

# МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИМПЕДАНСАМ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ УСИЛИТЕЛЕЙ БИОПОНЕНЦИАЛОВ

Бых А. И., Ярута В. А.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, кафедра биомедицинских электронных устройств  
и систем, тел. (+38 057) 702-13-64

In the given work the numerical relations connecting impedances of a source circuit of biopotentials amplifiers (BPA) with complex electrical parameters of a source of a biosignal and electrodes are obtained. These numerical relations allow to found medico-technical specifications to impedances of source circuits BPA.

Новым направлением развития медицинской техники является построение автоматизированных биотехнических систем (БТС) измерения и использования физиологической информации в движении, позволяющих разрешать противоречивые требования максимально полной диагностики, мониторинга, скрининга и коррекции функционального состояния пациента по нескольким методам в режиме разделения реального времени в разных условиях. Построение такой БТС нормализации функционального состояния пациента (БТС Н) [1, 2] требует решения одной из задач получения электрокардиосигнала (ЭКС) по трём ортогональным отведениям с повышенным коэффициентом усиления в условиях действия различных помех.

Традиционно, качественный съём ЭКС обеспечивается за счёт уменьшения или стабилизации биоэлектрических и электрохимических явлений в участке цепи «живые ткани – электрод», а также применением усилителей биопотенциалов (УБП), удовлетворяющих определённым требованиям. Среди них следует выделить требования к импедансам входных цепей УБП, минимально допустимые значения которых формируют, используя численные соотношения, полученные путём анализа эквивалентной схемы входной цепи измерения ЭКС. Однако известные соотношения получены лишь для режима постоянного тока с принятием ряда упрощающих допущений, относящихся к сопротивлениям эквивалентной схемы. Таким образом, обоснование медико-технических требований к импедансам входных цепей УБП актуально.

В результате анализа эквивалентной схемы входной цепи измерения ЭКС, рис. 1, состоящей из эквивалентной схемы входной цепи УБП вместе с эквивалентной схемой источника ЭКС (БО) и электродов (Э), получены соотношения,

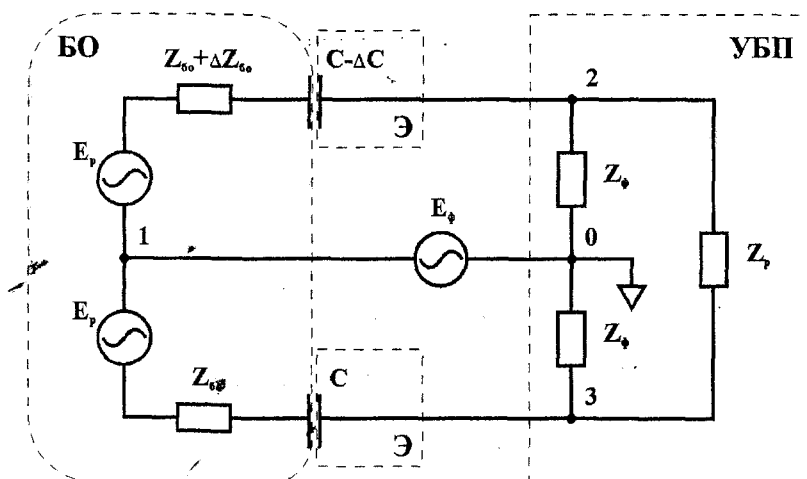


Рис. 1. Эквивалентная схема входной цепи измерения ЭКС

позволяющие оценивать минимально допустимые величины входного импеданса входной цепи УБП синфазному  $Z_\Phi$  и разностному  $Z_p$  сигналам:

$$Z_\Phi = Z + \frac{1+2H}{2}\Delta Z, \quad Z_p = \frac{E}{F},$$

где  $Z = Z_{60} + 1/j\omega C$  – эквивалентный импеданс участка цепи «живые ткани – электрод», представленный для случая применения емкостных электродов;  $\Delta Z = \Delta Z_{60} + \Delta C/(j\omega C(C - \Delta C))$  – его возможное асимметричное изменение;  $Z_{60}$ ,  $C$ ,  $\Delta Z_{60}$ ,  $\Delta C$  – соответственно эквивалентные импедансы живых тканей и ёмкость контакта электрода с телом пациента, а также их возможные асимметричные изменения;  $j\omega$  – комплексная круговая частота;  $H$  – коэффициент режекции входной цепи;

$$E = -2Z_\Phi(Z_2(Z_2 + \Delta Z_2)(2Z_\Phi + 2Z_1 + \Delta Z_1) - Z_1(Z_1 + \Delta Z_1)(2Z_\Phi + 2Z_2 + \Delta Z_2)) - \\ - 2Z_\Phi(Z_\Phi^2(2Z_2 - 2Z_1 + \Delta Z_2 - \Delta Z_1)) - \delta A Z_\Phi(Z_2 Z_\Phi + (Z_2 + \Delta Z_2)(Z_\Phi + 2Z_2))(2Z_\Phi + 2Z_1 + \Delta Z_1); \\ F = \delta A(Z_\Phi + Z_2 + \Delta Z_2)(Z_\Phi + Z_2)(2Z_\Phi + 2Z_1 + \Delta Z_1) + Z_2(Z_2 + \Delta Z_2)(2Z_\Phi + 2Z_1 + \Delta Z_1) - \\ - Z_1(Z_1 + \Delta Z_1)(2Z_\Phi + 2Z_2 + \Delta Z_2) + Z_\Phi^2(2Z_2 - 2Z_1 + \Delta Z_2 - \Delta Z_1)$$

$\delta A$  – относительное изменение коэффициента передачи разностного сигнала  $A$  входной цепи при изменении импеданса участка цепи «живые ткани – электрод» от  $Z_1$  и  $\Delta Z_1$  до  $Z_2$  и  $\Delta Z_2$ .

Если принять во внимание, что, обычно: ( $|Z_1| \ll |Z_p|$ ;  $|\Delta Z_1| \ll |Z_p|$ ;  $|Z_2| \ll |Z_p|$ ;  $|\Delta Z_2| \ll |Z_p|$ ;  $|Z_1| \ll |Z_\Phi|$ ;  $|\Delta Z_1| \ll |Z_\Phi|$ ;  $|Z_2| \ll |Z_\Phi|$ ;  $|\Delta Z_2| \ll |Z_\Phi|$ ) и ( $Z_1 \neq Z_2$  или  $\Delta Z_1 \neq \Delta Z_2$ ), тогда

$$Z_p \approx -2Z_\Phi \cdot \frac{2Z_2 - 2Z_1 + \Delta Z_2 - \Delta Z_1 + \delta A(2Z_2 + \Delta Z_2)}{2\delta A Z_\Phi + 2Z_2 - 2Z_1 + \Delta Z_2 - \Delta Z_1}.$$

В БТС Н используется простейшая ортогональная система отведений. При этом электроды размещаются таким образом, что наибольшей асимметрией импеданса участка цепи «живые ткани – электрод» обладает отведение  $Z$ , поэтому оценку необходимых величин  $Z_\Phi$  и  $Z_p$  сделаем на примере этого отведения. Так, при условии, что ёмкость контакта «кожа – электрод» составляет 0,1 мкФ, импеданс кожи является активным и составляет 1 МОм, сопротивление живых тканей под электродом в процессе измерения изменилось от 10 до 1000 кОм, а ёмкость контакта «кожа – электрод» – от 0,1 до 0,07 мкФ при  $\delta A = 0,02$  и  $H = 500$ , значения импедансов входной цепи УБП должны быть не меньше, чем:

$$Z_\Phi \approx 470 \cdot 10^6 + \frac{1}{j\omega \cdot 0,21 \cdot 10^{-9}}, \quad Z_p \approx 47 \cdot 10^6 + \frac{1}{j\omega \cdot 4,5 \cdot 10^{-9}}.$$

Таких значений входных импедансов УБП можно достичь при использовании буферных каскадов, размещённых в корпусе электрода. Тогда, например, при использовании операционного усилителя ОРА 655 или инструментального усилителя INA 110 (Burr-Brown, США) удаётся выполнить указанные требования в диапазоне частот 0,001 – 300 Гц, рис. 2.

Таким образом, полученные соотношения, связывающие импедансы входной цепи УБП с комплексными электрическими параметрами источника биосигнала и электродов, позволяют обосновывать медико-технические требования к импедансам входных цепей УБП.

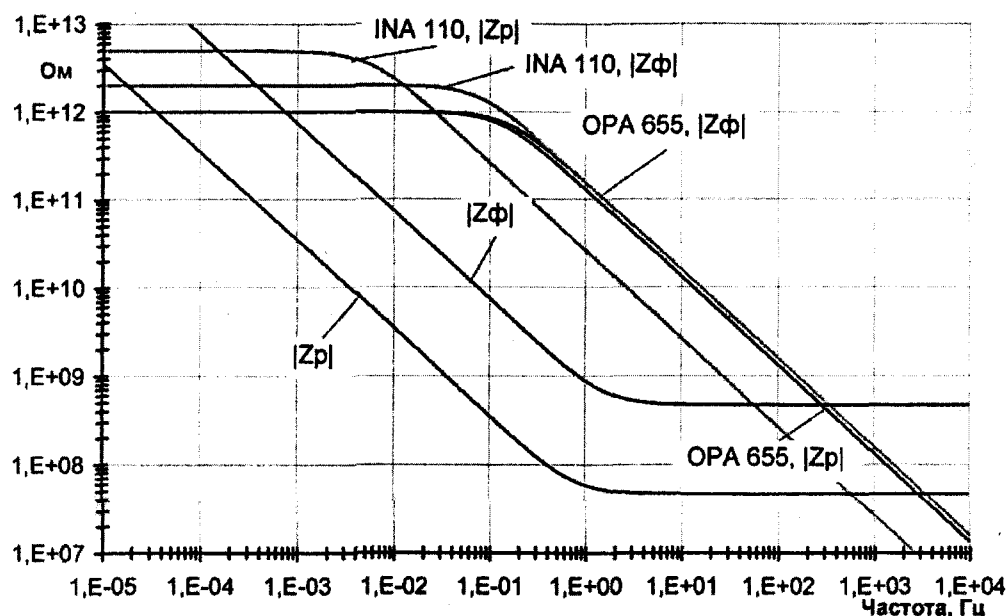


Рис. 2. Частотные характеристики минимально допустимых модулей входных импедансов УБП и некоторых промышленно выпускаемых усилителей

### Литература

1. Фоменко О.Н., Липанов В.Д., Ярута В.А. Универсализация измерений в режиме разделения времени биоэлектрических параметров в автоматизированных биотехнических системах // Системи обробки інформації. — Х.: ХФВ «Транспорт України», 2001. — С. 73-81.
2. Липанов В.Д., Ярута В.А. Комплексный подход к измерению электрофизиологических параметров в биологически активных точках при построении автоматизированной биотехнической системы // 5-й Междунар. молодёж. форум «Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке», 24 – 26 апр. 2001г.: Сб. науч. тр.: В 2 ч. — Харьков: ХТУРЭ. — Ч.2. — 2001. — С. 280–281.