

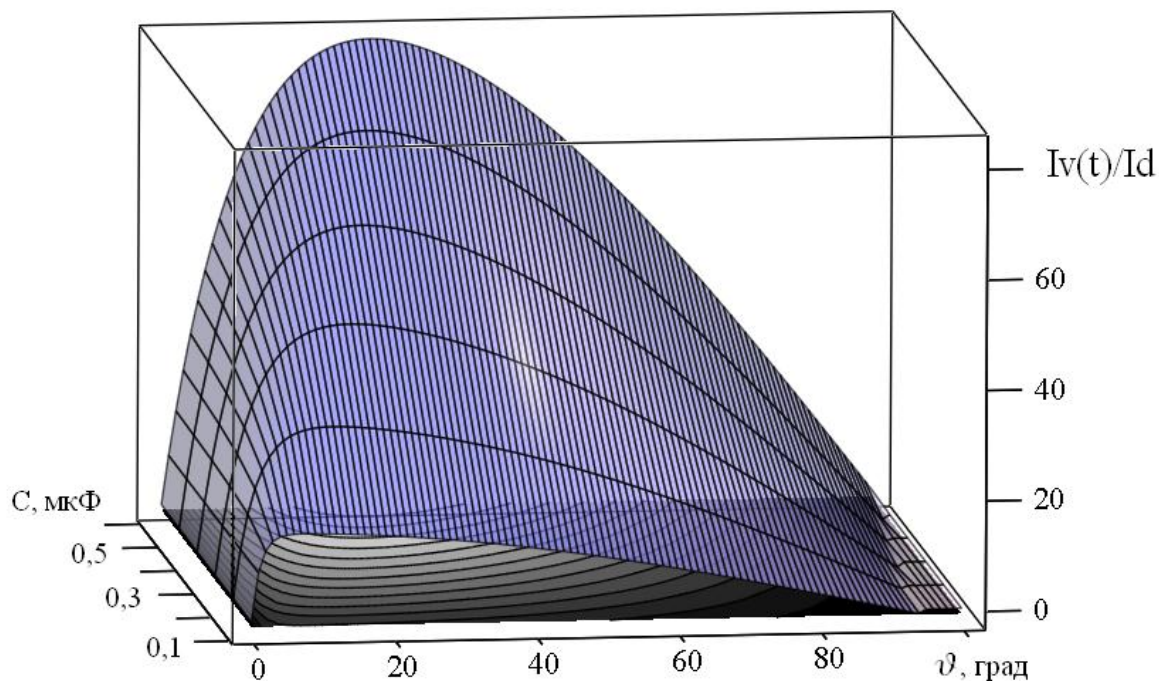
ТОМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

Основы преобразовательной техники

Руководство к выполнению индивидуальной работы №2

**РАСЧЕТ УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ В РЕЖИМЕ
СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**



Импульс тока в диоде ($I_v(t)/I_d$) в момент включения выпрямителя

Министерство образования и науки Российской Федерации
Томский университет систем управления и радиоэлектроники
(ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. Кафедрой ПрЭ

_____ С.Г. Михальченко

РАСЧЕТ УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ В РЕЖИМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Руководство к выполнению индивидуальной работы №2

РАЗРАБОТЧИК:

Доцент каф.ПрЭ

 А.Г.Зубакин

2017

1. ЗАДАНИЕ К РАСЧЕТУ УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ (УВ)

Рассчитать управляемый выпрямитель, предназначенный для стабилизации выходного постоянного напряжения при изменении напряжения сети и тока нагрузки.

Начертить схему выпрямителя, его аналог на однофазных трансформаторах. Отобразить диаграммы напряжений и токов в выпрямителе.

Исходные данные к расчету:

$U_{ст}$ —напряжение стабилизации;

I_n —ток нагрузки;

U_1 — номинальное напряжение сети;

f — частота сети;

$U_{1min} = U_1(100 - \delta_1)/100$;

$U_{1max} = U_1(100 + \delta_2)/100$;

$I_{dmax} = I_{dном}$; $I_{dmin} = 0.1I_{dном}$;

Требуется определить:

-габаритную мощность трансформатора — S ;

-коэффициент трансформации — $K_{тр}$;

-параметры фильтра (коэффициент сглаживания, потери, элементы фильтра).

Выбрать комплектующие элементы; тиристоры, дроссели, конденсаторы. Определить КПД, построить нагрузочную характеристику.

Варианты исходных данных (по списку группы):

№ п\п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{ст}, В$	5	15	30	60	200	300	400	100 0	200 0	500 0
$I_n, А$	400	100	50	20	10	5	3	1	0,5	0,25
$U_1, В$	220	127	115							
$\delta_1, \%$	10	15	20							
$\delta_2, \%$	20	15	10							
I_{nmax}	I_n									
I_{nmin}	$0,1I_n$									
$f, Гц$	50	400								
$K_{п}, \%$	0,1	0,5	1	2	5					
Фильтр	LC	RC	L							
Схема	Миткевича, Кюблера, Скотта, Шестифазная, Ларионова, Вологодина, Греца,									

Схемы Вологодина используется при повышенных напряжениях (больше 1000В), Кюблера при больших токах нагрузки (больше 50А), RC фильтр при токах нагрузки меньше 10А.

2. РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРА

Расчет габаритной мощности

Для того чтобы определить габаритную мощность трансформатора нужно знать: схему, мощность нагрузки $P_n = U_{ст} \cdot I_n$, параметры трансформатора r_1, r_2, x_s . Но для этого надо знать габаритную мощность трансформатора.

Разрешение подобной задачи возможно методом последовательного приближения, в несколько этапов. На первом этапе предлагается задать усреднённое значение потерь напряжения на паразитных элементах трансформатора

$$(\Delta U \approx (0.02 - 0.1) \cdot U_n).$$

Исходя из этого ориентировочного значения, определяется габаритная мощность трансформатора и, соответствующие ей параметры трансформатора.

По этим данным проводится расчет выпрямителя и выбор его элементов. Если результат расчета не совпадает с заданным значением выходного напряжения, необходимо скорректировать напряжение вторичной обмотки и, соответственно, значение габаритной мощности трансформатора, его параметры.

Процесс расчета повторяется до допустимого расхождения (в пределах пяти процентов) выходного напряжения, полученного при расчете и заданного.

В зависимости от схемы выпрямителя известно отношение $S_{габ}/P_d$ (см. таблицы 1,2 приложения).

Габаритная мощность трансформатора, если не учитывать изменения напряжения сети:

$$S_1 = (P_n + \Delta U \cdot I_n) \cdot (S_{габ}/P_d).$$

С учетом возможных изменений напряжения питающей сети габаритная мощность трансформатора:

$$S_{габ} = S_1 \cdot (100 + \delta_2) / (100 - \delta_1).$$

Расчет параметров эквивалентной схемы трансформатора

Для трехфазных и сложных схем выпрямителя необходимо представить их аналог на однофазных трансформаторах – рис.2.1.

По найденной габаритной мощности трансформатора рассчитываются параметры однофазного двухобмоточного трансформатора.

Из опытов холостого хода и короткого замыкания известны эмпирические соотношения:

$$\frac{I_{\delta\delta}}{I_1} = \frac{0.3}{\sqrt[4]{S_{\delta\delta}}}; \quad \frac{D_{\delta\delta}}{S_{\delta\delta}} = \frac{0.15}{\sqrt[4]{S_{\delta\delta}}}$$
$$\frac{U_{\delta\zeta}}{U_1} = 0.01 \sqrt[4]{S_{\delta\delta}}; \quad \frac{D_{\delta\zeta}}{S_{\delta\delta}} = \frac{0.17}{\sqrt[4]{S_{\delta\delta}}}$$

Из этих выражений определяются полная мощность потерь на холостом ходу и ток холостого хода, эквивалентное сопротивление потерь в магнитопроводе r_0 и индуктивность намагничивания $-L_0$:

$$S_{\delta\delta} = U I_{\delta\delta}, \quad r_0 = \frac{P_{xx}}{I_{xx}^2}, \quad \cos \varphi_{xx} = \frac{P_{xx}}{S_{xx}},$$
$$x_0 = r_0 \operatorname{tg}(\arccos \frac{P_{xx}}{S_{xx}})$$

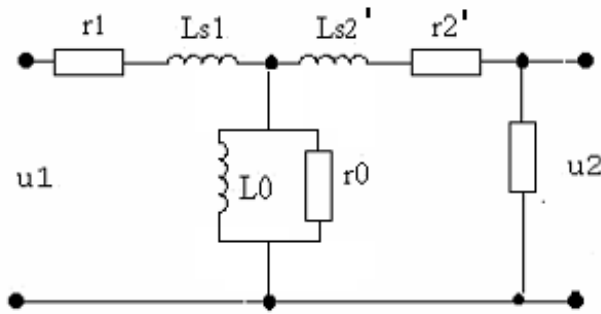


Рис.2.1. Эквивалентная схема однофазного трансформатора

Из опыта короткого замыкания можно найти полное активное сопротивление потерь в первичной и вторичной обмотках $r_1 + r_2'$:

$$S_{\hat{e}\zeta} = U_{\hat{e}\zeta} I \hat{i} \hat{i}, \quad r_1 + r_2' = \frac{P_{\hat{e}\zeta}}{I \hat{e}\zeta^2}, \quad \cos \varphi_{\hat{e}\zeta} = \frac{P_{\hat{e}\zeta}}{S_{\hat{e}\zeta}},$$

$$x_{s1} + x_{s2}' = (r_1 + r_2') \operatorname{tg}(\arccos \frac{P_{\hat{e}\zeta}}{S_{\hat{e}\zeta}}).$$

При пересчете сопротивлений из первичной обмотки в вторичную $r = (r_1 + r_2') / K_{\text{тр}}^2$, $x = (x_1 + x_2') / K_{\text{тр}}^2$.

3. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА УВ В РЕЖИМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКЕ

Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя с индуктивной нагрузкой:

$$U_d \alpha = U_{d0} \cos \alpha$$

С включением обратного диода она изменится:

$$\text{и } \delta \text{ } 0 < \alpha < \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2} \quad U_d \alpha = U_{d0} \cos \alpha,$$

$$\text{и } \delta \text{ } \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2} < \alpha < \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_2}$$

$$U_d \alpha = U_{d0} \frac{(1 + \cos(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2} + \alpha))}{2 \sin(\frac{\pi}{m_2})}.$$

Напряжения на входе сглаживающего фильтра при максимальном и наименьшем токе нагрузки:

$$U_{d \max} = U_{\tilde{n}\delta} + \Delta U_v + (r_{\tilde{a}\delta} + r_{\delta\delta} + x_{\tilde{y}}) I \tilde{i} \max$$

$$U_{d \min} = U_{\tilde{n}\delta} + \Delta U_v + (r_{\tilde{a}\delta} + r_{\delta\delta} + x_{\tilde{y}}) \cdot I \tilde{i} \min$$

где $U_{\text{ст}}$ — номинальное напряжение стабилизации на нагрузке;

$$\tilde{\delta}_{\tilde{y}} = \frac{x_s \cdot m_2}{2\pi} \quad \begin{array}{l} \text{-эквивалентное сопротивление индуктивности рассеяния} \\ \text{трансформатора;} \\ \Delta U_v \text{ — падение напряжения на тиристоре;} \end{array}$$

$r_{\delta\delta}, r_{\delta\delta}$ — активное сопротивление дросселя и трансформатора, приведенное к вторичной обмотки, $r_{\delta\delta} = r_2 + r_1^I$

Наименьшему напряжению сети при максимальном токе нагрузки соответствует минимальный угол управления $-\alpha_{\min}$. Его выбирают на линейном участке регулировочной характеристики (20-30 град) –рис.3.1

$$U_{d\alpha\min} = U_{d\max}$$

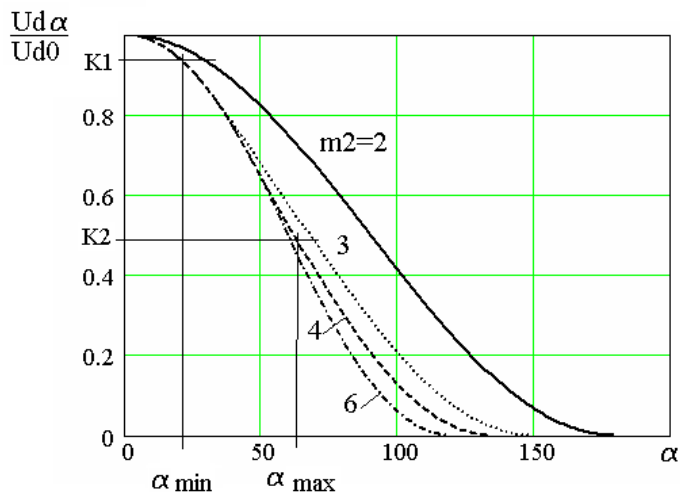


Рис.3.1. Регулировочные характеристики многофазного управляемого выпрямителя

По регулировочной характеристике находится величина $K1 = U_{d\alpha} / U_{d0}$, соответствующая наименьшему напряжению сети. Этот коэффициент используется для определения U_{d0}^{\min} :

$$U_{d0}^{\min} = U_{d\max} / K1$$

$$U_{d0}^{\min} = \sqrt{2} U_{2\min} \frac{m2}{\pi} \sin(\pi/m2)$$

Действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{2\min}$ при напряжении питающей сети $U_{1\min}$ находят из выражения для U_{d0} :

Номинальное и максимальное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора:

$$U_2 = \frac{U_{2\min}}{100 - \delta_1} 100, \quad U_{2\max} = U_2 \frac{(100 + \delta_2)}{100}$$

Максимальный угол управления тиристорами, соответствует максимальному напряжению сети и минимальному току нагрузки. Его определяют по регулировочной характеристики для наибольшего значения U_2

$$\hat{E}_2 = \frac{U_{d\min}}{\sqrt{2} U_{2\max} \frac{m2}{\pi} \sin(\pi/m2)}$$

Выбор тиристора осуществляется по величинам обратного напряжения, среднего и амплитудного тока.

При расчете фильтра можно использовать зависимости коэффициента пульсаций от угла регулирования управляемых выпрямителей с индуктивной нагрузкой :

$$Ki = \frac{U_{1m}}{Ud\alpha} = \frac{2}{m_i^2 - 1} \sqrt{1 + m_i^2 \operatorname{tg}^2(\alpha)}$$

4. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА УВ В РЕЖИМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЕМКОСТНОЙ НАГРУЗКЕ

При использовании выпрямителя с емкостной нагрузкой надо учитывать существенные перегрузки по току во время включения в сеть выпрямителя (см. рисунок на обложке) [8].

На первом этапе расчета УВ в режиме стабилизатора необходимо задать минимальное значение угла регулирования $\alpha_{\text{мин}}$. Это значение будет соответствовать минимальному напряжению сети и максимальному току нагрузки. С целью обеспечения линейной зависимости регулировочной характеристики в рабочем диапазоне, его величина будет в пределах 20-40 градусов.

Для расчета используются графики зависимости рассчитываемых величин от параметра $A = \pi r / (m^2 R)$ –рис. 1-6 приложения 2.

При уменьшении токоограничивающего сопротивления r растет перегрузка диодов по току, увеличивается асимметрия формы тока (см. рисунок на обложке), увеличиваются пульсации выпрямленного напряжения[8]. На рисунке показана форма тока в установившемся режиме. В момент включения выпрямителя в сеть амплитуда тока через вентиль увеличивается еще больше в десятки, а то и в сотни раз. Существующие диоды не допускают подобных перегрузок.

При увеличении токоограничивающего сопротивления уменьшается перегрузка по току тиристоров, но растут потери мощности, уменьшается КПД.

На первом этапе расчета можно задать величину параметра $A_{\text{макс}}$ на уровне 0.1 и доопределить, соответствующее значение токоограничивающего сопротивления r с учетом сопротивления обмоток и диодов.

Найти наибольшее и наименьшее значения сопротивления нагрузки $R_{\text{макс}}$, $R_{\text{мин}}$ и, соответствующие им значения параметра $A_{\text{макс}}$, $A_{\text{мин}}$.

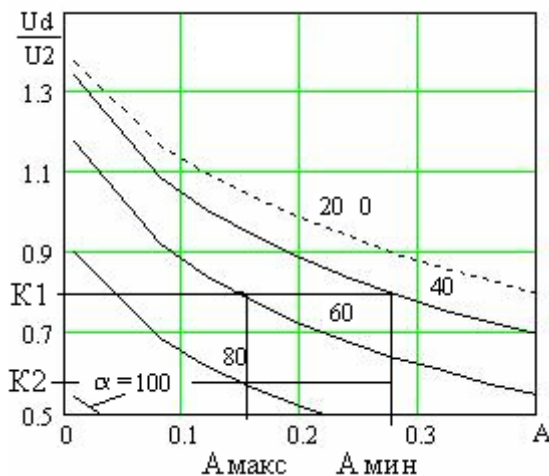


Рис. 4.1

По графику нагрузочной характеристики (рис.1-4 приложения) определить точку, соответствующую минимальному углу регулирования ($A_{\text{мин}}$ –рис4.1). Наименьший

угол регулирования стабилизатора будет при максимальном токе нагрузке и наименьшем напряжении сети.

При том же напряжении сети и уменьшении тока нагрузки угол управления увеличивается. Через точку ($K1=Ud/U2_{\text{мин}}$, Амин) проводим прямую параллельно оси ординат до пересечения с прямой из Амакс. По этой точке найти значение угла регулирования при минимальном токе нагрузки и напряжении сети $-U2_{\text{мин}}$.

При максимальном напряжении сети и наименьшем токе нагрузки в точке ($K2=Ud/U2_{\text{макс}}$, Амакс) определится наибольшее значение угла регулирования $-\alpha_{\text{макс}}$. Из точки ($K2=Ud/U2_{\text{макс}}$, Амакс) проводится прямая параллельно оси ординат до пересечения с прямой из Амин. Полученная точка определит угол управления при наибольшем напряжении сети и токе нагрузки $-I_{\text{макс}}$.

На графике рис.4.1 Амин=0,28; Амакс=0,15; $K1=0,8$. При наименьшем напряжении сети с уменьшением тока нагрузки угол регулирования изменяется от 40 до 60 электрических градусов.

При наибольшем напряжении сети ($K2=0,58$) с увеличением тока нагрузки угол регулирования изменяется от 80 до 75 электрических градусов.

Из графиков (рис. 1-4 приложения) можно определить среднее и амплитудное значения тока в диоде.

По заданному коэффициенту пульсаций (из графиков рис.1-4 приложения) и величине N найти емкость конденсатора фильтра $-C[\text{МкФ}]$ при наибольшем напряжении сети и наименьшем токе нагрузки.

Если амплитуда тока через вентиль существенно больше среднего значения (в справочнике нет подходящих вентиляей) надо увеличить токоограничивающее сопротивление $-r$ дополнительным резистором.

По графикам (рис.5 приложения) уточнить выходное напряжение с учетом индуктивности рассеивания по параметру

$$x=wLs/r.$$

5. ПРОВЕРКА

Для проверки расчетов стабилизатора напряжения рассчитать выходное напряжение стабилизатора при наименьшем и наибольшем напряжении сети. Это напряжение должно совпасть с заданным. Алгоритм проверки можно отобразить следующей последовательностью:

$$U_{\text{н}}^i \Rightarrow U_2^i \Rightarrow Ud0^i \Rightarrow \alpha^i \Rightarrow Ud\alpha^i \Rightarrow Ud_i$$

$$U_{\text{н}}^i \Rightarrow U_2^i \Rightarrow Ud0^i \Rightarrow \alpha^i \Rightarrow Ud\alpha^i \Rightarrow Ud_i$$

Результаты проверки будут удовлетворительными при совпадении выходного напряжения выпрямителя (в пределах пяти процентов) при изменении питающего напряжения. Если совпадения нет, необходимо уточнить коэффициент трансформации и углы регулирования.

Расчеты делать в маткаде, что упрощает многоэтапность расчетов.

По результатам расчетов выбрать из справочников [2-7] компоненты силовой цепи – тиристоры, дроссели, конденсатор.

Выбор тиристоров проводится по предельным значениям тока и напряжения. Для этого можно использовать известные соотношения для схем выпрямителей с активной и индуктивной нагрузкой -см. приложение таблицы 1,2.

Расчет фильтра соответствует методике расчета по первому индивидуальному домашнему заданию[10] для наибольшего значения угла регулирования.

Расчет КПД проводится на заключительном этапе по выбранным компонентам силовой цепи (потери в дросселе фильтра определяется по справочнику его активным сопротивлением, потери в трансформаторе по опыту короткого замыкания).

Построение нагрузочной характеристики определяется типом нагрузки и углом регулирования (наименьшим, наибольшим) при разомкнутом контуре обратной связи.

После построения надо убедиться в соответствии величин тока и напряжения заданным. При расхождении больше пяти процентов, необходимо скорректировать расчет.

6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Определить величину тока, протекающего в активно-индуктивной нагрузке с сопротивлением 5 Ом, подключенной к выходу трехфазного управляемого выпрямителя с нулевой точкой; индуктивности рассеяния первичной и вторичной обмоток трансформатора $17,8 \cdot 10^{-3}$ Гн и $0,66 \cdot 10^{-3}$ Гн, активными сопротивлениями обмоток пренебречь, индуктивное сопротивление нагрузки много больше его активного сопротивления.

Фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора 100В, угол управления тиристорами равен 60° . Потерями в выпрямителе и трансформаторе пренебречь. Представить характерные временные диаграммы напряжений и токов.

Расчет управляемого выпрямителя без обратного диода

Формализация задачи.

Схема – трехфазная нулевая (схема Миткевича), управляемая.

Нагрузка – активно-индуктивная (принимается с целью упрощения $\omega L_d / R_d \rightarrow \infty$), $R_d = 5$ Ом, $U_2 = 100$ В, $\alpha = 60^\circ$, $\Delta U_r = 0$; $\Delta U_0 = 0$.

$I_d = ?$

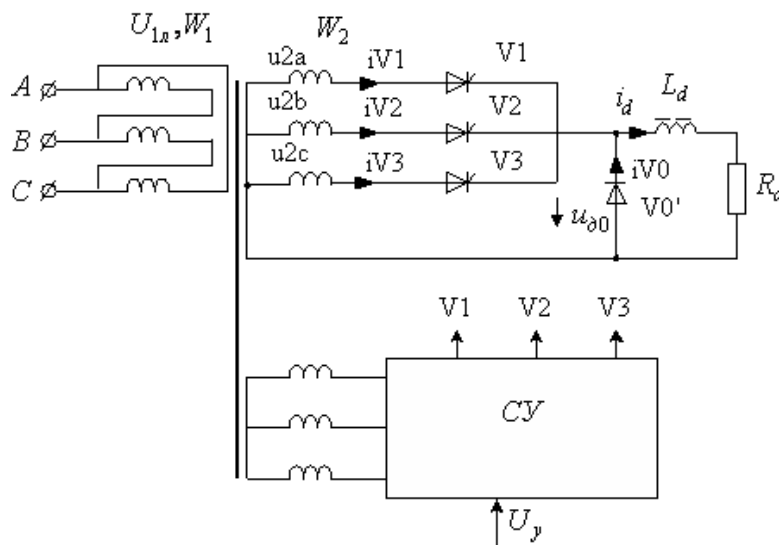


Рис.5.1

В схеме выпрямителя не указана схема соединения первичных обмоток трансформатора. Принимается схема треугольник-звезда.

Не определено наличие обратного вентиля, проводится расчет выпрямителя без нулевого диода и с ним. На рисунке 5.1 приведена схема управляемого выпрямителя с нулевым диодом.

Не определено значение напряжения первичной обмотки. Принимается равным 220 на 380 В, 50Гц.

Временные диаграммы.

При построении временных диаграмм для управляемого выпрямителя с индуктивным характером нагрузки и без нулевого вентиля необходимо учитывать следующие факторы.

Наличие индуктивности в нагрузке приводит к увеличению угла проводимости вентилей, появлению участков выпрямленного напряжения обратной полярности.

При бесконечно большой индуктивности в нагрузке переменная составляющая тока в нагрузке равна нулю.

Ток нагрузки определяется током через поочередно включающиеся диоды выпрямительного блока. В моменты переключения фаз ток в диодах будет изменяться по косинусоидальному закону.

Во время коммутации вентилей напряжение на выходе выпрямителя будет описываться напряжением коммутации

$$u_{\gamma} = U_{2m} \cos \frac{\pi}{m2} \cos \vartheta.$$

Амплитуда этого напряжения соответствует напряжению вторичной обмотки в точке естественной коммутации -рис. 5.2.

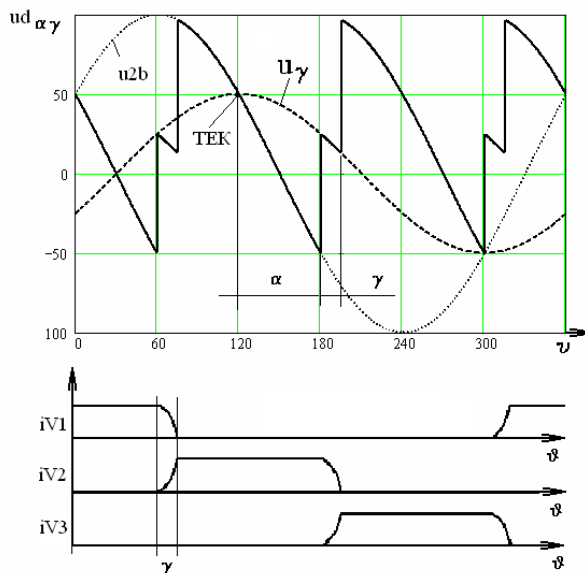


Рис. 5.2.

Угол управления соответствующих тиристоров $\alpha = 60^\circ$ откладывается от точки естественной коммутации (ТЕК).

Суммарная индуктивность рассеяния трансформатора, приведенная к вторичной обмотке, равна

$$L_s = L_{S2} + \frac{L_{S1}}{k_{\delta\delta}^2} = 0,66 \cdot 10^{-3} + \frac{17,8 \times 10^{-3}}{\left(\frac{380}{100}\right)^2} = 1,89 \cdot 10^{-3} \text{ } \tilde{A}i$$

$$X_s = 2\pi f L_s = 2\pi \cdot 50 \cdot 1,89 \cdot 10^{-3} = 0,593 \hat{i}$$

Среднее значение выпрямленного напряжения управляемого трехфазного выпрямителя с нулевой точкой и без нулевого диода определяется по выражению:

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \cos \alpha, \quad \text{где } 0^\circ < \alpha < 90^\circ;$$

Среднее значение выпрямленного напряжения при $\alpha = 0$ равно:

$$U_{d0} = \frac{m2}{\pi} \sin \frac{\pi}{m2} U_{2m} = \frac{3}{\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{2} U_2 = \frac{3\sqrt{6} \cdot 100}{2\pi} = 117 \text{ В}$$

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cos \left(\frac{\pi}{3} \right) = 58,5 \text{ В}$$

Напряжение на нагрузке с учетом с учетом коммутационных процессов:

$$U_{d\alpha\gamma} = U_{d\alpha} - \Delta U_x = U_{d\alpha} - I_d \frac{X_s}{2\pi} m2$$

$$U_{d\alpha} = I_d \left(R + \frac{X_s}{2\pi} m2 \right) = I_d \left(5 + \frac{0,593}{2\pi} 3 \right) = I_d \cdot 5,28$$

Тогда среднее значение тока нагрузки при угле управления $\alpha = 60^\circ$ определится как

$$I_d = \frac{58,5}{5,28} = 11,1 \text{ А}$$

Среднее значение тока через тиристор $I_{d/m2} = 3,7 \text{ А}$.

Расчет управляемого выпрямителя с обратным диодом

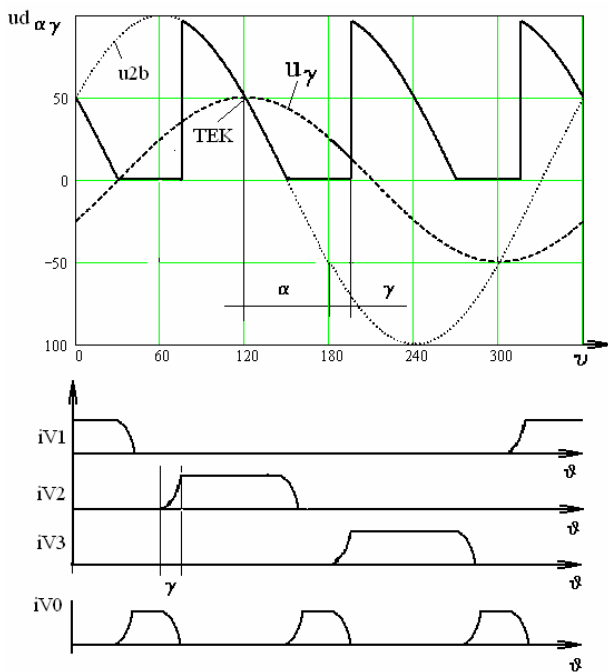


Рис. 5.3.

В моменты переключения диодов ток в них будет изменяться по косинусоидальному закону.

Во время коммутации вентилей напряжение на выходе выпрямителя будет описываться напряжением коммутации (при $\alpha < \pi(1/2 - 1/m2)$ градусов):

При построении временных диаграмм для управляемого выпрямителя с индуктивным характером нагрузки и с нулевым диодом необходимо учитывать следующие факторы.

Наличие индуктивности в нагрузке не приводит к увеличению угла проводимости вентилей и появлению участков выпрямленного напряжения обратной полярности, если имеется обратный вентиль V0.

При бесконечно большой индуктивности в нагрузке переменная составляющая тока в нагрузке равна нулю.

Ток нагрузки определяется током через поочередно включающиеся диоды выпрямительного блока (V1, V2, V3) и в моменты формирования напряжения обратной полярности током через обратный диод V0.

$$u_{\gamma} = U_2 m \cos \frac{\pi}{m2} \cos \vartheta$$

Амплитуда этого напряжения соответствует напряжению вторичной обмотки в точке естественной коммутации рис. 5.3.

Если $\alpha > \pi(1/2 - 1/m2)$ градусов, напряжение коммутации равно нулю.

Угол управления соответствующих тиристоров $\alpha = 60^\circ$ откладывается от точки естественной коммутации (ТЕК).

Среднее значение выпрямленного напряжения управляемого трехфазного выпрямителя с индуктивной нагрузкой и нулевым диодом определяется так же, как и для активной нагрузки:

Среднее значение выпрямленного напряжения при $\alpha = 0$ равно

$$U_{d0} = \frac{3\sqrt{6}U_2}{2\pi} = \frac{3\sqrt{6} \cdot 100}{2\pi} = 117 \text{ В}$$

$$U_{d\alpha} = \begin{cases} U_{d\alpha} \cdot \cos \alpha, & \text{и } \text{д} \text{ } 0^\circ < \alpha < 30^\circ; \\ U_{d0} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{6} + \alpha \right) \right], & \text{и } \text{д} \text{ } 30^\circ < \alpha \leq 150^\circ. \end{cases}$$

. Подставляя (2) в (1) при $\alpha > 30^\circ$, получаем

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3} \right) \right] = \frac{117}{\sqrt{3}} \left[1 + \cos \frac{\pi}{2} \right] = 67,5 \text{ В.}$$

Напряжение на нагрузке с учетом с учетом коммутационных процессов

$$U_{d\alpha\gamma} = U_{d\alpha} - \Delta U_x = U_{d\alpha} - I_d \frac{X_s}{2\pi} m2$$

$$U_{d\alpha} = I_d \left(R + \frac{X_s}{2\pi} m2 \right) = I_d \left(5 + \frac{0,593}{2\pi} 3 \right) = I_d \cdot 5,28$$

Тогда среднее значение тока нагрузки при угле управления $\alpha = 60^\circ$ определится как

$$I_d = \frac{67,5}{5,28} = 12,8 \text{ А.}$$

Среднее значение тока через обратный диод зависит от времени его включения.

Для трехфазной схемы Миткевича при угле регулирования $\alpha = 60^\circ$ угол, соответствующий времени включения:

$$\vartheta_0 = \alpha - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m2} \right) = 30^\circ$$

$$\text{и } \text{д} \text{ } I_{v0} = \frac{\vartheta_0}{2\pi/m2} I_d = \frac{30}{120} 12,8 = 3,2 \text{ А.}$$

Среднее значение тока через тиристор определится с учетом включения обратного вентиля $(I_d - I_{v0})/m2 = 3,2 \text{ А.}$

Пример расчета УВ приведен в приложении 3.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие. – Изд. 2-е испр. и доп.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с. – (Серия «Учебники НГТУ»).

Сидоров И.Н., Мукосеев В.В., Христинин А.А. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник. – М.: Радио и связь, 1985. – 416 с.

Мощные полупроводниковые приборы. Диоды: Справочник/ Б.А. Бородин, В.М. Ломакин, В.В. Мокряков и др.; Под ред. А.В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1985.

Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммуникационные устройства РЭА: Справочник/ Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко, Ю.П. Ходоренок. – Минск, Беларусь, 1994. – 591 с.; ил.

Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / А.В. Боноков, А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев и др.; Под общ. ред. Н.Н. Горюкова. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 744 с.: илл.

Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник/ В.П. Берзан, Б.Ю. Геликман, М.Н. Гураевский и др.; Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.: илл.

Справочные данные по элементной базе преобразовательной техники. На компакт-диске с программным обеспечением в разделе ОПТ.

Акулич К.М., Лехан С.С., Зубакин А.Г. Аварийный режим выпрямителя с емкостной нагрузкой. -XIII Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Наука и образование”, том1. –Томск: Издательство ТГПУ, 2009, -412с.

Зубакин А.Г., Семенов В.Д. Основы преобразовательной техники. –Томск.: ТУСУР, 2007. -198с.

Семенов В.Д. Преобразовательная техника: Руководство к организации самостоятельной работы. – Томск: Томский центр дистанционного образования, 2006. – 97 с.

Таблица 1. Расчетные соотношения для многофазного идеального выпрямителя, работающего на активную нагрузку.

	Нулевые схемы выпрямления						Мостовые	
	1	2	3	4	6	Греца	Ларионова	
m2	1	2	3	4	6	1	3	
U2/Ud	2,22	1,11	0,86	0,79	0,74	1,11	0,43	
I2/Id	1,57	0,79	0,59	0,50	0,41	1,11	0,83	
I2cp/Id	1,00	0,50	0,33	0,25	0,17	0,50	0,33	
I2/I2cp	1,57	1,57	1,76	2,01	2,45	0,00	0,00	
I1*n/Id	1,21	1,11	0,48	0,71	0,58	1,11	0,83	
P2/Pd	3,49	1,74	1,51	1,58	1,82	1,23	1,06	
P1/Pd	2,69	1,23	1,24	1,23	1,28	1,23	1,06	
Pr/Pd	3,09	1,49	1,37	1,41	1,55	1,23	1,06	
Uробп/Ud	3,14	3,14	2,09	2,22	2,09	1,57	1,05	
Iv/I2	1,11	1,11	0,77	0,64	0,51	0,79	0,54	
Iv/Id	1,74	0,87	0,45	0,32	0,21	0,87	0,45	
Imv/Id	3,14	1,57	1,21	1,11	1,05	1,57	1,21	
Ivcp/Id	1,00	0,50	0,33	0,25	0,17	0,50	0,33	
mπ	1,00	2,00	3,00	4,00	6,00	2,00	6,00	
Кп,%	1,57	0,67	0,25	0,13	0,06	0,67	0,06	

Таблица 2. Расчетные соотношения для многофазного идеального выпрямителя, работающего на активно-индуктивную нагрузку.

	Нулевые схемы выпрямления						Мостовые	
	1	2	3	4	6	Греца	Ларионова	
m2	1	2	3	4	6	1	3	
U2/Ud	2,22	1,11	0,86	0,79	0,74	1,11	0,43	
I2/Id	1,57	0,71	0,58	0,50	0,41	1,00	0,82	
I2cp/Id	1,00	0,50	0,33	0,25	0,17	0,50	0,33	
I2/I2cp	1,57	1,41	1,73	2,00	2,45	0,00	0,00	
I1 *n/Id	1,21	1,00	0,47	0,71	0,58	1,00	0,82	
P2/Pd	3,49	1,57	1,48	1,57	1,81	1,11	1,05	
P1/Pd	2,69	1,11	1,21	1,11	1,28	1,11	1,05	
Pr/Pd	3,09	1,34	1,35	1,34	1,55	1,11	1,05	
Uмообр/Ud	3,14	3,14	2,09	2,22	2,09	1,57	1,05	
Iv/I2	1,11	1,11	0,77	0,64	0,51	0,79	0,54	
Iv/Id	1,74	0,79	0,44	0,3	0,21	0,79	0,44	
Imv/Id	3,14	1,57	1,21	1,11	1,05	1,57	1,21	
Ivcp/Id	1,00	0,50	0,33	0,25	0,17	0,50	0,33	
mπ	1,00	2,00	3,00	4,00	6,00	2,00	6,00	
Кп,%	157,00	66,67	25,00	13,33	5,71	66,67	5,71	

Таблица 1. Расчетные соотношения для многофазного идеального выпрямителя, работающего на активную нагрузку.

	Нулевые схемы выпрямления						Мостовые	
	1	2	3	4	6	Греца	Ларионова	
m2	1	2	3	4	6	1	3	
U2/Ud	2,22	1,11	0,86	0,79	0,74	1,11	0,43	
I2/Id	1,57	0,79	0,59	0,50	0,41	1,11	0,83	
I2cp/Id	1,00	0,50	0,33	0,25	0,17	0,50	0,33	
I2/I2cp	1,57	1,57	1,76	2,01	2,45	0,00	0,00	
I1*n/Id	1,21	1,11	0,48	0,71	0,58	1,11	0,83	
P2/Pd	3,49	1,74	1,51	1,58	1,82	1,23	1,06	
P1/Pd	2,69	1,23	1,24	1,23	1,28	1,23	1,06	
Pг/Pd	3,09	1,49	1,37	1,41	1,55	1,23	1,06	
Uмобр/Ud	3,14	3,14	2,09	2,22	2,09	1,57	1,05	
Iv/I2	1,11	1,11	0,77	0,64	0,51	0,79	0,54	
Iv/Id	1,74	0,87	0,45	0,32	0,21	0,87	0,45	
Imv/Id	3,14	1,57	1,21	1,11	1,05	1,57	1,21	
Ivcp/Id	1,00	0,50	0,33	0,25	0,17	0,50	0,33	
mp	1,00	2,00	3,00	4,00	6,00	2,00	6,00	
Kп,%	1,57	0,67	0,25	0,13	0,06	0,67	0,06	

К расчету УВ с емкостной нагрузкой в режиме стабилизации напряжения

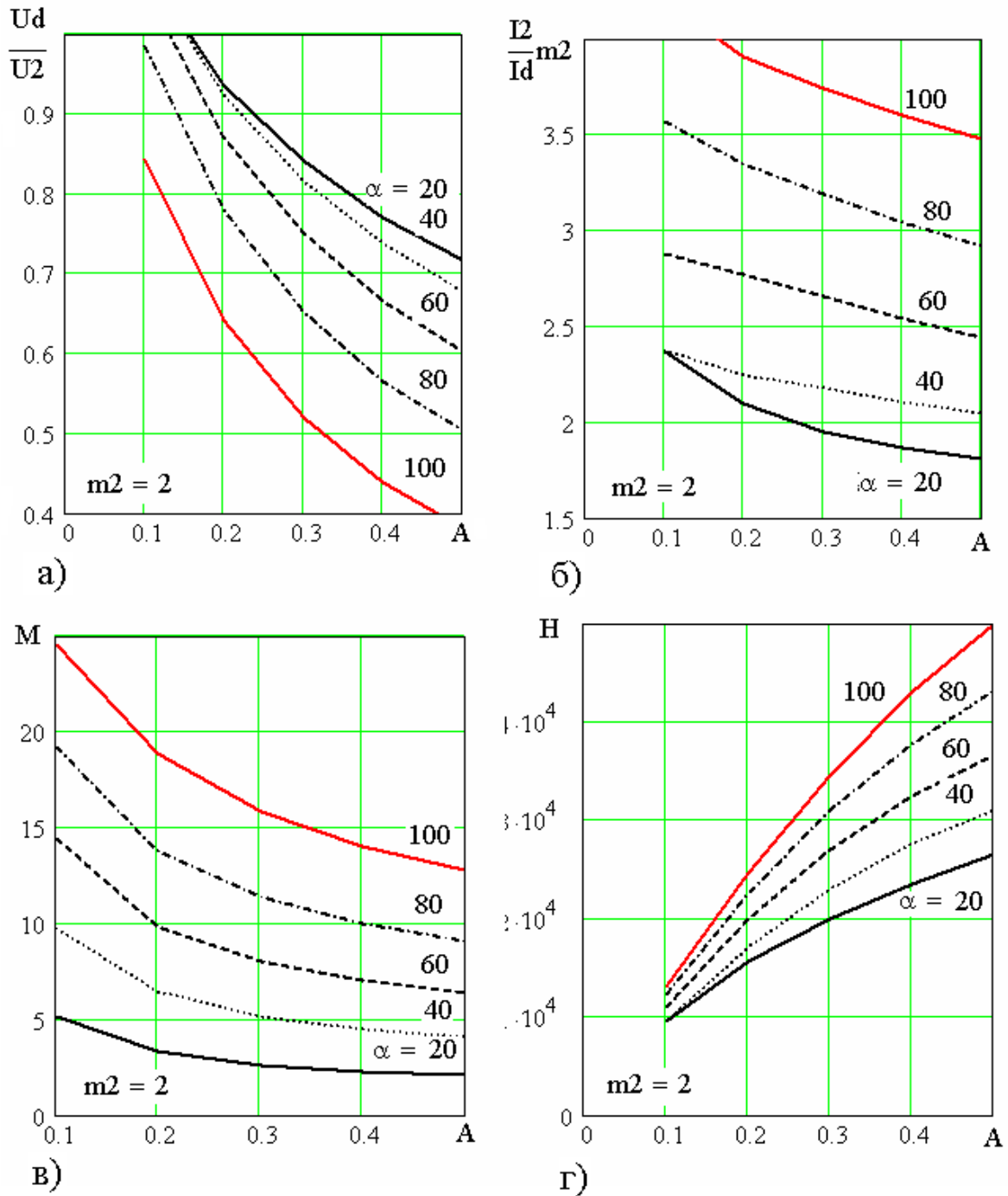


Рис.1 Нагрузочная характеристика -а, действующее значение тока вторичной обмотки -б, перегрузка вентиля по току $M=I_{vmax} m_2/I_d$, $H=K_p \cdot f \cdot r \cdot C$ [МкФ] (при $m_2=2$) в зависимости от параметра $A=\pi r / (m_2 \cdot R)$

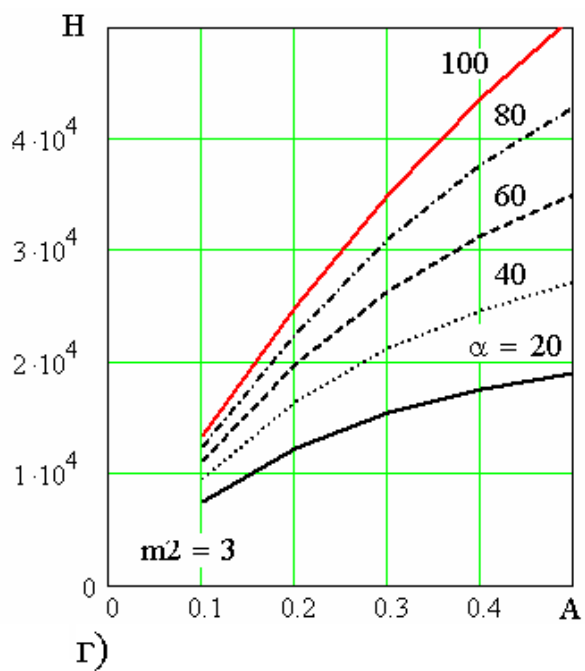
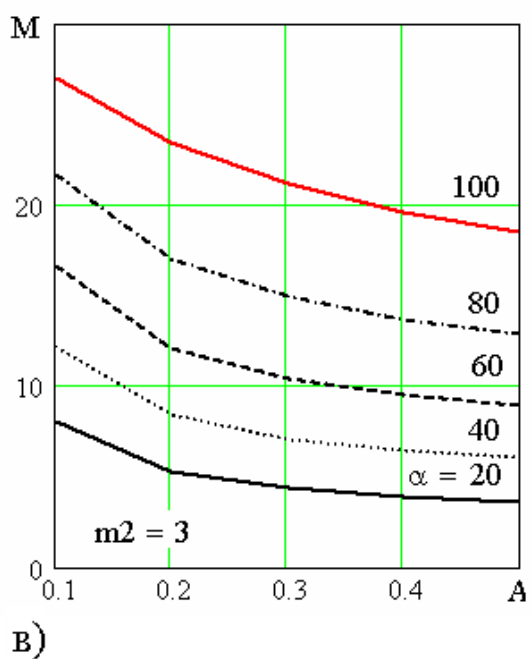
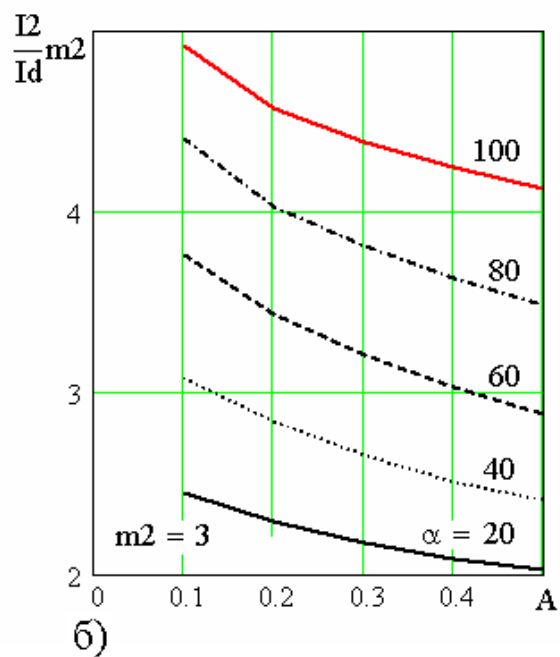
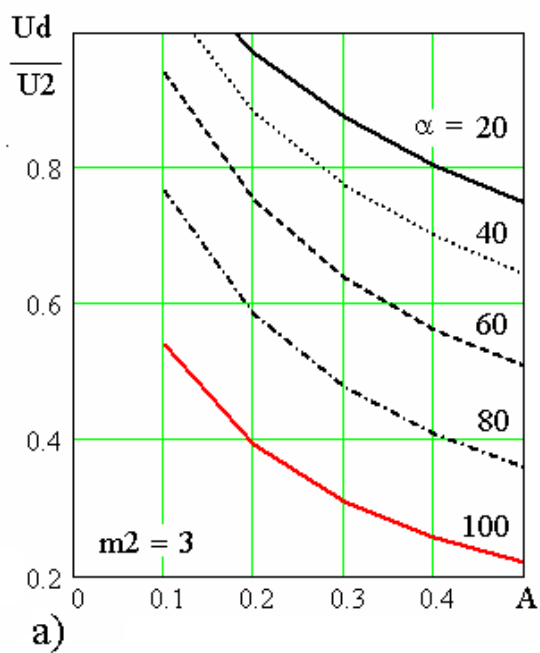
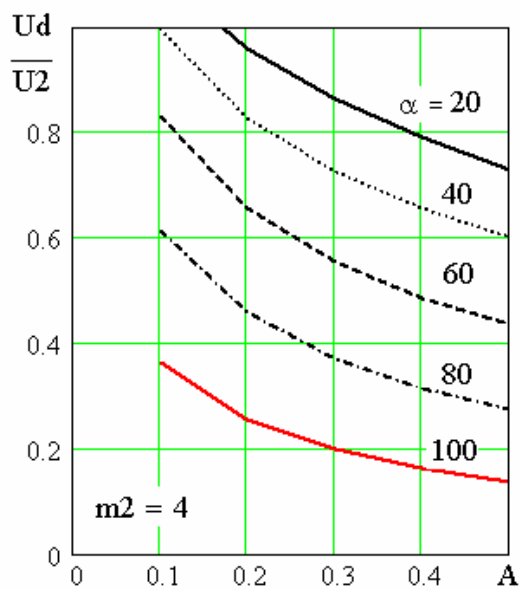
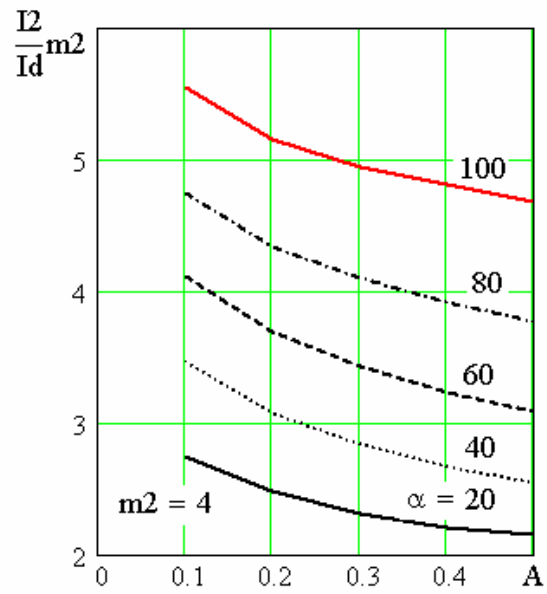


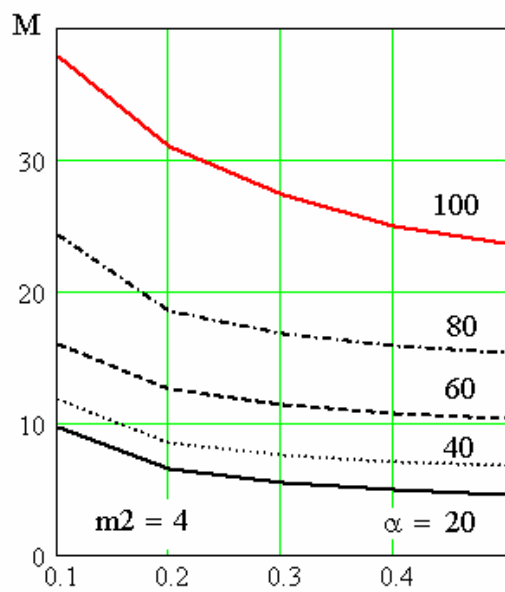
Рис.2 Нагрузочная характеристика -а, действующее значение тока вторичной обмотки -б, перегрузка вентиля по току $M=I_{vmax} m2/Id$ -в, $H=K_p * f * r * C [MкФ]$ (при $m2=3$) в зависимости от параметра $A=\pi r / (m2 * R)$



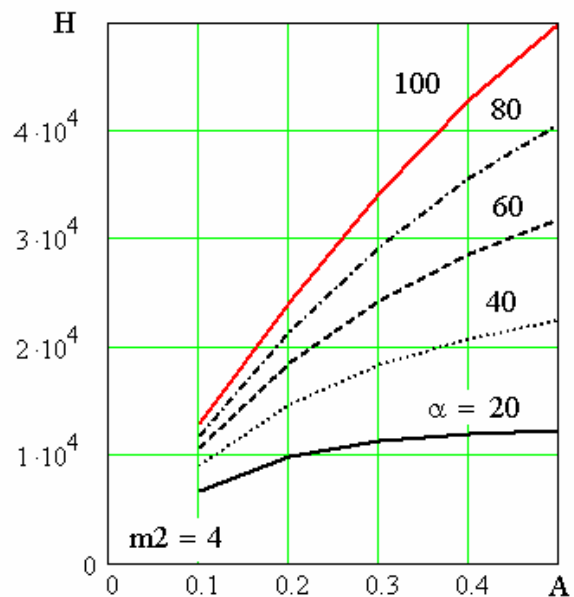
а)



б)

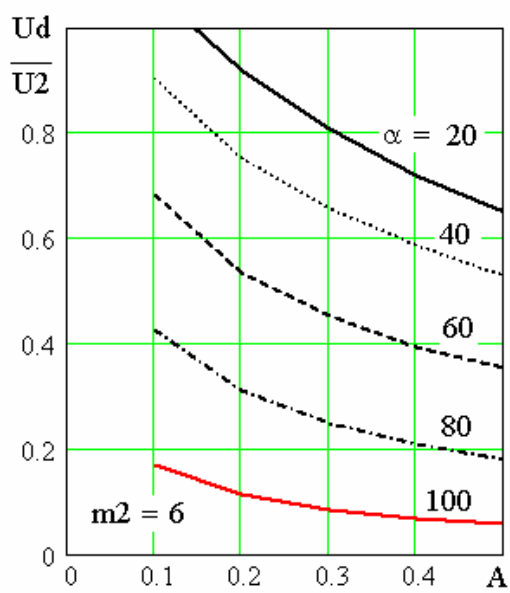


в)

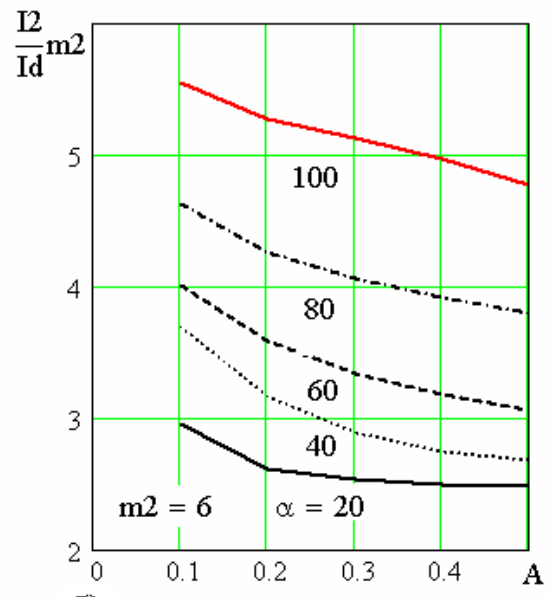


г)

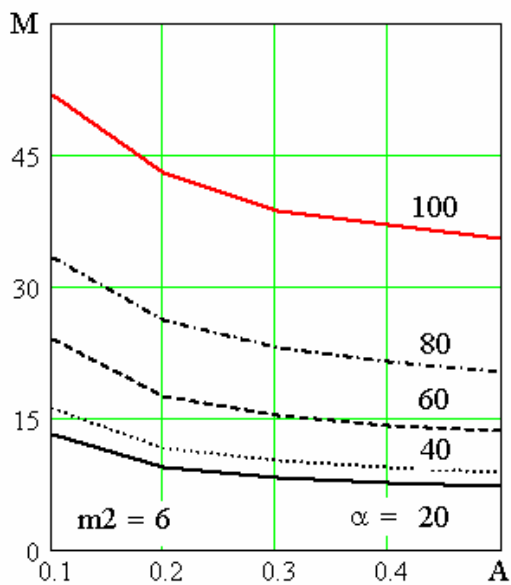
Рис.3 Нагрузочная характеристика -а, действующее значение тока вторичной обмотки -б, перегрузка вентиля по току $M=I_{vmax} m2/I_d$ -в, $H=K_p \cdot f \cdot r \cdot C$ [МкФ] (при $m2=4$) в зависимости от параметра $A=\pi r / (m2 \cdot R)$



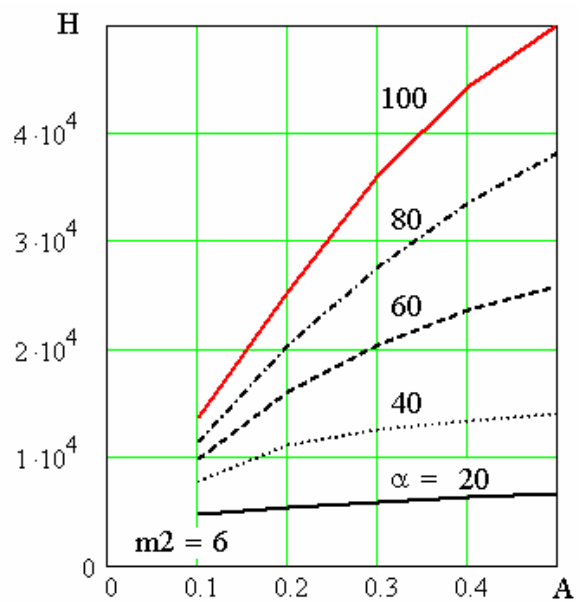
а)



б)



в)



г)

Рис.4 Нагрузочная характеристика -а, действующее значение тока вторичной обмотки -б, перегрузка вентиля по току $M=I_{vmax} m2/Id$ -в, $H=Kp*f*r*C$ [МкФ] (при $m2=6$) в зависимости от параметра $A=\pi r/(m2*R)$

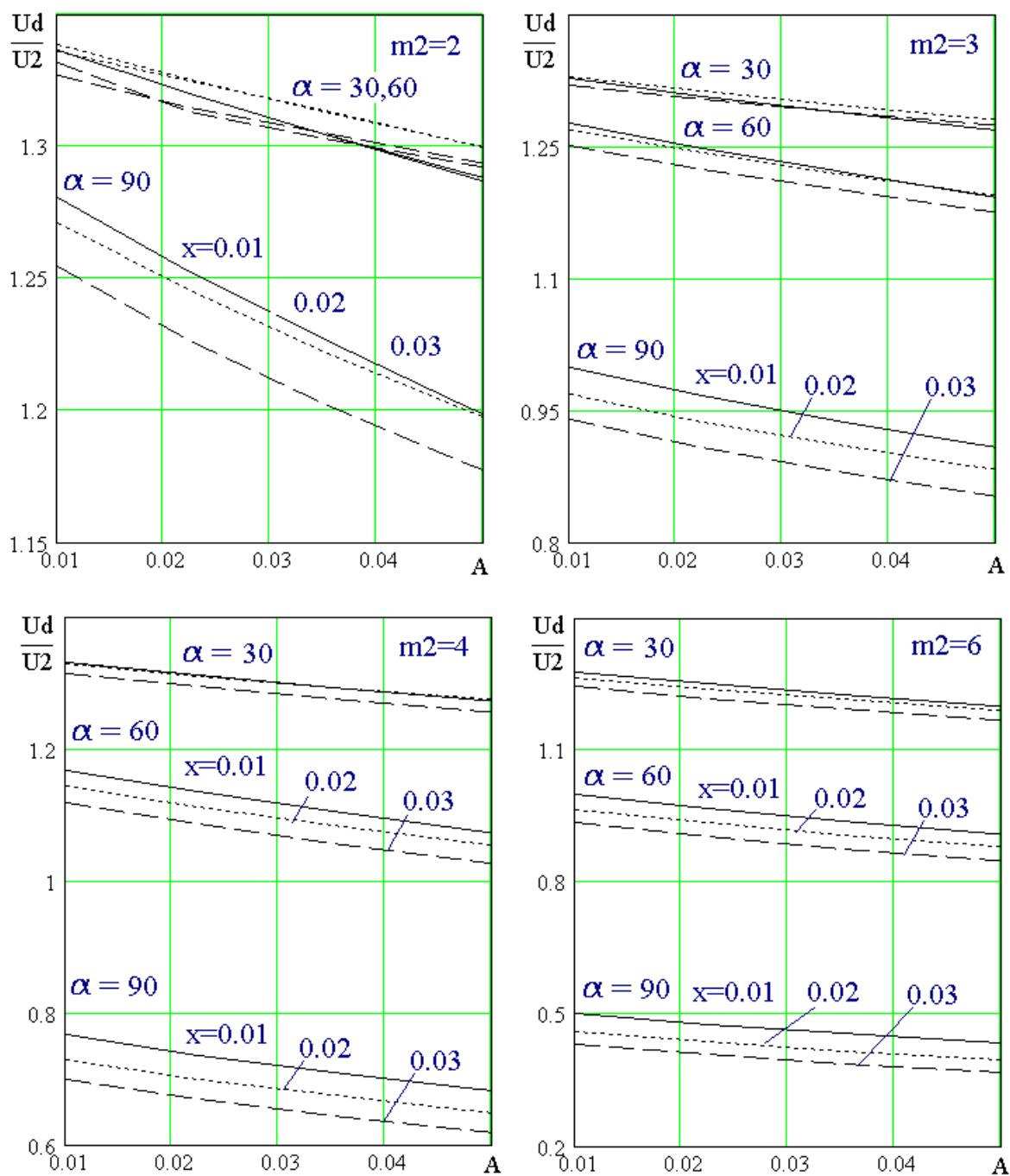


Рис.5. Нагрузочные характеристики УВ с учетом индуктивности рассеяния ($A=\pi r/(m_2 R)$, $x=wL_s/r$)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

К расчету стабилизатора напряжения на основе УВ.

Дано: Схема Миткевича с LC- фильтром
 среднее значение выпрямленного напряжения
 среднее значение выпрямленного тока
 фазное напряжение питающей сети
 пределы изменения фазного напряжения

$$U_{dnom} := 100 \text{ В}$$

$$J_{dnom} := 10 \text{ А}$$

$$U_{1nom} := 115 \text{ В}$$

$$+\delta U_1 := 15 \%$$

$$-\delta U_2 := 10 \%$$

максимальный ток нагрузки

$$J_{dmax} := J_{dnom}$$

минимальный ток нагрузки

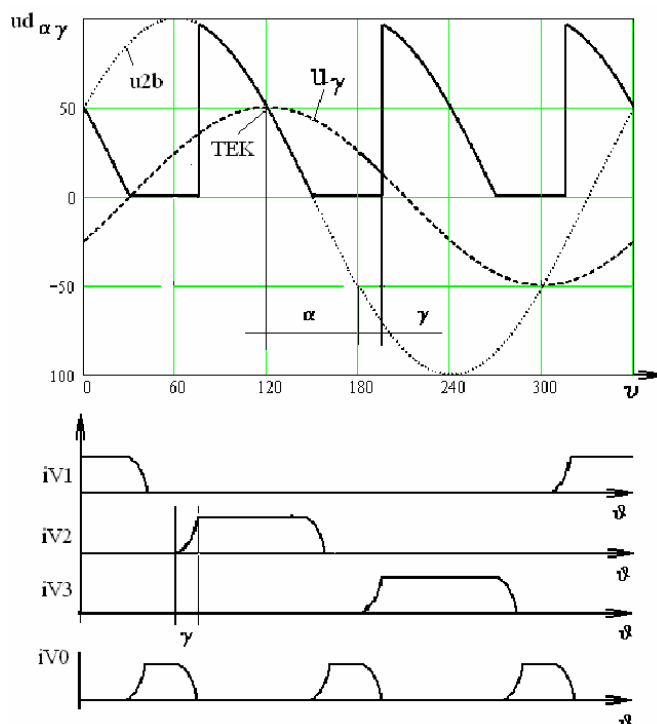
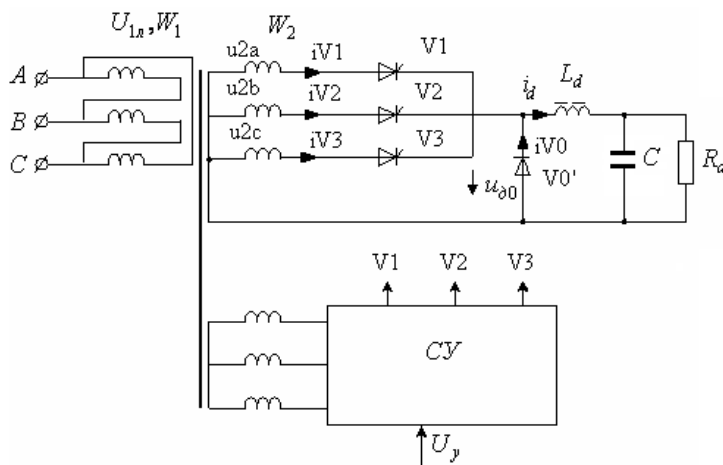
$$J_{dmin} := 0.1 \cdot J_{dnom}$$

частота питающей сети

$$F := 50 \text{ Гц}$$

коэффициент пульсаций напряжения нагрузки

$$K_{pl} := 0.02$$



Расчет трансформатора

мощность в нагрузке с учетом потерь:

$$\mathbf{P_{dnom}} := \mathbf{J_{dnom} \cdot U_{dnom} \cdot 1.1} \qquad \mathbf{P_{dnom}} = \mathbf{1.1 \times 10^3} \text{ Вт}$$
$$\mathbf{m} := \mathbf{3}$$

номинальная габаритная мощность первичных обмоток

$$\mathbf{S_{1nom}} := \mathbf{1.35 \cdot P_{dnom}} \qquad \mathbf{S_{1nom}} = \mathbf{1.485 \times 10^3} \text{ ВА}$$

габаритная мощность трансформатора

$$\mathbf{Strg} := \frac{\mathbf{100 + \delta U_1}}{\mathbf{100 - \delta U_2}} \cdot \mathbf{S_{1nom}} \qquad \mathbf{Strg} = \mathbf{1.897 \times 10^3}$$

габаритная мощность трансформатора на одну фазу

габаритная мощность трансформатора на одну фазу

$$\mathbf{Str} := \frac{\mathbf{Strg}}{\mathbf{m}} \qquad \mathbf{Str} = \mathbf{632.5}$$

действующее значение тока первичных обмоток

$$\mathbf{J_{1nom}} := \frac{\mathbf{Str}}{\mathbf{U_{1nom}}} \qquad \mathbf{J_{1nom}} = \mathbf{5.5} \text{ А}$$

ток холостого хода

$$\mathbf{J_{xx}} := \mathbf{0.281} \cdot \frac{\mathbf{J_{1nom}}}{\sqrt[4]{\mathbf{Str}}} \qquad \mathbf{J_{xx}} = \mathbf{0.308} \text{ А}$$

мощность холостого хода

$$\mathbf{P_{xx}} := \mathbf{0.141} \cdot \frac{\mathbf{Str}}{\sqrt[4]{\mathbf{Str}}} \qquad \mathbf{P_{xx}} = \mathbf{17.783} \text{ Вт}$$

напряжение короткого замыкания

$$\mathbf{U_{kz}} := \mathbf{0.0107} \cdot \mathbf{U_{1nom}} \cdot \sqrt[4]{\mathbf{Str}} \qquad \mathbf{U_{kz}} = \mathbf{6.171} \text{ В}$$

мощность короткого замыкания

$$\mathbf{P_{kz}} := \mathbf{0.169} \cdot \frac{\mathbf{Str}}{\sqrt[4]{\mathbf{Str}}} \qquad \mathbf{P_{kz}} = \mathbf{21.315} \text{ Вт}$$

активное сопротивление, учитывающее потери на гистерезис и вихревые токи

$$\mathbf{R_o} := \frac{\mathbf{P_{xx}}}{\mathbf{J_{xx}^2}} \qquad \mathbf{R_o} = \mathbf{187.244} \text{ Ом}$$

полная мощность холостого хода

$$S_{xx} := U_{1nom} \cdot J_{xx}$$

$$S_{xx} = 35.441 \text{ ВА}$$

угол сдвига тока относительно напряжения

$$\Psi_{xx} := \arccos\left(\frac{P_{xx}}{S_{xx}}\right)$$

$$\Psi_{xx} = 59.882 \text{ deg}$$

сопротивление индуктивности намагничивания

$$X_o := R_o \cdot \tan(\Psi_{xx})$$

$$X_o = 322.781 \text{ Ом}$$

полная мощность короткого замыкания

$$S_{kz} := U_{kz} \cdot J_{1nom}$$

$$S_{kz} = 33.94 \text{ ВА}$$

полное активное сопротивление первичной и вторичной обмоток, приведенное к первичной обмотке

$$R := \frac{P_{kz}}{J_{1nom}^2}$$

$$R = 0.705 \text{ Ом}$$

угол сдвига тока относительно напряжения

$$\Psi_{kz} := \arccos\left(\frac{P_{kz}}{S_{kz}}\right)$$

$$\Psi_{kz} = 51.096 \text{ deg}$$

полное сопротивление индуктивности рассеяния первичной и вторичной обмоток, приведенное к первичной обмотке

$$X := R \cdot \tan(\Psi_{kz})$$

$$X = 0.873 \text{ Ом}$$

номинальное фазное напряжение вторичной обмотки

$$U_{2nom} := 1.22 \cdot U_{dnom}$$

$$U_{2nom} = 122 \text{ В}$$

коэффициент трансформации

$$K_{tr} := \frac{U_{1nom}}{U_{2nom}} \cdot \left(\frac{100 - \delta U_2}{100}\right)$$

$$K_{tr} = 0.848$$

полное активное сопротивление первичной и вторичной обмоток, приведенное ко вторичной обмотке

$$R_a := \frac{R}{K_{tr}^2}$$

$$R_a = 0.979 \text{ Ом}$$

$$R_d := \frac{U_{dnom}}{J_{dnom}}$$

полное сопротивление индуктивности рассеяния первичной и вторичной обмоток, приведенное ко вторичной обмотке

$$X_s := R_a \cdot \tan(\Psi_{kz}) \quad X_s = 1.213 \text{ Ом}$$

Расчет потерь напряжений

Сопротивление дросселя фильтра примем

$$R_l := 0.01 \cdot R_d \quad R_l = 0.1 \text{ Ом}$$

возьмем падение напряжения на диодах равным

$$\Delta U_d := 0.8 \text{ В}$$

общее падение на вентилях

$$\Delta U_v := \Delta U_d \quad \Delta U_v = 0.8 \text{ В}$$

падение на активных сопротивлениях

$$\Delta U_r := J_{dnom} \cdot (R_l + R_a) \quad \Delta U_r = 10.79 \text{ В}$$

падение на индуктивности рассеивания

$$\Delta U_x := \frac{2 \cdot J_{dnom} \cdot X_s}{\pi} \quad \Delta U_x = 7.723 \text{ В}$$

напряжение холостого хода

$$U_{dxx} := U_{dnom} + \Delta U_v + \Delta U_r + \Delta U_x \quad U_{dxx} = 119.313 \text{ В}$$

минимальный угол регулирования (на линейном участке рег. хар.)

$$\alpha_{min} := 10 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \cos(\alpha_{min}) = 0.985$$

при включении обратного диода

$$U_{d0} := \frac{U_{dxx}}{\cos(\alpha_{min})}$$

$$U_{2min} := \frac{\pi \cdot U_{d0}}{\sqrt{2} \cdot m \left(\sin\left(\frac{\pi}{m}\right) \right)}$$

$$U_{2min} = 103.591$$

$$U_{\alpha min} := 1.11 \cdot U_{2min} \cdot \cos(\alpha_{min})$$

$$U_{\alpha min} = 113.239$$

$$K_{tr} := \frac{U_{1nom}}{U_{2min}} \cdot \left(\frac{100 - \delta U_2}{100} \right)$$

$$K_{tr} = 0.999$$

$$U_{2nom} := \frac{U_{2min}}{\left(\frac{100 - \delta U_2}{100} \right)}$$

$$U_{2nom} = 115.101$$

$$U_{2max} := U_{2nom} \cdot \frac{100 + \delta U_1}{100}$$

$$U_{2max} = 132.366$$

$$\sqrt{2} \cdot U_{2max} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) = 162.114$$

$$U_{d0mx} := \sqrt{2} \cdot U_{2max} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)$$

$$U_{d0max} := \sqrt{2} \cdot U_{2max} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)$$

$$U_{d0max} = 162.114$$

$$U_{dnom} = 100$$

$$U_{dmin} := U_{dnom} + \frac{J_{dmin} \cdot X_s \cdot m}{2\pi} + J_{dmin} \cdot (R_l + R_a) + \Delta U_v$$

$$U_{dmin} = 102.458$$

$$\alpha_{max} := \arccos\left(\frac{U_{dmin} \cdot 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)}{U_{d0max}} - 1\right) + \frac{\pi}{m} - \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha_{\max} \cdot \frac{180}{\pi} = 54.567$$

$$U_{dxx\max} := 1.11 \cdot U_{2\max}$$

$$U_{dxx\max} = 146.926$$

$$\gamma_{x\max} := \arccos\left(\frac{\cos(\alpha_{\max}) - 2 \cdot \Delta U_x}{U_{dxx\max}}\right)$$

$$\gamma_{x\max} = 95.807 \text{ deg}$$

Расчет фильтра

$$K_p := \frac{2}{m^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + m^2 \cdot \tan^2(\alpha_{\max})}$$

$$K_p = 1.159$$

$$K_{\text{сгл}} := \frac{K_p}{K_{\text{пл}}}$$

$$K_{\text{сгл}} = 53.844$$

выбор фильтра

$$LC := \frac{K_{\text{сгл}} + 1}{(m \cdot 2 \cdot \pi \cdot F)^2}$$

$$LC = 6.174 \times 10^{-5}$$

$$L_{\text{min}} := \frac{10 \cdot R_d}{m \cdot F \cdot \pi} \cdot K_p$$

$$L_{\text{min}} = 0.229$$

$$\frac{237}{18} = 13.167$$

$$0.018 \cdot 14 = 0.252$$

$$J_1 := \sqrt{J_{\text{dnom}}^2 + \frac{J_{\text{dnom}} \cdot K_{\text{пл}}}{\sqrt{2}}}$$

$$J_1 = 10.007$$

$$\frac{0.264}{5} \cdot 14 = 0.739$$

включим последовательно четырнадцать по пять параллельно соединенных дросселя типа Д247

полученный дроссель имеет следующие параметры

$$L_f := 0.252$$

$$J_f := 11$$

$$R_l := 0.739$$

$$C_f := \frac{LC}{L_f}$$

$$C_f = 2.45 \times 10^{-4}$$

$$U_{\text{сmax}} := U_{\text{dnom}} + \sqrt{\frac{L_f}{C_f}} \cdot 0.9 \cdot J_{\text{dnom}}$$

$$U_{cmax} = 388.637$$

Выбираем конденсатор К50-20: 20 Мкф, 450В. Соединяем их параллельно 13 штук. 260МкФ.

Выбор тиристоров

При выборе тиристора:

$$U_{obr} := 2.09 \cdot U_{dxxmax}$$

$$U_{obr} = 307.076$$

$$I_{vsr} := \frac{J_{dnom}}{m}$$

$$I_{vsr} = 3.333$$

$$I_t := J_{dnom} \cdot \sqrt{\frac{1}{m}}$$

$$J_{dnom} \cdot \sqrt{\frac{1}{m}} = 5.774$$

Тиристор КУ202Н: $U_{obr}=400В$, $I_{vsr}=10А$, $\Delta U_v=1-1.5В$.

Расчет потерь

$$\Delta U_v := 1.5$$

$$R_v := 0.2$$

$$I_{vsr} \cdot \Delta U_v = 5$$

$$P_v := \frac{J_{dnom}^2}{m} \cdot R_v + I_{vsr} \cdot \Delta U_v \quad P_v = 11.667$$

$$\frac{J_{dmin} \cdot X_s \cdot m}{2\pi} + J_{dmin} \cdot (R_l + R_a + R_v) + \Delta U_v = 3.997$$

$$\frac{J_{dmax} \cdot X_s \cdot m}{2\pi} + J_{dmax} \cdot (R_l + R_a + R_v) + \Delta U_v = 26.473$$

пересчитаем

$$U_{d0min} := \sqrt{2} \cdot U_{2min} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)$$

$$U_{d0max} := \sqrt{2} \cdot U_{2max} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)$$

$$U_{d0max} = 164.832$$

Выходное напряжение выпрямителя при наименьшем и наибольшем напряжении сети

$$U_{d0min} \cdot \cos(\alpha_{min}) - \left[\frac{J_{dmax} \cdot X_s \cdot m}{2 \cdot \pi} + J_{dmax} \cdot (R_l + R_a + R_v) + \Delta U_v \right] = 98.472$$

$$\frac{U_{d0max}}{2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)} \cdot \left(1 + \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m} + \alpha_{max}\right) \right) - \left[\frac{X_s \cdot m}{2 \cdot \pi} + [R_l + (R_a + R_v)] \right] \cdot J_{dmin} - \Delta U_v = 98.461$$

Совпадение с заданным значением выходного напряжения - $U_{ст}$ меньше пяти процентов.

Можно не пересчитывать.

Среднее значение тока вторичной обмотки

$$\sqrt{2} \cdot U_{2\min} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) \cdot \cos(\alpha_{\min}) = 124.945$$

$$I_{sr} := \frac{J_{dnom}}{m}$$

Действующее значение тока вторичной обмотки

$$I_2 := J_{dnom} \cdot \sqrt{\frac{1}{m}}$$

$$S_2 := m \cdot U_{2nom} \cdot I_2$$

Действующее значение тока первичной обмотки

$$I_1 := \frac{\sqrt{I_2^2 - I_{sr}^2}}{K_{tr}}$$

$$I_1 = 4.718$$

$$S_1 := m \cdot U_{1nom} \cdot I_1$$

$$S_{gtr} := \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right)$$

$$S_{gtr} = 1.811 \times 10^3$$

$$\frac{S_{trg}}{S_{gtr}} = 0.936$$

$$\frac{1}{\frac{S_{trg}}{S_{gtr}}} = 0.954$$

$$\frac{S_{trg}}{S_{gtr}}$$

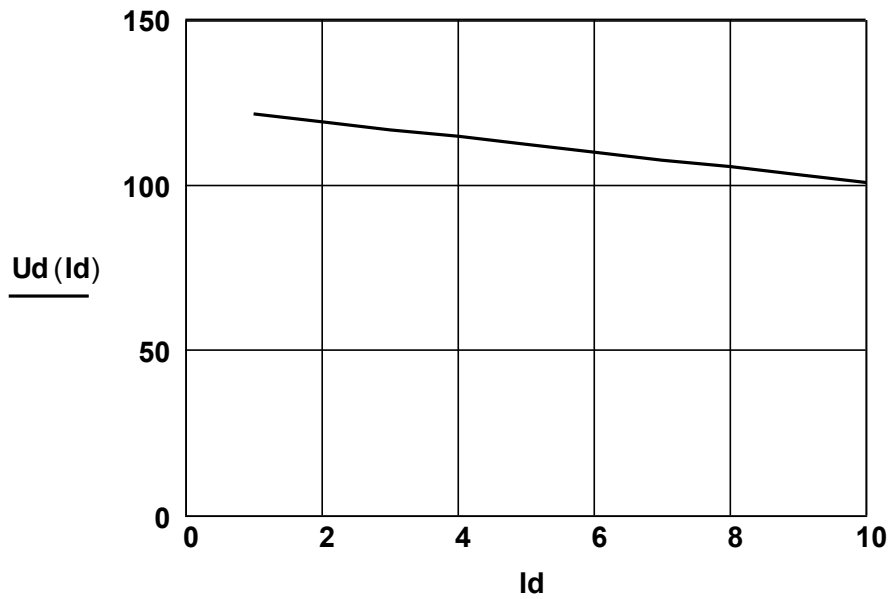
$$U_{2\min} \cdot \sqrt{2} = 146.499$$

Расхождение меньше десяти процентов.

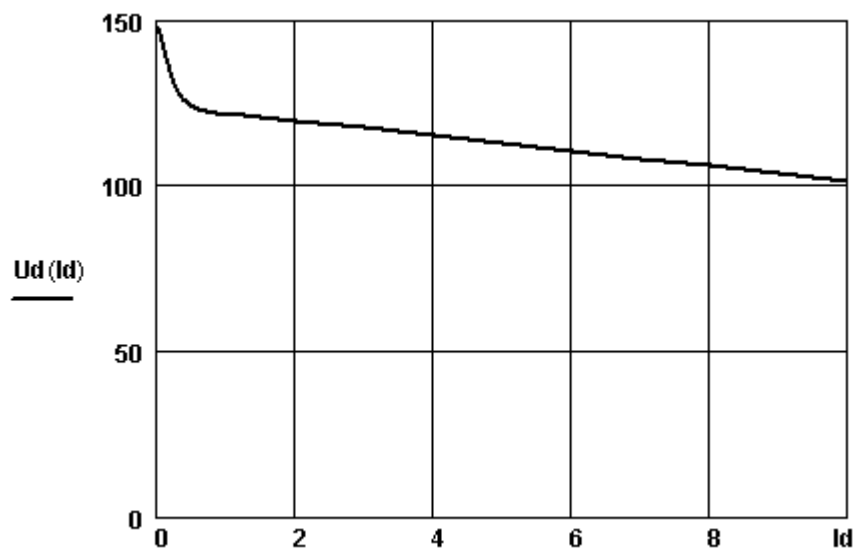
Можно не пересчитывать

$$U_d(J_d) := \sqrt{2} \cdot U_{2\min} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) \cdot \cos(\alpha_{\min}) - \left[\frac{J_d \cdot X_s \cdot m}{2 \cdot \pi} + J_d \cdot (R_l + R_a) + \Delta U_v \right]$$

$$I_d := 1..10$$



Нагрузочная характеристика нестабилизированного УВ при наименьшем напряжении сети



Коэффициент мощности и КПД

$$\frac{J_{dmax}^2 \cdot R_d + I_2^2 \cdot (R_l + R_a + R_v)}{S_1} = 0.654$$

$$\frac{J_{dmax}^2 \cdot (R_d)}{J_{dmax}^2 \cdot R_d + I_2^2 \cdot (R_l + R_a + R_v)} = 0.94$$

Оглавление

Руководство к выполнению индивидуальной работы №2	2
1. Задание к РасчетУ Управляемого Выпрямителя (УВ)	3
2. Расчет трансформатора	4
3. Особенности расчета УВ в режиме стабилизации выходного напряжения при индуктивной нагрузке	5
4. Особенности расчета УВ в режиме стабилизации выходного напряжения при емкостной нагрузке	7
5. Проверка	8
7. Примеры расчета управляемого выпрямителя	9
8. Список рекомендуемой литературы	13
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	14
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	17
К расчету УВ с емкостной нагрузкой в режиме стабилизации напряжения	17
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	22
К расчету стабилизатора напряжения на основе УВ.	22
Расчет трансформатора	23
Расчет потерь напряжений	24
Расчет фильтра	26
Выбор тиристоров	27
Расчет потерь	27
Среднее значение тока вторичной обмотки	28
Действующее значение тока вторичной обмотки	28
Действующее значение тока первичной обмотки	28
Коэффициент мощности и КПД	29

упр emkm3rc.mcd, zagindi2PT.mcd 2017-02-08