

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ ДЛЯ** **ВЫПРЯМЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ, **ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЯ**

Целью выполнения лабораторной работы является формирование практических навыков построения и исследования схем [выпрямителей](#).

Основными задачами выполнения лабораторной работы являются:

1. построить модель [однополупериодной схемы](#) выпрямителя;
2. для заданных значений входного синусоидального сигнала получить [временные диаграммы](#) на диоде и сопротивлении нагрузки.

Результатами работы являются:

- схема однополупериодного выпрямителя;
- временные диаграммы, соответствующие всем элементам исследуемой схемы;
- подготовленный отчет.

Необходимое оборудование для выполнения лабораторной работы:

- персональный компьютер с программным обеспечением Micro-Cap.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Применение полупроводниковых диодов для выпрямления переменного тока

Выпрямление переменного тока – один из основных процессов в радиоэлектронике. В выпрямительном устройстве энергия переменного тока преобразуется в энергию постоянного тока. Полупроводниковые диоды находят здесь применение, поскольку они хорошо проводят ток в прямом направлении и плохо в обратном.

Однополупериодная схема выпрямления переменного тока показана на рис. 45.

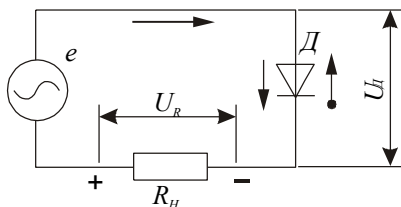


Рис. 45. Схема выпрямителя

В ней последовательно соединены генератор переменной ЭДС (e), диод $Д$ и нагрузочный резистор R_n .

Работа выпрямителя происходит следующим образом. Будем считать, что генератор дает синусоидальную ЭДС $e = E_m \sin \omega t$. В течение одного полупериода напряжение для диода является прямым и проходит ток, создающий на резисторе R_n падение напряжения U_R . В течение следующего полупериода напряжение является обратным, тока практически нет и $U_R = 0$. Таким образом, через диод, нагрузочный резистор и генератор проходит пульсирующий ток в виде импульсов, длящихся полупериода и разделенных промежутками также в полупериода. Этот ток называют выпрямленным током. Он создает на резисторе R_n выпрямленное напряжение.

На рис. 46 изображена синусоида с амплитудой E_m , что соответствует переменной ЭДС генератора. Как правило, сопротивление нагрузки R_n во много раз больше сопротивления

диода, и тогда нелинейностью диода можно пренебречь (рабочая характеристика близка к линейной). В этом случае выпрямленный ток имеет форму импульсов, близкую к полусинусоиде с максимальным значением I_{max} . Аналогичная кривая, но с другим масштабом, будет и для выпрямленного напряжения U_R , т.к. $U_R = i \cdot R_n$ (рис. 46).

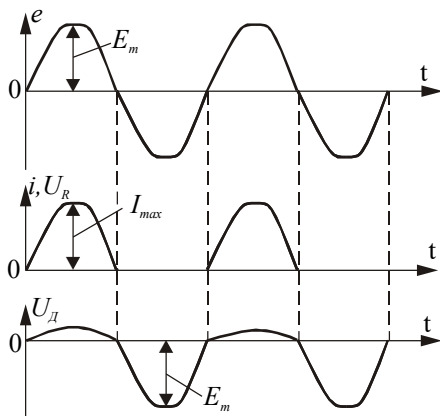


Рис. 47. Временные диаграммы работы выпрямителя

Напряжение на диоде (рис. 46) имеет несинусоидальную форму. У этого напряжения амплитуды положительных и отрицательных полуволн неодинаковы. Амплитуда положительных полуволн очень мала. Это объясняется тем, что когда проходит прямой ток, то большая часть напряжения источника падает на нагрузочном резисторе R_n , сопротивление которого значительно превышает сопротивление диода. В этом случае:

$$U_{np.max} = E_m - U_{Rmax} = E_m - I_{max}R_n < E_m.$$

Рассмотрим подробнее выпрямленное напряжение (все, что будет показано для него, относится и к выпрямленному току). Из рис. 46 видно, что это напряжение сильно пульсирует. Полпериода напряжения совсем нет. Полезной частью такого напряжения является его постоянная составляющая, или среднее значение U_{cp} . Найдем это значение:

$$U_{cp} = 2U_{max} / \pi = 0,636U_{max}.$$

Т.к. во втором полупериоде напряжения совсем нет, то за весь период среднее значение вдвое меньше:

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

Таким образом приближенно U_{cp} считают равным 30 % максимального значения. Поскольку падение напряжения на диоде очень мало, можно считать: $U_{max} \approx E_m$ и $U_{cp} \approx 0,3E_m$.

Вычтем из выпрямленного пульсирующего напряжения его среднее значение, получим переменную составляющую U_R , которая имеет несинусоидальную форму. Для нее нулевой осью является прямая линия, изображающая постоянную составляющую (рис. 47). Полувольты переменной составляющей на рис. 47 заштрихованы.

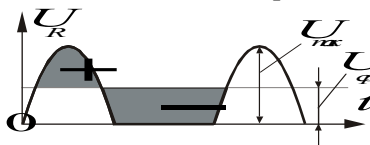


Рис. 47. Составляющие выпрямленного напряжения

Положительная полуволна представляет собой верхние две трети полусинусоиды, а отрицательная имеет форму, близкую к трапеции. Длительность этих полувольт неодинакова, но площади, ограниченные ими, равны, т.к. постоянной составляющей уже нет.

Переменная составляющая является «вредной» частью выпрямленного напряжения. Для ее уменьшения в нагрузочном резисторе, т.е. для сглаживания пульсации выпрямленного напряжения, применяют специальные сглаживающие фильтры.

Последовательное и параллельное соединение диодов

При выпрямлении более высоких напряжений приходится соединять диоды последовательно с тем, чтобы обратное напряжение на каждом диоде не превышало предельного. Но вследствие разброса обратных сопротивлений у различных экземпляров диодов одного и того же типа на отдельных диодах обратное напряжение может оказаться выше предельного, что повлечет пробой диодов.

Пусть в некотором выпрямителе амплитуда обратного напряжения составляет $U_{обр} = 1000 \text{ В}$ и применены диоды с $U_{обр.мах} = 400 \text{ В}$. Очевидно, что необходимо соединить последовательно не менее трех диодов. Предположим, что обратные сопротивления диодов $R_{обр1} = R_{обр2} = 1 \text{ МОм}$ и $R_{обр3} = 3 \text{ МОм}$. Обратное напряжение распределяется пропорционально обратным сопротивлениям, и поэтому получится $U_{обр1} = U_{обр2} = 200 \text{ В}$ и $U_{обр3} = 600 \text{ В}$. Третий диод может быть пробит, поскольку $U_{обр3} > U_{обр.мах}$. Если это произойдет, то напряжение 1000 В распределится между оставшимися диодами, что может повлечь за собой пробой одного или двух диодов.

Для того чтобы обратное напряжение распределялось равномерно между диодами независимо от их обратных сопротивлений, применяют шунтирование диодов резисторами (рис. 48). Сопротивления $R_{ш}$ резисторов должны быть одинаковы и значительно меньше наименьшего из обратных сопротивлений диодов. Но вместе с тем $R_{ш}$ не должно быть слишком малым, чтобы чрезмерно не возрос ток при обратном напряжении, т.е. чтобы не ухудшилось выпрямление. Для рассмотренного примера можно взять резисторы с сопротивлением 100 кОм . Тогда при обратном напряжении сопротивление каждого участка цепи, состоящего из диода и шунтирующего резистора, будет несколько меньше 100 кОм и общее обратное напряжение разделится между этими участками примерно на три равные части. На каждом участке это напряжение окажется меньше 400 В и диоды будут работать надежно.

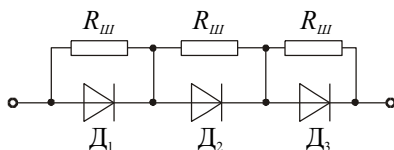


Рис. 48. Последовательное соединение диодов

Параллельное соединение диодов применяют тогда, когда нужно получить прямой ток, больший предельного тока одного диода. Но если диоды одного типа просто соединить параллельно, то вследствие

неодинаковости вольт – амперных характеристик они окажутся различно нагруженными и в некоторых ток будет больше предельного.

Рассмотрим характеристики прямого тока двух диодов одного и того же типа, у которых $I_{пр. max} = 0,2 \text{ A}$ (рис. 49). Пусть от этих диодов требуется получить прямой ток $0,4 \text{ A}$. Если их соединить параллельно, то при токе $0,2 \text{ A}$ на первом диоде напряжение равно $0,4 \text{ В}$ (кривая 1, рис. 49). А на втором диоде при таком же напряжении ток будет лишь $0,05 \text{ A}$ (кривая 2, рис. 49). Таким образом, общий ток составит $0,25 \text{ A}$, а не $0,4 \text{ A}$. Увеличивать напряжение на диодах нельзя, т.к. в первом диоде ток станет больше предельного.

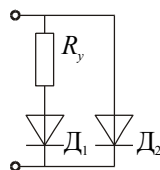
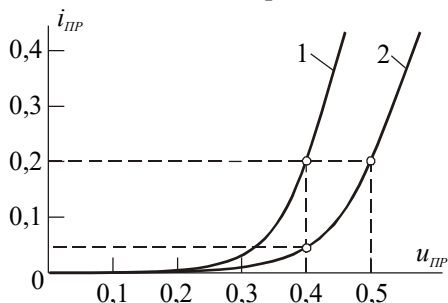


Рис. 49. Параллельное соединение диодов

Из характеристик видно, что для получения во втором диоде тока $0,2 \text{ A}$ надо иметь на нем напряжение $0,5 \text{ В}$, т.е. на $0,1 \text{ В}$ больше, чем на первом диоде. Поэтому, чтобы установить правильный режим работы диодов, надо подвести к ним напряжение $0,5 \text{ В}$, но последовательно с первым диодом включить уравнительный резистор R_y (рис. 49) – с целью поглощения излишнего для первого диода напряжения $0,1 \text{ В}$. Сопротивление этого резистора: $R_y = 0,1/0,2 = 0,5 \text{ Ом}$.

При наличии такого резистора оба диода будут нагружены одинаково током в $0,2 \text{ A}$.

Практически редко включают параллельно больше трех диодов. Уравнительные резисторы с сопротивлением в десятые доли Ома или единицы Ом обычно подбирают экспериментально до получения в

рабочем режиме одинаковых токов в диодах. Иногда включают уравнильные резисторы с сопротивлением, в несколько раз большим, чем прямое сопротивление диодов, для того чтобы ток в каждом диоде определялся главным образом сопротивлением R_y . Если нежелательно включать уравнильные резисторы, то надо подобрать диоды с примерно одинаковыми характеристиками. Однако рекомендуется по возможности не прибегать к параллельному соединению диодов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

На выполнение лабораторной работы отводится 2 академических часа.

Порядок выполнения:

1. Изучить краткий теоретический материал.
2. Собрать однополупериодную схему выпрямителя по заданным данным.
3. Получить [временные диаграммы](#) на диоде и сопротивлении нагрузки.
4. На полученных временных диаграммах определить амплитудные значения положительных и отрицательных полуволн.
5. Оформить отчет.
6. Защитить выполненную работу у преподавателя.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Для [однополупериодной схемы](#) выпрямителя (рис.50), при заданных значениях R_n , E_m , ω , получим [временные диаграммы](#) на диоде (DI) и сопротивлении нагрузки (R_l).

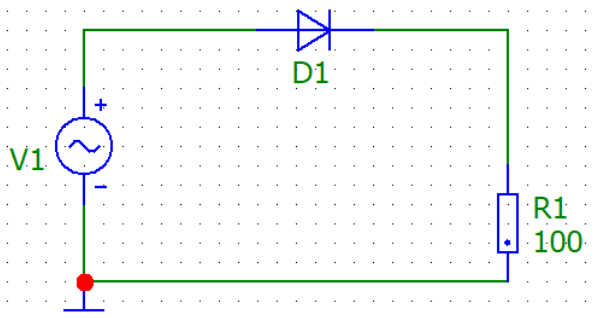


Рис. 50. Однополупериодная схемы выпрямителя

В качестве исходных данных примем: $R_l = 100 \text{ Ом}$; $E_m = 5 \text{ В}$; $\omega = 31,41 \text{ рад/с}$.

В качестве источника переменного напряжения используется компонент *Sine Source* (в меню *Component – Analog Primitives – Waveform Sources*).

В окне свойств данного компонента необходимо задать соответствующие характеристики: частоту выходного сигнала, амплитуду выходного сигнала (рис. 51).

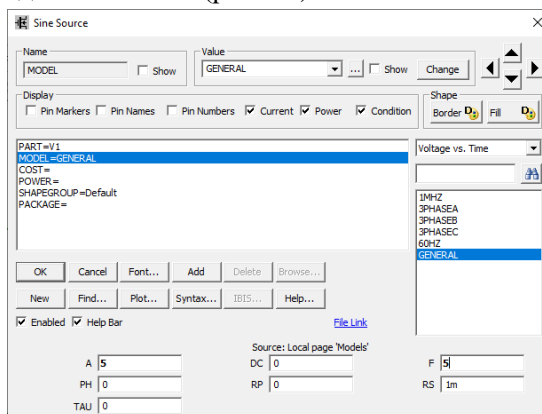


Рис. 51. Свойства компонента Sine Source

Для наблюдения входного напряжения и напряжения на диоде (рис. 50) можно воспользоваться функцией *Analysis – Transient*. В окне *Transient Analysis Limits* задаются необходимые параметры для построения графиков (рис. 52).

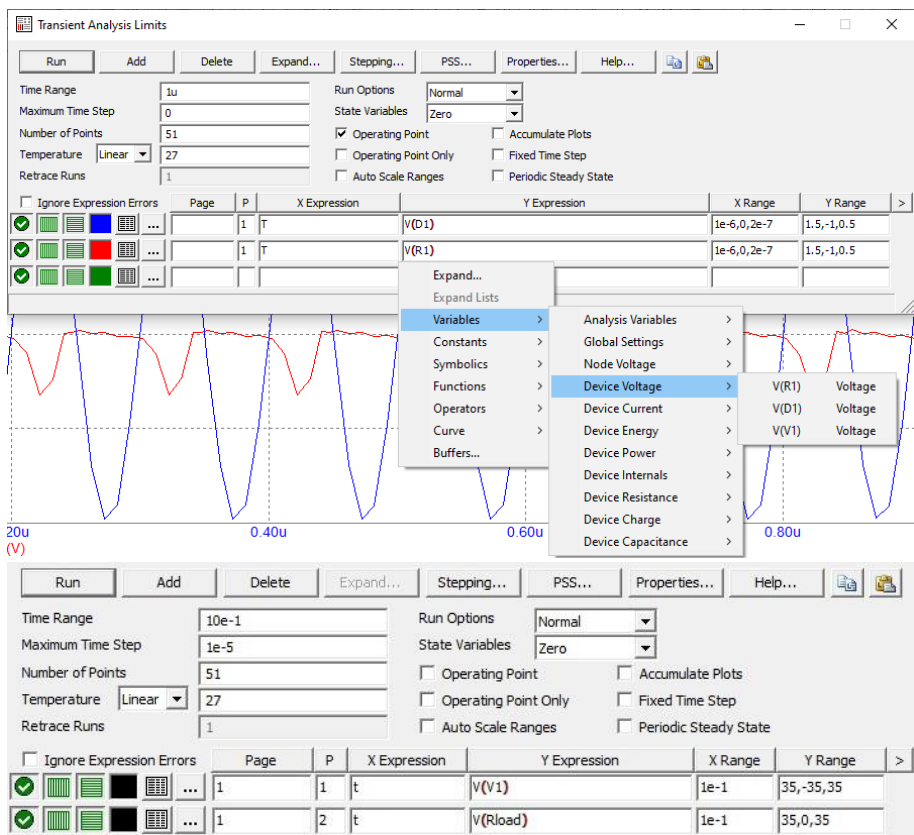


Рис. 52. Функция анализа переходных процессов, построения графиков

Пример полученных временных диаграмм (рис. 53)

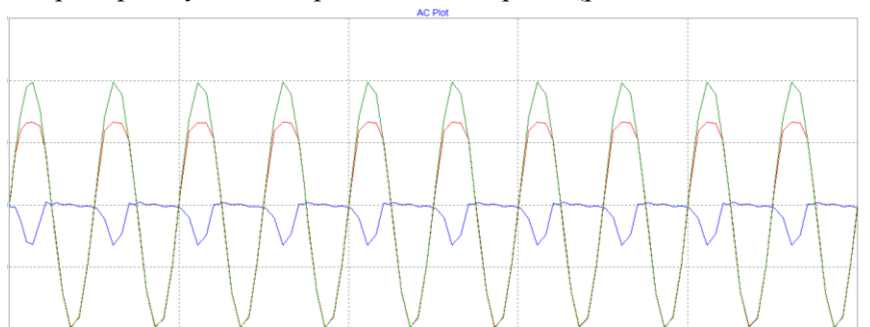


Рис. 53. Временные диаграммы

С помощью визирных линий можно определить амплитудное значение напряжения: $U_{max} = 4,15 \text{ В}$.

Временная диаграмма на диоде DI соответствует соотношению:

$$U_D = E - U_R.$$

ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

<i>№</i>	<i>$R_n(\text{Ом})$</i>	<i>$E_m(\text{В})$</i>	<i>$\omega(\text{рад/с})$</i>
1	50	12	100
2	20	4	200
3	25	6	250
4	10	13	150
5	30	5	50
6	50	10	150
7	20	4	100
8	25	6	200
9	30	5	300
10	40	7	50
11	70	10	350
12	25	10	200
13	60	8	100
14	50	15	350
15	100	12	250

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что понимается под [выпрямлением](#) переменного тока?
2. Какие элементы используются для выпрямления переменного тока?
3. Какие элементы входят в состав [однополупериодной схемы](#) выпрямления?
4. Для каких целей в схеме выпрямителя используется нагрузочный резистор?
5. Какой ток называют выпрямленным?
6. Почему схема выпрямителя называется однополупериодной?
7. Объясните [временные диаграммы](#) работы выпрямителя.

8. Какое среднее значение принимает напряжение за период в однополупериодной схеме выпрямления?

9. В каких случаях используется последовательное и параллельное соединение диодов?

ФОРМА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Номер варианта студенту выдается преподавателем. Отчет на защиту предоставляется в печатном виде.

Структура отчета (на отдельном листе(-ах)):

- титульный лист;
- цели и задачи работы;
- формулировка задания (вариант);
- схема однополупериодного выпрямителя;
- временные диаграммы, соответствующие всем элементам исследуемой схемы;
- амплитудные значения положительных и отрицательных полувольт для полученных временных диаграмм;
- выводы.