

## ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ОПТРОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

© 2012 г. А.К. МАМЕДОВ

Азербайджанский технический университет, г. Баку  
e-mail: mamedov\_az50@mail.ru

Передача аналоговых сигналов по гальванически развязанной цепи эффективно осуществляется с помощью оптронных усилителей [1], использование которых позволяет практически идеально разомкнуть контуры заземления между различными системами. Достаточно высокими показателями по совокупности основных параметров обладают усилители с дифференциальными оптронами [1]. Однако показатели качества даже таких одноканальных оптронных усилителей, в частности, недостаточно широкий динамический диапазон, не всегда оказываются приемлемыми для пользователя.

Целью настоящей работы является разработка двухканальных оптронных усилителей, в которых достигается расширение динамического диапазона, и оценка их шумовых параметров.

На Рис. 1 приведена структурная схема двухканального оптронного усилителя, в которой реализуется принцип расширения динамического диапазона.

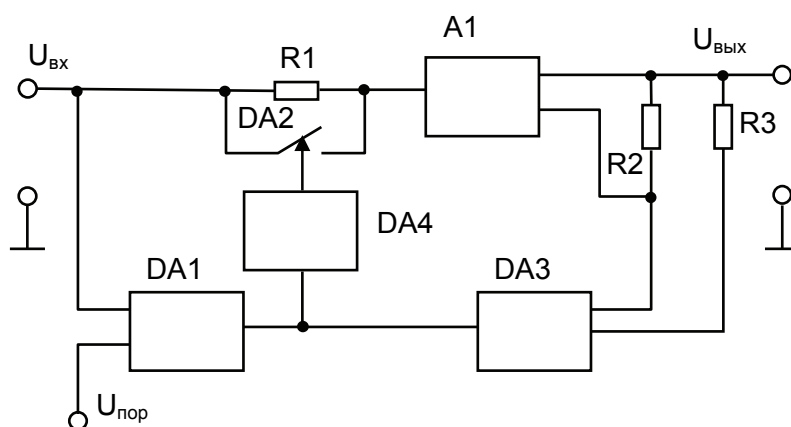


Рис. 1. Структурная схема двухканальных оптронных усилителей.

Базовым элементом предлагаемых оптронных усилителей является схема A1 с дифференциальным оптроном. Наличие схемы сопряжения уровней DA4 является принципиально необходимым, так как подключение истока транзистора (при реализации ключа DA2 в виде полевого транзистора) к потенциально заземленной точке операционного усилителя передающего каскада базового устройства A1 невозможно, а при соединении, указанном на Рис. 1 (сопротивление R1 и один из выводов аналогового ключа DA2 подключены непосредственно ко входу устройства A1), потенциал истока транзистора будет меняться в широком пределе при изменении входного сигнала. С этой целью целесообразно использовать микросхемы, содержащие в едином корпусе выходные коммутирующие элементы и схему управления ими.

Принцип работы представленных оптронных усилителей основан на том, что входные сигналы, большие некоторого порогового значения, ослабляются в передаю-

щем каскаде в  $n$ -раз, а в приемном – передаются без ослабления; входные сигналы, меньшие порогового значения, в передающем каскаде передаются без ослабления, а в приемном – делятся в  $n$ -раз. Рассмотрим работу двухканального оптронного усилителя Рис. 1.

При входных сигналах, меньших порогового значения  $U_{\text{пор}}$  компаратора DA1, равного максимальной величине входного напряжения базовой схемы  $U_{\text{вх.мах}} = U_{\text{пор}} = U_{\text{вых.мах}} / K'_y$ , где  $U_{\text{вых.мах}} = \pm 10\text{В}$ ;  $K'_y$  – коэффициент передачи базовой схемы, обычно равный единице (соответственно типичное значение  $U_{\text{пор}} = \pm 10\text{В}$ ); компаратор DA1 находится в состоянии логического нуля на выходе. Этим нулем аналоговый ключ DA2 с помощью схемы сопряжения уровней DA4 поддерживается в замкнутом состоянии и шунтирует резистор R1. Одновременно замыкается выходная цепь оптронного аналогового ключа DA3 и резистор R3 включается в цепь обратной связи базового усилителя A1 параллельно сопротивлению R2 (на Рис. 1 сопротивление R2 вынесено за пределы оптронного усилителя A1). Учитывая, что коэффициент передачи базового усилителя определяется отношением сопротивлений  $R_{\text{oc}}/R1'$ , нетрудно убедиться в справедливости для этого режима условия

$$R2 \parallel R3 = R_{\text{oc}} / n \quad (1)$$

где  $R1'$  и  $R_{\text{oc}}$  - относятся к базовой схеме A1;  $n$  - коэффициент деления.

Порог чувствительности подобных усилителей не зависит от  $R_{\text{oc}}$  и зависит от  $R1'$ . Последнее означает, что величина минимального входного сигнала, который можно передавать на фоне собственных шумов в предлагаемом усилителе, останется такой же, как и в базовом.

При входных сигналах, превышающих величину  $U_{\text{пор}}$  компаратора, последний перебрасывается в состояние логической единицы на выходе. При этом размыкаются аналоговый ключ DA2 и выходная цепь оптронного ключа DA3. В этом состоянии величины сопротивлений резисторов выбираются из условий

$$R1 + R1' = nR1'; \quad R2 = R_{\text{oc}}. \quad (2)$$

С учетом соотношений (1), (2) получим

$$R1 = R1'(n - 1); \quad R3 = R_{\text{oc}} / (n - 1). \quad (3)$$

Соотношения (2), (3) позволяют легко рассчитывать необходимые значения сопротивлений  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  при заданных коэффициенте  $n$  и сопротивлениях  $R1'$ ,  $R_{\text{oc}}$  базового усилителя, соответствующих его максимальному динамическому диапазону. Из этих соотношений следует, что коэффициенты передачи в обеих режимах равны и в  $n$ -раз меньше, чем коэффициент передачи базовой схемы. При указанных условиях (1), (3) величине входного сигнала рассматриваемого усилителя, превышающей пороговое значение  $U_{\text{пор}}$  в  $n$ -раз, будет соответствовать выходное напряжение, равное максимальной величине для операционного усилителя приемного каскада усилителя A1.

Для коэффициента  $n$ , показывающего во сколько раз увеличивается величина максимального входного напряжения рассматриваемого усилителя (ограничена предельно-допустимым напряжением, коммутируемым аналоговым ключом DA2 - типично  $U_{\text{ком.мах}} = 25\text{В}$ , при этом  $U_{\text{вх.мах}} = 35\text{В}$ ) по сравнению с базовым, справедливо выражение  $n = (U_{\text{ком.мах}} / U_{\text{пор}}) + 1$ . Так, при параметрах базовой схемы  $K'_y = 1$ ,  $U_{\text{вх.мах}} = \pm 10\text{В}$ ,  $R1' = 100\text{кОм}$ ,  $R_{\text{oc}} = 20\text{кОм}$  и при использовании в качестве аналогового ключа DA2 полевого транзистора с р-п переходом с каналом р-типа, для ко-

того  $U_{\text{ком.мах}} = 25\text{В}$  в соответствии с соотношениями (3) получим  $n = 3,5$ ,  $U_{\text{вх.мах}} = 35\text{В}$ ,  $R_1 = 250\text{кОм}$ ,  $R_2 = 20\text{кОм}$ ,  $R_3 = 8\text{кОм}$ .

Таким образом, разработанный двухканальный оптронный усилитель позволяет при фиксированной величине минимального входного сигнала, который можно передать через усилитель на фоне собственных шумов, увеличить максимальную величину входного сигнала в  $n$ -раз, что означает расширение динамического диапазона в  $n$ -раз по сравнению с базовой схемой.

Основным достоинством представленной схемы является возможность ее использования при реализации базового устройства А1 в виде готового изделия.

Оценим шумовые параметры двухканального оптронного усилителя на Рис. 1.

Для шумового напряжения во входной цепи устройства с учетом шумовой модели базовой схемы с дифференциальным оптроном [2] можно записать

$$\overline{E_{\text{ш.вх}}^2} = \overline{E_{\mathcal{E}}^2} + \overline{I_{\mathcal{E}}^2} \cdot (R_{\Gamma} + R_{31})^2 + \overline{E_{\text{ш}\Gamma}^2} + \overline{E_{\text{ш.1}}^2} + \overline{E_{\text{ш.2}}^2} / |K_y|^2$$

где  $E_{\mathcal{E}}, I_{\mathcal{E}}$  - эквивалентные шумовое напряжение и ток для схемы с дифференциальным оптроном;  $R_{\Gamma}$  - сопротивление источника сигнала;  $R_{31}, R_{32}$  - сопротивления ключей DA2, DA3 в замкнутом состоянии;  $\overline{E_{\text{ш}\Gamma}^2} = 4kTR_{\Gamma}\Delta f$ ,  $\overline{E_{\text{ш.1}}^2} = 4kTR_{31}\Delta f$ ,  $\overline{E_{\text{ш.2}}^2} = 4kTR_{32}\Delta f$  - шумовые напряжения сопротивлений  $R_{\Gamma}, R_{31}, R_{32}$ ;  $\Delta f = f_2 - f_1$  - шумовая полоса устройства;  $K_y(j\omega)$  - коэффициент передачи устройства на Рис. 1.

Принимая  $R_{32} = R_{31} = 100\text{Ом}$ ,  $f_{\text{ГР}} = 100\text{кГц}$ ,  $f_1 = 10\text{Гц}$ ,  $K_y' = 1$ ,  $n = 2,5$  и учитывая, что  $|K_y| = |K_y'|/n$ , для значений  $E_{\text{ш.1}}, E_{\text{ш.2}}$  получим  $\overline{E_{\text{ш.1}}^2} = 2,56 \cdot 10^{-13}\text{В}^2$ ,  $\overline{E_{\text{ш.2}}^2} / |K_y|^2 = \overline{E_{\text{ш.2}}^2} \cdot n^2 = 15,6 \cdot 10^{-13}\text{В}^2$ . При тех же данных и токах смещения фотодиодов  $I_{\text{см.ф}} = 100\text{мкА}$  для эквивалентных шумовых параметров базовой схемы [2] имеем  $\overline{E_{\mathcal{E}}^2} = 3,25 \cdot 10^{-9}\text{В}^2$ ,  $\overline{I_{\mathcal{E}}^2} = 14,45 \cdot 10^{-18}\text{А}^2$ . Из сравнений видно, что  $\overline{E_{\mathcal{E}}^2} \gg \overline{E_{\text{ш.1}}^2}, \overline{E_{\text{ш.2}}^2} \cdot n^2$ .

Проведенное рассмотрение показывает, что при оценке шумовых параметров оптронного усилителя на Рис. 1, шумовой вклад аналоговых ключей можно не учитывать. Последнее означает, что шумовые параметры двухканальных оптронных усилителей Рис. 1 определяются шумовыми параметрами базового усилителя А1.

Таким образом, разработаны двухканальные оптронные усилители, в которых достигается расширение динамического диапазона, и показано, что шумовые параметры подобных усилителей определяются шумовыми параметрами базовой схемы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамедов А.К. Линейные оптоэлектронные усилители. Баку, VEGA Print, 2012, 183 с.
2. Мамедов А.К. Шумовые параметры оптронного усилителя. // «Микропроцессорные, аналоговые и цифровые системы: проектирование и схемотехника, теория и вопросы применения» / Материалы Международной НПК, г. Новочеркасск. – НПИ, 2007, с. 33-37.