

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

*ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ*

**Кафедра:** «Электротехника, электромеханика и электротехнологии»

**ПРЕДМЕТ:** Электромеханика

---

# КУРСОВАЯ РАБОТА

**На тему: «Расчет трехфазного двухобмоточного  
трансформатора  $S=1600$  кВА;  $U=20/0,23$  кВ;  $Y/Y-0$ .**

**Выполнил:**

Хакимов Э. .

**Приняла:**

доц. Мустафулова Г.Н.

## Содержание

Введение

***Расчёт основных электрических величин и изоляционных расстояний.***

Расчёт основных коэффициентов

***Расчёт обмотки НН***

Расчёт обмотки ВН

Расчёт параметров короткого замыкания

Расчёт магнитной системы трансформаторов

Расчёт потерь, тока холостого хода

Тепловой расчёт трансформатора

Спецификация

Литература

## ВВЕДЕНИЕ

### *Принцип действия и виды трансформаторов Принцип действия.*

Трансформатор представляет собой электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток Другого напряжения той же частоты.

В простейшем случае (рис. 12-1) трансформатор имеет одну первичную обмотку 1, к которой подводится электрическая энергия, и одну вторичную обмотку 2, от которой энергия отводится к потребителю (нагрузке). Передача энергии из одной обмотки в другую производится путем электромагнитной индукции. Для усиления электромагнитной связи между обмотками последние обычно располагаются на замкнутом ферромагнитном сердечнике 3. При частоте  $f < 150$  гц сердечник изготавливается из листов электротехнической стали толщиной 0,35—0,50 мм. При более высоких частотах применяется более тонкая листовая сталь. При частоте порядка 100 000 гц и выше потери на гистерезис и вихревые токи в подобном сердечнике становятся чрезвычайно большими, и в этом

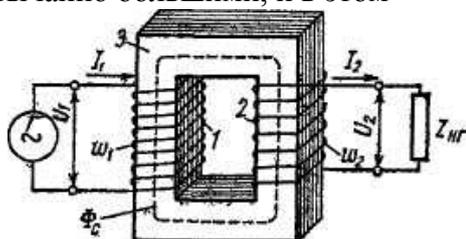


Рис. 12-1. Принцип устройства трансформатора  
 $G$  — генератор переменного тока,  $Z_{нр}$  — сопротивление нагрузки

случае применяются трансформаторы без ферромагнитного сердечника (так называемые воздушные трансформаторы). Высококачественные трансформаторы весьма малой мощности для радиотехнических, счетно-решающих и других устройств изготавливаются также с сердечниками из ферритов, которые представляют собой особый вид магнитоэлектриков с малыми магнитными потерями.

При подключении первичной обмотки трансформатора (рис. 12-1) к сети с синусоидальным напряжением  $u_x$  в обмотке возникает ток  $i_1$ , который создает синусоидально изменяющийся магнитный поток  $\Phi$ , замыкающийся по сердечнику. Поток  $\Phi$  индуцирует э. д. с. как в первичной, так и во вторичной обмотке. При подключении к вторичной обмотке нагрузки в этой обмотке возникает вторичный ток  $i_2$  и на ее зажимах устанавливается некоторое напряжение  $U_2$ . Результирующий магнитный поток сердечника  $\Phi_c$  создается током обеих обмоток.

**Электрические соотношения в идеальном трансформаторе.** Назовем идеальным такой трансформатор, в котором 1) отсутствуют потери энергии (сопротивления обмоток и потери в стали сердечника равны нулю), 2) магнитная проницаемость стали сердечника  $\mu_c = \infty$  и в листах стали сердечника нет разъемов и стыков; 3) все линии магнитной индукции проходят целиком по сердечнику и каждая линия сцепляется со всеми витками первичной ( $w_1$ ) и вторичной ( $w_2$ ) обмоток. Отметим, что при соблюдении последнего условия электромагнитная связь между первичной и вторичной цепями является полной и коэффициент электромагнитной связи обмоток трансформатора

$$c = \frac{M}{\sqrt{L_{11}L_{22}}} \quad (12-1)$$

равен единице. Здесь  $L_{11}$  и  $L_{22}$  — собственные индуктивности, а  $M$  — взаимная индуктивность обмоток.

Э. д. с. первичной и вторичной обмоток такого трансформатора при синусоидальных переменных токах соответственно равны

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= -\frac{d\Psi_1}{dt} = -\omega_1 \frac{d}{dt} (\Phi_c \sin \omega t) = -\omega\omega_1\Phi_c \cos \omega t; \\ e_2 &= -\frac{d\Psi_2}{dt} = -\omega_2 \frac{d}{dt} (\Phi_c \sin \omega t) = -\omega\omega_2\Phi_c \cos \omega t, \end{aligned} \right\} (12-2)$$

где  $\Phi_c$  — амплитуда магнитного потока трансформатора.

Действующие значения этих э. д. с.

$$\boxed{\begin{aligned} E_1 &= \frac{\omega\omega_1\Phi_c}{\sqrt{2}} = \pi\sqrt{2}f\omega_1\Phi_c = 4,44f\omega_1\Phi_c; \\ E_2 &= \frac{\omega\omega_2\Phi_c}{\sqrt{2}} = \pi\sqrt{2}f\omega_2\Phi_c = 4,44f\omega_2\Phi_c. \end{aligned}} \quad (12-3)$$

Так как в идеальном трансформаторе падения напряжения отсутствуют, то

$$U_1 = E_1; \quad U_2 = E_2. \quad (12-4)$$

На основании выражений (12-3) и (12-4)

$$\boxed{\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}} \quad (12-5)$$

или

$$\boxed{\frac{U_1}{U_2} = k, \quad U_2 = \frac{U_1}{k},} \quad (12-6)$$

где

$$\boxed{k = \omega_1/\omega_2} \quad (12-7)$$

называется коэффициентом трансформации трансформатора.

Поскольку в идеальном трансформаторе потери активной и реактивной энергии отсутствуют, то

$$U_1 I_1 = U_2 I_2,$$

откуда

$$\boxed{\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}} \quad (12-8)$$

или

$$\boxed{\frac{I_2}{I_1} = k; \quad I_2 = k I_1.} \quad (12-9)$$

Таким образом, в идеальном трансформаторе первичное и вторичное напряжения прямо пропорциональны, а первичный и вторичный токи обратно пропорциональны числам витков соответствующих обмоток. В реальном трансформаторе полученные соотношения несколько нарушаются, однако в трансформаторах с ферромагнитными сердечниками эти отклонения при нагрузках, близких к номинальным, относительно малы.

Виды трансформаторов. Трансформатор с одной первичной и с одной вторичной обмоткой называется двухобмоточным. Во многих случаях применяются трансформаторы с несколькими первичными или вторичными обмотками. Такие трансформаторы называются многообмоточными. Ниже в первую очередь рассматриваются двухобмоточные трансформаторы.

Чаще всего применяются однофазные и трехфазные трансформаторы. Трансформаторы с другим числом фаз используются в специальных устройствах.

В зависимости от назначения трансформаторы имеют некоторые особенности в конструкции и режимах работы.

Трансформаторы, служащие для преобразования энергии переменного тока в электрических сетях энергетических систем (на электростанциях и подстанциях, промышленных предприятиях) в городских сетях, в сельском хозяйстве и т. д.), называются силовыми. Частота тока силовых трансформаторов в СССР равна 50 Гц, а в США и в некоторых других странах 60 Гц. Силовые трансформаторы представляют собой наиболее распространенный и наиболее важный класс трансформаторов. Кроме этого, имеется целый ряд трансформаторов специального назначения: выпрямительные, сварочные, измерительные и др.

Силовые трансформаторы бывают масляные и сухие. В масляных трансформаторах сердечник с обмотками помещают в бак с трансформаторным маслом, которое выполняет одновременно роль электрической изоляции и охлаждающего агента. Однако трансформаторное масло является горючим, в связи с чем при аварии таких трансформаторов существует определенная опасность возникновения пожара. Поэтому в общественных и жилых зданиях, а также в ряде других случаев применяются сухие трансформаторы, охлаждение которых осуществляется воздухом. В паспортных табличках силового трансформатора указываются следующие данные: 1) номинальная полная мощность  $S_N$  (кВА); 2) номинальные линейные напряжения обмоток  $U_{лн}$  (кВ); 3) номинальные линейные токи  $I_{лн}$  (А); 4) номинальная частота  $f$  (Гц); 5) число фаз  $m$ ; 6) схема и группа соединения обмоток (см. § 12-4); 7) напряжение короткого замыкания  $u_k$  (см. § 14-5); 8) режим работы (длительный, кратковременный); 9) способ охлаждения (см. § 12-5).

К настоящему времени построены силовые трансформаторы единичной мощностью до 1300 МВА и напряжением до 760 кВ.

Основные вопросы теории являются общими для всех видов трансформаторов. Однако в последующих главах вопросы конструкции, теории и эксплуатации трансформаторов рассматриваются прежде всего применительно к силовым трансформаторам. Об особенностях других трансформаторов говорится вкратце отдельно.

Расчет трансформатора

Задание. Тип трансформатора ТМ-1600/20.

Мощность трансформатора  $S=$  1600 кВ·А;

Число фаз  $m=3$ ; частота  $f=50$  Гц;

Номинальные напряжения обмоток:

ВН  $U_2=$  20000 В; НН  $U_1=$  230 В;

Схема и группа соединения Y/Y-0; обмотка - алюмин;

Напряжение короткого замыкания  $u_k=$  6,65 %

Потери короткого замыкания  $P_k=$  17250 Вт;

Потери холостого хода  $P_x=$  3650 Вт;

Ток холостого хода  $i_0=$  2,4 %;

Расчет основных электрических величин и изоляцион. расстояние

Мощность одной фазы и одного стержня

$S_f=S'=S/3=$  1600 / 3 = 533,33 кВ·А

Номинальные токи на сторонах:

ВН  $I_2=$  1600 · 1000 / ( $\sqrt{3}$  · 20000) = 46,19 А;

НН  $I_1=$  1600 · 1000 / ( $\sqrt{3}$  · 230) = 4016,5 А;

Фазные токи ВН  $I_{\phi 2}=I_2=$  46,19 А;

НН (группа)  $I_{\phi 1}=I_1=$  4016,47 А;

Фазные напряжение: ВН  $U_{\phi 2}=U_2/\sqrt{3}=$  20000 / 1,732 =

НН  $U_{\phi 1}=U_1/\sqrt{3}=$  230 / 1,732 =

Испытательные напряжение обмоток (по табл.4.1): для обмоток

ВН  $U_{исп}=$  55 кВ; для обмотка НН  $U_{исп}=$  5 кВ.

Для испытательного напряжение обмотки ВН  $U_{исп}=$

табл.4.5 находим изоляционные расстояния:  $a'_{12}=$

$l'_{02}=$  50 мм;  $l_{ц2}=$  30 мм;  $a'_{22}=$  20 мм;  $\delta_{12}=$  5,0

для НН  $U_{исп}=$  5 кВ по табл.4.4 находим  $a'_{01}=$  5

Определение

исходных данных  
расчета

$(a_1+a_2)/3=k \cdot \sqrt[4]{S' \cdot 0,01} = 0,625 \cdot \sqrt[4]{533,33 \cdot 0,01} =$

$k=$  0,50 по табл.3.3;

$a_p=a'_{12}+(a_1+a_2)/3=$  0,020 + 0,0300 = 0,0500 м.

Активная составляющая напряжения короткого замыкания

$u_a=P_k/(10 \cdot S)=$  17250 / (10 · 1600) = 1,0781 %;

реа  
кти



вна  
я  
сос  
тав  
ляю  
щя

$$u_p = u_k^2 - u_a^2 = 6,7^2 - 1,078^2 = 6,56 \text{ \%}$$

Индукция в стержня  $B_c = 1,58$  Тл; (по табл.2.4); коэффициент  
заполнения круга  $k_{кр} = 0,928$  (табл.2.5) изоляция пл  
ревастойкое изоляционное покрытие,  $k_z = 0,97$

Коэффициент заполнения сталью  $k_c = k_{кр} \cdot k_z = 0,92$

$d = 0,30$  м. Коэффициент усиления ярма  $k_y = 1,58$

Индукция в ярме  $B_y = 1,58 / 1,02 = 1,56$  Тл;  $k_d =$

постоянные коэффициент медных обмоток  $a =$

Принимаем  $k_p = 0,95$  .  $\beta = 1,2-1,6$  .

Расчет

основных  
коэффициентов

$$A = 0,507 \sqrt{\frac{S' \cdot a_p \cdot k_p}{f \cdot u_p \cdot B_c^2 \cdot k_c^2}} = 0,507 \sqrt{\frac{533,33 \cdot 0,0500}{50 \cdot 6,56 \cdot 1,58}}$$

$$x = d/A = 0,30 / 0,224 = 1,338 \quad x^2 = 1,791 ; \quad x$$

Активное сечение стержня

$$P_c = 0,785 \cdot k_c \cdot A^2 \cdot x^2 = 0,785 \cdot 0,9 \cdot 0,2241^2 \cdot 1,791 = 0,03550 \cdot 1,791 = 0,0636$$

Средний диаметр обмоток:  $d_{12} = a \cdot A \cdot x = 1,48 \cdot 0,224 = 0,332$

Высота обмоток  $l = \pi \cdot d_{12} / \beta = 3,14 \cdot 0,445 / 3,209 = 0,436$

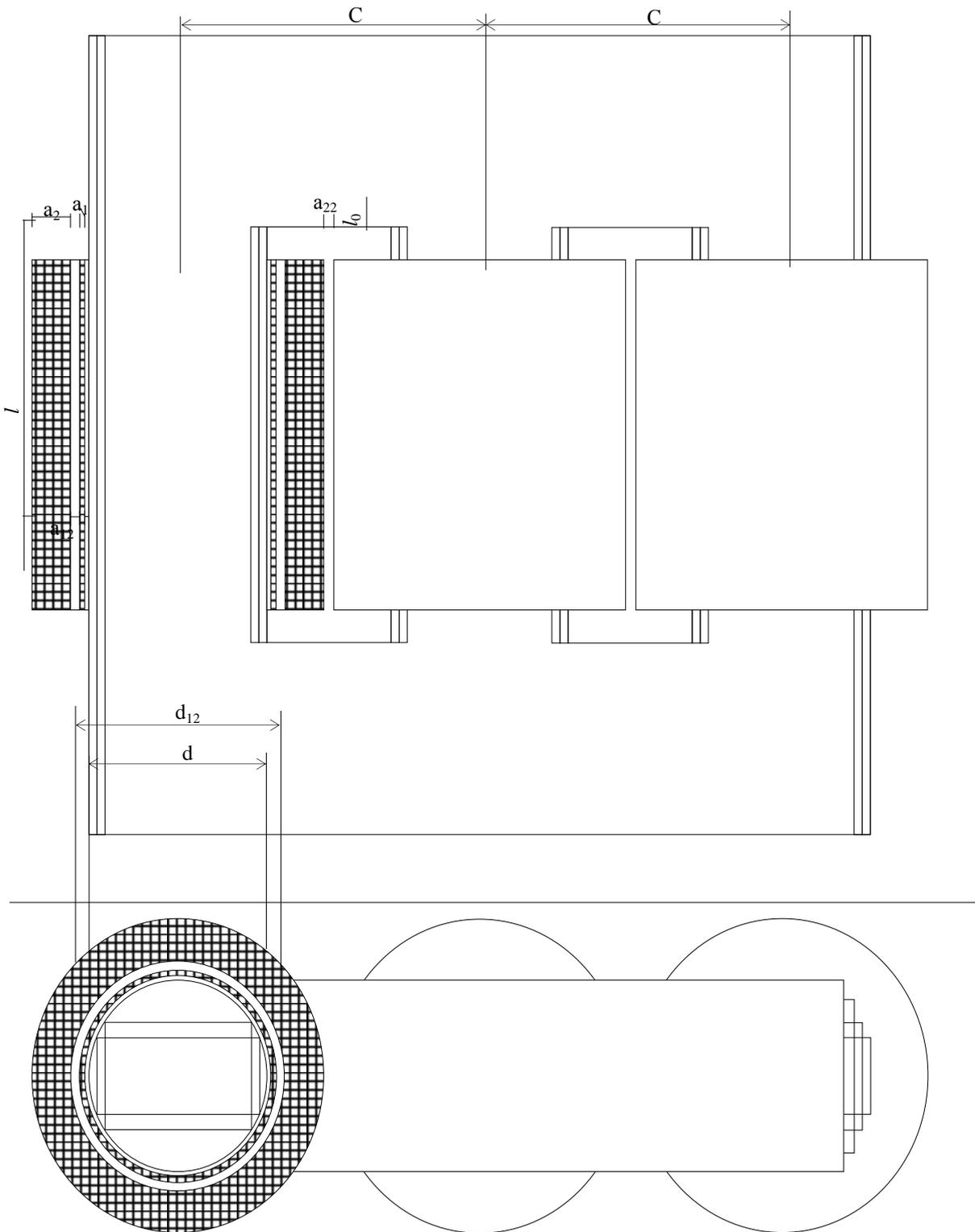
Высота стержня  $l_c = l + 2 \cdot l_0 = 0,436 + 2 \cdot 0,050 = 0,936$

Расстояние между осями стержней

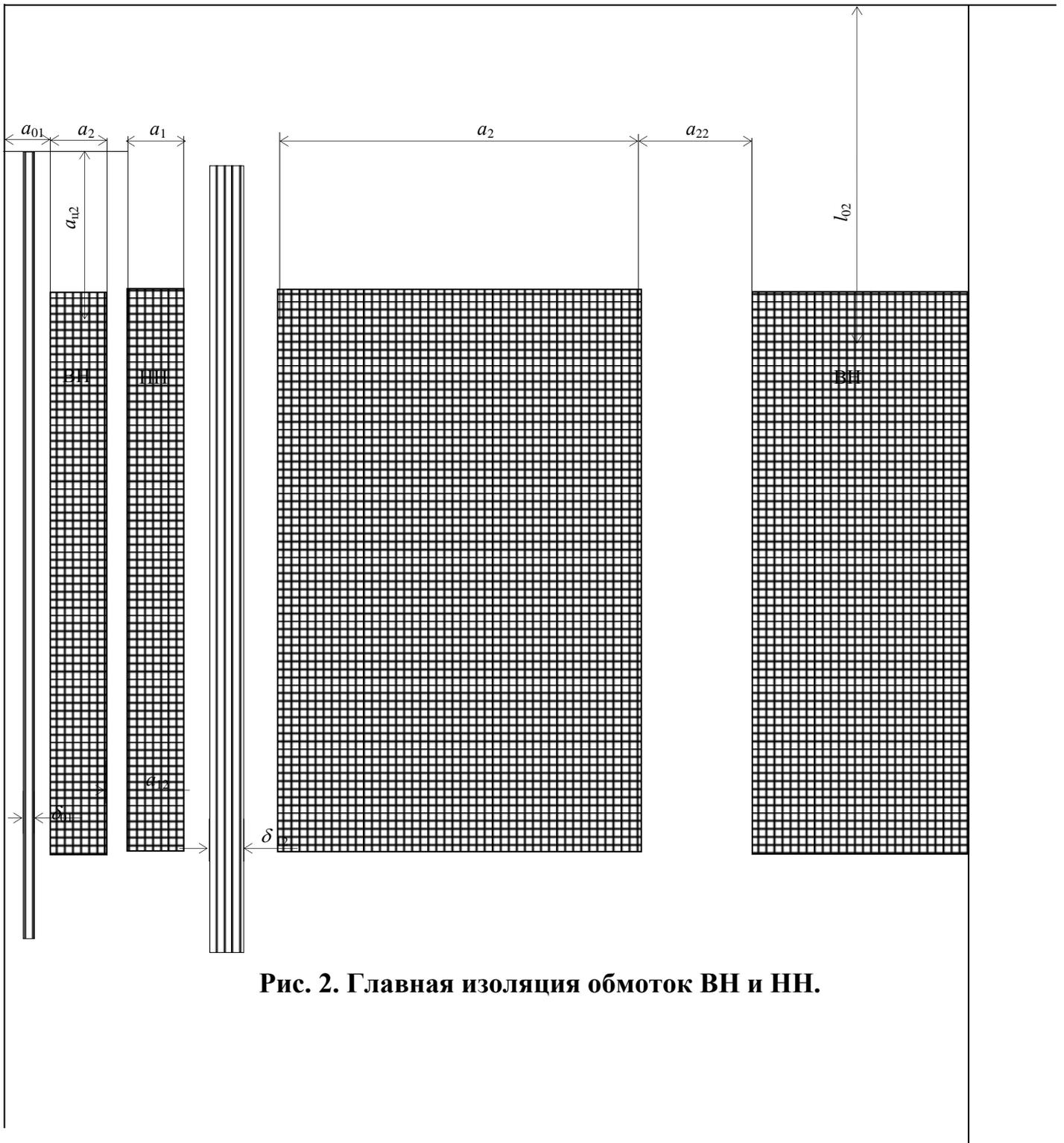
$$C = d_{12} + a_{12} + b \cdot d + a_{22} = 0,445 + 0,020 + 0,31 \cdot 0,30 = 0,555$$

Электродвижущая сила одного витка

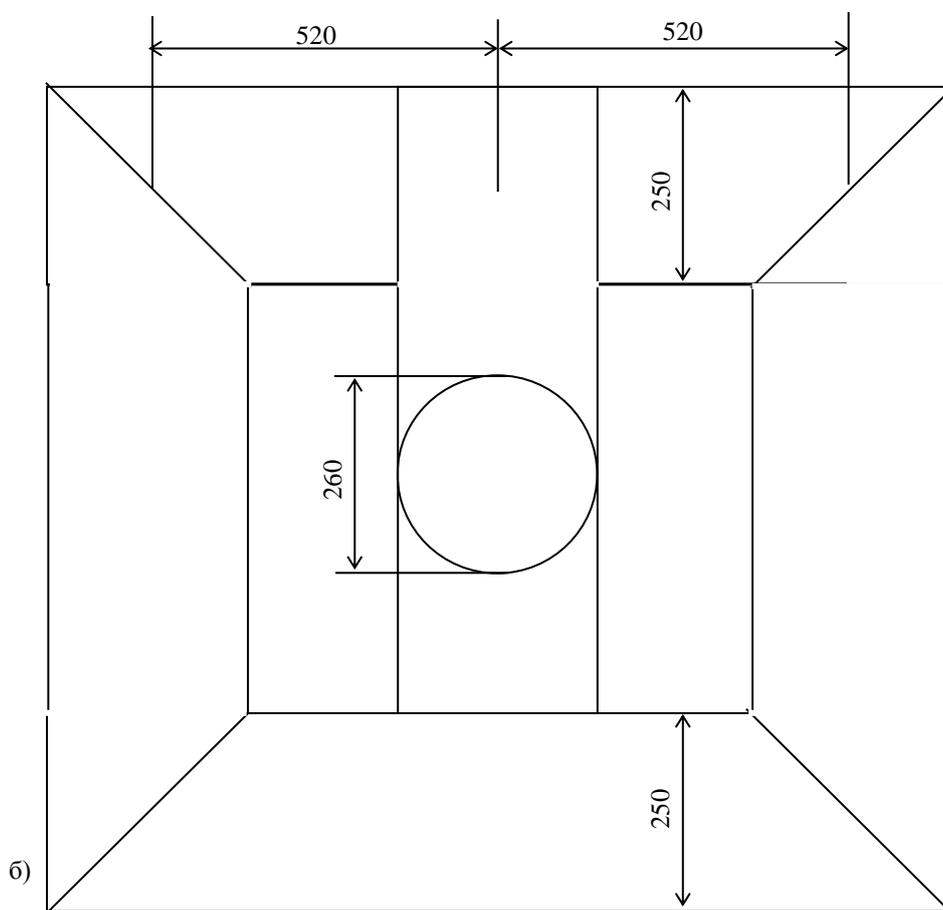
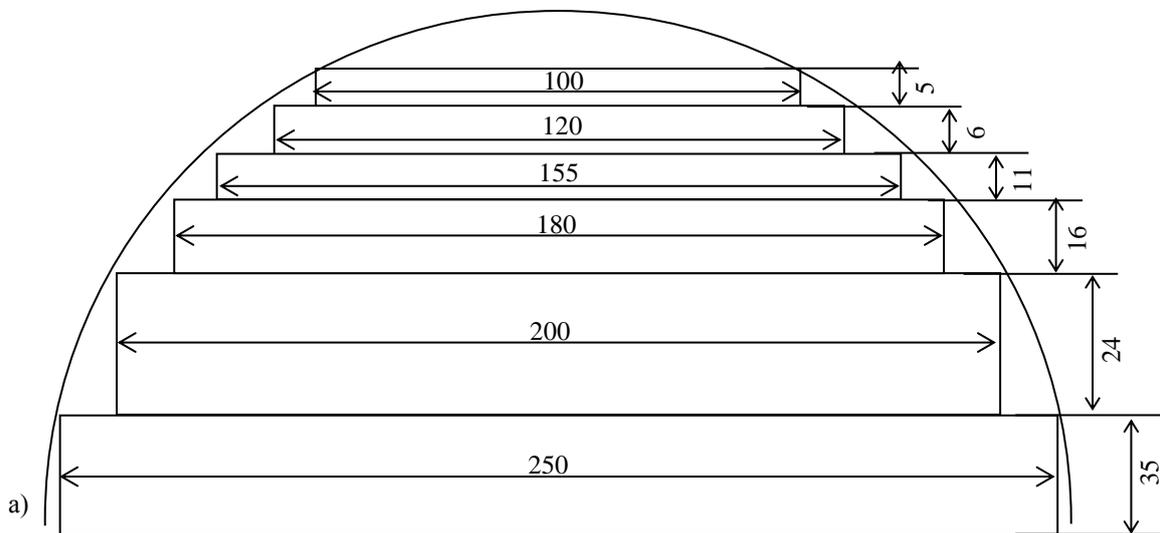
$$u_v = 4,44 \cdot f \cdot P_c \cdot B_c = 222 \cdot 0,0636 \cdot 1,58 = 22,31$$



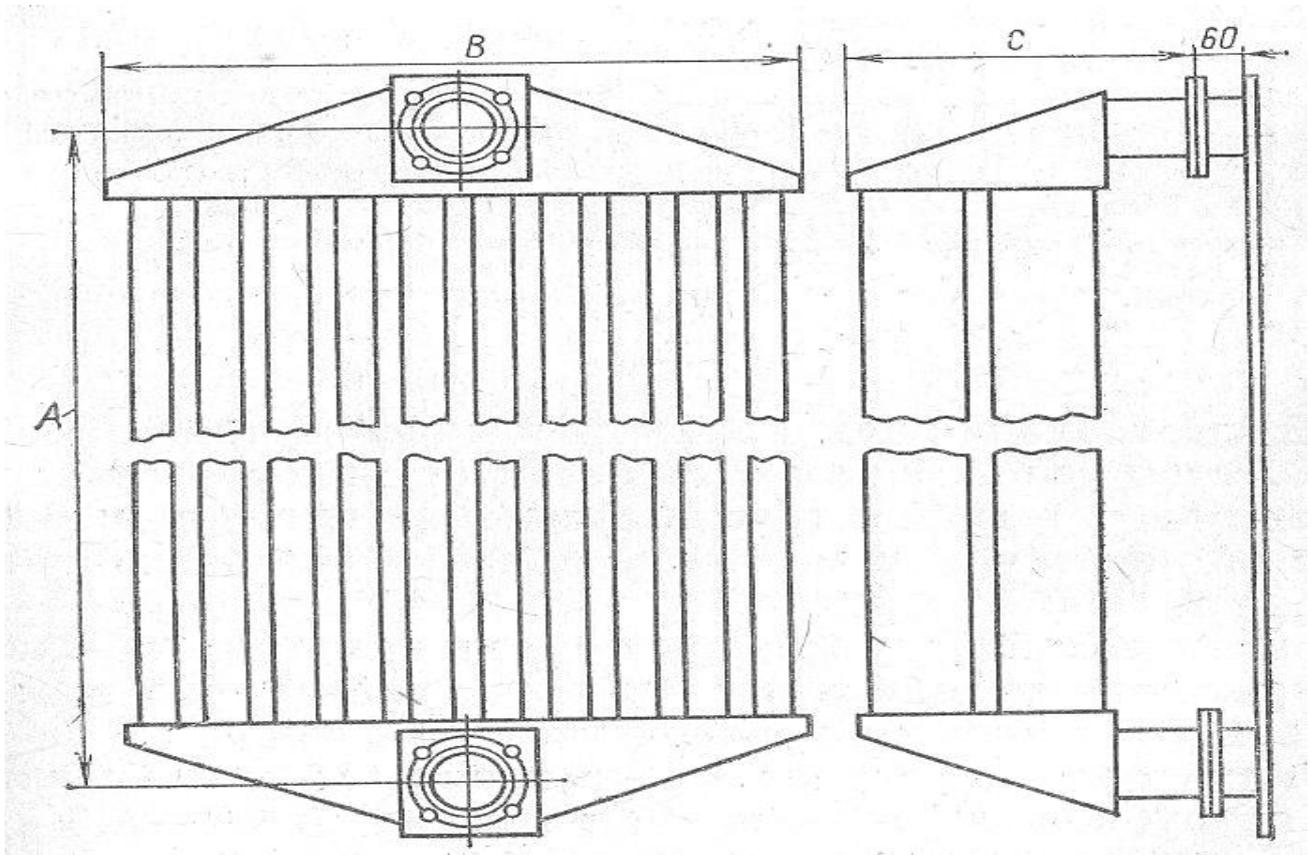
**Рис.1. Расчет основных размеров трансформатора**



**Рис. 2. Главная изоляция обмоток ВН и НН.**



**Рис. 3. а) Сечение стержня и ярма.  
б) основные размеры магнитной системы**



**Рис. 4. Конструкцию гладкого бака с радиаторами с гнутыми трубами**

## Литература.

1. П.М. Тихомиров. Расчёт трансформаторов. М., Энергоиздат, 1986, 526с.
2. А.И. Гончарук. Расчёт и конструирование трансформаторов. М., Энергоиздат, 1990, 256с.
3. А.В. Сапожников. Конструирование трансформаторов. Г. Л., 1959.
4. Трансформаторы силовые и измерительные. Справочник. Том 1. Трансформаторы силовые. – М.; ООО Ай Би Тех, 2004.
5. Трансформаторы силовые и измерительные. Справочник. Том 2. Трансформаторы силовые. – М.; ООО Ай Би Тех, 2004.
6. Трансформаторы силовые и измерительные. Справочник. Том 3. Трансформаторы силовые. – М.; ООО Ай Би Тех, 2004.
7. <http://www.referats.net/online/referat.php?id=rkr-1-4405&show=>
8. <http://www.electroinfo.ru/magazine/?id=162&nid=3>
9. <http://www.tesc.ru>