



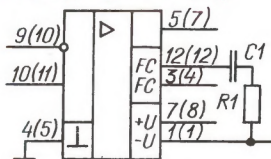
ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Журнал уже помещал на своих страницах сводные таблицы параметров операционных усилителей (например, в «Радио», 1978, № 7, с. 59, 60; 1980, № 3, с. 59, 60). Однако со времени последней публикации промышленность освоила серийный выпуск ряда новых ОУ, обладающих улучшенными характеристиками. Поэтому по просьбе читателей мы публикуем очередную сводную таблицу, в которую вместе с новыми ОУ включены и старые, получившие наибольшее распространение среди радиолюбителей.

Публикуемый здесь материал заимствован из справочников, книжных и журнальных публикаций. К сожалению, источники этой информации часто разноречивы, так что ее следует рассматривать как ориентировочную. Кроме того, нужно помнить, что для отечественных изделий обычно указывают наихудшие значения многих параметров, типичные же могут быть существенно выше.

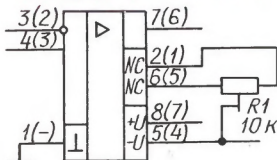
Микроэлектронные ОУ, как и цифровые микросхемы, выпускают преимущественно сериями, причем обычным стало объединение в одну серию усилителей, значительно отличающихся по принципу построения, назначения и характеристикам. Примерами серий с широко развитой номенклатурой микро-

К140УД1 (КР140УД1)

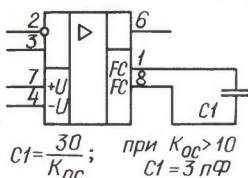


| K_{oc} | $R_1, \text{кОм}$ | $C_1, \text{пФ}$ |
|----------|-------------------|------------------|
| 1 | 0,02 | 10 000 |
| 10 | 0,2 | 1000 |
| 100 | 2 | 100 |

К140УД8 (КР140УД8)

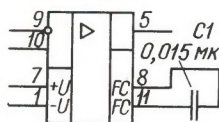


К140УД14, КР140УД1408

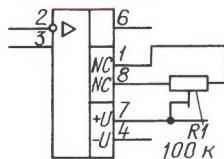


$$C_1 = \frac{30}{K_{oc}}; \text{ при } K_{oc} > 10 \quad C_1 = 3 \text{ пФ}$$

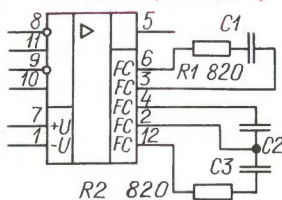
К140УД9



К140УД17

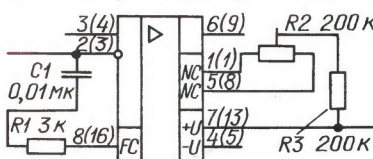


К140УД5А (К140УД5Б)

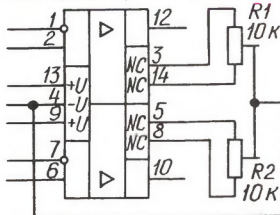


| K_{oc} | $C_1, \text{пФ}$ | $C_2, \text{пФ}$ | $C_3, \text{пФ}$ |
|----------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 10(15) | 51(15) | 10(13) |
| >10 | — | — | 430 |

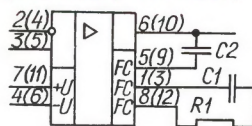
К140УД10, К140УД11 (КР140УД1101)



К140УД20, К1408УД2

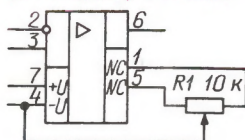


К153УД1, К153УД3
(К553УД1, К553УД3)

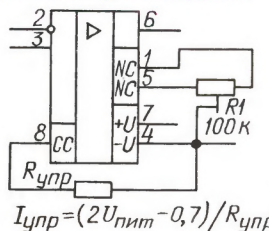


| K_{oc} | $R_1, \text{кОм}$ | $C_1, \text{пФ}$ | $C_2, \text{пФ}$ |
|----------|-------------------|------------------|------------------|
| 1 | 1,5 | 5100 | 200 |
| 10 | 1,5 | 510 | 20 |
| 100 | 1,5 | 110 | 3 |
| 1000 | 0 | 10 | 3 |

К140УД6, КР140УД608,
К140УД7, КР140УД708,
КР140УД18, К1409УД1



К140УД12, КР140УД1208



$$I_{уп} = (2U_{пит} - 0,7) / R_{уп}$$

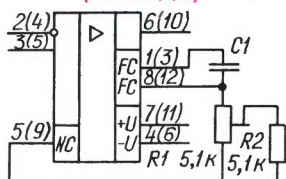
| ОУ | Параметры | $U_{\text{пит.}}$ В | $U_{\text{пит. ном.}}$ В | K_D $\times 10^{-3}$ | $I_{\text{п.}}$ мА | $U_{\text{см.}}$ мВ | $\frac{TKU_{\text{см.}}}{\text{мкВ}}$ К | $I_{\text{т.}}$ нА | $\Delta I_{\text{т.}}$ нА |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|--------------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| K140УД1А, КР140УД1А | — | — | 2×6,3 | 0,5 | 6 | 7 | 20 | 5 000 | 1500 |
| K140УД1Б, КР140УД1Б | — | — | 2×12,6 | 1,3 | 12 | 7 | 20 | 8 000 | 1500 |
| K140УД5А ¹⁾ | 2×(6...13) | — | 2×12 | 0,5 | 12 | 10 | 35 | 5 000 | 1000 |
| K140УД5Б ¹⁾ | 2×(6...13) | — | 2×12 | 1 | 12 | 7 | 10 | 10 000 | 5000 |
| K140УД6, КР140УД608 | 2×(5...20) | — | 2×15 | 30 | 3 | 8 | 20 | 50 | 15 |
| K140УД7, КР140УД708 | 2×(5...20) | — | 2×15 | 30 | 2,8 | 9 | 10 | 400 | 200 |
| K140УД8, КР140УД8 | — | — | 2×15 | 50 | 5 | 50 | 50 | 0,2 | 0,1 |
| K140УД9 | 2×(9...18) | — | 2×12,6 | 35 | 8 | 5 | 20 | 350 | 100 |
| K140УД10 | 2×(5...18) | — | 2×15 | 50 | 10 | 5 | 50 | 250 | 70 |
| K140УД11, КР140УД1101 | 2×(5...18) | — | 2×15 | 30 | 8 | 10 | 50 | 500 | 200 |
| K140УД12, КР140УД1208 ²⁾ | 2×(1,5...18) | — | 2×3/15 | 25/50 | 0,03/0,17 | 6 | 5/6 | 10/50 | 6/28 |
| K140УД14, КР140УД1408 | 2×(5...18) | — | 2×15 | 50 | 1 | 5 | 20 | 5 | 1 |
| K140УД17 | 2×(3...18) | — | 2×15 | 200 | 5 | 0,25 | 1,3 | 10 | 5 |
| KР140УД18 | 2×(6...18) | — | 2×15 | 25 | — | 10 | — | 0,2 | 0,2 |
| K140УД20 | 2×(5...20) | — | 2×15 | 50 | 3 | 5 | 2 | 100 | 30 |
| K153УД1 | 2×(9...18) | — | 2×15 | 15 | 6 | 7,5 | 30 | 1500 | 500 |
| K153УД2 | 2×(5...18) | — | 2×15 | 25 | 3 | 7,5 | 30 | 1500 | 500 |
| K153УД3 | 2×(9...18) | — | 2×15 | 25 | 4 | 2 | 15 | 200 | 50 |
| K153УД4 | 2×(3...9) | — | 2×6 | 5 | 0,8 | 5 | 50 | 400 | 150 |
| K153УД5 | 2×(5...16) | — | 2×15 | 500 | 3,5 | 2 | 10 | 100 | 20 |
| K153УД6 | 2×(5...18) | — | 2×15 | 50 | 3 | 2 | 15 | 75 | 10 |
| K154УД1 | 2×(4...18) | — | 2×15 | 150 | 0,15 | 5 | 30 | 40 | 20 |
| K154УД2 | 2×(5...18) | — | 2×15 | 100 | 6 | 2 | 20 | 100 | 20 |
| K154УД3 | 2×(5...18) | — | 2×15 | 8 | 7 | 10 | 30 | 200 | 50 |
| K154УД4 | 2×(5...17) | — | 2×15 | 8 | 7 | 6 | 50 | 1200 | 300 |
| K157УД1 | 2×(3...20) | — | 2×15 | 50 | 9 | 5 | 50 | 500 | 150 |
| K157УД2 | 2×(3...18) | — | 2×15 | 50 | 7 | 10 | 50 | 500 | 150 |
| K544УД1, КР544УД1 | 2×(8...16,5) | — | 2×15 | 50 | 3,5 | 20 | 50 | 0,1 | 0,05 |
| K544УД2, КР544УД2 | 2×(6...17) | — | 2×15 | 20 | 7 | 50 | 50 | 0,5 | 0,1 |
| K551УД1 | 2×(5...16,5) | — | 2×15 | 500 | 5 | 1,5 | 5 | 100 | 20 |
| KМ551УД1 | 2×(5...16,5) | — | 2×15 | 500 | 5 | 2 | 10 | 120 | 35 |
| KМ551УД2 | 2×(5...16,5) | — | 2×15 | 5 | 10 | 5 | 20 | 2000 | 1000 |
| K553УД1 | 2×(9...18) | — | 2×15 | 10 | 6 | 7,5 | 30 | 200 | 60 |
| K553УД2 | 2×(5...18) | — | 2×15 | 20 | 3 | 7,5 | 30 | 1500 | 500 |
| K553УД3 | 2×(9...18) | — | 2×15 | 30 | 4 | 2 | 15 | 200 | 50 |
| K574УД1, КР574УД1 | — | — | 2×15 | 50 | 8 | 50 | 50 | 0,5 | 0,2 |
| K574УД2, КР574УД2 | — | — | 2×15 | 25 | 10 | 50 | 30 | 1 | 0,5 |
| K574УД3, КР574УД3 | 2×(3...16,5) | — | 2×15 | 20 | 7 | 5 | 5 | 0,5 | 0,2 |
| K1401УД1 | 4...15 | — | 2×15 | 2 | 8 | 5 | 30 | 150 | — |
| K1401УД2 | 2×(2...15) | — | 2×15 | 25 | 3 | 5 | 30 | 150 | 30 |
| K1407УД1, КР1407УД1 | 2×(3...12) | — | 2×5 | 10 | 8 | 10 | 50 | 10 | 2 |
| K1407УД2, КР1407УД2 | 2×(1,2...13,2) | — | 2×12 | 50 | 0,1 | 0,5 | — | 150 | 50 |
| K1407УД3, КР1407УД3 | 2×(2...12) | — | 2×12 | 10 | 2 | 5 | 20 | 5 | 1 |
| КФ1407УД4 | 2×(1,5...6) | — | 2×5 | 3 | 2 | 5 | — | 0,5 | 0,06 |
| K1408УД1, КР1408УД1 | 2×(7...40) | — | 2×27 | 70 | 5 | 8 | — | 40 | 10 |
| K1408УД2 | 2×(5...20) | — | 2×15 | 50 | 2,8 | 4 | — | 200 | 70 |
| K1409УД1 | 2×(5...15) | — | 2×15 | 20 | 6 | 15 | — | 0,05 | 0,03 |

¹⁾ Эти микросхемы имеют две пары входных выводов: высокоомный вход — 8 и 11, низкоомный — 9 и 10. Параметры для K140УД5Б указаны для низкоомного входа (вывод 8 соединен с 9, 10 — с 11).

²⁾ Параметры указаны для двух значений управляющего тока $I_{\text{упр}} = 1,5/15$ мА.

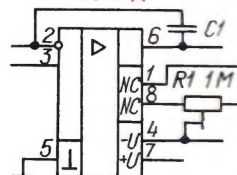
³⁾ Значения параметра для положительного перепада выходного напряжения и отрицательно-го не одинаковы.

K153УД2, K153УД6
(K553УД2)



| | | | |
|-----------------|----|----|-----|
| $K_{\text{ос}}$ | 1 | 10 | 100 |
| $C1, \text{нФ}$ | 30 | 5 | 3 |

K154УД1



При $K_{\text{ос}} \leq 3$ $C1 = 5,6 \text{ нФ}$,
при $K_{\text{ос}} > 3$ $C1$ снять.

| $U_{дф\ max},$ В | $U_{сф\ max},$ В | $K_{сф},$ дБ | $f_1,$ МГц | $V_{ц},$ В мкс | $\pm U_{2m\ max},$ В | $R_{2H\ min},$ кОм | $R_{D\ вх},$ МОм | Ближайший зарубежный аналог |
|---------------------|---------------------|--------------|------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1,5 | 3 | 60 | 3 | 0,2 | 2,8 | 5 | 0,004 | $\mu A702$ |
| 1,5 | 6 | 60 | 8 | 0,5 | 5,7 | 5 | 0,004 | $\mu A702$ |
| 3 | 6 | 50 | 5 | 6 | 6,5 | 5 | 0,05 | — |
| 3 | 6 | 60 | 10 | 6 | 6,5 | 5 | 0,003 | — |
| 30 | 11 | 70 | 1 | 2 | 12 | 1 | 1 | MC1456C |
| 20 | 15 | 70 | 0,8 | 0,3 | 10,5 | 2 | 0,4 | $\mu A741$ |
| 6 | 10 | 70 | 1 | 2 | 10 | 2 | 10 | $\mu A740$ |
| 4 | 7 | 80 | 1 | 0,2 | 10 | 1 | 0,3 | — |
| 4 | 6 | 70 | 15 | 30 | 12 | 2 | 0,4 | LM118 |
| 10 | 11 | 70 | 15 | 50 | 12 | 2 | 0,4 | LM318 |
| — | 1,2/12 | 70 | 0,2/1 | 0,1/0,8 | 2/12 | 5 | 50/5 | $\mu A776$ |
| 13 | 13 | 85 | 0,5 | 0,1 | 12 | 1 | 30 | LM308 |
| 15 | 13 | 100 | 0,4 | 0,1 | 12 | 2 | 30 | OP-07E |
| — | 16 | 80 | 2,5 | 5 | 11 | 2 | 10 ⁶ | LF-355 |
| 10 | 12 | 70 | 0,5 | 0,3 | 11 | 1 | 0,4 | $\mu A747$ |
| 5 | 8 | 70 | 1 | 0,2 | 10 | 2 | 0,2 | $\mu A709$ |
| 30 | 12 | 70 | 1 | 0,5 | 10 | 2 | 0,3 | LM101 |
| 5 | 8 | 80 | 1 | 0,2 | 10 | 2 | 0,4 | $\mu A709A$ |
| 2 | 5 | 70 | 0,7 | 0,1 | 4 | 5 | 0,2 | WCC188 |
| 5 | 13 | 100 | 0,2 | 0,01 | 10 | 2 | 1 | $\mu A725$ |
| 30 | 12 | 80 | 0,7 | 0,5 | 10 | 2 | 0,3 | LM301A |
| 10 | 10 | 80 | 1 | 10 | 11 | 2 | 1 | HA2700 |
| 10 | 10 | 70 | 15 | +150/-75 ^м | 10 | 2 | 0,5 | — |
| 10 | 10 | 80 | 15 | 80 | 10 | 2 | 1 | AD509 |
| — | 10 | 70 | 30 | 400 | 10 | 2 | 1 | HA2520 |
| — | 20 | 70 | 0,5 | 0,5 | 12 | 0,02 | 1 | — |
| — | 18 | 70 | 1 | 0,5 | 13 | 0,3 | 0,5 | 2x LM301 |
| 10 | 10 | 80 | 1 | 3 | 10 | 2 | 10 | $\mu A740$ |
| 10 | 10 | 70 | 15 | 20 | 10 | 2 | 10 | CA3130 |
| 5 | 13,5 | 100 | 0,8 | 0,01 | 10 | 2 | 1 | — |
| 5 | 13 | 100 | 0,8 | 0,01 | 12 | 2 | 1 | $\mu A725$ |
| 5 | 8 | 70 | 1 | 0,25 | 12 | 2 | 0,5 | $\mu A739$ |
| 5 | 8 | 65 | 1 | 0,2 | 10 | 2 | 0,2 | $\mu A709$ |
| 30 | 12 | 70 | 1 | 0,5 | 10 | 2 | 0,3 | LM301 |
| 5 | 8 | 80 | 1 | 0,2 | 10 | 2 | 0,3 | $\mu A709A$ |
| 10 | 30 | 80 | 10 | 50 | 10 | 2 | 10 | AD513 |
| 10 | 10 | 60 | 2 | 10 | 10 | 10 | 10 ³ | TL0837 |
| — | 10 | 80 | 15 | 30 | 10 | 10 | 10 ⁴ | — |
| — | — | 70 | 2,5 | 0,5 | 12 | — | 1 | LM2900 |
| — | — | 70 | 1 | 0,5 | 12 | 2 | — | LM324 |
| 2,5 | 4 | 70 | 20 | 10 | 3 | 1 | — | — |
| 2,5 | 10 | 100 | 3 | 0,5 | 10 | 2 | — | LM4250 |
| 2,5 | 4 | 75 | 5 | 5 | 3 | 2 | — | — |
| 2,5 | 1,5 | 70 | 1 | 1 | 0,65 | 0,25 | — | — |
| 20 | 21 | 70 | 0,5 | 2 | 18 | 2 | 1 | LM343 |
| — | 15 | 70 | 0,8 | 0,7 | 11,5 | 2 | 0,4 | $\mu A747C$ |
| 10 | 10 | 70 | 1 | 4 | 12 | 2 | 10 ³ | CA3140 |

схем могут служить K140, K153 и K553 (аналог серии K153, но в прямоугольном пластмассовом корпусе). Эти серии пока остаются наиболее массовыми и доступными для радиолюбителей. Приборы серий K153 и K553 требуют внешних частотокорректирующих цепей, а у большинства микросхем серии K140 эти цепи выполнены прямо на кристалле.

Операционные усилители можно разделить на следующие группы:

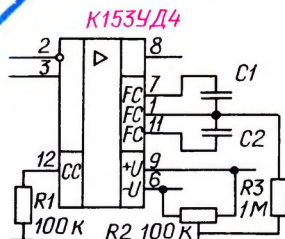
— общего применения — наиболее многочисленная группа ОУ, универсальных по использованию, со средними значениями параметров (K140УД7, K140УД8, K140УД20, K153УД1 — K153УД3, K553УД1 — K553УД3);

— прецизионные, обладающие повышенной точностью установки передаточной функции благодаря более высокому входному сопротивлению, улучшенным параметрам смещения нулевого уровня

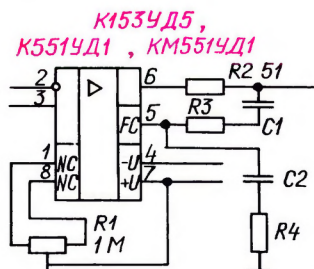
и повышенному коэффициенту усиления (K140УД14, K140УД17, K153УД5, KM551УД1);

— быстродействующие (широкополосные), имеющие повышенную скорость увеличения выходного напряжения и малое время установления (K140УД10, K140УД11, K544УД2, K574УД1, K574УД3);

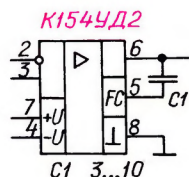
— маломощные, характеризующиеся наименьшей потребляемой мощностью, а также возможно-



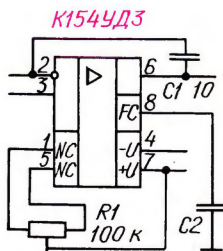
| K_{oc} | $C1, \text{ пФ}$ | $C2, \text{ пФ}$ |
|-----------|----------------------|---------------------|
| 1...10 | $\approx 150/K_{oc}$ | $\approx 50/K_{oc}$ |
| ≥ 10 | 15 | 5,1 |



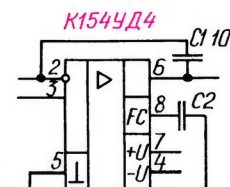
| K_{oc} | 1 | 10 | 100 | 1000 |
|------------------|-------|-------|-------|------|
| $R4, \text{ Ом}$ | 10 | 27 | 47 | 470 |
| $C2, \text{ пФ}$ | 47000 | 47000 | 10000 | 1000 |
| $R3, \text{ Ом}$ | 39 | 270 | — | — |
| $C1, \text{ пФ}$ | 22 | 1,5 | — | — |



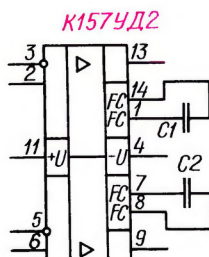
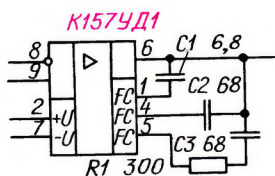
$C1 \ 3...10$



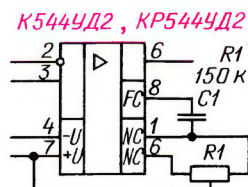
| K_{oc} | $C2, \text{ пФ}$ |
|----------|------------------|
| ≤ 3 | $30/K_{oc}$ |
| > 3 | 10 |



| K_{oc} | $C2, \text{ пФ}$ |
|----------|------------------|
| ≤ 3 | $30/K_{oc}$ |
| > 3 | 10 |



$C1 = C2 \leq 30 \text{ пФ}$



При $K_{oc} \leq 20$ $C1 = C2 = (1...50) \text{ пФ}$ или соединить выводы 1 и 8; при $K_{oc} > 20$ $C1$ и $C2$ снять.

Электрические характеристики операционных усилителей сведены в таблицу. Указанные в ней значения измерены при температуре окружающей среды $25 \pm 10^\circ \text{C}$ и номинальных напряжениях питания и сопротивлении нагрузки. В таблице приняты следующие обозначения:

- $U_{\text{пит}}$ — напряжение питания;
- K_D — минимальный коэффициент усиления;
- I_n — потребляемый ток;
- $U_{\text{см}}$ — напряжение смещения «нуля»;
- $TKU_{\text{см}}$ — температурный коэффициент напряжения смещения «нуля»;
- I_i — входной ток;
- ΔI_i — разностный входной ток;
- $U_{\text{дф max}}$ — допустимое значение дифференциального входного напряжения;
- $U_{\text{сф max}}$ — допустимое значение синфазного входного напряжения;
- $K_{\text{сф}}$ — коэффициент ослабления синфазного сигнала;
- f_l — частота единичного усиления;
- V_U — скорость увеличения выходного напряжения;
- $\pm U_{2m \text{ max}}$ — наибольшая амплитуда выходного напряжения;
- $R_{2n \text{ min}}$ — наименьшее сопротивление нагрузки;
- $R_{\text{вх}}$ — входное сопротивление.

На рисунках показана доколевка микросхем с элементами частотной коррекции и установки нуля. В необходимых случаях рядом даны сведения о параметрах корректирующих цепей и цепей обратной связи для реализации различных режимов работы ОУ.

Буквы Р, М и Ф, поставленные в обозначении микросхем после буквы К, указывают на разновидности конструкции и материала корпуса.

(Окончание следует)

Материал подготовил
С. ГОРЕЛОВ

г. Москва

стью внешней регулировки тока смещения, такие ОУ называют также программно-управляемыми (K140УД12, K153УД4, серия K1407).

Полные транзисторы на входе имеют усилители серий K544, K574, а также K140УД8.

В ОУ K1408УД2 на одном кристалле размещены два усилителя, аналогичных по характеристикам K140УД7. Сдвоенными

также являются K140УД20, K157УД2, KM551УД2, K574УД2 (KP574УД2). У K1401УД1, K1401УД2 и KФ1407УД4 на кристалле размещены четыре ОУ. Характерной особенностью ОУ K1409УД1 является очень малый входной ток, KM551УД2 — малый коэффициент шума, K157УД1 — повышенная выходная мощность. K1401УД1 — однополярное питание, токовый вход.