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 Місго-Сар. Версии 9, 10. - Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. - 617 с., ил.

3. Spectrum Software [Электронный ресурс] <u>http://www.spectrum-soft.com/index.shtm</u>

Минимальные системные требования: Процессор 1,3 GGz, 512 M6 RAM, SVGA (800х600), HDD 3 Gb, просмотрщик документов в формате *.pdf

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

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_{xyp} — порядковый номер студента в списке учебной группы у преподавателя (при необходимости уточните).

Рассчитайте исходные данные для проектирования:

 $K_{nyn} = (N_{rp} + 1) \%$ - коэффициент пульсаций, в процентах; $U_m = 0,5 (N_{xyp} + 5)$ В - амплитуда входного сигнала, в Вольтах; $R_{H} = (N_{rp} + 1) x (N_{xyp} + 40)$ Ом — сопротивление нагрузки, в Омах; $C_{\phi} = C1 = 1/(2 R_{H} K_{nyn} f) \Phi$ — ёмкость фильтра, в Фарадах; **f** = **50** Гц - частота в Герцах;

 $L = R_{\rm H} / 2 K_{\rm пул} f$ 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 "breOffice Writer «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 МісгоСар 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 Rs = 0,001 Ом = 1m, начальной фазой PH=0 радиан;

D1 - выпрямительный диод с параметрами по-умолчанию;

С1 = С_ф - ёмкость нагрузки согласно варианта задания;

R1 = R_н - сопротивление нагрузки согласно варианта задания.

2. Сохраняйте рисунки, используя снимки экрана. Для этого щёлкните по значку «Снимок экрана», выберите пункт меню «Выбрать область захвата», снимок экрана 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 RP=0, временные диаграммы могут быть искажёнными! Сохраняйте в отчёте параметры элементов (окна или последовательности открытия папок, обозначения и их величины)

Sine Source:Sine Source		X
Name MODEL	Show GENERAL	Show Change
Pispidy Pin Markers Pin Names	Fin Numbers 🔽 Current 🔽 F	Power 🔽 Condition Color
PART=V1 MODEL=GENERAL COST= POWER=		Voltage vs. Time Voltage vs. Time TIMHZ 3PHASEA 3PHASEB 3PHASEC 5435 60HZ GENERAL
OK Cancel Font New Syntax Plot	Add Delete Help Expand Help Bar Browse	
Source:Local text area of \ F 50 PH TAU 0	\Belydeb\alisabuf\Дисциплины 2021 A 15 RS 1m	IV3NYVJP1VLR1WAR24.CIR DC 0 RP 0

Рисунок 3. Окно задания параметров генератора. Здесь V1 = $U_m = A = 15 B$, f = F = 50 Гц, Rs = RS = 0,001 Ом, PH = 0 радиан Задайте рассчитанные параметры для вашего варианта.

🔣 File Edit	Component Windows Opt	tions Ana	alysis Design Model	Help	
n 🚅 🔲 I	Analog Primitives	•	Passive Components		Resistor
	Analog Library	•	Active Devices	•	Capacitor
\blacktriangleright \sim T .	Digital Primitives	•	Waveform Sources	•	Inductor
	Digital Library	•	Function Sources		Diode

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

Diode:Diode		X
Name MODEL	Show Sceneric	Show Change
Display	Pin Numbers 🔽 Current 🔽	Power 🔽 Condition Color
PART=D1		If vs. Vf
MODEL=\$GENERIC COST= POWER=		SGENERIC 12CC12 151555 151588 151885 151885 151888
OK Cancel Font New Syntax Plot	Add Delete Help.	
Source:Glob	al library located at C:\MC8DEMO\I	ibrary\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	CJ0 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

🧾 File	Edit	Component Windows	Options	An	alysis	Design	Model	Help)
D 🚅		Analog Primitives		•	Pas	sive Com	ponents		Resistor
	<u> </u>	Analog Library		►	Act	ive Devic	es	•	Capacitor
\blacktriangleright ~	т.	Digital Primitives		►	Wa	veform S	ources	•	Inductor
		Digital Library		►	Fur	nction Sou	irces	•	Diode

Рисунок 6. Окно источников конденсаторов

Capacitor:C	Capacitor								×
Name VALUE Display Pin M	larkers 🗖 P	in Names J	Show	Value 384u bers 🔽 Cu	rrent 🔽 Por	ver 🔽	Condition	Change	
PART=C1 VALUE=38 FREQ= MODEL= COST= POWER=	34u							•	-
OK	Cancel	Font	Add	Delete	Help				
New	Syntax	Plot	Expand	Help Bar	Browse			┓┛	

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

🔣 File	Edit	Component	Windows	Options	An	alysis	Design	Model	Help		
D 🚅		Analog Pri	mitives		•	Pas	sive Com	ponents	•	Resistor	
	<u> </u>	Analog Lib	rary		•	Act	ive Devic	es	•	Capacitor	Ē

Рисунок 8. Окно источников резисторов

esistor1:Resistor							
Value Value							
Display Pin Markers Pin Names Pin Numbers V Current V Power V Co							
PART=R1 VALUE=430 FREQ= MODEL= COST= POWER=							
OK Cancel Font Add Delete Help							
New Syntax Plot Expand Help Bar Browse							

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 12 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».

Transient Analysis Limits							
Run Add	Delete Ex	pand S	tepping	Properties	elp		
Time Range	100m		Run Op	otions Norma	al 💌		
Maximum Time Step	1m		State V	ariables Zero	-		
Number of Points	51		Operating Point				
Temperature Linear 💌	27		🗌 Ор	erating Point Only			
Retrace Runs	1		🔽 Aut	o Scale Ranges			
Р	X Expression	Y Expr	ression	XRange	Y Range	>	
		v (1)		Auto	Auto		
2 T		v (2)		Auto	Auto		

Рисунок 10. Задание параметров анализа



Сохраните графики напряжений.

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

📶 Transient Analysis Limits							
Run Add	Delete Ex	pand S	tepping	Properties	. н	elp	
Time Range	5		Run Oj	otions	Norma	al 🔻	
Maximum Time Step	1m		State V	'ariables	Zero	-	
Number of Points	51		🔽 Op	erating Poin	it		
Temperature Linear 💌	27		🔲 Ор	erating Poin	it Only		
Retrace Runs	1		🔽 Aut	o Scale Ra	nges		
Р	X Expression	Y Expr	ression	×Rar	nge	Y Range	>
		v (1)		5,0,1		22.5,-15,7.5	
2 T		v (2)		5,0,1		15,12.5,0.5	

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.

Transient Analysis Limits									
Run Add Delete Expand Stepping Properties Help									
Time Range	10m		Run Oj	otions	Norma	i 🔻			
Maximum Time Step	1m		State V	'ariables	Zero	•			
Number of Points	51	51			Operating Point				
Temperature Linear 💌	27		Operating Point Only						
Retrace Runs	1		🔽 Au	o Scale Ra	nges				
Р	X Expression	Y Exp	ression	X Ran	ige	Y Range	>		
		v(1)		0.01,0,0.0	02	22.5,-15,7.5			
2 T		v (2)		0.01,0,0.0	02	20,-5,5			

Рисунок 14. Время анализа изменено.



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

8. Определите U_{odp} - 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».

Transient Analysis Limits							
Run Add Delete Expand Stepping Properties Help							
Time Range	1	<u>B</u> un	Options Norm	al 💌			
Maximum Time Step	1m	<u>S</u> tate	Variables Zero	-			
Number of Points	51)perating Point				
Temperature Linear 💌	27)perating Point Only				
Retrace Runs	1		Auto Scale Ranges				
P	× Expression	Y Expression	X Range	Y Range	>		
		v (1)	Auto	Auto			
2 T		v (2)	Auto	Auto			
3 T		v(2)-v(1)	Auto	Auto			

Рисунок 16. Добавление анализируемого параметра



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

9. По графикам определите и запишите:

 U_{max} - максимальное напряжение на нагрузке. На рис. 13 $U_{max} = 14,4B$; U_{min} - минимальное напряжение на нагрузке. На рис. 13 $U_{min} = 13,1$ B; $U_m = V1 = A$ - амплитуду напряжения генератора. На рис. 13 $U_m = 15$ B; U_H - среднее значение напряжения на нагрузке. На рис. 13 $U_H = 13,75$ B $T_{nep} = 3\tau_1$ - время окончания процесса заряда конденсатора (напряжение достигло 0,95 U_{max}). На рис. 15 $T_{nep} = 4,5m = 4,5$ мс.

Рассчитайте коэффициент пульсаций

 $K_{\Pi y \pi \%} = ((U_{\text{max}} - U_{\text{min}})/(2*U_{\text{H}}))*100\%$

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

Рассчитайте постоянную времени сглаживающего фильтра по формуле $au_1 = \mathbf{RC}$

В рассматриваемом примере $\tau_1 = RC = 430 \text{ Ом} * 384 \text{ мк}\Phi = 0,165 \text{ с.}$ 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 12 соответствует схеме.



Рисунок 19. Добавление компонента «индуктивность»

Inductor:Inductor				×
VALUE	Show	Value		Show Change
Display Pin Markers Pin Names	Pin Numl	bers 🔽 Cu	rrent 🔽 Power	Condition Color
PART=L1 VALUE=5 FREQ= MODEL= PACKAGE= COST= POWER=				
OK Cancel Font	Add	Delete	Help	
New Syntax Plot	Expand	Help Bar	Browse	

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».

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		Operating Point				
Temperature Linear 💌	27		Operating Point Only				
Retrace Runs	1		🔽 Auto Scale Ranges				
Р	X Expression		Y Expression		XRange	Y Range	>
		v (1,3)			0.1,0,0.02	22.5,-15,7.5	
2 T		v (2)			0.1,0,0.02	20,-5,5	
3 T		v (4)			0.1,0,0.02	20,-5,5	

Рисунок 21. Задание параметров анализа.

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



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

Transient Analysis Limits						
Run Add Delete Expand Stepping Properties Help						
Time Range	300m	Run Options Normal 💌				
Maximum Time Step	1m	State Variables Zero				
Number of Points	51	Coperating Point				
Temperature 🛛 Linear 💌	27	C Operating Point Only				
Retrace Runs	1	🔽 Auto Scale Ranges				
Р	X Expression	Y Expression	XRange	YRange >		
	∀ (1,3]	0.3,0,0.06	22.5,-15,7.5		
Ш 3 Т	V(4)	0.3,0,0.06	12,-3,3		

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} = 8,726B, U_{min} = 7,178 B.

13. По графикам определите и запишите:

 U_{max} - максимальное напряжение на нагрузке. На рис. 24 U_{max} = 8,762B; U_{min} - минимальное напряжение на нагрузке. На рис. 24 U_{min} = 7,178 B; U_m = V1 = A - амплитуду напряжения генератора. На рис. 24 U_m = 15 B; U_H - среднее значение напряжения на нагрузке. На рис. 24 U_H = 7,952 B T_{nep} = $3\tau_2$ - время окончания процесса насыщения индуктивности (напряжение достигло 0,95 U_{max}). На рис. 24 T_{nep} = 50 мс.

Рассчитайте коэффициент пульсаций

 $K_{\Pi y \pi \%} = ((U_{\text{max}} - U_{\text{min}})/(2*U_{\text{H}}))*100\%$

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

Рассчитайте постоянную времени сглаживающего фильтра по формуле $au_2 = L/R$

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

Сравните значения T_{nep} , полученное по графику, и $3\tau_1$ из расчёта. $T_{nep} = 50 \text{ мс} > 3\tau_2 = 34,8 \text{ мс}$, 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		Operating Point			
Temperature 🛛 Linear 💌	27		Operating Point Only			
Retrace Runs	1		🔽 Auto Scale Ranges			
Р	× Expression		Y Expression	XRange	Y Range	>
		v (1,3)		0.1,0,0.02	22.5,-15,7.5	
Ш 3 Т		v (4)		0.1,0,0.02	12,-3,3	
						1.

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.

Transient Analysis Limits					
Run Add	Delete Expand	Stepping Properties Help			
Time Range	300m	Run Options Normal 💌			
Maximum Time Step	1m	State Variables Zero 💌			
Number of Points	51	Operating Point			
Temperature 🛛 Linear 💌	27	Operating Point Only			
Retrace Runs	1	🔽 Auto Scale Ranges			
P	× Expression	Y Expression	XRange	YRange >	
	v[1,3]		0.3,0,0.06	22.5,-15,7.5	
3 T	v(4)		0.3,0,0.06	12,-3,3	

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 B, U_{min} = 7,536 B.

18. По графикам определите и запишите:

 U_{max} - максимальное напряжение на нагрузке. На рис. 29 U_{max} = 8,337B; U_{min} - минимальное напряжение на нагрузке. На рис. 29 U_{min} = 7,536 B; U_m = V1 = A - амплитуду напряжения генератора. На рис. 29 U_m = 15 B; U_H - среднее значение напряжения на нагрузке. На рис. 29 U_H = 7,936 B T_{nep} = $3\tau_2$ - время окончания процесса насыщения индуктивности (напряжение достигло 0,95 U_{max}). На рис. 29 T_{nep} = 80 мс.

Рассчитайте коэффициент пульсаций

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

По графику рис. 29 $\mathbf{K}_{\mathbf{п}\mathbf{y}\mathbf{n}\mathbf{\%}} = ((8,337 - 7,536) : (2*7,936) * 100\% = 5\%$.

Рассчитайте постоянную времени сглаживающего фильтра по формуле $au_2 = L/R$

В рассматриваемом примере $\tau_2 = L/R = 10 \ \Gamma H / 430 \ Om = 23,2 \ mc.$ Сравните значения T_{nep} , полученное по графику, и $3\tau_1$ из расчёта. $T_{nep} = 80 \ mc > 3\tau_2 = 69,6 \ mc,$ 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.