

К. т. н. В. И. СТАРЦЕВ, к. т. н. Ю. С. ЯМПОЛЬСКИЙ,
А. П. КУЦЕНКО

Украина, Одесский национальный политехнический университет
E-mail: vist@irt.opu.ua

Дата поступления в редакцию
23.04 2009 г.

Оппонент А. Г. ЯЦУНЕНКО
(ИТМ, г. Днепропетровск)

УМЕНЬШЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ НА РАБОТУ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Предлагается способ подавления пироэлектрических помех, обеспечивающий работоспособность пьезоэлектрических датчиков при значительных перепадах температуры в заданной полосе частот.

Современные технологии требуют постоянного контроля параметров технологических процессов и технического состояния оборудования. Одним из важнейших является контроль параметров вибрации. Вибрационный процесс содержит большой объем важнейшей информации, которая позволяет диагностировать техническое состояние механизмов и оперативно устранять дефекты [1].

Одним из существенных факторов, влияющих на результаты измерений параметров вибрации, является изменение температуры окружающей среды. Изменение температуры в месте установки пьезоэлектрического датчика приводит к появлению пироэлектрического паразитного заряда, что может привести к перегрузке зарядочувствительного усилителя и к полной потере информации при измерениях вибрации в низкочастотном диапазоне [2, 3]. Очевидно, что потеря информации, особенно во время переходных процессов в механизмах, когда резко изменяется температура, может привести к пропуску начала развития аварийной ситуации, которую можно было бы

предотвратить в случае нормальной работы измерительной аппаратуры.

В настоящей работе предлагается способ подавления пироэлектрических помех, обеспечивающий работоспособность пьезоэлектрических датчиков при значительных перепадах температуры в заданной полосе частот с помощью частотно-зависимой цепи обратной связи.

На рис. 1 приведена схема усилителя напряжения пьезоэлектрического датчика без коррекции частотной характеристики [3, с. 186]. Пьезоэлектрический датчик представлен в виде эквивалентной схемы, состоящей из источника напряжения $U_{вх}$, собственной емкости датчика C_d и емкости соединительного кабеля C_k .

Рассмотрим работу измерительного усилителя с коррекцией амплитудно-частотной характеристики в области низких частот (рис. 2).

Введение в схему измерительного усилителя емкости C_p , образующий с резистором R цепь коррекции, позволяет существенно уменьшить влияние пироэлектрических токов на постоянную составляющую выходного измерительного усилителя.

При использовании малогабаритных конденсаторов C_p для получения необходимой величины постоянной времени в цепи коррекции нужно выбирать высокоомные резисторы R_1 , R_2 и R_3 с сопротивлением, соизмеримым с величиной сопротивления резистора R , что усложняет настройку аппаратуры. Этот недостаток легко устранить, добавив в схему повторитель на операционном усилителе A_1 (см. рис. 2).

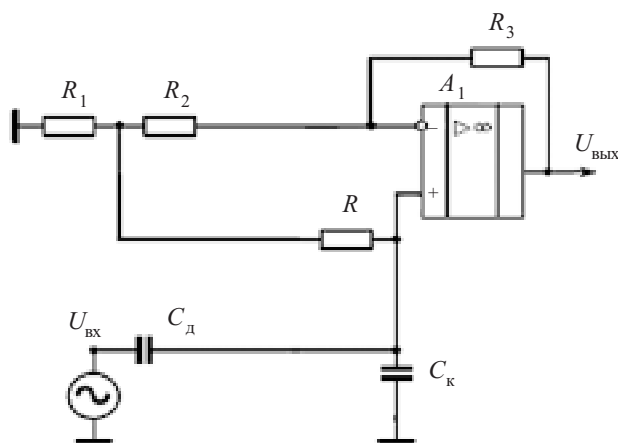


Рис. 1. Измерительный усилитель без коррекции частотной характеристики

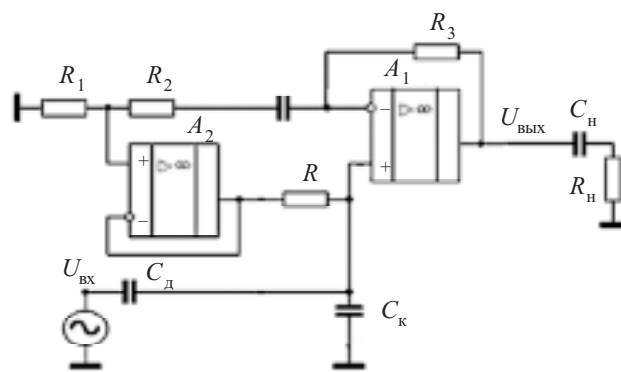


Рис. 2. Измерительный усилитель с коррекцией частотной характеристики

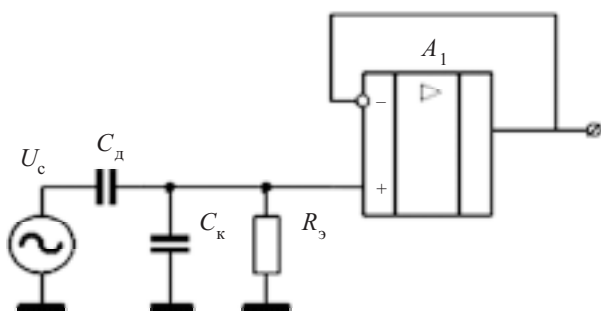


Рис. 3. Эквивалентная схема измерительного усилителя с коррекцией частотной характеристики

Рассмотрим амплитудно-частотную характеристику измерительного усилителя с коррекцией частотной характеристики в области низких частот.

В области средних частот коэффициент передачи усилителя с обратной связью $K_{OC} = 1 + \frac{R_3}{R_1 + R_2}$ выбирается с учетом коэффициента ослабления сигнала

емкостью кабеля $K_{осл} = \frac{C_d}{C_k + C_d}$ так, чтобы выполнялось условие

$$K = K_{OC} K_{осл} = \left(\frac{C_d}{C_k + C_d} \right) \left(1 + \frac{R_3}{R_1 + R_2} \right) = 1.$$

Считая, что операционные усилители A_1 и A_2 идеальны, и представив R как R_3 (с учетом делителя в цепи обратной связи), получим эквивалентную схему усилителя (рис. 3), где

$$\dot{R}_3 = R / (1 - \dot{K}_{дел}),$$

$$\dot{K}_{дел} = \frac{j\omega C_p R_1}{1 + j\omega C_p (R_1 + R_2)}.$$

Комплексный коэффициент передачи по напряжению усилителя с коррекцией равен

$$\dot{K} = \frac{j\omega R_3 C_d}{1 + j\omega R_3 (C_d + C_k)}.$$

Обозначив $C_k + C_d = C$, получим

$$\dot{K} = \frac{C_d}{C} \frac{j\omega \dot{R}_3 C}{1 + j\omega \dot{R}_3 C}.$$

Проведя некоторые преобразования, найдем квадрат модуля нормированного коэффициента передачи усилителя

$$|\dot{M}|^2 = \left| \frac{\dot{K}}{K_{OC}} \right|^2 = \frac{\omega^2 C^2 R^2 + \omega^4 C_p^2 C^2 R^2 R_d^2}{1 - 2\omega^2 R C R_d C_p + \omega^4 C_p^2 C^2 R^2 R_d^2 + \omega^2 (R_2^2 C_p^2 + 2R_2 C_p R C + R C)},$$

где $R_d = R_1 + R_2$.

Приравняв между собой коэффициенты при ω^2 в числителе и знаменателе (метод Брауде [4, с. 137]) и проведя преобразования, получим значение C_p , обеспечивающее максимально плоскую форму амплитудно-частотной характеристики в полосе пропускания усилителя:

$$C_p = 2RC \frac{a-1}{R_2},$$

где $a = (R_1 + R_2)/R_1$.

В области низких частот, с учетом того, что $a \gg 1$, получим

$$|\dot{M}| = \sqrt{\frac{\omega^2 C^2 R^2 + 4\omega^4 R^4 C^4 a^2 (a-1)^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2 + 4\omega^4 R^4 C^4 a^2 (a-1)^2}}.$$

Приравняв $|\dot{M}| = 1/\sqrt{2}$, определим нижнюю граничную частоту усилителя

$$\omega = \frac{1}{1,4RCa}.$$

В области низких частот вблизи полосы пропускания, там, где $\omega^4 \gg \omega^2$, получим

$$|\dot{M}| = \sqrt{\frac{4\omega^4 R^4 C^4 a^2 (a-1)^2}{1 + 4\omega^4 R^4 C^4 a^2 (a-1)^2}}.$$

Отсюда видно, что угол наклона частотной характеристики пропорционален ω^4 , следовательно, скорость спада амплитудно-частотной характеристики составляет -40 дБ за одну декаду.

При дальнейшем понижении частоты $\omega < \frac{0,01}{2RCa^2}$, т. е. когда $\omega^4 \ll \omega^2$, получим

$$|\dot{M}| = \sqrt{\frac{\omega^2 C^2 R^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2}}.$$

В этом случае угол наклона частотной характеристики пропорционален ω^2 , следовательно, скорость

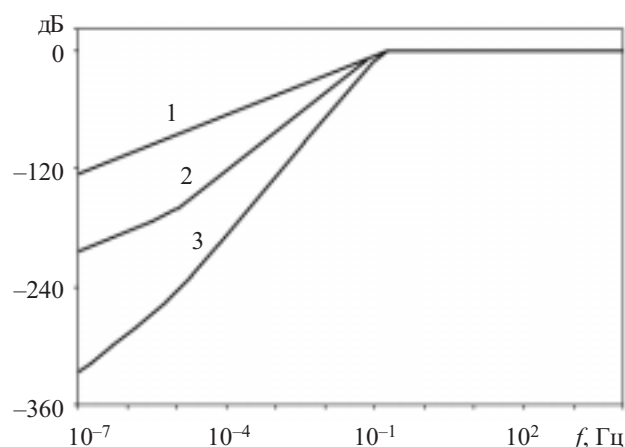


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики усилителей: 1 — без коррекции ($f_n = 0,15$ Гц); 2 — с коррекцией ($f_n = 0,15$ Гц); 3 — с коррекцией и дополнительной разделительной цепью

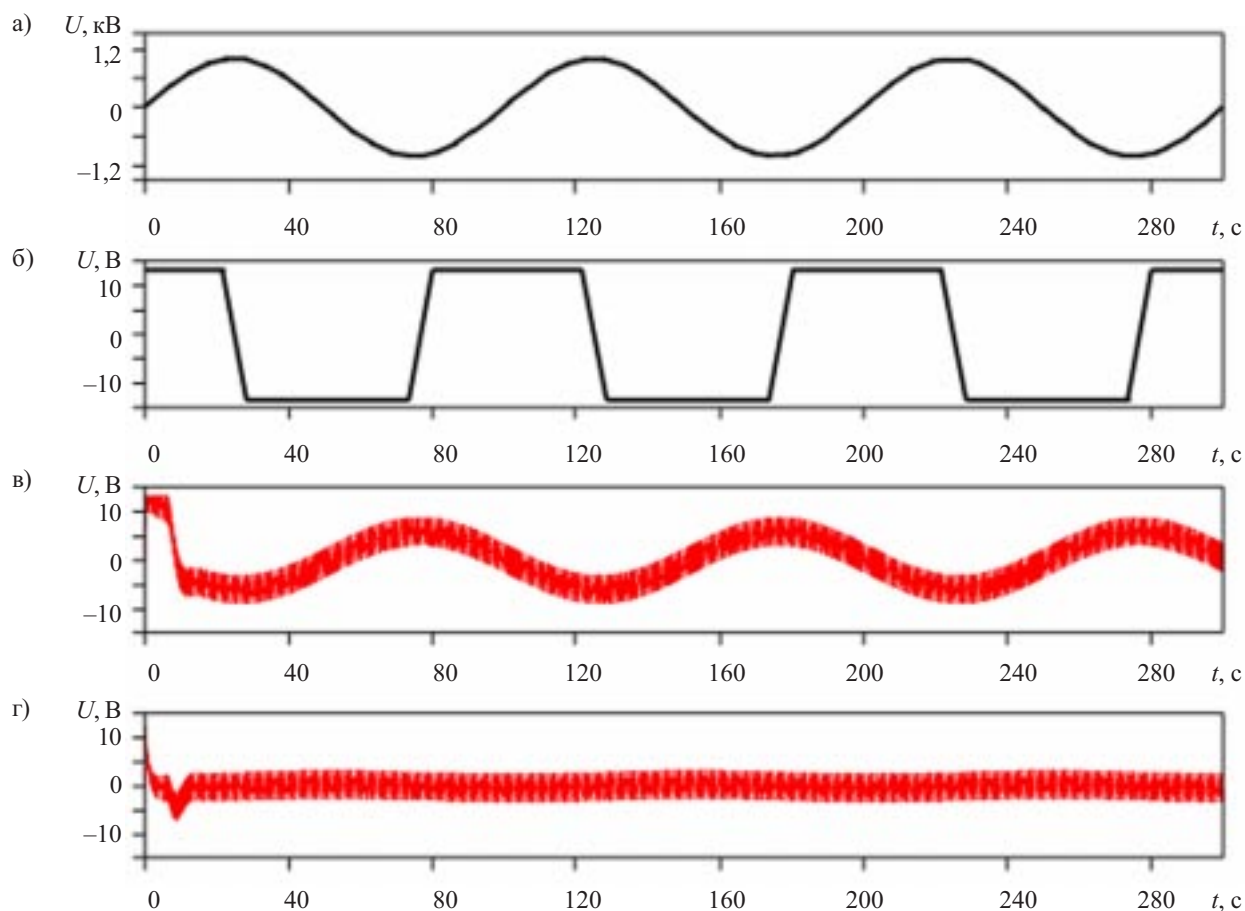


Рис. 5. Помеха (а) и переходные характеристики усилителей без коррекции (б), с коррекцией АЧХ (в) и с коррекцией АЧХ и дополнительной разделительной цепью (г)

спада амплитудно-частотной характеристики составляет -20 дБ за декаду.

Приведенные на **рис. 4** амплитудно-частотные характеристики позволяют оценить степень подавления низкочастотных помех, вызванных пьезоэлектрическим эффектом, учитывая, что период установления тепловых процессов составляет от десятков до сотен секунд, что соответствует диапазону частот от $0,01$ до $0,001$ Гц.

Дополнительное подавление помехи возможно с помощью разделительной цепи C_n, R_n на выходе A_1 (см. рис. 2). Постоянная времени этой цепи выбирается равной $\tau = C_n R_n = 1,4RC_d$, что позволяет облегчить дальнейшую обработку сигнала.

Приведенные на **рис. 5** переходные характеристики позволяют сделать вывод, что низкочастотная коррекция существенно подавляет пьезоэлектрическую помеху, а значит, и обеспечивает работоспособность усилителя с пьезоэлектрическим датчиком при значительных перепадах температуры.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Максимов В. П., Егоров И. В., Карасев В. А. Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах. — М.: Машиностроение, 1987.
2. Шарапов В. М., Минаев И. Г., Бондаренко Ю. Ю. и др. Пьезоэлектрические преобразователи. — Черкассы: ЧГТУ, 2004.
3. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник. — М.: Техносфера, 2005.
4. Мамонкин И. Г. Усилительные устройства. — М.: Связь, 1977.