

На правах рукописи



ОРЛОВ Алексей Вениаминович

**ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ
С АВТОКОРРЕКЦИЕЙ МОЩНОСТИ
(развитие теории, исследования и разработка)**

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Стерлитамак - 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Стерлитамакская государственная педагогическая академия им. Зайнаб Бишевой»
на кафедре теоретической физики и методики обучения физике

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Галиев Анвар Лутфрахманович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Миловзоров Георгий Владимирович
Уфимский государственный авиационный технический университет, зав. кафедрой промышленной электроники

доктор технических наук, доцент
Сушко Борис Константинович
Башкирский государственный университет, профессор кафедры статистической радиофизики и связи

Ведущее предприятие: ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Филиал в г. Стерлитамаке

Защита состоится «2» июля 2010 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу: 450000, г. Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12, УГАТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «2» июня 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д. т. н., профессор



Г.Н. Утляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. При исследовании теплозависимых нелинейных компонентов, твердых электролитов, биологических объектов и т.п. требуется получение высокоточной, объективной, воспроизводимой при повторных измерениях информации об электрических параметрах исследуемых объектов. В большинстве случаев техническое устройство и объект измерений взаимодействуют друг с другом. Устройство измерения, воздействуя на объект, вносит в него электрическую энергию в форме джоулевой теплоты, количество которой зависит от параметров, как самого объекта исследования (ОИ), так и от условий воздействия.

На практике часто используются измерения параметров исследуемого объекта, проводимые в режиме заданного напряжения или тока. Однако такие методы не всегда удовлетворяют требованиям воспроизводимости и точности результатов. Вносимая в объект исследования энергия, в форме постоянного приложенного напряжения или постоянного по величине тока, зависит от энергоемкости и теплоемкости самого объекта. Измерительные устройства, работающие в режиме заданного тока или напряжения, могут неоднозначно воспроизвести значения одного и того же измеряемого параметра ОИ, т.к. при этом результат измерения будет зависеть от термодинамического состояния ОИ и измерительные преобразователи покажут разные значения измеряемого параметра одного и того же объекта. Очевидно, в этом случае возникает неопределенность энергетического режима измерения, что осложняет получение требуемых метрологических характеристик измерительного устройства и воспроизводимости измерения. При создании контрольно-измерительной аппаратуры для технологических и медицинских установок особо важным фактором является определенность и однозначность энергетического режима объекта. Поэтому для получения воспроизводимости при повторных измерениях, следует поддерживать постоянной вносимую в объект энергию и мощность, что будет способствовать сохранению термодинамического состояния ОИ. Электронные устройства, которые обеспечивают неизменное значение электрической мощности, рассеиваемой в сопротивлении нагрузки, с погрешностью, не превышающей заданное значение, получили название измерительных генераторов заданной мощности (ИГЗМ).

В работах ряда авторов описываются результаты исследований аналоговых и цифровых ИГЗМ и общие принципы их построения. Анализ соответствующих источников показал, что существующие аналоговые и цифровые ИГЗМ не достаточно полно удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, в частности, имеют сравнительно высокую погрешность

поддержания заданной мощности, а также требуемые метрологические характеристики могут обеспечивать в относительно узком динамическом диапазоне сопротивлений исследуемого объекта. Например, при исследовании кожного покрова требуется ИГЗМ, работающий в динамическом диапазоне сопротивлений нагрузки более 100.

При построении современных ИГЗМ актуальны также вопросы миниатюризации и повышения экономичности измерительных генераторов. Миниатюризация и повышение экономичности данных типов генераторов позволит использовать их в качестве индивидуальных устройств диагностирования состояния организма в медицинских и других целях с автономными источниками питания.

Решение научно-технических задач, связанных с дальнейшим развитием теории ИГЗМ и созданием научной базы для проектирования подобных генераторов, позволит разработать универсальные микроэлектронные многофункциональные узлы и улучшенные структуры генераторов заданной электрической мощности, открывающие новые возможности в деле контроля, измерения и диагностики состояния объектов живой и неживой природы. В этом ключе тема диссертационной работы является актуальной и современной. Актуальность решаемых задач диссертационной работы подтверждается также тем, что данная тематика была отмечена грантом Минобразования РФ под названием «Измерительные генераторы заданной мгновенной электрической мощности», а так же включена в программу сотрудничества Минобразования и Минобороны РФ, выполненным на кафедре ИИТ УГАТУ под руководством доктора технических наук, профессора Гусева В.Г.

Целью данной работы является исследование новых способов формирования сигналов измерительных генераторов малой заданной электрической мощности; разработка новых схемных решений, которые позволят улучшить технические характеристики, повысить экономичность и надежность исследуемых устройств в целом.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Обобщены известные подходы и методы для оценки параметров исследуемых теплозависимых нелинейных компонентов, твердых электролитов, биологических и других объектов. Выявлены области применения ИГЗМ, принципы их построения и технические требования, предъявляемые к ним. Проведена классификация измерительных преобразователей ИГЗМ.

2. Разработаны и исследованы новые структурные и принципиальные схемы преобразователей информации и формирователей импульсов для ИГЗМ.

3. Для поддержания мощности, а также для некоторых схем импульс-

ных ИГЗМ и энергии, воздействия на заданном уровне с высокой точностью в структуры ИГЗМ на базе разработанных преобразователей информации и формирователей импульсов введены схемы автокоррекции.

4. Разработаны математические модели, позволяющие проводить оценку основных технических характеристик и возможностей ИГЗМ.

5. Проведены экспериментальные исследования разработанных ИГЗМ

Методы исследования. Для получения научных результатов в диссертационной работе были использованы методы и подходы из области теоретических основ электротехники, теории электрических цепей и электроники. При этом моделирование и исследование свойств рассматриваемых схем выполнялось с помощью прикладных программных пакетов *MathCad 2000 Professional* и *Micro Cap v.8.1*.

На защиту выносятся:

1. Классификация измерительных преобразователей ИГЗМ. Наиболее важные уточненные требования к измерительным генераторам заданной мощности.

2. Структурные и принципиальные схемы преобразователей информации для ИГЗМ и формирователей импульсов постоянной энергии и мощности для измерительных генераторов малой заданной мощности.

3. Структурные и принципиальные схемы импульсных ИГЗМ с автокоррекцией мощности.

4. Математические модели разработанных схем ИГЗМ.

5. Результаты исследований разработанных схем ИГЗМ, полученные с помощью их математических моделей, компьютерного моделирования и экспериментальным путем.

Научная новизна исследований, проведенных в работе, заключается в следующем:

– предложен новый метод оценки параметров и свойств исследуемых объектов, отличающийся от известных поддержанием на заданном уровне не только мощности, но и энергии импульсов воздействия;

– разработаны и исследованы высокоэкономичные информационные преобразователи и формирователи импульсов, предназначенные для работы в составе измерительных цепей малой мощности;

– предложен оригинальный способ формирования измерительного сигнала в ИГЗМ с автокоррекцией мощности;

– разработаны математические модели импульсных ИГЗМ со схемой стабилизации мощности, исследованы их основные характеристики, установлены факторы, влияющие на погрешность задания мощности;

– разработаны и исследованы экономичные преобразователи информации, которые могут использоваться как автономные ИГЗМ в системах медико-биологического назначения;

– оценены технические возможности разработанных схем ИГЗМ.

Практическая ценность работы.

Разработаны схемы импульсных генераторов заданной мощности и энергии, которые могут быть использованы при контроле, измерении и диагностике состояния объектов живой и неживой природы, создании датчиков физических величин, а также при медицинских исследованиях.

Разработана схема высокоэкономичного многофункционального преобразователя информации для биологических датчиков, позволяющая проводить измерительные операции при питании прибора от автономного источника.

Разработаны схемы формирователей импульсов для ИГЗМ с автоматической коррекцией заданной мощности и энергии. В результате исследований разработанных схем предложены рекомендации по повышению стабильности заданной мощности.

В разработанных схемах предусмотрено управление через интерфейс компьютера.

Апробация работы. Основные вопросы диссертации докладывались и обсуждались на VI Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (Красноярск, 2004 г.), Всероссийской научной конференции «Современные проблемы физики и математики» (Уфа, 2004 г.), VIII Всероссийской с международным участием научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (Красноярск, 2006 г.), III Межвузовской научно-практической конференции молодых ученых «Молодежь. Прогресс. Наука» (Стерлитамак, 2008 г.), Межвузовской научно-практической конференции молодых ученых «Роль классических университетов в формировании инновационной среды регионов» (Уфа, 2009 г.), V Международной конференции-выставки «Промышленные АСУ и контроллеры 2010: от А до Я» (Москва, 2010 г.).

Публикации. Основные научные результаты по теме диссертации изложены в 12 статьях, опубликованных в журналах и научных сборниках, из них 3 в издании, рекомендованном ВАК.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и списка литературы. Общий объем диссертационной работы составляет 165 листа машинописного текста. Работа содержит 104 иллюстраций и 6 таблиц. Список литературы содержит 109 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной научной работы, сформулированы цели и задачи исследований, приведены научные результаты, выносимые на защиту, указана их научная новизна и практическая ценность.

В первой главе рассмотрены области применения измерительных

генераторов заданной мощности. Показана возможность использования ИГЗМ как одного из атрибутов измерительных устройств, с помощью которых определяются электрические параметры биологических объектов.

Анализ научной литературы показал, что для измерения электрических параметров, с помощью которых можно оценивать состояние исследуемых объектов необходимо использовать один из следующих методов: режим заданного электрического напряжения, режим заданного электрического тока, режим заданной электрической мощности. В данной работе предложено проводить исследования ОИ обеспечив постоянство как мощности так и энергии импульсов воздействия.

Рассмотрены измерительные преобразователи мощности с функциональным преобразованием входных величин. Проанализированы условия физической реализуемости экономичных ИГЗМ.

На основе проведенного анализа научной литературы сформулированы следующие требования, которым должны удовлетворять маломощные экономичные ИГЗМ:

- 1) пределы изменения мощности 0,01-10 мВт;
- 2) обеспечение требуемой точности установки заданной мощности;
- 3) обеспечение стабильности заданной мощности в широком интервале времени;
- 4) малое время восстановления заданного режима при изменении сопротивления нагрузки;
- 5) технологичность конструкции;
- 6) малые габариты и вес;
- 7) возможность работы от автономных источников питания.

В результате анализа и систематизации известных способов и методов построения ИГЗМ, сформулированы основные задачи исследования, решение которых будет способствовать достижению поставленной цели.

Вторая глава посвящена разработке и исследованию многофункциональных преобразователей информации для автономных ИГЗМ с импульсной обработкой сигналов. Рассмотрены вопросы возможности использования различных способов преобразования информации: как аналоговых, так и импульсных или цифровых. Независимо от типа измерительного прибора, требования, предъявляемые к преобразователям информации едины. Их должны отличать: высокая экономичность, линейность характеристики преобразования, малые габариты и возможность реализации в интегральном исполнении.

Разработанный многофункциональный преобразователь информации для ИГЗМ (рис. 1) синтезирован на элементах цифровой логики КМОП-структуры, работающих при околопороговых значениях напряжения питания, отличающийся от существующих преобразователей большим числом функциональных возможностей и малой потребляемой мощностью. Установ-

лена возможность обеспечения потребляемой мощности до 100 мкВт.

На рис. 1 преобразователь информации представлен в режиме преобразования сопротивления R_0 в частоту. Источниками информации могут служить параметрические датчики с соответствующими характеристиками, делитель опорного напряжения стабилизатора и т.д. В общем случае источник информации может быть подключен в любой участок цепи обратной связи, например, вместо резисторов R_2 или R_3 , в случае параметрического емкостного датчика – вместо конденсатора C и т.д.

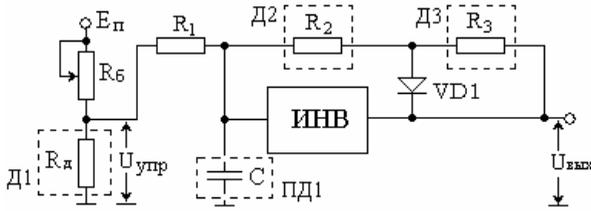


Рисунок 1 – Принципиальная схема преобразователя информации ($D1$, $D2$, $D3$ – датчики; $PD1$ – параметрический датчик)

На основе анализа работы и экспериментальных исследований получены аналитические выражения для расчета наиболее значимых параметров преобразователя информации, в частности, длительности вырабатываемых импульсов и межимпульсного промежутка:

$$t_2 = \frac{\Delta_c}{\frac{1}{C} \left(\frac{E_n - U_{\Delta-}}{R_d} - \frac{U_1 + \Delta_c / 2}{R_1} \right)} \quad \text{и} \quad t_1 = \frac{\Delta_c}{\frac{1}{C} \left(\frac{U_{nop}}{R_{dp}} + \frac{U_1 + \Delta_c / 2}{R_1} \right)},$$

где t_2 – длительность импульса; t_1 – длительность межимпульсного интервала; $\Delta_c = U_{\Delta+} - U_{\Delta-}$; $U_{\Delta+}$ и $U_{\Delta-}$ – максимальное и минимальное значения напряжений на конденсаторе, соответствующие моменту переключения компаратора; $U_1 = U_{упр} - U_{\Delta+}$; $U_{упр}$ – управляющее (входное) напряжение преобразователя информации; E_n – напряжение источника питания; U_{nop} – пороговое напряжение логического элемента – инвертора ($ИИВ$); R_d и R_{dp} – сопротивления цепей заряда и разряда конденсатора.

Многофункциональный преобразователь информации можно использовать в качестве преобразователя напряжение-частота, сопротивление-частота, емкость-частота. Зависимости частоты от емкости конденсатора C для трех значений управляющего напряжения $U_{упр}$ приведены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что крутизна $S(C)$ зависимости частоты от емкости определяется напряжением $U_{упр}$ (в этом случае $U_{упр}$ играет роль опорного напряжения). Максимальная крутизна преобразования наблюдается при положительном смещении опорного напряжения до $S_{\max}(C) \approx 10$ кГц/пФ. С

увеличением емкости она падает до 1 кГц/пФ.

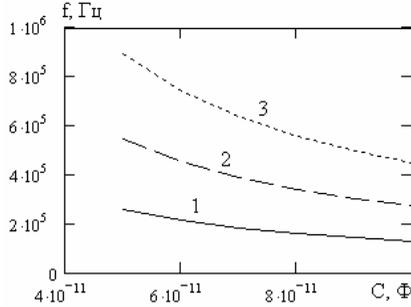


Рисунок 2 – Расчетные зависимости частоты преобразователя от емкости конденсатора C : 1 – $U_{упр} = -0,1$ В; 2 – $U_{упр} = 0$ В; 3 – $U_{упр} = 0,1$ В

Зависимости частоты импульсов преобразователя информации от значения управляющего (входного) напряжения показаны на рис. 3.

Проанализирована работа ИГЗМ с широтно-импульсной модуляцией импульсов воздействия на объект исследования. Выбран диапазон мощностей, при котором сохраняется диагностическая ценность получаемой информации и обеспечивается наиболее экономичный режим работы измерительного генератора. Показано, что для обеспечения средней мощности воздействия на уровне номинальной $P_{ном} = 0,3$ мВт диапазон возможных значений сопротивлений объекта исследования (ОИ) следует разбить на поддиапазоны, в пределах которых осуществляется автокоррекция мощности. Для ОИ с сопротивлением от 3 кОм до 30 кОм следует использовать импульсы с амплитудой 3 В, от 30 кОм до 300 кОм – 9,5 В, от 300 кОм до 3 МОм – 30 В.

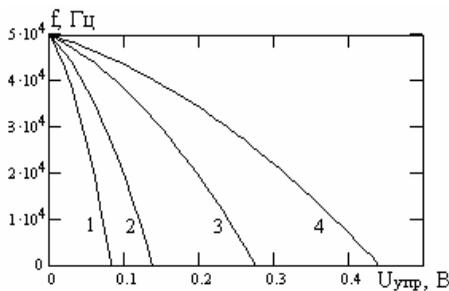


Рисунок 3 – Зависимости частоты импульсов преобразователя f от управляющего напряжения:

1 – $R_1 = 10$ кОм, 2 – $R_1 = 15$ кОм, 3 – $R_1 = 30$ кОм, 4 – $R_1 = 40$ кОм

Как известно, при работе любого электронного прибора или аппарата (в том числе и измерительного генератора заданной мощности) не исключается возможность возникновения в цепи нагрузки короткого замыкания (КЗ).

Поэтому был проведен анализ усилителя ИГЗМ в случае КЗ на его выходе. В ходе исследований установлено, что в измерительных генераторах заданной мощности с импульсными усилителями на КМОП-транзисторах нет необходимости введения специальных схем защиты с токоограничителем.

Третья глава посвящена разработке и исследованию емкостных формирователей импульсов постоянной энергии и мощности для ИГЗМ.

Проведен анализ формирователя импульсов экспоненциальной формы с накопительным конденсатором для ИГЗМ (рис. 4), принцип работы которого базируется на постоянстве энергии заряда конденсатора при постоянном значении заряжающего напряжения и зависимости времени заряда (разряда) от сопротивления объекта исследования.

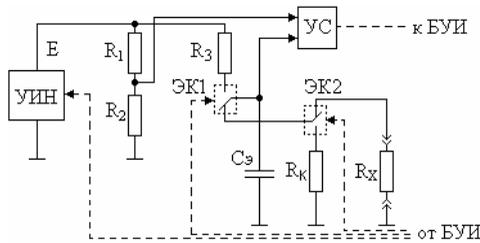


Рисунок 4 – Структурная схема формирователя импульсов с накопительным конденсатором

(УИН – управляемый источник напряжения; ЭК1, ЭК2 – электронные ключи; УС – устройство сравнения; БУИ – блок управления и индикации)

Показано, что длительность импульсов воздействия соответствует продолжительности разряда эталонного конденсатора $C_{\text{э}}$ до уровня $U_{R2} = E \frac{R_2}{R_2 + R_1} = \frac{E}{e}$, где $e = 2,71\dots$ Выбор опорного напряжения на уровне $U_{R2} = 0,368E$ обусловлен следующими причинами:

1) На уровне E/e кривая зависимости $u_C(t)$ имеет большую крутизну. Это обстоятельство позволяет компаратору точнее определить момент равенства напряжений u_C и U_{R2} при пороге чувствительности ΔU .

2) Основная часть энергии импульса воздействия заключена в интервале времени от 0 до $t_u = \tau_X = R_X C_{\text{э}}$.

3) За время $t_u = \tau_X$ в ОИ, независимо от величины его сопротивления, вносится постоянное количество электрической энергии

$$W = \int_0^{\tau_X} R_X \cdot i^2 dt = \frac{E^2}{R_X} \int_0^{\tau_X} \left(e^{-\frac{2t}{R_X C_{\text{э}}}} \right) dt = \frac{E^2 C_{\text{э}}}{2} (1 - e^{-2})$$

и рассеивается постоянная мощность в единицу времени

$$P_{Xcp} = k_1 \cdot W = \frac{k_1 E^2 C_{\mathcal{E}}}{2} (1 - e^{-2})$$

где k_1 – количество импульсов воздействия за единицу времени. Энергия импульсов в этом случае составляет 86,5% от максимального возможного значения, равного энергии заряженного конденсатора.

В ходе исследований установлено, что энергия и мощность импульсов воздействия на объекты исследования не зависят от его сопротивления. Например, при $E = 30$ В и $C_{\mathcal{E}} = 300$ нФ, генератор заданной мощности в состоянии обеспечить энергию импульса воздействия на уровне 116 мкДж и среднюю мощность 0,35 мВт.

При измерении параметров ОИ выделено несколько «источников» погрешностей. Наиболее весомой является погрешность, вызванная порогом чувствительности компаратора ΔU . Главным образом ΔU влияет на процесс определения длительности импульсов формирователя, которые могут быть измерены с точностью

$$\Delta t = -\tau_x \cdot \ln \left(\frac{2E \cdot e^{-\frac{t_u}{\tau_x}} - \Delta U}{2E \cdot e^{-\frac{t_u}{\tau_x}} + \Delta U} \right).$$

Как показывают расчеты, увеличение ΔU приводит к линейному возрастанию $\Delta t / \tau_x$. Крутизна зависимости $\Delta t / \tau_x$ от ΔU при этом составляет 0,03%/мВ. Для типичного значения $\Delta U = 10$ мВ погрешность определения “временных ворот” (открытого состояния ЭКЗ) не превышает 0,2 %.

С учетом соотношения для Δt получено выражение, позволяющее оценить погрешность определения величины сопротивления ОИ:

$$\Delta R_X = \frac{\tau_x}{\tau_K} \cdot R_K \cdot \ln \left(\frac{2E \cdot e^{-\frac{t_0}{\tau_x}} - \Delta U}{2E \cdot e^{-\frac{t_0}{\tau_x}} + \Delta U} \right),$$

где $\tau_K = R_K C_{\mathcal{E}}$, R_K – сопротивление калибровочного (эталонного) резистора.

Как показано на рис. 5,а абсолютная погрешность измерения R_X линейно зависит от ΔU и с повышением сопротивления ОИ крутизна кривой $\Delta R_X(\Delta U)$ увеличивается. Для типичного значения $\Delta U = 0,01$ В погрешность ΔR_X не более 200 Ом при $R_X = 100$ кОм.

На рис. 5,б показано изменение абсолютной погрешности определения сопротивления исследуемого объекта от напряжения УИИ. При напряжении $E = 15$ В величина погрешности ΔR_X также не превышает 200 Ом.

В ходе исследований характеристик формирователя установлено, что путем выбора оптимального значения порога чувствительности компаратора можно добиться требуемого значения погрешности измерения R_X .

Из соотношения для ΔR_X следует, что при нестабильности порога чувствительности ΔU и управляемого источника напряжения E в 10% допол-

нительная погрешность измерений не превышает 0,03%.

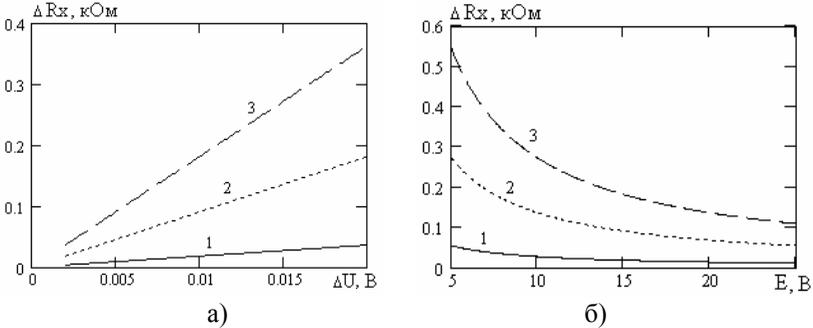


Рисунок 5 – Зависимости погрешностей от порога чувствительности компаратора (а) и от напряжения УИИ (б) при трех значениях сопротивления ОИ: 1 – $R_x=10^4$ Ом; 2 – $R_x=5 \cdot 10^4$ Ом; 3 – $R_x=10^5$ Ом

В связи с тем, что разработанный формирователь может быть реализован как устройство с автономным питанием определенной практической интерес представляет оценка потребляемой им энергии. Поэтому был проведен расчет потерь энергии в схеме формирователя в режиме исследования ОИ. Для оценки потерь было получено следующее выражение:

$$W_{nom} = \int_0^{4\tau_3} \frac{E^2}{R_3} \left(\frac{e-1}{e} \cdot e^{-\frac{2t}{\tau_3}} \right)^2 dt,$$

где $\tau_3 = R_3 C_3$, R_3 – эталонное сопротивление в цепи заряда конденсатора C_3 . В этом соотношении учтено, что зарядка эталонного конденсатора начинается не с нулевого напряжения, а с остаточного напряжения E/e . Верхний предел интеграла выбран с допущением того, что за время $4\tau_3$ эталонный конденсатор C_3 практически полностью заряжается ($u_C = 0,988E$).

Проведен анализ формирователя двуполярных импульсов (рис. 6), воздействие которых на исследуемые объекты существенно уменьшает поляризационные явления. В этом формирователе обеспечивается также постоянство энергии импульсов за счет постоянства энергии заряженного конденсатора при неизменном значении «зарядного» напряжения, а постоянство мощности – заданным значением частоты ДГИ. Длительность импульсов формирователя (рис. 7) определяется как

$$t_u = C_3 \cdot (R_x + R_{вых}^1) \ln \frac{U_{вых ДУ}}{U_{пор}},$$

где $U_{пор}$ – пороговое напряжение, $R_{вых}^1$ – выходное сопротивление ДУ. Исследования показывали, что при изменении сопротивления ОИ в диапазоне от

$R_{Xmin}=10^4$ Ом до $R_{Xmax}=10^6$ Ом длительность импульсов меняется в диапазоне $t_{u min}=0,14$ мс до $t_{u max}=14,06$ мс.

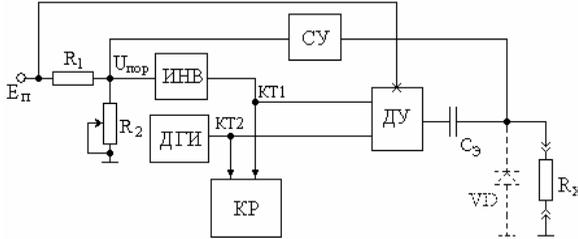


Рисунок 6 – Структурная схема формирователя двуполярных импульсов (ДГИ – дополнительный генератор импульсов; ДУ – дифференциальный усилитель; ИНВ – инвертор; КТ1, КТ2 – контрольные точки; КР – контроллер; СУ – согласующее устройство)

Длительность $t_{ДГИ}$ и период $T_{ДГИ}$ импульсов дополнительного генератора выбираются из условия $t_{ДГИ} < t_{u min}$ и $T_{ДГИ} > t_{u max} + 4\tau_{зар}$, где $t_{u min}$ и $t_{u max}$ – минимальная и максимальная длительности импульсов воздействия на ОИ, $\tau_{зар}$ – постоянная цепи заряда эталонного конденсатора C_3 .

Количество электрической энергии, вносимой в исследуемый объект за время t_u , определяется как

$$W = \left(\frac{E_n}{R_X + R_{вых}^1} \right)^2 R_X \int_0^{t_u} \exp\left(-\frac{2t}{C_3(R_X + R_{вых}^1)} \right) dt.$$

Как показали расчеты, энергия, вносимая в ОИ, практически не зависит от величины сопротивления R_X .

Временные диаграммы, поясняющие работу формирователя импульсов с постоянной энергией и мощностью, представлены на рис. 7.

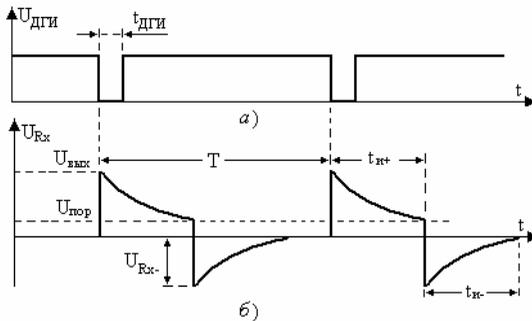


Рисунок 7 – Временные диаграммы, поясняющие работу формирователя импульсов с постоянной энергией и мощностью

В ходе анализа формирователя двуполярных импульсов установлено, что энергия импульса положительной полярности несколько больше энергии импульса отрицательной полярности. Для расчета средних мощностей импульсов формирователя были получены следующие соотношения:

$$P_{cp+} = \frac{k}{T} \int_0^{t_y} \left[\frac{U_{вых ДУ}}{R_X + R_{вых}^1} \exp\left(-\frac{t}{C_Э (R_X + R_{вых}^1)}\right) \right]^2 R_X dt \text{ и}$$

$$P_{cp-} = \frac{k}{T} \int_0^{3\tau_{раз}} \left[\frac{U_{вых ДУ} - U_{пор}}{R_X + R_{вых}^0} \exp\left(-\frac{t}{C_Э (R_X + R_{вых}^0)}\right) \right]^2 R_X dt$$

где $\tau_{раз}$ – постоянная цепи разряда $C_Э$, k – коэффициент, значение которого зависит от частоты поступающих с ДГИ импульсов. Верхний предел второго интеграла выбран с допущением того, что за время $3\tau_{раз}$ конденсатор $C_Э$ разрядится до напряжения, допустимого погрешностью задания мощности.

Выявлено, что мощность и энергия импульсов ИГЗМ, которые могут быть получены только при использовании интегральных компонентов электроники, равны 0,91 мВт и 0,55 мкДж соответственно.

Энергию и мощность импульсов формирователя можно повысить путем увеличения напряжения питания ДУ, емкости $C_Э$. Показано, что потери мощности в схеме формирователя двуполярных импульсов убывает по мере увеличения R_X . Наибольшие значения мощности потерь соответствуют диапазону изменения сопротивления ОИ от 10 кОм до 100 кОм.

При необходимости воздействие на ОИ может осуществляться импульсами только положительной полярности путем добавления в схему формирователя полупроводникового диода VD (рис. 6).

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований разработанных преобразователей.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают основные выводы и положения, полученные при теоретическом анализе. Расчетные и экспериментальные кривые совпадают в пределах погрешности эксперимента (не более 5%).

Исследования многофункционального преобразователя информации ИГЗМ показали, что зависимость вносимой в исследуемый объект мощности от величины сопротивления ОИ имеет нелинейный характер и поэтому для поддержания мощности с заданной погрешностью целесообразно разбить диапазон возможных значений сопротивления ОИ на поддиапазоны. При этом, погрешность задания мощности в пределах поддиапазона сопротивлений (в зависимости от числа поддиапазонов) находится на уровне 1,5-5%. Нелинейность зависимости мощности от сопротивления ОИ в заданных пределах можно снизить путем увеличения сопротивления R_3 (рис. 8).

Установлено, что изменение напряжения питания схемы преобразователя информации ИГЗМ в пределах 3÷15 В позволяет регулировать абсолют-

ные значения мгновенной и средней мощности, вводимой в исследуемый объект, на 20 дБ и более (рис. 9).

Показано, что при повышенных требованиях к точности измерения в преобразователь информации ИГЗМ необходимо ввести систему автокоррекции, которая позволяет регулированием выходного напряжения буферного усилителя преобразователя управлять величиной мощности импульсов, воздействующих на ОИ.

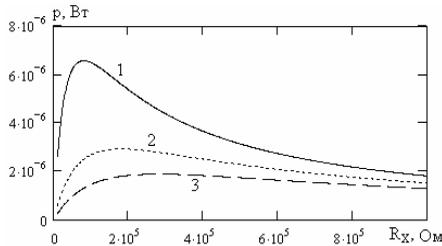


Рисунок 8 – Зависимость мгновенной мощности от R_X при разных значениях R_3 : 1 – 80 кОм, 2 – 180 кОм, 3 – 280 кОм

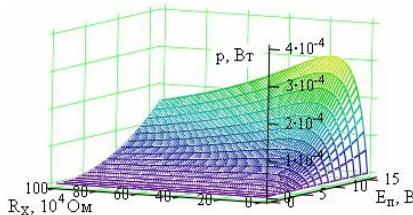


Рисунок 9 – Влияние на величину мгновенной мощности сопротивления R_X и напряжения питания E_n

Отмечено, что многофункциональный преобразователь информации ИГЗМ с автокоррекцией мощности (а также и без автокоррекции) может быть рекомендован для реализации экономичного информационного преобразователя для активных биоуправляемых датчиков.

В ходе исследований формирователя импульсов ИГЗМ с накопительным конденсатором установлено, что изменения выходного напряжения $U_{ИИ}$, емкости C_3 и количества импульсов в единицу времени позволяют управлять мощностью и энергией импульсов (рис. 10).

В ходе исследований формирователя двуполярных импульсов было выявлено, что изменения порогового напряжения $U_{пор}$ в пределах от 0,1 В до 1,5 В и сопротивления ОИ в диапазоне от 10 кОм до 1 МОм не оказывают существенного влияния на среднюю мощность и энергию импульсов воздействия. Для повышения мощности и энергии импульсов рекомендуется увеличить напряжение питания схемы, либо использовать эталонный конденсатор с большей емкости.

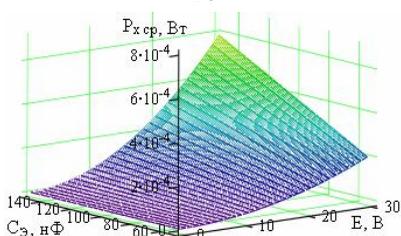


Рисунок 10 – Зависимость средней мощности импульсов от E и $C_э$

В ходе теоретического анализа и экспериментальных исследований формирователя двуполярных импульсов ИГЗМ было выяснено, что при различных температурных режимах работы формирователя может происходить изменение емкости эталонного конденсатора. Уход номинала емкости $C_э$ может произойти также и под влиянием временного фактора. Для компенсации погрешности и поддержания мощности и энергии импульсов на заданном уровне в схему формирователя предложено ввести систему автокоррекции мощности.

Отмечено, что в схеме формирователя двуполярных импульсов ИГЗМ со схемой автокоррекции мощности можно достичь погрешность задания мощности менее 0,5%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В ходе теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в диссертационной работе, получены следующие основные научные и практические результаты и выводы:

1. Сформулированы основные требования к измерительным генераторам заданной мощности, которые могут быть изменены и дополнены с учетом условий применения в различных областях науки и техники. Предложено проводить исследования ОИ путем воздействия на них импульсами с постоянной энергией и мощностью.

2. Синтезирован преобразователь информации ИГЗМ на элементах цифровой логики КМОП-структуры, отличающийся от существующих преобразователей большим числом функциональных возможностей и малой потребляемой мощностью. Установлено, что изменение напряжения питания схемы преобразователя информации ИГЗМ в пределах $3 \div 15$ В позволяет регулировать абсолютные значения мгновенной и средней мощности, вводимой в исследуемый объект, на 20 дБ и более.

Проанализирована работа ИГЗМ с широтно-импульсной модуляцией импульсов воздействия, построенная на базе многофункционального преобразователя информации. Показано, что для исследования объектов с сопротивлением от 3 кОм до 30 кОм следует использовать импульсы с амплитудой 3 В, от 30 кОм до 300 кОм – 9,5 В, от 300 кОм до 3 МОм – 30 В.

3. Впервые при разработке формирователей импульсов с постоянной

энергией и мощностью был применен принцип постоянства энергии заряженного конденсатора при постоянстве напряжения источника питания.

Проведен анализ формирователя импульсов с накопительным конденсатором для ИГЗМ. Показано, что энергия и мощность импульсов воздействия при исследовании различных объектов не зависят от значения их сопротивления. В ходе теоретических и экспериментальных исследований формирователя установлено, что путем установки оптимального значения порога чувствительности компаратора можно добиться заданного значения погрешности измерения сопротивления ОИ.

4. В ходе анализа импульсных ИГЗМ на базе экономичных формирователей импульсов установлено, что изменение номинала эталонного конденсатора $C_э$ приводит к увеличению погрешности измерения сопротивления ОИ. Для компенсации погрешности и поддержания мощности и энергии импульсов на заданном уровне предложено ввести в структуры ИГЗМ системы автокоррекции мощности.

5. Разработаны математические модели импульсных ИГЗМ со схемой стабилизации мощности, исследованы их основные характеристики, установлены факторы, влияющие на погрешность задания мощности. Проведены экспериментальные исследования и компьютерное моделирование предложенных схем ИГЗМ, которые подтвердили справедливость теоретических положений и допущений, принятых при разработке математических моделей.

6. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработанных схем предложены рекомендации по повышению стабильности заданной мощности.

По теме диссертации опубликованы следующие работы

В издании из перечня ВАК

1. Галиев А.Л., Орлов А.В. Широтно-импульсная модуляция в генераторах заданной электрической мощности //Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2007. –№4. – С. 32-33.
2. Орлов А.В., Галиев А.Л., Экономичный формирователь двуполярных импульсов постоянной мощности и энергии //Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. –№11. – С. 53-55.
3. Галиев А.Л., Юмагулов Н.И., Орлов А.В. Измерительный генератор с колебательным контуром и автокоррекцией мощности //Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. –№5. – С. 62-65.

В других изданиях

4. Галиев А.Л., Орлов А.В. Анализ работы ключевого усилителя при коротком замыкании в нагрузке //Современные проблемы радиоэлектроники: Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов. – Красноярск, КГТУ, 2004. – С. 620-623.

5. Галиев А.Л., Орлов А.В., Юмагулов Н.И. Анализ влияния параметров усилительных элементов на КПД электронных устройств с импульсной обработкой сигналов //Современные проблемы физики и математики: Труды Всероссийской научной конференции. – Уфа: Гилем, 2004. – С. 196-199.

6. Галиев А.Л., Орлов А.В., Юмагулов Н.И. Аналитическая модель униполярного транзистора при низких напряжениях питания //Современные проблемы физики и математики: Труды Всероссийской научной конференции. – Уфа: Гилем, 2004. – С. 193-195.

7. Орлов А.В., Галиев А.Л. Об одном способе обеспечения заданной мощности в измерительных генераторах //Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. /Под ред.: А.И. Громыко, А.В. Сарафонов. – М.: Радио и связь, 2006. – С. 228-231 (629 с.).

8. Галиев А.Л., Орлов А.В. Об одном способе стабилизации мощности измерительного генератора //Труды Стерлитамакского филиала академии наук РБ. Серия “Физико-математические и технические науки”. Выпуск 4. – Уфа: Гилем, 2006. – С.128-131 (184 с).

9. Орлов А.В. Формирование заданной энергии импульсов в измерительных генераторах //Молодежь. Прогресс. Наука: Сб. материалов III Межвуз. науч.-практ. конф. молодых ученых, Республика Башкортостан, г. Стерлитамак, 7-12 апреля 2008 г. / Отв. ред. А.Л. Галиев; зам. отв. ред. А.В. Малолеткова. – Стерлитамак: Стерлитамак. гос. пед. академия, 2008. – С. 219-220 (293 с.).

10. Орлов А.В., Галиев А.Л. Импульсный генератор для исследования биологических объектов //Вузовская наука: инновационные подходы и разработки: Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава Стерлитамакской государственной педагогической академии им. Зайнаб Бишевой / Под общ. ред. А.Л. Галиева; отв. ред. Л.М. Линецкая. – Стерлитамак: Стерлитамак. гос. пед. академия, 2008. – С. 30-32 (160 с.).

11. Галиев А.Л., Орлов А.В. Экономичный измеритель параметров тепловых объектов //Электроника, автоматика и измерительные системы: Межвузовский научный сборник. – Уфа: УГАТУ, 2009. – С. 71-74 (210с.).

12. Галиев А.Л., Орлов А.В. Об одном способе реализации информационного преобразователя для биоуправляемых датчиков //Роль классических университетов в формировании инновационной среды регионов: Сборник научных трудов МНПК. –Уфа, 2009. Том II, Часть I. – С. 123-126.

ОРЛОВ Алексей Вениаминович

ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ
С АВТОКОРРЕКЦИЕЙ МОЩНОСТИ
(развитие теории, исследования и разработка)

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____ Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № ____

Отпечатано в полиграфическом участке Стерлитамакской государственной
педагогической академии им. Зайнаб Бишевой:
453103, Стерлитамак, пр. Ленина, 49.