

22.06.2015р.

2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» із змінами, внесеними відповідно до Закону № 124-ВІІІ від 15.01.2015.

3. Новіков В. М. Аналізування вимог до компетентності клініко-діагностичних лабораторій / В. М. Новіков // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – Одеса, 2015. – Вип. 2(7). – С. 66 – 68.

4. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій – [Чинний від 2007-

07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 27 с. – (Національний стандарт України).

5. Новіков В. М., Никитюк О. А., Новіков В. В. Основи компетентності лабораторій. Навчальний посібник // Під ред. Д. ф.-м. н. проф. Новікова. – К.: Фавор, 2013. – 268 с.

Надійшла до редакції 31.10.2016

**Рецензент:** д.т.н., проф. Коломієць Л. В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

**А. А. Никитюк, д.с.-х.н., В. Н. Новиков, д.ф.-м.н.**

## АНАЛИЗИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КОМПЕТЕНТНОСТИ КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

*В статье продолжен анализ современных требований к качеству и компетентности медицинских (клинико-диагностических) лабораторий, определенных стандартом ДСТУ EN ISO 15189:2015, касаемых взаимодействия процессов в лаборатории и индикаторов качества исполнения основных процессов.*

**Ключевые слова:** компетентность, медицинские лаборатории, системы управления качеством.

**А. А. Nykytyuk, DSc, V. N. Novikov, DSc**

## AN ANALYSIS OF REQUIREMENTS IS TO COMPETENCE OF CLINICODIAGNOSTIC LABORATORIES

*In the article the analysis of modern requirements is conducted to the competence of medical (clinicodiagnostic) laboratories, certain the standard of DSTU EN ISO 15189:2015.*

*Grounded features of development of requirements to the competence in part of management of medical laboratory as compared to a laboratory proof-of-concept.*

**Keywords:** competence, medical laboratories, control system by quality.

УДК 621.372.54

**Г. Н. Ергиев, к.т.н.**

*Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса*

## СИНТЕЗ АКТИВНЫХ RC-ФИЛЬТРОВ С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РЕЗОНАТОРАМИ

*В статье предлагается метод синтеза фильтров с пьезоэлектрическими резонаторами, при котором реализацию сложных фильтров предполагается осуществлять на базе каскадно-развязанного включения типовых звеньев фиксированного порядка из некоторого базового набора. Аппроксимация, т.е. конструирование передаточной функции фильтра производится методами оптимизации с учетом требований всех условий, как физической, так и схемной реализации. Приведен пример решения задачи аппроксимации для выбранного типа звена с различными требованиями к АЧХ фильтра.*

**Ключевые слова:** активные фильтры с пьезоэлектрическими резонаторами, аппроксимация АЧХ методами оптимизации, базовый набор звеньев, САПР.

Одной из актуальных задач при проектировании и разработке систем связи, радиосвязи, радиолокации, систем телеметрии, автоматического контроля и управления,

приборостроении является задача синтеза высокочастотных фильтров со стабильными характеристиками, этим техническим требованиям соответствуют схемы

фільтров с пьезоелектрическими резонаторами [1]. К основним известним производителям фільтров с пьезоелектрическими резонаторами в настоящее время, можно отнести такие фирмы, как: ABRACON CORPORATION, Advanced Crystal Technology (Великобритания), ОАО «Морион» (Санкт-Петербург), АО «ОНИИП» (Омск) и др. В настоящее время, чаще всего такие фильтры строят на основе активных аналогов лестничных или мостовых схем, содержащих пьезоелектрические резонаторы различного конструктивного исполнения [1 – 4]. В качестве основных рабочих параметров такого рода селективных устройств, чаще всего, указывают [1]: частотный диапазон, например, 0,04...160 МГц; относительные полосы пропускания (для полосовых или режекторных фильтров) это обычно порядка 0,01...3%; гарантированное затухание в полосе задерживания это величины порядка 20...80 дБ; коэффициент усиления до 30 дБ; ток потребления до 1 мА. В отличие от методов расчета активных RC-фильтров, методы расчета которых, по рабочим параметрам, хорошо разработаны и доведены до уровня автоматизированных систем проектирования [5], расчет по рабочим параметрам активных фильтров с пьезоелектрическими резонаторами остается сложным для инженерной практики. К нему не применимы методы, используемые при расчетах избирательных устройств без пьезоелектрических резонаторов из-за особенностей конструкции последних.

Известно [1 – 4] что в схемах селективных устройств с пьезоелектрическими резонаторами между элементами фильтра должны иметь место определенные связи и ограничения, обусловленные особенностями конструкции резонаторов и свойствами используемых материалов (природный кварц, синтетические пьезоматериалы, пьезокерамика, и т.д.). На рис. 1 приведена электрическая схема замещения пьезоелектрического резонатора и частотная зависимость его сопротивления.

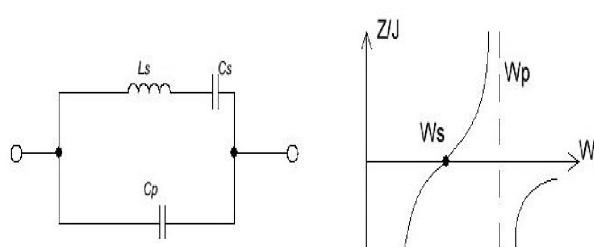


Рисунок 1 – Схема замещения и частотная характеристика пьезоелектрического резонатора

Частоту  $\omega_s$  называют частотой последовательного резонанса, а частоту  $\omega_p$  – частотой параллельного резонанса резонатора. Эти частоты связаны с параметрами схемы замещения следующим очевидными соотношениями:

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}},$$

$$\omega_p = \omega_s \sqrt{1 + \frac{C_s}{C_p}},$$

где  $L_s$  и  $C_s$  – соответственно динамические индуктивность и емкость, а  $C_p$  – статическая емкость резонатора. Для пьезоелектрических резонаторов существенной конструктивной величиной является емкостное отношение  $C_p/C_s = r$ , это отношение зависит от величины коэффициента электромеханической связи, которым характеризуется пьезоелектрический материал. Значение коэффициента электромеханической связи у различных материалов может значительно отличаться: так у кварца он равен 0,09, а у виннокислого калия 0,41, что соответствует величинам параметра  $r$  соответственно 125 и 24.

Важным параметром, который определяет возможную ширину полосы пропускания полосового фильтра, является резонансный промежуток резонатора  $\omega_p - \omega_s$ , который с учетом того, что  $\omega_p = \omega_s \sqrt{1 + 1/r}$  и при условии  $r > 20$  легко может быть выражен через  $r$ :  $\omega_p - \omega_s \cong \omega_s / 2r$  (значения частот нормированы). Откуда видно, что чем больше  $r$ , тем меньше возможная полоса пропускания фильтра.

В связи с указанными выше особенностями схем фильтров с пьезоелектрическими резонаторами, синтез пьезоелектрических фильтров по рабочим параметрам остается задачей достаточно сложной и трудоемкой. На этапе решения задачи аппроксимации, кроме условий физической реализуемости, необходимо учитывать условия схемной реализуемости конструируемой передаточной функции  $T(p)$  ( $p=j\omega$ ).

С целью повышения эффективности проектирования и упрощения в дальнейшем процедуры настройки фильтров с пьезоелектрическими резонаторами сосредоточим внимание на разработке методики синтеза пьезоелектрических фильтров, где в плечах активных аналогов мостовых звеньев будет не более одного резонатора. В этом случае, процедура реализации фильтра из-за

возможности применения активных звеньев из некоторого ограниченного базового набора значительно упрощаются, вместе с этим, существенно упростится и процедура настройки фильтра. Такой подход к проектированию фильтров с пьезоэлектрическими резонаторами аналогичен каскадно-развязанному методу реализации активных  $RC$ -фильтров. Тогда их проектирование легко может быть реализовано в системе автоматического проектирования (САПР), аналогичного системе расчета активных  $RC$ -фильтров, описанного в [5].

**Целью настоящей статьи** является разработка метода проектирования активных  $RC$ -фильтров с пьезоэлектрическими резонаторами методологически подобного методу проектирования активных  $RC$ -фильтров, который состоит из двух этапов: аппроксимации амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и реализации.

В статье рассматривается метод расчета активных  $RC$ -фильтров с пьезоэлектрическими резонаторами по рабочим параметрам, когда их конструктивные особенности, определяющие условия их схемной реализуемости, учитываются на этапе конструирования передаточной функции  $T(p)$ , т.е. на этапе аппроксимации АЧХ.

Будем рассматривать решение задачи проектирования на примере простого (однозвенного) полосового фильтра, который реализуется на базе активного аналога мостовой схемы с одним пьезоэлектрическим резонатором в одном плече и конденсатором в другом. Передаточную функцию такого звена можно представить в виде

$$T(p) = \frac{p(x_4 - x_1)(p^2 + \omega_\infty^2)}{(p^3x_4 + p^2 + px_3 + x_2)(px_1 + 1)}, \quad (1)$$

где:  $\omega_\infty$  – частота нуля  $T(p)$ , которую можно выразить через коэффициенты передаточной функции следующим образом:

$$\omega_\infty^2 = \frac{(x_3 - x_2 x_4)}{(x_4 - x_1)}.$$

Коэффициенты  $T(p)$  связаны с элементами схемы выражениями:

$$\begin{aligned} x_1 &= R_h C, \quad x_2 = 1/L_s C_s = \omega_s^2, \\ x_3 &= R_h C_p \omega_s^2 (1 + 1/r), \\ x_4 &= R_h C_p, \end{aligned}$$

здесь  $R_h$  – сопротивление нагрузки,  $C$  – величина конденсатора в одном плече мостовой схемы,  $L_s$ ,  $C_s$  и  $C_p$  – параметры схемы замещения резонатора находящегося в другом плече схемы.

Задачу аппроксимации АЧХ такого пьезоэлектрического фильтра предлагается решать методами оптимизации в следующей формулировке: при фиксированном порядке функции  $T(p)$ , определяемом в общем случае количеством звеньев  $n$  с передаточной функцией вида (1), и заданными значениями  $\omega_{\infty i}$  ( $i$  – номер звена, может меняться от 1 до  $n$ ) найти

$$\min_{\mathbf{x} \in G} \max_{\omega \in \Omega_n} |A(\omega, \mathbf{x})|, \quad (2)$$

где:  $A(\omega, \mathbf{x}) = 10 \lg(1/|T(p)|^2)$  при  $p = j\omega$ ;

$\Omega_n$  – множество частот в интервале приближения (из полосы пропускания фильтра);  
 $G$  – множество допустимых значений искомых переменных  $x$  – коэффициентов функции (1);

$\mathbf{x}$  – вектор коэффициентов функции  $T(p)$ .

Множество  $G$  описывается следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} x_{1i} &> 0, x_{2i} > 0, x_{3i} > 0, x_{4i} > 0, \\ x_{3i} &= x_{4i} (x_{2i}/x_{4i} - \omega_{\infty i}^2)/(x_{2i} - \omega_{\infty i}^2), \\ x_{2i} x_{4i} &/(x_{3i} - x_{2i} x_{4i}) \geq r. \end{aligned}$$

Первые четыре группы неравенств являются условиями физической реализуемости, ограничения равенства связаны с заданной частотой  $\omega_{\infty i}$ . Последняя группа неравенств определяет условия схемной реализуемости и связана с ограничениями на емкостной коэффициент пьезоэлектрических резонаторов  $r$ . Очевидно, что сформулированная выше задача аппроксимации относится к классу задач нелинейного программирования, которая с помощью метода штрафных функций может быть сведена к задаче безусловной оптимизации. В данном случае, из-за общей постановки задачи, т.е. наличия в условиях как ограничений типа неравенств, так и ограничений типа равенств используем метод внешних штрафных функций. В этом случае, вспомогательная функция будет иметь вид:

$$F(\mathbf{x}, \alpha) = f(\mathbf{x}) + \varphi(\mathbf{x}, \alpha),$$

где  $f(\mathbf{x})$  – целевая функция задачи оптимизации (2),  $\varphi(\mathbf{x}, \alpha)$  – внешняя штрафная функция, с параметром  $\alpha > 0$ .

Штрафная функция определяется следующим образом:

$$\varphi(\mathbf{x}, \alpha) = \begin{cases} 0, & \text{если } \mathbf{x} \in G \\ \rightarrow \infty, & \text{если } \mathbf{x} \notin G \end{cases}.$$

Следует отметить, что метод внешних штрафных функций не требует, чтобы начальная точка в процессе оптимизации принадлежала

множству  $G$ , что удобно и позволяет задавать начальное приближение произвольно.

Решение задачи безусловной оптимизации будем искать достаточно эффективным и устойчивым методом Нелдера-Мида, который относится к методам нулевого порядка не использующим информации о производных целевой функции (используемая в нашем случае функция  $\text{minmax}$  – недифференцируемая). В

таблице 1 приведены численные значения коэффициентов функции (1), полученные в результате решения поставленной задачи аппроксимации для однозвенного фильтра при  $\omega_\infty=1,005$  и 1,01 и ряда значений относительных полос пропускания  $\Delta$ , где неравномерность затухания в полосе пропускания не превышает 3 дБ.

Таблица1 – Значения коэффициентов функции  $T(p)$  однозвенного фильтра

$\Delta$	$\omega_\infty=1,005$			
	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_1$
0,001	0,9989262	0,7897648	0,7843395	0,2195430
0,002	0,9974380	1,2588010	1,2376610	0,4121060
0,003	0,9967021	1,6704510	1,6626790	0,6675740
0,004	0,9956049	2,6054730	2,5962080	1,1622200
0,005	0,9945080	3,2229300	3,2150140	1,5666700

$\Delta$	$\omega_\infty=1,01$			
	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_1$
0,001	0,9989010	0,5229359	0,5193570	0,3235956
0,002	0,9980370	0,6186640	0,6201370	0,4108790
0,003	0,9977786	0,8892930	0,8842000	0,5679991
0,004	0,9956050	1,6724890	1,6665420	1,1246730
0,005	0,9945070	2,4921820	2,4860600	1,7132550

### Выводы

Предлагаемый метод конструирования передаточной функции  $T(p)$  фильтра с пьезоэлектрическими резонаторами, рассмотрен на примере узкополосного фильтра с одним кварцевым резонатором с передаточной функцией вида (1). Аналогичным образом, после проведения анализа соответствующих схем и их передаточных функций, этот подход может быть применен и к расчету широкополосных полосовых фильтров, фильтров верхних и нижних частот, содержащих пьезоэлектрические резонаторы и гираторы (активные схемы, имитирующие индуктивности). На базе описанного подхода к проектированию активных RC-фильтров с пьезоэлектрическими резонаторами может быть разработана система автоматического проектирования таких фильтров, что позволит повысить эффективность и снизит трудоемкость при проектировании подобного типа высокоизбирательных селективных устройств .

### Список использованных источников

1. Тюменцев А. Современные частотные фильтры / А. Тюменцев, И. Ясинский, А. Яковлев // Современная электроника, 2011. –

№ 8. – С. 26 – 27.

2. Ергиев Г. Н. Узкополосный двухзвенный активный пьезоэлектрический RC-фильтр / Г. Н. Ергиев, А. М. Иваницкий // Электросвязь, 1986. – № 6. – С. 57 – 59.

3. Зазерин А. И. Активные фильтры на тонкопленочных пьезоэлектрических резонаторах: Авто-реф. Дис. канд. тех. наук: 05.27.01/ А. И. Зазерин; КПИ. – Киев, 2016. – 20 с.

4. Zazerin A. Filter realization technique based on gyrator-resonator circuit replacement / A. Zazerin, A. Orlov, O. Bogdan // Proceedings of the 2016 IEEE 36<sup>th</sup> International Scientific Conference "Electronics and nanotechnology" (ELNANO-2016). – Kyiv: IEEE, pp 358-361.

5. Златин И. Синтез аналоговых активных и пассивных фильтров в Micro-Cap 8 / И. Златин // Компоненты и технологии, 2006. – № 1. – С. 120 – 124.

Поступила в редакцию 21.11.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Братченко Г. Д., Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса.

Г. М. Єргієв, к.т.н.

## СИНТЕЗ АКТИВНИХ RC-ФІЛЬТРІВ З П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМИ РЕЗОНАТОРАМИ

У статті розглянута процедура синтезу фільтрів з п'єзоелектричними резонаторами, при якому реалізацію складних фільтрів передбачається здійснювати на базі каскадно-розв'язаного включення типових ланок фільтрів фіксованого порядку з деякого базового набору. Апроксимація, тобто конструктування передавальної функції фільтра проводиться методами оптимізації з урахуванням вимог усіх умов, як фізичної, так і схемної реалізації. Наведено приклад рішення задачі апроксимації для обраного типу ланки фільтру з різними вимогами до АЧХ.

**Ключові слова:** активні фільтри з п'єзоелектричними резонаторами, апроксимація АЧХ методами оптимізації, базовий набір схем фільтрів, САПР.

G. Ergiev, PhD

## SYNTHESIS OF ACTIVE FILTER WITH PIEZOELECTRIC RESONATORS

The article describes the procedure for the synthesis filter with piezoelectric resonators, in which the realization of complex filters to be carried out on the basis of cascade-unleashed the inclusion of standard units of fixed order from a base set. Approximation, i.e. the construction of the filter transfer function is optimization techniques to meet the requirements of all conditions, both physical and circuit implementation. An example of solving the problem of approximation for the type of link with the various requirements of the filter response.

**Keywords:** active filters with piezoelectric resonators, approximation of the frequency response optimization methods, a basic set of units, CAD system.

УДК 621.574.9

В. І. Мілованов д.т.н., С. Г. Корнієвич

Одеська державна академія харчових технологій, м. Одеса

## ОБГРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ІЗОБУТАНУ, ЯК ХОЛОДИЛЬНОГО АГЕНТУ

Головною метою дослідження є розгляд питань, що стосуються екологічної та економічної частини застосування різних холодильних агентів. Особлива увага звернена на теплофізичні, вибухонебезпечні, енергетичні та екологічні показники натуральних холдоагентів. Методика дослідження полягає у порівняльному аналізі основних холдоагентів ( $R12$ ,  $R134a$  та  $R600a$ ).

**Ключові слова:** ізобутан, Ozone Depletion Potential (ODP), Global Warming Potential (GWP), холодопродуктивність, пожежонебезпечність, енергетична ефективність, хлорфторвуглець (ХФВ), гідрохлорфторвуглець (ГХФВ)

### Вступ

Відомо, що штучне охолодження здійснюється за допомогою фазових перетворень робочих речовин, так званих холдоагентів, на яких працюють спеціальні агрегати – холодильні машини. Холодильні машини мають різне призначення та конструкцію, у той час як холдоагенти істотно впливають на неї. Та для експлуатації вони потребують екологічно чистих та безпечних речовини, які не завжди відповідають високим вимогам з холдо- та енергопродуктивності.

В останні часи, збільшився попит на малу холодильну техніку, насамперед, на побутові холодильники й морозильники, побутові й автомобільні кондиціонери. На світовому ринку з'явилося багато конкуруючих моделей зазначе-

них виробів від різних виробників. Одним з основних показників їхньої конкурентоздатності є мінімізація енергоспоживання при роботі. Можливості виконання цієї вимоги споживчого ринку конструкторськими рішеннями в наш час обмежені. Тому один з основних шляхів рішення проблеми зниження енергоспоживання малої холодильної техніки – вибір холдоагентів з найкращими теплофізичними й термодинамічними властивостями. Однак наприкінці минулого сторіччя загострилася ще одна проблема – проблема екології. Ця проблема набула всесвітнього характеру, коли були прийняті Монреальський (у вересні 1987 р.) та Кіотський (у грудні 1997 р.) протоколи. Тому в останні роки увага фахівців і виробників малої холодильної техніки звернена на