

6
А-11
Государственный Комитет стандартов, мер и измерительных приборов СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА (ВНИИМ)

Е. М. ВИННИКОВ

Рассылается по списку

Экз. № _____ 59

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ
И ОБРАЗЦОВОЙ АППАРАТУРЫ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ
КОРОТКИХ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЛЕНИНГРАД

1964

Государственный Комитет стандартов, мер и измерительных приборов СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИИ им. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА (ВНИИМ)

Е. М. ВИННИКОВ

Рассылается по списку

59

Экз. № _____

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ
И ОБРАЗЦОВОЙ АППАРАТУРЫ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ
КОРОТКИХ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЛЕНИНГРАД
1964

Одной из важнейших задач измерительной техники является измерение времени вообще и измерение коротких интервалов времени (КИВ) в частности.

Почти во всех областях науки и техники в том или ином виде используется измерение КИВ: в ядерной физике — при измерении периодов полураспада радиоактивных элементов и времени жизни возбужденных частиц, в радиотехнике — при измерении периодов колебаний переменного напряжения и фазовых сдвигов между двумя синусоидальными напряжениями, в радиолокации — при измерении времени распространения радиоимпульсов. В гравиметрии, навигации, химии, баллистике, в устройствах для автоматизации производственных процессов также очень важно точно измерять КИВ.

Достижения в области электроники, особенно в последние годы, привели к созданию большого количества рабочих приборов для измерения КИВ, действующих по принципу накопления заряда на электрической емкости, счета электрических импульсов, задержанных совпадений, осциллографической записи, а также на применении их различных сочетаний.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает около трех десятков типов различных рабочих приборов для измерения КИВ, работающих в диапазоне $10^{-8} \div 1$ сек и далее, охватывающем большую часть наносекундного диапазона, а также микро- и миллисекундный диапазоны КИВ.

Опыт многих исследований показывает, что систематические погрешности в рабочей аппаратуре часто могут преобладать над случайными. Эти погрешности не всегда могут быть исключены на основе теоретического анализа или каким-либо экспериментальным косвенным методом. Поэтому для обеспечения единства измерений необходимо производить периодическую поверку всех рабочих приборов для измерения КИВ. Наиболее рациональным следует считать способ поверки таких приборов посредством специальной образцовой хронометрической аппаратуры, которая должна находиться в распоряжении поверочных лабораторий институтов Государственного Комитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР и государственных контрольных лабораторий.

К началу работ по данной теме образцовая аппаратура была разработана только для поверки миллисекундомеров. Поэтому в работе были поставлены следующие задачи:

1) разработать принципы построения образцовой аппаратуры, которая обеспечит единство измерений КИВ;

2) теоретически и экспериментально исследовать методы измерения КИВ, а также создать и исследовать образцовую аппаратуру.

В настоящее время работа, начатая в 1961 г., уже завершена, а ее результаты используются в практике поверочных лабораторий.

Диссертация состоит из четырех глав.

В первой главе, наряду с кратким обзором и классификацией методов измерений КИВ, поставлена задача разработать образцовую аппаратуру для проверки рабочей хронометрической аппаратуры микро- и большей части наносекундного диапазонов с тем, чтобы восполнить пробел в поверочной схеме.

Во второй главе рассмотрены принципы построения образцовой аппаратуры, произведен теоретический анализ точности и возможностей способов, на основе которых следует строить образцовую аппаратуру.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования разработанной образцовой аппаратуры и обсуждаются полученные результаты.

В четвертой главе рассмотрены возможности дальнейшего совершенствования образцовой хронометрической аппаратуры на основе последних достижений науки и техники.

Принципы построения образцовой аппаратуры

В основу образцовой аппаратуры для проверки рабочих хронометрических приборов может быть положен либо способ образцового датчика КИВ, либо способ образцового хронометра. Способ образцового датчика позволяет создать образцовую аппаратуру более простую, экономичную и удобную в эксплуатации, нежели способ образцового хронометра. Однако с помощью такой аппаратуры нельзя поверять рабочие датчики КИВ. В микро- и миллисекундном диапазонах КИВ необходимо поверять как хронометры, так и датчики. Поэтому образцовая аппаратура должна обязательно содержать образцовый хронометр. В наносекундном диапазоне КИВ, где используются исключительно хронометры, можно использовать образцовую аппаратуру, основанную на методе образцового датчика.

Образцовые датчики наиболее рационально строить по принципу электронного счета импульсов, а также применяя способ электрических линий задержки. Время задержки всех элементов образцовых датчиков можно измерить с высокой точностью частотным методом, разработанным в диссертации. Этот метод позволяет откалибровать воспроизводимые КИВ с погрешностью в десятые и сотые доли наносекунды.

Для создания образцовой аппаратуры микро- и миллисекундного диапазонов КИВ необходимо разработать и исследовать пересчетные схемы, способные срабатывать на частотах до 10^6 гц, а для образцовой аппаратуры наносекундного диапазона КИВ необходимо исследовать возможности создания стабильных электрических линий задержки и генераторов импульсов с крутизной фронтов в десятки вольт на наносекунду. Решению этих задач и посвящена вторая глава диссертации.

Для ограничения КИВ большей частью используются электрические импульсы напряжения — так называемые начальный и конечный временные импульсы. Устройства, на которые они воздействуют, имеют определенную нестабильность срабатывания ΔU , соответствующую некоторой временной нестабильности. Относительная максимальная погрешность воспроизведения временного интервала γ_0 зависит от крутизны переднего фронта временного импульса F и длительности интервала времени t и определяется выражением

$$\gamma_0 = \frac{2\Delta U}{Ft} 100\%.$$

Отсюда видно, что чем короче интервал времени, тем должна быть меньше нестабильность срабатывания ΔU и выше крутизна фронта импульса F для обеспечения одной и той же погрешности γ_0 . Обе характеристики очень важны при измерении КИВ посредством двухканальных систем, которые, как правило, имеют место во всех хронометрических приборах.

Метод счета электрических импульсов

В микросекундном диапазоне КИВ необходимо поверять как хронометры, так и датчики, поэтому целесообразно строить образцовую аппаратуру, используя метод образцового хронометра. В качестве образцовых хронометров лучше всего применять хронометры, в которых использован метод счета электрических импульсов. При этом погрешность измерения интервала t зависит от разрешающей способности электронного счетчика импульсов (периода счетной частоты T) и стабильности счетной частоты δ . Абсолютная наибольшая погрешность измерений γ определяется выражением

$$\gamma = \pm (T + \delta t).$$

Повысить счетную частоту мешают трудности, связанные с повышением разрешающей способности электронного счетчика импульсов.

Ввиду того, что к моменту начала работ промышленность не выпускала электронных счетчиков, стабильно работающих на частотах до 1 Мгц, пришлось разработать электронный счет-

чик с учетом последних достижений в этой области. При разработке электронного счетчика для хронометров была исследована методика расчета двухстабильного мультивибратора. В результате установлено, что предпочтение следует отдать методу расчета, основанному на решениях уравнений Кирхгофа для анодных и сеточных цепей. Было также установлено, что к безналадочному выполнению пересчетных декад необходимо предъявить ряд следующих требований:

1. Производить установку в схему двухстабильного мультивибратора сопротивлений с отклонением от номинальных значений в пределах $\pm 2\%$ для анодных и катодных нагрузок и в пределах $\pm 1\%$ для сопротивлений делителей анодного напряжения.

2. Устанавливать в схемы высокочастотных декад (1 МГц) двойные триоды типа 6НЗП с отклонениями анодного тока и крутизны от номинальных не более чем на $\pm 20\%$.

Оба требования легко выполняются в заводских условиях. Как показали исследования, среди сопротивлений типа МЛТ 1-го класса, как правило, не менее 20% отличаются от номинальных значений не более чем на $\pm 1\%$, а 30—40% — не более чем на $\pm 2\%$.

Экспериментальные исследования элементов электронно-счетных хронометров и датчиков, проведенные на частотах до 10 МГц, показали, что для снижения погрешностей измерения и воспроизведения КИВ необходимо обращать основное внимание на формирование импульсов определенной крутизны. Минимальная амплитуда определяется чувствительностью устройств, срабатывающих от этих импульсов, а длительность их передних фронтов равна времени срабатывания управляемых ими устройств. При этом амплитуда импульсов без ущерба может быть повышена в несколько раз в сравнении с минимально допустимой, в то время как и уменьшение и увеличение длительности импульса относительно оптимальной ухудшает или нарушает нормальную работу запускаемой ими схемы. При управлении двухстабильным мультивибратором сокращение длительности запускающего импульса требует увеличения его амплитуды, а удлинение переднего фронта часто приводит к нарушениям в работе мультивибратора.

В результате анализа различных схем пересчетных устройств электронно-счетных хронометров установлено, что наиболее экономичной и надежно работающей является пересчетная декада из четырех двоичных пересчетных ступеней с обратными связями. Для этой декады требуются четыре двойных электровакуумных триода и несколько меньше в сравнении с другими схемами количество деталей. Кроме того, к этой декаде без каких-либо дешифраторных устройств можно легко подключить цифropечатающее устройство, с помощью которого состояние пересчетной декады (количество поступивших на ее вход импульсов) можно в виде числа отпечатать на бумажной ленте.

Рассмотрев возможности использования тех или иных схем для разных ступеней электронного счетчика, установили, что, начиная с частоты 100 кГц и ниже, рационально применять один и тот же тип пересчетной декады с емкостными прямыми и обратными связями между ступенями.

В пересчетных декадах, рассчитанных на частоту 1 МГц, для уменьшения времени переключения необходимо применять диодные связи между ступенями. Все пересчетные декады, предназначенные для работы на частотах до 1 МГц вполне могут быть построены с применением двойных электровакуумных триодов типа 6НЗП. Пересчетные декады, предназначенные для работы на частотах выше 1 МГц, требуют либо триодов типа 6Н6П, либо пентодов 6Ж1П, 6Ж5П и др. Особое внимание в высокочастотных декадах должно быть уделено временным характеристикам цепей обратной связи с тем, чтобы обеспечить их достаточное быстроедействие.

Для сокращения времени опрокидывания ступеней высокочастотных пересчетных декад с успехом могут быть применены фиксирующие диоды в анодных цепях этих ступеней.

Экспериментальное исследование различных схем электронных выключателей показало, что наилучшими из них являются пентодные схемы совпадения, позволяющие подавить импульсы помех более чем в 20 раз. Время срабатывания электронных выключателей должно быть не более половины периода следования счетных импульсов.

В качестве управляющих схем следует применять двухстабильный мультивибратор с отдельным диодным управлением по обоим сеткам.

Для усилителей временных импульсов должны применяться устройства, срабатывающие при строго определенном уровне напряжения и выдающие импульсы с определенными параметрами, мало зависящими от параметров временных импульсов.

Для формирования счетных импульсов предпочтительна схема триггера Шмитта, позволяющая с хорошим усилением сформировать из синусоидального напряжения прямоугольные импульсы с желаемой крутизной фронтов, при которой обеспечиваются оптимальные условия запуска электронного счетчика импульсов. Для обеспечения высокой фазовой стабильности сформированного П-образного напряжения, триггер Шмитта должен срабатывать в ту и другую сторону вблизи нулевой линии синусоидального запускающего напряжения, где оно имеет максимальную крутизну нарастания. При таком режиме сформированное напряжение имеет скважность, близкую к 0,5.

Воспроизведение КИВ с помощью линий задержки

Для воспроизведения КИВ в диапазоне 10^{-8} — 10^{-5} сек успешно применен способ электрических линий задержки,

а в качестве последних в указанном диапазоне длительностей — электромагнитные линии с сосредоточенными элементами. Как показали исследования, линии задержки типа ЛЗ в диапазоне температур от 15—25°C позволяют воспроизводить КИВ $10^{-8} \div 10^{-5}$ сек с погрешностью не более $\pm 10^{-8}$ сек. При воспроизведении более коротких интервалов времени целесообразно использовать в качестве линий задержки концентрические радиочастотные кабели или спиральные линии задержки с корректирующими емкостями.

Время нарастания передних фронтов временных импульсов должно быть на порядок короче наименьшего из определяемых посредством этих импульсов КИВ, для нашего случая $10^{-8}/10 = 10^{-9}$ сек, а амплитуда не менее 20—30 в. Это соответствует крутизне в несколько десятков вольт на наносекунду. Создание импульсов такой крутизны осуществляется разными способами, однако, как показали исследования, наиболее целесообразно использовать для этой цели трансформаторный усилитель, выполненный на электровакуумных лампах.

Крутизна импульсов F , вырабатываемых посредством электровакуумной лампы, зависит от максимального пикового анодного тока I_{am} , в который лампа способна пропустить в течение незначительной части периода следования импульсов и паразитных емкостей схемы C :

$$F = \frac{I_{am}}{C}$$

Лучевые тетроды и пентоды, управляемые короткими импульсами положительной полярности вплоть до области сеточных токов, способны пропустить в течение незначительной части периода следования импульсы анодного тока в несколько ампер.

Теоретические исследования показывают, что крутизна импульса F_n на выходе усилителя в зависимости от крутизны импульса F_{n-1} на его входе описывается выражением:

$$\frac{F_n}{F_{max}} = \left(\frac{U_0 - U_k - \hat{U}_g}{\hat{U}_g} \right)^{2/3} \left(\frac{F_{n-1}}{F_{max}} \right)^{2/3} = K \left(\frac{F_{n-1}}{F_{max}} \right)^{2/3} \quad (1)$$

Отсюда следует, что напряжение анодной батареи U_0 должно выбираться возможно большим, равным максимально допустимому анодному напряжению, U_k и \hat{U}_g — наименьшими, а анодный ток I_{am} — возможно большим.

Применяя лампу 6П18П при анодном напряжении 600 в, $\hat{U}_g = +50$ в, получаем $U_k = 270$ в и постоянную $K = 1,45$. Суммарная емкость ступени доходит до 50 пф, при этом пиковый анодный ток достигает 1,5 а.

Максимально достижимая крутизна

$$F_{max} = 1,5 \text{ а} / 50 \cdot 10^{-12} \text{ ф} = 30 \text{ в} / 10^{-9} \text{ сек.}$$

Если на вход n -каскадного усилителя поступает импульс с крутизной фронта $F_0 = 1 \text{ в} / 10^{-9} \text{ сек}$, которую можно получить с выхода мультивибратора, то по уравнению (1) на выходе n -х ступеней получим следующие значения крутизны фронтов:
Крутизна фронтов F , в/10⁻⁹ сек

F_0	F_1	F_2	F_3
1	4,5	12	30

Таким образом, уже после 3-й ступени достигается максимальная крутизна $F_{max} = 30 \text{ в} / 10^{-9} \text{ сек}$. Теоретические выводы полностью подтверждены экспериментальными данными. В трехкаскадном обострителе импульсов, построенном с применением лучевых пентодов 6П18П, полученная крутизна достигает около $30 \text{ в} / 10^{-9} \text{ сек}$.

В дальнейшем для воспроизведения интервалов времени, начиная от единиц наносекунд, потребуются импульсы с крутизной фронта не менее $100 \text{ в} / 10^{-9} \text{ сек}$. Такая крутизна может быть получена этим же способом с помощью электровакуумных ламп с более мощными катодами, способными пропускать пиковый анодный ток до 3—5 а, в схемах с уменьшенными паразитными емкостями. При этом следует обратить особое внимание на параметры электрической линии задержки, чтобы обеспечить необходимую полосу пропускания и незначительные фазовые искажения при включении всех секций линии задержки.

Разработанная образцовая аппаратура

В число образцов разработанных приборов входят: установки типов УМПВ-1 и УМПВ-2 и датчик коротких интервалов времени типа ДКИВ-1.

Установка типа УМПВ-1 предназначена для поверки хронометрической аппаратуры, работающей в микро- и миллисекундном диапазонах КИВ. Она состоит из двух хронометров типа ХЭ-1 и датчика КИВ конденсаторного типа, позволяет воспроизводить КИВ, начиная от 10^{-6} до 1 сек с погрешностью $\pm 5\%$, и измерять интервалы времени τ длительностью 10^{-6} до 10^3 сек с абсолютной погрешностью $\pm (0,25 \cdot 10^{-6} \text{ сек} + 10^{-4} \tau)$ при работе от кварцевого генератора, входящего в состав установки, и не превышающей $\pm (0,25 \cdot 10^{-6} \text{ сек} + 5 \cdot 10^{-7} \tau)$ при работе от образцового генератора типа «Авангард».

В процессе налаживания и регулировки установки типа УМПВ-1 были проведены исследования пересчетных устройств на электронных лампах и разработаны новые пересчетные декады, схемы управления и электронные ключи, отличающиеся

рядом существенных преимуществ по сравнению со схемами установки типа УМПВ-1. В результате был создан новый электронно-счетный хронометр типа ХЭ-2, который вошел в установку типа УМПВ-2.

В 1959 г. была закончена разработка установки типа УМПВ-2, которая также предназначена для поверки хронометрической аппаратуры, работающей в микро- и миллисекундном диапазонах КИВ. Эта установка позволяет воспроизводить КИВ в пределах $10^{-6} \div 1 \text{ сек}$, а также измерять их в пределах $10^{-6} \div 10^4 \text{ сек}$ с наибольшей абсолютной погрешностью $\pm (10^{-6} \text{ сек} + 10^{-4} \tau)$ при работе от кварцевого генератора ГК-5, входящего в установку. При работе от образцового генератора типа «Авангард» эта погрешность будет не более $\pm (10^{-6} \text{ сек} + 5 \cdot 10^{-7} \tau)$.

Установка типа УМПВ-2 надежна в работе, экономична как при изготовлении, так и по потреблению электроэнергии. Она включена в инструкцию по поверке микросекундомеров, утвержденную Госкомитетом стандартов, мер и измерительных приборов СССР, в качестве образцовой для оснащения поверочных лабораторий и ГКЛ.

Датчик коротких интервалов времени типа ДКИВ-1, разработанный в 1960 г., дает возможность воспроизводить КИВ в пределах $10^{-8} \div 10^{-5} \text{ сек}$ с абсолютной погрешностью, не превышающей $\pm 10^{-8} \text{ сек}$. Он предназначен для поверки рабочих приборов типа ИВ-13, ИВ-22, ОК15М и им подобных. Исследование температурной стабильности задержки электрических линий задержки, примененных в датчике, показало, что в интервале температур $15-20^\circ\text{C}$ изменения задержки не превосходят $\pm 10^{-8} \text{ сек}$. Для калибровки датчика разработан частотный способ исследования всех элементов датчика посредством его запуска на периодическую работу с помощью специальных цепей обратной связи. Этот способ позволяет существенно повысить точность измерения временных задержек отдельных каскадов датчика. При использовании частотомера, позволяющего за время измерения в одну секунду получать значение частоты с погрешностью 10^{-5} , можно измерить этим способом КИВ с абсолютной погрешностью $\pm 10^{-9} \text{ сек}$. Частотомер ЧЭ-1 с погрешностью 10^{-7} сек за время измерения 10 сек позволяет измерить временную задержку с погрешностью 10^{-12} сек .

Для исследования долговременной стабильности работы пересчетных декад, разработанных для образцовой аппаратуры, один из хронометров ХЭ-2 с некоторыми изменениями в схеме был включен в качестве делителя в схему ведущих кварцевых часов ВНИИМ. В результате полугодовой эксплуатации установлено, что пересчетные декады с граничной частотой 150 кгц мало чувствительны к изменению параметров, входящих в их схему электронных ламп. В этих схемах, как правило, работают любые исправные двойные триоды типа 6Н3П в течение периода

времени, значительно превосходящего гарантированный срок службы ламп. Учитывая это, такая пересчетная декада была поставлена на круглосуточную непрерывную работу в схему делителя частоты в службе времени ВНИИМ 29 марта 1963 г. До сих пор эта декада круглосуточно работает с первоначально установленными радиолампами.

Рациональные сочетания различных методов и перспективы развития образцовой аппаратуры

Сочетание различных способов в одной установке для измерения КИВ часто, наряду с большими удобствами, позволяет получить и более высокую точность.

Для построения образцовой аппаратуры наиболее рационально использовать комбинацию электронно-счетного хронометра с осциллографическим измерителем КИВ и верньерный электронно-счетный хронометр.

Комбинация электронно-счетного хронометра с осциллографическим измерителем КИВ позволяет сравнительно простыми средствами получить как высокую точность измерения, так и широкий диапазон. Недостатками таких установок является то, что без дополнительного усложнения схемы при измерении КИВ не отпадает необходимость фотографирования осциллограмм.

В верньерном электронно-счетном хронометре путем некоторого усложнения схемы удается как повысить точность измерения, так и достигнуть удобной цифровой индикации результата, получаемого сразу после окончания измеряемого интервала времени.

Главным направлением в развитии образцовой хронометрической аппаратуры микро- и миллисекундных диапазонов КИВ следует считать разработку установок, основанных на способе счета электрических импульсов. Эти образцовые установки в сочетании с программными механизмами, помимо высокой точности и удобства поверки, позволяют автоматизировать поверочные работы, без чего будет трудно справиться с поверкой все возрастающего количества рабочей хронометрической аппаратуры.

Точность приборов, использующих способ счета импульсов, ограничивается разрешающей способностью электронного счетчика импульсов. Электронные счетчики на электровакуумных лампах в настоящее время могут работать на частотах около 10^7 гц . Полупроводниковые триоды в режиме переключения дают возможность повысить скорость счета на порядок.

Сверхвысокочастотные туннельные диоды в режиме переключения позволяют получить время переключения $2,7 \cdot 10^{-11} \text{ сек}$. При этом скорость переключения ограничивается паразитными индуктивностью и емкостью схемы, а не возможностями самого

туннельного диода. Разработка электронных счетчиков на туннельных диодах даст возможность создать образцовую аппаратуру, посредством которой с помощью одной установки можно будет поверять рабочие приборы, действующие в диапазоне длительностей $10^{-9} \div 1$ сек.

Однако в пико- и наносекундном диапазонах КИВ существует в основном измерительная рабочая аппаратура, поэтому в основе образцовых установок может лежать способ образцового датчика. В качестве последнего рационально использовать устройство, воспроизводящее КИВ посредством электрических линий задержки. В качестве электрических линий задержки целесообразно использовать отрезки радиочастотных кабелей, помещенных в пассивные термостаты. Это дает возможность воспроизводить КИВ с погрешностью не более 0,1%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы и разрешены вопросы, связанные с созданием образцовой аппаратуры для поддержания единства мер в области измерения коротких интервалов времени.

1. Проведены теоретические и экспериментальные исследования методов измерения КИВ. Показано, что наиболее рациональными для создания образцовой аппаратуры являются методы измерения и особенно воспроизведения КИВ способом счета электрических импульсов, а также посредством электрических линий задержки. Сравнительные исследования показали, что метод образцового датчика при использовании способа счета электрических импульсов позволяет повысить точность поверки по меньшей мере на порядок по сравнению с методом образцового хронометра.

2. Разработана классификация методов измерения КИВ по основным физическим признакам, позволившая однозначно классифицировать все существующие методы измерения и воспроизведения КИВ.

3. Предложен и разработан метод измерения интервалов времени, сочетающий как достоинства электронно-счетного хронометра, так и возможности осциллографического измерения КИВ. Выведены формулы, пользуясь которыми можно определить значение КИВ по данным измерения.

4. Разработаны и исследованы образцовые установки для аттестации и поверки рабочих приборов для измерения КИВ с абсолютной погрешностью $\pm 10^{-6}$ сек, введенные в поверочную практику.

5. Исследованы принципы построения пересчетных схем с учетом их экономичности, надежности работы и удовлетворительной воспроизводимости при изготовлении. Даны рекомендации по исключению процесса налаживания пересчетных декад

при их изготовлении, заключающиеся в установлении допустимых отклонений параметров от номинальных значений.

6. Экспериментально исследована долговременная стабильность разработанных для образцовой аппаратуры пересчетных декад и доказано, что она вполне удовлетворительна, а указанные пересчетные декады могут успешно применяться как в образцовой, так и в другой аппаратуре для нужд службы времени, работающей в режиме непрерывного действия.

Эти пересчетные декады уже используются в аппаратуре, разрабатываемой в ряде лабораторий ВНИИМ, ЛИТМО и других институтах.

7. Разработан теоретически и экспериментально исследован метод воспроизведения КИВ посредством электрических линий задержки и генераторов крутых фронтов. Показано, что на основе этого метода упрощается задача создания образцовой аппаратуры для наносекундного диапазона КИВ. Разработан датчик коротких интервалов времени, позволяющий воспроизводить КИВ $10^{-8} \div 10^{-5}$ сек, с абсолютной погрешностью не превышающей $\pm 10^{-8}$ сек, который предназначен для поверки и аттестации отечественных осциллографических приборов для измерения КИВ. В настоящее время он используется в поверочной практике ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.

8. Проведенный теоретический и экспериментальный анализ различных генераторов крутых перепадов напряжения показал, что для создания импульсов с крутизной фронта в несколько десятков вольт на наносекунду с успехом могут быть применены маломощные электровакуумные лампы, управляемые короткими импульсами вплоть до области сеточных токов. В этом случае обычные радиолампы без ущерба допускают в течение незначительной части периода следования прохождения анодных токов до 1—2 а.

Для достижения наибольшей крутизны выходных импульсов питающее анодное напряжение нужно выбирать максимально допустимым для данной лампы. Теоретически показано, что крутизна фронта порядка $30 \text{ в}/10^{-9} \text{ сек}$ может быть получена в трехкаскадном усилителе с лучевыми тетрами типа 6П18П. Теоретические выводы полностью подтверждены экспериментальными данными.

9. Исследована зависимость непостоянства задержки электрических линий, применяемых для воспроизведения КИВ, от окружающей температуры и доказано, что в интервале температур $15-25^\circ\text{C}$ для линий, примененных в датчике, она не превосходит $\pm 10^{-8}$ сек.

10. Разработан способ точного измерения задержек прохождения импульсов в отдельных элементах датчика типа ДКИВ-1 и калибровки линий задержки методом измерения частоты. С помощью частотомера, дающего возможность измерять

частоту с относительной погрешностью 10^{-5} , за время измерения в одну секунду погрешность измерения временных задержек не превосходит $\pm 10^{-9}$ сек.

11. Разработан и исследован ряд макетов датчиков КИВ электронно-счетного типа, позволяющих воспроизводить КИВ в пределах $10^{-6} \div 1$ сек с абсолютной погрешностью менее $\pm 10^{-7}$ сек и используемых при поверке образцовой и рабочей аппаратуры.

12. Исследованы погрешности разработанной образцовой аппаратуры и определены пути дальнейшего повышения точности поверки рабочих приборов для измерения КИВ. На примере проекта поверочной схемы показано, что результаты проведенной работы способствуют разрешению проблемы поддержания единства мер в области измерения коротких интервалов времени.

Основное содержание диссертации отражено:

в монографии:

1. Е. М. Винников. Измерение коротких интервалов времени, Стандартгиз, 1963;

в статьях:

2. Е. М. Винников. Комбинированный способ измерения малых промежутков времени, «Труды ВНИИМ», вып. 40 (100), Стандартгиз, 1959.

3. Е. М. Винников. Электронный счетчик-хронометр типа ХЭ-2, «Передовой научно-технический и производственный опыт», № 31—63—336/6, Госинти, 1963.

4. Е. М. Винников. Измененная диодная схема управления кольцевыми счетчиками импульсов, «Новые измерительные приборы и методы их поверки», вып. 2, Стандартгиз, 1960.

5. Е. М. Винников. Датчик коротких интервалов времени типа ДКИВ-1, Информационный сборник ВНИИМ, № 4, 1964.

6. Е. М. Винников, Д. П. Марковский. Установка УМПВ-1, «Новые измерительные приборы и методы их поверки», вып. 14, Стандартгиз, 1963.

7. Е. М. Винников, М. А. Ищенко. Электронные схемы для счета импульсов и их использование в работе Службы времени, «Известия Гао в Пулкове», т. XXII, вып. 3, № 168, 1961.

8. Е. М. Винников, М. А. Ищенко. Осциллографическая установка для сличения часов по радиосигналам точного времени, Авт. свид. № 147967 от 14 июня 1962 г.

9. Е. М. Винников, Д. П. Марковский. Методы измерения коротких промежутков времени, «Энциклопедия измерений, контроля и автоматизации» (ЭИКА), т. 1, Энергоиздат, 1962, стр. 39.

10. Е. М. Винников, Д. П. Марковский. Методы и средства точного измерения коротких интервалов времени, «Измерительная техника», № 12, 1963, стр. 49.

11. Е. М. Винников, Д. П. Марковский. Установка для поверки приборов для измерения коротких интервалов времени типа УМПВ-2. Информационный сборник ВНИИМ, № 4, 1964.

12. Е. М. Винников, М. Х. Макашев, О. А. Тхоржевский. Автоматическая поверка кварцевых генераторов по сигналам опорной частоты 100 кГц, «Передовой научно-технический и производственный опыт», вып. 8, тема № 35, № П-62-43/3, Госинти, 1962.

245528

