

В. Я. БАРЖИН, д-р техн. наук, А. И. ЧУМАКОВ, канд. техн. наук,  
С. Н. МАКАРУК, А. Г. ПОПЕРЕШНЯК

### О ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА УСИЛИТЕЛЯ НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Коэффициент шума усилителя на полевом транзисторе (ПТ) определяется технологией исполнения [1; 2] и режимом работы ПТ, входящего в его состав. Технологический путь уменьшения собственных шумов осуществляется в основном в результате уменьшения длины и толщины канала, переходных сопротивлений контактов истока и стока, а также сопротивления металлизации затвора. При этом для получения некоторых значений коэффициента усиления приходится ограничиваться соответствующими геометрическими размерами. Технический путь уменьшения коэффициента шума усилителя на ПТ сводится к применению в нем нейтрализации и режима рассогласования [6; 7]. Нейтрализация позволяет оптимально согласовать усилитель с источником сигнала, но требует введения дополнительных компонентов. Рассогласование снижает коэффициент шума и повышает устойчивость усилителя, но приводит к снижению коэффициента усиления и уменьшению соотношения сигнал-шум. Наряду с этим известно, что коэффициент шума усилителя на ПТ определяется значениями зарядов емкостей затвор-исток  $C_{зи}$  и затвор-сток  $C_{зс}$  [4].

Нами предложен метод автокомпенсации заряда емкостей  $C_{зи}$ ,  $C_{зс}$ , позволяющий снизить коэффициент шума усилителя на ПТ.

Предложенный метод автокомпенсации реализуется в усилителе, изображенном на рис. 1, а. Автокомпенсация заряда емкости  $C_{зи}$  ПТ VT1 происходит в результате того, что под воздействием входных напряжений указанные емкости обоих транзисторов будут заряжаться встречными токами, так как напряжения, подводимые к затворам ПТ, равны по величине, но противоположны по знаку. Так как емкости включены параллельно и заряжаются встречными одинаковыми токами, общий ряд их будет равен нулю. Таким образом удается устранить (уменьшить при несовпадении параметров ПТ VT1, VT2) шумы ПТ, обусловленные зарядом (перезарядом) емкостей  $C_{зи}$ .

Коэффициент шума усилителя на ПТ [6]

$$Ш = 1 + \frac{(S + G_H) 4\pi f C_{вх}}{S^2}, \quad (1)$$

где  $G_H$  — проводимость нагрузки,  $G_H = \frac{1}{R_H}$ ;

$C_{вх}$  — входная емкость усилителя на ПТ,  $C_{вх} = C_{зи} + SR_H C_{зс} + C_M$ , где  $C_M$  — емкость монтажа. Шумы, вносимые  $C_{зи}$ , обусловлены ее перезарядом под воздействием входного сигнала. Подбирая одинаковые параметры ПТ VT1, VT2 предложенного усилителя, удается

полностью компенсировать заряд емкости, тем самым устраняется ее влияние. В результате (1) примет вид

$$\mathcal{M} = 1 + \frac{(S + G_H) 4\pi f (SR_H C_{3C} + C_M)}{S^2}. \quad (2)$$

Анализ (2) показал, что в усилителе существенное влияние на коэффициент шума оказывает емкость  $C_{3C}$ . На рис. 1, б изображен усилитель, в котором, используя метод компенсации, удается устранить заряды емкостей  $C_{3и}$ ,  $C_{3C}$ . Автокомпенсация заряда емкости  $C_{3C}$  осуществляется аналогично компенсации емкости  $C_{3и}$  усилителя (рис. 1, а).

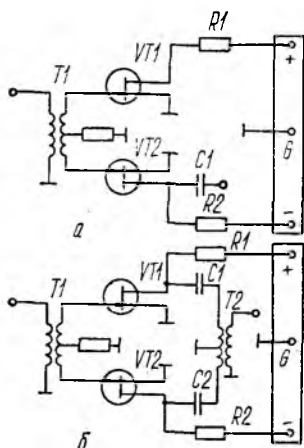


Рис. 1

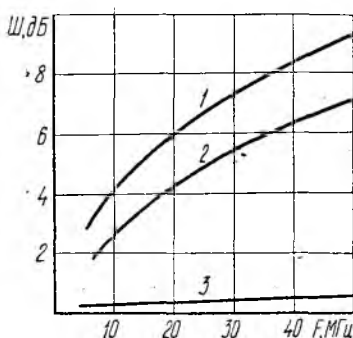


Рис. 2

Заряд емкости  $C_{3C}$  компенсируется в результате того, что токи через соответствующие емкости ПТ VT1, VT2 протекают в различных направлениях. Аналогичным образом компенсируется заряд емкости  $C_{3и}$ .

Уменьшение емкостной связи между затвором и каналом приведет к уменьшению наведенного шумового тока [3; 5; 6] вследствие тепловых шумов канала в цепи затвора, среднееквадратическое значение которого

$$\overline{i_{шз}^2} = 4kT0,12 \frac{\omega^2 C_{3и}^2}{S} \Pi, \quad (3)$$

где  $G_{шз}$  — проводимость, обусловленная емкостью  $C_{3и}$ ,  $G_{шз} = 0,12 \times \frac{\omega^2 C_{3и}^2}{S}$ .

Удовлетворительные результаты по уменьшению коэффициента шума усилителя на ПТ могут быть получены, если метод автокомпенсации применить одновременно с методом рассогласования. Коэффициент шума усилителя на ПТ для случая оптимального рассогласования [5]

$$\mathcal{M}_C = 1 + \frac{G_{шз}}{G_{11}} + 4R_{ш} G_{11}, \quad (4)$$

где  $R_{ш}$  — шумовое сопротивление ПТ,  $R_{ш} = \frac{2}{3G_{21}}$ ;  $G_{11}$ ,  $G_{шз}$  — входная проводимость и проводимость за счет емкости  $C_{зи}$ ;  $G_{21}$  — проводимость за счет емкости  $C_{зс}$ .

В режиме оптимального рассогласования [5]

$$Ш_{мин} = 1 + 2R_{ш} \left( G_{11} + \sqrt{G_{11}^2 + \frac{G_{шз}}{R_{ш}}} \right). \quad (5)$$

Обеспечивая компенсацию заряда емкости  $C_{зи}$  выражения (4), (5) примут единый вид  $Ш_{с мин} = 1 + R_{ш} G_{11}$  (6).

Автокомпенсация заряда емкостей ПТ, наряду с уменьшением коэффициента шума, позволит повысить быстродействие усилителя. Оценивая быстродействие усилителя, с учетом компенсации зарядов емкостей  $C_{зс}$ ,  $C_{зи}$ ,  $C_{си}$ , коэффициентом широкополосности получим

$$\gamma = \frac{S}{C_{вых} + C_{вх}} \approx \frac{S}{C_0}, \quad (7)$$

где  $C_{вых}$  — выходная емкость усилительного каскада,  $C_{вых} \approx C_{си}$ ;  $C_{вх}$  — входная емкость усилительного каскада,  $C_{вх} \approx C_{зи}$ ;  $C_0$  — суммарная остаточная некомпенсированная емкость затвора, канала и монтажа.

По полученным выражениям (1), (2), (6) произведен расчет коэффициента шума в диапазоне частот для ПТ КП301 с параметрами  $S = 1$  мА/В,  $C_{зи} = 3,5$  пФ,  $C_{зс} = 0,7$  пФ.

Результаты расчета представлены на рис. 2. Здесь 1 — коэффициент шума с учетом влияния заряда емкости  $C_{зи}$ ; 2 — коэффициент шума для случая компенсации заряда емкости  $C_{зи}$ ; 3 — коэффициент шума для случая компенсации емкости  $C_{зи}$  в режиме оптимального согласования. Экспериментальная проверка полученных зависимостей для коэффициента шума дала удовлетворительное совпадение результатов.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Метод автокомпенсации зарядов емкостей позволяет снизить коэффициент шума усилителя на ПТ. Автокомпенсация заряда емкости  $C_{зи}$  приводит к повышению быстродействия усилителя на ПТ в результате уменьшения постоянной времени затвора. Применение метода автокомпенсации заряда емкостей позволяет получить режим оптимального согласования на входе усилителя с обеспечением минимального коэффициента шума.

**Список литературы:** 1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Мир, 1984, — 455 с. 2. Ленк Д. Д. Справочник по проектированию электронных схем. — К.: Техника, 1979, — 208 с. 3. Войшвилло Г. В. Усилительные устройства. — М.: Радио и связь, 1983, — 264 с. 4. А. с. 508899 СССР. Устройство для усиления сигналов / Балдин С. А., Исаннесянц А. М. // Открытия. Изобретения. — 1974. — № 12 — с. 148. 5. Чумаков А. И. К расчету коэффициента шума резонансных усилителей на полевых транзисторах // Радиотехника. — 1977. — Вып. 42. — с. 5—7. 6. А. с. 1203686 СССР. Усилитель / А. И. Чумаков, С. Н. Макарук, А. Г. Поперешняк, С. А. Калинин // Открытия. Изобретения. — 1986. — № 1. — С. 262.

Поступила в редколлегию 13.05.86