

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ С ФАПЧ И СОГЛАСУЮЩИМ ФИЛЬТРОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА ДЛЯ ПИТАНИЯ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Мовчанюк А. В., к.т.н., доц.; Фесич В. П.; Вистизенко Е. В.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

В ультразвуковом технологическом оборудовании в качестве электро-механического преобразователя наиболее часто применяются пьезопреобразователи. Они обладают высоким электромеханическим к.п.д., технологичны в изготовлении, обладают удовлетворительной повторяемостью характеристик при массовом производстве. Анализ схемы замещения пьезопреобразователя (рис. 1) [1] показывает, что пьезопреобразователь может работать на частоте механического резонанса ω_P (контур $L_M C_M$) или на частоте антирезонанса ω_A (контур $L_M C_M C_O$). При работе пьезопреобразо-

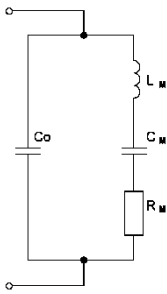


Рисунок 1. Эквивалентная схема пьезопреобразователя

(C_O – статическая емкость;
 L_M, C_M, R_M – эквивалентные параметры механической ветви)

вателя на пьезожесткой моде, что является наиболее распространенным случаем, частота антирезонанса всегда выше частоты резонанса. Параметры схемы замещения могут быть оценены расчетным путем или пересчитаны через измеренные частоты резонанса и антирезонанса [2]. Следует отметить, что приведенная схема замещения корректно описывает поведения пьезопреобразователя только при небольших отстройках и не учитывает нелинейных свойств пьезокерамики.

Питание пьезопреобразователей осуществляется специализированными инверторами – ультразвуковыми генераторами. На выходе генератора вырабатывается переменное напряжение с частотой, близкой или равной резонансной частоте пьезопреобразователя и амплитудой, необходимой для поддержания амплитуды колебаний рабочей части пьезопреобразователя на заданном уровне. Для повышения к.п.д. активные элементы ультразвукового генератора должны работать в ключевом режиме. Для согласования выходного сопротивления ультразвукового генератора с входным сопротивлением пьезопреобразователя и фильтрации гармоник выходного напряжения, используют согласующие фильтры. Наибольшее распространение получили фильтры первого порядка (рис. 2). При этом в фильтре может быть использован токовый трансформатор для снятия сигнала обратной связи. На сегодняшний день, с целью уменьшения амплитуды выс-

ших гармоник вищого порядку, ультразвукові генератори використовують ШИМ або АИМ. При цьому фаза відкриття і закриття ключей генератора не співпадає з фазою току ультразвукового п'єзопреобразователя, що значительно ускладнює проектування ФАПЧ для підтримання резонансного режиму роботи.

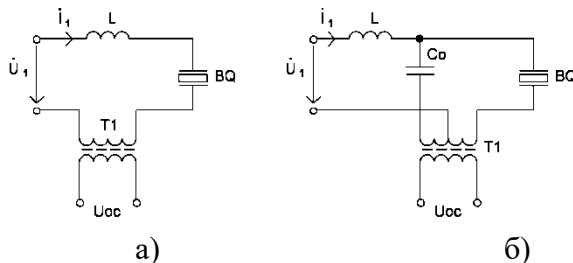


Рисунок 2. Соголасуючі фільтри першого порядку (а – сигнал зворотної зв'язки пропорційний току через п'єзопреобразователь; б – сигнал зворотної зв'язки пропорційний току механічної гілки п'єзопреобразователя)

Решення було продиктовано тим, що механічне опорування може суттєво змінюватися в процесі роботи, в отличие від параметрів механічної гілки і статическої ємкості. В результаті було отримано вираження для входного імпеданса фільтра першого порядку:

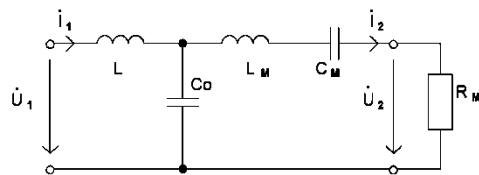


Рисунок 3. Еквівалентний чотиригілковий

$$Z_{BX} = \frac{\left[1 - (\omega LC_0)^2\right] R_M + j\omega L + j\sqrt{\frac{L_M}{C_M}} \left[\left(\frac{\omega}{\omega_P} - \frac{\omega_P}{\omega}\right) \left(1 - (\omega LC_0)^2\right) \right]}{j\omega C_0 R_M + \frac{\omega_A^2 - \omega^2}{\omega_A^2 - \omega_P^2}}$$

Рассмотрим случай, когда $\omega = \omega_A$. В таком случае входной импеданс становится действительной величиной при

$$L = \frac{1}{\omega_A^2 C_0}$$

Входной импеданс и ток через механическую ветвь:

$$Z_{BX} = \frac{L}{C_0 R_M}; \quad i_2 = \frac{\dot{U}_1}{j\omega L}$$

Как видим, при снятии сигнала обратной связи по варианту на рис. 2а,

сигнал обратной связи будет в фазе с входным напряжением, а по варианту на рис. 2б – сдвинут на 90^0 . При этом амплитуда колебаний преобразователя не будет зависеть от изменения величины сопротивления механической ветви. Отметим, что при увеличении сопротивления нагрузки, входной импеданс фильтра будет уменьшаться, а следовательно, увеличиваться потребляемый от ультразвукового генератора ток.

Рассмотрим случай, когда $\omega = \omega_p$. В таком случае входной импеданс становится действительной величиной при

$$L = \frac{C_O R_M^2}{\omega_p^2 C_O^2 R_M^2 + 1}.$$

Входной импеданс и ток через механическую ветвь:

$$Z_{BX} = \frac{R_M}{\omega^2 C_O^2 R_M^2 + 1}; \quad i_2 = \dot{U}_1 \frac{\omega^2 C_O^2 R_M^2 + 1}{R_M - j\omega C_O R_M^2}.$$

Как видим, при снятии сигнала обратной связи по варианту на рис. 2а, сигнал обратной связи будет в фазе с входным напряжением, а по варианту на рис. 2б – будет наблюдаться ошибка по фазе, изменяющаяся с изменением сопротивления механической ветви.

Отметим, что в полосу захвата ФАПЧ должен попадать только один из резонансов, во избежание неустойчивой работы системы.

Перечень источников

1. Донской А.В. Ультразвуковые электротехнологические установки / Донской А.В., Келлер О.К., Кратыш Г.С./ 2-е изд., перераб. и доп.– Ленинград. : Энергоиздат. Ленинград. отд-ние., 1982. – 208с.

2. Мовчанюк А.В. Інженерна методика визначення параметрів схеми заміщення п'єзоперетворювача / А.В Мовчанюк, В.П. Фесіч, І.М. Кирпатенко, О.Ф. Луговський // Вісник НУТУ «КПІ». Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – К. – 2006. – № 33. – с . 58 - 56

Анотація

Розглянуто питання розрахунку індуктивності узгоджувачого фільтра. Наведено вирази для обрахунку вхідного імпедансу та сигналу пропорційного напрузі зворотного зв'язку. Проаналізовано варіанти зняття сигналу зворотного зв'язку в залежності від розрахованого значення індуктивності узгоджувачого фільтру.

Ключові слова: пьезоперетворювач, узгоджувачий фільтр, ФАПЧ.

Аннотация

Рассмотрены вопросы расчета индуктивности согласующего фильтра. Приведены выражения для расчета входного импеданса и сигнала, пропорционального напряжению обратной связи. Проанализированы варианты снятия сигнала обратной связи в зависимости от рассчитанного значения индуктивности согласующего фильтра.

Ключевые слова: пьезопреобразователь, согласующий фильтр, ФАПЧ.

Abstract

Calculation of matching filter inductance is considered. Expressions for the input impedance and the signal, proportional feedback voltage, are given. Options for measuring the feedback signal according to the calculated values of the matching filter inductance are analyzed.

Keywords: piezoelectric transducer, matching filter, PLL.