

Лабораторная работа

Исследование схем трехфазных управляемых выпрямителей

Цель работы

Исследование электромагнитных процессов и характеристик выпрямителей, выполненных по трехфазной схеме с нулевым выводом и трехфазной мостовой схеме, при работе на активную и активно-индуктивную нагрузку в режиме непрерывного тока.

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Тиристорный преобразователь», «Нагрузка», «Модуль питания», «Преобразователь частоты», «Мультиметры», модуль «Измерительный» и «Измеритель мощности».

Лицевая панель модуля «Тиристорный преобразователь» представлена на рис. 1. На ней изображена мнемосхема и установлены коммутирующие, регулирующие и измерительные элементы, а также гнезда для внешних соединений (X1 - X20). На мнемосхеме показаны трансформатор TV и реверсивный тиристорный преобразователь, состоящий из комплекта «Вперед» (UZ1) и комплекта «Назад» (UZ2). С помощью тумблера **SA1** устанавливаются заданные параметры трансформатора (фактически подключаются дополнительные реакторы). Параметры трансформатора в зависимости от положения тумблера **SA1** приведены в табл. 1.

Таблица 1

Положение тумблера	Первичное фазное напряжение $U_1, В$	Вторичное фазное напряжение $U_2, В$	Индуктивное сопротивление рассеяния, приведенное к вторичной стороне $x_a, Ом$	Активное сопротивление, приведенное к вторичной стороне $r_a, Ом$
1	220	48	4,3	1,65
2	220	48	0,3	1,5

В модуле установлена система управления (СУ) преобразователя, построенная на основе микроконтроллера. При подаче напряжения на гнезда А, В, С микроконтроллер СУ обеспечивает требуемый порядок включения элементов схемы, в том числе контактора К1, и подачу управляющих импульсов на тиристоры в соответствии с заданным углом управления. Потенциометр **RP1** служит для регулирования напряжения на входе системы управления СУ с целью установки требуемого угла управления. Измерительный прибор **P1** служит для измерения угла управления α . *В данной работе потенциометр **RP1** необходимо выкрутить в крайнее правое положение, соответствующее углу управления $\alpha \approx 0$ для верхнего комплекта тиристоров (UZ1).*

В модуле «Тиристорный преобразователь» установлены датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН), служащие для осциллографирования напряжений и токов в схеме. На гнезда **X16** и **X17** подаются сигналы напряжения, а на гнезда **X19** и **X20** - сигналы тока. Гнезда **X15**, **X18** и общий провод « \perp » служат для подключения выходных цепей ДН и ДТ к осциллографу.

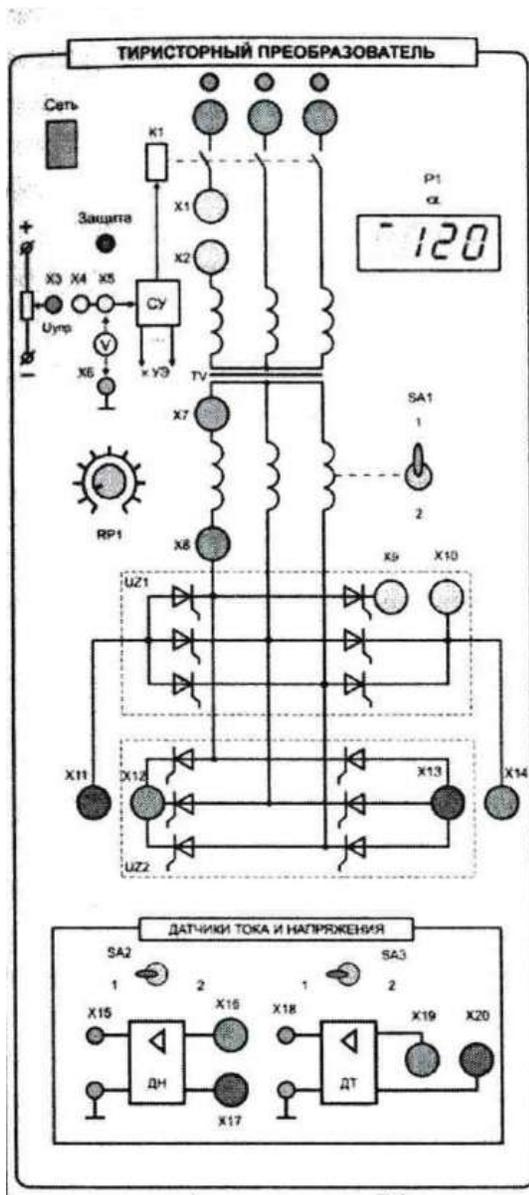


Рис. 1. Модуль «Тиристорный преобразователь»

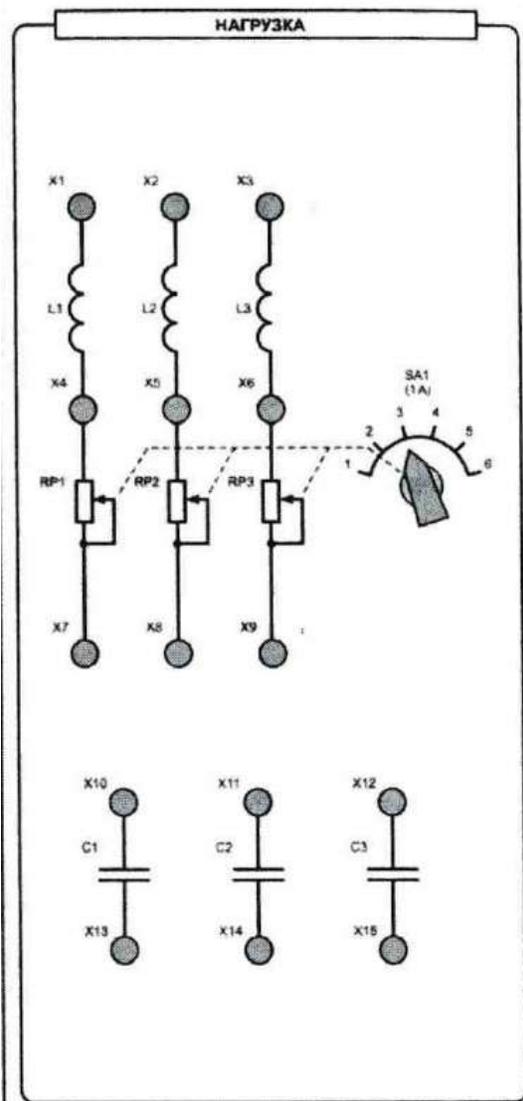


Рис. 2. Модуль «Нагрузка»

Коэффициент преобразования датчиков напряжения $k_n = 40$, коэффициент преобразования датчиков тока $k_r = 0,25$ А/В. Фактические значения напряжения и тока определяются умножением значений, измеренных при помощи осциллографа, на соответствующий коэффициент датчика.

С помощью тумблеров **SA2** и **SA3** изменяется полоса пропускания датчиков, что позволяет наблюдать на экране осциллографа сигнал (положение «2») или его первую гармонику (положение «1»).

Питание модуля «Тиристорный преобразователь» осуществляется через гнезда А, В, С на лицевой панели от источника трехфазного переменного напряжения (линейное напряжение 380 В) через автомат *QF2*, расположенный в модуле питания. Питание для системы управления подается на тыльную сторону модуля через разъем СНП. **Максимальный выпрямленный ток установки не должен превышать $I_d = 1$ А.** Модуль «Тиристорный преобразователь» снабжен защитой от перегрузки, срабатывающей при токе $I_d = 2$ А.

Нагрузкой для модуля «Тиристорный преобразователь» является модуль «Нагрузка» (рис. 2). Она обеспечивает работу исследуемого преобразователя на активно-индуктивную нагрузку и на активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС (ПЭДС). На лицевой панели изображена мнемосхема и установлены коммутирующие и регулирующие элементы. В нагрузке регулируются только активные сопротивления, а индуктивности остаются почти неизменными. Регулирование производится переключателем SA1. Значения резисторов, соответствующие положениям переключателя, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Положение переключателя SA1	1	2	3	4	5	6
Сопротивление нагрузки (Ом)	100	200	400	600	1000	1600

В данной работе используется одна фаза модуля «Нагрузка». **Сглаживающий реактор L1 индуктивностью 80 мГн** вместе с резистором RP1 выполняют роль регулируемой активно-индуктивной нагрузки. Для уменьшения нагрева резисторов нагрузки рекомендуется 2 фазы активных сопротивлений нагрузки (RP1, RP2) включить в параллель. Работа на ПЭДС имитируется подключением параллельно активной нагрузке конденсаторов C1 - C3 всех трех фаз. **Емкость каждого конденсатора 10 мкФ.**

1. *Порядок включения и выключения установки*

1. Собрать схему эксперимента для выполнения лабораторной работы.
2. В модуле «**Тиристорный преобразователь**» переключить тумблер SA1 в положение 1, соответствующее заданным параметрам трансформатора.
3. Установить переключатель SA1 на модуле «**Нагрузка**» в положение максимального сопротивления (крайнее правое положение).
4. Включить «Сеть» модуля «Тиристорный преобразователь».
5. Включить автомат QF1 «Модуля питания стенда», включить автомат QF2 «Модуля питания».
6. В модуле «Тиристорный преобразователь» установить заданный угол управления потенциометром RP1.
7. Установить переключателем SA1 необходимое сопротивление на модуле «**Нагрузка**».

При включенном автомате QF2 «Модуля питания» запрещается изменять места включения измерительных модулей и производить другие пересоединения.

Порядок выключения - обратный. Выключатель «Модуля питания стенда» выключается только в конце работы.

При срабатывании защиты загорается красный светодиод «Защита» и начинает мигать цифровой индикатор. **Необходимо выключить** «Сеть» модуля «Тиристорный преобразователь» и автомат QF2 модуля питания. После чего, устранив причину замыкания, произвести повторное включение. Если «перепутаны» фазы, то мигают зеленые светодиоды этих фаз, при этом преобразователь работает в нормальном режиме, т.к. система управления скорректирует подачу импульсов на тиристоры.

2. *Экспериментальное исследование трехфазной мостовой схемы выпрямления при работе на активную нагрузку:*

а) собрать схему для исследования трехфазной мостовой схемы при работе на активную нагрузку в соответствии с рис. 3 (не подключать индуктивность L1). Дополнительные перемычки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 4 приведены измерительные приборы, а в табл. 5 - датчики тока и напряжения, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 3).

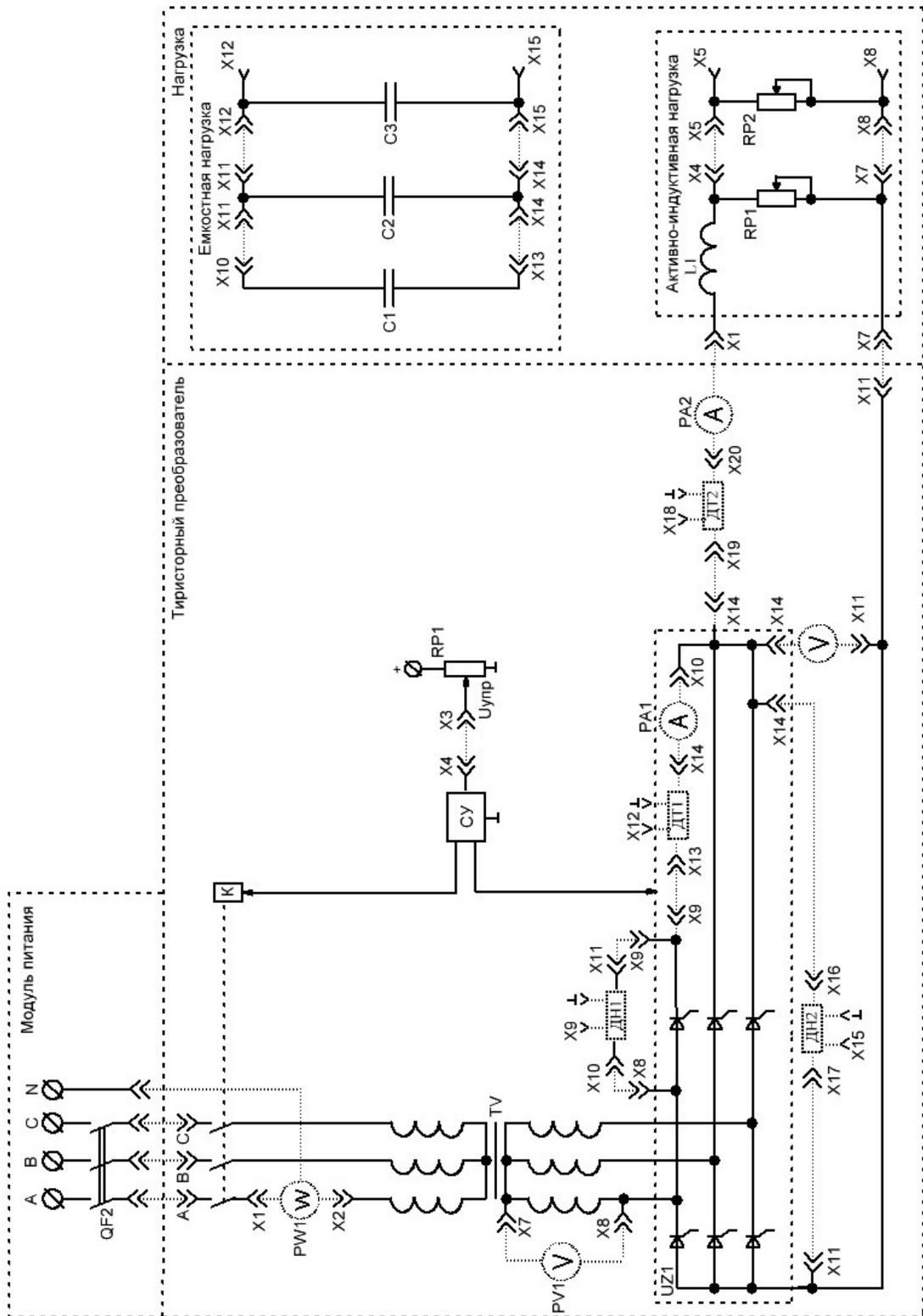


Рис.3 Схема исследования трехфазного управляемого выпрямителя

Таблица 4

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Действующее значение фазного напряжения U_1 и первичного тока I_1 трансформатора	PW1	$U_1 \sim 300$ В; $I_1 \sim 0,2$ А	Измеритель мощности
Действующее значение вторичного напряжения трансформатора U_2	PV1	~ 200 В	Мультиметры
Среднее значение анодного тока I_a	PA1	-	Модуль измерительный
Среднее значение выпрямленного напряжения U_d	PV2	$= 200$ В	Мультиметры
Среднее значение выпрямленного тока I_d	PA2	-	Модуль измерительный

Таблица 5

Измеряемый сигнал	Обозначение прибора	Месторасположение прибора (название модуля)
Мгновенное значение анодного напряжения u_a	ДН1	Преобразователь частоты
Мгновенное значение анодного тока i_a	ДТ1	Преобразователь частоты
Мгновенное значение выпрямленного напряжения u_d	ДН2	Тиристорный преобразователь
Мгновенное значение выпрямленного тока i_d	ДТ2	Тиристорный преобразователь

Тумблеры **SA2** и **SA3** датчиков напряжения (ДН1 - ДН2) и тока (ДТ1 - ДТ2) в модулях «Тиристорный преобразователь» и «Преобразователь частоты» установить в положение «2» (фильтр выключен). Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 4;

б) снять осциллограммы анодного тока i_a и анодного напряжения u_a при помощи осциллографа. Для этого подключить выходы осциллографа к датчику напряжения **ДН1** (канал СН1 - гнездо **X9**) и датчику тока **ДТ1** (канал СН2 - гнездо **X12**, корпус осциллографа соединить с гнездом «L» датчика тока ДТ1). Выполнить необходимые операции, указанные в порядке включения установки. Включить тумблер «Сеть» в модуле «Измеритель мощности». Потенциометром **RP1** в модуле «**Тиристорный преобразователь**» установить заданное значение угла управления α_1 (по прибору P1). Переключателем **SA1** в модуле «**Нагрузка**» установить заданное значение сопротивление нагрузки R_d . Проверить с помощью осциллографа соответствие угла α_1 заданному, зарисовать с экрана осциллографа ток через вентиль i_a и напряжение на вентиле u_a . Записать масштабы по напряжению и времени (углу), а также учесть коэффициенты датчиков напряжения и тока;

в) снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и тока i_d . Для этого подключить выходы осциллографа к датчику напряжения **ДН2** (канал СН1 - гнездо **X15**) и датчику тока **ДТ2** (канал СН2 - гнездо **X18**, корпус осциллографа соединить с гнездом «L» датчика тока ДТ2). Проверить величину заданного угла α_1 и сопротивление нагрузки R_d согласно таблице вариантов. Зарисовать с экрана осциллографа осциллограммы u_d и i_d в тех же масштабах;

г) с помощью измерительных приборов сделать замеры среднего значения анодного тока I_a , выпрямленного напряжения U_d и первичного тока I_1 трансформатора для заданного сопротивления нагрузки R_d и угла α_1 . Замерить вторичное напряжение U_2 при $I_d \approx 0$ (установить переключатель SA1 модуля «Нагрузка» в крайне правое положение);

д) снять регулировочную характеристику выпрямителя $U_d = F(\alpha)$. Характеристики снимать, изменяя угол α ручкой потенциометра RP1 в модуле «Тиристорный преобразователь» так, чтобы выпрямленное напряжение U_d изменялось в диапазоне от максимального значения до нуля;

е) снять внешние характеристики $U_d = F(I_d)$ при заданном значении α_1 и при $\alpha_2 = \alpha_1 + 15^\circ$. Характеристики снимать, изменяя ток нагрузки I_d переключателем SA1 в модуле «Нагрузка». Снизить ток нагрузки I_d до нуля (установить переключатель SA1 модуля «Нагрузка» в крайне правое положение), выключить автомат QF2 «Модуля питания»;

3. *Экспериментальное исследование трехфазной мостовой схемы выпрямления при работе на активную активно-индуктивную нагрузку:*

а) собрать схему для исследования трехфазной мостовой схемы при работе на активно-индуктивную нагрузку в соответствии с рис. 3. Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

б) снять осциллограммы анодного тока i_a и анодного напряжения u_a при помощи осциллографа для того же самого угла управления α_1 , что и в пункте 2, б. Для этого подключить выходы осциллографа к датчику напряжения ДН1 (канал СН1 - гнездо X9) и датчику тока ДТ1 (канал СН2 - гнездо X12, корпус осциллографа соединить с гнездом «L» датчика тока ДТ1). Переключателем SA1 в модуле «Нагрузка» установить заданное значение сопротивления нагрузки R_d . Зарисовать с экрана осциллографа ток через вентиль i_a и напряжение на вентиле u_a . Записать масштабы по напряжению и времени (углу), а также учесть коэффициенты датчиков напряжения и тока;

в) снять осциллограммы выпрямленного напряжения u_d и тока i_d . Для этого подключить выходы осциллографа к датчику напряжения ДН2 (канал СН1 - гнездо X15) и датчику тока ДТ2 (канал СН2 - гнездо X18, корпус осциллографа соединить с гнездом «L» датчика тока ДТ2). Зарисовать с экрана осциллографа осциллограммы u_d и i_d в тех же масштабах;

г) с помощью измерительных приборов сделать замеры среднего значения анодного тока I_a , выпрямленного напряжения U_d и первичного тока I_1 трансформатора для заданного сопротивления нагрузки R_d и угла α_1 . Замерить вторичное напряжение U_2 при $I_d \approx 0$ (установить переключатель SA1 модуля «Нагрузка» в крайне правое положение);

д) снять регулировочную характеристику выпрямителя $U_d = F(\alpha)$ при двух значениях сопротивления нагрузки. Характеристики снимать, изменяя угол α ручкой потенциометра RP1 в модуле «Тиристорный преобразователь» так, чтобы выпрямленное напряжение U_d изменялось в диапазоне от максимального значения до нуля. Построить характеристики на одном графике;

е) снять внешние характеристики $U_d = F(I_d)$ при заданном значении α_1 и при $\alpha_2 = \alpha_1 + 15^\circ$. Характеристики снимать, изменяя ток нагрузки I_d переключателем SA1 в модуле «Нагрузка». При снятии характеристик отметить точку перехода от непрерывного режима к прерывистому. Снизить ток нагрузки I_d до нуля (установить переключатель SA1 модуля «Нагрузка» в крайне правое положение), выключить автомат QF2 «Модуля питания»;

ж) установить другие параметры трансформатора переключением тумблера SA1 в модуле «Тиристорный преобразователь». Включить автомат QF2 «Модуля питания» и снова снять внешнюю характеристику при заданных углах α_1 и α_2 . Построить все внешние характеристики на одном графике;

з) установить тот же угол α_1 , и сопротивление нагрузки R_d , что и в п. 3 б. Снять осциллограмму u_d в том же масштабе, что и раньше. Сравнить углы коммутации γ .

Снизить ток нагрузки I_d до нуля (установить переключатель SA1 модуля «Нагрузка» в крайне правое положение), выключить автомат QF2 «Модуля питания».

4. Задание для домашней проработки.

а) Рассчитать угол коммутации γ для используемого в лабораторной работе угла регулирования α и тока нагрузки I_d . Угол γ рекомендуется определить из соотношения

$$\cos(\alpha + \gamma) = \cos \alpha - \frac{2x_a I_d}{\sqrt{6} U_2}. \quad (1)$$

Ток в цепи нагрузки I_d для управляемого выпрямителя, работающего в непрерывном режиме, приближенно можно оценить из выражения

$$I_d = \frac{U_{d0} \cos \alpha}{R_d}; \quad (2)$$

б) Построить в масштабе друг под другом временные диаграммы вторичных ЭДС, выпрямленного напряжения u_d , тока нагрузки i_d (при $x_j = \infty$), тока вентилей i_a , напряжения на вентиле u_a и первичного тока трансформатора i_1 с учетом заданных значений E_2 , α , I_d и рассчитанного γ .

в) рассчитать среднее значение выпрямленного напряжения U_d , ток вентилей I_a , вторичный I_2 и первичный I_1 токи трансформатора для заданного значения тока I_d . Среднее значение выпрямленного напряжения при заданном значении угла управления α и тока нагрузки I_d можно определить из уравнения внешней характеристики для непрерывного режима

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - \alpha U_{T(T0)} - \left(ar_T + ar_a + \frac{x_a}{2\pi/m} \right) I_d, \quad (3)$$

где $U_{T(T0)}$ - пороговое напряжение тиристора;

r_T - дифференциальное сопротивление тиристора в открытом состоянии;

r_a , x_a - анодные активное и индуктивное сопротивления (сопротивления схемы замещения трансформатора, приведенные к стороне вентилей).

Коэффициент схемы a , пульсность схемы m и напряжение идеального холостого хода U_{d0} определяются видом схемы:

- для трехфазной нулевой схемы: $a = 1, m = 3, U_{d0} = 1,17 E_2$;

- для трехфазной мостовой схемы: $a = 2, m = 6, U_{d0} = 2,34 E_2$.

При расчете принять $U_{T(T0)} = 1$ В, $r_T = 0,05$ Ом, $E_2 = U_2$ на холостом ходу.

Таблица 3

Схема	I_a	I_1	I_2
Трехфазная нулевая	$\frac{I_d}{3}$	$\frac{\sqrt{2}}{3} \frac{I_d}{n}$	$\frac{I_d}{\sqrt{3}}$
Трехфазная мостовая	$\frac{I_d}{3}$	$\sqrt{\frac{2}{3}} \frac{I_d}{n}$	$\sqrt{\frac{2}{3}} I_d$

Формулы для расчета анодного тока вентилей I_a , действующих значений вторичного U_2 и первичного I_1 токов трансформатора приведены в табл. 3. Примечание. Коэффициент трансформации $n = U_1/U_2$.