

## РАБОТА 3-9

### ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

**Цель работы:** Изучение работы полупроводникового выпрямителя и действия сглаживающего фильтра.

**Оборудование:** Осциллограф, понижающий трансформатор, диоды, конденсаторы, дроссель, резисторы, переключатели, провода.

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Выпрямителем называется прибор, с помощью которого переменный ток может быть преобразован в постоянный. В основе работы всякого выпрямителя лежит использование нелинейных элементов электрической цепи, в которых сила тока зависит не только от величины, но также и от направления приложенного к ним напряжения.

В настоящее время для выпрямления переменного тока применяют полупроводниковые диоды, обладающие рядом преимуществ.

Полупроводники - это особый класс веществ, которые по своему удельному сопротивлению занимают промежуточное положение между металлами и диэлектриками. К ним принадлежат практически все окислы металлов, сульфиды, некоторые двойные и тройные металлические соединения, а также ряд элементов: теллур, бор, кремний, фосфор, германий, мышьяк, селен и другие. Широкое практическое применение находят не природные полупроводниковые соединения, а синтезированные в лабораторных условиях.

Удельное сопротивление полупроводников  $\rho = 10^{-5} \div 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , тогда как у металлов  $\rho = 10^{-6} \div 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , а у диэлектриков  $\rho = 10^8 \div 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Электропроводность полупроводников обеспечивается либо преимущественно электронами, либо преимущественно положительно заряженными «дырками» (см. работу 7).

В первом случае полупроводник называется n- кристаллом или n- полупроводником, а электропроводность n- проводимостью.

Во втором случае полупроводник называется p- кристаллом или p- полупроводником, а электропроводность p- проводимостью. Получение того или иного типа проводимости существенно зависит от примесей, вносимых в полупроводник, и от технологии его обработки. При контакте двух полупроводников различной проводимости или p- полупроводника с металлом вследствие диффузии часть электронов из n- полупроводника переходит в p- полупроводник и рекомбинирует с дырками. В свою очередь часть дырок из p- кристалла переходит в n- кристалл и там рекомбинирует с электронами. В результате, в n- полупроводнике возникает недостаток электронов, и он приобретает избыток положительных зарядов, т.е. заряжается положительно. В p- полупроводнике возникает недостаток дырок и он приобретает избыток отрицательных зарядов, т.е. заряжается отрицательно. На границе раздела полупроводников возникает электрическое поле, препятствующее дальнейшему переходу электронов в p- полупроводник и дырок в n- полупроводник.

Если теперь к системе n-p полупроводников приложить внешнее электрическое поле, то в том случае, если к n- кристаллу присоединить «+» источника, а к p- кристаллу «-», внешнее поле усилит внутреннее поле на границе раздела полупроводников и движение электронов из n в p- кристалл и дырок из p- кристалла в n- кристалл будет затруднено еще больше, сопротивление границы раздела полупроводников сильно возрастает и ток через эту границу практически проходить не будет. Если же изменить направление внешнего поля и «+» источника присоединить к p- полупроводнику, а «-» к n- полупроводнику, то внутреннее поле будет скомпенсировано внешним полем, сопротивление границы раздела полупроводников резко уменьшается и ток будет проходить почти беспрепятственно.

Таким образом, возникает односторонняя проводимость, так как сопротивления контакта в

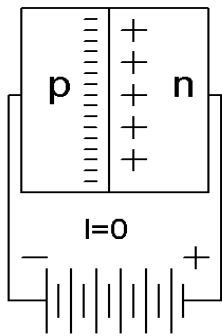


Рис.1

прямом и обратном направлении отличаются в тысячи раз. Рассмотренные свойства контакта p-n -полупроводников получили широкое распространение для выпрямления переменного тока. В том полупериоде переменного тока, когда «+» будет подаваться на p-кристалл, а «-» на n- кристалл (рис.1), сопротивление границы раздела велико и ток проходить не будет. В следующем полупериоде направление переменного тока меняется и на n- кристалл будет подаваться «-», а на p-кристалл «+» (рис.2), сопротивление границы раздела резко уменьшается и ток проходит почти беспрепятственно.

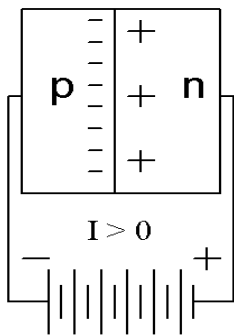


Рис.2

Графически свойства диодов можно представить в виде вольтамперной характеристики. Вольтамперная характеристика (ВАХ) – это зависимость тока, протекающего через какое-либо устройство от напряжения на его входах. На рис. 3 представлена вольтамперная характеристика германиевого диода типа Д7В, предназначенного для выпрямления переменного тока с частотой до 2 кГц. ВАХ диода имеет две ветви – прямую и обратную. Прямая ветвь вольтамперной характеристики расположена в положительной полуплоскости графика (кривая 1 на рис.3). Из него следует, что при увеличении напряжения, приложенного к диоду в прямом направлении, ток через него нелинейно возрастает. Сопротивление диода в открытом состоянии, например, при напряжении 0,5В составит  $R = U / I = 0,5V / 0,2A = 2,5\text{ом}$ . Сопротивление диода, включенного в обратном направлении можно получить из обратной ветви характеристики (кривая 2 на рис.3). Например, при напряжении, близком к пробойному, сопротивление составит  $R = 100V / 10^{-2} A = 10^4\text{ом}$ . Отсюда следует, что сопротивление германиевого выпрямительного диода в прямом и обратном

направлении отличаются в 4000 раз. Современные полупроводниковые диоды имеют намного меньшие обратные токи и обладают много большим обратным сопротивлением. При превышении обратного напряжения выше определенной величины, называемой напряжением пробоя происходит пробой диода и p-n переход разрушается.

Принципиальная схема однополупериодного выпрямителя представлена на рис.4. Напряжение от сети переменного тока через предохранитель F1 подается на первичную обмотку трансформатора Tr1. Последовательно со вторичной обмоткой трансформатора включен диод D1. Резистор R1 и конденсаторы C1, C2 образуют резистивно – емкостной сглаживающий фильтр. Нагрузкой выпрямителя является резистор R2.

Пусть в некоторый момент времени напряжение на вторичной обмотке имеет положительный потенциал на верхнем конце обмотки, а отрицательный - на нижнем.. В этом случае диод D1 при превышении напряжения открывания диода будет пропускать электрический ток (прямая ветвь ВАХ). В результате в положительный полупериод электрический ток будет

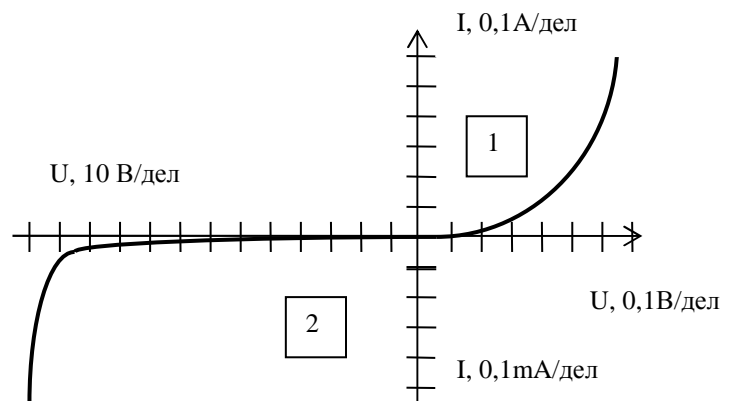


Рис.3. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода

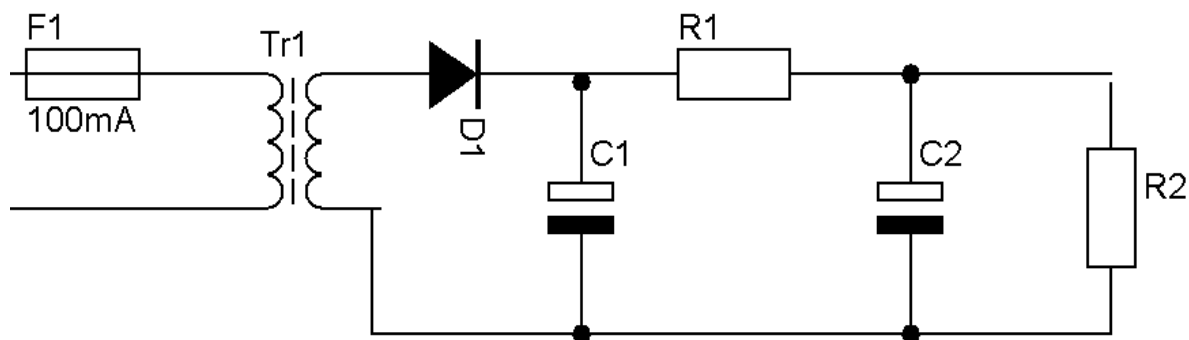


Рис.4 Схема однополупериодного выпрямителя с RC - фильтром

протекать через обмотку трансформатора, диод, резистор сглаживающего фильтра R1 и резистор нагрузки R2. В следующий полупериод напряжение на вторичной обмотке трансформатора изменит свой знак. К аноду диода будет приложено отрицательное напряжение и ток в цепи будет отсутствовать (обратная ветвь ВАХ). Таким образом ток в цепи будет протекать только в течение одного полупериода, т.е., **будет осуществляться однополупериодное выпрямление.**

Принципиальная схема **двухполупериодного выпрямителя** изображена на рис.5.

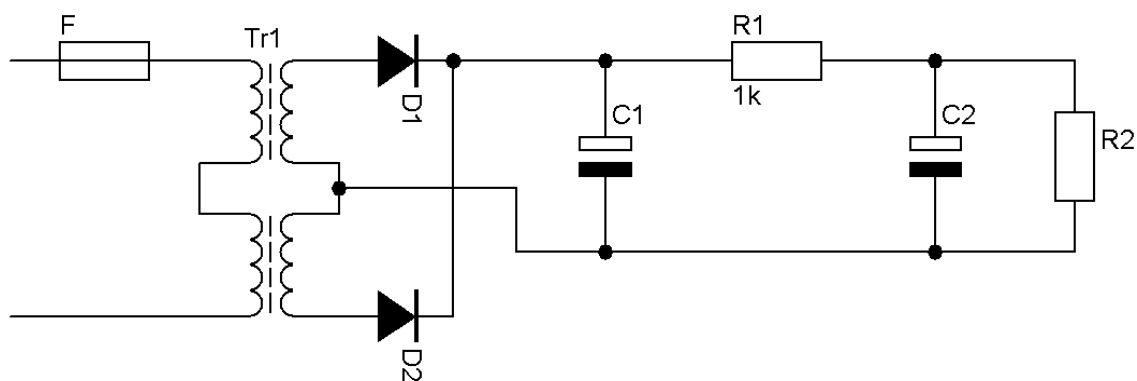


Рис.5. Схема двухполупериодного выпрямителя.

Существенным отличием этой схемы является наличие двух вторичных обмоток трансформатора, соединенных последовательно, и двух диодов. В этой схеме происходит выпрямление обоих полупериодов переменного напряжения. В положительный полупериод ток протекает через верхнюю (на схеме) обмотку трансформатора, через диод D1, сопротивление фильтра R1 и через нагрузку R2. В отрицательный полупериод ток протекает через нижнюю (на схеме) обмотку трансформатора, диод D2, сопротивление фильтра R1 и через нагрузку R2. **Таким образом, осуществляется двухполупериодное выпрямление.**

В большинстве случаев пульсирующий ток не пригоден к практическому использованию. Его необходимо сгладить, т.е. уменьшить амплитуду пульсаций тока в нагрузке. Это можно сделать с помощью сглаживающего фильтра, представляющего собой совокупность резистора и конденсаторов. **Такой сглаживающий фильтр называется резистивно – емкостным (RC фильтр).** Сглаживание напряжения осуществляется за счет того, что электрическая энергия запасается в конденсаторе в момент максимального напряжения и отдается в нагрузку при уменьшении напряжения. RC – фильтры применяются в выпрямляющих устройствах с небольшими выходными токами. Для сглаживания пульсаций при больших токах нагрузки применяются **индуктивно – емкостные** фильтры, состоящие из дросселя и конденсаторов (LC – фильтры). Роль

дросселя, представляющего собой соленоид с железным сердечником, заключается в том что он обладает большим сопротивлением для высоких частот  $R_i = \omega \cdot L$ , где  $\omega = 2\pi\nu$ ,  $\nu$ - частота тока, а  $L$ - коэффициент самоиндукции. Кривую выпрямленного напряжения можно представить как совокупность гармонических колебаний различных частот, определяемых рядом Фурье. Дроссель не пропускает гармоники высоких частот, что приводит к сглаживанию колебаний пульсирующего тока. Роль конденсаторов 6 и 7 сводится к тому, что при возрастании пульсирующего тока будет происходить зарядка конденсаторов практически до амплитудного значения напряжения, а при уменьшении напряжения конденсаторы будут отдавать запасенную энергию в цепь и тем самым уменьшать пульсацию тока на нагрузке.

Оценку качества сглаживающего фильтра даёт коэффициент пульсаций. Коэффициент пульсаций - это отношение переменной составляющей напряжения на выходе фильтра к постоянной,  $k = U_1 / U_2$ . Здесь  $U_1$ -переменная составляющая выходного напряжения, а  $U_2$ - постоянная составляющая напряжения. При определении коэффициента пульсаций величину  $U_1$  можно определить как максимальное значение или амплитуду переменной составляющей напряжения на выходе выпрямителя. Иногда определяют непосредственно величину пульсаций напряжения на выходе выпрямителя в единицах напряжения (В или мВ). Коэффициент пульсаций зависит не только от параметров фильтра, но и от сопротивления нагрузки.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Все изменения в схеме производить при отключённом напряжении!**

1. Изучить описание и получить допуск к выполнению работы.
2. Ознакомиться с монтажной схемой установки, изображенной на рис.5.
3. В разъем D1 установить выпрямительный диод.
4. Подключить один из входов двулучевого осциллографа к аноду выпрямляющего диода.
5. Подключить второй вход осциллографа к нагрузке выпрямителя.

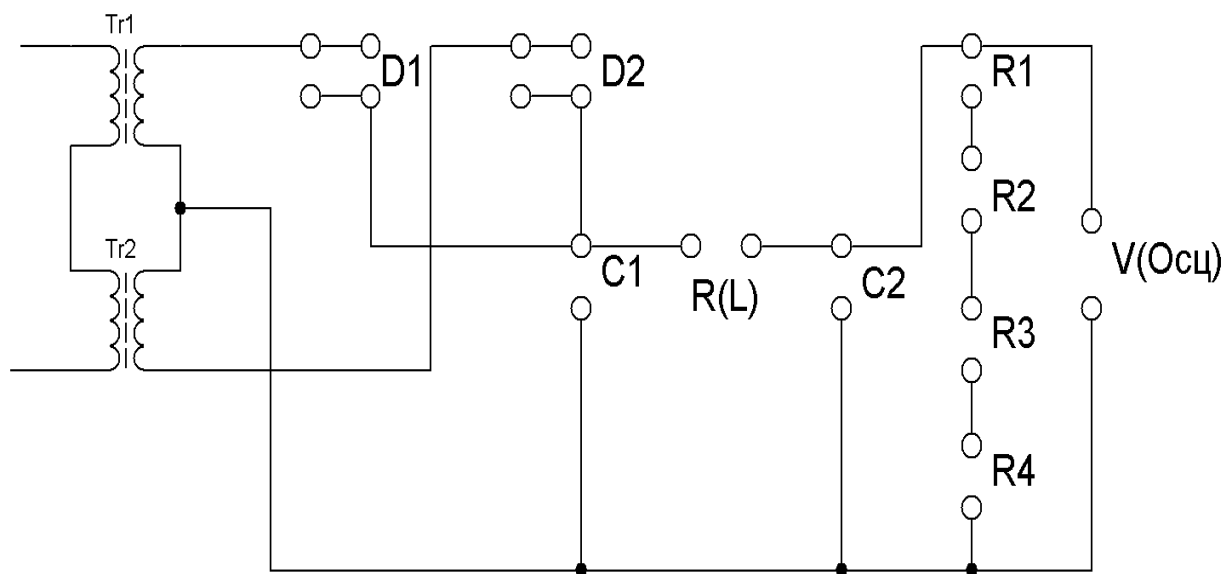


Рис.5

6. В разъемы C1 и C2 установить электролитические конденсаторы.
7. В разъем R (L) установить резистор (10 ом ).
8. В разъемы R1 –R4 установить резисторы нагрузки 100 ом, 1 ком, 10 ком.
- 9 Для каждого значения нагрузки измерить величину пульсаций на нагрузке

выпрямителя и рассчитать коэффициент пульсаций.

10 Установить в разъем D2 выпрямительный диод.

11. Провести измерение величины пульсаций и рассчитать коэффициент пульсаций.

12. Включить в разъем R(L) **дроссель**.

13. Для одной из схем включения (однополупериодной или двухполупериодной ) провести измерения величины пульсаций для трех нагрузок (100 ом, 1 ком и 10 ком) и сравнить с соответствующими величинами для RC- фильтра.

14. Зарисовать эпюры напряжений для однополупериодного и двухполупериодного выпрямления с фильтром и без фильтра.

**Все переключения в схеме производятся при отключённом питании выпрямителя**

Примечание Все рисунки делаются на отдельной странице с общим масштабам по времени и последовательным изображением отдельных кривых по высоте рисунка.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие особенности имеет вольтамперная характеристика диода?
2. Чем определяется проводимость диода в прямом направлении?
3. Почему в обратном направлении сопротивление диода больше, чем в прямом?
4. Будет ли уменьшаться величина пульсаций при увеличении емкости конденсаторов фильтра?
5. Почему при больших токах нагрузки не применяют RC-фильтры?

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Савельев И.В. Курс общей физики Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М.: Наука, 1976
3. Иродов И. Е. Электромагнетизм. -М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.
4. Калашников Э.Г. Электричество. – М.:Наука, 1977.
5. Трапицын Н.Ф. Краткий курс общей физики. Ч.3. Электричество и магнетизм. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 1996
6. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.2. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1974.
7. Физический практикум. Ч.2./ Под ред. В.И. Ивероной. -М.: «Наука». -1968.