

РАБОТА 77

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ И СГЛАЖИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ФИЛЬТРОВ

Выпрямителем называется электротехническое устройство, предназначенное для преобразования переменного тока (напряжения) промышленной частоты в постоянный ток (напряжение). Основным элементом выпрямителя является электронный прибор – вентиль, обладающий свойством односторонней проводимости. В современных выпрямителях в качестве вентиля используется полупроводниковый диод (см. раб. 76). В данной работе рассматриваются только выпрямители однофазного переменного тока.

Количественной характеристикой выпрямляющей способности выпрямителя является отношение амплитуды первой гармоники U_{\sim} к постоянной составляющей $U_{=}$ выходного (выпрямленного) напряжения $U_{\text{вых}}$, которое называется коэффициентом пульсаций q :

$$q = U_{\sim} / U_{=} . \quad (1)$$

Чем меньше коэффициент пульсаций, тем выше качество выпрямления.

При помощи простейшего выпрямителя (рис. 1а), состоящего из одного диода Д, обеспечивается однополупериодное выпрямление. Как правило, выпрямители снабжаются входными трансформаторами Тр. Сила тока и напряжение на нагрузке $R_{\text{н}}$ не меняются по направлению, но не постоянны во времени: они – пульсирующие (рис. 2а). Кроме того, при однополупериодном выпрямлении среднее выходное напряжение в два раза меньше эффективного входного напряжения, а коэффициент пульсаций $q = 1,57$.

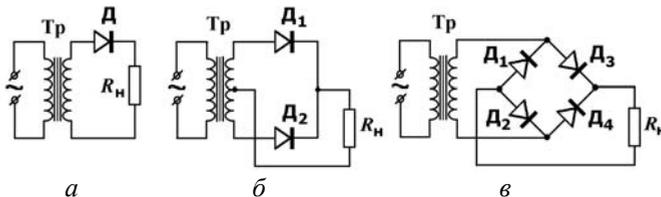


Рис. 1

Для того чтобы улучшить качество выпрямления и с большей отдачей использовать потенциальные возможности источника переменного тока

применяют двухполупериодные выпрямители. Коэффициент пульсаций при двухполупериодном выпрямлении составляет: $q = 0,67$. Наименьшее значение $0,057$ этот коэффициент принимает в выпрямителях трехфазного тока. Принципиальные схемы двухполупериодных выпрямителей показаны на рис. 1(б, в).

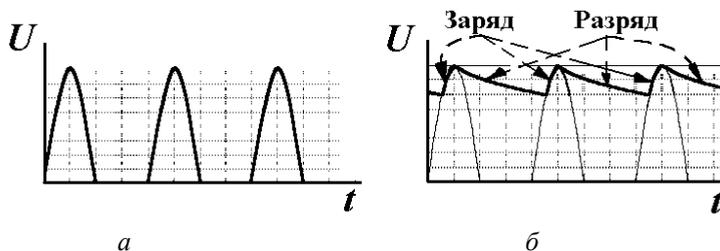


Рис. 2

Переменная составляющая выпрямленного напряжения и тока вредно сказывается на работе радиотехнических устройств. В тех случаях, когда требуется понизить коэффициент пульсаций выходного напряжения (тока), между выпрямителем и нагрузкой включается дополнительное звено, которое называется сглаживающим электрическим фильтром. Основными требованиями, предъявляемыми к нему, являются: максимальное уменьшение переменной составляющей и минимальное уменьшение постоянной составляющей выпрямленного напряжения (тока). Простейшими электрическими фильтрами являются емкостный C и индуктивный L фильтры (рис. 3а и 3б). Их комбинации представляют собой более сложные фильтры (рис. 3 в, г).

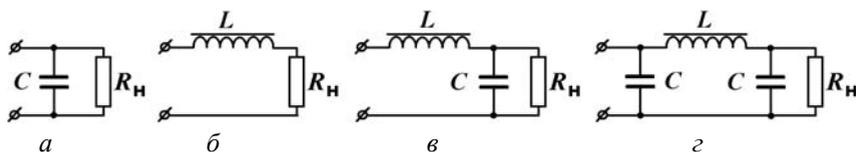


Рис. 3.

Эффективность действия фильтра оценивается по коэффициенту сглаживания, определяемому как отношение коэффициента пульсации на входе фильтра (на выходе выпрямителя) q_1 к его значению на выходе фильтра (на нагрузке) q_2 :

$$s = q_1 / q_2. \quad (2)$$

Чем выше коэффициент сглаживания, тем лучше фильтр. Принимая во внимание определение коэффициента пульсаций (1), коэффициент сглаживания может быть вычислен как отношение амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения на нагрузке без фильтра U_{-1} к его значению на нагрузке с подключенным фильтром U_{-2} :

$$s = U_{-1}/U_{-2}. \quad (3)$$

Емкостный С-фильтр (рис. 3а) состоит из конденсатора C , включенного параллельно нагрузке R_H . Он обеспечивает хорошее сглаживание при больших сопротивлениях нагрузки, т.е. при малых токах. Для этого должно выполняться условие:

$$R_H \gg X_C = 1/\omega C.$$

Действия конденсатора в фильтре заключаются в том, что в те моменты, когда напряжение на выходе выпрямителя превышает напряжение на конденсаторе, он заряжается и, следовательно, запасает электрическую энергию от источника тока. В те моменты, когда напряжение на выходе выпрямителя меньше напряжения на конденсаторе, конденсатор разряжается через сопротивление нагрузки (отдает ранее запасенную энергию). Поэтому амплитуда пульсирующего напряжения на нагрузке уменьшается. Процессы заряда и разряда периодически повторяются. На рис. 2б показаны эпюры выходного напряжения при однополупериодном выпрямлении с использованием С-фильтра. Расчетная формула коэффициента сглаживания С-фильтра достаточно сложна, и здесь она не приводится.

Индуктивный L-фильтр (дроссель) состоит из катушки самоиндукции с ферромагнитным сердечником и включается последовательно с сопротивлением нагрузки (рис. 3б). Он обеспечивает хорошее сглаживание пульсаций при малых сопротивлениях нагрузки, то есть при больших токах. Для этого должно выполняться условие:

$$R_H \ll X_L = \omega L.$$

Так как дроссель и сопротивление нагрузки образуют делитель напряжения, то падение переменной составляющей напряжения на дросселе будет значительно больше, чем на сопротивлении нагрузки. Если активное сопротивление дросселя мало, то постоянная составляющая напряжения на входе фильтра будет примерно равна постоянной составляющей напряжения на выходе фильтра. Принцип действия дросселя как фильтра состоит в том,

что в нем при нарастании импульса выпрямленного тока в результате действия э.д.с. самоиндукции задерживается рост тока, а при спаде – задерживается его убыль. Тем самым сглаживается пульсация тока в цепи нагрузки. Коэффициент сглаживания L-фильтра приблизительно равен:

$$s_L \approx \omega L / R. \quad (4)$$

Фильтрация улучшается при использовании комбинированного индуктивно-емкостного Г-образного LC-фильтра (рис. 3б). Реактивные сопротивления фильтра должны удовлетворять условиям:

$$X_C \ll R_H \ll X_L.$$

Коэффициент сглаживания, обеспечиваемый LC-фильтром, приблизительно равен:

$$s_{LC} \approx \omega^2 LC. \quad (5)$$

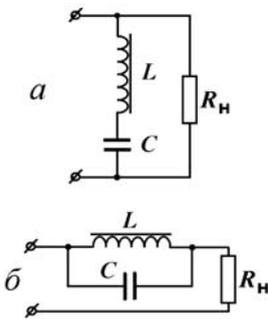


Рис. 4

Дальнейшее повышение качества фильтрации получается при использовании П-образного CLC-фильтра (рис. 3з). Наибольший коэффициент сглаживания достигается с помощью резонансных фильтров. Фильтр, включенный параллельно нагрузке, настраивается на резонанс напряжений (рис. 4а). Фильтр, включенный последовательно с нагрузкой, настраивается на резонанс токов. Такой фильтр называется «фильтр пробка» (рис. 4б).

Коэффициент полезного действия выпрямителя равен:

$$\eta = P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{ВЫХ}}$ – мощность, снимаемая с выпрямителя, $P_{\text{ВХ}}$ – мощность, подаваемая на выпрямитель.

Электрическая схема установки, предназначенной для исследования простейших выпрямителей и электрических фильтров, представлена на рис. 5, где Тр – трансформатор с нулевым выводом (с отводом от средней точки), D_1 и D_2 – полупроводниковые диоды, V – вольтметр, А – амперметр, R_H – сопротивление нагрузки, K_1 – переключатель вольтметра, K_2 , K_3 и K_4 – ключи для присоединения различных элементов схемы, ЭО – электронный осциллограф, П – переключатель выпрямителей.

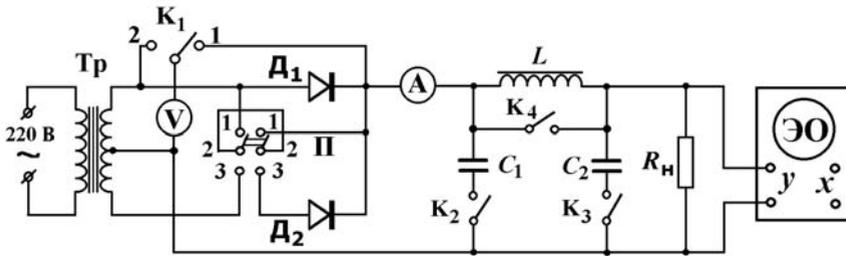


Рис. 5

Задание 1. Определение кпд выпрямителей. Задание выполняется без фильтров.

Упражнение 1. Определение кпд двухполупериодного выпрямителя $\eta_{дв}$.

1. Разомкнуть ключи K_2 и K_3 .
2. Замкнуть ключ K_4 .
3. Переключатель П поставить в положение 3.
4. Включить трансформатор в сеть ~ 220 В.
5. Переключатель K_1 поставить в положение 1 и записать показание вольтметра U_1 , а затем переключатель K_1 поставить в положение 2 и записать новое показание вольтметра U_2 . Так как ток через амперметр А при этом не меняется, то кпд вычисляют по формуле:

$$\eta = U_1 / U_2. \quad (7)$$

Упражнение 2. Определение кпд однополупериодного выпрямителя $\eta_{ов}$.

Переключатель П перевести в положение 2 и повторить те же измерения, что и в упражнении 1. Вычислить кпд по формуле (7).

Задание 2. Наблюдение осциллограмм входного и выпрямленного напряжений.

1. Разомкнуть ключи K_2 и K_3 , замкнуть K_4 . Переключатель П поставить в положение 1. Включить осциллограф и трансформатор в сеть ~ 220 В. Регулировкой ручек "Диапазон частот" и "Частота плавно" добиться устойчивого изображения подводимого к выпрямителю напряжения. Зарисовать наблюдаемую форму кривой напряжения. По осциллографу измерить амплитудное значение переменного напряжения U_0 .
2. Переключатель П поставить в положение 2. Зарисовать наблюдаемую форму кривой напряжения при однополупериодном выпрямлении. По осциллографу измерить амплитудное значение пульсирующего напряжения $U_{ов}$.

3. Переключатель П поставить в положение 3. Зарисовать наблюдаемую форму кривой напряжения при двухполупериодном выпрямлении. По осциллографу измерить амплитудное значение пульсирующего напряжения $U_{ДВ}$.
4. Сравнить значения U_0 , $U_{ОВ}$ и $U_{ДВ}$.

Задание 3. Изучение сглаживающего действия фильтров при помощи осциллографа.

- Для наблюдения сглаживающего действия С-фильтра получить на экране осциллографа кривую напряжения на нагрузке R_H . Для этого замкнуть ключи K_2 и K_4 , разомкнуть ключ K_3 .
- Для наблюдения сглаживающего действия L-фильтра разомкнуть ключи K_2 , K_3 и K_4 .
- Для наблюдения сглаживающего действия Г-образного LC-фильтра замкнуть ключ K_3 , разомкнуть ключи K_2 и K_4 .
- Для наблюдения сглаживающего действия П-образного CLC-фильтра замкнуть ключи K_2 и K_3 , разомкнуть ключ K_4 .
- Опыты проделать при однополупериодном (см. задание 2, п.п. 1 и 2), а затем при двухполупериодном выпрямлении (см. задание 2, п. 3).

1. Зарисовать переменные составляющие выпрямленного напряжения. На зарисовках осциллограмм указать, при какой чувствительности осциллографа они получены.
2. По осциллографу измерить амплитудные значения пульсирующего напряжения $U_{0С}$, U_{0L} , U_{0LC} и U_{0CLC} .
3. Вычислить коэффициенты сглаживания по формулам (1) – (3).
4. Проверить справедливость формул приближенного расчета (4) и (5).
5. Сравнить и объяснить полученные результаты.

Вопросы для подготовки.

1. Физические принципы работы полупроводниковых диодов в выпрямителях. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода.
2. Схемы двухполупериодного выпрямителя с нулевым выводом и мостовая. Направление токов в каждой схеме. Допустимые обратные напряжения для различных схем выпрямителей.
3. Схемы фильтров. Физические процессы, протекающие в них при сглаживании выпрямленного напряжения и тока. Коэффициент пульсаций и коэффициент сглаживания.

Литература: [1, 4 – 7, 10 – 12, 16, работа 76].