

СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ П'ЕЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ДОДАТКОВИМИ КОЛИВАЛЬНИМИ КОНТУРАМИ

У статті побудовані схемотехнічні моделі та проведено моделювання п'єзоелектричних перетворювачів з додатковими електричними коливальними контурами. Використання таких моделей дозволяє за допомогою прикладних програм проводити оцінку характеристик і прогнозування параметрів і режимів роботи п'єзоелектричних перетворювачів. Наведені результати моделювання амплітудно-частотних характеристик п'єзоелектричних перетворювачів з двома контурами та порівняння їх з експериментальними характеристиками.

Ключові слова: п'єзоелектричний перетворювач, схемотехнічне моделювання, коливальний контур, амплітудно-частотна характеристика.

K. V. BAZILO

Cherkasy State Technological University

CIRCUIT SIMULATION OF THE PIEZOELECTRIC TRANSDUCER WITH ADDITIONAL OSCILLATORY CIRCUITS

Abstract – In this paper schematic models and simulation of piezoelectric transducers with additional electrical circuit are built. The use of such models allows using applications to assess characteristics and prediction parameters and modes of piezoelectric transducers. The results of modelling of amplitude-frequency characteristics of piezoelectric transducers with two circuits and their comparison with experimental characteristics are shown. To improve the characteristics of transducers can be used additional electrical circuits. The decreasing of the resonance frequency and increasing the sound pressure level can increase the range of the transducers. Increased bandwidth enables transducers to improve the parameters of underwater communication.

Key words: piezoelectric transducer, circuit simulation, oscillatory circuit, amplitude-frequency response.

Вступ

П'єзоелектричні перетворювачі широко використовуються в електроакустиці, в ультразвуковій, медичній, вимірвальній техніці, в скануючих зондових наномікроскопах, п'єзодвигунах, в інших галузях науки і техніки [1, 2].

Для виготовлення п'єзоелектричних перетворювачів використовують п'єзоелементи у вигляді п'єзорезонаторів і п'єзотрансформаторів. Останні в ряді випадків дозволяють поліпшити характеристики перетворювачів [3, 4].

У роботах [4–6] описані методи синтезу (створення, проектування) п'єзоелектричних перетворювачів. Ці методи дозволяють створювати перетворювачі з необхідними характеристиками.

Серед описаних технологій особливий інтерес представляє технологія додаткових елементів, так як у цьому випадку зміна характеристик перетворювача здійснюється за рахунок зовнішніх для п'єзоелемента ланцюгів [6].

Суть цієї технології полягає в тому, що до п'єзоелементи приєднують додаткові елементи, які змінюють характеристики перетворювача [7–10].

Аналітичні вирази для розрахунку амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) таких коливальних систем відсутні, тому визначення АЧХ часто проводять експериментальним шляхом, що не завжди зручно і призводить до збільшення часового чинника при проектуванні п'єзоелектричних перетворювачів.

Тому **метою** даної роботи є побудова схемотехнічної моделі п'єзоелектричного перетворювача з додатковими коливальними контурами. Використання таких моделей дозволяє за допомогою прикладних програм проводити оцінку характеристик і прогнозування параметрів і режимів роботи п'єзоелектричних перетворювачів.

Основна частина

Схемотехнічне моделювання проводилося для п'єзоелектричного перетворювача на основі біморфного елемента від перетворювача ЗП-19 виробництва ВАТ «Аврора» (Волгоград), амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) якого показана на рис. 1, б.

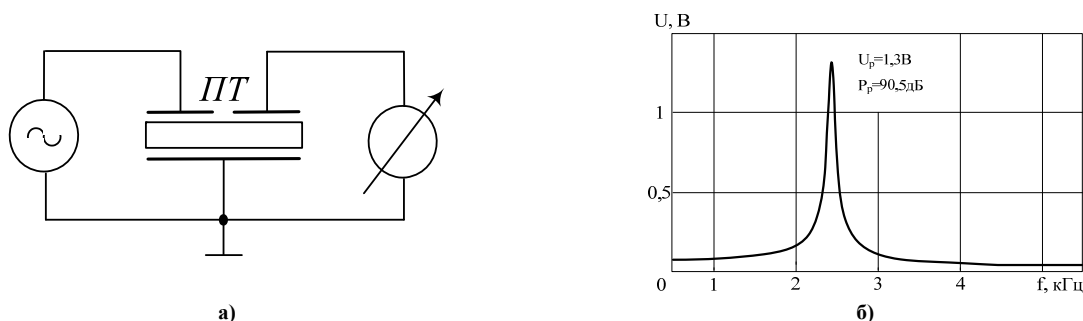


Рис. 1. Схема підключення п'єзоелектричного перетворювача (а) і його амплітудно-частотна характеристика (б)

Біморфний елемент складається з пластини із сталі 40Х діаметром 32 і товщиною 0,15 мм. До пластини приклеєний епоксидним компаундом п'єзоелемент Ø23 і товщиною 0,2 мм. Перетворювач закріплений в корпусі з ударостійкого полістиролу. На вхід п'єзоелектричного перетворювача подавалася напруга від генератора ГЗ-109. Напруга на виході вимірювалася за допомогою мілівольметра В3-38 (рис. 1, а).

На рис. 2, а представлений п'єзоелектричний перетворювач у вигляді п'єзотрансформатора з двома індуктивностями, причому індуктивність $L1$ разом із вхідною міжелектродною ємністю п'єзоелектричного перетворювача утворюють коливальний контур. Індуктивність $L2$ разом з вихідною міжелектродною ємністю п'єзоперетворювача також утворюють коливальний контур [9]. Результати вимірювань показані на рис. 2, б.

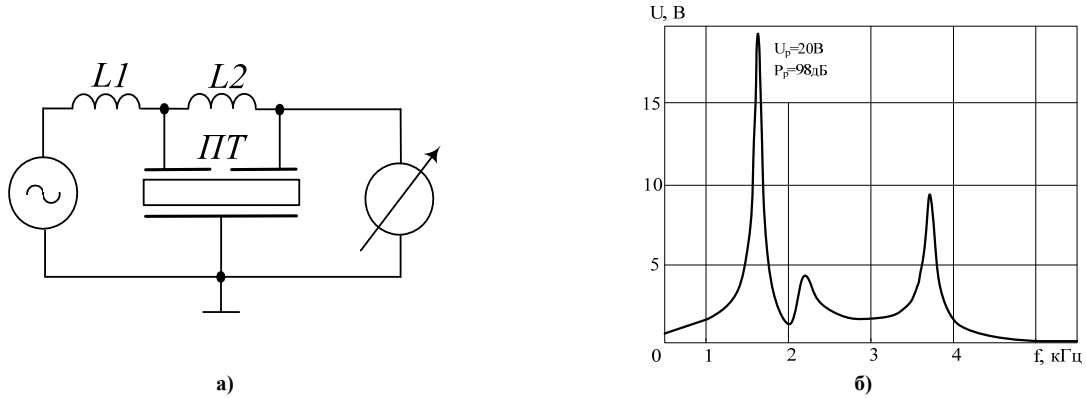


Рис. 2. П'єзоелектричний перетворювач з додатковими індуктивностями (а) і його амплітудно-частотна характеристика (б)

З рис. 2 видно, що для перетворювача з додатковими індуктивностями вдалося знизити робочу частоту з 2,3 до 1,6 кГц, при цьому вдалося збільшити рівень звукового тиску з 90,5 до 98 дБ відносно перетворювача без додаткових елементів (рис. 1).

Для перетворювача з додатковими індуктивностями (рис. 2, а) була побудована еквівалентна схема заміщення (рис. 3, а) та проведено її моделювання в програмі Micro-Cap (рис. 3, б).

На рис. 4, а представлений п'єзоелектричний перетворювач у вигляді п'єзотрансформатора з двома індуктивностями і конденсатором, причому індуктивність $L1$ і конденсатор $C1$ утворюють коливальний контур. Індуктивність $L2$ разом з міжелектродною ємністю п'єзоелектричного перетворювача також утворюють коливальний контур. Причому індуктивності підбираються таким чином, щоб резонансні частоти утворених коливальних контурів збіглися з резонансною частотою механічних коливань п'єзотрансформатора [10].

Результати вимірювань показані на рис. 4, б.

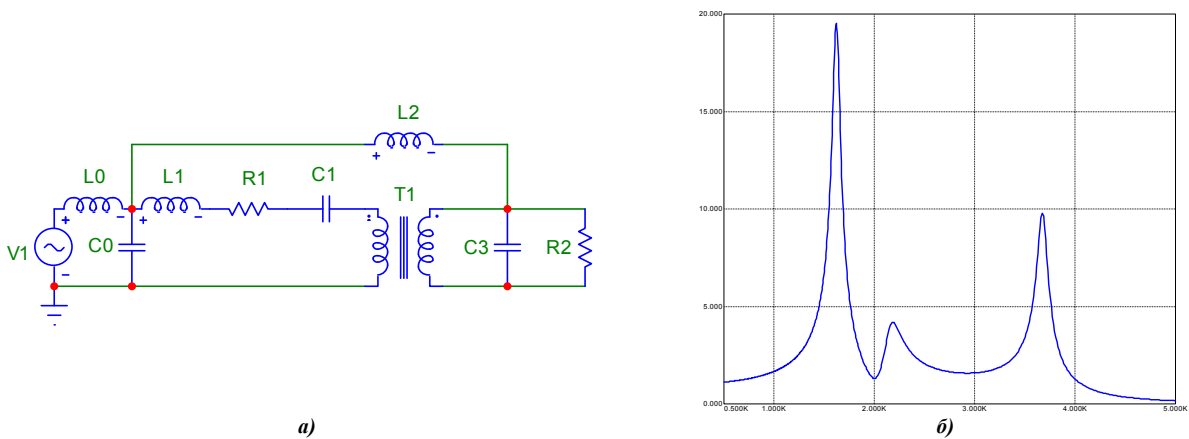


Рис. 3. Схематехнічна модель п'єзоелектричного перетворювача з додатковими індуктивностями (а) і результати моделювання АЧХ у програмі Micro-Cap (б)

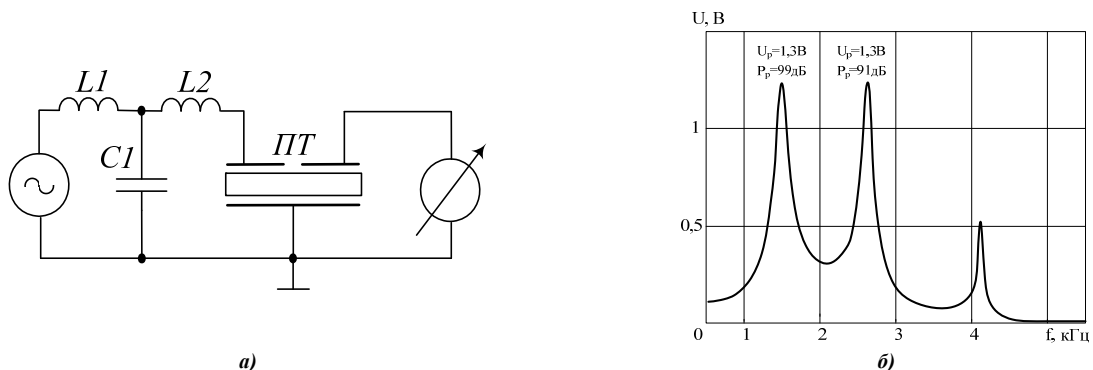


Рис. 4. П'єзоелектричний перетворювач з додатковими індуктивностями (а) і його амплітудно-частотна характеристика (б)

З рис. 4 видно, що для перетворювача з додатковими коливальними контурами вдалося знизити робочу частоту з 2,3 до 1,4 кГц, при цьому вдалося зберегти рівень вихідної напруги 1,3 В і збільшити рівень звукового тиску з 90,5 до 99 дБ відносно перетворювача без додаткових елементів (рис. 1).

Для перетворювача з додатковими індуктивностями (рис. 4, а) була побудована еквівалентна схема заміщення (рис. 5, а) та проведено її моделювання в програмі Мікро-Сар (рис. 5, б).

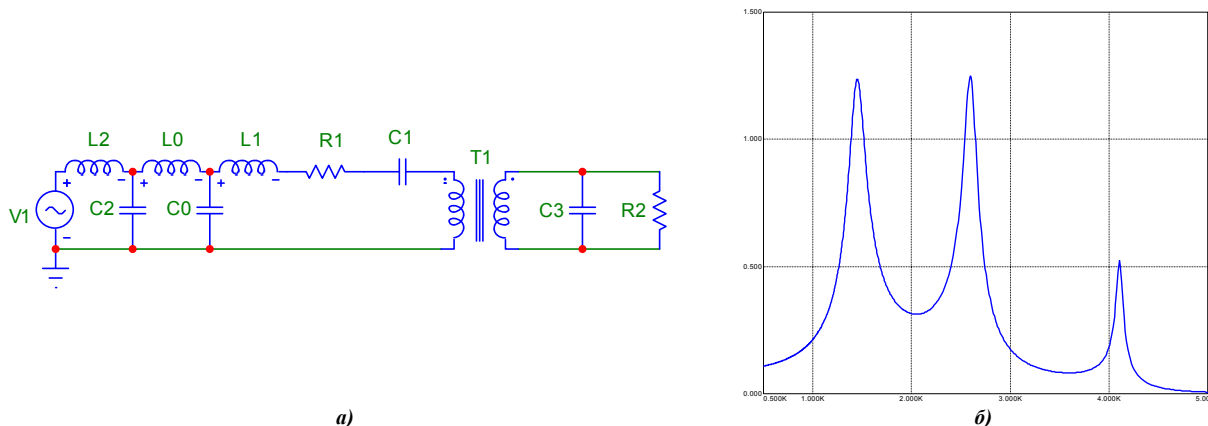


Рис. 5. Схематехнічна модель п'єзоелектричного перетворювача з додатковими індуктивностями (а) і результати моделювання АЧХ в програмі Мікро-Сар (б)

Як видно з рис. 2–5 амплітудно-частотні характеристики побудованих схематехнічних моделей практично збігаються з характеристиками експериментального зразка.

Висновки

1. Побудовано схематехнічні моделі п'єзоелектричного перетворювача з додатковими коливальними контурами.
2. Використання запропонованих схематехнічних моделей дозволяє за допомогою прикладних програм робити оцінку характеристик, прогнозувати параметри і режим роботи п'єзоперетворювачів.

Література

1. Sharapov V. Piezoceramic sensors / V. Sharapov. – Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2011. – 498 p.
2. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
3. Sharapov V. Piezoelectric electroacoustic transducers / V. Sharapov, Zh. Sotula, L. Kunitskaya. – Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2013. – 240 p.
4. Пьезоэлектрические трансформаторы и датчики / В.М. Шарапов, И.Г. Минаев, Ж.В. Сотула, К.В. Базило, Л.Г. Куницкая / Под ред. В.М. Шарапова. – Черкассы: Вертикаль, 2010. – 278 с.
5. Шарапов В.М. Технологии синтеза пьезоэлектрических датчиков // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2010. – №3. – С. 90–96.
6. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические преобразователи. Новые технологии проектирования / В.М. Шарапов, Ж.В. Сотула // Электроника НТБ. – 2012. – №5. – С. 96–102.
7. Ткаченко О.С. Дослідження впливу додаткового опору на амплітудно-частотні характеристики п'єзоелектричних перетворювачів / О.С. Ткаченко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2012. – №1. – С. 108–112.
8. Пат. 56932 Україна, МПК H04R 17/00. Електроакустичний перетворювач / В.М. Шарапов, Ж.В. Сотула, І.В. Черноший, Л.Г. Куницкая, К.В. Базило. – № 201012464 ; заявл. 22.10.10 ; опубл. 25.01.11, бюл. № 2.
9. Пат. 59818 Україна, МПК H01F 30/00. П'єзоелектричний трансформатор / В.М. Шарапов, В.Г. Савін, К.В. Базило, І.О. Моргун, О.С. Ткаченко. – № 201100397 ; заявл. 13.01.11 ; опубл. 25.05.11, бюл. № 10.
10. Пат. 59819 Україна, МПК H01F 30/00. П'єзоелектричний трансформатор / В.М. Шарапов, В.Г. Савін, К.В. Базило, І.О. Моргун, О.С. Ткаченко. – № 201100398 ; заявл. 13.01.11 ; опубл. 25.05.11, бюл. № 10.

References

1. Sharapov V. Piezoceramic sensors / V. Sharapov. – Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2011. – 498 p.
2. Sharapov V.M., Musienko M.P., Sharapova E.V. P'ezoelektricheskie datchiki. Moscow, Texnosfera, 2006, 632 p. [in Russian]
3. Sharapov V. Piezoelectric electroacoustic transducers / V. Sharapov, Zh. Sotula, L. Kunitskaya. – Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2013. – 240 p.
4. Sharapov V.M., Minaev I.G., Sotula Zh.V., Bazilo K.V., Kunitskaya L.G. P'ezokeramicheskie transformatory' i datchiki. Cherkasy, Vertikal', 2010, 278 p. [in Russian]
5. Sharapov V.M. Tekhnologii sinteza p'ezokeramicheskix datchikov, *Visnyk ChDTU*, Cherkasy, 2010, No. 3, pp. 90–96. [in Russian]
6. Sharapov V.M., Sotula Zh.V. P'ezokeramicheskie preobrazovateli. Novy'e tekhnologii proektirovaniya, *E'lektronika NTB*, 2012, No. 5, pp. 96–102. [in Russian]

7. Tkachenko O.S. Doslidzhennia vplyvu dodatkovoho oporu na amplitudno-chastotni kharakterystyky piezoelektrychnykh peretvoriuvachiv, *Visnyk Khmelnytskogo Natsionalnogo Universytetu, Technical sciences*, Khmelnytsky 2012, No. 1, pp. 108–112. [in Ukrainian]
8. Pat. 56932 Ukraina, MPK H04R 17/00. Elektroakustychnyi peretvoriuvach / V.M. Sharapov, Zh.V. Sotula, I.V. Chornoshyi, L.H. Kunytska, K.V. Bazilo. – No. 201012464 ; zaiavl. 22.10.10 ; opubl. 25.01.11, biul. No. 2. [in Ukrainian]
9. Pat. 59818 Ukraina, MPK H01F 30/00. Piezoelektrychnyi transformator / V.M. Sharapov, V.H. Savin, K.V. Bazilo, I.O. Morhun, O.S. Tkachenko. – No. 201100397 ; zaiavl. 13.01.11 ; opubl. 25.05.11, biul. No. 10. [in Ukrainian]
10. Pat. 59819 Ukraina, MPK H01F 30/00. Piezoelektrychnyi transformator / V.M. Sharapov, V.H. Savin, K.V. Bazilo, I.O. Morhun, O.S. Tkachenko. – No. 201100398 ; zaiavl. 13.01.11 ; opubl. 25.05.11, biul. No. 10. [in Ukrainian]

Рецензія/Peer review : 1.10.2013 р. Надрукована/Printed :24.11.2013 р.
Рецензент: Шарапов В.М., д.т.н., професор, завідувач кафедри КІТП, ЧДТУ, Черкаси

УДК 621.396.96

Л.В. КАРПОВА, Д.А. МАКАРИШКІН
Хмельницький національний університет

МЕТОД ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЕХО-СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ДОДАТКОВОГО АЛГОРИТМУ АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ

В статті розроблено метод обробки радіолокаційних ехо-сигналів на основі додаткового алгоритму автокореляційного оцінювання комплексної обвідної ехо-суміші, що дає змогу реалізувати наявну амплітудну та кутову модуляцію в радіолокаційних сигналах навіть без попередньої їх оцінки. Отримано ряд аналітичних виразів функцій невизначеності радіолокаційних сигналів при їх амплітудній та кутовій модуляції випадковими процесами з різними законами розподілу.

Ключові слова: кореляція, функція невизначеності, закон розподілу, комплексна обвідна сигналу.

L.V. KARPOVA, D.A. MAKARISHKIN
Khmelnytsky National University

RADAR ECHO PROCESSING METHOD, SIGNAL BASED ON ADDITIONAL EVALUATION ALGORITHM AUTOCORRELATION

Abstract – In this article a method for processing radar echo signals from additional autocorrelation estimation algorithm integrated bypass echo mixture, allowing to implement existing amplitude and angle modulation in radar signal even without prior evaluation.

The method is based on the use of the autocorrelation properties of the signal, the evaluation of which are equally considered as deterministic and nondeterministic components. The basic idea of the method is based on the fact that the active and semi-active radar echo signals all in one sensing period correlated with each other both deterministic and for nondeterministic components.

A number of functions analytic expressions of uncertainty radar signals in their amplitude and angular modulation of random processes with different laws of distribution.

Keywords: correlation function of the uncertainty distribution law, complex envelope signal.

Із теорії радіотехнічних систем та сигналів відомо, що потенційна роздільна здатність активних радіолокаційних засобів визначається виключно детермінованими характеристиками зондуючих сигналів (роздільна здатність по дальності) та спрямовуючими характеристиками випромінюючих і прийомних антенних систем (роздільна здатність по кутових координатах) [2, 3]. При цьому, в міру детерміністичних підходів аксіомою є правило, відповідно якого ступінь розрізнення відзеркалених від цілей сигналів (ехо-сигналів) не може перевищувати ступінь розрізнення зондуючих [1]. Це пояснюється тим, що оптимальне виявлення та розрізнення сигналів можливе лише при застосуванні узгоджених алгоритмів, які і реалізують їх потенційні можливості, а узгодження по не детермінованих складових в принципі не можливе.

Дослідження математичної моделі імпульсного зондуючого радіосигналу з урахуванням статистичних моделей амплітудних та кутових спотворень в його комплексній обвідній показали наявність потенційної можливості щодо покращення характеристик активних та напівактивних радіолокаційних засобів, що обумовлено наявністю додаткової амплітудної та кутової модуляції. Проте, недетермінованість самих модулюючих складових через їх флуктуаційну природу не дає змоги застосувати оптимальний (узгоджений) алгоритм, а отже вони носять паразитний характер і єдиним можливим виходом, що застосовується на сьогоднішній день, є максимальна їх компенсація.

В статті пропонується дещо альтернативний підхід, а саме метод, що базується на використанні автокореляційних властивостей сигналу, при оцінці яких однаково враховуються як детерміновані, так і недетерміновані складові. Основна ідея методу базується на тому, що при активній та напівактивній радіолокації всі ехо-сигнали в одному періоді зондування корельовані між собою як за детермінованими, так і за недетермінованими складовими.

Математична модель групового ехо-сигналу – суміші ехо-сигналів від M – цілей, без урахування шумів та завад, може бути представлена у такому вигляді:

$$\dot{u}_{zp}(t) = \sum_{n=1}^M A_n U(t - \tau_n) \xi_u(t - \tau_n) \exp j(\omega_0 t + \omega_n(t - \tau_n) + \varphi_0 + \varphi_n + \xi_\varphi(t - \tau_n)) \quad (1)$$