

4430448
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

БСАХИС МИХАИЛ БОРИСОВИЧ

УДК 615.471.03:616

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВРЕМЕННОГО
РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ В РЕОГРАФИИ

Специальность: 05.11.17 - медицинское приборостроение

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1985

Работа выполнена в Томском политехническом институте
им. С.М.Кирова.

Научный руководитель - д.т.н., профессор, заслуженный деятель
науки и техники РСФСР АНАНЬЕВ Л.М.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор БОЕВИН В.И.
к.т.н., доцент ПОДЛЕПЕЦКИЙ Б.И.

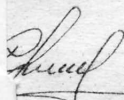
Ведущее предприятие - ВНИИИМТ г. Москва

Защита диссертации состоится "19" 06 1985 г.
на заседании специализированного совета К.053.15.17 в
Московском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана
по адресу: 107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв в 1-м экземпляре, заверенный печатью, просим
выслать по указанному адресу.

библиотеке МВТУ

985 г.

 В.П.Жаров

М 430448

нап rint ТПИ

чати II.05.85

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В медицине и физиологии изучение сердечно-сосудистой системы занимает ведущее место, что объясняется не только значительным удельным весом заболеваний, связанных с ее нарушениями, но и той важнейшей ролью гемодинамики в поддержании гомеостаза и нормального функционирования всего организма, которую она выполняет путем адекватного снабжения органов и тканей кислородом, питательными веществами и своевременным удалением отходов. Для исследования гемодинамики в клинических и научных целях наиболее широко используется реографический метод, позволяющий неинвазивно, оперативно и комфортно получать достоверные и воспроизводимые результаты, характеризующие кровоток различных сосудистых зон пациента. Диагностическая ценность реографического обследования значительно возрастает при одновременной регистрации реосигналов (РС) с нескольких участков биообъекта (БО) ввиду возможности получения при этом уникальной информации о распределении и циркуляции крови в организме, однако многоканальные биоимпедансные измерения сопровождаются взаимовлиянием каналов через БО, вызывающем снижение достоверности получаемых результатов. Применяемые в реографической аппаратуре (РА) методы ослабления межканальных помех - частотное и гальваническое разделение каналов, модифицированный потенциометрический метод - не удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к метрологии биоимпедансных измерений, поскольку они либо недостаточно универсальны, либо не обеспечивают сопоставимости результатов разных каналов и не исключают взаимовлияния между ними.

В литературе высказывались предположения о возможности использования временного разделения каналов (ВРК) РА для регистрации полиреограмм, однако библиография по данному вопросу чрезвычайно скудна и совершенно не содержит работ исследовательского характера, а единичные предложения по техническим решениям не учитывают специфики ВРК в биоимпедансных измерениях и свидетельствуют об отсутствии сколь-нибудь обоснованного подхода к оценке возможностей указанного метода в реографии и к разработке РА, его реализующей. Таким образом, принимая во внимание вышеизложенное, решение вопросов, связанных с применением ВРК в биоимпедансных измерениях, представляет несомненный научный и практический интерес.

Цель работы. Целью настоящей работы является исследование

I



M430448

1430448
Психис М. Б. Исследование и

НТБ МВТУ им. Н. И. Баумана



особенностей и возможностей метода ВРК в реографии и определение оптимальных условий его применения и технической реализации в многоканальных приборах для биоимпедансных измерений.

В работе решались следующие основные задачи:

1. Исследование метрологических аспектов реографического обследования при негармонических зондирующих токах (ЗТ) путем оценки влияния спектральных показателей ЗТ и характеристик тракта РА на точность измерения информативных параметров импеданса БО и определение оптимальных условий регистрации РС при зондировании БО токами со сложным спектральным составом.

2. Выбор формы и показателей импульсных ЗТ и тракта РА, обеспечивающих необходимую для практических целей точность и помехозащищенность реографических измерений в режиме ВРК.

3. Исследование воздействия выбранных импульсных ЗТ на организмы.

4. Анализ особенностей технической реализации РА с ВРК и исследование возможностей улучшения ее метрологических, эксплуатационных и экономических показателей.

5. Разработка и экспериментально-клиническая апробация опытных образцов РА с ВРК.

Методы исследований. Поставленные задачи, исходя из взглядов на медицинскую аппаратуру как на элемент биотехнической системы (БТС) БО-прибор-врач, решались с позиций теории БТС, разрабатываемой в настоящее время в МВТУ им. Н.Э.Баумана и ЛЭТИ им. В.И.Ульянова (Ленина). В теоретических исследованиях использованы методы математического моделирования, теоретической электротехники (операционное исчисление, спектральный анализ и др.), а также численный эксперимент на ЭВМ. Изучение биофизических аспектов режима ВРК базировалось на положениях физиологии возбуждения, результаты натурных экспериментов обработаны статистическими методами.

Научная новизна. Впервые исследованы:

1. Метрологические аспекты биоимпедансных измерений при ЗТ негармонической формы. Установлено, что обеспечение при этом измерения гемодинамических характеристик БО с точностью на уровне синусоидального режима зондирования возможно только в случае, когда энергетический спектр ЗТ или полоса пропускания высокочастотного (ВЧ) тракта РА не превосходят по ширине и полностью совмещены с диапазоном частот, границы которого зависят в основном от площади и состояния контактов электродов с тканью и величины

паразитных емкостей входных цепей прибора. Получены аналитические выражения, позволяющие определить границы указанного диапазона в зависимости от характеристик системы электрод-БО-электрод (ЭБЭ), показано, что последние составляют обычно 30-50 и 200-400 кГц.

2. Особенности географических измерений в режиме ВРК. Обоснована необходимость:

- использования ЗТ, имеющих вид модулированных или манипулированных радиоимпульсов, длительность и частота следования которых при требуемом для практических целей числе каналов РА (до 10) составляют 0,2-1,0 мс и 200-300 Гц соответственно; скважность равна числу каналов РА, частота ВЧ заполнения лежит в диапазоне 40-150 кГц, а его начальная фаза строго стабильна от периода к периоду ЗТ и равна или близка к нулю. Получены выражения для определения показателей зондирующих радиоимпульсов в зависимости от количества каналов РА, характеристик РС и РА;

- введения в состав ВЧ тракта РА с ВРК полосового фильтра с АЧХ, симметричной относительно частоты заполнения радиоимпульсов, ФЧХ - в виде произвольно ориентированной прямой линии и с полосой пропускания, соизмеримой по ширине с энергетическим спектром импульсного ЗТ.

С позиций теории БТС и физиологии возбуждения изучены биофизические аспекты зондирования БО токами выбранной формы. Установлено, что при одинаковой с гармоническим ЗТ частоте заполнения радиоимпульсов их пороговая интенсивность выше на 15-40% (в зависимости от длительности импульсов), причем в требуемом для ВРК диапазоне значений показателей ЗТ их раздражающее действие не зависит от скважности, формы фронтов и начальной фазы заполнения радиоимпульсов. Показано, что данное обстоятельство может быть использовано для повышения помехозащищенности географического обследования в режиме ВРК.

Практическая ценность. Разработан и обоснован метод ВРК в географии. Определены реальные возможности данного метода, предложен аргументированный и верифицированный подход к разработке РА, его реализующей. Показано, что при соответствующем выборе показателей ЗТ и тракта РА ВРК обеспечивает высокую точность географических измерений при сопоставимости результатов разных каналов и при полном отсутствии взаимовлияния между ними, чем выгодно отличается от используемых на практике способов регистрации полиреограмм. Исследованы вопросы технической реализации

РА с ВРК на современной элементной базе, предложены решения, позволяющие повысить метрологические, эксплуатационные и экономические характеристики данного типа РА. Спроектированы, изготовлены и апробированы в клинике экспериментальные образцы РА с ВРК.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на научных семинарах кафедр "Биомедицинские технические системы и устройства" МВТУ (Москва, 1984, 1985), "Промышленная и медицинская электроника" ТПИ (Томск, 1984), лаборатории "Прикладная физиология" НИИ КПГ и ПЗ АН СССР (Новокузнецк, 1983), а также на пленуме Проблемной комиссии по адаптации человека (СО АМН СССР, МЗ РСФСР, МВ и ССО РСФСР, Томск, 1984) и на Всесоюзных научно-технических конференциях "Измерения в медицине и их метрологическое обеспечение" (Москва, 1983), "Проблемы техники в медицине" (Томск, 1983), "Проблемы создания технических средств для диагностики и лечения сердечно-сосудистой системы" (Львов, 1983), "Вопросы разработки и внедрения радиоэлектронных средств при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний" (Свердловск, 1984).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы (131 наименования) и приложений. Содержит 148 страниц текста, 50 рисунков, 8 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе на основании литературных данных рассмотрены вопросы, касающиеся современного состояния и места реографии в арсенале средств функциональных исследований, технических и методических аспектов биоимпедансных измерений.

Показано, что вследствие таких достоинств, как биофизическая обоснованность, неинвазивность и универсальность, а также оперативность, комфортность и информативность обследования реографический метод получил широкое применение для решения различных клинических и научных задач. Отмечено значительное возрастание информативности результатов при одновременной регистрации РС с нескольких участков тела, что позволяет получать чрезвычайно важную информацию о распределении и циркуляции крови в организме.

Исходя из современных представлений об информативности характеристик импеданса БО для целей гемодинамических исследований, и принимая во внимание распространенные на практике реографичес-

кие методики и подходы к анализу РС, сформулированы требования к РА и оценена возможность их аппаратурной реализации. На основании анализа технических и методических решений, используемых в РА, показано, что их применение может обеспечить требуемые метрологические и эксплуатационные показатели РА, однако лишь в условиях одноканальной регистрации РС, поскольку при полиреографическом обследовании взаимовлияние каналов через БО вызывает существенное снижение достоверности получаемых результатов.

Рассмотрены используемые в РА методы ослабления межканальных помех (частотный, гальванический, модифицированный потенциометрический), отмечены их основные недостатки. В частности, при частотном разделении каналов обеспечение сопоставимости результатов измерений обуславливает необходимость применения в разных каналах ЗТ с близкими частотами, однако в этом случае взаимовлияние каналов остается значительным вследствие неидеальности характеристик реальных фильтров, причем взаимодействие ЗТ с близкими частотами может явиться источником ошибок, исключающих регистрацию РС. Эффективность гальванического разделения каналов РА, осуществляемого по цепям питания и (или) подключения обследуемого, обычно невысока ввиду затекания ЗТ в соседние области БО. Что касается модифицированного потенциометрического способа, позволяющего полностью устранить взаимовлияние каналов, то создание общей для желаемого числа каналов цепи протекания ЗТ не всегда осуществимо вследствие структурных особенностей БО, поэтому применение данного метода ограничено в основном реовазографией. Недостатки указанных способов многоканальной регистрации РС заставляют искать более совершенные методы разделения каналов РА.

Возможным путем осуществления полиреографического обследования может являться ВРК РА. Однако данный метод имеет ряд особенностей, обусловленных импульсной формой, и, как следствие, немонохроматическим спектральным составом ЗТ, принципиально отличающих ВРК от других способов разделения каналов РА. Отсутствие в литературе работ, касающихся как вопросов биоимпедансных измерений при ЗТ со сложным спектральным составом и в режиме ВРК в частности, так и подхода к разработке РА с ВРК, послужило основанием для проведения в данном направлении исследования, результаты которого представлены в следующих главах.

Вторая глава посвящена определению оптимальных условий реографических измерений при негармонических ЗТ. Необходимость данного исследования обусловлена тем, что эффекты взаимодействия ЗТ

со сложным спектральным составом с комплексным импедансом системы ЭБЭ могут вызвать частотно-фазовые искажения сигналов и закономерное снижение достоверности результатов обследования.

Учитывая сложность решения поставленной задачи путем натурных экспериментов ввиду необходимости формирования ЗТ с заданными спектральными показателями и обеспечения их высокой стабильности (порядка 0,001%), для проведения данного исследования была разработана математическая модель реографических измерений при негармонических ЗТ, базирующаяся на известной схеме замещения системы ЭБЭ при биполярном отведении РС и на синтезированной на ее основе с использованием экспериментального материала эквивалентной схеме системы ЭБЭ при тетраполярном съеме РС. Применение схем замещения, адекватно отражающих частотные свойства системы ЭБЭ в соответствующих режимах отведения РС, позволило воспользоваться для определения оптимальных условий реографических измерений при негармонических ЗТ математическим аппаратом теоретической электротехники. На основании анализа схем замещения системы ЭБЭ и результатов численных экспериментов, проведенных на ЭВМ и направленных на оценку влияния спектральных показателей ЗТ и входного тракта РА на точность определения активного сопротивления внутренних тканей БО, являющегося наиболее адекватным электрическим эквивалентом объемного кровотока, установлено:

1. Использование в РА негармонических ЗТ может явиться причиной значительного увеличения погрешности реографических измерений по сравнению с синусоидальным режимом зондирования БО.

2. Снижению указанной погрешности способствует сужение спектра ЗТ или полосы пропускания В1 тракта РА, при этом обеспечение точности реографических измерений на уровне синусоидального режима зондирования возможно только в случае, когда энергетический спектр ЗТ или полоса пропускания В1 тракта РА не превосходят по ширине и полностью совмещены с диапазоном частот, границы которого f_H и f_B удовлетворяют условию

$$\frac{1}{\pi R_{БЭ}^{min} C_K} < f_H < f_B < \frac{1}{2\pi R_{БЭ}^{max} C_n^{\Sigma}} \quad (1)$$

где $R_{БЭ}^{min}$ и $R_{БЭ}^{max}$ - минимальное и максимальное значение измеряемого сопротивления внутренних тканей, C_n^{Σ} - суммарная паразитная емкость цепей РА, C_K - емкость контакта электрод - ткань (З - Т),

$\pi = 3,14...$ Показано, что в реальных условиях реографическо-

го обследования f_H и f_B обычно составляют 30-50 и 200-400 кГц.

3. При негармонических ЗТ тетраполярное отведение РС обеспечивает, как и при синусоидальном режиме зондирования, существенно более высокую точность определения R_{BO} по сравнению с биполярным. Исключение возможно лишь в ситуации, когда энергетический спектр ЗТ многократно перекрывает указанный диапазон частот со стороны его верхней границы, что объясняется повышенной паразитной емкостью четырехэлектродной системы, оказывающей шунтирующее действие на ВЧ часть спектров ЗТ и входного сигнала.

В третьей главе на основании полученных результатов произведен и обоснован выбор показателей ЗТ и ВЧ тракта РА с ВРК.

Рассмотрены особенности многоканальных реографических измерений при негармонических ЗТ. Показано, что при зондировании БО импульсными токами ограничение полосы пропускания ВЧ тракта РА с целью выделения участка спектра входного сигнала или увеличения помехозащищенности эквивалентно пропусканию через ~ 0 тока в интервале между импульсами, вследствие чего возможно взаимовлияние каналов РА даже при их временном разделении. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости выбора полосы пропускания ВЧ тракта РА с учетом спектральных характеристик импульсных ЗТ и о допустимости использования в качестве последних только сигналов, энергетический спектр которых может быть полностью совмещен с диапазоном частот, определяемым условием (I).

Исходя из вышеизложенного оценена пригодность основных классов импульсных сигналов — видео- и радиоимпульсов для зондирования БО в режиме ВРК. С использованием методов спектрального анализа обоснована необходимость применения в РА с ВРК ЗТ, представляющих собой последовательность модулированных или манипулированных радиоимпульсов, поскольку при выборе характеристик ЗТ по критерию максимально возможного совмещения их спектров с указанным оптимальным диапазоном частот (условие (I)) радиоимпульсы обеспечивают в 30-200 раз более узкий спектр по сравнению с видеоимпульсами.

Исследованы особенности зондирования БО радиоимпульсами, оценено влияние их показателей на точность реографических измерений. Показано, что в режиме ВРК минимальную погрешность обеспечивают модулированные радиоимпульсы с пологими фронтами и плоской вершиной, имеющие синусоидальное заполнение с частотой несколько десятков кГц, начальная фаза которого строго стабильна от периода к периоду ЗТ и близка или равна нулю, а длитель-

ность T_p , скважность Q_p и частота следования радиопульсов F_p находятся из следующих выражений:

$$T_p = \frac{1}{2F_{pc}(K_{pa}-1)K_I} ; \quad Q_p = K_{pa} ; \quad F_p = \frac{1}{T_p K_{pa}}$$

где F_{pc} - частота высшей гармоники РС (30-40 Гц), K_{pa} - число каналов РА, K_I - корректирующий коэффициент, учитывающий способ последующего восстановления непрерывного РС по его дискретным значениям и равный 3-10 для обычных ФНЧ и 1,2-1,5 при обработке импульсных сигналов методами интерполяции и экстраполяции. Учитывая известные технические сложности формирования указанных ЗТ ввиду необходимости прецизионной модуляции сигналов в тракте РА, обоснована допустимость и целесообразность применения в РА с ВРК гораздо более простых в получении манипулированных радиопульсов, энергетический спектр которых хотя и превосходит по ширине спектр модулированных ЗТ, однако при требуемом для практических целей числе каналов значительно уже оптимального диапазона частот и, следовательно, может быть полностью с ним совмещен.

Исследованы эффекты взаимодействия выбранных импульсных ЗТ с импедансом системы ЭБЗ. С использованием методов операционного исчисления установлено, что в режиме ВРК на вход измерительных трактов наряду с полезным сигналом (последовательность радиопульсов с амплитудой, пропорциональной текущему значению импеданса системы ЭБЗ) поступают аддитивные помехи, представляющие собой последовательности видеопульсов, формой, близкой к экспоненциальной. Показано, что данные помехи, являющиеся результатом взаимодействия ЗТ с импедансом системы ЭБЗ, могут вызвать значительные искажения и даже полностью исключить регистрацию РС ввиду чрезвычайно малой амплитуды последнего, однако, принимая во внимание разнесённость спектров полезного сигнала и указанных аддитивных помех, их возмущающее действие может быть устранено практически полностью путем частотной фильтрации.

Рассмотрены особенности фильтрации в ВЧ тракте РА с ВРК. Установлено, что обеспечение предельной для режима ВРК точности и помехозащищенности географических измерений при полном отсутствии взаимовлияния каналов достижимо при включении в состав ВЧ трактов РА с ВРК селективных звеньев, имеющих АЧХ резонансного типа, симметричную относительно частоты заполнения зондирующих радиопульсов, ФЧХ - в виде произвольно ориентированной прямой линии, и полосу пропускания, соизмеримую по ширине с энергетиче-

ческим спектром ЗТ. Обоснована, при наличии в ВЧ тракте РА указанного полосового звена, целесообразность заполнения радиоимпульсов сигналами в виде меандра или ограниченной синусоиды, что позволяет повысить стабильность ЗТ. Полученные с теоретических позиций требования к ЗТ и тракту РА верифицированы численными и натурными экспериментами, результаты которых свидетельствуют о практически одинаковых метрологических характеристиках синусоидального и выбранного импульсного режимов зондирования и подтверждают тем самым правильность предложенного подхода к выбору показателей ЗТ и РА с ВРК.

Принимая во внимание необходимость системного биомедицинского подхода к разработке приборов медицинского назначения, исходя из положений теории БТС и физиологии возбуждения, проведено на специально изготовленном стенде экспериментальное исследование воздействия ЗТ при ВРК на организм. Установлено, что раздражающее действие гармонических и выбранных импульсных ЗТ весьма близко, причем пороговая интенсивность последних на 15-40% (в зависимости от длительности импульсов) выше, чем у гармонических ЗТ. Показано, что данное обстоятельство может быть использовано для улучшения помехозащищенности географических измерений в режиме ВРК, не приводя к нарушению принципа адекватности звена БТС БО-РА с ВРК.

В четвертой главе рассмотрены вопросы аппаратурной реализации РА с ВРК, особенности которой связаны с необходимостью:

- формирования и обработки в тракте РА импульсных сигналов;
- восстановления непрерывного РС по его дискретным значениям;
- устранением дестабилизирующего воздействия эффектов взаимодействия импульсных ЗТ с импедансом системы ЭБЗ, статических и динамических коммутационных искажений.

Показано, что специфика режима ВРК в первую очередь отражается на структуре ВЧ части РА, осуществляющей генерирование ЗТ требуемой формы и предварительную обработку импульсных сигналов, при этом наиболее простым и рациональным путем формирования ЗТ является последовательное подключение зондируемых цепей к выходу генератора стабильного переменного тока, осуществляемое посредством аналоговых ключей (АК). Так как коммутация сигналов неизбежна в РА с ВРК, а реальные АК всегда служат источником статических и динамических коммутационных искажений, произведен анализ различных типов АК, выявивший несомненные преимущества АК на КМОП структурах в интегральном исполнении для использования в

РА с ВРК, применение которых обеспечивает минимальный уровень динамических коммутационных помех и позволяет предельно просто реализовать специфические узлы данного типа РА.

На разработанной модели системы РА с ВРК-ЕО исследованы статистические погрешности реографических измерений, обусловленные токами утечки разомкнутых АК. Установлено, что на величину указанных погрешностей наряду с остаточными параметрами АК оказывают влияние и наводки из соседних каналов. Получены аналитические выражения для оценки статистических погрешностей, расчетным и экспериментальным путем установлено, что значения последних для выбранных АК даже в предельно неблагоприятной ситуации не превышают при требуемом для практических целей числе каналов РА 1%, в реальных же условиях полиреографического обследования имеют значительно меньшую величину. Показано, что вследствие систематического характера возможна частичная компенсация статистических погрешностей без усложнения РА.

Принимая во внимание чрезвычайно малую амплитуду пульсовых колебаний импеданса ЕО, обоснована необходимость принятия дополнительных мер по ослаблению динамических коммутационных помех. Показано, что наиболее эффективным и рациональным путем устранения их воздействия на РС является включение упомянутого ранее полосового фильтра между АК и выходом ВЧ тракта РА, поскольку спектр названных помех совмещен со спектром аддитивных наложений на полезный сигнал, обусловленных эффектами взаимодействия импульсных ЗТ с импедансом системы ЭБЭ. Помимо фильтрации ослаблению коммутационных и внешних помех способствует выполнение генератора ЗТ и входных усилителей с симметричными выходом и входами соответственно.

Исследованы особенности работы НЧ тракта РА в режиме ВРК. Обоснована допустимость и целесообразность его реализации в традиционной для РА конфигурации – амплитудный детектор и УНЧ или УПТ с ограниченной на уровне верхней гармоники спектра РС полосой пропускания. С учетом амплитудных и временных характеристик РС определены требования к показателям указанных блоков. Установлено, что для неискаженного восстановления непрерывного РС в режиме ВРК во всем диапазоне его возможных значений и для обеспечения при этом отношения сигнал/шум не хуже 55–60 дБ необходимо и достаточно использование амплитудного детектора с постоянной времени 2–4 с и ФНЧ второго порядка с частотой среза 30–50 Гц.

На основе проведенных исследований разработаны функциональные

и принципиальные схемы (наиболее простой вариант приведен на рис.1), на примере которых показано, что аппаратная реализация РА с ВРК возможна на основе простых технических решений, не приводящих к ее усложнению по сравнению с другими типами многоканальной РА.

Рассмотрены пути улучшения метрологических и эксплуатационных показателей РА с ВРК. Предложены схмотехнические решения, эффективность которых подтверждена экспериментально, позволяющие практически устранить влияние нестабильности ЗТ на качество регистрации РС в режиме ВРК и лишь незначительно отражающиеся на сложности аппаратной реализации РА с ВРК. Учитывая, что одновременное отведение рео- и электрокардиосигналов (ЭКС) не только создает предпосылки для автоматизированной обработки РС, но и способствует увеличению поступающей исследователю информации, качественно меняя ее характер за счет возможности сопоставления различных сторон сердечной деятельности, уделено внимание вопросам неискаженного съема ЭКС в процессе реографического обследования. Предложено решение, позволяющее повысить комфортность и оперативность электрофизиологического обследования, направленного на исследование электрической активности и насосной функции сердца, путем одновременной регистрации с общей электродной системы интегральной реограммы тела (по М.И.Тищенко) и ЭКС в стандартных и усиленных отведениях. Простыми схмотехническими приемами достигнуто полное удовлетворение противоречивых требований, предъявляемых рео- и электрокардиографической методиками к электродной системе, обеспечено отсутствие взаимовлияния между ЭКС и РС и высокое качество их регистрации. Обоснована целесообразность и эффективность применения предложенного решения в медицинской аппаратуре, предназначенной для контроля и оценки состояния пациента в условиях дефицита времени.

С учетом полученных результатов разработаны и изготовлены экспериментальные образцы РА с ВРК, выполненные по III классу электробезопасности (питание от аккумуляторов напряжением 9 В), которые прошли клиническую апробацию в лечебных и научных учреждениях г. Томска, Норильска, Новокузнецка и Красноярска. Результаты испытаний подтверждают справедливость сделанных в работе заключений и свидетельствуют о преимуществах метода ВРК по сравнению с распространенными способами полиреографического обследования, поскольку последний обеспечивает достоверность и сопоставимость получаемых данных при полном отсутствие взаимовлияния между каналами.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. С учетом теории БТС разработан и обоснован метод временно-го разделения каналов в биоимпедансных измерениях. Показано, что при соответствующем выборе показателей ЗТ и реографического тракта данный метод обеспечивает получение достоверных и сопоставимых результатов при полном отсутствии взаимовлияния каналов независимо от локализации электродов, чем выгодно отличается от используемых на практике способов полиреографического обследования.

2. Исследованы метрологические аспекты реографических измерений при ЗТ негармонической формы. Установлено, что обеспечения при этом точности измерения гемодинамических показателей БО на уровне синусоидального режима зондирования возможно только в случае, когда энергетический спектр ЗТ или полоса пропускания ВЧ тракта РА не превосходят по ширине и полностью совмещены с диапазоном частот, границы которого зависят в основном от площади и состояния контактов электродов с тканью и величины паразитных емкостей входных цепей РА. Получены выражения, позволяющие определить указанные границы в зависимости от характеристик системы ЭБЗ, показано, что в реальных условиях последние составляют обычно 30–50 и 200–400 кГц.

3. Произведен выбор формы и показателей импульсных ЗТ, обеспечивающих минимальную погрешность реографических измерений в режиме ВРК. Обоснована необходимость использования при этом модулированных или манипулированных радиоимпульсов, длительность и частота следования которых при требуемом для практических целей числе каналов составляют 0,2–1,0 мс и 200–300 Гц соответственно; скважность равна числу каналов, частота заполнения лежит в диапазоне 40–150 кГц, а его начальная фаза равна или близка к нулю.

4. С позиций теории БТС и физиологии возбуждения изучены биофизические аспекты зондирования БО токами указанной формы. Установлено, что воздействие на организм синусоидальных и выбранных импульсных ЗТ весьма близко при одинаковой с гармоническим током частоте заполнения радиоимпульсов, причем в требуемом для ВРК диапазоне значений показателей импульсных ЗТ их пороговая интенсивность выше чем у синусоидальных (на 15–40% в зависимости от длительности импульсов). Показано, что данное обстоятельство может быть использовано для повышения помехозащищенности реографических измерений в режиме ВРК, не приводя к нарушению принципа адекватности звена БТС БО – РА с ВРК.

5. Показано, что несмотря на более узкий спектр модулированных ЗТ, в РА с ВРК оправдано и целесообразно применение значительно более простых в формировании манипулированных ЗТ, энергетический спектр которых при требуемом для практических целей числе каналов РА много уже указанного в п.2 диапазона частот и, следовательно, может быть полностью с ним совмещен.

6. Установлена и обоснована необходимость введения синхронизации между заполнением радиоимпульсов и их огибающей, показана целесообразность использования в качестве заполнения зондирующих радиоимпульсов сигналов в виде меандра или ограниченной синусоиды, обеспечивающих более высокую стабильность ЗТ по сравнению с заполнением гармонической формы.

7. Исследованы эффекты взаимодействия выбранных для режима ВРК ЗТ с импедансом системы ЭБЭ. Показано, что устранение их дестабилизирующего воздействия на точность географических измерений, а также исключение взаимовлияния каналов при их временном разделении возможно путем включения в состав ВЧ тракта РА полосового фильтра, имеющего АЧХ резонансного типа, симметричную относительно частоты заполнения радиоимпульсов, ФЧХ - в виде произвольно ориентированной прямой линии и полосы пропускания, соизмеримую по ширине с энергетическим спектром ЗТ (при несинусоидальном заполнении радиоимпульсов - с участком спектра ЗТ, обусловленным модуляцией первой гармоники сигнала заполнения).

8. Обоснована целесообразность применения в РА с ВРК НЧ тракта типовой конфигурации (амплитудный детектор и УНЧ или УПТ с ограниченной на уровне верхней гармоники спектра РС полосой пропускания), поскольку при использовании амплитудного детектора с постоянной времени 2-4 С и ФНЧ второго порядка с частотой среза 30-50 Гц данная структура НЧ тракта обеспечивает неискаженное восстановление непрерывного РС в режиме ВРК во всем диапазоне его возможных значений при отношении сигнал/шум (пульсации с частотой коммутации каналов) не хуже 55-60 дБ.

9. Исследованы инструментальные погрешности географических измерений в режиме ВРК, обусловленные наличием элементов коммутации в сигнальных цепях. Обосновано применение в качестве последних АК на КМОП структурах в интегральном исполнении, позволяющих предельно просто реализовать специфические узлы данного типа РА и обеспечивающих минимальный уровень динамических коммутационных помех, для дополнительного эффективного ослабления которых целесообразно использование полосового фильтра, необходимость

включения которого отмечена в п.7. Проанализированы статические коммутационные искажения сигналов, обусловленные токами утечки АК. Показано, что при требуемом для практических целей числе каналов указанные искажения пренебрежимо малы и при необходимости, вследствие систематического характера, могут быть скомпенсированы или учтены при обработке РС.

Ю. Исследованы особенности аппаратурной реализации метода ВРК в реографии. Показано, что построение приборов, использующих данный метод, возможно на основе простых технических решений, не приводящих к их усложнению по сравнению с РА других типов.

II. Разработаны, изготовлены экспериментальные образцы РА с ВРК, проведена их клиническая апробация, результаты которой свидетельствуют о преимуществах метода ВРК по сравнению с традиционными способами регистрации полиреограмм, поскольку данный метод при учете его особенностей обеспечивает достоверность и сопоставимость данных при полном отсутствии взаимовлияния между каналами независимо от локализации электродов (см. рис.2).

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Особенности построения приборов для одновременного съема РС и ЭКС с общих электродов/Л.М.Ананьев, Я.С.Пеккер, М.Б.Псахис, Н.Г.Якимовец.-В кн.: Проблемы техники в медицине.- Томск, 1983, с.38-40.

2. Псахис М.Б. Некоторые вопросы разработки первичных преобразователей для систем оперативной оценки гемодинамики.- В кн.: Проблемы создания технических средств для диагностики и лечения сердечно-сосудистой системы.- М.,1983, с.84-86.

3. Псахис М.Б., Флейшман А.Н. Автоматизированный полиреографический преобразователь.- В кн.: Проблемы техники в медицине.- Томск, 1983, с.115.

4. Псахис М.Б., Псахис Г.Б. Особенности и возможности временного разделения каналов в реографии.- МРЖ, 1984, раздел ХХI, с.32.

5. Ананьев Л.М., Пеккер Я.С., Псахис М.Б. Некоторые вопросы применения временного разделения каналов при полиреографических исследованиях.- Мед. техника, 1984, № 5, с.17-21.

6. Ананьев Л.М., Пеккер Я.С., Псахис М.Б. Исследование применимости временного разделения каналов при регистрации полиреограмм.- В кн.: Вопросы разработки и внедрения радиоэлектронных средств при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний.- М., Радио и связь, 1984, с.120-121.

7. Положительное решение по заявке № 3608621/28 - 13/052534 от 24 июля 1984 г. Многоканальный реограф /М.Б.Псахис, А.Н.Флейшман.

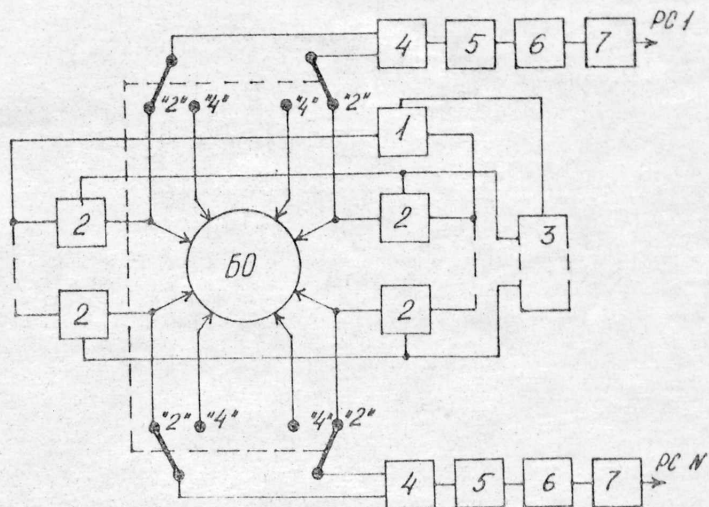


Рис. I. Функциональная схема РА с ВРК (на примере двух каналов). 1 - генератор стабильного переменного тока типа меандр, синусоида, ограниченная синусоида, 2 - аналоговый ключ, 3 - схема управления коммутацией, 4 - дифференциальный усилитель, 5 - полосовой фильтр, 6 - амплитудный детектор, 7 - УНЧ или УПТ с ограниченной сверху полосой пропускания.

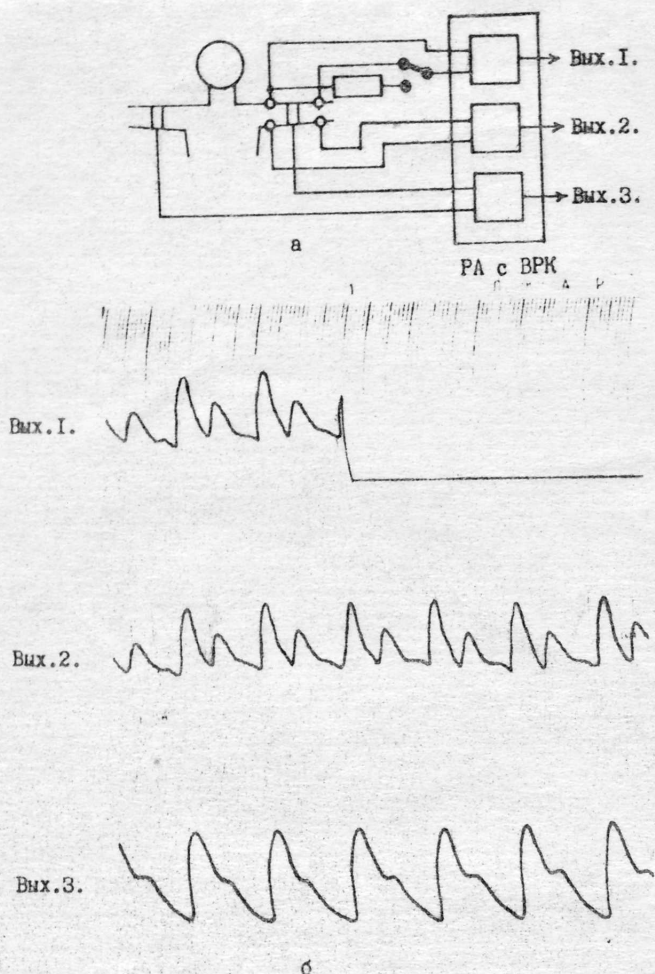


Рис. 2. Методика (а) и результаты (б) оценки взаимовлияния каналов в РА с BPK. Изменение режима работы одного канала не оказывает воздействия на РС, регистрируемые соседними каналами при любом расположении их электродов.