

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Севастопольский государственный университет»

# **Исследование полупроводниковых диодов и диодных схем**

**Методические указания**

к выполнению лабораторной работы

для студентов, обучающихся по направлению

**09.03.02 “Информационные системы и технологии”**

дневной и заочной формы обучения

**Севастополь 2021**

УДК 004.732

**Исследование полупроводниковых диодов и диодных схем.** Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине "Компьютерная схемотехника" / Сост. В.С. Чернега — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2021 — 11 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине “Компьютерная схемотехника“. Целью методических указаний является помощь студентом в освоении методов снятия вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов и экспериментального исследования одно- и двухполупериодных выпрямителей и схем стабилизации напряжения. Излагаются теоретические и практические сведения необходимые для выполнения лабораторной работы, программа исследований, требования к содержанию отчета.

Методические указания рассмотрены и утверждены на методическом семинаре и заседании кафедры информационных систем (протокол № 1 от 31 августа 2021 г)

Допущено учебно-методическим центром СевГУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Кротов К.В., канд. техн. наук, доцент кафедры ИС

## Лабораторная работа

### Исследование полупроводниковых диодов и диодных схем

#### 1. Цель работы

Экспериментальные исследования характеристик полупроводниковых диодов и схем преобразования переменного тока в постоянный и схем стабилизации напряжений. Приобретение практических навыков измерения электрических параметров и регистрации временных диаграмм с помощью электро- и радиоизмерительных приборов.

#### 2. Основные теоретические положения

Полупроводниковым диодом называют полупроводниковый прибор с одним или несколькими  $p$ - $n$ -переходами и двумя выводами. В зависимости от основного назначения и вида используемого явления в  $p$ - $n$ -переходе различают шесть основных функциональных типов полупроводниковых диодов: выпрямительные, высокочастотные, импульсные, туннельные, стабилитроны и варикапы. Каждый тип диода содержит ряд типономиналов, регламентированных соответствующим стандартом. По виду используемого полупроводникового материала различают диоды, выполненные на основе германия, кремния или арсенида галлия.

Полупроводниковые диоды характеризуются рядом параметров, основными из которых являются следующие.

*Максимально допустимый выпрямленный ток  $I_{max}$*  — средний за период ток через диод (постоянная составляющая), при котором обеспечивается его надежная длительная работа.

*Среднее прямое напряжение  $U_{пр}$*  — среднее за период прямое напряжение на диоде при протекании через него максимально допустимого выпрямленного тока.

*Средний обратный ток  $I_o$*  — средний за период обратный ток, измеряемый при максимальном обратном напряжении.

*Максимально допустимое обратное напряжение  $U_{o\ max}$*  — наибольшее постоянное (или импульсное) обратное напряжение, при котором диод может длительно и надежно работать.

*Дифференциальное сопротивление* — отношение приращения напряжения на диоде к вызванному им приращению тока  $r_{диф} = dU/dI$ .

*Максимальная частота  $f_{max}$*  — наибольшая частота подводимого напряжения, при которой выпрямитель на данном диоде работает достаточно эффективно, а нагрев диода не превышает допустимой величины.

Превышение максимально допустимых величин ведет к резкому сокращению срока службы или пробоем диода.

Для стабилизации напряжения на нагрузке при изменении питающего напряжения или сопротивления нагрузки применяются стабилитроны. Полупроводниковый стабилитрон представляет собой плоскостной диод, выполненный из сильно легированного кремния. Для стабилитронов рабочим является участок электрического пробоя ВАХ в области обратных напряжений.

Основными параметрами стабилитронов являются следующие.

*Номинальное напряжение стабилизации  $U_{ст. ном}$*  — напряжение на стабилитроне в рабочем режиме (при заданном токе стабилизации).

*Минимальный ток стабилизации  $I_{ст. min}$*  — наименьшее значение тока стабилизации, при котором режим пробоя устойчив.

*Максимально допустимый ток стабилизации  $I_{ст. max}$*  — наибольший ток стабилизации, при котором нагрев стабилитронов не выходит за допустимые пределы.

*Дифференциальное сопротивление  $r_{диф}$*  — отношение приращения напряжения стабилизации к вызывающему его приращению тока стабилизации:  $r_{диф} = \Delta U_{ст} / \Delta I_{ст}$ .

*Температурный коэффициент напряжения стабилизации* — отношение относительного изменения напряжения стабилизации к абсолютному изменению температуры окружающей среды:  $\alpha_{ст} = \Delta U_{ст} / (U_{ст} \Delta T)$ .

К параметрам стабилитронов также относят максимально допустимый прямой ток  $I_{max}$ , максимально допустимый импульсный ток  $I_{u max}$ , максимально допустимую рассеиваемую мощность  $P_{max}$ .

Основной характеристикой полупроводниковых диодов служит вольт-амперная характеристика (ВАХ), представляющая собой зависимость тока через диод от напряжения на электродах диода. Для снятия ВАХ диода используется схема, изображенная на рис.2.1.

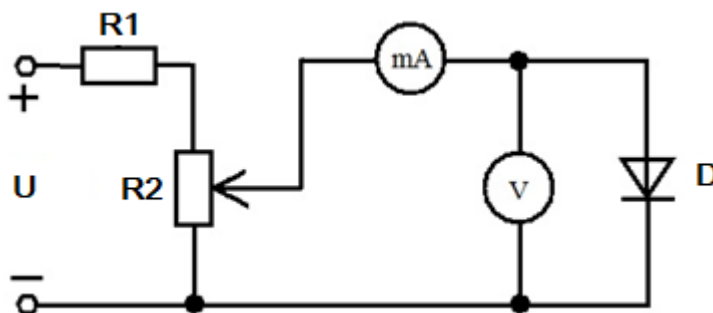


Рисунок 2.1 – Схема снятия ВАХ диода

Схемы диодных выпрямителей, используемых в электронных устройствах информационной техники, показаны на рис.2.2. На рис.2.2а изображена схема однополупериодного выпрямителя с фильтрующим конденсатором  $C$ . Недостатком таких выпрямителей является существенная пульсация напряжения на выходе. На рис.2.2б и 2.2в показаны схемы двухполупериодных выпрямителей с фильтрующими конденсаторами. В схеме рис.2.2б использу-

ется всего два диода, однако требуется более сложный трансформатор со средней точкой в выходной обмотке. В схеме 2.2в для двухполупериодного выпрямления используется диодный мост  $D_1-D_4$ . В одну диагональ моста подается переменное напряжение  $U_2$ , а со второй диагонали снимается выпрямленное напряжение.

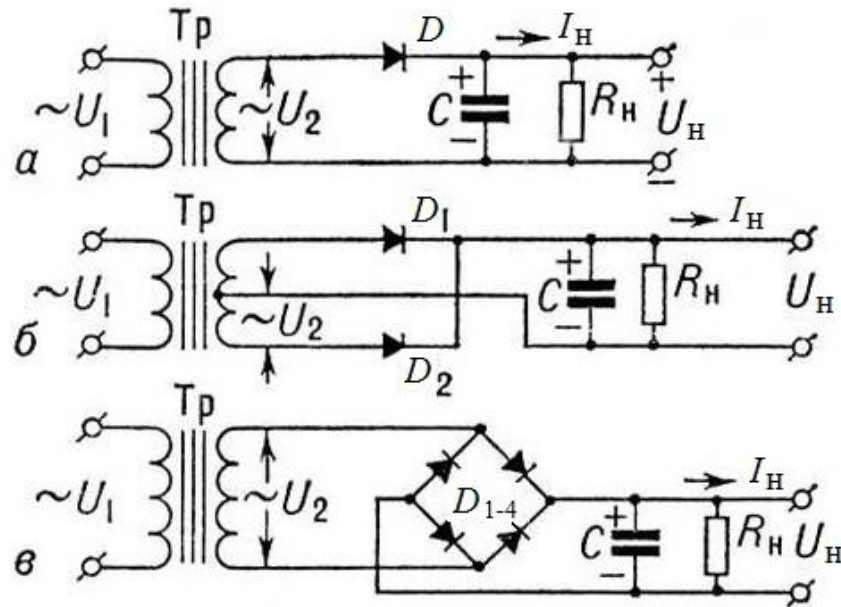


Рисунок 2.2 – Схемы преобразователей переменного напряжения в постоянное

Среднее значение  $U_{cp}$  за полупериод составляет примерно 30% от амплитуды входного переменного напряжения, т.е.

$$U_{cp} = U_{max} / \pi = 0,318 U_{max}.$$

Оно получило название «постоянная составляющая» выпрямленного напряжения.

Для поддержания постоянства напряжения в цепях питания электронной аппаратуры широко используются стабилитроны. Стабилитрон (диод Зенера) является разновидность полупроводникового диода, работающего при напряжении обратного смещения в режиме пробоя. До момента наступления электрического пробоя  $p-n$  перехода через стабилитрон течет очень малый ток утечки, а его сопротивление достаточно высокое. В момент пробоя ток через него резко увеличивается, а дифференциальное сопротивление стабилитрона снижается до малых величин. За счет этого в режиме пробоя напряжение на стабилитроне поддерживается с удовлетворительной точностью в большом диапазоне обратных токов.

Схема стабилизатора напряжения на стабилитроне изображена на рис.2.3. В приведенной схеме, при изменении входного напряжения или тока нагрузки - напряжение на нагрузке  $R_n$  практически не меняется (оно остаётся таким же, как и на стабилитроне), вместо этого изменяется ток через стаби-

литрон (в случае изменения входного напряжения и ток через балластный резистор  $R$  тоже). То есть, излишки входного напряжения гасятся балластным резистором  $R$ , величина падения напряжения на этом резисторе зависит от тока через него, а ток через него зависит в том числе от тока через стабилитрон  $I_{ст}$ . Таким образом, получается, что изменение тока через стабилитрон регулирует величину падения напряжения на балластном резисторе.

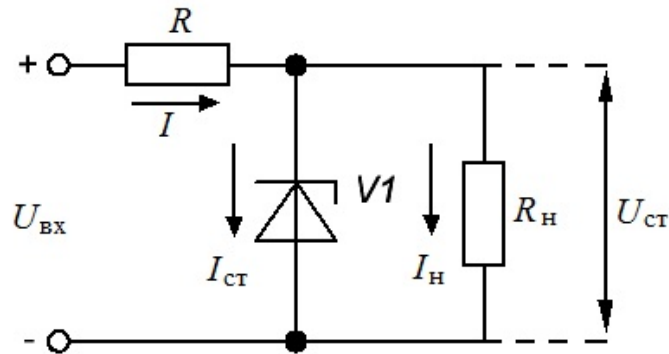


Рисунок 2.3 – Схема стабилизатора напряжения

Одним из важнейших параметров стабилизатора является коэффициент стабилизации ( $K_{ст}$ ), количественно равный отношению относительного изменения напряжения на входе стабилизатора ( $\Delta U_{ВХ}/U_{ВХ}$ ) к относительному изменению напряжения на его выходе ( $\Delta U_{ВЫХ}/U_{ВЫХ}$ )

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{ВХ}}{U_{ВХ}} : \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{U_{ВЫХ}} = \frac{\Delta U_{ВХ} U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВЫХ} U_{ВХ}} = \frac{\Delta U_{ВХ} U_{СТ}}{\Delta U_{ВЫХ} U_{ВХ}}$$

Для нормальной работы стабилизатора (чтобы напряжение на нагрузке всегда было в пределах от  $U_{СТ \min}$  до  $U_{СТ \max}$ ) необходимо, чтобы ток через стабилитрон всегда был в пределах от  $I_{СТ \min}$  до  $I_{СТ \max}$ . Минимальный ток через стабилитрон будет течь при минимальном входном напряжении и максимальном токе нагрузки. Зная это, можно вычислить сопротивление балластного резистора:

$$R = (U_{ВХ \min} - U_{СТ \min}) / (I_{Н \max} + I_{СТ \min}) .$$

### 3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из персонального компьютера, на котором установлены система моделирования электронных и микропроцессорных систем Proteus VSM. Proteus VSM по умолчанию устанавливается в папку C:\Program\Files\Labcenter Electronics\Proteus. Особенности работы с данной системой описаны в методических указаниях к лабораторной работе

№1. Схема установки для снятия ВАХ диода изображена на рис.А1 Приложения А.

#### 4. Программа выполнения лабораторной работы

- 4.1. Используя конспект и рекомендованную литературу, изучить теоретический материал, относящийся к теме работы.
- 4.2. Нарисовать схему снятия ВАХ диода в рабочем окне симулятора Proteus. Исследовать характеристику выпрямительного диода (англ. Rectifiers Diode) типа 1N4001 при прямом и обратном включении. В качестве датчика напряжения на диоде использовать потенциометр RV1 сопротивлением 100 Ом. Величину ограничительного резистора R1 установить равным 20 Ом. Входное напряжение для прямой ветви характеристики 9 В, при измерении зависимости обратного тока входное напряжение 100 В.
- 4.3. Изменяя напряжение на диоде снять зависимость  $I_D$  от  $U_D$ . Количество точек должно быть не менее 10. При нулевых показаниях миллиамперметра переконфигурировать его на измерения микроампер.
- 4.4. Начертить в рабочем окне симулятора схему однополупериодного выпрямителя. В выпрямителе использовать диоды типа 1N4002. Входное напряжение установить равным 50 В. Используемый трансформатор TRAN-2P2S.
- 4.5. Снять осциллограммы входного и выходного напряжений без емкостного фильтра и при наличии фильтрующего конденсатора и определить величину пульсаций выходного напряжения.
- 4.6. Снять осциллограммы напряжений при изменении фильтрующей емкости от 0,1 мкФ до 10 мкФ.
- 4.7. Начертить в рабочем окне симулятора схему двухполупериодного выпрямителя (Приложение Б). Используемый трансформатор TRAN-1P2S, остальные параметры элементов указаны на схеме.
- 4.8. Снять осциллограммы входного и выходного напряжений без емкостного фильтра и при наличии фильтрующего конденсатора.
- 4.9. Снять осциллограммы напряжений при изменении фильтрующей емкости от 1 мкФ до 100 мкФ.
- 4.10. Составить в области рабочего окна симулятора схему стабилизатора напряжения на основе стабилитрона (англ. Zener Diode). Схема установки приведена в Приложение В. Напряжение стабилизации задается преподавателем.
- 4.11. Снять зависимость выходного напряжения стабилизатора при изменении входного напряжения на  $\pm 20\%$  при неизменном сопротивлении нагрузки и рассчитать коэффициент стабилизации напряжения.
- 4.12. Снять зависимость выходного напряжения при изменении нагрузки на  $\pm 20\%$  при неизменном входном напряжении.

## 5. Содержание отчета

- 5.1. Цель и программа работы.
- 5.2. Расчетные соотношения для исследуемых схем.
- 5.3. Принципиальные электрические схемы исследуемых устройств.
- 5.4. Таблицы, графики и временные диаграммы экспериментальных исследований.
- 5.5. Выводы по результатам экспериментов.

## 6. Контрольные вопросы

- 6.1. Расскажите об устройстве  $p$ - $n$ -перехода и поясните физику процессов, происходящих в  $p$ - $n$ -переходе при приложении напряжения в прямом и обратном направлении.
- 6.2. Расскажите о типах полупроводниковых диодов и проведите на практике сортировку диодов по типам.
- 6.3. В чем состоит отличие выпрямительных диодов от импульсных? Покажите на практике выпрямительные и импульсные диоды.
- 6.4. Начертите условные графические обозначения различных типов диодов.
- 6.5. Какими основными параметрами характеризуются полупроводниковые выпрямительные диоды?
- 6.6. Что произойдет с диодом, если обратное напряжение превысит допустимое?
- 6.7. Нарисуйте вольт-амперную характеристику диода. Как по этой характеристике определить параметры диода?
- 6.8. С какой целью в схеме снятия ВАХ диода установлен резистор  $R_1$ ?
- 6.9. Как на практике определить динамическое сопротивление диода?
- 6.10. Поясните с указанием путей токов работу однополупериодного выпрямителя с фильтрующим конденсатором и без него и проиллюстрируйте этот процесс с помощью временных диаграмм.
- 6.11. Поясните с указанием путей токов работу двухполупериодного выпрямителя на основе трансформатора со средней точкой с фильтрующим конденсатором и без него и проиллюстрируйте этот процесс с помощью временных диаграмм.
- 6.12. Поясните с указанием путей токов работу двухполупериодного выпрямителя на основе диодного моста с фильтрующим конденсатором и без него и проиллюстрируйте этот процесс с помощью временных диаграмм.
- 6.13. Поясните работу параметрического стабилизатора напряжения на основе стабилитрона.



## Список рекомендуемой литературы

1. Шишкин, Г. Г. Электроника: учебник для бакалавров / Г. Г. Шишкин, А. Г. Шишкин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 703 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-3391-8. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/bcode/425494> (дата обращения: 08.04.2019).

2. Бобровников, Л. З. Электроника в 2 ч. Часть 1 : учебник для академического бакалавриата / Л. З. Бобровников. — 6-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 288 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-00109-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/book/elektronika-v-2-ch-chast-1-438210> (дата обращения: 08.04.2019).

3. Бобровников, Л. З. Электроника в 2 ч. Часть 2: учебник для академического бакалавриата / Л. З. Бобровников. — 6-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 275 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-00112-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/book/elektronika-v-2-ch-chast-2-438244> (дата обращения: 08.04.2019).

4. Новожилов, О. П. Электроника и схемотехника в 2 т : учебник для академического бакалавриата / О. П. Новожилов. — Москва : Издательство Юрайт, 2015. — 804 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-4182-1. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://biblio-online.ru/book/elektronika-i-shemotehnika-v-2-t-382342> (дата обращения: 08.04.2019).

5. Миленина С.А. Электротехника, электроника и схемотехника: учебник и практикум для академического бакалавриата/С.А. Миленина; под ред. Н.К. Миленина. – М.: Изд-во Юрайт, 2019. – 406 с.

<https://biblio-online.ru/book/elektrotehnika-elektronika-i-shemotehnika-432925>

## Приложение А

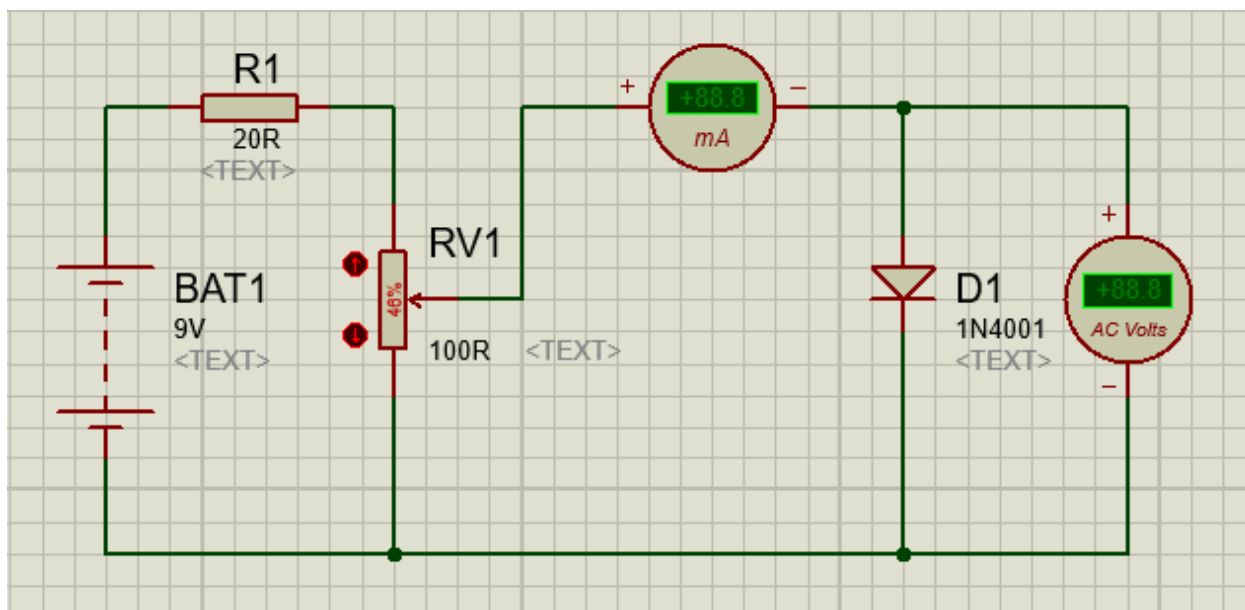


Рисунок А1 - Схема лабораторной установки для снятия ВАХ диода

## Приложение Б

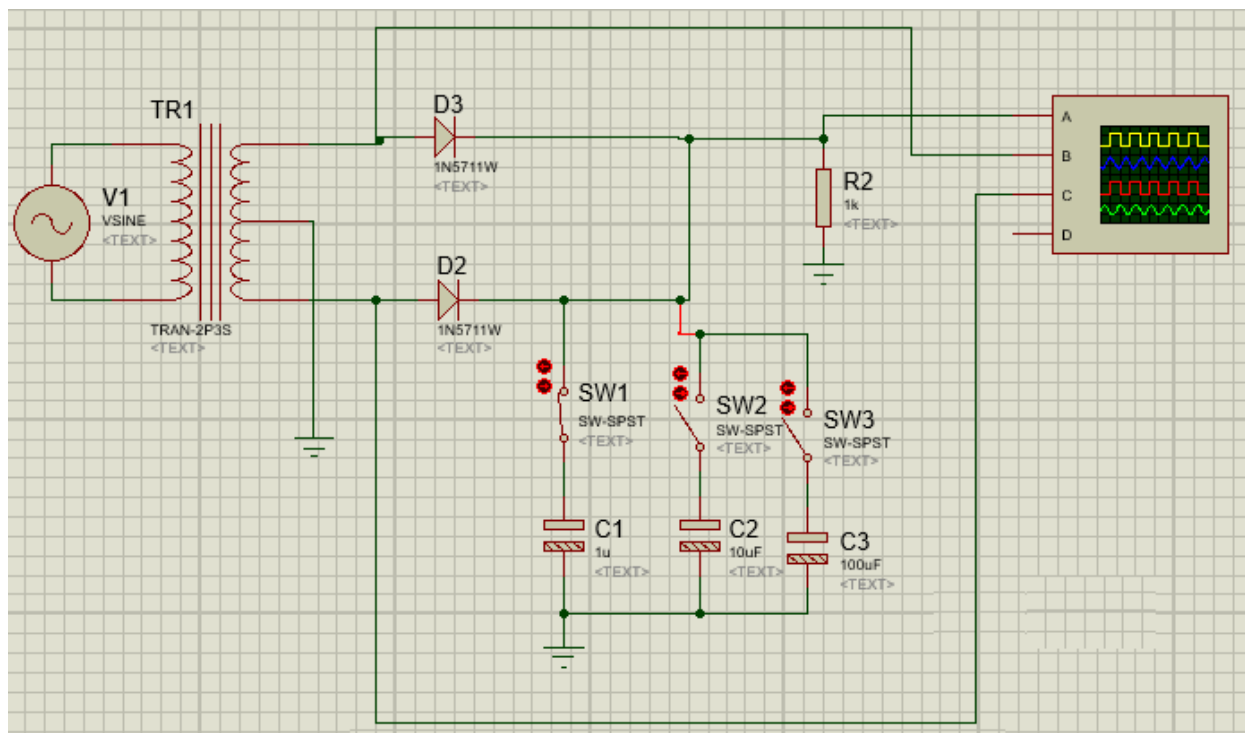


Рисунок Б.1 - Схема лабораторной установки для исследования двухполупериодного выпрямителя.

## Приложение В

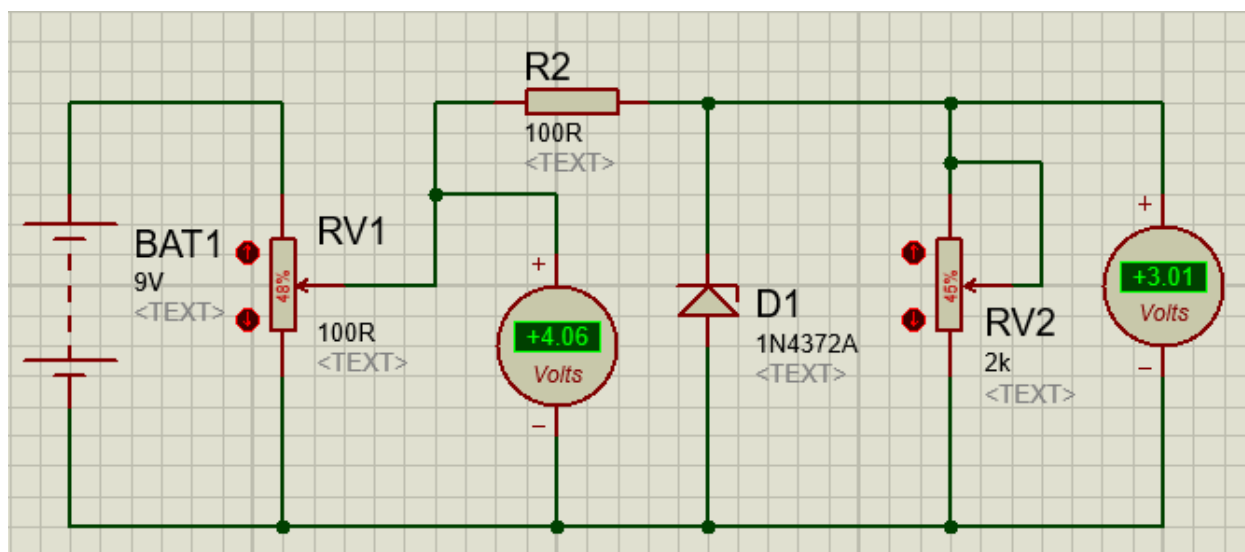


Рисунок В1 – Схема лабораторной установки для исследования стабилизатора напряжения на основе стабилитрона