



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

Цель работы.....	3
Задание 1.....	3
Задание 2.....	4
Задание 3.....	5
Вывод.....	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

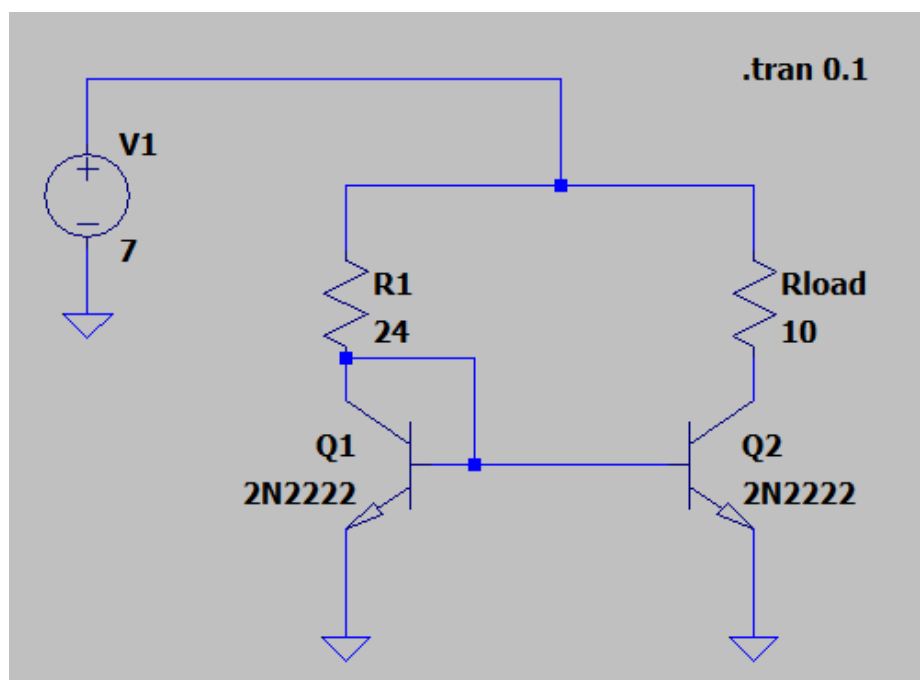


Рис. 1.1. Схема токового зеркала с 2 транзисторами

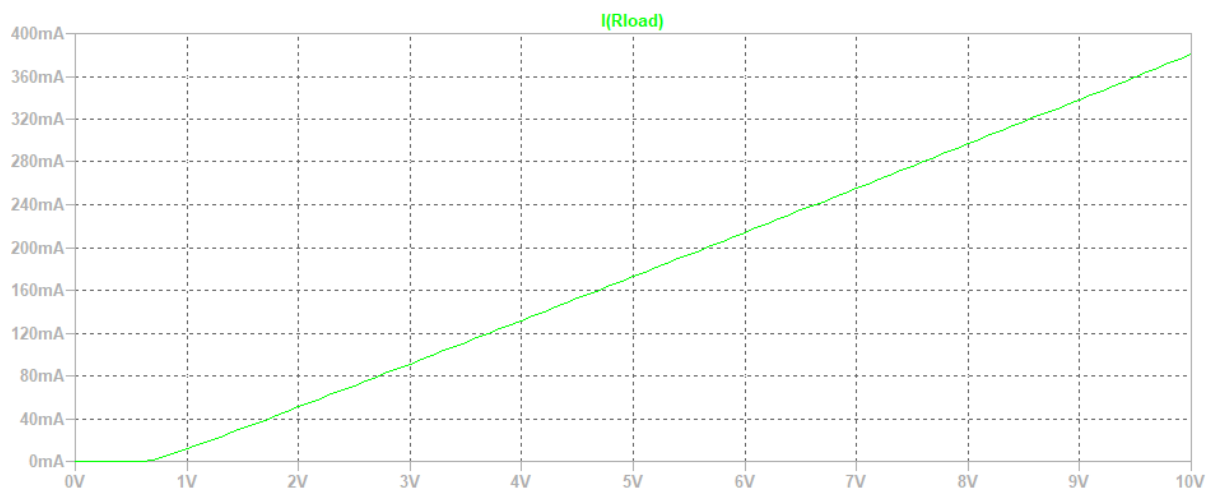


Рис. 1.2. Ток на нагрузке от входного напряжения (токовое зеркало с 2 транзисторами)

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

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.

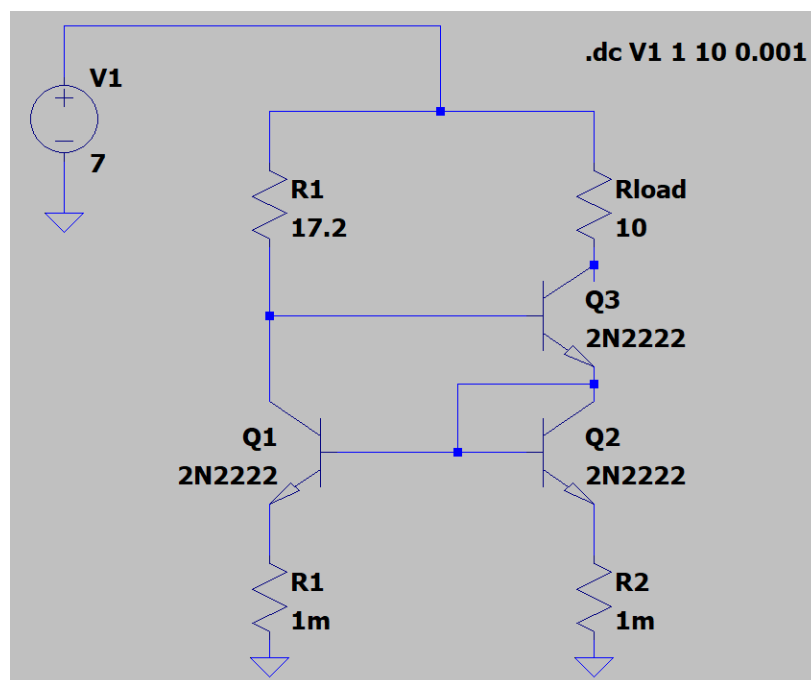


Рис. 2.1. Схема токового зеркала Уилсона

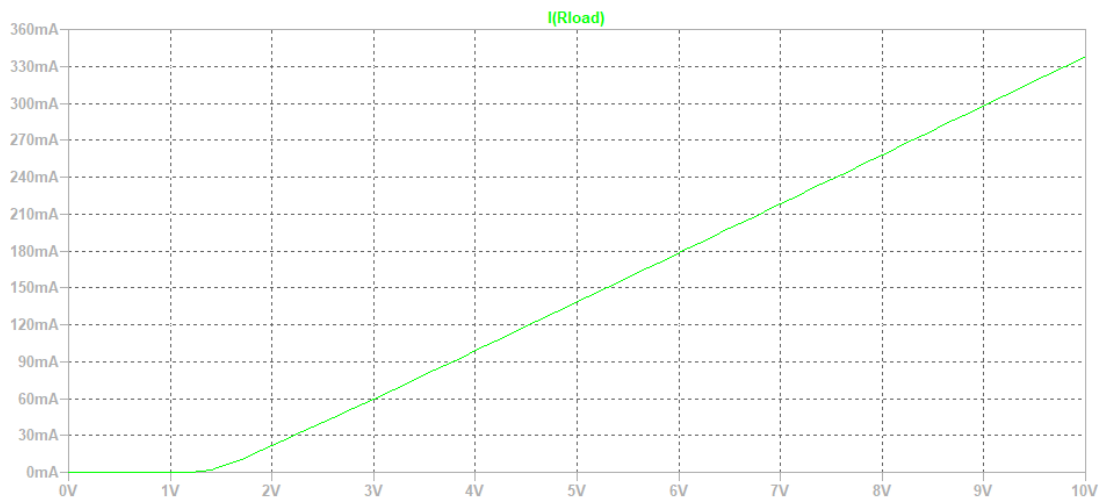


Рис. 2.2. Ток на нагрузке от входного напряжения (токовое зеркало Уилсона)

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 Rload 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  $R_n$  и  $R_{load}$  и выводить получающиеся графики тока на нагрузке от напряжения для разных случаев.

Начнем с  $R_H = 10$ ,  $R_{load} = 10$

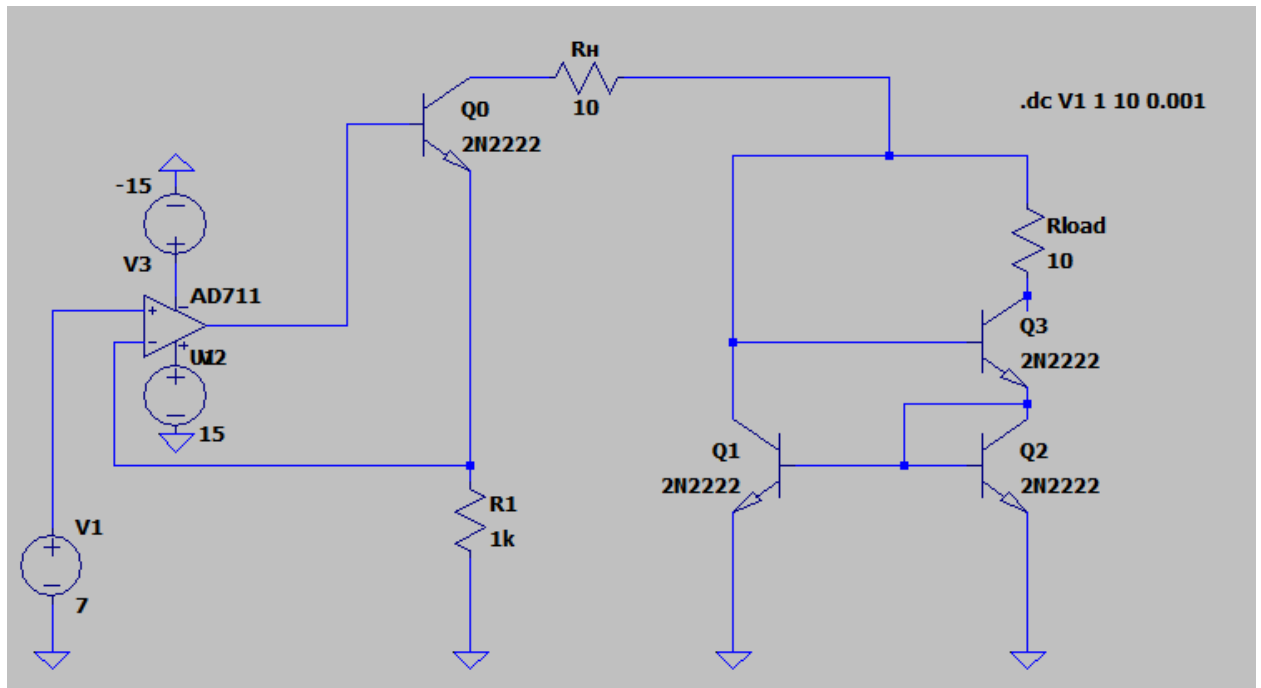


Рис. 3.1. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ

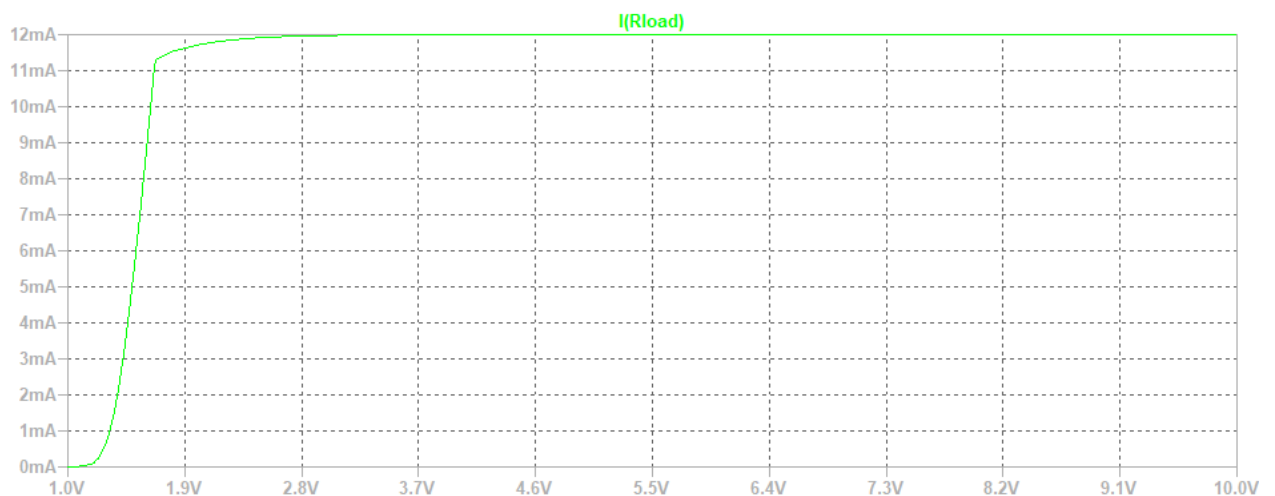


Рис. 3.2. Ток на нагрузке при параметрах  $R_H = 10$ ,  $R_{load} = 10$

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  $V1 \approx 1.7V$  и выше ток через нагрузку  $I(R_{load})$  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

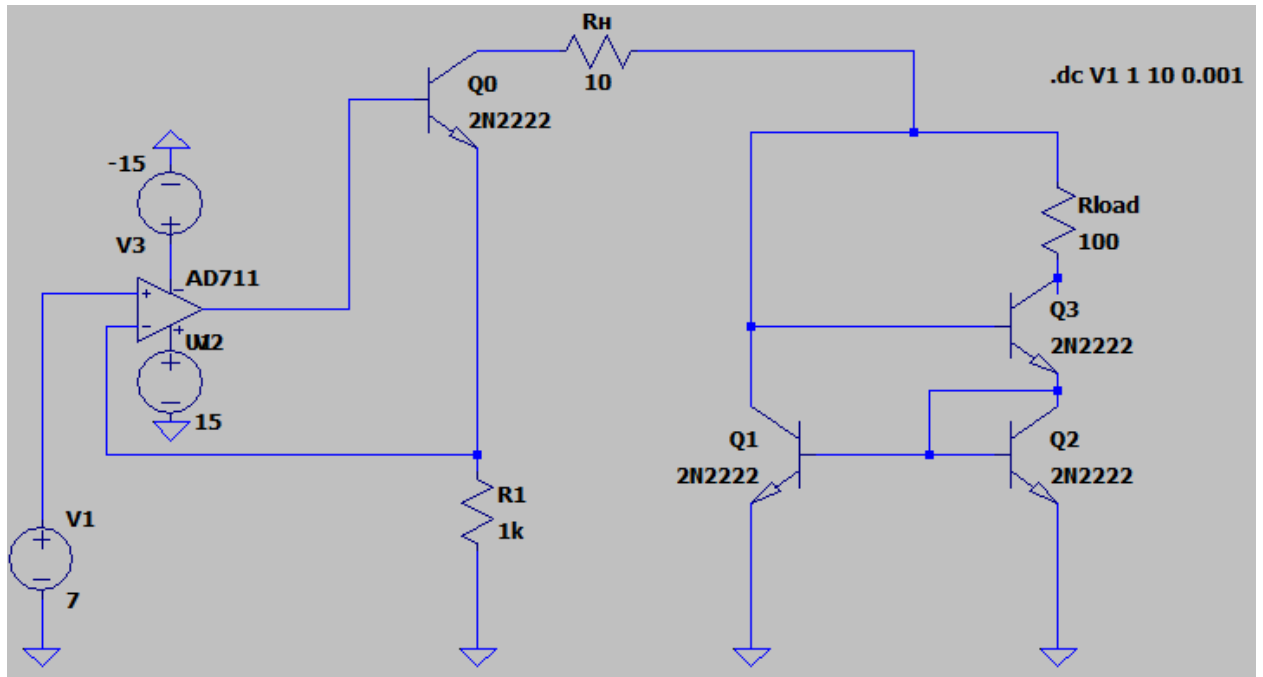


Рис. 3.3. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ,  $R_{load} = 100$

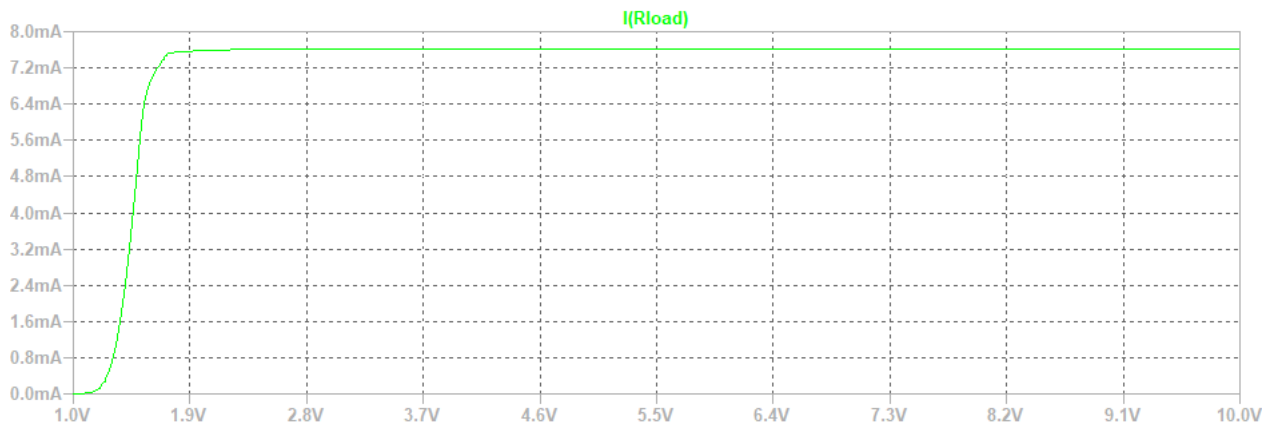


Рис. 3.4. Ток на нагрузке при параметрах  $R_H = 10$ ,  $R_{load} = 100$

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

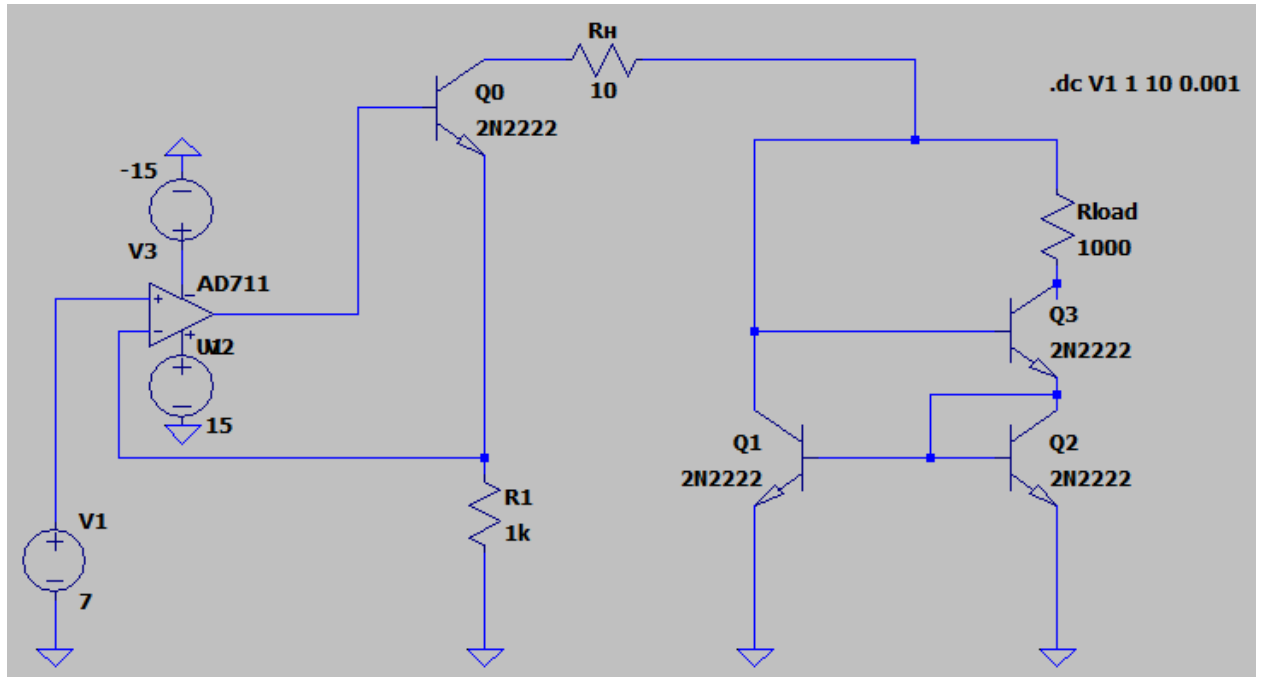


Рис. 3.5. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ ,  $R_{load} = 1000$

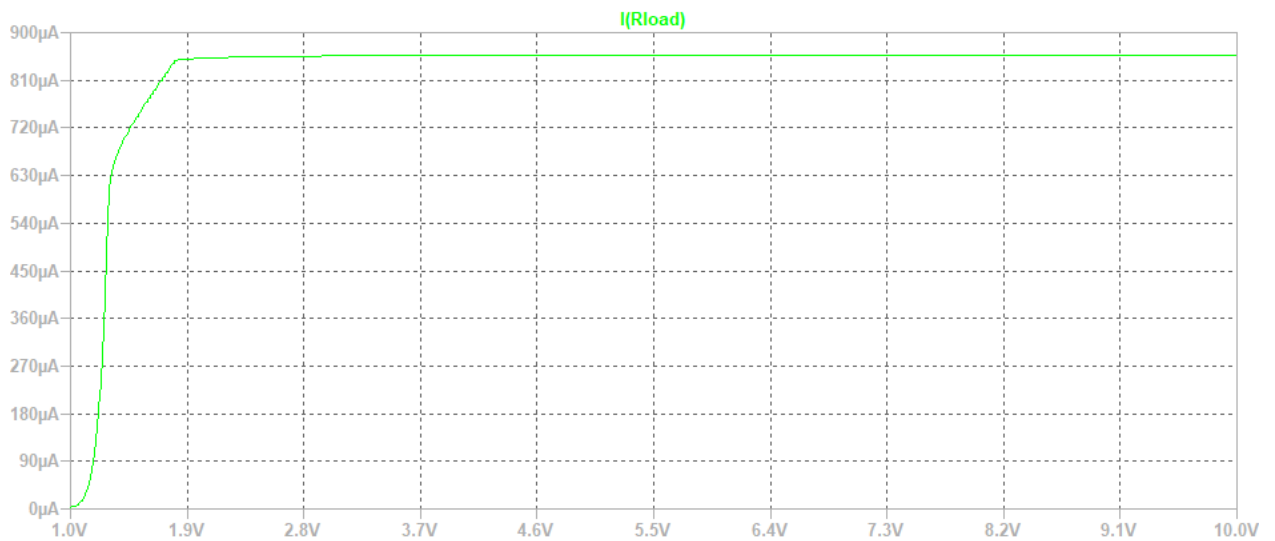


Рис. 3.6. Ток на нагрузке при параметрах  $R_H = 10$  ,  $R_{load} = 1000$

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



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

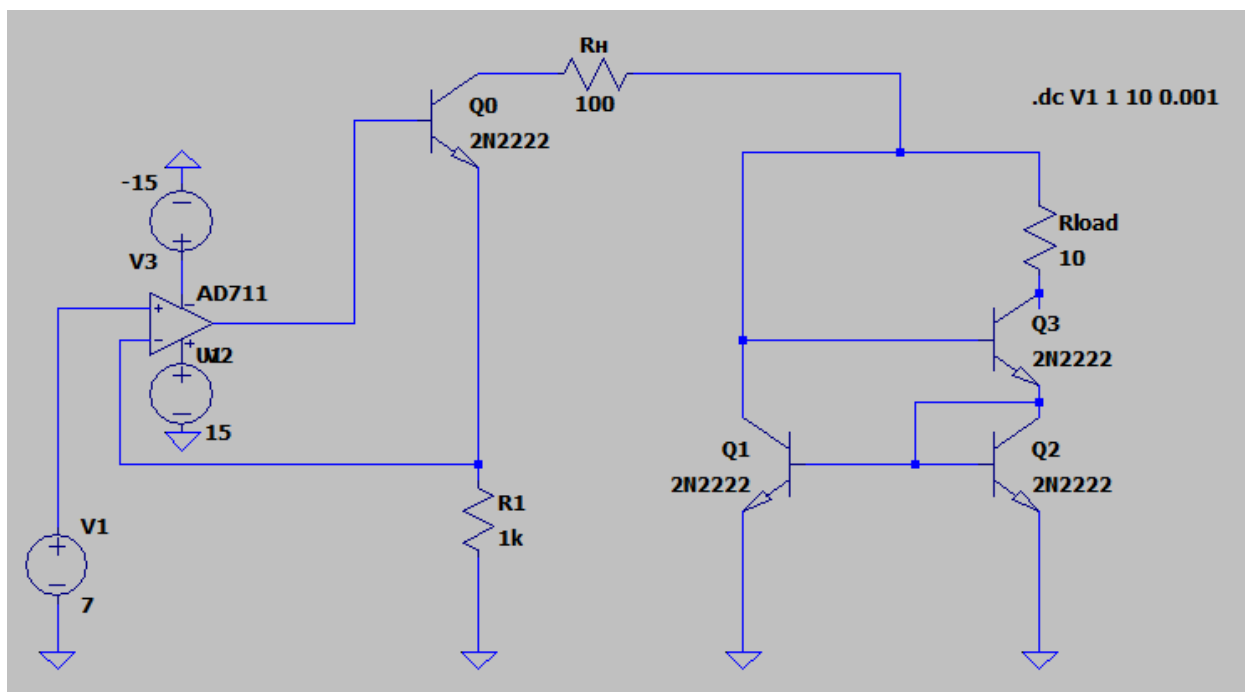


Рис. 3.7. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ,  $R_H = 100$

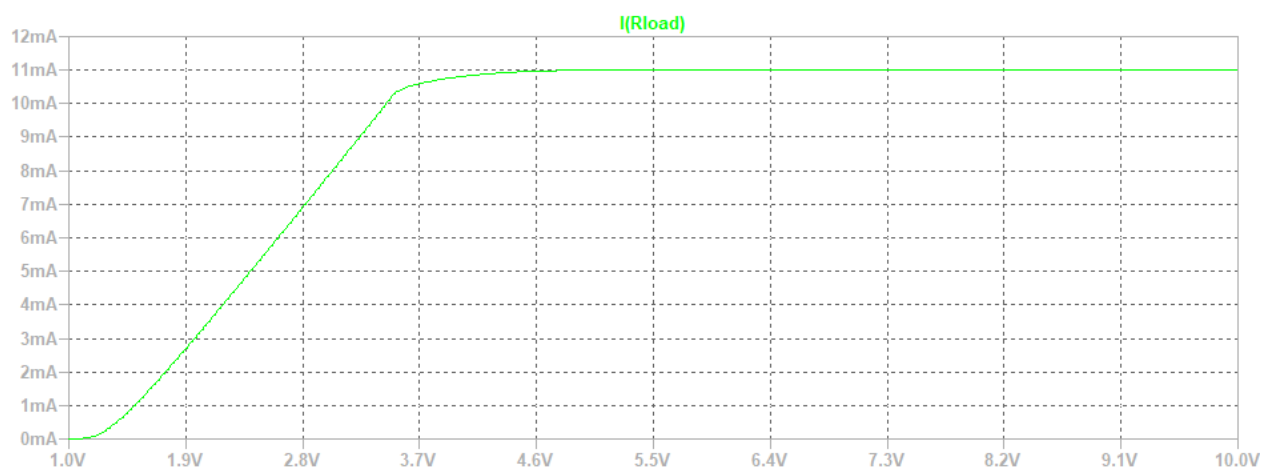


Рис. 3.8. Ток на нагрузке при параметрах  $R_H = 100$ ,  $R_{load} = 10$

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

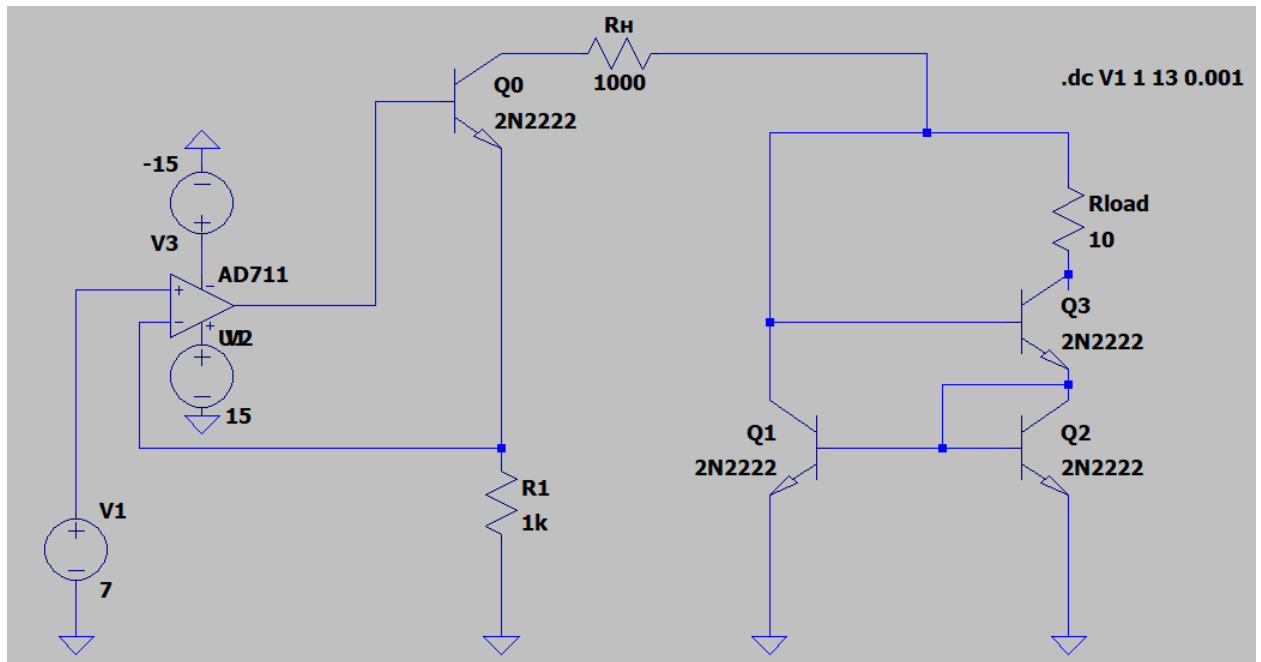


Рис. 3.9. Схема токовое зеркало + генератор тока на ОУ,  $R_H = 1000$

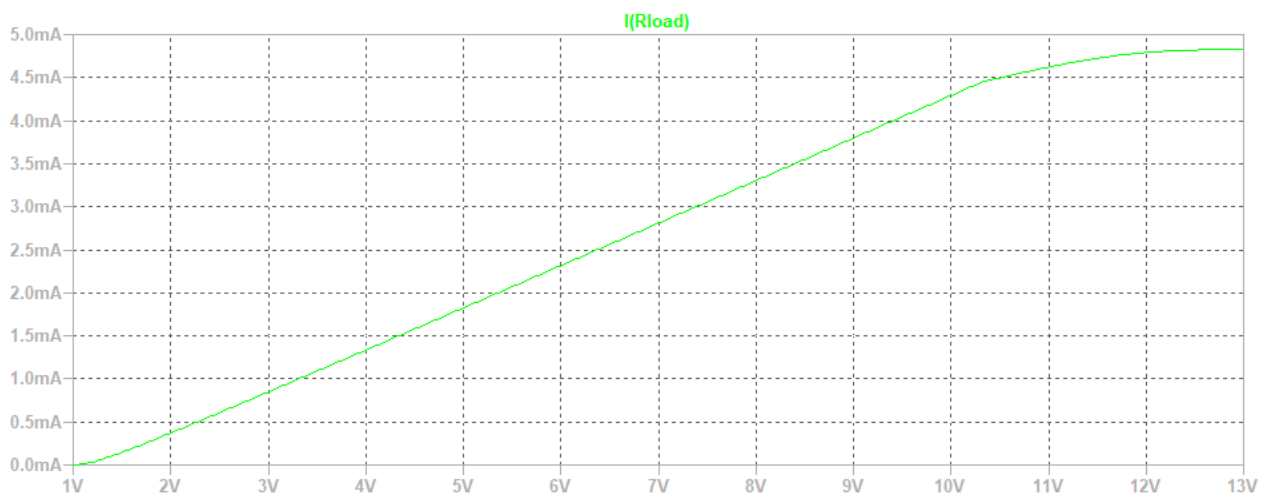


Рис. 3.10. Ток на нагрузке при параметрах  $R_H = 1000$ ,  $R_{load} = 10$

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.