

6  
А-11

СК

Государственный комитет стандартов, мер  
и измерительных приборов СССР

БЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ  
ИМЕНИ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

Г.Л.ГРИН

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ПРОВЕРКИ ВОЛЬТМЕТРОВ ИНФРАКРАСНОГО  
ДИАПАЗОНА

автор реферат диссертации  
на звание ученой степени  
кандидата технических наук

1965 г.

Государственный комитет стандартов, мер  
и измерительных приборов СССР

---

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ  
ИМЕНИ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

---

Г.Л.ГРИН

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ПРОВЕРКИ ВОЛЬТМЕТРОВ ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНОГО  
ДИАПАЗОНА

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

1965

## Введение

Развитие автоматки, метрологии и новых методов физических исследований вызвало необходимость широкого внедрения измерительных приборов, работающих в диапазоне инфранизких частот (ИНЧ), а именно, 0,001—100 гц. Быстрый рост техники потребовал значительного повышения точности измерений в этой области. Однако до последнего времени мало занимались разработкой методов и средств поверки измерительной ИНЧ аппаратуры.

Следствием недостатка внимания к разработке соответствующих методов и средств оказалась недостаточная реальная точность результатов измерений. Это препятствовало сохранению единства мер в данной области и не могло не привести к значительным затруднениям в экспериментальных работах. Отсутствие образцовых приборов, по которым можно градуировать, калибровать и поверять рабочие приборы, тормозит широкий выпуск измерительных средств для промышленности и научно-исследовательских лабораторий.

В связи с необходимостью правильной организации поверочного дела возник вопрос о неотложной разработке методов поверки измерительных приборов ИНЧ диапазона. Разработка методов и средств поверки ИНЧ вольтметров, которая является основной задачей настоящей диссертации, позволяет решить вопрос о поверке и других измерительных приборов, работающих в том же диапазоне.

## I. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИЗМЕРЕНИЮ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИНФРАНИЗКИХ ЧАСТОТ

В первой главе диссертации рассмотрены важнейшие требования к измерению напряжения в области ИНЧ и даны определения основных характеристик процессов переменного тока. Особое внимание уделено исследованию среднего значения этого параметра и встречающихся при его определении расхождений, связанных с влиянием четных гармоник на среднее значение. Показаны преимущества выбора интегральных характеристик в измерительных приборах и затруднения, возникающие в области ИНЧ. Эти затруднения вызваны преодолением вредного влияния инерционных свойств измерительных средств и длительностью самого измеряемого процесса.

Классификация погрешностей измерительных приборов на систематические, случайные и промахи приведена для того, чтобы облегчить решение основной задачи точного измерения - определение погрешностей и выявление роли градуировки и поверки измерительных приборов. Только разобравшись во всем многообразии погрешностей и их источниках, можно определить способы и средства, которые позволят в необходимой степени исключить или учесть влияние этих погрешностей на результаты измерений.

При проектировании, градуировке и эксплуатации измерительного прибора по-разному подходят к оценке его точности. В первом случае интересуются в основном инструментальными и субъективными погрешностями, во втором - уточнением условий, в которых прибор может давать показания с приписанной ему

достоверностью. Метрологи воспроизводят единицы измерения с наивысшей точностью и при поверке измерительных приборов оценивают их точностные характеристики. Приборостроители разрабатывают измерительные приборы по заданным техническим условиям, а лиц, применяющих измерительные приборы, интересует, в какой мере эти приборы могут удовлетворять конкретным требованиям, предъявляемым к выполняемым ими измерениям. Поверка измерительного прибора, имея целью оценку его погрешностей, позволяет избавить потребителя от необходимости постоянного кропотливого и сложного анализа достоверности результатов произведенных измерений, так как при поверке оценивается предельная величина погрешности, которая может быть допущена при работе с этим прибором в определенных, четко оговоренных условиях.

Метрологическое содержание задачи при поверке измерительного прибора состоит прежде всего в воспроизведении измеряемой величины и обеспечении условий, в которых действительное ее значение можно было бы определить с требуемой точностью. Характеристику, подлежащую измерению в образцовой поверочной установке, выбирают с учетом принципиальных особенностей метода и используемых измерительных средств: они должны обеспечить наивысшую метрологическую точность при определении этого параметра.

Точное измерение среднего значения переменного напряжения в области ИНЧ необходимо не только в метрологической практике поверки вольтметров среднего значения, но также для многих других исследований и тонких физических экспериментов. Однако исходным положением при установлении конкретных тре-

бований к образцовым преобразователям для ИИЧ в настоящей работе является правильная организация поверочного дела. С учетом именно этой задачи установлен класс точности образцового прибора - 0,5, его порог чувствительности - 0,1%, диапазон измеряемых напряжений - до 300 в, частотный диапазон от 0,1 до 100 гц и пр.

## II. КРАТКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ ПОВЕРКИ ВОЛЬТМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Во второй главе диссертации дан краткий обзор средств поверки, калибровки и градуировки вольтметров переменного тока. Описания трех наиболее широко распространенных в национальных метрологических учреждениях способов поверки приборов переменного тока приведены, чтобы выяснить возможность распространения этих способов на ИИЧ.

Предполагается, что при применении компараторов с электродинамическими, электростатическими и прочими электромеханическими измерительными механизмами поля в этих приборах изменяются строго пропорционально и синфазно приложенным напряжениям и токам. Отношение показаний прибора, полученных на переменном и постоянном токе, считается равным единице. Так как измеряемые электрические и магнитные поля наводят паразитные токи в соответствующих элементах конструкции, то предполагаемых идеальных условий не существует. Точное отношение расхождения показаний, полученных на переменном и постоянном токе, определяется теоретически и подтверждается экспериментально. Описан компаратор Ф-13 и показаны трудности, связанные с применением высокоточных электромеханических систем: их неустойчивость и недолговечность вследствие износа деталей, технологическая

трудность сборки и настройки и пр. Все это создает серьезные препятствия при использовании электромеханических одно- и двухэлементных систем в качестве образцовых приборов в диапазоне ИИЧ.

Из выпрямительных приборов с применением электромеханических, вакуумных и полупроводниковых выпрямительных элементов рассмотрена работа электромеханического вектометра Ц-50, образцового диодного (вакуумного) компенсационного вольтметра ("пиковый") типа ОКВ-2 и приборов "истинного" среднеквадратичного значения с функциональными преобразователями на ряде полупроводниковых диодов (за счет кусочно-линейной аппроксимации квадратичного закона преобразования).

Способ с применением термоэлектрических преобразователей нашел наибольшее распространение при поверке электроизмерительных приборов действующего значения. Описана компараторная часть термоэлектрической установки УВ-2 с многоэлементным термопреобразователем, выпускаемой заводом /"Эталон", и калибратор вольтметров КВ-1 завода "Пулане Рэт" с термистором Т8Д в одно плечо уравновешенного моста, который одновременно питается постоянным током и током высокой частоты (1 кгц - 1 мгц).

В генераторах с несколькими электрическими выходными сигналами одинаковой амплитуды, но сдвинутыми друг относительно друга на 90 электрических градусов, имеется возможность использовать очень удобный способ измерения эффективного значения выходного напряжения при помощи двух идентичных термопреобразователей. Этот способ использован в измерителе выходного напряжения генератора ИИЧ типа ОС 103 английской фирмы

"Солартрон". Наличие "синусного" и "косинусного" сигналов также используется в индикаторах выходного уровня измерительных генераторов ИНЧ типа ГЗ-16 (ГНЧ-1) и ДГНЧ-1. В первом случае электромеханическое реле обеспечивает отключение конденсатора от выходного делителя в момент, когда напряжение на нем достигает максимального значения, а во втором случае восемь полупроводниковых диодов образуют четырехфазный выпрямитель по мостовой схеме, который нагружен на  $RC$ -фильтр и магнитоэлектрический прибор типа М-24 (класс I).

Описанные в диссертации три способа построения образцовых приборов могут быть доведены до высокой степени совершенства на промышленной частоте. Однако все они в значительной степени снижают свои высокие метрологические показатели при переходе от промышленной частоты к области ИНЧ, что затрудняет их использование в качестве образцовых приборов в диапазоне ИНЧ. Это объясняется тем, что при переходе к ИНЧ измерительный прибор начинает следить за медленными изменениями мгновенного значения измеряемой величины. При этом вместо устойчивого положения отсчетного устройства (стрелки указателя, светового луча или цифрового индикатора) наблюдается заметное мешающее влияние переменной составляющей.

При применении в диапазоне ИНЧ термоэлектрических преобразователей возникают затруднения, связанные как с неидентичностью вольтамперных характеристик различных термопреобразователей, так и с отклонением этих характеристик от требуемого квадратичного закона. Эти затруднения вызваны нелинейностью тепловой системы электрической цепи термопреобразователя. В свою очередь нелинейность возникает вследствие потерь на

лучеиспускание, а также вследствие зависимости электрического сопротивления и теплопроводности нагревателей от их температурных характеристик. Преодоление указанных недостатков приводит к увеличению времени-необходимого для поверки, к увеличению мощности, потребляемой прибором от измерительной цепи, к появлению нелинейной шкалы у образцовых приборов, а также к тому, что эти приборы обладают малой перегрузочной способностью.

В настоящее время разрабатываются некоторые другие методы преобразования и компарирования, основанные на использовании эффекта Холла, тензометрических, фотоэлектрических и других видов преобразования. Однако при применении их в области ИНЧ выявляются те же принципиальные недостатки, что и при использовании термопреобразователей.

### III. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ БЛОК-СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

Отсутствие поверочных средств, пригодных для применения в области ИНЧ, побудило искать новые пути поверки вольтметров в рассматриваемом диапазоне. При поверке методом сличения с показаниями образцового прибора предложено использовать в качестве образцового прибора сочетание из быстродействующего электронного цифрового вольтметра постоянного тока и преобразователя выпрямительного типа. Этот метод измерения среднего значения хорошо подходит для области ИНЧ.

Применение цифровых методов считается полезным ввиду значительного улучшения технико-экономических условий проведения поверок (резко снижается возможность появления субъективных погрешностей, ускокрется процесс поверки, уменьшается

утомляемость поверителя и т.д.) и как один из первых этапов автоматизации поверочного процесса.

В основу метода положено применение быстродействующего электронного цифрового вольтметра постоянного тока для измерения напряжения на конденсаторе интегрирующего (усредняющего) звена на интервалах (полупериодах), когда это напряжение не изменяется. На вход интегрирующего звена через управляемый шестидиодный ключ подаются полуволны измеряемого ИЧЧ напряжения. Диоды используются как управляемые ключевые элементы, а не так, как они обычно работают в выпрямительных измерительных приборах.

Функциональная схема преобразователя изображена на рис. I, где также приведены временные диаграммы работы преобразователя в квазистационарном режиме при выполнении фазочувствительных (а) и фазочувствительных (б) измерений.

Отличительным свойством предложенного метода, благодаря которому он особенно хорошо подходит для области ИЧЧ, является то, что измерение производится на интервалах, когда ключ разомкнут и напряжение на конденсаторе усредняющего элемента не изменяется. При этом имеется возможность точно определить это неизменное напряжение, которое равно среднему значению измеряемого синусоидального сигнала, несмотря на наличие относительно большой переменной составляющей на интервалах, когда ключ проводит.

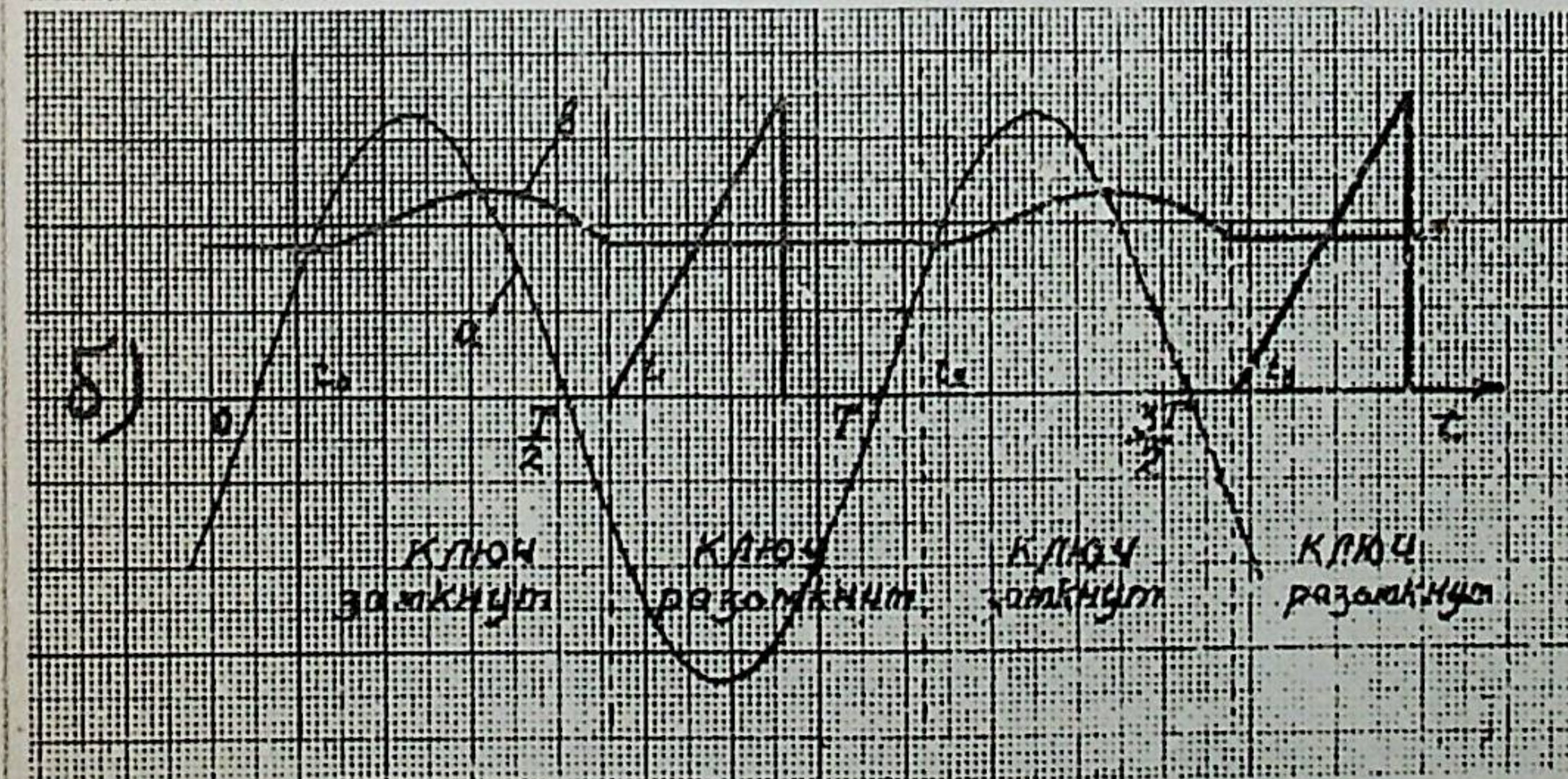
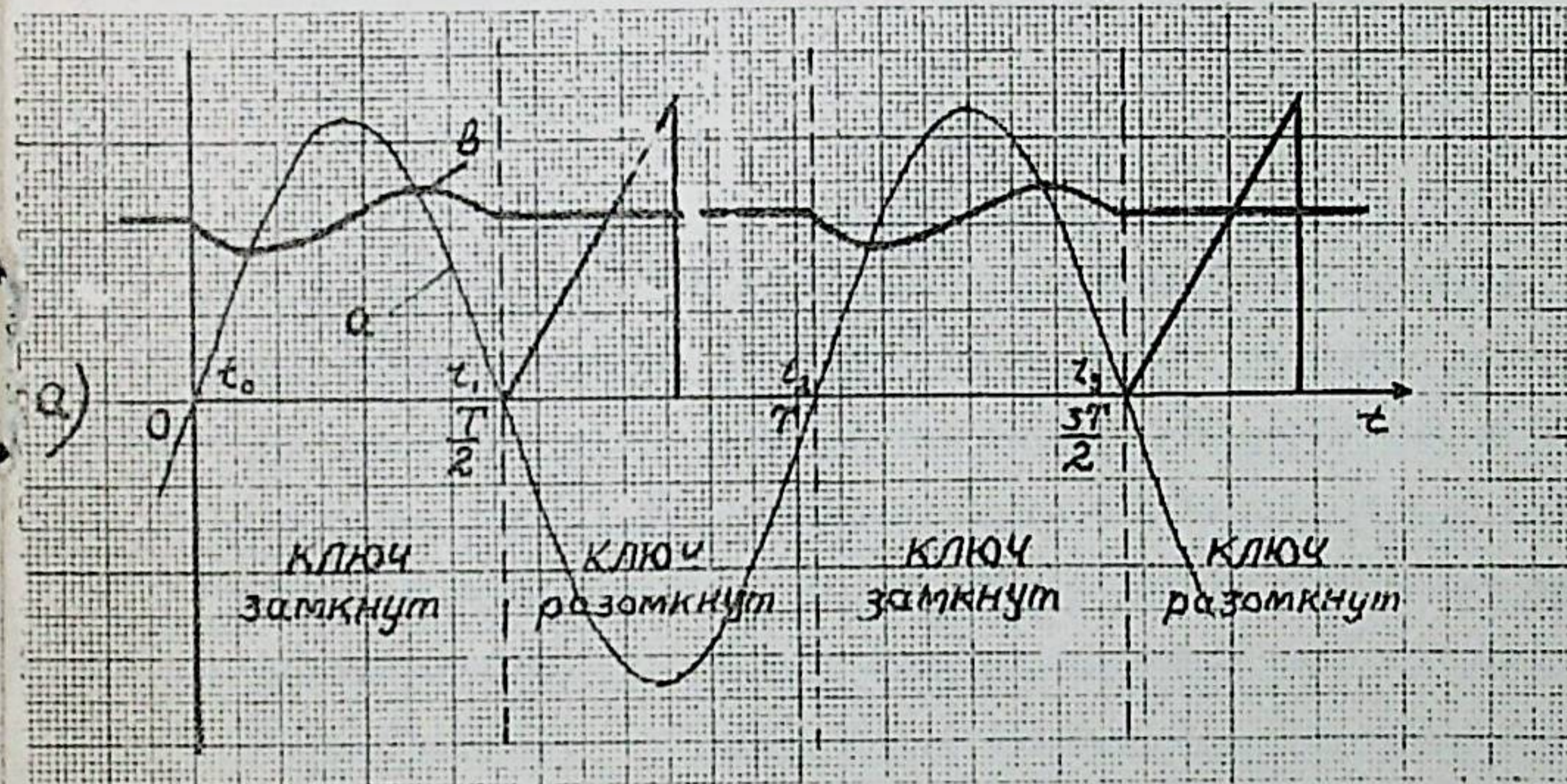
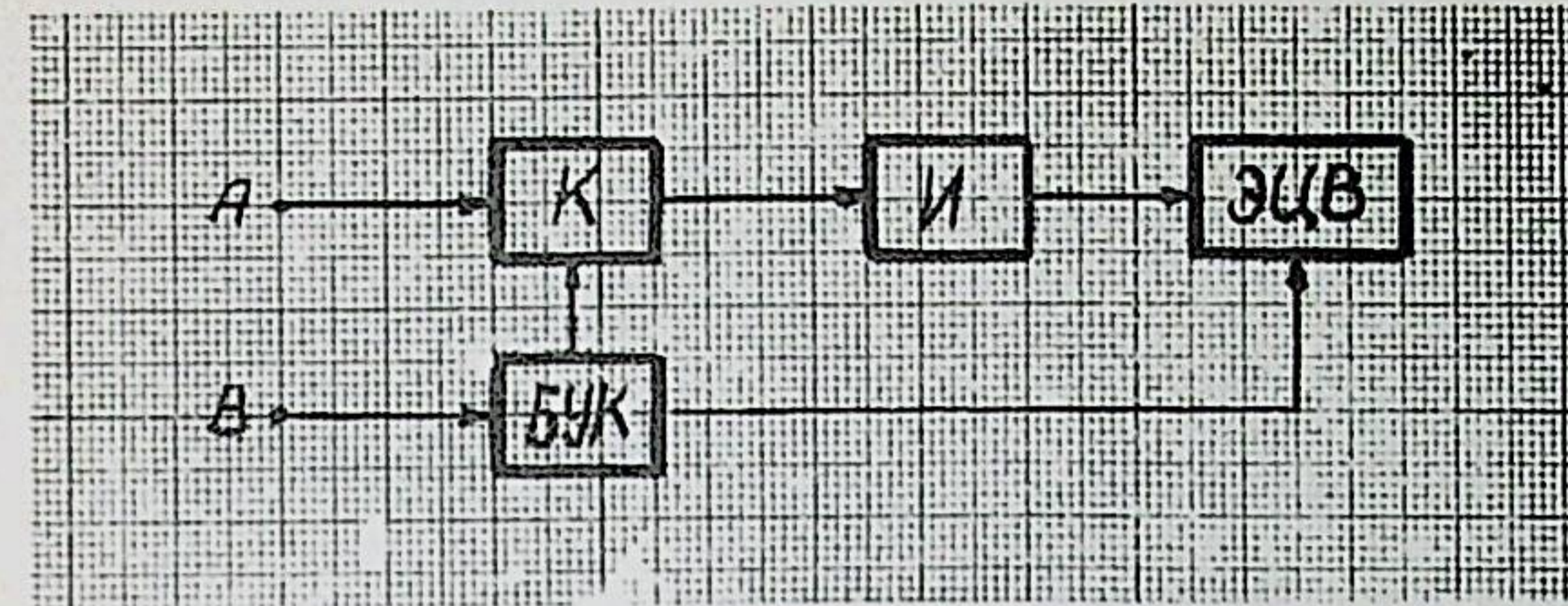


Рис. I.

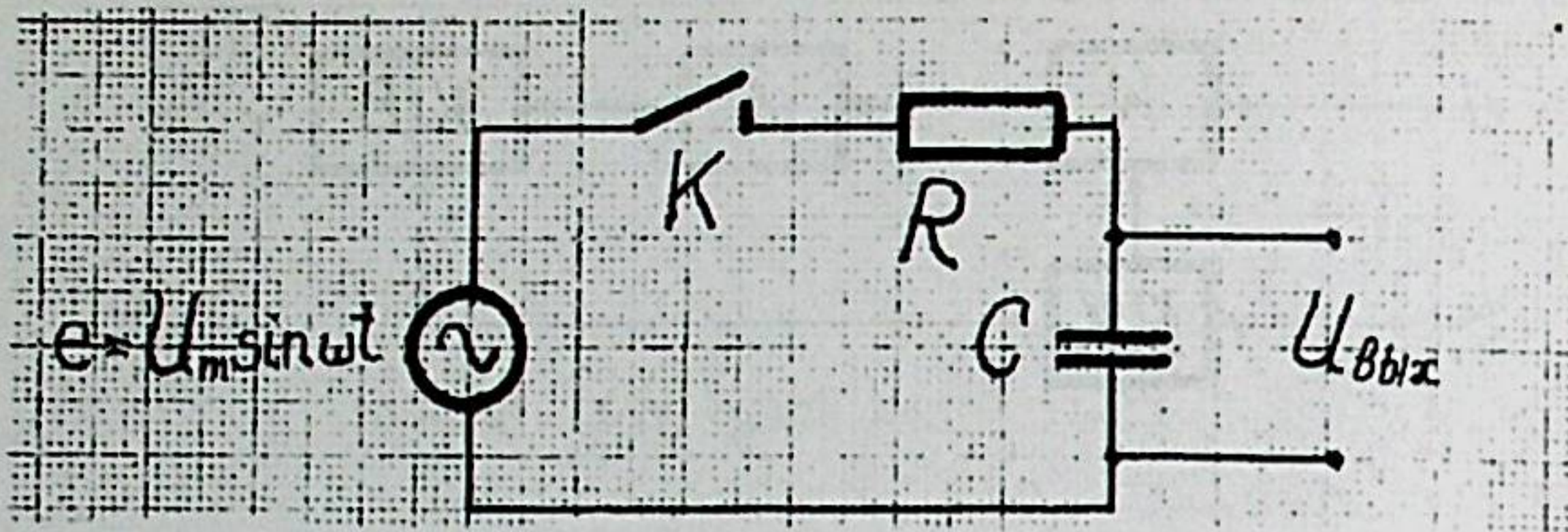


Рис 2

Основные соотношения, характеризующие этот метод, определены на основании рассмотрения процесса установления напряжения на конденсаторе интегрирующего звена (рис. 2), исходя из того, что функциональные элементы блок-схемы являются идеальными. Это рассмотрение проведено методом дискретного преобразования Лапласа, учитывающим работу ключа в момент перехода мгновенного значения измеряемого сигнала с периодом  $T$  через нулевой уровень. На  $n$ -ом периоде работы ключа напряжение  $U[n]$  на конденсаторе равно:

$$U[n] = k \operatorname{cth} \frac{\alpha}{2} (1 - e^{-\alpha n}),$$

$$\text{где } \alpha = \frac{T}{2RC}, \quad k = \frac{\alpha \pi U_m}{\alpha^2 + \pi^2} \quad (1)$$

,  $RC$  - постоянная времени интегрирующего элемента.

При стремлении  $n$  к бесконечности (квазиустановившееся состояние) принимает вид:

$$U[n] = k \operatorname{cth} \frac{\alpha}{2}. \quad (2)$$

Приведенная методическая погрешность равна:

$$\delta = \frac{\alpha \pi}{2(\alpha^2 + \pi^2)} \operatorname{cth} \frac{\alpha}{2} - 1. \quad (3)$$

По этой функции можно выбрать значение безразмерного параметра  $\alpha$ , обеспечивающее режим работы преобразователя, при котором нет необходимости введения поправок. В случае надобности поправку можно определить по формуле (3).

Время, потребное для измерения, находят из формулы (1). При точностях порядка 0,1% требуется прохождения 30 - 50 периодов измеряемого сигнала через преобразователь.

Выбор элементов принципиальной схемы преобразователя (шестидиодный ключ),  $RC$ -усредняющее звено и блок управления ключом, состоящим из триггера Шмитта, триггерной ячейки и двоянного катодного или эмиттерного повторителя) произведен исходя из требований к точностным характеристикам, а также из условия работы в режимах, при которых нет необходимости во введении поправок.

#### IV. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Четвертая глава диссертации посвящена теоретическому анализу работы прибора с целью выявления основных возможных источников систематических погрешностей в случае применения реальных элементов, отличающихся от принятых, при рассмотре-



нии методической погрешности прибора с идеальными элементами. Вопросы, касающиеся погрешности и стабильности выходного быстродействующего электронного цифрового вольтметра постоянного тока, в работе не рассматриваются, а принимаются как решенные, так как они широко освещены в технической литературе последних лет.

Изменение значения сопротивления и емкости конденсатора интегрирующей цепи в приборе, возникающее вследствие их старения или изменения температуры, влияет на показание прибора, поскольку при этом изменяется параметр  $\alpha$ . Изменение этого параметра на 2-5% весьма мало сказывается на точности измерения. Только при выборе относительно большого ( $> 0,5$ ) значения параметра  $\alpha$  для того, чтобы сократить длительность процесса измерения, возможно появление изменения относительной погрешности порядка 0,2%. Практически этим источником погрешности можно пренебречь.

Учет влияния входного сопротивления цифрового вольтметра, сопротивления утечки конденсатора интегрирующего звена и сопротивления разомкнутого ключа проведен также методом дискретного преобразования Лапласа. Рассматривается процесс в RC-цепи с ключом, в которой добавлено одно эквивалентное сопротивление  $R_2$ , включенное параллельно интегрирующему конденсатору.

Анализом установлено следующее соотношение между сопротивлениями цепи  $R_1$  и  $R_2$ , безразмерным параметром  $\alpha$  и методической погрешностью  $\delta_R$ :

$$\delta_R = -1 + \frac{1}{1 + 2 \frac{R_1}{R_2}} \left\{ 1 + \alpha \frac{R_1}{2R_2} + \alpha^2 \left[ 0,149 \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)^2 + \frac{1}{12} \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right)^2 - \left( \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{R_1}{R_2} + \frac{1}{2} \frac{R_1^2}{R_2^2} \right) \right] + \dots \right\} \quad (4)$$

Это соотношение позволяет обеспечить малую относительную погрешность  $\delta_R$ . Если требуется обеспечить относительную погрешность, не превышающую 0,25% при  $\alpha = 0,1$ , необходимо, чтобы отношение  $R_1 : R_2$  не превышало 0,001.

Влияние блока управления ключом и электронным цифровым вольтметром разделено на влияние несинфазности подачи импульсов управления ключом (влияние угла коммутации  $\psi$ ) и влияние формы кривой сигнала управляющим ключом (угол отсечки  $\theta$ ). Учет этих факторов также проведен методом дискретного преобразования Лапласа при соответствующем изменении возмущающей функции. Выведены следующие соотношения между частными составляющими погрешности и основным безразмерным параметром схемы  $\alpha$ :

$$\delta_\psi = -2 \sin^2 \frac{\psi}{2} - \frac{\alpha}{\pi} \sin \psi - 2 \delta \sin^2 \frac{\psi}{2} - \delta \frac{\alpha}{\pi} \sin \psi; \quad (5)$$

$$\delta_\theta = \frac{\pi \alpha}{\pi^2 + \alpha^2} \left[ \frac{\alpha}{2} \cos \theta + \frac{\pi}{2} \left( \sin \theta \operatorname{cth} \frac{\alpha \theta}{\pi} - \operatorname{cth} \frac{\alpha}{2} \right) \right]. \quad (6)$$

По расчетным соотношениям (5) и (6) или по семейству кривых для этих соотношений определяются предельные допустимые отклонения рассматриваемых влияний от идеальных условий работы, при которых погрешность прибора не превышает заданного допустимого значения.

Анализ влияния формы кривой измеряемого сигнала выполнен тем же методом дискретного преобразования Лапласа. Рассматривался процесс в основной цепи (рис. I) при наличии возмущающего сигнала, состоящего из основной гармоники  $U_{1m} \sin \omega t$  и одной смещенной высшей гармоники  $U_{\lambda} = \beta U_{1m} \sin(\lambda \omega t + \xi)$ . Получены следующие расчетные выражения для этой возможной частной погрешности  $\delta_{\lambda}$ :

для четных гармоник

$$\delta_{\lambda=2m} = -\frac{\alpha\beta}{2} \left( \frac{\sin \xi}{\pi} - \frac{\cos \xi}{\lambda} \right), \quad (7)$$

для нечетных гармоник

$$\delta_{\lambda=2m+1} = \frac{\alpha\beta}{2\pi} \operatorname{cth} \frac{\alpha}{2} \left[ \alpha \sin \xi \left( 1 - \frac{1}{\lambda^2} \right) + \frac{\pi}{\lambda} \cos \xi \right]. \quad (8)$$

Результаты вычисления погрешности от влияния формы кривой по этим выражениям показывают, что требования к форме кривой источника измеряемого сигнала поверочной установки в основном удовлетворяются серийно выпускаемыми генераторами и.н.ч., у которых клирфактор не превышает 2%.

#### У. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА

Правильность и достаточность теории работы приборов, выполненных в соответствии с предложенным методом, проверялись на нескольких макетах преобразователя. Кроме того, на этих макетах определялись влияние температуры окружающего воздуха, зависимость погрешности от напряжения питающих цепей, а также входное сопротивление устройства.

Были испытаны три варианта шестидиодного ключа на кремниевых плоскостных диодах Д-205, Д-211 и Д-266. После отбора диодов экспериментально определялась зависимость эквивалентных сопротивлений и эдс ключа в проводящем и разомкнутом состояниях от тока вспомогательной цепи, а также при различных напряжениях управляющего сигнала. Из описания схем измерений и результатов опытов видно: сопротивление и эдс проводящего ключа при значительных изменениях режима работы (температуры и питающих напряжений) не превышают 5 ом и 5 мв соответственно; сопротивление и ток разомкнутого ключа примерно равны  $50 \cdot 10^9$  ом и  $10^{-10}$  а соответственно. Эти результаты показывают, что при реальных условиях работы ключа в преобразователе нестабильность режима работы ключа не может обусловить погрешность измерений, превышающую 0,1%.

Пригодность лампового и полупроводникового вариантов блока управления ключом определялась по получаемым реальным значениям углов коммутации и отсечки и зависимости этих параметров от режима работы блока управления. Ввиду того, что триггер Шмитта выбран в качестве входного каскада блока управления, значения узлов коммутации и отсечки зависят от ширины и расположения петли гистерезиса характеристики этого триггера. У лампового варианта триггера Шмитта ширина петли гистерезиса равнялась 300 мв, у полупроводникового варианта - 30 мв. Эти величины использовались для установления нижнего значения измеряемого напряжения, при котором погрешность от угла коммутации не превышает 0,1%.

Выбранная принципиальная схема триггера Шмитта предусматривает возможность регулирования в широких пределах расположения петли гистерезиса характеристики триггера Шмитта, т.е. угла отсечки. Общая схема измерительного устройства позволяет легко контролировать правильность установки этого параметра. Стабильность работы блока исследовалась при различных частотах и на различных режимах. Статистическая обработка результатов этих опытов показала, что нестабильность узлов  $\psi$  и  $\theta$  примерно равна  $\pm 0,25^\circ$ ; это вызывает непостоянство показаний (при  $\alpha = 0,1$ ), равное  $\pm 0,02\%$ , которым практически можно пренебречь.

Малое влияние RC-цепочки требует обеспечения достаточно малого отношения сопротивлений  $R_1; R_2$ . Сопротивление  $R_2$  (входное сопротивление электронного цифрового вольтметра, сопротивление утечки конденсатора С и сопротивление разомкнутого ключа), вообще говоря, является нелинейным сопротивлением, зависящим от частоты. Это сопротивление мы "линеаризуем". Определение  $R_2 = f(\omega)$  проводилось графоаналитическим способом по характеру разряда конденсатора С в условиях работы преобразователя. Исходя из полученных значений  $R_2$ , определялись требуемые значения  $R_1$ , обеспечивающие заданную малую погрешность показаний.

Экспериментальное определение влияния изменения всех питающих напряжений показало нечувствительность схемы к этим напряжениям. Так, например, изменение напряжения источника питания триггера Шмитта на  $\pm 25\%$  изменяет показания на  $+0,06\%$  и  $-0,02\%$ . Это вполне приемлемо для образцового прибора, работающего в лабораторных условиях.

Входное сопротивление преобразователя является нелинейным и изменяется от  $2 \text{ мом}$  при частоте 100-150 гц до  $800-1000 \text{ мом}$  на частоте 0,5-0,1 гц.

Случайные ошибки преобразователя исследовались с помощью шестидекадного цифрового вольтметра постоянного тока типа ЛМ 904 английской фирмы "Солартрон". Было проведено десять серий измерений выходного напряжения по сто измерений в каждой серии на разных частотах. На вход подавался "неизменный" сигнал от прогретого генератора ГНЧ-1. Все серии измерений подвергались статистической обработке с целью подтверждения нормальности закона распределения и определения среднеквадратичной случайной погрешности результата. Применение критерия  $\chi^2$  для проверки гипотезы о нормальности закона распределения показало, что эта гипотеза не опровергается при уровне значимости 0,20 - 0,30. Среднеквадратичная погрешность результата равна 0,01 - 0,015% при надежности 95%. Таким образом, единичное измерение обладает предельной случайной погрешностью, равной  $3\sigma \approx 0,045\%$ , а вероятная погрешность измерения равна  $\frac{2}{3}\sigma = 0,01\%$ .

Определение правильности показаний преобразователя проводилось путем одновременного сличения показания термопреобразовательной установки УВ-2 с показаниями разработанного преобразователя среднего значения. В результате сличения установлено, что эти показания совпадают с расхождением, не превышающим 0,08%. Учитывая гарантированный класс 0,05 для установки УВ-2, можно с большой уверенностью сказать, что ни УВ-2, ни исследуемый преобразователь не обладают погрешностью, превышающей 0,05%.

266452

Центральная научная  
БИБЛИОТЕКА  
Академии наук Киргизской ССР

Экспериментальное исследование макета измерительного устройства показывает, что предложенный метод не только обеспечивает проведение поверок ИНЧ вольтметров класса I,5 и менее точных, для которых он был разработан, но и позволяет изготавливать ИНЧ вольтметры среднего значения, которые по своим метрологическим характеристикам сравнимы с устройствами высшего метрологического разряда для измерения напряжения промышленной частоты.

Высокая чувствительность и фазочувствительные свойства подобных приборов могут обеспечить весьма высокую степень достоверности результатов измерения фазовых соотношений и мощности в ИНЧ цепях.

### ВЫВОДЫ

1. Исходя из метрологической задачи поверки ИНЧ вольтметров и критического обзора существующих способов и средств поверки вольтметров переменного тока, разработан новый цифровой метод измерения среднего значения переменного электрического напряжения, пригодный для диапазона ИНЧ (0,1-100 Гц).

2. Разработана теория приборов, построенных по предложенному методу, и выявлены принципиальные возможности метода, обеспечивающего достижение высокой точности измерения, соответствующей требованиям, предъявляемому к установкам и приборам I разряда поверочной схемы при измерении среднего значения переменного напряжения в инфранизком диапазоне частот.

3. Проведен теоретический анализ основных источников систематических погрешностей приборов, построенных по разработанному методу, и выявлены требования к элементам и блокам, обеспечивающие любые практически нужные точностные характеристики измерений.

4. Проведено экспериментальное исследование макета поверочного устройства, подтвердившее правильность теоретических выводов и пригодность разработанного метода не только для удовлетворения нужд поверочной практики, но и для проведения измерений среднего значения переменного напряжения в ИНЧ диапазоне, при которых предельная погрешность результата не превышает 0,05%.

Результаты работы, доложенные на У Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и электрометрии в Новосибирске в сентябре 1963 г., а также на всесоюзном научно-техническом совещании по радиоэлектронным методам измерения электрических напряжений и омических сопротивлений в Таллине в июне 1964 г., опубликованы в следующих статьях:

1. Грин Г.Л. Способ точного измерения среднего значения переменного напряжения в инфранизком диапазоне частот. Измерительная техника, 1963, № 8, стр. 42-45.

2. Грин Г.Л. Аппаратурные погрешности устройства для измерения среднего значения напряжения инфранизких частот. Измерительная техника, 1963, № 10, стр. 43-46.

3. Грин Г.Л. Влияние формы кризы напряжения на показания инфранизкочастотного вольтметра среднего значения. Измерительная техника, 1963, № 12, стр. 26-27.

4. Грин Г.Л. Методы построения электронных приборов дискретного действия с цифровым отсчетом и их сравнительная оценка.

Измерительная техника, 1959, № II, стр. 54-61.

5. Грин Г.Л. Авторское свидетельство на изобретение:

"Устройство для измерения средних значений переменного напряжения", за № I5742I. Изобретение заявлено 23 сентября 1961 г.

за № 745546/24-7 и зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 27 июня 1963 г. по классу G01r; 21e; 36<sub>01</sub>

и опубликовано в Бюллетене изобретений и товарных знаков, 1963,

№ 18.

Л-140294 Зак. 386 Тир.200

Москва, ИАТ(ТК), Каланчевская, 15а