

УДК 004.383

В.Л. Костенко, д-р техн. наук,
М.В. Ядрова, А.А. Николенко, кандидаты техн. наук,
С.О. Жаровцев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА КОМПЬЮТЕРНОГО ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФА

Аннотация. Рассмотрены электрические модели узлов измерительного канала фотоплетизмографа и результаты их компьютерного моделирования. Проведены анализы процессов, происходящих в предложенном устройстве, и оптимизация его параметров.

Ключевые слова: компьютерная диагностика, фотоплетизмограф, оптимизация параметров.

V.L. Kostenko, ScD,
M.V. Yadrova, PhD, **A.A. Nikolenko**, PhD,
S.O. Zharovtsev

SIMULATION OF COMPUTER MEASURING PHOTOPLETHYSMOGRAPHY CHANNEL

Abstract. Electric models of photoplethysmography measuring channel nodes and results of their computer simulation are considered. Analysis of processes and parameters optimization of the proposed device are conducted.

Keywords: computer diagnosis, photoplethysmography, optimization of the parameters.

В.Л. Костенко, д-р техн. наук,
М.В. Ядрова, А.О. Николенко, кандидаты техн. наук,
С.О. Жаровцев

МОДЕЛЮВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ КОМП'ЮТЕРНОГО ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФА

Анотація. Розглянуто електричні моделі вузлів вимірювального каналу фотоплетизмографа та результати їх комп'ютерного моделювання. Проведено аналіз процесів, що відбуваються у запропонованому пристрої, та оптимізація його параметрів.

Ключові слова: комп'ютерна діагностика, фотоплетизмограф, оптимізація параметрів.

Одним из перспективных направлений в биометрии является разработка компьютерных средств диагностики по параметрам периферического пульса. К ним относятся системы компьютерной пальцевой фотоплетизмографии, которые автоматически предоставляют в течение короткого периода времени точную и объективную информацию об изменениях параметров кровообращения, важнейшими из которых являются тонус периферических сосудов, частота сердечных сокращений, ударный объем крови при воздействии на организм различных физических факторов. Получаемая фотоплетизмограмма отражает состояние сердечно-сосудистой системы в целом, используется для прогноза течения сердечно-сосудистых заболеваний, оценки результатов лечения.

Структурная схема фотоплетизмографа [1] приведена на рис. 1. Фотоэлектрический датчик содержит излучающий свето-

диод, питаемый импульсами тока, формируемыми в устройстве синхронизации (УС). Прошедшее сквозь биологические ткани излучение, отражающее количественную и качественную динамику последовательных изменений объема крови в изучаемом участке ткани в период каждого сердечного цикла, поступает на фотоприемник датчика. Полученный фототок усиливается предварительным усилителем (ПП) и преобразуется в напряжение. С выхода ПП сигнал поступает на фильтр верхних частот (ФВЧ), а затем на регулируемый усилитель (РУ), коэффициент усиления которого устанавливается микроконтроллером (МК). С выхода усилителя информация поступает в микроконтроллер, где обрабатывается и передается в компьютер (ПК) через USB интерфейс. На экране компьютера отражается фотоплетизмограмма и результаты расчета параметров пульсовых волн.

Качество результатов медицинских исследований во многом определяется свойствами измерительного канала фотоплетизмографа, который состоит из адаптивного фото-

© Костенко В.Л., Ядрова М.В., Николенко А.А., Жаровцев С.О., 2011

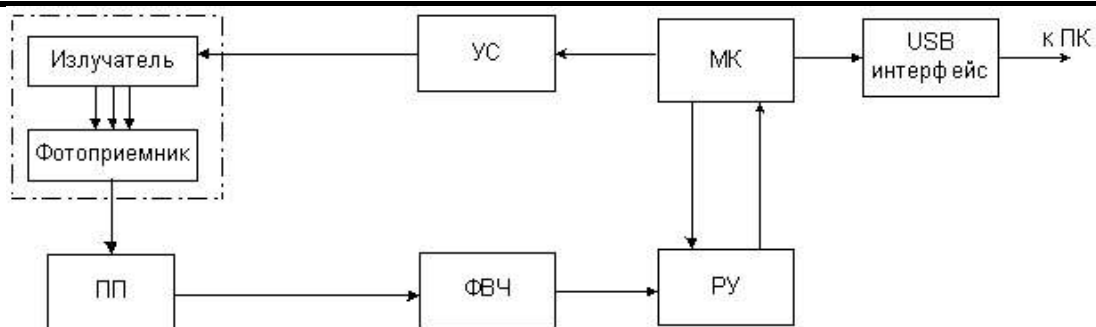


Рис. 1. Структурная схема фотоплетизмографа

электрического датчика, предварительного усилителя, фильтра верхних частот и регулируемого усилителя

Целью работы является исследование измерительного канала фотоплетизмографа, оптимизация параметров фотоэлектрического датчика, предварительного усилителя, фильтра верхних частот и регулируемого усилителя, обеспечивающих необходимые характеристики устройства, путем построения моделей этих узлов и исследования процессов, происходящих в данном устройстве.

Для реализации возможности адаптации датчика к различным внешним факторам выбрано использование в измерительном канале фотоплетизмографа адаптивных фотоэлектрических датчиков на основе комбинированного МДП-транзистора [2], которые обладают рядом параметров, обеспечивающих повышение надежности и информативности исследований.

Датчик фиксируется на пальце и представляет собой зажим, состоящий из излучателя и фотоприемника с выпуклой линзой. В качестве излучателя используется светодиод. Оптическое излучение регулируется в диапазоне 340 – 695 нм в зависимости от управляющего напряжения величиной от 3 до 12 В с максимумом спектра на длине волны 653 нм. Прошедшее через биологические ткани излучение поступает на фотоприемник датчика, выполненного в виде комбинированного МДП-транзистора на основе кремния, из МДП и биполярных компонент, охваченных обратной связью.

Чувствительным элементом является подзатворная область МДП-транзистора и высоколегированная область базы биполярной составляющей транзистора. Сте-

пень чувствительности фотоприемника корректируется контактом затвора и контактом базы. Интенсивность излучения светодиода в процессе адаптивного управления меняется в зависимости от приложенного напряжения на его контактах.

Оптические свойства излучателя в спектральном диапазоне 340–695 нм могут корректироваться также в процессе изготовления изменением количества эпитаксиальных слоёв, их толщиной и составом. Число и толщина слоев, а также их состав достаточно точно вычисляются перед выращиванием для определения спектральной полосы датчика. Диапазоны этих параметров ограничены только возможностями используемых специальных технологических процессов.

Также был разработан интегральный вариант конструкции датчика с поверхностным источником излучения и фотосенсором на основе комбинированного МДП-транзистора, расположенных на одной подложке. Его технологические преимущества заключаются в возможности формирования слоев полупроводниковых структур светодиода и фотоприемника, диэлектрика, металлических контактов по планарной технологии. Этот вариант отличается повышенной механической устойчивостью, но требует больше внимания к взаимной изоляции элементов датчика в процессе изготовления.

На рис.2 представлена электрическая модель фотоприемника, где ток коллектора моделируется источником тока J_k , ток эмиттера источником тока $J_э$, фототок – источником тока $J_ф$, а ток в канале МДП-транзистора – источником тока J_1 . Конденсаторы $C1–C7$ характеризуют частотные свойства датчика, а резисторы – сопротивления соответствующих областей транзистора. На фотоприемник также подается

управляющее процессом адаптации напряжение от 0 до 3,2 В. Выходной сигнал датчика может изменяться от 109 до 234,7 мВ. Выходной ток изменяется в диапазоне 0,2–4 мкА в зависимости от напряжения на затворе МДП составляющей комбинированного МДП-транзистора в диапазоне 0,6 – 2,8 В и от управляющего напряжения на базе биполярной составляющей МДП-транзистора в диапазоне 3–5 В.

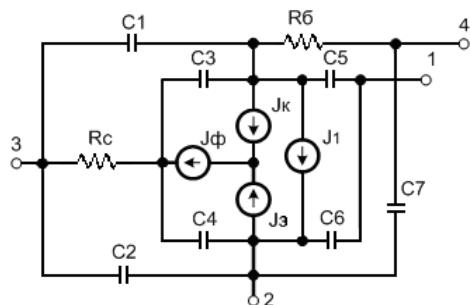


Рис.2. Электрическая модель адаптивного фотоэлектрического датчика

На рис. 3 представлена электрическая модель предварительного усилителя фотоплетизмографа с фотоэлектрическим датчиком (I_1 – импульсный источник тока с периодом импульсов 1 с, моделирующий пульсовую волну на выходе фотодатчика; I_2 – импульсный источник тока с периодом импульсов 0,01 с, моделирующий шумы и помехи; I_3 – источник постоянного тока, моделирующий постоянную составляющую сигнала на выходе фотодатчика). Результаты компьютерного моделирования фотоэлектрического датчика представлены на рис. 4, а.

Полученный сигнал подается на вход предварительного усилителя (ПУ), который позволяет существенно снизить шумы и помехи, а также преобразовать выходной ток фотодатчика в напряжение. Представленная модель предварительного усилителя (рис. 3) решает эти задачи, позволяет исследовать происходящие процессы и выбрать оптимальные параметры предварительного усилителя.

Результаты компьютерного моделирования ПУ представлены на рис.4,б, где показан выходной сигнал предварительного усилителя и рис.5, на котором отражена верхняя граница рабочей полосы частот измерительного канала, определяемая па-

раметрами интегрирующей цепи ПУ.

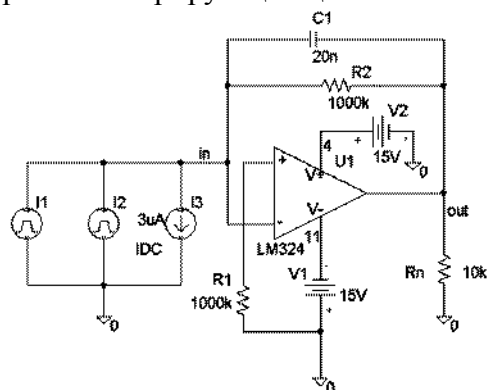


Рис. 3. Электрическая модель предварительного усилителя с фотоэлектрическим датчиком

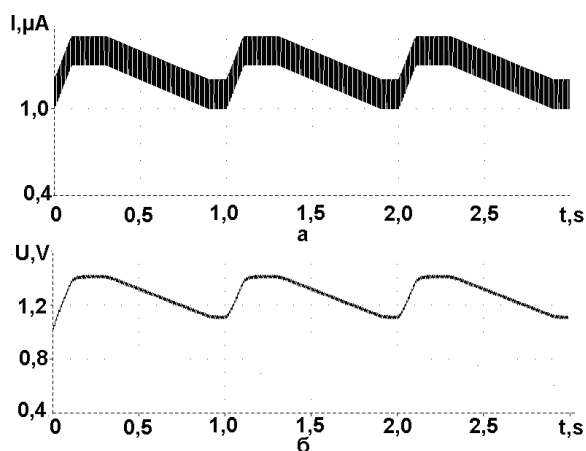


Рис. 4. Результаты моделирования предварительного усилителя с фотоэлектрическим датчиком

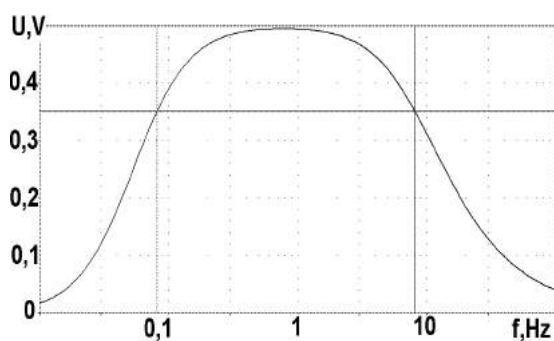


Рис.5. Амплитудно-частотная характеристика измерительного канала фотоплетизмографа

Чтобы выделить фотоплетизмограмму, нужно убрать постоянную составляющую сигнала, для этого к выходу ПУ подключаем фильтр высоких частот (ФВЧ). На рис.6 показана модель измерительного канала с ФВЧ, позволяющая исследовать процессы, происходящие в устройстве и выбрать оптимальные параметры ФВЧ.

Результаты компьютерного моделирования

ФВЧ представлены на рис.7, на котором

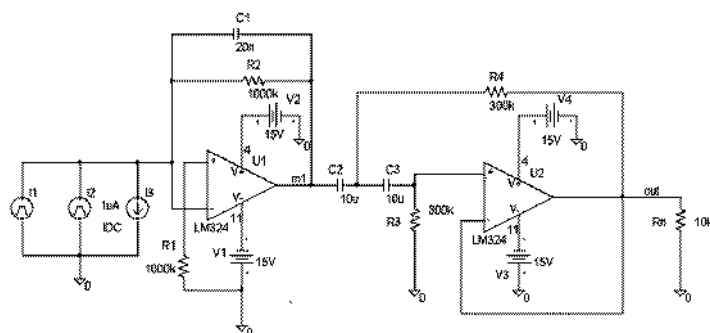


Рис. 6. Электрическая модель измерительного канала с фильтром высоких частот

отражена нижняя граница рабочей полосы частот измерительного канала, определяемая параметрами ФВЧ, и на рис. 4, где показан входной и выходной сигналы ФВЧ.

Моделирование регулируемого усилителя позволяет задать нужный коэффициент усиления и определить параметры усилителя в зависимости от типа и выходных параметров фотоэлектрического датчика.

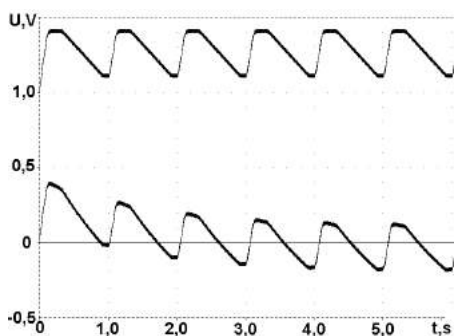


Рис. 7. Результаты компьютерного моделирования ФВЧ

Проведено компьютерное моделирование микроэлектронного адаптивного фотоэлектрического датчика, предварительного усилителя и фильтра, а также измерительного канала в целом в программной среде PSPICE с целью исследования процессов и улучшения характеристик предложенного устройства. Проведен анализ процессов происходящих в измерительном канале фотоплетизмографа, выбраны оптимальные параметры датчика, предварительного усилителя, ФВЧ и регулируемого усилителя, обеспечивающие необходимые характеристики устройства.

Список использованной литературы

1. Войтович І. Д., Інтелектуальні сенсори / І.Д. Войтович, В.М. Корсунський. –

К.: Ін-т кібернетики, 2007. – 514 с.

2. Пат. № 86870, Україна. Оптикоелектронний інтегральний датчик / В.Л. Костенко., С.О. Жаровцев – 2009.– Бюл. № 10.

Получено 10.10.2011

References

1. Vojtovich I.D., Korsunskij V.M. Intelligent sensors. – K.: Institute of Cybernetics, 2007. – 514 p. [in Russian].

2. Patent № 86870. Ukraine. Optoelectronic integrated sensor / V.L. Kostenko., S.O. Zharovcev. – 2009. – Bull. № 10 [in Ukrainian].



Костенко
Виталий Леонидович,
д-р техн. наук, проф.
Одесск. нац. политехн. ун-та,
т.р. 7348-586



Николенко
Анатолий Александрович,
канд. техн. наук, доц. каф.
информац. систем Одесск. нац.
политехн. ун-та, т.р. 7348-356



Ядрова
Марина Васильевна,
канд.техн.наук, доц. каф.
информац.систем Одесск. нац.
политехн. ун-та,
т.р. 7348-586



Жаровцев
Станислав Олегович,
ас. каф. информац. систем
Одесск. нац. политехн. ун-та,
т.р. 7348-586