

7501

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет  
им. В.Ф.Уткина»

**КРЮКОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ И СГЛАЖИВАЮЩИХ  
ФИЛЬТРОВ**

Учебное электронное издание комплексного распространения

Рязань РГРТУ 2023

© Все права защищены

**УДК 621.311.6: 621.396.6**

**ББК 31.264.5**

### **Электропреобразовательные устройства**

Для студентов специальностей 11.03.01 Радиотехника, 11.05.01

Радиоэлектронные системы и комплексы

В ходе работы формируются **компетенции ПК-2:**

Способен реализовать программы экспериментальных исследований, включая выбор технических средств и обработку результатов.

Способен организовывать и проводить экспериментальные исследования с целью оценки качества предоставляемых услуг, соответствия требованиям технических регламентов, международных и национальных стандартов и иных нормативных документов.

Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальные схемы радиоэлектронных устройств с применением современных САПР и пакетов прикладных программ.

## **Литература, использованная автором:**

1. Исследование выпрямителей и сглаживающих фильтров: методические указания к лабораторным работам №1б 2/ Рязан. гос. радиотехн. ун-т, сост.: Н.Г.Кипарисов, В.Н.Сухоруков. Рязань, 2011, 32 с. № 4519
2. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. - Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. - 617 с., ил.
3. Spectrum Software [Электронный ресурс] <http://www.spectrum-soft.com/index.shtm>

**Минимальные системные требования:** Процессор 1,3 GGz, 512 Мб RAM, SVGA (800x600), HDD 3 Gb, просмотрщик документов в формате \*.pdf

Зарегистрировано редакционно-издательским центром РГРТУ  
391005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1 07.03.2023 № 7501 Объем 0,5 Мб.  
Тел. (4912) 72-03-48, Email: [kryukov.a.n@rsreu.ru](mailto:kryukov.a.n@rsreu.ru), <https://www.rsreu.ru>

## Цели:

- разработать модели выпрямителей и сглаживающих фильтров с применением САПР Micro-Cap ;
- реализовать программу экспериментальных исследований;
- исследовать зависимости напряжения на элементах от времени;
- оценить величины пульсаций напряжения;

## Введение

Работа выполняется на компьютере в программе Micro-Cap согласно исходным данным. Исходные данные зависят от:

- $N_{гр}$  — правая цифра номера учебной группы;
- $N_{жур}$  — порядковый номер студента в списке учебной группы у преподавателя (при необходимости уточните).

**Рассчитайте** исходные данные для проектирования:

$K_{пуль} = (N_{гр} + 1) \%$  - коэффициент пульсаций, в процентах;

$U_m = 0,5 (N_{жур} + 5) В$  - амплитуда входного сигнала, в Вольтах;

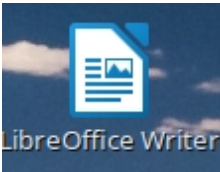
$R_n = (N_{гр} + 1) \times (N_{жур} + 40) Ом$  — сопротивление нагрузки, в Омах;

$C_\Phi = C1 = 1/(2 R_n K_{пуль} f) \Phi$  — ёмкость фильтра, в Фарадах;

$f = 50$  Гц - частота в Герцах;

$L = R_n / 2 K_{пу.л} f$  Гн — индуктивность фильтра в Генри

Модели собираются студентами самостоятельно. Файлы моделей и файл отчёта сохраняются в папке Документы — ЭПУ - «лр1группафамилия» (маленькими английскими буквами, например lr1978iwanow) и загружаются в СДО для проверки. Допускается оформление 1 отчёта на бригаду на бумаге и сдача для проверки преподавателю во время выполнения лабораторной работы.

Создайте в папке «лр1группафамилия» **заготовку файла отчёта** «лр1группафамилия.docx», для чего щёлкните по значку . Откроется LibreOffice Writer. Сохраните файл, открыв меню «Файл» - «Сохранить как» и выбрав «лр1группафамилия.doc».

Отчёт по лабораторной работе содержит титульный лист, цели, принципиальные схемы (обозначения элементов должны читаться), параметры элементов и анализа, полученные графики, таблицы, расчёты, выводы.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ЕМКОСТНЫМ ФИЛЬТРОМ

1. Соберите в MicroCap схему лабораторной установки согласно рис.1.

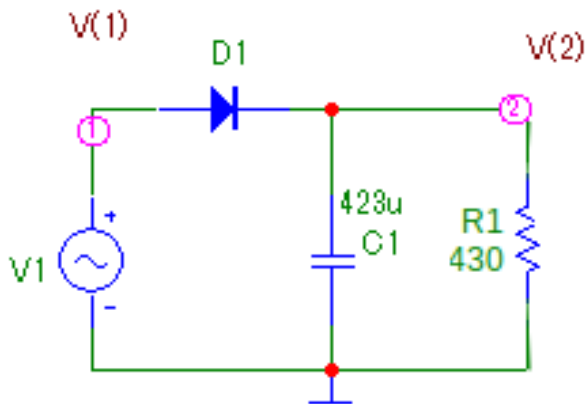


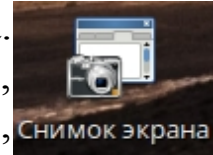
Рисунок 1. Схема лабораторной установки. Условные обозначения могут отличаться от приведенных. Здесь:

$V1 = U_m$  генератор синусоидального напряжения с амплитудой согласно исходным данным, частотой  $f = 50$  Гц, с внутренним сопротивлением  $R_s = 0,001$  Ом = 1m, начальной фазой  $\varphi_H=0$  радиан;

D1 - выпрямительный диод с параметрами по-умолчанию;  
C1 = C<sub>ф</sub> - ёмкость нагрузки согласно варианта задания;  
R1 = R<sub>н</sub> - сопротивление нагрузки согласно варианта задания.

## 2. Сохраняйте рисунки, используя снимки экрана.

Для этого щёлкните по значку «Снимок экрана», выберите пункт меню «Выбрать область захвата», обведите нужный рисунок, нажмите «Сделать снимок экрана», потом - «Копировать в буфер обмена». Откройте в LibreOffice Writer файл «лр1группафамилия.docx», вставьте на место рисунок и правой кнопкой мыши нажмите «вставить».



В процессе вёрстки файла отчёта целесообразно сделать видимыми невидимые символы



### 3. Задайте параметры элементов.

Окно задания источников синусоидального сигнала приведено на рис. 2, а окно задания параметров генератора - на рис. 3

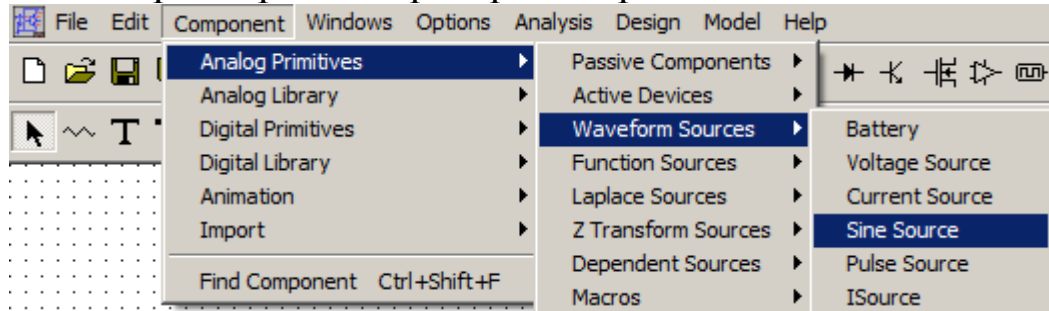


Рисунок 2. Окно источников синусоидального сигнала

Для изменения параметров генератора нужно щёлкнуть по нему, откроется окно задания параметров генератора. Изменив значение амплитуды **согласно задания**, необходимо нажать кнопку «ОК».

**Если не выставить  $R_P=0$ , временные диаграммы могут быть искажёнными!**

**Сохраняйте в отчёте параметры элементов (окна или последовательности открытия папок, обозначения и их величины)**



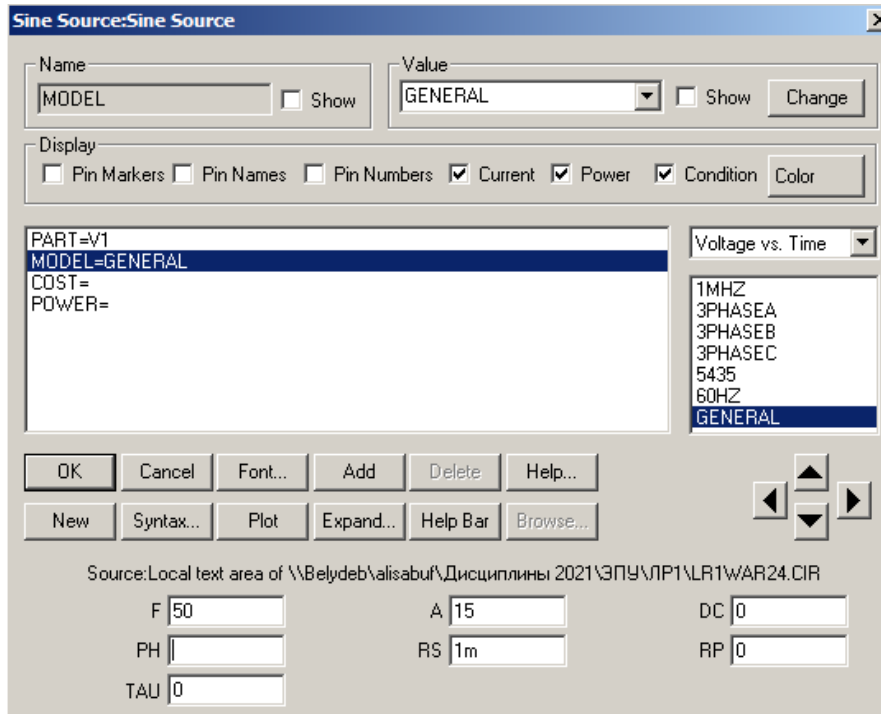


Рисунок 3. Окно задания параметров генератора. Здесь  $V1 = U_m = A = 15 \text{ В}$ ,  $f = F = 50 \text{ Гц}$ ,  $R_s = R_S = 0,001 \text{ Ом}$ ,  $PH = 0 \text{ радиан}$   
Задайте рассчитанные параметры для вашего варианта.

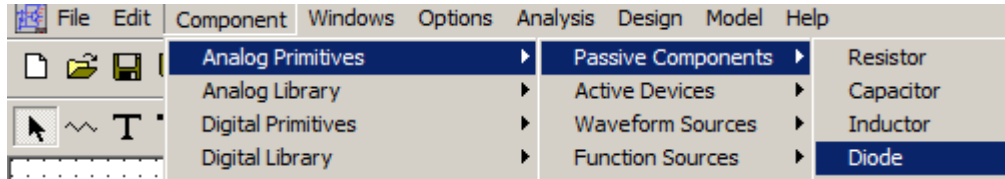


Рисунок 4. Окно источников диодов  
Выбираем стандартную модель - \$GENERIC

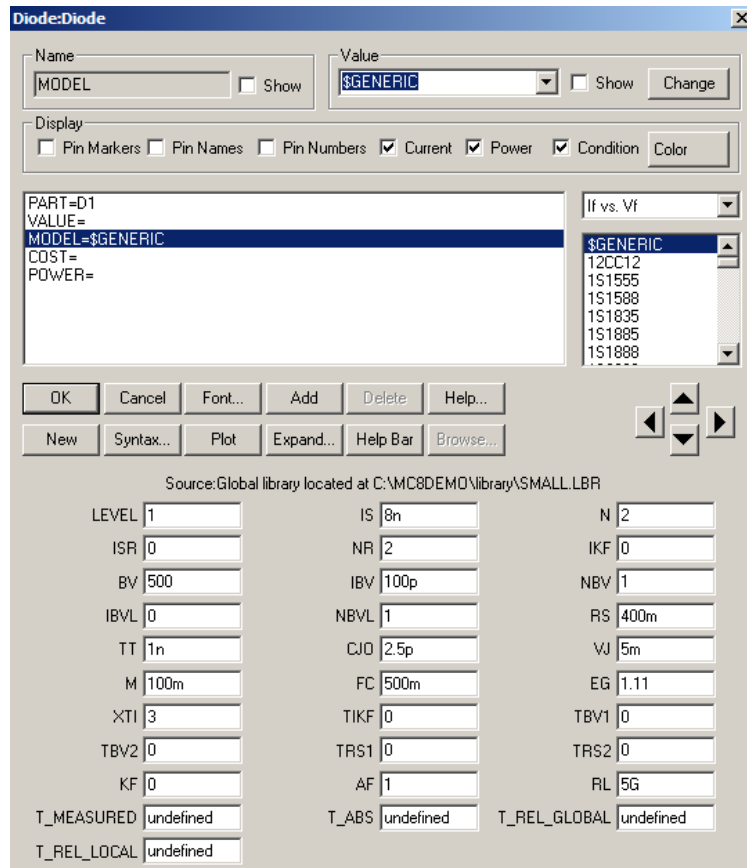


Рисунок 5. Окно задания параметров диода

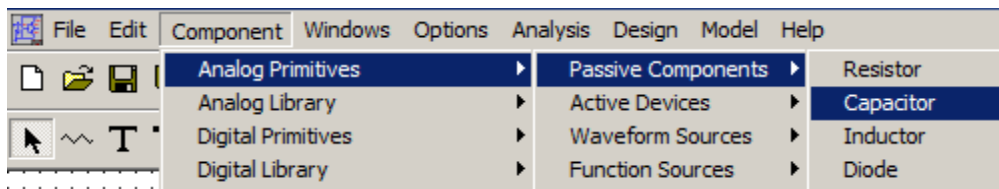


Рисунок 6. Окно источников конденсаторов

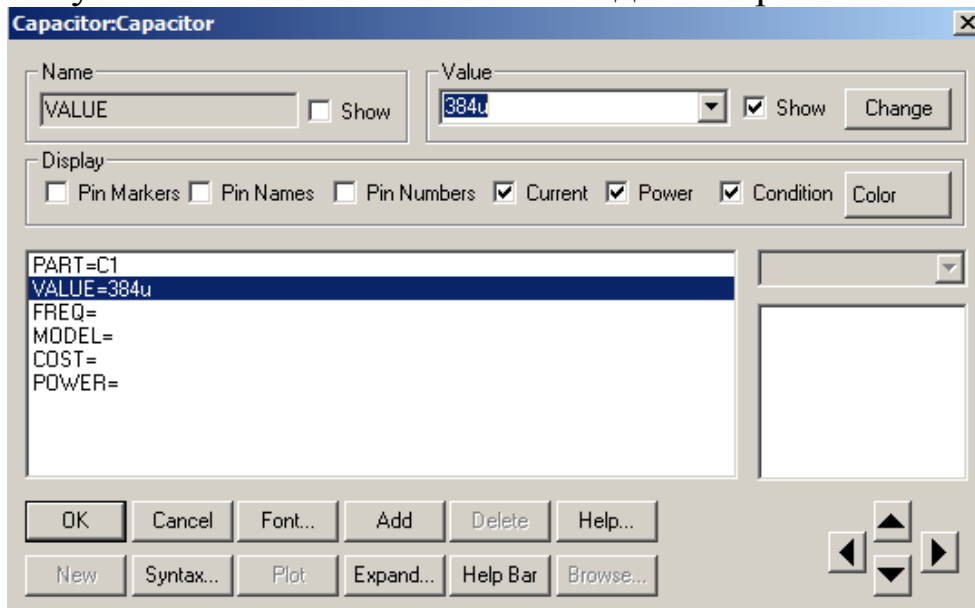


Рисунок 7. Окно задания ёмкости конденсатора (здесь Value=384 мкФ)

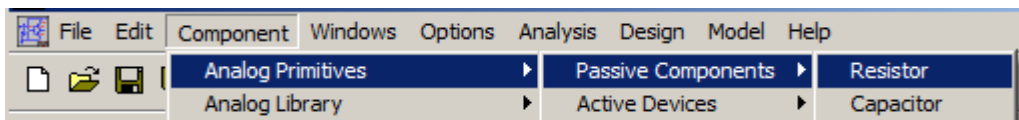


Рисунок 8. Окно источников резисторов

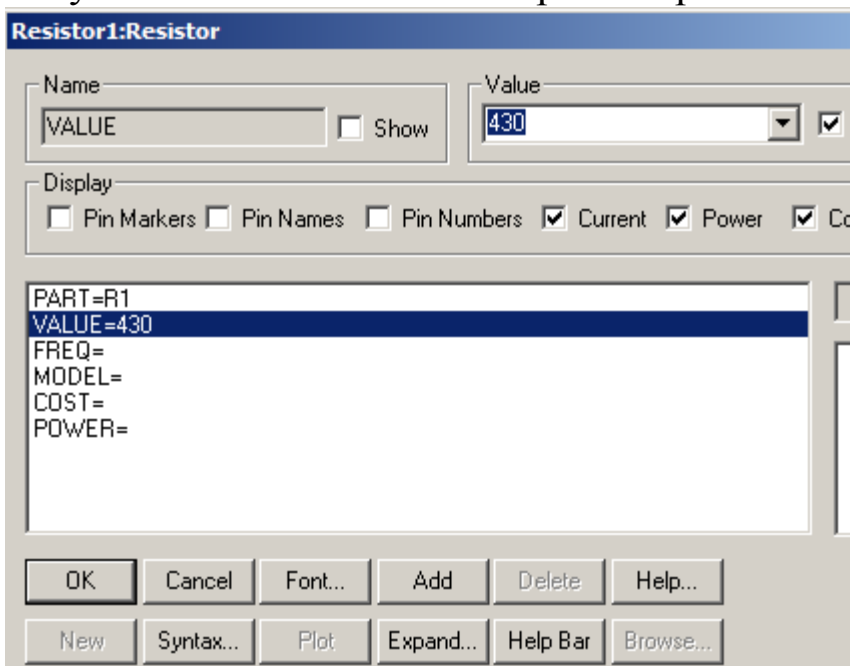





Рисунок 9. Окно задания сопротивления (здесь Value=430 Ом) .

4. Соедините линиями элементы схемы, подключите элемент «Заземление». Щёлкнув по кнопке , убедитесь в том, что нумерация узлов   соответствует схеме. Сохраните файл модели lr1978ivanov1.cir в папке «лр1группафамилия».

5. Установите параметры анализа, для чего откройте панель «Analysis» - «Transient». как на рис. 10. Нажмите клавишу «Run».

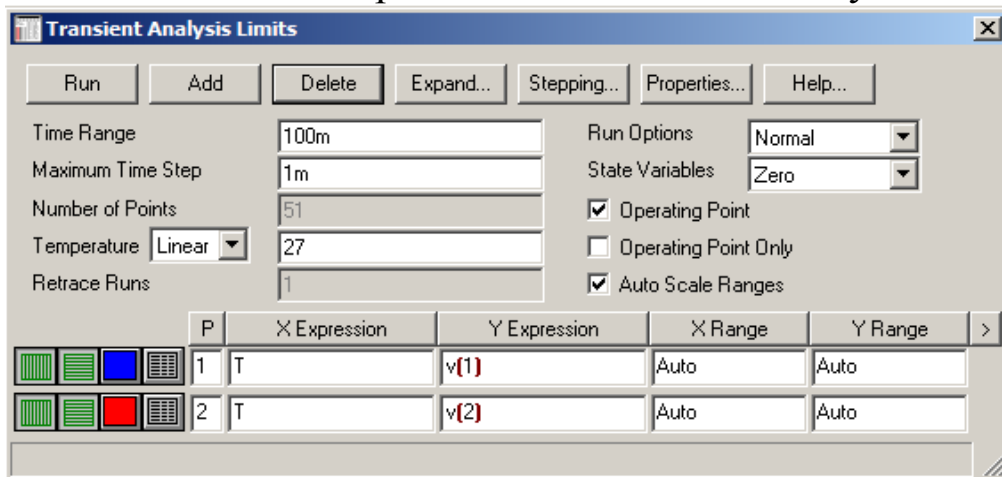


Рисунок 10. Задание параметров анализа

Сохраните значения параметров анализа (рисунок или обозначения)

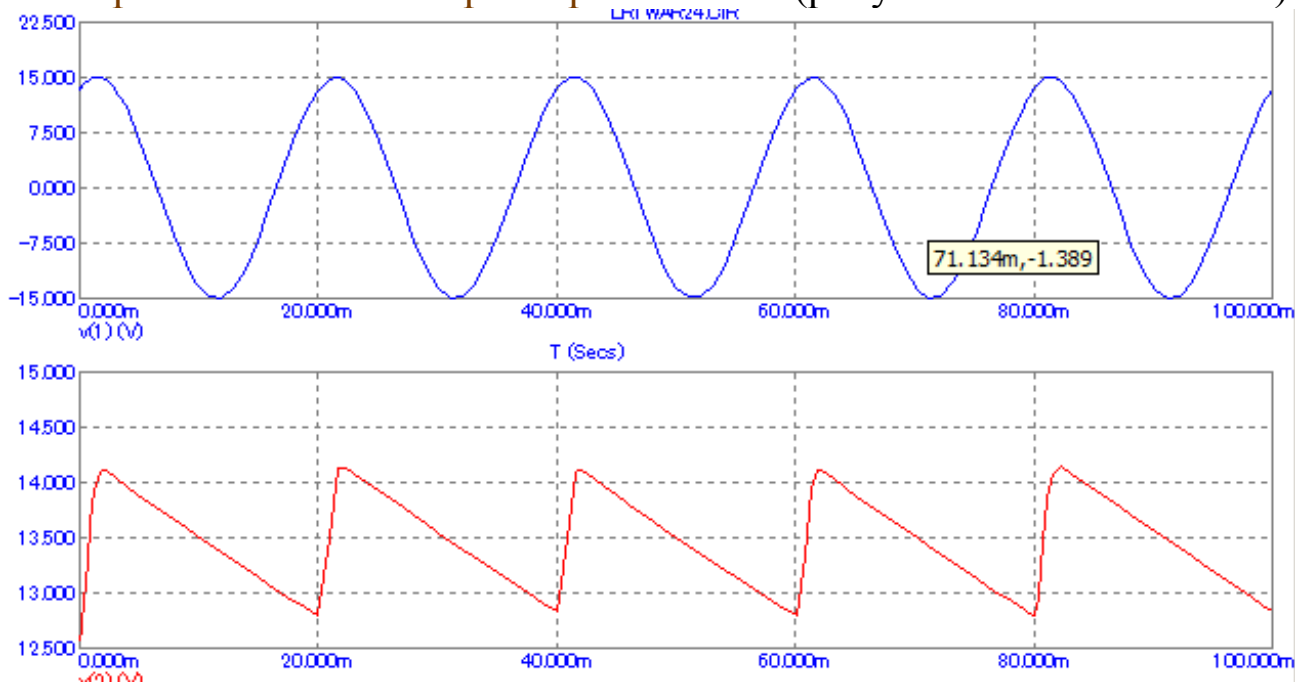


Рисунок 11. Графики напряжения генератора и напряжения на нагрузке

Сохраните графики напряжений.

6. Определите величины пульсаций, для чего увеличьте время анализа, например, как на рис. 12, нажмите клавишу «Run».

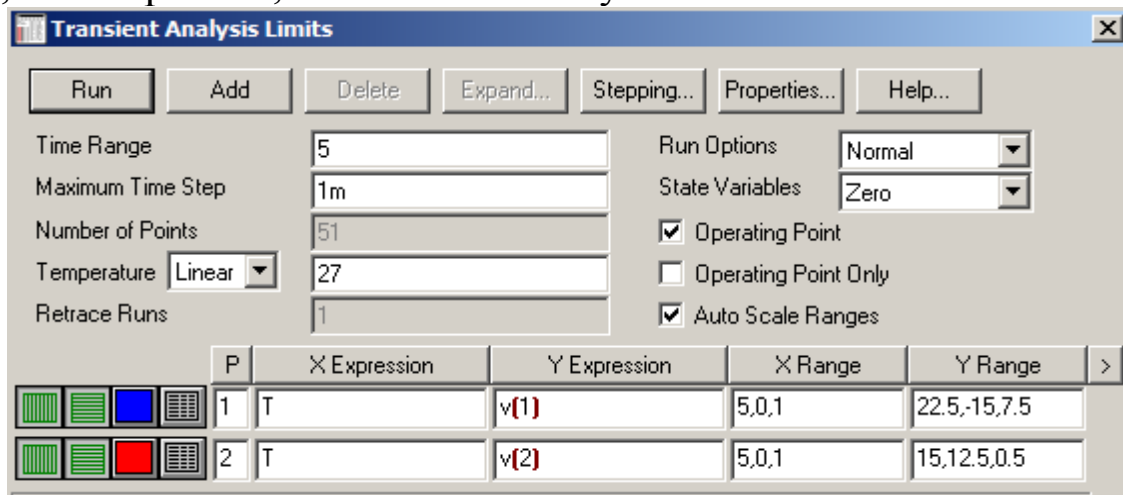


Рисунок 12. Время анализа увеличено

При необходимости **измените время анализа** для получения графиков, похожих на рис. 13, 15. **Графики также сохраняйте** в файле отчёта.



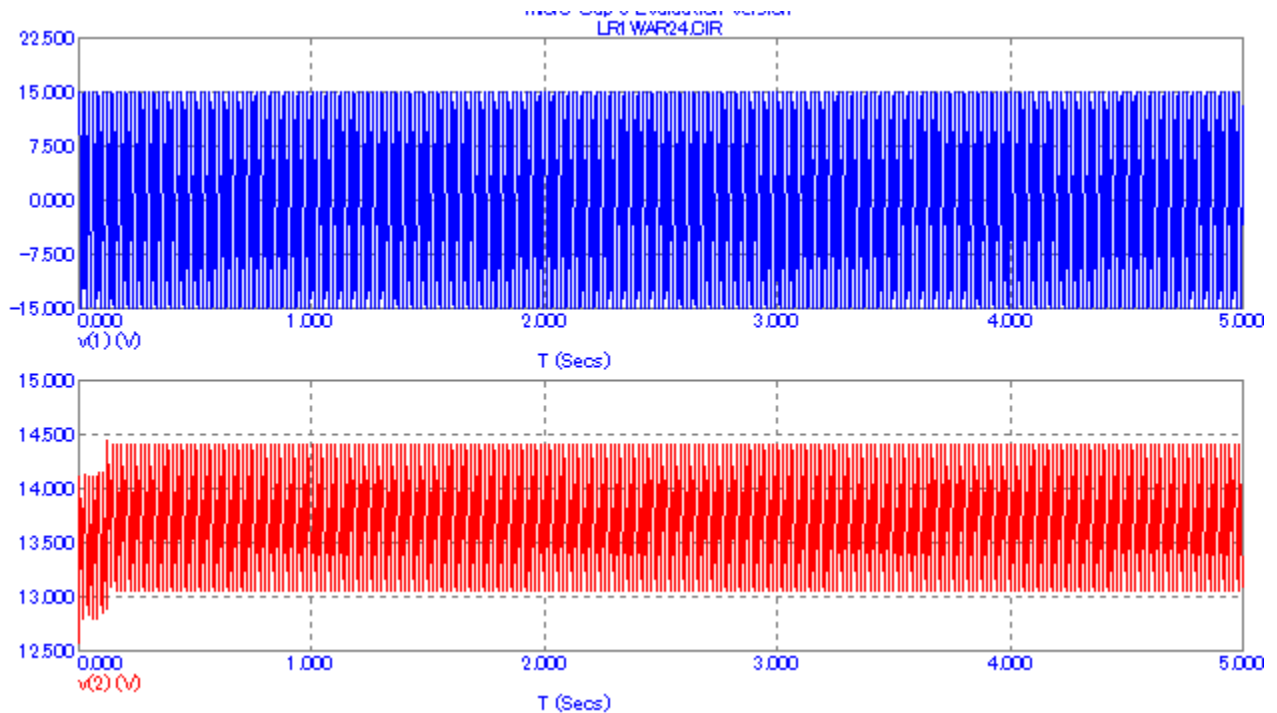


Рисунок 13. Графики напряжения генератора и напряжения на нагрузке для оценки величины пульсаций

7. Определите время окончания переходного процесса  $T_{пер}$ , для этого измените время анализа.

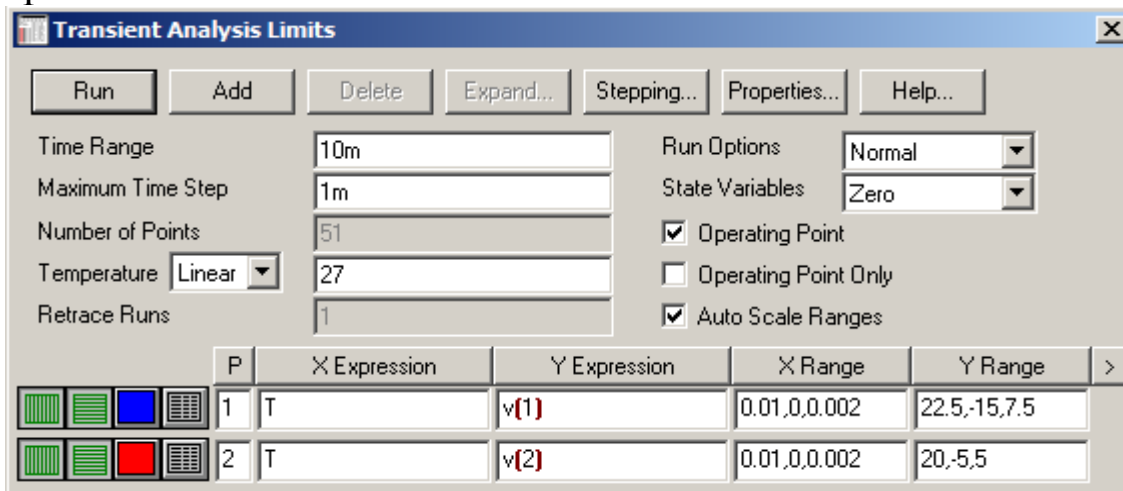


Рисунок 14. Время анализа изменено.

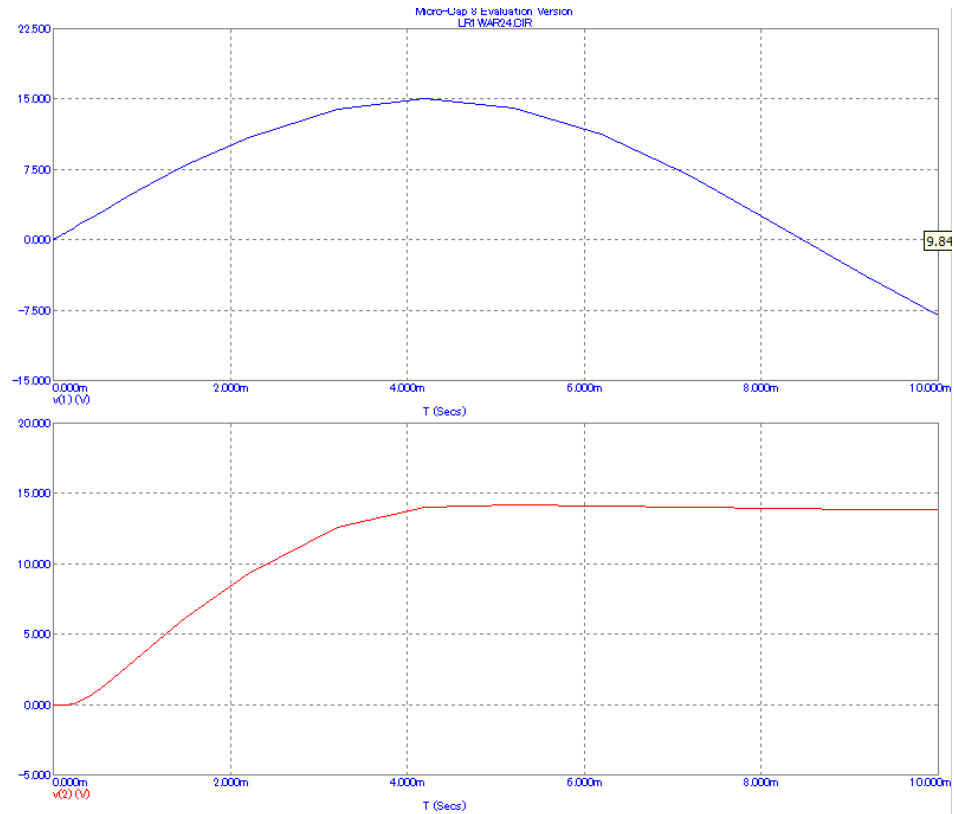


Рисунок 15. График напряжения генератора и напряжения на нагрузке для оценки времени переходного процесса.

8. Определите  $U_{обр}$  - максимальное напряжение на диоде между точками 1 и 2. Для этого нажмите клавишу «Add» и добавьте в анализ разницу напряжений между точками 1 и 2  $v(2)-v(1)$ , как показано на рис. 16. Нажмите клавишу «Run».

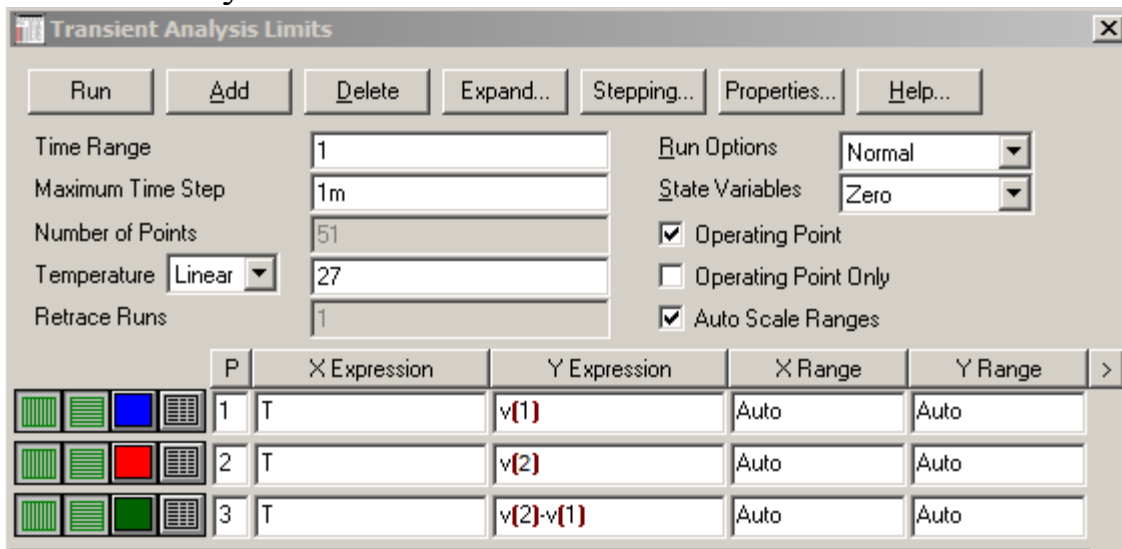


Рисунок 16. Добавление анализируемого параметра

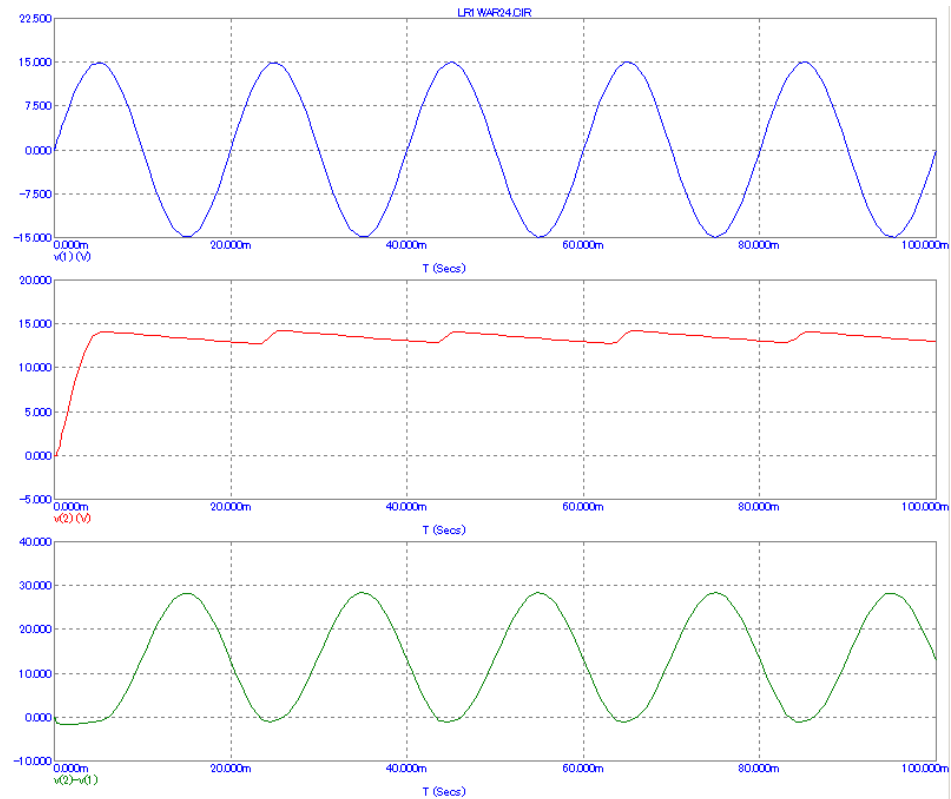


Рисунок 17. Графики напряжения генератора, напряжения на нагрузки и напряжения на диоде. Здесь  $U_{обр} = 30 \text{ В}$ .

9. По графикам **определите и запишите:**

$U_{\max}$  - максимальное напряжение на нагрузке. На рис. 13  $U_{\max} = 14,4\text{В}$ ;

$U_{\min}$  - минимальное напряжение на нагрузке. На рис. 13  $U_{\min} = 13,1\text{ В}$ ;

$U_m = V_1 = A$  - амплитуду напряжения генератора. На рис. 13  $U_m = 15\text{ В}$ ;

$U_n$  - среднее значение напряжения на нагрузке. На рис. 13  $U_n = 13,75\text{ В}$

$T_{\text{пер}} = 3\tau_1$  - время окончания процесса заряда конденсатора (напряжение достигло  $0,95 U_{\max}$  ). На рис. 15  $T_{\text{пер}} = 4,5\text{м} = 4,5\text{ мс}$ .

**Рассчитайте** коэффициент пульсаций

$$K_{\text{пуль}}\% = ((U_{\max} - U_{\min}) / (2 * U_n)) * 100\%$$

На графике рис. 13  $K_{\text{пуль}}\% = (1,3 : 27,5) * 100\% = 4,7\%$

**Рассчитайте** постоянную времени сглаживающего фильтра по формуле  $\tau_1 = RC$

В рассматриваемом примере  $\tau_1 = RC = 430\text{ Ом} * 384\text{ мкФ} = 0,165\text{ с}$ .

**Сравните** значения  $T_{\text{пер}}$ , полученное по графику, и  $3\tau_1$  из расчёта.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ИНДУКТИВНЫМ ФИЛЬТРОМ

10. **Соберите схему** лабораторной установки согласно рис. 18.

Используйте окна задания источников элементов, как на рис. 2 — 9.

**Задайте рассчитанные параметры для вашего варианта.**

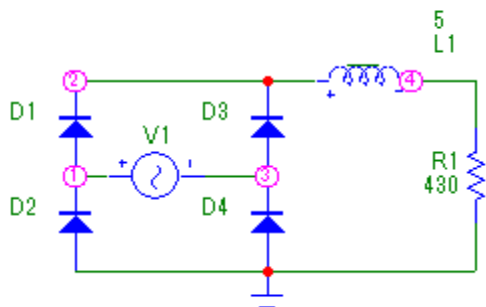


Рисунок 18. Схема однофазного мостового выпрямителя с индуктивным L-фильтром.

Щёлкнув на кнопке , **убедитесь** в том, что нумерация узлов 1 2 соответствует схеме.

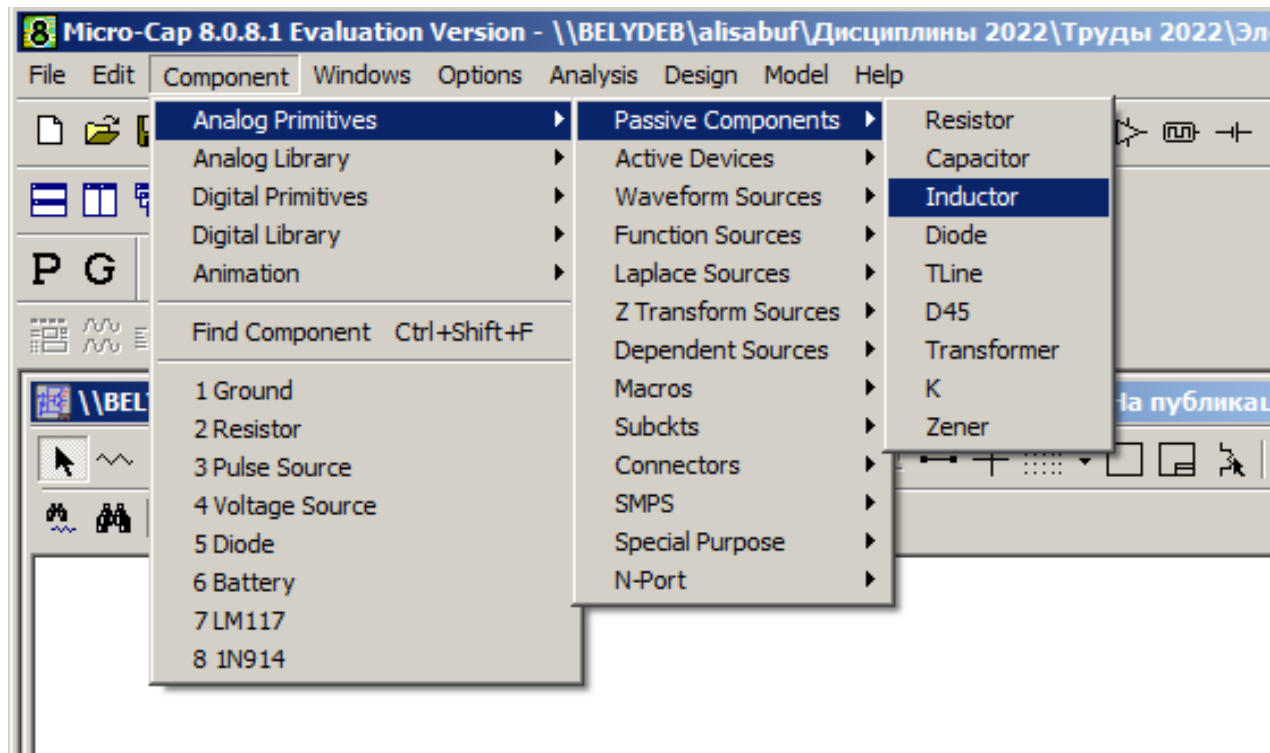


Рисунок 19. Добавление компонента «индуктивность»



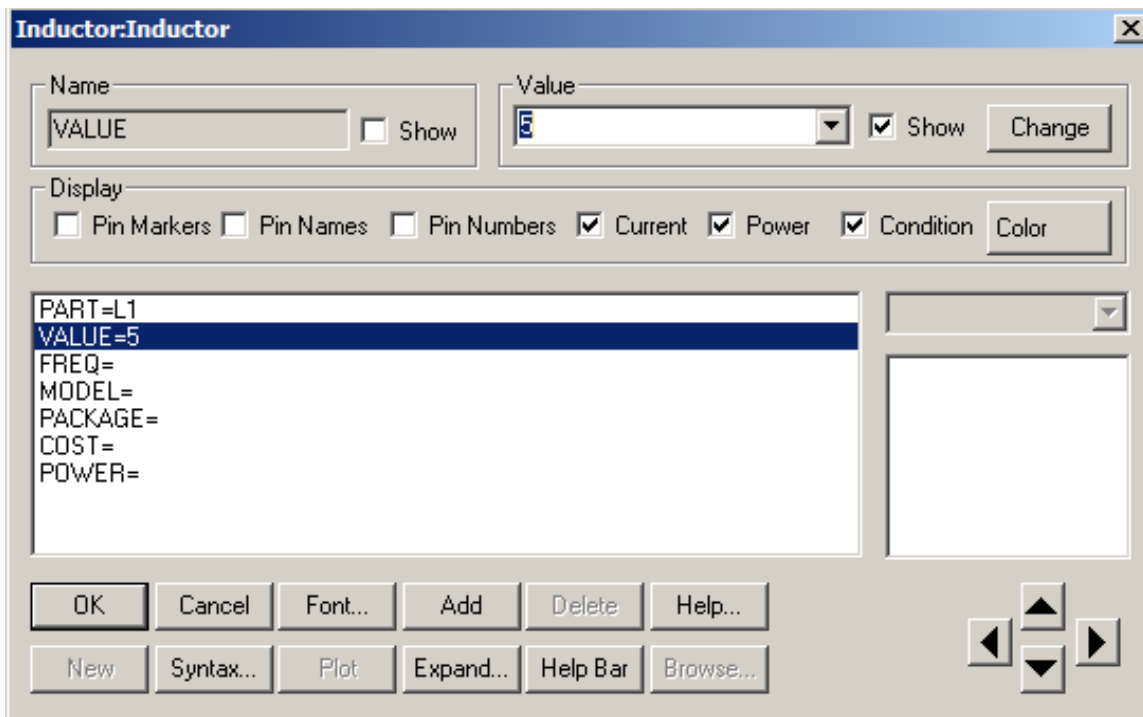


Рисунок 20. Задание величины индуктивности  $L = 5$  Гн.

Задайте величину индуктивности для вашего варианта. Сохраните файл модели lr1978ivanov2.cir.

## 11. Задайте параметры анализа.

Откройте панель «Analysis» - «Transient». Установите **параметры анализа**, как на рис. 20. Нажмите клавишу «Run».

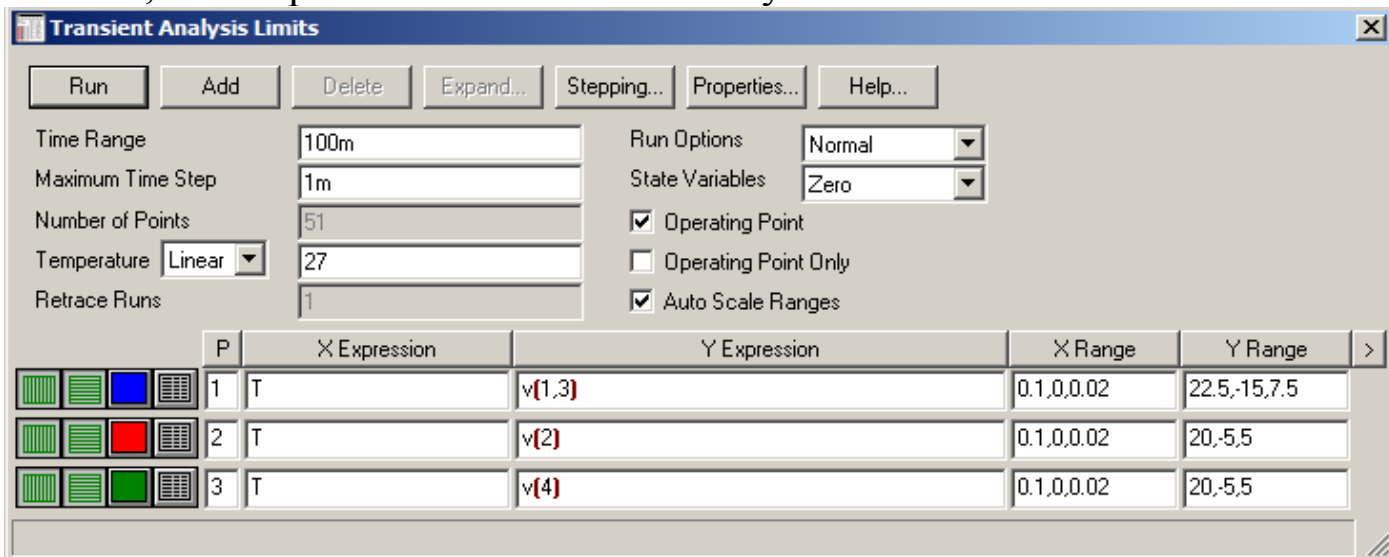


Рисунок 21. Задание параметров анализа.

**Сохраните параметры анализа.** Если в результате анализа графики не читаются — измените параметры

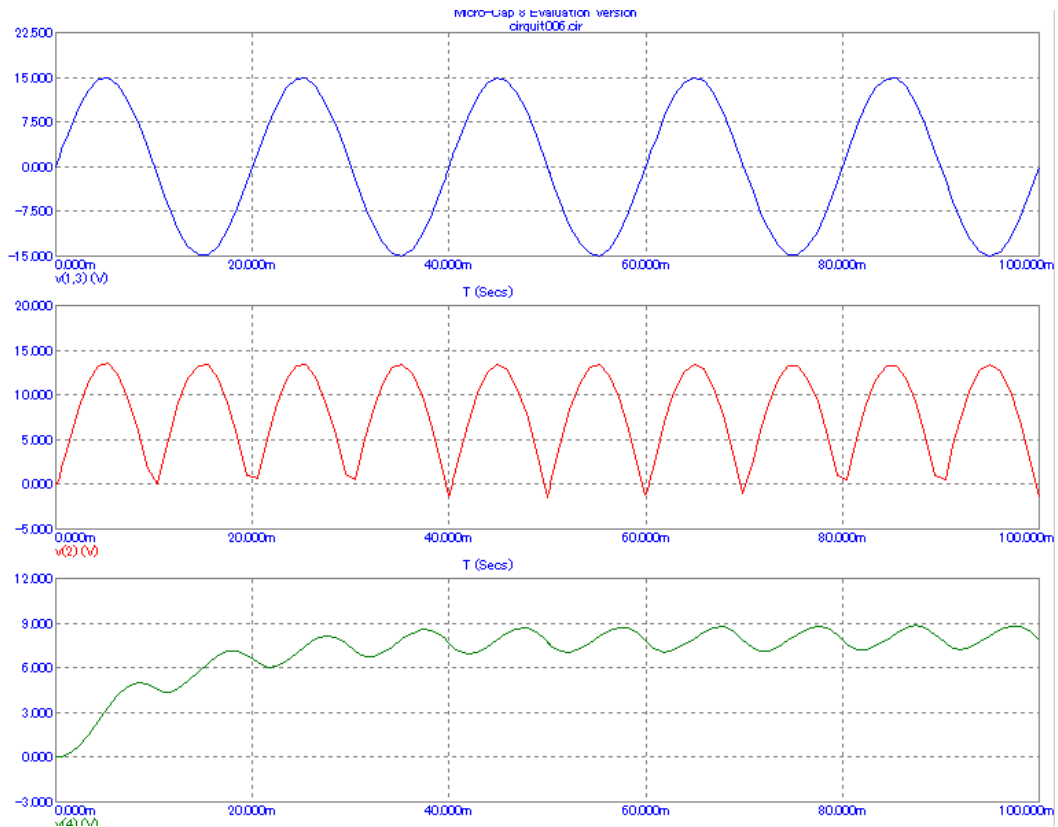


Рисунок 22. - Графики напряжения генератора, на диоде и на нагрузке.  
Сохраните графики.

12. Уберите «лишний» график, выделив вторую строчку и нажав «Delete». Увеличьте время анализа для оценки величины пульсаций, например, как на рис. 23.

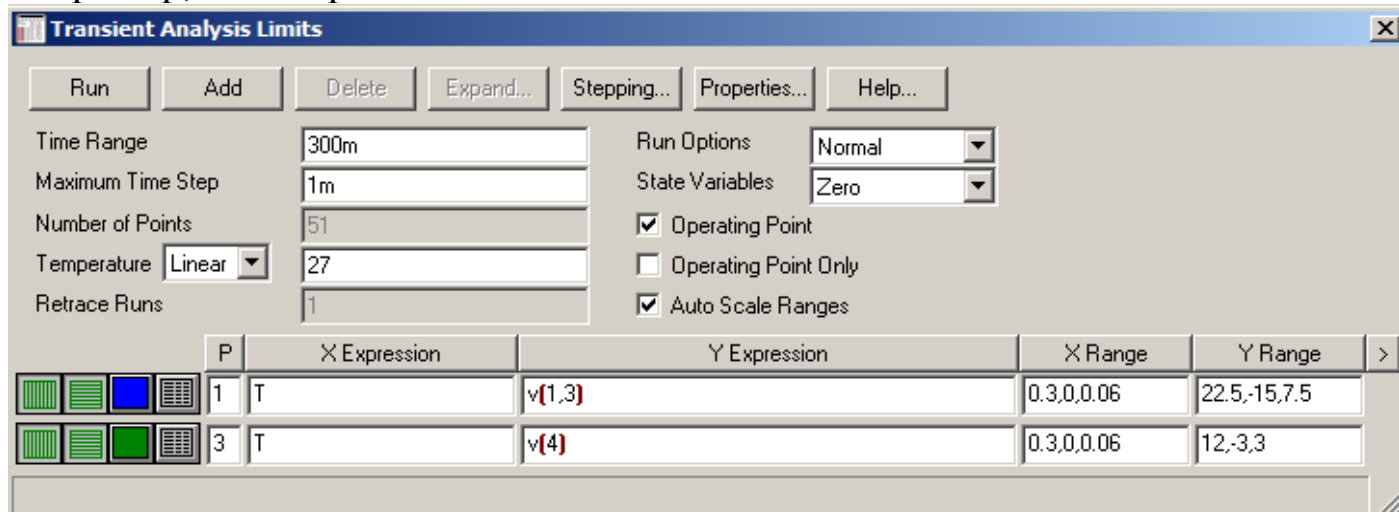


Рисунок 23. Время анализа увеличено

Отметьте на графике напряжения на нагрузке максимальное  $U_{\max}$  и минимальное  $U_{\min}$  значения.

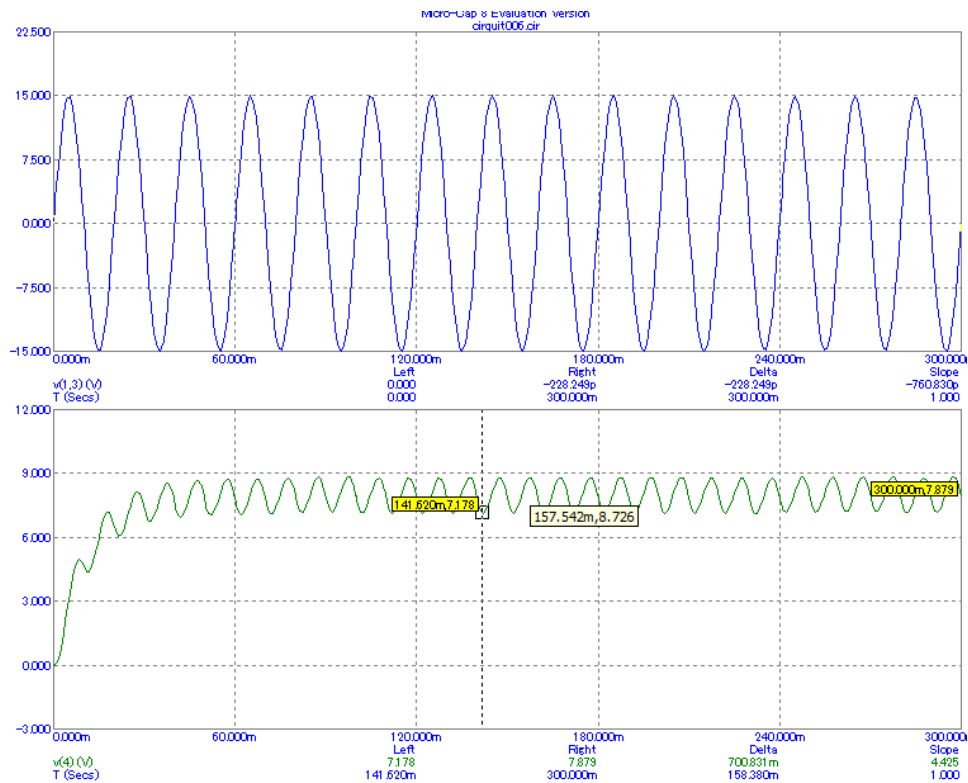


Рисунок 24. Графики напряжения на генераторе и на нагрузке для оценки величины пульсаций.  $U_{\max} = 8,726\text{В}$ ,  $U_{\min} = 7,178\text{В}$ .

13. По графикам **определите и запишите:**

$U_{\max}$  - максимальное напряжение на нагрузке. На рис. 24  $U_{\max} = 8,762\text{В}$ ;

$U_{\min}$  - минимальное напряжение на нагрузке. На рис. 24  $U_{\min} = 7,178\text{ В}$ ;

$U_m = \sqrt{I} = A$  - амплитуду напряжения генератора. На рис. 24  $U_m = 15\text{ В}$ ;

$U_n$  - среднее значение напряжения на нагрузке. На рис. 24  $U_n = 7,952\text{ В}$

$T_{\text{пер}} = 3\tau_2$  - время окончания процесса насыщения индуктивности (напряжение достигло  $0,95 U_{\max}$  ). На рис. 24  $T_{\text{пер}} = 50\text{м} = 50\text{ мс}$ .

**Рассчитайте** коэффициент пульсаций

$$K_{\text{пул}\%} = ((U_{\max} - U_{\min}) / (2 * U_n)) * 100\%$$

По графику рис. 24  $K_{\text{пул}\%} = ((8,762 - 7,178) : (2 * 7,952)) * 100\% = 9,9\%$  .

**Рассчитайте** постоянную времени сглаживающего фильтра по формуле  $\tau_2 = L/R$

В рассматриваемом примере  $\tau_2 = L/R = 5\text{ Гн} / 430\text{ Ом} = 11,6\text{ мс}$ .

**Сравните** значения  $T_{\text{пер}}$  , полученное по графику, и  $3\tau_1$  из расчёта.

$T_{\text{пер}} = 50\text{ мс} > 3\tau_2 = 34,8\text{ мс}$ , погрешность 30%

14. Увеличьте величину индуктивности в 2 раза.

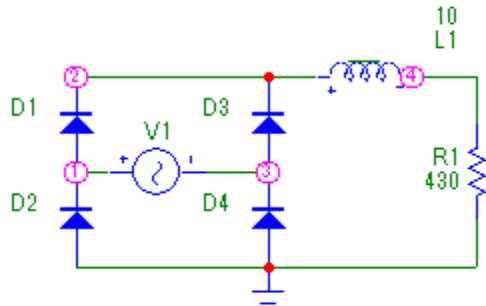


Рисунок 25. Модель с увеличенной величиной индуктивности в 2 раза.  
Сохраните модель в файле, например, lr1978ivanov2.cir.

15. Задайте параметры анализа, как на рис. 26, при необходимости **измените** так, чтобы время переходного процесса и величины пульсаций определялись.

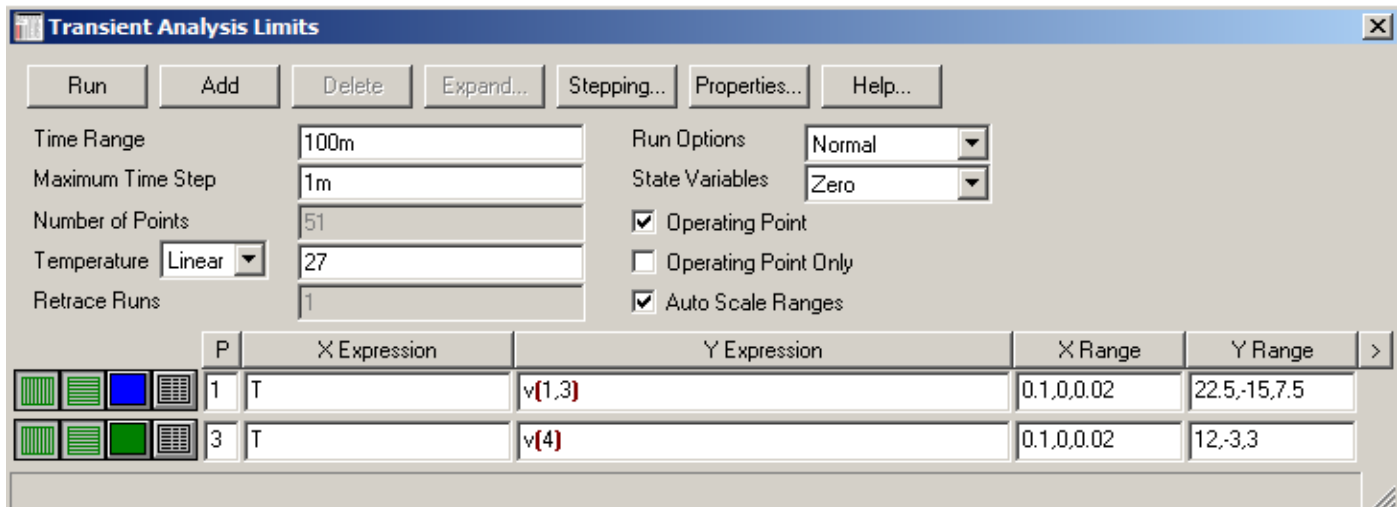


Рисунок 26. Задание параметров анализа  
 Сохраните параметры анализа.



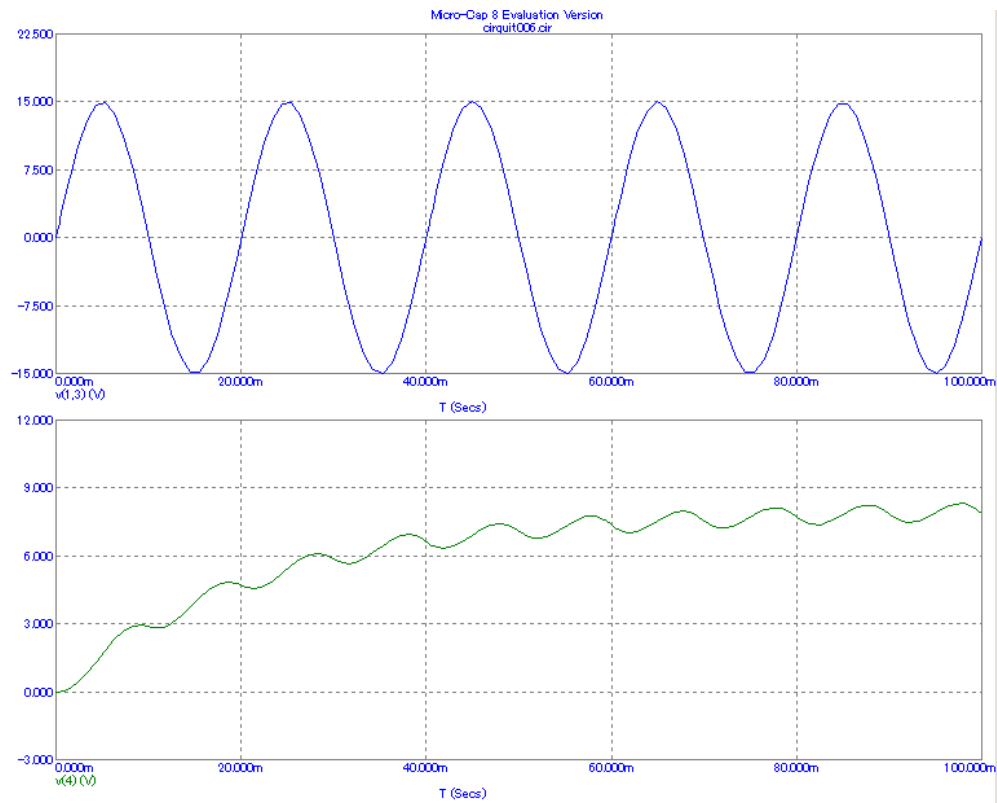


Рисунок 27. Графики напряжения генератора и нагрузке при увеличении индуктивности в 2 раза.

Сохраните графики.

16. Увеличьте время анализа для оценки величины пульсаций, например, как на рис. 28.

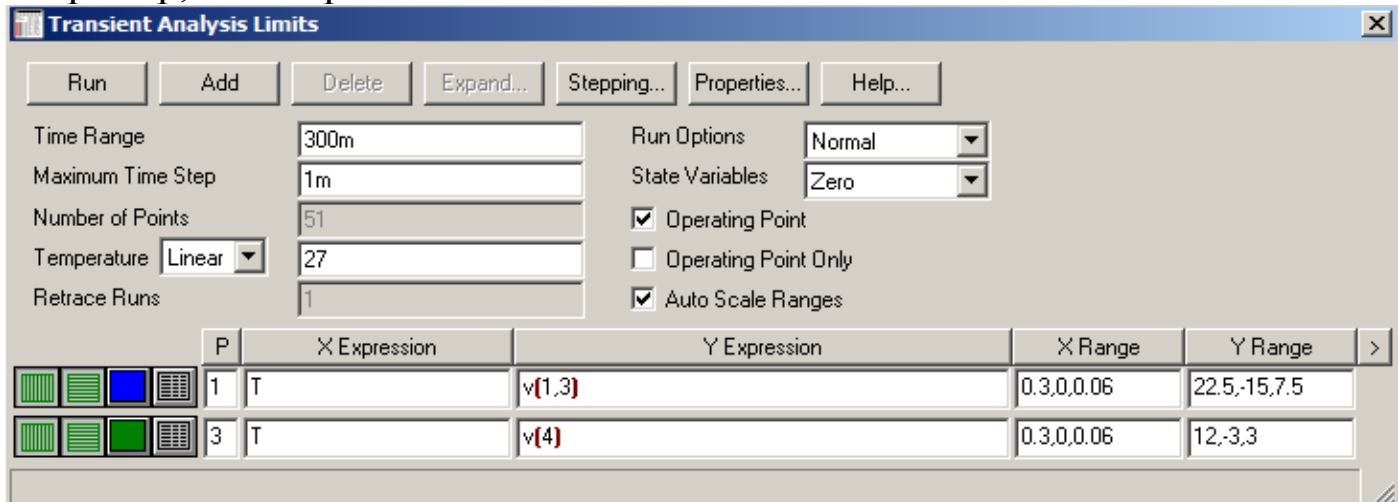


Рисунок 28. Время анализа увеличено.

17. Отметьте на графике напряжения на нагрузке максимальное  $U_{\max}$  и минимальное  $U_{\min}$  значения.

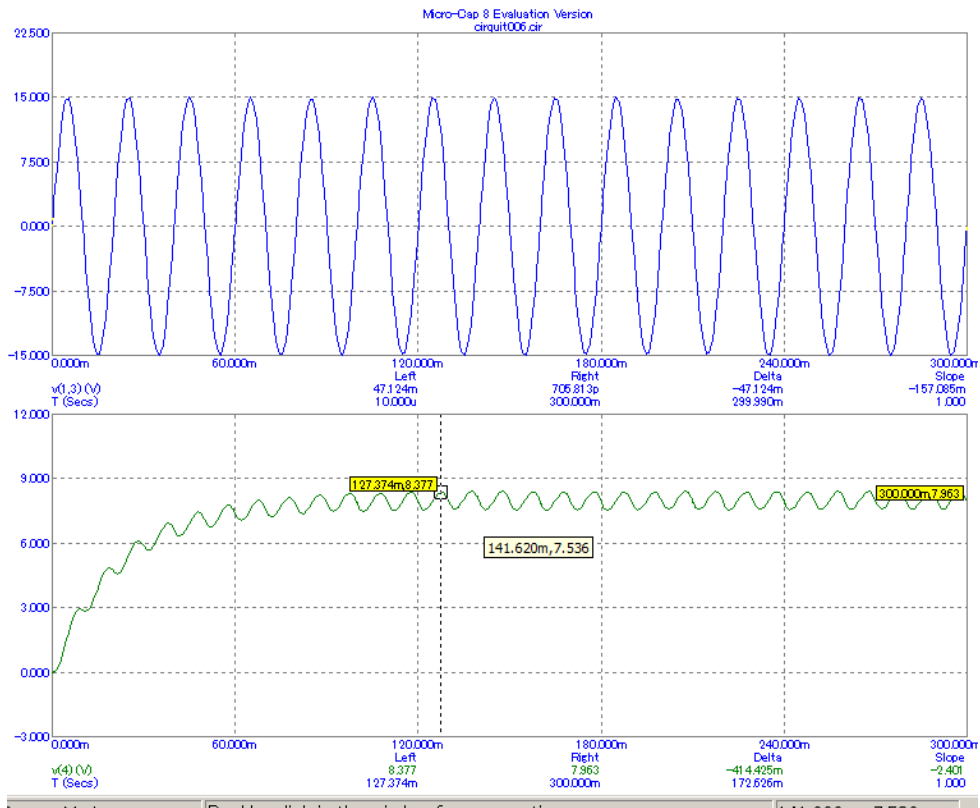


Рисунок 29. Графики напряжения на генераторе и на нагрузке для оценки величины пульсаций.  $U_{\max} = 8,337$  В,  $U_{\min} = 7,536$  В.

18. По графикам **определите и запишите:**

$U_{\max}$  - максимальное напряжение на нагрузке. На рис. 29  $U_{\max} = 8,337\text{В}$ ;

$U_{\min}$  - минимальное напряжение на нагрузке. На рис. 29  $U_{\min} = 7,536\text{ В}$ ;

$U_m = \sqrt{I} = A$  - амплитуду напряжения генератора. На рис. 29  $U_m = 15\text{ В}$ ;

$U_n$  - среднее значение напряжения на нагрузке. На рис. 29  $U_n = 7,936\text{ В}$

$T_{\text{пер}} = 3\tau_2$  - время окончания процесса насыщения индуктивности (напряжение достигло  $0,95 U_{\max}$  ). На рис. 29  $T_{\text{пер}} = 80\text{м} = 80\text{ мс}$ .

**Рассчитайте** коэффициент пульсаций

$$K_{\text{пул}\%} = ((U_{\max} - U_{\min}) / (2 * U_n)) * 100\%$$

По графику рис. 29  $K_{\text{пул}\%} = ((8,337 - 7,536) : (2 * 7,936)) * 100\% = 5\%$  .

**Рассчитайте** постоянную времени сглаживающего фильтра по формуле  $\tau_2 = L/R$

В рассматриваемом примере  $\tau_2 = L/R = 10\text{ Гн} / 430\text{ Ом} = 23,2\text{ мс}$ .

**Сравните** значения  $T_{\text{пер}}$  , полученное по графику, и  $3\tau_1$  из расчёта.

$T_{\text{пер}} = 80\text{ мс} > 3\tau_2 = 69,6\text{ мс}$ , погрешность 11%

19. **Сделайте выводы.**

## **Выводы:**

1. На нагрузке однополупериодного выпрямителя с емкостным фильтром напряжение
2. На нагрузке однофазного мостового выпрямителя с индуктивным фильтром напряжение
3. При увеличении величины индуктивности
4. Время переходного процесса заряда конденсатора

20. **Сдайте** преподавателю **отчёт** по ЛР1 на бумаге или **скиньте в курс СДО** «Электропреобразовательные устройства» - М1 Выпрямительные устройства — Задание М1 ЛР1 Исследование выпрямителей и сглаживающих фильтров - **файл** отчёта «лр1группафамилия.docx» и обе модели выпрямителя: «лр1группафамилия1.cir», «лр1группафамилия2.cir».

21. **Защитите работу**, ответив на вопросы преподавателя, или на тест по ЛР1.