

На правах рукописи

ЧЕРНИКОВ Илья Геннадьевич

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ТЕПЛОЗАВИСИМЫХ ОБЪЕКТОВ С МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ
СХЕМОЙ ЗАМЕЩЕНИЯ**

**(Измерительные операции, развитие теории,
исследование и разработка)**

**Специальность 05.11.16 «Информационно-измерительные
и управляющие системы»**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа 2007

Работа выполнена в Уфимском государственном авиационном техническом университете на кафедре «Информационно – измерительной техники»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Гусев Владимир Георгиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Сапельников Валерий Михайлович

кандидат технических наук, доцент
Гулин Артур Игоревич

Ведущее предприятие: ФГОУ ВПО "Астраханский государственный технический университет"

Защита состоится « ____ » _____ 2007 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу: 450000, г. Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12, в актовом зале 1 корпуса УГАТУ.

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

Автореферат разослан « ____ » _____ 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

Г.Н. Утляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Измерение электрических параметров сложных, нелинейных, теплозависимых объектов является одной из важных задач, стоящих перед информационно-измерительной техникой (ИИТ), поскольку методы и средства их измерения могут быть использованы для определения параметров широкого круга объектов, представляемых электрическими эквивалентными схемами (ЭС). Из-за особенностей большинства объектов электрический контакт с ними, в большинстве случаев, возможен только в двух точках, поэтому в простейшем случае, ЭС таких объектов представляет собой двухполюсное многоэлементное сочетание активных и реактивных элементов электрических цепей: резисторов, емкостей, индуктивностей. Таким образом, решение задачи идентификации теплозависимых объектов требует развития методов измерения параметров и характеристик двухполюсных объектов, в ЭС которых имеются нелинейные теплозависимые активные сопротивления. Эта задача известна в ИИТ. В ее решение внесли существенный вклад работы научных школ возглавляемых Мартяшиным А.И., Лихтциндером Б.Я., Кнеллером В.Ю., Боровских Л.П., Попечителевым Е.П., Гутниковым В.С., Тюкавиным А.А., Кольцовым А.А., Зариповым М.Ф. и другими. Оценка параметров объектов, в ЭС которых имеется несколько элементов, доступ к которым отсутствует, приходится проводить при исследованиях электрических закономерностей в электрохимии, в том числе при изучении контактных явлений на границе раздела твердого электрода и жидкости. Вопросы идентификации параметров элементов у объектов со сложными ЭС, которые с электрической точки зрения являются многоэлементными двухполюсниками, возникают и при оценке состояния живой материи. Участок ее, параметры которого измеряются с помощью двух электродов, имеет ЭС многоэлементного теплозависимого двухполюсника. К тому же контакт электродов с живой материей характеризуется также многоэлементной ЭС. Аналогичные сложности возникают и при оценке параметров элементов структур твердых тел, которые вследствие особенностей их назначения внутри объема имеют анизотропные элементы, параметры которых следует оценивать и идентифицировать. Также возможно более широкое использование кондуктометрических методов для анализа состава многокомпонентных жидких сред, что на сегодня практически не делается. В связи с этим задача идентификации электрических параметров теплозависимых объектов с многоэлементной схемой замещения представляется достаточно актуальной.

На сегодняшний день наиболее эффективным способом оценки параметров объектов, ЭС которых относятся к многоэлементным двухполюсникам, является использование нескольких частот, на которых проводятся измерения с помощью соответствующих измерительных цепей. Параметры интересующих

элементов обычно находят расчетным путем. Этот способ справедлив и эффективен при исследованиях линейных не теплозависимых объектов. Наличие у элементов ЭС температурных зависимостей приводит к тому, что на разных частотах объектом будет потребляться разная активная мощность и будет изменяться ее распределение между теплозависимыми элементами. Поэтому измерительные операции, выполненные на каждой частоте, у теплозависимого объекта будут характеризовать параметры, которые имеются у элементов при той активной мощности рассеивания и ее распределении, которая обусловлена величиной активных и видом и характером реактивных элементов, входящих в эквивалентную схему объекта измерения (ОИ) на заданной частоте. Учитывая это положение можно считать, что элементы различных ЭС большинства теплозависимых объектов, параметры которых с использованием существующих методов измерения ранее исследователями определялись как нелинейные или частотно-зависимые, априори таковыми не являются.

Из этого следует, что подходы и измерительные цепи, приводимые в известных работах, справедливы только для линейных теплозависимых объектов и дают большие погрешности в случаях оценок с их помощью параметров элементов нелинейных теплозависимых объектов. Поэтому **целью диссертационной работы** является развитие теории получения измерительной информации о параметрах теплозависимых объектов, схема замещения которых по конструктивным особенностям и по возможности доступа к ним представляет сложный пассивный двухполюсник.

Для достижения этой цели потребовалось решить следующие **задачи**:

- ✓ обобщить известные подходы к идентификации электрических параметров теплозависимых объектов и дать оценку их эффективности;
- ✓ исследовать влияние рассеиваемой в объекте электрической энергии на достоверность получаемых результатов;
- ✓ разработать модифицированный подход к идентификации параметров теплозависимых объектов, эквивалентная схема которых представляет собой многоэлементный двухполюсник, дающий при практическом использовании более достоверные результаты;
- ✓ исследовать подходы и закономерности (правила) построения алгоритмов идентификации параметров и топологии многоэлементных эквивалентных схем исследуемого объекта;
- ✓ разработать структуры измерительных систем, позволяющих идентифицировать электрические параметры теплозависимых объектов.

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

1. Предложено развитие методики идентификации электрических параметров теплозависимых объектов, основанной на тестирующем воздействии в виде синусоидального сигнала различной частоты. При этом установлено, что в случае постоянства рассеиваемой в ОИ активной электрической мощности во

всем диапазоне рабочих частот влияние нелинейности электрических параметров исследуемых объектов существенно уменьшается.

2. Предложено для анализа топологии электрической эквивалентной схемы исследуемого объекта использовать в качестве входной информации частотную зависимость активной составляющей комплексного сопротивления объекта.

3. Разработана методика построения алгоритмов идентификации топологии многоэлементных электрических эквивалентных схем исследуемого объекта на основе информации о частотной зависимости активной составляющей комплексного сопротивления.

4. Предложена методика построения математических моделей исследуемых объектов, основанная на информации о топологии их электрической эквивалентной схемы.

5. Предложено при оценке активной составляющей комплексного сопротивления исследуемого объекта аппроксимировать получаемые данные сглаживающими сплайнами путем программной обработки результатов измерений (свидетельства о регистрации программы для ЭВМ №950026, №970262, №990116) и приведены примеры использования многоточечной интерполяции данных с помощью полинома Лагранжа.

6. Разработаны структуры информационно-измерительных систем для исследования частотной зависимости активной составляющей комплексного сопротивления, обеспечивающие неизменность рассеиваемой активной мощности в объекте измерения.

В результате проделанного в работе развита научная база построения устройств, предназначенных для идентификации электрических свойств теплозависимых объектов.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволили по-новому взглянуть на процесс получения измерительной информации о параметрах теплозависимых объектов и обосновать необходимость учета рассеиваемой в объекте измерения активной электрической энергии измерительного сигнала. С использованием предложенных подходов по идентификации параметров элементов ЭС исследуемых теплозависимых объектов стало возможным построение информационно-измерительных систем (ИИС), позволяющих аппаратно определять топологию ЭС исследуемых объектов и параметры их элементов. В частности, значение для практики имеют:

✓ методика проведения измерительных операций тестирующим воздействием различной частоты, регламентирующая минимальный временной интервал, необходимый для возврата электрических параметров исследуемого объекта к начальным условиям;

✓ методика алгоритмического синтеза топологии многоэлементных эквивалентных электрических схем исследуемого объекта;

✓ методика построения математических моделей исследуемых теплозависимых объектов на основе информации о частотной зависимости активной составляющей их комплексного сопротивления;

✓ разработанная структура информационно-измерительных систем для идентификации электрических параметров теплозависимых объектов.

Методы исследований. Основные результаты получены с использованием положений теорий электрических цепей, построения измерительных систем и математического анализа. При исследовании частотных характеристик двухполюсных электрических цепей использовались методы и подходы из области теоретических основ электротехники, при этом моделирование их свойств, выполнялось с помощью прикладных программных пакетов *MathCad 2001 Professional* и *Maple v.7.0*, а также с помощью аналитического исследования структур. Для оценки достоверности предлагаемых методов идентификации параметров теплозависимых объектов использовались положения теории погрешностей.

Апробация работы. Основные вопросы диссертации докладывались и обсуждались на Всероссийской молодежной научно-технической конференции "Информационные и кибернетические системы управления и их элементы" (Уфа, 1995 г.); Всероссийской НТК "Новые методы, технические средства и технологии получения измерительной информации" (Уфа, 1997 г.); X и XII НТК с участием зарубежных специалистов "Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления" (Гурзуф, 1998 г., Москва, 2000 г.); НТК "Проблемы авиации и космонавтики, и роль ученых в их решении" (Уфа, 1998); Первой международной школе-семинаре "Будущее информатики, космического, авиационного и медицинского приборостроения" (СПб, 1998); V всероссийской НТК "Состояние и проблемы технических измерений" (Москва, 1999);

На защиту выносятся результаты, полученные лично соискателем:

1. Результаты анализа существующих подходов к получению измерительной информации об электрических параметрах двухполюсников и оценка их достоверности;

2. Оригинальная методика идентификации параметров теплозависимых объектов на основе оценки рассеиваемой в объекте измерения активной электрической мощности на разных частотах измерительного сигнала;

3. Правила построения алгоритмов идентификации топологии многоэлементных эквивалентных схем исследуемого объекта и подход к построению математических моделей исследуемых теплозависимых объектов на основе информации о частотной зависимости активной составляющей их комплексного сопротивления;

4. Структуры информационно-измерительных систем, позволяющих идентифицировать электрические параметры теплозависимых объектов, и результаты исследований их функциональных узлов.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, списка литературы из 124 наименований. Общий объем 159 страниц. В работе имеются 62 иллюстрации и 1 таблица.

Публикации. Основные положения, выводы и практические результаты изложены в 6 статьях опубликованных в журналах и научных сборниках (из них 2 в рекомендованных ВАК), а также в материалах 8 научно-технических конференций. На оригинальные программно-технические решения получено 3 авторских свидетельства.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной научной работы, охарактеризовано состояние дел в этой области, сформулированы цель и задачи исследования, приведены научные результаты, выносимые на защиту, указана их научная новизна и практическая ценность.

В первой главе дан обзор известных методов, способов и технических приемов, используемых при проведении измерительных операций по определению параметров многоэлементных двухполюсников. Рассмотрены основные энергетические режимы проведения измерительных операций, влияющие на достоверность получаемой информации. Предложены пути уменьшения погрешностей при использовании существующих методов проведения измерительных операций. Рассмотрены методы измерения, учитывающие влияние на результаты измерений параметров теплозависимых объектов энергии воздействия измерительной цепи. Приведен анализ влияния рассеиваемой в объекте измерения (ОИ) электрической энергии на достоверность получаемых результатов для одноэлементных и двухэлементных пассивных двухполюсников.

В результате были получены следующие результаты и выводы:

✓ Электрические контактные методы и способы, используемые в настоящее время для измерения электрических параметров биологических и электрохимических объектов, недостаточно хорошо учитывают влияние параметров и режимов работы измерительной цепи на достоверность получаемой измерительной информации. При определении параметров многоэлементных двухполюсников следует использовать аппаратуру, предусматривающую формирование измеряемых величин непосредственно из параметров энергетического воздействия на выходе двухполюсника путем обработки получаемых данных с помощью персонального компьютера. При этом предпочтительнее использовать в качестве информационного параметра рассеиваемую в ОИ активную электрическую мощность (АЭМ), так как в этом случае можно дополнительно контролировать энергетический режим проводимой измерительной операции.

✓ Применение аппаратуры, работающей в режиме малого и короткого внешнего энергетического возмущения, оправдано только при малом влиянии переходных процессов, возникающих в ОИ и в измерительной цепи при введении внешней электрической энергии. А при использовании аппаратуры, работающей в квазистатическом режиме, то есть после окончания переходного процесса установления нового значения термодинамического состояния ОИ, необходимо учитывать рассеиваемую в нем АЭМ. Учет рассеиваемой в ОИ АЭМ можно осуществлять либо итерационными методами, включающими в себя измерение параметров ОИ и изменение по полученным данным энергетического режима измерительной цепи, либо с помощью генераторов заданной электрической мощности.

✓ При измерении параметров электрических цепей (ЭЦ), схема замещения которых представляет собой резистивный двухполюсник, необходимо использовать аппаратуру, работающую с малыми токами и ограниченным временем воздействия на ОИ электрической энергией. Иначе необходимо учитывать погрешность измерения параметров ОИ, связанную с изменением термодинамического состояния измерительной цепи, а соответственно и с изменением удельного сопротивления ОИ. Это связано с тем, что при резистивной схеме замещения ОИ погрешность измерения ее параметров будет непосредственно зависеть от величины изменения температуры ОИ за время проведения измерительной операции $\Delta T = \frac{P(t_1 - t_0)}{H(T)}$, где t_0 – время начала процесса измерения параметров объекта; t_1 – время окончания процесса измерения; $H(T)$ – полная теплоемкость ОИ при температуре T . Это в свою очередь приведет к изменению полного электрического сопротивления измерительной цепи, и, как следствие, к итоговому изменению рассеиваемой в ОИ электрической мощности.

✓ Для уменьшения энергетического влияния измерительного сигнала измерение параметров RC -двухполюсников (параллельное включение емкости и сопротивления) следует проводить на высоких частотах, а RL -двухполюсников (параллельное включение индуктивности и сопротивления) – на низких. Так как в этом случае влияние резистивной составляющей в ЭС ОИ минимально. В противном случае необходимо учитывать рассеиваемую в ОИ АЭМ, приводящую к изменению температуры ОИ и, как следствие, к изменению его теплофизических параметров. Причем при проведении измерительных операций в широком диапазоне частот, необходимо учитывать погрешность, связанную с изменением удельного сопротивления ОИ и являющуюся следствием изменений вносимых в ОИ электрической энергией, рассеиваемой на разных частотах, которая в общем виде определяется исходя из выражения

$$\Delta W_B = [W_B(\omega_1) - W_B(\omega_0)] - [W_P(\omega_1) - W_P(\omega_0)],$$

где $W_B(\omega)$ и $W_P(\omega)$ – соответственно, вносимые в ОИ и рассеиваемые ОИ в

окружающую среду энергии на соответствующих частотах измерительного сигнала ω_1 и ω_0 .

Вторая глава посвящена анализу режимов рассеивания в ОИ электрической мощности. Здесь даны рекомендации по оценке минимального временного интервала между измерительными операциями и описан подход к идентификации параметров теплозависимых объектов на основе информации о рассеиваемой в ОИ АЭМ на разных частотах измерительного сигнала.

В частности для решения задачи идентификации параметров ОИ, предлагается решить систему уравнений типа

$$P(\omega) = I^2 \cdot \operatorname{Re}[Z(\omega)],$$

где I является константой, а закон, характеризующий распределение АЭМ $P(\omega)$, определяется изменением величины активной составляющей комплексного сопротивления ОИ $\operatorname{Re}[Z(\omega)]$ на разных частотах измерительного сигнала ω . Однако решение данной системы возможно только при выполнении условия термодинамического равновесия, когда на разных частотах измерительного сигнала рассеиваемая в ОИ АЭМ остается постоянной

$$P(\omega_0) = P(\omega_1) = \dots = P(\omega_n) = \text{const}.$$

К примеру, приняв равными на разных частотах время процесса измерения и теплоемкость ОИ, в первом приближении можно сказать, что в зависимости от частоты температура ОИ изменится на величину

$$\Delta T = \frac{W_{B_1} [t_1(\omega_1) - t_0(\omega_1)] - W_{B_0} [t_1(\omega_0) - t_0(\omega_0)]}{H},$$

где $t_0(\omega_0)$, $t_1(\omega_0)$ – время начала и окончания процесса измерения параметров объекта на частоте ω_0 ; W_{B_1} и W_{B_0} – активные энергии, вносимые в ОИ на соответствующих частотах ω_1 и ω_0 ; H – полная теплоемкость ОИ. Погрешность измерения параметров элементов двухполюсника будет определяться изменением удельного сопротивления ОИ, связанным с изменением его температуры на величину ΔT . Например, для ОИ, ЭС которого имеет вид параллельно соединенной индуктивности и сопротивления ($R||C$), зависимость рассеиваемой в нем общей АЭМ от частоты измерительного сигнала (при токе в измерительной цепи равном 1 мА и $R = 1$ кОм, $C = 0,1$ мкФ) будет иметь вид, показанный на рисунке 1. Это идеализированная частотная характеристика, отличающаяся от реальной (для которой время проведения измерительной операции равно 0,1 с) на величину $\Delta P(\omega) = I^2 \cdot \Delta \operatorname{Re}[Z(\omega)]$, где $\Delta \operatorname{Re}[Z(\omega)]$, $\Delta P(\omega)$ – изменение активной составляющей импеданса двухполюсника (комплексного сопротивления) и рассеиваемой в нем АЭМ на заданной частоте. Значение $\Delta \operatorname{Re}[Z(\omega)]$ зависит от изменения температуры ОИ на величину ΔT за время проведения измерительной операции, причем в данном случае с увеличением температуры ОИ его активное сопротивление электрическому току также

увеличивается (оно может уменьшаться, например, для биологических ОИ, где при увеличении температуры ОИ срабатывает потовыделительная система организма, существенно уменьшая его активное сопротивление).

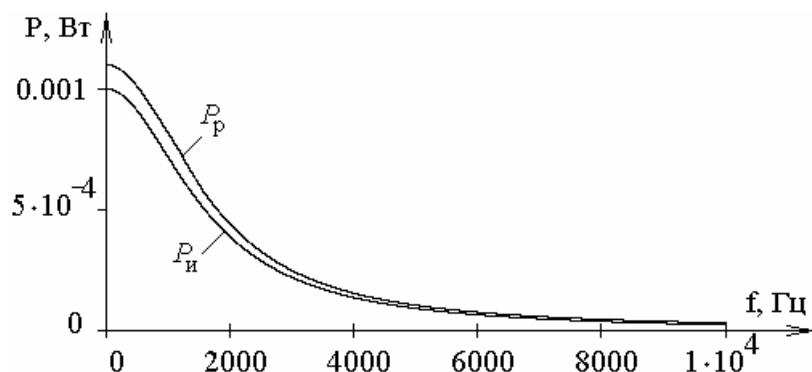


Рисунок 1 – Частный случай реальной и идеальной частотной зависимости рассеиваемой в объекте измерения электрической мощности

Если выразить изменение температуры ОИ от рассеиваемой в нем АЭМ через его теплоемкость, то изменение сопротивления ОИ можно оценить как

$$\Delta Re[\underline{Z}(\omega)] = Re[\underline{Z}(\omega)] \cdot k_{\underline{Z}(\omega)} \left(\frac{P \Delta t}{H} - T_{\text{рас}} \right),$$

где $T_{\text{рас}}$ – величина, на которую изменится температура ОИ из-за поглощения тепловой энергии окружающей средой; $k_{\underline{Z}(\omega)}$ – коэффициент, характеризующий изменение активной составляющей импеданса от температуры ОИ на заданной частоте измерительного сигнала (ТКС); Δt – время проведения измерительной операции; H – теплоемкость ОИ. Таким образом, зная теплоемкость исследуемого ОИ можно оценить погрешность измерения активной составляющей комплексного сопротивления ОИ и определить его реальные значения на разных частотах измерительного сигнала, оценка которых будет вестись с учетом рассеиваемой в ОИ активной электрической энергии.

Так как априорную информацию о параметрах ОИ может нести оценка динамики изменения мгновенных значений его параметров, следует предположить, что при построении измерительной аппаратуры, путем проведения измерительных операций на разных частотах измерительного сигнала, необходимо учитывать время на возврат термодинамического состояния ОИ после проведения измерительной операции к начальным значениям. Это связано с тем, что ОИ с различными теплоемкостями имеют различную постоянную времени изменения температуры, которая зависит как от внешних факторов (окружающая среда) так и от внутреннего строения и реакции ОИ на изменение температуры (биологические объекты).

Так как скорость изменения температуры ОИ зависит от его теплоемкости, представим изменение температуры ОИ при разных рассеиваемых в нем активных электрических мощностях, как показано на рисунке 3.

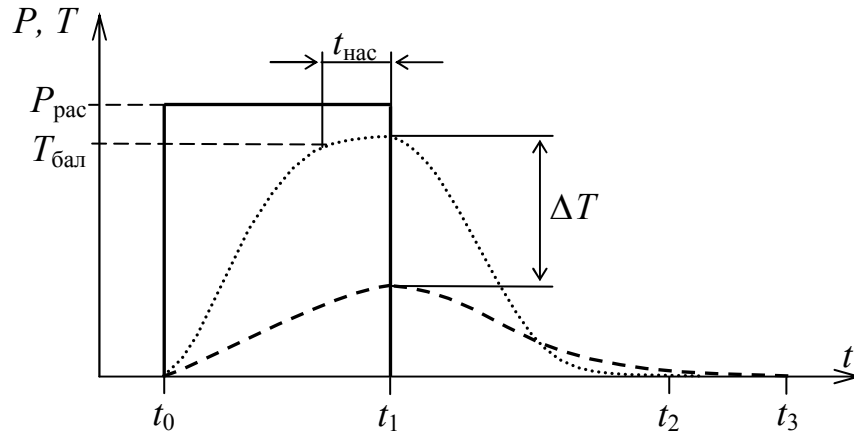


Рисунок 2 – Изменение температуры ОИ с различными теплоемкостями в зависимости от рассеиваемой в них активной мощности

При этом пунктирной линией показана кривая изменения температуры ОИ с меньшей теплоемкостью, а штриховой с большей. Рассеиваемая в ОИ АЭМ показана постоянной в течение всего времени проведения измерительной операции (интервал времени от t_0 до t_1), хотя в реальных объектах, ее значение к концу измерительной операции (момент времени t_1) будет отличаться от значения, которое было в начале (момент времени t_0).

Минимальное время между измерительными операциями должно удовлетворять неравенству $t_{min} > [t_{и} - t_{нас}]$ (где $t_{и}$ – время проведения измерительной операции; $t_{нас}$ – интервал насыщения, в течение которого температура ОИ $T_{бал}$ изменяться не будет). Если минимальное время выразить через коэффициент теплоотдачи α , характеризующий интенсивность теплоотдачи между окружающей ОИ средой и его поверхностью, который связан с темпом охлаждения (нагрева) m соотношением, представленным в виде $\alpha = \frac{G \cdot c}{F} m \frac{1}{\psi}$, где G – масса

ОИ; c – удельная теплоемкость ОИ; F – поверхность ОИ, участвующая в конвективном теплообмене со средой; ψ – коэффициент, учитывающий распределение температур в ОИ. То в идеальном случае при $\psi = 1$ получим

$$t_{min} = \frac{G \cdot c \cdot \ln \Delta T}{\alpha \cdot F},$$

где ΔT – величина, на которую изменилась температура ОИ после окончания воздействия измерительным сигналом.

Структуры большинства двухполюсных эквивалентных схем содержат сочетание включенных последовательно или параллельно пассивных элементов (являющихся активными и реактивными сопротивлениями). Минимальное количество их, характеризующее падение напряжения и электрический ток через конкретный участок сложного нелинейного объекта, включенное так, что у этого сочетания имеется единый электрический ток, протекающий через

объект, в работе предложено называть компонентом ЭЦ (рисунок 3).

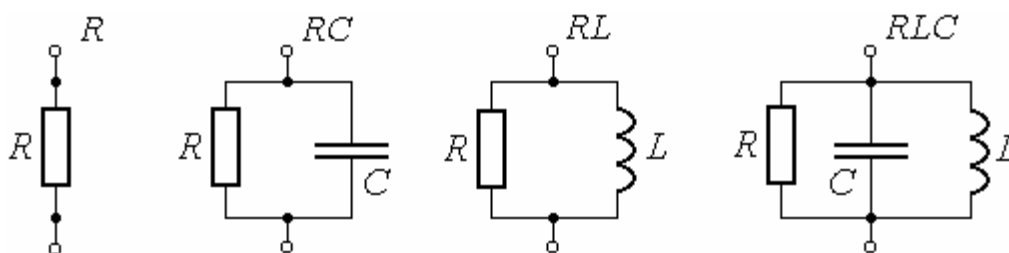


Рисунок 3 – Компоненты электрической цепи

Таким образом, представляя любую эквивалентную схему ОИ в виде набора последовательно соединенных компонентов можно выявить типовые частотные характеристики ЭЦ в виде компонентных мощностей. В связи с этим в работе также описаны компонентные условия идентификации топологии схемы замещения ОИ, под которыми понимается свод правил, позволяющий на основе известных законов электротехники однозначно охарактеризовать наличие того или иного компонента в эквивалентной схеме ОИ.

Так как зависимость рассеиваемой в ОИ АЭМ от частоты измерительного сигнала (ИС) специфична для каждого компонента ЭЦ, то ее топологию можно получить исходя из следующих условий:

I. Если с увеличением частоты ИС значение активной составляющей импеданса двухполюсника уменьшается, то ЭЦ состоит из RC компонента.

II. Если с увеличением частоты ИС значение активной составляющей импеданса двухполюсника увеличивается, то ЭЦ состоит из RL компонента.

III. Если с увеличением частоты ИС значение активной составляющей импеданса двухполюсника увеличивается, а затем уменьшается, то ЭЦ состоит из $R\|L\|C$ компонента.

IV. Если с увеличением частоты ИС значение активной составляющей импеданса двухполюсника уменьшается, а затем увеличивается, то ЭЦ состоит из $R\|LC$ компонента.

V. Если в рамках всего частотного диапазона ИС величина активной составляющей импеданса двухполюсника имеет отличное от нуля значение, то ЭЦ имеет в своем составе R компонент.

Однако этот набор правил идентификации компонентов не является однозначным, поэтому для анализа топологии схемы замещения необходимо учитывать классификационные признаки и следствия. В связи с этим для ЭЦ работающей в режиме, при котором может быть только резонанс токов в работе предложены 12 классификационных признаков, позволяющих однозначно определить топологию схемы замещения ОИ. Проведенный анализ возможных эквивалентных схем ОИ показал, что для большинства компонентов ЭЦ разложение общей рассеиваемой в ОИ активной мощности на более простые компо-

нентные мощности, как правило, удовлетворяет условиям однозначности определения в составе ЭЦ того или иного вида компонента. Таким образом, анализируя частотную зависимость рассеиваемой в ОИ активной мощности можно достаточно точно определить количество и состав компонентов исследуемой электрической цепи.

В третьей главе описаны алгоритмические решения задачи идентификации многоэлементных пассивных двухполюсников разработанные на основе компонентных условий рассмотренных выше. Произведена оценка методов аппроксимации измерительных данных, пригодных для дальнейшего математического анализа. Разработаны подходы к построению математической модели пассивной двухполюсной электрической цепи и рассмотрены возможные пути математического решения задачи идентификации параметров ее элементов. При этом основные результаты и выводы состоят в следующем:

✓ Получаемые в ходе проведения измерительных операций данные, о величине активной составляющей импеданса ОИ, необходимо обрабатывать путем аппроксимации сглаживающими сплайнами, которые возникают при минимизации функционала

$$\Phi(\varphi) = \int_a^b [\varphi''(x)]^2 dx + \sum_{j=1}^N \rho_j^{-1} [\varphi(x_j) - y_j]^2,$$

где $\varphi(x_j)$ – значения сплайна в узлах x_j , $\rho_j > 0$ – заданные весовые коэффициенты. При этом при решении практических задач аппроксимации в некоторых случаях коэффициенты сглаживающего сплайна необходимо выбирать таким образом, чтобы выполнялись условия $|\varphi(x_j) - y_j| \leq \delta_j$, $j = 1, \dots, N$, где δ_j – известные ошибки измерений.

✓ Так как каждому компоненту ЭЦ соответствует определенная функция изменения активной составляющей ее импеданса, то обобщенной функцией изменения активной составляющей импеданса ОИ будет сумма компонентных функций $y = f_1(x) + f_2(x) + \dots + f_n(x)$, где n – количество компонентов схемы замещения ЭЦ, $f_1(x) \dots f_n(x)$ – функции изменения активной составляющей импеданса компонентов ЭЦ. В общем виде эта функция описывает математическую компонентную модель многоэлементных двухполюсников, реальная частотная характеристика импеданса которых определяется выражением $Re[\underline{Z}_{ОИ}(\omega)] = Re[\underline{Z}_1(\omega)] + Re[\underline{Z}_2(\omega)] + \dots + Re[\underline{Z}_n(\omega)]$.

Ввиду того, что основной характеристикой электрической цепи при проведении измерительных операций служит зависимость ее сопротивления от угловой частоты измерительного сигнала $\omega = 2\pi f$, где f – частота измерительного сигнала, то в результате для идентификации электрической цепи с различной топологией достаточно решить систему уравнений вида

$$\left\{ \begin{array}{l} Re[Z_{OI}(\omega_0)] = Re[Z_0(\omega_0)] + Re[Z_1(\omega_0)] + \dots + Re[Z_i(\omega_0)] \\ Re[Z_{OI}(\omega_1)] = Re[Z_0(\omega_1)] + Re[Z_1(\omega_1)] + \dots + Re[Z_i(\omega_1)] \\ \dots \\ Re[Z_{OI}(\omega_{N_{изм}})] = Re[Z_0(\omega_{N_{изм}})] + Re[Z_1(\omega_{N_{изм}})] + \dots + Re[Z_i(\omega_{N_{изм}})] \end{array} \right.$$

где i – количество компонентов ЭЦ, $N_{изм}$ – число измерений равное количеству входящих в состав ЭЦ элементов, таких как R , C , L , соответственно достаточным условием для определения их параметров считается набор из $2N+2K+3M+1$ числа измерений активной составляющей импеданса ОИ $Re[Z_{OI}(\omega)]$, где N – количество RC -компонентов; K – количество RL -компонентов; M – количество RLC -компонентов. Решение этой системы уравнений в общем виде позволяет однозначно определять элементы, входящие в состав схемы замещения ОИ.

В этой главе также приведены примеры алгебраических решений данной системы уравнений для некоторых видов двухполюсных ЭЦ. При этом делается вывод о том, что при решении частной задачи идентификации ЭЦ, описываемой компонентной моделью, необходимо учитывать погрешности, возникающие вследствие принятых допущений к алгебраическим вычислениям, и ошибками, связанными с интерполяцией данных.

Четвертая глава посвящена разработке структур ИИС для идентификации электрических параметров теплозависимых объектов и оценке их функциональных узлов.

Наиболее удобными, с точки зрения работы в составе ИИС с использованием персонального компьютера, являются цифровые генераторы заданной мощности, а для проведения измерений наиболее предпочтителен режим заданного тока. На рисунке 4 представлена одна из рассматриваемых в работе структур ИИС, максимально удовлетворяющая предъявляемым требованиям.

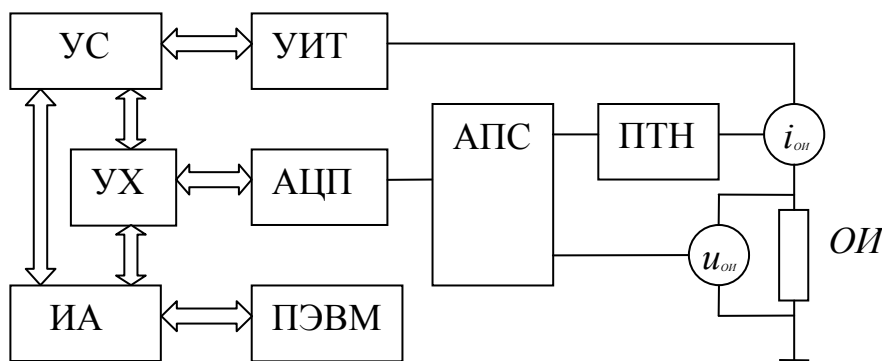


Рисунок 4 – Структурная схема ИИС: УС – устройство сравнения; УИТ – управляемый источник тока; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; УХ – устройство хранения; ИА - интерфейсный адаптер; ПЭВМ – персональный компьютер; АПС – аналоговый перемножитель сигналов; ПТН – преобразователь "ток-напряжение"

Работа предложенной структуры ИИС заключается в проведении ряда

измерительных операций при разных частотах ИС. Основную функциональную роль выполняет персональный компьютер (ПЭВМ), который помимо контроля длительности воздействия ИС на ОИ осуществляет функции преобразователя информации об активной мощности, рассеиваемой в ОИ, в информацию о величине активной составляющей импеданса ОИ. Управляемый источник тока (УИТ) представляет собой генератор синусоидального сигнала, который включен по отношению к ОИ таким образом, что на разных частотах ИС измеряется падение напряжения, созданное в ОИ электрическим током, имеющим фиксированные значения амплитуды, согласно управляющим сигналам, поступающим от устройства сравнения (УС). УС анализирует информацию, поступающую из устройства хранения (УХ), и сравнивает ее с эталонной, которая представляет собой величину рассеиваемой в ОИ активной мощности за интервал времени, в течение которого будет проводиться измерительная операция на заданных частотах. Если за одинаковые отрезки времени проведения измерительной операции на разных частотах ИС, количественная составляющая активной мощности, рассеиваемой в ОИ, отличается от эталонной, замеренной на начальной частоте, то УС вырабатывает управляющий сигнал, который управляет УИТ. В зависимости от направления количественных изменений рассеиваемой в ОИ активной мощности УИТ либо уменьшает амплитуду ИС по току, либо увеличивает ее. В результате в ОИ поддерживается квазипостоянный режим заданной активной мощности.

Содержательная логическая схема алгоритма (СЛСА) режима воздействия заданной активной мощностью для описанной выше структуры имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & \Phi(B)\Phi(j := 1) \prod_1 I(R_{RAM} : z_U) I(z_U) I(z_U/x_U) I(x_U/x_0) \left[I(x_0/x_{10}) I(x_{10}/x_{11}) \right] \times \\ & \times I(x_0/x_{20}) \left[I((x_{11} \cdot x_{20})/x_P) I(x_P/z_P) I(S : z_P, D_P) \varphi_{RAM_1}(R) \varphi_{ЭВМ}(S) \times \right. \\ & \left. \times I(S_{RAM_1} : S_{RAM}) \omega(j := 0) \right] \prod_1 I(S_{МД} : Z) I(CP : Z) I(W_D : Z) I(CH : X) \Phi(E) \end{aligned}$$

При этом погрешность ИИС складывается из погрешностей АЦП, перемножителя сигналов, преобразователя тока в напряжение и УИТ. Проведенный анализ функциональных узлов показал, что основная составляющая погрешности сводится к погрешности первичного преобразователя измеряемой величины и зависит от выбора динамического диапазона изменения активного сопротивления ОИ. Так, при скорости изменения нагрузки 10 кОМ/мкс быстродействие первичного преобразователя должно быть не хуже 0,1 В/мкс.

Так как ПЭВМ аппроксимирует полученные данные сглаживающими сплайнами, то погрешность также будет зависеть от величины весовых коэф-

фициентов аппроксимации ρ_i в соответствии с зависимостью $\delta = \frac{2\rho_i}{N+i}$, где N –

реальное количество измерений, i – минимальное количество измерительных операций. Более того, для интерполяционного полинома Лагранжа эффективнее использовать разбивку на интервалы интерполяции T_0, T_1, \dots, T_{n-1} ($\sum_{i=0}^{n-1} T_i = T_{\text{int}}$),

в этом случае оптимально используется степенная эффективность данного метода. При этом на каждом из фрагментов измерительных данных восстанавливается информация в виде одного полинома некоторой оптимальной степени. В приведенных в работе решениях частных задач идентификации электрических параметров ОИ также используется такая разбивка на полиномы с меньшей степенью. Количество таких участков интерполяции может быть не ограничено, но имеет смысл привязывать их к количеству компонентов исследуемой электрической цепи.

Исходя из этого, проведенный анализ показал, что предложенные структуры ИИС позволяют получать и обрабатывать информацию о параметрах теплозависимых объектов с приемлемой точностью.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведен анализ влияния энергетических режимов измерительной цепи на достоверность получаемой измерительной информации и даны рекомендации по ее увеличению. В частности предложено при использовании известных подходов к идентификации электрических параметров теплозависимых объектов учитывать изменение температуры ОИ, вызванное рассеиваемой в нем АЭМ, и обеспечивать постоянство его термодинамического состояния. При этом установлено, что в случае постоянства рассеиваемой в ОИ АЭМ во всем диапазоне рабочих частот, на которых проводятся измерительные операции, влияние нелинейности электрических параметров исследуемых объектов существенно уменьшается.

2. Сделан вывод о том, что при проведении многократных измерений необходимо учитывать изменение термодинамического состояния ОИ, и выработаны рекомендации по оценке минимального временного интервала между измерительными операциями, которые сводятся к тому, что достоверность измерений может обеспечиваться только при условии возврата термодинамического состояния ОИ к начальным значениям.

3. Предложена и обоснована методика идентификации электрических параметров теплозависимых объектов, на основе информации о количественной составляющей рассеиваемой в них АЭМ, получаемой на разных частотах ИС. Данная методика позволяет определять параметры теплозависимых объектов, ЭС которых имеют в своем составе более четырех элементов.

4. Предложена методика алгоритмического синтеза топологии многоэлементных электрических ЭС исследуемого объекта и разработаны правила

построения алгоритмов, которые сводятся к анализу зависимостей рассеиваемой в ОИ АЭМ от частоты измерительного сигнала, характеризующих свойства элементов, входящих в состав электрической ЭС исследуемого объекта.

5. Предложена методика построения математических моделей исследуемых объектов, основанная на информации о топологии их электрической эквивалентной схемы. Выработаны рекомендации и рассмотрены частные случаи решения задачи идентификации при использовании многоточечной интерполяции данных с помощью полинома Лагранжа.

6. Разработана структура и произведена оценка функциональных узлов ИИС, позволяющей идентифицировать топологию и определять параметры многоэлементных электрических схем замещения исследуемых теплозависимых объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В НАУЧНЫХ ЖУРНАЛАХ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ ВАК:

1. Гусев В.Г., Мирин Н.В., Черников И.Г. Особенности получения измерительной информации о параметрах сложных теплозависимых многоэлементных двухполюсников // Измерительная техника. 1999. – №2. – С. 40-45.

2. Гусев В.Г., Зеленов С.А., Мирин Н.В., Черников И.Г. Принципы построения и структуры электронных измерительных генераторов заданной электрической мощности // Измерительная техника. 1999. – №4. – С. 26-31.

ДРУГИХ ИЗДАНИЯХ:

3. Оценка минимального времени между измерительными операциями по получению информации о параметрах теплозависимых объектов / Черников И.Г., Мирина Т.В. // Электротехнические комплексы и системы: Межвуз. науч. сб. УГАТУ. – Уфа, 2007. – С.156-160.

4. Цифровые генераторы заданной мощности и их технические возможности в составе многорежимных ИИС / Зеленов С.А., Черников И.Г. // Измерительные преобразователи и информационные технологии: Межвуз. науч. сб. УГАТУ. – Уфа, 1998. – С.150-155.

5. Достоверность измерительной информации, получаемой при электрических измерениях параметров теплозависимых объектов / Зеленов С.А. Мирина Т.В., Черников И.Г. // Измерительные преобразователи и информационные технологии: Межвуз. науч. сб. УГАТУ. – Уфа, 1999. – С. 25-34.

6. Информационно-измерительная система медицинского назначения / Мирин Н.В., Черников И.Г. // Измерительные преобразователи и информационные технологии: Межвуз. науч. сб. УГАТУ. – Уфа, 1999. – С. 139-145.

7. Мулик А.В., Черников И.Г. Вопросы обработки электрических сигналов локальных зон кожного покрова // Новые методы, технические средства и технологии получения измерительной информации: Материалы Всероссийской

НТК. – Уфа, 1997. – С. 32.

8. Мулик А.В., Черников И.Г. Метод улучшения качества получения информации об электрических параметрах кожного покрова // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления: Материалы X Юбилейной НТК с участием зарубежных специалистов. – Гурзуф, 1998. – С. 109-111.

9. Мулик А.В., Черников И.Г., Мирин Н.В. Системы сбора информации об электрических параметрах биологических организмов // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления: Материалы X юбилейной НТК с участием зарубежных специалистов. – Гурзуф, 1998. – С. 328-330.

10. Мулик А.В., Черников И.Г. Система сбора и обработки информации об электрических параметрах локальных зон кожного покрова // Проблемы авиации и космонавтики, и роль ученых в их решении: Материалы НТК. – Уфа, 1998.

11. Черников И.Г. К вопросу разработки электродиагностических систем // Проблемы авиации и космонавтики, и роль ученых в их решении: Материалы НТК. – Уфа: УГАТУ, 1998. – С. 80.

12. Зеленов С.А., Черников И.Г. Измерительные генераторы заданной электрической мощности и их технические возможности // Будущее информатики, космического, авиационного и медицинского приборостроения: Материалы Первая международная школа-семинар. – СПб, 1998.

13. Зеленов С.А., Черников И.Г. Перспективный способ измерения электрических параметров кожного покрова // Состояние и проблемы технических измерений: Материалы V всероссийской НТК. – М., 1999.

14. Зеленов С.А., Мулик А.В., Черников И.Г. Увеличение достоверности измерительной информации, получаемой при электрических измерениях параметров тепловых объектов // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления: Материалы XII НТК с участием зарубежных специалистов (Датчик-2000). Под ред. профессора В.Н. Азарова. – М.: МГИЭМ, 2000. – С. 227-228.

15. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. №950026. Диалоговая среда для обработки результатов измерений характеристик ферромагнитных материалов / Мулик А.В., Черников И.Г., Гусева Т.В., выдано РосАПО 30.01.95.

16. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №970262. Диалоговая среда обработки результатов прямых и косвенных измерений / Мулик А.В., Черников И.Г., выдано РосАПО 13.06.97.

17. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №990116. Редактор тестов / Мулик А.В., Черников И.Г., выдано РОСПАТЕНТ 05.03.99.

Черников Илья Геннадьевич

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ТЕПЛОЗАВИСИМЫХ ОБЪЕКТОВ С МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ
СХЕМОЙ ЗАМЕЩЕНИЯ

(Измерительные операции, развитие теории,
исследование и разработка)

Специальность 05.11.16 «Информационно-измерительные
и управляющие системы»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 29.05.2007. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,0. Усл.кр.-отт. 1,0. Уч.-изд.л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 211.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12