

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ПЬЕЗОТРАНСФОРМАТОРАМИ
В СХЕМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Шарапов В.М., д.т.н., профессор,

Туз В.В., к.т.н.,

Сотула Ж.В., к.т.н.,

Куницкая Л.Г.,

Базило К.В., к.т.н.

Черкасский государственный технологический университет

У роботі описана можливість застосування в п'єзоперетворювачах механічних величин п'єзотрансформаторів, що включаються до схеми електричних фільтрів низьких частот. Це дозволило розширити робочий діапазон частот п'єзоперетворювачів. Побудована і досліджена модель п'єзоперетворювача за допомогою програми MicroCAP.

Ключові слова: п'єзотрансформатор, перетворювач механічних величин, фільтр низьких частот.

Пьезоэлектрические преобразователи широко применяются в гидроакустике, измерительной и медицинской технике, в сканерах для наномикроскопов, в пьезодвигателях, в других областях науки и техники [1–3].

Недостатком этих преобразователей является сравнительно узкий рабочий диапазон частот.

В работах [2–10] предложено для расширения рабочего диапазона частот включать пьезоэлементы преобразователя в схемы электрических фильтров. Наиболее часто в этих случаях используются схемы фильтров нижних и верхних частот.

Недостатком упомянутых преобразователей является необходимость использования в некоторых схемах двух пьезоэлементов или пьезоэлемента и конденсатора.

Для устранения этого недостатка предложено использовать в схемах преобразователей пьезотрансформаторы, т.е. пьезоэлементы с двумя системами электродов.

Кроме того, для одной или для двух систем предложено электроды располагать таким образом, чтобы вектор электрического поля между этими электродами находился под углом α к вектору поляризации ($0 < \alpha \leq 90^\circ$). Это позволяет получить на этих электродах электрическое напряжение, которое превышает напряжение для традиционного случая, когда $\alpha = 0$ [1, 4].

Целью данной работы является создание пьезокерамических преобразователей механических величин с пьезотрансформаторами в схемах фильтров нижних частот.

The possibility of piezoelectric transformers mechanical quantities use in piezoelectric transducers, that are included to the low-frequency filter electrical circuits, is described in the research. It allowed to extend the piezoelectric transducers frequencies working range. With the use of MicroCAP program the piezoelectric transducer model is designed and investigated.

Key words: piezoelectric transformer, mechanical quantities transducer, low-pass filter.

Несколько схем таких преобразователей показано на рис. 1 [7–10].

Преобразователь механических величин (рис. 1, а) содержит пьезоэлемент 1 с двумя системами электродов 2, 3 и 4, 5 и резисторы R1 и R2. Резисторы соединены с электродами пьезоэлемента и выходом преобразователя. Электрод 5 соединен с общим проводом схемы. Электроды 2, 3, 4 и 5 имеют одинаковую площадь, поэтому при одинаковом механическом воздействии на них образуется одинаковый электрический заряд. Между тем, емкость $C_{2,5}$ между электродами 2 и 5 значительно меньше емкости $C_{4,5}$ между электродами 4 и 5. Это связано, очевидно, с увеличением расстояния между электродами и, возможно, изменением диэлектрической проницаемости в пьезоэлектрике, так как измерения емкости производятся под углом α ($0 < \alpha \leq 90^\circ$) к вектору поляризации P [1]. Поэтому электрическое напряжение на электроде 2 выше, чем на электроде 4, что создает благоприятные условия для работы преобразователя и фильтра.

Для проведения эксперимента использовался пьезоэлемент из пьезокерамики ЦТС-19 диаметром 30 и толщиной 0,8 мм и металлическая пластина из латуни Л63 диаметром 36 и толщиной 0,3 мм.

Компьютерное моделирование пьезокерамических преобразователей проводилось с помощью программы MicroCAP, которая позволяет прогнозировать амплитудно-частотную характеристику преобразователя.

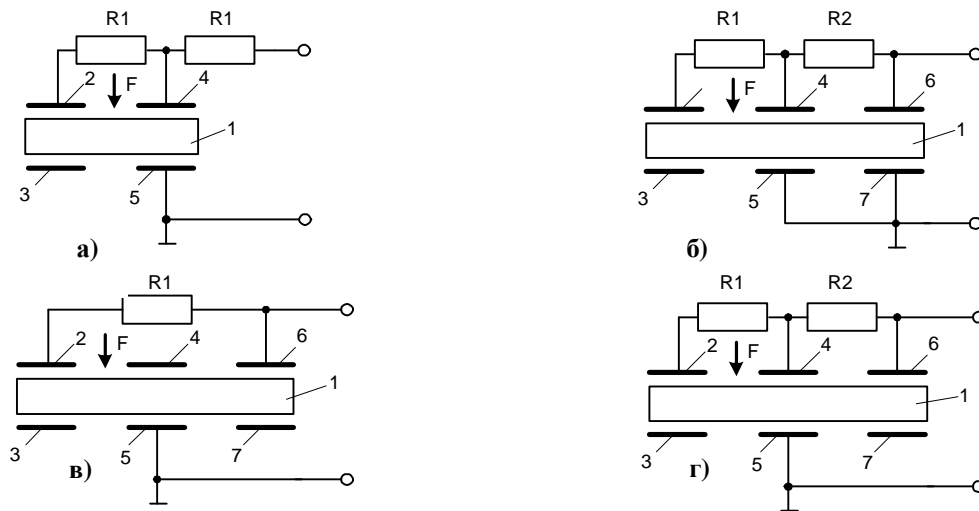


Рис. 1. Преобразователи механических величин

Эквивалентная схема и амплитудно-частотные характеристики преобразователя, построенного по схеме рис. 1, а, показаны на рис. 2.

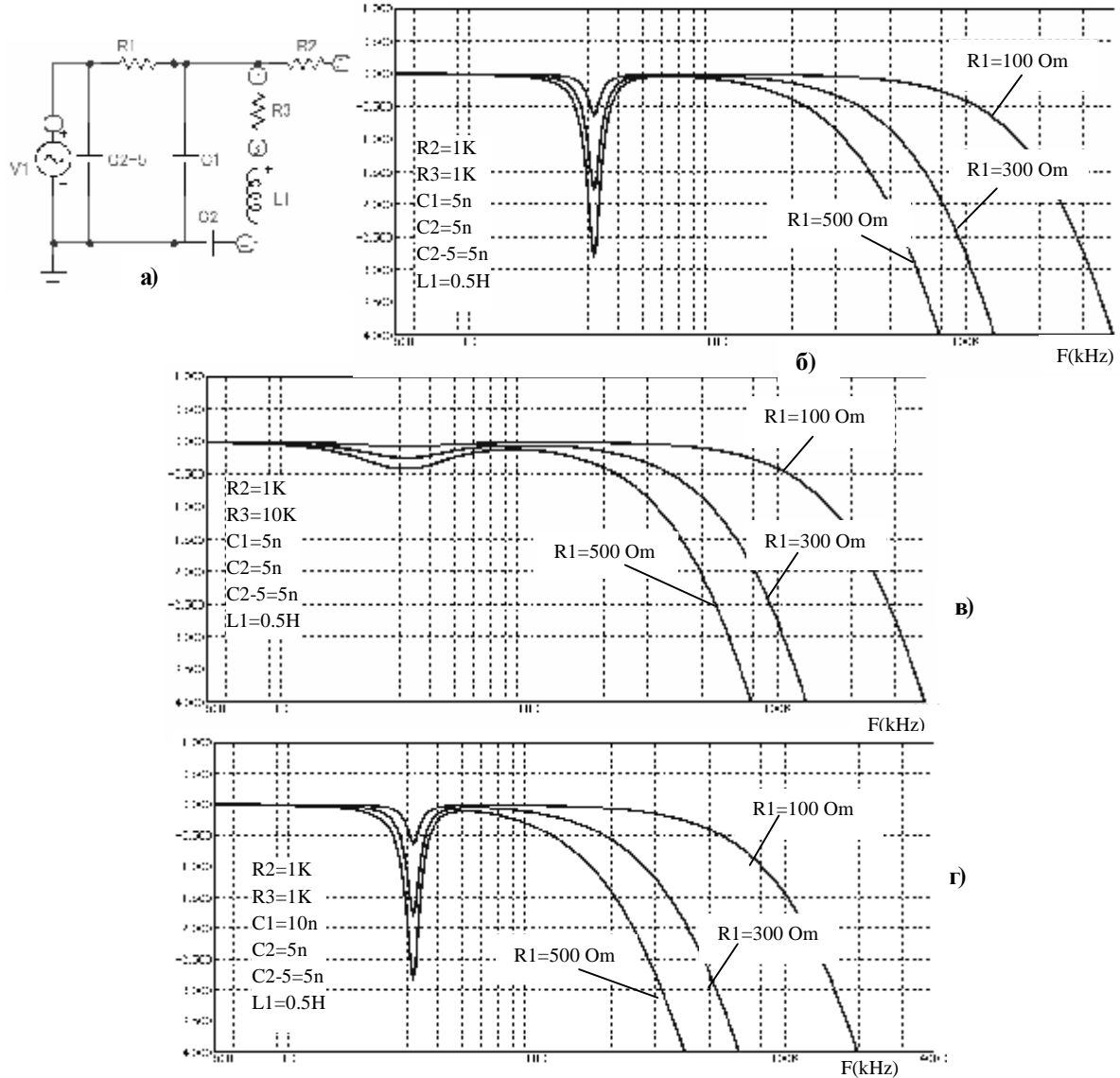


Рис. 2. Эквивалентная схема и АЧХ преобразователя (рис. 1, а): а) эквивалентная схема, б) амплитудно-частотная характеристика при изменении сопротивления R_1 при $R_2 = 1\text{K}$, $C_1 = 5\text{n}$, $C_2 = 5\text{n}$, $C_2 - 5 = 5\text{n}$, $L_1 = 0.5\text{H}$, в) амплитудно-частотная характеристика при изменении сопротивления R_1 при $R_2 = 10\text{K}$, $C_1 = 5\text{n}$, $C_2 = 5\text{n}$, $C_2 - 5 = 5\text{n}$, $L_1 = 0.5\text{H}$ г) амплитудно-частотная характеристика при изменении сопротивления R_1 при $R_2 = 1\text{K}$, $C_1 = 10\text{n}$, $C_2 = 5\text{n}$, $C_2 - 5 = 5\text{n}$, $L_1 = 0.5\text{H}$

На эквивалентной схеме (рис. 2, а) параметры последовательного контура $L1, C2, R3$ соответствуют динамическим параметрам биморфного пьезоэлемента, емкость $C1$ – межэлектродная емкость C_{4-5} . Электрическое напряжение на электроде 2 представлено генератором $V1$.

Как видно из рис. 2, на АЧХ имеется “провал” на частоте $\sim 3,5$ кГц, соответствующей резонансной частоте биморфного пьезоэлемента. Глубина этого “провала” зависит от добротности биморфного пьезоэлемента, т.е. величины сопротивления $R3$.

Кроме того линейность АЧХ и ширина рабочей полосы частот зависит от сопротивления $R1$.

Преобразователь (рис. 1, б) отличается от преобразователя (рис. 1, а) тем, что введена дополнительная цепь $R2 - C_{6-7}$, что позволяет производить еще одно интегрирование входного сигнала, образующегося на электроде 2.

Эквивалентная схема и амплитудно-частотные характеристики преобразователя, построенного по схеме рис. 1, б, показаны на рис. 3.

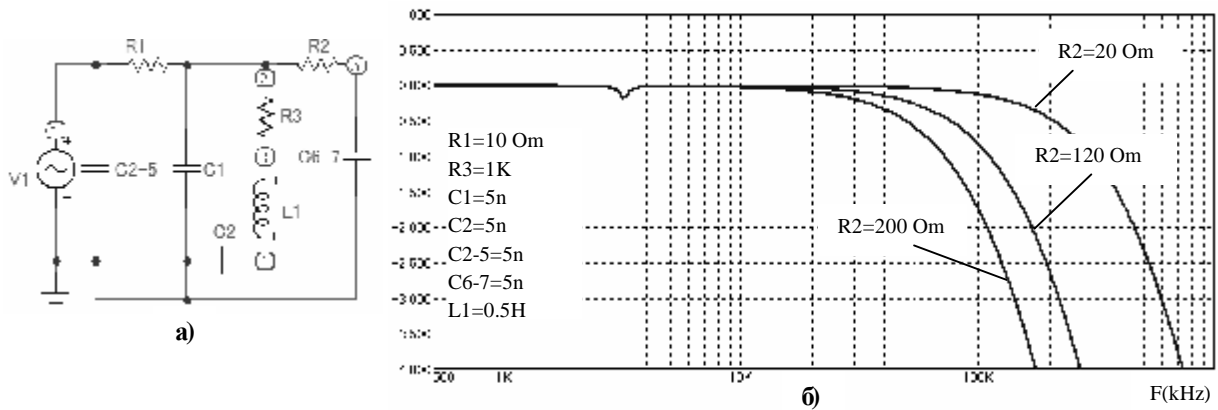


Рис. 3. Эквивалентная схема и АЧХ преобразователя (рис. 1, б): а) эквивалентная схема, б) амплитудно-частотная характеристика при изменении сопротивления $R2$ при $R1=100$ Ом, $C1=5$ н, $C2=5$ н, $C2-5=5$ н, $C6-7=5$ н, $L1=0.5$ Н

Как видно из рис. 3, в этом случае преобразователь также имеет более линейную частотную характеристику.

Схема преобразователя (рис. 1, в) отличается от схемы (рис. 1, а) тем, что в данном случае используются электроды 2–3, 4–5, 6–7. Электрод 5 подключается к общему проводу схемы. Площадь S_2 электрода 2 меньше площади S_5 электрода 5, а площадь S_6 электрода 6 равна площади S_5 , то

есть $S_2 < S_5$ и $S_5 = S_6$. Это приводит к тому, что межэлектродные емкости $C_{2-3} < C_{5-6}$, а следовательно, электрическое напряжение на электроде 2 получается больше, чем на электроде 6. Экспериментально установлено также, что резонансная частота биморфного преобразователя увеличивается.

Эквивалентная схема и амплитудно-частотные характеристики преобразователя, построенного по схеме рис. 1, в, показаны на рис. 4.

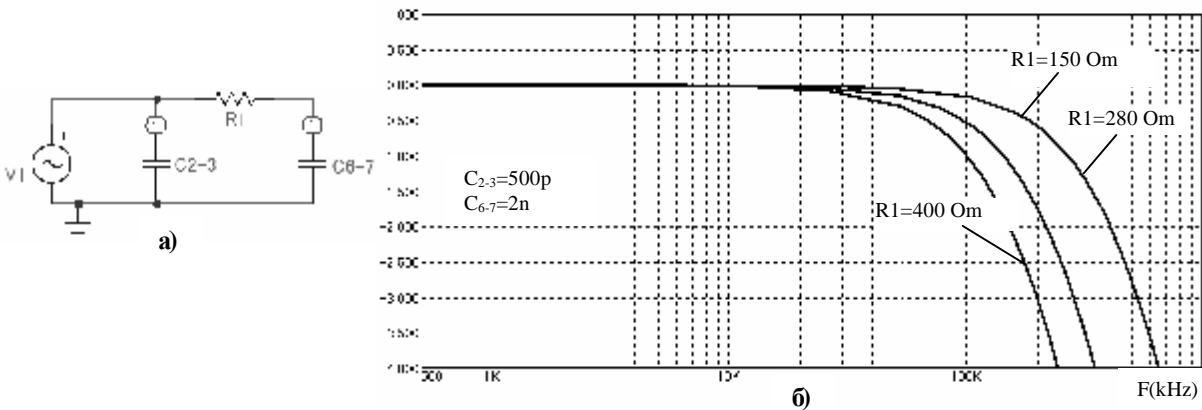


Рис. 4. Эквивалентная схема и АЧХ преобразователя (рис. 1, в): а) эквивалентная схема, б) амплитудно-частотная характеристика при изменении сопротивления $R1$ при $C2-3=500$ п, $C6-7=2$ н

Как видно из рис. 4, рабочий диапазон частот этого преобразователя существенно расширяется.

Эквивалентная схема и амплитудно-частотные характеристики преобразователя, построенного по схеме рис. 1, г, показаны на рис. 5.

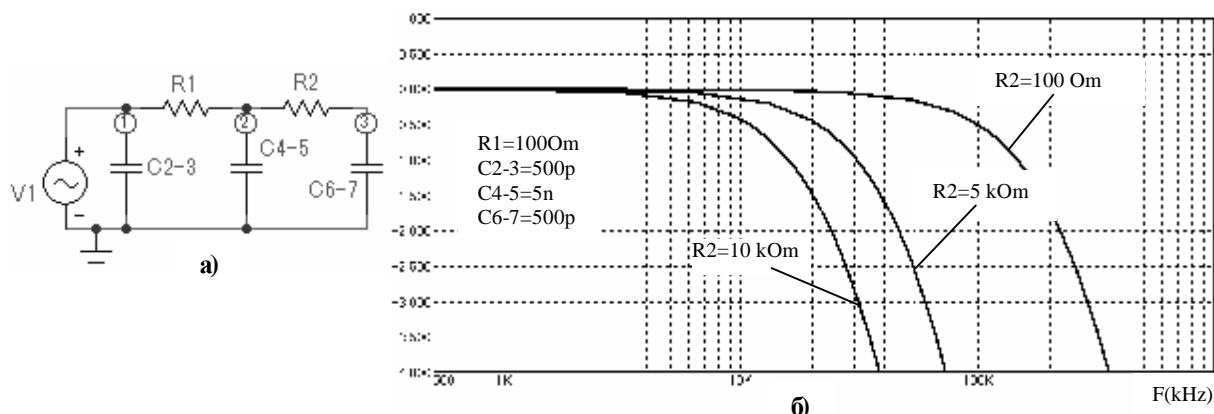


Рис. 5. Эквивалентная схема и АЧХ преобразователя (рис. 1, г):
а) эквивалентная схема, б) амплитудно-частотная характеристика при изменении сопротивления R2 при R1=100 Ом, C2-3=500р, C4-5=5н, C6-7=500р

Как видно из рис. 2-5, подбором соответствующего сопротивления и емкости пьезоэлемента можно обеспечить расширение рабочей полосы частот в 10-15 раз и более.

Выводы:

1. Разработаны и исследованы преобразователи с пьезотрансформаторами в схемах электрических фильтров нижних частот.
2. Создание в схеме пьезотрансформатора интегрирующей цепочки, позволило расширить рабочий диапазон частот преобразователя, при этом АЧХ остается линейной в широком диапазоне.
3. Построены компьютерные модели, с помощью которых можно прогнозировать АЧХ пьезопреобразователей с пьезотрансформаторами в схемах электрических фильтров нижних частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. – М.: «Техносфера», 2006. – 632 с.
2. Шарапов В.М., Трёмбовецкая Р.В., и др. Пьезоэлектрический преобразователь механических величин с пьезоэлементом в схеме фильтра нижних частот // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2005. – № 1. – С. 86–89.
3. Шарапов В.М., Трёмбовецкая Р.В., и др. Пьезоэлектрический преобразователь механических величин с пьезоэлементом в схеме фильтра верхних частот // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2005. – № 2. – С. 32–35.
4. Sharapov V., Vladisaukas A., Bazilo K., Kunit-skaya L., Sotula Zh. Methods of synthesis of

piezoceramic transducers: spatial energy force structure of piezoelement. ISSN 392-2114, ultrasound. – Vol. 64, № 4.

5. Патент Україна № 8613. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин / Шарапов В.М., Трёмбовецька Р.В. – 2005, Бюл. № 8.
6. Патент України № 8604. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин / Шарапов В.М., Трёмбовецька Р.В., Мусієнко М.П. 2005, Бюл. № 8.
7. Патент України за заявкою №U2010.00638 від 22.01.2010. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин / Шарапов В.М., та інші.
8. Патент України за заявкою №U2010.00623 від 22.01.2010. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин / Шарапов В.М., та інші.
9. Патент України за заявкою №U2010.00620 від 22.01.2010. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин / Шарапов В.М., та інші.
10. Патент України за заявкою №U2010.00616 від 22.01.2010. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин / Шарапов В.М., та інші.

Шарапов В.М., д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет.

Туз В.В., к.т.н., Черкаський державний технологічний університет.

Сотула Ж.В., к.т.н., Черкаський державний технологічний університет.

Куницька Л.Г., Черкаський державний технологічний університет.

Базіло К.В., к.т.н., Черкаський державний технологічний університет.