

Ю.Е. Паеранд, Донбаський державний технічний університет

О.П. Калашников, Донбаський державний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ АНАЛОГІЙ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ФІЛЬТРІВ

Паеранд Ю.Е., Калашников О.П.

Використання методу електромеханічних аналогій при дослідженні амплітудно-частотних характеристик електромеханічних фільтрів

Наведено результати моделювання амплітудно-частотних характеристик електромеханічних фільтрів з використанням методу електромеханічних аналогій. Показано вплив зміни добротності різних елементів коливальної системи на амплітудно-частотну характеристику електромеханічного фільтру.

Ключові слова: електромеханічний фільтр, амплітудно-частотна характеристика, електромеханічна аналогія.

Паэранд Ю.Э., Калашников А.П.

Использование метода электромеханических аналогий при исследовании амплитудно-частотных характеристик электромеханических фильтров.

Приведены результаты моделирования амплитудно-частотных характеристик электромеханических фильтров с использованием метода электромеханических аналогий. Показано влияние изменения добротности различных элементов колебательной системы на получаемую амплитудно-частотную характеристику электромеханического фильтра.

Ключевые слова: электромеханический фильтр, амплитудно-частотная характеристика, электромеханическая аналогия.

Одним з пристроїв, що здійснюють фільтрацію сигналів в апаратурі систем зв'язку, є електромеханічні фільтри (ЕМФ), принцип роботи яких заснований на використуванні явища механічного резонансу. Ці фільтри характеризуються високою вибірковістю і стабільністю, яких можливо досягти, використовуючи інформацію про вплив точності настройки елементів на характеристики шляхом моделювання амплітудно-частотних характеристик ЕМФ.

Аналіз публікацій показав, що, не дивлячись на наявність відомих математичних моделей ЕМФ [1], відсутні дослідження, що дозволяють провести оцінку впливу виробничих погрешностей на параметри ЕМФ.

У даній роботі зроблена спроба дослідження впливу величини добротності елементів ЕМФ на їх амплітудно-частотні характеристики (АЧХ).

Для оцінки впливу елементів ЕМФ, а саме резонаторів, перетворювачів, електричного контура, що погоджує, авторами проведено моделювання АЧХ для ЕМФ на верхню бічну смугу з несучою частотою 128 кГц з розрахунковою смугою пропускання 3,3 кГц і максимально припустимою нерівномірністю 0,11 дБ. Об'єктом моделювання є ЕМФ, який складається з десяти резонаторів циліндрової форми, що працюють на крутильних коливаннях основної частоти, і двох перетворювачів, що працюють на вигинних коливаннях першої гармоніки (рис.1). Резонатори механічної фільтруючої системи виготовлялися з елінварного сплаву марки 44НХМТ. Перетворювачі складені із жорстко сполучених один з одним металевих резонаторів із сплаву 44НХМТ і пьезокерамічних елементів з пьезоматеріала ЦТС-35.

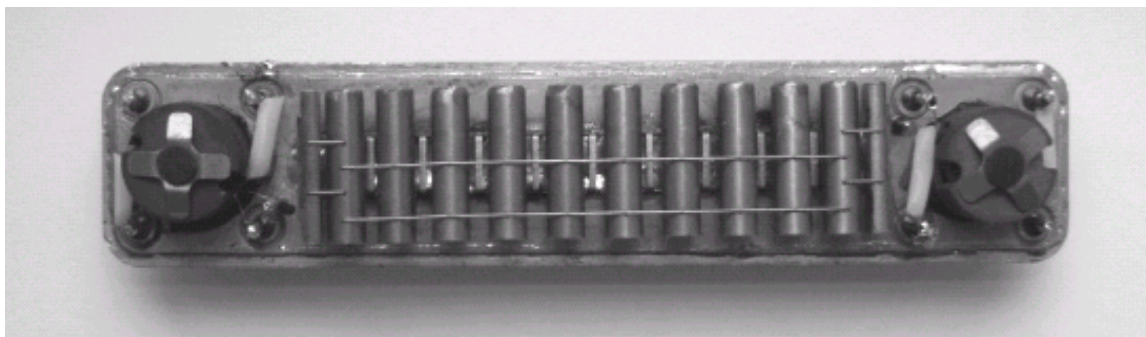


Рис.1. Конструкція ЕМФ

Для проведення розрахунку запропонована модель, побудована з використанням теорії електромеханічних аналогій, в основі якої лежить подібність диференціальних рівнянь, що описують динамічні процеси в області механіки і електротехніки. Згідно даної моделі електромеханічний фільтр представлено у вигляді еквівалентної електричної схеми, що дозволяє застосувати для його аналізу теорію електричних ланцюгів.

Електричні моделі механічних елементів ЕМФ можуть бути побудовані у вигляді ланцюгів з пасивних елементів по одній з двох відомих систем електро-механічних аналогій. По першій системі кінетична енергія відповідає енергії магнітного поля, потенційна – енергії електричного поля. Згідно другій системі аналогій, званій ще аналогією по рухливості, навпаки, кінетична енергія відповідає енергії електричного поля, а потенційна енергія відповідає енергії магнітного поля. Таким чином, реальна механічна конструкція при заміні її еквівалентною електричною схемою представляється у вигляді динамічної системи, що складається з пружних, інерційних і фрикційних елементів, а також діючих на систему зовнішніх сил, що ідеалізуються.

При моделюванні використовувалася еквівалентна електрична схема ЕМФ для парної кількості резонаторів (рис. 2), складена відповідно до першої системи електромеханічних аналогій. Вона є послідовно-паралельним з'єднанням резисторів, конденсаторів і індуктивностей, значення параметрів яких розраховані по спеціальній методиці [3].

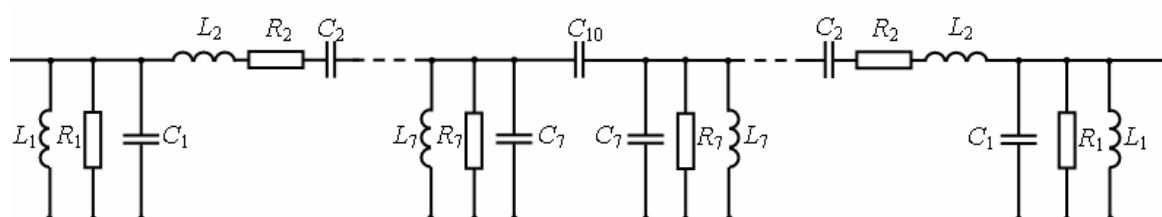


Рис.2. Схема заміщення ЕМФ

Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення виконувався для наступних початкових даних (табл. 1). При цьому були використані наступні розрахункові формули (табл. 2) [4, 5].

На рисунку 3 представлені результати розрахунку АЧХ фільтру (крива 1) для параметрів відповідних даним, наведеним на таблиці 1, а також типова АЧХ (крива 2), одержана за наслідками вимірювання виготовлених зразків ЕМФ.

Як видно з рисунка, розрахункова і типова характеристики практично співпадають, що дозволяє зробити висновок про високу точність методу моделювання, що був використаний.

Таблиця 1

Дані для розрахунку фільтру

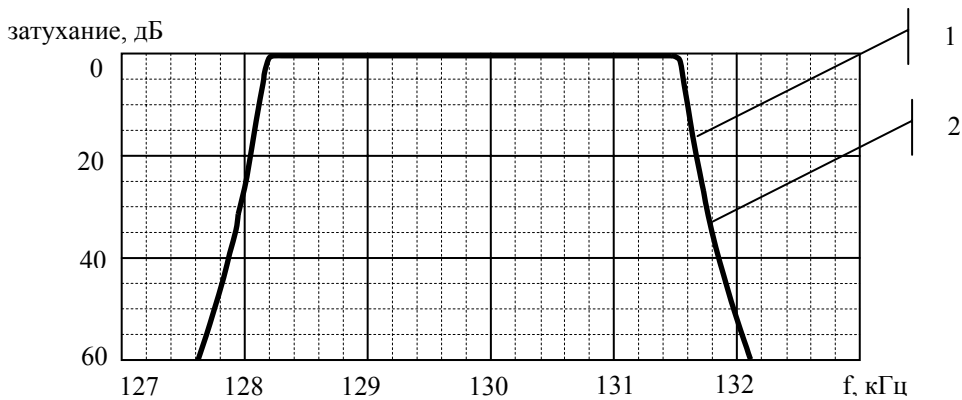
Динамічна місткість (Сд), пФ	4,325·10 ⁻¹²
Коефіцієнт електромеханічного зв'язку Ксв	0,1048
Ширина смуги пропускання Df, Гц	3300
Добротність котушки Qa	120
Добротність перетворювача Qпр.	1500
Добротність резонатора Qр	20000
Середня частота f _o , Гц	129840
Кругова частота ω ₀	815808,780
Нормовані коефіцієнти фільтру [4]:	
α ₁	0,937356493
β ₂	1,633627876

Таблиця 2

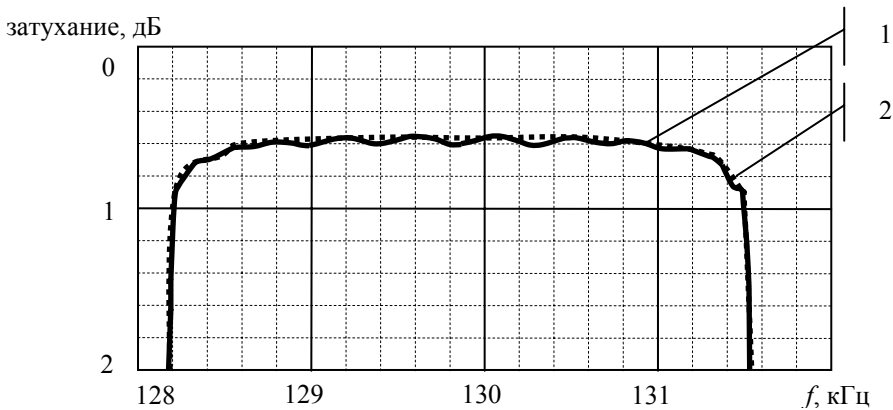
Розрахункові формули елементів фільтру

Величина, зворотна відносній ширині смуги пропускання (n)	$n = \frac{f_0}{\Delta f}$	
Розрахунковий опір навантаження, Ом	$R_H^* = \frac{\rho}{C_{ДИН} \cdot \alpha_1 \cdot n \cdot \omega_0}$	
Нормований коефіцієнт навантаження r _н	$r_n = \frac{1}{\frac{1}{1 - \frac{\alpha_1 \cdot n}{\rho} \cdot \left(\frac{1}{Q_{np}} - \frac{1}{Q_p} \right)} - \frac{\alpha}{Q_\alpha}}$	
Опір навантаження R _н , Ом	$R_H = R_H^* \cdot r_H$	
Розрахунок індуктивностей, Гн	$L_1 = \frac{K_{св}^2}{C_1 \cdot \omega_0^2}; \quad L_2 = \frac{1}{C_{ДИН} \cdot \omega_0^2}$	
	При i = 3,5,7 $L_i = \frac{\rho}{\beta_{i-1} \cdot n} \cdot \frac{R_H^*}{\omega_0}$	При i = 4,6 $L_i = \frac{\alpha_{i-1} \cdot n}{\rho} \cdot \frac{R_H^*}{\omega_0}$
Розрахунок місткостей, Ф	$C_1 = \frac{C_{ДИН}}{K_{св}^2} \quad C_2 = C_{ДИН}$	
	При i = 3,4,5,6,7	$C_i = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot L_i}$

Місткість (-С8, С9, -С10), Ф	$\frac{\rho}{R_H^* \cdot \omega_0}$	
Розрахунок опорів втрат, Ом	$R_1 = \omega_0 \cdot L_1 \cdot Q_\alpha$	$R_2 = \frac{\omega_0 \cdot L_2}{Q_{np}}$
	При $i = 3, 5, 7$ $R_i = \omega_0 \cdot L_i \cdot Q_{рез}$	При $i = 4, 6$ $R_i = \frac{\omega_0 \cdot L_i}{Q_{рез}}$



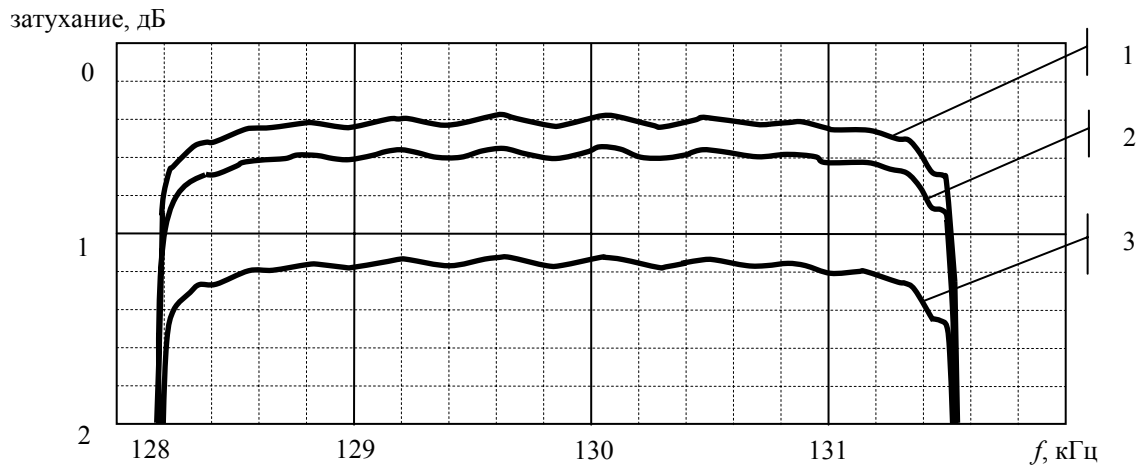
а)



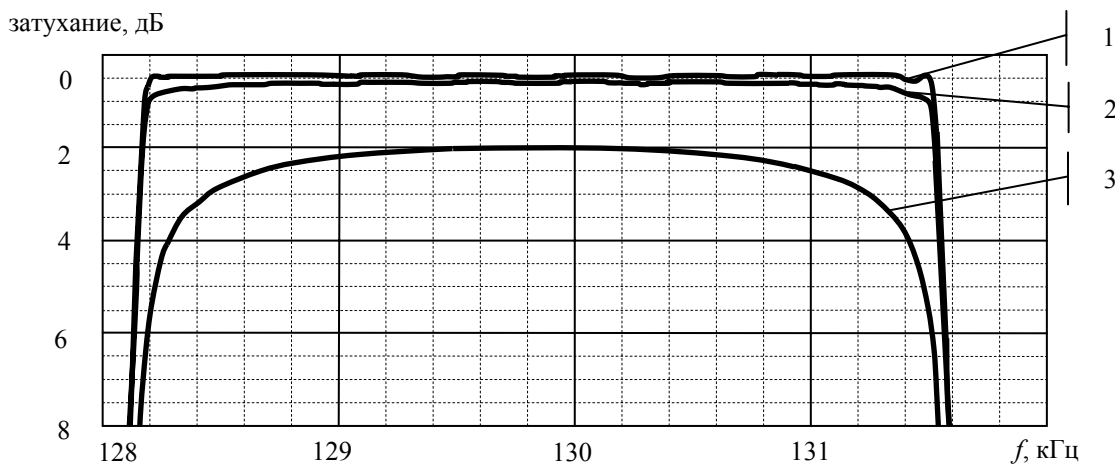
б)

Рис.3. Розрахункова і типова АЧХ ЕМФ

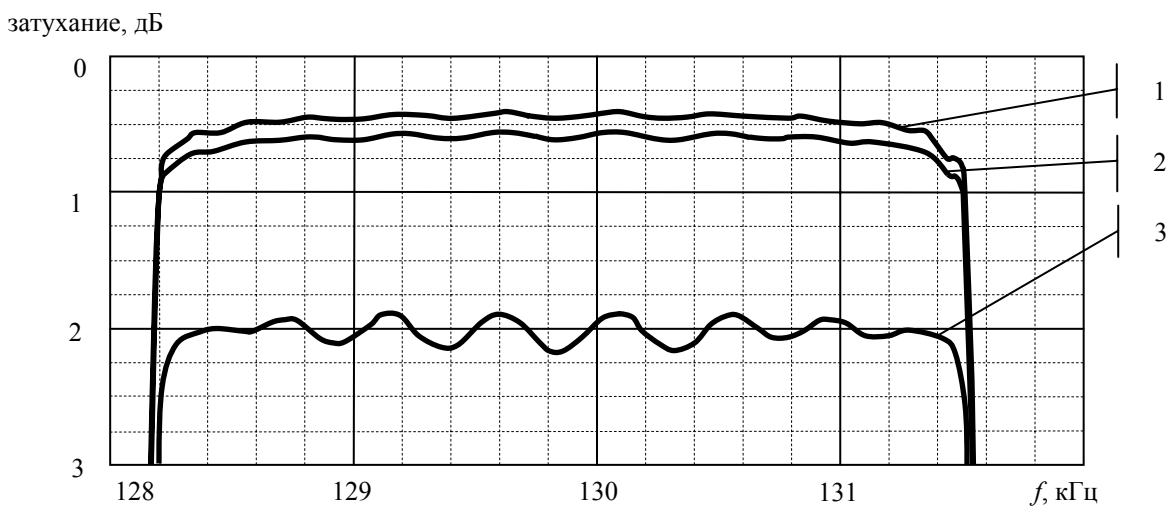
З використанням вказаного вище методу моделювання авторами був проведений розрахунок АЧХ фільтрів для різних добротностей резонаторів перетворювачів і погоджувючих індуктивностей. Результати розрахунків наведені на рисунках 4 ÷ 6.



а) характеристики при добротностях перетворювачів
 $Q=5000$ (крива 1), $Q=1500$ (крива 2) і $Q=450$ (крива 3)



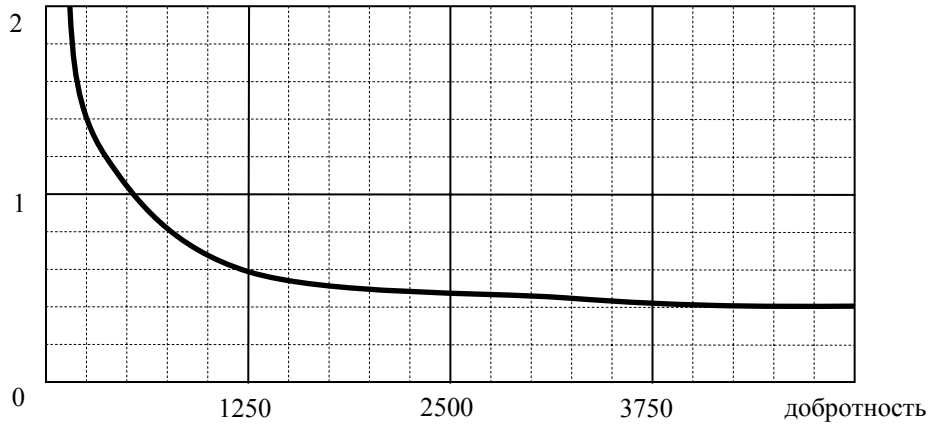
б) характеристики при добротностях резонаторів
 $Q=200000$ (крива 1), $Q=20000$ (крива 2), $Q=2000$ (крива 3)



в) характеристики при добротностях погоджувачих індуктивностей
 $Q=1200$ (крива 1), $Q=120$ (крива 2), $Q=12$ (крива 3)

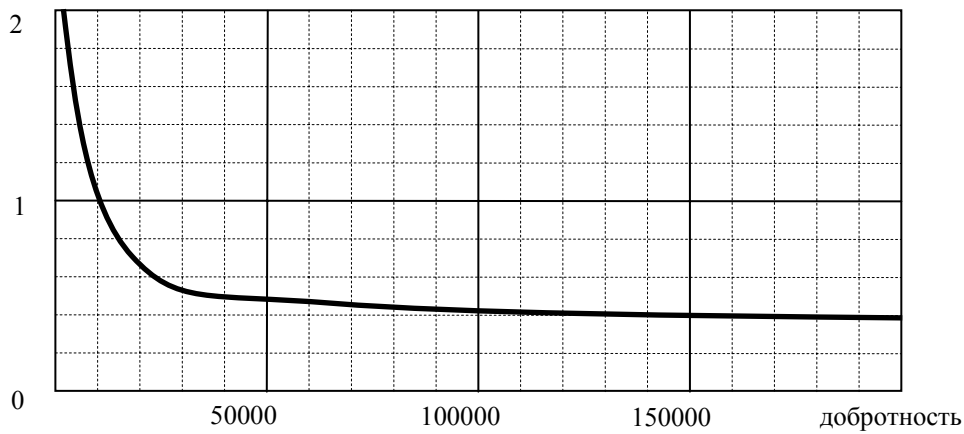
Рис.4. АЧХ ЕМФ при різних значеннях добротностей елементів

затухание, дБ



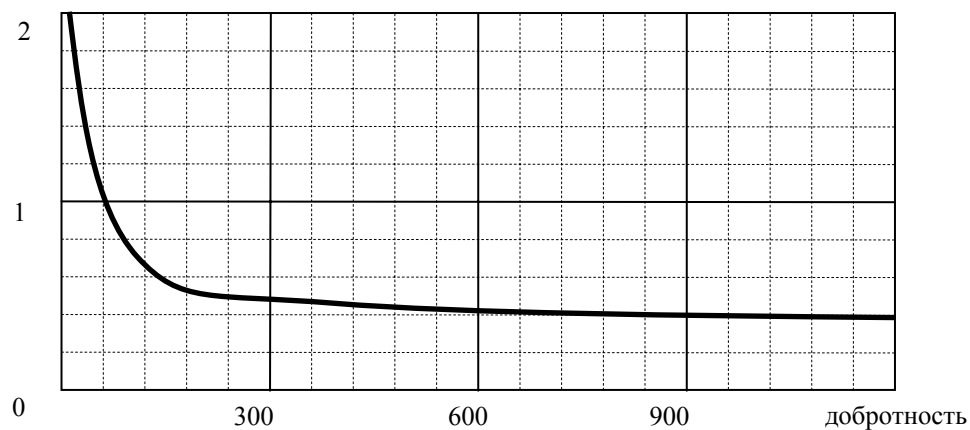
а) вплив зміни величини добротності перетворювачів на величину згасання в смузі пропускання ЕМФ

затухание, дБ



б) вплив зміни величини добротності резонаторів на величину згасання в смузі пропускання ЕМФ

затухание, дБ



в) вплив зміни величини добротності погоджуючих індуктивностей на величину згасання в смузі пропускання ЕМФ

Рис.5. Вплив зміни величини добротності елементів на величину згасання в смузі пропускання ЕМФ

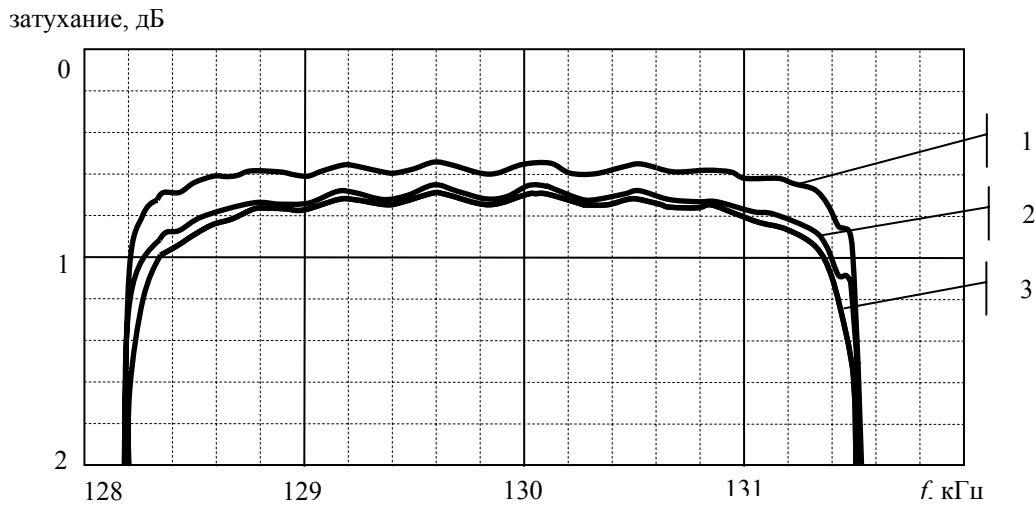


Рис.6. Вплив зміни величини добротності окремих резонаторів на величину згасання в смузі пропускання ЕМФ:

(крива 1 - характеристики при добротностях резонаторів $Q=20000$ для всіх елементів; крива 2 - при зменшенні добротності до $Q=2000$ окремо для 5-го резонатора; крива 3 - при зменшенні добротності до $Q=2000$ окремо 1-го резонатора).

Аналіз впливу зміни добротності перетворювачів і індуктивностей, що погоджують, на АЧХ показав, що зміна добротності одного з перетворювачів або однієї з індуктивностей, що погоджують, приводить до зміни згасання, що приблизно дорівнює половині ефекту, викликаного їх сумісним впливом, що вноситься. В той же час вплив резонаторів різний і залежить від місцеположення його в коливальній системі (рис. 6). Резонатори, розташовані ближче до центру, більшою мірою впливають на величину загасання, що вноситься, ніж резонатори, розташовані ближче до перетворювача.

При цьому слід зазначити те, що зниження добротності центральних резонаторів помітно знижує вибірковість фільтру, яке виявляється в закругленні АЧХ на ділянках переходу від смуги пропускання в смузі затримання, тобто на частотах 128100 і 131600 Гц. Надалі можливе проведення дослідження впливу зміни інших параметрів ЕМФ на амплітудно-частотні характеристики.

Література

1. **Джонсон Р.** Механические фильтры в электронике. – М.: Мир, 1986.- 457с.
2. **Моделирование** амплитудно-частотных характеристик электро-механических фильтров с использованием метода электромеханических аналогий. // Труды 6-й научно-практической конференции «Современные информационные технологии - 2005». – Одесса, ДП «Нептун-Технология», 2005.- 206с.
3. **Коган С.С.** Параметры электромеханических полиномиальных фильтров. // Сборник "Вопросы радиоэлектроники", сер. X1. Техника проводной связи, вып.3,1962г. - С.42-48.
4. **Моховиков Н.В.,** Степанов А.С., Ярицына Т.В. Согласование канальных электромеханических фильтров с учетом потерь в элементах преобразователей.// ТСС, сер. ТПС, вып.9, 1985 г.- С.114-118.
5. **<http://www.rockwellcollins.com/otherbusinesses/collins-filters>**.

Paerand Y.E., Kalashnikov A.P.

Use of method of electromechanical analogies at research of frequency characteristics of electromechanical filters.

Results of modeling of frequency characteristics of electromechanical filters with use of a method of electromechanical analogies are resulted. Influence of change of good quality of various elements of oscillatory system on the received frequency characteristic of the electromechanical filter is shown.

Key words: electromechanical filter, frequency characteristics, electromechanical analogy.

Відомості про автора

Паеранд Едуард Юрійович – кандидат технічних наук, завідувач кафедри "Електронні системи" Донбаського державного технічного університету.

Калашников Олександр Павлович – старший викладач кафедри "Електронні системи" Донбаського державного технічного університету.