

## УСИЛИТЕЛЬ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗОНДОВЫМ МИКРОСКОПОМ

Н.В. Гуркин, В.А. Шахнов

Московский государственный технический университет имени

Н.Э. Баумана, г. Москва

К усилителю туннельного (в туннельном микроскопе) и фотодиодного (в атомно-силовом микроскопе) токов предъявляются повышенные требования по чувствительности (диапазон входных токов 1 пА...10 нА), полосе пропускания (до 50 кГц для обеспечения сканирования в реальном масштабе времени), коэффициенту усиления по мощности (не менее 80 дБ), термостабильности. Этим требованиям отвечает трансимпедансный усилитель, в котором в качестве активного элемента применяется операционный усилитель (ОУ) с входным каскадом на основе дифференциальной пары на полевых транзисторах. Однако такой усилитель требует согласования чувствительного фотодиода и входа ОУ. Входные токи смещения ОУ должны быть меньше чем входной ток фотодиода для обеспечения требуемой чувствительности усилителя. Так как ток фотодиода лежит в наноамперном диапазоне, входные токи смещения ОУ должны быть меньше 1 нА. Также необходимо использовать ОУ с малым значением дрейфа входных токов смещения ОУ. Для уменьшения влияния входных токов смещения применяется фильтр высоких частот на входе ОУ, что, однако, резко уменьшает полосу пропускания усилителя. Для получения амплитуды сигнала выходного напряжения  $U_{out} > 1$  В, что позволяет его в дальнейшем обработать, необходимо использовать в цепи обратной связи ОУ резистор  $R > 1$  ГОм. Резистор с таким сопротивлением обладает большим значением собственных шумов, что снижает чувствительность фотодиодного усилителя, снижает его полосу пропускания и уменьшает отношение сигнал/шум.

При использовании элемента с отрицательным сопротивлением (ОС), для которого справедливо  $R = \frac{\Delta U}{\Delta I} < 0$ , можно добиться оптимального согласования фотодиода и усилителя, получения высокого значения коэффициента усиления ( $K_p > 90$  дБ), большой полосы пропускания вплоть до частоты среза используемых транзисторов  $f_c$ , большой чувствительности, высокого значения отношения сигнал/шум.

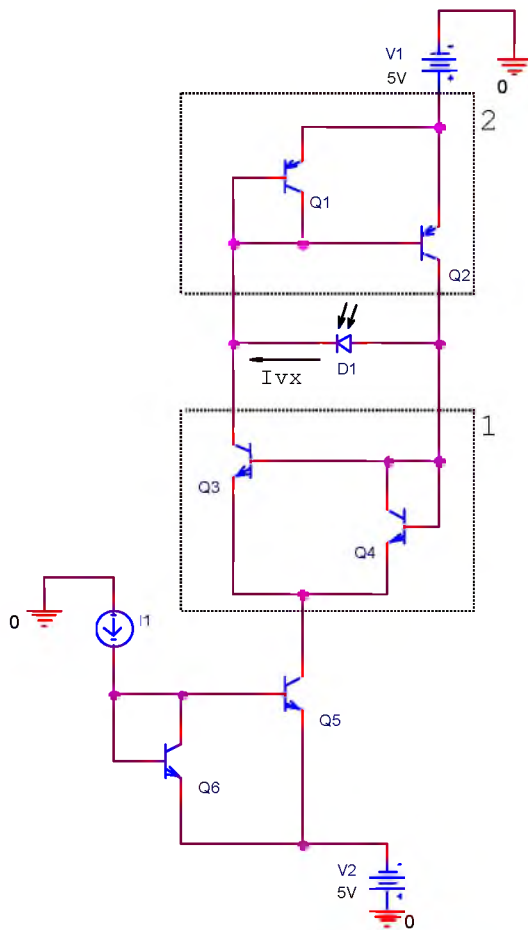


Рис. 1

На рис.1 приведена схема усилителя фототока фотодиода, в котором в качестве устройства с отрицательным дифференциальным сопротивлением (НИС – negative impedance converter) выступает пара токовых зеркал (1 и 2), охваченных положительной обратной связью по току. Источник тока  $I_1$  через токовое зеркало Видлара на транзисторах  $Q_5$ ,  $Q_6$  задает ток  $I_0$ , протекающий через структуру с отрицательным сопротивлением. Источник постоянного тока является активной динамической нагрузкой для усилителя и позволяет получить высокий коэффициент усиления. При отсутствии входного сигнала  $I_{вх}=0$ , коллекторный ток транзистора  $Q_5$   $I_0$  в режиме, когда

транзисторы токовых зеркал 1 и 2 ( $Q_3, Q_4, Q_1, Q_2$ ), образующих НИС, находятся в открытом состоянии, делится пополам в обеих ветвях НИС.

Входной ток фотодиода  $I_{\text{вх}}$  поступает во входные цепи отражателей тока 1 и 2 и усиливается. Так как отражатель тока 1 наряду с усилением сигнала выполняет функцию положительной обратной связи по току, а отражатель тока 2 выполняет аналогичные функции, то усиление по “петле” обратной связи становится значительным. Ток в петле быстро нарастает и ограничителем его роста остается генератор постоянного тока на транзисторах  $Q_5, Q_6$ . Таким образом можно усиливать малый входной сигнал  $I_{\text{вх}}$  фотодиода вплоть до  $I_{\text{вх}} = 1$  пА, при этом выходной ток будет определяться значением тока  $I_0$  источника тока, а выходное напряжение будет равно падению напряжению на структуре НИС.

#### Список использованных источников

1. Ч. Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2004. - 328 с.
2. Ф. Бенинг Отрицательные сопротивления в электронных схемах. М.: Советское радио, 1975. - 288 с.

## ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АЦП МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ХУКА-ДЖИВСА

В.А. Зеленский

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Волоконно-оптические информационно-измерительные системы последовательного типа характеризуются нелинейностью выходного сигнала [1,2]. Для линейризации выходного сигнала и последующего преобразования его в цифровой код предлагается использовать функциональный АЦП, каждый уровень компарации которого устанавливается собственным резистивным делителем, параметры которого оптимизированы с помощью метода Хука-Дживса [3].

В этом случае технически не сложно обеспечить наибольший допуск между квантовыми уровнями  $\Delta q$  для уже имеющейся характеристики. Однако для получения численного значения максимально возможной величины  $\Delta q$  необходимо предварительно произвести линейризацию квантовой характеристики. При этом квантовая характеристика максимально приближается к линейной по критерию Колмогорова, а наименьшее расстояние между квантовыми уровнями  $q_j$  и  $q_{j+1}$  получается максимально возможным.