. рисунок 7.5) и обозначены символом « Аmр» (выход усилителя). Однако следует помнить, что самоповеркой калибровка масштаба (коэффициента усиления) реализуется в цифровом отображении на индикаторе. Для определения действительного значения коэффициента усиления (с погрешностью 0,001 % и менее) необходимо воспользоваться прибором Н4-12. Подав на вход усилителя сигнал 10 мV (в том числе и переменного напряжения до 2 кГц) с выхода калибратора Н4-12 и, измерив выходной сигнал его вольтметром (совместная работа вольтметра и калибратора, см. п.9.5.2), определить точное значение коэффициента усиления.

9.7 Использование режимов математической и статистической обработки информации

9.7.1 Реализация операции масштабирования «x·c» и сдвига «x-d» может оказаться полезной для сопряжения масштабов приборов измерительной схемы. На практике такое сопряжение реализуется установкой исходных (начальных) уровней измерительного диапазона, например, нуля и опорного уровня (середина или верхняя граница шкалы). Нулевого показания измерительного прибора можно добиться сдвигом на d μ V нуля калибратора (или компенсации его нажатием кнопки « Δ » вольтметра), а константой «c» добиться равенства показаний в середине или конце шкалы. После сопряжения шкал прибора-источника и прибора-измерителя реализуется более высокая точность измерения, т.к. в этом случае она определяется нелинейностью характеристики приборов (исключаются составляющие погрешности, обусловленные дрейфом нуля и дрейфом опорного источника).

9.7.2 Режим статистического анализа (включается кнопкой «#» в измерительных режимах) позволяет осуществить метрологическое исследование измеряемого объекта с регистрацией среднего и экстремальных значений исследуемого параметра и фиксацией моментов времени, соответствующих этим значениям. Усреднение измеряемого параметра во времени (кнопка «СРЕДН») дает возможность выявить тенденции процесса в условиях значительного «зашумления» сигнала и высокого уровня помех.

9.8 Режим отклонения (девиации) выходного напряжения

9.8.1 Режим отклонения выходного напряжения калибратора от предварительно установленного значения (кнопки « Δ » и «%») может оказаться полезным при оценке погрешности

вольтметра, коэффициентов передачи усилителей, делителей, исследованиях стабилизаторов, стабилизаторов и т.п. Использование этого режима поясняется нижеприведенными примерами.

9.8.2 Пример определения погрешности коэффициента передачи 1:10 усилителя (делителя):

- на вход усилителя с выхода калибратора подать напряжение, например, 10 V;
- вольтметром зафиксировать напряжение на выходе усилителя;
- включить кнопку «%»;
- группой кнопок РЕДАКТИРОВАНИЕ добиться по индикатору вольтметра показания $0,1 \cdot U_{вх}$ (например, вводом в фиксированный разряд напряжения с требуемым знаком).

Индикатор калибратора фиксирует погрешность коэффициента передачи усилителя (делителя) в процентах.

9.8.3 Пример определения погрешности вольтметра:

- на вход вольтметра подать напряжение контролируемой точки, например, 10 V;
- включить кнопку «%» или «Δ»;
- группой кнопок РЕДАКТИРОВАНИЕ или (и) наборного поля добиться показания вольтметра, равного первоначально установленному на выходе калибратора напряжению.

Индикатор калибратора фиксирует погрешность проверяемого прибора с обратным знаком.

9.9 Использование последовательного интерфейса СТЫК С2 и последовательно-параллельного интерфейса КОП

9.9.1 Обмен данными при работе прибора Н4-12 с интерфейсом происходит в дуплексном (полном) режиме с использованием следующего протокола приемо-передачи:

- управление прибором осуществляется подачей текстовой строки в формате, указанном в таблице 4.16;
- вывод данных о состоянии прибора происходит по запросу. Формат выводимых данных представлен в таблице 4.17.

Между командами, подаваемыми прибору, необходимо делать паузу (ставить задержку). Величина задержки 100 ms.

ВНИМАНИЕ! Быстродействие аналоговой схемы прибора намного ниже скорости работы встроенной ЭВМ, поэтому необходимо дополнительно выдерживать время для установления выходного напряжения с необходимой точностью и установления показаний проверяемого прибора.

9.9.2 Формат цифровых данных подаваемых команд может быть иным, чем указано в таблице 9.1. Количество цифр может изменяться от одной до семи в зависимости от количества значащих цифр задаваемого параметра. При установке уровня используются семь значащих цифр, а при установке частоты – только четыре. Команды с неправильным заголовком игнорируются. Вследствие того, что наличие недопустимых символов (иных кроме цифр и десятичной точки) в поле цифровых данных специально не проверяется, имеется вероятность исполнения ошибочной команды. Наличие на месте десятичного разделителя не символа точки понимается как окончание числа (целой части числа).

9.9.3 Порядок (последовательность) подачи команд должен определяться двумя критериями – допустимостью для текущего состояния и учетом времени исполнения. Следует учитывать, что смена режима работы всегда приводит к автоматическому отключению выхода калибратора. Исполнение любой команды всегда приводит к изменению состояния прибора, отображаемого на индикаторе, а также к изменению значения выдаваемой строки состояния.

Особенностью системы команд прибора является отсутствие отдельной команды перехода к воспроизведению напряжения переменного тока. Для выполнения этой операции необходимо подать команду об установке требуемого значения частоты. При этом возможно придется повторить уже установленное значение частоты.

В режиме дистанционного управления реализуется переход от постоянного к переменному току и обратно без сброса выхода.

9.9.4 Некоторые режимы можно включить, как воспользовавшись специальной командой, так и путем послышки команды «Имитировать нажатие клавиши». Однако существуют режимы, которые включаются только командой «Имитировать нажатие клавиши». Коды клавиш приведены в таблице 4.18.

9.9.5 **Последовательный интерфейс СТЫК С2 (RS-232C)** позволяет подключить прибор к компьютеру, имеющему стандартный последовательный порт (СОМ-порт).

9.9.6 Подключение прибора к компьютеру осуществляется через девятиконтактный разъем (розетку), расположенный на задней стенке прибора, посредством модемного кабеля (входит в комплект поставки).

9.9.7 Параметры настройки последовательного порта:

- скорость – 9600 бод (бит/с),
- данные – 8 бит,
- бит «четность» – отсутствует,
- сигнал «СТОП» – 1 бит.

9.9.8 **Подключение прибора Н4-12 к интерфейсу КОП** осуществляется через преобразователь GPIB-232CV-A посредством стандартного кабеля КОП из комплекта поставки установки. Подключение преобразователя GPIB-232CV-A осуществляется посредством модемного кабеля из комплекта поставки.

9.9.9 Формат байта состояния при последовательном опросе КОП приведен в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формат байта состояния преобразователя GPIB-232CV-A

Номер бита	Назначение
0	Состояние входного буфера КОП преобразователя: бит равен 1, если буфер пуст, и равен 0, если буфер содержит информацию
1	Состояние входного буфера последовательного канала: бит равен 1, если буфер пуст, и равен 0, если буфер содержит информацию

9.9.9 Подготовка преобразователя GPIB-232CV-A к работе осуществляется следующим образом:

- установить требуемый адрес переключателями ADDRESS преобразователя GPIB;
- установить переключателями CONFIG конфигурацию «SRQ Enabled and Large Serial Buffer»;
- установить переключателем MODE режим работы «D Mode»;
- установить переключателями BAUD RATE скорость обмена 9600 бод;
- установить переключателями DATA FORMAT режим обмена 8 бит данных, один стоп бит, без четности;
- установить переключателем HANDSHAKE режим «Xon/Xoff protocol disabled». Положение переключателей, соответствующее указанным настройкам, приведено в таблице 9.2;
- подключить преобразователь к прибору при помощи нуль-модемного кабеля из комплекта поставки установки (кабель интерфейса RS-232C);
- подключить стандартный кабель КОП к преобразователю;
- подключить к преобразователю кабель питания.

Таблица 9.2 – Положение конфигурационных переключателей GPIB-232CV-A

Наименование переключателя	Положение
CONFIG	ON, ON
MODE	OFF
BAUD RATE	ON, OFF, ON
DATA FORMAT	OFF, OFF, OFF, ON
HANDSHAKE	OFF

9.10 О некоторых возможностях использования калибратора-вольтметра Н4-12

9.10.1 Изделие (комплекс) Н4-12 является основным средством метрологического обеспечения прецизионных вольтметров, калибраторов и генераторов. В этом качестве его применение традиционно. Однако его способность одновременно функционировать в режиме широкополосного и широкодиапазонного источника и измерителя сигналов открывает широкие возможности в исследовательской практике. Некоторые из них рассматриваются ниже, но основное внимание акцентируется не на технологической, а на идейной стороне вопроса, т.к. ставится цель не научить пользователя, а подсказать возможные пути решения измерительной задачи. Примеры, приведенные ниже, ограничены применением комплекса Н4-12 как самодостаточно измерительного средства, и поэтому не рассматриваются случаи с использованием дополнительных аппаратных средств.

9.10.2 **Тестирование резистивных делителей** реализуется подачей на их вход напряжения калибратора и измерением выходного напряжения вольтметром. При работе на постоянном токе рекомендуется использовать 6-разрядный калибратор и 7-разрядный вольтметр. Если при этом предварительно измерить напряжение калибратора 7-разрядным вольтметром и по его показаниям установить точное значение (используя, например, операцию «х·с») калибратора можно добиться высокой точности измерения (менее 0,0001 %).

При работе на переменном токе на точность измерения большое влияние оказывает входная емкость вольтметра. В связи с этим при исследованиях в широком частотном диапазоне делителей с высоким выходным сопротивлением (выше 100 Ω) практически невозможно обойтись без буферного усилителя на выходе делителя, которым нейтрализуется влияние входной емкости вольтметра (так называемые, активные делители).

9.10.3 **Тестирование усилителей** реализуется аналогично тестированию делителей, т.к. и делители, и усилители с масштабирующей схемой в цепи обратной связи относятся к классу масштабных преобразователей. Возможности исследования усилителей в широком частотном диапазоне шире, т.к. усилитель способен зарядить входную емкость вольтметра практически мгновенно, нейтрализовав ее влияние. Так, например, в процессе производства прибором Н4-12 тестируется усилитель высоковольтного блока Н4-12БВ во всем диапазоне входных (0 – 20 V) и выходных (0 – 1000 V) сигналов постоянного и переменного напряжения. По результатам таких исследований определяются частотнокомпенсирующие цепочки, необходимые для коррекции амплитудно-частотной характеристики усилителя.

9.10.4 **Тестирование преобразователей переменного напряжения в постоянное** прибором Н4-12 реализуется в широком амплитудном диапазоне. Для преобразователей с выходным напряжением менее 20 mV необходимо использовать низковольтный блок Н4-12БН в автономном режиме работы в качестве нановольтметра, измеряющего выходное напряжение преобразователя. При высоком уровне напряжения на выходе преобразователя (более 20 mV) используется вольтметр базового прибора. В качестве источника входного напряжения используется его калибратор переменного напряжения (с максимальной нагрузочной способностью 20-30 mA).

При проверке термопреобразователей прибор Н4-12 может обеспечить режим сравнения постоянного напряжения с переменным, а нановольтметр Н4-12БН – измерение выходного напряжения.

9.10.5 **Использование комплекса Н4-12 в цепях на основе мостовых схем** позволяет реализовать питание моста напряжением (током) в широком амплитудном и частотном диапа-

зонах, а низковольтный блок Н4-12БН, будучи включенным в измерительную диагональ моста, выполняет функцию высокочувствительного (до единиц нановольт) индикатора разбаланса или усилителя сигнала разбаланса. В последнем качестве он функционирует и как усилитель сигнала переменного напряжения в полосе частот до нескольких килогерц. Автономное питание низковольтного блока в сочетании с дистанционным оптическим каналом передачи данных измерения гарантирует самую высокую степень развязки измерительной диагонали моста.

9.10.6 Поверка широкополосных вольтметров переменного напряжения вызывает затруднения из-за высокого уровня помех, создаваемых схемами управления калибратора (микроконтроллерами, каналами связи, исполнительными устройствами). Частотный спектр этих помех занимает область, далекую от рабочего диапазона самого калибратора, но тем не менее попадает в область рабочих частот тестируемого вольтметра, затрудняя его поверку на самых чувствительных пределах. Радикальным средством борьбы с этим явлением становится использование делителя 100:1 из комплекта поставки изделия. Погрешность коэффициента передачи делителя – от сотых долей до нескольких десятых долей процента (в верхнем спектре частотного диапазона 1 МГц).

Подключив делитель к калибратору с пределом «2 V» и, снимая напряжение с выхода делителя, можно ослабить помеху в 100 раз.

9.10.7 Измерение силы тока реализуется совокупностью базового прибора с мерами сопротивления Н4-12МС (п.8.3.7).диапазон измеряемых токов (постоянных и переменных) от единиц наноампер до 50 А. В составе мер Н4-12МС расположено четыре шунта с номинальными сопротивлениями 0,01 Ω ; 1 Ω ; 10 Ω и 100 Ω . Бюджет погрешности измерения силы тока складывается из погрешности измерения прибором Н4-12 напряжения постоянного и переменного тока на пределах «0,2 V» и «2 V» и погрешности мер сопротивления в цепях постоянного и переменного тока. Нормируемые для мер Н4-12МС погрешности приведены в таблице 9.3.

9.10.8 В измерительной практике (в системах автоматике и сигнализации) может оказаться полезной возможность использования высокого быстродействия (скорости установления выходного параметра) калибратора постоянного (6-разрядного) и переменного напряжения и тока, в частности, для формирования сигналов манипулированных по амплитуде напряжений и токов. С помощью внешней ЭВМ возможно получение произвольного типа модуляции: прибору задается последовательность значений амплитуды выходной величины и временных интервалов, затем передается команда на исполнение, после чего прибор начинает выставлять эти амплитуды через заданные интервалы времени.

9.10.9 Измерение высоких уровней напряжения постоянного тока (до 1000 V) с высоким (более $10^{10} \Omega$) входным сопротивлением измерительной схемы. Входное сопротивление вольтметров постоянного тока на высоковольтных пределах (100 и 1000 V) не превышает $10^7 \Omega$, что не позволяет реализовать точное измерение напряжения на выходе делителя с входным сопротивлением даже в несколько десятков Ом. По сути, измеряется только напряжение источников (калибраторов, генераторов).

Наличие калибратора Н4-12 позволяет скомпенсировать измеряемое напряжение, реализуя “встречное” включение, а разницу измерить внешним вольтметром. Если разница не превышает 20 mV, можно использовать блок Н4-12БН.

Таблица 9.3 – Основные метрологические характеристики мер сопротивления

Номинальное значение, Ω	Предел допускаемого отклонения действительного значения сопротивления меры от номинального значения	Предел допускаемой основной погрешности за 1 год, $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$	Дополнительная погрешность в частотном диапазоне (отклонение от сопротивления постоянному току, а для меры $0,01\Omega$ - отклонение от значения сопротивления, указанного в свидетельстве о поверке для заданной частоты)			Температурный коэффициент сопротивления, $\% / ^\circ\text{C}$	Допускаемая сила тока
			до 1 kHz	до 5 kHz	до 20 kHz		
100	$\pm 0,03 \%$	$\pm 0,003 \%^*$	$\pm 0,005 \%$	$\pm 0,01 \%$	$\pm 0,01 \%$	$\pm 0,0002$	30 mA
10	$\pm 0,1 \%$	$\pm 0,003 \%^*$	$\pm 0,005 \%$	$\pm 0,01 \%$	$\pm 0,01 \%$	$\pm 0,0002$	200 mA
1	$\pm 0,1 \%$	$\pm 0,003 \%^*$	$\pm 0,005 \%$	$\pm 0,01 \%$	$\pm 0,02 \%$	$\pm 0,0002$	2000 mA
0,01	$\pm 0,1 \%$	$\pm 0,01 \%$	$\pm 0,01 \%$	$\pm(0,01 \cdot f [\text{kHz}]) \%$		$\pm 0,0003$	20 A*

* 50 A – при двукратном увеличении погрешности

9.11 Рекомендации по использованию изделия Н4-12 для поверки прецизионных калибраторов переменного напряжения (работа по норме относительной погрешности)

9.11.1 В общем случае, когда соотношение погрешностей поверяемого калибратора и вольтметра Н4-12 соответствует действующим нормам по метрологическим запасам, процедура поверки становится тривиальной, т.к. используется метод прямых измерений выходного напряжения калибратора вольтметром Н4-12.

9.11.2 Есть смысл остановиться на проблемной процедуре поверки прецизионного калибратора переменного напряжения, имеющего точность, соизмеримую с точностью прибора Н4-12. Такая ситуация может иметь место, например, при поверке калибратора Н4-7. В таблице 9.4 приведены погрешности калибратора переменного напряжения Н4-7 и вольтметра Н4-12 на пределе «20 V».

Таблица 9.4 – Погрешность калибратора переменного напряжения Н4-7 и вольтметра Н4-12 на пределе «20 V»

Частотный диапазон	Н4-7 калибратор		Н4-12 вольтметр	
	Основная погрешность, $\pm(\% \text{ от } U + \% \text{ от } U_{\text{п}})$			
	за 1 год	за 3 года	относительная	абсолютная
до 20 kHz	$0,004 + 0,0004$	$0,008 + 0,0008$	$0,0012 + 0,0003$	$0,0027 + 0,0003$
20 – 50 kHz	$0,008 + 0,0008$	$0,012 + 0,0012$	$0,0035 + 0,0005$	$0,0075 + 0,0005$
50 – 100 kHz	$0,01 + 0,001$	$0,018 + 0,0018$	$0,004 + 0,001$	$0,009 + 0,001$
100 – 300 kHz	$0,04 + 0,004$	$0,06 + 0,006$	$0,015 + 0,0025$	$0,025 + 0,0025$
300 – 500 kHz	$0,1 + 0,01$	$0,15 + 0,015$	$0,04 + 0,01$	$0,09 + 0,01$
500 – 1000 kHz	$0,25 + 0,025$	$0,3 + 0,03$	$0,15 + 0,02$	$0,15 + 0,02$

Если ориентироваться на абсолютную погрешность вольтметра Н4-12, то можно констатировать, что поверка калибратора Н4-7 даже по трехгодичной норме погрешности не может быть реализована, т.к. не обеспечивается хотя бы трехкратный метрологический запас средства

измерения. Однако возможность поверки калибратора Н4-7 вольтметром Н4-12 может быть реализована с соблюдением всех нормативов при использовании такой важной характеристики вольтметра Н4-12, как относительная погрешность.

9.11.3 Нормой относительной погрешности можно воспользоваться при уравнивании опорных напряжений поверяемого (Н4-7) и образцового (Н4-12) средств измерения. Опорным напряжением (то есть напряжением, которое строго пропорционально воздействует на весь амплитудный и частотный диапазон воспроизводимых напряжений) для калибратора переменного напряжения Н4-7 является значение 10 V, 10 kHz. Это напряжение должно быть выставлено на выходе поверяемого калибратора и измерено прибором Н4-12. Если различие установленного и измеренного напряжения превышает 0,0004 % - 0,0005 % (40 μ V - 50 μ V), необходима калибровка (установка) опорного напряжения прибора Н4-7 в соответствии с указаниями п.4.8.2 его руководства по эксплуатации КМСИ.411182.007РЭ, где в качестве измерителя используется не переходный стандарт переменного напряжения 792А, используемый изначально, а вольтметр Н4-12.

После установки опорного напряжения поверяемого калибратора по вольтметру Н4-12 (реализовалось уравнивание опорных уровней поверяемого и образцового средств измерений) можно приступить к непосредственной процедуре поверки, ориентируясь на относительную погрешность измерителя Н4-12. Данная методика приемлема в частотном диапазоне до 500 kHz.

9.11.4 Для диапазона частот выше 500 kHz, где даже не обеспечивается двухкратный метрологический запас, следует воспользоваться нижеизложенными рекомендациями.

Если в процессе поверки выясняется, что погрешность прибора Н4-7 в диапазоне частот от 500 до 1000 kHz не превышает 0,17 %, выписывается свидетельство о поверке установленной формы с указанием о пригодности поверяемого прибора к эксплуатации.

Если погрешность превышает 0,17 % (погрешность прибора Н4-12), но не превышает нормируемое значение 0,25 % от U + 0,025 % от U_p , свидетельство о поверке необходимо дополнить указанием о возможности эксплуатации прибора Н4-7 в частотном диапазоне от 500 до 1000 kHz с погрешностью 0,3 % от U + 0,03 % от U_p .

Аналогично осуществляется поверка на остальных пределах воспроизведения. Очевидно, что если пользователя не устраивают вышеозначенные ограничения, он может воспользоваться процедурами, изложенными в разделе «Методика поверки» руководства по эксплуатации КМСИ.411182.007РЭ прибора Н4-7. В случае отсутствия необходимого оснащения следует обратиться к изготовителю.

9.11.5 При измерениях на высоких частотах (более 500 kHz) следует учитывать реакцию проверяемого калибратора на подключение вольтметра. Так например, если к выходу калибратора Н4-7 с установленным уровнем напряжения 10 или 20 V, частотой 1000 kHz подключить вольтметр Н4-12, то выходное напряжение калибратора увеличится на 0,07 % (на четверть нормируемой погрешности). Поэтому при оценке погрешности калибратора правильнее было бы снизить показание вольтметра на 0,07 %. Рекомендуется оценить реакцию калибратора на подключение вольтметра. Для этого можно воспользоваться 5-разрядным вольтметром (например, В7-64 – точность значения не имеет), которым контролируется **изменение** показаний вспомогательного вольтметра при подключении (отключении) измерительного вольтметра от проверяемого калибратора.

Примечание – При проверке погрешности в частотном диапазоне менее 200 Hz следует использовать режим вольтметра с СКЗ-преобразователем, который с учетом примечания 3 к таблице 4.12 обеспечивает необходимый метрологический запас.

9.11.6 На примере поверки калибратора Н4-7 была продемонстрирована возможность использования такой важной характеристики прибора Н4-12, как **относительная погрешность измерения (воспроизведения) напряжения переменного тока**. Эта характеристика существенно повышает возможности прибора Н4-12 в измерительной практике, например, при калибровке и поверке прецизионных вольтметров и калибраторов. Однако ее использование возможно только при уравнивании опорных уровней (шкал, пределов) приборов измерительной схемы. При отсутствии средств такого регулирования или возможностей его осуществления

следует использовать математическую операцию масштабирования «х·с», которой всегда можно добиться сопряжения (согласования) пределов (шкал) приборов измерительной схемы.

9.11.7 Возвращаясь к аспектам поверки калибратора Н4-7 прибором Н4-12, необходимо отметить, что в режиме воспроизведения постоянного напряжения его поверка не вызывает проблем, а при наличии у пользователя мер сопротивления Н4-12МС, без проблем реализуется поверка в режиме калибратора силы переменного тока.

9.12 Самоповерка и диагностика

9.12.1 Наличие в арсенале прибора Н4-12 широкодиапазонных источника и измерителя напряжения постоянного и переменного тока, способных функционировать одновременно, позволяет осуществлять его самую глубокую диагностику и самоповерку. Для этого достаточно установить режим совместной работы вольтметра и калибратора (п.9.5) и соединить выход калибратора с входом вольтметра. Установив режимы и пределы, интересующие пользователя, организовать либо поиск (сканирование), либо контроль конкретной позиции.

Так, например, 6-разрядный калибратор постоянного и переменного напряжения выполнен на базе резистивного ЦАП (п.5.3), контроль точек (битов) которого в режиме калибратора постоянного напряжения поможет убедиться в его нормальном функционировании, либо выявить биты, рабочие характеристики которых нуждаются в улучшении в рамках технического обслуживания (см. раздел 10) или ремонтных служб изготовителя.

Аналогично можно организовать контроль вольтметра и калибратора переменного напряжения во всем рабочем амплитудном и частотном диапазонах.

Примечание – При контроле характеристик вольтметра и калибратора переменного напряжения поле допускаемых погрешностей практически удваивается, т.к. включает составляющие погрешностей и вольтметра, и калибратора. Кроме того, на высоких частотах (выше 300 kHz) становится заметной реакция калибратора на входную емкость вольтметра (подъем амплитудно-частотной характеристики), что может вызвать дополнительную погрешность калибратора до 0,25 от основной (на частоте 1000 kHz – даже до половины). На пределах «200 V» и «1000 V» калибратора переменного напряжения ($f > 200$ Hz) метрологический контроль невозможен из-за того, что точность гарантируется только в режиме управления калибратора встроенным вольтметром.

9.12.2 В таблице 9.5 приведена расшифровка информационных сообщений, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации прибора. Каждый шаг автокалибровки может вызвать ошибку вида Error 10.0. Номер ошибки соответствует номеру шага автокалибровки.

Таблица 9.5 – Расшифровка информационных сообщений

Сообщение	Описание
Hi	Значение величины превысило установленный уровень ограничения
Lo	Значение величины стало меньше установленного уровня ограничения
OUELOAD	Попытка выставить на выходе калибратора напряжение, превышающее максимально возможное на установленном пределе
Error OL	Нагрузка на выходных клеммах превысила допустимое значение
OL	Напряжение на входных клеммах вольтметра превысило максимально допустимое для установленного предела измерения
Unstable	Нестабильное напряжение на входе дифференциального вольтметра
PAUSE	Прибор выполняет какие-либо действия и не может отреагировать на нажатие клавиш
SELECT	Сообщение о необходимости выбрать параметр для ввода
Error и «Сброс» в режиме высоковольтного, семиразрядного калибратора (пределы 200 и 1000 V)	Сообщение возникает при отсутствии связи выхода калибратора с входом вольтметра (рис. 9.4 и 9.5)

Примечание - Более подробная расшифровка сообщений приведена в таблице 22.2 части 2 РЭ.

9.13 Автокалибровки “01”, “02”, “19”

9.13.1 Для реализации автокалибровки требуется определенный набор исходных (“эталонных”) уровней (мер), по которым осуществляется сравнение ”рабочих” уровней прибора. Чем меньше внутренних “эталонных” мер и чем они стабильнее, тем более высокие результаты достигаются процедурами автокалибровки. Другим важным условием является максимальное приближение рабочей и калибровочной структуры прибора, т.е. любые изменения рабочей структуры схемы для нужд калибровки могут привести к методической ошибке. Например, при автокалибровке обеспечивается наружное соединение выхода калибратора с входом вольтметра (штатным кабелем калибратора). Тем самым калибровочный режим максимально приближен к рабочему.

Исходными уровнями для автокалибровки прибора являются:

- нуль – замыкание входа на общую шину;
- опорное напряжение схемы (22 V);
- высокая линейность и стабильность ШИМ-ЦАП.

В процессе автокалибровки используется еще ряд исходных уровней, которые можно назвать “эталонами-свидетелями” – их стабильность нужна только на время калибровки. Все это может быть проиллюстрировано на примере автокалибровки “01”.

9.13.2 Автокалибровка “01” – наиболее полная и всеобъемлющая. В таблице 9.6 приведена пошаговая процедура ее реализации, а в последующем тексте рассмотрена технология ее проведения. Для лучшего усвоения этой информации необходимо ознакомиться с упрощенными схемами калибратора и вольтметра (рисунки 5.6 и 5.11).

Таблица 9.6 – Описание шагов автокалибровки №1

Номер шага	Описание
1	Нули “грубого” АЦП
1.0	Нуль “грубого” АЦП предел 2В
1.1	Нуль “грубого” АЦП предел 20В
2	Нули ДВ
2.0	Нуль ДВ предел 2В полярность положительная
2.1	Нуль ДВ предел 20В полярность положительная
2.2	Нуль ДВ предел 20В полярность отрицательная
2.3	Нуль ДВ предел 2В полярность отрицательная
3	Нули ИКН, полярность положительная
3.0	Нуль АЦП
3.1	Нуль ИКН 7 разрядов предел 20В полярность положительная
3.2	Нуль ИКН 6 разрядов предел 20В полярность положительная
3.3	Нуль ИКН 7 разрядов предел 2В полярность положительная
3.4	Нуль ИКН 6 разрядов предел 2В
4	Нули ИКН, полярность отрицательная
4.0	Нуль ИКН 7 разрядов предел 20В полярность отрицательная
4.1	Нуль ИКН 6 разрядов предел 20В полярность отрицательная
4.2	Нуль ИКН 7 разрядов предел 2В полярность отрицательная
5	Нули Вольтметра
5.0	Нуль Вольтметра предел 200В
5.1	Нуль Вольтметра предел 1000В
5.2	Нуль ИКН предел 200В
6	Измерение опорного напряжения ($U_0=22\text{ V}$)
7	Масштаб АЦП
7.0	Масштаб предела 20В “грубого” АЦП

Продолжение таблицы 9.6

Номер шага	Описание
7.1	Масштаб грубого 2В
7.2	Масштаб “точного” АЦП (50 мВ)
8	Масштаб ДВ 2В
8.0	Грубое измерение свидетеля на пределе 20В
8.1	Точное измерение свидетеля на пределе 20В
8.2	Точное измерение свидетеля на пределе 2В
8.3	Масштаб ИКН 2В 7р
9	Калибровка ДВ 200В
9.0	Грубое измерение опоры
9.1	Точное измерение опоры
10	Масштаб ИКН 20В 6р
10.0	Масштаб ИКН 20В 6р, полярность – минус
10.1	Масштаб ИКН 20В 6р, полярность – плюс
11	Масштаб ИКН 6р
12	Масштаб ИКН 200В
13	Калибровка СВЗ по постоянке
13.0	Измерение 20В
13.1	Измерение –20В
14	Калибровка СКЗ по постоянке
14.0	Измерение 20В
14.1	Измерение –20В
15	Калибровка Опоры АС-калибратора
15.0	Калибровка опоры на 120 Гц
15.1	Калибровка опоры на 1 кГц

9.13.3 Первые пять шагов автокалибровки обеспечивают калибровку нулевых уровней DC-вольтметра на всех пределах, а DC-калибратора – на пределах 2, 20, 200 V (на пределах 0,2 V и 1000 V нули калибратора устанавливаются при заводской калибровке).

Технологию автокалибровки удобно проследить по рисунку 9.6. Один из входов АЦП через реле К8 подключается к общей шине. А другой вход подключается к “нулю схемы”, функцию которого выполняет обнуленный выход шестизрядного калибратора на пределе 0,2 V. Для автокалибровки этот “нуль” является эталонным. Его реальное отличие от нуля приводит к погрешности автокалибровки, и потому рекомендуется периодически контролировать нуль шестизрядного калибратора на пределе 0,2 V (см. калибровку №33 второй части руководства по эксплуатации).

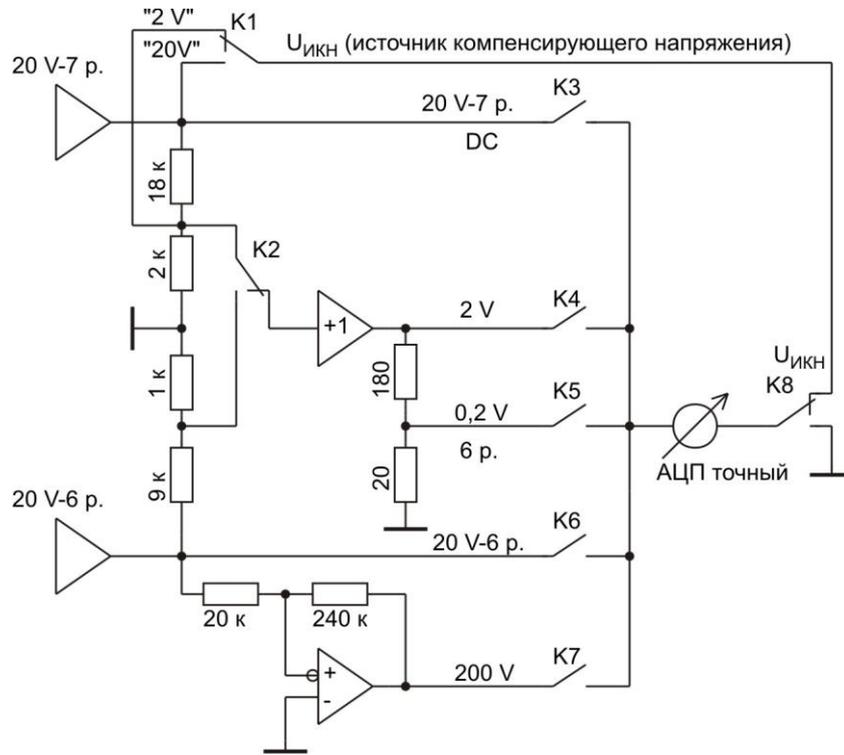


Рисунок 9.6 – Автокалибровка нулевых уровней калибратора и вольтметра

9.13.4 При замкнутых входах фиксируется нуль АЦП (точный), шаг 3.0 в таблице 9.6, и уже с его учетом фиксируются прочие нули схемы калибратора и дифференциального вольтметра (представляющего собой совокупность АЦП и источника компенсирующих напряжений) при положительной и отрицательной полярности источника компенсирующих напряжений (шаги 2.0, 2.1, 2.2, 2.3).

Определившись с нулями вольтметра (шаги 2.0-2.3 и 3.0), измеряются нули калибратора при положительной и отрицательной полярностях опорного напряжения (шаги 3.1-3.4 и 4.0-4.2).

9.13.5 Нули вольтметра на пределах 200 и 1000 V (шаги 5.0 и 5.1) калибруются при включенном на входе вольтметра делителе (рисунок 9.7) в “свернутом” (200 V) и “развернутом” (1000 V) состоянии и при нулевом входном напряжении. Шагом 5.2 калибруется нуль калибратора на пределе 200 V (замыкается реле K7 на рисунке 9.6), который измеряется вольтметром.

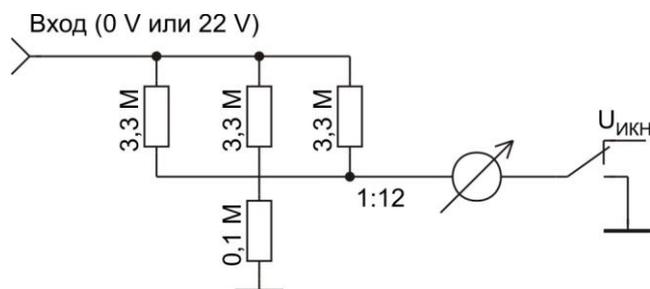


Рисунок 9.7 – Автокалибровка старших пределов

Механизм реализации калибровки нулей в режимах измерения и воспроизведения отличаются тем, что в режимах измерения ошибка нуля вычитается в цифровом виде из показания индикатора, т.е. реализуется “виртуальный нуль”. В режиме калибратора, где необходим реальный нуль схемы, нулевой выход формируется программированием (установкой) интегральных ЦАП, специально предназначенных для регулировки нуля калибратора.

9.13.6 Последующими шагами автокалибровки осуществляется масштабирование пределов измерения и воспроизведения напряжения.

Масштабирование АЦП реализуется в процессе измерения напряжения 2 и 20 В на выходе семиразрядного калибратора (шаги 7.0 и 7.1), а калибровка шкалы (50 мВ) точного АЦП осуществляется по его показанию при измерении напряжения 20 мВ (шаг 7.2).

9.13.7 Наиболее сложная процедура реализуется при масштабировании пределов измерения 2, 200 и 1000 В вольтметра, в процессе которой определяется отличие (погрешность) каждого из них относительно основного предела 20 В, с тем чтобы в процессе работы поправочным коэффициентом минимизировать это отличие.

9.13.8 Для калибровки предела измерения 2 В на вход вольтметра подается калибровочное напряжение, которое последовательно измеряется на пределе измерения 20 В (принимается за действительное значение), а затем на пределе измерения 2 В. По результатам этих измерений определяется поправочный коэффициент K_{2V} для предела измерения 2 В. В качестве калибровочного напряжения используется выходное напряжение опорного источника (22 В), которое подается на вход вольтметра в соответствующем положении входного реле. Это напряжение делится входным делителем в двенадцать раз, как это делается при реализации предела измерения 200 В (см. рисунок 9.7), обеспечивая на выходе напряжение $22V:12 \approx 1.83$ В, которое измеряется сначала на пределе 20 В (шаги 8.0 и 8.1), а затем на пределе 2 В (шаг 8.2). По разнице показаний между истинным значением (за которое принимается значение, измеренное на пределе 20 В) определяется погрешность (предела 2 В) и соответствующая корректирующая константа K_{2V} .

9.13.9 Напряжение опорного источника $U_0=22$ В используется также для калибровки высоковольтных пределов (200 и 1000 В) вольтметра постоянного напряжения. Шагом 9 опорное напряжение сначала измеряется на пределе “20 В”, а затем на пределе “200 В”, т.е. через “свернутый” делитель. По результатам этих двух измерений определяется поправочный коэффициент для предела “200 В” и рассчитывается поправочный коэффициент для предела “1000 В”. Последнее возможно из-за строгого соответствия (корреляции) между “свернутым” (коэффициент передачи $K=1:12$) и “развернутым” (коэффициент передачи $K=1:100$) состоянием входного делителя: $100:12 = 8,333333$. Таким образом, для предела “1000 В” поправочный коэффициент K^{1000V} через известный коэффициент “свернутого” делителя $K^{1:12}$ определяется выражением $K^{1000V} = K^{1:12} \cdot 8,333333$. Из-за изменения архитектуры делителя возможны погрешности от разного влияния сопротивления изоляции на “свернутый” “развернутый” делитель. При заводской калибровке прибора эта погрешность учитывается в виде монтажной поправки K_m , которая заносится в память прибора, поправляя предел “1000 В”: $K^{1000V} = K^{1:12} \cdot 8,333333 \cdot K_m$. Дegrадация изоляции в процессе эксплуатации приводит к увеличению погрешности. По этой причине сопротивление изоляции исходно должно быть высоким и максимально защищенным от внешних воздействий.

“Монтажные поправки” определяются по результатам тщательных измерений погрешности прибора (по методикам раздела поверки) и в виде калибровочных констант записываются в память прибора при внешней калибровке (см. РЭ часть 2 п.1.5).

9.13.10 Девятым шагом завершается автокалибровка семидекадного вольтметра постоянного напряжения. Шагами 10, 11 12 осуществляется калибровка шестидекадного калибратора, погрешность которого фиксирует семидекадный вольтметр.

9.13.11 Последующие шаги (13-15) реализуют калибровку вольтметра и калибратора переменного напряжения. Вольтметр переменного напряжения содержит входной усилитель, преобразователь переменного напряжения в постоянное, фильтр. Стабильность этого тракта может контролироваться по качеству передачи эталонного напряжения, в качестве которого используется напряжение плюс и минус 20 В шестиразрядного калибратора постоянного напряжения. По результатам измерений (± 20 В) вычисляется среднее значение, которое сравнивается с записанным в памяти (при заводской калибровке), и определяется калибровочная поправка СВЗ (шаг 13) или СКЗ (шаг 14). Калиброванным вольтметром с СВЗ-преобразователем измеряется напряжение 20 В, 120 Hz (шаг 15.0) и 20 В, 1 kHz (шаг 15.1) калибратора. По этим измерениям устанавливается опорное напряжение низкочастотного и высокочастотного генератора.

9.13.12 Автокалибровкой “02” устанавливаются нули вольтметра при внешнем (наружном) замыкании входа вольтметра (“внешний” нуль). Описание процедуры смотри в п.9.1.5. Практически реализуются шаги 2 и 5 рассмотренной выше калибровки “01”.

9.13.13 Для технологических нужд предусмотрен пошаговый контроль прохождения автокалибровки “01”. Эта операция активируется автокалибровкой “19”. После ее включения на правом индикаторе появляется транспарант $\Sigma \text{E} \text{P} \square$ с мигающим разрядом номера шага, установкой номера шага от 01 до 15 иницируется любой шаг калибровки 01 (таблица 9.6). Можно последовательно продвигаться (01, 02, 03 и т.д.), нажимая кнопку ВВОД. Если есть необходимость, можно “остановить” шаг нажатием кнопки ВРЕМЯ. На среднем индикаторе загорается транспарант $\Sigma \text{E} \square \text{P}$, и правое табло индицирует содержание операции до тех пор, пока повторным нажатием кнопки ВРЕМЯ не будет отменена команда $\Sigma \text{E} \square \text{P}$. Включая необходимые фрагменты автокалибровки “01” можно сократить время за счет исключения ненужных шагов.

Если, например, необходимо повторить автокалибровку АС-вольтметра и АС-калибратора, нужно вызвать калибровку 19 и установить шаг 13, а по его завершению – шаг 15. Если есть необходимость выйти из калибровки 19, следует набрать несуществующий шаг (любой больше 15, например 22).

9.13.14 Автокалибровки 01, 02, 19, 23 (п.9.1), 15 (п.9.3), рассчитанные на повседневное использование, классифицируются как “установочные”. Очень большая часть калибровок осуществляется при выпуске приборов, когда в память прибора заносятся калибровочные и поправочные коэффициенты. Это касается тех характеристик схемы, которые не нуждаются в повседневном контроле или в оперативном вмешательстве, которые условно выделены в группу “внешних калибровок”. Их реализация требует дополнительного оборудования, профессионализма исполнителей, и наилучшим образом реализуется в условиях производства. Перечень и описание этих калибровок выделены в отдельную брошюру “ВНЕШНИЕ КАЛИБРОВКИ” (РЭ часть 2).

10 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

10.1 Общие указания

10.1.1 Во время, до и после проведения работ по уходу за изделием Н4-12 необходимо соблюдать меры безопасности, изложенные в разделе 3 и подразделе 7.1 настоящего руководства по эксплуатации.

О проведенных операциях по техническому обслуживанию необходимо делать отметки в формуляре изделия.

10.1.2 **Контроль технического состояния** должен включать следующие виды:

- контрольный осмотр – определение степени готовности изделия к применению по назначению, к сохранности при хранении;
- техническое диагностирование – определение технического состояния изделия, опираясь на результаты самопроверки (п.9.12).

10.1.3 **Техническое обслуживание изделия** должно включать следующие виды:

а) при использовании:

- ежедневное техническое обслуживание – подготовка изделия к использованию, устранение выявленных недостатков;
- техническое обслуживание – поддержание изделия в исправном (работоспособном) состоянии до подготовки к использованию или очередному техническому обслуживанию;
- техническое обслуживание по результатам выявленных отклонений в процессе диагностирования;
- техническое обслуживание, включающее поверку прибора в объеме, зависящем от этапа эксплуатации.

10.1.4 Ремонт изделия должен включать следующие виды:

- текущий ремонт – ремонт по техническому состоянию с целью восстановления исправности, работоспособности прибора заменой (ремонтом) деталей, узлов;
- средний ремонт – ремонт по техническому состоянию с целью восстановления исправности, работоспособности изделия заменой (ремонтом) деталей, узлов, сложными настройками (регулировками), проведением технической диагностики встроенными и внешними средствами для продления срока службы.

Средний ремонт проводится предприятием-изготовителем.

Текущий ремонт может проводиться потребителем. При этом следует использовать информацию частей 3 и 4 настоящего руководства по эксплуатации (поставляется по отдельному заказу).

10.2 Техническое обслуживание меры напряжения Н4-12МН

10.2.1 Техническое обслуживание меры Н4-12МН заключается в контрольном осмотре, устранении мелких неисправностей, механической чистке выходных клемм с целью удаления окисного налета и регулярных отметках в формуляре всех этапов эксплуатации и процедур поверки.

10.3 Техническое обслуживание низковольтного блока Н4-12БН для эксплуатации в автономном режиме

10.3.1 Сразу же следует обратить внимание на то, что речь идет о подготовке низковольтного блока к эксплуатации в **автономном режиме**, т.к. для эксплуатации в системном режиме (совместно с прибором Н4-12) этой подготовки не требуется. Техническое обслуживание блока Н4-12БН для системы рассматривается в подразделе 10.4.

10.3.2 Техническое обслуживание, кроме традиционной очистки медных клемм от окисной пленки, включает калибровку блока. Регламент такой калибровки определяется нормой

требуемой погрешности по таблице 4.15. А фактический регламент может быть установлен пользователем по мере накопления статистических данных.

10.3.3 Калибровка блока Н4-12БН включает операции калибровки нуля на всех пределах измерения (« $\pm 2,5$ mV»; « ± 5 mV»; « ± 10 mV» и « ± 20 mV») и операции калибровки масштабов этих пределов для положительной и отрицательной полярностей входного сигнала.

10.3.4 В качестве источника калибровочных уровней сигнала используется базовый прибор Н4-12, для чего обеспечивается его соединение с тестируемым блоком Н4-12БН кабелями «К3» и «К6». При этом низковольтный блок должен функционировать в автономном режиме. Базовый прибор устанавливается в режим калибратора с пределом «20 mV», а две верхние клеммы на передней панели блока Н4-12БН замыкаются медной перемычкой, обеспечивая соединение выхода калибратора низковольтного блока с его входом.

10.3.5 Перевести блок Н4-12БН в режим калибровки (CAL) в соответствии с указаниями п.7.5.4. В верхнем сегменте индикатора появится транспарант «CAL ZERO» («калибровка нуля») и предел измерения, а назначение кнопок будет меняться в соответствии со следующей мнемосхемой:

←; →; WR; EXIT

- кнопки «←», «→» реализуют продвижение шагов калибровки («назад», «вперед» соответственно);
- кнопкой EXIT («выход») обеспечивается перевод блока из режима калибровки в исходное состояние на любом шаге калибровки (по завершении калибровки такой переход осуществляется автоматически);
- кнопкой «WR» («запись») инициируется акт записи калибровочной константы в **память**.

10.3.6 Непосредственно калибровка включает следующую последовательность операций (начиная с состояния «CAL ZERO 2,5 mV»):

- установить нуль на выходе калибратора Н4-12 (предел «20 mV»);
- после установления показаний индикатора на шкале «2,5 mV» низковольтного блока нажать кнопку «WR» (акт калибровки состоялся);
- по показаниям индикатора блока убедиться, что произошла компенсация нуля (± 5 nV), если есть необходимость в улучшении показаний, нажать кнопку «WR» снова и т.д.;
- нажатием кнопки «→» осуществить переход к следующему шагу калибровки – нуль на пределе «5 mV»;
- после установления показаний нажать кнопку «WR» и убедиться в удовлетворительных результатах (± 10 nV) или повторить операцию дополнительным нажатием кнопки «WR»;
- нажатием кнопки «→» перейти к следующему шагу калибровки и установить нуль на пределе «10 mV» и далее – нуль на пределе «20 mV»;
- нажатием кнопки «→» перейти к следующему шагу – калибровке шкалы «+2,5 mV»;
- на выходе калибратора установить напряжение «+2,5 mV и после установления показаний нажать кнопку «WR» и убедиться в удовлетворительных результатах (2,5 mV ± 10 nV) или повторить операцию дополнительным нажатием кнопки «WR»;
- нажатием кнопки «→» перейти к следующему шагу – калибровке шкалы «+5 mV»;
- действуя аналогично, т.е. устанавливая на выходе калибратора соответствующие напряжения с соответствующей полярностью и пользуясь информацией с индикатора, закончить калибровку;
- по завершении калибровки (шкала «-20 mV») нажать кнопку EXIT, после чего появится сообщение «WRITE to EEPROM?» с предложением о записи в постоянное запоминающее устройство. Если результаты калибровки требуется сохранить и после выключения питания блока, необходимо нажать кнопку «WR», обеспечив сохранение констант до очередной калибровки.

Примечание – Так как калибровка блока Н4-12БН реализуется в составе комплекса и не требует привлечения дополнительных аппаратных средств, она имеет статус самопроверки. Ее реализация может ограничиваться только ведомственными органами.

10.4 Техническое обслуживание базового прибора Н4-12

10.4.1 Общие сведения

10.4.1.1 Техническое обслуживание прибора, кроме достаточно формализованных процедур контрольного осмотра и контроля технического состояния, включает значительный объем калибровочных работ. Их проведение требует высоких профессиональных навыков и исполнительской дисциплины, т.к. даже незначительные, на первый взгляд, нарушения могут привести к негативным результатам заводской калибровки. Так, например, ошибка в $+1 \mu\text{V}$ при установке нулевого уровня на пределе « $+2 \text{ V}$ » может привести к ошибке в минус $2 \mu\text{V}$ (а это $0,0001 \%$) в установке масштаба при смене полярности (« -2 V »). В порядке общей рекомендации предлагается:

- после всех операций, связанных с касанием, трением клеммных соединений, выдерживать паузу для термоустойчивости контактной группы;
- при скачкообразном изменении входных (выходных) напряжений на полшкалы и более дождаться установления показаний (до уровня $0,00002 \%$ - $0,00003 \%$);
- осуществлять калибровку по результатам нескольких измерений;
- прежде чем приступить к калибровке провести тщательную проверку ее необходимости, проконтролировав техническое состояние прибора, для чего в нем имеется мощный ресурс самодиагностики (подраздел 9.12); приступать к калибровке следует только при условии, что не обеспечивается метрологический запас 20% ;
- следить за отклонением окружающей температуры от температуры калибровки, за напряжением питающей сети, источниками помех.

10.4.1.2 Техническое обслуживание базового прибора включает калибровки, ограниченные режимами воспроизведения и измерения напряжения постоянного тока, режимами воспроизведения силы постоянного и переменного тока, и не включает калибровки, обслуживающие режимы измерения и воспроизведения напряжения переменного тока, которые могут проводиться только у производителя.

В тех случаях, когда имеется возможность (оснащение, квалификация) и желание организовать полную калибровку у пользователя, рекомендуется пройти обучение и практику у производителя (ориентировочно около недели).

Так или иначе, но речь идет о «внешних калибровках» (9.13.13), требующих санкционированного, профессионального вмешательства. Их описание и инструкция по применению выделены в отдельную брошюру «Внешние калибровки», имеющую статус части 2 настоящего руководства.

11 ПОВЕРКА ПРИБОРА

11.1 Общие сведения

11.1.1 Настоящий раздел устанавливает методы и средства поверки калибратора-вольтметра универсального Н4-12, находящегося в эксплуатации.

11.1.2 Рекомендуемая периодичность поверки 1 год, а для меры напряжения Н4-12МН (Н4-12МН/1) – 3 месяца и 1 год. При удовлетворительных результатах поверки после 1 года эксплуатации межповерочный интервал может быть увеличен до 2 лет, но уже с двухгодичной нормой погрешности, установленной в подразделах 4.6 – 4.10. Для меры напряжения Н4-12МН (Н4-12МН/1) отсутствует двухгодичная норма погрешности (нормирование установлено только для трехмесячного и годового межповерочного интервала (см. подраздел 4.5)).

Примечание – В зависимости от требуемой точности в различных режимах работы пользователь может принять комбинированную модель регламентации межповерочных интервалов. Например, для режимов измерения (воспроизведения) постоянных напряжений (токов) выбрать годичный интервал, а для режимов, функционирующих на переменном токе - двухгодичный (исключая первый год эксплуатации). Такая гибкая система позволит снизить эксплуатационные затраты и избежать навязанных услуг. Оценка потенциальных затрат может быть проведена по материалам п.11.1.3.

11.1.3 Рекомендуемая норма времени поверки (усредненная) меры напряжения Н4-12МН (Н4-12МН/1) не более 20 минут.

Рекомендуемая норма времени поверки комплекса:

- в режимах измерения и воспроизведения напряжения постоянного тока – 3 часа;
- в режимах воспроизведения силы постоянного и переменного тока – 1 час;
- в режиме воспроизведения напряжения переменного тока – 4 часа;
- в режиме измерения напряжения переменного тока – 6 часов;
- полная поверка – 15 часов (без учета времени прогрева).

Таким образом, стоимость полной поверки может достигнуть 2 % стоимости всего комплекса, а калибровка с поверкой может превысить 5 %.

11.1.4 Несмотря на очень высокую точность изделия, установлен минимальный межповерочный интервал 1 год при условии поверки меры напряжения Н4-12МН (Н4-12МН/1) один раз в 3 месяца, но именно поверка меры Н4-12МН (Н4-12МН/1) требует минимальных временных и материальных затрат (поверка в одной точке). При этом не требуется изъятия комплекса из производственного цикла.

Примечание – При комбинированной модели регламентации в свидетельстве о поверке должно быть указано, в каком режиме и по какой норме погрешности (годичной или двухгодичной) прибор годен к эксплуатации.

ВНИМАНИЕ! Поверка прибора Н4-12 требует серьезного оснащения и высокой квалификации поверителей. Всем этим в полной мере обладает изготовитель, поэтому поверку, а тем более калибровку (без нее идет процесс «накопления» погрешности), не следует доверять фирмам-посредникам. Необходимо обращаться только к изготовителю, а по вопросам поверки меры напряжения Н4-12МН (Н4-12МН/1) в Федеральные или региональные центры метрологии и стандартизации.

11.1.5 При испытании электрических характеристик должны выполняться следующие общие указания по эксплуатации базового прибора Н4-12:

- клемма экрана «G» должна быть соединена с клеммой «Lo» (кроме случаев, особо оговоренных);

- при затруднениях с отсчетом показаний вольтметра, обусловленных шумами, рекомендуется использовать режим усреднения отсчета (наиболее эффективен режим усреднения 4 – 6 показаний) и обязательно с включенным фильтром;

- перед измерениями прибор должен быть прогрет в течение времени не менее 2 часов (кроме особо оговоренных случаев);

- при определении основной погрешности воспроизведения и, особенно, измерения необходимо принять меры по снижению влияния электромагнитных и электростатических помех, для чего необходимо располагать измерительную схему на заземленном металлическом листе, исключить или минимизировать источники мощных сигналов. Количество работающих ПЭВМ не должно быть более одной на площади 10 м²;

- при работе и измерениях, связанных с контролем малых уровней напряжений (токов), когда их значение или погрешность не превышают 5 μV, необходимо соблюдать меры, обеспечивающие минимизацию термоконтактных э.д.с.: избегать касания зажимов, соединений и выходов кабелей нагретыми предметами и руками, а если последнее имело место, - необходима двух - трехминутная пауза перед измерениями;

- при скачкообразном изменении входных (выходных) напряжений на четверть шкалы и более следует дождаться установления показаний до уровня 0,00002 – 0,00003 %;

- при измерениях параметров в верхних граничных значениях установленного предела (в том числе и частоты) средство измерения может перейти на старший предел измерения, где ухудшаются его метрологические характеристики. Во всех подобных случаях допускается измерения осуществлять при сниженных на 5 % значениях параметра (например, вместо 0,2; 2 и 20 V устанавливать 0,19; 1,9 и 19 V);

- если при измерениях на частоте питающей сети 50 Hz или гармониках (100; 150; 200 Hz) возникают биения, то можно перейти на соседнюю частоту, например, 47 или 53 Hz.

11.2 Операции поверки

11.2.1 При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Операции, выполняемые при проведении поверки

Наименование операции	Номер пункта поверки	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр	11.6.1	Да	Да
Проверка электрической прочности изоляции	11.6.2	Да	Нет
Проверка электрического сопротивления изоляции	11.6.3	Да	Нет
Проверка защитного заземления	11.6.4	Да	Нет
Опробование	11.6.5	Да	Да
Определение метрологических характеристик			
Определение метрологических характеристик 7-разрядных калибратора и вольтметра постоянного напряжения	11.6.6	Да	Да
Определение метрологических характеристик вольтметра и калибратора и постоянного напряжения в режиме ограничения разрядов (калибраторов до 6, вольтметра до 4 – 5)	11.6.7	Да	Да
Определение метрологических характеристик низковольтного блока Н4-12БН в автономном режиме	11.6.8	Да	Да

Продолжение таблицы 11.1

Наименование операции	Номер пункта поверки	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
Определение метрологических характеристик калибратора переменного напряжения	11.6.9	Да	Да
Определение метрологических характеристик вольтметра переменного напряжения	11.6.10	Да	Да
Определение метрологических характеристик калибратора силы постоянного и переменного тока	11.6.11	Да	Да
Определение метрологических характеристик меры напряжения Н4-12МН (Н4-12МН/1)	11.6.12	Да	Да

11.2.2 При отрицательных результатах поверки приборы изделия (комплекса) Н4-12 признаются непригодными к выпуску в обращение и применению и направляются в ремонт. При этом аннулируется или гасится клеймо. Приборы, не подлежащие ремонту, изымаются из обращения и эксплуатации, при этом выдается извещение о непригодности.

11.3 Средства поверки

11.3.1 При проведении поверки должны быть применены средства поверки с характеристиками, указанными в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Средства поверки

Номер пункта поверки	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки; метрологические и основные технические характеристики средства поверки
11.6.2	Установка пробойная УПУ- 10М Испытательное переменное напряжение 3 kV, 50 Hz, испытательное постоянное напряжение 1,5 kV
11.6.3	Мегаомметр Ф4102/1-1М Рабочее напряжение 1000 V, диапазон измерения от 5 до 20 MΩ
11.6.4, 11.6.11	Мультиметр В7-64 Измерение сопротивления от 0,01 до 1 Ω. Измерение напряжения переменного тока до 1 V в полосе частот до 10 kHz, погрешность ± 0,1 %
11.6.6	Мера отношения напряжений Н4-8 Воспроизведение напряжения постоянного тока от 1 до 10 V и от 2 до 20 V. Нелинейность ±0,00001 %
11.6.6, 11.6.9, 11.6.11, 11.6.12	Вольтметр-калибратор постоянного напряжения В2-43 Воспроизведение напряжения постоянного тока от 0,1 μV до 25 V. Измерение напряжения постоянного тока от 0,1 μV до 1000 V. Погрешность ±(0,0006- 0,0012) %
11.6.9, 11.6.10	Преобразователь переменного напряжения прецизионный фирмы FLUKE, США, 792А Погрешность сравнения переменного и постоянного напряжения ±(0,001 – 0,01) %; диапазон напряжений от 60 mV до 1000 V; частотный диапазон от 60 Hz до 1000 kHz

Продолжение таблицы 11.2

Номер пункта поверки	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки; метрологические и основные технические характеристики средства поверки
11.6.12	Эталонный стандарт напряжения 734А (FLUKE, США) Выходное напряжение 10 V, нестабильность за 30 дней 0,3 ppm
11.6.10	Установка для поверки вольтметров В1-27 Диапазон частот от 20 Hz до 100 kHz; диапазон выходных напряжений переменного тока (СКЗ) от 0,1 mV до 1000 V; пределы основной погрешности установки напряжения $\pm(0,02 - 10) \%$
11.6.11	Набор мер сопротивлений типа МС3004 Номинальные сопротивления 1000; 100; 10; 1 Ω с погрешностью $\pm 0,001 \%$
11.6.11	Преобразователь напряжение-ток Я9-44 Воспроизведение силы постоянного тока от 1 mA до 30 A с погрешностью $\pm(0,025 - 0,05) \%$. Воспроизведение силы переменного тока от 1 mA до 30 A с погрешностью $\pm(0,03 - 0,3) \%$ в диапазоне частот от 0,1 Hz до 5 kHz
11.6.11	Меры сопротивления переменного тока Н4-12МС Номинальные сопротивления 100; 10; 1; 0,1 Ω с погрешностью $\pm 0,003 \%$, пропускаемый ток от 22 mA до 30 A
11.6.5.3, 11.6.5.4	Измеритель нелинейных искажений СК6-13 Диапазон напряжений от 2 до 100 V. Диапазон измеряемых искажений от 0,01 до 0,5 % с погрешностью не более $\pm 10 \%$

11.3.2 При проведении поверки допускается применять другие меры и измерительные приборы, обеспечивающие измерение соответствующих параметров с требуемой точностью.

11.4 Требования безопасности

11.4.1 По степени защиты от поражения электрическим током сетевые приборы комплекса соответствуют всем требованиям норм безопасности класса I (с заземленным корпусом) по ГОСТ Р 51350. Заземление корпуса прибора обеспечивается через сетевую вилку или зажим « \perp » на задней панели. При использовании зажима « \perp » он должен присоединяться к заземляющей шине первым, а отсоединяться – последним.

ПОМНИТЕ! При отсутствии заземления на корпусе прибора имеется потенциал 110 V с частотой питающей сети относительно земли.

Необходимо следить, чтобы цепь заземления не имела разрыва, что в первую очередь обеспечивается надежным контактом между розеткой и вилкой подключения прибора.

11.4.2 Источниками опасного напряжения в приборах являются сетевые цепи:

- первичная обмотка сетевого трансформатора;
- выводы сетевых предохранителей;
- сетевые разъем и фильтр;
- тумблеры включения приборов.

В приборе Н4-12 источником опасного напряжения до ± 350 V является плата усилителя «200 V», источник питания этого усилителя и обмотка трансформатора, питающего этот источник. В блоке высоковольтном Н4-12БВ практически все цепи являются источниками опасного напряжения от ± 200 до ± 1500 V. При снятии верхней или нижней крышек блока блокирующими контактами отключается его питание.

11.4.3 К пользованию прибором могут быть допущены лица, аттестованные для работы с напряжением до 1000 V, прошедшие инструктаж о мерах безопасности при работе с радиоизмерительными приборами и изучившие настоящее руководство по эксплуатации.

1.4.4 При размещении на рабочем месте необходимо принимать меры по **охлаждению приборов комплекса**. Три прибора Н4-12, Н4-12БВ, Я9-44 рассеивают значительную мощность внутри небольших объемов, причем только два последних имеют принудительную вентиляцию. Воздушные потоки ориентированы на боковые стенки корпуса, и потому наилучший вариант их агрегатирования – установка друг на друга. При этом прибор Н4-12, не имеющий принудительной вентиляции, должен быть всегда сверху, а перфорация верхней крышки корпуса должна быть открытой. Боковые стенки составленной конструкции должны находиться на расстоянии не менее 10-15 см (4 дюйма) от ближайших стен помещения или корпусов соседних приборов, чтобы не ограничивать поступление воздуха комнатной температуры во внутренний объем приборов. Эти меры увеличивают срок службы приборов и способствуют улучшению характеристик.

11.4.5 Нагрузки, подключенные к приборам, должны быть защищены от возможности случайных прикосновений к ним во время работы.

11.4.6 Запрещается оставлять приборы, выдающие напряжение более 40 В, без наблюдения.

11.5 Условия поверки и подготовка к ней

11.5.1 При проведении поверки, кроме особо оговоренных, должны быть соблюдены следующие нормальные условия применения:

- температура окружающего воздуха, °С 23 ± 1 ;
- относительная влажность окружающего воздуха, % 30 - 80;
- атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.) 84 - 106 (630 - 795);
- напряжение питающей сети, V 230 ± 23 ;
- частота промышленной сети, Hz 47- 63.

Примечание – Погрешность измерения (воспроизведения) нормируется при температуре калибровки $T_{cal} \pm 1$ °С (или $T_{cal} \pm 5$ °С), где для T_{cal} установлен диапазон температур от 15 до 30 °С. На основании изложенного может быть установлена и другая температура окружающего воздуха, зафиксированная в соответствующем документе о поверке.

11.5.2 Перед проведением поверки необходимы следующие подготовительные работы:

- проверить комплектность изделия на соответствие таблице 1.17;
- разместить поверяемые приборы комплекса на рабочем месте, обеспечив удобство и безопасность эксплуатации;
- собрать схему поверки в соответствии с проводимой операцией.

11.6 Проведение поверки

11.6.1 Внешний осмотр

11.6.1.1 При проведении внешнего осмотра выключенных приборов комплекса устанавливается соответствие поверяемых приборов комплексом следующим требованиям:

- комплектности изделия согласно таблице 4.3;
- отсутствия механических повреждений;
- прочности крепления элементов корпуса, выходных разъемов и клемм, клавиатуры;
- целостности и состояния изоляции сетевого провода, выходных кабелей и других принадлежностей;
- отсутствия слабо закрепленных внутренних узлов (определяется на слух при наклонах и встряхивании прибора);
- отсутствия нарушения покрытий, особенно поверхностей электрических контактов и кабелей;

- четкости маркировки.

11.6.1.2 Приборы, имеющие дефекты, бракуются и направляются в ремонт.

11.6.2 Проверка электрической прочности изоляции

11.6.2.1 Проверку электрической прочности изоляции проводят в нормальных условиях на пробойной установке УПУ-10М в соответствии с методами, изложенными в разделе 7 ГОСТ 22261.

Для проверки электрической прочности изоляции между сетевыми цепями приборов Н4-12, Н4-12БВ, Н4-12МН (Н4-12МН/1) и клеммой заземления (корпусом) испытательное напряжение 1,5 кV синусоидальной формы, частотой 50 Hz прикладывается между замкнутыми выводами сетевой вилки и клеммой заземления.

Для проверки электрической прочности изоляции между клеммами входа-выхода прибора Н4-12БВ и клеммой заземления испытательное напряжение 1,5 кV синусоидальной формы, частотой 50 Hz прикладывается между замкнутыми между собой клеммами входа-выхода и клеммой заземления.

Для проверки электрической прочности изоляции между клеммами входа-выхода приборов Н4-12 и Н4-12МН и клеммой заземления испытательное напряжение 1,5 кV постоянного тока прикладывается между замкнутыми между собой клеммами входа-выхода и клеммой заземления.

Результаты проверки считают удовлетворительными, если во время испытаний не произошло пробоя или поверхностного перекрытия изоляции. Появление «коронного» разряда или шума не является признаком дефектности изоляции.

11.6.3 Проверка электрического сопротивления изоляции

11.6.3.1 Проверку электрического сопротивления изоляции приборов Н4-12, Н4-12БВ, Н4-12МН (Н4-12МН/1) в нормальных условиях проводят в соответствии с методом, изложенным в разделе 7 ГОСТ 22261, с помощью мегаомметра Ф4102/1-1М.

Результаты испытаний считают удовлетворительными, если измеренные мегаомметром значения электрического сопротивления изоляции не менее 1000 МΩ.

11.6.4 Проверка защитного заземления

11.6.4.1 Проверку защитного заземления приборов Н4-12, Н4-12БВ, Н4-12МН (Н4-12МН/1) проводят в соответствии с методами, изложенными в разделе 7 ГОСТ 22261.

Результаты испытаний считают удовлетворительными, если измеренное миллиомметром В7-64 значение электрического сопротивления защитного заземления между клеммой заземления и корпусом не превышает 0,1 Ω.

11.6.5 Опробование

11.6.5.1 До начала опробования приборов комплекса необходимо подготовить их в соответствии с указаниями настоящего руководства по эксплуатации.

11.6.5.2 После включения электропитания приборов и прогрева их в течение 1 часа осуществить автокалибровку №01 прибора Н4-12. Затем:

- подать на вход низковольтного блока Н4-12БН, работающего в автономном режиме, с выхода калибратора базового прибора (предел «0,2 V», 6-разрядная шкала) напряжение 10 mV;

- измерить выходное напряжение 10 V меры Н4-12МН (Н4-12МН/1) вольтметром постоянного напряжения Н4-12 при 6-разрядной шкале индикации с автоматическим выбором пределов измерения;

- установить на выходе высоковольтного блока Н4-12БВ напряжение постоянного тока ±300 V (6-разрядная шкала) и измерить его вольтметром Н4-12 (одновременное функциониро-

вание прибора в режимах калибратора и вольтметра постоянного напряжения с пределом «1000 V»).

Результаты опробования по данному пункту считают удовлетворительными, если приборы работоспособны.

11.6.5.3 Проконтролировать коэффициент гармоник на выходе калибратора переменного напряжения с помощью измерителя нелинейных искажений СК6-13 в точках и по нормам, указанным в таблице 11.3

Таблица 11.3 – Данные для схемы проверки коэффициента гармоник калибратора напряжения переменного тока

Предел	Напряжение	Коэффициент гармоник, %, на частоте		
		190 Hz	9,5 kHz	100 kHz
2 V	2 V	-	0,015	0,15
20 V	20 V	0,015	0,015	0,15
200 V	100 V	-	0,015	0,15
1000 V	1000 V	-	0,015	-

11.6.5.4 Коэффициент гармоник калибратора силы переменного тока контролируется для каждого поддиапазона (в его конечной точке) на частотах 1 и 10 kHz в соответствии с данными таблицы 4.14.

Таблица 11.4 – Данные для схемы проверки коэффициента гармоник калибратора силы переменного тока

Значения сопротивления R на рисунке 11.1	Тип сопротивления	Сила тока
1000 Ω	Резистор С2-23-0,25-1 kΩ ±5 % А-Д ОЖО.467.081 ТУ	2 mA
100 Ω	Резистор С2-23-0,25-100 Ω±5% А-Д ОЖО.467.081 ТУ	20 mA
10 Ω	Резистор С2-23-0,25-10 Ω ±5 % А-Д ОЖО.467.081 ТУ	200 mA
1 Ω	С5-16М-5 -1 Ω ±1 % В ОЖО.467.545 ТУ	2000 mA

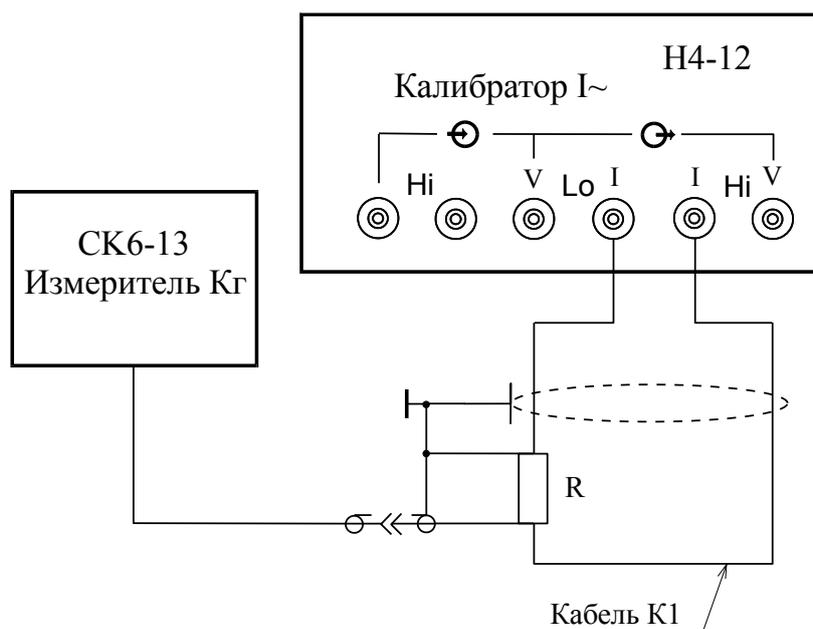


Рисунок 11.1 – Схема проверки коэффициента гармоник калибратора силы переменного тока

Результаты опробования по данному пункту считают удовлетворительными, если измеренное значение коэффициента гармоник не превышает значений, указанных в таблице 4.14.

11.6.6 Определение метрологических характеристик 7-разрядных калибратора и вольтметра постоянного напряжения

11.6.6.1 Определение основной погрешности 7-разрядного вольтметра и калибратора постоянного напряжения прибора Н4-12 из-за отсутствия возможности прямых измерений (комплексной проверки) реализуется методами поэлементной поверки: определяется погрешность относительно внутрприборной меры напряжения (в последующем тексте – «погрешность преобразования»: имеется в виду аналого-цифровое или цифро-аналоговое преобразование для режимов вольтметра и калибратора соответственно).

В процессе поверки определяется:

- основная погрешность в нулевой области пределов (п.11.6.6.2);
- погрешность преобразования (нелинейность) основного предела «20 V» в режиме вольтметра и калибратора (п.11.6.6.3);
- погрешность преобразования на пределе «2 V» (п. п.11.6.6.4);
- погрешность преобразования на пределах «200 V» и «1000 V» (пп.11.6.6.5, 11.6.6.6);
- работоспособность калибратора на пределах «200 V» и «1000 V» (п.11.6.6.7);
- погрешность измерения и воспроизведения напряжения на пределах «20 mV» и «200 mV» (п.11.6.6.8).

В процессе определения погрешности осуществляется проверка диапазонов измерения и воспроизведения.

Определение метрологических характеристик осуществляется после прогрева приборов в течение времени не менее 3 часов и проведения установочных калибровок № 1; 2 и 23.

11.6.6.2 Определение погрешности измерения в нулевой области на пределах «2 V», «20 V», «200 V», «1000 V» осуществляется следующим образом:

- замкнуть вход вольтметра Н4-12;
- установить режим вольтметра постоянного напряжения с 7-разрядной шкалой (нажатием кнопки «DC») с включенным фильтром;
- последовательно устанавливая пределы «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V», зафиксировать показания вольтметра.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если показания индикатора не превышают $\pm 1,5$, ± 4 , ± 30 и ± 300 μV соответственно (на пределах «2 V» и «20 V» добавлен 1 μV , вызванный термо-э.д.с.).

Для определения погрешности калибратора в нулевой области воспроизводимых напряжений постоянного тока поверяемый прибор Н4-12 следует перевести в режим воспроизведения (калибратора) напряжений постоянного тока с 7-разрядной шкалой, к выходу которого подключить блок Н4-12БН в автономном режиме работы с 4-разрядной шкалой (или вольтметр В2-43 с пределом измерения «200 mV» и 6-разрядной шкалой).

Установить предел «2 V» калибратора Н4-12 при нулевом выходном напряжении и зафиксировать показание измерительного прибора. Аналогичные измерения провести на пределе «20 V» поверяемого калибратора.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если показания измерителя не превышают ± 2 и ± 4 μV соответственно на пределах «2 V» и «20 V» (добавлен 1 μV , вызванный термо-э.д.с.).

Сохранив предел «20 V» поверяемого калибратора, нажатием кнопки NULL (или « Δ », если в качестве измерителя используется прибор В2-43) измерителя скомпенсировать нулевой уровень калибратора.

Установить на выходе поверяемого калибратора напряжение $\pm 1,3$ mV, а затем $\pm 1,8$ mV.

После регистрации показаний измерителя убедиться, что они не отличаются от установленных значений более чем на ± 3 μV .

11.6.6.3 Определение нелинейности преобразования на основном пределе («20 V») 7-разрядного вольтметра и калибратора является процедурой определения погрешности аналого-цифрового (в режиме вольтметра) и цифро-аналогового (в режиме калибратора) преобразования. По принципу действия прибора в режиме измерения (компенсация измеряемого напряжения напряжением калибратора) нелинейность характеристики вольтметра и калибратора **адекватны**, поэтому поверка осуществляется в одном из режимов (главным образом, в режиме измерения из-за наличия ультралинейного источника тестируемых сигналов Н4-8).

Определение погрешности преобразования (нелинейности) основного предела «20 V» осуществляется путем измерения поверяемым прибором выходного напряжения меры отношения Н4-8 следующим образом:

- подготовить меру отношения к работе на пределе «20 V» (ее самоповерка может быть проведена по поверяемому прибору);

- установить поверяемый прибор в режим вольтметра постоянного напряжения (включена кнопка «DC») с 7-разрядной шкалой, пределом измерения «20 V» и включенным фильтром;

- подключить выход меры отношения к входу поверяемого вольтметра;

- уравнивать исходные (нулевой и опорный) уровни приборов, для чего:

- 1) на выходе меры отношения установить напряжение, равное нулю, и нажатием кнопки «Δ» вольтметра скомпенсировать установившееся значение показаний;

- 2) на выходе меры отношения установить напряжение 20 V и, регулируя опорное напряжение последней, добиться показания 20 V с максимально возможной точностью ($\pm 3 \mu V$);

- 3) декадным переключателем меры отношения устанавливать напряжения в соответствии с таблицей 11.5 и фиксировать показания поверяемого вольтметра. Рекомендуемый порядок проверки: 20 V, 18 V, 16 V, ..., 2 V, 0 V. Если в точках 6 V, 4 V, 2 V погрешность превышает допустимое значение, то следует убедиться, что нуль измерительной схемы сохранился, в случае необходимости скомпенсировать его (нажатием кнопки «Δ») и повторить измерения в точках 6 V, 4 V, 2 V. Отсчет показаний рекомендуется осуществлять через 10 – 15 s после переключения;

- 4) аналогичные измерения осуществить при отрицательной полярности, для чего:

- поменять местами выводы кабеля (на выходе меры отношения или на входе поверяемого прибора);

- после выдержки 30-40 s (для стабилизации термо-э.д.с) нажатием кнопки «Δ» скомпенсировать нуль измерительной схемы;

- на выходе меры отношения установить напряжение 20 V (теперь это будет минус 20 V) и повторить все операции аналогично вышеописанным.

Таблица 11.5 – Точки определения погрешности преобразования основного предела

Измеряемое напряжение, V	± 2	± 4	± 6	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16	± 18	± 20
Допускаемая погрешность, μV	± 3	± 3	± 4	± 5	± 5	± 5	± 6	± 6	± 6	± 3

Результаты поверки считают удовлетворительными, если погрешность измерения не превышает значений, указанных в таблице 11.5.

Определение погрешности **калибратора** на пределе «20 V» осуществляется сравнением погрешности вольтметра и калибратора в точке 20 V и реализуется следующим образом:

- выход меры отношения Н4-8 подключить к входу поверяемого прибора (в режиме вольтметра);

- установить на выходе прибора Н4-8 напряжение 20 V;

- регулировкой опорного напряжения прибора Н4-8 добиться показания вольтметра, равного $20 V \pm 3 \mu V$;

- подключить выход меры отношения Н4-8 к входу вольтметра В2-43 и выбором константы «с» вольтметра В2-43 добиться показания $20 V \pm 3 \mu V$;

- вход вольтметра В2-43 подключить к выходу поверяемого калибратора с установленным уровнем напряжения 20 V;

- убедиться, что показание прибора В2-43 не выходит за пределы $20\text{ V} \pm 25\text{ }\mu\text{V}$.

Повторить указанные операции для отрицательной полярности (минус 20 V). У прибора Н4-8 следует поменять местами выводы кабеля.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если погрешность воспроизведения напряжения 20 V не превышает $\pm 25\text{ }\mu\text{V}$.

11.6.6.4 Определение погрешности преобразования на пределе измерения «2 V» осуществляется следующим образом:

- выход меры отношения (предел «20 V») подключить к входу поверяемого вольтметра (7-разрядная шкала, включен фильтр);

- установить предел измерения «2 V», а на выходе меры отношения – нулевое напряжение;

- кнопкой «Δ» поверяемого вольтметра обнулить его индикатор;

- установить предел «20 V» вольтметра, а на выходе меры отношения – напряжение 20 V;

- регулируя опорное напряжение меры отношения, добиться показания $20\text{ V} \pm 4\text{ }\mu\text{V}$ на индикаторе поверяемого прибора;

- на выходе меры отношения установить напряжение 2 V и предел измерения «2 V» поверяемого прибора;

- зафиксировать (запротоколировать) погрешность поверяемого вольтметра на пределе измерения «2 V», которая не должна превышать $\pm 4\text{ }\mu\text{V}$, после чего приступить к определению погрешности **калибратора** Н4-12 на пределе «2 V».

При этом:

- выход меры отношения Н4-8 с установленным напряжением 2 V подключить к входу вольтметра В2-43 (предел «2 V», 7-разрядная шкала);

- выбором константы «с» вольтметра В2-43 добиться показания 2 V с максимальной точностью ($0,5 - 1\text{ }\mu\text{V}$);

- подключить прибор В2-43 к выходу поверяемого калибратора с пределом «2 V» и установленным уровнем 2 V.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если погрешность воспроизведения напряжения 2 V не превышает $\pm 5\text{ }\mu\text{V}$.

11.6.6.5 Определение погрешности преобразования на пределах измерения «200 V» и «1000 V» осуществляется путем измерения калиброванного напряжения малошумящих источников, которое формируется специальной последовательностью измерительных процедур (итерациями).

В качестве источников напряжения можно использовать прецизионные калибраторы (В2-43, Н4-12). Стандартная процедура поверки требует наличия трех таких источников: функцию одного из них может выполнять поверяемый прибор. В тех случаях, когда собрать два дополнительных источника вызывает затруднения, можно воспользоваться одним, но точность поверки снижается, если не принимать дополнительные меры, о которых будет сказано ниже в примечании.

На выходе каждого источника устанавливается напряжение 20 V, и в результате их последовательного соединения получается напряжение 60 V, которое используется для поверки предела «200 V» в соответствии с рисунком 11.2. Поверяемый прибор используется в режиме совместной работы 7-разрядного вольтметра и 6-разрядного калибратора.

Выходное напряжение каждого из источников контролируется проверяемым вольтметром на пределе измерения «20 V», и по его показанию устанавливается (органами редактирования выходного напряжения калибратора) с максимальной точностью 3 – 5 μV . Калибратор поверяемого прибора устанавливается в положение 20 V (предел «20 V») и, при необходимости, его выход редактируется на максимально возможную точность показания 20 V вольтметра.

При последовательном соединении источников (см. рисунок 11.2) высокопотенциальный вывод кабеля «К2» (Н1 – К2) подключается к низкопотенциальному выводу источника, а его

высокопотенциальный вывод – к низкопотенциальному выводу следующего источника и т.д. Суммарное выходное напряжение 60 V измеряется вольтметром поверяемого прибора на пределе «200 V».

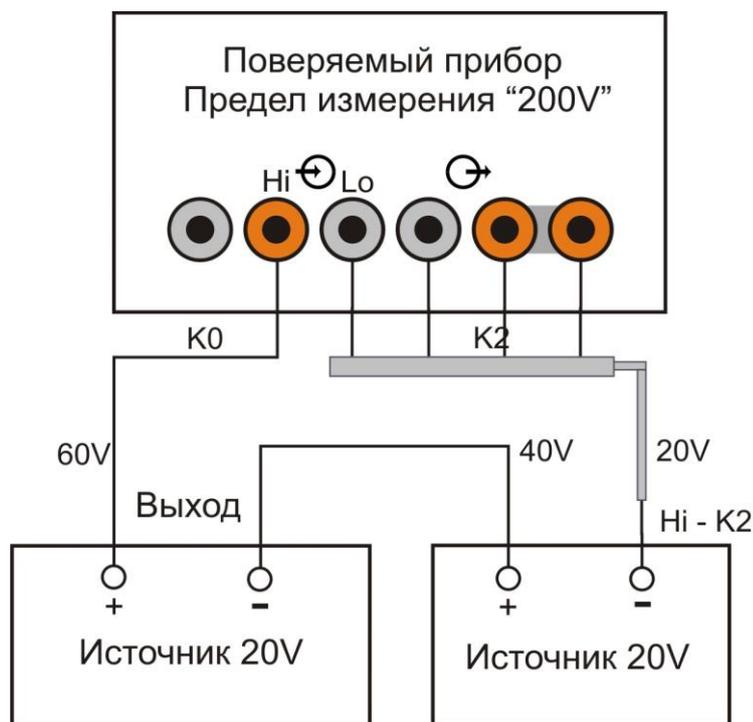


Рисунок 11.2 – Схема проверки погрешности преобразования на пределе измерения «200 V»

Результаты проверки считают удовлетворительными, если показание вольтметра отличается от значения 60 V не более чем на $\pm 150 \mu\text{V}$ (если измеряется напряжение 40 V двух источников, то норма снижается до ± 110).

Примечание – Перед измерением на пределе «200 V» необходимо минимизировать погрешность поверяемого вольтметра в нулевой области, для чего низкопотенциальный выход кабеля «K2» подключается к высокопотенциальному входу вольтметра (то есть замкнуть вход). После установления показания нажатием кнопки « Δ » вольтметра обнулить его и продолжить работу. Изложенное требование тем жестче, чем ниже измеряемое напряжение.

11.6.6.6 Для проверки погрешности на пределе измерения «1000 V» аналогично изложенному выше формируется калиброванный уровень напряжения 400 V:

- выбором константы «с» поверяемого вольтметра добиться показания 60 V с максимально возможной точностью (этим исключается фактическая погрешность вольтметра на пределе «200 V»);

- установить поочередно на выходе каждого из двух источников (калибратор В2-43 и поверяемый прибор) напряжение 200 V и отредактировать по точному показанию вольтметра на пределе измерения «200 V».

Напряжение 400 V, полученное при последовательном соединении источников, используется для проверки погрешности поверяемого прибора на пределе «1000 V».

Результаты поверки считают удовлетворительными, если показание вольтметра отличается от значения 400 V не более чем на $\pm 1 \text{ mV}$ (предварительно необходимо убедиться, что нуль на пределе измерения «1000 V» не превышает единицы младшего разряда).

11.6.6.7 На заключительной стадии проверяется работоспособность 7-разрядного калибратора на пределах «200 V» и «1000 V» под управлением вольтметра.

Поверяемый прибор устанавливается в режим 7-разрядного калибратора с пределом «200 V». Далее следует:

- к выходу калибратора подключить вольтметр В2-43 (Н4-12);
- установить напряжение +200 V, а затем минус 200 V;
- по реакции измерителя (В2-43) убедиться в работоспособности поверяемого прибора;
- дополнить прибор Н4-12 высоковольтным блоком Н4-12БВ и повторить вышеописанные процедуры для напряжения ± 1000 V, убедившись (по реакции вольтметра В2-43) в работоспособности поверяемого комплекса. Метрологические параметры калибратора в проверяемом режиме определяются (по принципу действия) вольтметром.

11.6.6.8 Определение погрешности измерения и воспроизведения напряжения на пределах «20 mV» и «200 mV» (базовый прибор в комплексе с блоком низковольтным Н4-12БН) осуществляется в начальной и конечной точках диапазона.

Погрешность на пределах «20 mV» и «200 mV» определяется в режиме измерений калиброванных напряжений ± 200 mV, которые формируются при помощи вспомогательного делителя с коэффициентом передачи 1:10 (из комплекта поставки).

Для точного определения коэффициента передачи делителя на него подается напряжение 5 V (от вспомогательного калибратора В2-43), а выходное напряжение 0,5 V измеряется поверяемым вольтметром на пределе измерения «2 V».

Предварительно следует уравнивать опорные уровни вспомогательного калибратора и поверяемого вольтметра, для чего:

- выход калибратора с напряжением 5 V подключить к входу поверяемого вольтметра (предел «20 V», 7-разрядная шкала, включенный фильтр);

- выбором константы «с» калибратора добиться показания $5 \text{ V} \pm 1 \text{ } \mu\text{V}$ на индикаторе поверяемого вольтметра;

- к выходу калибратора подключить делитель 1:10 (по четырехпроводной линии), а выход делителя подключить к входу поверяемого вольтметра (предел «2 V», 7-разрядная шкала, включенный фильтр);

- при обнуленном выходе калибратора нажатием кнопки « Δ » скомпенсировать смещение нуля предела «2 V» вольтметра, после чего установить напряжение 5 V на выходе калибратора;

- выбором константы «с» поверяемого вольтметра добиться точного показания $0,5 \text{ V} \pm 0,5 \text{ } \mu\text{V}$ индикатором вольтметра, завершив таким образом калибровку делителя;

- в соответствии с руководством по эксплуатации осуществить соединение поверяемых приборов Н4-12 и Н4-12БН в измерительный комплекс;

- дифференциальный вход низковольтного блока « \Rightarrow » кабелем из комплекта поставки подключить к выходу делителя 1:10 при нулевом выходе калибратора;

- включить автокалибровку №15;

- установить предел измерения «200 mV» с 7-разрядной шкалой и режимом из шести усреднений;

- на выходе вспомогательного калибратора установить напряжение 2 V (на пределе «20 V»), что соответствует напряжению 200 mV на выходе делителя;

- зафиксировать показание поверяемого прибора, после чего сменить полярность напряжения калибратора и вновь зафиксировать показание вольтметра.

Результаты поверки считают удовлетворительными (как для режима измерения, так и воспроизведения), если показания вольтметра отличаются от значений ± 200 mV не более чем на $\pm 1 \text{ } \mu\text{V}$.

По принципу действия прибора данным видом поверки обеспечивается поверка и предела «20 mV».

11.6.7 Определение метрологических характеристик вольтметра и калибратора постоянного напряжения в режиме ограничения разрядов (калибратора до 6, вольтметра до 4 – 5)

11.6.7.1 Определение основной погрешности измерения и воспроизведения напряжения постоянного тока в режиме ограничения разрядов осуществляется по методикам пп.11.6.7.1.1, 11.6.7.1.2.

11.6.7.1.1 Удовлетворительные результаты поверки по методике п.11.6.6 дают основания для использования совместных ресурсов (7-разрядного вольтметра и калибратора) при поверке 5-разрядного вольтметра и 6-разрядного калибратора. Такая возможность реализуется работой калибратора на собственный вольтметр и наоборот. Для осуществления этого необходимо организовать связь вольтметра и калибратора, для чего высокопотенциальный вход вольтметра соединить с высокопотенциальным выходом калибратора, используя кабель «К2» из комплекта поставки.

Определение погрешности измерения вольтметра с 5-разрядной шкалой осуществляется в точках 0, ± 10 V и ± 20 V, для чего:

- включить режим одновременного функционирования 7-разрядного калибратора и 5-разрядного вольтметра постоянного напряжения с пределами «20 V»;
- устанавливая на выходе калибратора последовательно 0, ± 10 V и ± 20 V, зафиксировать показания вольтметра.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если погрешность вольтметра не превышает ± 3 единицы младшего разряда.

11.6.7.1.2 Определение погрешности 6-разрядного калибратора реализуется на пределах «0,2 V», «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V».

Поверка производится прямым измерением 7-разрядным вольтметром (с включенным фильтром) напряжений на выходе калибратора.

Установить предел «0,2 V» калибратора (6-разрядная шкала) и предел измерения вольтметра «2 V» (7-разрядная шкала). Вход вольтметра дополнительно замкнуть перемычкой. После установления показаний нажатием кнопки « Δ » вольтметра обнулить его индикатор при шести усреднениях ($n = 6$).

Удалить перемычку и зафиксировать установившееся показание вольтметра, которое не должно превышать $\pm 1,3$ μ V.

Установить предел «2 V» калибратора и измерить «нуль», который не должен превышать ± 4 μ V.

Далее, устанавливая на выходе калибратора напряжения, указанные в таблице 11.6, зафиксировать для каждого из них показание вольтметра и вычислить погрешности.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если погрешность не превышает значений, указанных в таблице 11.6 (значения приведены с учетом эксплуатационного запаса).

Таблица 11.6 – Точки определения погрешности 6-разрядного калибратора

Предел Un	Контролируемое напряжение, V	Допускаемое значение погрешности, $\pm\mu\text{V}$, не более	Предел Un	Контролируемое напряжение, V	Допускаемое значение погрешности, $\pm\mu\text{V}$, не более
0,2 V	0	1,3	20 V	1,7	29
	$\pm 0,2$	3,2		2	32
2 V	0	4		2,5	36
	± 2	24		± 5	56
20 V	$\pm 0,0085$	16		8	80
	0,016	16		11	104
	0,025	16		13	120
	0,03	16		15	136
	0,06	16		17,5	156
	0,1	17		± 20	176
	$\pm 0,2$	18	0	300	
	0,4	19	± 100	1,3 mV	
	0,7	21	± 200	2,3 mV	
	± 1	24	± 200	5 mV	
1,2	25	500	9,5 mV		
1,4	27	± 1000	17 mV		

Примечание – Для удобства отсчета показаний вольтметра допускается снизить разрядность до шести.

11.6.8 Определение метрологических характеристик низковольтного блока Н4-12БН в автономном режиме

11.6.8.1 Определение характеристик блока низковольтного Н4-12БН в автономном режиме осуществляется путем прямого измерения аналого-цифровым преобразователем поверяемого блока напряжения, подаваемого с выхода калибратора Н4-12 с пределом воспроизведения «20 mV».

Порядок поверки:

- подключить низковольтный блок к базовому прибору Н4-12 с помощью кабелей «К3» и «К6»;
- установить базовый прибор Н4-12 в режим калибратора с пределом воспроизведения «20 mV»;
- медной перемычкой высокопотенциальный выход (\oplus) калибратора низковольтного блока соединить с его высокопотенциальным входом (\ominus), обеспечив тем самым подачу поверяемого напряжения на вход АЦП поверяемого блока;
- при нулевом выходном напряжении калибратора кнопкой NULL («нуль») низковольтного блока добиться нулевого показания его индикатора с точностью $\pm 5 \text{ nV}$, выбрав время измерения 2 s;
- измерить напряжения в точках, указанных в таблице 11.7.

Таблица 11.7 – Точки проверки погрешности низковольтного блока Н4-12БН в автономном режиме

Проверяемое напряжение	Допускаемое значение погрешности
$\pm 1 \text{ mV}$	$\pm 75 \text{ nV}$
$\pm 2,5 \text{ mV}$	$\pm 150 \text{ nV}$
$\pm 4 \text{ mV}$	$\pm 225 \text{ nV}$
$\pm 7,5 \text{ mV}$	$\pm 400 \text{ nV}$

$\pm 15 \text{ mV}$	$\pm 800 \text{ nV}$
---------------------	----------------------

Результаты проверки считают удовлетворительными, если погрешность не превышает значений, указанных в таблице 11.7.

Примечание – Определяется погрешность, нормируемая при ежемесячном режиме самоповерки.

11.6.9 Определение метрологических характеристик калибратора переменного напряжения

11.6.9.1 Проверку диапазона и определение основной погрешности воспроизведения напряжения переменного тока осуществляют методом сравнения (компарирования) контролируемого напряжения переменного тока с эквивалентным постоянным. Такое сравнение реализуется с использованием набора прецизионных термопреобразователей.

Применяемый в данной методике в качестве компаратора преобразователь переменного напряжения прецизионный 792А (модель 792А AC/DC Transfer Standard фирмы FLUKE, США) выполнен на основе широкополосного прецизионного теплового электронного преобразователя с широким амплитудным (до 1100 V) и частотным (до 1 MHz) диапазоном, высоким быстродействием (менее 30 с), с встроенными элементами коммутации и защиты.

Преобразователем 792А осуществляется сравнение переменного напряжения проверяемого прибора с постоянным напряжением.

Примечание – В качестве источника постоянного напряжения используется сам поверяемый прибор с 7-разрядной шкалой после его поверки по методике п.11.6.6, где предусмотрены метрологические запасы, обеспечивающие достоверность измерения переменного напряжения (погрешность источника постоянного напряжения не менее чем в 8 – 10 раз меньше нормируемой погрешности калибратора переменного напряжения). Определяется относительная погрешность, что косвенным образом гарантирует соответствие требованиям по абсолютной погрешности.

При работе с компаратором (преобразователем) 792А следует учитывать следующие особенности его эксплуатации:

- в преобразователе отсутствует встроенный индикатор, поэтому в качестве внешнего индикатора предлагается использовать 6- или 7-разрядный вольтметр, от которого требуется только высокая разрешающая способность (0,0001 %). Индикатор (например, вольтметр В2-43) с пределом измерения «2 V» подключается к выходу «DC OUTPUT» компаратора. При работе компаратора рекомендуется исключить связь его аккумуляторного блока с сетью питания (отключить сетевой шнур);

- следует обратить внимание на значительное потребление тока входной цепью компаратора 792А (более 5 - 6 mA) на пределах измерения «2,2 V» и выше (на младших пределах измерения входное сопротивление более 10 MΩ). По этой причине при измерениях на пределах «220 mV», «2,2 V», «7 V», «22 V» «70 V» и «220 V» компаратора выход проверяемого калибратора необходимо подключать в соответствии с рисунком 11.3, через четырехпроводный кабель «К2» (из комплекта поставки). На пределе «1000 V» поверяемый прибор реализует двухпроводный выход. Выход поверяемого калибратора подключается к компаратору кабелем К1 из комплекта поставки (прибор Н4-12 соединяется с блоком Н4-12БВ кабелем К2).

Процедура определения основной погрешности воспроизведения напряжения переменного тока с использованием преобразователя переменного напряжения прецизионного 792А осуществляется в соответствии с пп.11.6.9.2, 11.6.9.3.

ВНИМАНИЕ! Определение погрешности в точках, ненормируемых в компараторе 792А, обусловлена спецификой поверяемого прибора и носит контрольно-информационный характер.

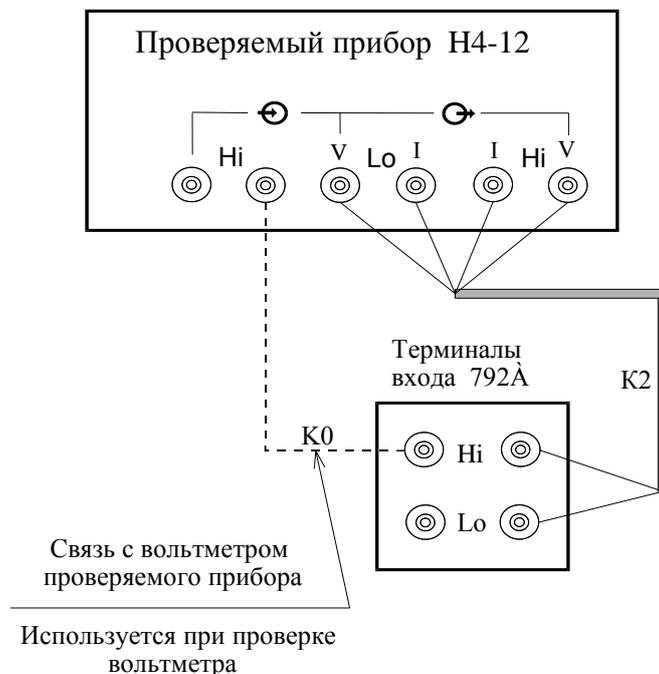


Рисунок 11.3 – Схема определения основной погрешности воспроизведения (калибратор) напряжения переменного тока

11.6.9.2 Стандартная процедура сравнения постоянного и переменного напряжения реализуется следующим образом:

- установить требуемый предел измерения компаратора 792А;
- к одному из входов компаратора подключить проверяемый прибор;
- на выходе проверяемого прибора установить требуемое (равное измеряемому переменному напряжению) значение постоянного напряжения положительной полярности;
- нажатием кнопки «%» индикатора (прибора В2-43) скомпенсировать его показание;
- для оценки асимметрии компаратора (реакции на разнополярный сигнал) кнопкой «+/-» проверяемый прибор перевести в режим воспроизведения напряжения отрицательной полярности;
- зафиксировать (в процентах) показание индикатора и, если оно в четыре или более раз ниже погрешности, нормированной для калибратора переменного напряжения в данной точке, компарирование осуществлять только при положительной полярности напряжения. В этом случае следует вернуться к положительной полярности и, при необходимости, кнопкой «%» индикатора скомпенсировать показание;
- проверяемый прибор перевести в режим воспроизведения напряжения переменного тока с требуемыми напряжением и частотой. Устанавливая весь заданный частотный ряд для данного напряжения, зафиксировать показания индикатора, отображающего погрешность.

11.6.9.3 Для случаев, когда асимметрия компаратора превышает 0,25 нормированной погрешности, необходимо осуществлять сравнение переменного напряжения со средним (по результатам двух измерений – при положительной и отрицательной полярности) значением постоянного напряжения следующим образом:

- подать напряжение положительной полярности;
- нажатием кнопки «%» индикатора компаратора, в качестве которого включен вольтметр В2-43, обнулить его показание;
- подать напряжение отрицательной полярности и зафиксировать показание индикатора, отображающего в этом случае асимметрию преобразователя (компаратора 792А).

Ее игнорирование приведет к погрешности сравнения, равной половине асимметрии. По этой причине сравнение переменного напряжения осуществляется по постоянному, равному

среднему значению напряжения постоянного тока положительной и отрицательной полярностей. Ниже излагается процедура реализации такого сравнения.

Допустим индикатор зафиксировал асимметрию, равную минус 0,007 %. Знак «минус» свидетельствует, что среднее значение ниже (а если знак «плюс», – выше) напряжения положительной полярности. Для получения среднего значения напряжение положительной полярности должно быть уменьшено в два раза, т.е. на 0,0035 %, что может быть реализовано использованием кнопки «x · c» калибратора: устанавливается $c = 0,999965$ (при положительном знаке асимметрии 1,000035). В этом случае нет необходимости редактировать установленный уровень постоянного напряжения положительной полярности – достаточно включить кнопку «с · x» поверяемого калибратора. Нажатием кнопки «%» индикатора В2-43 обнулить показание, после чего нажатием кнопки «Hz» или «kHz» подать сравниваемое переменное напряжение, **ОБЯЗАТЕЛЬНО ВЫКЛЮЧИВ КНОПКУ «x · c»**, и зафиксировать погрешность.

ВНИМАНИЕ! Обязательно следует проверить правильность установки константы «с», для чего:

- при положительной полярности напряжения и включенной кнопке «x · c» обнулить индикатор В2-43 его кнопкой «%»;
- выключить кнопку «x · c» поверяемого калибратора и зафиксировать показание индикатора В2-43 при положительной и отрицательной полярностях напряжения. При правильной установке константы «с» показание должно быть +0,0035 % и минус 0,0035 % соответственно с допускаемой асимметрией 0,0002 – 0,0004 %.

Примечание – Наибольшие значения асимметрии компаратора 792А характерны для пределов «22 mV», «220 mV» и «700 mV».

Нормирование погрешности относительно калибровочных мер (см. таблицу 4.8) требует согласования опорных уровней поверяемого и измерительного приборов (приведение к единому масштабу). С этой целью перед измерениями необходимо установить опорный уровень 20 V, 10 kHz поверяемого прибора в режиме калибратора и, контролируя его выход компаратором, при необходимости, калибровкой №43 добиться максимального совпадения показаний (до $\pm 0,0003$ %).

Точки проверки основной погрешности воспроизведения напряжения переменного тока и используемые при этом средства измерения приведены в таблице 11.8.

Определение погрешности в граничной точке калибратора (2 V предела «20 V») может осуществляться методом прямых измерений вольтметром поверяемого прибора. Но в этом случае проверка в указанной точке реализуется после проверки вольтметра переменного напряжения на пределе «2 V». Проверка точки 2 V предела «20 V» калибратора производится на сопряженном пределе вольтметра (предел «2 V»).

На пределах «200 V» и «1000 V» следует использовать режим работы калибратора под управлением вольтметра (включается режим совместной работы калибратора с вольтметром, когда высокопотенциальный вывод калибратора соединяется с входом вольтметра и включается кнопка «SRV»).

Таблица 11.8 – Точки определения погрешности калибратора переменного напряжения

Предел, Уп	Проверяемое напряжение	Допускаемое значение относительной погрешности калибратора, $\pm\%$, не более								Средство измерения
		Частота, kHz								
		0,06; 0,19; 1	10	20	30*; 50	75*; 100	200*; 300	400*; 500	750*; 1000	
0,2 V	200 mV	0,005		0,005	0,01	0,017	0,05	0,065	0,18	компаратор 792А
2 V	1 V	0,0025	0,0025	-	-	0,006	-	-	0,19	Компаратор 792А
	2 V	0,002	0,002	0,002	0,004	0,005	0,023	0,05	0,17	
20 V	2 V	0,0047	-	0,0047	0,0085	0,014	0,05	0,14	0,36	компаратор 792А
	10 V	0,0018	0,0018	0,0018	0,0045	0,006	0,026	0,06	0,19	
	20 V	0,0015	0,0015	0,0015	0,004	0,005	0,023	0,05	0,17	
200 V	100 V	0,0035	-	-	-	0,018	-	-	-	компаратор 792А
	200 V	0,003	0,003	0,003	0,006	0,0165	-	-	-	
1000 V	500 V	0,0035	0,0035	0,0035	0,02 для $f = 30$ kHz				компаратор 792А	
	700 V	0,0032	-	0,0032	0,02 для $f = 30$ kHz					
	1000 V	0,003	0,003	0,003	-					

* Частота, на которой осуществляется поверка только на пределе «20 V»

Результаты поверки считают удовлетворительными, если погрешность не превышает значений, указанных в таблице 11.8.

11.6.10 Определение метрологических характеристик вольтметра переменного напряжения

11.6.10.1 Проверка диапазона и определение основной погрешности измерения синусоидального напряжения с преобразованием средневыпрямленного значения напряжения осуществляется путем измерения напряжения калибратора, выход которого контролируется компаратором 792А.

Таким образом, калибратор является только источником сигнала, а метрологическое обеспечение возлагается на компаратор. В качестве источника используются калибратор Н4-17 или Н4-12 (исключая калибратор поверяемого прибора) Точное значение напряжения калибратора устанавливают по показанию прибора 792А.

Из-за ограниченных возможностей калибратора Н4-12 в части воспроизведения напряжений 500 и 700 V частотой 50, 100 kHz в качестве источника сигнала используется калибратор В1-27 (или другой, способный реализовать эту задачу).

Поверка осуществляется в соответствии с методами, изложенными в пп.11.6.10.2, 11.6.10.3.

11.6.10.2 Нормирование погрешности относительно калибровочных мер (см. таблицу 4.11) требует согласования опорных уровней (приведение к единому масштабу) измерительной схемы (поверяемого и измерительного приборов). С этой целью перед измерениями необходимо установить опорное напряжение вольтметра (калибровка 55). Проверьте показания вольтметра в точке 20 V, 1 kHz. Оно не должно отличаться более чем на 0,003 % (норма абсолютной погрешности). Калибровкой 55 (РЭ часть 2) добейтесь максимально точного показания, не хуже ($\pm 0,0003$ %).

Вход поверяемого вольтметра и источника сигналов подключить к входу компаратора (входной блок компаратора имеет спаренные клеммы). Если используется калибратор поверяемого прибора, следует воспользоваться измерительной схемой рисунка 11.3. На пределе «1000 V» (в точках 500; 700 и 1000 V) высоковольтный блок поверяемого прибора и вход вольтметра «~1000 V» соединить с компаратором, спаренный вариант входных клемм.

Поверку провести во всех точках, указанных в таблице 11.9.

Таблица 11.9 – Поверка вольтметра с СВЗ- преобразователем

Предел, Уп	Проверяемое напряжение	Допускаемое значение относительной погрешности измерения вольтметром с СВЗ- преобразователем, ±%, не более						
		Частота, kHz						
		0,12; 0,02*; 0,2*	1; 10; 20	50	100	200*; 300	400*; 500	750*; 1000
0,2 V	200 mV	0,008	0,005	0,01	0,017	0,05	0,065	0,15
2 V	0,2 V	0,01	0,0065	-	-	-	0,14	0,35
	0,5 V	0,007	0,0035	0,0055	0,008	0,025	0,08	0,22
	1 V	0,006	0,0025	0,0045	0,006	0,020	0,06	0,17
	1,5 V	0,0056	0,0023	0,0043	0,0055	0,019	0,055	0,16
	2 V	0,0055	0,0020	0,004	0,005	0,017	0,05	0,15
20 V	2 V	0,01	0,0042	0,0085	0,014	0,04	0,14	0,35
	5 V	0,007	0,0024	0,0055	0,008	0,025	0,08	0,22
	7 V	0,006	0,002	0,0049	0,0068	0,022	0,07	0,2
	10 V	0,0058	0,0018	0,0045	0,006	0,02	0,06	0,17
	20 V	0,0055	0,0015	0,004	0,005	0,0175	0,05	0,15
200 V	20 V	0,015	0,0075	0,015	0,024			
	50 V	0,009	0,0045	0,009	0,017			
	100 V	0,007	0,0035	0,007	0,015	-	-	-
	200 V	0,006	0,003	0,006	0,014			
1000 V	200 V	0,01	0,005	0,025	0,075			
	500 V	0,007	0,0035	0,019	0,06			
	700 V	0,0064	0,0032	0,0178	0,057	-	-	-
	1000 V	0,006	0,003	-	-			

* Поверка осуществляется только на пределе «20 V»

Результаты поверки считают удовлетворительными, если результаты измерений соответствуют значениям, указанным в таблице 11.9.

Примечание - Проверку вольтметра (и СВЗ и СКЗ) на пределе 0,2V целесообразно осуществлять с выхода калибратора поверяемого прибора, без участия 792А. Но значение напряжения на выходе калибратора должно быть известно по результатам предварительного измерения его прибором 792А. Т.е. одновременное присутствие на входе вольтметра собственного калибратора и компаратора 792А нежелательно. Особенно на высоких частотах.

11.6.10.3 Проверка диапазона и определение основной погрешности измерения напряжения переменного тока в режиме преобразования среднеквадратического значения осуществляется аналогично. Но напряжение может подаваться и с выхода калибратора проверяемого прибора (а на частотах 50 и 100 kHz предела 1000 V дополнительного источника), которое контролируется компаратором 792А.

Проверка на пределах 0,2, 2, 20 V может осуществляться прямым измерением (без контроля компаратором 792А). А на пределах 200 и 1000 V контроль прибором 792А обязателен (калибратор нормирует погрешность в режиме контроля выхода вольтметром).

Поверка прибора проводится в точках и на частотах, указанных в таблице 11.10.

Проверка в точках 1 mV и 0,2 V реализуется на пределе измерения «0,2 V», а в точках 2 V, 20 V, 200 V и 700 V – на пределах «2 V», «20 V», «200 V» и «1000 V» соответственно.

Таблица 11.10 – Поверка вольтметра с СКЗ- преобразователем

Проверяемая точка	Допускаемое значение основной погрешности измерения, ±%, не более							
	Частота, kHz							
	0,11	10; 20	35; 50	75; 100	300	500	750	1000
1 mV	4 μV	6 μV	10 μV	20 μV	-	-	-	-
0,2 V	0,006	0,009	0,025	0,06	0,11	0,7	0,7	0,7
2 V	0,003	0,007	0,022	0,044	0,11	0,5	0,5	0,5
20 V	0,003	0,007	0,022	0,044	0,11	0,5	0,5	0,5
200 V	0,0035	0,007	0,033	0,06	-	-	-	-
700 V	0,0037	0,007	0,033	0,06	-	-	-	-

Результаты поверки считают удовлетворительными, если показания не превышают значений, указанных в таблице 11.10.

11.6.11 Определение метрологических характеристик калибратора силы постоянного и переменного тока

11.6.11.1 Проверка диапазона и определение основной погрешности прибора в режиме воспроизведения силы постоянного тока в диапазоне до 2 А осуществляется методом измерения напряжения на образцовой мере сопротивления, через которую пропускается контролируемый ток. Определение погрешности на каждом пределе производится в области минимальных и максимальных значений силы тока следующим образом:

- к токовым выходам «I» поверяемого прибора Н4-12 подключить меру сопротивления;
- к потенциальным выводам меры сопротивления подключить вольтметр В2-43 с пределом «2 V»;
- произвести измерение падения напряжения на мере сопротивления при минимальном (равном нулю) и максимальном токе предела. Меры сопротивления, пределы и проверяемые точки указаны в таблице 11.11.

ВНИМАНИЕ! Вышеописанные процедуры определения погрешности предполагают, что действительное значение сопротивления меры не отличается от номинального, т.е. от значений 10000; 1000; 100 Ω и т.д.

Если действительные значения сопротивления мер, взятые из их свидетельств о поверке, отличаются от номинальных более чем на ±0,0005 %, то необходимо воспользоваться операцией масштабирования "x · с" прибора В2-43.

С этой целью для каждой меры вычисляется константа "с" путем деления номинального значения сопротивления меры на ее действительное значение (например, с = 1000 / 1000,03 = 0,99997) и до начала измерения вводится в прибор В2-43 для соответствующей данному измерению меры сопротивления.

Таблица 11.11 – Проверяемые точки калибратора силы постоянного тока

Предел, Iп	Номинальные значения образцовой меры сопротивления (из набора МС3004), Ω	Проверяемая точка, mA	Допускаемое отклонение, ±μV
2 mA	1000	0 ±2	5 55
20 mA	100	0 ±20	5 55
200 mA	10	0 ±200	10 60
2000 mA	1 0,1	0 ±2000	10 11

Результаты поверки по постоянному току считают удовлетворительными, если отклонения напряжения не превышают значений, указанных в таблице 11.11.

11.6.11.2 Проверка диапазона и определение основной погрешности воспроизведения силы переменного тока реализуется путем измерения падения напряжения на мере сопротивления, через которую пропускается измеряемый ток. Для поверки используются меры сопротивления переменного тока Н4-12МС.

Методика проверки пределов и определения основной погрешности воспроизведения силы переменного тока аналогична поверке по п.11.6.11.1, только в качестве образцовой меры сопротивления используется набор мер 0.01 Ω, 1 Ω, 10 Ω, 100 Ω из Н4-12МС, а в качестве вольтметра переменного напряжения – дополнительный прибор Н4-12 на пределах измерения «0,2 V» и «2 V». **Собственный вольтметр проверяемого прибора использовать нельзя.**

Поверка производится следующим образом:

- установить поверяемый прибор в режим калибратора силы переменного тока;
- к токовым («») выводам меры сопротивления подключить выход поверяемого калибратора, а к потенциальным («») – вход вольтметра Н4-12.

Сила измеряемого тока определяется как частное от деления показания вольтметра на сопротивление меры.

Меры сопротивления, пределы и проверяемые точки указаны в таблице 11.12.

Таблица 11.12 – Проверяемые точки калибратора силы переменного тока

Предел, Iп (проверяемая точка)	Мера сопротивления, Ω	Допускаемая погрешность, ±%, на частоте			
		200 Hz	1 kHz	5 kHz	10 kHz
2 mA (2 mA)	100	0,016	0,028	0,055	0,055
20 mA (20 mA)	100	0,016	0,028	0,055	0,055
200 mA (200 mA)	10	0,016	0,028	0,055	0,055
2000 mA (2000 mA)	1	0,022	0,033	0,11	0,11

Результаты поверки считают удовлетворительными, если погрешность не превышает значений, указанных в таблице 11.12.

Примечание – Если при поверке отсутствует дополнительный прибор Н4-12, можно использовать другой вольтметр, способный измерять переменное напряжение на пределах «0,2 V» и «2 V» в полосе частот от 200 Hz до 10 kHz с входным сопротивлением 1 МΩ и с форматом индикатора не менее 5,5 десятичных разряда, например, мультиметр В7-64. В этом случае погрешность вольтметра в точке измерения определяется с помощью поверяемого калибратора следующим образом:

- зафиксировать показание вольтметра $U_{пок}$;
 - подключить к входу вольтметра калибратор Н4-12 (поверяемый) в режиме воспроизведения переменного напряжения с частотой, на которой зафиксировано $U_{пок}$;
 - редактируя выход калибратора, добиться показания вольтметра, равного $U_{пок}$;
 - истинное значение напряжения $U_{ист}$ отсчитать по индикатору калибратора.
- Погрешность определяется по формуле (11.1):

$$\delta = \frac{U_{ист} - I_{ном} \cdot R_o}{I_{ном} \cdot R_o} \cdot 100\%, \quad 11.1$$

где $I_{ном}$ – сила тока поверяемого калибратора,

R_o – значение сопротивления на частоте измеряемого тока.

Для измерения силы тока могут также использоваться образцовые термопреобразователи (ПТТЭ, КПП-1М и Т300). Выходное напряжение термопреобразователей может регистрироваться низковольтным блоком Н4-12БН в автономном режиме.

11.6.12 Определение метрологических характеристик меры напряжения Н4-12МН (Н4-12МН/1)

11.6.12.1 Определение воспроизводимого напряжения меры Н4-12МН (Н4-12МН/1) и его нестабильности осуществляется соответственно по методикам пп. 11.6.12.2, 11.6.12.3.

11.6.12.2 Определение действительного значения напряжения меры осуществляется путем измерения разности напряжений между поверяемой и образцовой мерами. Разность определяется по показанию нановольтметра Н4-12БН в автономном режиме (рисунок 11.4) с ограничением разрядов до 4. В качестве измерителя может использоваться и другой прибор, обеспечивающий измерение напряжения до $100 \mu V$ с ошибкой не более $\pm 2 \mu V$. Разность напряжений (с учетом знака) и класс образцовой меры необходимо зафиксировать в формуляре меры Н4-12МН (Н4-12МН/1). Затем вращением оси регулятора, расположенного на задней стенке поверяемой меры напряжения и маркированного символом « $\nabla 10 V$ », устанавливается напряжение, равное $10 V$, после чего отверстие регулировки пломбируется для защиты от несанкционированного доступа.

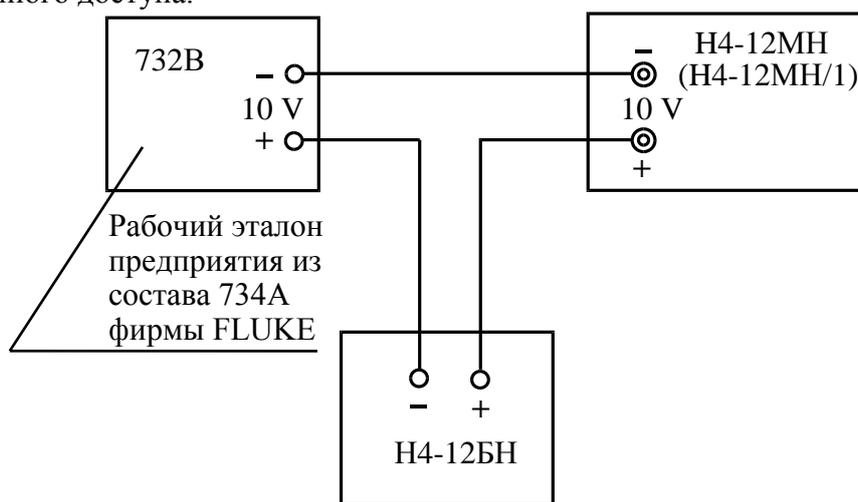


Рисунок 11.4 – Схема проверки действительного значения напряжения меры

11.6.12.3 Определение нестабильности выходного напряжения меры осуществляется путем вычисления разности (v) между текущим (U_t) и предыдущим ($U_{п}$) значениями напряжения меры (4.2):

$$v = U_t - U_{п} \quad (4.2)$$

$U_{п}$, как правило, составляет $10 V$.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если нестабильность выходного напряжения за 3 месяца меры Н4-12МН не превышает $\pm 24 \mu\text{V}$, а меры Н4-12МН/1 – не превышает $\pm 44 \mu\text{V}$, годовая нестабильность меры напряжения Н4-12МН не превышает $\pm 44 \mu\text{V}$, а меры Н4-12МН/1 – не превышает $\pm 88 \mu\text{V}$.

Примечания

1 Выражение (4.2) предполагает, что напряжение меры, по которой осуществлялась поверка (калибровка) при текущей и последующих поверках (калибровках), отличается не более чем на $4 \mu\text{V}$ ($\pm 0,00002 \%$). В противном случае нестабильность (v) должна быть увеличена на удвоенный класс меры. Для эталона предприятия (напряжение 10 V) неопределенность $\pm 10 \mu\text{V}$ дает увеличение на $20 \mu\text{V}$, что приводит к следующим нормам:

- **нестабильность за 3 месяца** для меры Н4-12МН составит $40 \mu\text{V}$, а для меры Н4-12МН/1 – $60 \mu\text{V}$;

- **нестабильность за 1 год** для меры Н4-12МН составит $60 \mu\text{V}$, а для меры Н4-12МН/1 – $100 \mu\text{V}$.

2 Если текущая и последующая поверки (калибровки) осуществлялись по мерам напряжения разного класса (**использовать меры ниже 1-го разряда запрещается**) допуск на нестабильность увеличивается на удвоенный суммарный класс используемых мер.

3 Если окружающая температура при текущей и предыдущей поверках отличается более чем на $1 \text{ }^\circ\text{C}$, следует учитывать температурную поправку (до $2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$). Например, если температура при поверке у производителя $23 \text{ }^\circ\text{C}$, а у пользователя $20 \text{ }^\circ\text{C}$, то эта разница может увеличить нестабильность на $6 \mu\text{V}$.

11.7 Оформление результатов поверки

11.7.1 Положительные результаты поверки оформляют в соответствии с требованиями ПР 50.2.006-94 и вносят в соответствующий раздел формуляра КМСИ.411182.020ФО.

Поверительные клейма наносят в соответствии с требованиями ПР 50.2.007-94.

11.7.2 Отрицательные результаты поверки оформляют в соответствии с требованиями ПР 50.2.006-94.

12 ХРАНЕНИЕ

12.1 Изделие может храниться в отопляемых и неотапливаемых хранилищах в упакованном виде.

Гарантийный срок хранения с момента изготовления 18 месяцев.

12.2 Условия содержания прибора в отопляемых хранилищах:

- температура окружающего воздуха от +5 до +40 °С;
- верхнее значение относительной влажности воздуха 80 % при температуре +25 °С.

12.3 Условия хранения в неотапливаемом хранилище:

- температура окружающего воздуха от минус 25 до +55 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха до 95 % при температуре +25 °С.

12.4 Хранить изделие без упаковки допускается в указанных условиях за исключением воздействия пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию, а также паров органических растворителей.

12.5 Рекомендуется после продолжительного хранения или пребывания изделия в условиях повышенной влажности проводить его просушку (при повышенной температуре от +40 до +50 °С в течение двух-трех суток). Эта процедура особенно эффективна для восстановления метрологических характеристик после пяти лет службы изделия, когда начинают быть заметными процессы разрушения пластических материалов и ухудшения сопротивления изоляции. Для просушки необходимо снять верхнюю крышку приборов изделия.

13 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

13.1 Изделие в транспортной упаковке допускает транспортирование всеми видами наземного и воздушного транспорта при условии защиты его от прямого воздействия атмосферных осадков, воздействия агрессивных жидких и твердых веществ.

При транспортировании воздушным транспортом изделие следует размещать в герметизированном отсеке.

13.2 Изделие может транспортироваться при температуре окружающего воздуха от минус 25 до +55 °С и относительной влажности не более 95 % при температуре +25 °С.

14 МАРКИРОВАНИЕ И ПЛОМБИРОВАНИЕ

14.1 Маркирование калибратора-вольтметра универсального Н4-12

14.1.1 На лицевой панели прибора Н4-12 нанесены:

- логотип предприятия;
- знак утверждения типа;
- наименование и тип прибора;
- функциональное назначение кнопок;
- наименование переключателя включения сети СЕТЬ (POWER) и изображение его включенного (выключенного) положения;
- наименование кодового переключателя РЕДАКТ. (EDIT) и кнопок установки знака моста «→», «←»;
- наименование переключателя «G→Lo», соединяющего (отключающего) экран с общей точкой измерительной схемы прибора;
- обозначение клемм – входа «», выхода «», высокопотенциальные «Hi», низкопотенциальные «Lo», заземление «», а также значений максимальных измеряемого и воспроизводимого напряжений.

14.1.2 На задней панели прибора нанесена маркировка разъемов «Н4-12БН», интерфейса «RS-232C», клемм заземления «» и защитного экрана по току «G(I)», а также параметров питающей сети сетевого разъема и предохранителя.

14.2 Маркирование блока высоковольтного Н4-12БВ

14.2.1 На лицевой панели блока высоковольтного нанесены:

- логотип предприятия;
- знак утверждения типа;
- наименование и тип прибора;
- наименование переключателя включения сети СЕТЬ (POWER) и изображение его включенного (выключенного) положения;
- обозначение клемм – входа «», выхода «», высокопотенциальные «Hi», низкопотенциальные «Lo», заземление «», а также значений максимальных входного и выходного напряжений;
- обозначение кнопки защиты от перегрузки ПЕРЕГРУЗКА / ПУСК (OVERLOAD / START).

14.2.2 На задней панели прибора нанесена маркировка клеммы заземление «» и параметров питающей сети сетевого разъема и предохранителя.

14.3 Маркирование блока низковольтного Н4-12БН

14.3.1 На лицевой панели блока низковольтного нанесены:

- логотип предприятия;
- знак утверждения типа;
- наименование и тип прибора;
- обозначение клемм – вход стандартный «», вход дифференциальный «», выход калибратора «», а также предупреждающая надпись и значения входных и выходных напряжений;
- наименование кнопок режима ожидания STB;
- наименование кнопок управления: NULL – нуль, DIG – число разрядов индикатора; AVR – усреднение показаний;
- обозначение единицы измерения «mV».

14.3.2 На задней панели прибора нанесена маркировка, содержащая:

- наименование входных клемм калибратора « Calibrator» и выходных клемм нановольтового усилителя « Amp» с обозначением низкопотенциальных «Lo» токовых «I» и потенциальных «V» клемм и аналогичных высокопотенциальных «Hi»;
- обозначение положений ON и CHARG тумблера включения питания прибора или заряда его аккумуляторов;
- наименование входа кабеля управления «10/100»;
- наименование разъема для подключения зарядного устройства BAT;
- обозначение регулировки «▶0◀»;
- обозначение клеммы заземления «».

14.4 Маркирование меры напряжения Н4-12МН

14.4.1 На лицевой панели меры напряжения нанесены:

- логотип предприятия;
- знак утверждения типа;
- наименование и тип прибора;
- наименование индикатора включения сети СЕТЬ (POWER);
- наименование индикатора перегрузки ПЕРЕГРУЗКА (OVERLOAD);
- наименование клемм выходного напряжения «10.000000 V».

14.4.2 На задней панели прибора нанесена маркировка регулировки опорного напряжения «▼10 V», клеммы заземления «» и параметров питающей сети сетевого разъема и предохранителя.

14.5 Пломбирование приборов

14.5.1 Пломбирование приборов Н4-12, Н4-12БВ, Я9-44 выполняется закрытием пломбой в трех местах верхней и нижней крышек.

14.5.2 Пломбирование приборов Н4-12МО, Н4-12МС, Н4-12БН выполняется в трех местах крепления верхней крышки.

14.5.3 Пломбирование приборов производится изготовителем. Нарушение этих пломб снимает гарантии изготовителя.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	№ документа	Входящий № сопроводительного докум.и дата	Подпись	Дата
	измененных	замененных	новых	аннулированных					