

## Практическое занятие 7

### Расчет трансформатора для источника питания

#### Цели работы:

- получить краткие теоретические сведения в области сетевых трансформаторов;
- научиться производить расчет сетевого трансформатора для источника питания.

#### 1. Краткие теоретические сведения

*Трансформатор* – статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока.

Преобразование энергии в трансформаторе осуществляется переменным магнитным полем. Трансформатор представляет собой сердечник из тонких стальных изолированных одна от другой пластин, на котором помещаются две, а иногда и больше обмоток из изолированного провода. Обмотка, к которой присоединяется источник электрической энергии переменного тока, называется первичной обмоткой, остальные обмотки – вторичными (рисунок 1).

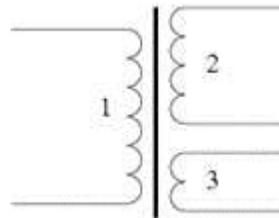


Рисунок 1 – Условно-графическое обозначение трансформатора

Центральная толстая линия соответствует сердечнику, 1 – первичная обмотка (обычно слева), 2 и 3 – вторичные обмотки. При обозначении трансформатора жирной точкой около вывода могут быть указаны начала катушек. Применяется при обозначении промежуточных трансформаторов в усилительных (преобразовательных) каскадах для подчёркивания син- или противофазности, а также в случае нескольких (первичных или вторичных) обмоток, если соблюдение «полярности» их подключения необходимо для работы остальной части схемы. Если начала обмоток не указаны явно, то предполагается, что все они направлены в одну сторону (после конца одной обмотки – начало следующей).

С допустимой для практики точностью можно считать, что отношение числа витков первичной обмотки к вторичной равно отношению приложенного напряжения к выходному. Это отношение, называемое **коэффициентом трансформации**, обычно сокращают на меньшее из чисел, и тогда коэффициент трансформации получают в виде отношения единицы к некоторому числу (1:4; 1:50) или, наоборот, некоторого числа к единице (4:1; 50:1).

Трансформатор, входящий в состав выпрямителя и предназначенный для питания устройства, может иметь следующие обмотки:

- первичную, включаемую в сеть;
- вторичную повышающую;
- вторичную понижающую.

Иногда между первичной и вторичной обмотками помещается ещё экранирующая обмотка, предназначенная для защиты приемника от проникновения в него из сети всевозможных помех. Один конец этой обмотки заземляется, а другой изолирован и никуда не включается.

Первичная обмотка может делаться из нескольких секций, позволяющих включать трансформатор в сеть с различным напряжением.

Вторичная обмотка силового трансформатора при однополупериодном выпрямлении состоит из одной секции без всяких отводов, а при двухполупериодном выпрямлении она рассчитывается на вдвое большее напряжение и имеет отвод от средней точки.

### ***Конструктивные особенности некоторых видов трансформаторов***

Основными частями трансформатора являются магнитопровод и катушка с обмотками.

Материалом для магнитопровода трансформаторов служит листовая электротехническая сталь различных марок и толщины, горячей прокатки и холоднокатаная; от содержания кремния, которое отражено в марке стали, а также от толщины листа зависят потери мощности в магнитопроводе от вихревых токов. Толщину листа применяемой стали выбирают в зависимости от частоты сети, питающей трансформатор: с увеличением частоты толщину листа надо уменьшать. Ленточные (витые) магнитопроводы изготавливают из лент рулонной стали; предварительно лента покрывается изолирующим и склеивающим составом.

**Стержневые магнитопроводы** собирают из прямоугольных пластин одинаковой ширины. Части магнитопровода, на которых находятся обмотки, называются стержнями (рисунок 2). Часть магнитопровода, соединяющая стержни между собой, называется ярмом.

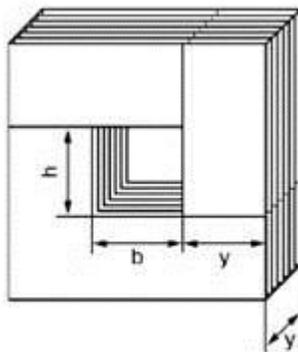


Рисунок 2 – Стержневой сердечник трансформатора

Сборка частей магнитопровода может производиться встык и вперекрышку, причем в последнем случае увеличивается механическая прочность и уменьшается магнитное сопротивление магнитопровода. При сборке встык пластины собирают в единый пакет и предусматривают изоляционную прокладку между пакетами для предохранения от замыкания между отдельными листами магнитопровода. Сборка встык упрощает монтаж и демонтаж трансформатора. Пластины магнитопровода скрепляют в пакет либо с помощью изолированных от магнитопровода шпилек либо с помощью специальных бандажей из капроновых ниток.

**Броневые магнитопроводы** собирают из пластин Ш-образной формы и прямоугольных пластин, замыкающих Ш-образную пластину. Эти магнитопроводы имеют один стержень, на котором располагают все обмотки трансформатора (рисунок 3). Сборка броневых магнитопроводов производится так же, как и магнитопроводов стержневого типа, описанного выше.

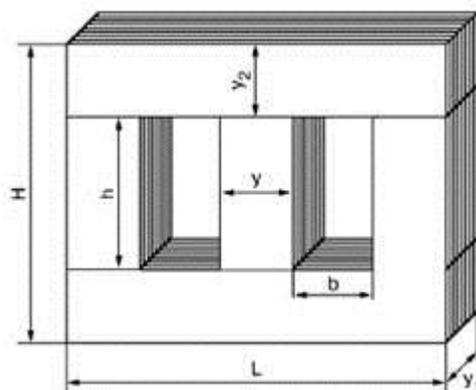


Рисунок 3 – Броневой сердечник трансформатора.

Поскольку в броневом магнитопроводе обмотка размещается на среднем стержне, магнитный поток разветвляется на правую и левую части и, таким образом, в крайних стержнях его значение будет в 2 раза меньше, чем в центральном; это позволяет уменьшить сечение крайних стержней в 2 раза по сравнению с центральным. собирают из отдельных штампованных колец, покрытых изолирующим лаком; сборка производится с помощью намотки на пакет пластин ленточной лакоткани. Этот магнитопровод обладает наилучшими магнитными свойствами: наименьшее магнитное сопротивление, минимальные индуктивность рассеивания и чувствительность к внешним магнитным полям, однако изготовление обмоток в данном случае может производиться только на специальных станках челночного типа или вручную.

**Ленточные магнитопроводы стержневого и броневого типа** собираются из отдельных, соединяемых встык, магнитопроводов подковообразной формы (рисунок 4), а затем стягиваются специальными накладками (хомутами). Такая конструкция магнитопровода значительно упрощает сборку трансформатора. Ленточные магнитопроводы по сравнению с пластинчатыми допускают магнитную индукцию на 20—30 % выше, потерь в них меньше, заполнение объема магнитопровода и КПД трансформатора выше. По этим причинам ленточные магнитопроводы находят все более широкое применение.

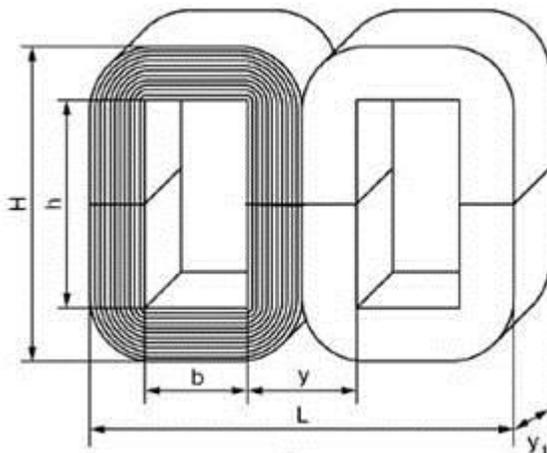


Рисунок 4 – Броневой ленточный сердечник трансформатора.

**Торидальные ленточные магнитопроводы** изготавливают путем навивки ленты на оправку заданного размера (рисунок 5). Обмотки трансформатора производятся на намоточных станках челночного типа.

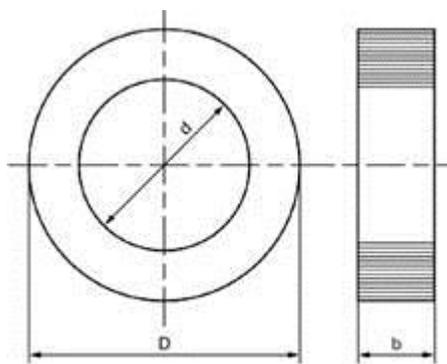


Рисунок 5 – Тороидальный ленточный сердечник трансформатора.

**Обмотки трансформатора** выполняют из медного или алюминиевого изолированного провода. При изготовлении катушки с обмотками предусматриваются изолирующие прокладки: межобмоточная, межслойная и внешняя.

При диаметре провода более 1 мм каркас выполняется из электрокартона, а отдельные слои обмотки перевязываются хлопчатобумажной лентой.

Обмоточные провода маркируются по диаметру, виду изоляции и нагревостойкости.

Для повышения электрической прочности трансформаторы после сборки пропитывают электроизоляционными лаками, а иногда заливают специальными компаундами.

## 2. Методика расчета сетевого (силового) трансформатора

Классический расчет трансформатора достаточно сложен, так как требует знания всех характеристик как материалов из которого изготовлен трансформатор, так и условий его работы и схемы, в которой он стоит. Для учебного процесса предлагается упрощенный метод, многократно проверенный радиолюбителями и основанный на практическом применении.

Для расчета сетевого трансформатора необходимо знать исходные данные, а именно входное  $U_I$  и выходные  $U_{II}, U_{III} \dots U_n$  напряжения и токи ( $I_{II}, I_{III} \dots I_n$ ) каждой вторичной обмотки. Первым шагом является определение суммарной мощности, которая вычисляется как сумма мощностей, потребляемой каждой обмоткой (мощность - это произведение тока на напряжение), поэтому:

$$P_{\text{СУММ}} = U_{II}I_{II} + U_{III}I_{III} + \dots U_n I_n, \quad (1)$$

где  $U_{II}I_{II}, U_{III}I_{III} \dots U_n I_n$  – произведения напряжений и токов вторичных обмоток (здесь ток – это максимальный ток нагрузки). Теперь определяем габаритную мощность, которая получается при делении на КПД:

$$P_{\Gamma} = \frac{P_{\text{СУММ}}}{\text{КПД}}, \quad (2)$$

где КПД – коэффициент полезного действия. Определяется по таблице 1, в зависимости от суммарной мощности  $P_{\text{СУММ}}$

Таблица 1 – Зависимость КПД от суммарной мощности  $P_{\text{СУММ}}$

Суммарная мощность, Вт	10-20	20-40	40-100	100-300
КПД трансформатора	0,8	0,85	0,88	0,92

Зная габаритную мощность трансформатора, находим сечение рабочего керна его сердечника, на котором находится катушка:

$$S = 1,2 \sqrt{P_{\Gamma}} \quad (3)$$

Значение сечения рабочего керна или площади  $S$  измеряется в квадратных сантиметрах. Находим ширину рабочего керна сердечника по формуле (измеряется в сантиметрах):

$$a = 0,8 \sqrt{S} \quad (4)$$

Толщина пакета (в сантиметрах) определяется по формуле

$$c = \frac{S}{a} \quad (5)$$

По полученным значениям  $a$  и  $c$  выбираем из имеющихся в наличии сердечников соответствующий, но не меньше по размерам.

Определяем количество витков, приходящихся на 1 вольт напряжения в трансформаторе:

$$n = \frac{K}{S} \quad (6)$$

где  $K$  – коэффициент зависящий от свойств сердечника

Коэффициент  $K$  обычно лежит в пределах от 35 до 60. В первую очередь он зависит от свойств пластин стали сердечника. Для стали толщиной 0,35 мм, для сердечников С-образной формы, витых из тонкой стали,  $K=35$ . Для сердечников О-образной формы, собранный из П- или Г-образных пластин без отверстий по углам, берем  $K=40$ . Если применяются пластины типа Ш без отверстий, то  $K=45$ , с отверстиями  $K=50$ . Для пластин Ш-образной формы с отверстиями, толщиной 0,35 мм,  $K=60$ . Т.е. значением  $K$  можно варьировать, но учитывать, что уменьшение  $K$  облегчает намотку, но ужесточает работу трансформатора. При применении пластин из высококачественной стали этот коэффициент можно немного уменьшить, а при низком качестве нужно увеличить.

Определяем количество витков первичной обмотки:

$$W_I = U_I \cdot n \quad (7)$$

Для определения количества витков вторичной обмотки, необходимо вводить дополнительный коэффициент  $m$  (таблица 2), зависящий от силы тока в обмотке и учитывающий падение напряжения на ней:

$$W_{II} = m \cdot U_{II} \cdot n \quad (8)$$

Таблица 2 – Зависимость коэффициента **m** от силы тока во вторичной обмотке

Сила тока вторичной обмотки, А	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0
<b>m</b>	1,02	1,03	1,04	1,06

Для определения диаметра провода по меди (в миллиметрах) вторичных обмоток можно воспользоваться формулой:

$$d_{II} = p \sqrt{I_{II}} \quad (9)$$

где **p**-коэффициент, учитывающий допустимый нагрев, зависящий от марки провода (таблица 3)

Таблица 3 – Зависимость коэффициента **p** от марки провода

Марка провода	ПЭЛ	ПЭВ-1	ПЭВ-2	ПЭТ
<b>p</b>	0,8	0,72	0,69	0,65

Сила тока в первичной обмотке можно определить по формуле:

$$I_I = \frac{P_{II}}{U_I} \quad (10)$$

Соответственно диаметр провода для первичной обмотки можно вычислить по формуле

$$d_I = p \sqrt{I_I} \quad (11)$$

Диаметры провода первичной и вторичных обмоток выбираются в соответствии со стандартизованными значениями

### 3. Практическая часть

1. Ознакомиться с теоретическим материалом данной работы.
2. Получить у преподавателя исходные данные и указания для расчета.
3. Произвести расчет и обоснованно выбрать параметры трансформатора.
4. Оформить отчет по проделанной работе.

### 4. Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты расчетов с обоснованным выбором параметров трансформатора.
4. Выводы с анализом результатов по проделанной работе.

### 5. Контрольные вопросы

1. Что такое трансформатор?

2. Какие виды трансформаторов существуют?
3. Что такое магнитопровод и какие его виды существуют?
4. В чем отличие трансформатора от автотрансформатора?
5. Что такое коэффициент трансформации?
6. В чем плюсы и минусы тороидального трансформатора?