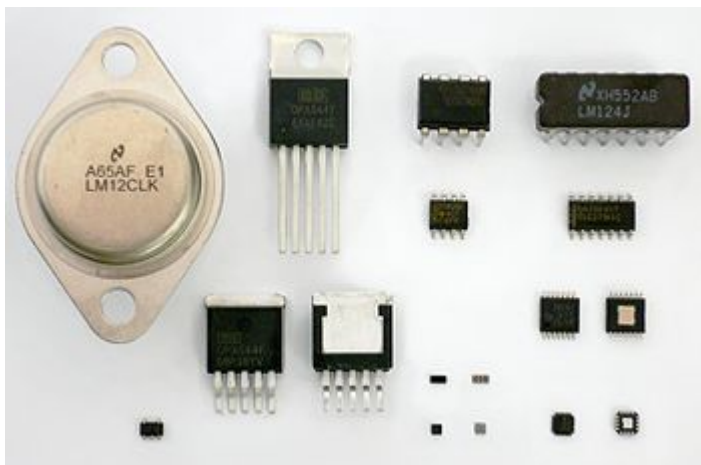
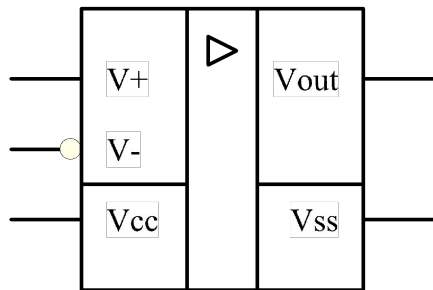
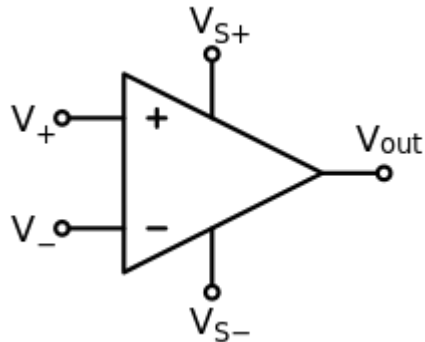
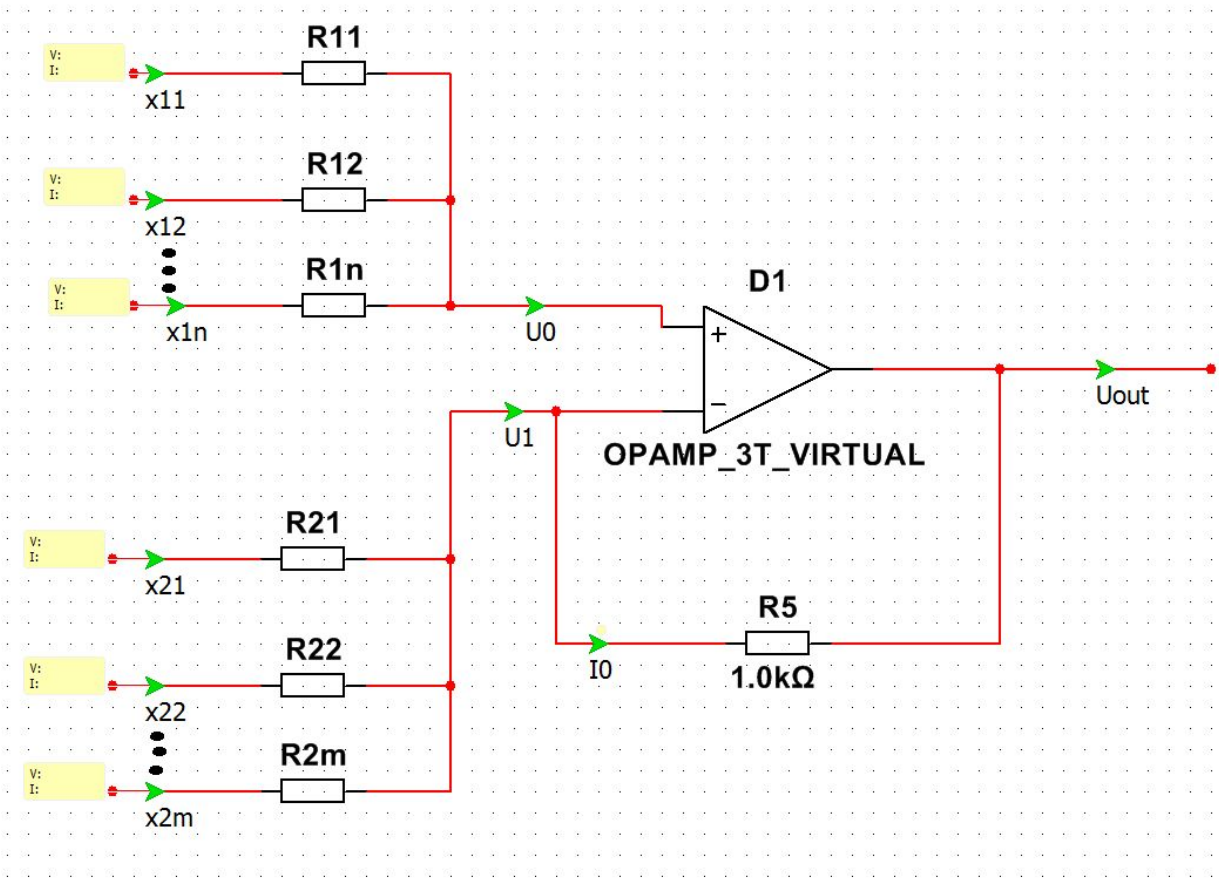


Идеальный операционный усилитель



- При включении ОУ без обратной связи $V_{out} = (V_+ - V_-) K_u$
- Идеальный ОУ, охваченный ООС $V_+ - V_- = 0$
- $Z_{BX} = \infty, Z_{out} = 0$

Расчет схем на идеальных ОУ



- Сумма токов в узлах U0 и U1 равна 0
- $U0 = U1$

- $$I_{1i} = \frac{x_{1i} - U0}{R_{1i}}$$

- $$I_{2i} = \frac{x_{2i} - U1}{R_{2i}}$$

Проведем расчет

$$\sum_{i=1}^n I_{1i} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n \frac{x_{1i} - U_0}{R_{1i}} = 0$$

Сумма узловых
ТОКОВ

$$\sum_{i=1}^m I_{2i} + I_0 = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^m \frac{x_{2i} - U_1}{R_{2i}} + \frac{U_1 - U_{out}}{R_0} = 0$$

U_0

Сумма узловых
ТОКОВ

$$U_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_{1i}}{R_{1i}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{1i}}}$$

U_1

$$U_1 = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{x_{2i}}{R_{2i}} + \frac{U_{out}}{R_0}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{R_{2i}} + \frac{1}{R_0}}$$

Выражение для U_0

$$U_{out} = \frac{\left(\sum_{i=1}^m \frac{R_0}{R_{2i}} + 1\right) \sum_{i=1}^n \frac{x_{1i}}{R_{1i}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{1i}}} - \sum_{i=1}^m \frac{R_0 x_{2i}}{R_{2i}}$$

Выражение для U_1

Выражение для
 U_{out}

Задача анализа по заданным сопротивлениям

$$K_{1j} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{R_0}{R_{2i}} + 1}{\sum_{i=1}^n \frac{R_{1j}}{R_{1i}}}$$
$$K_{2j} = \frac{R_0}{R_{2i}}$$

Зная все сопротивления
получим значение
выходного напряжения

$$U_{out} = \sum_{i=1}^n K_{1i} x_{1i} - \sum_{i=1}^m K_{2i} x_{2i}$$

Задача синтеза по заданным коэффициентам

- равенства выполняются для идеального ОУ с замкнутой ООС

$$S1 = \sum_{i=1}^n K_{1i}$$
$$S2 = \sum_{i=1}^m K_{2i}$$
$$S1 = S2 + 1$$

- задавая произвольно резисторы R_0 и R_{1j} , получим

$$R_{1i} = \frac{K_{1j} R_{1j}}{K_{1i}}$$
$$R_{2i} = \frac{R_0}{K_{2i}}$$

Разработка схем на ОУ по передаточной характеристике.

- Передаточная характеристика линейного усилителя описывается выражением

$$y = \pm mx \pm b. \quad \text{- уравнение прямой линии}$$

- Возможны 4 варианта:

$$V_{OUT} = +mV_{IN} + b$$

$$V_{OUT} = +mV_{IN} - b$$

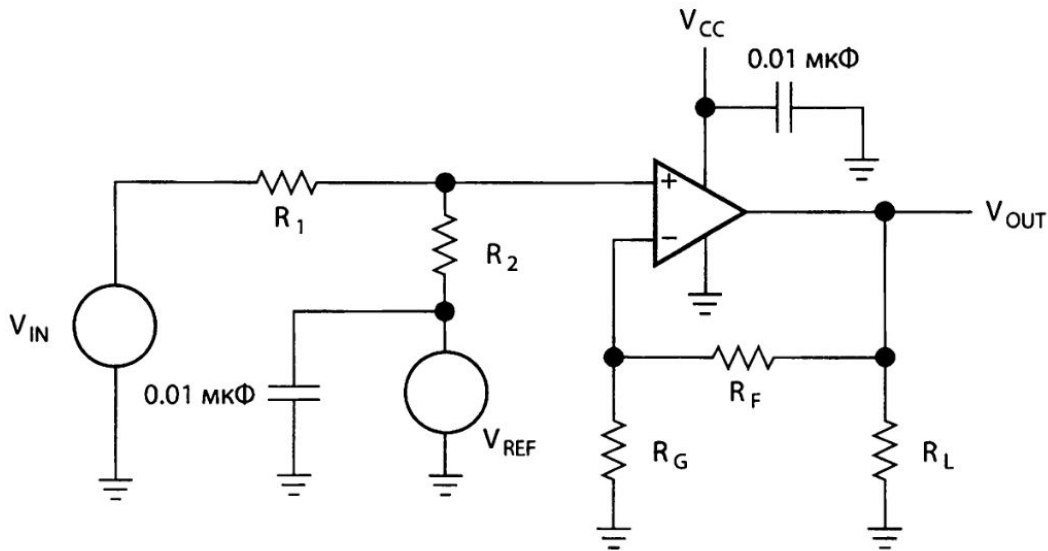
$$V_{OUT} = -mV_{IN} + b$$

$$V_{OUT} = -mV_{IN} - b$$

Например, выходной сигнал датчика изменяется в пределах от 0.1 до 0.2 В, а на вход аналого-цифрового преобразователя надо подавать сигналы в диапазоне 1...4 В.

$$V_{OUT} = 30V_{IN} - 2.$$

$$m > 0, b > 0$$



$$V_{OUT} = V_{IN} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_F + R_G}{R_G} \right) + V_{REF} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_F + R_G}{R_G} \right).$$

$$m = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_F + R_G}{R_G} \right),$$

$$b = +V_{REF} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_F + R_G}{R_G} \right).$$

Пример

$V_{out} = 1\text{ В}$ при $V_{in} = 0.01\text{ В}$

$V_{out} = 4.5\text{ В}$ при $V_{in} = 1\text{ В}$

допуски резисторов 5%

$V_{CC} = 5\text{ В}$.

$V_{ref} = V_{CC}$.

$$1 = m(0.01) + b, \quad 100 = m(1.0) + 100b.$$

$$4.5 = m(1.0) + b. \quad b = 95.5/99 = 0.9646.$$

$$m = (1 - b)/0.01 = (1 - 0.9646)/0.01 = 3.535.$$

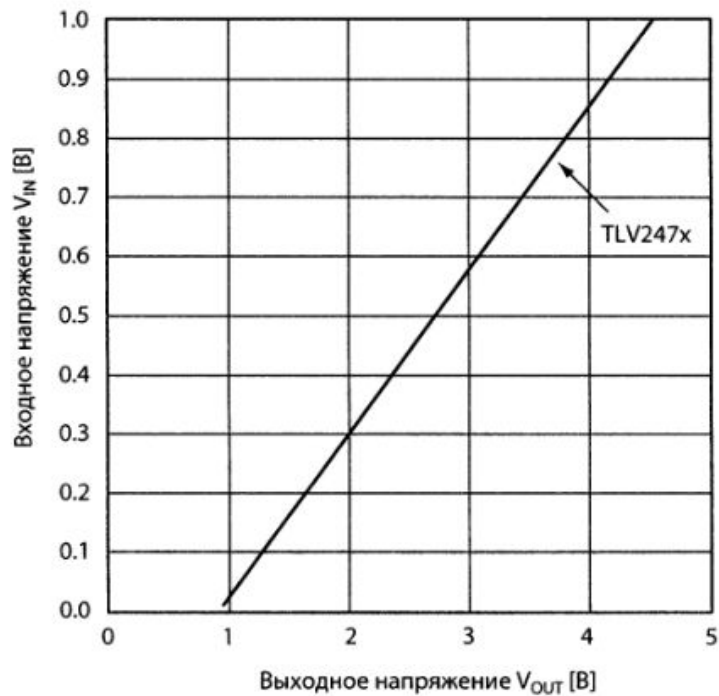
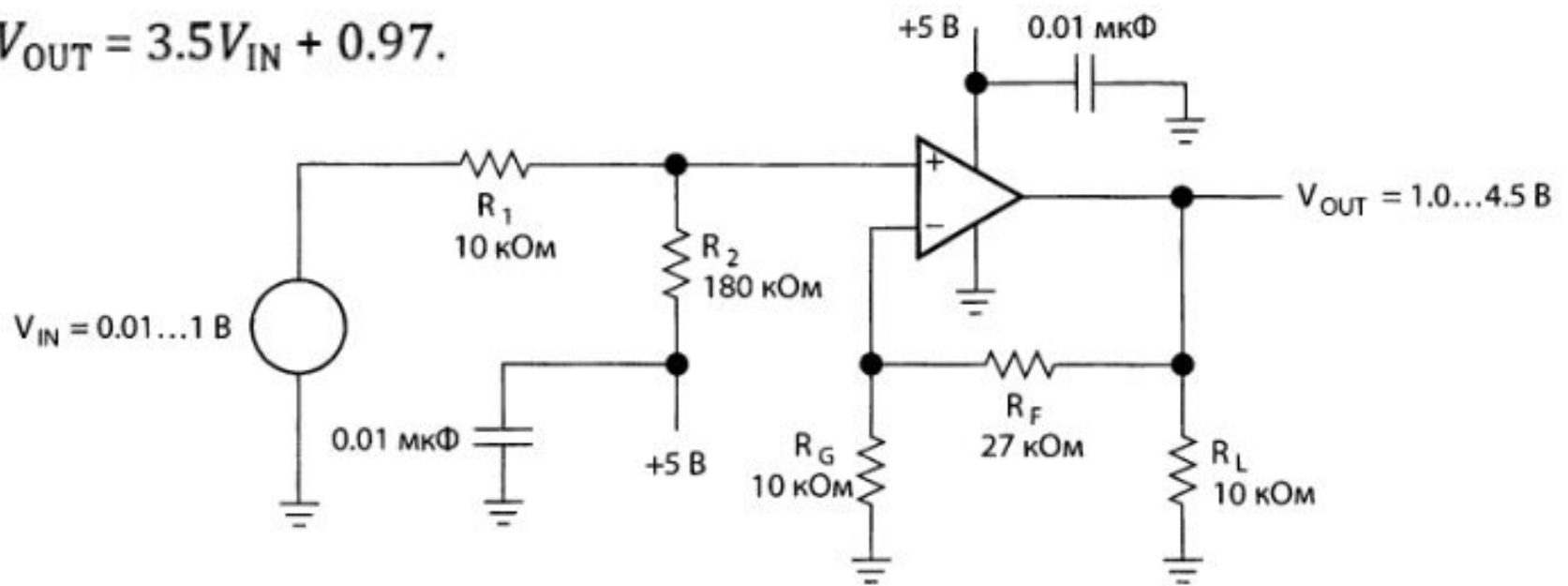
$$\frac{R_F + R_G}{R_G} = m \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) = \frac{b}{V_{CC}} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right).$$

$$R_2 = \left(\frac{\frac{3.535}{0.9646}}{5} \right) R_1 = 18.316 R_1.$$

$$\frac{R_F + R_G}{R_G} = m \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) = 3.535 \left(\frac{180 + 10}{180} \right) = 3.73,$$

$$R_F = 2.73 R_G.$$

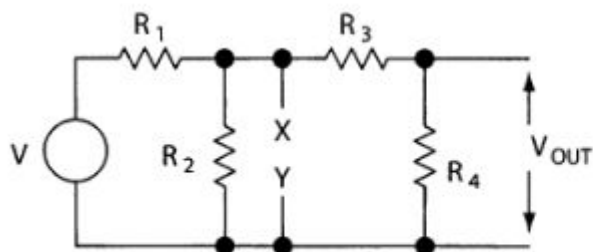
$$V_{OUT} = 3.5V_{IN} + 0.97.$$



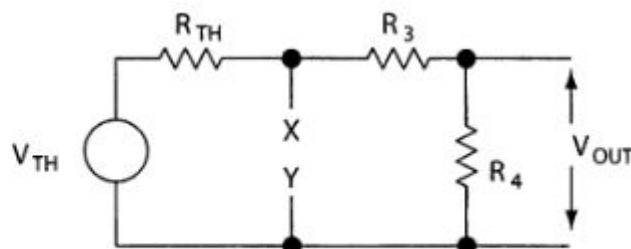
Теорема Тевенина

Для линейных электрических цепей утверждает, что любая электрическая цепь, имеющая два вывода и состоящая из комбинации источников напряжения, источников тока и резисторов (сопротивлений), с электрической точки зрения эквивалентна цепи с одним источником напряжения V и одним резистором R ,

с



а)

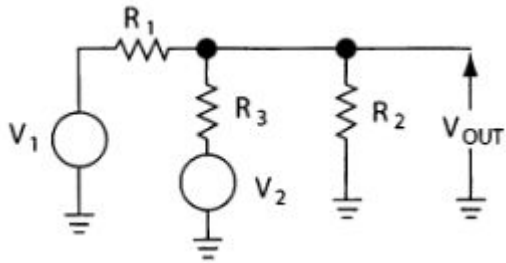


б)

$$V_{\text{TH}} = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad R_{\text{TH}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 \parallel R_2.$$

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{TH}} \frac{R_4}{R_{\text{TH}} + R_3 + R_4} = V \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \frac{R_4}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_4}.$$

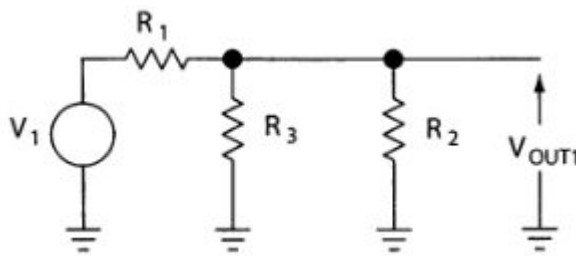
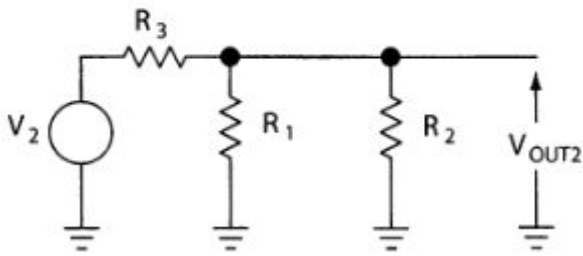
Принцип суперпозиции



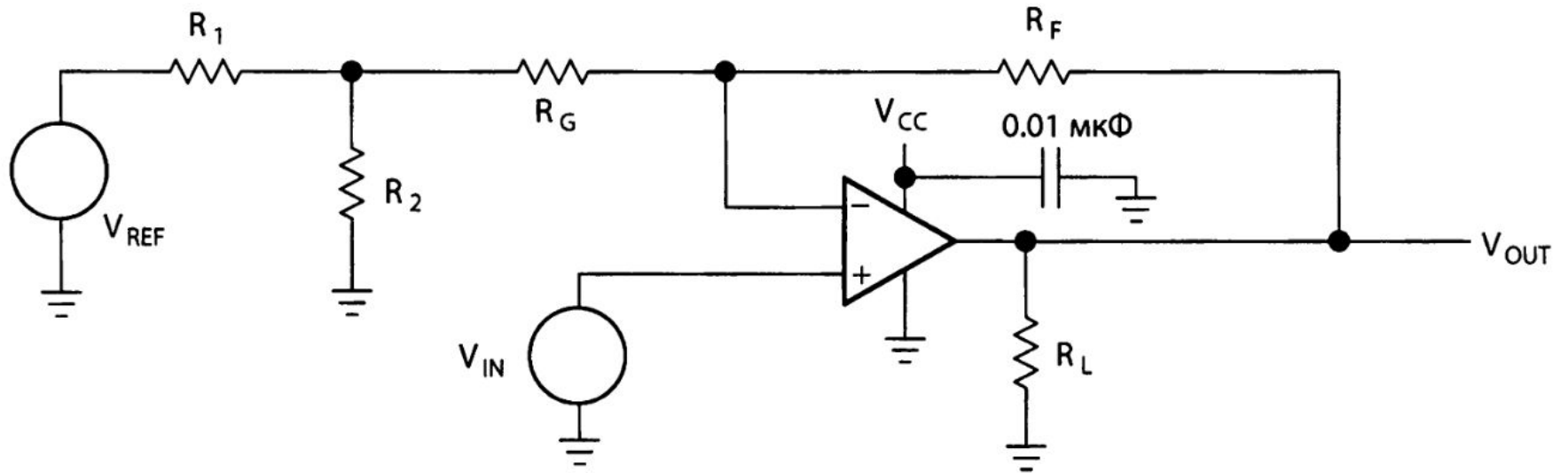
$$V_{OUT} = V_1 \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} + V_2 \frac{R_1 \parallel R_2}{R_3 + R_1 \parallel R_2}.$$

$$V_{OUT2} = V_2 \frac{R_1 \parallel R_2}{R_3 + R_1 \parallel R_2}.$$

$$V_{OUT1} = V_1 \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3}.$$



$m > 0, b < 0$



$$V_{OUT} = V_{IN} \left(\frac{R_F + R_G + R_1 \parallel R_2}{R_G + R_1 \parallel R_2} \right) - V_{REF} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_F}{R_G + R_1 \parallel R_2} \right).$$

$$m = \left(\frac{R_F + R_G + R_1 \parallel R_2}{R_G + R_1 \parallel R_2} \right),$$

$$|b| = V_{REF} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_F}{R_G + R_1 \parallel R_2} \right).$$

Пример

$V_{out} = 1.5 \text{ В}$ при $V_{in} = 0.2 \text{ В}$

$V_{out} = 4.5 \text{ В}$ при $V_{in} = 0.5 \text{ В}$

допуски резисторов 5%

$V_{ref} = V_{cc} = 5 \text{ В}$

$R_{load} = 10 \text{ кОм}$.

$$1.5 = 0.2m + b,$$

$$4.5 = 0.5m + b.$$

$$b = -0.5 \text{ и } m = 10.$$

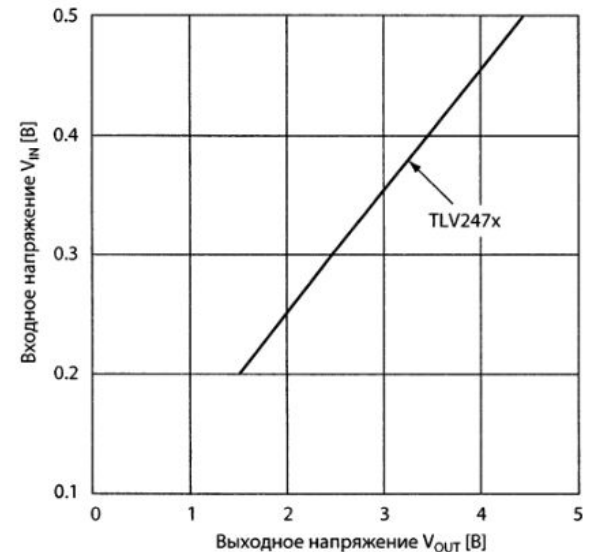
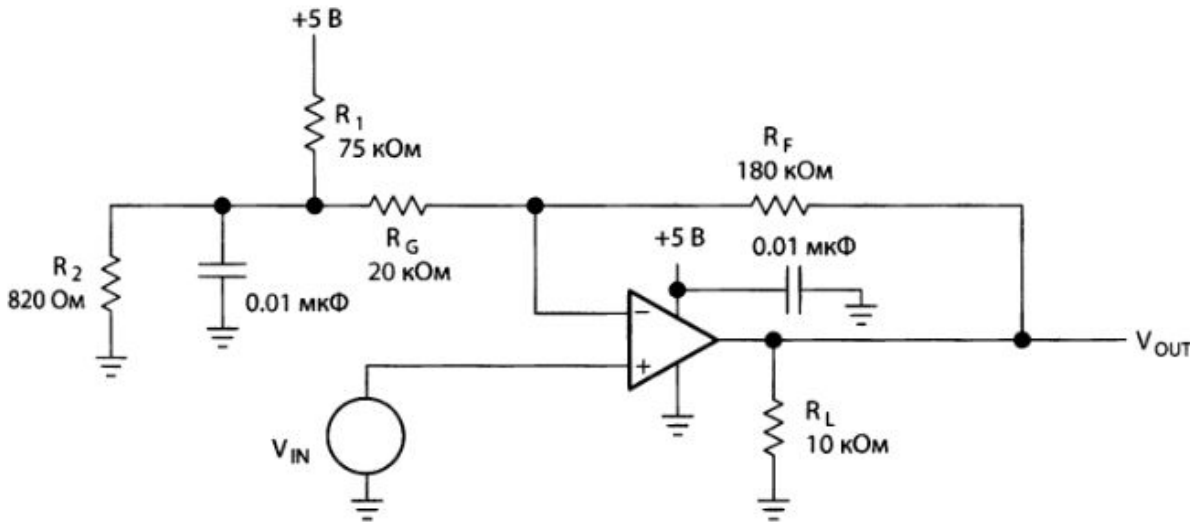
$$R_1 || R_2 \ll R_G,$$

$$m = 10 = \frac{R_F + R_G}{R_G},$$

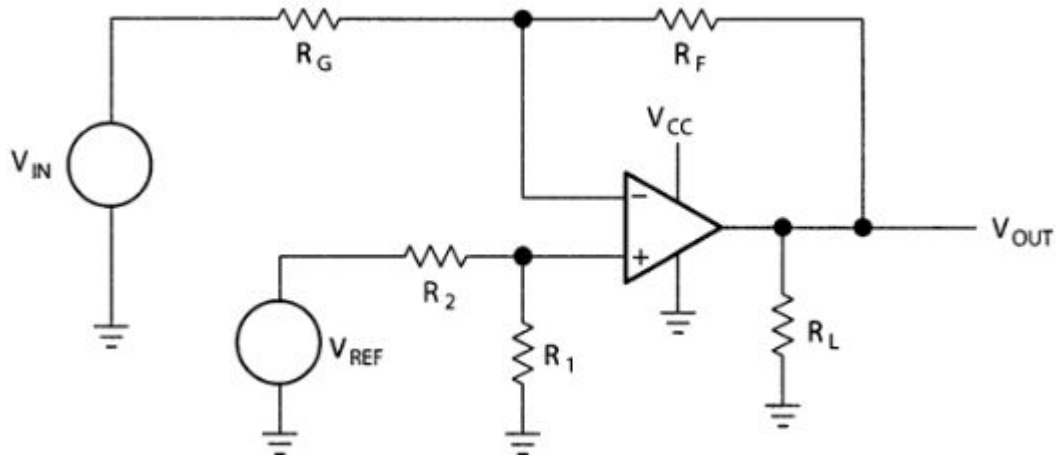
$$b = V_{CC} \left(\frac{R_F}{R_G} \right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) = 5 \left(\frac{180}{20} \right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right),$$

$$R_F = 9R_G.$$

$$R_1 = \frac{1 - 0.01111}{0.01111} = 89R_2.$$



$$m < 0, b > 0$$



$$V_{OUT} = -V_{IN} \left(\frac{R_F}{R_G} \right) + V_{REF} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_F + R_G}{R_G} \right).$$

$$|m| = \left(\frac{R_F}{R_G} \right),$$

$$b = V_{REF} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_F + R_G}{R_G} \right).$$

Пример

$V_{out} = 1 \text{ В}$ при $V_{in} = -0.1 \text{ В}$

$V_{out} = 6 \text{ В}$ при $V_{in} = -1 \text{ В}$

допуски резисторов 5%

$V_{ref} = V_{CC} = 10 \text{ В}$

$R_{load} = 100 \text{ Ом}$.

$$1 = -0.1m + b,$$

$$6 = -1m + b.$$

$$b = 0.444 \text{ и } m = -5.6.$$

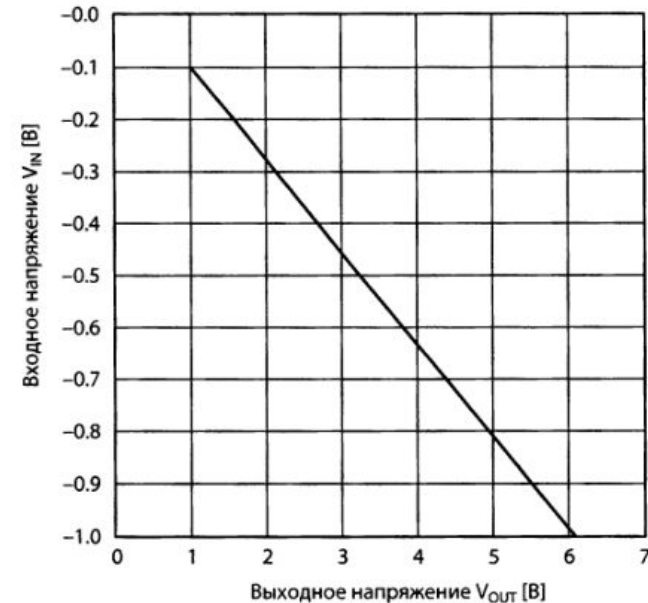
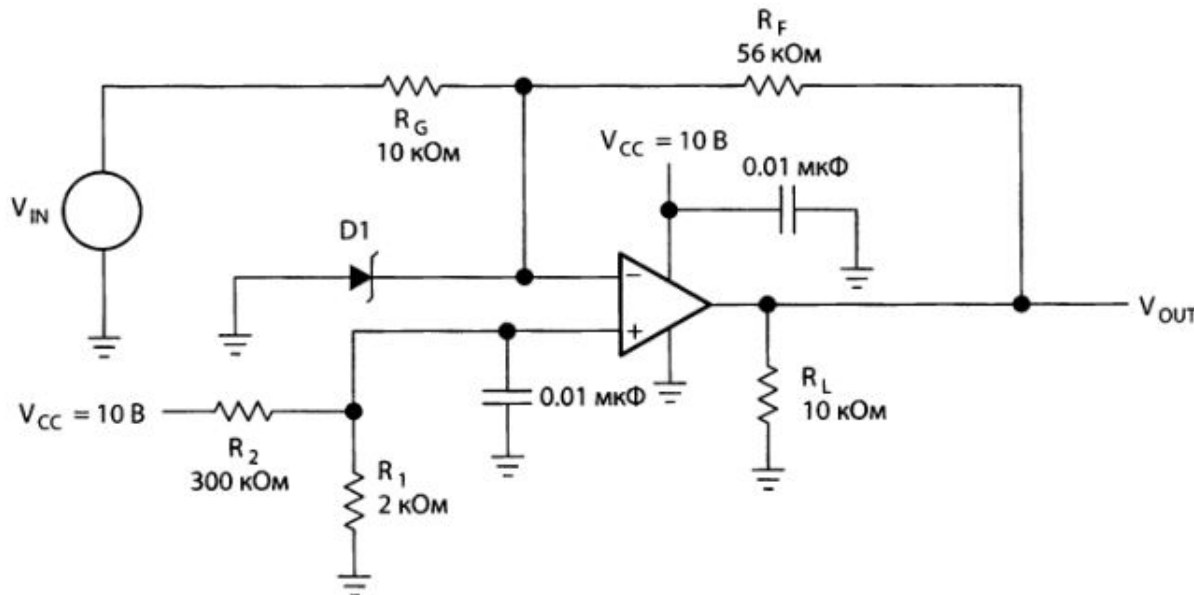
$$|m| = 5.56 = \frac{R_F}{R_G}, \quad b = V_{CC} \left(\frac{R_F + R_G}{R_G} \right) \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) = 10 \left(\frac{56 + 10}{10} \right) \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right),$$

$$R_F = 5.56 R_G.$$

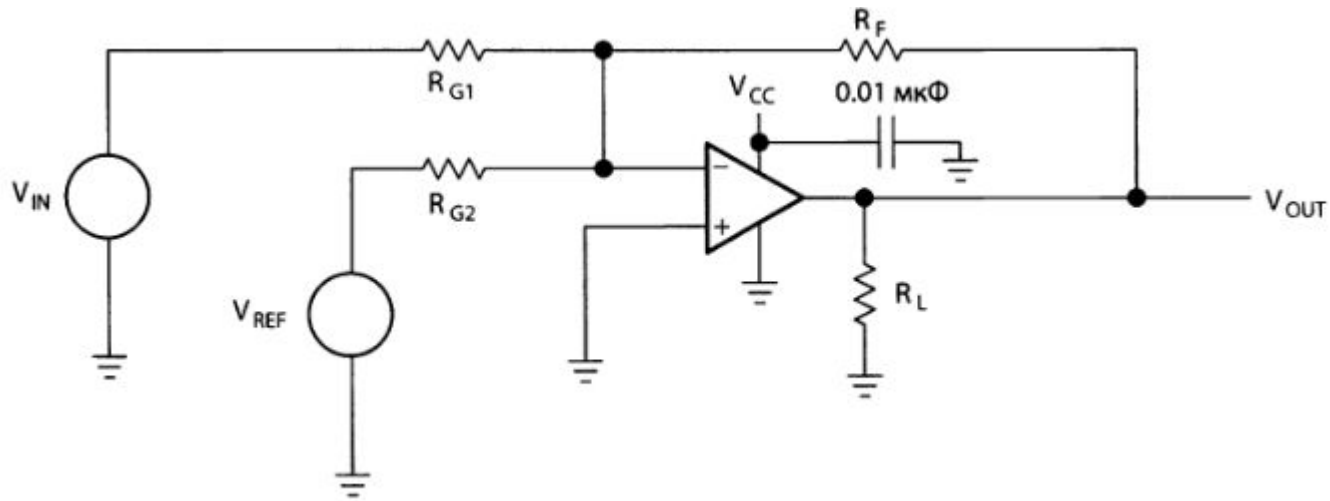
$$R_2 = \frac{66 - 0.4444}{0.4444} R_1 = 147.64 R_1.$$

$$V_{OUT} = -5.56 V_{IN} + 0.144.$$

TLC07x.



$$m < 0, b < 0$$



$$V_{OUT} = -V_{IN} \left(\frac{R_F}{R_{G1}} \right) - V_{REF} \left(\frac{R_F}{R_{G2}} \right).$$

$$|m| = \left(\frac{R_F}{R_{G1}} \right),$$

$$|b| = V_{REF} \left(\frac{R_F}{R_{G2}} \right).$$

Пример

$V_{out} = 1 \text{ В}$ при $V_{in} = -0.1 \text{ В}$

$V_{out} = 5 \text{ В}$ при $V_{in} = -0.3 \text{ В}$

допуски резисторов 5%

$V_{ref} = V_{CC} = 5 \text{ В}$

$R_{load} = 10 \text{ кОм}$.

$$1 = -0.1m + b,$$

$$5 = -0.3m + b.$$

$$b = -1 \text{ и } m = -20.$$

$$|m| = 20 = \frac{R_F}{R_{G1}},$$

$$|b| = V_{CC} \left(\frac{R_F}{R_{G1}} \right) = 5 \left(\frac{R_F}{R_{G2}} \right) = 1,$$

$$R_F = 20R_{G1}.$$

$$R_{G2} = \frac{R_F}{0.2} = \frac{20}{0.2} = 100 \text{ кОм}.$$

