

ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

Д.А. Магомедов, Е.П. Попечителев

Биопараметрические элементы медицинских комплексов

Аннотация

Предлагаются биопараметрические элементы для разработки и проектирования адаптивных медицинских комплексов. Преимущество систем с переменными во времени параметрами, в отличие от стационарных, с точки зрения практической реализации заключается в существенном уменьшении количества базовых элементов, входящих в них.

Введение

Разработка новой аппаратуры медико-биологического назначения должна опираться, с одной стороны, на возможности современной техники и технологий, а с другой – на достаточно полное, глубокое знание строения и функций биосистемы и правильное понимание явлений, происходящих при взаимодействии технических средств и живого организма. Изучение данного взаимодействия требует применения системного подхода [1], в соответствии с которым технические и биологические звенья, связанные для достижения поставленной цели, должны рассматриваться в рамках единой технической (биотехнической) системы [2].

В ряде работ последних лет (см., например, [3]-[5]) признана получила идея рассмотрения биологических систем (БС) (в частности организма) как систем с переменными во времени параметрами (СПВП). Такое представление биосистем привело к новому взгляду на разработку адаптивных БТС медицинского назначения (БТС-МН) и технологий их применения [2]. Подключение БС к техническим элементам превращает биотехническую систему в единую систему типа СПВП, в которой ее существенные параметры зависят от параметров биологического звена. Такая система приобретает свойства супер-адаптивных биотехнических систем, систем с двойным контуром адаптации [6].

Системы с переменными во времени параметрами хорошо известны в технике. На основе параметрических элементов (ПЭ) предложены решения как чисто технических вопросов, так и задач медико-биологического назначения, например:

- базовые электрические ПЭ (резисторы, емкости, индуктивности) для измерительных преобразователей, схем автоматического регулирования усиления, устройств автоматической калибровки и др. [3], [4];
- ПЭ для преобразователей частоты, умножителей, модуляторов, генераторов и других узлов, используемые в блоках обработки сигналов [4], [5] и других устройствах.

Базовые параметрические элементы электрических цепей

Основные базовые ПЭ (сопротивление, емкость и индуктивность) обычно являются сложными схмотехническими устройствами, которые содержат две независимые части (рис. 1): управляемую часть (УЧ) (собственно сам параметрический элемент, изменяющий параметры под действием управляющих сигналов) и управляющую часть – формирователь управляющего сигнала (ФУС). Управляющая часть формирует сигналы (в виде напряжения или тока) в соответствии с законом управления, учитывающим свойства входного сигнала.

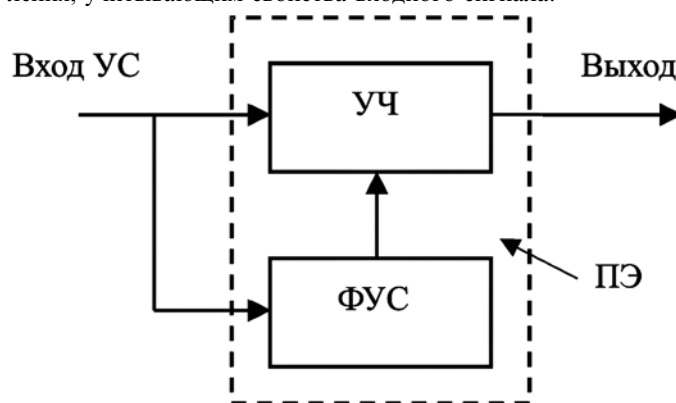


Рис. 1. Структурная схема параметрического элемента

Такие ПЭ с заданными законами изменения параметров УЧ обычно разрабатываются отдельно в каждом конкретном случае с использованием различных схмотехнических решений, современных электронных компонентов, программируемых элементов и т. д. Поэтому у разработчика не всегда имеются «под рукой» элементы, параметры которых можно было бы легко изменять по необходимому закону. Для получения тре-

бумого закона изменения параметра ПЭ каждый раз приходится решать самостоятельную, иногда довольно сложную, задачу.

Кроме того, сигналы на выходе ФУС, которые управляют текущими параметрами УЧ, должно быть строго синхронизированы с входным сигналом, что также в целом является непростой технической задачей, так как существуют переходные процессы, которые уменьшают быстродействие ПЭ.

Преимущество систем с ПЭ с точки зрения практической реализации заключается в существенном уменьшении количества базовых элементов, входящих в него. Современный уровень развития электронной и микропроцессорной техники, а также технологий производства элементной базы делает целенаправленное применение систем с переменными параметрами все более доступным.

В медико-биологических приложениях задачи проектирования и реализации СПВП практически не ставились, хотя повсеместно при исследовании электрической активности и пассивных электрических свойств используется непосредственное подключение участков живой ткани к электрическим цепям. Так, в случае оценки электрических свойств, например активно-емкостного импеданса, при реографических исследованиях биообъект подключается к электрической цепи с помощью электродов [4]. Для регистрации закономерностей изменения электрического состояния миокарда, электрической активности нервных клеток головного мозга, различных групп мышц и др. также используются электроды съема. При изучении микроциркуляции крови в коже используют двухлучевые фотометрические преобразователи, в которых второй преобразователь контактирует с исследуемым участком кожи и управляет потоком второго измерительного преобразователя [7]. В физиотерапии энергия электромагнитного поля посредством электродов или излучателей подается на биообъект, управляя в реальном времени физиологическими процессами и обеспечивая в конечном счете лечебный эффект при постоянном изменении свойств объекта.

В медико-биологических исследованиях носителем измерительной информации являются не только сигналы электрической активности биообъекта, но и изменяющиеся во времени сигналы самой разнообразной физической природы (температура, артериальное и венозное давления, частота дыхания, объемы органов, концентрации ионов, механические смещения и т. д.). Физический фактор лечебного воздействия при решении физиотерапевтических задач также далеко не всегда имеет электромагнитную природу.

В связи с вышеизложенным возникает идея построения ПЭ, внутри которых уже содержатся элементы с переменными во времени параметрами, и эти изменения являются предметом измерений. Наиболее полно этим требованиям отвечают сами биосистемы (БС), например клетка, участок биоткани, орган, функциональная система и даже организм в целом. Объединение биосистемы и технического средства, по сути, уже является системой с переменными во времени параметрами. Если параметры технических элементов, подключенных к БС, изменяются под воздействием протекающих в них физиологических процессов, то, фиксируя эти изменения, можно анализировать процессы в БС. Естественно определить такие ПЭ как биопараметрические элементы (БПЭ).

Биопараметрический элемент

В большинстве случаев показатели и процессы, описывающие жизнедеятельность организма, предварительно (до получения результата измерений) преобразуются в электрические аналоги. Поэтому датчик соответствующего параметра БС или генератор излучения физического поля могут служить связующим звеном БС с техническим элементом (ТЭ).

Структурная схема биопараметрического элемента БПЭ представлена на рис. 2. БПЭ содержит в своем составе следующие компоненты:

1. Биологический компонент – биосистема, закон изменения параметров которой является определяющим для БПЭ, отражается в виде:

- а) физических и физико-химических проявлений жизнедеятельности организма;
 - б) функционального состояния организма, т. е. его способности проявлять себя во внешней среде;
 - в) влияния воздействий внешней среды (ВнС), приводящих к адаптационным процессам в организме и т. д.
2. Технический элемент ТЭ, преобразующий текущие переменные параметры биообъекта и физиологические процессы в электрические аналоги, обеспечивающий решение требуемой медицинской задачи, например:
 - а) оценку переменных параметров БС с целью их измерения или регистрации;
 - б) управление параметрами искусственных (технических) воздействий на организм с целью коррекции его состояния.

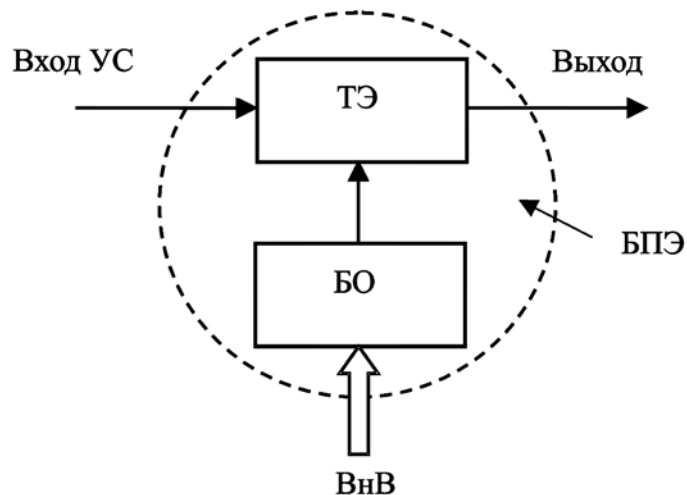


Рис. 2. Структурная схема биопараметрического элемента

Из структурной схемы БПЭ следует, что в отличие от традиционных параметрических элементов БПЭ принципиально не требуют построения специального формирователя управляющего параметрами ПЭ сигнала и, как правило, его синхронизации с входным сигналом. Однако есть требования к техническим элементам: они должны изменять свои характеристики под воздействием БС, которая является нагрузкой ТЭ. Например, существование БС во внешней среде проявляется в реакциях на внешние воздействия, приводящих к колебаниям характеристических параметров организма. Эти колебания влияют на технические элементы, характеристики которых могут использоваться либо для регистрации изменяющихся параметров, либо для управления параметрами воздействия от технических устройств.

Заключение

Проведенные в работе представления показывают, что применение теории и практики параметрических систем к исследованиям медико-биологического назначения имеет свои преимущества и перспективы, основными из которых являются следующие:

- нет необходимости синтеза параметрических элементов с заданными законами изменения параметров, так как они уже присутствуют в виде БС;
- не надо подбирать законы изменения во времени управляющих сигналов, так как они задаются поведением самой БС;
- упрощается задача синхронизации сигналов, управляющих текущими параметрами БПЭ, с изменениями параметров БС, так как обеспечивается автоматический учет изменений свойств последнего в синхронных изменениях параметров БПЭ.

Список литературы:

1. Попечителей Е.П. Системный анализ медико-биологических исследований. – Саратов: Научная книга, 2009. 368 с.

2. Падерно П.И., Попечителев Е.П. Надежность и эргономика биотехнических систем / Под общ. ред. проф. Е.П. Попечителева. – СПб.: ООО «Техномедиа» / Элмор, 2007. 264 с.
3. Магомедов Д.А., Попечителев Е.П., Ахлаков М.К., Алиев Э.А. Системы с переменными во времени параметрами в медико-биологических исследованиях / Монография. – СПб.: Изд-во «Политехника», 2011. 281 с.
4. Гусев В.Г. Получение информации о параметрах и характеристиках организма и физические методы воздействия на него / Уч. пособие. – М.: Машиностроение, 2004. 597 с.
5. Магомедов Д.А. Аппаратно-методическое обеспечение медико-биологических исследований на основе систем с переменными во времени параметрами / Монография. – Махачкала: РИО ДГУ, 2004. 250 с.
6. Попечителев Е.П. Задачи поэтапного моделирования при синтезе биотехнических систем // Известия СПбГЭТУ. 2008. Вып. 4. С. 67-73.
7. Попечителев Е.П. Метод редукции в задачах метрологического анализа алгоритмов обработки фотометрической информации // Вестник Метрологической академии. 2000. Вып. 5. С. 6-17.

Давуд Ахмеднабиевич Магомедов,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра «Биотехнические и
медицинские аппараты и системы»,
ФГБОУ ВО «Дагестанский
государственный технический университет,
г. Махачкала, Республика Дагестан,
Евгений Парфирович Попечителев,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра «Биотехнические системы»,
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова,
г. С.-Петербург,
e-mail: admi52@mail.ru

О.Н. Моргун, К.Э. Немченко

Сравнительный анализ маммографии на основе томосинтеза с традиционной маммографией

Аннотация

Приводятся результаты исследования качества изображений, полученных на цифровом рентгеновском маммографе, в котором использованы новые подходы к решению проблемы томосинтеза как в способе получения проекций, так и в методе восстановления трехмерной структуры молочной железы. Целью статьи является сравнительный анализ плоской (2D) и трехмерной (3D) маммографии.

Многочисленные исследования методики томосинтеза [1], [2], а именно сравнения диагностических свойств стандартной плоской 2D-цифровой маммографии и объемного 3D-цифрового томосинтеза молочной железы (МЖ) на фантомах и в клинической практике на пациентах, показали, что томосинтез имеет существенное преимущество при обнаружении опухолей (онкообразований), однако существенно проигрывает 2D-маммографии при обнаружении микрокальцинатов [3]. Это противоречие еще сильнее проявляется с увеличением максимального угла томосинтеза.

Подробные исследования указали на противоречивые тенденции в томосинтезе [4]: с увеличением угла томосинтеза выявляемость опухолей возрастает, а микрокальцинатов – падает [5]. Тенденция повышения выявляемости опухолей с увеличением угла томосинтеза объясняется уменьшением структурного шума при повышении томографического разрешения (т. е. пространственного разрешения по глубине МЖ), так как в каждом слое (на которые разбивается МЖ) будет меньше структуры железистой ткани, а следовательно, железистая ткань не будет заслонять опухоли или мимикрировать под них [6]. Кроме того, увеличение угла томосинтеза позволяет снизить контраст артефактов, тем самым улучшая видимость объектов исследуемого слоя.

С другой стороны, при увеличении угла томосинтеза увеличивается длина пути, проходящего рентгеновским излучением (РИ) в МЖ, что приводит к уменьшению числа квантов РИ, регистрируемых приемником РИ (ПРИ), а следовательно, к повышению (относительно) квантового шума [5]. Кроме того, прохождение пути большей длины в МЖ приводит к повышению эффективной энергии рентгеновских квантов РИ,

а следовательно, к понижению радиационного контраста микрокальцинатов. Также с увеличением длины пути в МЖ увеличивается уровень рассеянного РИ, что также снижает выявляемость микрокальцинатов [7].

Таким образом, в томосинтезе присутствует конкуренция между необходимостью увеличения максимального угла томосинтеза для устранения структурного шума и обеспечения высокого томографического разрешения (разрешения по высоте) и необходимостью обеспечения качественных изображений для проекций, сделанных под большим углом, что требует, в частности, неоправданного повышения дозовой нагрузки для этих проекций [8].

Здесь необходимо отметить, что большинство маммографов с томосинтезом обладают стационарным или поворачиваемым на малый угол ($\pm 2,1^\circ$) ПРИ. Это приводит к тому, что с увеличением томографического угла РИ падает на ПРИ не перпендикулярно, тем самым ухудшая ЧКХ ПРИ (даже для игольчатых люминофоров) и размывая изображения, особенно мелких деталей, которыми являются микрокальцинаты [5].

Также следует отметить, что, кроме физических причин возможного низкого качества восстановления микрокальцинатов, большую роль играют и чисто математические причины (метод восстановления и его реализация). Дело в том, что на качество восстановленных изображений, а следовательно, и на выявляемость микрокальцинатов влияет вид алгоритма восстановления томографических слоев [9]-[11], и при этом очень существенной оказывается роль геометрической калибровки маммографа [12].

На основании вышеуказанных причин, можно сделать вывод, что выявление и опухолей, и микрокальцинатов в гомо-