

ИДЗ по электронике и схемотехнике

Задание № 1

Произвести расчет и выбор элементов выпрямителя с LC-фильтром.
Внешнюю характеристику построить для диапазона нагрузок $I \geq 0,1I_h$,
предполагая, что $0,1I_h > I_{h\ kр}$.

Исходные данные:

схема выпрямления – нулевая,

напряжение нагрузки $U_h = 33$ В,

ток нагрузки $I_h = 5,6$ А,

допустимый коэффициент пульсации выпрямительного напряжения $q_2 = 0,03$,

напряжение питания $U_1 = 127$ В,

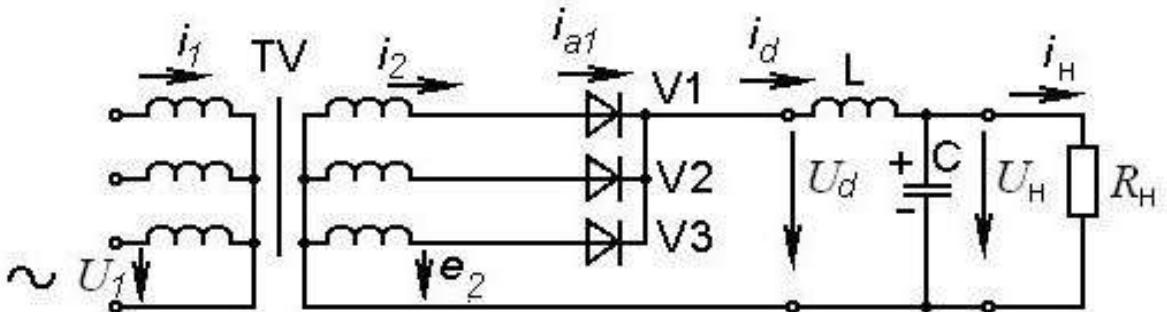
число фаз – 3,

частота $f = 50$ Гц,

напряжение короткого замыкания трансформатора $u_k = 6\%$.

Решение.

1. Принципиальная электрическая схема выпрямителя



2. Среднее значение выходного напряжения данной схемы выпрямителя

$$U_d = U_h = 33 \text{ В}$$

(поскольку потерями в дросселе пренебрегаем по условиям задачи).

3. Действующее значение напряжения на фазе вторичной обмотки трансформатора

$$U_2 = \frac{U_d}{\beta_U},$$

где β_U - коэффициент передачи выпрямителя по напряжению.

Для нулевой трехфазной схемы выпрямителя $\beta_U = 1,17$, поэтому

$$U_2 = \frac{33}{1,17} = 28,2 \text{ В}.$$

4. Среднее значение выходного тока выпрямителя

$$I_d = I_h = 5,6 \text{ А}$$

(поскольку потерями в конденсаторе пренебрегаем по условиям задачи, считая конденсатор идеальным).

5. Действующее значение тока вторичной обмотки

$$I_2 = \frac{I_d}{\beta_i},$$

где β_i - коэффициент передачи выпрямителя по току.

Для нулевой трехфазной схемы выпрямителя $\beta_i = \frac{1}{0,58} = 1,724$ (т.к. $I_2/I_d = 0,58$),

$$I_2 = \frac{5,6}{1,724} = 3,25 \text{ A.}$$

6. Расчетная мощность трансформатора

$$S_{\text{T}} = 1,23P_d = 1,23U_dI_d = 1,23 \cdot 33 \cdot 5,6 = 227,3 \text{ В} \cdot \text{А}$$

(т.к. для однофазного мостового выпрямителя $\frac{S_{\text{T}}}{P_d} = 1,23$).

7. Амплитудное значение тока вентиля

$$I_{am} = I_d = 5,6 \text{ A}$$

(т.к. фильтр должен по условиям задачи обеспечить удовлетворительное сглаживание).

8. Среднее значение тока вентиля

$$I_a = \frac{I_d}{3} = \frac{5,6}{3} = 1,87 \text{ A}$$

(т.к. для нулевой трехфазной схемы выпрямителя $\frac{I_a}{I_d} = 0,33$).

9. Амплитуда обратного напряжения на вентилях

$$U_{obp} = 2,09U_d = 2,09 \cdot 33 = 69 \text{ В}$$

(т.к. для нулевой трехфазной схемы выпрямителя $\frac{U_{obp}}{U_d} = 2,09$).

10. Выбираются диоды типа КД202В, параметры которых средний прямой ток $I_a^{\text{кат}} = 5 \text{ A}$,

обратное напряжение $U_{o\bar{o}p}^{\text{кат}} = 100 \text{ В}$,

среднее значение прямого падения напряжения $\Delta U_a = 0,9 \text{ В}$.

Для принятых вентилем выполняются условия выбора:

$$I_a^{\text{кат}} = 5 \text{ А} > I_a = 1,87 \text{ А},$$

$$U_{o\bar{o}p}^{\text{кат}} = 100 \text{ В} > U_{o\bar{o}p} = 69 \text{ В}.$$

11. Коэффициент пульсации на выходе выпрямителя

$$q_1 = \frac{2}{m^2 - 1},$$

где m – кратность частоты переменной составляющей выпрямленного напряжения к частоте питающей сети. Для трехфазного двухполупериодного $m = 3$.

$$q_1 = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{3^2 - 1} = 0,25.$$

12. Требуемый коэффициент сглаживания

$$S = \frac{q_1}{q_2} = \frac{0,25}{0,03} = 8,33.$$

13. Сопротивление нагрузки

$$R_h = \frac{U_h}{I_h} = \frac{33}{5,6} = 5,9 \text{ Ом}.$$

14. Реактивное сопротивление конденсатора, входящего в состав фильтра,

$$X_C = 0,1R_h = 0,1 \cdot 5,9 = 0,59 \text{ Ом}$$

(для обеспечения удовлетворительного сглаживания определяется исходя из соотношения $X_C = 0,1R_h$).

15. Угловая частота пульсаций

$$\omega_n = 2\pi mf = 2\pi \cdot 3 \cdot 50 = 942 \text{ c}^{-1}.$$

16. Емкость конденсатора, входящего в состав фильтра,

$$C = \frac{1}{\omega_n X_C} = \frac{1}{942 \cdot 0,59} = 1,8 \cdot 10^{-3} \Phi = 1800 \text{ мкФ}.$$

17. Индуктивность дросселя, входящего в состав фильтра,

$$L = \frac{S}{\omega_n^2 C} = \frac{8,33}{942^2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3}} = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 5,2 \text{ мГн}.$$

18. Коэффициент трансформации тока

$$K_t \approx \frac{U_2}{U_1} = \frac{28,2}{127} = 0,222.$$

19. Активное сопротивление обмоток трансформатора по первичной стороне

$$R_t = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_1}{I_1} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_1}{K_t I_2} = \frac{6}{100} \cdot \frac{127}{0,222 \cdot 3,25} = 10,6 \text{ Ом}.$$

20. Активное сопротивление обмоток трансформатора, приведенное ко вторичной стороне,

$$R'_t = K_t^2 R_t = 0,222^2 \cdot 10,6 = 0,52 \text{ Ом}.$$

21. Внутреннее активное сопротивление выпрямителя

$$R_{sh} = R_\phi + R'_t = 0 + 0,52 = 0,52 \text{ Ом}$$

(т.к. по условиям задачи потери в фильтре пренебрегаются $R_\phi = 0$).

22. Внутренняя ЭДС выпрямителя, равная среднему значению выходного напряжения идеального источника

$$E_h = U_{hxx} = \beta_U E_2 \approx \beta_U U_2 = 1,17 \cdot 28,2 = 33 \text{ В.}$$

23. Расчет внешней характеристики

$$U_h = E_h - N \cdot \Delta U_a - I_h R_{bh},$$

где N - число вентиляй, одновременно обтекаемых током.

Для заданной схемы $N = 1$, поэтому $N \cdot \Delta U_a = 1 \cdot 0,9 = 0,9$ В.

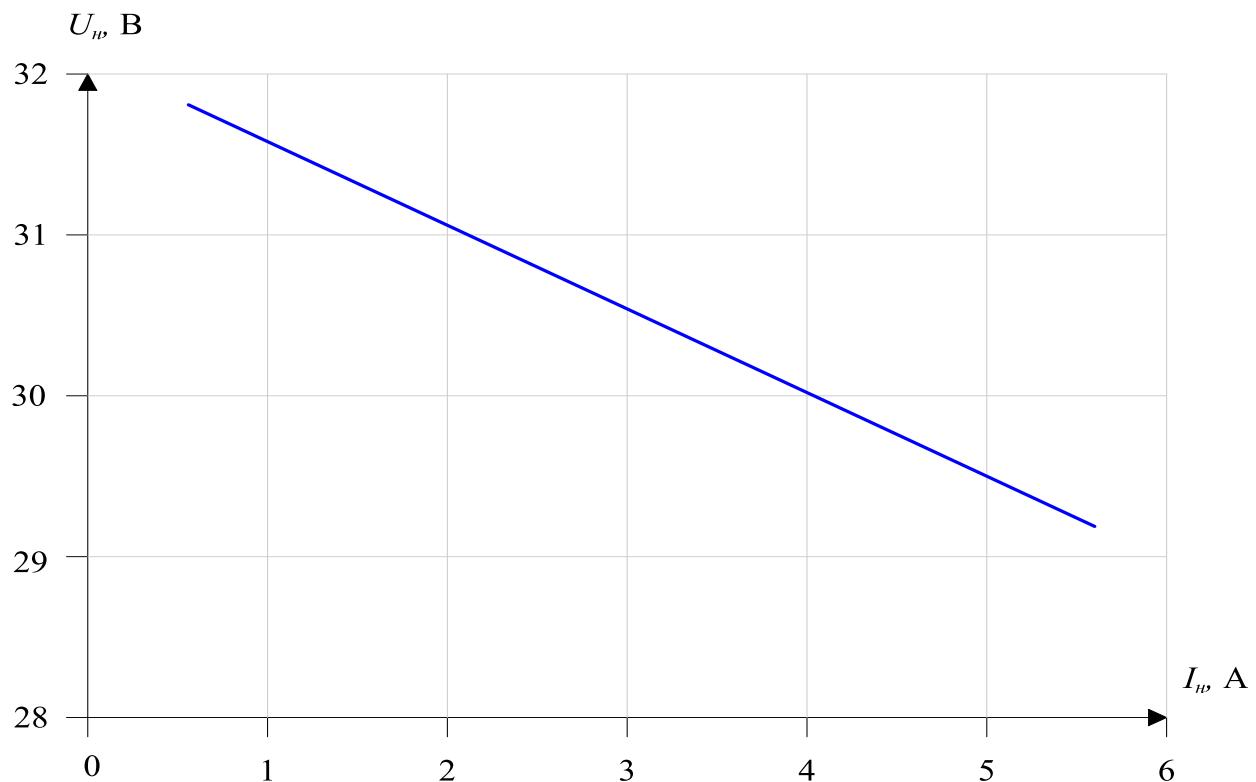
Результаты расчета для значений тока от 10 до 100% I_h с шагом 10% сведены в таблицу:

I_h, A	0,56	1,12	1,68	2,24	2,8	3,36	3,92	4,48	5,04	5,6
$I_h R_{bh}, V$	0,29	0,58	0,88	1,17	1,46	1,75	2,04	2,33	2,63	2,92
U_h, V	31,81	31,52	31,23	30,93	30,64	30,35	30,06	29,77	29,47	29,18

24. Наклон (коэффициент статизма) внешней характеристики выпрямителя

$$K_C = 100 \cdot \frac{U_0 - U_h}{U_0} = 100 \cdot \frac{33 - 28,28}{33} = 14,3\% .$$

25. График внешней характеристики выпрямителя



Выводы:

1. Для питания нагрузки с заданными параметрами и характеристикой сети принимается вентильный комплект, построенный на вентилях типа КД202В.
2. Для обеспечения заданного уровня пульсации выпрямленного напряжения используется LC-фильтр с емкостью 1800 мкФ и индуктивностью 5,2 мГн.
3. Внешняя характеристика выпрямителя имеет удовлетворительный наклон (14,3%), на начальном участке характеристика круто падает за счет прямого падения напряжения на диоде. При дальнейшем увеличении нагрузки изменение напряжения обусловлено внутренним сопротивлением трансформатора.

Задание № 2

Произвести расчет элементов однофазного выпрямителя с С-фильтром.
Потерями в дросселе и вентилях пренебречь.

Исходные данные:

схема выпрямления – нулевая,

напряжение нагрузки $U_h = 33 \text{ В}$,

ток нагрузки $I_h = 5,6 \text{ А}$,

допустимый коэффициент пульсации выпрямительного напряжения $q_2 = 0,03$,

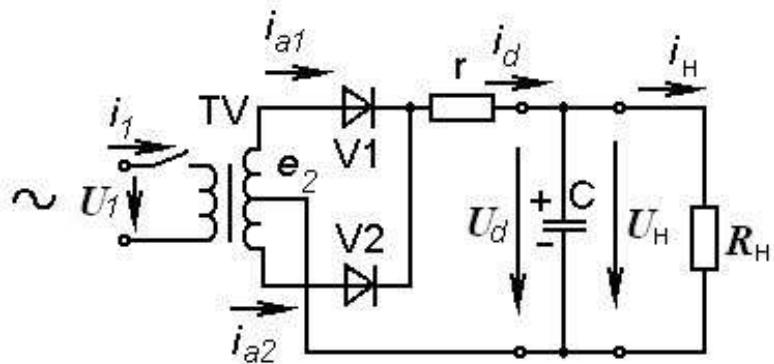
напряжение питания $U_1 = 127 \text{ В}$,

частота $f = 50 \text{ Гц}$,

напряжение короткого замыкания трансформатора $u_k = 6\%$.

Решение.

1. Принципиальная электрическая схема выпрямителя.



2. Активное сопротивление нагрузки

$$R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{33}{5,6} = 5,9 \text{ Ом.}$$

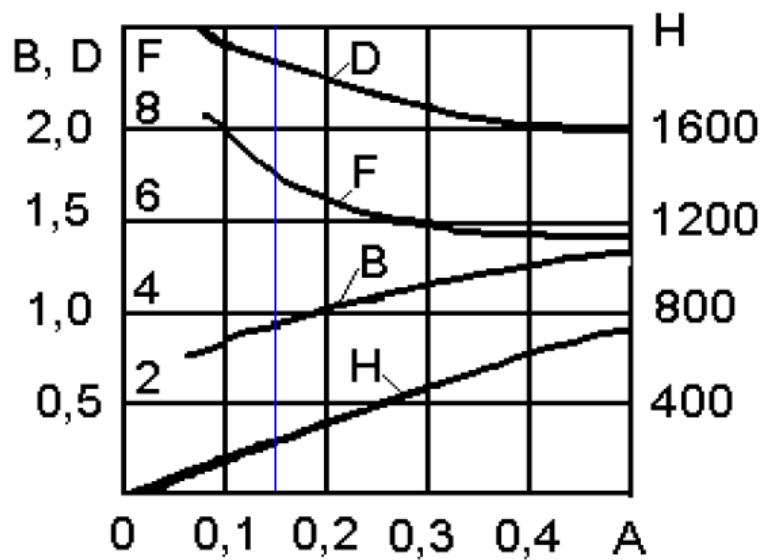
3. Сопротивление ограничительного резистора

$$r = 0,1R_H = 0,1 \cdot 5,9 = 0,59 \text{ Ом.}$$

4. Значение параметра A

$$A = \frac{\pi r}{2R_H} = \frac{\pi \cdot 0,59}{2 \cdot 5,9} = 0,157.$$

5. Значения параметров B, D, F и H при A = 0,157 определяем по графику



$$B = 0,9, D = 2,3, F = 7, H = 250.$$

6. Фазная ЭДС вторичной обмотки трансформатора

$$E_2 = BU_d = BU_h = 0,9 \cdot 33 = 29,7 \text{ В.}$$

7. Амплитуда обратного напряжения на вентилях

$$U_{o\bar{o}p} = 2\sqrt{2}E_2 = 2\sqrt{2} \cdot 29,7 = 84 \text{ В.}$$

8. Среднее значение тока вентиля

$$I_a = \frac{I_d}{2} = \frac{5,6}{2} = 2,8 \text{ А.}$$

9. Амплитудное значение тока вентиля

$$I_{am} = FI_a = 7 \cdot 2,8 = 19,6 \text{ А.}$$

10. Выбираем вентили типа КД202В, параметры которых

средний прямой ток $I_a^{\text{кат}} = 5 \text{ А,}$

обратное напряжение $U_{o\bar{o}p}^{\text{кат}} = 100 \text{ В,}$

среднее значение прямого падения напряжения $\Delta U_a = 0,3 \text{ В.}$

Для принятых вентилем выполнются условия выбора

$$I_a^{\text{кат}} = 5 \text{ A} > 2,8 \text{ A},$$

$$U_{\text{обр}}^{\text{кат}} = 100 \text{ В} > 84 \text{ В}.$$

11. Действующее значение вторичного тока трансформатора

$$I_2 = DI_a = 2,3 \cdot 2,8 = 6,44 \text{ А.}$$

12. Коэффициент трансформации по току

$$K_T = \frac{E_2}{E_1} = \frac{29,7}{127} = 0,234.$$

13. Действующее значение первичного тока трансформатора

$$I_1 = K_T \cdot \sqrt{2} \cdot I_2 = 0,234 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,44 = 2,13 \text{ А.}$$

14. Полная мощность трансформатора.

$$S_T = 1,7P_d = 1,7 \cdot U_d \cdot I_d = 1,7 \cdot 33 \cdot 5,6 = 314,2 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

15. Емкость конденсатора, входящего в состав фильтра,

$$C = \frac{H}{rq_2} = \frac{250}{0,59 \cdot 0,03} = 14140 \text{ мкФ.}$$

Выводы:

1. Для питания нагрузки с заданными параметрами и характеристикой сети принимается вентильный комплект, построенный на вентилях КД202В.
2. Для обеспечения заданного уровня пульсации выпрямленного напряжения используется С-фильтр с емкостью 14140 мкФ.

Задание № 3

Преобразователь работает в инверторном режиме. Индуктивность L_h цепи постоянного тока велика и обеспечивает режим непрерывного тока. Трансформатор и вентили идеальные. Трансформатор имеет равное число витков в первичной и вторичной обмотках.

Определить среднее значение активной мощности, поступающей в сеть переменного тока, и построить график ее зависимости от угла опережения и регулировочную характеристику без учета коммутации тока и с учетом коммутации (без учета и с учетом индуктивности обмоток трансформатора L_t), а также график зависимости тока от угла управления и входную характеристику.

Исходные данные:

напряжение нагрузки $U_h = 33$ В,

ток нагрузки $I_h = 5,6$ А,

ЭДС источника постоянного тока $E_u = 230$ В,

индуктивность трансформатора $L_t = 10$ мГн,

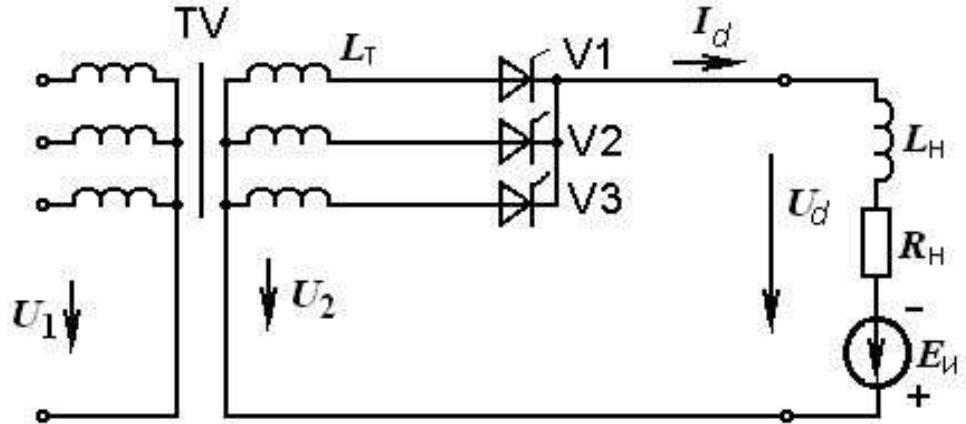
схема преобразователя – трехфазная нулевая,

напряжение питания $U_1 = 127$ В,

частота $f = 50$ Гц.

Решение.

1. Принципиальная электрическая схема преобразователя



2. Активное сопротивление нагрузки принимаем по данным первой задачи

$$R_h = \frac{U_h}{I_h} = \frac{33}{5,6} = 5,9 \text{ Ом.}$$

3. Минимальный угол управления преобразователя

$$\alpha = 90^\circ.$$

4. Максимальный угол опережения преобразователя

$$\beta = \pi - \alpha = 180^\circ - 90^\circ = 90^\circ.$$

5. Среднее значение выпрямленного напряжения при минимальном угле управления

$$U_d = \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \frac{p}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{p}\right) \cdot \cos \alpha,$$

для трехфазных преобразователей $p = 3$ и по условию задачи $U_1 = U_2 = 127 \text{ В}$,

$$U_d = \sqrt{2} \cdot 127 \cdot \frac{3}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{3}\right) \cdot \cos 90^\circ = 0.$$

6. Среднее значение тока в цепи постоянного тока при минимальном угле управления без учета коммутации

$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h} = \frac{0 + 230}{5,9} = 39 \text{ A.}$$

7. Мощность, поступающая в цепь переменного тока, при минимальном угле управления, без учета коммутации

$$P = U_d \cdot I_d = 0 \cdot 39 = 0.$$

8. Среднее значение тока в цепи постоянного тока, при минимальном угле управления с учетом коммутации

$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h + \frac{2 \cdot 2\pi \cdot L_T}{2 \cdot \frac{\pi}{p}}} = \frac{0 + 230}{5,9 + \frac{2 \cdot 2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \frac{\pi}{3}}} = 38,6 \text{ A.}$$

9. Мощность, поступающая в цепь переменного тока, при минимальном угле управления, с учетом коммутации

$$P = U_d \cdot I_d = 0 \cdot 38,6 = 0.$$

10. Максимальный угол управления преобразователя

$$\alpha = 180^\circ.$$

11. Минимальный угол опережения преобразователя

$$\beta = \pi - \alpha = 180^\circ - 180^\circ = 0^\circ.$$

12. Среднее значение выпрямленного напряжения при максимальном угле управления

$$U_d = \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \frac{p}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{p}\right) \cdot \cos \alpha = \sqrt{2} \cdot 127 \cdot \frac{3}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{3}\right) \cdot \cos 180^\circ = -148,5 \text{ В.}$$

13. Среднее значение тока в цепи постоянного тока при максимальном угле управления без учета коммутации

$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h} = \frac{-148,5 + 230}{5,9} = 13,8 \text{ A.}$$

14. Мощность, поступающая в цепь переменного тока, при максимальном угле управления, без учета коммутации

$$P = U_d \cdot I_d = -148,5 \cdot 13,8 = -2051 \text{ Вт.}$$

15. Среднее значение тока в цепи постоянного тока, при максимальном угле управления с учетом коммутации

$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h + \frac{2 \cdot 2\pi \cdot L_T}{2 \cdot \frac{\pi}{p}}} = \frac{-148,5 + 230}{5,9 + \frac{2 \cdot 2\pi \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \frac{\pi}{3}}} = 13,7 \text{ А.}$$

16. Мощность, поступающая в цепь переменного тока, при минимальном угле управления, с учетом коммутации

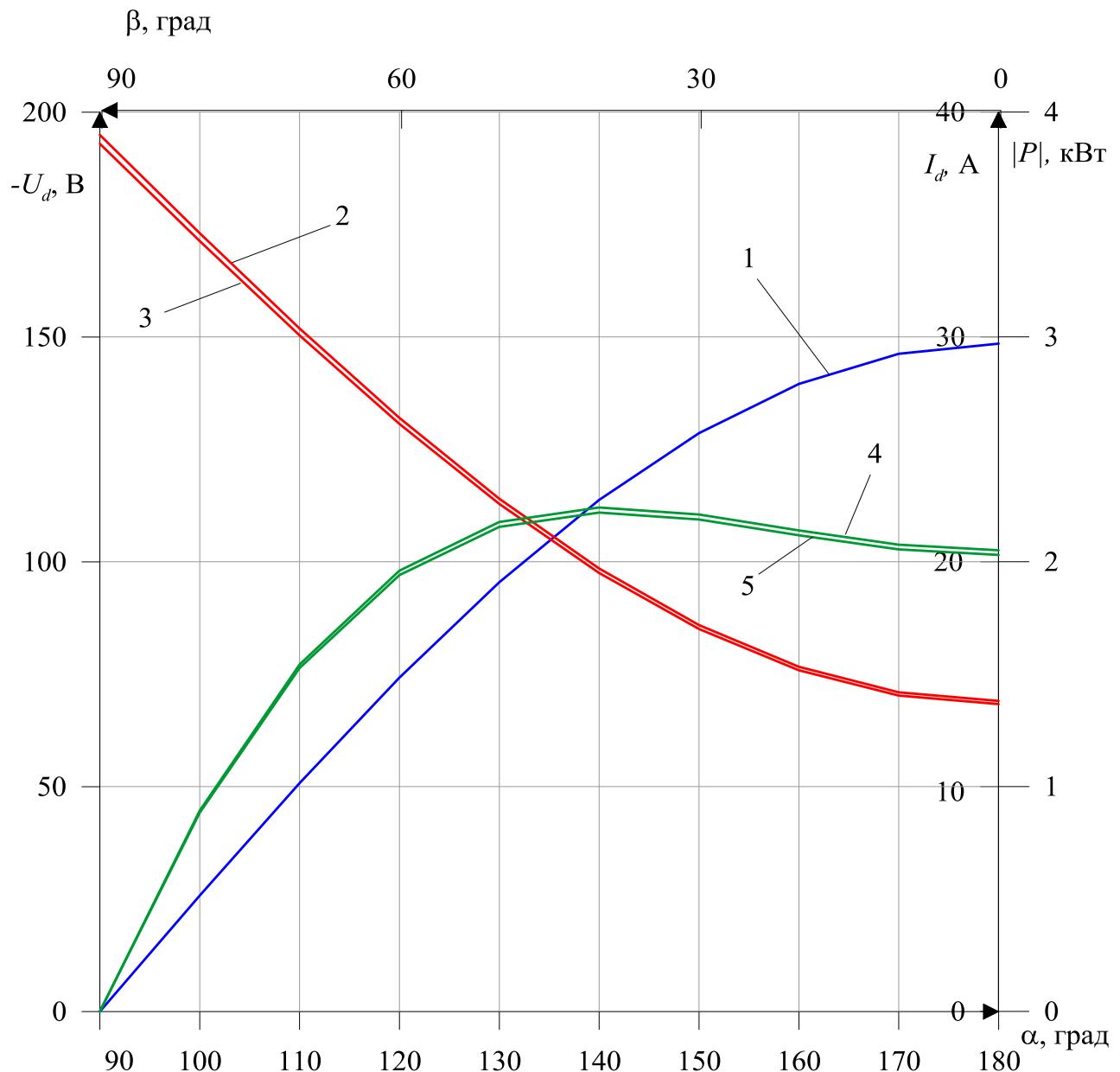
$$P = U_d \cdot I_d = -148,5 \cdot 13,7 = -2030 \text{ Вт.}$$

17. Проведем расчеты для промежуточных значений угла управления (между 90° и 180°) и представим результаты в таблице

Угол управления α , град	Угол опережения β , град	Без учета коммутации тока			С учетом коммутации	
		U_d , В	I_d , А	P , кВт	I_d , А	P , кВт
90	90	0,0	39,0	0,000	38,6	0,000
100	80	-25,8	34,6	-0,893	34,3	-0,884
110	70	-50,8	30,4	-1,543	30,1	-1,527
120	60	-74,3	26,4	-1,960	26,1	-1,941
130	50	-95,5	22,8	-2,177	22,6	-2,155
140	40	-113,8	19,7	-2,241	19,5	-2,219
150	30	-128,6	17,2	-2,210	17,0	-2,188
160	20	-139,6	15,3	-2,139	15,2	-2,118

170	10	-146,3	14,2	-2,076	14,0	-2,055
180	0	-148,5	13,8	-2,051	13,7	-2,030

Построим графики регулировочной характеристики, зависимости тока в цепи постоянного тока и активной мощности, поступающей в сеть переменного тока, от угла управления и угла опережения.



1 – регулировочная характеристика,

2,3 – зависимость среднего тока в цепи постоянного тока без учета и с учетом коммутации,

4,5 - зависимость средней активной мощности, поступающей в сеть переменного тока без учета и с учетом коммутации.

17. Расчет входной характеристики

18. При минимальном угле опережения $\beta = 0^\circ$ среднее значение выпрямленного напряжения $U_d = -148,5$ В .

19. Минимальное среднее значение тока в цепи постоянного тока при угле опережения $\beta = 0^\circ$ и ЭДС источника постоянного тока

$$E_u = |U_d| = 148,5 \text{ В},$$

$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h} = \frac{-148,5 + 148,5}{5,9} = 0.$$

20. Максимальное среднее значение тока в цепи постоянного тока при угле опережения $\beta = 0^\circ$ и ЭДС источника постоянного тока

$$E_u = |2U_d| = 297 \text{ В},$$

$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h} = \frac{-148,5 + 297}{5,9} = 25,2 \text{ А}.$$

21. При угле опережения $\beta = 30^\circ$ среднее значение выпрямленного напряжения $U_d = -128,6$ В .

22. Минимальное среднее значение тока в цепи постоянного тока при угле опережения $\beta = 30^\circ$ и ЭДС источника постоянного тока

$$E_u = |U_d| = 128,6 \text{ В}$$

$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h} = \frac{-128,6 + 128,6}{5,9} = 0.$$

23. Максимальное среднее значение тока в цепи постоянного тока при угле опережения $\beta = 30^\circ$ и ЭДС источника постоянного тока

$$E_u = |2U_d| = 257,2 \text{ В}$$

$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h} = \frac{-128,6 + 257,2}{5,9} = 21,8 \text{ А.}$$

24. При угле опережения $\beta = 60^\circ$ среднее значение выпрямленного напряжения $U_d = -74,3 \text{ В}$.

25. Минимальное среднее значение тока в цепи постоянного тока при угле опережения $\beta = 60^\circ$ и ЭДС источника постоянного тока $E_u = |U_d| = 74,3 \text{ В}$

$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h} = \frac{-74,3 + 74,3}{5,9} = 0.$$

26. Максимальное среднее значение тока в цепи постоянного тока при угле опережения $\beta = 60^\circ$ и ЭДС источника постоянного тока $E_u = |2U_d| = 148,6 \text{ В}$

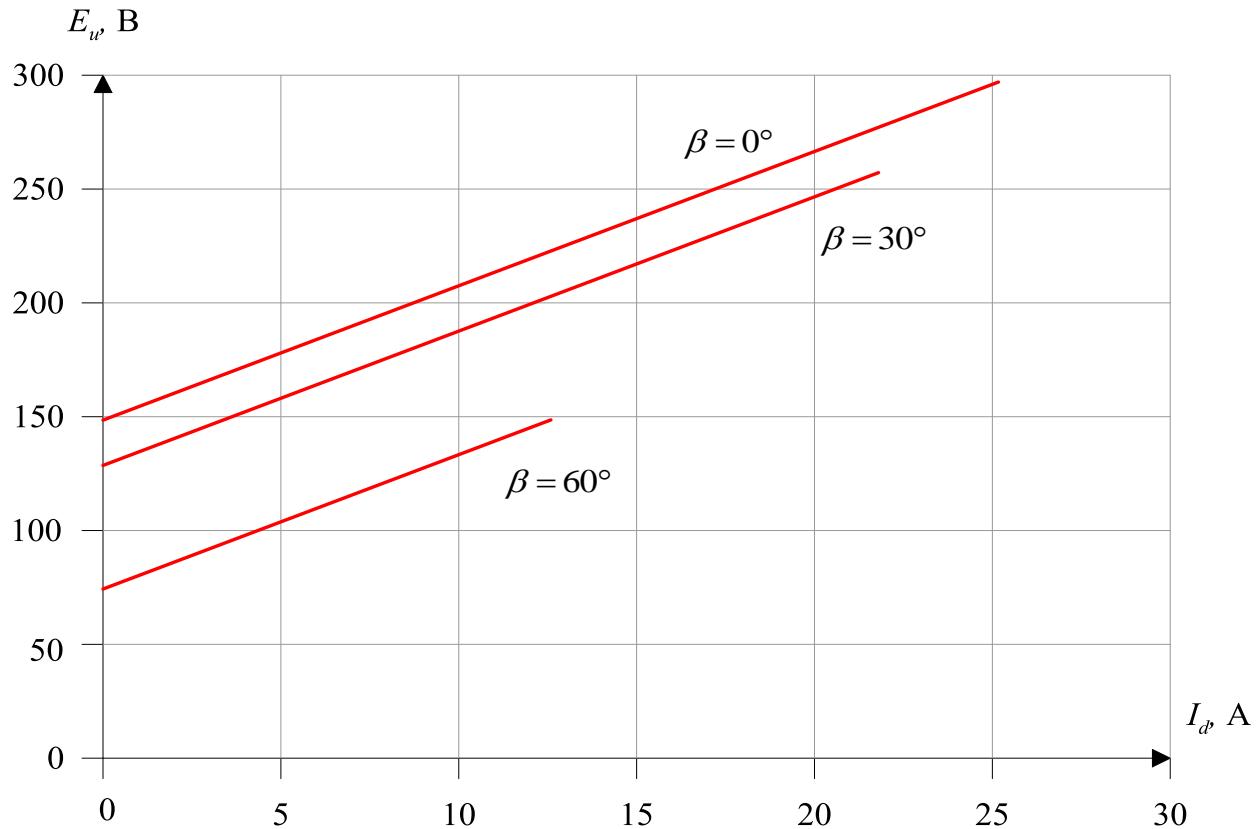
$$I_d = \frac{U_d + E_u}{R_h} = \frac{-74,3 + 148,6}{5,9} = 12,6 \text{ А.}$$

27. Расчеты для промежуточных значений ЭДС источника постоянного тока E_u угла управления (между $E_u = |U_d|$ и $E_u = |2U_d|$) представим в таблице

$\beta = 0^\circ$ $(U_d = -148,5 \text{ В})$		$\beta = 30^\circ$ $(U_d = -128,6 \text{ В})$		$\beta = 60^\circ$ $(U_d = -74,3 \text{ В})$	
ЭДС источника $E_u, \text{В}$	Средний ток $I_d, \text{А}$	ЭДС источника $E_u, \text{В}$	Средний ток $I_d, \text{А}$	ЭДС источника $E_u, \text{В}$	Средний ток $I_d, \text{А}$
148,5	0,00	128,6	0,00	74,3	0,00
163,4	2,52	141,5	2,18	81,7	1,26
178,2	5,03	154,3	4,36	89,2	2,52
193,1	7,55	167,2	6,54	96,6	3,78
207,9	10,07	180,0	8,72	104,0	5,04

222,8	12,58	192,9	10,90	111,5	6,30
237,6	15,10	205,8	13,08	118,9	7,56
252,5	17,62	218,6	15,26	126,3	8,82
267,3	20,14	231,5	17,44	133,7	10,07
282,2	22,65	244,3	19,62	141,2	11,33
297,0	25,17	257,2	21,80	148,6	12,59

Входные характеристики преобразователя



Выводы:

1. С увеличением угла управления или уменьшением угла опережения возрастает среднее значение выпрямленного напряжения.
2. Значение среднего тока в цепи постоянного тока уменьшается с увеличением угла управления и уменьшением угла опережения.
3. При уменьшении угла опережения средняя активная мощность, поступающая в сеть переменного тока, возрастает по абсолютной величине, имея максимум при $\beta \approx 40^\circ$. При дальнейшем уменьшении угла опережения активная мощность несколько уменьшается.
4. Величины среднего тока в цепи постоянного тока и средней активной мощности, поступающей в сеть переменного тока, вычисленные с учетом коммутации, несущественно отличаются в меньшую сторону от соответствующих значений, вычисленных без учета коммутации тока.