

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра САУ

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №3
по дисциплине «Силовая электроника»
Тема: Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя
при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС
Вариант 10

Студенты гр. 6492

Огурецкий Д.В.

Преподаватель

Кузнецов М.А.

Санкт-Петербург

2019

Лабораторная работа № 3

Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС

Цель работы

Исследование однофазного мостового управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС с нулевым диодом.

Общие сведения

Предлагаемая лабораторная работа позволяет исследовать работу однофазного мостового управляемого выпрямителя при различных углах управления. Принципиальная схема исследуемой схемы представлена на рисунке 3.1.

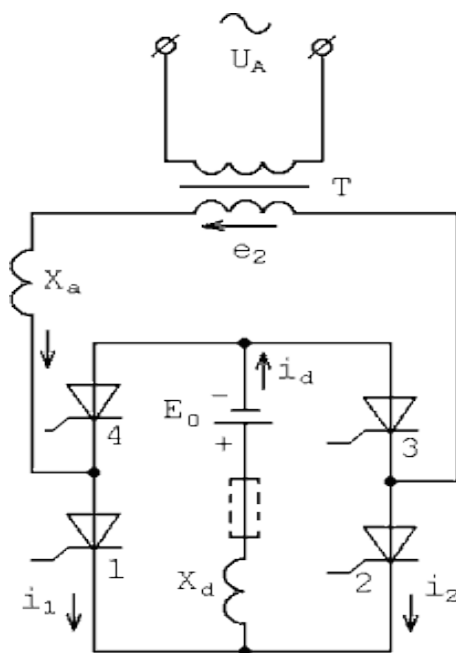


Рис. 3.1 Однофазный мостовой выпрямитель с противо-ЭДС

При $E_0 = 0$ и $x_H \rightarrow \infty$ ($x_H = 7 - 10R_H$) ток в цепи нагрузки идеально сглажен. Токи вентилей имеют прямоугольную форму, при этом прямоугольники токов сдвинуты относительно выпрямленного напряжения на угол α . Сдвиг тока относительно напряжения на угол α приводит к появлению в выпрямленном напряжении U_d отрицательных участков, что вызывает снижение его среднего значения E_d . Длительность протекания тока через каждый вентиль остается равной половине периода напряжения

питающей сети. При $E_0 \neq 0$ и конечном значении ($x_H \neq \infty$) моменты включения вентилей зависят от величины противо-ЭДС E_0 . Если $E_0 \geq \sqrt{2}E_2$, вентили не включаются, ток $i_d = 0$, а интервал проводимости тока через вентиль $\lambda = 0$. С уменьшением E_0 тока интервал проводимости возрастает, и в пределе, при $E_0 = 0$ он составляет 180° . Кривые токов и напряжений для двух случаев величины E_0 приведены на рис.3.2.

В режиме I угол $0 < \lambda < 180^\circ$ и выпрямленный ток имеет прерывистый характер. В промежутке (0-01) включены вентили 1 и 3, а в промежутке (02-03) – вентили 2 и 4. За начало координатной системы принимаем момент открывания тиристоров 1 и 3. В момент включения тиристоров 1 и 3 напряжение вторичной обмотки трансформатора равно величине противо-ЭДС E_0 :

$$\sqrt{2}U_{2\phi} \sin \varphi = E_0, \quad \sin \varphi = \frac{E_0}{\sqrt{2}U_{2\phi}}.$$

В момент выключения вентилей 1 и 3 угол $\omega t = \lambda$ и мгновенный ток $i_d = 0$:

$$\cos \varphi - \cos(\lambda + \varphi) = \frac{E_0 \lambda}{x_a(1+q)} \quad \text{или} \quad \varphi = \arctg \frac{1 - \cos \lambda}{\lambda - \sin \lambda}.$$

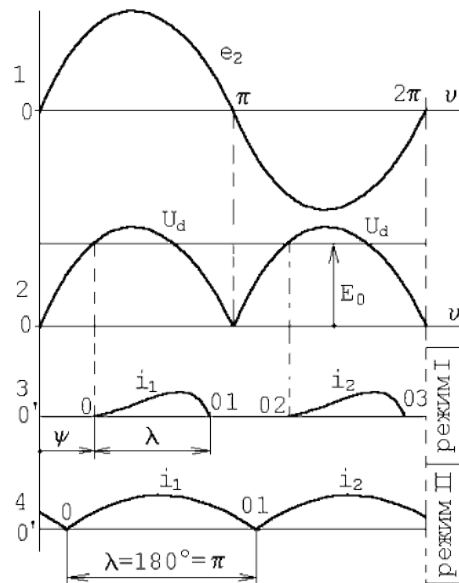


Рис.3.2. Кривые токов и напряжений однофазного мостового управляемого выпрямителя

Схема установки:

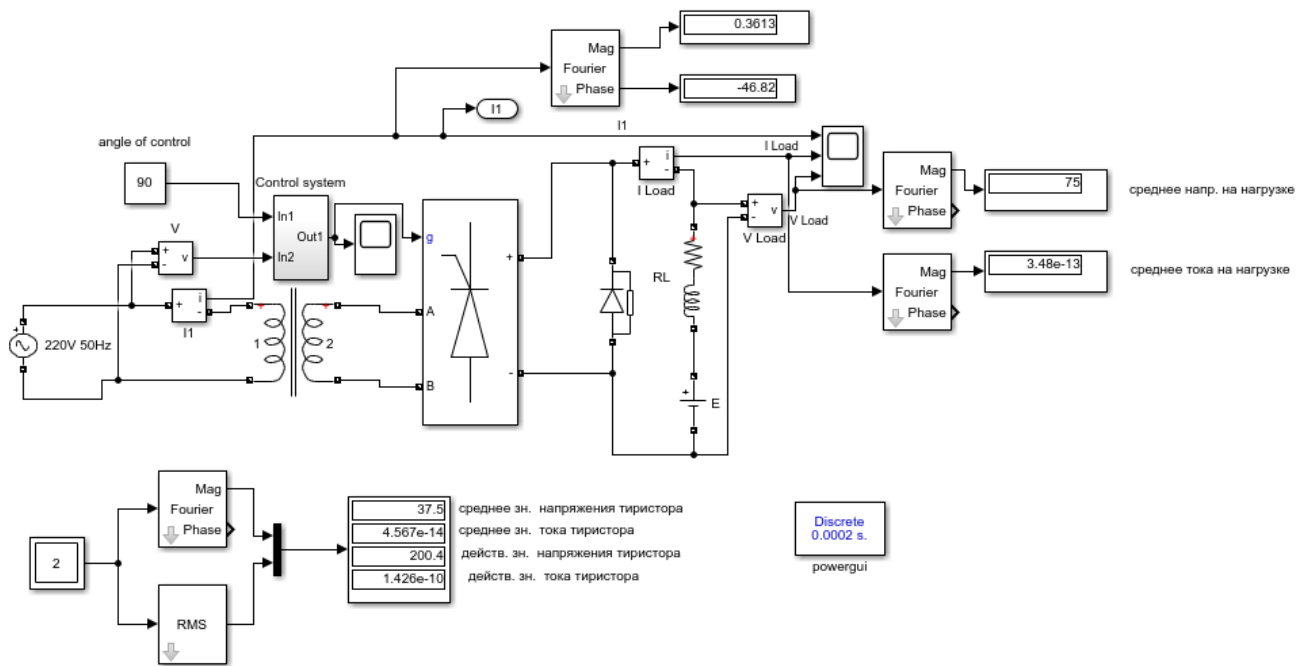


Рис.3.3 Модель однофазного управляемого выпрямителя

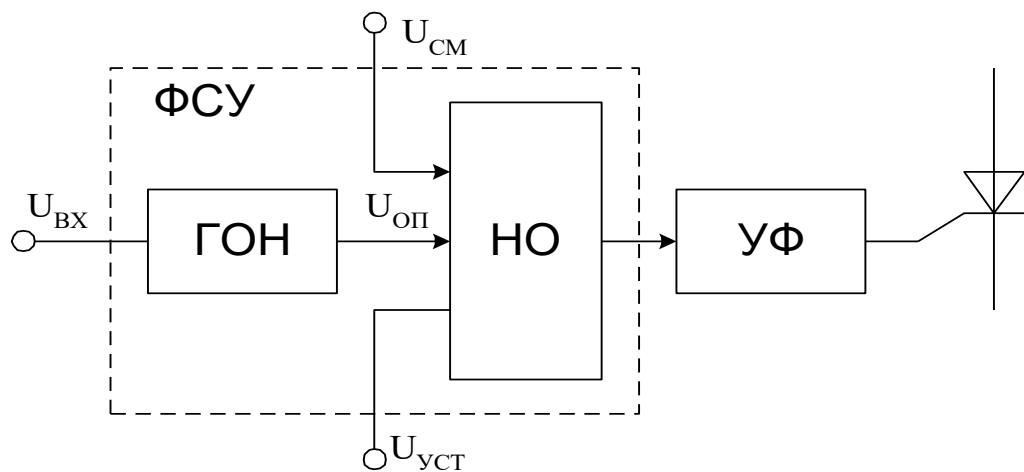


Рис.3.4 Функциональная схема одного канала синхронной системы управления тиристорным преобразователем

Результаты экспериментов

Проведем исследование регулировочной характеристики управляемого однофазного выпрямителя при нулевом значении противо-ЭДС и различных нагрузках и занесем результаты эксперимента в табл.1. Трансформатор настроен $U_{1\max}=310$, $U_{2\max}=560$.

Таблица 1. Регулировочная характеристика при нулевом противо-ЭДС

Нагрузка 10		Нагрузка 90	
α , град	U_H , В	α , град	U_H , В
0	171,2	0	313,2
30	152,3	30	234,7
60	56,32	60	89,84
90	0,7648	90	1,216
120	0	120	0
150	0	150	0
180	0	180	0

Затем исследуем регулировочную характеристику управляемого однофазного выпрямителя при ненулевом значении противо-ЭДС и различных нагрузках, результаты занесем в табл.2.

Таблица 2. Регулировочная характеристика при противо-ЭДС: $E=75$ В

Нагрузка 10		Нагрузка 90	
α , град	U_H , В	α , град	U_H , В
0	206,8	0	321,1
30	179,6	30	239,4
60	89,74	60	94,81
90	75	90	75
120	75	120	75
150	75	150	75
180	75	180	75

Проведем исследование внешних характеристик однофазного управляемого выпрямителя при работе на активно-индуктивную нагрузку ($R_H=10$ Ом, $L_H=0,159$ Гн) с противо-ЭДС и обратным диодом, а также различными нагрузками с помощью изменения величины противо-ЭДС. Результаты исследования занесем в таблицу 3 и таблицу 5. Результаты исследований спектрального состава тока занесем в таблицу 4 и таблицу 6.

Таблица 3. Внешние характеристики с обратными диодом $R_H=10$

Данные		Измерения при нагрузке 10								Вычисления		
α	E	I_H	U_H	$I_{L(1)max}$	ϕ_1	I_{VScp}	I_{VSd}	U_{VSmax}	I_{VSmax}	$S_{L(1)}$	$P_{L(1)}$	P_H
град	В	А	В	А	град	А	А	В	А	ВА	Вт	Вт
0	100	12,36	219,7	29,76	-46,01	5,546	8,287	460,8	14,67	4612,8	3203,740	2715,492
	80	13,38	209,9	31,93	-47,18	5,96	8,896	456,6	15,68	4949,15	3363,923	2808,462
	60	14,42	200,2	34,09	-48,39	6,365	9,499	452,3	16,7	5283,95	3508,842	2886,884
	40	15,46	190,6	36,24	-49,57	6,768	10,1	447,6	17,73	5617,2	3642,858	2946,676
	20	16,52	181,2	38,39	-50,74	7,166	10,7	443	18,77	5950,45	3765,685	2993,424
	0	17,59	171,8	40,52	-51,89	7,565	11,29	439	19,8	6280,6	3876,217	3021,962
30	100	9,385	189,5	22,28	-53,16	3,824	6,126	462,8	11,82	3453,4	2070,597	1778,4575
	80	10,64	182	24,9	-53,68	4,305	6,857	458,5	13,03	3859,5	2285,960	1936,48
	60	11,9	174,6	27,53	-54,23	4,791	7,591	454,2	14,23	4267,15	2494,289	2077,74
	40	13,16	167,3	30,15	-54,88	5,273	8,319	449,6	15,44	4673,25	2688,477	2201,668
	20	14,43	160	32,76	-55,47	5,757	9,051	445	16,65	5077,8	2878,287	2308,8
	0	15,71	152,8	35,36	-56,17	6,238	9,775	440,4	17,87	5480,8	3051,328	2400,488
60	100	1,199	111	3,44	-70,43	0,455	1,035	424,7	3,217	533,2	178,5996	133,089
	80	1,477	93,95	3,743	-71,4	0,500	1,132	420,7	3,482	580,165	185,0489	138,76415
	60	1,993	79,66	4,26	-72,03	0,578	1,292	403	4,146	660,3	203,7149	158,76238
	40	3,328	69,29	6,196	-71,97	0,874	1,862	398,4	5,23	960,38	297,2518	230,59712
	20	4,673	62,76	8,125	-72,8	1,169	2,439	379,9	6,316	1259,375	372,4071	293,27748
	0	6,03	56,53	10,06	-73,78	1,465	3,017	375,3	7,488	1559,3	435,5532	340,8759

Таблица 4. Спектральный состав тока $R_H=10$

Измерения нагрузка 10 ($E=60$)			Вычисления			
α	$y_1 \dots y_9$	$I_1(1)_{max}$ (А)	$I_1(3)_{max}$	$I_1(5)_{max}$	$I_1(7)_{max}$	$I_1(9)_{max}$
30	14.23	27.53	0,1625	0,0484	0,0542	0,0052
	0.028					
	0.005					
	0.004					
	0.0003					

Таблица 5. Спектральный состав тока $R_H=90$

Измерения нагрузка 90 ($E=60$)			Вычисления			
α	$y_1 \dots y_v$	$I_1(1)_{\max}$ (А)	$I_1(3)_{\max}$	$I_1(5)_{\max}$	$I_1(7)_{\max}$	$I_1(9)_{\max}$
30	0.410	4,815	0,0200	0,00763	0,0254	0,0061
	0.00057					
	0.00013					
	0.00031					
	0.000058					

Таблица 6. Внешние характеристики с обратными диодом $R_H=90$

Данные		Измерения при нагрузке 90								Вычисления		
α	E	I_H	U_H	$I_{1(1)\max}$	φ_1	$I_{VS\text{cp}}$	$I_{VS\text{д}}$	$U_{VS\text{max}}$	$I_{VS\text{max}}$	$S_{1(1)}$	$P_{1(1)}$	P_H
град	В	А	В	А	град	А	А	В	А	ВА	Вт	Вт
0	100	2,518	324,9	6,229	-24,48	1,192	1,725	544,4	2,791	965,495	878,70	818,09
	80	2,717	322,8	6,684	-24,81	1,284	1,857	543,8	2,991	1036,02	940,39	877,04
	60	2,916	320,7	7,138	-25,06	1,375	1,990	543,1	3,191	1106,39	1002,2	935,16
	40	3,115	318,4	7,590	-25,43	1,463	2,120	542,5	3,391	1176,45	1062,4	991,81
	20	3,314	316,4	8,043	-25,81	1,551	2,250	542,1	3,591	1246,665	1122,3	1048,5
	0	3,513	314,4	8,496	-26,14	1,642	2,381	541,5	3,791	1316,88	1182,1	1104,4
30	100	1,629	246,6	3,940	-43,23	0,605	1,016	545,3	1,937	610,7	444,96	401,71
	80	1,835	240,6	4,386	-42,65	0,686	1,146	544,7	2,143	679,83	500,01	441,50
	60	2,043	239,3	4,815	-42,73	0,760	1,266	544,1	2,350	746,325	548,22	488,88
	40	2,250	238	5,245	-42,81	0,835	1,387	543,5	2,557	812,975	596,40	535,5
	20	2,458	236,8	5,678	-42,6	0,910	1,508	542,9	2,765	880,09	647,83	582,05
	0	2,665	235,5	6,111	-43,09	0,986	1,630	542,3	2,972	947,205	691,72	627,60
60	100	0,175	114,7	0,723	-58,05	0,054	0,133	44,2	0,438	112,0805	59,310	20,015
	80	0,217	98,73	0,755	-58,81	0,059	0,144	491,5	0,480	117,0095	60,596	21,434
	60	0,376	93,42	0,952	-60,2	0,088	0,206	477,8	0,643	147,498	73,302	35,079
	40	0,585	92,33	1,230	-61,26	0,130	0,296	477,2	0,818	190,65	91,671	53,976
	20	0,794	91,25	1,519	-62,22	0,173	0,388	476,5	1,014	235,445	109,73	72,434
	0	1,003	90,17	1,808	-62,91	0,215	0,481	475,9	1,210	280,24	127,61	90,440

Обработка результатов эксперимента.

1. Рассчитаем основные характеристики по формулам:

$$S_{I(1)} = \frac{U_{1MAX} I_{1(1)MAX}}{2} = \frac{310 * 6,229}{2} = 965,495 \text{ (ВА)}$$

$$P_{I(1)} = S_{I(1)} \cos \varphi_1 = 965,495 * \cos(-24,48^0) = 878,7027 \text{ (Вт)}$$

$$P_H = U_H I_H = 324,9 * 2,518 = 818,0982 \text{ (Вт)}$$

$$P_{VS} = U_{VS} I_{VScp} + I_{VS0} R_{VS} = 1 * 1,192 + 1,725 * 1 = 2,917 \text{ (Вт)}$$

Запишем полученные результаты в табл. 3,5.

$$\text{Для } R=10 \text{ Ом: } I_1(5)_{max} = \frac{\vartheta y_5}{y_1} I_1(1)_{max} = \frac{5 * 0,005}{14,23} * 27,53 = 0,0533 \text{ (А)}$$

$$\text{Для } R=90 \text{ Ом: } I_1(5)_{max} = \frac{\vartheta y_5}{y_1} I_1(1)_{max} = \frac{5 * 0,00013}{0,41} * 4,815 = 0,00763 \text{ (А)}$$

Запишем полученные результаты в табл. 4,6.

2. Построим внешние характеристики управляемого выпрямителя

$U_H = f(I_H)$ при различных углах управления:

При нагрузке $R=10 \text{ Ом}$:

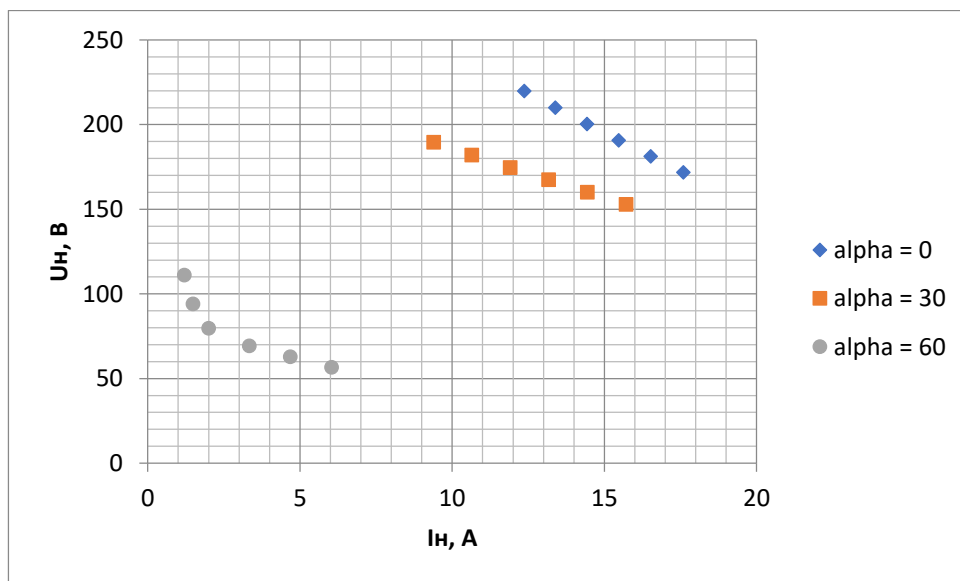


Рис.1. Внешняя характеристика выпрямителя при разных углах управления

При нагрузке $R=90\ \text{Ом}$:

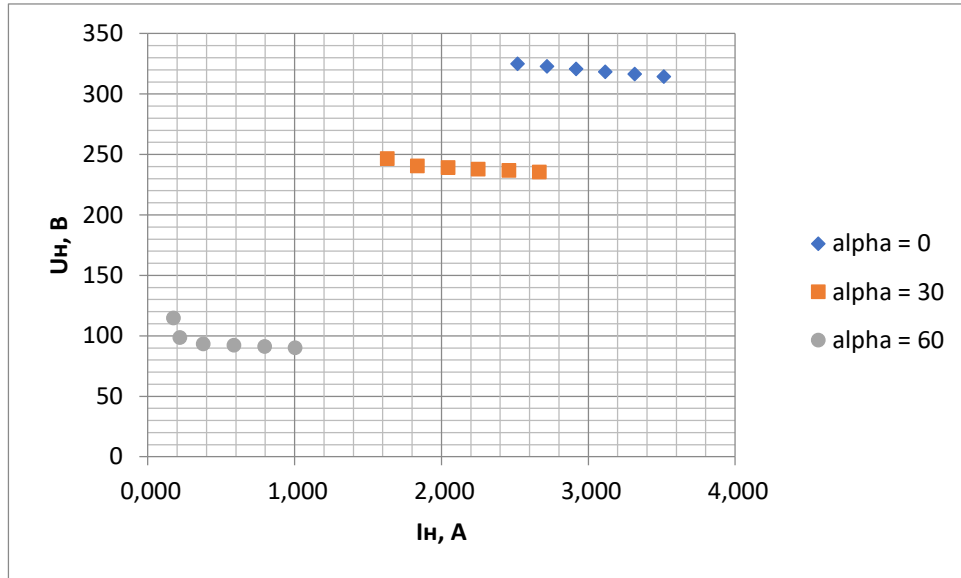


Рис.2. Внешняя характеристика выпрямителя при разных углах управления

3. Построим энергетические характеристики $S_{I(1)}, P_{I(1)}, P_{VS} = f(P_H)$;

$$I_{I(1)\max}, I_{VS\text{cp}}, I_{VS\text{д}} = f(I_H)$$

При нагрузке $R=10\ \text{Ом}$:

$$\alpha=0^\circ$$

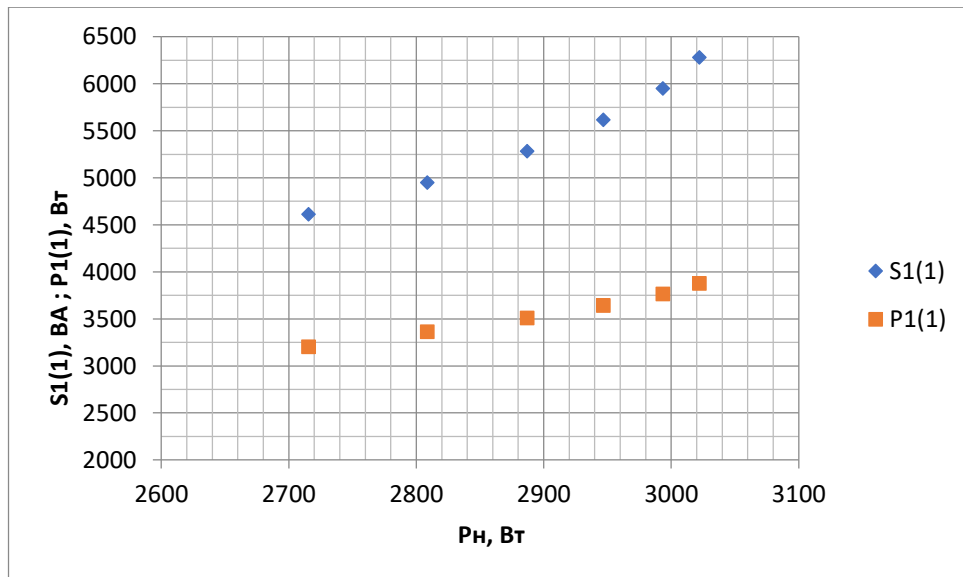


Рис.3. Энергетические характеристики $S1(1), P1(1)$

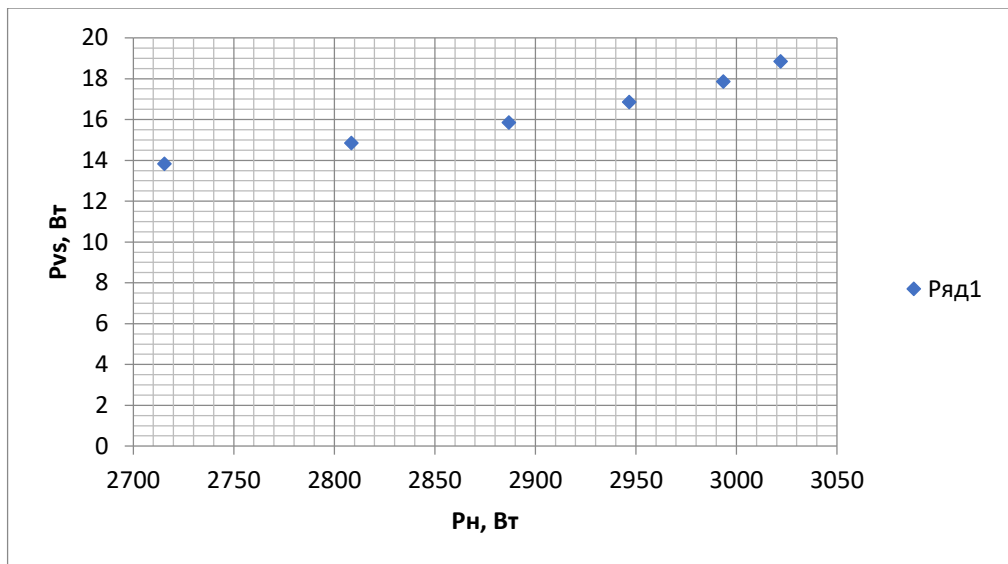


Рис.4. Энергетические характеристики $P_{vs} = f(P_n)$

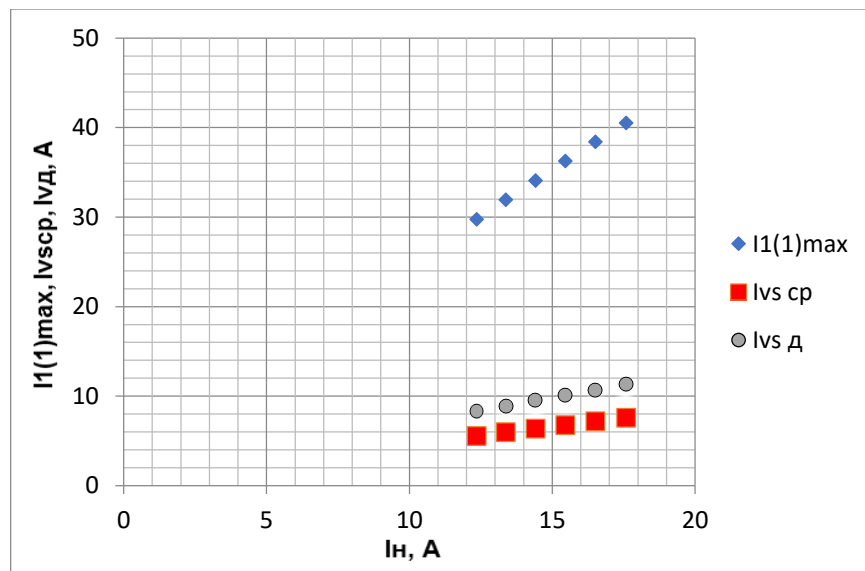


Рис.5. Энергетические характеристики $I_{1\max}, I_{vs\ cp}, I_{vs\ д} = f(I_n)$.

$$\alpha = 30^\circ$$

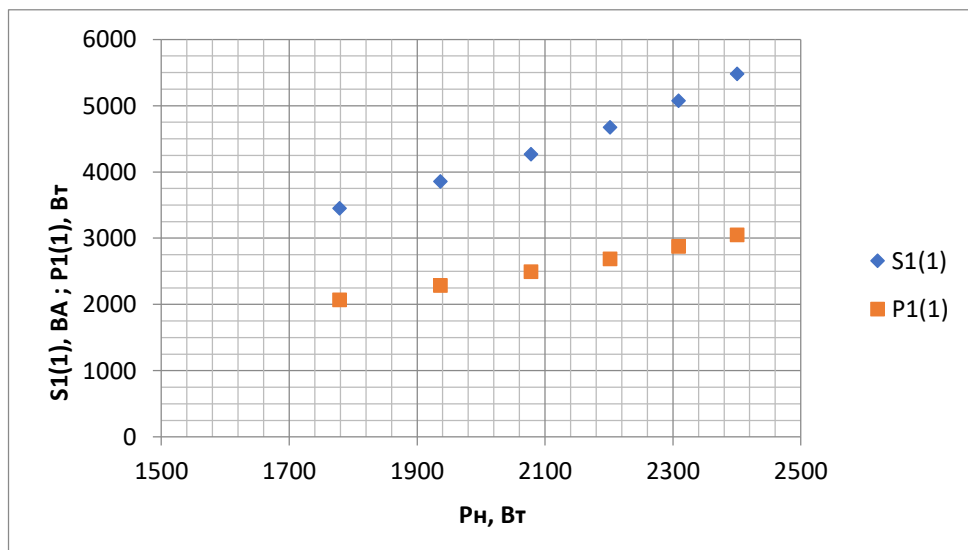


Рис.6 Энергетические характеристики S1(1), P1(1)

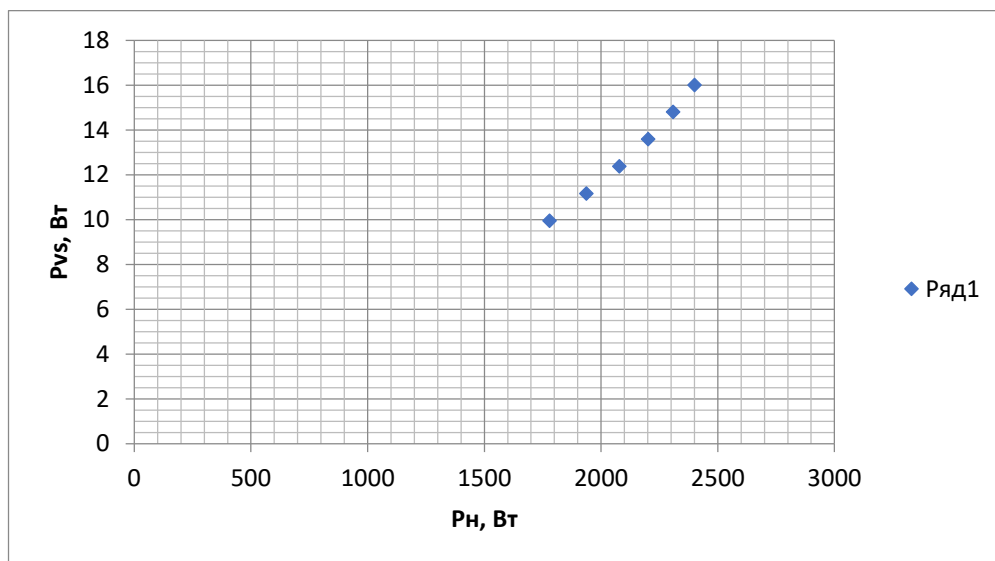


Рис.7. Энергетические характеристики $P_{vs} = f(P_n)$

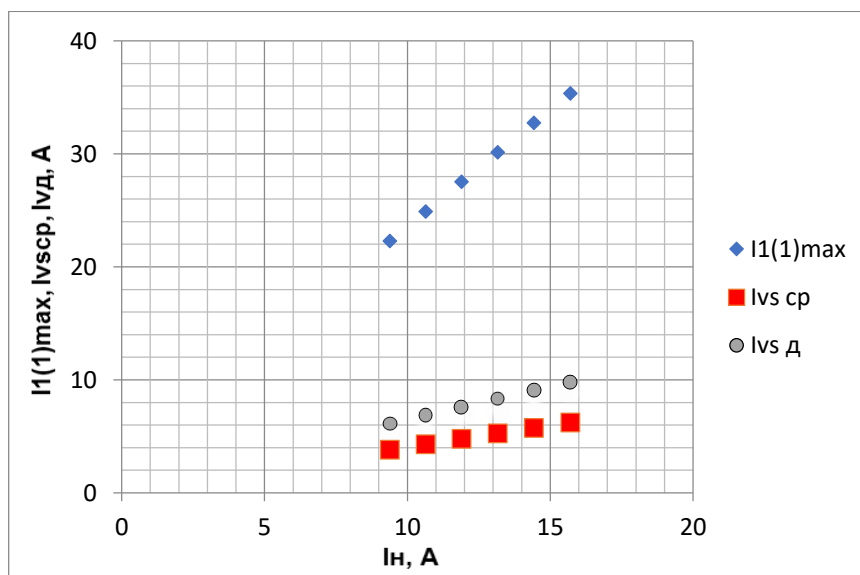


Рис.8. Энергетические характеристики $I_{1\max}, I_{vs\ cp}, I_{vs\ д} = f(I_n)$.

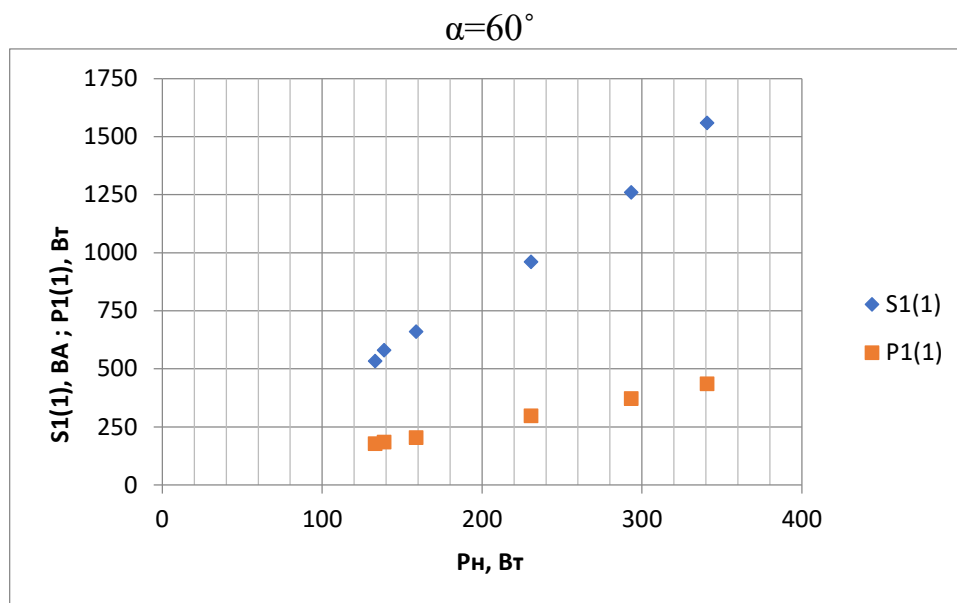


Рис.9. Энергетические характеристики $S1(1)$, $P1(1)$

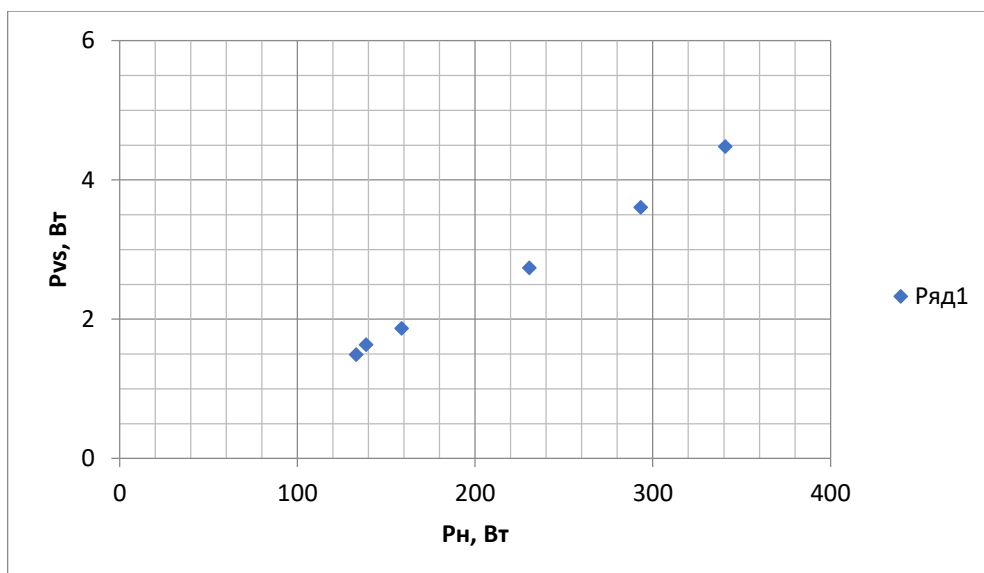


Рис.10. Энергетические характеристики $P_{vs} = f(P_n)$

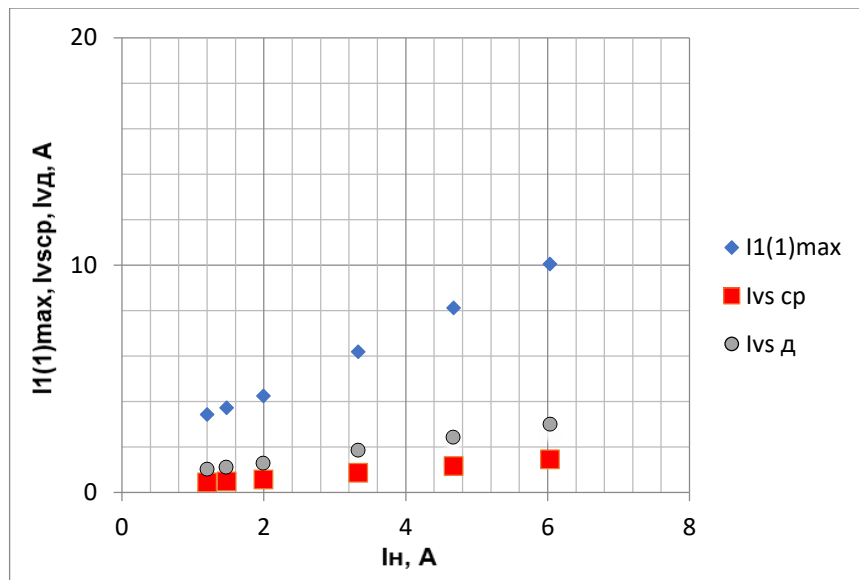


Рис.11. Энергетические характеристики $I1(1)_{max}$, $I_{vs\ cp}$, $I_{vs\ d} = f(I_n)$

При нагрузке $R=90\ \Omega$:

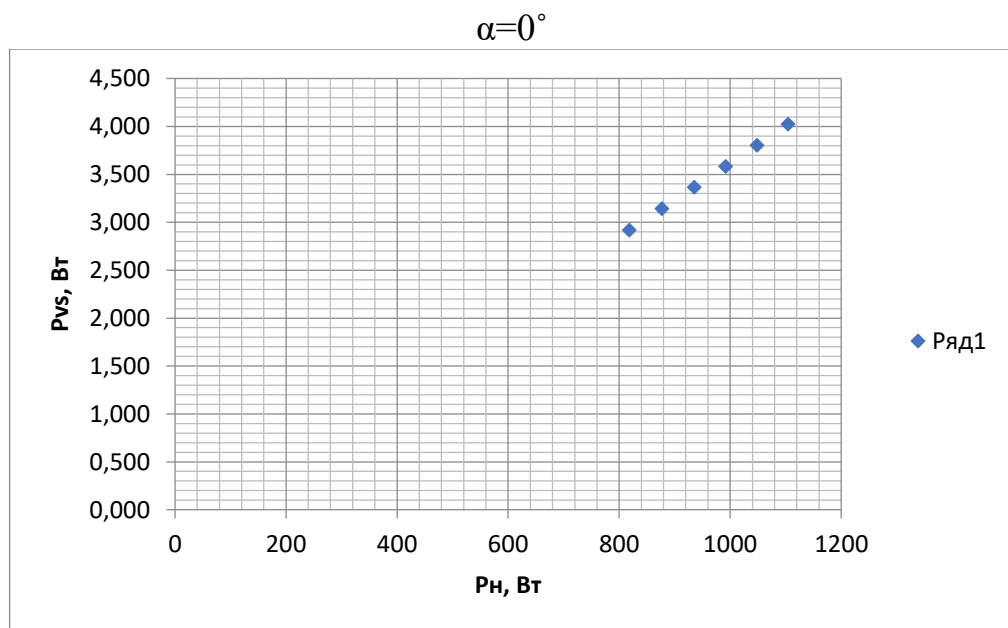


Рис.12. Энергетические характеристики $S1(1)$, $P1(1)$

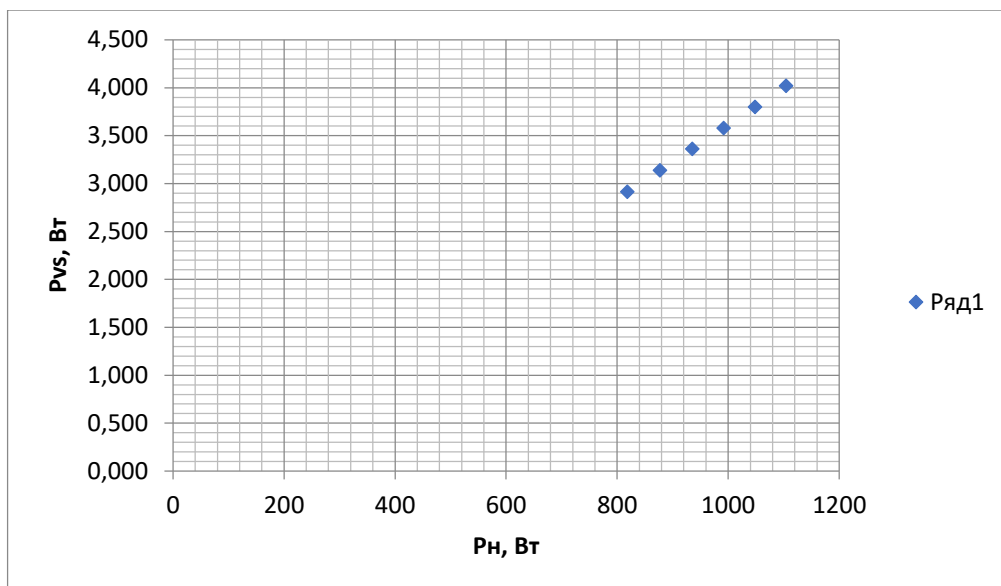


Рис.13. Энергетические характеристики $P_{vs} = f(P_n)$

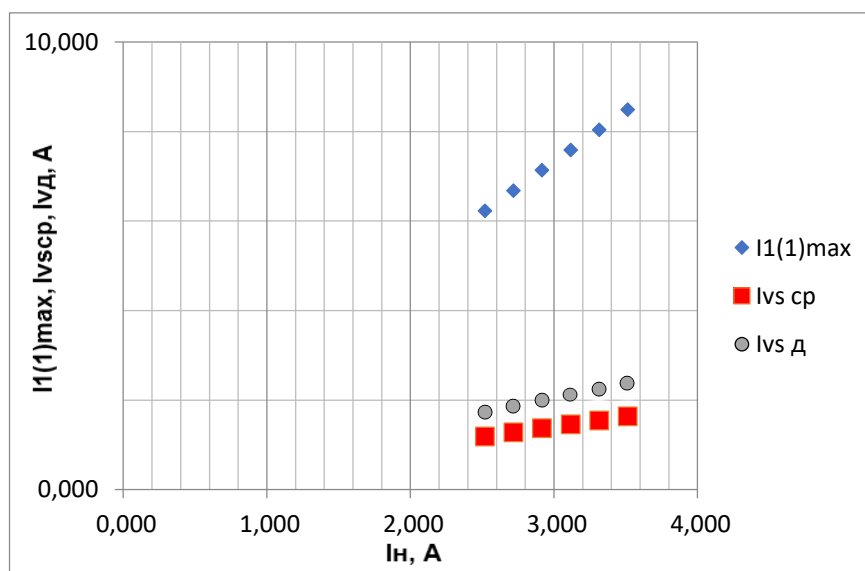


Рис.14. Энергетические характеристики I_{1max} , $I_{vs\ cp}$, $I_{vs\ d}$.

$\alpha=30^\circ$

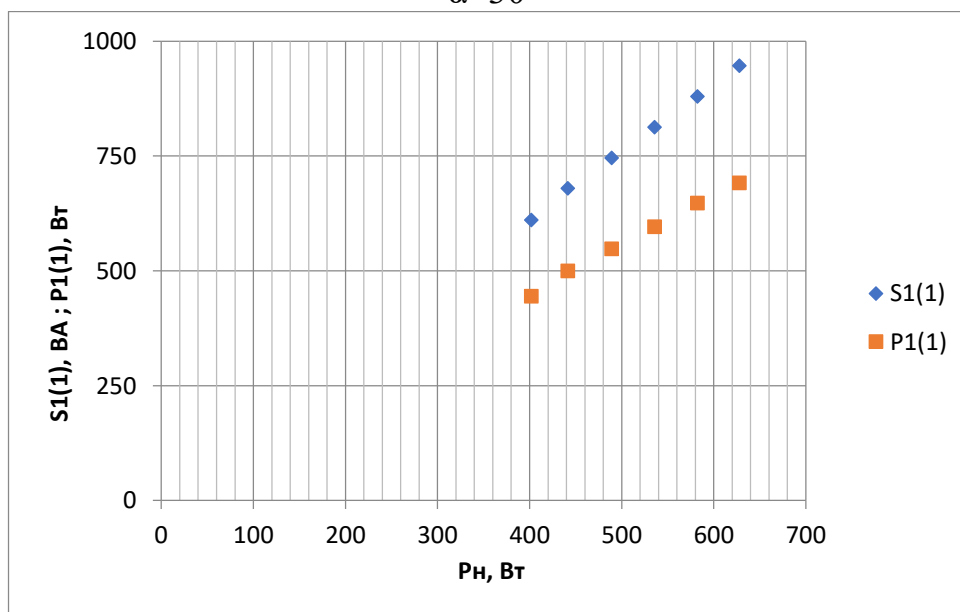


Рис.15. Энергетические характеристики S1(1), P1(1)

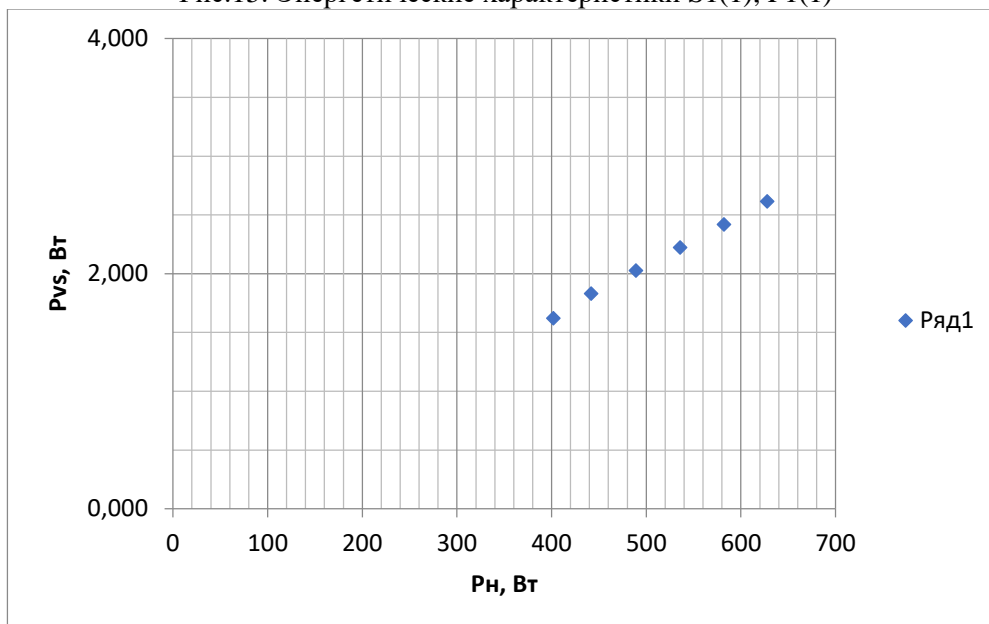


Рис.16. Энергетические характеристики $P_{vs} = f(P_n)$

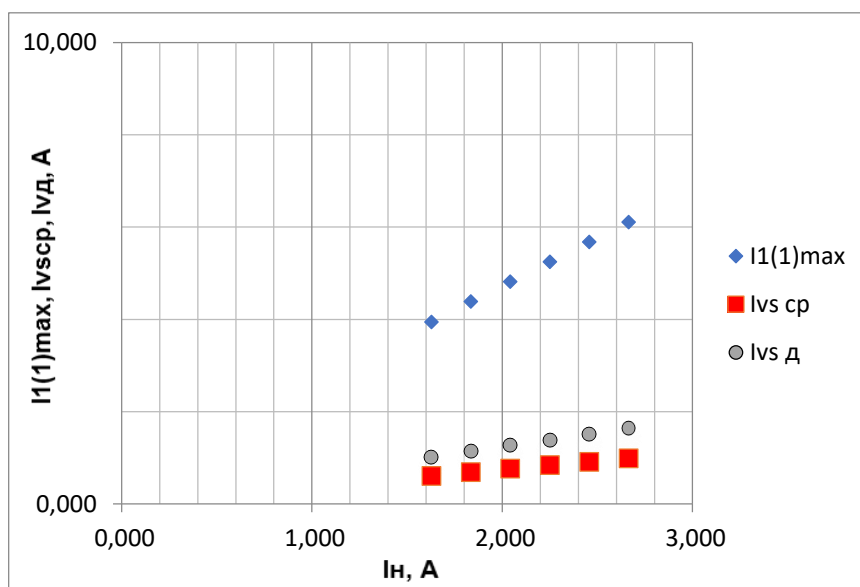


Рис.17. Энергетические характеристики I_{1max} , $I_{vs\ cp}$, $I_{vs\ д}$.

$$\alpha=60^\circ$$

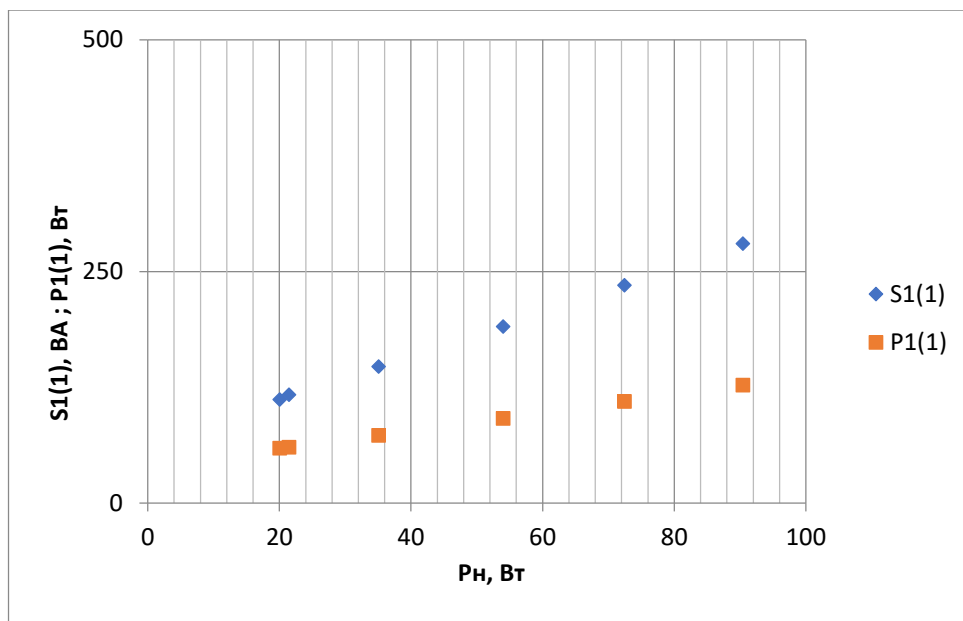


Рис.18. Энергетические характеристики $S1(1)$, $P1(1)$

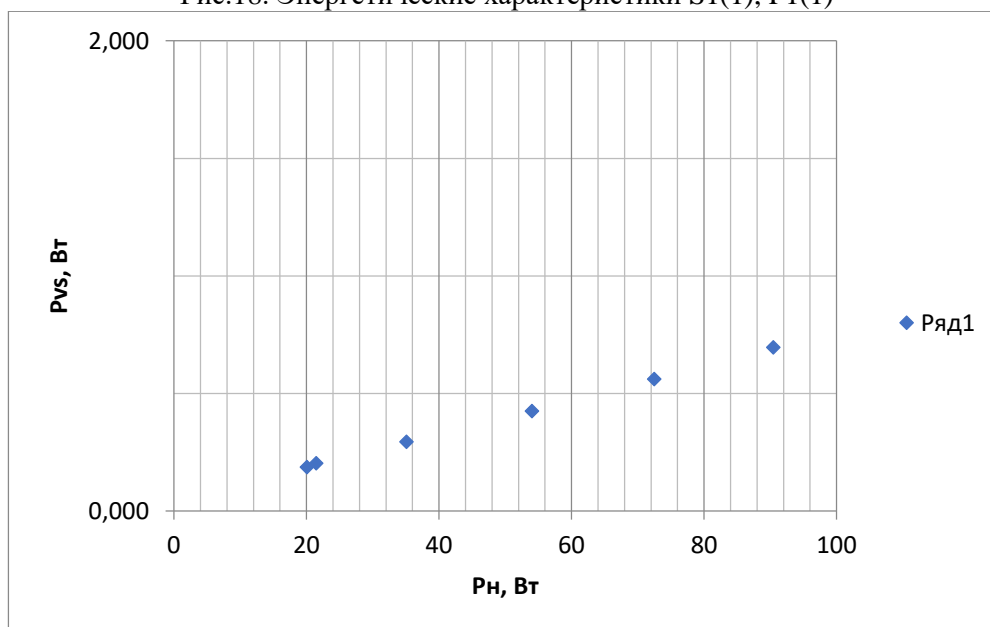


Рис.19. Энергетические характеристики $P_{vs} = f(P_n)$

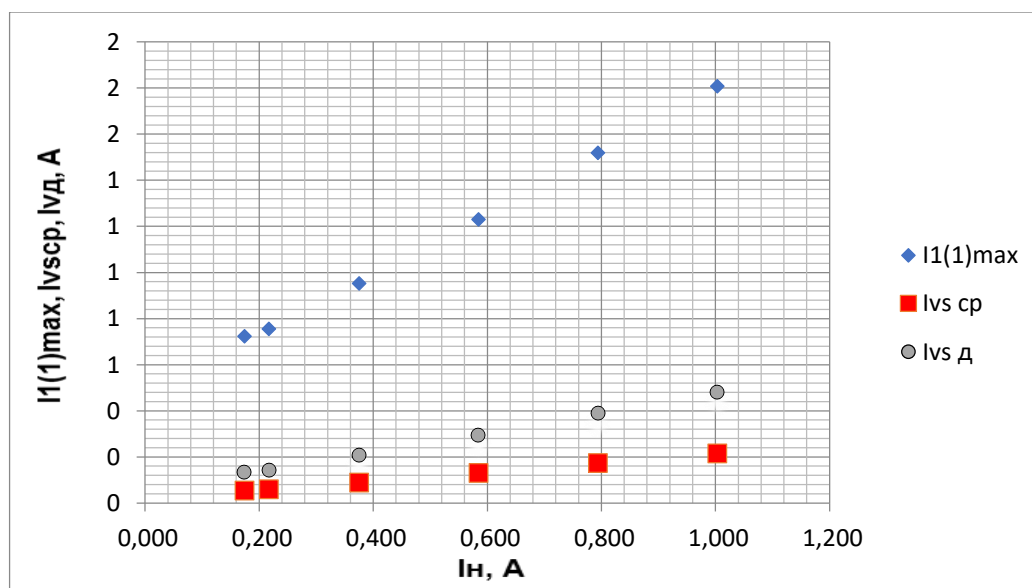


Рис.20. Энергетические характеристики $I_{1\max}$, $I_{vs\text{ ср}}$, $I_{vs\text{ д}}$.

4. Построим регулировочную характеристику $U_H = f(\alpha)$

При нагрузке $R=10\text{ Ом}$:

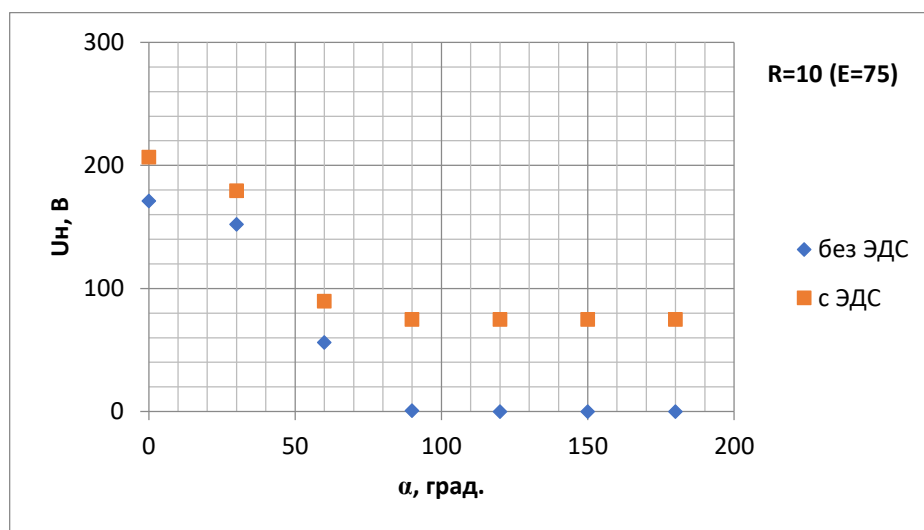


Рис.21. График регулировочной характеристики

При нагрузке $R=90\text{ Ом}$:

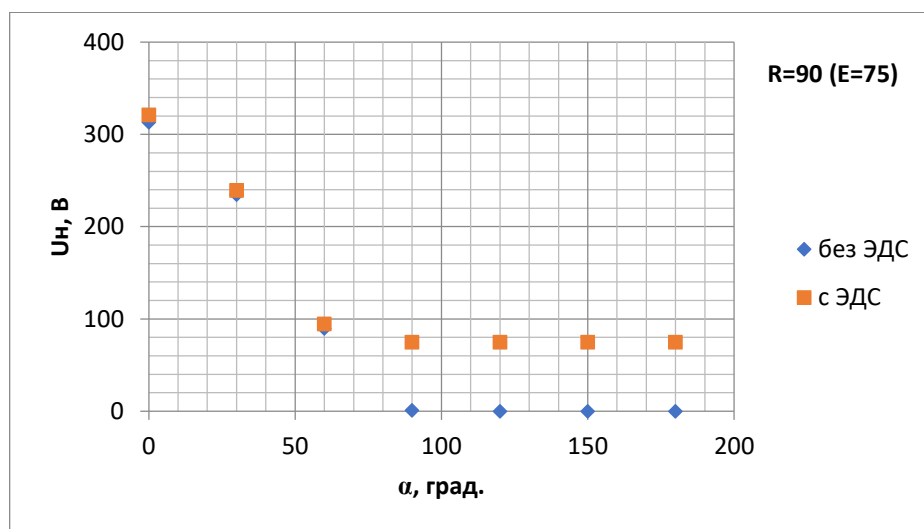


Рис.22. График регулировочной характеристики

5. Исследуем спектральный состав тока, потребляемого управляемым выпрямителем при значении угла управления $\alpha=30^\circ$.

Спектральный состав тока потребления (по таблице 4 и 5) $E=60$.

Таблица 7. Спектральный состав тока

	Нагрузка 10 Ом	Нагрузка 90 Ом
$I_{1(1)\max}$, А	27,53	4,815
$I_{1(3)\max}$, А	0,1625	0,0201
$I_{1(5)\max}$, А	0,0484	0,0076

$I_{l(7)\max}, A$	0,0542	0,0255
$I_{l(9)\max}, A$	0,0052	0,0061

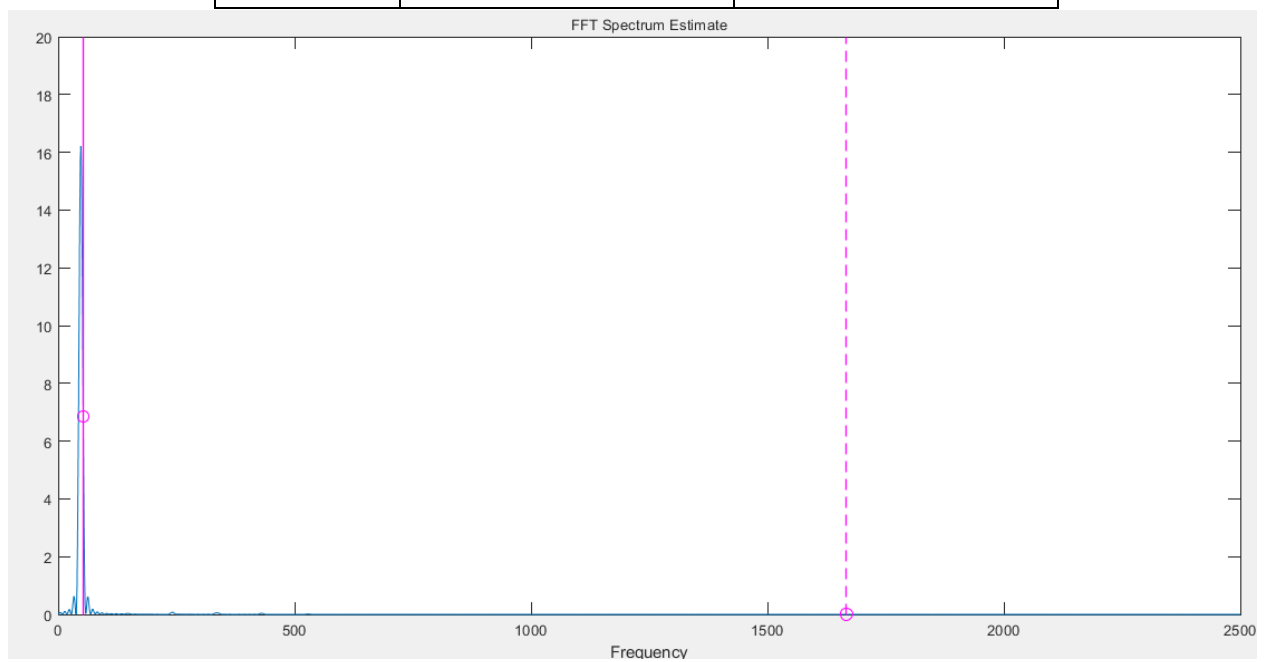


Рис.23. Спектральный состав тока для нагрузки 10 Ом.

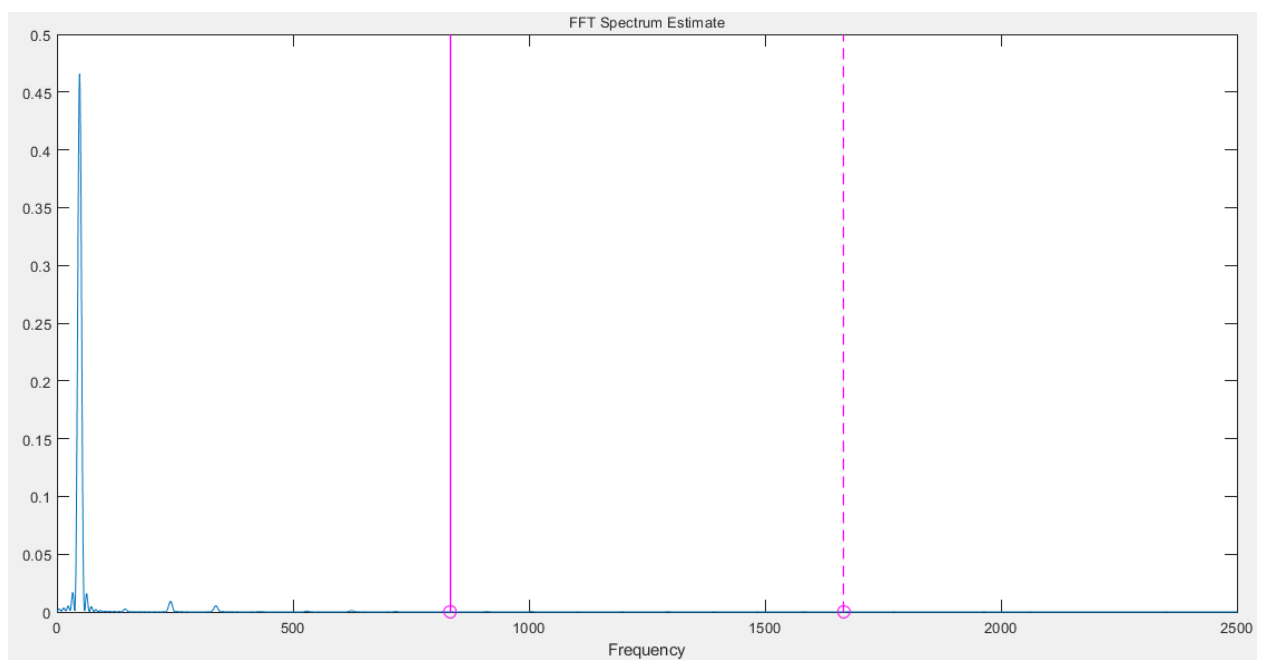


Рис.24 Спектральный состав тока при нагрузке 90 Ом.

Вывод: в ходе лабораторной работы был исследован однофазный мостовой управляемый выпрямитель с противо-эдс при работе с активно-индуктивной нагрузкой:

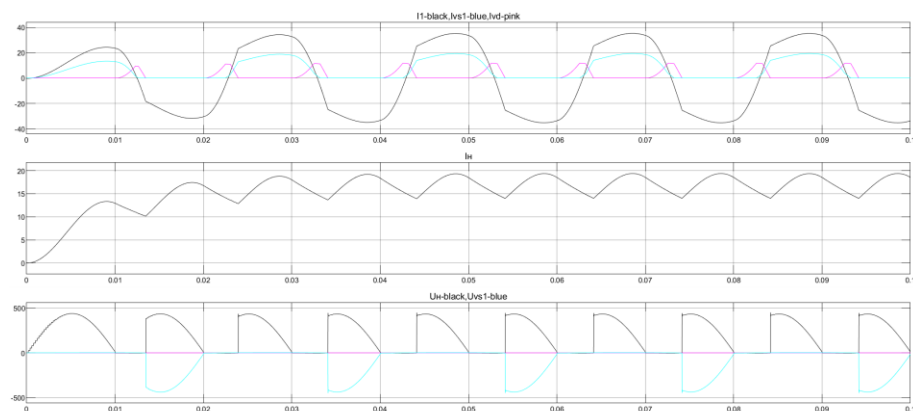
- Вид графика регулировочной характеристики, полученного при исследовании схемы, совпадает с известным нам видом регулировочной характеристики ОМУВ при активно-индуктивной нагрузке. Характеристика имеет пологий характер при меньших значениях индуктивности и сопротивления нагрузки и, наоборот, более крутой при больших значениях этих параметров.

- Внешняя характеристика выпрямителя представляет собой семейство параллельных прямых для различных углов управления α . Положение характеристики относительно оси ординат зависит от угла управления: чем он больше, тем ниже расположена прямая. Положение относительно оси абсцисс зависит от параметров нагрузки: при уменьшении индуктивности и сопротивления нагрузки прямая двигается вправо вдоль оси x .

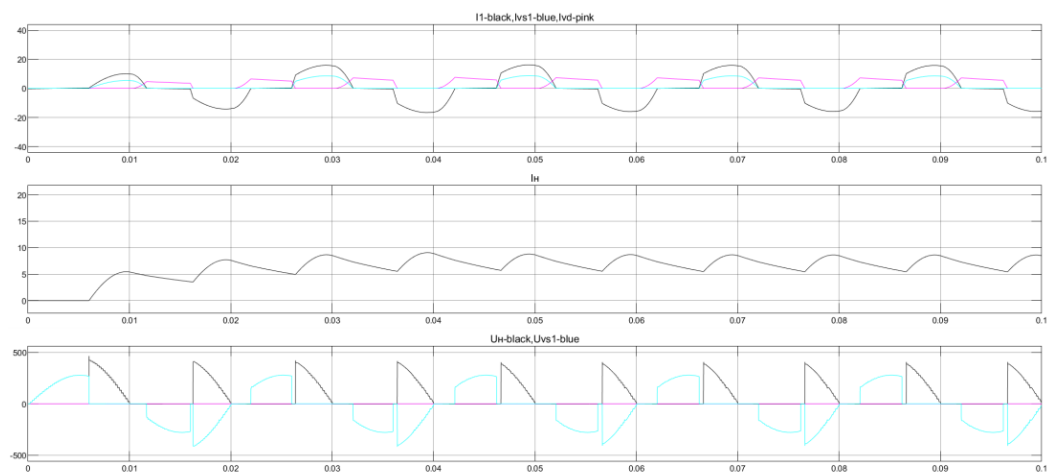
Временные диаграммы

$R=10$ $E=0$

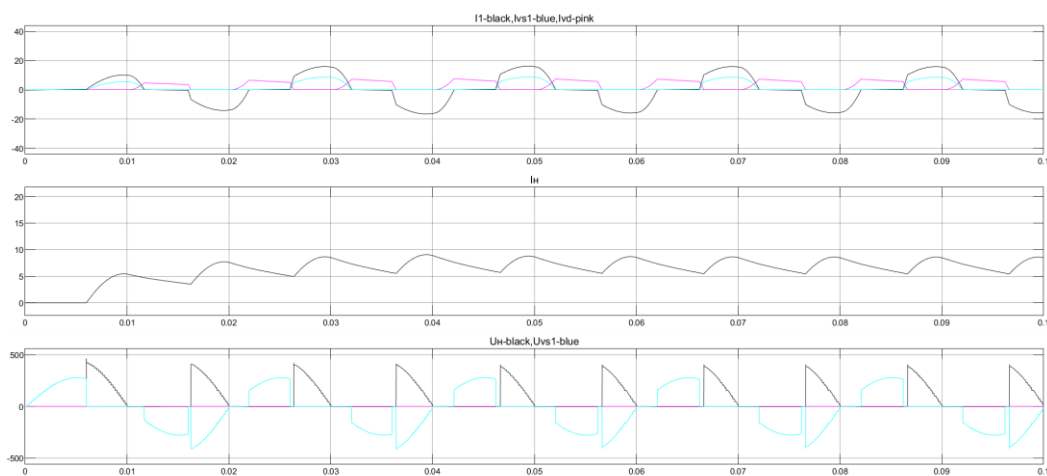
$\alpha=0$ внизу



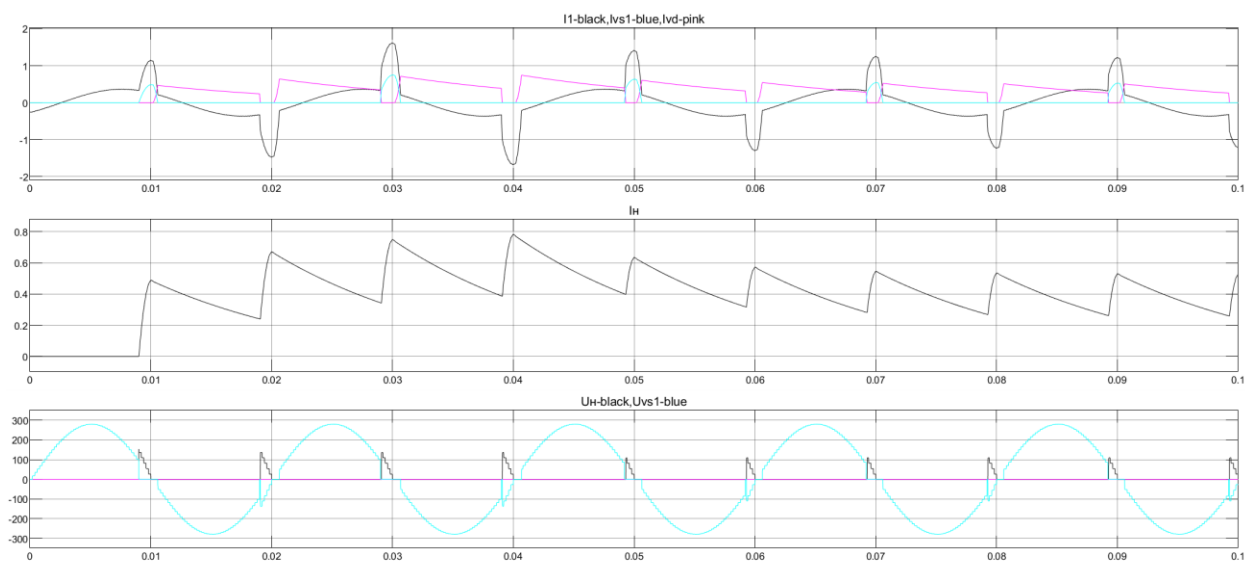
$\alpha=30$ внизу



$\alpha=60$ внизу

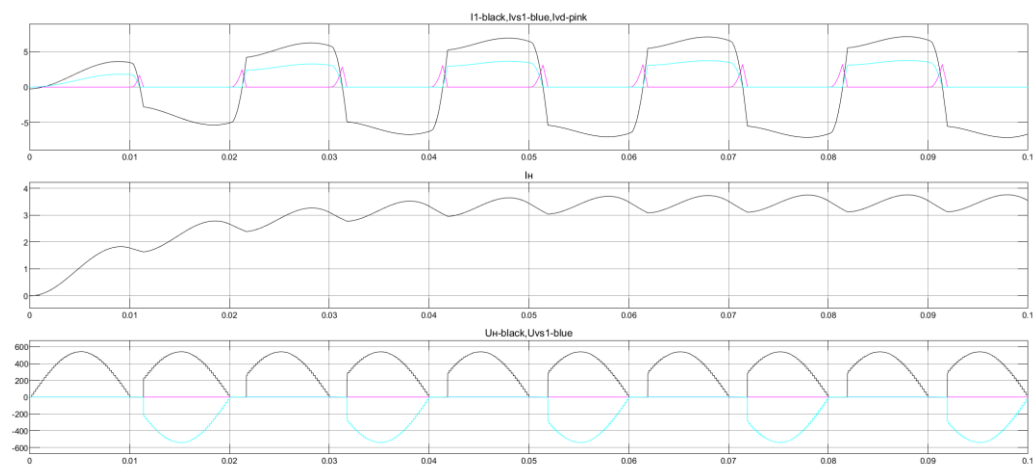


$\alpha=90$ внизу

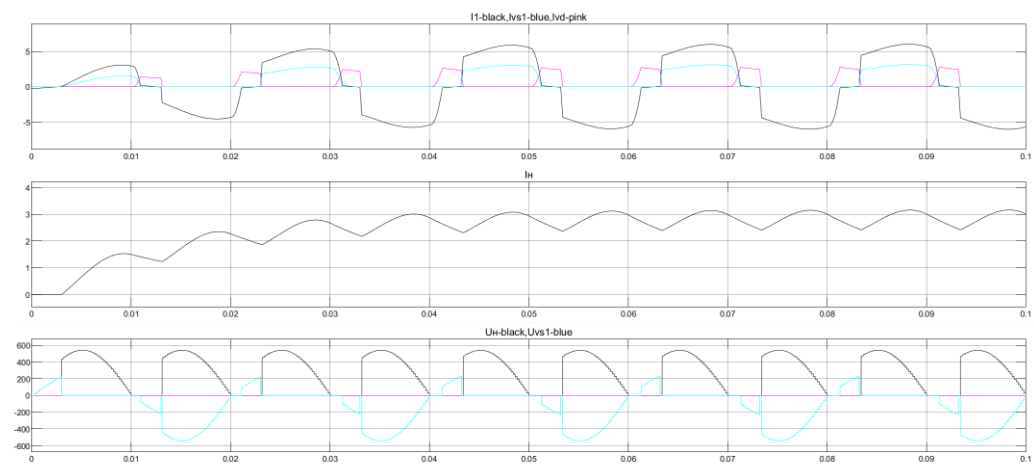


$R=90$ $E=0$

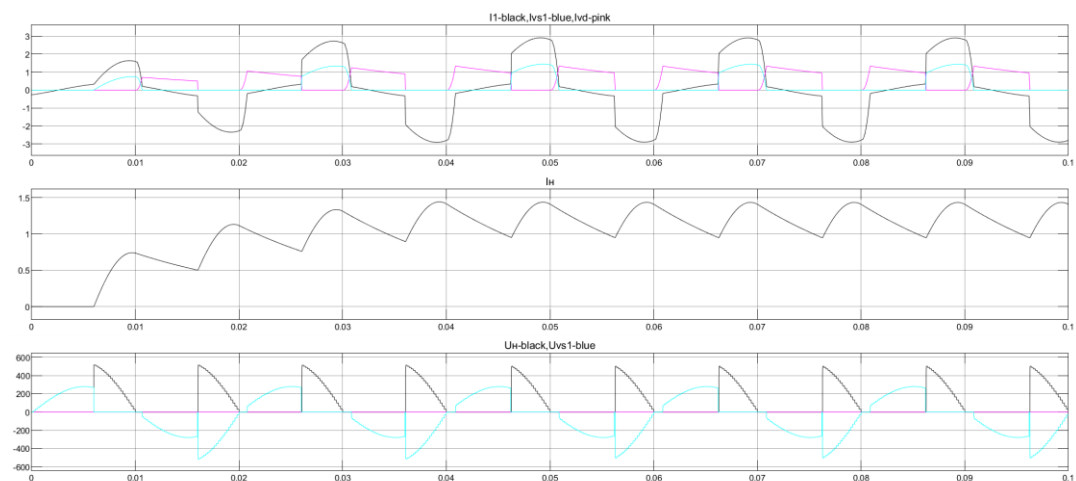
$a=0$ внизу



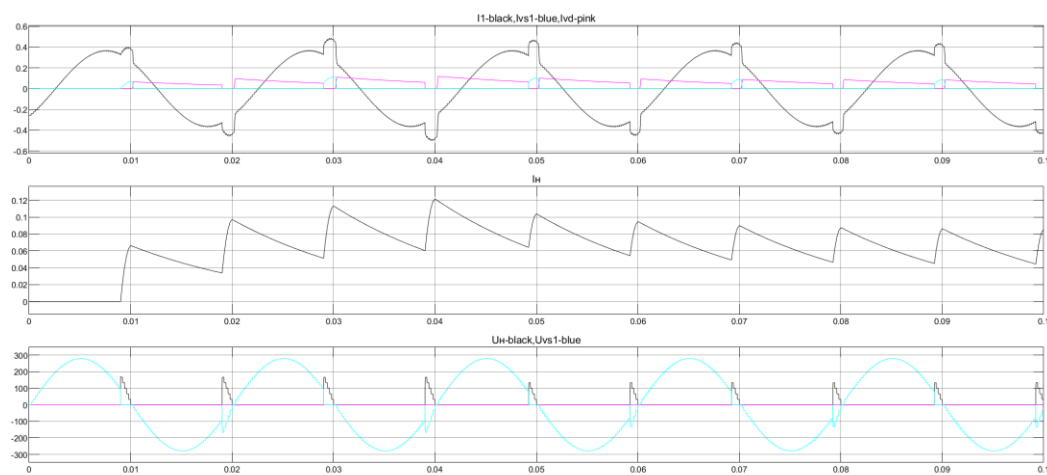
$a=30$ внизу



$a=60$ внизу

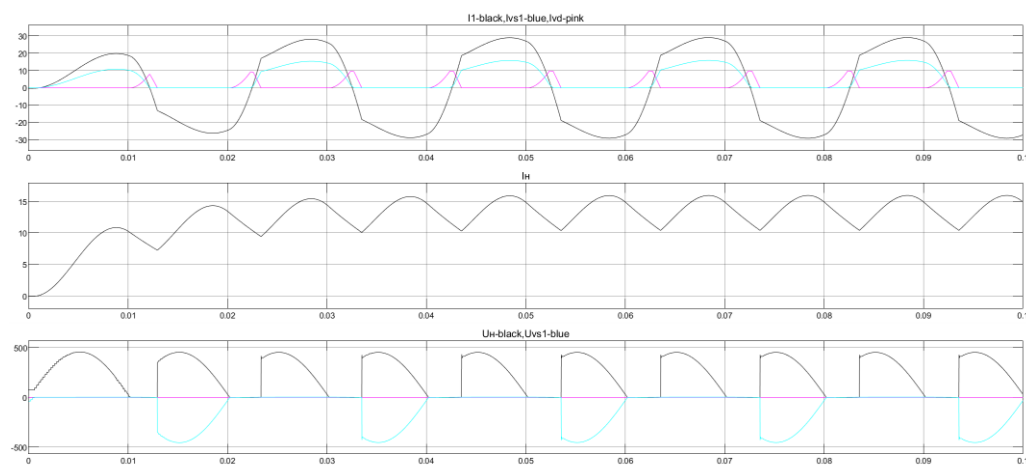


$a=90$ внизу

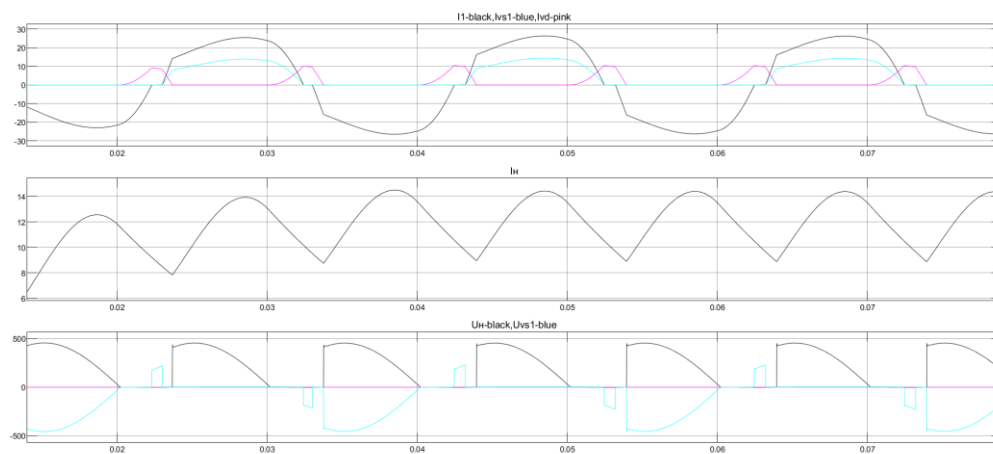


$R=10$ $E=75$

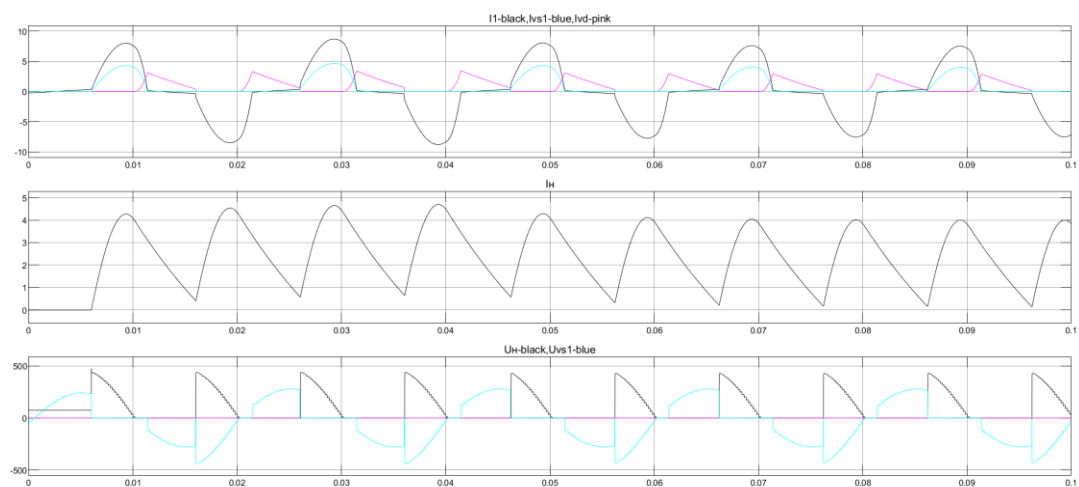
$a=0$ внизу



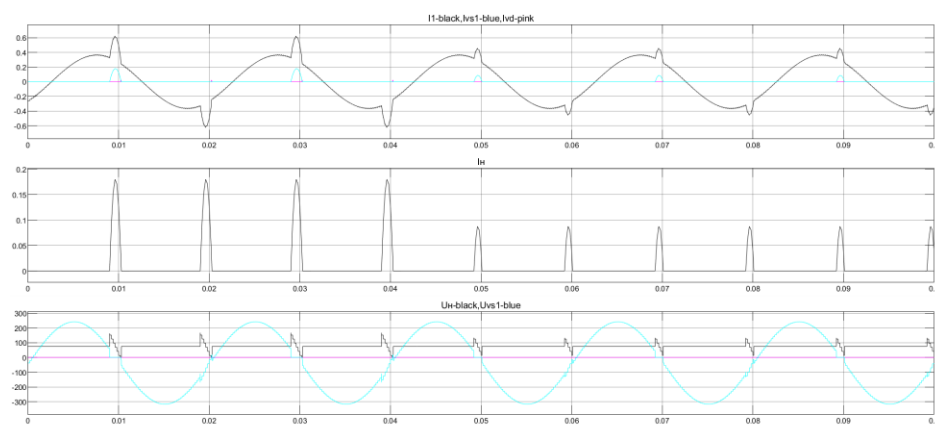
$a=30$ внизу



$a=60$ внизу

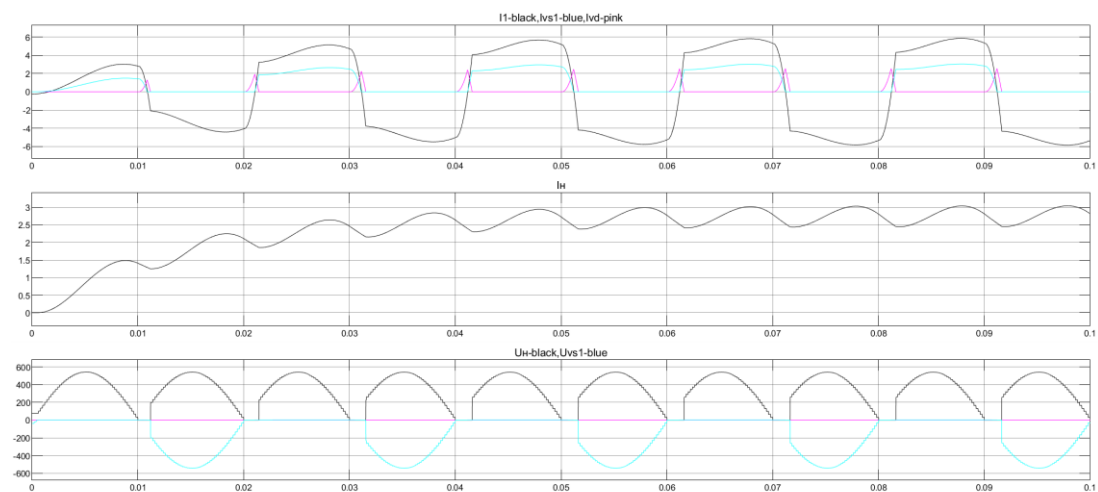


$a=90$ внизу

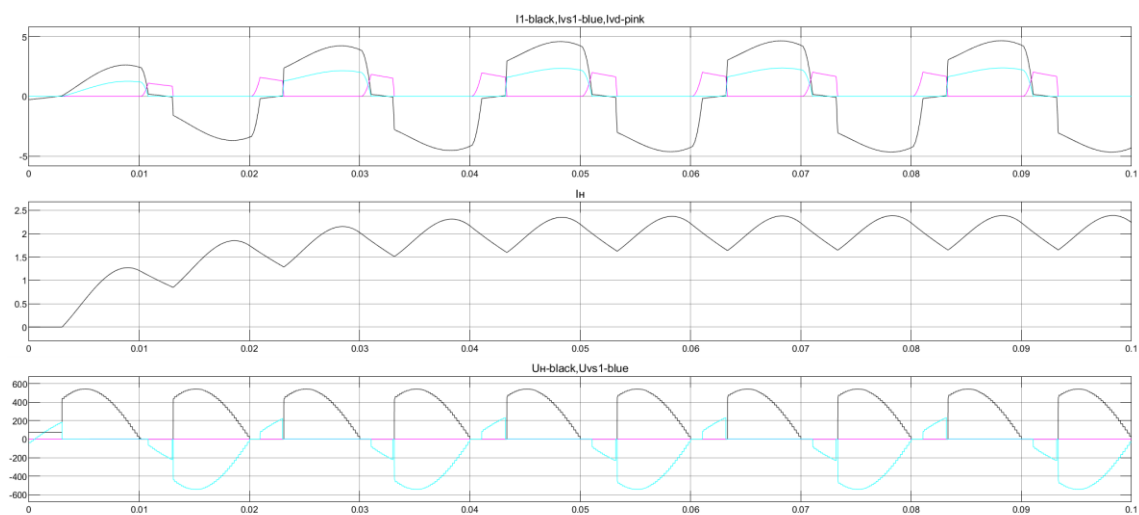


$R=90$ $E=75$

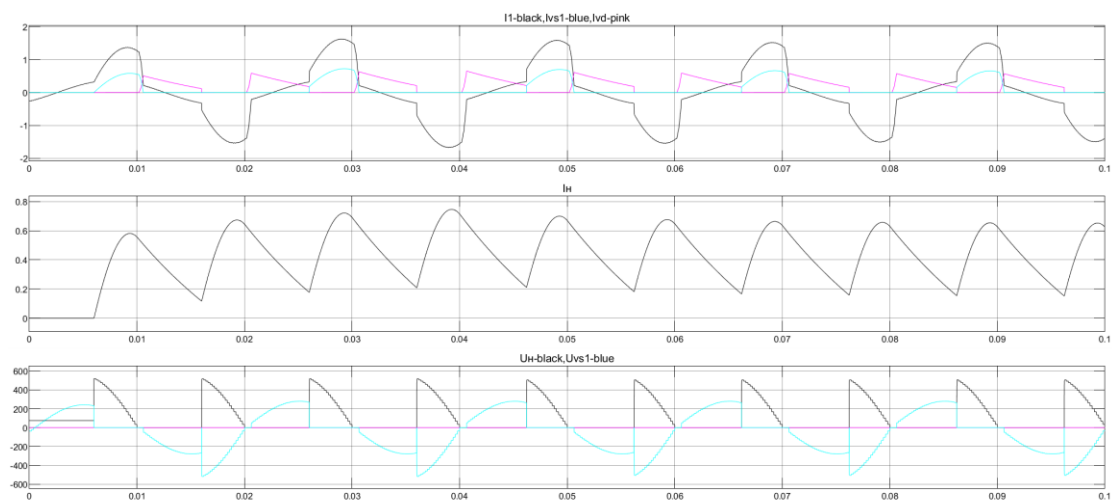
$a=0$ внизу



$a=30$ внизу



$a=60$ внизу



$a=90$ внизу

