



Электронные устройства систем управления

Лабораторная работа №6

«Источники тока»

Вариант №4

Выполнили:
Мовчан И.Е.
Тенишев А.Н.

Проверил:
Козачёк О.А.

Санкт-Петербург, 2025

Оглавление

<u>Цель работы.....</u>	3
<u>Задание 1.....</u>	3
<u>Задание 2.....</u>	4
<u>Задание 3.....</u>	5
<u>Вывод.....</u>	15

Цель работы.

Исследование работы источников тока.

При выполнении лабораторной работы исследуются: токовое зеркало; источники тока на биполярном транзисторе; прецизионные источники тока на ОУ;

Задание №1. Токовое зеркало с 2 транзисторами

Схема токового зеркала с двумя транзисторами

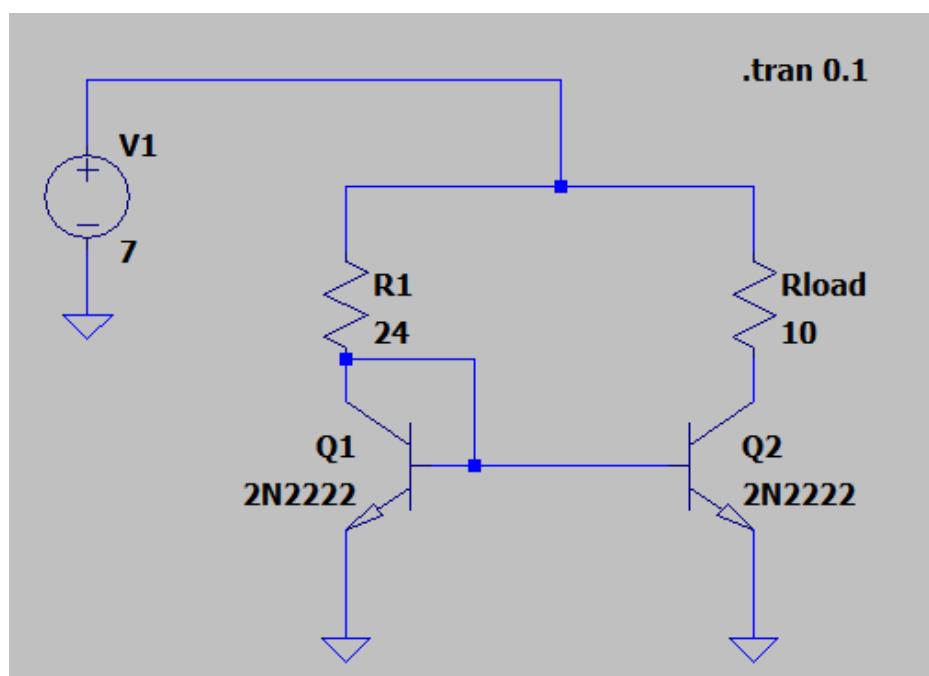


Рис. 1.1. Схема токового зеркала с 2 транзисторами

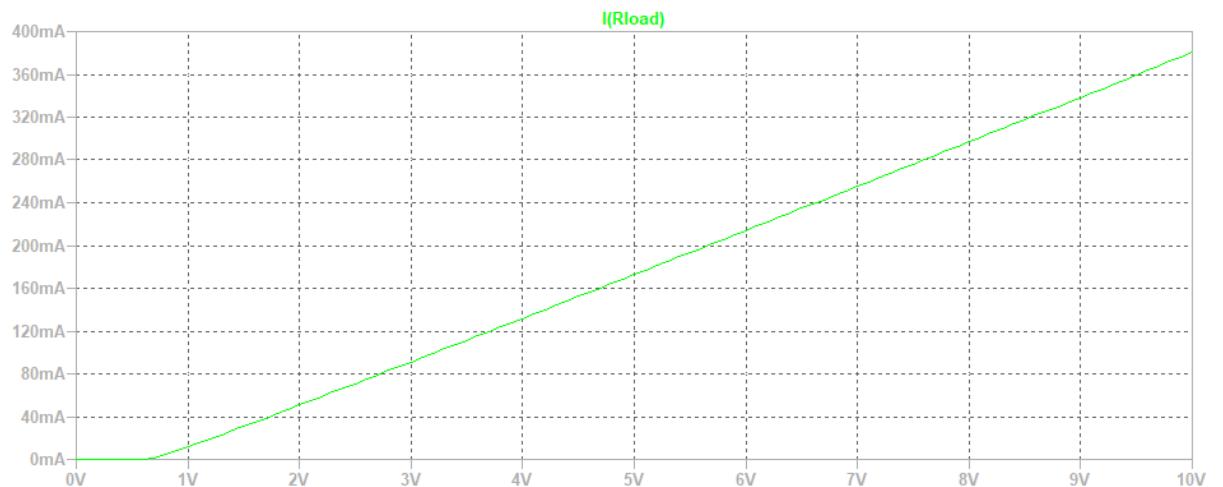


Рис. 1.2. Ток на нагрузке от входного напряжения (токовое зеркало с 2 транзисторами)

$$R = \frac{(V_{\text{вх}} - V_{\text{пад}})}{I_{ref}} = \frac{7 - 0.7}{0.25} \approx 24$$

Входное напряжение подаётся на базу-коллектор первого транзистора (Q1), задавая эталонный ток через резистор R1. Второй транзистор (Q2) копирует этот ток и передаёт его в нагрузку Rload.

График на рисунке 1.2 показывает, как ток через нагрузку зависит от входного напряжения: при низких напряжениях ток равен 0, но начиная с порога ~ 0.7 В, он растёт почти линейно, копируя $I(R1)$. Это типичное поведение токового зеркала, которое начинает проводить (копировать) ток при достаточном напряжении на входе. Явление объясняется тем, что при малом входном напряжении транзисторы закрыты и не проводят ток.

Задание №2. Токовое зеркало Уилсона.

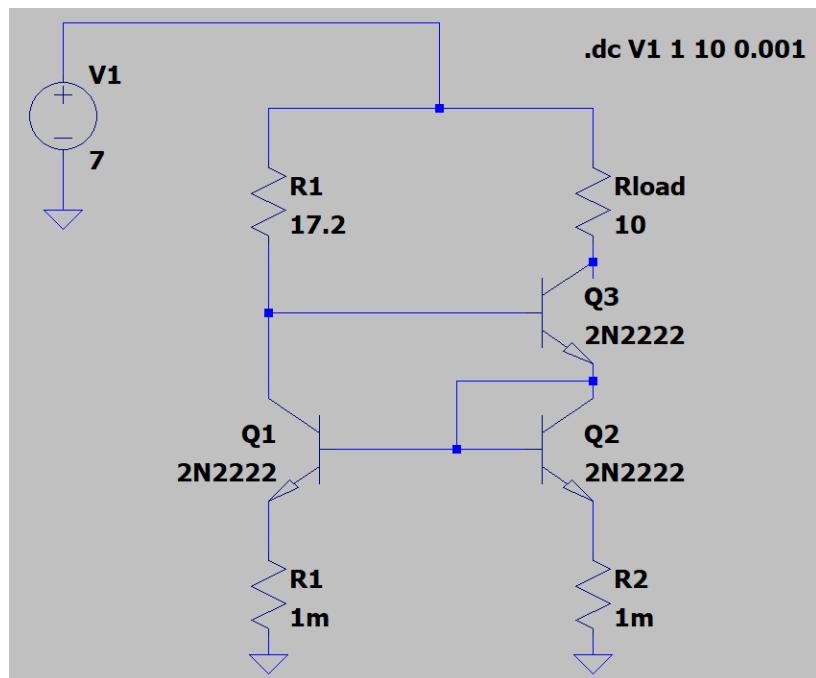


Рис. 2.1. Схема токового зеркала Уилсона

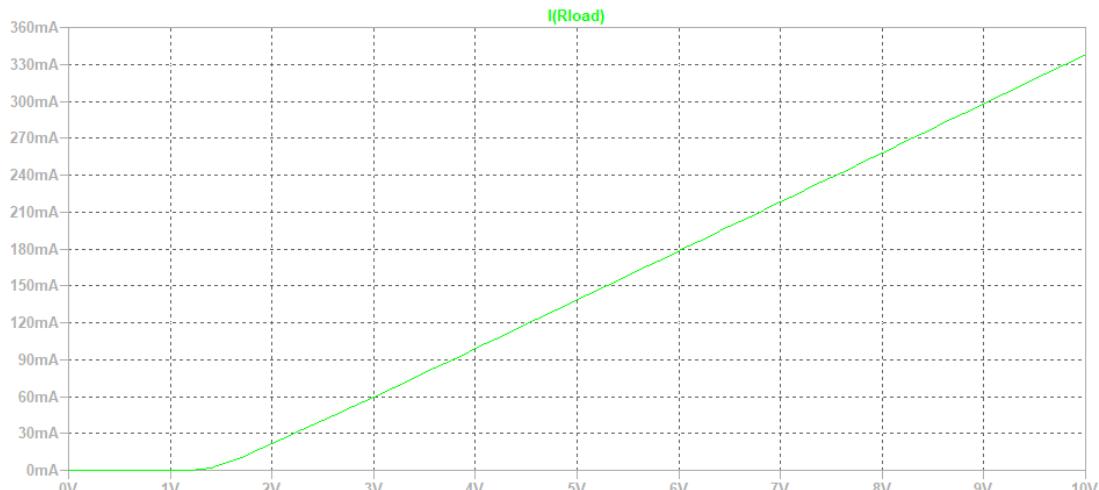


Рис. 2.2. Ток на нагрузке от входного напряжения (токовое зеркало Уилсона)

Транзисторы Q2 и Q3 усиливают точность копирования тока (в сравнении с предыдущим случаем) за счёт отрицательной обратной связи: Q3 компенсирует падение напряжения на базе Q2. Это позволяет уменьшить влияние базы Q2 на выходной ток, давая хорошую стабильность и соответствие токов.

На графике зависимости тока через нагрузку от входного напряжения видно, что при малом напряжении ток почти отсутствует — транзисторы ещё не открылись. После же этого начинается линейный рост: ток через R_{load} увеличивается почти пропорционально напряжению питания, работает режим активного зеркалирования.

Задание №3. Токовое зеркало + генератор тока на ОУ

Добавим в предыдущую схему генератор тока на ОУ. Мы будем менять значения сопротивлений R_h и R_{load} и выводить получающиеся графики тока на нагрузке от напряжения для разных случаев.

Начнем с $R_H = 10$, $R_{load} = 10$

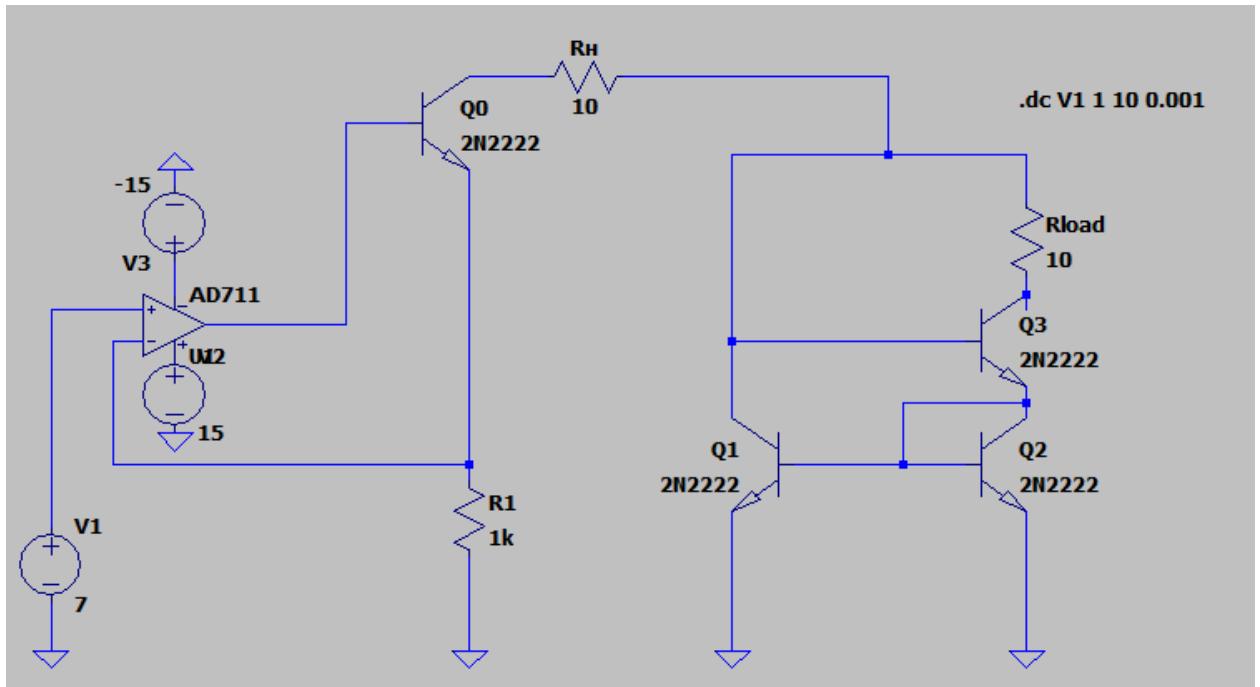


Рис. 3.1. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ

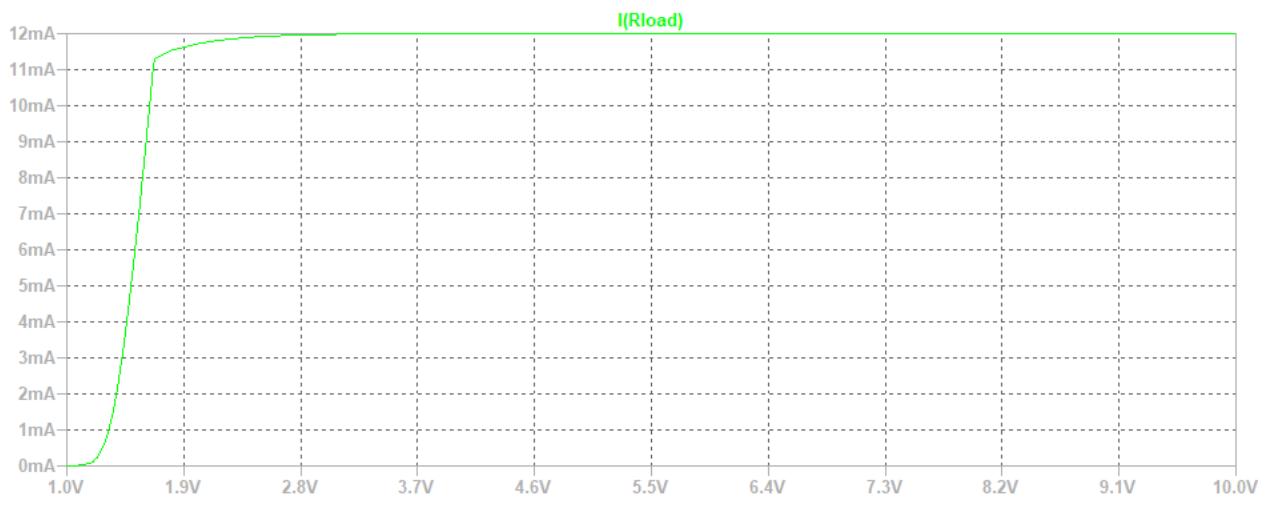


Рис. 3.2. Ток на нагрузке при параметрах $R_H = 10$, $R_{load} = 10$

ОУ регулирует базовый ток транзистора Q0 так, чтобы напряжение на резисторе R1 соответствовало входному напряжению V1, создавая заданный ток. Этот ток и повторяется в ветке с нагрузкой благодаря транзисторам Q1–Q3, образующим классическое токовое зеркало.

На рисунке 3.2 видно, что при $V1 \approx 1.7$ В и выше ток через нагрузку $I(Rload)$ стабилизируется около 12 мА, указывая на режим насыщения транзисторов. Ниже этого порога ток мал, что связано с недостаточным напряжением для открытия транзистора Q0.

Зададим теперь $R_{load} = 100$ и оставим $R_H = 10$ без изменений

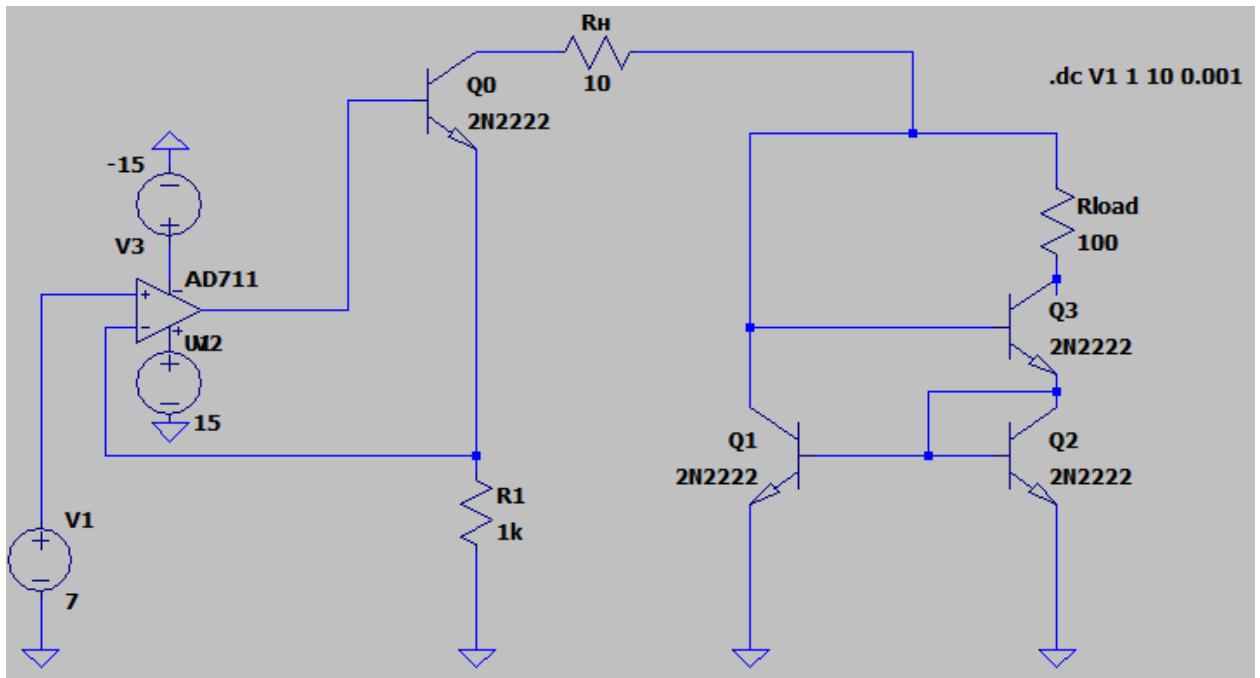


Рис. 3.3. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ , $R_{load} = 100$



Рис. 3.4. Ток на нагрузке при параметрах $R_H = 10$, $R_{load} = 100$

Зададим параметр $R_{load} = 1000$ и $R_h = 10$ оставим без изменений.

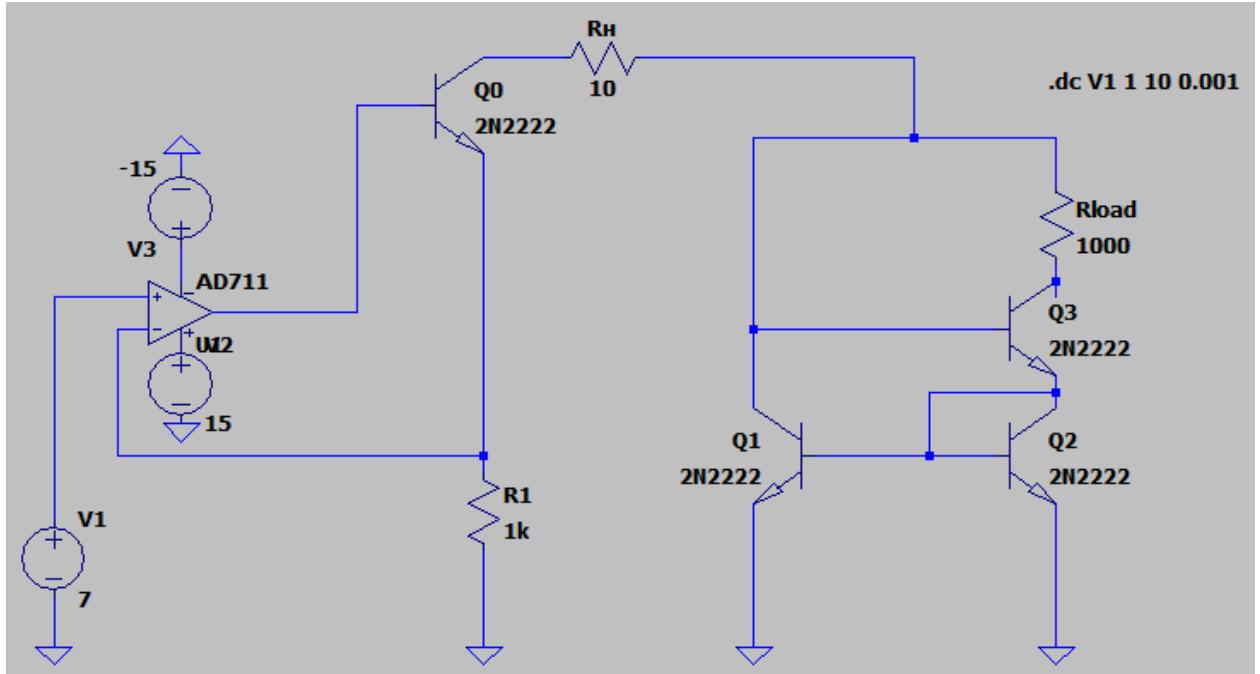


Рис. 3.5. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ , $R_{load} = 1000$

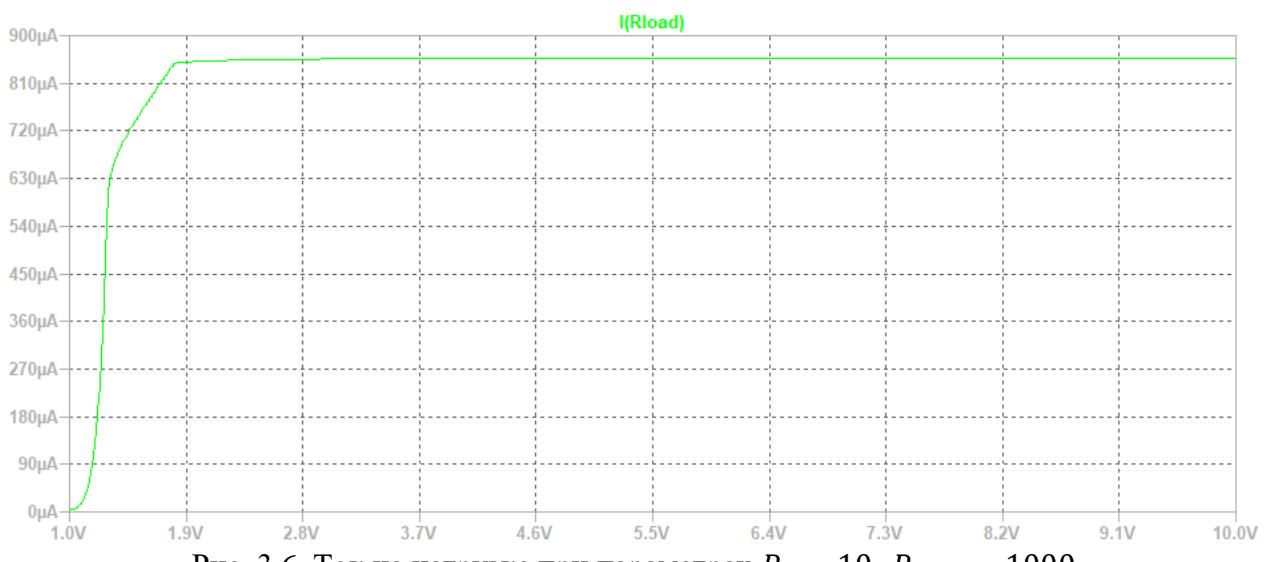


Рис. 3.6. Ток на нагрузке при параметрах $R_h = 10$, $R_{load} = 1000$

Таким образом, увеличение R_{load} влечёт более резкий скачок по значениям току при переходе, однако стабилизация достигается при всём $V1 \approx 1.7V$. При возрастании уменьшается также и максимальный ток, так как растёт сопротивление.

Зададим параметр $R_h = 100$, $R_{load} = 10$

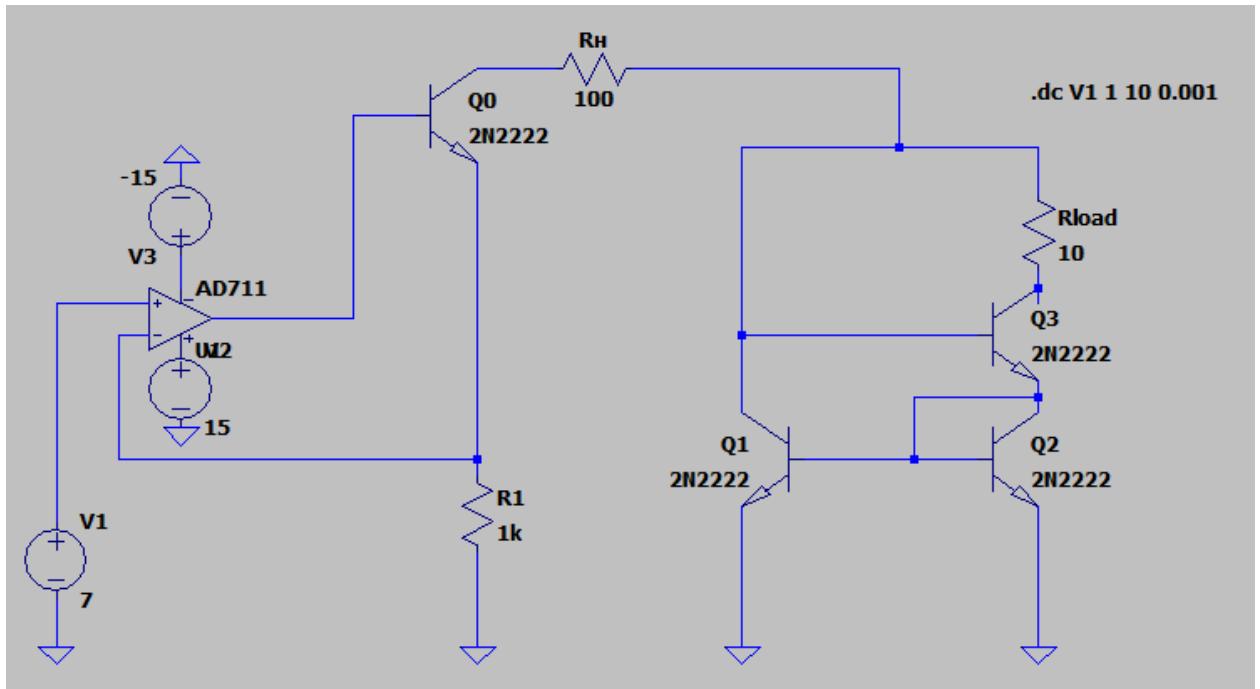


Рис. 3.7. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ , $R_h = 100$

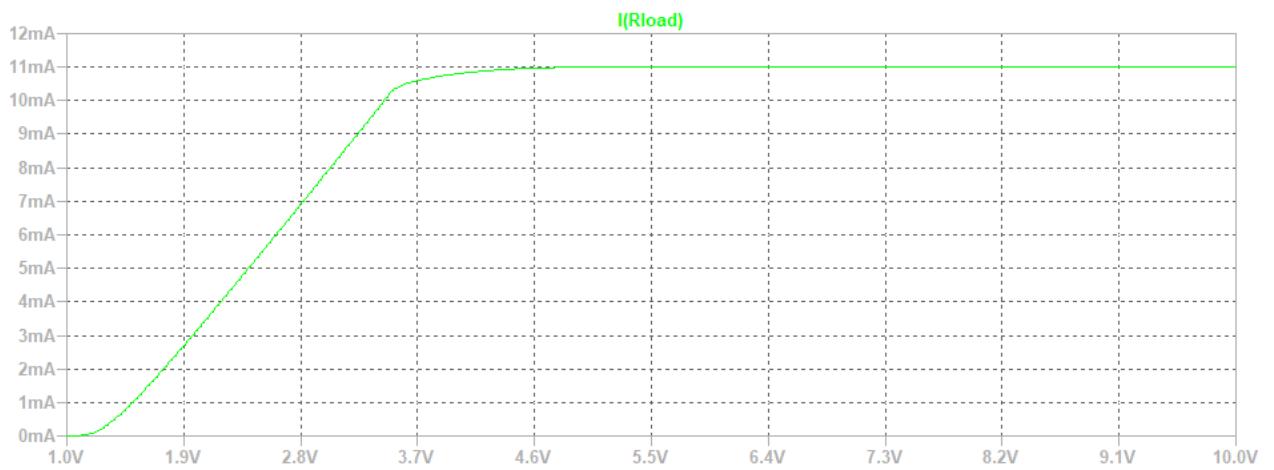


Рис. 3.8. Ток на нагрузке при параметрах $R_h = 100$, $R_{load} = 10$

Зададим параметр $R_h = 100$, $R_{load} = 10$

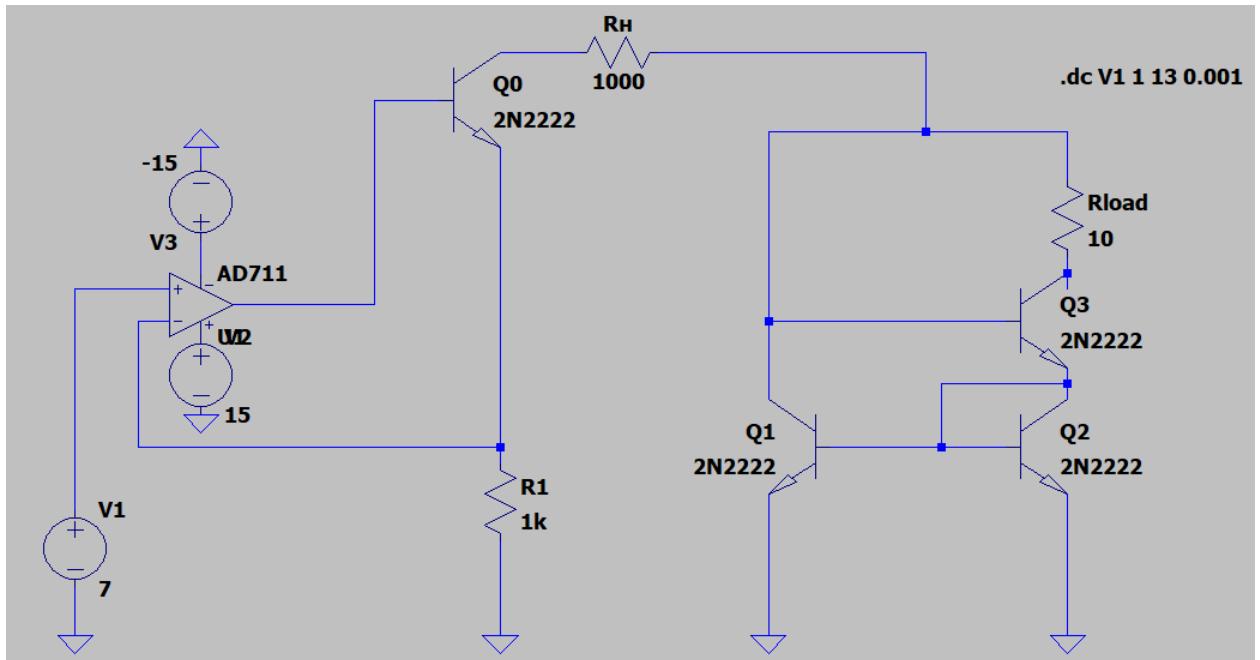


Рис. 3.9. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ , $R_h = 1000$

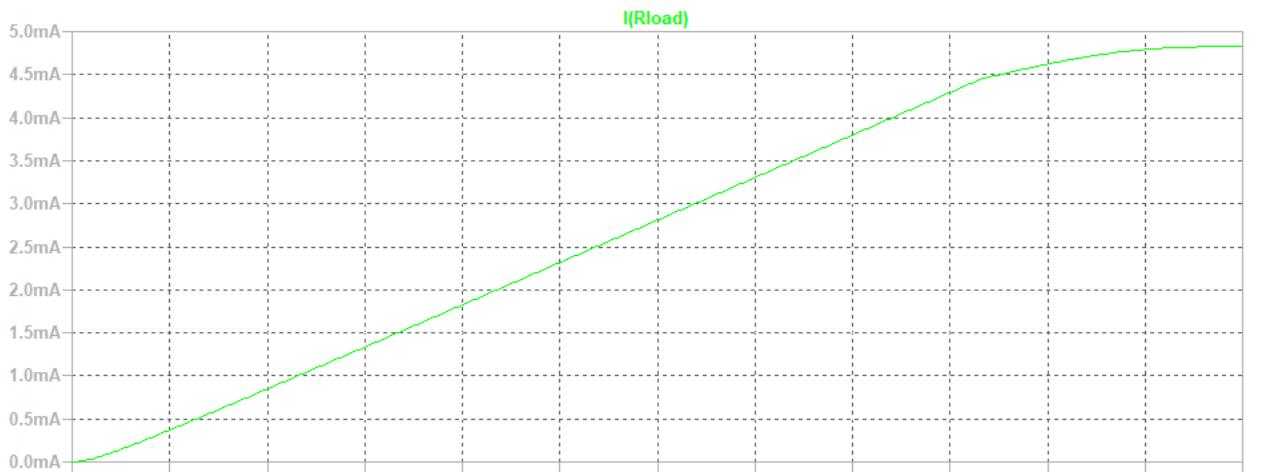


Рис. 3.10. Ток на нагрузке при параметрах $R_h = 1000$, $R_{load} = 10$

Видим, что параметр R_h увеличивает ширину переходного процесса. Вариацией R_h и R_{load} можем добиваться требуемых от нас характеристик.

Вывод:

В ходе лабораторной работы мы исследовали работу токового зеркала тока в различных его вариациях: токовое зеркало с двумя транзисторами, токовое зеркало Уилсона и соединение генератора напряжения на операционном усилителе и токового зеркала.