

Федеральное агентство по образованию
Томский государственный
архитектурно-строительный университет

РАСЧЕТ ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ТРАНСФОРМАТОРОМ

Методические указания
к выполнению контрольных работ
и индивидуальных заданий студентов

Составители П.Р. Баранов, Э.И. Собко, Э.С. Астапенко,
Т.С. Шелехова

Томск 2008

Расчет выпрямителя с трансформатором: методические
указания / Сост. П.Р. Баранов, Э.И. Собко, Э.С. Астапенко,
Т.С. Шелехова. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та,
2008. – 23 с.

Рецензент доцент Ю.А. Орлов
Редактор Е.Ю.Глотова

Методические указания к выполнению контрольных работ
и индивидуальных заданий студентов дневной и заочной форм обуче-
ния специальностей 150205, 270113 по курсу «Электротехника
и электроника», «Электрооборудование в строительстве».

Печатаются по решению методического семинара кафедры
электротехники и автоматики № 11 от 01.07.08 г.

Утверждены и введены в действие проректором по учебной ра-
боте В.В.Дзюбо

с 10.01.08
до 10.01.13

Формат 60×84/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс. Печать офсет.
Уч.-изд. л. 1,73. Тираж 100 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 644003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Преобразователи переменного тока в постоянный на основе выпрямителей имеют широкую область применения: теле-радиоаппаратура, компьютерная техника, процессоры, зарядные устройства аккумуляторов и т. д.

Данный тип преобразователей содержит трансформатор малой мощности, выпрямитель на базе полупроводниковых диодов и фильтр для сглаживания пульсаций. Расчет трансформатора малой мощности и выбор полупроводниковых диодов обычно проводится по упрощенной методике, позволяющей значительно сократить время проектирования.

Несмотря на ряд допущений, результаты проектирования преобразователей малой мощности имеют приемлемую точность и соответствуют экспериментальным данным.

Ниже приведена упрощенная методика проектирования выпрямителей и трансформаторов. Данная методика расчета широко используется на практике.

Не рекомендуется использование настоящей методики при расчете выпрямителей с трансформаторами мощностью свыше 1000 Вт, т. к. могут быть допущены грубые ошибки. В этом случае используются более точные методы расчета, приведенные в литературе.

1. СХЕМЫ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В выпрямителях соединение полупроводниковых диодов осуществляется в основном по схемам, приведенным на рис. 1. Источником питания схем служит трансформатор T_p , первичная обмотка которого включается в сеть переменного тока напряжением U_1 , а вторичная, напряжением U_2 , питает через диоды цепь нагрузки R_n . Рассмотрим работу приведенных схем выпрямления.

1.1. Однофазный, однополупериодный выпрямитель

Это простейший выпрямитель (рис. 1, а), состоящий из вентиля VD , включенного последовательно с нагрузкой R_n к переменному синусоидальному напряжению U_2 . За счет односторонней проводимости диод пропускает ток только в одном направлении в положительные полупериоды входного напряжения U_2 . Соответственно на нагрузочном резисторе R_n возникают однополярные импульсы напряжения U_n , по значению и по форме (рис. 2, б) близкие к положительным волнам напряжения U_2 (отличающиеся на потерю напряжения в вентиле ΔU_d). В течение отрицательного полупериода напряжение на нагрузке равно нулю, т. к. ток в цепи не протекает, а напряжение на вентиле U_{VD} (рис. 2, в) равно напряжению U_2 .

Выпрямленное данной схемой напряжение (как и напряжение в других выпрямительных схемах) является пульсирующим. Среднее выпрямленное напряжение U_0 находится как среднее арифметическое значение из всех мгновенных значений за полупериод $T/2$.

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt = \frac{U_{2m}}{\omega T} \int_0^{T/2} \sin \omega t d(\omega t) = \\ = \frac{U_{2m}}{\omega t} \cos \omega t \Big|_0^{T/2} = 2 \frac{U_{2m}}{\omega t}.$$

Т. к. $\omega T = 2\pi$, то $U_0 = U_{2m} / \pi = 0,318 U_{2m}$.

Поскольку соотношение между действующим и амплитудным значениями напряжений равно $U_{2m} = U_2 \sqrt{2}$, значит

$$U_0 = U_2 \frac{\sqrt{2}}{\pi} = 0,45 U_2.$$

Значение U_0 задают при расчете выпрямителя.

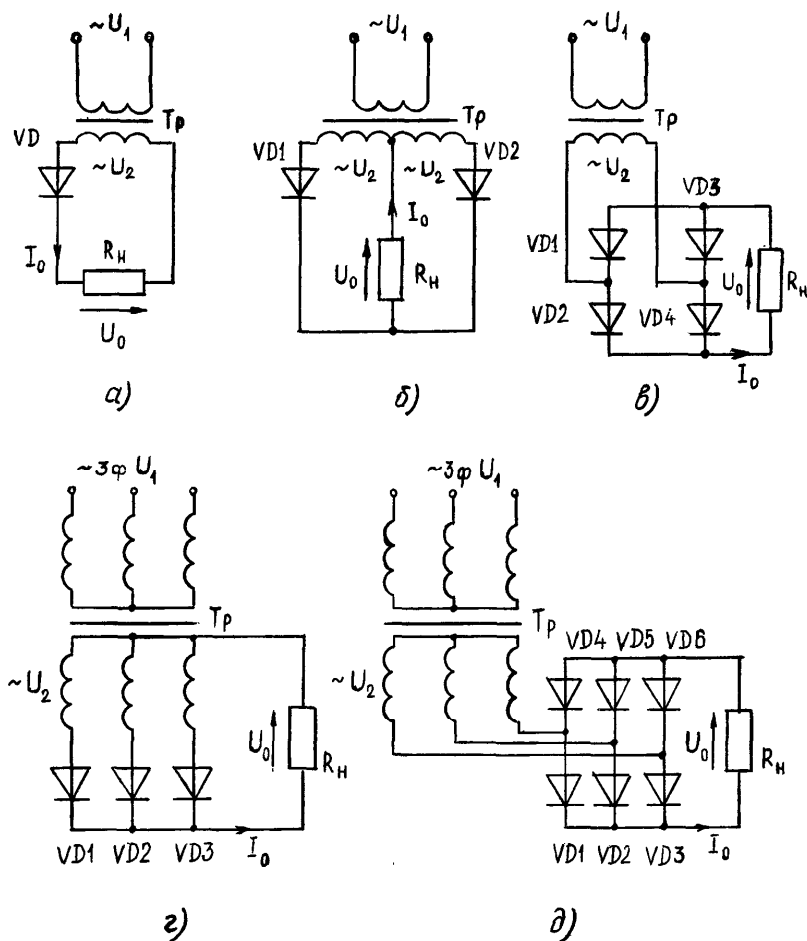


Рис. 1. Схемы выпрямления переменного тока:

a – однофазная, однополупериодная; *б* – однофазная с выводом средней точки; *в* – однофазная двухполупериодная мостовая; *г* – трехфазная с выводом нейтрали; *д* – трехфазная двухполупериодная мостовая

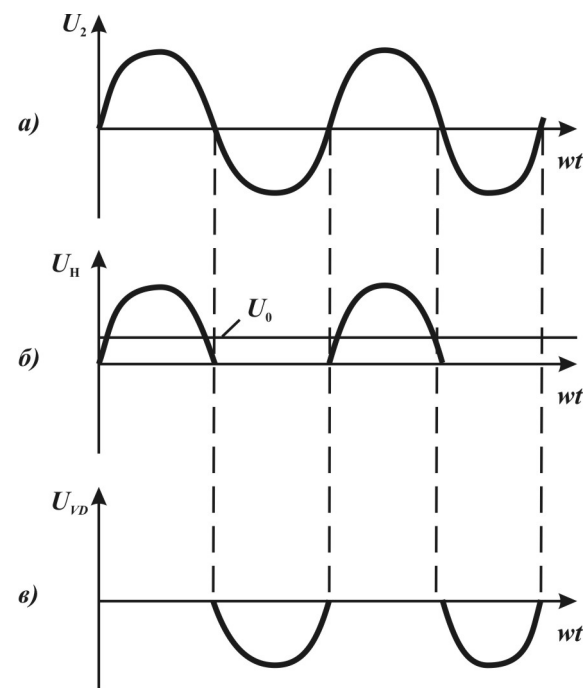


Рис. 2. Временные диаграммы напряжений в однополупериодном выпрямителе

1.2. Однофазный двухполупериодный выпрямитель

Представляет собой трансформаторную схему с выводом средней точки (рис. 1, *б*). Содержит два однополупериодных выпрямителя, аналогичных рассмотренным ранее, работающих в разные половины периода на общую нагрузку R_H .

Более широкое распространение получили мостовые двухполупериодные выпрямители (рис. 1, *в*). В этой схеме к одной диагонали моста из диодов $VD1-VD4$ подключена вторичная обмотка трансформатора, а к другой – сопротивление нагрузки R_H . В положительные полупериоды напряжения U_2 от-

крыты диоды $VD2$ и $VD3$, а в отрицательные полупериоды открыты диоды $VD1$ и $VD4$. Через сопротивление нагрузки R_H ток проходит все время в неизменном направлении, поэтому на нагрузке, как и в предыдущей схеме, образуются обе полуволны напряжения U_H одного и того же знака (рис. 3, б). Двухполупериодные выпрямители, по сравнению с однополупериодными, имеют меньшие пульсации выходного напряжения, а среднее выпрямленное напряжение в два раза больше

$$U_0 = 2U_{2m}/\pi = 0,636U_{2m}, \text{ или } U_0 = U_2\sqrt{2} = 0,9U_2.$$

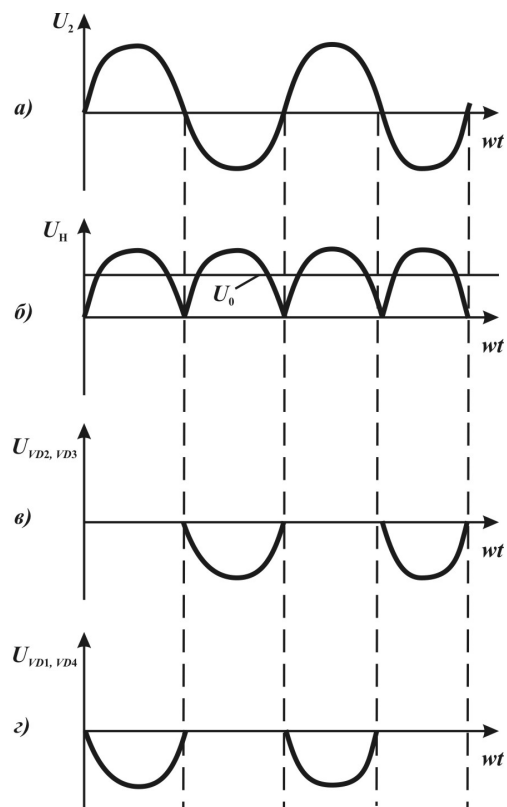


Рис. 3. Временные диаграммы напряжений в двухполупериодном выпрямителе

1.3. Трехфазные выпрямители

Применяются в устройствах большой и средней мощности, имеют значительно меньшие пульсации, чем однофазные выпрямители. Могут быть выполнены по одно- или двухполупериодной схеме. На рис. 1, 2 приведена схема, а на рис. 4, а, б временные диаграммы работы однополупериодного трехфазного выпрямителя с трехфазным трансформатором, вторичные обмотки которого соединены «звездой». К фазам A, B и C трансформатора подключены диоды $VD1 - VD3$. Нагрузка R_H включена между нейтральной точкой трансформатора и катодами диодов.

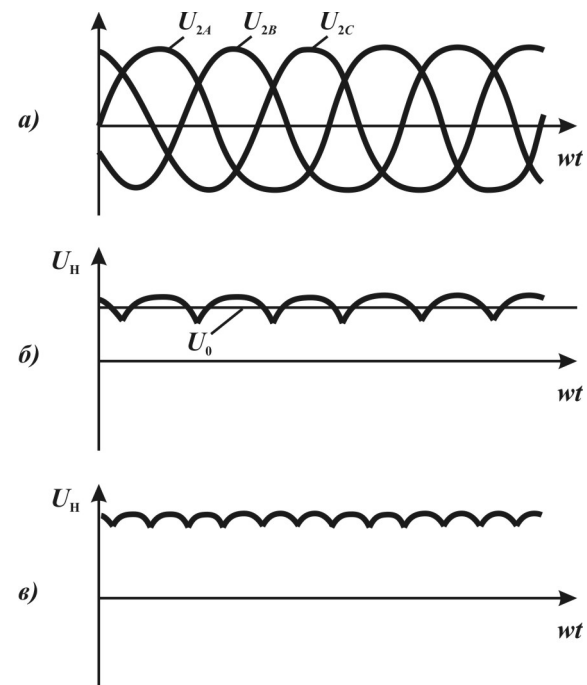


Рис. 4. Временные диаграммы напряжений в трехфазных выпрямителях

Среднее значение выпрямленного напряжения равно

$$U_0 = 3\sqrt{3} U_{2m} / 2\pi = 0,827U_{2m} = 1,17U_2.$$

Трехфазный двухполупериодный выпрямитель может быть выполнен и по мостовой схеме (рис. 1, д). Этот выпрямитель можно рассматривать как два трехфазных однополупериодных выпрямителя, одновременно работающих на общую нагрузку R_H . Пульсации выходного напряжения U_H еще более снижены (рис. 4, в) и составляют всего 5 % от значения постоянной составляющей.

Средняя величина выпрямленного напряжения для этой схемы составляет

$$U_0 = 3\sqrt{3} U_{2m} / \pi = 1,654U_{2m} = 2,34U_2.$$

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

По данным табл. 6 рассчитать выпрямитель с трансформатором, питающийся от сети переменного тока промышленной частоты $f = 50$ Гц. Выпрямитель работает на активную нагрузку без сглаживающего фильтра. Для трехфазной сети в табл. 6 дано линейное напряжение. Расчет выпрямителя состоит из следующих этапов:

1. Изобразить электрическую схему выпрямителя с обозначением элементов и основных параметров.
2. Произвести выбор полупроводниковых вентилях.
3. Рассчитать габаритную мощность трансформатора.
4. Выбрать электромагнитные нагрузки: индукцию, плотности тока.
5. Выбрать конструктивное исполнение магнитопровода, рассчитать его и привести эскиз с основными размерами.
6. Рассчитать обмотки трансформатора: количество витков, сечение обмоточного провода.

7. Произвести расчет размещения обмоток в окне магнитопровода трансформатора.

3. РАСЧЕТ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

При расчете полупроводниковых преобразователей исходными данными для расчета обычно являются среднее выпрямленное напряжение U_0 и средний выпрямленный ток I_0 нагрузки.

Расчет полупроводниковых выпрямителей сводится к определению типа полупроводниковых диодов по их среднему току и максимальному обратному напряжению для конкретной схемы, к определению напряжения вторичной обмотки трансформатора U_2 и его мощности S_2 .

Предельные эксплуатационные данные кремниевых диодов: средний ток диода I_d' и максимальное обратное напряжение $U_{обр}'$ приведены в табл. 1. Естественно, средний ток I_d и обратное напряжение $U_{обр}$ диода в схеме выпрямителя не должны превышать предельно допустимых значений для выбранного типа диода.

Среднее значение тока диода зависит от количества параллельных ветвей в выпрямителях и определяется следующим образом:

– для однофазной однополупериодной схемы (рис. 1, а)

$$I_d = I_0;$$

– для однофазной с выводом средней точки (рис. 1, б) и однофазной двухполупериодной мостовой (рис. 1, в)

$$I_d = 0,5I_0;$$

– для трехфазной с выводом нейтрали (рис. 1, з) и трехфазной мостовой (рис. 1, д)

$$I_d = 0,33I_0.$$

Обратное напряжение, приложенное к запертому диоду, численно равно амплитуде U_{2m} переменного напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Для трехфазной схемы выпрямления $U_{обр}$ равно амплитуде фазного (рис. 1, *з*) или линейного (рис. 1, *д*) напряжения.

В табл. 2 приведены соотношения между действующим напряжением вторичной обмотки U_2' и выпрямленным напряжением U_0 (для трехфазной мостовой приведено соотношение для фазного напряжения, линейное – в $\sqrt{3}$ раз больше).

Для однофазной с нулевым выводом схемы (рис. 1, *б*) обратное напряжение численно равно двойному амплитудному значению переменного напряжения U_2 .

Учитывая падение напряжения открытого диода, окончательное значение U_2 будет равно:

$$U_2 = U_2' + n\Delta U_d,$$

где n – количество последовательно включенных диодов в плече ($n = 1$ для схем по рис. 1, *а*, *б*, *з*; $n = 2$ для схем по рис. 1, *в*, *д*); ΔU_d – прямое падение напряжения на открытом диоде (табл. 1).

Таблица 1

Тип диода	Средний выпрямленный ток, I_d' , А	Импульсное обратное напряжение, $U_{обр}'$, В	Прямое падение напряжения ΔU_d , В
Д 202	0,4	100	1
Д 203	0,4	200	1
Д 214Б	5,0	100	1
Д 215	5,0	200	1,2
Д 214А	10,0	100	1,0
Д 229И	0,7	200	1,0
Д 229Л	0,7	400	1,0
Д 231	10,0	300	1,0

Тип диода	Средний выпрямленный ток, I_d' , А	Импульсное обратное напряжение, $U_{обр}'$, В	Прямое падение напряжения ΔU_d , В
Д 231Б	5,0	400	1,5
Д 242Б	5,0	100	1,5
Д 243	10,0	200	1,25
Д 303	3,0	150	0,3
Д 302	1,0	200	0,25
2Д 201А	5,0	100	1,0
2Д 201Г	10,0	200	1,0
КД 202А	5,0	50	1,0
КД 202В	5,0	100	1,0
КД 202Д	5,0	200	1,0
КД 203А	10,0	420	1,0
КД 206А	10,0	400	1,2

Таблица 2

Схема выпрямления	U_2/U_0	S_2/P_n
Однофазная, однополупериодная (рис. 1, <i>а</i>)	2,22	3,09
Однофазная с выводом средней точки (рис. 1, <i>б</i>)	1,11	1,48
Однофазная двухполупериодная мостовая (рис. 1, <i>в</i>)	1,11	1,23
Трехфазная с выводом нейтрали (рис. 1, <i>з</i>)	0,855	1,345
Трехфазная двухполупериодная мостовая (рис. 1, <i>д</i>)	0,428	1,045

Мощность цепи выпрямленного напряжения складывается из мощности нагрузки и потери мощности на открытых диодах:

$$P_H = I_0(U_0 + n\Delta U_d).$$

Для определения мощности S_2 вторичной обмотки трансформатора необходимо полученное значение P_H умножить на коэффициент использования мощности. В табл. 2 приведены значения коэффициента в зависимости от схемы выпрямителя для активной нагрузки.

Анализ коэффициента показывает, что наиболее эффективно используется мощность трансформатора в трехфазной мостовой схеме выпрямления, а наименее эффективно – в однофазной однополупериодной.

4. УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРА ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Маломощные однофазные и трехфазные трансформаторы применяют для освещения, питания цепей управления, в выпрямителях и различных электронных аппаратах. Для расчета трансформатора необходимо знать вторичную мощность трансформатора S_2 , которая в данной задаче определена при расчете выпрямителя.

По известной вторичной мощности S_2 определяют первичную мощность трансформатора

$$S_1 = S_2/\eta,$$

где η – КПД трансформатора, который принимается по табл. 3.

Типы сердечников трансформаторов приведены на рис. 5.

Поперечное сечение сердечника трансформатора Q_c , мм², можно определить по следующим упрощенным формулам:

$Q_c = k\sqrt{S_1/2f} \cdot 10^2$ – для трансформаторов стержневого типа (рис. 2, а);

$Q_c = k\sqrt{S_1/f} \cdot 10^2$ – для трансформаторов броневого типа (рис. 5, б);

$Q_c = k\sqrt{S_1/3f} \cdot 10^2$ – для трехфазных трансформаторов (рис. 5, в), где f – частота тока сети, Гц; k – постоянный коэффициент, равный 4–6 для силовых трансформаторов с масляным охлаждением и 6–8 для трансформаторов с воздушным охлаждением.

Таблица 3

Мощность трансформатора, ВА	Индукция B_c , Тл	КПД трансформатора, η	Плотность тока, А/мм ²
10	1,1	0,82	4,8
20	1,25	0,85	3,9
40	1,35	0,87	3,2
70	1,40	0,89	2,8
100	1,35	0,91	2,5
200	1,25	0,93	2
400	1,15	0,95	1,6
700	1,10	0,96	1,3
1000	1,05	0,96	1,2
более 1000	0,8–1,05	0,96... 0,98	1,2

Поперечное сечение стержня, мм², сердечника выражается через его размеры

$$Q_c = a \times v,$$

где a – ширина пластин, мм; v – толщина пакета пластин в мм.

Сечение стержня обычно имеет квадратную, прямоугольную или ступенчатую форму, вписанную в окружность. Стержни прямоугольного сечения обычно применяют для трансформаторов до 700 ВА. Высоту прямоугольного стержня, мм, вычисляют по формуле

$$h = (2,5–3,5)a.$$

Таблица 4

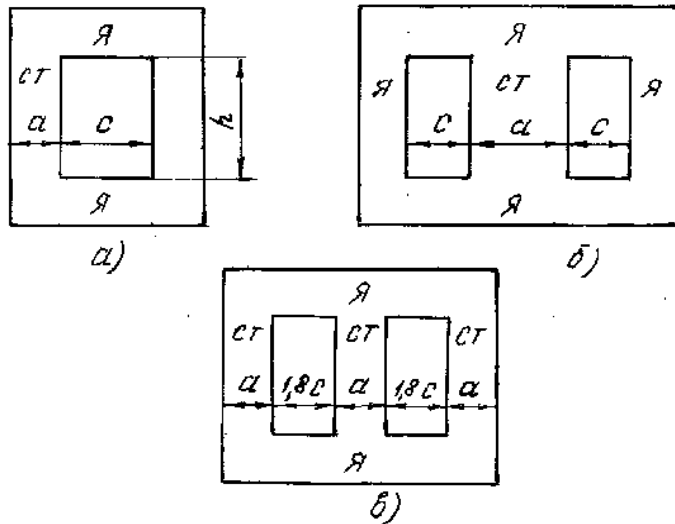


Рис. 5. Типы сердечников трансформаторов:
 а – стержневой; б – броневой; в – стержневой трехфазный; я – ярмо; ст – стержень

Соотношение размеров сечения сердечника находится в пределах $v/a=1,2\dots1,8$. Ширина окна сердечника принимается по формуле

$$c = h/m,$$

где m – коэффициент, учитывающий наивыгоднейшие размеры окна сердечника ($m = 2,5-3$).

Сечение ярма трансформатора с учетом изоляции между листами принимается

$$Q_{\text{я}} = (1,0-1,15)Q_c \text{ – для трансформаторов стержневого типа;}$$

$$Q_{\text{я}} = (1,0-1,15/2)Q_c \text{ – для трансформаторов броневого типа.}$$

Для однофазных трансформаторов обычно выбирают типовые сердечники. Наиболее широкое распространение получили ленточные магнитопроводы, позволяющие лучше использовать свойства магнитных материалов. В табл. 4 приведены данные магнитопроводов типа ШЛ.

Типоразмер магнитопровода ШЛ $a \times v$, мм	Размеры, мм		Средняя длина магнитной силовой линии l_c , см	Активное сечение стали Q_c , см ²	Площадь окна Q_0 , см ²	Масса магнитопровода G_c , г
	c	h				
ШЛ6×6,5 ШЛ6×8 ШЛ6×10 ШЛ6×12,5	6	15	5,1	0,3 0,37 0,47 0,58	0,9	13 16 20 25
ШЛ8×8 ШЛ8×10 ШЛ8×12,5 ШЛ8×16	8	20	6,8	0,5 0,63 0,79 1,02	1,6	29 36 45 57
ШЛ10×10 ШЛ10×12,5 ШЛ10×16 ШЛ10×20	10	25	8,5	0,8 1,0 1,28 1,6	2,5	57 71 91 113
ШЛ12×12,5 ШЛ12×16 ШЛ12×20 ШЛ12×25	12	30	10,2	1,21 1,55 1,93 2,42	3,6	100 130 165 205
ШЛ16×16 ШЛ16×20 ШЛ16×25 ШЛ16×32	16	40	13,6	2,07 2,6 3,24 4,15	6,4	235 295 370 470
ШЛ20×20 ШЛ20×25 ШЛ20×32 ШЛ20×40	20	50	17,1	3,28 4,1 5,24 6,55	10	460 575 735 920
ШЛ25×25 ШЛ25×32 ШЛ25×40 ШЛ25×50	25	62,5	21,3	5,14 6,56 8,2 10,3	16	900 1150 1440 1800
ШЛ32×32 ШЛ32×40 ШЛ32×50 ШЛ32×64	32	80	27,7	8,46 10,6 13,2 16,9	26	1900 2370 2970 3800
ШЛ40×40 ШЛ40×50 ШЛ40×64 ШЛ40×80	40	100	34,2	13,2 16,5 21,2 26,5	40	3720 4650 5960 7430

Сечение проводов для первичной и вторичной обмоток определяют в зависимости от тока в обмотках и допустимой плотности тока.

Токи первичной и вторичной обмоток определяют по формулам:

$$I_1 = S_1/U_1; \quad I_2 = S_2/U_2 - \text{для однофазных трансформаторов,}$$

$I_1 = S_1/\sqrt{3} \cdot U_{л1}; \quad I_2 = S_2/\sqrt{3} \cdot U_{л2}$ – для трёхфазных трансформаторов, где $U_{л1}, U_{л2}$ – линейные напряжения первичной и вторичной обмоток.

Следует учитывать, что при соединении обмоток по схеме «звезда», $U_{л} = \sqrt{3} U_{ф}$, а в «треугольник» $U_{л} = U_{ф}$, где $U_{ф}$ – фазное напряжение.

Сечения проводов первичной и вторичной обмоток определяют по формулам:

$$s_1 = I_1/\delta; \quad s_2 = I_2/\delta,$$

где s_1 и s_2 – сечения проводов первичной и вторичной обмоток, мм^2 ; δ – плотность в обмотках, А/мм^2 (принимается по табл. 5).

Таблица 5

Номинальный диаметр неизолированного про- вода, мм	Площадь поперечного сечения неизолиро- ванного провода, мм^2	Диаметры (мм) изолированного провода марки			
		ПЭТВ ПЭТ-155	ПСД ПСДК	ПСДТ	ПСДКТ
0,06	0,00283	0,080	-	-	-
0,07	0,00385	0,090	-	-	-
0,08	0,00503	0,100	-	-	-
0,09	0,00636	0,110	-	-	-
0,10	0,00785	0,122	-	-	-
0,11	0,00950	0,132	-	-	-

Номинальный диаметр неизолированного про- вода, мм	Площадь поперечного сечения неизолиро- ванного провода, мм^2	Диаметры (мм) изолированного провода марки			
		ПЭТВ ПЭТ-155	ПСД ПСДК	ПСДТ	ПСДКТ
0,12	0,01131	0,142	-	-	-
0,13	0,01327	0,152	-	-	-
0,14	0,01539	0,162	-	-	-
0,15	0,01767	0,180	-	-	-
0,16	0,0201	0,190	-	-	-
0,17	0,0227	0,200	-	-	-
0,18	0,0255	0,210	-	-	-
0,19	0,0284	0,220	-	-	-
0,20	0,0314	0,230	-	-	-
0,21	0,0346	0,240	-	-	-
0,23	0,0415	0,265	-	-	-
0,25	0,0491	0,285	-	-	-
0,27	0,1573	0,305	-	-	-
0,29	0,0661	0,325	-	-	-
0,31	0,0755	0,345	0,55	0,50	0,46
0,33	0,0855	0,365	0,57	0,52	0,48
0,35	0,0962	0,390	0,59	0,54	0,50
0,38	0,1134	0,420	0,62	0,57	0,53
0,41	0,1320	0,450	0,65	0,60	0,56
0,44	0,1521	0,480	0,68	0,63	0,59
0,47	0,1735	0,510	0,71	0,66	0,62
0,49	0,1886	0,530	0,73	0,68	0,64
0,51	0,2040	0,565	0,77	0,71	0,68
0,53	0,2210	0,585	0,79	0,73	0,70
0,55	0,2380	0,605	0,81	0,75	0,72
0,57	0,2550	0,625	0,83	0,77	0,74
0,59	0,2730	0,645	0,85	0,79	0,76
0,62	0,3020	0,675	0,88	0,82	0,79
0,64	0,3220	0,700	0,90	0,84	0,81
0,67	0,3530	0,730	0,93	0,87	0,84

Продолжение табл. 5

Номинальный диаметр неизолированного про- вода, мм	Площадь поперечного сечения неизолиро- ванного провода, мм ²	Диаметры (мм) изолированного провода марки			
		ПЭТВ ПЭТ-155	ПСД ПСДК	ПСДТ	ПСДКТ
0,69	0,3740	0,750	0,95	0,89	0,86
0,72	0,4070	0,780	0,99	0,94	0,90
0,74	0,4300	0,805	1,01	0,96	0,92
0,77	0,4660	0,835	1,04	0,99	0,95
0,80	0,5030	0,865	1,07	1,02	0,98
0,83	0,5410	0,895	1,10	1,05	1,01
0,86	0,5810	0,925	1,13	1,08	1,04
0,90	0,6360	0,965	1,17	1,12	1,08
0,93	0,6790	0,995	1,20	1,15	1,11
0,96	0,7240	1,025	1,23	1,18	1,14
1,00	0,785	1,080	1,29	1,23	1,20
1,04	0,849	1,120	1,33	1,27	1,24
1,08	0,916	1,160	1,37	1,31	1,28
1,12	0,985	1,200	1,41	1,35	1,32
1,16	1,057	1,240	1,45	1,39	1,36
1,20	1,131	1,280	1,49	1,43	1,40
1,25	1,227	1,330	1,54	1,48	1,45
1,30	1,327	1,385	1,59	1,53	1,50
1,35	1,431	1,435	1,64	1,58	1,55
1,40	1,539	1,485	1,69	1,63	1,60
1,45	1,651	1,535	1,74	1,68	1,65
1,50	1,767	1,585	1,79	1,73	1,70
1,56	1,911	1,645	1,85	1,79	1,76
1,62	2,060	1,705	1,91	1,87	1,86
1,68	2,220	1,765	1,97	1,93	1,92
1,74	2,380	1,825	2,03	1,99	1,98
1,81	2,570	1,905	2,10	2,06	2,05
1,88	2,780	1,975	2,17	2,13	2,12

Окончание табл. 5

Номинальный диа- метр неизолированно- го провода, мм	Площадь поперечного сечения неизолиро- ванного провода, мм ²	Диаметры (мм) изолированного провода марки			
		ПЭТВ ПЭТ-155	ПСД ПСДК	ПСДТ	ПСДКТ
1,95	2,990	2,045	2,24	2,20	2,19
2,02	3,200	2,115	2,32	2,28	2,27
2,10	3,460	2,200	2,40	2,36	2,35
2,26	4,010	2,360	2,62	–	–
2,44	4,680	2,540	2,80	–	–
2,63	5,430	–	2,99	–	–
2,83	6,290	–	3,19	–	–
3,05	7,310	–	3,42	–	–
3,28	8,450	–	3,65	–	–
3,53	9,790	–	3,90	–	–
3,80	11,34	–	4,17	–	–
4,10	13,20	–	4,48	–	–
4,50	15,90	–	4,88	–	–
4,80	18,10	–	5,18	–	–
5,20	21,24	–	5,58	–	–

По расчетной величине сечения проводов выбирают по табл. 5 диаметры и марку проводов.

Числа витков первичной и вторичной обмоток определяются по формулам:

$$w_1 = U_1 \cdot 10^4 / 2,22 B_c Q_c; \quad w_2 = w_1 U_2 / U_1,$$

где B_c – магнитная индукция в сердечнике (см. табл. 3).

Для компенсации потери напряжения на обмотках трансформатора нужно увеличить число витков вторичной обмотки на 5–10 %.

После расчета основных параметров трансформатора необходимо проверить, разместятся ли обмотки в окне выбранного

магнитопровода. Для этого по диаметру провода в изоляции и числу витков определяют площадь, занимаемую каждой обмоткой в окне сердечника, затем складывают площади всех обмоток и полученную сумму сравнивают с площадью окна, т. е. определяют коэффициент заполнения окна сердечника обмотками.

$$k_0 = Q_{\text{обм}}/Q_0 = (\sum \pi d_n^2 w_n/4)/hc,$$

где d_n – диаметры проводов обмоток в изоляции; w_n – числа витков обмоток; h – высота стержня сердечника; c – ширина окна сердечника.

Коэффициент заполнения окна сердечника обмоткой для маломощных трансформаторов должен находиться в пределах $k_0 = 0,2-0,4$.

Таблица 6

№ варианта	Напряжение сети, U, В	Выпрямленное напряжение U_0 , В	Выпрямленный ток, I_0 , А	Схема выпрямления
1	127	9	5	Однофазная однополупериодная
2	127	10	7	
3	127	12	8	
4	127	15	9	
5	127	17	10	
6	127	20	4	
7	127	24	3	
8	127	27	5	
9	127	30	2,5	
10	127	35	2	
11	220	40	2,6	Однофазная двухполупериодная
12	220	45	4	
13	220	50	3	
14	220	55	6	
15	220	60	2	
16	220	65	2,4	
17	220	70	3	
18	220	75	2	
19	220	80	2,5	
20	220	85	3	

Окончание табл. 6

№ варианта	Напряжение сети, U, В	Выпрямленное напряжение U_0 , В	Выпрямленный ток, I_0 , А	Схема выпрямления
21	220	9	5	Однофазная с выводом средней точки
22	220	10	7	
23	220	12	10	
24	220	15	12	
25	220	17	10	
26	220	20	15	
27	220	24	10	
28	220	27	4	
29	220	30	6	
30	220	35	7	
31	380	40	12	Трехфазная однополупериодная с выводом нейтрали
32	380	45	6	
33	380	50	7	
34	380	55	4	
35	380	60	8	
36	380	65	3	
37	380	70	7	
38	380	75	10	
39	380	80	7	
40	380	85	2	
41	380	90	3	
42	380	95	4	
43	380	100	5	
44	380	105	3,5	
45	380	110	4	
46	380	115	3	
47	380	120	2	
48	380	130	1,5	
49	380	140	2	
50	380	150	1	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дьяков, В.И.* Типовые расчеты по электрооборудованию / В.И. Дьяков. – М. : Высшая школа, 1991.
2. *Касаткин, А.С.* Электротехника : учебник для вузов / А.С. Касаткин. – М. : Высшая школа, 2002.
3. *Электротехника и электроника* / Под ред. В.В. Кононенко. – Ростов н/Д : Феникс, 2004.
4. *Электротехнический справочник*: в 3-х т. Т. 2 / Гл. ред. И.Н. Орлов. – М. : Энергоатомиздат, 1986.