

# ЭЛЕКТРОНИКА 1.1

Глазачев Александр Владимирович,  
к.т.н., доцент ОЭЭ

***Индивидуальное задание:  
Полупроводниковые диоды и их применение  
в выпрямительных устройствах***

## Пример 1

Исходные данные для расчета выпрямителя:

- номинальное выпрямленное напряжение на нагрузке  $U_d = 110 \text{ В}$ ;
- ток нагрузки  $I_d = 2,5 \text{ А}$ ;
- допустимый коэффициент пульсаций выходного напряжения на нагрузке  $k_{\Pi} = 0,05$ ;
- номинальное напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора  $U_1 = 220 \text{ В}$ ;
- частота питающей сети  $f = 50 \text{ Гц}$ ;
- количество фаз  $n = 1$ .

Процесс расчета выпрямительных устройств можно условно разделить на несколько этапов:

1. Анализ исходных данных и выбор принципиальной схемы выпрямителя;
2. Расчет параметров сглаживающего фильтра;
3. Расчет параметров вентильного узла и выбор типа выпрямительных диодов;
4. Расчет параметров трансформатора;
5. Проверка соответствия применяемых компонентов режиму их работы в выпрямителе.

## 1. Анализ исходных данных и выбор принципиальной схемы

Определяем выходную мощность и сопротивление нагрузки

$$P_d = U_d I_d = 110 \cdot 2,5 = 275 \text{ Вт}$$

$$R_d = \frac{U_d}{I_d} = \frac{110}{2,5} = 44 \text{ Ом}$$

Выбор схемы выпрямителя производят в зависимости от значения требуемой выходной мощности, выходного напряжения, коэффициента пульсаций, числа фаз. Критериями для выбора конкретного вида выпрямителя служат достоинства и недостатки.

*Однополупериодные выпрямители* применяются в основном с выходной мощностью до 10 Вт и в тех случаях, когда допускается сравнительно высокий коэффициент пульсаций. **В нашем случае не подходит.**

*Двухполупериодные выпрямители со средней точкой* применяются при напряжениях нагрузки до нескольких десятков вольт и выходной мощности до 50 Вт. **В нашем случае не подходит.**

*Мостовые выпрямители* применяется наиболее часто. Их можно использовать при любом характере нагрузки (емкостная, индуктивная) при выходной мощности до 300 Вт. Из-за повышенного падения напряжения на диодах, в результате чего ее не рекомендуют применять при напряжениях нагрузки менее 5 В. **Выбираем данную схему.**

## 2. Расчет параметров сглаживающего фильтра

Т.к. ток нагрузки составляет единицы ампер, применяем Г-образный LC-фильтр.

Минимальное значение индуктивности фильтра

$$L \geq \frac{2U_d}{(m^2 - 1)m\omega I_d} = \frac{2 \cdot 110}{(2^2 - 1)2 \cdot 314 \cdot 2,5} = 47 \text{ мГн}$$

где  $m$  – пульсность схемы, в нашем случае  $m=2$ , т.к. схема двухполупериодная;  $\omega$  – круговая частота напряжения сети ( $\omega=2\pi f$ ), рад/с

Величину емкости найдем из выражения

$$C = \frac{q + 1}{L(m\omega)^2} = \frac{13,2 + 1}{0,047(2 \cdot 314)^2} = 766 \text{ мкФ}$$

где  $q$  – коэффициент сглаживания

$$q = \frac{k_{\text{п сх}}}{k_{\text{п}}} = \frac{0,66}{0,05} = 13,2$$

При полученных значениях  $L$  и  $C$  фильтра условия эффективной работы фильтра выполняются, однако при моделировании получается неустойчивый переходный процесс (ошибки в расчете модели). Поэтому увеличиваем  $L$  в 2...10 раз. В нашем случае достаточно увеличить  $L$  в два раза. И заново определяем  $C$  фильтра.

$$L = 94 \text{ мГн}$$

$$C = 383 \text{ мкФ}$$

Проводим проверку условий эффективной работы фильтра

$$X_C = \frac{1}{m\omega C} \ll R_d$$

$$X_L = m\omega L \gg X_C$$

$$X_C = \frac{1}{m\omega C} = \frac{1}{2 \cdot 314 \cdot 0,000383} = 4,16 \text{ Ом} \ll 44 \text{ Ом}$$

$$X_L = m\omega L = 2 \cdot 314 \cdot 0,094 = 59,03 \text{ Ом} \gg 4,16 \text{ Ом}$$

**Условия выполняются**

Условия считаем выполненными, если разница в значениях более чем в 5 раз

### 3. Выбор выпрямительных диодов

Для того чтобы выбрать тип полупроводниковых диодов выпрямителя необходимо рассчитать с учетом характера нагрузки основные характеристики выпрямителя по формулам табл. 2:

- значение максимального обратного напряжения, прикладываемого к силовым диодам при работе выпрямителя выбранного типа;
- максимальное значение прямого тока диодов.

Характер нагрузки выпрямителя может быть активным ( $R$ ), активно-индуктивным ( $RL$ ) или активно-ёмкостным ( $RC$ ). Выпрямитель с выходным ёмкостным или резистивно-ёмкостным фильтром считается нагруженным на активно-емкостную нагрузку, а выпрямитель с фильтром, начинающимся на индуктивность – на активно-индуктивную нагрузку. **В нашем случае нагрузка активно-индуктивная.**



Максимальное обратное напряжение

$$U_{\text{обр max}} = \frac{\pi}{2} U_d = 1,57 \cdot 110 = 172,7 \text{ В}$$

Максимальный прямой ток

$$I_{\text{пр ср max}} = I_d = 2,5 \text{ А}$$

По справочнику выбираем диод, имеющий ближайšie большие значения предельных параметров. **Необходимо учесть наличие выбранного диода в базах программы EWB.**

Выбираем диод 2Д220А  $U_{\text{обр max}} = 400 \text{ В}$

$$I_{\text{пр ср max}} = 3 \text{ А}$$

**В отчете по ИДЗ необходимо привести все параметры выбранного диода, а также привести его конструкцию.**

#### 4. Расчет параметров трансформатора

Для расчета используем табл. 3, в которой приведены соотношения для расчета параметров трансформаторов, работающих при различной нагрузке. **Расчет проводим для активно-индуктивной нагрузки.**

Действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора

$$U_{2д} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_d = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} 110 = 122,5 \text{ В}$$

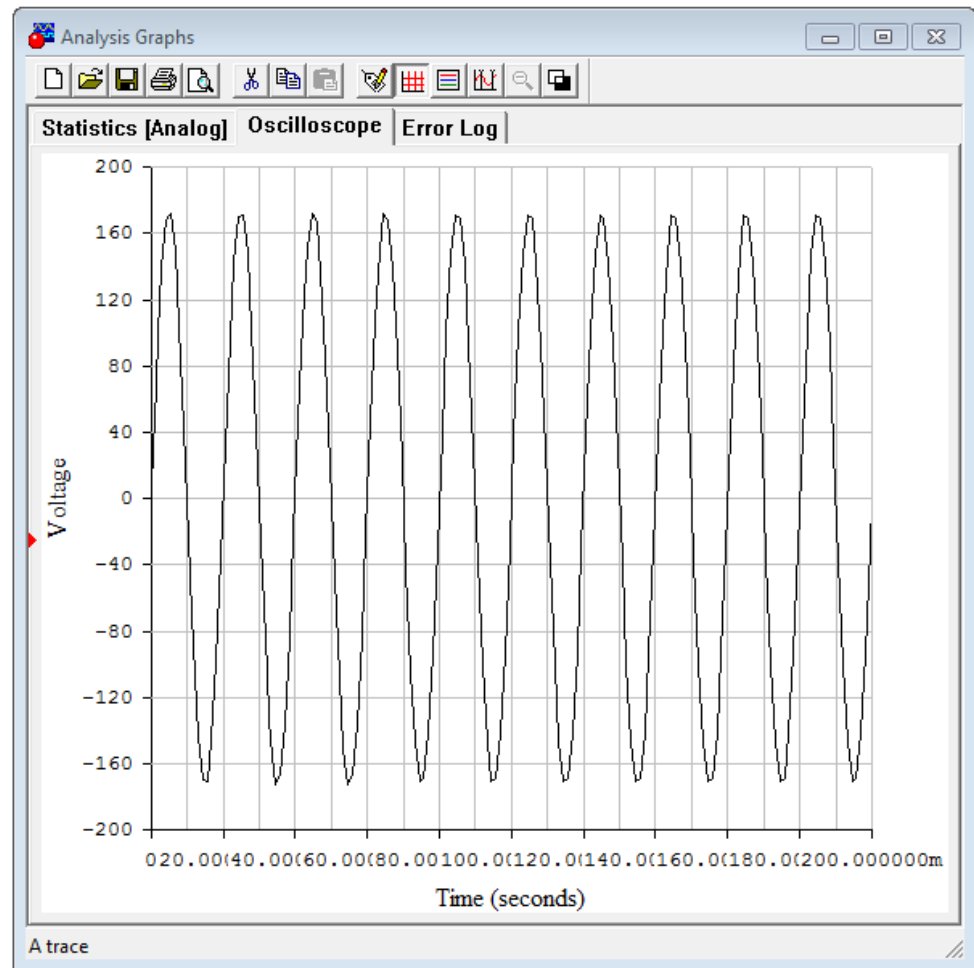
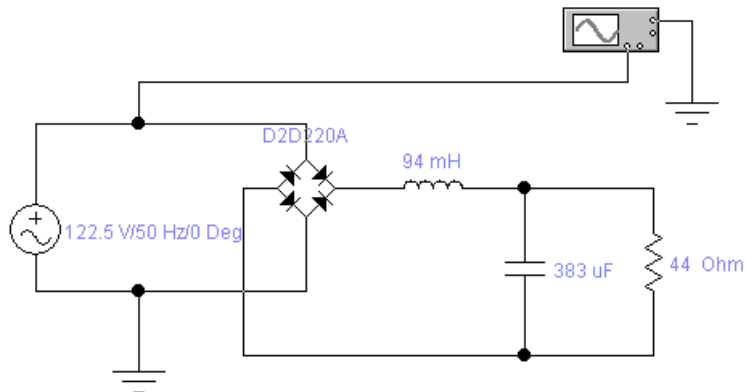
Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора

$$I_{2д} = I_d = 2,5 \text{ А}$$

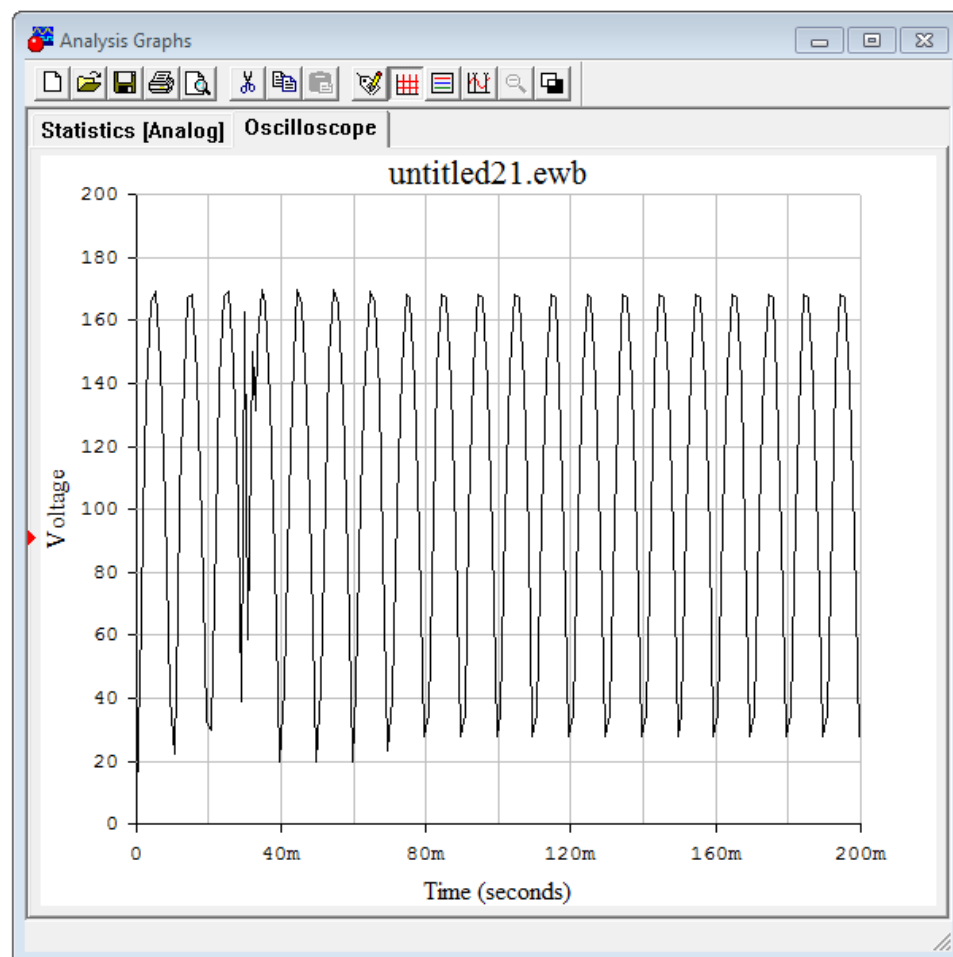
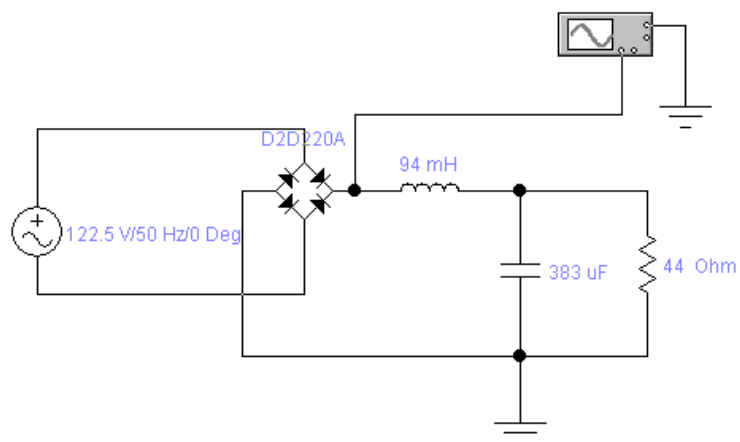
Минимальная требуемая мощность вторичной обмотки трансформатора

$$P_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} P_d = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} 275 = 306,2 \text{ Вт}$$

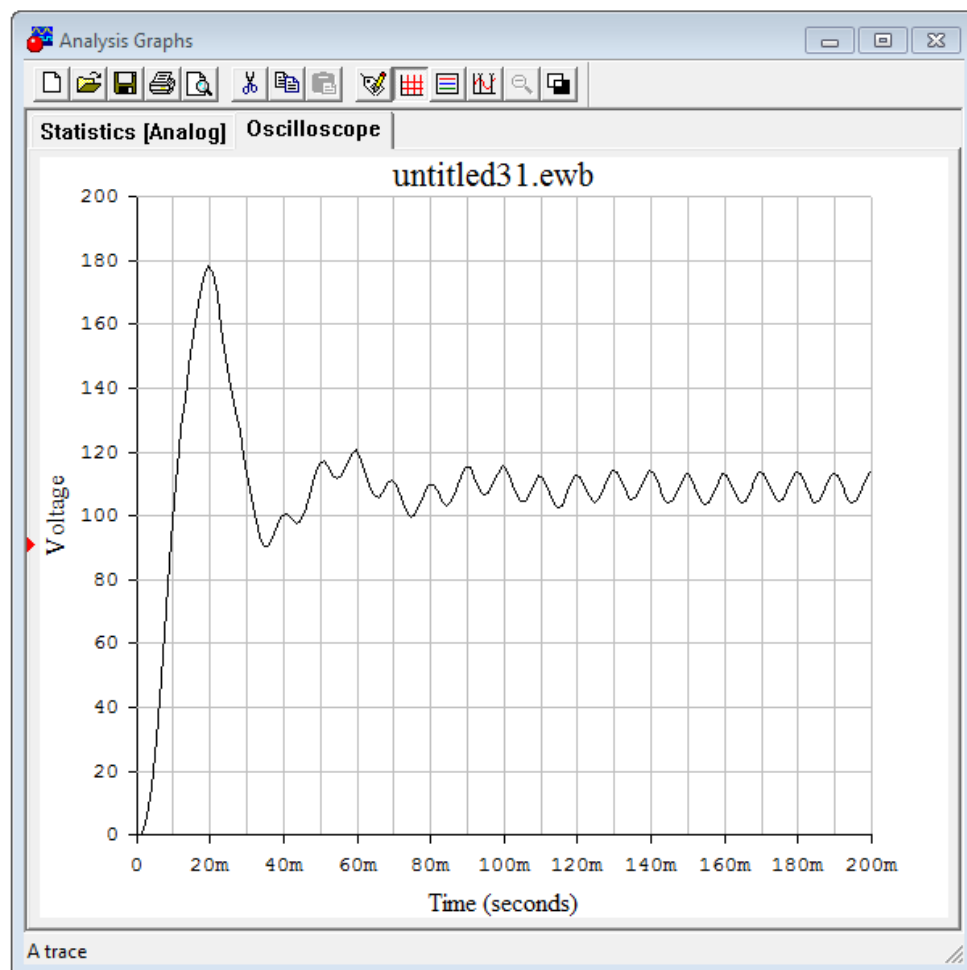
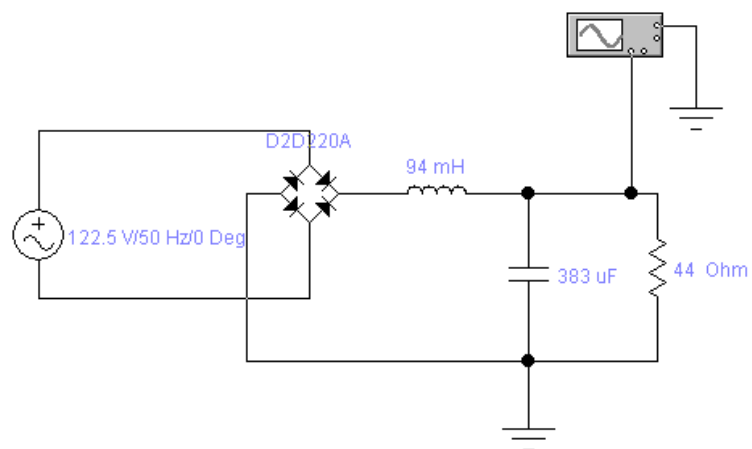
## 5. Моделирование работы выпрямителя в программе EWB



Осциллограмма напряжения на вторичной обмотке трансформатора



**Осциллограмма напряжения после вентильной группы**



**Осциллограмма напряжения на нагрузке**

## Пример 2

Исходные данные для расчета выпрямителя:

- номинальное выпрямленное напряжение на нагрузке  $U_d = 12 \text{ В}$ ;
- ток нагрузки  $I_d = 0,03 \text{ А}$ ;
- допустимый коэффициент пульсаций выходного напряжения на нагрузке  $k_{\Pi} = 0,08$ ;
- номинальное напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора  $U_1 = 220 \text{ В}$ ;
- частота питающей сети  $f = 50 \text{ Гц}$ ;
- количество фаз  $n = 1$ .

## 1. Анализ исходных данных и выбор принципиальной схемы

Определяем выходную мощность и сопротивление нагрузки

$$P_d = U_d I_d = 12 \cdot 0,03 = 0,36 \text{ Вт}$$

$$R_d = \frac{U_d}{I_d} = \frac{12}{0,03} = 400 \text{ Ом}$$

**Однополупериодные выпрямители** применяются в основном с выходной мощностью до 10 Вт и в тех случаях, когда допускается сравнительно высокий коэффициент пульсаций.

**Двухполупериодные выпрямители со средней точкой** применяются при напряжениях нагрузки до нескольких десятков вольт и выходной мощности до 50 Вт.

**Мостовые выпрямители** применяется наиболее часто. Их можно использовать при любом характере нагрузки (емкостная, индуктивная) при выходной мощности до 300 Вт. Из-за повышенного падения напряжения на диодах, в результате чего ее не рекомендуют применять при напряжениях нагрузки менее 5 В

**В нашем случае подходит любая из перечисленных схем. Выбираем схему однополупериодного выпрямителя, как наиболее простую.**



## 2. Выбор выпрямительных диодов

В нашем случае выпрямитель работает на активно-ёмкостную нагрузку. Поэтому выбор выпрямительных диодов производим в два этапа: 1) предварительно выбираем диоды для активной нагрузки; 2) определяем вспомогательные коэффициенты и уточняем предельные параметры выбранных диодов. В расчетах используем табл. 2.

**Важно!** При наличии активно-ёмкостной нагрузки амплитудное и действующее значения тока выпрямительных диодов могут существенно превышать расчетное среднее значение. Поэтому в целях исключения перегрузки выпрямительных диодов на практике для однополупериодного выпрямителя используется повышающий коэффициент 2,2, а для двухполупериодного – 1,1.

Обратное максимальное напряжение

$$U_{\text{обр max}} = \pi U_d = 3,14 \cdot 12 = 37,68 \text{ В}$$

Максимальный средний прямой ток

$$I_{\text{пр ср max}} = 2,2 \pi I_d = 2,2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 = 0,207 \text{ А}$$

По справочнику выбираем диод **Д237Е**, с параметрами

$$U_{\text{обр max}} = 200 \text{ В} \quad I_{\text{пр ср max}} = 0,4 \text{ А} \quad U_{\text{пр max}} = 1 \text{ В}$$

Определяем вспомогательные коэффициенты  $A, F, D, B, H$

На практике для выпрямителей мощностью до 10 Вт выбирают сопротивление трансформатора

$$r_{\text{тр}} = (0,07 \dots 0,1) R_d = 0,1 \cdot 400 = 40 \text{ Ом}$$

Сопротивление диода, включенного в прямом направлении

$$r_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр max}}}{I_{\text{пр ср max}}} = \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ Ом}$$

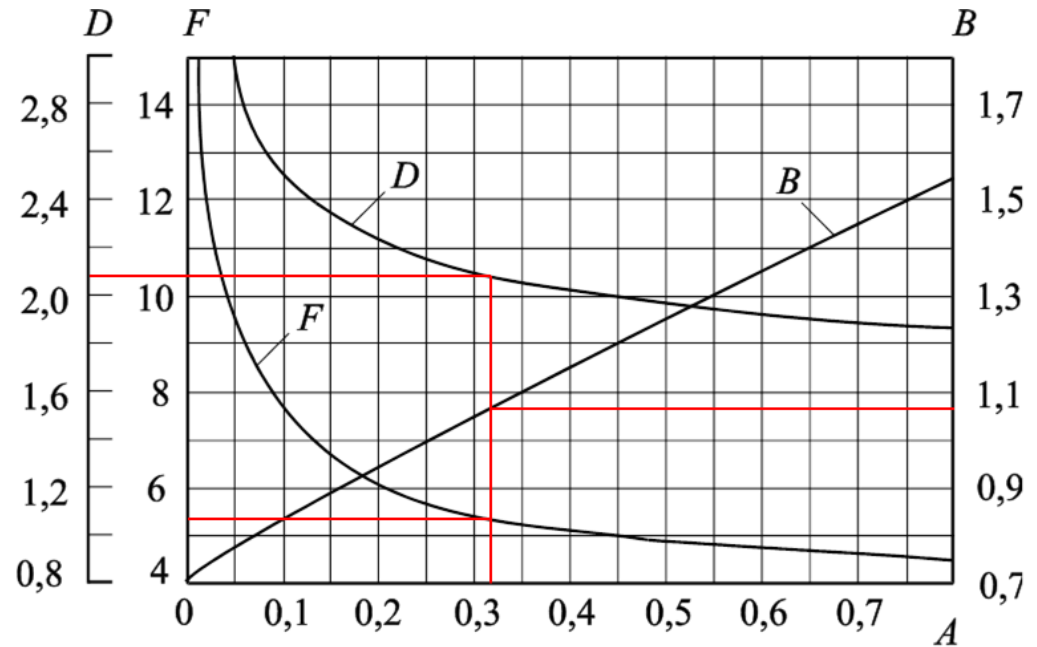
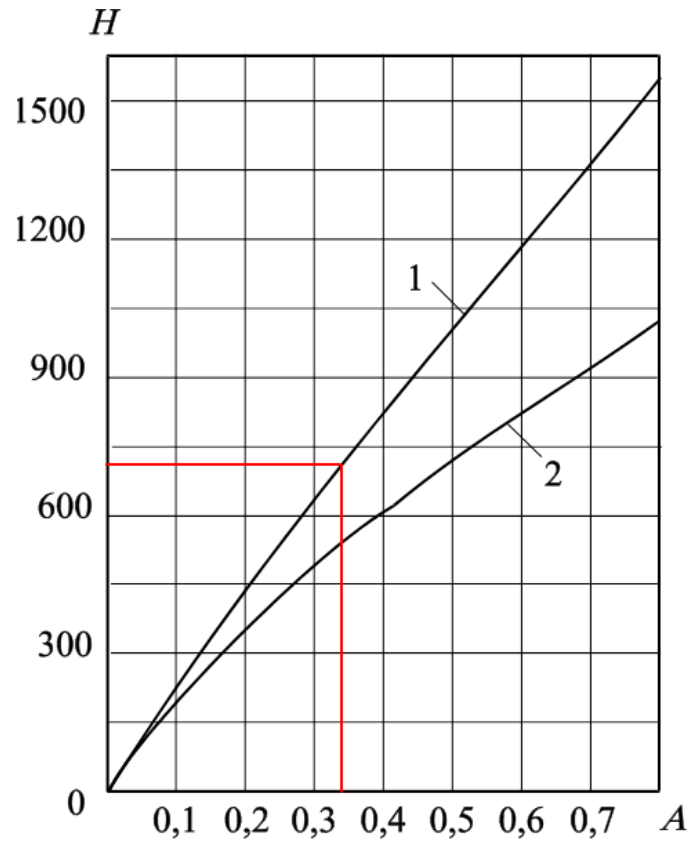
Для однополупериодного выпрямителя с емкостным фильтром (если используется RC-фильтр, учитываем  $R_{\text{ф}}$ )

$$r = r_{\text{тр}} + r_{\text{пр}} = 40 + 2,5 = 42,5 \text{ Ом}$$

Коэффициент  $A$  по выражению для однополупериодного выпрямителя

$$A = \frac{\pi r I_d}{U_d} = \frac{3,14 \cdot 42,5 \cdot 0,03}{12} = 0,33$$

По номограммам определяем коэффициенты  $F, D, B, H$ .



$$A=0,33, \quad F=5,33, \quad D=2,075, \quad B=1,066, \quad H=713$$

Рассчитываем предельные параметры диода с учетом вспомогательных коэффициентов по соотношениям табл. 2 для однополупериодного выпрямителя с активно-емкостной нагрузкой ( $RC$ )

$$U_{\text{обр max}} = 2B\sqrt{2}U_d = 2 \cdot 1,066\sqrt{2} \cdot 12 = 36,07 \text{ В}$$

$$I_{\text{пр ср max}} = 2,2FI_d = 2,2 \cdot 5,33 \cdot 0,03 = 0,35 \text{ А}$$

Значения предельных параметров у диода **Д237Е** превышают рассчитанные, соответственно окончательно выбираем данный диод.

### 3. Расчет параметров сглаживающего фильтра

По заданному коэффициенту пульсации и значению коэффициента  $H$  определяем емкость конденсатора выходного емкостного фильтра, мкФ

$$C = \frac{H}{rk_{\Pi}} = \frac{713}{42,5 \cdot 0,08} = 210 \text{ мкФ}$$

Проводим проверку условия эффективной работы фильтра

$$X_C = \frac{1}{m\omega C} = \frac{1}{1 \cdot 314 \cdot 0,00021} = 15,17 \text{ Ом} \ll R_d = 400 \text{ Ом}$$

#### 4. Расчет параметров трансформатора

Расчет ведем для активно-ёмкостной нагрузки, используя табл. 3,

Действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора

$$U_{2д} = BU_d = 1,066 \cdot 12 = 12,8 \text{ В}$$

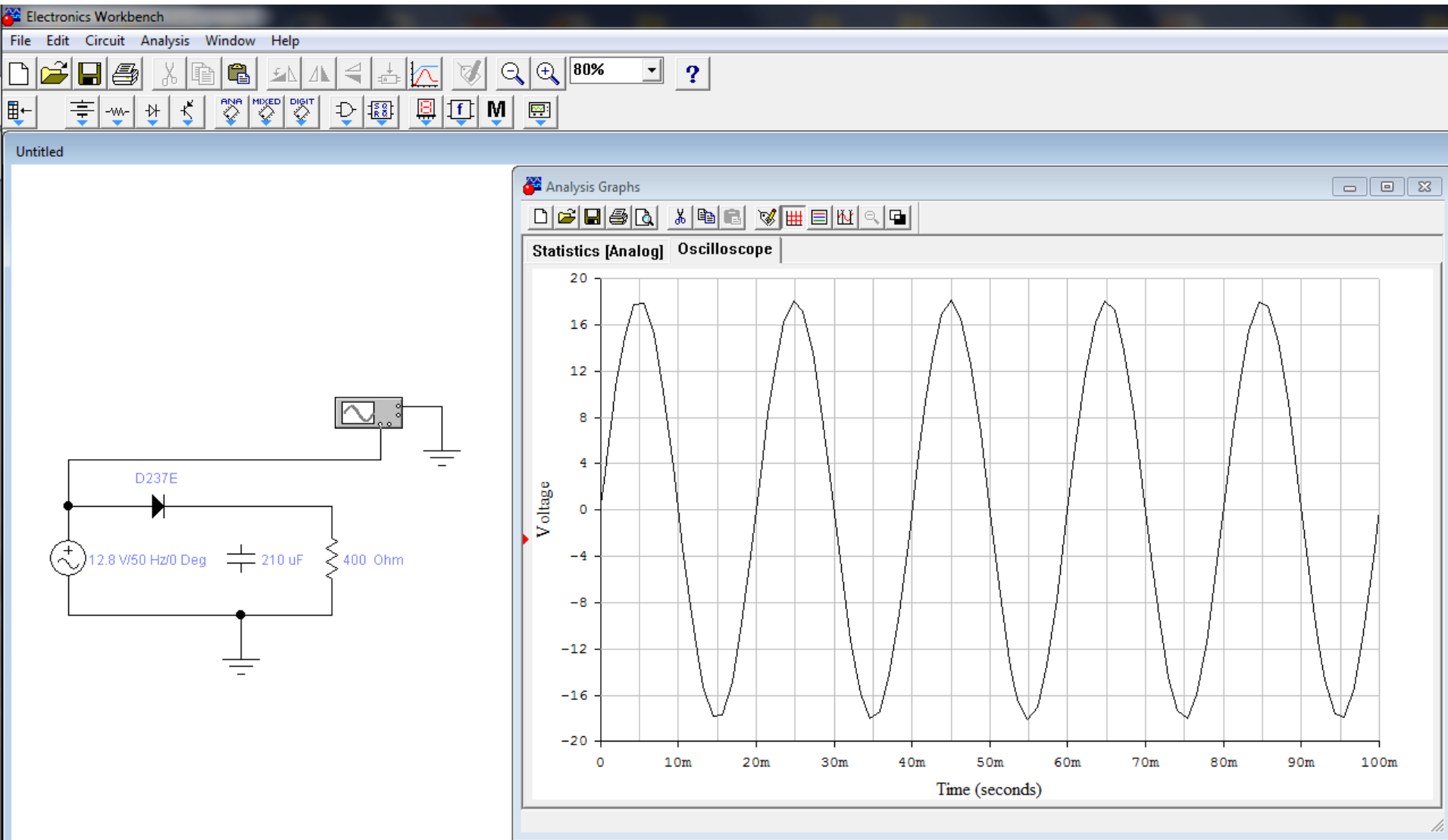
Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора

$$I_{2д} = DI_d = 2,075 \cdot 0,03 = 0,062 \text{ А}$$

Минимальная требуемая мощность вторичной обмотки трансформатора

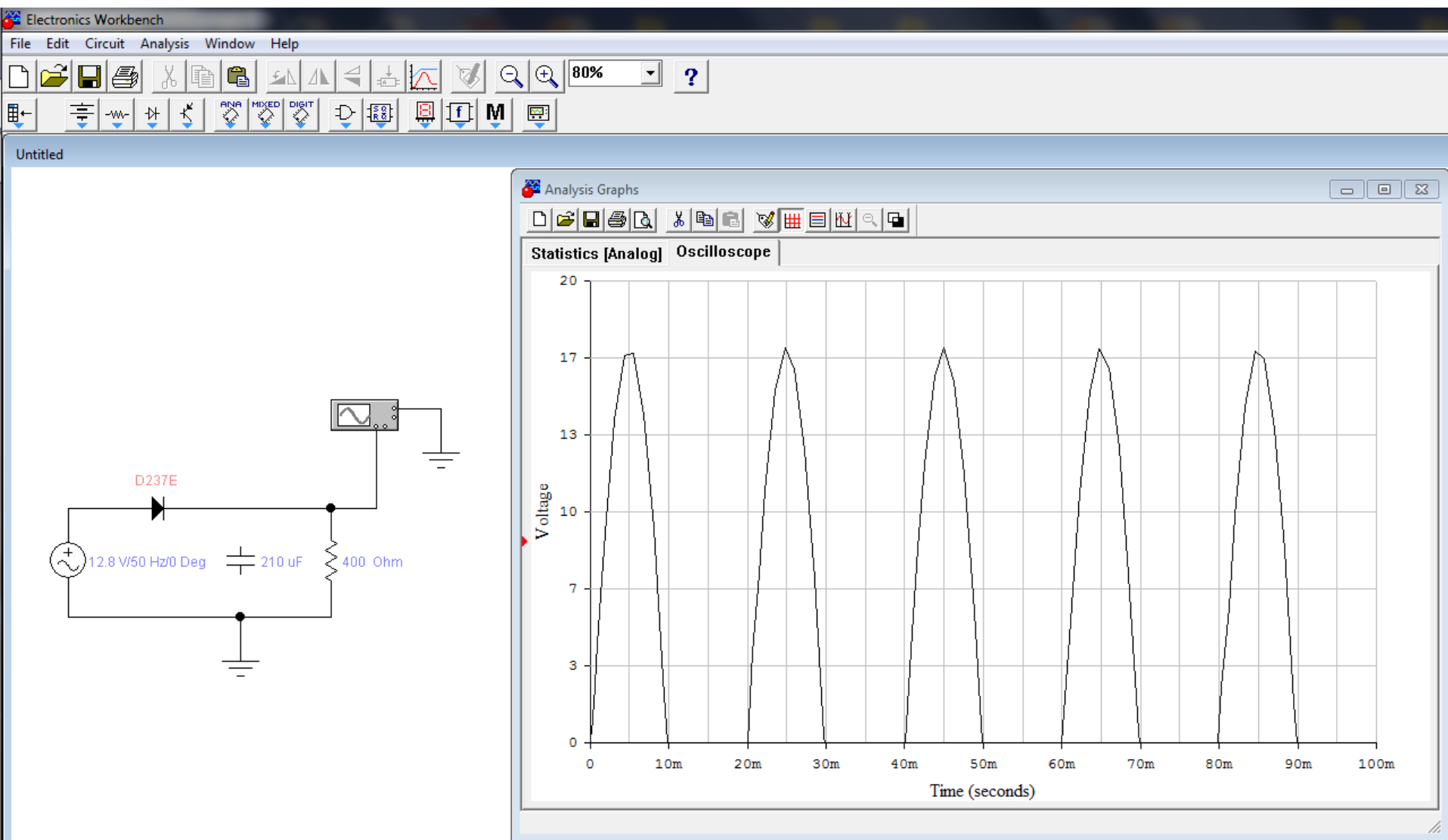
$$P_2 = BDP_d = 1,066 \cdot 2,075 \cdot 0,36 = 0,79 \text{ Вт}$$

## 5. Моделирование работы выпрямителя в программе EWB



Осциллограмма напряжения на вторичной обмотке напряжения





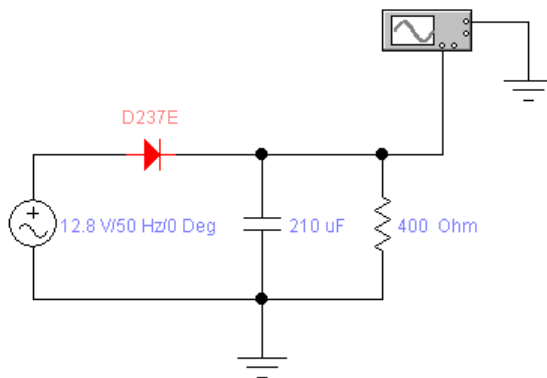
Осциллограмма напряжения после вентильной группы

Electronics Workbench

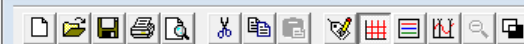
File Edit Circuit Analysis Window Help



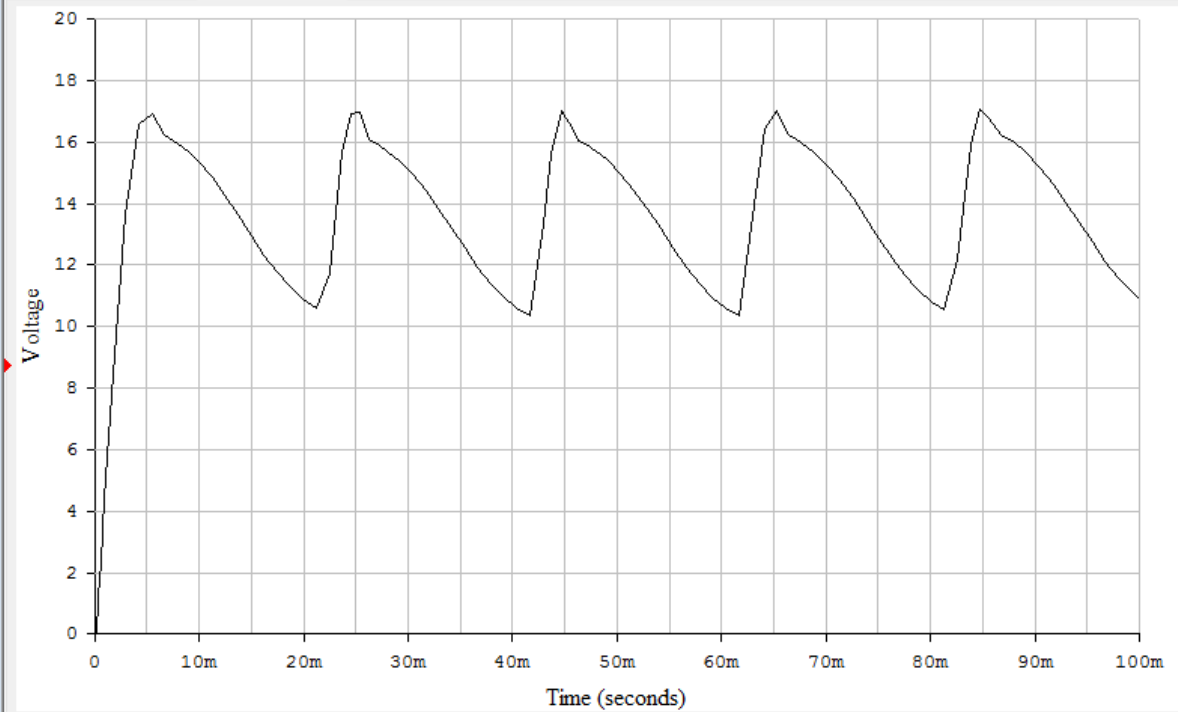
Untitled



Analysis Graphs



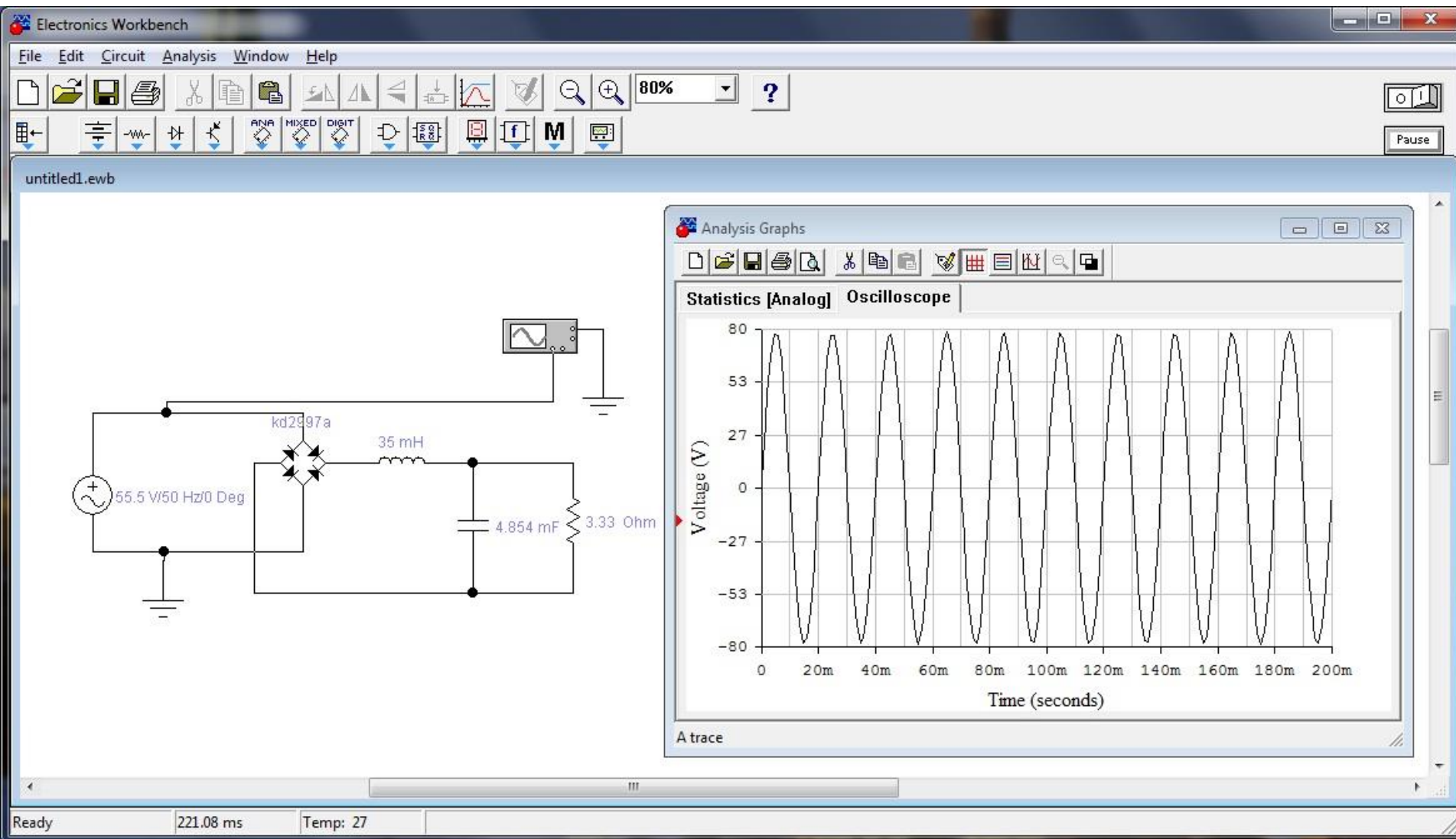
Statistics [Analog] Oscilloscope



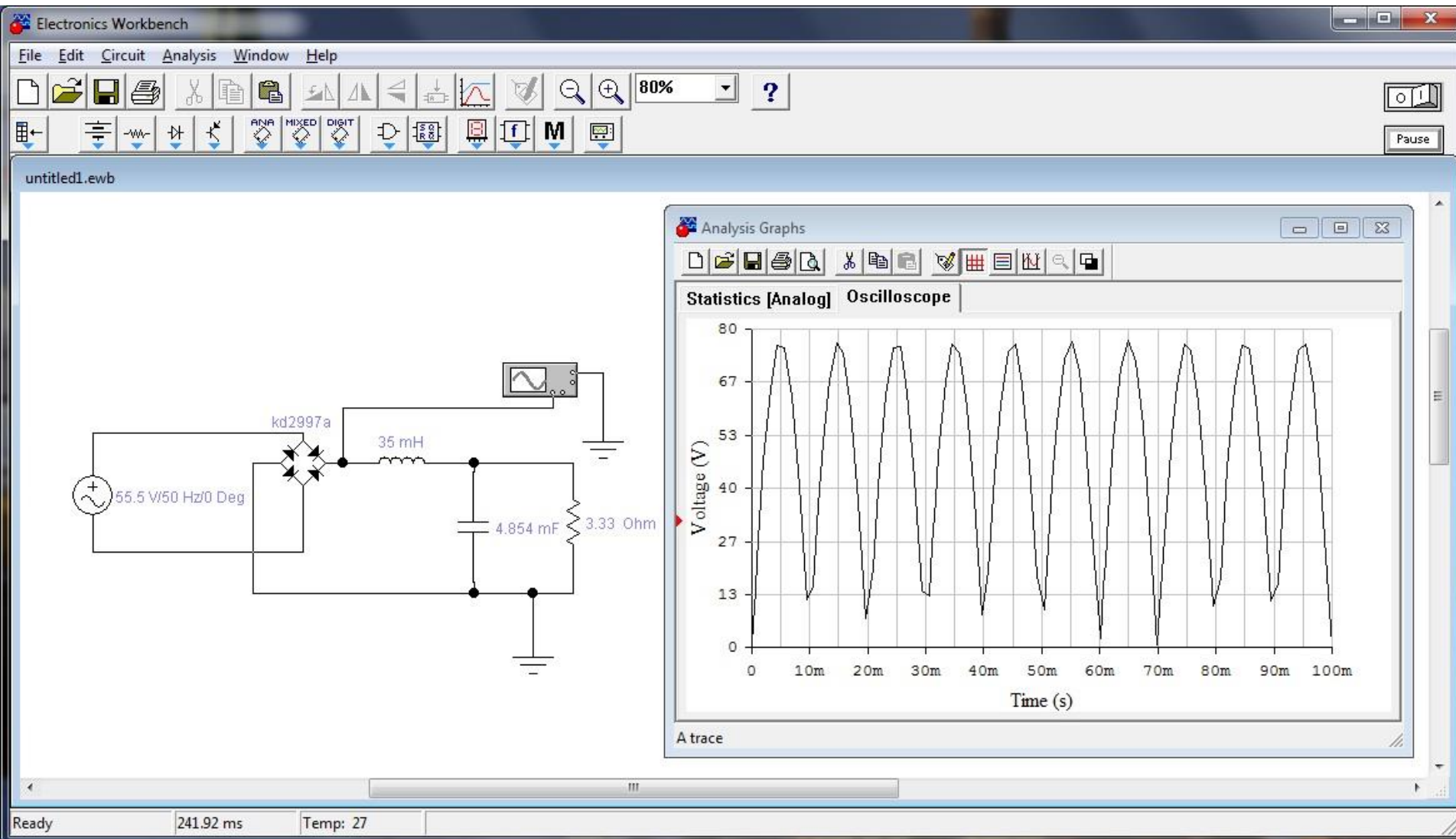
Осциллограмма напряжения на нагрузке

# Примеры моделирования работы выпрямителей в программе EWB

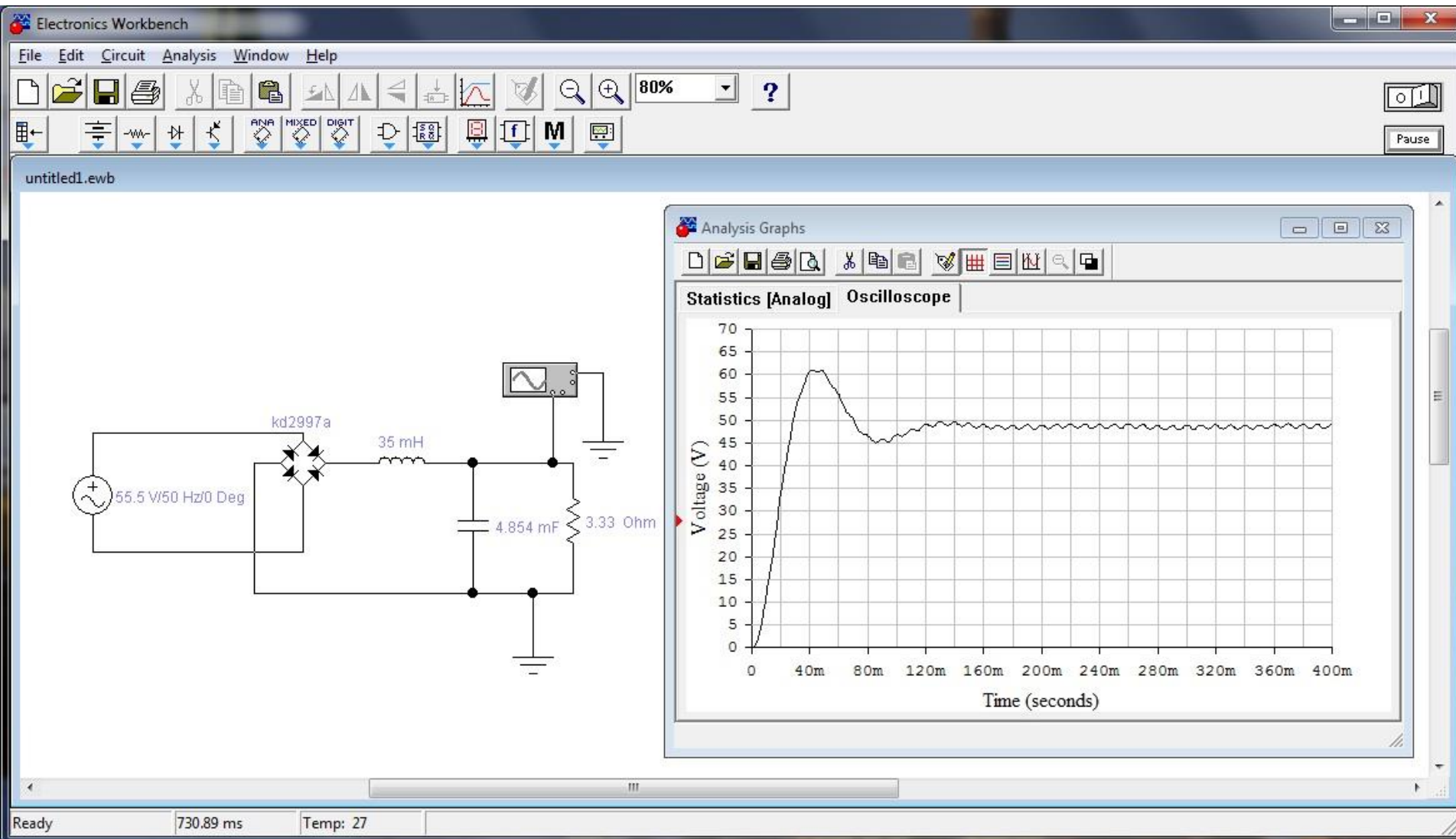
## Мостовая схема выпрямления



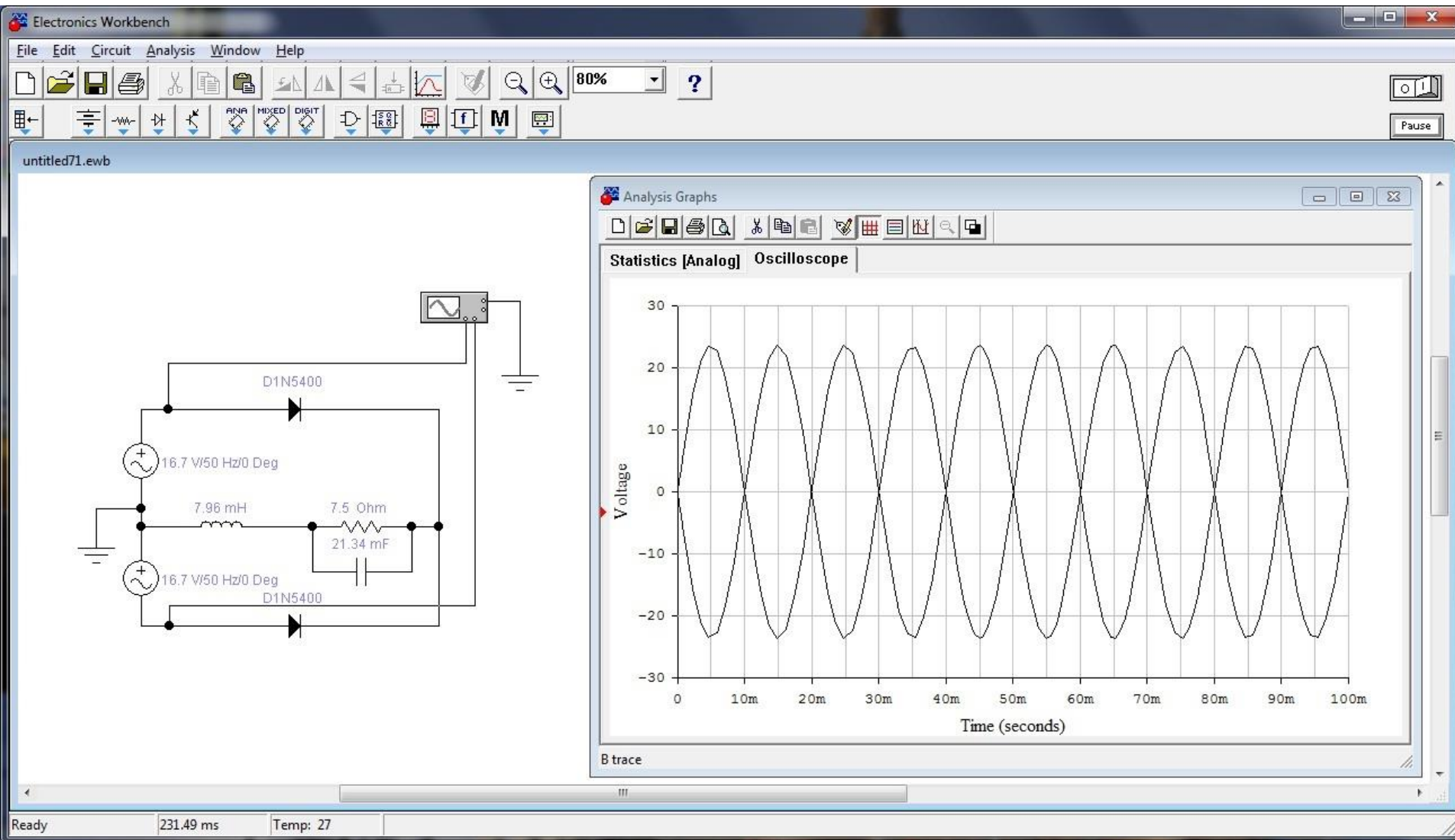
## Мостовая схема выпрямления



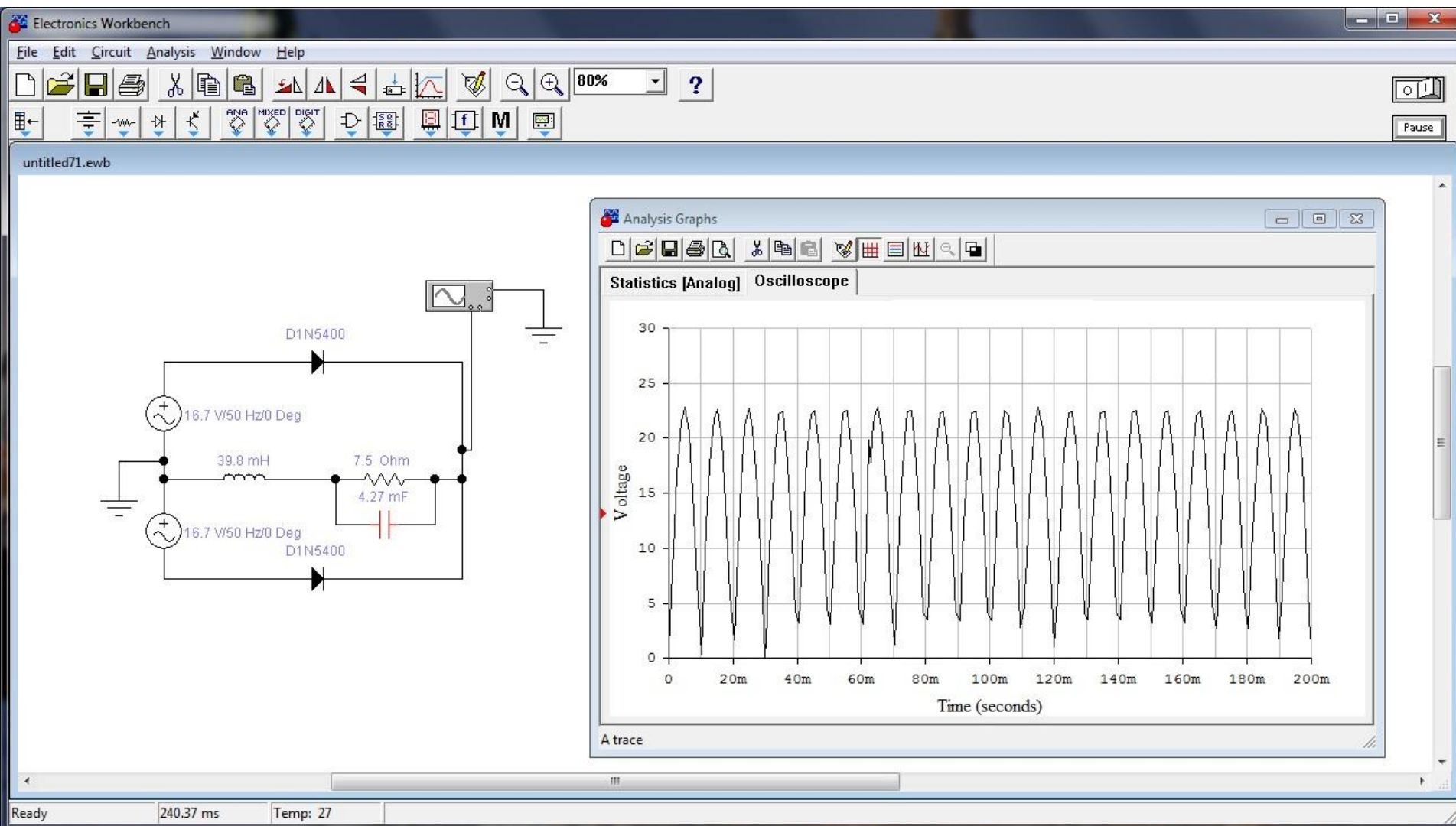
## Мостовая схема выпрямления



## Двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой

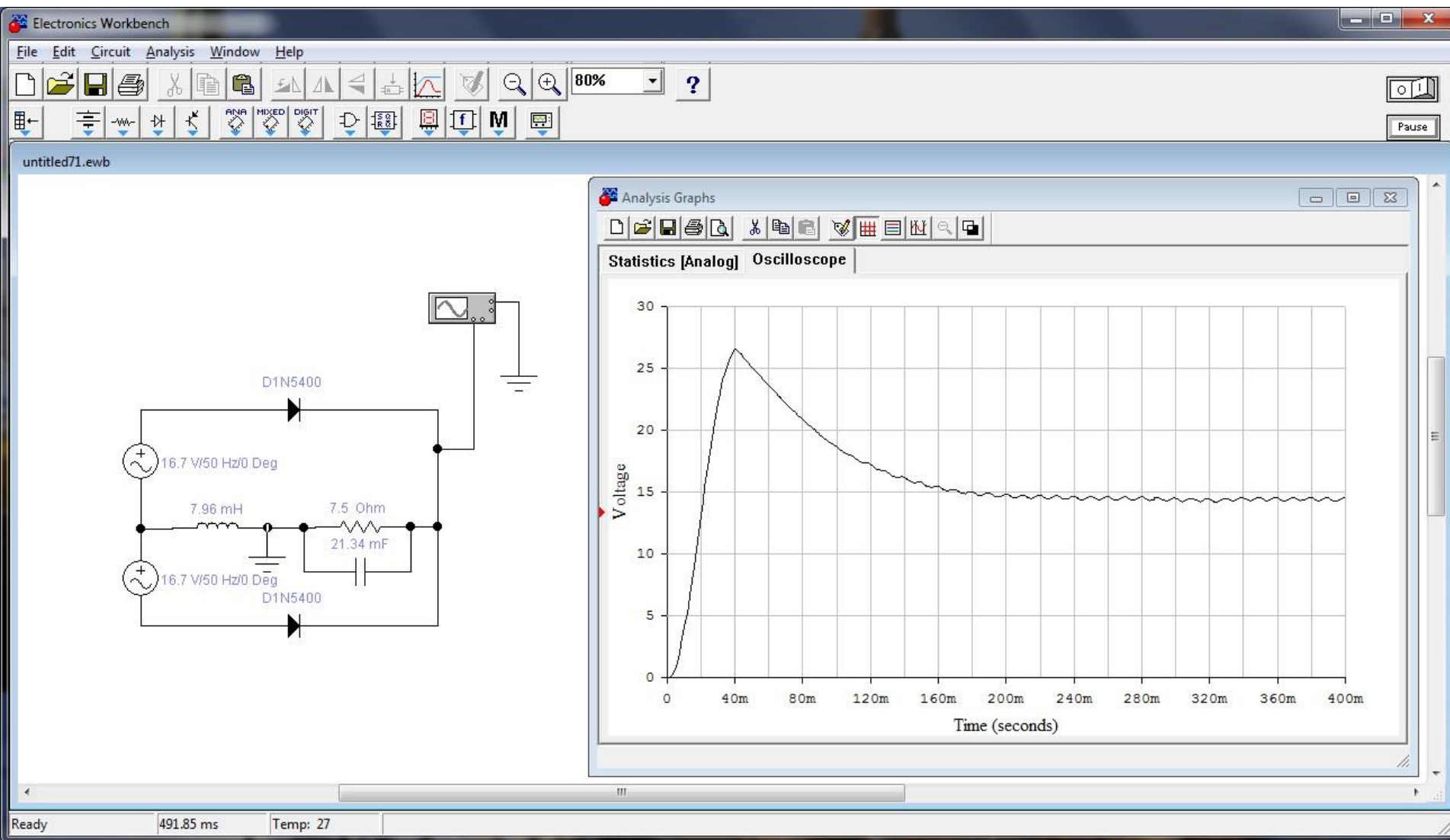


## Двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой





## Двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой





## Требования по оформлению отчета

Отчет по домашнему заданию выполняется в редакторе *MS Word*.

Все расчеты приводятся с соответствующими пояснениями.

Аналитические выражения (формулы) сначала приводятся в символьном виде, затем с численными значениями.

Для выбранного типа выпрямительного диода необходимо привести его полный перечень предельных и номинальных параметров, а также конструкцию его корпуса.

Результаты моделирования в программе *EWB* представлять копией экрана (*Print Screen*), соответствующего размера (для этих целей используем редактор *Paint*). **Обязательно должна быть приведена схема эксперимента.**

Сигнал с осциллографа представлять в виде **графика (*Analysis Graphs*)**, предварительно задав настройки в свойствах.