

А.В. КИПЕНСКИЙ, канд. техн. наук, **В.В. КУЛИЧЕНКО**,
И.А. ЛУКЬЯНОВА (г. Харьков)

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ВЫБОРОМ ПОДДИАПАЗОНОВ

Частота сердечных сокращений (ЧСС) має велике значення для визначення стану серцево-судинної системи і організму в цілому. В роботі розглянутий цифровий діагностичний пристрій для вимірювання ЧСС, принцип дії якого ґрунтується на перетворенні часового інтервалу між R-зубцями в цифровий код з наступним обчислюванням частоти. Розбиття всього діапазону вимірювань на два піддіапазона дозволяє істотно знизити похибку вимірювання.

Frequency of contraction systole has a big importance for the definition of a status of cardio-vascular system and entire human body. The digital diagnostic device for measurement of contraction systole frequency is considered in the article, the operation principle of which is based on transformation of a time interval between R-peaks into digital code with the subsequent calculation of frequency. Division of total measurement range on 2 sub-bands allows to frequency lower the error of measurement of contraction systole frequency.

Частота сердечных сокращений (ЧСС) наряду с электрокардиограммой имеет большое диагностическое значение. Именно поэтому при съеме электрокардиограммы ЧСС измеряется как самостоятельный показатель деятельности сердечно-сосудистой системы, а информация о результатах измерений выводится на экран монитора или на специальный дисплей. Как физиологический показатель, ЧСС сильно зависит от физической нагрузки и эмоционального состояния человека. Диапазон изменения ЧСС составляет от 20 до 240 уд/мин (0,33 – 4,0 Гц). У здорового человека в спокойном состоянии частота сердечных сокращений равна 60 – 80 уд/мин, снижение частоты ниже 60 уд/мин называется брадикардией, а превышение 90 уд/мин – тахикардией [1].

Для оценки деятельности сердечно-сосудистой системы используется два вида ЧСС: текущая (определенная в течение одного периода) и средняя (определенная в течение некоторого временного интервала, составляющего, как правило, не менее десяти периодов).

Для измерения ЧСС могут быть использованы аналоговые системы с отображением информации при помощи стрелочных приборов или цифровые системы, в которых информация отображается и регистрируется самым различным образом. В последнее время развитию цифровых систем уделяется все больше внимание, поскольку в функциональном плане они обладают такими преимуществами, как высокая точность, быстрдействие, наглядность [2].

Измерение ЧСС может производиться по биоэлектрическим потенциалам, генерируемым работающим сердцем, тонам сердца и тонам Короткова, которые отчетливо прослушиваются при измерении артериального

давления косвенным методом, и по периферическому пульсу.

При использовании для измерения ЧСС разности биоэлектрических потенциалов, обычно выделяют R-зубец, имеющий наибольшую амплитуду во II стандартном отведении. Такой подход используется в ритмокардиометре РКМ–01, где для измерения ЧСС осуществляют подсчет R-зубцов в течении некоторого временного интервала (15 или 30 с). При этом с помощью ритмокардиометра удается измерить только среднее значение ЧСС. Текущее значение может быть измерено ритмокардиоскопом РКС–02, в котором для этого анализируется интервал R–R, соответствующий периоду сердечных сокращений. Таким образом, для измерения различных видов ЧСС необходимы различные приборы. Еще одним недостатком таких приборов является достаточно высокая погрешность измерений, которая на границах диапазона измерения может достигать 20%.

Цель данной работы состоит в определении принципов построения универсального цифрового прибора, который позволит измерять как среднее, так и текущее значение ЧСС с малой погрешностью.

Для реализации такого прибора наиболее целесообразно использовать модифицированный метод последовательного счета, суть которого состоит в том, что подсчет тактовых импульсов $u_{ТИ}$, следующих с постоянной, строго определенной частотой $f_{ТИ}$, осуществляется в течении временного интервала, точно соответствующего заданному количеству M периодов сердечных сокращений $T_{CC} = 1/f_{CC}$ [3]. Если принять $M = 1$, то измеренная ЧСС будет соответствовать текущему значению, если $M = 10$ то – среднему значению. Структурная схема прибора, позволяющая реализовать этот метод, приведена на рис. 1.

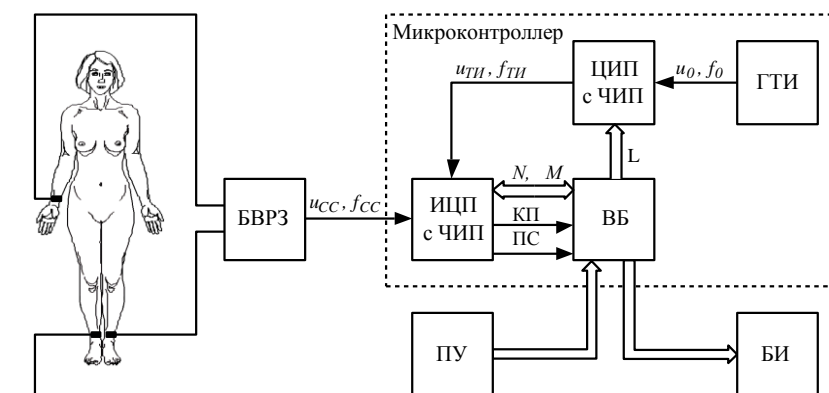


Рисунок 1 – Структурная схема прибора для измерения ЧСС

Разность биоэлектрических потенциалов снимается с поверхности тела человека с помощью электродов и подается на блок выделения R-зубца

(БВРЗ). В этом блоке формируются прямоугольные импульсы, частота следования которых соответствует ЧСС. Преобразование частоты следования импульсов с выхода БВРЗ в цифровой код осуществляется с помощью импульсно-цифрового преобразователя с частотно-импульсным законом преобразования (ИЦП с ЧИП) и вычислительного блока (ВБ). Для обеспечения ИЦ-преобразования на соответствующий вход ИЦП подается тактовая частота, которая формируется цифро-импульсным преобразователем с частотно-импульсным законом преобразования (ЦИП с ЧИП) из основной частоты ($f_0 = 8\text{МГц}$) генератора тактовых импульсов (ГТИ), путем ее деления на число L . Пульт управления (ПУ) служит для выбора вида ЧСС, которая должна быть измерена. Данные о полученном значении ЧСС выводятся на четырехразрядный семисегментный блок индикации (БИ).

Для снижения погрешности измерения ЧСС в приборе предусмотрено два поддиапазона измерения: I поддиапазон от 20,00 до 99,99 уд/мин и II поддиапазон от 100,0 до 240,0 уд/мин. При этом, преобразование ЧСС в цифровой код на каждом из поддиапазонов осуществляется со своей тактовой частотой (см. табл.).

Таблица

Основные расчетные параметры

Значение ЧСС	поддиапазон	M	L	$f_{\text{ТИ}}, \text{Гц}$	$\delta, \%$
текущее	I	1	367	21798	0,1
	II	1	74	108108	0,2
среднее	I	10	3663	2184	0,1
	II	10	733	10914	0,2

Измерение ЧСС в предложенном приборе осуществляется по следующему алгоритму:

- в первый счетчик ИЦП записывается число M , второй счетчик ИЦП – обнуляется, а в ЦИП записывается число L , соответствующее II поддиапазону;

- с приходом первого импульса от БВРЗ в первом счетчике ИЦП начинается отсчет входных импульсов $u_{\text{СС}}$, а во втором счетчике – подсчет тактовых импульсов $u_{\text{ТИ}}$;

- если на интервале ИЦ-преобразования произошло обнуление первого счетчика ИЦП, то на его выходе формируется сигнал «конец преобразования» (КП). По этому сигналу из второго счетчика ИЦП осуществляется чтение числа N и вычисление значения ЧСС, соответствующего второму поддиапазону:

$$F_{\text{СС}} = \frac{60 \cdot M \cdot f_{\text{ТИ}2} \cdot k_2}{N};$$

где $k_2 = 10$ – коэффициент, равный обратно пропорциональному значению веса младшего значащего разряда в рассчитываемом значении ЧСС.

При выводе полученного значения $F_{\text{СС}}$ на индикаторы БИ запятая располагается между третьим и четвертым знаками;

- если на интервале ИЦ-преобразования произошло переполнение второго счетчика ИЦП, то на его выходе формируется сигнал «переполнение счетчика» (ПС), (см. рис. 2). По этому сигналу в ЦИП записывается число L , соответствующее первому поддиапазону, а во второй счетчик ИЦП записывается число N_0 , равное:

$$N_0 = 0,6 \cdot M \cdot f_{\text{ТИ}2},$$

после чего продолжается подсчет числа тактовых импульсов $u_{\text{ТИ}}$ во втором счетчике и отсчет числа входных импульсов $u_{\text{СС}}$ в первом;

- по сигналу КП из второго счетчика ИЦП считывается число N и вычисляется значение ЧСС, соответствующее первому поддиапазону:

$$F_{\text{СС}} = \frac{60 \cdot M \cdot f_{\text{ТИ}1} \cdot k_1}{N},$$

где $k_1 = 100$ – коэффициент, равный обратно пропорциональному значению веса младшего значащего разряда в рассчитываемом значении ЧСС. При выводе полученного значения $F_{\text{СС}}$ на индикаторы БИ запятая располагается между вторым и третьим знаками.

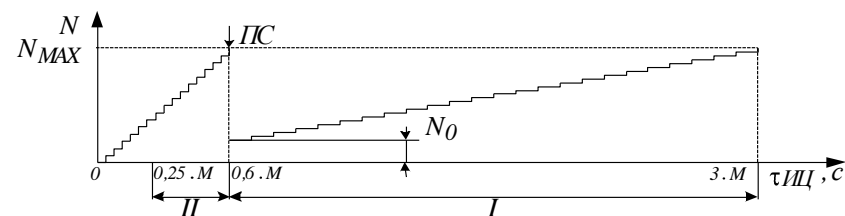


Рисунок 2 – Подсчет импульсов на разных поддиапазонах

Анализ погрешностей измерения ЧСС при использовании предложенного прибора с разделением общего диапазона на два поддиапазона позволяет существенно снизить погрешность измерений (см. табл. 1).

Список литературы: 1. Физиология человека: Учебник / В двух томах. Т. I / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротко. – М.: Медицина, 1998. – 448 с. 2. Остроухов В.Д. Картинский М.Ю. Медицинская аппаратура для функциональной диагностики и ортопедии: Учебное пособие по курсу «Теория, расчет и проектирование медицинской аппаратуры. – Харьков: «Крокус», 2003. – 204 с. 3. Китенский А.В. Импульсно-цифровые и цифро-импульсные преобразователи: Учебное пособие. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2000. – 132 с.

Поступила в редакцию 20.04.04