

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, <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;

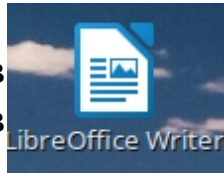
$R_n = (N_{гр} + 1) \times (N_{жур} + 40) Ом$ — сопротивление нагрузки, в Омах;

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

$f = 50$ Гц - частота в Герцах;

$L = R_n / 2 K_{пул} f$ 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.

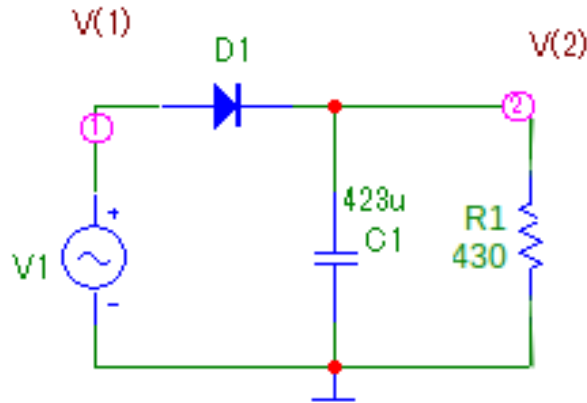


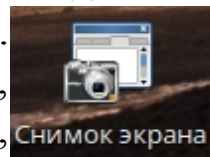
Рисунок 1. Схема лабораторной установки. Условные обозначения могут отличаться от приведенных. Здесь:

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

D1 - выпрямительный диод с параметрами по-умолчанию;
 $C1 = C_{\phi}$ - ёмкость нагрузки согласно варианта задания;
 $R1 = R_n$ - 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

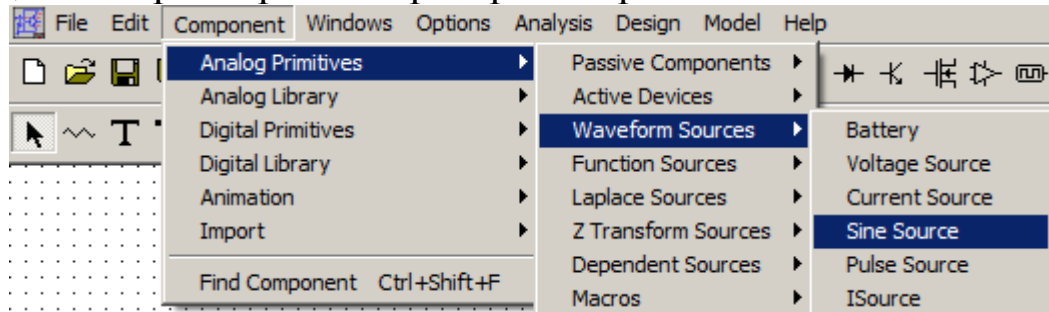


Рисунок 2. Окно источников синусоидального сигнала

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)

Sine Source:Sine Source

Name: ☐ Show

Value: ☐ Show

Display: ☐ Pin Markers ☐ Pin Names ☐ Pin Numbers ☒ Current ☒ Power ☒ Condition

PART=V1
 MODEL=GENERAL
 COST=
 POWER=

Voltage vs. Time

1MHZ
 3PHASEA
 3PHASEB
 3PHASEC
 5435
 60HZ
 GENERAL

OK Cancel Font... Add Delete Help...
 New Syntax... Plot Expand... Help Bar Browse...

Source: Local text area of \\Belydeb\valisabuf\Дисциплины 2021\ЭПУ\ЛР1\ЛР1\WAR24.CIR

F 50 A 15 DC 0
 PH PH RS 1m RP 0
 TAU 0

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

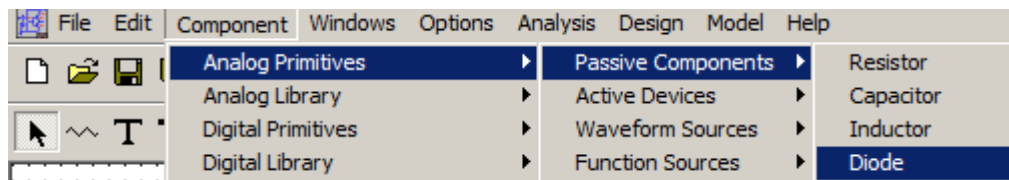


Рисунок 4. Окно источников диодов
Выбираем стандартную модель - \$GENERIC

Diode:Diode

Name: ☐ Show

Value: ☐ Show

Display: ☐ Pin Markers ☐ Pin Names ☐ Pin Numbers ☒ Current ☒ Power ☒ Condition

PART=D1
VALUE=
MODEL=\$GENERIC
COST=
POWER=

If vs. Vf:
 12CC12
 1S1555
 1S1588
 1S1835
 1S1885
 1S1888

Source: Global library located at C:\MC8DEMO\library\SMALL.LBR

LEVEL 1	IS 8n	N 2
ISR 0	NR 2	IKF 0
BV 500	IBV 100p	NBV 1
IBVL 0	NBVL 1	RS 400m
TT 1n	CJO 2.5p	VJ 5m
M 100m	FC 500m	EG 1.11
XTI 3	TIKF 0	TBV1 0
TBV2 0	TRS1 0	TRS2 0
KF 0	AF 1	RL 5G
T_MEASURED undefined	T_ABS undefined	T_REL_GLOBAL undefined
T_REL_LOCAL undefined		

Рисунок 5. Окно задания параметров диода

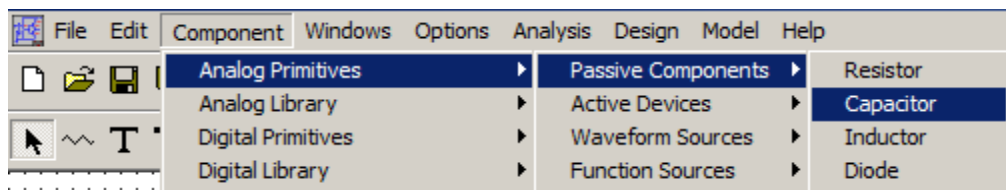


Рисунок 6. Окно источников конденсаторов

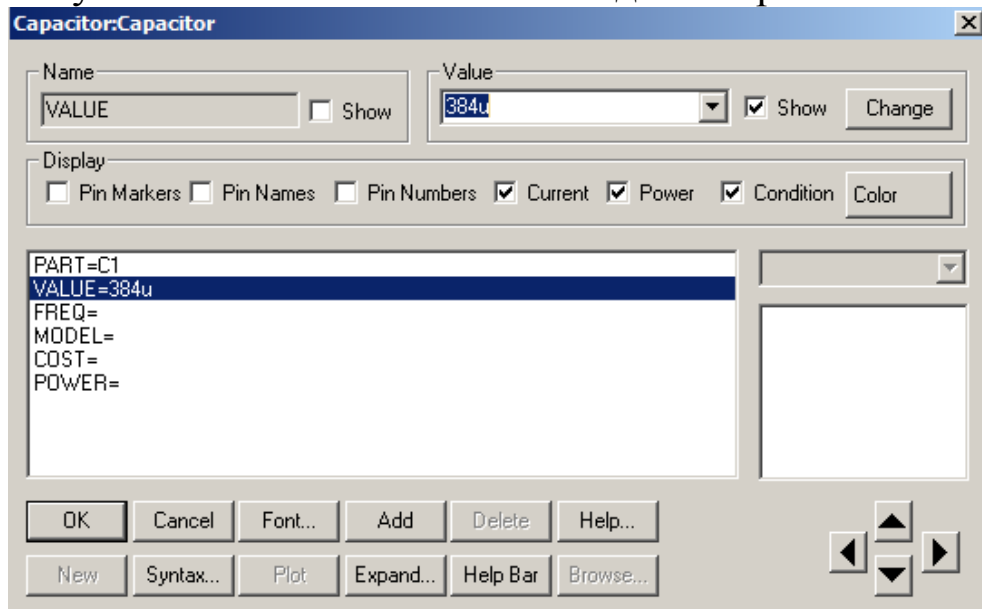


Рисунок 7. Окно задания ёмкости конденсатора (здесь Value=384 мкФ)

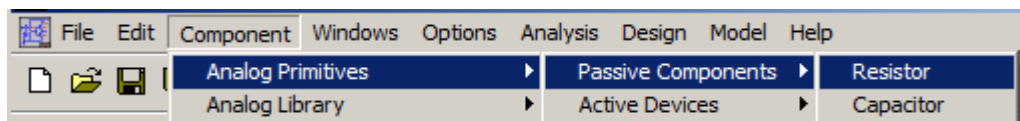


Рисунок 8. Окно источников резисторов

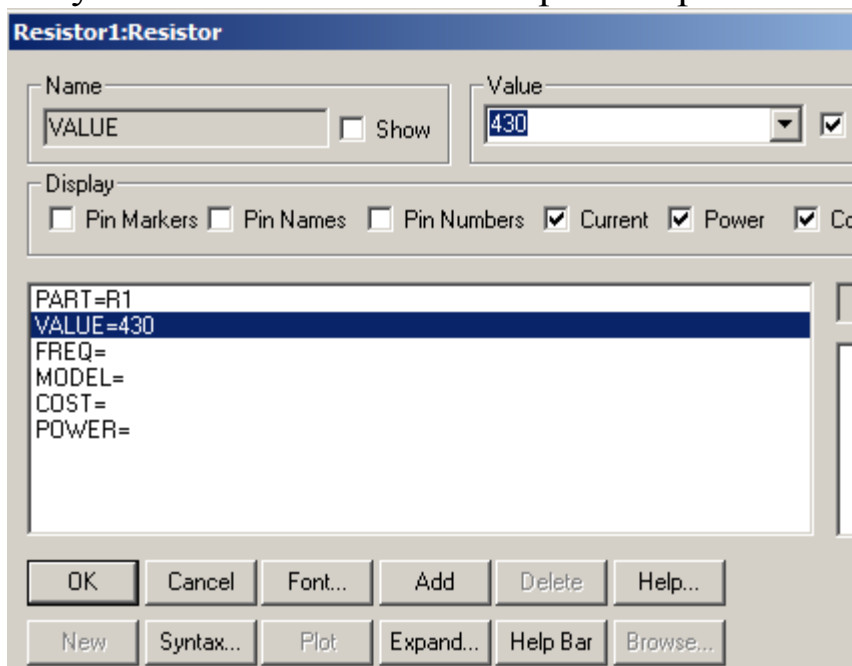


Рисунок 9. Окно задания сопротивления (здесь Value=430 Ом) .

4. Соедините линиями элементы схемы, подключите элемент «Заземление». Щёлкнув по кнопке , убедитесь в том, что нумерация узлов ① ② 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».

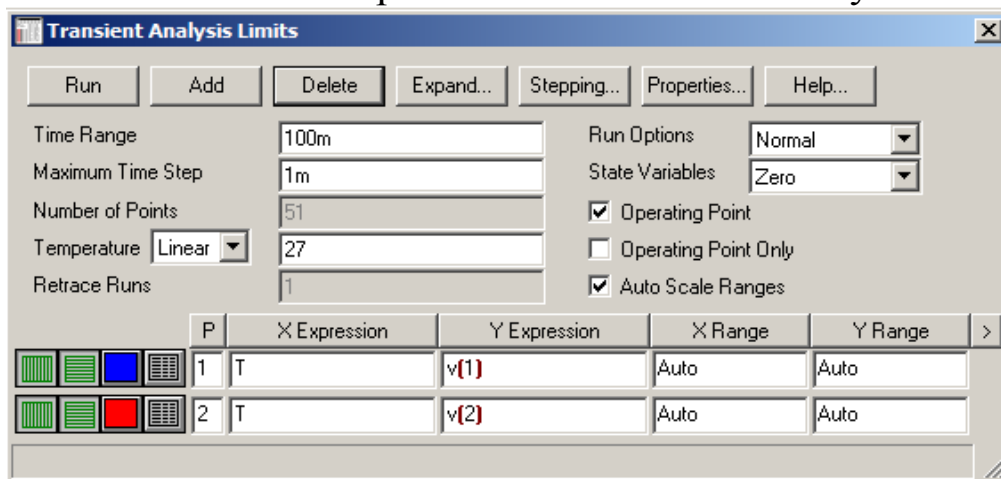


Рисунок 10. Задание параметров анализа

Сохраните значения параметров анализа (рисунок или обозначения)

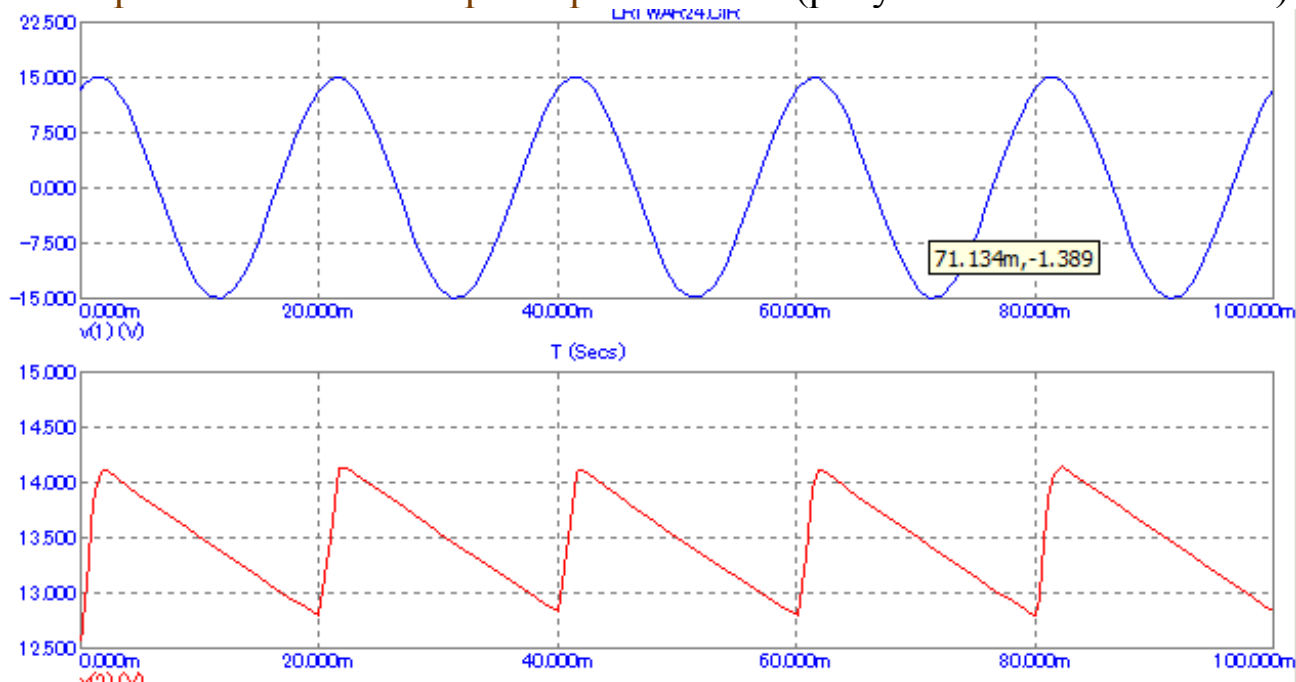


Рисунок 11. Графики напряжения генератора и напряжения на нагрузке

Сохраните графики напряжений.

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

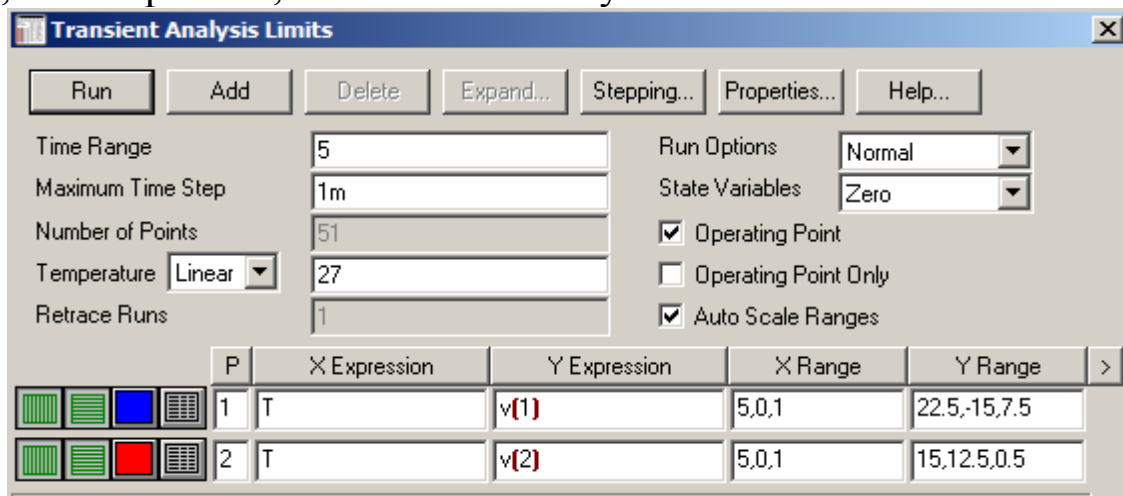


Рисунок 12. Время анализа увеличено

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

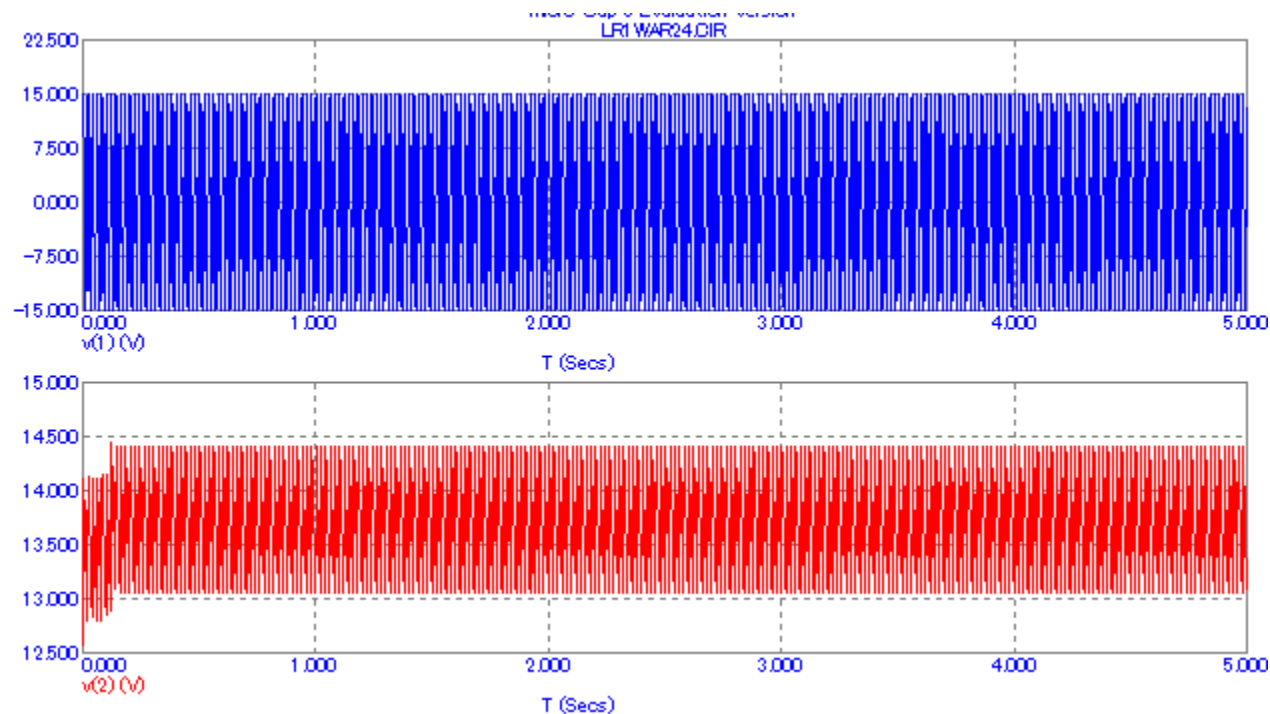


Рисунок 13. Графики напряжения генератора и напряжения на нагрузке для оценки величины пульсаций

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

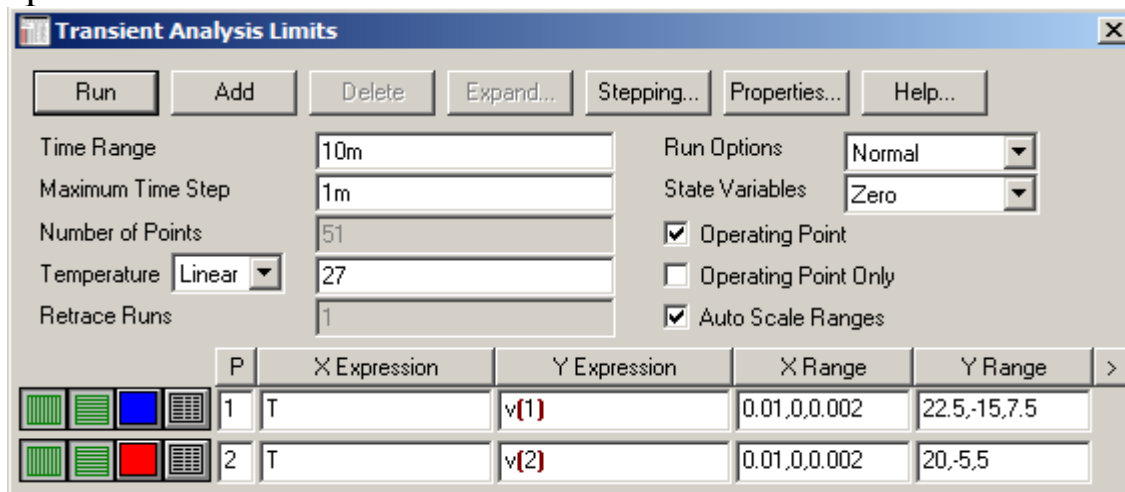


Рисунок 14. Время анализа изменено.

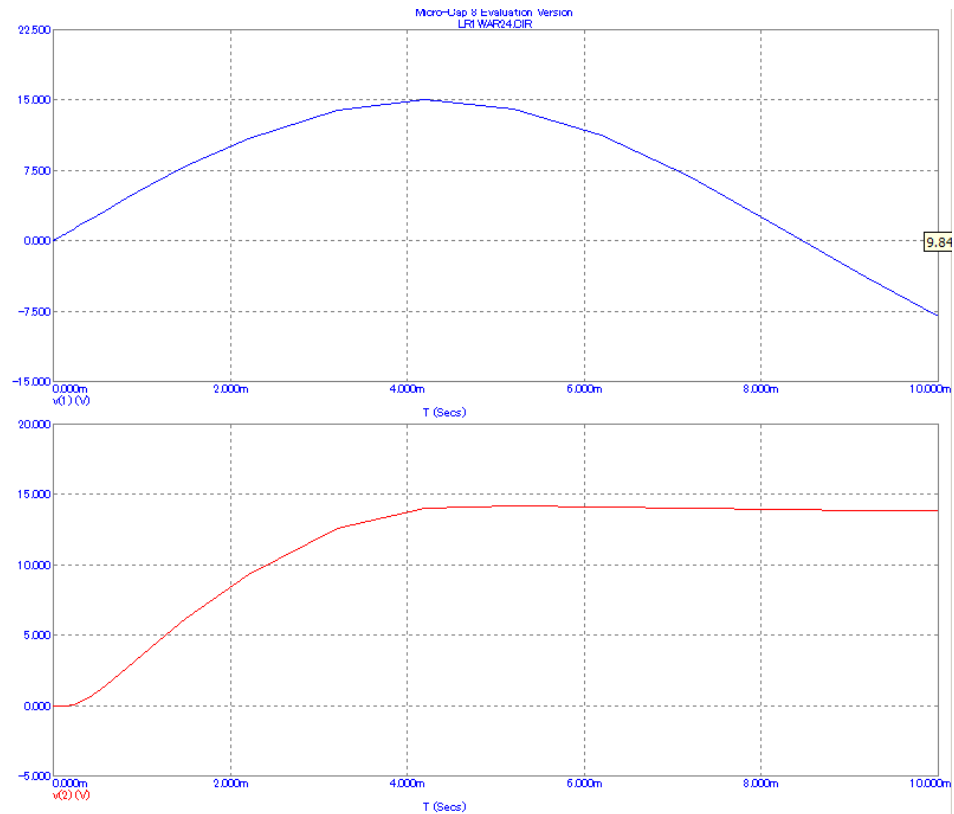


Рисунок 15. График напряжения генератора и напряжения на нагрузке для оценки времени переходного процесса.

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».

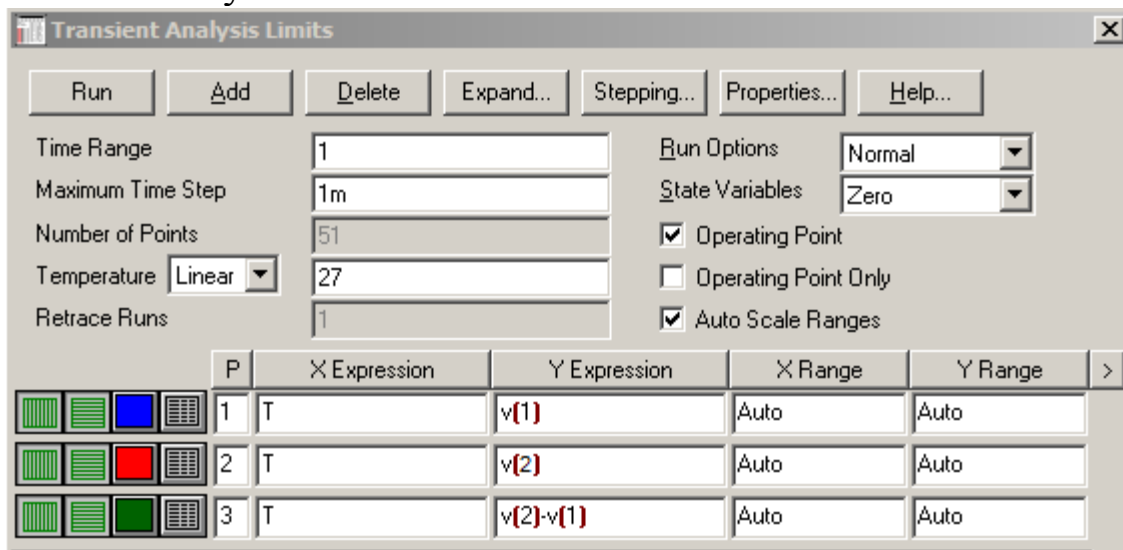


Рисунок 16. Добавление анализируемого параметра

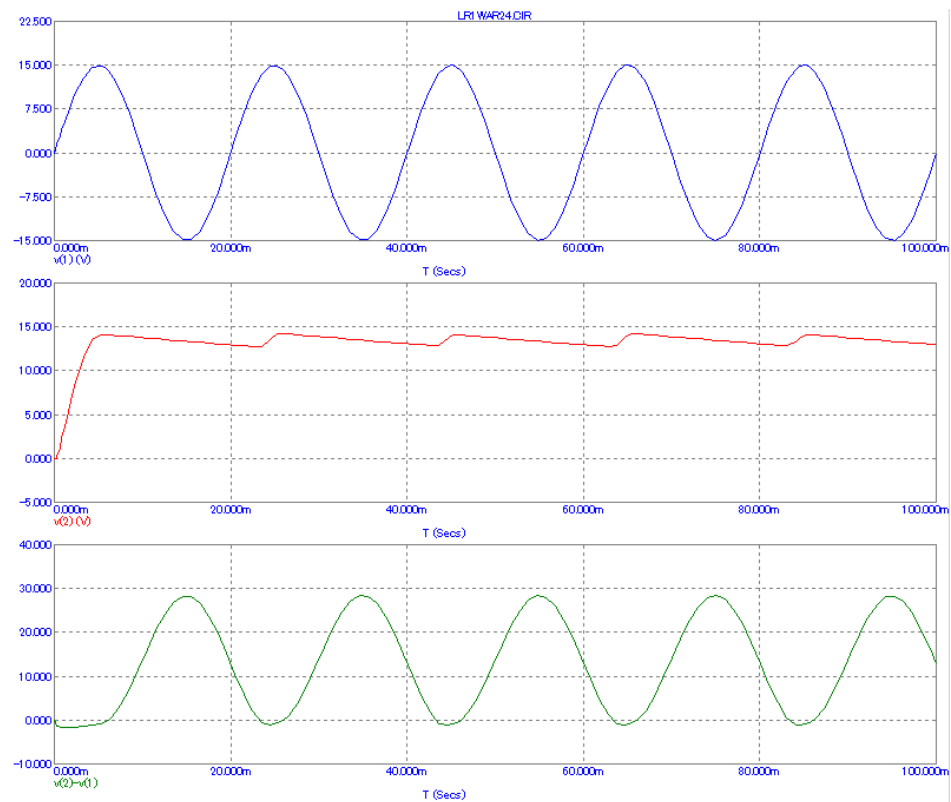


Рисунок 17. Графики напряжения генератора, напряжения на нагрузки и напряжения на диоде. Здесь $U_{\text{обр}} = 30 \text{ В}$.

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.

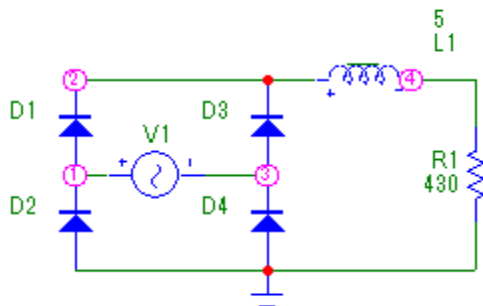


Рисунок 18. Схема однофазного мостового выпрямителя с индуктивным L-фильтром.

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

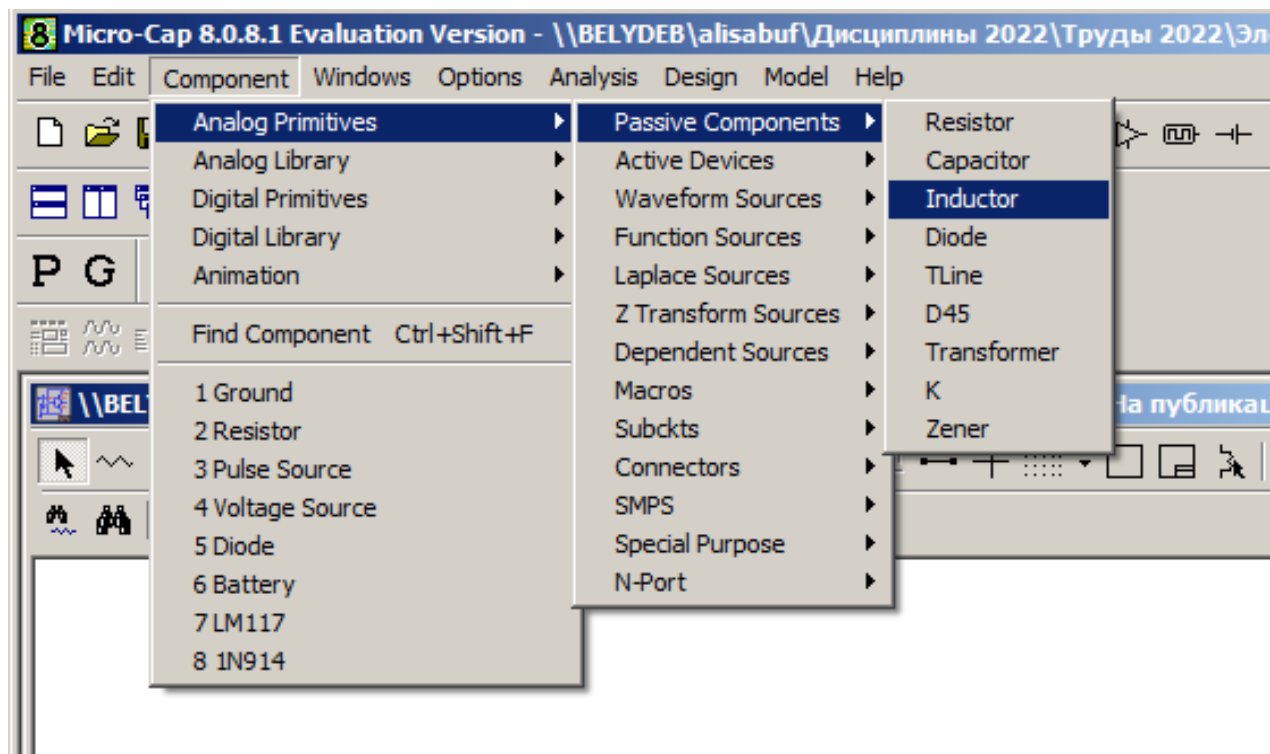


Рисунок 19. Добавление компонента «индуктивность»

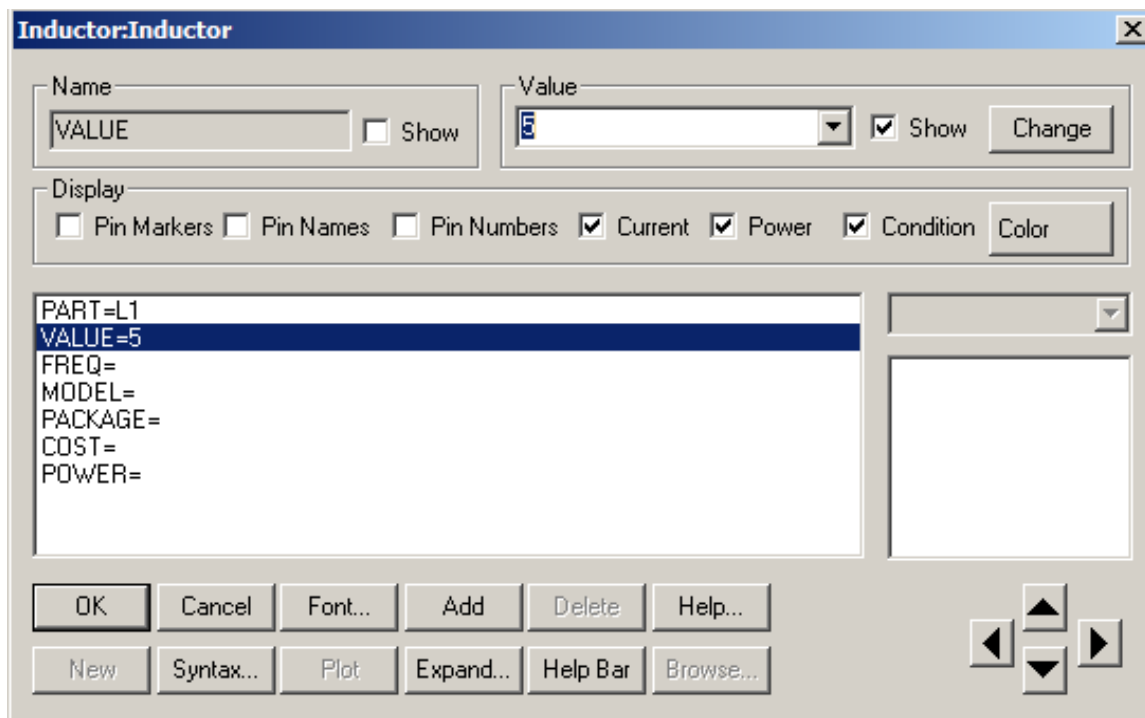


Рисунок 20. Задание величины индуктивности $L = 5$ Гн.

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».

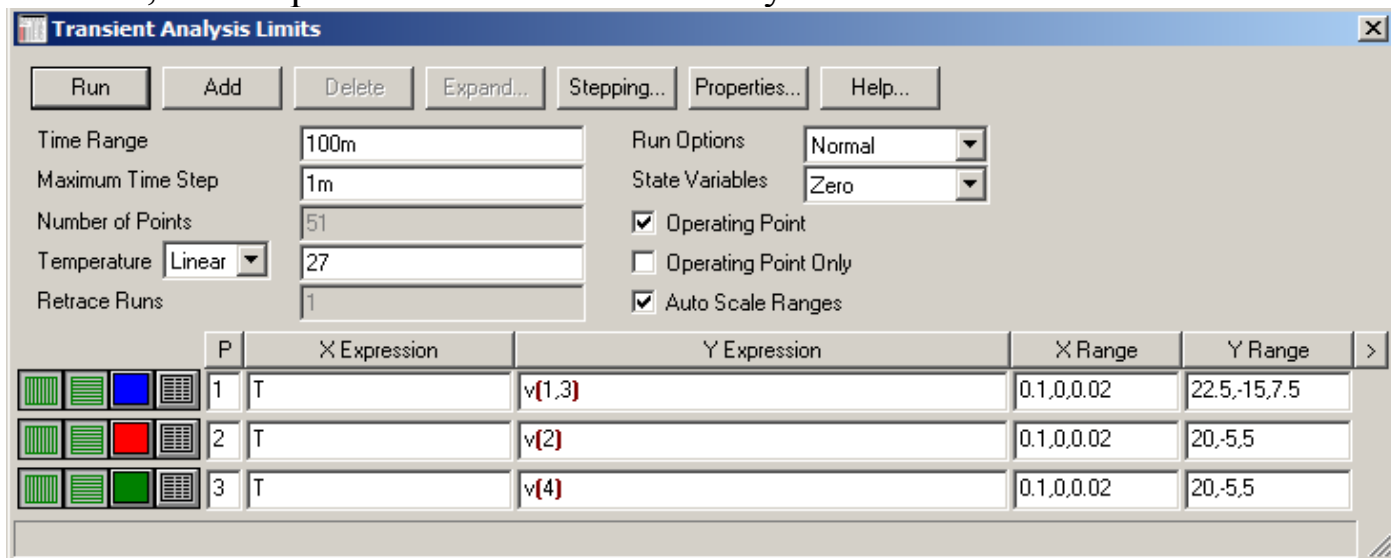


Рисунок 21. Задание параметров анализа.

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

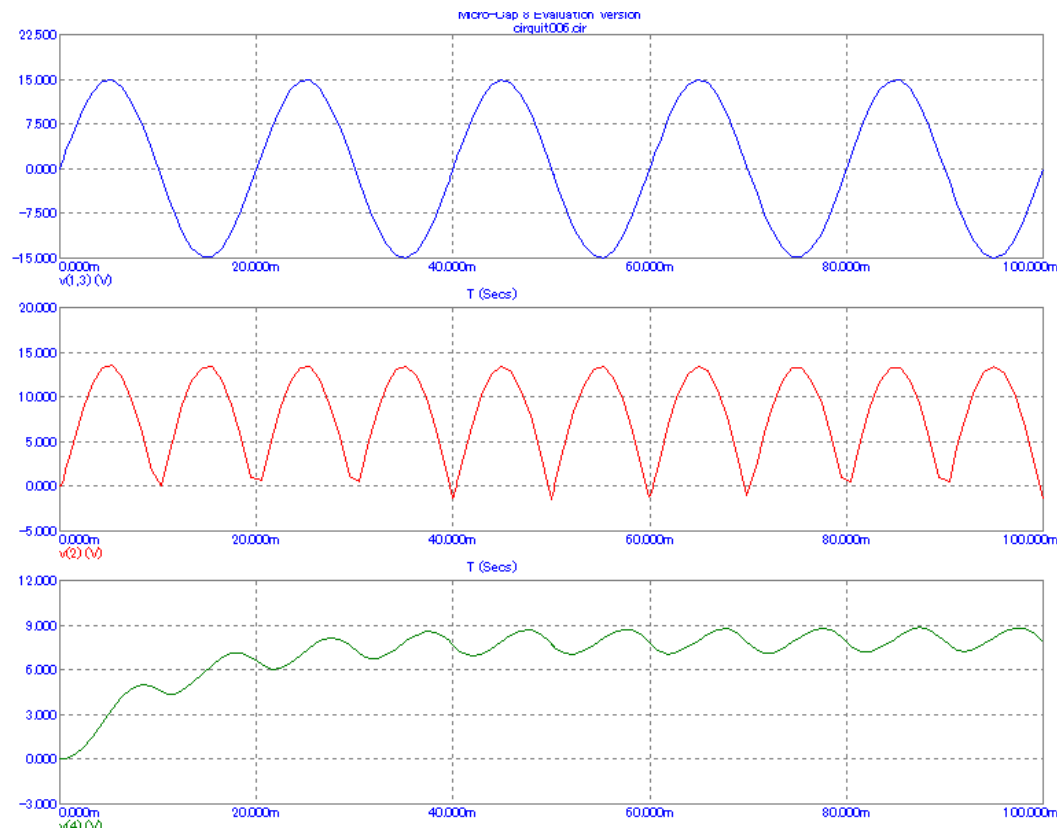


Рисунок 22. - Графики напряжения генератора, на диоде и на нагрузке.
Сохраните графики.

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

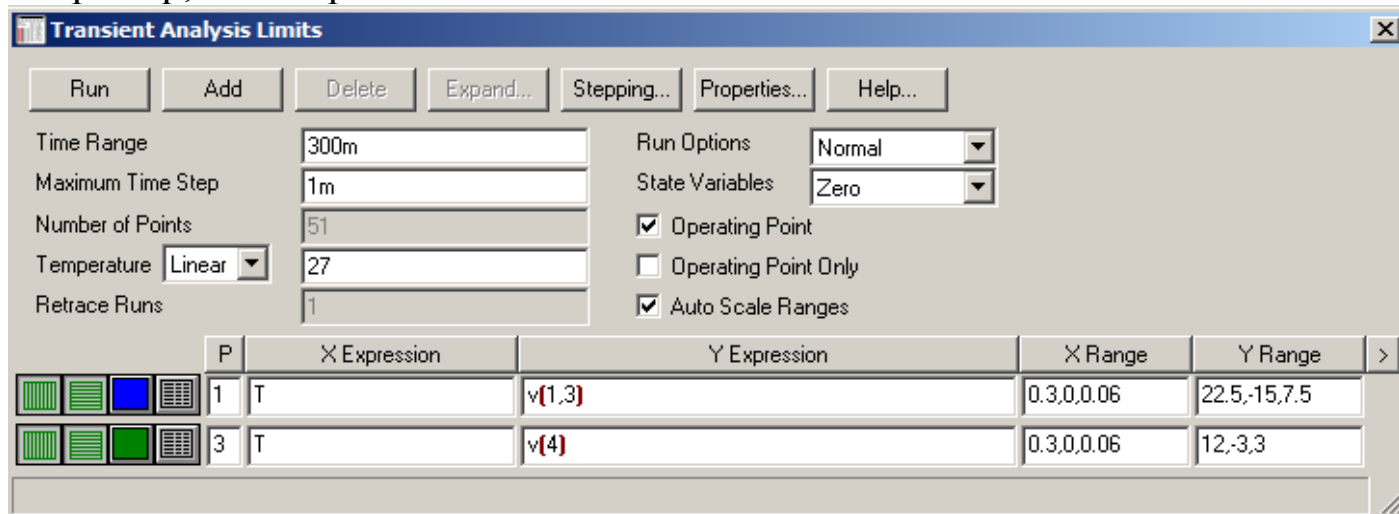


Рисунок 23. Время анализа увеличено

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

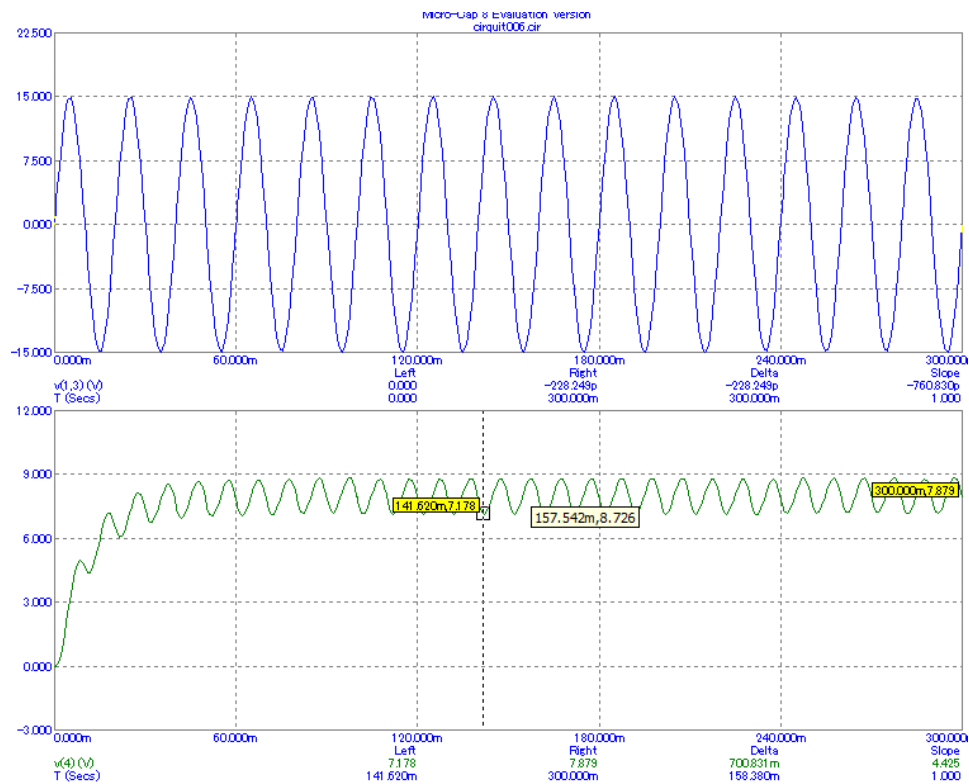


Рисунок 24. Графики напряжения на генераторе и на нагрузке для оценки величины пульсаций. $U_{\max} = 8,726\text{В}$, $U_{\min} = 7,178\text{В}$.

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 $U_{\min} = 7,178\text{ В}$;

$U_m = V1 = A$ - 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

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

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

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.

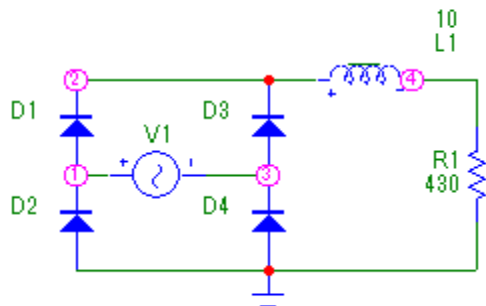


Рисунок 25. Модель с увеличенной величиной индуктивности в 2 раза.
Сохраните модель в файле, например, lr1978ivanov2.cir.

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

Transient Analysis Limits

Run Add Delete Expand... Stepping... Properties... Help...

Time Range: 100m Run Options: Normal

Maximum Time Step: 1m State Variables: Zero

Number of Points: 51

Temperature: Linear 27

Retrace Runs: 1

☒ Operating Point

☐ Operating Point Only

☒ Auto Scale Ranges

	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
   	1	T	v(1,3)	0.1,0,0.02	22.5,-15,7.5
   	3	T	v(4)	0.1,0,0.02	12,-3,3

Рисунок 26. Задание параметров анализа
 Сохраните параметры анализа.

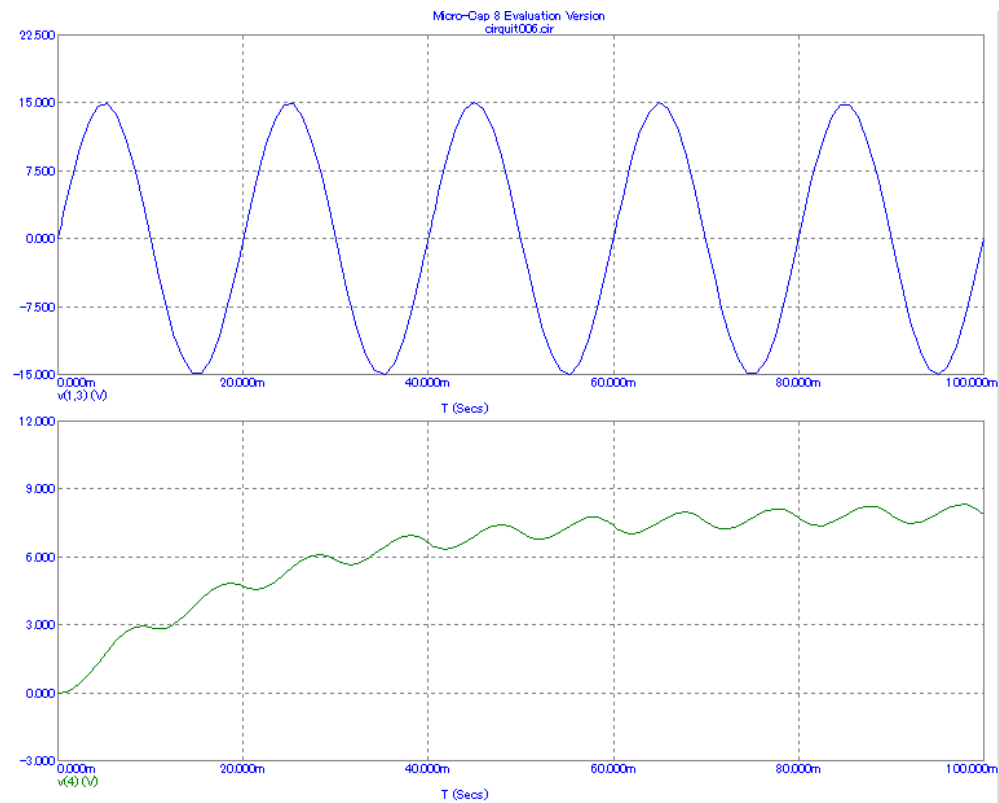


Рисунок 27. Графики напряжения генератора и нагрузке при увеличении индуктивности в 2 раза.

Сохраните графики.

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

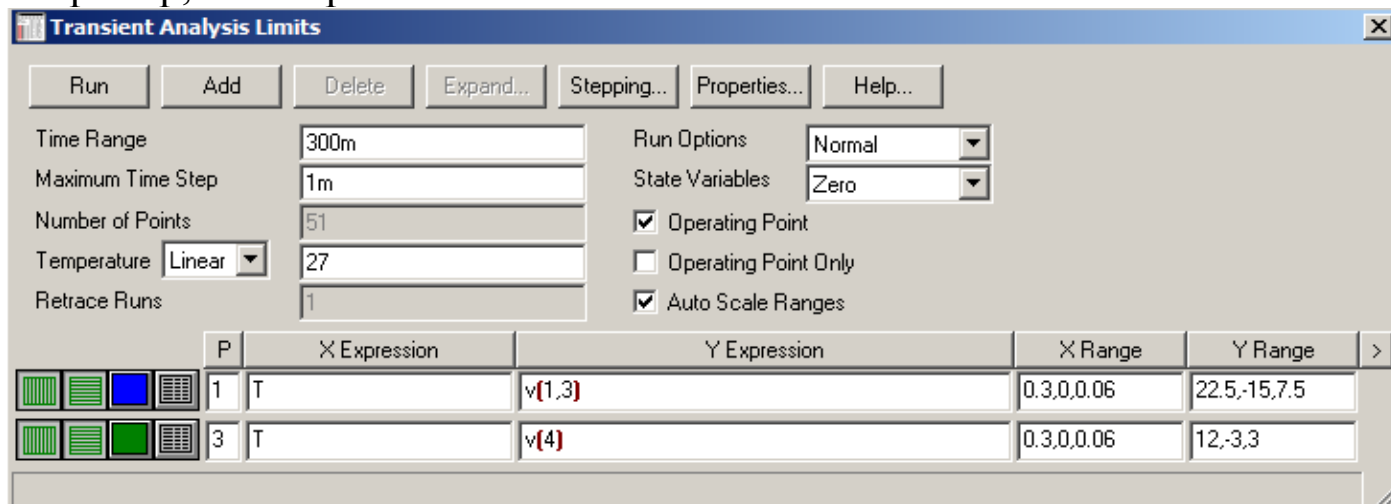


Рисунок 28. Время анализа увеличено.

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

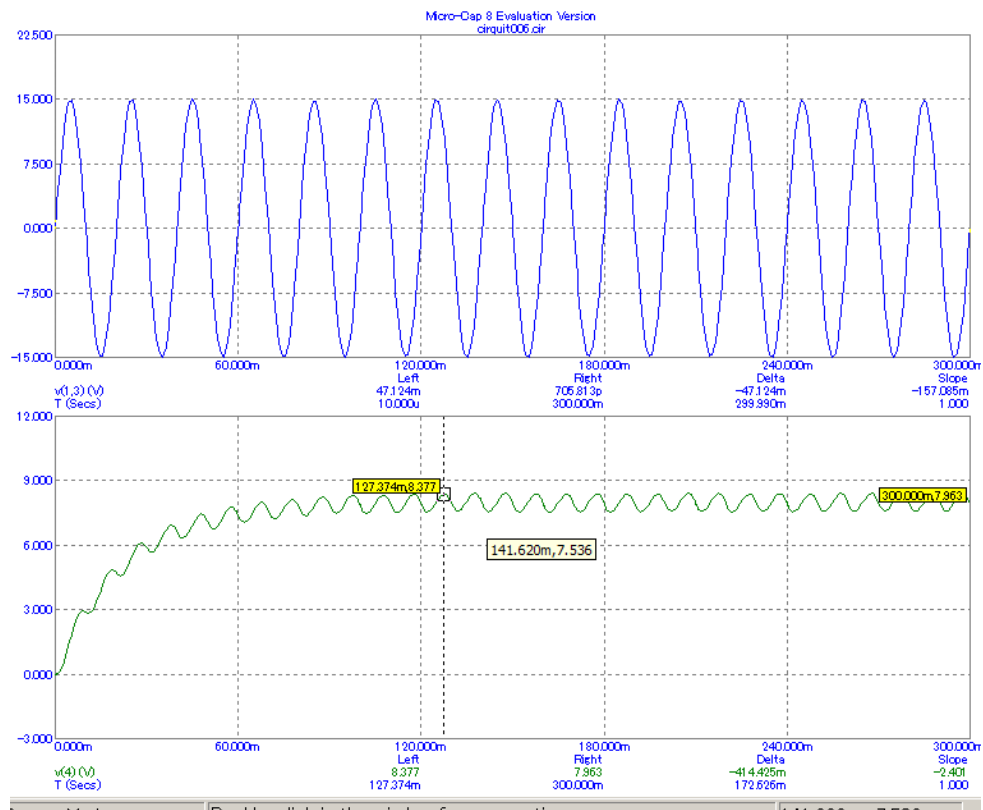


Рисунок 29. Графики напряжения на генераторе и на нагрузке для оценки величины пульсаций. $U_{\max} = 8,337$ В, $U_{\min} = 7,536$ В.

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 $U_{\min} = 7,536\text{ В}$;

$U_m = V1 = A$ - 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

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

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

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.