

**РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ**  
**РЕГУЛЬОВАНИЙ ЗАРЯДОЧУТЛИВИЙ ПІДСИЛЮВАЧ**  
**ADJUSTABLE CHARGER AMPLIFIER**

Научный руководитель – доц. каф. «Радиотехнических устройств», канд. техн. наук

Старцев В.И., Starsev V.

Студент - Нитинский И. С., Nitinskuy I.

*Предложено схемное решение упрощающее регулировку чувствительности дифференциального усилителя заряда, применяемого для измерений вибрационных процессов. Приведены результаты моделирования устройства на ПЭВМ, подтверждающие экспериментальные исследования*

*A circuit solution for simplifying the adjustment of the sensitivity of a differential charge amplifier used for measuring vibration processes is proposed. The results of modeling the device on a PC, confirming experimental studies*

*Ключевые слова: вибрация, помехи, чувствительность*

*Key words: vibration, noise, sensitivity*

Практика экспериментальных исследований вибрационных и ударных процессов, с целью определения вибронапряженности и диагностики деталей и узлов машин на стадиях доводки и в эксплуатации, показала, что успешное решение этой задачи в значительной степени зависит от выбора типа вибропреобразователя и места его размещения на машине.

В большинстве случаев вибропреобразователи, устанавливаемые внутри машины или на ее корпусе (внешние), подвержены резкому изменению температуры.

Наиболее широко применяют для измерений вибрационных процессов пьезоэлектрические вибропреобразователи, которые по своим техническим и метрологическим характеристикам превосходят все другие типы вибропреобразователей [1-3].

В качестве согласующих каскадов усилительно-преобразующей аппаратуры все большее применение находят усилители заряда (рис. 1).

В схеме усилителя заряда используется усилитель напряжения с большим ( $K > 200$ ) коэффициентом усиления, который охвачен глубокой параллельной отрицательной обратной связью через емкость  $C_{oc}$  [4]. Сопротивление  $R_{oc}$  обычно включается в усилителе заряда для стабилизации режимов каскадов по постоянному току. Широкое применение

ние находят дифференциальные усилители заряда, позволяющие ослабить влияние син-  
 фазных помех на 60 ÷ 65 дБ.

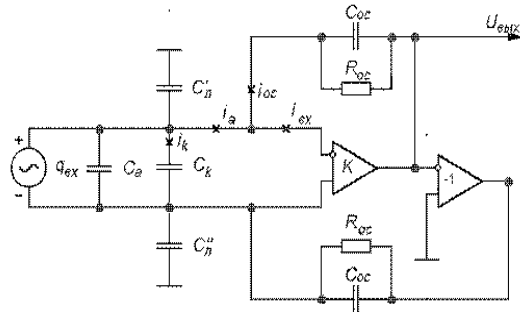


Рис. 1

Для этой схемы усилителя заряда (рис. 1), пренебрегая током  $i_{вх}$ , можно записать выражения :

$$i_a + i_{oc} + i_k = 0 ,$$

и 
$$U_{oc} = U_{вых} - U_{вх} = U_{вых} + \frac{U_{вых}}{K} .$$

Так как  $i_a = \frac{dq}{dt}$ ,  $i_{oc} = C_{oc} \frac{dU_{oc}}{dt}$ , а  $i_k = -C_k \frac{dU_{вх}}{dt}$ , то можно

получить выражение :

$$\frac{dq}{dt} + \left(1 + \frac{1}{K}\right) C_{oc} \frac{dU_{вых}}{dt} + \frac{1}{K} C_k \frac{dU_{вх}}{dt} = 0 .$$

После интегрирования этого выражения, принимая постоянные интегрирования равными нулю, найдем выходное напряжение усилителя заряда:

$$U_{вых} = -\frac{qK}{C_k + C_{oc}(K+1)} ,$$

где:  $K$  – коэффициент усиления усилителя, не охваченного обратной связью.

Поскольку всегда выполняются условия  $K \gg 1$  и  $C_{oc}(K+1) \gg C_k$ , то

$$U_{вых} \approx -\frac{q}{C_{oc}} .$$

Из последнего выражения видно, что стабильность выходного напряжения усилителя заряда зависит от стабильности емкости обратной связи  $C_{oc}$ . Как видно из последнего выражения, чувствительность зарядового усилителя можно регулировать, изменяя одновременно две емкости  $C_{oc}$ . От тщательности подбора этих емкостей зависит помехозащищенность всей аппаратуры.

Целью данной работы является создание устройства с электронной регулировкой чувствительности дифференциального усилителя заряда.

На рис. 2 представлена принципиальная электрическая схема предлагаемого устройства.

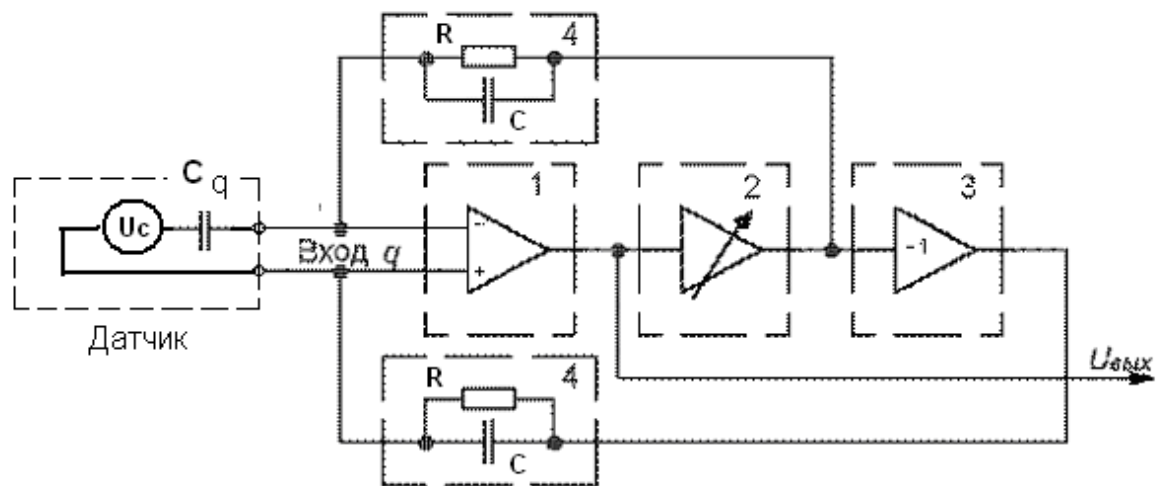


Рис. 2

Устройство содержит: входной операционный усилитель 1; неинвертирующий усилитель 2 с регулируемым коэффициентом усиления; инвертор 3; первую и вторую параллельные  $RC$ -цепи 4.

Дифференциальный усилитель заряда работает следующим образом.

Пьезоэлектрический датчик вибрации подключается к симметричному входу дифференциального усилителя заряда. Основой усилителя заряда является входной операционный усилитель 1 с большим входным сопротивлением и дифференциальным входом, выход которого является выходом устройства. Входной операционный усилитель 1 охвачен двухпетлевой параллельной отрицательной обратной связью по напряжению, причем первая петля обратной связи – с выхода входного операционного усилителя 1, через неинвертирующий усилитель с регулируемым коэффициентом усиления 2, через первую параллельную  $RC$ -цепь 4 замыкается на инвертирующий вход входного операционного уси-

лителя 1, а вторая петля обратной связи с выхода неинвертирующего усилителя с регулируемым коэффициентом усиления 2 через инвертирующий усилитель 3 с единичным коэффициентом передачи, с выходом которого соединена вторая параллельная RC-цепь, подключенная к неинвертирующему входу операционного усилителя 1.

Коэффициент передачи цепи отрицательной обратной связи входного операционного усилителя 1 в инвертирующем включении по любому из входов определяется в следующем виде:

$$K_{oc} = K_p \frac{\dot{Z}_q}{\dot{Z}_{oc}},$$

где:  $K_p$  – коэффициент передачи неинвертирующего усилителя с регулируемым коэффициентом усиления 2;

$K_{oc}$  – коэффициент передачи цепи обратной связи;

$\dot{Z}_q$  – комплексный входной импеданс датчика;

$\dot{Z}_{oc}$  – комплексный импеданс цепи обратной связи.

При этом:

$$\dot{Z}_q = \frac{1}{j\omega C_q},$$

$$\dot{Z}_{oc} = \frac{R}{1 + j\omega CR},$$

где:  $C_q$  – емкость датчика;

$C$  – емкостные элементы в первой и второй параллельных RC – цепях 4;

$R$  – резистивные элементы в первой и второй параллельных RC- цепях 4.

Следовательно:

$$K_{oc} = K_p \frac{1}{j\omega C_q} \cdot \frac{1 + j\omega CR}{R} = K_p \cdot \frac{1 + j\omega CR}{j\omega C_q R}.$$

Коэффициент преобразования заряда при условии  $K_p \cdot K \gg 1$ , где  $K$  – коэффициент передачи входного операционного усилителя 1, определяется следующим выражением:

$$U_{вых} = U_{вх} \cdot \frac{j\omega C_q R}{1 + j\omega CR} \cdot \frac{1}{K_p} = \frac{q}{K_p} \cdot \frac{j\omega R}{1 + j\omega CR}. \quad (1)$$

В полосе пропускания:

$$U_{\text{вих}} = \frac{q}{K_p} \cdot \frac{j\omega R}{j\omega RC} \cdot \frac{q}{K_p C} \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что изменять чувствительность дифференциального усилителя заряда можно, варьируя величину коэффициента усиления неинвертирующего усилителя 2 с регулируемым коэффициентом усиления. Полоса пропускания в области нижних частот определяется постоянной величиной  $\tau_H = RC$ .

Окончательно имеем:

$$U_{\text{вих}} = \frac{q}{K_p} \cdot \frac{j\omega R}{1 + j\omega \tau_H} \quad (3)$$

На рис. 3 представлен пример реализации устройства.

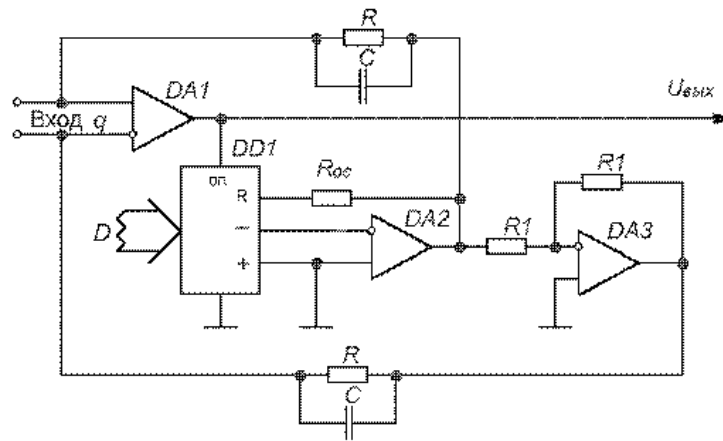


Рис.3

В качестве входного операционного усилителя использовался операционный усилитель с большим коэффициентом усиления и малыми входными токами TL062. Неинвертирующий усилитель с регулируемым коэффициентом усиления выполнен на базе перемножающего цифроаналогового преобразователя КР572ПА1А в типовом включении. В качестве инвертора можно использовать операционный усилитель с большой площадью усиления в инвертирующем включении.

Коэффициент преобразования такого устройства имеет вид:

$$U_{\text{вих}} = q \cdot \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{K}, \quad K = \frac{D}{2^N - 1} \cdot K_y,$$

где  $D$  – десятичное значение кода от 00...0 до 11..1;  $N$  – разрядность цифро-аналогового преобразователя;  $K_y$  – начальный коэффициент передачи, который устанавливается резистивным элементом в первой и второй параллельных  $RC$ - цепях.

Результаты моделирования дифференциального усилителя заряда на ПЭВМ с помощью программного пакета MicroCap версии 5.0 и экспериментального исследования оказались идентичными, что полностью подтвердило правильность предложенного решения. Результаты моделирования представлены на рис. 4. [5].

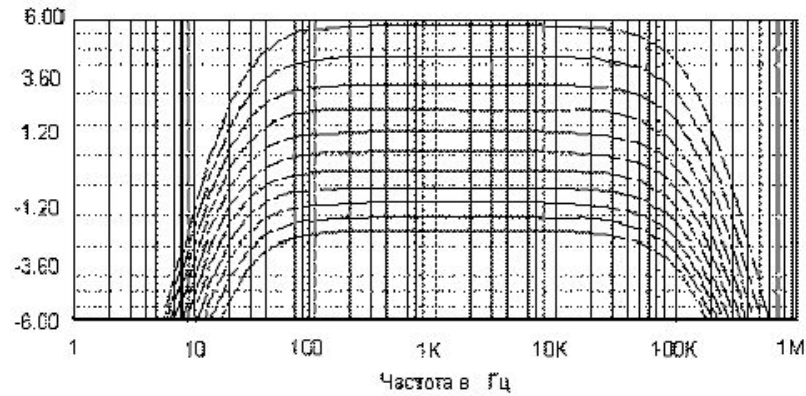


Рис. 4

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Максимов В.П, и др. Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах, М.: Машиностроение, 1987 с. 208 с.: ил.
2. Пьезоэлектрические акселерометры и предусилители. / Справочник по теории и эксплуатации. - Издательство: Нэрум: Дания, издание фирмы Брюль и Кьер , 1987. – 111 с.:ил.
3. Илюкович А.М. Техника электрметрии: -М.: Энергия,1976.-400с.
4. Старцев В.И. Выбор параметров цепи коррекции АЧХ зарядочувствительного усилителя в области низких частот. / В. И. Старцев, Ю. С. Ямпольский // Приборостроение и радиотехника. Вестник ЧГТУ, 2009, №1. – С. 79-83.
5. Старцев В. И. Моделирование параметров зарядочувствительных усилителей с коррекцией / В. И. Старцев, А. П. Куценко // Современные информационные и электронные технологии. Политехперіодика (Одесса). - 2016. - Т. 1, № 17. – С. 87-88.