

АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР С ПОВЫШЕННОЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬЮ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНТЕРОГРАММЫ

КУЗИН А.И., ЖУРАВЕЛЬ В.В.

Одним из побочных результатов хирургического или терапевтического вмешательства в работу желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) может стать прекращение продвижения пищи в каком-либо из его органов. Для своевременного и адекватного реагирования на эту ситуацию врачам необходимо знать течение и локализацию переза. В статье описывается ключевой, по значению, блок в системе мониторинга эвакуаторной функции органов ЖКТ.

Электроэнтерогастрография — это регистрация миоэлектрической активности органов желудочно-кишечного тракта при использовании монополярного отведения от попарно соединенных конечностей тела человека [1]. Исследования в этой области получили свое развитие на кафедре радиоэлектронных устройств Харьковского национального университета радиоэлектроники при активном сотрудничестве с врачами Харьковского медицинского университета. Совместно был разработан прибор для диагностики сократительной функции таких органов ЖКТ, как желудок, двенадцатиперстная кишка, тощая, подвздошная и толстая кишки [2, 3]. Прибор содержит аналоговую и цифровую части; описание аналоговой части приведено в этой статье.

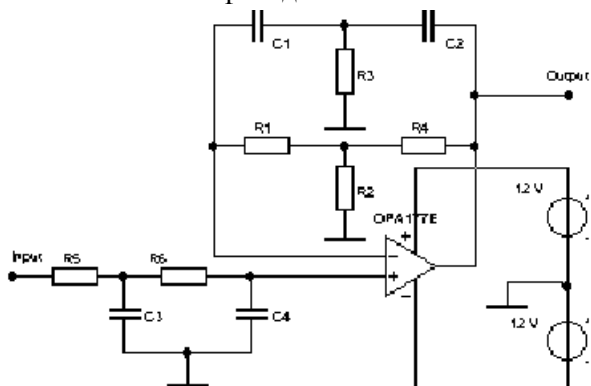


Рис. 1. Аналоговая часть прибора

Аналоговая часть (рис. 1) состоит из двухзвенного фильтра низких частот (R5, C3, R6, C4) и активного фильтра (АФ), построенного на операционном усилителе (ОУ), с внешней отрицательной обратной связью, выполненной по схеме модифицированного двойного Т-образного моста.

Выражения для амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной (ФЧХ) характеристики АФ, полученные из топологической модели, представляют собой:

$$|W(j\omega)| = \sqrt{(K_{нч}\omega_0^2 - K_{гч}\omega^2)^2 + (\omega \frac{\omega_0}{Q_F} (K_{pez1} + K_{pez2}))^2} \times \left(\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \omega^2 \left(\frac{\omega_0}{Q_F}\right)^2} \right)^{-1}$$

$$\varphi(\omega) = \arctan \frac{\omega \frac{\omega_0}{Q_F} (K_{pez1} + K_{pez2})}{K_{нч}\omega_0^2 - \omega^2 K_{гч}} - \arctan \frac{\omega \frac{\omega_0}{Q_F}}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

где $K_{нч} = \frac{G_\Sigma}{G4}$, $K_{гч} = \frac{C1+C2}{C2}$, $G1 = \frac{1}{R1}$, $G2 = \frac{1}{R2}$, $G3 = \frac{1}{R3}$, $G4 = \frac{1}{R4}$, $G_\Sigma = G1 + G2 + G4$,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{G1G3G4}{C1C2G_\Sigma}}, \quad \frac{\omega_0}{Q_F} = \frac{(C1+C2)G1G4}{C1C2G_\Sigma},$$

$$K_{pez1} = \frac{G_\Sigma}{G4}, \quad K_{pez2} = \frac{G3G_\Sigma C1}{G1G4(C1+C2)}$$

Расчет этих характеристик выполнен в программном продукте MathCAD и приведен на рис. 2 и 3.

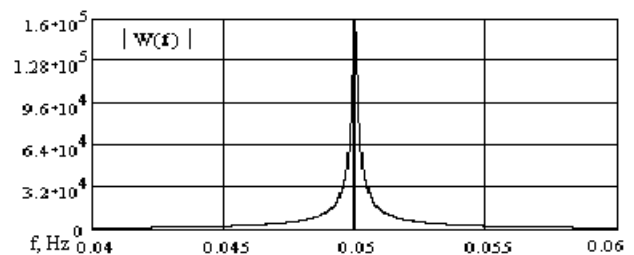


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика

При оптимизации параметров схемы АФ критерием была взята полоса пропускания на уровне -3 дБ для центральной частоты 0,05 Гц, соответствующей частоте медленных волн миоэлектрической активности желудка здорового человека [4]. В результате установлено, что наилучшей избирательности можно достичь при $C1=C2$, $R2+R4 \gg R_{вых ОУ}$. Получены полоса пропускания 0,2 мГц, коэффициент усиления (КУ) на центральной частоте 15000, но при бесконечном коэффициенте усиления ОУ с разомкнутой обратной связью.

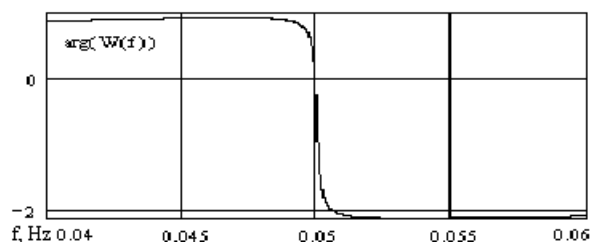


Рис. 3. Фазо-частотная характеристика

Влияние КУ ОУ на вид АЧХ было также исследовано, его результаты приведены на рис. 4.

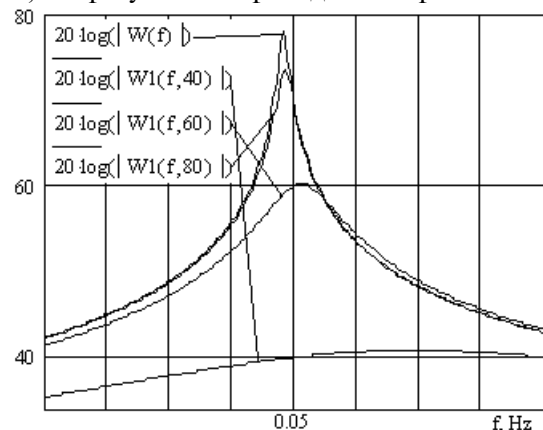


Рис. 4. Зависимость АЧХ от коэффициента усиления операционного усилителя

Из рис. 4 видно, что при незначительном различии в центральной частоте и пиковом КУ, АЧХ для бесконечного КУ и КУ ОУ, равного 80 дБ, повторяют друг друга. Реальные ОУ обладают КУ, достигающим 130 дБ.

Для выявления возможностей расстройки по частоте и изменения добротности активной части АФ было проведено дополнительное моделирование схемы в программных продуктах Electronics Workbench и P-CAD 2001, так как эти продукты позволяют варьировать такими параметрами, как входной ток сдвига ОУ, а также температурные коэффициенты емкости и сопротивления. Установлено, что изменение номинала резистора R2 (рис. 6) в основном варьирует добротностью АФ, в то время как резисторами R1, R3, R4 в большей степени изменяется центральная частота (рис. 5, 7, 8).

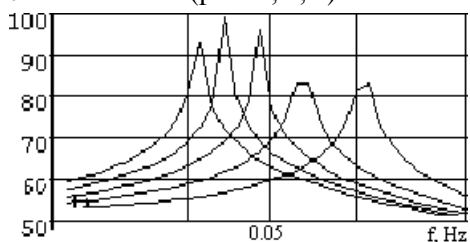


Рис. 5. Зависимость АЧХ от значения R1

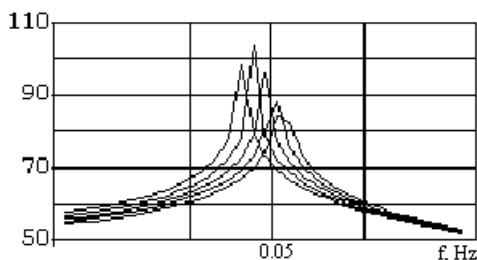


Рис. 6. АЧХ (R2)

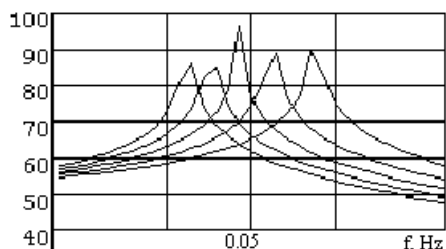


Рис. 7. АЧХ (R3)

Следовательно, применяя электрически управляемые эквиваленты резисторов с номиналами, взятыми из таблицы, можно осуществлять подстройку и перестройку указанных параметров, что очень удобно в целевом использовании данного АФ — электроэнтерогаграфии.

Пользоваться таблицей следует так: нумерация графиков на рис. 5-10 осуществляется по пикам слева-направо; каждый график на отдельном рисунке соответствует изменению номинала одного компонента.

	Значения R1-4, C1, 2				
Пик №	1	2	3	4	5
R1, МОм	6	5	4	3	2
R2, кОм	13	14	15	16	17
R3, кОм	7	6	5	4	3
R4, МОм	7,1	6,1	5,1	4,1	3,1
C1, мкФ	2,2	1,7	1,2	0,7	0,2
C2, мкФ	2,2	1,7	1,2	0,7	0,2

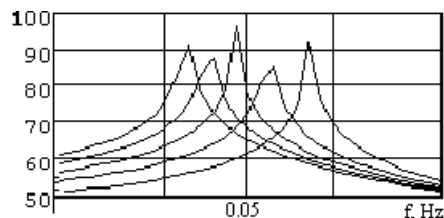


Рис. 8. АЧХ (R4)

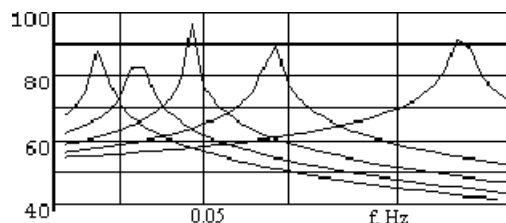


Рис. 9. АЧХ (C1)

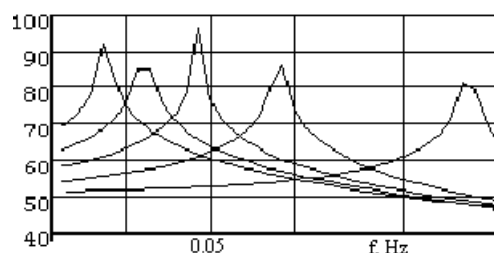


Рис. 10. АЧХ (C2)

Ввиду того, что АФ усиливает сигнал во всей полосе частот на 40 дБ и скачок в усилении происходит лишь вблизи центральной частоты, в схему введен двухзвенный фильтр низких частот, который ослабляет уровень входного сигнала до необходимого для работы АФ в режиме не навязанных колебаний.

Литература: 1. Пат. 2085150 РФ, МКИ А 61 В 5/05 Универсальный энтерогастрограф. Яковенко В.Н., Яковенко С.В., Смирнова В.И., Шульгина Н.М.; Институт хирургии им. А.В. Вишневского РАМН; 27.08.97 - 2с. 2. Пат. 99074009 України, МКИ А 61 В 5/05. Универсальный энтерогастрограф. Хаджієв О.Ч., Лупальцов В.І., Лагутін М.Ф., Ягнюк А.І., Кузін А.І., Оразкулієва Л.Ч.; Харківський державний медичний університет; Заявл. 13.07.99; Дата прийняття рішення 09.02.2000. 11с. 3. Пат. 2000063603 України, МКИ А 61 В 5/05 Спосіб оцінки функціонального стану шлунково-кишкового тракту. Хаджієв О.Ч., Лупальцов В.І., Сімоненков О.П., Кузін А.І.; Харківський державний медичний університет; Заявл. 21.06.2000. 6с. Дата прийняття рішення 09.11.2000. 6с. 4. McCallum RW, Chen JDZ, Lin ZY, Schirmer BD, Williams RD, Ross R. Gastric pacing improves gastric emptying and symptoms in patients with gastroparesis. Gastroenterology. 1998;114:456-461.

Поступила в редколлегию 07.09.2001

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Лагутин М.Ф.

Кузин Антон Иванович, аспирант кафедры радиоэлектронных устройств ХНУРЭ. Научные интересы: создание аппаратуры для электрогастрографии, цифровая обработка электрогастрограммы. Увлечения и хобби: Management of human resources. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 40-94-44.

Журавель Владимир Владимирович, соиск. зван. магистра при кафедре радиоэлектронных устройств ХНУРЭ. Научные интересы: создание аппаратуры для электроэнтерогастрографии. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 40-94-44.